



**ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΕΣ  
ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ & ΤΕΧΝΙΚΕΣ  
ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ  
ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ Ε.Π.ΤΕ.Π.Π.  
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΙΕΣΕΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΗ ΛΙΜΝΗ ΒΕΓΟΡΙΤΙΔΑ ΜΕ ΤΗΝ  
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ DPSIR ΚΑΙ ΝΕΥΡΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ**

**ASSESSMENT OF PRESSURES AND IMPACTS ON VEGORITIS LAKE BY  
APPLYING DPSIR APPROACH AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORK**

**Εισηγητής: ΤΣΙΤΣΗΣ ΑΝ. ΧΡΗΣΤΟΣ**

**Επιβλέπων: Δρ ΑΛΕΞΑΚΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ, ΑΝΑΠΛ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

**ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2020**

## ***ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ***

Η Μεταπτυχιακή Διπλωματική Ερευνητική μου Εργασία είναι αφιερωμένη στην εκλιπούσα μητέρα μου, Αικατερίνη Τσίτση, τον πατέρα μου Αναστάσιο Τσίτση και τις αδελφές μου Ειρήνη και Παρασκευή Τσίτση. Θέλω επίσης να ευχαριστήσω τον κ. Αλεξάκη Δημήτριο, Αν. Καθηγητή, επιβλέποντα της εργασίας μου και τον κ. Βαρελλίδη Γεώργιο, Καθηγητή, Διευθυντή του Μ.Π.Σ. «Εφαρμοσμένες Πολιτικές και Τεχνικές Προστασίας Περιβάλλοντος». Επιπρόσθετα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Μουστρή Κωνσταντίνο, Αν. Καθηγητή του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών για την βοήθεια και συμβολή του στην εκπόνηση της Μεταπτυχιακής Διπλωματικής μου εργασίας.

## **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

ABSTRACT .....	5
Keywords .....	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	6
ΠΡΟΛΟΓΟΣ .....	7
ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ – ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ .....	8
1.1.1. ΓΕΝΙΚΑ .....	8
1.2 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΠΟΡΩΝ .....	10
1.2.1 ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΟΔΗΓΙΑΣ ΠΛΑΙΣΙΟ (2000/60/ΕΚ) .....	12
1.2.2 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ .....	14
1.2.3 ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ (D.P.S.I.R.) ΑΝΑΛΥΣΗΣ .....	16
1.2.4 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ .....	18
1.4 ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΝΕΥΡΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ .....	20
1.5 ΣΚΟΠΟΣ – ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ .....	24
ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ .....	25
2.1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ .....	25
2.2 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ .....	28
2.3 ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ .....	30
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ .....	33
3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ .....	33
3.2 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ .....	35
3.3 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ .....	35
3.3.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ .....	36
3.3.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ .....	36
3.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΝΕΥΡΩΝΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ .....	37
3.5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ D.P.S.I.R. ΑΝΑΛΥΣΗΣ .....	39
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ .....	40
4.1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ - ΣΤΑΔΙΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ .....	40
4.2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ .....	41
4.3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ .....	62
4.4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΝΔ .....	68
4.5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ D.P.S.I.R. ....	70

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ .....	78
5.1. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	78
5.2. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	79
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	82
ΔΙΕΘΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	84
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ .....	87

## **ABSTRACT**

The aim of the study is to assess the ecological status of a surface water body (Vegoritis lake, Central Macedonia Region, Greece) in a Mediterranean country using the methodological approach of Driver-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR). A water quality dataset from three (3) monitoring stations was used for the statistical analysis. The main driving forces in the broader area of Vegoritis lake are the following: mining, agricultural activities, alteration of hydrological regime, contamination from point sources and changes in the land-use. The ecological status is assessed by analyzing data series of physical, chemical and biological elements that are available from early '80s. The temporal variation of chemical and ecological status of the Vegoritis lake from 1983 to 1997 is discussed. The artificial neural network proved to be a useful tool for the prediction of the water quality dataset. Findings suggested elevated nutrient concentrations sufficient for maintaining eutrophic conditions while their seasonal variability is mostly driven by factors as water level fluctuation, catchment runoff and in-lake biological processes. Subsequently, concerning biotic factors, the poor biodiversity mainly represented by the dominance of the most tolerant species, confirms the previous profile. Since, reference conditions have only recently been established in Greece, the ECOFRAME scheme and the guidelines proposed by the “Intercalibration Group for Mediterranean Lakes” were applied. In terms of the above elements; the water quality status could be characterized as “High”, “High to Good” and “High to Bad”, respectively, whereas the overall ecological status tends to shift in poor conditions. Finally, the major response actions needed should be in the direction of reduced application of fertilizers and chemicals in the cultivated land of the catchment, removal of the point-contamination sources from the catchment, appropriate land-use management and bio manipulation.

### **Keywords**

DPSIR approach, Chemical status, Ecological status, ECOFRAME, Vegoritis lake, Neural networks

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της συγκεκριμένης Διπλωματικής Μεταπτυχιακής Εργασίας αποτελεί η διερεύνηση και χρονική διακύμανση της οικολογικής κατάστασης της Βεγορίτιδας Λίμνης (*Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας*), μέσω στατιστικής επεξεργασίας δεδομένων από τρεις (3) σημειακούς σταθμούς μέτρησης δεικτών ποιότητας νερού: α) Νησιάδα Αγ. Νικολάου β) Στόμιο σήραγγας ΔΕΗ γ) Βεγόρα, ( Στοιχεία, Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων, Διεύθυνση Σ.Ε.Ε.& Α.Ε.Π., Τμήμα Προστασίας Αρδευτικών Υδάτων), με την εφαρμογή της μεθόδου Driver-Pressure-State-Impact-Response (D.P.S.I.R.), δηλαδή με βάση την αξιολόγηση δεικτών ποιότητας νερού από το 1983 έως το 1997. Συμπεραίνεται ότι οι κύριοι παράγοντες που οδηγούν σε πιέσεις στην περιοχή έρευνας είναι: οι εντατικές εξορυκτικές, γεωργικές δραστηριότητες, η αλλοίωση του υδρολογικού καθεστώτος, η ρύπανση από σημειακές πηγές και οι αλλαγές της χρήσης γης. Η οικολογική κατάσταση αξιολογείται με ανάλυση σειρών δεδομένων φυσικών, χημικών και βιολογικών στοιχείων που είναι διαθέσιμα από τις αρχές της δεκαετίας του '80. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν αυξημένες συγκεντρώσεις θρεπτικών ουσιών επαρκείς για τη διατήρηση ευτροφικών συνθηκών, ενώ η εποχική μεταβλητότητα τους οφείλεται κυρίως σε παράγοντες όπως η διακύμανση της στάθμης του νερού, οι θερμοκρασιακές μεταβολές, η απορροή και οι βιολογικές διεργασίες στη λίμνη. Δεδομένου ότι οι συνθήκες αναφοράς έχουν θεσπιστεί πρόσφατα μόνο στην Ελλάδα, εφαρμόστηκε το πρόγραμμα ECOFRAME και οι κατευθυντήριες γραμμές που πρότεινε η «Ομάδα Διαβαθμονόμησης για τις Λίμνες». Όσον αφορά τα παραπάνω στοιχεία, η κατάσταση της ποιότητας του νερού θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως "υψηλή", "υψηλή έως καλή" και "υψηλή έως κακή", αντίστοιχα, ενώ η συνολική οικολογική κατάσταση τείνει να μετατοπίζεται σε κακές συνθήκες. Οι σημαντικές δράσεις αντιμετώπισης που απαιτούνται πρέπει να είναι προς την κατεύθυνση της μειωμένης εφαρμογής λιπασμάτων και χημικών ουσιών στην καλλιεργούμενη γη της λεκάνης απορροής, την απομάκρυνση των σημείων μόλυνσης από τη λεκάνη απορροής, την κατάλληλη διαχείριση της χρήσης γης και τη βιοδιαχείριση. Τέλος, επιχειρήθηκε η εισαγωγή της τεχνολογίας σε θέματα αιχμής - περιβάλλοντος με τη χρήση των τεχνητών νευρωνικών δικτύων ως εργαλείο πρόβλεψης – πρόληψης και αντιμετώπισης προβλημάτων σε εστιακούς σταθμούς μέτρησης και λήψης δεδομένων για τις ανάγκες της έρευνας.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

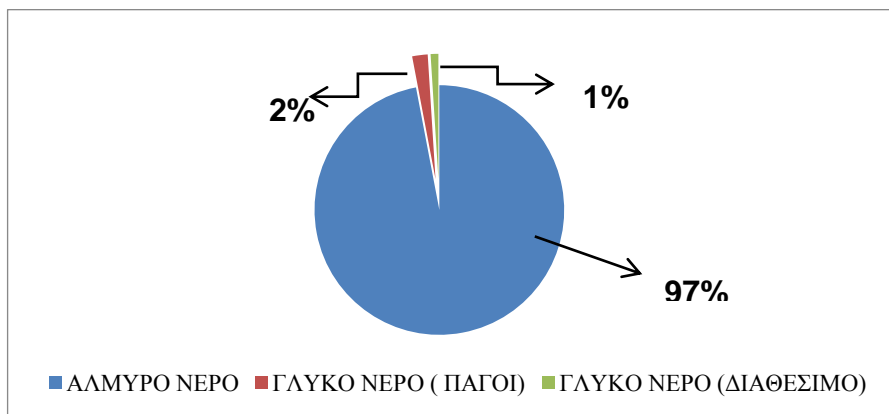
Η συνεχής ποσοτική μείωση και ποιοτική υποβάθμιση των υδατικών πόρων των οικοσυστημάτων, κυρίως λόγω της ανθρώπινης παρέμβασης έχει οδηγήσει τα κράτη μέλη της Ε.Ε. σε μια κοινή πολιτική προσέγγισης και διαχείρισης για την αντιμετώπιση του εν λόγω ζητήματος. Αντικείμενο της συγκεκριμένης

έρευνας είναι η αξιολόγηση της οικολογικής κατάστασης της λίμνης Βεγορίτιδας, με ανάλυση σειρών δεδομένων φυσικών, χημικών και βιολογικών στοιχείων στη βάση του διαχειριστικού μοντέλου Driving Forces - Pressures - State- Impact - Response (DPSIR), που είναι διαθέσιμα από τις αρχές της δεκαετίας του '80, ταυτόχρονα μέσω της αξιολόγησης αυτής θα επιχειρηθεί και η εισαγωγή της τεχνολογίας σε θέματα αιχμής - περιβάλλοντος με την χρήση των τεχνητών νευρωνικών δικτύων ως εργαλείο πρόβλεψης - πρόληψης και αντιμετώπισης προβλημάτων σε εστιακούς σταθμούς μέτρησης και λήψης δεδομένων. Τα ευρήματα αναμένεται να οδηγήσουν στην υιοθέτηση μέτρων και πολιτικών τέτοιων που θα συμβάλλουν στην κατανόηση της αξία της βιώσιμης διαχείρισης των Υδάτινων Σωμάτων (Υ.Σ.), καθώς ο άνθρωπος και οι δραστηριότητές του αυξάνουν ραγδαία τις πιέσεις που ασκούνται στα Υ.Σ., αφετέρου να υιοθετήσει βέλτιστες πρακτικές για τη διατήρηση της ποιότητας του οικολογικού στοιχείου της περιοχής με στόχο τη προσφερόμενη αειφορία, τη διατήρηση της καλής ποιότητας των υδατικών πόρων, τη διατήρηση του φυσικού περιβάλλοντος και τη ορθολογικότερη συνύπαρξη του φυσικού στοιχείου σε συνδυασμό με τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Παράλληλα όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η υιοθέτηση των ΤΝΔ σε συνδυασμό την προσέγγιση του διαχειριστικού μοντέλου DPSIR επιχειρεί να οδηγήσει σε συμπεράσματα που αφορούν την υπάρχουσα και σε διακύμανση χρονικά κατάσταση του Υ.Σ. της Βεγορίτιδας και επιπλέον να προταθούν συγκεκριμένα μέτρα αντιμετώπισης, διατήρησης και βελτίωσης της οικολογικής κατάστασης της Βεγορίτιδας Λίμνης.

### 1.1.1. ΓΕΝΙΚΑ

Το νερό είναι αναμφισβήτητα ο σημαντικότερος φυσικός πόρος του πλανήτη. Σε αντίθεση πάντως με άλλους φυσικούς πόρους και με άλλα οικονομικά και φυσικά αγαθά έχει μία ιδιαιτερότητα: είναι μοναδικό και αναντικατάστατο (Γκανούλης,2002). Είναι άχρωμο, άοσμο και, όσον αφορά το πόσιμο, άγευστο. Σαν φυσικός πόρος έχει τρεις βασικές κατηγορίες παραγωγής – εμφάνισης στον πλανήτη:

- α) υγρή, όπως το νερό των ωκεανών, των λιμνών, των ποταμών κ.λπ.,
- β) στερεή, ως πάγος ή χιόνι,
- γ) αέρια, με τη μορφή υδρατμών.



Σχήμα 1.1 : Μορφές νερού στη Γη

Είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού, κακός αγωγός της θερμότητας και διαλύτης πολλών ουσιών, γι' αυτό αποτελεί μέχρι και το 90% των κυττάρων των οργανισμών (το ανθρώπινο σώμα αποτελείται κατά 70% από νερό).

Από το σύνολο του νερού που υπάρχει στη Γη, σχεδόν το 97% βρίσκεται στις θάλασσες και το 2% στους πάγους και στα χιόνια. Έτσι, μένει μόλις το 1% για χρήση στα σπίτια, στη βιομηχανία και στη γεωργία. Από αυτό το 1% μόνο το 10% προορίζεται για οικιακή χρήση. Λαμβάνοντας υπόψη ότι στον πλανήτη ζουν περίπου 6,5 δισεκατομμύρια άνθρωποι, που αυξάνονται κατά 80 περίπου εκατομμύρια το χρόνο, γίνεται φανερό ότι το νερό του πλανήτη είναι υπερπολύτιμο αγαθό.

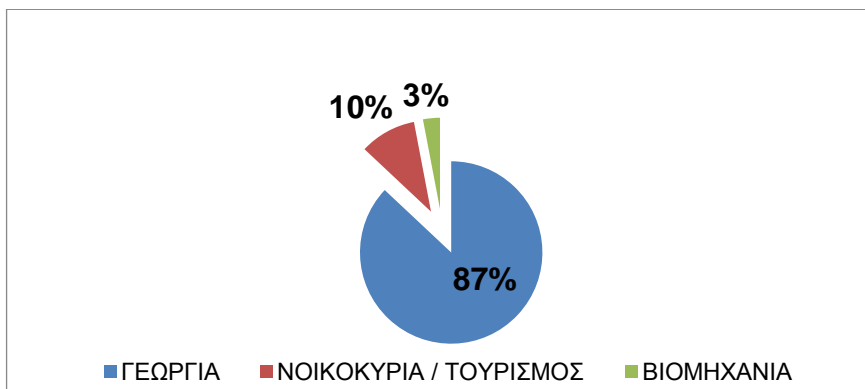
Πρέπει να σημειωθεί ότι το 30% των ανθρώπων ζουν σε χώρες που δεν υπάρχουν αρκετά αποθέματα νερού, ενώ πάνω από 1 δισεκατομμύριο άνθρωποι δεν έχουν πρόσβαση σε καθαρό πόσιμο νερό.



Κάθε χρόνο 3 εκατομμύρια πεθαίνουν από έλλειψη ή κατανάλωση ακατάλληλου νερού. Από την άλλη, η σπατάλη του στις δυτικές κυρίως χώρες είναι εγκληματική χωρίς για πολλά χρόνια να εκπονούνται σχέδια διαχείρισης των πόρων και προσανατολισμός σε ένα μοντέλο Βιώσιμης Ανάπτυξης, ώστε να μην υπονομεύονται οι μελλοντικές γενεές. (Γκανούλης,2002).

Σε Εθνικό επίπεδο, από κάθε κάτοικο καταναλώνονται ποσότητες νερού διπλάσιες από τον παγκόσμιο μέσο όρο περίπου. Αυτό οφείλεται, λόγω κακής ποιότητας και ελλιπούς συντήρησης των αρδευτικών δικτύων κυρίως, επιπλέον το ποσοστό του νερού που καταναλώνεται στις γεωργικές εφαρμογές είναι ακόμα μεγαλύτερο (87% περίπου), ενώ οι απώλειες σε ορισμένες περιπτώσεις φτάνουν μέχρι και το 80%. (Στη χώρα μας αρδεύονται - έστω και ανεπαρκώς - 15 εκατομμύρια στρέμματα περίπου, το 1/10 δηλαδή της ελληνικής γης ή το 1/3 περίπου των γεωργικών εκτάσεων).

Η κατανάλωση του νερού για οικιακή χρήση είναι ανάλογη με το βιοτικό επίπεδο κάθε χώρας. Υψηλότερο βιοτικό επίπεδο και μεγαλύτερο εισόδημα συνεπάγεται και μεγαλύτερη κατανάλωση νερού (μεγαλύτερα σπίτια, καλύτερες συνθήκες καθαριότητας, κ.λπ.). Στην Ελλάδα όπως φαίνεται στο Σχ.,1.2, η οικιακή κατανάλωση νερού αντιστοιχεί στο 10% περίπου της συνολικής ποσότητας που καταναλώνεται ετησίως. (Στις μέρες μας το 90% των ελληνικών νοικοκυριών έχει πρόσβαση σε δίκτυο ύδρευσης, έναντι 30% στη δεκαετία του '50) (Κωστούλας, 2001).



Σχήμα 1.2: Ποσοστιαία κατανάλωση Υδατικών Πόρων / Κλάδο

Η βιομηχανία επίσης καταναλώνει σημαντικές ποσότητες νερού ενώ τα τελευταία χρόνια, αρκετοί κλάδοι εφαρμόζουν πλέον μεθόδους ανακύκλωσης. το νερό, δηλαδή, χρησιμοποιείται πολλές φορές στη διαδικασία παραγωγής των βιομηχανικών προϊόντων με στόχο η επαναχρησιμοποίηση του νερού να μειώνει τους ρυθμούς κατανάλωσής του και τον όγκο των βιομηχανικών αποβλήτων. Συμπερασματικά προκύπτει ότι είναι επιτακτική ανάγκη η στροφή σε παγκόσμιο επίπεδο σε σχεδιασμό και υλοποίηση πολιτικών που θα εξασφαλίζουν την πρόσβαση και ορθολογική χρήση των υδατικών πόρων ισότιμα σε όλους με απώτερο στόχο οι παρούσες ανθρώπινες ανάγκες να μην υπονομεύσουν τη δυνατότητα πρόσβασης στο υπέρτατο φυσικό αγαθό που ονομάζεται νερό στις μελλοντικές γενεές.

## 1.2 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΠΟΡΩΝ

Το νερό είναι ένας ανανεώσιμος αλλά περιορισμένος πόρος. Τα αποθέματα γλυκού νερού ανανεώνονται μέσω του υδρολογικού κύκλου, ωστόσο η διαθέσιμη ποσότητα νερού είναι περιορισμένη και η κατανομή του στον χώρο και τον χρόνο άνιση. Περαιτέρω περιορισμό στη διαθεσιμότητα του νερού δημιουργεί και η ρύπανσή του από ανθρωπογενείς δραστηριότητες (αστικές, βιομηχανικές, γεωργικές) [1].

Σε παγκόσμιο επίπεδο η κατανάλωση νερού για διάφορες χρήσεις αυξάνεται με ραγδαίους ρυθμούς. Η προσφορά όμως είναι δεδομένη, είναι ορισμένη, έχει κάποια ανώτερα όρια. Πέραν αυτού στην Ελλάδα, στις άλλες παραμεσόγειες χώρες, σε πολλές άλλες χώρες του κόσμου, σε ενδοετήσιο κύκλο, η ζήτηση του νερού είναι η μέγιστη (το καλοκαίρι), όταν η προσφορά του (η διαθεσιμότητά του) στη φύση είναι την ίδια περίοδο είναι η ελάχιστη. Δηλ. ο ενδοετήσιος κύκλος ζήτησης νερού, είναι ακριβώς αντίστροφος με αυτόν της φυσικής προσφοράς (διαθεσιμότητας). Με άλλα λόγια χρονική κατανομή της προσφοράς και ζήτησης είναι αντίστροφες. Επιπλέον πολύ συχνά σε περιοχές με μικρή προσφορά (διαθεσιμότητα) νερού, δηλ. με φτωχό ή μέτριο υδατικό δυναμικό, υπάρχει μεγάλη ζήτηση νερού, δηλ. μεγάλη πληθυσμιακή πυκνότητα και έντονη οικονομική δραστηριότητα, ενώ, αντίθετα, σε περιοχές με πλούσιο υδατικό δυναμικό δηλ. με μεγάλη προσφορά (διαθεσιμότητα) νερού, υπάρχει μικρή ζήτηση. Με άλλα λόγια η χωρική κατανομή της προσφοράς και ζήτησης είναι επίσης αντίστροφες [1].

Το νερό δεν είναι ένα εμπόρευμα, όπως όλα τα άλλα, όμως δεν αποτελεί και ένα δημόσιο αγαθό, στο οποίο η πρόσβαση μπορεί να είναι ανεξέλεγκτη. Απαιτεί συνετή διαχείριση, με στόχο την ικανοποίηση των πολλών και συχνά αντικρουόμενων χρήσεων του. Για την επίτευξη της ορθολογικής διαχείρισης είναι απαραίτητη μια ολοκληρωμένη προσέγγιση που δεν αντιμετωπίζει τις εκάστοτε χρήσεις αποσπασματικά, αλλά σε αλληλεξάρτηση μεταξύ τους. Μια προσέγγιση που επί πλέον λαμβάνει σοβαρά υπόψη, όχι μόνο τις ανθρώπινες απαιτήσεις σε νερό, αλλά και τις απαιτήσεις των οικοσυστημάτων.

Στην Ελλάδα, το 90% των ελληνικών νοικοκυριών έχουν σήμερα πρόσβαση σε δίκτυο ύδρευσης, έναντι 30% τη δεκαετία του '50. Η χρήση νερού για ύδρευση έχει αυξηθεί κατά 45% σε σχέση με το 1980 και η αυξητική τάση διατηρείται. Η αύξηση αυτή συνδέεται, κυρίως με την αύξηση της οικοδόμησης, την χρήση σύγχρονων πιο υδροφόρων συσκευών (π.χ. πλυντήρια) και σύγχρονων ανέσεων (π.χ. κήποι, μπάνια, πισίνες, κλπ.) (Κουτσογιάννης κ.ά., 2008).

Η μεγαλύτερη αστική ζήτηση παρατηρείται στην Αττική, όπου οι απώλειες από διαρροές (δίκτυο, κατοικίες κ.α.) αντιστοιχούν στο 10-40% του μεταφερόμενου νερού. Μια σειρά έργων (φράγμα Μαραθώνα, δέσμευση νερών λίμνης Υλίκης καθώς και ποταμών Μόρνου και Εύηνου) μπορούν να φέρνουν σήμερα στην Αττική 600.000.000 m<sup>3</sup> νερού το χρόνο. Όμως, τα έργα αυτά επαρκούν για να καλύπτουν τις ανάγκες της Αττικής μόνο μέχρι το 2030, αν συνεχιστούν οι σημερινές τάσεις κατανάλωσης νερού.

Ακόμη πιο ζοφερή είναι η εικόνα των καταναλωτικών αναγκών σε υδάτινους πόρους στη νησιωτική Ελλάδα που λόγω της ραγδαίας αύξησης του τουρισμού, ανάπτυξης του βιοτικού επιπέδου, της γεωγραφικής θέσης, τη γεωμορφολογία και τη κλιματική αλλαγή, καθιστούν την ανάγκη ύπαρξης ολοκληρωμένων σχεδίων διαχείρισης επιτακτικότερη από ποτέ. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι από στοιχεία και μελέτες προκύπτει ότι:

- Είκοσι (20) νησιά των Κυκλάδων και της Δωδεκανήσου αναμένεται να αντιμετωπίσουν αύξηση των ελλειμμάτων νερού από 25-40% στα επόμενα χρόνια.
- Στα άνυδρα νησιά καταλέγονται, τα νησιά των Κυκλάδων Τήνος, Κίμωλος, Μήλος, Αμοργός, Φολέγανδρος, Σίκινος, Σχοινούσα, Δονούσα, Κουφονήσι, Ηράκλεια, Θηρασιά και τα νησιά των Δωδεκανήσων Λειψοί, Μεγίστη, Αγαθονήσι, Νίσυρος, Πάτμος, Σύμη, Χάλκη, Κάλυμνος και Ψέριμος.
- Την τελευταία οκταετία μεταφέρθηκαν με πλοία - υδροφόρες 6.000.000 m<sup>3</sup> από τη Ρόδο, το Λαύριο και την Ελευσίνα.
- Αναμένεται μέσα στην επόμενη δεκαετία το υδατικό έλλειμα στις Κυκλάδες να φτάσει τα 1,3 εκατομμύρια m<sup>3</sup> και στα Δωδεκάνησα τα 1,6 εκατομμύρια m<sup>3</sup>, αν συνεχιστούν οι σημερινές τάσεις στην κατανάλωση νερού.
- Το 2004 δαπανήθηκαν 13 εκατομμύρια Ευρώ από το Υπουργείο Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής για τη μεταφορά νερού στα νησιά των Κυκλάδων και 20 εκατομμύρια Ευρώ για τη μεταφορά νερού στα νησιά των Δωδεκανήσων που αντιμετωπίζουν το πρόβλημα. (ΥΠΑΝ, ΕΜΠ, ΙΓΜΕ, και ΚΕΠΕ, 2003).

### **1.2.1 ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΟΔΗΓΙΑΣ ΠΛΑΙΣΙΟ (2000/60/EK)**

Από τις αρχές του 2000 σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης αλλά και στη χώρα μας έχουν τεθεί οι βάσεις για μια τέτοια ολοκληρωμένη προσέγγιση, μέσω της Οδηγίας Πλαίσιο για τα Νερά (2000/60/EK) και των επί μέρους θυγατρικών Οδηγιών. Άμεσος στόχος είναι να σταματήσει άμεσα η υποβάθμιση της ποιότητας των νερών. Μακροπρόθεσμος στόχος είναι να αποκτήσουν ως το 2015 όλα τα ύδατα στην Ευρωπαϊκή Ένωση «καλή ποιότητα» που θα ανταποκρίνεται σε αυστηρά οικολογικά και χημικά πρότυπα [2].

Σε σύγκριση με προγενέστερες αντιλήψεις η νέα αυτή πολιτική εισάγει καινοτόμες θέσεις όπως μεταξύ άλλων είναι η ολοκληρωμένη διαχείριση, η διαχείριση σε επίπεδο υδρολογικής λεκάνης, η αναγνώριση των αναγκών σε νερό των οικοσυστημάτων και η σημασία της συμμετοχής του πολίτη στο σχεδιασμό, τη λήψη των αποφάσεων και την παρακολούθηση της εφαρμογής της πολιτικής για τα νερά [2].

Το σύνθετο έργο του συντονισμού για την εφαρμογή της Οδηγίας Πλαίσιο για τα Νερά στη χώρα μας έχει αναλάβει το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, μέσω της Ειδικής Γραμματείας Υδάτων. Με κατάλληλες παρεμβάσεις, στο πνεύμα των απαιτήσεων των σχετικών Κοινοτικών Οδηγιών και σε συνεργασία με τις Διευθύνσεις Υδάτων των Αποκεντρωμένων Διοικήσεων που έχουν συσταθεί, η Ειδική Γραμματεία Υδάτων φιλοδοξεί να δημιουργήσει τις απαραίτητες συνθήκες ώστε να επιτευχθεί η αποτελεσματική προστασία του υδάτινου περιβάλλοντος και η ορθολογική και βιώσιμη διαχείριση και αξιοποίηση των πολύτιμων υδατικών μας πόρων.

Η αύξηση των πιέσεων στο υδατικό περιβάλλον καθιστά αναγκαία την εφαρμογή βιώσιμων πολιτικών ανάπτυξης και διαχείρισης των υδατικών πόρων, μέσω σχεδιασμού, υλοποίησης και βέλτιστης λειτουργίας έργων υποδομής και παρεμβάσεων διαχείρισης τόσο της προσφοράς όσο και της ζήτησης, π.χ. μέσω μέτρων εξοικονόμησης και επαναχρησιμοποίησης του νερού [2].

Μια ορθολογική πολιτική ανάπτυξης οφείλει επίσης να λαμβάνει υπόψη της και τη διαχείριση ακραίων φαινομένων και κρίσεων όπως τα προβλήματα λειψυδρίας και πλημμυρών αλλά και πιο μακροπρόθεσμους περιβαλλοντικούς στόχους, όπως η σε βάθος χρόνου προστασία των νερών και των σχετιζόμενων με αυτά οικοσυστημάτων, η βελτίωση της ποιότητας και της οικολογικής τους κατάστασης και βέβαια η σταδιακή μείωση απορριπτόμενων ρυπαντικών ουσιών και η προοδευτική εξάλειψη τοξικών αποβλήτων. Ειδικότερα για την Ελλάδα αξίζει να σημειωθεί ότι η χώρα μας είναι μία σχετικά ευνοημένη υδρολογικά χώρα της Μεσογείου, αν και η αναντιστοιχία της χρονικής και κυρίως χωρικής κατανομής των βροχοπτώσεων με τις χρονικές και χωρικές κατανομές της ζήτησης έχουν δημιουργήσει στο παρελθόν και εξακολουθούν να δημιουργούν προβλήματα έλλειψης νερού, ιδιαίτερα σε περιόδους ανομβρίας [2].

Ευρύτερα αποδεκτή είναι επίσης η διαπίστωση ότι, λόγω ευκολίας, η εκμετάλλευση των υπογείων νερών γίνεται με εντονότερο ρυθμό σε σύγκριση με την εκμετάλλευση των επιφανειακών νερών καθώς στη δεύτερη περίπτωση είναι αναγκαίες σοβαρές και συχνά μακροχρόνιες επενδύσεις.

Αν και ο βαθμός ανάπτυξης των έργων αξιοποίησης των επιφανειακών νερών στη χώρα μας είναι σχετικά περιορισμένος και υπάρχουν πρόσθετες δυνατότητες θα πρέπει ωστόσο να γίνει κατανοητό ότι η γενικότερη τάση μείωσης των προς εκμετάλλευση πόρων είτε λόγω κλιματικών αλλαγών η/και λόγω της εντεινόμενης ρύπανσης των νερών σε συνδυασμό με τις υιοθετημένες και από τη χώρα μας αυστηρότερες Ευρωπαϊκές απαιτήσεις ως προς την προστασία των υδρόβιων οικοσυστημάτων, επιβάλλουν περιορισμούς και καθιστούν δαπανηρότερα τα αναπτυξιακά αυτά έργα. Κατά συνέπεια, είναι επιτακτική η ανάγκη να δοθεί μεγαλύτερη έμφαση στη διαχείριση της ζήτησης και να μην θεωρούνται πλέον ως δεδομένες οι παραδοσιακές καταναλώσεις, οι παραδοσιακές απώλειες, η αδιαφορία ως προς τις δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης καθώς και η παραδοσιακή μέθοδος κοστολόγησης και τιμολόγησης του νερού [2].

Με την κατάρτιση των Σχεδίων Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών των Υδατικών Διαμερισμάτων της χώρας η Ελλάδα ολοκληρώνει την εφαρμογή των απαιτήσεων της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων (Οδηγία-Πλαίσιο για τα Νερά). Η διαδικασία διαβούλευσης σύμφωνα με τις απαιτήσεις της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ άρχισε στις 15 Οκτωβρίου 2011 για τις Λεκάνες Απορροής των Υδατικών Διαμερισμάτων Θεσσαλίας, Ηπείρου και Δυτικής Στερεάς Ελλάδας. Στις 18 Νοεμβρίου 2011 αναρτήθηκαν τα σχετικά κείμενα των Υδατικών Διαμερισμάτων Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης, στις 21 Νοεμβρίου 2011 αναρτήθηκαν τα κείμενα των Υδατικών Διαμερισμάτων Δυτικής, Βόρειας και Ανατολικής Πελοποννήσου και στις 13 Ιανουαρίου 2012 αναρτήθηκαν τα σχετικά κείμενα των Υδατικών Διαμερισμάτων Αττικής και Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας. Στις 21 Νοεμβρίου 2012 ολοκληρώθηκε η διαδικασία διαβούλευσης επί των Προσχεδίων Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής ποταμών των προαναφερόμενων δέκα Υδατικών Διαμερισμάτων. Στις 30 Ιουλίου 2012 ξεκίνησε η διαβούλευση για τα Υδατικά Διαμερίσματα Δυτικής και Κεντρικής Μακεδονίας, η οποία ολοκληρώθηκε στις 13 Δεκεμβρίου 2013 ενώ για το Υδατικό Διαμέρισμα Κρήτης ξεκίνησε στις 11 Ιουλίου 2013 [2].

Τα Σχέδια Διαχείρισης των λεκανών απορροής ποταμών των Υδατικών Διαμερισμάτων Δυτικής Πελοποννήσου (GR01), Βόρειας Πελοποννήσου (GR02), Ανατολικής Πελοποννήσου (GR03), Αττικής (GR06), Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (GR07) έχουν εγκριθεί από την Εθνική Επιτροπή Υδάτων και δημοσιευτεί στην Εφημερίδα της Κυβέρνησης (ΦΕΚ 1004 Β' /24-4-2013). Επίσης, τα Σχέδια Διαχείρισης των λεκανών απορροής ποταμών των Υδατικών Διαμερισμάτων Ηπείρου (GR05), Ανατολικής Μακεδονίας (GR11) και Θράκης (GR12) έχουν εγκριθεί από την Εθνική Επιτροπή Υδάτων και δημοσιευτεί στην Εφημερίδα της Κυβέρνησης στα ΦΕΚ 2292 Β' /13-9-2013, 2291 Β' /13-9-2013 και 2290 Β' /13-9-2013 αντίστοιχα. Τα Σχέδια Διαχείρισης των λεκανών απορροής ποταμών των Υδατικών Διαμερισμάτων Δυτικής Στερεάς Ελλάδας (GR04), Θεσσαλίας (GR08), Δυτικής Μακεδονίας (GR09) και Κεντρικής Μακεδονίας (GR10) έχουν ολοκληρωθεί και αναμένεται να εγκριθούν τέλος του έτους 2013 ή αρχές του έτους 2014 [2].

## 1.2.2 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ

Το Εθνικό Δίκτυο Παρακολούθησης συστηματοποιεί και επεκτείνει τα προγενέστερα δίκτυα παρακολούθησης και ακολουθώντας τη φιλοσοφία της Οδηγίας Πλαίσιο για τα Νερά (2000/60/EK) διακρίνεται σε εποπτικό, επιχειρησιακό και διερευνητικό. Επισημαίνεται ότι η Οδηγία 2000/60/EK χωρίς να την καταργεί, δεν περιορίζεται στην λογική της αξιολόγησης της ποιότητας των υδάτινων σωμάτων (επιφανειακών, μεταβατικών, παράκτιων και υπόγειων) σε συνάρτηση με τη χρήση τους και εισάγει τη λογική της οικολογικής κλιμακωτής διαβάθμισης (εξαιρετική, καλή, μέτρια, ελλιπής, κακή) με βάση χημικούς, βιολογικούς και υδρομορφολογικούς δείκτες, αντί της ισχύουσας διάκρισης σε επιτρεπτό/μη επιτρεπτό, βάσει οριακών τιμών αποκλειστικά χημικών παραμέτρων. Στόχος η επίτευξη τουλάχιστον της καλής χημικής και καλής οικολογικής κατάστασης σε όλα τα υδάτινα σώματα. Ειδικότερα για τη χημική παρακολούθηση απαιτείται ο καθορισμός καταλόγου επικίνδυνων ουσιών και ουσιών προτεραιότητας. Η Κοινοτική πολιτική για τις επικίνδυνες ουσίες είχε αρχικά διαμορφωθεί με την Οδηγία 76/464/EK, εν συνεχεία κωδικοποιήθηκε με την Οδηγία 2006/11/EK και σταδιακά ενσωματώνεται στην Οδηγία Πλαίσιο για τα Νερά. Η πρόσφατη οδηγία 2008/105/EK περί ουσιών προτεραιότητας θέτει περιβαλλοντικά πρότυπα ποιότητας για συγκεκριμένες ουσίες προτεραιότητας και άλλους ρυπαντές, τα οποία θα πρέπει να επιτευχθούν μέχρι το 2015, με τη βοήθεια κατάλληλων προγραμμάτων και μέτρων [3].

Ο προσδιορισμός οικολογικής κατάστασης βασίζεται στο βαθμό απόκλισης από τις συνθήκες αναφοράς, οι οποίες χαρακτηρίζονται ως εξαιρετικές. Ως καλή οικολογική κατάσταση ορίζεται η κατάσταση που αντιστοιχεί σε “μικρή” απόκλιση από τις συνθήκες αναφοράς. Για την αντιμετώπιση των εγγενών ασαφειών και την προώθηση κοινής κατανόησης και προσέγγισης του όρου καλή οικολογική κατάσταση για κάθε τύπο υδάτινου σώματος τα Κράτη Μέλη της ΕΕ συμμετέχουν σε “ασκήσεις” διαβαθμονόμησης (intercalibration exercise). Παράλληλα και συμπληρωματικά με το Εθνικό Δίκτυο Παρακολούθησης συνεχίζεται η συλλογή, καταγραφή και επεξεργασία των στοιχείων της Εθνικής Τράπεζας Υδρολογικών και Μετεωρολογικών Πληροφοριών (ΕΤΥΜΠ) [3].

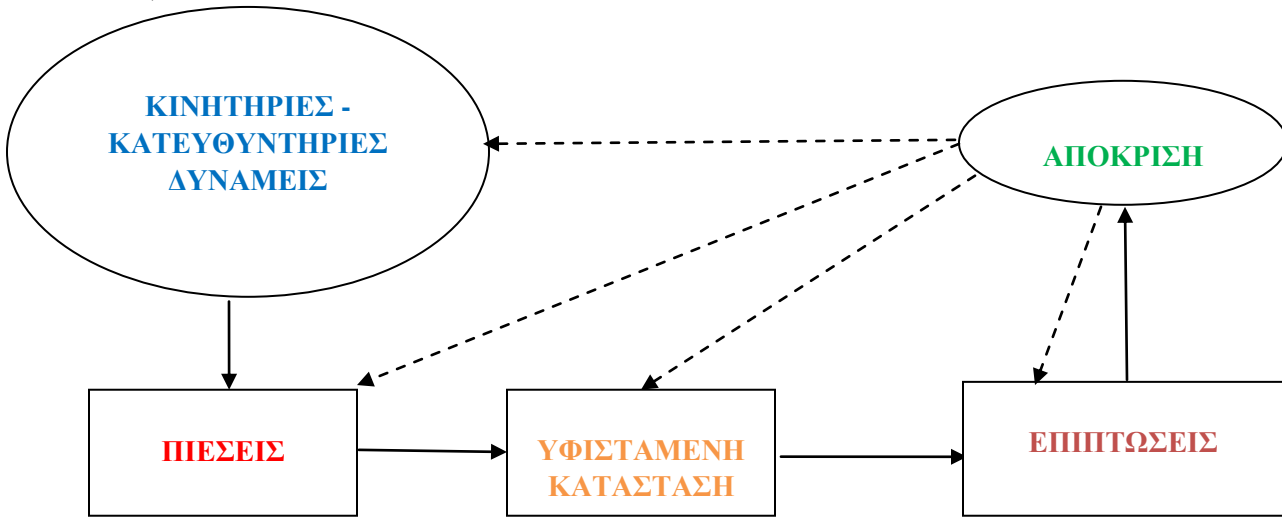
Πίνακας 1.1. Όρια φυσικοχημικών παραμέτρων για τη ταξινόμηση λιμναίων Υ.Σ.

(ΥΠΕΚΑ, Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2012)

<b>ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ</b>	<b>ΟΡΙΟ ΜΕΤΑΞΥ ΚΑΛΗΣ / ΜΕΤΡΙΑΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ</b>
Διαλυμένο Οξυγόνο	> 4 mg L <sup>-1</sup>
Συγκέντρωση σε Ιόντα Υδρογόνου pH	6 έως 9 σε μέση ετήσια τιμή
Ολικός Φώσφορος (P)	< 30 mg L <sup>-1</sup> (P) σε μέση ετήσια τιμή
Ολικό Άζωτο	< 1mg/l (N) σε μέση ετήσια τιμή
Αμμώνιο	< 0.5 mg/l (NH <sub>4</sub> ) σε μέση ετήσια τιμή
Νιτρώδη	< 0.05 mg/l (NO <sub>2</sub> ) σε μέση ετήσια τιμή
Χλωροφύλλη (α) για Φυσικές λίμνες	< 10μg/l σε μέση θερινή περίοδο

### 1.2.3 ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ (D.P.S.I.R.) ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Η (DPSIR) ανάλυση, Driving Force (Κατευθυντήριες Δυνάμεις), Pressure (Πιέσεις), State (Υφιστάμενη Κατάσταση), Impact (Επιπτώσεις) και Response (Απόκριση) αποτελεί ένα οργανωτικό, αναλυτικό και απλουστευμένο πλαίσιο όπως φαίνεται στο Σχ.1.3, που σκοπό έχει την προσέγγιση των περιβαλλοντικών προβλημάτων με χρήση απλών εννοιών προτείνοντας λύσεις περιβαλλοντικής διαχείρισης. Πρόκειται δηλαδή για ένα περιβαλλοντικό μοντέλο, το οποίο προσπαθεί με τη χρήση περιβαλλοντικών δεικτών, να περιγράψει την υφιστάμενη κατάσταση σε μια περιοχή, καθώς και να προσδιορίσει τα αίτια και την ένταση των πιέσεων που ασκούνται (Sors, 2001).



Σχήμα 1.3.: Διάγραμμα ροής μεθοδολογίας DPSIR (EC, 2008; ανασχεδιασμένο από <http://oset.ypen.gr>).

Η ανάλυση του πλαισίου DPSIR περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των κοινωνικό-οικονομικών δυνάμεων (αστικοποίηση, εντατικοποίηση της γεωργίας, τουριστικές απαιτήσεις, βιομηχανική ανάπτυξη, αλιεία και ιχθυοκαλλιέργεια κλπ.) που δημιουργεί τις πιέσεις στο σύστημα. Οι πιέσεις αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν τη σταδιακή μετατροπή της χρήσης γης, την εξόρυξη πρώτων υλών, την παρατεταμένη άντληση των υδατικών πόρων, την απορροή αστικών λυμάτων και απορριμμάτων στη θάλασσα, τη δημιουργία φραγμάτων και λιμενικών έργων, και μαζί με τις μεταβολές στο παγκόσμιο κλίμα και τις διεργασίες που κυριαρχούν σε κάθε παράκτιο σύστημα προκαλούν αλλαγές στην περιβαλλοντική κατάσταση του συστήματος. Οι αλλαγές αυτές, για παράδειγμα ευτροφισμός ή τοξική ρύπανση, γίνονται αργά ή γρήγορα αντιληπτές λόγω των επιπτώσεων τόσο στο οικοσύστημα όσο και στην ανθρώπινη υγεία. Οι επιπτώσεις οδηγούν στην επιλογή της κατάλληλης περιβαλλοντικής πολιτικής που θα στηριχτεί στις διαθέσιμες διαχειριστικές επιλογές (Alcamo et al., 2001).



Συνεπώς οι συσχετίσεις παραγόντων στην προσέγγιση του μοντέλου DPSIR περιγράφονται από δείκτες, οι οποίοι έχουν δύο κύριους στόχους: (α) μείωση του αριθμού παραμέτρων και (β) απλοποίηση της διαδικασίας επικοινωνίας με την οποία παρέχονται πληροφορίες και τα αποτελέσματα στον χρήστη (La Jeunesse et al., 2003). Έτσι, η εφαρμογή του μοντέλου DPSIR απαιτεί κατάλληλη λίστα των προδιαγραφών των δεικτών για να περιγράψει τη συσχέτιση των οικολογικών και κοινωνικοοικονομικών διεργασιών στις περιοχές μελέτης. Ανασκοπώντας τη βιβλιογραφία, υπάρχουν αρκετοί δείκτες που αντιπροσωπεύουν τους ανθρωπογενείς παράγοντες πίεσης και την ποιότητα των οικοσυστημάτων της λίμνης (EC, 2003 «Common implementation strategy for the Water Framework Directive» (2000/60/EC). Guidance Documents, no. 3: Analysis of Pressures and Impacts, p 148 ;( Alexakis et al., 2013).

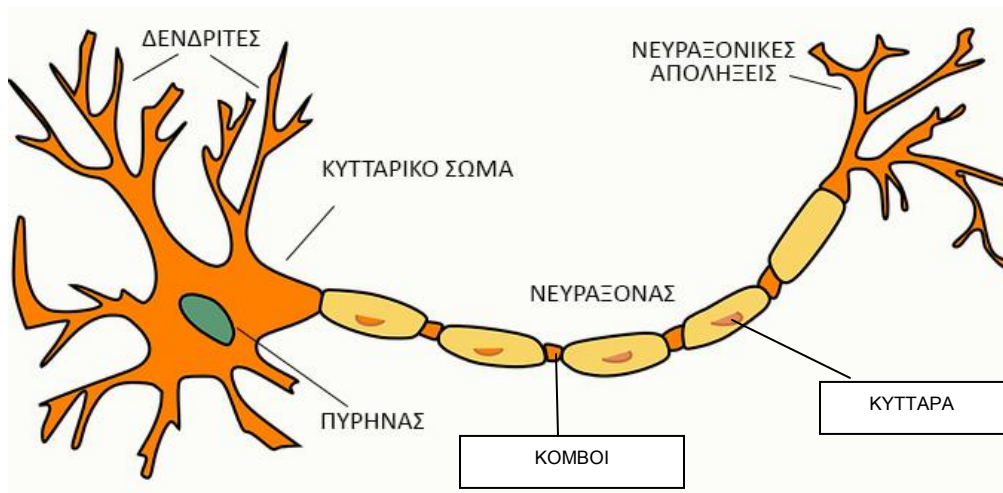
## 1.2.4 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

Παρακάτω αναφέρονται λοιπές νομοθετικές διατάξεις που λειτουργούν συμπληρωματικά με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ όπως παρουσιάστηκε παραπάνω για την προστασία των υδατικών πόρων:

- Οδηγία 91/692/ΕΚ: Ποιότητα επιφανειακών νερών από τα οποία αντλείται πόσιμο νερό.
- Οδηγία 2006/7/ΕΚ: Ποιότητα υδάτων κολύμβησης.
- Οδηγία 98/83/ΕΚ: Ποιότητα νερού ανθρώπινης κατανάλωσης.
- Οδηγία 81/885/ΕΚ, 91/692/ΕΚ: Μέθοδοι δειγματοληψίας και ελέγχου του νερού που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση.
- Οδηγία 648/2004/ΕΚ: Ρύπανση από τα απορρυπαντικά.
- Οδηγία 2006/11/ΕΚ: Έκχυση επικίνδυνων ουσιών στο υδάτινο περιβάλλον.
- Οδηγία 2006/113/ΕΚ: Απαιτούμενη ποιότητα των νερών για τα οστρακοειδή.
- Οδηγία 2006/44/ΕΚ: Απαιτούμενη ποιότητα των νερών για την διατήρηση της ζωής των ψαριών.
- Οδηγία 2006/118/ΕΚ: Προστασία των υπόγειων νερών.
- Οδηγία 91/676/ΕΚ: Προστασία των νερών από τη νιτρορύπανση που προκαλείται από χρήση λιπασμάτων στη γεωργία.
- Οδηγίας 91/272/ΕΚ και 98/15/ΕΚ: Υποχρέωση επεξεργασίας αστικών και βιομηχανικών λυμάτων.
- Οδηγία 79/117/ΕΚ, Κανονισμός 850/2004, Απόφαση 2006/507: Αντιμετώπιση των έμμονων οργανικών ρύπων (POP).
- Οδηγία 2008/1/ΕΚ: Ολοκληρωμένη πρόληψη και αντιμετώπιση της ρύπανσης των νερών κατά τη διαδικασία αδειοδότησης έργων και δραστηριοτήτων.
- Οδηγία 2007/60/ΕΚ: Αντιμετώπιση κινδύνων πλημμυρών.
- Οδηγία 2008/56/ΕΚ: Θαλάσσια στρατηγική.
- Οδηγία 2008/105/ΕΚ: Περιβαλλοντικά ποιοτικά πρότυπα για τις ουσίες προτεραιότητας και άλλους ρυπαντές.

### 1.3 ΝΕΥΡΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

Τα νευρωνικά δίκτυα (neural networks) αποτελούν μια σχετικά νέα περιοχή στις φυσικές επιστήμες, καθ' όσον έχουν γίνει γνωστά και έχουν αναπτυχθεί μόνο κατά τα τελευταία σαράντα περίπου χρόνια, καθώς οι προγενέστερες αρχικές προσπάθειες από το 1943, αποτέλεσαν μεν τον οδηγό της ανάπτυξής τους παράλληλα όμως δεν δημιούργησαν τις συνθήκες υιοθέτησης και αξιοποίησής τους. Αποτελούν επομένως ένα θέμα με μεγάλο ενδιαφέρον στις τεχνολογικές επιστήμες. Το κύριο χαρακτηριστικό τους είναι ότι οι πρώτες αρχές και λειτουργίες τους βασίζονται στο νευρικό σύστημα των ζώντων οργανισμών (και φυσικά του ανθρώπου) όπως φαίνεται στο Σχ.1.4, αλλά η μελέτη και η χρήση τους έχει προχωρήσει πολύ πέρα από τους βιολογικούς οργανισμούς, σήμερα τα νευρωνικά δίκτυα χρησιμοποιούνται για να λύσουν κάθε είδους σύνθετα προβλήματα. Η λειτουργία τους προσπαθεί να συνδυάσει τον τρόπο σκέψης του ανθρώπινου εγκεφάλου με τον αφηρημένο μαθηματικό τρόπο σκέψης. Έτσι στα νευρωνικά δίκτυα χρησιμοποιούμε ιδέες όπως, π.χ. ένα δίκτυο μαθαίνει και εκπαιδεύεται, θυμάται ή ξεχνά μια αριθμητική τιμή, κλπ. πράγματα που μέχρι τώρα τα αποδίδουμε μόνο στην ανθρώπινη σκέψη. Αλλά βέβαια μπορούν και χρησιμοποιούν επί πλέον και περίπλοκες μαθηματικές συναρτήσεις και κάθε είδους εργαλεία από την μαθηματική ανάλυση ( Anderson, 1995).



Σχήμα 1.4.: Σχηματικό διάγραμμα ενός τυπικού νευρώνα (ανασηχασμένο από <https://el.wikipedia.org>)

## 1.4 ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΝΕΥΡΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Η προσπάθεια ανάπτυξης τεχνητών νευρωνικών δικτύων (ΤΝΔ) κάνει την εμφάνισή της με την προσπάθεια των McCulloch and Pitts (1943) να αναπτύξουν αρχικά μοντέλα βασισμένα στην κατανόηση της νευρολογίας. Στην πορεία εξέλιξαν ακόμη περισσότερο την αρχική τους προσπάθεια ανοίγοντας τον δρόμο για την ανάπτυξη πλήθους μελετών, ενδεικτικά αναφέρουμε, (Farley and Clark, 1954; Rochester et al., 1956; Rosenblatt, 1957). Εκεί παρουσιάζεται μια κάμψη για 15 χρόνια μέχρι να αρχίσει και πάλι να μπαίνει η επιστήμη και ανάπτυξη των τεχνητών νευρωνικών δικτύων στη ζωή μας αφού είχε προηγηθεί μια σημαντική επιστημονική εργασία του βιολόγου Hopfield (1982) ο οποίος απέδειξε με μαθηματικό τρόπο πως ένα νευρωνικό δίκτυο μπορεί να λειτουργήσει ως αποθηκευτικός χώρος και σύναμμα μπορεί να ανακτήσει την πληροφορία ενός ολόκληρου συστήματος αν του δοθούν μόνο μερικά δεδομένα του συστήματος.

Σύμφωνα με τους Aleksander and Morton (1990), ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο είναι παράλληλος επεξεργαστής με καταναμημένη αρχιτεκτονική, ο οποίος αποτελείται από απλές μονάδες επεξεργασίας και έχει από τη φύση του τη δυνατότητα να αποθηκεύει εμπειρική γνώση και να την καθιστά διαθέσιμη για χρήση. Το ΤΝΔ μοιάζει με τον ανθρώπινο εγκέφαλο για δύο λόγους:

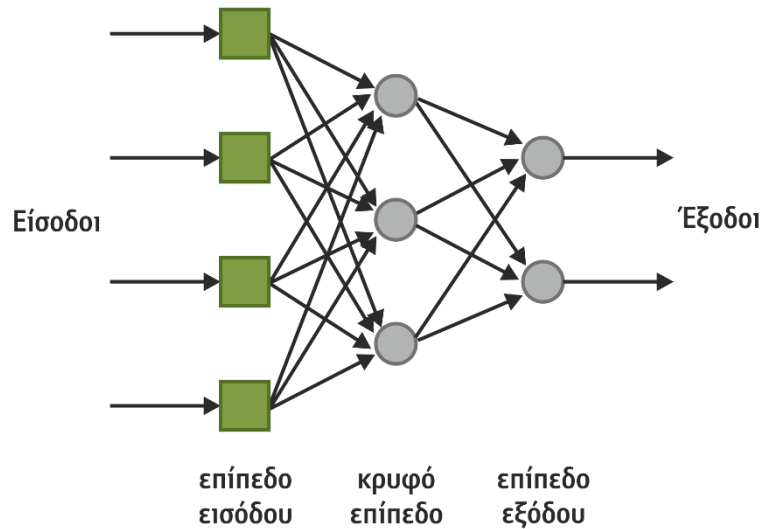
- Η γνώση αποκτιέται από το δίκτυο με τη διαδικασία της μάθησης (δοκιμή και σφάλμα).
- Οι δυνάμεις σύνδεσης μεταξύ των νευρώνων γνωστές και ως συναπτικά βάρη χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση της γνώσης

Φτάνοντας στην σημερινή εποχή όπου πλέον τα τεχνητά νευρωνικά συστήματα γνωρίζουν άνθιση και χρησιμοποιούνται ευρέως αποτελώντας ένα σπουδαίο εργαλείο για τον χώρο της εφαρμοσμένης έρευνας.

Τα τεχνητά νευρωνικά συστήματα χαρακτηρίζονται από δυο βασικές κατηγορίες :

- ΤΝΔ Προσοτροφοδότησης

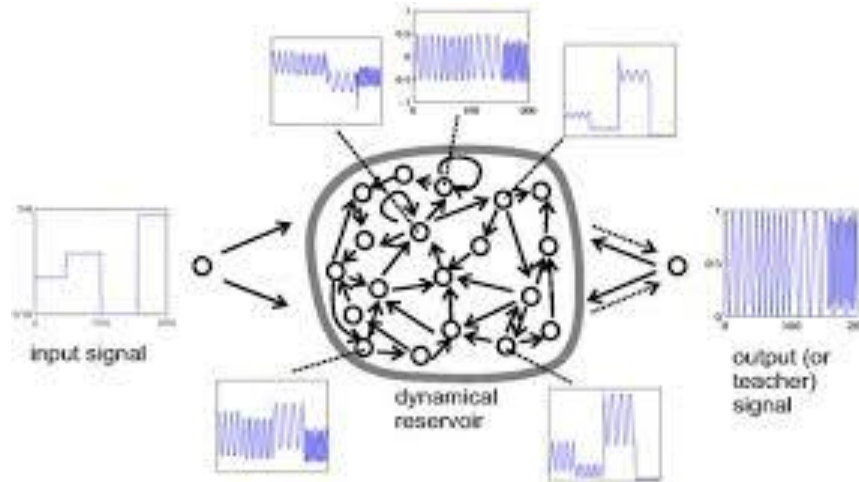
Νευρωνικά δίκτυα προσοτροφοδότησης (feed-forward networks): Η ροή των δεδομένων είναι αυστηρά από την είσοδο προς της έξοδο. Η επεξεργασία των δεδομένων μπορεί να επεκτείνεται σε πολλές μονάδες, χωρίς όμως να παρουσιάζονται συνδέσεις ανατροφοδότησης. Οι μονάδες μπορεί να είναι οργανωμένες σε επίπεδα όπως βλέπουμε στο Σχ.1.5. Ως επίπεδο ορίζεται το στρώμα στο οποίο γίνεται κάποιος υπολογισμός. Στη γενική περίπτωση περιέχει ένα ή περισσότερα κρυμμένα επίπεδα (hidden layers) των οποίων οι κόμβοι ονομάζονται κρυμμένοι νευρώνες. Τα δίκτυα αυτά ονομάζονται και πολυεπίπεδα (ή πολυστρωματικά) τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (ΤΝΔ) προσοτροφοδότησης. Οι έξοδοι του προηγούμενου επιπέδου λειτουργούν ως είσοδοι στο επόμενο ως ότου φθάσουν στο τελευταίο επίπεδο το οποίο ονομάζεται επίπεδο εξόδου.



Σχήμα 1.5.: Σχηματικό διάγραμμα πολυεπίπεδου ΤΝΔ προστροφοδότησης  
( <http://repfiles.kallipos.gr> )

- Αναδρομικά ΤΝΔ

Αναδρομικό είναι ένα δίκτυο στο οποίο υπάρχουν επιπλέον συνδέσεις προς τα πίσω, δηλαδή νευρώνες μεγαλύτερων στρωμάτων τροφοδοτούν είτε νευρώνες προηγούμενων στρωμάτων, είτε νευρώνες του ίδιου στρώματος. Υπάρχει δηλαδή ανατροφοδότηση μεταξύ νευρώνων και αυτό είναι ένας τρόπος εισαγωγής της δυναμικής συμπεριφοράς στο δίκτυο. Τα αναδρομικά δίκτυα είναι ιδιαίτερα κατάλληλα για μοντελοποίηση και έλεγχο δυναμικών συστημάτων. Η τιμή ενός νευρώνα δεν εξαρτάται μόνο από τις τιμές των εισόδων, αλλά και από τις τιμές των άλλων νευρώνων ή και του εαυτού του. Το σύστημα έχει μνήμη γιατί η απόκρισή του εξαρτάται όχι μόνο από την είσοδο αλλά και από τις αρχικές τιμές των νευρώνων.



Σχήμα 1.6.: Σχηματικό διάγραμμα Αναδρομικού ΤΝΔ  
( <http://www.scholarpedia.org> )

Μια από τις πιο βασικές ιδιότητες των Νευρωνικών Δικτύων είναι η ικανότητά τους για εκπαίδευση. Η εκπαίδευση αυτή επιτυγχάνεται μέσω της ανταλλαγής τιμών και βαρών, που αποσκοπεί στη βαθμιαία σύλληψη της πληροφορίας η οποία στη συνέχεια θα είναι διαθέσιμη προς ανάκτηση. Υπάρχουν, βέβαια, πολλοί αλγόριθμοι που η εφαρμογή τους έχει στόχο την προσαρμογή των τιμών των βαρών ενός Τεχνητού Νευρωνικού Δικτύου. Όλες οι μέθοδοι μάθησης μπορούν να καταταχθούν σε δύο κατηγορίες: τη μάθηση με επίβλεψη (supervised learning) και τη μάθηση χωρίς επίβλεψη (unsupervised learning) (Haykin, 1999).

Μάθηση με επίβλεψη: Η μάθηση αυτή είναι μια διαδικασία η οποία συνδυάζει έναν εξωτερικό εκπαιδευτή και τη συνολική ή γενικευμένη πληροφορία. Κάποιες από τις μεθόδους οι οποίες συγκαταλέγονται σε αυτή την κατηγορία είναι η μάθηση με διόρθωση σφάλματος, η στοχαστική μάθηση. Παραδείγματα τα οποία αντιπροσωπεύουν την μάθηση με επίβλεψη συμπεριλαμβάνουν αποφάσεις για το πότε θα πρέπει να σταματήσει η διαδικασία εκπαίδευσης, αποφάσεις αναφορικά με τη συχνότητα παρουσίασης στο δίκτυο τα πρότυπα εκπαίδευσης και η παρουσίαση προόδου του δικτύου. Η μάθηση με επίβλεψη χωρίζεται σε δύο ακόμα κατηγορίες: στη δομική (structural) και στην προσωρινή (temporal) εκμάθηση. Οι αλγόριθμοι οι οποίοι βρίσκονται στην πρώτη κατηγορία, χρησιμοποιούνται για την εύρεση της βέλτιστης σχέσης μεταξύ εισόδων και εξόδων για κάθε ξεχωριστό ζευγάρι προτύπων. Παραδείγματα της δομικής εκμάθησης αποτελούν η αναγνώριση και η κατηγοριοποίηση προτύπων, ενώ παραδείγματα της προσωρινής εκμάθησης η πρόβλεψη και ο έλεγχος (Διαμαντάρας, 2007).

Μάθηση χωρίς επίβλεψη: Οι αλγόριθμοι της εν λόγω μάθησης αναφέρονται ως αυτό-οργανωμένοι (self-organize). Μια από τις πιο βασικές ιδιότητες των Νευρωνικών Δικτύων είναι η ικανότητά τους για εκπαίδευση. Η εκπαίδευση αυτή επιτυγχάνεται μέσω της ανταλλαγής τιμών και βαρών, που αποσκοπεί στη βαθμιαία σύλληψη της πληροφορίας η οποία στη συνέχεια θα είναι διαθέσιμη προς ανάκτηση. Υπάρχουν, βέβαια, πολλοί αλγόριθμοι που η εφαρμογή τους έχει στόχο την προσαρμογή των τιμών των βαρών ενός Τεχνητού Νευρωνικού Δικτύου. Όλες οι μέθοδοι μάθησης μπορούν να καταταχθούν σε δύο κατηγορίες: τη μάθηση με επίβλεψη (supervised learning) και τη μάθηση χωρίς επίβλεψη (unsupervised learning).

Κατά κύριο λόγο οι περισσότερες διαδικασίες εκπαίδευσης είναι off-line. Όταν χρησιμοποιείται όλο το δείγμα προτύπων για την τροποποίηση των τιμών των βαρών, πριν την τελική χρήση του δικτύου ως εφαρμογή, τότε ονομάζεται off-line εκπαίδευση. Οι αλγόριθμοι εκπαίδευσης off-line έχουν την απαίτηση να βρίσκονται στην εκπαίδευση του δικτύου παρόντα όλα τα πρότυπα. Το γεγονός αυτό αποκλείει την πιθανότητα εισαγωγής νέων πληροφοριών μέσω νέων προτύπων. Βέβαια, υπάρχουν και Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα τα οποία δεν αποκλείουν την εισαγωγή νέας πληροφορίας, μετά την τελική τους μοντελοποίηση. Αν παρουσιαστεί ανάγκη εισαγωγής νέου προτύπου στο δίκτυο, μπορεί να γίνει απευθείας χωρίς τον κίνδυνο να χαθεί κανένα μέρος της αρχικής πληροφορίας. Το πλεονέκτημα των δικτύων που χρησιμοποιούν off line διαδικασίες εκπαίδευσης επικεντρώνεται κυρίως στη δυνατότητα να δίνουν καλύτερες λύσεις σε δύσκολα προβλήματα (Διαμαντάρας, 2007).

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω τα ΤΝΔ ουσιαστικά μιμούνται την λειτουργία του βιολογικού νευρώνα του εγκεφάλου, χρησιμοποιώντας διασυνδεδεμένα υπολογιστικά στοιχεία ανταποκρινόμενα στα ερεθίσματα που δέχονται από τις εισόδους τους (δεδομένα), μαθαίνοντας να προσαρμόζονται στο περιβάλλον τους παρουσιάζοντας στην χρήση τους κάποια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα όπου θα αναφέρουμε ενδεικτικά τα σημαντικότερα.

#### Πλεονεκτήματα

- Παρουσιάζουν ανοχή σε δεδομένα εκπαίδευσης, δηλαδή δεδομένα που περιστασιακά έχουν λανθασμένες τιμές (π.χ. λάθη καταχώρησης) ή παρουσιάζουν μειωμένα δεδομένα.
- Δίνουν τη δυνατότητα παράλληλης επεξεργασίας
- Έχουν εύκολη προσαρμοστικότητα
- Δεν υπάρχει ανάγκη χαρακτηρισμού του προβλήματος πέρα από το σύνολο προτύπων εκπαίδευσης.

#### Μειονεκτήματα

- Αδυνατούν να εξηγήσουν ποιοτικά τη γνώση που μοντελοποιούν.
- Δεν υπάρχουν σαφείς κανόνες για την ανάπτυξή τους.
- Η εκπαίδευση μπορεί να είναι δύσκολη ή αδύνατη σε πολύ σύνθετα προβλήματα
- Η ικανότητα γενίκευσης είναι δύσκολα προβλέψιμη.

Εν κατακλείδι, τα νευρωνικά δίκτυα είναι εφαρμόσιμα σχεδόν σε κάθε κατάσταση στην οποία ισχύει μια σχέση μεταξύ μεταβλητών πρόβλεψης (ανεξάρτητες εισροές) και προβλεπόμενες μεταβλητές (εξαρτημένες εκροές), ακόμα και όταν αυτή η σχέση είναι πολύ περίπλοκη για να αποδοθεί με τους συνηθισμένους όρους της «συσχέτισης» ή των «διαφόρων ομάδων».

## 1.5 ΣΚΟΠΟΣ – ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Στόχος και σκοπός της συγκεκριμένης Διπλωματικής εργασίας αποτελεί η διερεύνηση και χρονική διακύμανση της οικολογικής κατάστασης του Λιμναίου Υ.Σ. της Βεγορίτιδας Λίμνης (*Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας*), μέσω στατιστικής επεξεργασίας δεδομένων από 3 σημειακούς σταθμούς μέτρησης βιοχημικών δεικτών α) νησιάδα Αγ. Νικολάου β) στόμιο σήραγγας ΔΕΗ γ) Βεγόρα, στη βάση της προσέγγισης του περιβαλλοντικού μοντέλου DPSIR, δηλαδή αξιολόγηση κρίσιμων χημικών, βιολογικών δεικτών από το 1983 έως το 1997, (*Στοιχεία Υπουργείου Γεωργίας*), που επηρεάζονται από την διαχρονική άσκηση πιέσεων από την ανθρώπινη δραστηριότητα στην περιοχή έρευνας. Κατά καιρούς έχουν υπάρξει μελέτες και εργασίες για άλλα Υ.Σ. της Ελλάδας σε επίπεδο Διπλωματικών Εργασιών, Μελετών και Επιστημονικών Δημοσιεύσεων, αποτελώντας στοιχείο βάσης και για την εν λόγω Διπλωματική Εργασία. Επιπλέον είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι θα επιχειρηθεί πέρα από την οικολογική αξιολόγηση του Υ.Σ. και η δυνατότητα να εξαχθούν συμπεράσματα, προτάσεις και λύσεις για την ποιοτική αναβάθμιση του Υ.Σ. στην κατεύθυνση αφενός της διατήρησης του φυσικού περιβάλλοντος, αφετέρου δε της ορθολογικότερης χρήσης και βιώσιμης διαχείρισης των υδατικών πόρων που προσφέρει η συγκεκριμένη Λίμνη. Παράλληλα διαπιστώθηκε η ανάγκη εφαρμογής ενός ΤΝΔ ως εργαλείο πρόβλεψης – κάλυψης των ελλειψών δεδομένων από λήψη μετρήσεων σε σημειακούς σταθμούς και για το λόγο αυτό πραγματοποιήθηκε πιλοτικά στην εφαρμογή του για έναν κρίσιμο βιοχημικό δείκτη Φωσφόρου (P), μολονότι οι σημειακοί σταθμοί μέτρησης αντιμετώπιζαν αδυναμία λήψης μέτρησης για τον συγκεκριμένο δείκτη κατά συχνές περιόδους στο διάστημα αναφοράς 1983 - 1997. Πρέπει να αναφερθεί ότι σε πολλές περιπτώσεις η συλλογή δεδομένων αντιμετωπίζει δυσκολίες για τους ερευνητικούς σκοπούς, οι χρονολογικές διακυμάνσεις δεικτών παρουσιάζουν ελλείψεις μετρούμενων στοιχείων με αποτέλεσμα να μην είναι εύκολη η αξιολόγηση και εκτίμηση της κατάστασης. Στο πλαίσιο αυτό η υιοθέτηση ενός τέτοιου μοντέλου υπολογισμού, πρόβλεψης και συσχέτισης, δύναται να βοηθήσει στην καλύτερη αξιοποίηση και ανάλυση των δεδομένων.

Η ανάπτυξη του παραπάνω μοντέλου έχει στόχο να αποτελέσει πλέον της δυνατότητας πρόβλεψης – υπολογισμού και κάλυψης των κενών δεδομένων στις χρονοσειρές λήψης μετρήσεων, σύναμμα και χρήσιμο εργαλείο για την αντιμετώπιση προβλημάτων στη συλλογή δεδομένων. Τα παραπάνω αποσκοπούν στην δημιουργία - ανάπτυξη εργαλείων ενημέρωσης, διαχείρισης, πρόβλεψης και βελτίωσης της οικολογικής κατάστασης των Υ.Σ. της Χώρας.



## 2.1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η Βεγορίτιδα, ανήκει στις αλπικού τύπου λίμνες. Είναι θερμή μονομεικτική, με υψηλή περιεκτικότητα σε νιτρικό άζωτο και με αυξανόμενο ευτροφισμό. Παρουσιάζει ακανόνιστη υδραυλική συμπεριφορά και αποτελεί κλασσικό παράδειγμα καρστικής λίμνης που η εκφόρτωσή της γίνεται υπόγεια μέσω φυσικών αγωγών (Moss et al., 2003; Kagalou et al., 2009).

Κάποτε ήταν η μεγαλύτερη σε έκταση ( $40 \text{ km}^2$  σήμερα από  $65 \text{ km}^2$  σε παλαιότερα χρόνια) και βάθος (περί τα 26 m σήμερα και περί τα 80 m σε παλαιότερα χρόνια) λίμνη στην Ελλάδα, με σημερινό περιεχόμενο περί τα  $800 \times 10^6 \text{ m}^3$  νερό από  $2.200 \times 10^6 \text{ m}^3$  κατά τη δεκαετία του '50.



Εικόνα 2.1: Δορυφορική λήψη λίμνης Βεγορίτιδας  
(<http://www.vegoritida.gr>)

Αποτελεί εξαιρετικής σημασίας υδροβιότοπο καθώς φιλοξενεί πολλά και σπάνια είδη πουλιών και ψαριών. Σαν συνέπεια αυτού η λίμνη εντάσσεται στη ζώνη προστασίας της NATURA 2000 (κωδικός GR1340004) και αποτελεί καταφύγιο θηραμάτων σύμφωνα με το νόμο 177/75 [3]. Στην περιοχή έχουν καταγραφεί 162 είδη πουλιών από τα οποία φωλιάζουν τα 87. Σημαντικό είναι το γεγονός ότι στα χαμηλά βράχια γύρω από τη λίμνη φωλιάζει το απειλούμενο χρυσογέρακο. Στη λίμνη ζούνε αρκετά σπάνια είδη, όπως οι αργυροπελεκάνοι, οι ροδοπελεκάνοι, οι λαγγόνες και οι βαλτόπαπιες. Στους καλάμιώνες και στα δέντρα αναπαράγονται ερωδιοί λευκοτσικνιάδες, κρυπτοτσικνιάδες, νυκτοκόρακες και σταχτοτσικνιάδες, ενώ συναντά κανείς πολύ μεγάλους αριθμούς από σκουφοβουτηχτάρια. Από αρπακτικά στην περιοχή εμφανίζονται χρυσαετοί,

θαλασσαετοί, φιδαιοί, γερακίνες, καλαμόκιρκοι, βαλτόκιρκοι, λιβαδόκιρκοι, χειμωνόκιρκοι, πετρίτες, κερκινέζια, νανογέρακα, κ.ά. Άλλα είδη που συμπληρώνουν την ορνιθοπανίδα είναι: λευκοπελαργοί, χαλκόκοτες, κύκνοι, μαυροβουτηγάρια, αλκύνες, πορφυροτσικνιάδες, μικροτσικνιάδες, χουλιαρομύτες, μαχητές, νανοσκαλίδρες, δρεπανοσκαλίδρες, μπεκατσίνια, κοκκινოსκέληδες, φαλαρίδες, αργυρογάρωνα, ποταμογάρωνα, χαλκοκουρούνες, κούκοι, τσιγλοποταμίδες και διπλοκεφαλάδες. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι το μέγεθος της Βεγορίτιδας επιτρέπει την διαχείμανση χιλιάδων πουλιών, ιδιαίτερα όταν οι άλλες λίμνες της περιοχής παγώνουν[9].

Τα αμφίβια της λίμνης και της γύρω περιοχής περιλαμβάνουν φρύνους, βαλκανοβάτραχους, δεντροβάτραχους, ευκίνητους βάτραχους, γραικοβάτραχους και κιτρινομπομπίνες. Από τα ερπετά συναντά κανείς βαλτοχελώνες, ποταμοχελώνες, πρασινόσαυρες, τοιχόσαυρες, σαπίτες, λιμνόφιδα, νερόφιδα και οχιές. Στη λίμνη ζούνε αρκετές βίδρες, ενώ στα γύρω χωράφια απαντώνται οι σπάνιοι λαγόγυροι.

Η πανίδα συμπληρώνεται από την περιστασιακή παρουσία του λύκου και της αρκούδας και από άλλα θηλαστικά, όπως ο αγριόχοιρος, ο ασβός, η νυφίτσα, η αλεπού, το κουνάβι, ο λαγός και ο σκαντζόχοιρος. Σημαντική είναι η παρουσία πολλών σπάνιων λεπιδόπττερων, όπως τα *Agrodiaetus admetus*, *Agrodiaetus ripartii*, *Leptidea duponcheli*, *Freyeria trrrochylus*, *Strymonidia pruni*, και *Pieris ergane*. Στην λίμνη, ανάμεσα σε άλλα μαλάκια, έχουν καταγραφεί και δύο σπάνια, ενδημικά γαστερόποδα, το *Marstoniopsis graeca* και το *Graecoanatolica vegorriticola* [9].

Στη Βεγορίτιδα έχουν καταγραφεί 20 είδη ψαριών, από τα οποία ξεχωρίζουν το γριβάδι (*Cyprinus caprio*), ο γουλιανός (*Silurus glanis*), το θεσσαλόσιρκο (*Alburnus thessalicus*), η βάλκανική μπριάνα (*Barbus balcanicus*), η πεταλούδα (*Carassius gibelio*), το χέλι (*Anguilla*), η τούρνα (*Esox lucius*), ο βουλγαροκωβιός (*Gobio bulgaricus*), το μαυροτσιρώνι (*Pachychilon macedonicum*), το βαβούκι (*Rhodeus meridionalis*), το τσιρώνι (*Rutilus*), η κοκκινοφτέρα (*Scardinius erythrophthalmus*), το γλήνι (*Tinca*) και ο μακεδονικός ποταμοκέφαλος (*Squalius vardarensis*). Στη λίμνη έχουν εισαχθεί ο κορήγωνος (*Coregonus sp.*), ο σολομός κόχο (*Oncorhynchus kisutch*), η αμερικάνικη πέστροφα (*Oncorhynchus mykiss*) και ο σαλβελίνος (*Salvelinus fontinalis*). Σημαντική είναι η παρουσία στα πιο βαθιά νερά της λίμνης της караβίδας του γλυκού νερού (*Astacus fluviatilis*) [9].

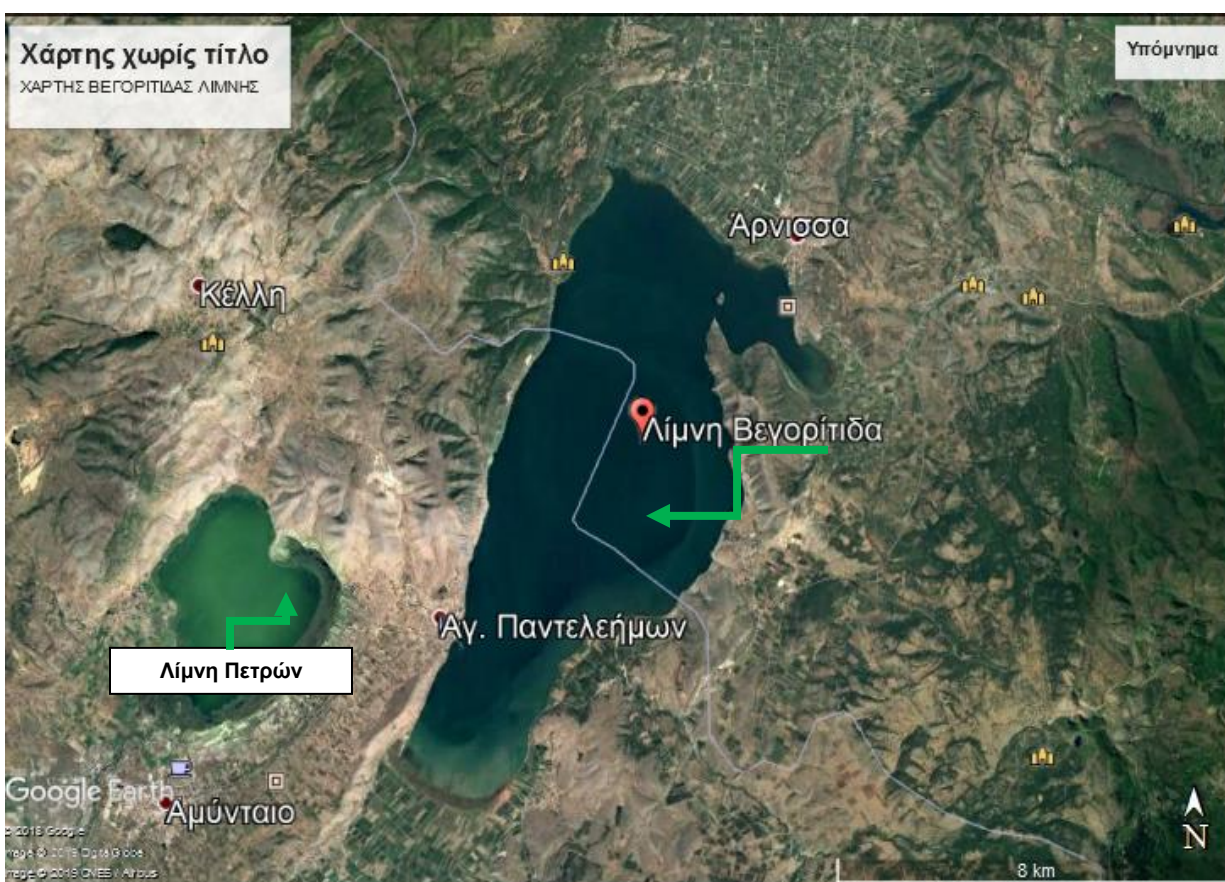
Η λίμνη αποτελεί το χαμηλότερο σημείο του συμπλέγματος των λιμνών Ζάζαρης, Χειμαδίτιδας και Πετρών, των οποίων δέχεται τα νερά μέσα από σύστημα διωρύγων και σήραγγας. Τροφοδοτείται από τα υδατορέματα Φαράγγι, Πεντάβρυσο (Σολού), Άνω Γραμματικού, Παναγίτσας, Άρνισσας και της λεκάνης απορροής της, η έκταση της οποίας ανέρχεται σε 1853 km<sup>2</sup>. (Ιωαννίδου κ.α., 2006).



**Εικόνα 2.2** : Πανοραμική άποψη της λίμνης Βεγορίτιδας  
(<http://www.naturagraeca.com>)

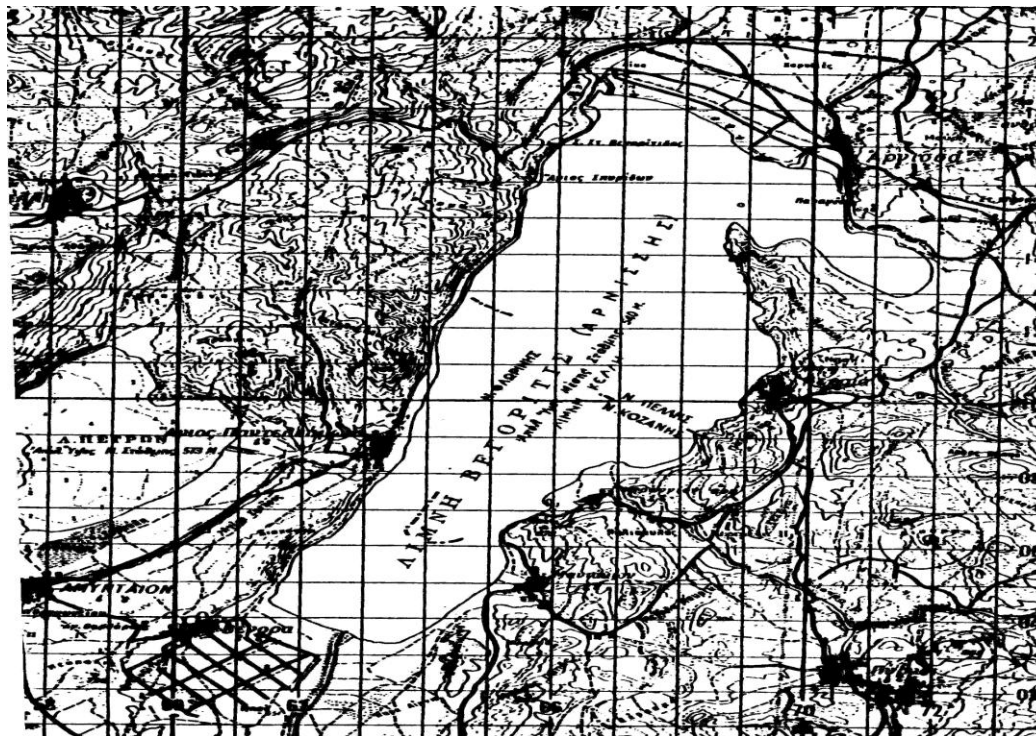
## 2.2 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ

Η λίμνη βρίσκεται στα βορειοδυτικά της Ελληνικής επικράτειας κοντά στα σύνορα με την Π.Γ.Δ.Μ. (Βόρεια Μακεδονία), ένα τμήμα της βρίσκεται εντός των γεωγραφικών ορίων της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας (ΠΚΜ) και το υπόλοιπο βρίσκεται εντός των ορίων της Περιφέρειας Δυτικής Μακεδονίας (ΠΔΜ). Ειδικότερα το τμήμα εντός της ΠΚΜ υπάγεται στο Δήμο Βεγορίτιδας του Νομού Πέλλας ενώ το τμήμα της ΠΔΜ υπάγεται στους Δήμους Αμυνταίου και Φιλώτα του Νομού Φλώρινας.



Εικόνα 2.3: Χάρτης Γεωγραφικής Τοποθέτησης Λίμνης Βεγορίτιδας  
( <https://earth.google.com> )

Όπως φαίνεται στον παραπάνω χάρτη, η λίμνη χωροθετείται δυτικά των πόλεων Έδεσσας και Φλώρινας σε απόσταση 25 km περίπου. Νότια της λίμνης και σε απόσταση 30 km. βρίσκεται η πόλη της Πτολεμαΐδας και δυτικότερα της λίμνης σε απόσταση 35-40 km. συναντώνται οι πόλεις της Φλώρινας και Καστοριάς. "Αδελφή" λίμνη της Βεγορίτιδας είναι αυτή των Πετρών, η οποία έχει περίπου το 1/3 της έκτασης της Βεγορίτιδας. (Τολίκας,1997).



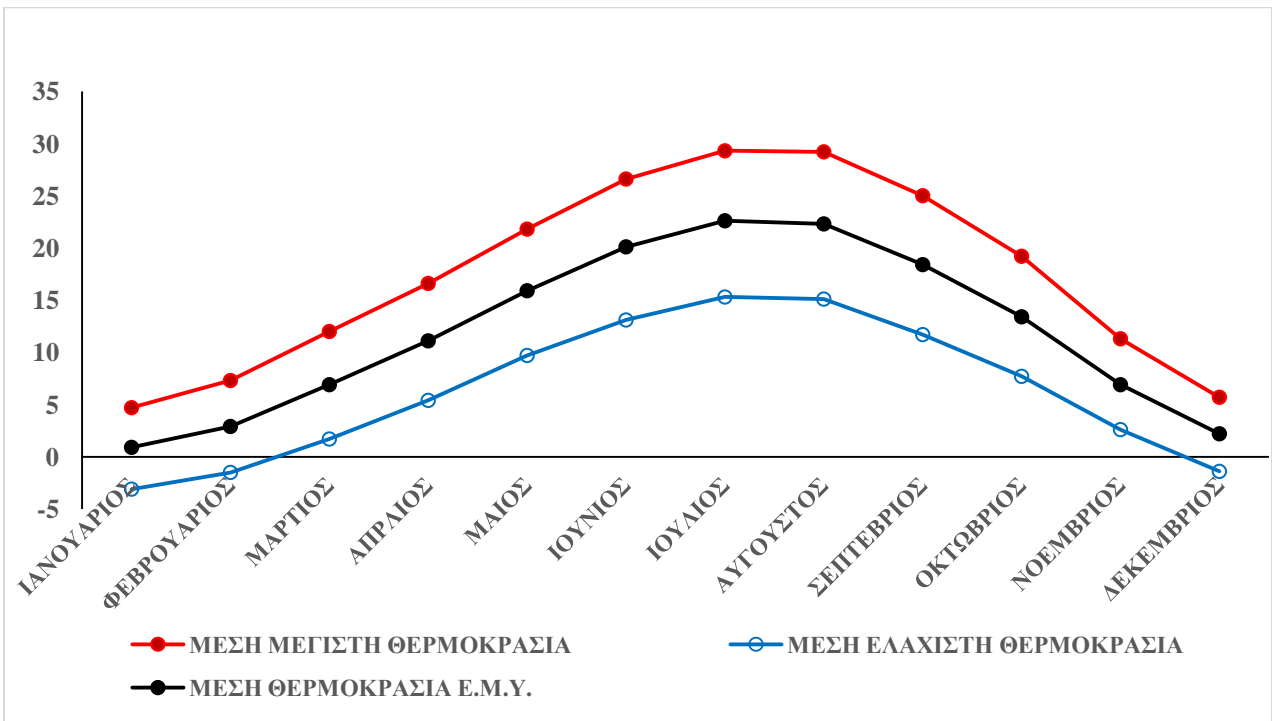
Εικόνα 2.4: Χάρτης Γεωγραφικής Τοποθέτησης Λίμνης Βεγορίτιδας  
(<http://www.vegoritida.gr>)

Παραλίμνιοι οικισμοί είναι αυτοί της Άρνισσας (2000 κάτοικοι) και της Περαίας (300 κάτοικοι) του Δήμου Βεγορίτιδας, Βεγόρας (500 κάτοικοι), Μανιακίου (500 κάτοικοι) και Φραγγίου (150 κάτοικοι) του Δήμου Φιλώτα ενώ τέλος αυτός του Αγίου Παντελεήμονα (1000 κάτοικοι) του Δήμου Αμυνταίου. Η πόλη του Αμυνταίου η οποία απέχει μόλις 2 km από τη νοτιοδυτική ακτή της Βεγορίτιδας, έχει 3500 περίπου κατοίκους και μαζί με την πόλη της Πτολεμαΐδας αποτελούν τα σημαντικότερα αστικά κέντρα της ευρύτερης υδρολογικής λεκάνης της Βεγορίτιδας, η οποία έχει έκταση 1853 km<sup>2</sup>.

Κύριο λόγο στο σχηματισμό της υδρολογικής λεκάνης της λίμνης έχουν οι ορεινοί όγκοι του Βόρα-Καϊμακτσάλαν στο Βορρά και Βερμίου στα ανατολικά – νοτιοανατολικά της λίμνης. Σημαντικά ρέματα στην περιοχή τα οποία τροφοδοτούν (περιοδικά ή μόνιμα) τη λίμνη είναι το ρέμα του Σουλού (Εορδαϊκός), το ρέμα των Πύργων, το ρέμα του Γραμματικού, το ρέμα της Παναγίτσας και το ρέμα της Άρνισσας. Η Βεγορίτιδα ανήκει στο ευρύτερο σύμπλεγμα των λιμνών Ζάζαρης, Χειμαρίτιδας και Πετρών.

## 2.3 ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Στην περιοχή έρευνας και σύμφωνα με τα στοιχεία της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας, η μέση μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία για την περιοχή κυμαίνεται στους 29.3 °C κατά το μήνα Ιούλιο και Αύγουστο και η μέση ελάχιστη στους -3.1 °C κατά το μήνα Ιανουάριο, ενώ η σχετική υγρασία κυμαίνεται από 43.7 % τον Ιούλιο μέχρι 73.7 % τον Ιανουάριο. Η μέση μηνιαία βροχόπτωση, παρουσιάζεται μέγιστη το Δεκέμβριο (+800 mm) και ελάχιστη τον Ιούλιο - Αύγουστο (+560 mm) [4]. Θα πρέπει να τονιστεί ότι τα κλιματικά δεδομένα ελήφθησαν από τον μετεωρολογικό σταθμό Φλώρινας και αφορούν την περίοδο (1981 – 2010), καθώς δεν ήτο δυνατό να συλλεχθούν σε βάθος δεκαετίας κλιματικά δεδομένα κοντινότερης στο Λιμναίο Υ.Σ. Βεγορίτιδας δεδομένου ότι δεν υπήρχε σταθμός μέτρησης μετεωρολογικών στοιχείων στην περιοχή έρευνας. Επομένως γίνεται παραδοχή ότι τα συγκεκριμένα κλιματικά δεδομένα όπως παρουσιάζονται στο Σχ.,2.1, δεν παρουσιάζουν μεγάλη διαφορά από τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή που περικλείεται η έκταση της λίμνης Βεγορίτιδα.



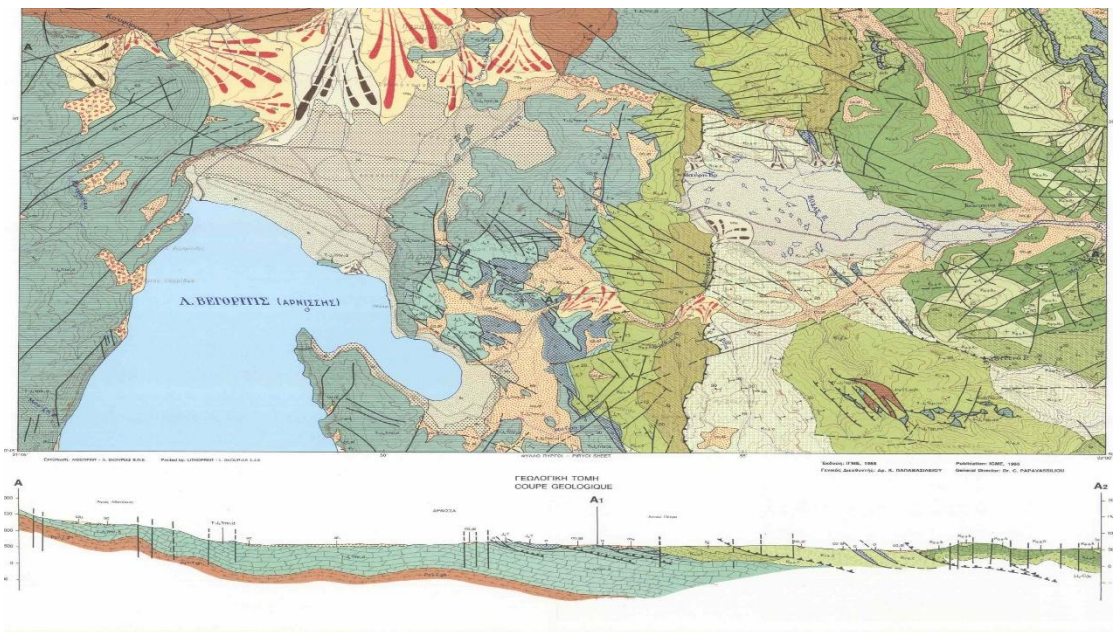
Σχήμα 2.1.: Κλιματικά δεδομένα Μετεωρολογικού Σταθμού Φλώρινας 1981 – 2010  
(Ε.Μ.Υ, δημιουργία διαγράμματος από στοιχεία Ε.Μ.Υ.)

## 2.4 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Σύμφωνα με τα στοιχεία της Ελληνικής Αρχής Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ε.Α.Γ.Μ.Ε.), στην περιοχή έρευνας υπάρχει μια πλούσια από γεωλογικής άποψης περιοχή και εστιάζοντας συγκεκριμένα στο Υ.Σ. Ο πυθμένας της λίμνης καλύπτεται από σιπολίτες και μάρμαρα, τα γεωλογικά αυτά στρώματα έχουν πάχος περίπου 1000 m. Ηλικιακά ανήκουν στο Τριαδικό – Ανώτερο Ιουρασικό ενώ τα ακριβή είδη των πετρωμάτων (με φορά από πάνω προς τα κάτω) έχουν ως εξής (ΙΓΜΕ, 2005):

- Μάρμαρα με διακλάσεις γεμισμένες με διοξείδιο του πυριτίου και χλωρίτη.
- Σιπολίτες με σκούρες τοφφινικές στρώσεις μικροπτυχομένες.
- Μάρμαρα και ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι με χαλαζία μοσχοβίτη και χλωρίτη.
- Δολομιτικά μάρμαρα με Φύκη.
- Ιδιαίτερα γεωλογικά ρήγματα δεν υπάρχουν.

Το ανάγλυφο γενικά δομείται από τα ανωτέρω πετρώματα ανθρακικής σύστασης με ιδιαίτερα βραχώδη υφή που δεν ενδείκνυνται για καμία σχεδόν δραστηριότητα (ιδιαίτερώς αγροκτηνοτροφική)[5].



**Εικόνα 2.5:** Απόσπασμα γεωλογικού χάρτη της περιοχής έρευνας (ΙΓΜΕ; Κλίμακα 1:50.000)  
( <http://www.vegoritida.gr> )

## 2.5 ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ

Σύμφωνα με τα δεδομένα της Ελληνικής Στατιστικής Υπηρεσίας (2014) στο Νομό Φλώρινας και τον Δήμο Πτολεμαΐδας από τον Νομό Κοζάνης που κατ' ουσία μόνο ανήκει στην λεκάνη της Βεγορίτιδας λίμνης η κύρια καλλιέργεια είναι τα σιτηρά που καταλαμβάνουν περίπου 300.000 στρέμματα., αραβόσιτος με 60.000 στρέμματα., όσπρια 12.700 στρέμματα., πατάτες 5.500 στρέμματα., τεύτλα 9.000 στρέμματα, κτηνοτροφικά φυτά 90.000 στρέμματα, 10.500 στρέμματα αμπέλια και 21.000 στρέμματα δένδρα.

Ένα σημαντικό ποσοστό του πληθυσμού ασχολείται με την κτηνοτροφία αλλά και με τις δραστηριότητες εξόρυξης λιγνίτη και παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος των εργοστασίων της ΔΕΗ που είναι εγκατεστημένα στην περιοχή Πτολεμαΐδας και Φιλώτα στα οποία οφείλεται και η σημαντική πτώση της στάθμης της λίμνης τα προηγούμενα χρόνια από υπεράντληση. Στο δήμο Αμυνταίου, οι εκτάσεις που καλύπτονται από γεωργικές δραστηριότητες καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο ποσοστό (66%), ακολουθούν οι περιοχές με δάση και ημιφυσικές εκτάσεις (23%), στη συνέχεια είναι οι εκτάσεις που καλύπτονται από νερά (8%), τέλος οι τεχνητές περιοχές (3%) (Κάπρος, 2014). Αξίζει να σημειωθεί ότι στην περιοχή της Πτολεμαΐδας έχουν κατασκευαστεί 270 γεωτρήσεις και στην περιοχή του Αμυνταίου γύρω στις 200. Η πλειονότητα των γεωτρήσεων αυτών είναι ερευνητικές ενώ ο ακριβής αριθμός των παραγωγικών γεωτρήσεων συνεχώς μεταβάλλεται και δεν υπάρχουν ακριβή στοιχεία (Παπαοικονόμου, 2010).

Η εξορυκτική δραστηριότητα και η λειτουργία των Ατμοηλεκτρικών Μονάδων Παραγωγής Ενέργειας (ΑΗΣ) επιδρά στο υδατικό ισοζύγιο της περιοχής ως εξής (Γκουντούλας, 2012):

- Εξαιτίας της υπεράντλησης από γεωτρήσεις έχουμε πτώση της στάθμης των υπόγειων υδάτων και αυτό για να αποτραπεί η είσοδος του νερού μέσα στα ορυχεία.
- Η κατασκευή των φραγμάτων και δεξαμενών συλλογής νερού για την κάλυψη των αναγκών ψύξης των Ατμοηλεκτρικών Μονάδων Παραγωγής Ενέργειας (ΑΗΣ) οι οποίες είναι υπερβολικά μεγάλες και δεν καλύπτονται από τα υδατικά αποθέματα της λεκάνης.
- Από τη μεταβολή του μικροκλίματος που έχει επέλθει στην περιοχή, παρατηρείται μείωση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και κατά συνέπεια μείωση στο υδατικό ισοζύγιο της περιοχής.

Παράγοντες που συντελούν στην υποβάθμιση του φυσικού περιβάλλοντος της περιοχής, δεδομένου ότι η ανθρώπινη δραστηριότητα εντάθηκε τα προηγούμενα χρόνια χωρίς να προβλεφθεί ένα σχέδιο διατήρησης και προστασίας του φυσικού περιβάλλοντος.



### 3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η συμβολή της ανάλυσης δεδομένων στην απόκτηση νέας γνώσης και στη διαδικασία λήψης αποφάσεων είναι ιδιαίτερα σημαντική. Γενικά, αν θεωρηθεί ότι μελετάται ένα δείγμα ενός ευρύτερου συστήματος, τότε η ανάλυση των δεδομένων που έχουν συλλεχθεί σε συνδυασμό με την αρχική γνώση που έχουμε για αυτό από προγενέστερες αναλύσεις του, οδηγούν σε νέες γνώσεις, οι οποίες με τη σειρά τους συμβάλλουν στη λήψη κατάλληλων αποφάσεων για τη βελτίωση του.



Σχήμα 3.1: Διαγραμματική ροή ανάλυσης δεδομένων

Για την επίτευξη του σκοπού της διπλωματικής μεταπτυχιακής εργασίας, πραγματοποιήθηκε συλλογή περιβαλλοντικών και υδρολογικών δεδομένων από το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων, Διεύθυνση Σ.Ε.Ε.& Α.Ε.Π., Τμήμα Προστασίας Αρδευτικών Υδάτων που αφορούσαν στη λίμνη Βεγορίτιδα σε τρεις σημειακούς σταθμούς μέτρησης για την περίοδο 1983 – 1997 [7]. Τα δεδομένα αυτά εμπεριέχουν ποιοτικά χαρακτηριστικά φυσικοχημικών δεικτών όπως αναφέρονται στον Πιν.3.1:

Πίνακας 3.1. Δείκτες δεδομένων συλλογής από Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων  
(Βεγορίτιδα Λίμνη)

ΔΕΙΚΤΕΣ	
Μετρηθείσα στάθμη	Θερμοκρασία νερού
Ηλεκτρική αγωγιμότητα	pH
Χλωριόντα	Φερτά υλικά
Όξινα ανθρακικά	Θειικά
Σύνολο ανιόντων & κατιόντων	Ουδέτερα ανθρακικά
Νάτριο	Μαγνήσιο
Ασβέστιο	S. A.R.
Βαθμός Αλκαλίωσης	Ολική Σκληρότητα
Διαλυμένο Οξυγόνο	Νιτρώδη
Νιτρικά	Αμμωνιακά
Ολικός φωσφόρος	Ολικός οργανικός άνθρακας

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ο συνδυασμός της ανάλυσης και επεξεργασίας των δεδομένων που αφορούν την διαχρονική διακύμανση των φυσικοχημικών δεικτών σε συνδυασμό με την αλληλεπίδραση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων και των πιέσεων που αυτές ασκούν διαχρονικά στην περιοχή έρευνας μπορούν να αποτελέσουν εργαλείο υιοθέτησης μέτρων για την βιώσιμη ανάπτυξη της περιοχής και τη διατήρηση της οικολογικής αξίας του υδροτοπικού συστήματος της λίμνης.

### 3.2 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Όπως αναφέρθηκε ήδη τα δεδομένα που συλλέχθηκαν σε ηλεκτρονική μορφή με το πρόγραμμα στατιστικής επεξεργασίας Excel, καταγράφουν τιμές των κρίσιμότερων φυσικοχημικών δεικτών όπως αυτοί αναφέρονται στον Πιν.3.1. για την περίοδο 1983 – 1997 και αφορούν το υπό έρευνα Υ.Σ. της Βεγορίτιδας Λίμνης, από την αρμόδια υπηρεσία του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων, Διεύθυνση Σ.Ε.Ε.& Α.Ε.Π., Τμήμα Προστασίας Αρδευτικών Υδάτων σε δύο περιόδους (υγρή – ξηρή) / έτος και σε μηνιαία βάση για τρεις σημειακούς σταθμούς μέτρησης που χωροθετούνται στις παρακάτω περιοχές:

- Νησιάδα ΑΓ. Νικολάου
- Στόμιο σήραγγας Δ.Ε.Η.
- Βεγόρα

Οι τρεις σημειακοί σταθμοί μέτρησης καλύπτουν γεωγραφικά τη μεγαλύτερη έκταση της λίμνης προσφέροντας τη δυνατότητα αντιπροσωπευτικής καταγραφής δεδομένων φυσικοχημικών δεικτών σε εστιακά κρίσιμα σημεία διαμόρφωσης της οικολογικής κατάστασης του υδάτινου σώματος. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η συλλογή μετρήσεων περιλαμβάνει καταγραφή μίας τιμής ανά δείκτη σε μηνιαία βάση και όχι ημερήσια με ότι αυτό συνεπάγεται ως προς την αντιπροσωπευτικότητα της μεταβολής και της διακύμανσης των δεδομένων.

### 3.3 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Το στάδιο επεξεργασίας περιλαμβάνει την αξιοποίηση των δεδομένων με την χρήση του στατιστικού πακέτου Excel, αφού πρώτα αποφασίστηκε η μορφή της επεξεργασίας και τα στάδια υπολογισμών που διενεργήθηκαν, ως εργαλείο για την εξαγωγή χρήσιμων και αξιοποιήσιμων αποτελεσμάτων, διαγραμμάτων και συμπερασμάτων ως αντικείμενο συζήτησης και συμβολής στην έρευνα της οικολογικής κατάστασης του Υ.Σ. της Βεγορίτιδας Λίμνης.

Κατόπιν των παραπάνω και κατά το στάδιο αρχικής επεξεργασίας διαπιστώθηκαν κενά στην καταγραφή των δεδομένων από τους σημειακούς σταθμούς μέτρησης σε διάφορους δείκτες αλλά κυρίως τον κρίσιμο για τις ανάγκες της έρευνας δείκτη του ολικού φωσφόρου (TP), όπου παρατηρήθηκαν οι εντονότερες ελλείψεις κατά την ξηρή κυρίως περίοδο, σε όλη την χρονοσειρά δειγματοληψίας 1983 – 1997. Στοιχείο που οδήγησε στην υιοθέτηση και εφαρμογή μοντέλου ΤΝΔ το οποίο συνέβαλε στην δημιουργία αντιπροσωπευτικότερων δεδομένων για τον συγκεκριμένο φυσικοχημικό δείκτη, με την παραδοχή ότι οι υπολογιζόμενες τιμές του δείκτη από την εφαρμογή του μοντέλου είναι πολύ κοντά στις πραγματικές τιμές.

Το επόμενο στάδιο της επεξεργασίας μετά την αναγκαία παραδοχή και εφαρμογή του μοντέλου ΤΝΔ, περιλαμβάνει τον υπολογισμό αρχικά των μέσων τιμών ανά δείκτη και περίοδο υγρής και ξηρής εποχής του έτους σε μηνιαία και ετήσια αναφορά για κάθε σταθμό μέτρησης, έτσι ώστε να προκύψει η μέση διακύμανση των φυσικοχημικών δεικτών σε κάθε σημειακό σταθμό ανά έτος και περίοδο.

Το τρίτο στάδιο αφορά στον υπολογισμό των μέσων τιμών σε κάθε φυσικοχημικό δείκτη ανά περίοδο σε ετήσια βάση συγκεντρωτικά ως αποτέλεσμα και των τριών σημειακών σταθμών μέτρησης για όλη τη χρονοσειρά 1983 – 1997, έτσι ώστε να μπορούν να συγκριθούν οι δείκτες και σε επίπεδο περιόδων μεταξύ σταθμών, όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο στάδιο αλλά και συνολικά για όλη τη λίμνη της Βεγορίτιδας. Επιπλέον για λόγους στατιστικής συσχέτισης υπολογίστηκαν επιπλέον οι μέσες συγκεντρωτικές συνολικές ετήσιες τιμές υγρής και ξηρής περιόδου μαζί για όλα τα δεδομένα ανά δείκτη ως αποτέλεσμα όλων των σημειακών σταθμών λήψης δεδομένων.

Το τελικό στάδιο περιλαμβάνει τη δημιουργία διαγραμμάτων παρουσίασης της διαχρονικής τάσης - διακύμανσης των φυσικοχημικών δεικτών που μελετήθηκαν και επεξεργάστηκαν τα προηγούμενα στάδια που προαναφέραμε και απεικονίζονται αναλυτικά στο κεφάλαιο τέσσερα, παράγραφος (4.2.).

### **3.3.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ**

Κατόπιν της ολοκλήρωσης του παραπάνω σταδίου που αφορούσε την επεξεργασία των δεδομένων, κρίθηκε σκόπιμο στη συνέχεια μέσω του στατιστικού προγράμματος Excel και S.P.S.S., (Στατιστικό Πακέτο Κοινωνικών Επιστημών), να αποτυπωθούν τα βασικά περιγραφικά στατιστικά στοιχεία για όλο το δείγμα σε κάθε δείκτη, σε όλη την περίοδο αναφοράς 1983 – 1997 και για κάθε περίοδο του έτους, περιλαμβάνοντας στοιχεία όπως : Μέσος όρος, Τυπικό σφάλμα, Διάμεσος, Επικρατούσα τιμή, Μέση απόκλιση τετραγώνου, Διακύμανση, Κύρτωση, Ασυμμετρία, Εύρος, Ελάχιστο, Μέγιστο, Άθροισμα, Πλήθος και Βαθμός εμπιστοσύνης για τους σημαντικότερους δείκτες που επιλέχθηκαν και αφορούσαν: Ενεργό Οξύτητα (pH), Ηλεκτρική αγωγιμότητα, Χλωριόντα (Cl<sup>-</sup>), Θειικά (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), Νάτριο (Na<sup>+</sup>), Μαγνήσιο (Mg<sup>2+</sup>), Διαλυμένο Οξυγόνο (O<sub>2</sub>), Ολικό Άζωτο, (TN), Ολικό Φώσφορο (TP), Νιτρικά (N-NO<sub>3</sub>), Νιτρώδη (N-NO<sub>2</sub>) και Αμμωνιακά (N-NH<sub>4</sub>). Η επεξεργασία και σε αυτή τη φάση ακολουθήθηκε έτσι ώστε να αποτελέσει εργαλείο ανάλυσης και αξιολόγησης της διαχρονικής κατάστασης του Υ.Σ. Τα περιγραφικά στατιστικά παρουσιάζονται στο κεφάλαιο τέσσερα, παράγραφος (4.3.).

### **3.3.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ**

Τα προηγούμενα στάδια αφορούσαν την στατιστική ανάλυση φυσικοχημικών δεικτών σε μεμονωμένο επίπεδο μεταξύ ιδίων δεικτών για όλη τη χρονοσειρά αναφοράς ως συγκεντρωτικό στοιχείο από τους τρεις σταθμούς λήψης δεδομένων. Στο στάδιο της ανάλυσης συσχέτισης με τη χρήση των προγραμμάτων στατιστικής Excel και S.P.S.S., επιχειρήθηκε η ανάλυση σε δυο βασικούς πυλώνες. Ο πρώτος πυλώνας αφορούσε το βαθμό συσχέτισης του κάθε δείκτη σε συνάρτηση με τους άλλους, ανά περίοδο αναφοράς (υγρή – ξηρή) και ο δεύτερος πυλώνας μελέτησε το βαθμό σημαντικότητας της σχέσης μεταξύ των δεικτών εκ νέου σε επίπεδο περιόδου. Επιπρόσθετα, επιχειρήθηκε η ανάλυση της συσχέτισης και σημαντικότητας και σε επίπεδο ομάδας δεικτών που αλληλοεπιδρούν σε υψηλό ποσοστό συσχέτισης μεταξύ τους ανά περίοδο. Η

αναλυτική περιγραφή των αποτελεσμάτων συσχέτισης και σημαντικότητας ακολουθεί στο κεφάλαιο τέσσερα, παράγραφος (4.4.).

### 3.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΝΕΥΡΩΝΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, αναπτύχθηκε ένα ΤΝΔ με σκοπό να προβλεφθεί η μέση ετήσια τιμή της συγκέντρωσης του ολικού φωσφόρου (P) σε mg/L κατά την υγρή περίοδο του έτους (Οκτώβριος-Απρίλιος) στη λίμνη Βεγορίτιδα. Το ανεπτυγμένο ΤΝΔ ανήκει στην κατηγορία των MLP δικτύων πολυστρωματικής αντίληψης-νόησης. Αποτελείται από ένα στρώμα εισόδου, ένα κρυφό στρώμα και ένα στρώμα εξόδου. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπαίδευση του ΤΝΔ ήταν μέσες ετήσιες τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, των ιόντων χλωρίου, των θεικών ιόντων, των όξινων ανθρακικών ιόντων, του συνόλου των ανιόντων και κατιόντων, των ιόντων νατρίου, των ιόντων μαγνησίου, του βαθμού αλκαλίωσης, της ολικής σκληρότητας του νερού, κλπ. Οι τιμές αυτές προέρχονταν από δειγματοληψία σε τρία διαφορετικά σημεία της λίμνης Βεγορίτιδας για μερικά από τα έτη της περιόδου 1983-1997. Μετά την κατάλληλη εκπαίδευση, το ανεπτυγμένο ΤΝΔ έχει τη δυνατότητα να δώσει μια πλήρη χρονοσειρά των μέσων ετήσιων τιμών συγκέντρωσης ολικού φωσφόρου για τη λίμνη Βεγορίτιδα για όλη τη χρονική περίοδο 1983-1997. Η τελική αρχιτεκτονική του ΤΝΔ που δημιουργήθηκε, αποτελείται από ένα στρώμα εισόδου με τρεις (3) νευρώνες εισόδου, ένα κρυφό στρώμα με τρεις (3) κρυφούς νευρώνες και ένα στρώμα εξόδου με έναν νευρώνα που αντιστοιχεί στην τιμή της συγκέντρωσης του ολικού φωσφόρου. Η επιλογή των κατάλληλων δεδομένων εισόδου αλλά και της αρχιτεκτονικής του ανεπτυγμένου ΤΝΔ βρέθηκε μετά από επαναληπτική εφαρμογή της μεθόδου της δοκιμής και του λάθους (trial and error method) (Nastos et al., 2011).

Για την αξιολόγηση της προγνωστικής ικανότητας των ΤΝΔ, χρησιμοποιήθηκαν κατάλληλοι στατιστικοί δείκτες αξιοπιστίας. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε το μέσο λάθος προκατάληψης-εμμονής (Mean Bias Error-MBE), το λάθος μέσης τετραγωνικής τιμής (Root Mean Square Error-RMSE), ο συντελεστής προσδιορισμού (coefficient of determination- $R^2$ ) και τέλος, ο δείκτης συμφωνίας (Index of Agreement-IA) (Moustris et al., 2010 ; Nastos et al., 2011).

Ειδικότερα το MBE αντιπροσωπεύει το βαθμό αντιστοιχίας μεταξύ της μέσης πρόβλεψης και της μέσης παρατήρησης. Το MBE χρησιμοποιείται για να περιγράψει πόσο το μοντέλο υποτιμά ή υπερεκτιμά τα παρατηρούμενα δεδομένα. Οι θετικές τιμές υποδηλώνουν υπερεκτίμηση και οι αρνητικές τιμές υποδεικνύουν υποεκτίμηση. Η εξίσωση 1 παρέχει τον τύπο του MBE.

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - A_i) \quad (3.1)$$

όπου  $F_i$  είναι η προβλεπόμενη από το μοντέλο τιμή,  $A_i$  είναι η αντίστοιχη πραγματική παρατηρούμενη τιμή του μεγέθους και  $N$  ο αριθμός των προβλέψεων (αριθμός ζευγών).

Το RMSE είναι ένας στατιστικός δείκτης αξιολόγησης που επίσης μετρά το μέσο σφάλμα. Είναι η τετραγωνική ρίζα του μέσου όρου τετραγωνικών διαφορών μεταξύ πρόβλεψης και πραγματικής παρατήρησης. Τόσο το MBE όσο και το RMSE εκφράζουν το μέσο σφάλμα πρόβλεψης του μοντέλου και έχουν τις ίδιες μονάδες με το μέγεθος του οποίου τις τιμές το μοντέλο προβλέπει. Η εξίσωση 2 παρέχει τον τύπο του RMSE.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_1^N (F_i - A_i)^2} \quad (3.2)$$

όπου επίσης,  $F_i$  είναι η προβλεπόμενη από το μοντέλο τιμή,  $A_i$  είναι η αντίστοιχη πραγματική παρατηρούμενη τιμή του μεγέθους και  $N$  ο αριθμός των προβλέψεων (αριθμός ζευγών).

Ο συντελεστής προσδιορισμού ( $R^2$ ) χρησιμοποιείται για να αναλύσει το πώς οι διαφορές σε μια μεταβλητή μπορούν να εξηγηθούν από τις διαφορές μιας δεύτερης μεταβλητής. Ειδικότερα, το  $R^2$  δίνει το ποσοστό της μεταβολής των δεδομένων που μπορεί να εξηγηθεί από το ανεπτυγμένο μοντέλο. Το εύρος των τιμών του είναι 0 έως 1 (δηλ. 0% έως 100% της διακύμανσης της μεταβλητής  $y$  μπορεί να εξηγηθεί από τις τιμές της μεταβλητής  $x$  μέσω της χρήσης ενός μοντέλου πρόβλεψης). Προφανώς, το καλύτερο αποτέλεσμα του  $R^2$  είναι το 100%. Η εξίσωση 3 παρέχει τον τύπο του συντελεστή προσδιορισμού.

$$R^2 = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (A_i - A_{ave})(F_i - F_{ave})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (A_i - A_{ave})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (F_i - F_{ave})^2}} \right]^2 \quad (3.3)$$

όπου επίσης,  $F_i$  είναι η προβλεπόμενη από το μοντέλο τιμή,  $A_i$  είναι η αντίστοιχη πραγματική παρατηρούμενη τιμή του μεγέθους,  $F_{ave}$  και  $A_{ave}$  είναι η μέση τιμή αντίστοιχα της προβλεπόμενης από το μοντέλο τιμής και της παρατηρούμενης-πραγματικής τιμής και  $N$  ο αριθμός των προβλέψεων (αριθμός ζευγών).

Τέλος, ο δείκτης συμφωνίας (IA) δείχνει πόσο κοντά είναι οι προβλεπόμενες από το ανεπτυγμένο μοντέλο τιμές με τις παρατηρούμενες-πραγματικές τιμές της παραμέτρου. Παίρνει τιμές από 0 έως 1. Όταν το IA είναι κοντά στο 1, σημαίνει ότι οι προβλεπόμενες τιμές από το αναπτυγμένο προγνωστικό μοντέλο είναι πολύ κοντά στις αντίστοιχες παρατηρούμενες τιμές που σημαίνει πρακτικά ότι έχουμε ένα μικρό προγνωστικό σφάλμα. Η εξίσωση 4 παρέχει τον τύπο IA.

$$IA = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (F_i - A_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|F_i - A_{ave}| + |A_i - A_{ave}|)^2} \quad (3.4)$$

όπου επίσης,  $F_i$  είναι η προβλεπόμενη από το μοντέλο τιμή,  $A_i$  είναι η αντίστοιχη πραγματική παρατηρούμενη τιμή του μεγέθους,  $A_{ave}$  είναι η μέση τιμή της παρατηρούμενης-πραγματικής τιμής και  $N$  ο αριθμός των προβλέψεων (αριθμός ζευγών).

### 3.5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ D.P.S.I.R. ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Το συγκεκριμένο στάδιο περιλαμβάνει την ανάλυση του πλαισίου D.P.S.I.R. και συγκεκριμένα των τον προσδιορισμό των κοινωνικό-οικονομικών δυνάμεων (αστικοποίηση, εντατικοποίηση της γεωργίας, τουριστικές απαιτήσεις, βιομηχανική ανάπτυξη, αλιεία, ιχθυοκαλλιέργεια κλπ.) που δημιουργεί τις πιέσεις στο σύστημα (EC,2003) Common implementation strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC) ; Guidance Documents, no. 3: Analysis of Pressures and Impacts, p 148. Οι πιέσεις αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν τη σταδιακή μετατροπή της χρήσης γης, την εξόρυξη πρώτων υλών, την παρατεταμένη άντληση των υδατικών πόρων, την απορροή αστικών λυμάτων και απορριμμάτων, τη δημιουργία φραγμάτων και μαζί με τις μεταβολές στο παγκόσμιο κλίμα και τις διεργασίες που κυριαρχούν σε κάθε παράκτιο σύστημα και προκαλούν αλλαγές στην περιβαλλοντική και οικολογική κατάσταση του συστήματος. Στο πλαίσιο αυτό επιχειρήθηκε η σύνδεση των παραπάνω παραγόντων με την διαχρονική διακύμανση των φυσικοχημικών δεικτών που συλλέχθηκαν και βρίσκονται σε άμεσο επηρεασμό από τις εντατικές ανθρώπινες δραστηριότητες στο διάστημα αναφοράς 1983 – 1997. Συνεπώς αναπτύχθηκε η ζεύξη δραστηριότητας - μεταβολής φυσικοχημικού δείκτη ως ένα επιπλέον μεθοδολογικό εργαλείο που μπορεί να συνεισφέρει στην υιοθέτηση σχεδίων δράσης και διαχείρισης για το υπό έρευνα Υ.Σ. στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής οδηγίας (2000/60 ΕΚ).

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι τα υδατικά συστήματα επιβαρύνονται με ποικίλους τρόπους. (Wetzel, 2001) Τέσσερις τύποι υποβάθμισης των επιφανειακών συστημάτων υδάτων έχουν εμφανιστεί σε πρόσφατους χρόνους. Η επιβάρυνση με θρεπτικές ουσίες, ιδιαίτερα φωσφόρου και αζώτου, είχαν ως αποτέλεσμα την εμφάνιση φαινομένων επιταχυνόμενου ευτροφισμού στα λιμναία οικοσυστήματα, υπερβολική δηλαδή, ανάπτυξη φυτοπλαγκτού και μακροφύτων. Ένας δεύτερος τύπος υποβάθμισης προκύπτει κυρίως από γεωργικές δραστηριότητες και οδηγεί σε προσχώσεις, απώλεια όγκου στο υδατικό ενδιαίτημα και ρύπανση από γεωργικά φάρμακα. Έναν τρίτο τύπο υποβάθμισης αποτελεί η υπερβολική φόρτιση ιόντων υδρογόνου ισχυρών οξέων, που προκύπτουν από αέρια (π.χ. SO<sub>2</sub> και NOX) προερχόμενα από προϊόντα καύσης ορυκτών καυσίμων, τα οποία είναι διαλυμένα στις ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις ή προσρροφημένα σε σωματίδια και αποτίθενται από την ατμόσφαιρα στα επιφανειακά ύδατα ή τη χέρσο. Η προκύπτουσα οξίνιση των ανεπαρκώς ρυθμιζόμενων υδάτων, όχι μόνον αυξάνει την οξύτητα και αλλοιώνει τις οσμωρυθμιστικές ικανότητες των οργανισμών, αλλά μεταβάλλει τη διαλυτότητα και τη βιοδιαθεσιμότητα πολλών μετάλλων και άλλων ιόντων ποικίλης τοξικότητας. Ο τέταρτος, τέλος, τύπος υποβάθμισης περιλαμβάνει την εισαγωγή τοξικών ουσιών, όπως βαρέα μέταλλα, χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες και ραδιενεργά υλικά. Οι πηγές όλων αυτών των ρύπων είναι συχνά διάχυτες (μη σημειακές), γεγονός που καθιστά τον έλεγχό τους πολύ δύσκολο (Wetzel, 2001).

#### 4.1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ - ΣΤΑΔΙΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στο Κεφάλαιο 4 παρατίθενται τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των δεδομένων με τα μεθολογικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για τις ανάγκες της έρευνας και αναπτύχθηκαν στο κεφάλαιο (3), σε τέσσερα στάδια.

Το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει τη σχηματική απεικόνιση και σχολιασμό των σημαντικότερων βιοχημικών δεικτών όπως προέκυψαν από τη συλλογή, επεξεργασία και στατιστική ανάλυση των δεδομένων κατά την υγρή (Οκτώβριος – Απρίλιος) και ξηρή (Μάιος – Σεπτέμβριος) περίοδο στα τρία σημεία δειγματοληψίας:

- Νησιάδα ΑΓ. Νικολάου
- Στόμιο σήραγγας ΔΕΗ
- Βεγόρα

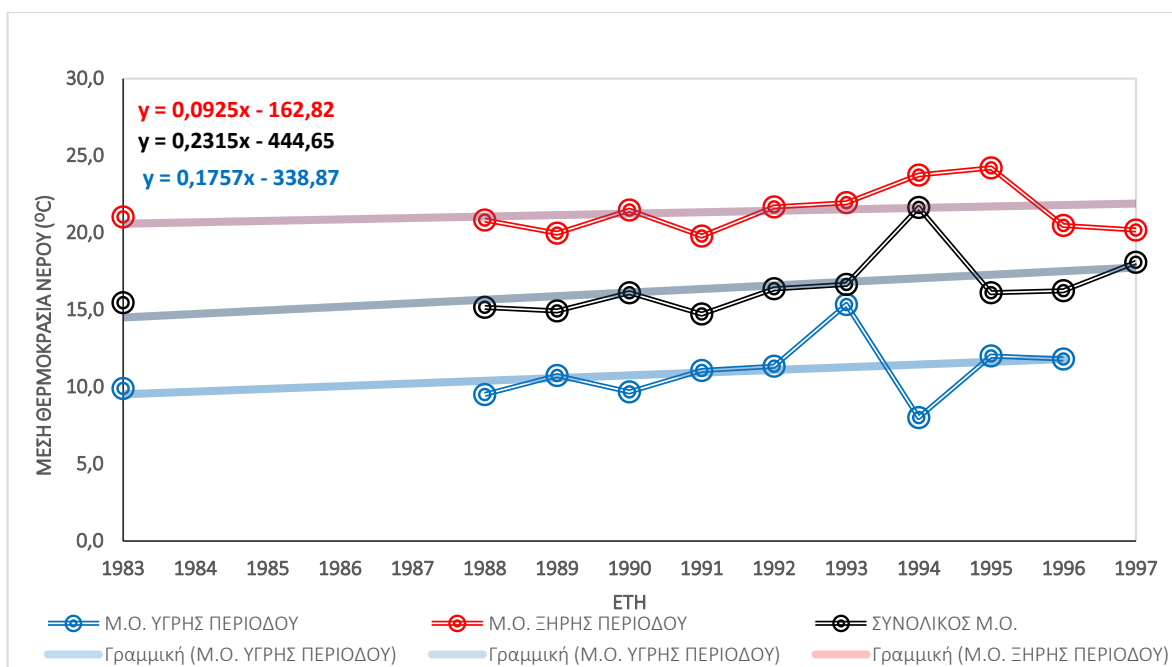
Στο δεύτερο στάδιο περιλαμβάνονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής του ΤΝΔ που χρησιμοποιήθηκε για την περίπτωση της μελέτης του φυσικοχημικού δείκτη Ολικού Φώσφορου (TP)  $\text{mg/L}^{-1}$  δεδομένου της παραδοχής ότι τα στοιχεία για τον συγκεκριμένο δείκτη εμφάνιζαν πολλά κενά και για τις δυο περιόδους του χρόνου (υγρή – ξηρή), στοιχείο που οδήγησε στην ιδέα της εφαρμογής και ανάπτυξης του συγκεκριμένου μοντέλου πρόβλεψης πιθανών τιμών κατά την χρονοσειρά αναφοράς (1983 - 1997). Στο τρίτο στάδιο περιλαμβάνονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής των περιγραφικών στατιστικών, συσχετίσεων και σημαντικότητας μεταξύ των φυσικοχημικών δεικτών.

Τέλος στο τέταρτο στάδιο περιλαμβάνονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής (DPSIR), Driving Forces-Pressure-State- Impact-Response. Η ανάλυση των κρίσιμων φυσικοχημικών δεικτών, που επηρεάζονται από τις πιέσεις που ασκούνται στην περιοχή της έρευνας και περιλαμβάνουν τις χρήσεις γης, την εξόρυξη πρώτων υλών, την παρατεταμένη άντληση των υδατικών πόρων, την απορροή αστικών λυμάτων και απορριμμάτων, τη δημιουργία φραγμάτων και μαζί με τις μεταβολές στο παγκόσμιο κλίμα και τις διεργασίες που κυριαρχούν σε κάθε παράκτιο σύστημα προκαλούν αλλαγές στην περιβαλλοντική κατάσταση του συστήματος, στο πλαίσιο αυτό η ανάλυση δύναται να οδηγήσει στην επιλογή της κατάλληλης περιβαλλοντικής πολιτικής που θα στηριχτεί στις διαθέσιμες διαχειριστικές επιλογές (Alcamo et al., 2001).



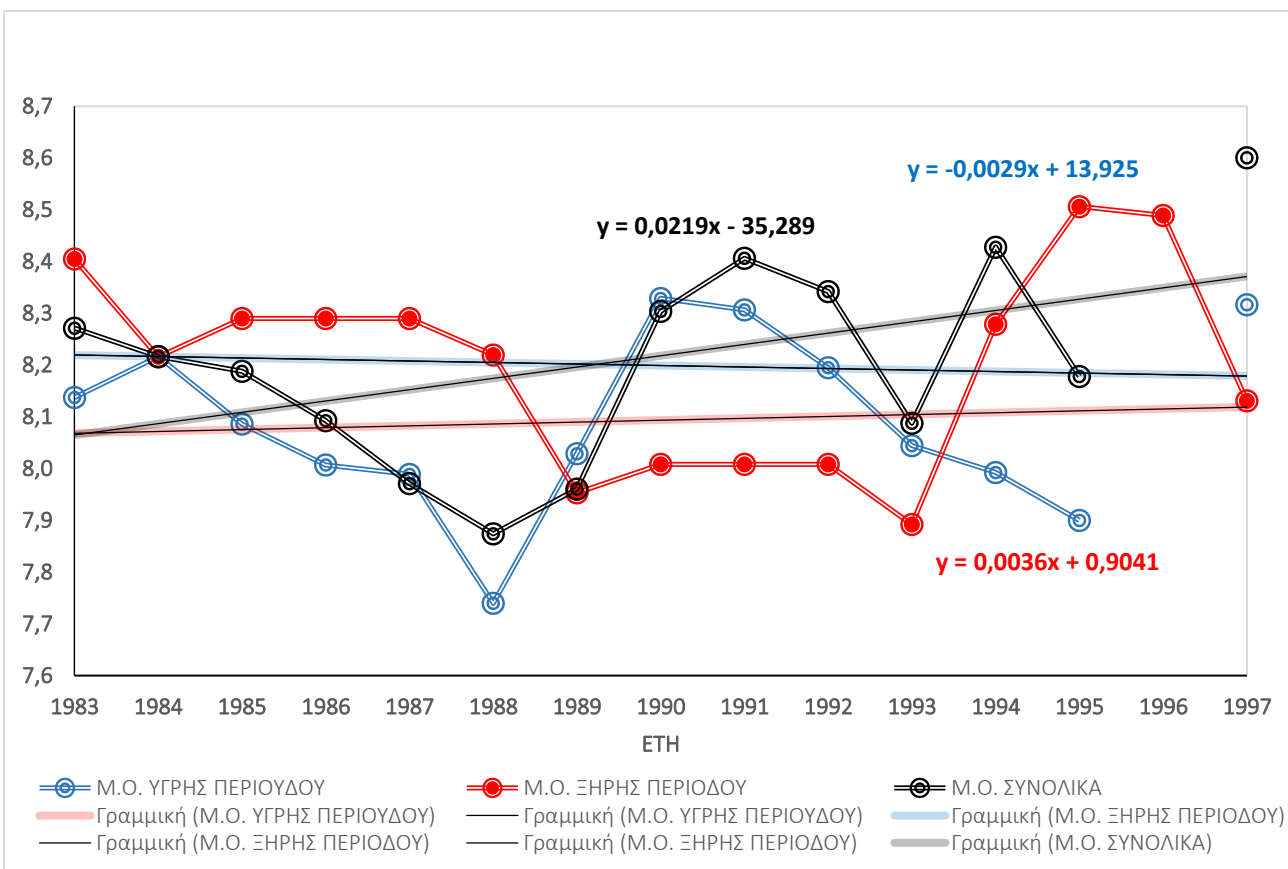
## 4.2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Στο Σχ.4.1. παρατηρείται η διακύμανση της μέσης θερμοκρασίας νερού της λίμνης, όπως προέκυψε από τις θερμοκρασιακές τιμές που μετρήθηκαν κατά την υγρή και ξηρή περίοδο. Παρατηρείται διακύμανση των θερμοκρασιών με μια εξαίρεση κατά την περίοδο των ετών 1993 – 1994, όπου στην υγρή περίοδο σημειώνεται αύξηση θερμοκρασίας κατά 6 °C το έτος 1993. Επίσης, καταγράφεται πτώση 7 °C την επόμενη χρονιά 1994. Η μέγιστη θερμοκρασία την υγρή περίοδο είναι 15,3 °C το έτος 1993 και η ελάχιστη 8,0 °C το έτος 1994 (Σχ.4.1), αναλόγως κυμαίνονται οι μέσες θερμοκρασιακές μεταβολές της ξηρής περιόδου κατά τα έτη 1993-1994 με μικρότερη διακύμανση. Για τις ξηρές περιόδους, η μεγαλύτερη θερμοκρασία που έχει καταγραφεί στο νερό είναι 24,2 °C το έτος 1995 και η ελάχιστη 19,7 °C το έτος 1991. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι θερμοκρασιακές μεταβολές υδάτινων λιμναίων σωμάτων σύμφωνα με τους Lampert and Sommer (2007), επηρεάζονται από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, το γεωγραφικό πλάτος και το βάθος της λίμνης. Παράλληλα αξίζει να αναφερθεί ότι έχουν υπάρξει πλήθος επιστημονικών δημοσιεύσεων που αναφέρονται στο πως ο παράγοντας των θερμοκρασιακών μεταβολών επηρεάζει την κατάσταση ενός λιμναίου σώματος (Foreman et al., 1997; Maio and Noike, 1996; Michaud, 1991; Φλόκας, 1997).



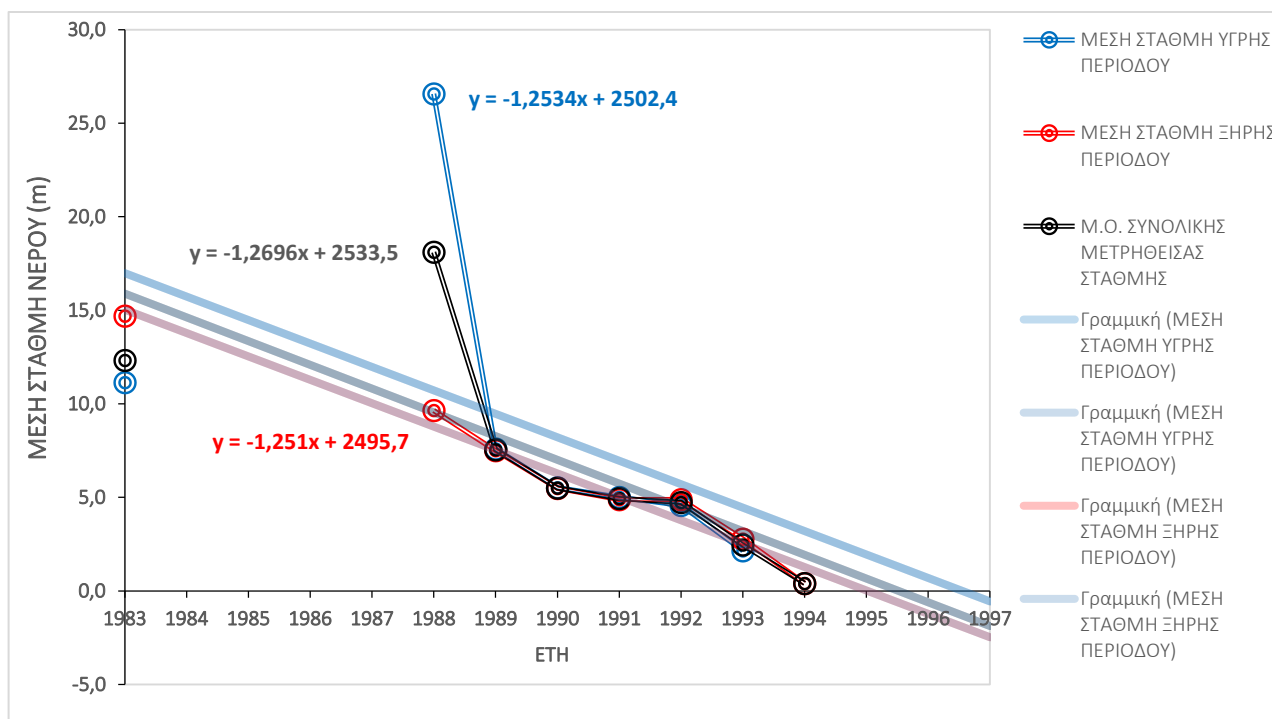
Σχήμα 4.1: Μέση θερμοκρασία νερού / Περίοδος ( 1983 – 1997)

Στο Σχ.4.2. απεικονίζεται η μέση μεταβολή ενεργούς οξύτητας (pH) κατά την υγρή και ξηρή περίοδο για την χρονοσειρά 1983 – 1997. Για τον συγκεκριμένο βιοχημικό δείκτη η μέση τιμή είναι 8,1. Την υγρή περίοδο (Οκτώβριος – Απρίλιος), η μέγιστη τιμή είναι 8,5 το έτος 1995 και η ελάχιστη 7,7 το έτος 1988. Όσον αφορά στην ξηρή περίοδο (Μάιος – Σεπτέμβριος), συναντάμε την μέγιστη τιμή του pH στο 8,5 το έτος 1995 και την ελάχιστη 7,9 το έτος 1993. Οι παρατηρούμενες διακυμάνσεις ανά περίοδο δεν παρουσιάζουν κάποια ιδιαίτερα μεγάλη μεταβολή που σημαίνει ότι η διακύμανση μεταξύ περιόδων δεν παρουσιάζεται κάποια σοβαρή απόκλιση. Συμπερασματικά, δεδομένου ότι οι μέσες τιμές ανά περίοδο αναφοράς είναι  $7,0 < 9,0$ , σύμφωνα με τα όρια των βιοχημικών δεικτών για το pH όπως αυτά ορίζονται από την Οδηγία Πλαίσιο (2000/60/EK) και αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο (1.2.2), το νερό της λίμνης εμφανίζει ολική αλκαλικότητα σταθερή, όπως συναντάτε στα περισσότερα λιμναία σώματα του μεσογειακού χώρου (Lampert and Sommer, 2007).



Σχήμα 4.2: Μέση τιμή pH / Περίοδος ( 1983 – 1997)

Στο διάγραμμα του Σχ.4.3. εμφανίζεται η χρονική διακύμανση της μέσης στάθμης νερού κατά την υγρή και ξηρή περίοδο. Είναι απόλυτα φανερό πως έχει συντελεστεί πολύ μεγάλη πτώση της στάθμης της λίμνης κατά τη διάρκεια των ετών 1983 – 1997, αν παρατηρηθεί σύμφωνα με το Σχ.4.3. ότι κατά την υγρή περίοδο το έτος 1989 η μέση μέγιστη τιμή είναι περίπου στα 26,6 m και το έτος 1993 στην ίδια περίοδο αναφοράς καταγράφεται η ελάχιστη μέση τιμή στα 2,5 m. Για τη ξηρή περίοδο παρουσιάζεται η μέση μέγιστη τιμή αναφοράς στα 15 m το έτος 1983 και η ελάχιστη τιμή αναφοράς 0,4 m το έτος 1994. Στην περίπτωση της παρούσης έρευνας που αφορά στη διακύμανση της μέσης στάθμης της λίμνης, διαπιστώνεται ότι οι παράγοντες των πιέσεων κυρίως από τις χρήσεις γης, συντελούν στην πίεση των υδατικών πόρων της λίμνης και συνιστούν παράλληλα επιτακτική την ανάγκη υιοθέτησης σχεδίων καλύτερης διαχείρισης των υδατικών πόρων της λίμνης (Wantzen et al., 2008). Κατά τα τελευταία έτη σύμφωνα με μελέτες και έρευνες παρουσιάζεται μια αύξηση της μέσης στάθμης της λίμνης [3].

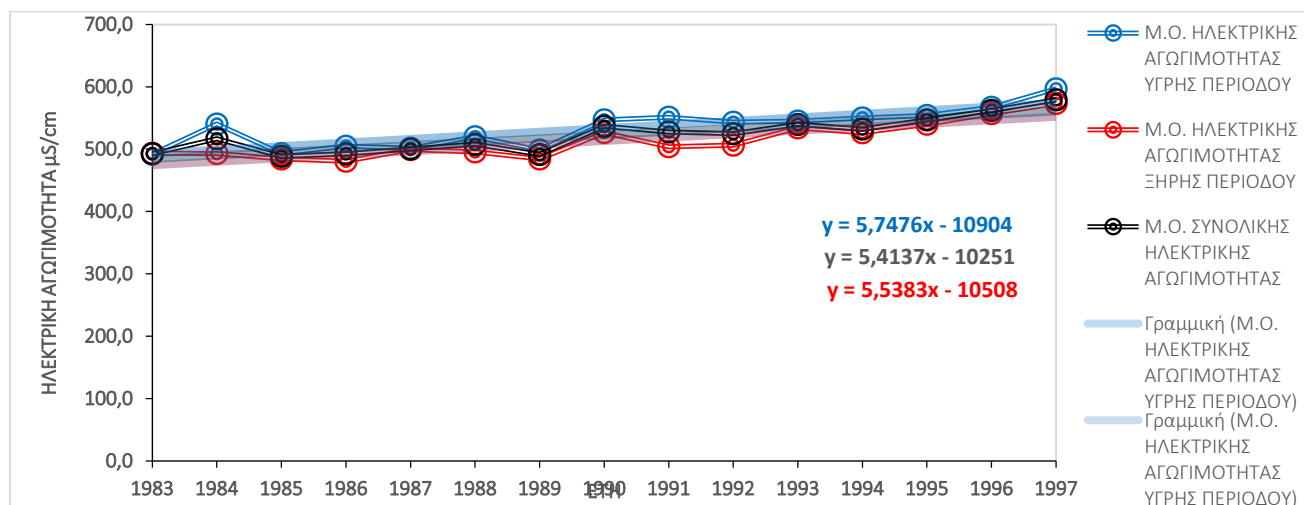


Σχήμα 4.3: Μέση στάθμη Περίοδος ( 1983 – 1997)

Στην παρακάτω διαγραμματική απεικόνιση του Σχ.4.4. καταγράφεται η διαχρονική διακύμανση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) της λίμνης για την χρονοσειρά 1983 – 1997, κατά την υγρή και ξηρή περίοδο. Για την υγρή περίοδο η μέση τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας έχει τιμή  $534 \mu\text{S}/\text{cm}$  παράλληλα καταγράφεται η μέγιστη τιμή  $597 \mu\text{S}/\text{cm}$  το έτος 1997 και η ελάχιστη  $492 \mu\text{S}/\text{cm}$  το έτος 1983. Στην ξηρή περίοδο η μέση τιμή είναι  $511 \mu\text{S}/\text{cm}$  και καταγράφεται επίσης η μέγιστη στα  $573 \mu\text{S}/\text{cm}$  το έτος 1997 και η ελάχιστη  $484 \mu\text{S}/\text{cm}$  το έτος 1989. Δεν εμφανίζεται κάποια μεγάλη μεταβολή ανά περίοδο αναφοράς απλά διαπιστώνεται μια μικρή αυξητική τάση από το (1994 – 1997) τόσο στην υγρή όσο και την ξηρή περίοδο. Αναφέρονται ενδεικτικά όρια ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε διάφορες κατηγορίες νερού (Νταρακάς, 2014).

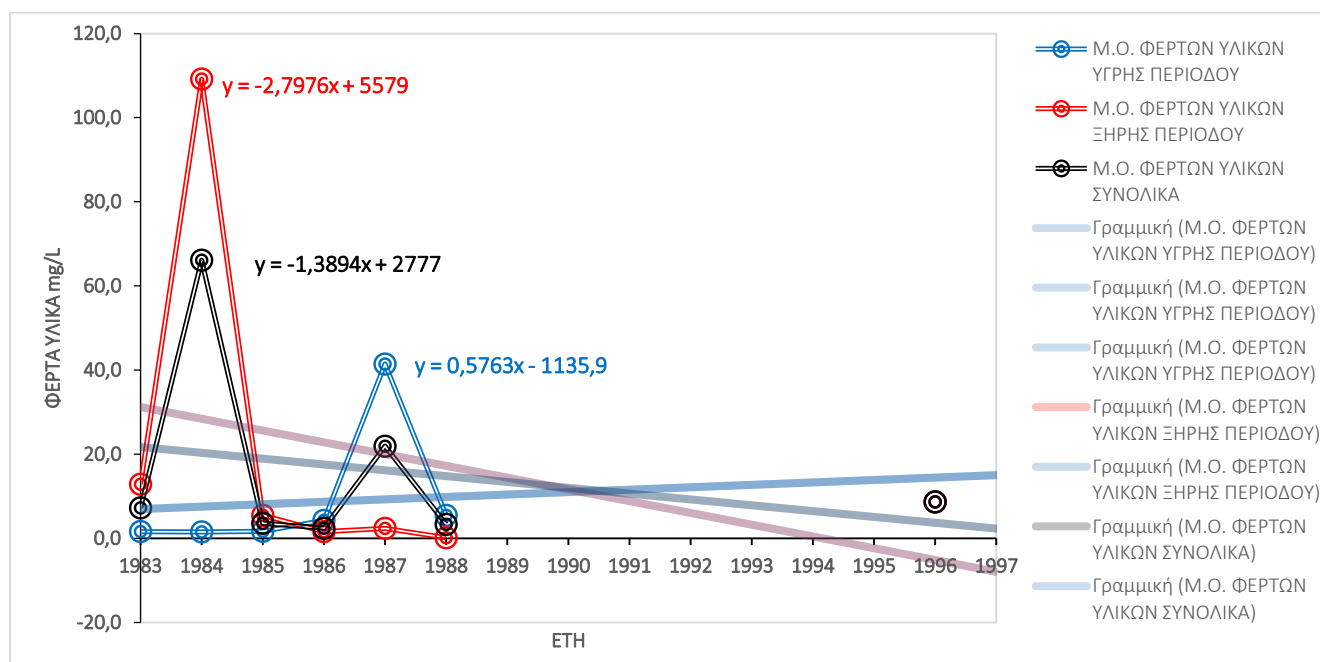
- Υπερκάθαρο νερό  $0,055 \mu\text{S}/\text{cm}$
- Νερό από αντίστροφη όσμωση  $5-15 \mu\text{S}/\text{cm}$
- Ελληνικές λίμνες  $40-1500 \mu\text{S}/\text{cm}$
- Εμφιαλωμένο νερό  $350-450 \mu\text{S}/\text{cm}$
- Ελληνικά ποτάμια  $400-800 \mu\text{S}/\text{cm}$
- Θαλασσινό νερό Ωκεανού  $53 \text{mS}/\text{cm}$
- Ενυδρεία reef  $50-54 \text{mS}/\text{cm}$

Η εντονότερη ανθρώπινη δραστηριότητα, σε συνδυασμό με τις ανοδικές στις τιμές διαλυμένων σε αυτό ιόντων ασβεστίου και μαγνησίου, συντελούν στην αυξητική τάση της σκληρότητας του νερού της Λίμνης. Αυξημένη αγωγιμότητα υποδηλώνει αυξημένες ποσότητες αλάτων, που ανάλογα με τη φύση τους και τη συγκέντρωσή τους μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα υγείας (Λαμπράκης, 2010). Επιπλέον αξίζει να σημειωθεί σύμφωνα με (Αντωνόπουλος και Γιάννου, 1999) το παράδειγμα ισοζυγίου αλάτων της λίμνης Κορώνειας όπου κατά το έτος 1970 και έπειτα παρουσίασε σημαντική μεταβολή της αλατότητας του νερού της. Πριν το 1970 το μέσο βάθος της λίμνης ήταν  $5 \text{m}$ , το έτος 1987 ήταν  $4 \text{m}$ , και μετά το 1999 μειώθηκε κάτω από το  $1.5 \text{m}$ . Το pH του νερού της αυξήθηκε στα  $10,65$  και η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) στα  $5930 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Παράλληλα και άλλες παράμετροι παρουσίαζαν αυξημένες τιμές, ώστε το νερό της λίμνης καθίσταται ακατάλληλο για κάθε χρήση.



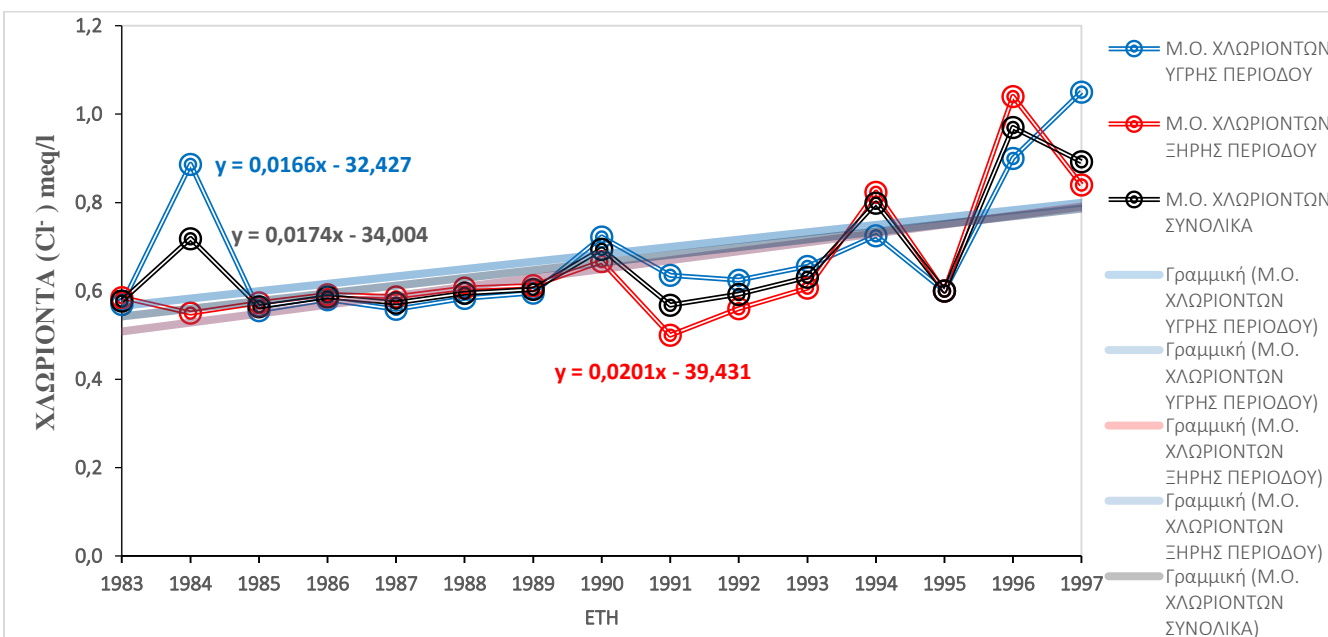
Σχήμα 4.4: Μέση Ηλεκτρική Αγωγιμότητα. Περίοδος ( 1983 – 1997)

Το Σχ.4.5. παρουσιάζει τις μέσες τιμές φερτών υλικών για την περίοδο έρευνας(1983 - 1997) όπου εμφανίζονται έντονες διακυμάνσεις σε συγκεκριμένες μόνο χρονιές μεταξύ των περιόδων αλλά και σε επίπεδο χρονοσειράς. Για την υγρή περίοδο (Οκτώβριος – Απρίλιος), υπάρχει πολύ μικρή δραστηριότητα με μόνη έντονη μεταβολή το έτος 1987 σε σχέση με τις υπόλοιπες χρονιές για τους ίδιους μήνες μελέτης. Η μέγιστη τιμή κατά την υγρή περίοδο είναι 41,4 mg/L το έτος 1987 και η ελάχιστη 1,6 mg/L το έτος 1983. Αντίστοιχα για την ξηρή περίοδο (Μάιος – Σεπτέμβριος) υπάρχει μια πολύ έντονη μεταβολή μόνο το έτος 1984 όπου εμφανίζεται και η μέγιστη τιμή 109,2 mg/L και η ελάχιστη καταγραφή είναι 0,16 mg/L το 1988. Και στις δυο αυτές περιπτώσεις θα μπορούσε να δικαιολογηθεί η έντονη αυτή μεταβολή από κάποιο μεγάλης έντασης γεωλογικό ή καιρικό φαινόμενο τα συγκεκριμένα έτη στην περιοχή έρευνας.



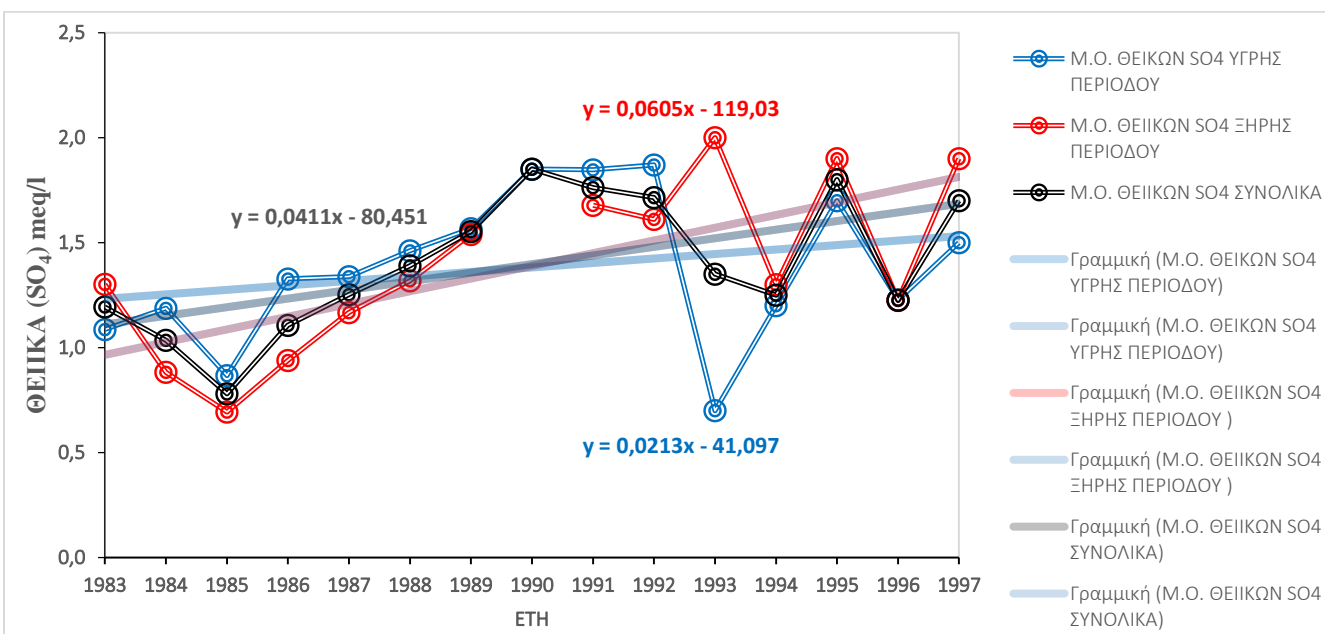
Σχήμα 4.5: Μέση τιμή Φερτών Υλικών Περίοδος ( 1983 – 1997)

Στη συνέχεια το Σχ. 4.6. καταγράφει τη μεταβολή των μέσων τιμών χλωριόντων (Cl<sup>-</sup>) για την περίοδο αναφοράς (1983 – 1997), εκεί παρατηρούμε ότι για την υγρή περίοδο η μέση τιμή για όλη τη χρονοσειρά είναι 0,8 meq/l η μέγιστη τιμή είναι 1,1 meq/l το έτος 1997 και η ελάχιστη 0,6 meq/l το έτος 1995. Αντίστοιχα για την ξηρή περίοδο η μέση τιμή είναι 0,8 meq/l η μέγιστη τιμή είναι 1,04 meq/l το έτος 1996 και η ελάχιστη 0,5 meq/l το έτος 1995. Δεν παρατηρούνται ιδιαίτερες μεταβολές μεταξύ των περιόδων για όλη την περίοδο μελέτης, θα μπορούσε μόνο να αναφερθεί ότι οι ελάχιστες τιμές χλωριόντων εμφανίζονται και για τις δυο περιόδους την ίδια χρονιά (1995), επιπλέον παρατηρείται μια μικρή αυξητική τάση από το έτος 1996 και για τις δυο περιόδους του έτους. Τα ιόντα χλωρίου είναι ευρέως διαδεδομένα στη φύση σαν άλατα νατρίου, καλίου και ασβεστίου και προέρχονται από την αποσάθρωση των ορυκτών, πετρωμάτων και λιθολογικών σχηματισμών. Τέλος, επειδή τα χλωριούχα συνδέονται και με τα βιομηχανικά και τα αστικά απόβλητα, χρησιμοποιούνται ως ένδειξη για τη ρύπανση και ως μέτρηση της έκτασης της διασποράς των ρύπων στο νερό. Αποδεκτή συγκέντρωση ιόντων χλωρίου (Cl<sup>-</sup>) σε νερό που προορίζονται ως πόσιμο σύμφωνα με την (Οδηγία 1787/2015 EC) είναι τα 200 mg/L.



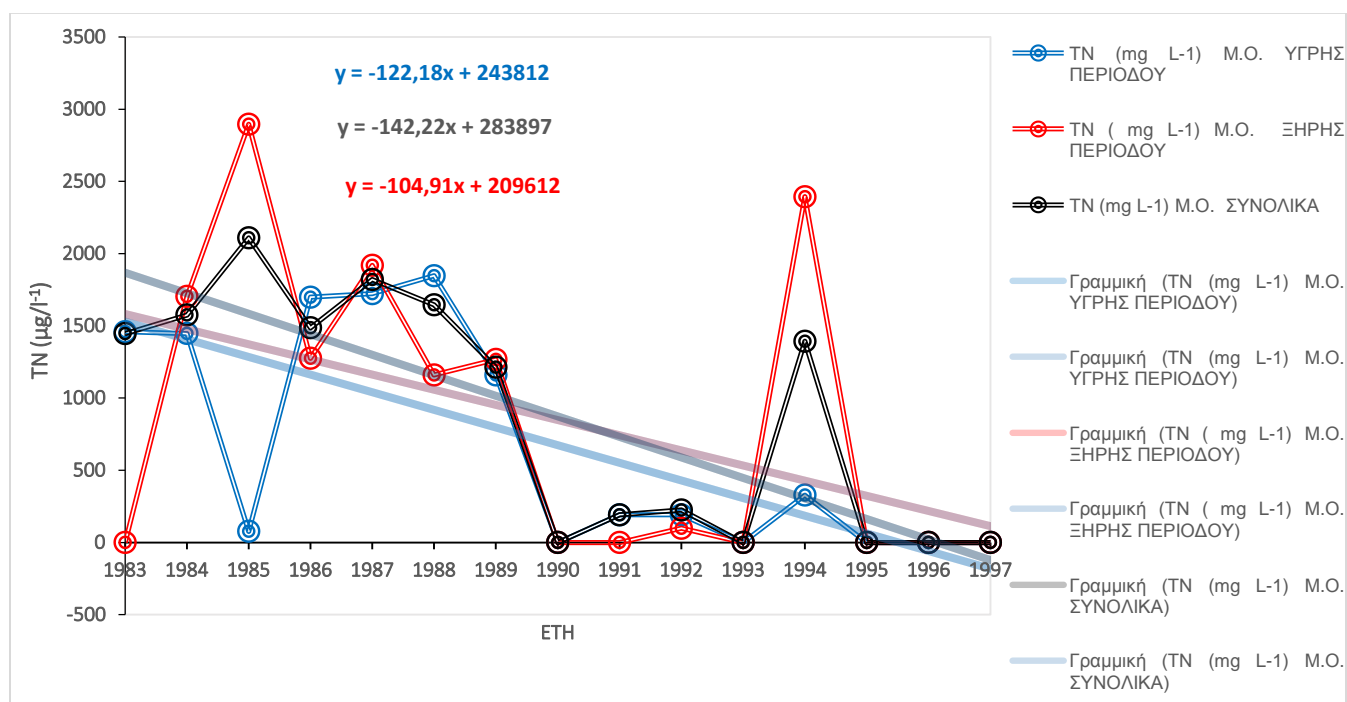
Σχήμα 4.6: Μέση τιμή Χλωριόντων (Cl<sup>-</sup>) Περίοδος (1983 – 1997)

Στο διάγραμμα του Σχ. 4.7. παρατηρείται η μέση διακύμανση τιμών Θειικών (SO<sub>4</sub>) υγρής και ξηρής περιόδου στο διάστημα της χρονοσειράς (1983 – 1997), διαπιστώνεται ότι για την υγρή περίοδο η μέση τιμή είναι 1,4 meq/l και η μέγιστη τιμή 1,9 meq/l καταγράφεται το 1992, η ελάχιστη τιμή για την ίδια περίοδο είναι 0,7 meq/l το έτος 1993. Αντίστοιχα για την ξηρή περίοδο η μέση τιμή είναι 1,4 meq/l η μέγιστη 1,9 meq/l το έτος 1993 και η ελάχιστη 0,7 meq/l το έτος 1985. Μια διαπίστωση που θα μπορούσε να αναφερθεί με βάση το Σχ.4.7., είναι ότι το έτος 1993 καταγράφεται η μεγαλύτερη διαφορά διακύμανσης μεταξύ των περιόδων αναφοράς όπου η τιμή των θειικών (SO<sub>4</sub>) λαμβάνει την μέγιστη τιμή την ξηρή περίοδο και αντιστρόφως ανάλογα καταγράφεται η μικρότερη τιμή την υγρή περίοδο. Περιεκτικότητα όμως μεγαλύτερη από 250 mg/L (Οδηγία 98/83/EK, 1998) σε θειικά ιόντα καθιστά τη χρήση των νερών προβληματική για πόση και βιομηχανική χρήση. Γενικά το θείο και οι ενώσεις του ευθύνονται για τα προβλήματα οσμών και διαβρώσεων. Αναφέρεται ότι για τις ελληνικές λίμνες δεν έχουν καταγραφεί υπερβάσεις αυτών των ορίων (Αντωνόπουλος, 2010).



Σχήμα 4.7: Μέση τιμή θειικών (SO<sub>4</sub>) Περίοδος ( 1983 – 1997)

Στο Σχ.4.8. παρουσιάζεται η μεταβολή της μέσης διακύμανσης του συνολικού συντελεστή Ολικού Αζώτου (TN)  $\mu\text{g/L}^{-1}$  για τη χρονοσειρά μελέτης (1983 – 1997). Αναφέρεται ότι η τιμή του συντελεστή ολικού αζώτου είναι παραγόμενη από τον υπολογισμό των Νιτρικών ( $\text{NO}_3^-$ ), Νιτρώδη ( $\text{NO}_2^-$ ) και Αμμωνιακών ( $\text{NH}_4^+$ ) που καταγράφηκαν στην περιοχή έρευνας. Διαπιστώνεται ότι κατά την υγρή περίοδο η μέση παραγόμενη τιμή είναι  $1017 \mu\text{g/L}^{-1}$  η μέγιστη τιμή είναι  $1847 \mu\text{g/L}^{-1}$  το έτος 1988 και η ελάχιστη  $77 \mu\text{g/L}^{-1}$  το έτος 1985. Αντίστοιχα για την ξηρή περίοδο η μέση τιμή είναι  $1589 \mu\text{g/L}^{-1}$  η μέγιστη τιμή είναι  $2896 \mu\text{g/L}^{-1}$  το έτος 1985 και η ελάχιστη  $98 \mu\text{g/L}^{-1}$  το έτος 1992. Οι δυο μηδενικές ενδείξεις κατά την ξηρή περίοδο το έτος 1983 και το έτος 1991 οφείλονται στο γεγονός ότι οι μετρήσεις παρουσιάζουν κενά από τους σταθμούς μέτρησης με αποτέλεσμα να μην μπορεί να υπολογιστεί η τιμή του συντελεστή. Οι μεταβολές που εμφανίζονται στον συνολικό συντελεστή μπορεί να οφείλονται ότι κατά περιόδους οι συγκεντρώσεις των Νιτρικών ( $\text{NO}_3^-$ ) μπορούν να λάβουν πολύ υψηλές τιμές λόγω εισροής σε σημειακές πηγές αποικοδομήσιμων οργανικών υλικών, χημικών λιπασμάτων που προστίθενται στο έδαφος από γεωργικές εργασίες. Επιπλέον σημειώνεται σύμφωνα με Bremner (1996) ότι ο ολικός συντελεστής αζώτου δύναται να μεταβληθεί από το κλίμα, τη βλάστηση και τη κοκκομετρική σύσταση του εδάφους γι' αυτό και δεν είναι σταθερός αλλά μπορεί να μεταβάλλεται συνεχώς.



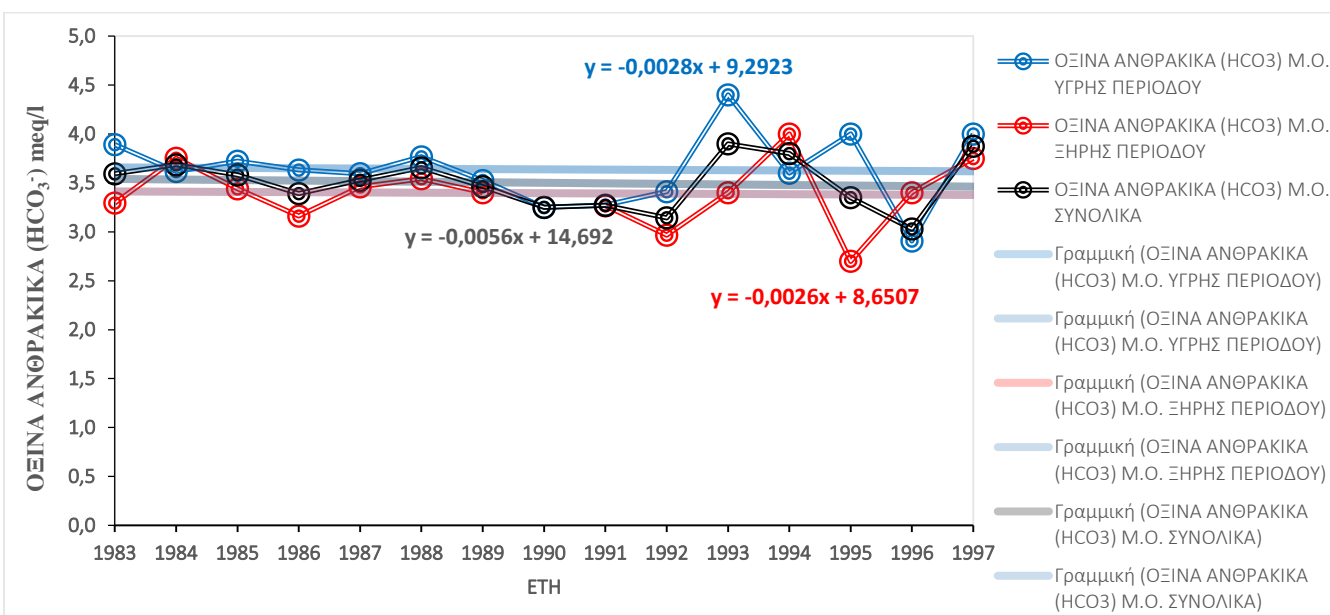
Σχήμα 4.8: Μέση τιμή Συνολικού Συντελεστή Ολικού Αζώτου (TN) Περίοδος ( 1983 – 1997)



Το διάγραμμα του Σχ.4.9. καταγράφει την μέση διακύμανση τιμών Όξινων Ανθρακικών ( $\text{HCO}_3^-$ ) το διάστημα (1983–1997) για την υγρή και ξηρή περίοδο του έτους. Από το παρακάτω Σχ.4.9 παρατηρούμε ότι η μέση τιμή υγρής και ξηρής περιόδου είναι 3,40 meq/l, η μέγιστη τιμή κατά την υγρή περίοδο είναι 4,4 meq/l το έτος 1993 και η ελάχιστη τιμή είναι 2,9 meq/l το έτος 1996. Αντίστοιχα την ξηρή περίοδο η μέγιστη τιμή είναι 4,0 meq/l το έτος 1994 και η ελάχιστη είναι 2,7 meq/l το έτος 1995. Αρχικά αναφέρουμε ότι δεν παρατηρούνται ιδιαίτερα μεγάλες διακυμάνσεις σε όλη τη χρονοσειρά και οι τιμές των μέσων όρων κινούνται σε ίδια περίπου επίπεδα τόσο για την υγρή όσο για την ξηρή περίοδο με πολύ μικρές διακυμάνσεις. Θα πρέπει να τονιστεί ότι η προέλευσή του διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) ως βασικό στοιχείο παραγωγής των όξινων ανθρακικών έχει τρεις κύριες πηγές εισόδου στο νερό (Λαμπράκης, 2010):

- Την ατμόσφαιρα,
- Ελευθερούμενο στο έδαφος κατά την οργανική αποσύνθεση,
- και τη βροχή

Η ισορροπία της διαλυτότητας του  $\text{CO}_2$  του ατμοσφαιρικού αέρα στο νερό, και η ισορροπία διάσπασης των ανθρακικών αλάτων, με τον ενδιάμεσο σχηματισμό όξινων ανθρακικών ιόντων, συμβάλλουν στη ρυθμιστική ικανότητα των φυσικών νερών, δηλαδή στην ικανότητα να διατηρούν την ενεργό οξύτητα (pH) σταθερή όταν προστίθεται οξύ ή βάση. Συνθήκη η οποία μεταβάλλεται ανά λιμναίο σώμα και ανά περιοχή μελέτης (Λαμπράκης, 2010).

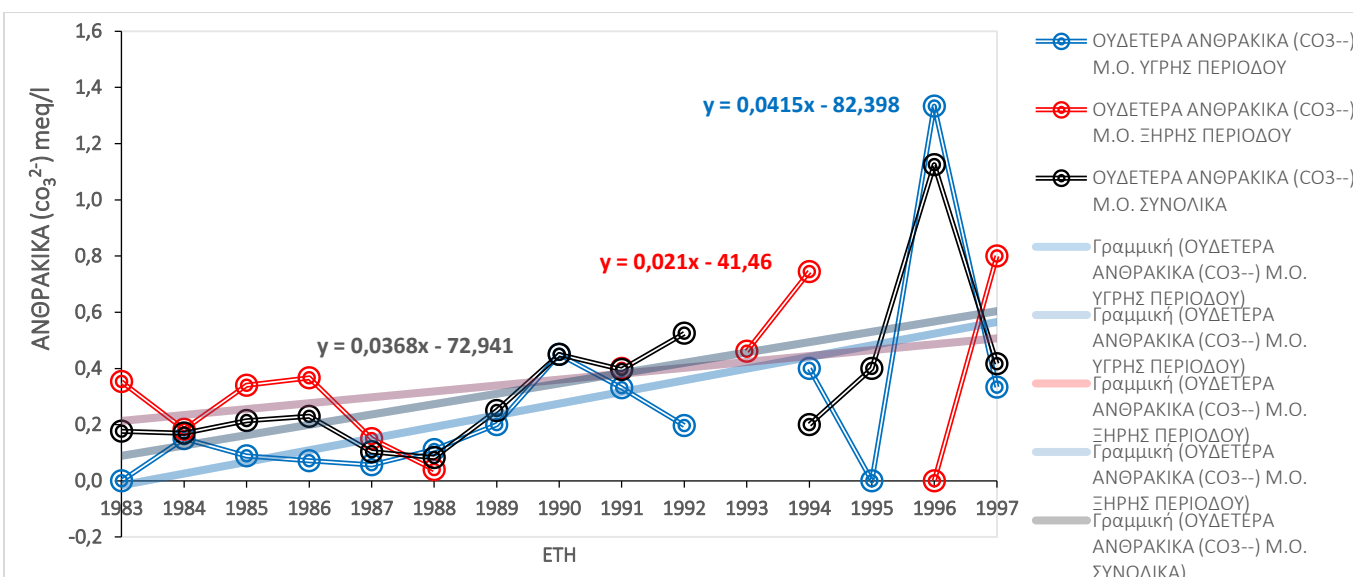


Σχήμα 4.9: Μέση τιμή Όξινων Ανθρακικών ( $\text{HCO}_3^-$ ) Περίοδος (1983 – 1997)

Στο Σχ.4.10. παρατηρείται η μεταβολή των Ανθρακικών ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) διαπιστώνοντας ότι κατά την υγρή περίοδο η μέγιστη καταγραφόμενη τιμή είναι 1,3 meq/l το έτος 1996 και η ελάχιστη 0,0 meq/l το έτος 1983 και το 1995. Αντίστοιχα για την ξηρή περίοδο η μέγιστη τιμή είναι 0,8 meq/l το έτος 1997 και η ελάχιστη 0,0 meq/l το έτος 1996. Από το Σχ.4.10 εξάγεται το συμπέρασμα ότι σε όλη την χρονοσειρά καταγράφονται μικρές ποσότητες και ελάχιστες διακυμάνσεις ουδέτερων ανθρακικών με εξαίρεση το έτος 1997 όπου παρουσιάζεται μια αυξητική τάση και στις δυο περιόδους του έτους. Επιπλέον θα πρέπει να τονιστεί ότι σύμφωνα με τον Wilcox (1958) η επίδραση, των ανθρακικών ιόντων (όξινων και ουδέτερων) στην ποιότητα του νερού εκφράζεται ως Υπολειμματικό Ανθρακικό Νάτριο (Residual Sodium Carbonate, RSC) και υπολογίζεται ως  $\text{RSC} = (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$  (4.1.) ορίζοντας δείκτες για την ποιότητα του νερού κυρίως για αρδευτικούς σκοπούς.

Πίνακας 4.1. Ταξινόμηση του αρδευτικού νερού ως προς Ανθρακικό Νάτριο (Wilcox, 1958)

Ποιότητα νερού	Υπολειμματικό Ανθρακικό Νάτριο meq/l
Άριστη – Καλή	<1.25
Μέτρια	1.25 - 2.50
Κακή	>2.50



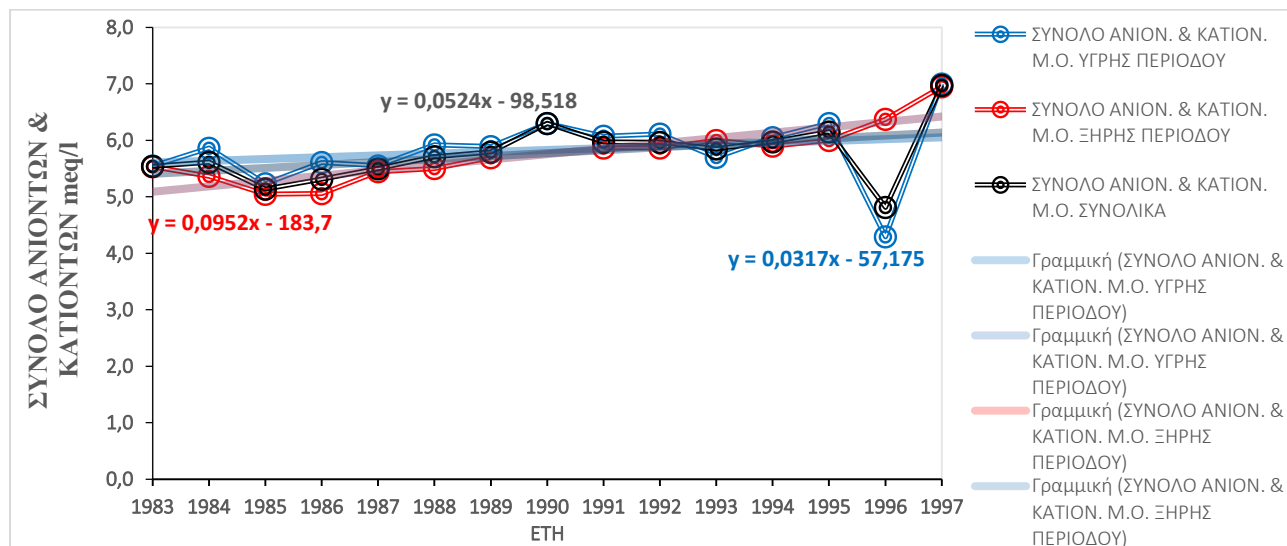
Σχήμα 4.10: Μέση τιμή Ανθρακικών ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) Περίοδος (1983 – 1997)

Η διαγραμματική απεικόνιση όπως παρουσιάζεται στο Σχ.4.11. καταγράφει τη μέση διακύμανση του συνόλου ανιόντων και κατιόντων κατά το χρονικό διάστημα 1983 – 1997 τόσο για την υγρή όσο και για την ξηρή περίοδο. Παρατηρείται ότι κατά την υγρή περίοδο η μέγιστη τιμή είναι 7,0 meq/l το έτος 1997 και η ελάχιστη 4,3 meq/l το έτος 1996. Αντίστοιχα για την ξηρή περίοδο η μέγιστη τιμή είναι 7,0 meq/l το έτος 1997 και η ελάχιστη 5,1 meq/l το έτος 1985. Δεν παρατηρείται κάποια ιδιαίτερη μεταβολή για όλο το δείγμα και για τις δυο περιόδους με μοναδική εξαίρεση την περίοδο 1996 – 1997 όπου εμφανίζεται μια μεγαλύτερη διακύμανση της διαφοράς ανάμεσα στις περιόδους μελέτης της τάξεως των 4,0 meq/l. Τα νερά έχουν μια ευρεία περιοχή χημικής σύστασης, που οφείλεται: (α) στην προέλευση, (β) τον ρυθμό εμπλουτισμού τους, (γ) την αλληλεπίδραση με την ατμόσφαιρα, βιόσφαιρα και λιθόσφαιρα, (δ) τις ανθρώπινες δραστηριότητες και (ε) τις συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης της περιοχής έρευνας. Σύμφωνα με τους Douglas and Leo (1977) στα υδατικά συστήματα μεταξύ των ιόντων εμφανίζονται τρία διαφορετικά είδη συσχετίσεων:

- α) Μία ισχυρά ανταγωνιστική σχέση μεταξύ ιόντων που έχουν ίδιο φορτίο, αλλά διαφορετικό σθένος.
- β) Μία ισχυρή χημική συγγένεια μεταξύ ιόντων με αντίθετα φορτία και ίδιο σθένος.
- γ) Μία μη ανταγωνιστική σχέση μεταξύ ιόντων με το ίδιο είδος φορτίου και ίδιο σθένος.

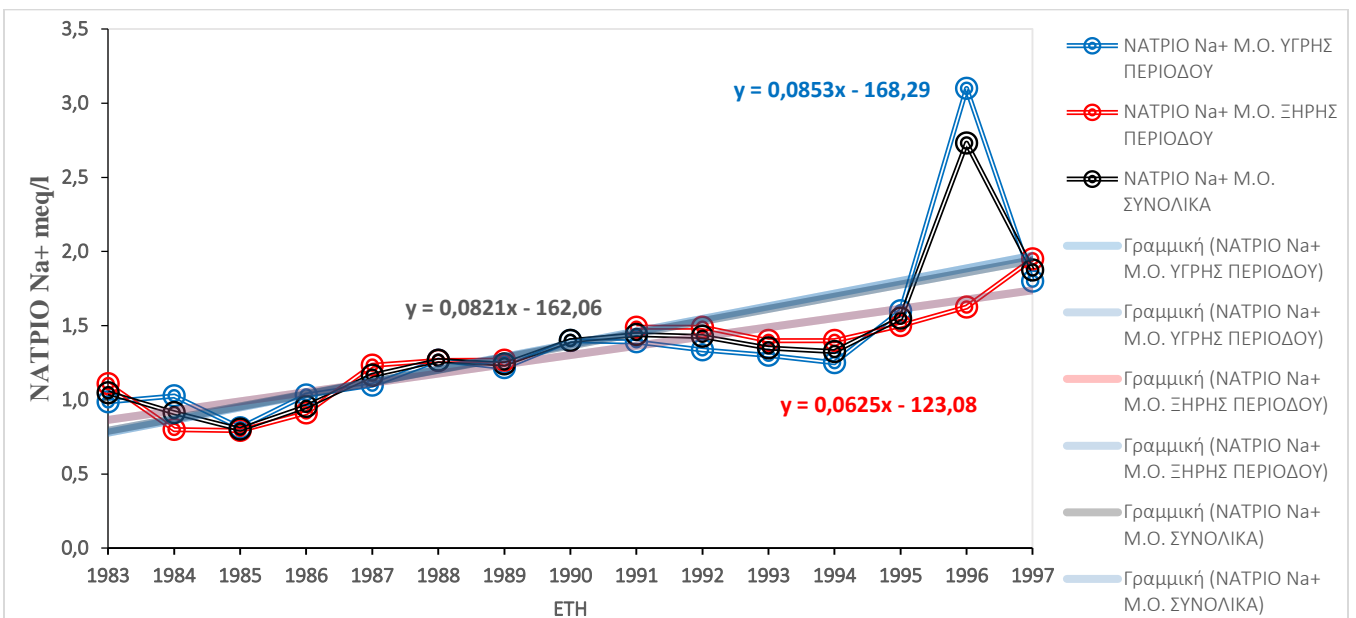
Επίσης κατά τον (Voudouris et al., 2000b), μελετήθηκαν αποτελέσματα χημικών αναλύσεων σε εκατό τριάντα ένα (131) δείγματα του προσχωματικού υδροφορέα της βόρειας παράκτιας ζώνης του Νομού Κορινθίας, διαπιστώνοντας τις ακόλουθες συσχετίσεις μεταξύ των ιόντων:

- Ιόντα με το ίδιο είδος φορτίου και διαφορετικό σθένος ( παρατηρήθηκε σχετικά μεγάλη και σημαντική συσχέτιση μεταξύ των ιόντων  $Mg^{2+}$  με τα ιόντα  $Na^+$ )
- Ιόντα με αντίθετα φορτία και το ίδιο σθένος (παρατηρείται ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των ιόντων  $Na^+$  και  $Cl^-$ )
- Ιόντα με το ίδιο είδος φορτίου και το ίδιο σθένος (η συσχέτιση μεταξύ  $Ca^{2+}$  και  $Mg^{2+}$  δεν είναι σημαντική)



Σχήμα 4.11: Μέση τιμή Συνόλου Ανιόντων & Κατιόντων Περίοδος ( 1983 – 1997)

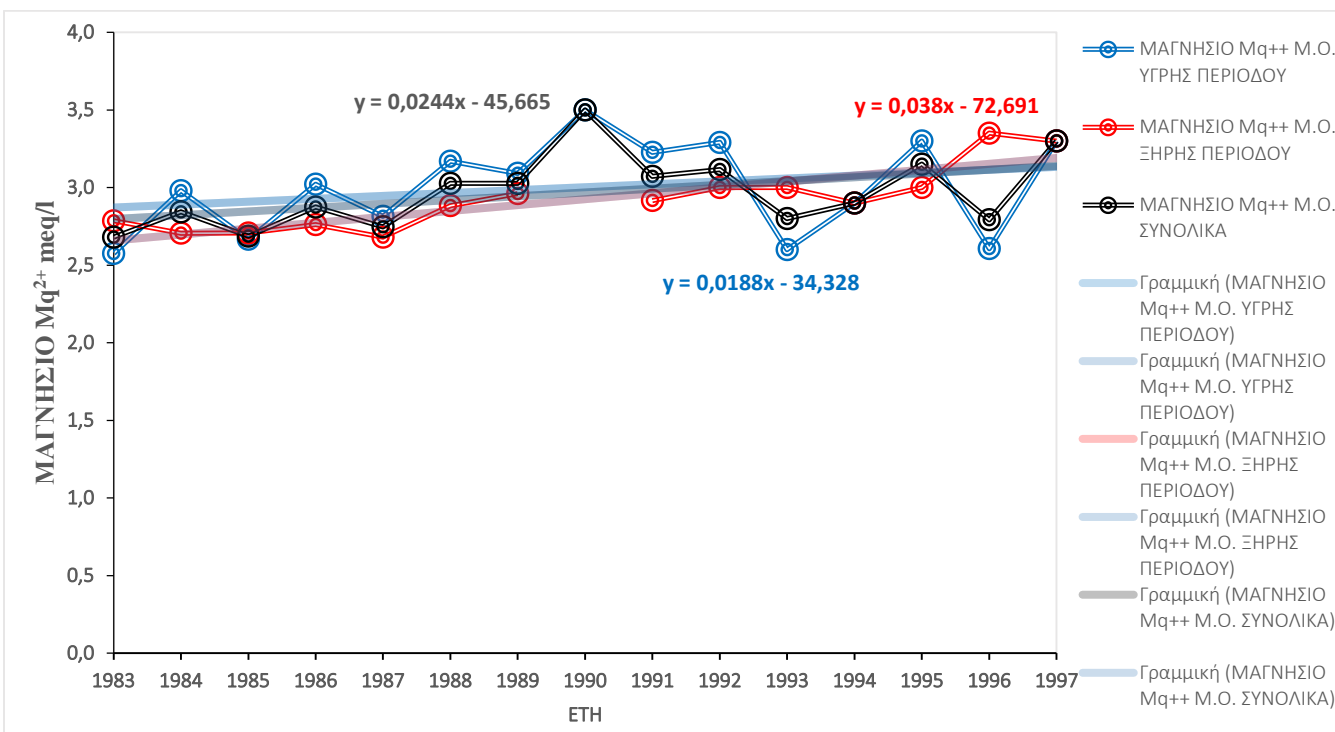
Στο διάγραμμα του Σχ.4.12. παρατηρείται η χρονική διακύμανση των μέσων τιμών του Νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) για την περίοδο μελέτης 1983 – 1997. Αρχικά διαπιστώνουμε ότι όσο αφορά στην υγρή περίοδο η μέση συνολική τιμή είναι 1,0 meq/l η μέγιστη τιμή καταγράφηκε 3,1 meq/l το έτος 1996 και η ελάχιστη κατά την υγρή περίοδο 1,0 meq/l το έτος 1984. Για την ξηρή περίοδο η μέση τιμή είναι 1,3 meq/l, η μέγιστη τιμή είναι 2,0 meq/l το έτος 1997 και η ελάχιστη 0,8 meq/l το έτος 1984. Δεν παρατηρούνται μεγάλες μεταβολές εκτός από το έτος 1996 όπου διαπιστώνεται η μεγαλύτερη διακύμανση μεταξύ υγρής και ξηρής περιόδου καθώς τα υπόλοιπα έτη που αφορούν στο διάστημα έρευνας δεν παρουσιάζουν έντονη μεταβολή. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η μεταβολή του Νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) σχετίζεται με τη μεταβολή της θερμοκρασίας, του pH και του Διαλυμένου Οξυγόνου ( $\text{O}_2$ ), συνεπώς οι μεταβολές των δεικτών αυτών την συγκεκριμένη χρονιά και περίοδο είναι δυνατό να επηρεάσουν τον συγκεκριμένο δείκτη. Σύμφωνα με τον Κουκουλάκη (2007) όταν τα νερά έχουν υψηλή συγκέντρωση  $\text{Na}^+$  ή υψηλή τιμή δείκτη SAR, τότε ο κίνδυνος νατρίωσης ή αλκαλίωσης του εδάφους είναι αυξημένος. Παράλληλα, εφόσον υπάρχουν μεγάλες συγκεντρώσεις αλάτων στο νερό και ευνοείται η συσσώρευσή τους από τις κρατούσες κλιματικές και εδαφικές συνθήκες, αυξάνει ο κίνδυνος της εναλάτωσης, δηλαδή της συσσώρευσης των αλάτων προς δημιουργία αλατουχο-νατριομένων συνθηκών στο έδαφος. Ιστορικά αναφέρεται η περίπτωση της λίμνης Κορώνειας κατά την περίοδο 1970 – 1995, όπου η ραγδαία αλλαγή των παραπάνω δεικτών οδήγησε σε αντίστοιχο φαινόμενο (Αντωνόπουλος και Γιάννου, 1999).



Σχήμα 4.12: Μέση τιμή Νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) Περίοδος ( 1983 – 1997)

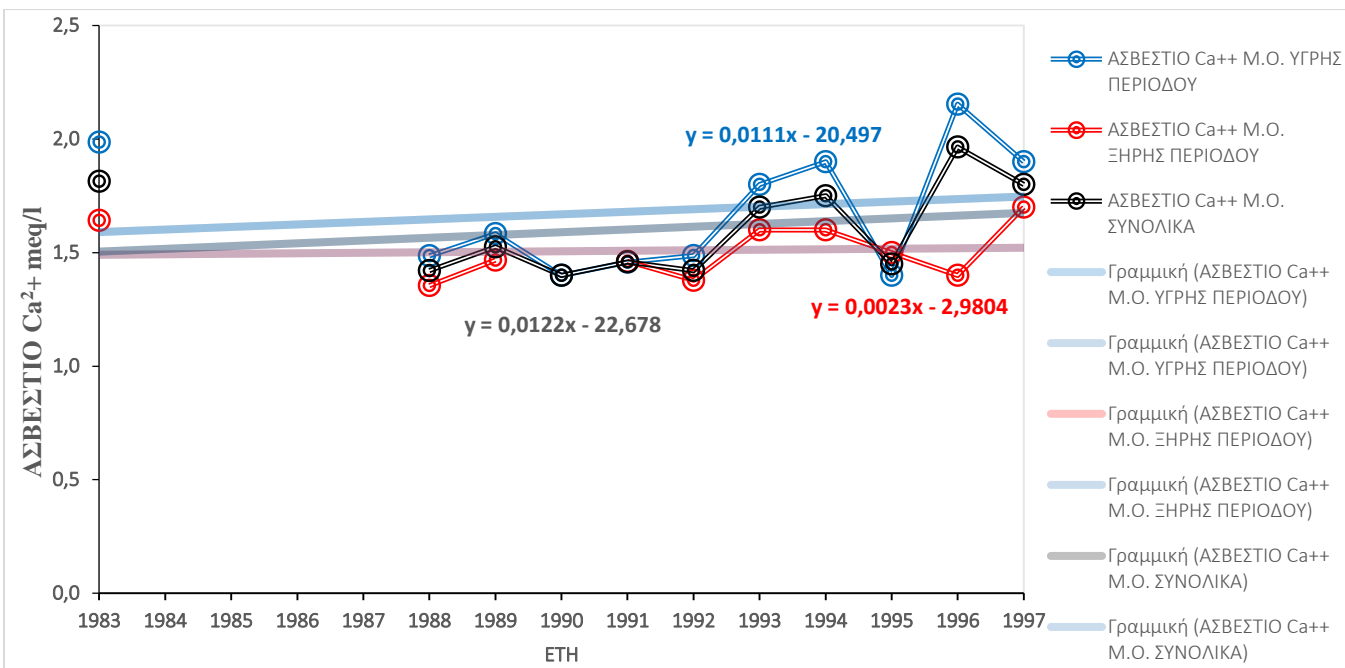
Η διαγραμματική παρουσίαση του δείκτη Μαγνησίου ( $Mg^{2+}$ ), όπως φαίνεται στο Σχ. 4.13. μας δίνει τη δυνατότητα της έρευνας για τη διαχρονική διακύμανση του σε μέσες τιμές το διάστημα 1983 – 1997. Αναφέρεται ότι η μέση τιμή για όλη την περίοδο αναφοράς κατά την υγρή περίοδο είναι 3,0 meq/l, η μέγιστη τιμή είναι 3,5 meq/l το έτος 1990 και η ελάχιστη 2,6 meq/l το έτος 1993 και το έτος 1997. Για την ξηρή περίοδο η μέση τιμή είναι 3,0, meq/l, η μέγιστη τιμή είναι 3,35 meq/l το έτος 1996 και η ελάχιστη 2,7 meq/l το έτος 1987, συνεπώς δεν παρατηρείται διακύμανση και στις δύο περιόδους του έτους για όλη την περίοδο αναφοράς. Το μαγνήσιο εισέρχεται από ανθρακικά ( $CaCO_3$ ,  $MgCO_3$ ) και από διάφορα πυριτικά και αργιλοπυριτικά πετρώματα. Όπως αναφέρθηκε και στη διαγραμματική απεικόνιση της μεταβολής της ηλεκτρικής αγωγιμότητας – σκληρότητας του νερού της λίμνης Σχ.4.4., αυξημένες ποσότητες ιόντων μαγνησίου και ασβεστίου που σχετίζονται με την εντατικοποίηση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων προκαλούν μεταβολή της ποιότητας των νερών της λίμνης Βεγορίτιδα. Σύμφωνα με (Λαμπράκης, 2010), αναφέρεται ενδεικτικά ότι:

- Η συγκέντρωση του ( $Mg^{2+}$ ), στο πόσιμο νερό έχει εύρος 4-40 mg/L
- Είναι απαραίτητο στοιχείο στον ανθρώπινο οργανισμό
- Συνιστώμενη ημερήσια δόση ενηλίκων είναι 250 mg
- Η παρουσία μαγνησίου στο νερό είναι επιθυμητή εντός των παραπάνω ορίων και στα νερά άρδευσης γιατί είναι απαραίτητο θρεπτικό συστατικό των φυτών και λειτουργεί ως εδαφοβελτιωτικό.
- Σε μεγάλες συγκεντρώσεις έχει υπακτική δράση



Σχήμα 4.13: Μέση τιμή Μαγνήσιο ( $Mg^{2+}$ ) Περίοδος (1983 – 1997)

Το διάγραμμα του Σχ.4.14. παρατηρείτε η μεταβολή μέσης τιμής του Ασβεστίου ( $\text{Ca}^{2+}$ ) για το διάστημα αναφοράς 1983 – 1997. Στην υγρή περίοδο καταγράφηκε η μέγιστη μέση τιμή 2,2 meq/l το έτος 1996 και η ελάχιστη για την ίδια περίοδο αναφοράς 1,5 meq/l το έτος 1995. Για την ξηρή περίοδο η μέγιστη μέση τιμή είναι 1,7 meq/l το έτος 1997 και η ελάχιστη 1,36 meq/l το έτος 1988. Τονίζεται ότι το ασβέστιο είναι το δεύτερο σε συγκέντρωση συστατικό των φυσικών νερών καθώς εισέρχεται στο νερό από διάφορα πετρώματα, όπως ασβεστόλιθο ( $\text{CaCO}_3$ ), δολομίτη ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ), γύψο ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) και φθορίτη ( $\text{CaF}_2$ ). Τα όρια της συγκέντρωσης στο πόσιμο νερό είναι 10-100 mg/L. Επίσης όπως αναφέρθηκε και παραπάνω νερό που περιέχει συγκέντρωση από 40-100 mg/L ασβέστιο θεωρείται σκληρό έως πολύ σκληρό. Αναφέρεται ότι αποτελεί απαραίτητο στοιχείο της διατροφής των ζώντων οργανισμών (ανθρώπου-ζώων, φυτών).



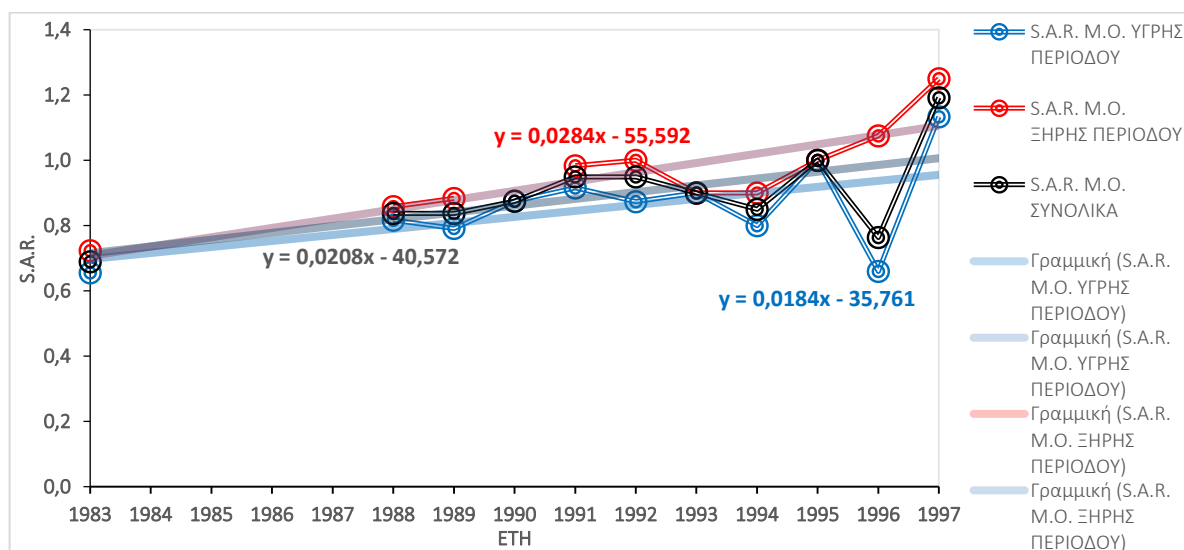
Σχήμα 4.14: Μέση τιμή Ασβεστίου ( $\text{Ca}^{2+}$ ) Περίοδος ( 1983 – 1997)

Στο Σχ.4.15., καταγράφεται η μεταβολή μέσης τιμής του δείκτη S.A.R. σε επίπεδο χρονοσειράς 1983 – 1997. Στην υγρή περίοδο (Οκτώβριος – Απρίλιος), παρατηρούμε την μέγιστη μέση τιμή 1,1 mg/L το έτος 1997 και η ελάχιστη 0,7 mg/L το έτος 1996. Για την ξηρή περίοδο Μάιος – Σεπτέμβριος, η μέγιστη τιμή είναι 1,25 mg/L το έτος 1997 και η ελάχιστη 0,72 mg/L το έτος 1983. Ο συντελεστής προσρόφησης νατρίου (Sodium Adsorption Ratio) S.A.R δίδεται από τη σχέση:

$$S.A.R. = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}} \quad (4.2)$$

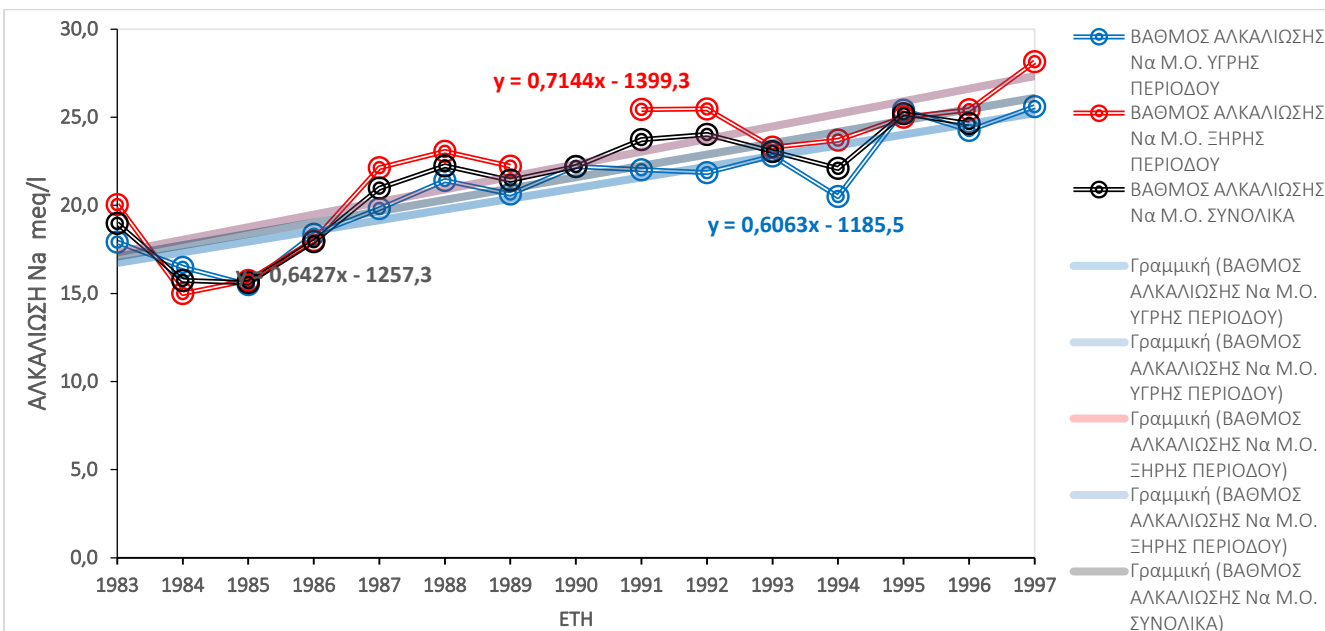
Όσο πιο μικρή τιμή έχει η παραπάνω σχέση τόσο καλύτερο το νερό για άρδευση (< 3), αποτελώντας ένα βασικό κριτήριο της καταλληλότητας του νερού για διάφορες χρήσεις. Πρέπει να αναφερθεί ότι το νάτριο σε υψηλές ποσότητες δημιουργεί αποκροκίδωση του εδάφους, προκαλώντας ταυτόχρονα μείωση του αερισμού και της περατότητας του εδάφους. Διάφοροι παράγοντες που συντελούν στην διαμόρφωση του δείκτη είναι:

- Διάφορα καλλιεργητικά μηχανήματα που μπορεί συμπιέζουν το έδαφος
- Διαμόρφωση λεπτής συμπαγής στρώσης του εδάφους που εμποδίζει την προς τα κάτω κίνηση του νερού.
- Σχηματισμός κρούστας στην επιφάνεια από το νερό της βροχής ή σαν συνέπεια της έντονης άρδευσης.
- Η θερμοκρασία του νερού
- Τα διαλυμένα στο νερό άλατα, καθώς όπως ήδη αναφέρθηκε η αυξανόμενη αλατότητα καταστρέφει τη δομή του εδάφους.
- Οι τιμές S.A.R μεταβάλλονται σε συνάρτηση με την ειδική αγωγιμότητα που αναλύθηκε σε προηγούμενο σχήμα.



Σχήμα 4.15: Μέση τιμή S.A.R. Περίοδος ( 1983 – 1997)

Στο Σχ.4.16., παρατίθεται η μεταβολή μέσης τιμής ποσοστού αλκαλίωσης (Na), όπου παρατηρείται για την υγρή περίοδο η μέγιστη μέση τιμή είναι 25,6 % το έτος 1997 και η ελάχιστη είναι 15,6 % το έτος 1985. Για την ξηρή περίοδο η μέγιστη τιμή είναι 28,15 % το έτος 1997 και η ελάχιστη 14,99 % το έτος 1984. Συνολικά δεν παρατηρείτε ιδιαίτερα μεγάλη μεταβολή αλλά μια μικρή αυξητική τάση μέχρι το έτος 1997. Η αλκαλικότητα είναι ένα μέτρο της ικανότητας των νερών να εξουδετερώνουν ορισμένη ποσότητα υδρογονοκατιόντων. Η εξουδετέρωση αυτή οφείλεται στην παρουσία των ιόντων  $\text{OH}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  και  $\text{HCO}_3^-$ . Επιπλέον δρουν οι συζυγείς βάσεις του φωσφορικού και πυριτικού οξέος. Η παρουσία οργανικής ύλης μπορεί να έχει σημαντική επίδραση στον καθορισμό της αλκαλικότητας των υπόγειων νερών. Τα χλωριούχα, θειϊκά και νιτρικά ιόντα δεν συμβάλλουν στην αλκαλικότητα.



Σχήμα 4.16: Μέση τιμή Αλκαλίωσης (Na) Περίοδος ( 1983 – 1997)



Στο Σχ.4.17. Παρουσιάζεται η μεταβολή μέσης τιμής Ολικής Σκληρότητας ( $\text{CaCO}_3$ ), όπου για την υγρή περίοδο η μέγιστη τιμή είναι 260 mg/L το έτος 1997 και η ελάχιστη 164,3 mg/L το έτος 1996. Για την ξηρή περίοδο η μέγιστη τιμή είναι 250 mg/L το έτος 1997 και η ελάχιστη 205 mg/L το έτος 1988. Η σκληρότητα των νερών προέρχεται από την παρουσία διαλυμένων μεταλλικών κατιόντων, εκ των οποίων τα πιο συνηθισμένα είναι το  $\text{Ca}^{2+}$  και το  $\text{Mg}^{2+}$ . Τα ιόντα αυτά αντιδρούν με το σαπούνι και σχηματίζουν ίζημα και μαζί με ορισμένα ανιόντα, που βρίσκονται στο νερό δημιουργούν κρούστα. Ο προσδιορισμός της σκληρότητας έχει μεγάλη σημασία γιατί αποτελεί κριτήριο καταλληλότητας για πολλές χρήσεις των νερών (Μήτρακας, 2001). Η σκληρότητα του πόσιμου νερού μεταξύ των άλλων συνδέεται και με την υγεία του ανθρώπου και συγκεκριμένα σχετίζεται με καρδιακές παθήσεις. Οι κατηγορίες σκληρότητας είναι (Sawyer et.al, 1994). :

- Παροδική ή ανθρακική
- Μόνιμη σκληρότητα ή μη ανθρακική
- Ολική σκληρότητα

Η σκληρότητα εκφράζει την συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων ασβεστίου και μαγνησίου και μετρείται εναλλακτικά σε 3 είδη μονάδων σε:

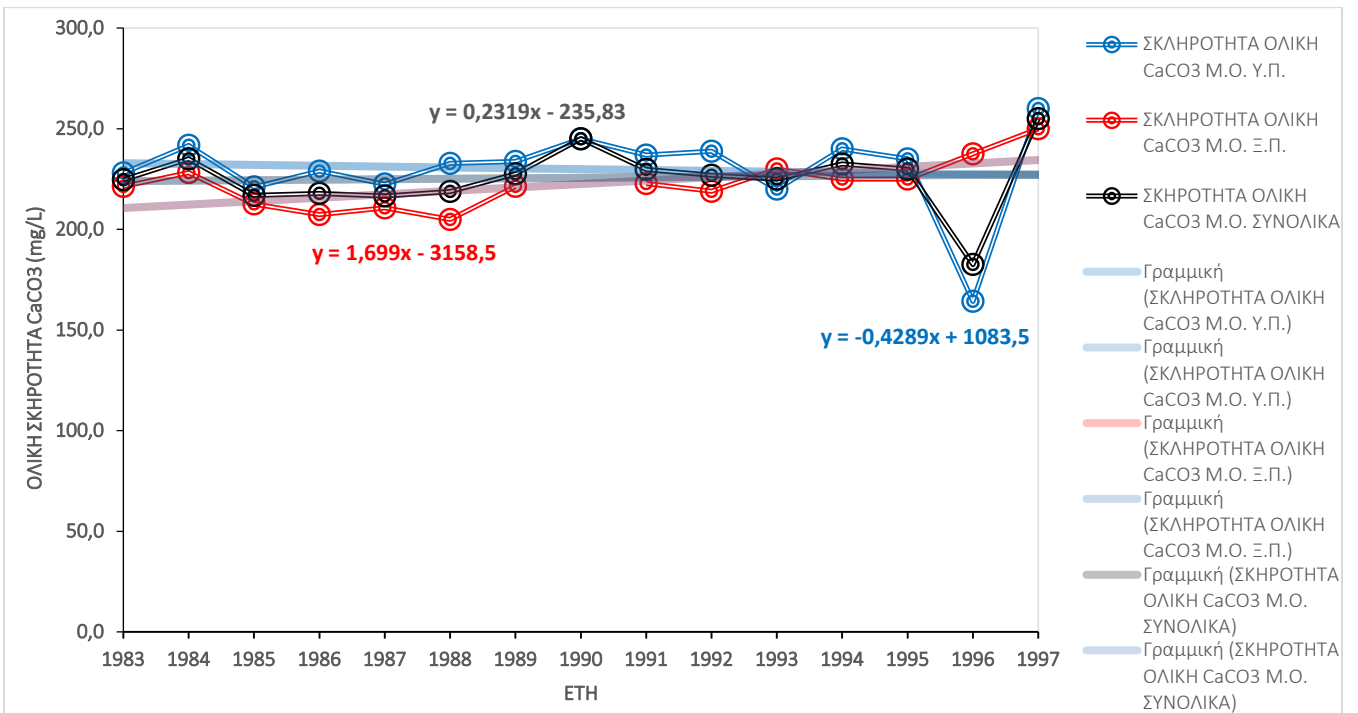
- mg  $\text{CaCO}_3$ /L ή ppm  $\text{CaCO}_3$  ή αμερικανικοί βαθμοί,
- $^{\circ}\text{f}$  ή γαλλικοί βαθμοί ( $1^{\circ}\text{f} = 10 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$  ή ppm  $\text{CaCO}_3$  και  $1^{\circ}\text{f} = 0,56^{\circ}\text{d}$ ),
- $^{\circ}\text{d}$  ή γερμανικοί βαθμοί ( $1^{\circ}\text{d} = 17,9 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$  ή ppm  $\text{CaCO}_3$  και  $1^{\circ}\text{d} = 1,79^{\circ}\text{f}$ )

Μεγάλες τιμές σκληρότητας δεν θεωρείται πως αποτελούν κίνδυνο για την υγεία με βάση την Ευρωπαϊκή νομοθεσία, αν και με βάση την Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών υπάρχει έμμεσα ανώτατο (ενδεικτικό) όριο.

Πίνακας 4.2. Χαρακτηρισμός νερού ανάλογα με το επίπεδο σκληρότητας

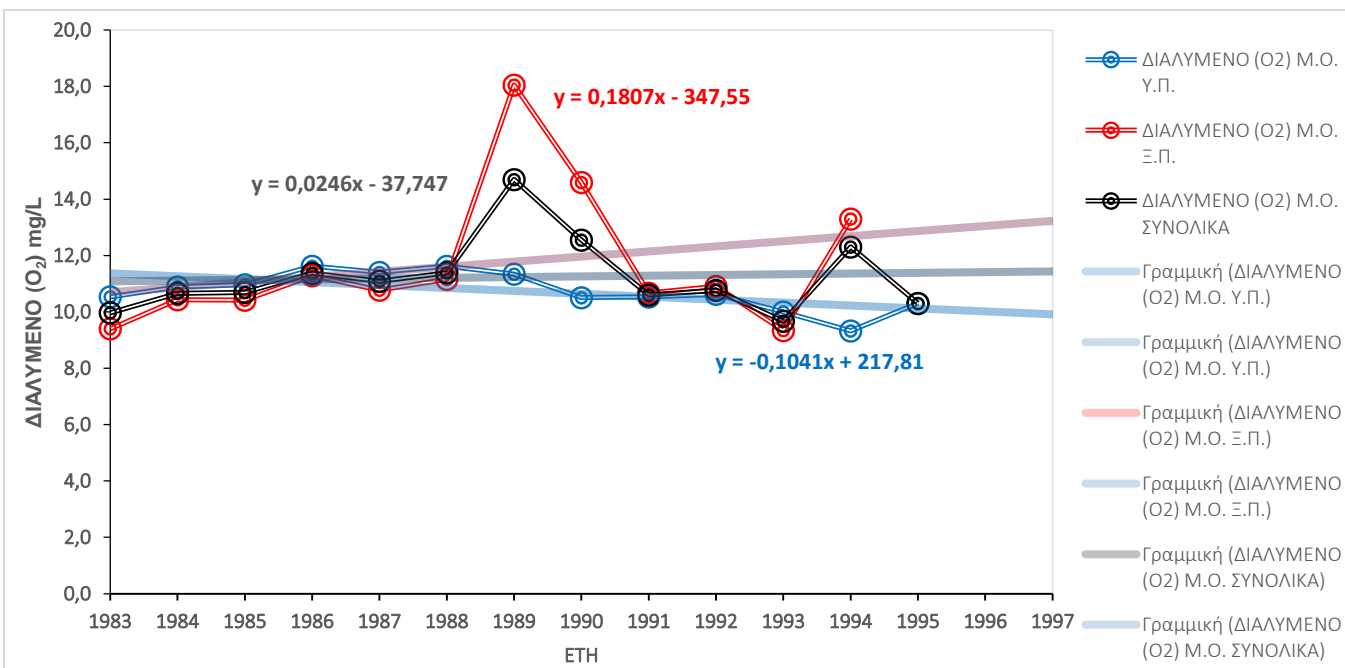
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΝΕΡΟΥ	ΓΑΛΛΙΚΟΙ ΒΑΘΜΟΙ	ΓΕΡΜΑΝΙΚΟΙ ΒΑΘΜΟΙ	mg $\text{CaCO}_3$ /L
	0 – 7,16	0 - 4	0 – 71,6
<b>Μαλακά</b>	7,16-14,32	4-8	71,6-143,2
<b>Ημίσκληρα</b>	14,32-21,48	8-12	143,2-214,8
<b>Σχετικά σκληρά</b>	21,48-32,22	12-18	214,8-322,2
<b>Σκληρά</b>	32,22-53,70	18-30	322,2-537,0
<b>Πολύ Σκληρά</b>	>53,70	>30	>537,0

Στην περίπτωση του υπό μελέτη Υ.Σ. της Λίμνης Βεγορίτιδας, αυτό ανήκει οριακά στην κατηγορία του “Σχετικά Σκληρού Νερού” δεδομένου ότι το ισοδύναμο  $\text{CaCO}_3$  (mg/L) κυμαίνεται μεταξύ 201 – 300 mg/L.



Σχήμα 4.17: Μέση τιμή Ολικής Σκληρότητας (CaCO<sub>3</sub>) Περίοδος ( 1983 – 1997)

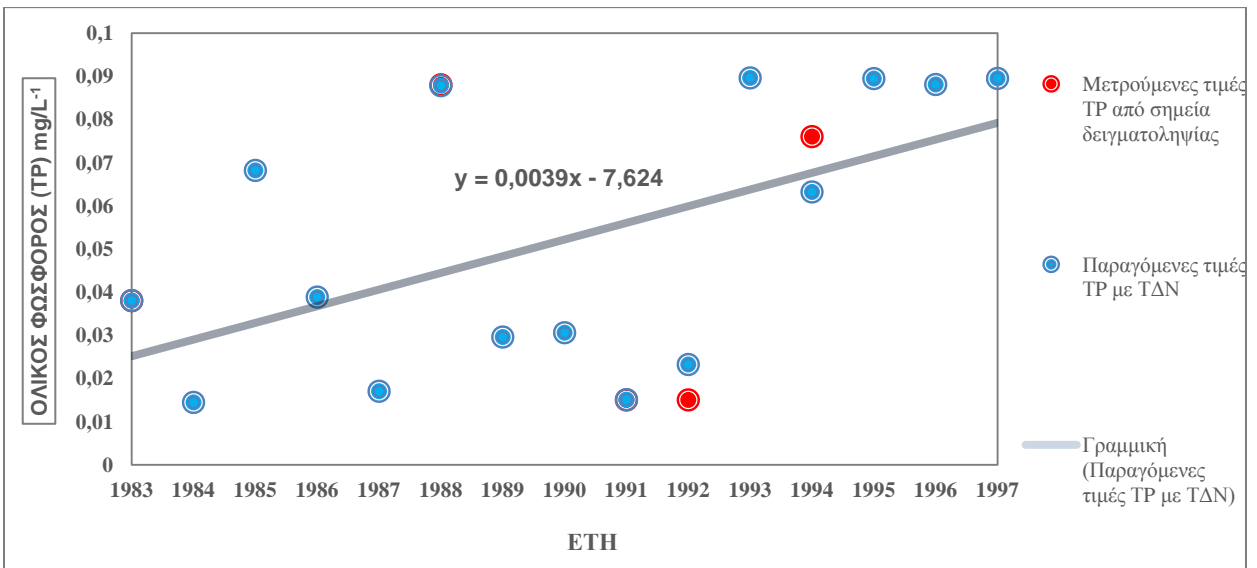
Οι χρονικές διακυμάνσεις των μέσων συνολικών τιμών για το Διαλυμένο Οξυγόνο (O<sub>2</sub>), παρουσιάζονται στο Σχ. 4.18., διαπιστώνοντας ότι η μέση τιμή για την υγρή περίοδο είναι 11,0 mg/L, η μέγιστη τιμή είναι 12 mg/L το έτος 1986 και η ελάχιστη 9,3 mg/L το έτος 1994. Για την ξηρή περίοδο η μέση τιμή είναι 11,6 mg/L, η μέγιστη τιμή είναι 18 mg/L το έτος 1989 και η ελάχιστη 9,0 mg/L το έτος 1993. Συμπερασματικά θα επισημάνουμε μια σοβαρά έντονη διακύμανση κατά το έτος 1989 που αφορά τη ξηρή περίοδο όπου συντελείτε μια απότομη αύξηση συγκριτικά με την προηγούμενη και επόμενη χρονιά (1988, 1990). Πρέπει να επισημανθεί ότι η παρουσία του οξυγόνου στο υπόγειο νερό, υποδηλώνει πρόσφατη έκθεση του νερού στην επίδραση της ατμόσφαιρας. Το οξυγόνο παρουσιάζει μικρή διαλυτότητα στο νερό, η οποία κυμαίνεται από 6 έως 15 mg/L. Μικρές τιμές περιεκτικότητας σε οξυγόνο παρατηρούνται σε νερά που δεν ανανεώνονται συχνά, ενώ αντίθετα μεγάλες συγκεντρώσεις συναντώνται σε νερά, τα οποία δεν παραμένουν για μεγάλο χρονικό διάστημα στους υδροφόρους ορίζοντες και ανανεώνονται συνεχώς. Μικρές τιμές του διαλυμένου οξυγόνου φανερώνουν έντονα ρυπασμένα νερά με οργανικές ουσίες. Γενικά η περιεκτικότητα του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό εξαρτάται από: α) Τη θερμοκρασία, όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία του νερού, τόσο μικρότερη είναι η περιεκτικότητα σε οξυγόνο, β) Την ποσότητα της οργανικής ύλης, η οποία αποσυντίθεται στο νερό, γ) Την παρουσία ή απουσία φυτών (μικροσκοπικών και μακροσκοπικών), τα οποία μπορούν να κάνουν φωτοσύνθεση.



Σχήμα 4.18: Μέση τιμή Διαλυμένου Οξυγόνου (O<sub>2</sub>) Περίοδος ( 1983 – 1997)

Στο Σχ.4.19. παρουσιάζεται διαγραμματικά η διακύμανση των παραγόμενων μέσων τιμών Ολικού Φωσφόρου (TP) ως αποτέλεσμα της εφαρμογής του ΤΝΔ της περίπτωσης μας. Όπως αναφέρθηκε και στην ανάλυση του μοντέλου, το παρακάτω διάγραμμα έχει λάβει υπόψιν δυο βασικές παραδοχές, η πρώτη αφορά τον υπολογισμό των πιθανότερων τιμών ολικού φώσφορου με την χρήση του μοντέλου λόγω των κενών – ελλείψεων στα δεδομένα αναφοράς και η δεύτερη παραδοχή έγκειται στο γεγονός ότι μπορούσε να υπολογιστεί μόνο η διακύμανση της υγρής περιόδου για όλο το διάστημα της χρονοσειράς 1983 – 1997, καθώς για την ξηρή περίοδο δεν υπήρχε καμία καταγραφή δεδομένων σε κανένα από τους τρεις σημειακούς σταθμούς μέτρησης. Κατόπιν των δυο αυτών βασικών παραδοχών από το Σχ. 4.19. διαπιστώνουμε ότι η συνολική μέση τιμή του ολικού φωσφόρου καταγράφηκε 0,053 mg/L, η μέγιστη τιμή 0,089 mg/L εμφανίζεται το έτος 1997 και η ελάχιστη 0,014 mg/L το έτος 1984. Συνολικά παρατηρούνται χρονικές διακυμάνσεις σε όλο το διάστημα αναφοράς δεδομένο που αποδεικνύει ότι ο συνδυασμός της κλιματικής αλλαγής με την εντατικοποίηση των πιέσεων από τις ανθρώπινες δραστηριότητες μεταβάλλει τους φυσικοχημικούς δείκτες και κατά επέκταση τον ολικό φώσφορο. Θα πρέπει να τονίσουμε ότι ο φωσφόρος αποτελεί δομικό στοιχείο των κυττάρων με τη μορφή πολλών και διαφορετικών ενώσεων, η πιο σπουδαία από τις οποίες είναι τα ορθοφωσφορικά ιόντα. Η ομάδα των φωσφορικών είναι βασικό δομικό στοιχείο των νουκλεϊκών οξέων, των φωσφολιπιδίων και παίρνει μέρος στις ενεργητικές και αναβολικές διαδικασίες των οργανισμών. Αποτελεί το 0.1 % κατά βάρος του στερεού φλοιού της γης, παρόλα αυτά οι αφομοιώσιμες ποσότητές του είναι περιορισμένες. Η σχετικά μικρή διαθεσιμότητά του αποδίδεται σύμφωνα με (Mitsch and Gosselink, 1993): α) στη γρήγορη ιζηματοποίηση σε αδιάλυτες μορφές με τα ιόντα σιδήρου, ασβεστίου, αργιλίου κάτω από αερόβιες συνθήκες, β) στην χημική προσρόφηση των φωσφορικών από την άργιλο, τον οργανικό χούμο και άλλα ανόργανα στοιχεία και γ) στη μικρή ενσωμάτωση στην βιομάζα των ζώντων οργανισμών των υγροτόπων. Ο φώσφορος δεν είναι ιδιαίτερα ευκίνητος στο έδαφος και δεν εκπλύνεται, αλλά μεταφέρεται με τα φυτά και τη μεταφορά εδαφικών σωματιδίων (Novotny and Olem, 1994).

Οι μεταβολές της συγκέντρωσης του φωσφόρου των λιμνών επηρεάζονται από τις εισροές και εκροές του λιμναίου συστήματος. Οι εισροές οφείλονται στα επιφανειακά υδατορεύματα, την απορροή της γύρω έκτασης και τις βιομηχανικές και αστικές εκροές προς τη λίμνη, ενώ οι εκροές, στα υδατορεύματα που απορρέουν από τη λίμνη και στις καθιζήσεις των αιωρούμενων υλικών στα ιζήματα του πυθμένα. Οι μεταβολές αυτές προσεγγίζονται μαθηματικά με μοντέλα φωσφόρου που διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: σ 'αυτά που θεωρούν τη λίμνη σαν ένα κλειστό σύστημα (μαύρο κουτί, black box) και εξετάζουν μόνο τις εισροές και εκροές και την ολική μάζα του φωσφόρου στη λίμνη, και σ 'αυτά που οι μεταβολές των διαφόρων μορφών του φωσφόρου της λίμνης στα διάφορα σημεία της περιγράφονται από διαφορικές εξισώσεις (Gianou and Antonopoulos, 2015).



Σχήμα 4.19: Μέση τιμή Ολικού Φωσφόρου (TP), παραγόμενη από εφαρμογή ΤΝΔ Περίοδος (1983 – 1997)

### 4.3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ

Στον Πιν. 4.3.α. που ακολουθεί παρουσιάζονται τα περιγραφικά στατιστικά της υγρής περιόδου για το υπό έρευνα υδάτινο σώμα της λίμνης Βεγορίτιδας.

Πίνακας 4.3.α. Περιγραφικά Στατιστικά Υγρής Περιόδου

	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΠΛΗΘΟΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ
pHwet	8,0571	,16036	14
CND	533,8800	30,45508	15
Cl	,7867	,19591	15
SO <sub>4</sub>	1,3600	,40673	15
Na	1,3267	,57752	15
Mg	3,0067	,25765	15
DO	10,7769	,81665	13
N-NO <sub>3</sub>	990,7778	618,18419	9
N-NO <sub>2</sub>	49,4286	25,50724	7
N-NH <sub>4</sub>	142,5000	108,36374	6
TP	,0521	,03084	15

Στον Πιν. 4.4.α., περιλαμβάνονται οι συσχετίσεις η σημαντικότητα μεταξύ δεικτών της υγρής περιόδου με τη μέθοδο συσχέτισης Pearson προϊόν επεξεργασίας του προγράμματος S.P.S.S.. Θα πρέπει να αναφέρουμε ότι τα όρια συσχέτισης είναι τα εξής:

- Από 0,75 – 0,99 (Πολύ καλή ή υψηλή συσχέτιση)
- Από 0,5 - 0,75 (Καλή η μέτρια συσχέτιση)
- Από 0,2 – 0,5 (Χαμηλή συσχέτιση)

Και τα όρια στατιστικής σημαντικότητας p-value <0,05.

Πίνακας 4.3.β. Συσχετισμοί Υγρής Περιόδου

		pHwet	CND	Cl	SO <sub>4</sub>	Na	Mg	DO	NO <sub>3</sub>	NNO <sub>2</sub>	NNH <sub>4</sub>	TP
<b>pHwet</b>	Pearson Correlation	1	0,127	-0,365	0,369	0,091	0,282	-0,296	-0,544	-0,612	-0,768	-,683**
	p-value		0,665	0,199	0,194	0,757	0,329	0,326	0,13	0,144	0,075	0,007
	N	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>13</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>14</b>
<b>CND</b>	Pearson Correlation	0,127	1	0,392	0,507	,642**	0,334	-,592*	-,716*	0,214	-0,613	0,384
	p-value	0,665		0,148	0,054	0,01	0,224	0,033	0,03	0,646	0,196	0,157
	N	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>13</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>15</b>
<b>Cl</b>	Pearson Correlation	-0,365	0,392	1	-0,411	0,098	-0,125	0,01	0,343	0,114	0,509	0,434
	p-value	0,199	0,148		0,128	0,728	0,656	0,975	0,366	0,809	0,303	0,106
	N	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>13</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>15</b>
<b>SO<sub>4</sub></b>	Pearson Correlation	0,369	0,507	-0,411	1	0,364	,657**	-0,133	-0,646	0,048	-0,666	-0,182
	p-value	0,194	0,054	0,128		0,183	0,008	0,665	0,06	0,919	0,148	0,517
	N	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>13</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>15</b>
<b>Na</b>	Pearson Correlation	0,091	,642**	0,098	0,364	1	-0,126	-0,198	-,674*	0,147	-0,493	0,365
	p-value	0,757	0,01	0,728	0,183		0,654	0,516	0,046	0,753	0,321	0,18
	N	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>13</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>15</b>
<b>Mg</b>	Pearson Correlation	0,282	0,334	-0,125	,657**	-0,126	1	-0,171	-0,56	0,242	-0,615	-0,219
	p-value	0,329	0,224	0,656	0,008	0,654		0,577	0,117	0,601	0,194	0,434
	N	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>13</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>15</b>
<b>DO</b>	Pearson Correlation	-0,296	-,592*	0,01	-0,133	-0,198	-0,171	1	,765*	0,113	0,578	-0,18
	p-value	0,326	,033	0,975	0,665	0,516	0,577		0,016	0,809	0,229	0,555
	N	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>15</b>

<b>N-NO<sub>3</sub></b>	Pearson Correlation	-0,544	-,716*	0,343	-0,646	-,674*	-0,56	,765*	1	-0,064	,974**	0,164
	p-value	0,13	0,03	0,366	0,06	0,046	0,117	0,016		0,892	0,005	0,673
	N	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>9</b>
<b>N-NO<sub>2</sub></b>	Pearson Correlation	-0,612	0,214	0,114	0,048	0,147	0,242	0,113	-0,064	1	-0,563	0,308
	p-value	0,144	0,646	0,809	0,919	0,753	0,601	0,809	0,892		0,619	0,502
	N	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>7</b>
<b>NNH<sub>4</sub></b>	Pearson Correlation	-0,768	-0,613	0,509	-0,666	-0,493	-0,615	0,578	,974**	-0,563	1	0,395
	p-value	0,075	0,196	0,303	0,148	0,321	0,194	0,229	0,005	0,619		0,438
	N	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>6</b>
<b>TP</b>	Pearson Correlation	-,683**	0,384	0,434	-0,182	0,365	-0,219	-0,18	0,164	0,308	0,395	1
	p-value	,007	0,157	0,106	0,517	0,18	0,434	0,555	0,673	0,502	0,438	
	N	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>13</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>15</b>

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

\* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Από τα αποτελέσματα του πίνακα 4.3.β. προκύπτει ότι κατά την υγρή περίοδο οι ομάδες δεικτών:

- Ενεργός Οξύτητα (pH) – Ολικού Φωσφόρου (TP), εμφανίζουν καλή συσχέτιση ( $r > 0,68$ ;  $p < 0,05$ ).
- Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (CND) – Νάτριο (Na) – Διαλυμένο Οξυγόνο (DO) και Νιτρικά (NO<sub>3</sub>), εμφανίζουν καλή συσχέτιση ( $r > 0,65$ ;  $p < 0,05$ ).
- Θειικά (SO<sub>4</sub>) – Μαγνήσιο (Mg), εμφανίζουν καλή συσχέτιση ( $r > 0,66$ ;  $p < 0,05$ ).
- Νιτρικά (NNO<sub>3</sub>) - Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (CND) - Νάτριο (Na) – Αμμωνιακά (NNH<sub>4</sub>), εμφανίζουν υψηλή συσχέτιση ( $r > 0,78$ ;  $p < 0,05$ ).



Στον Πιν.4.4.α. περιλαμβάνονται τα περιγραφικά στατιστικά της ξηρής περιόδου για τη λίμνη Βεγορίτιδα,

Πίνακας 4.4.α. Περιγραφικά Στατιστικά Ξηρής Περιόδου

	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΠΛΗΘΟΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ
pHdry	8,0571	,16036	14
CND	510,900	30,45508	15
Cl	,800	,19591	15
SO <sub>4</sub>	1,4000	,40673	15
Na	1,3000	,57752	15
Mg	3,000	,25765	15
DO	11,600	,81665	13
NNO <sub>3</sub>	990,7778	618,18419	9
NNO <sub>2</sub>	49,4286	25,50724	7
NNH <sub>4</sub>	142,5000	108,36374	6

Στον επόμενο πίνακα 4.4.β., περιλαμβάνονται οι συσχετίσεις η σημαντικότητα μεταξύ δεικτών της ξηρής περιόδου με τη μέθοδο συσχέτισης Pearson προϊόν επεξεργασίας του προγράμματος S.P.S.S.. Θα πρέπει να αναφέρουμε ότι τα όρια συσχέτισης είναι τα εξής:

- Από 0,75 – 0,99 (Πολύ καλή ή υψηλή συσχέτιση)
- Από 0,5 - 0,75 (Καλή η μέτρια συσχέτιση)
- Από 0,2 – 0,5 (Χαμηλή συσχέτιση)

Και τα όρια στατιστικής σημαντικότητας p-value <0,05.

Πίνακας 4.4.β. Συσχετισμοί Ξηρής Περιόδου

		pHdry	CND	Cl	SO <sub>4</sub>	Na	Mg	DO	NNO <sub>3</sub>	NNO <sub>2</sub>	NNH <sub>4</sub>
<b>pHdry</b>	Pearson Correlation	1	,714**	-0,117	0,446	,760**	-0,03	-0,107	,892**	0,022	-0,253
	p-value		0,004	0,69	0,127	0,003	0,923	0,74	0,007	0,967	0,837
	N	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>3</b>
<b>CND</b>	Pearson Correlation	,714**	1	0,454	,540*	,666**	0,43	-0,373	0,513	0,394	-0,94
	p-value	0,004		0,089	0,046	0,009	0,125	0,233	0,239	0,44	0,221
	N	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>3</b>
<b>Cl</b>	Pearson Correlation	-0,117	0,454	1	-0,109	0,11	,744**	-0,244	-0,309	-0,434	c
	p-value	0,69	0,089		0,711	0,709	0,002	0,444	0,5	0,39	0
	N	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>3</b>
<b>SO4</b>	Pearson Correlation	0,446	,540*	-0,109	1	,647*	0,239	0,057	-0,287	0,1	-0,978
	p-value	0,127	0,046	0,711		0,012	0,411	0,868	0,532	0,85	0,135
	N	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>11</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>3</b>
<b>Na</b>	Pearson Correlation	,760**	,666**	0,11	,647*	1	0,431	0,372	-0,014	0,27	-0,974
	p-value	0,003	0,009	0,709	0,012		0,124	0,26	0,976	0,605	0,146
	N	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>11</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>3</b>
<b>Mg</b>	Pearson Correlation	-0,03	0,43	,744**	0,239	0,431	1	0,229	-0,539	-0,692	-0,93
	p-value	0,923	0,125	0,002	0,411	0,124		0,498	0,212	0,128	0,239
	N	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>11</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>3</b>
<b>DO</b>	Pearson Correlation	-0,107	-0,373	-0,244	0,057	0,372	0,229	1	-0,174	-0,257	-0,886
	p-value	0,74	0,233	0,444	0,868	0,26	0,498		0,709	0,623	0,306
	N	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>3</b>
<b>NNO3</b>	Pearson Correlation	,892**	0,513	-0,309	-0,287	-0,014	-0,539	-0,174	1	0,039	1,000**
	p-value	0,007	0,239	0,5	0,532	0,976	0,212	0,709		0,941	.
	N	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>2</b>
<b>NNO2</b>	Pearson Correlation	0,022	0,394	-0,434	0,1	0,27	-0,692	-0,257	0,039	1	-1,000**
	p-value	0,967	0,44	0,39	0,85	0,605	0,128	0,623	0,941		.
	N	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>2</b>
<b>NNH4</b>	Pearson Correlation	-0,253	-0,94	c	-0,978	-0,974	-0,93	-0,886	1,000**	-1,000**	1
	p-value	0,837	0,221	0	0,135	0,146	0,239	0,306	.	.	
	N	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

c. Cannot be computed because at least one of the variables is constant.

Από τα αποτελέσματα του πίνακα 4.4.β. προκύπτει ότι κατά την ξηρή περίοδο οι ομάδες δεικτών:

- Ενεργός Οξύτητα (pH) – Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (CND) - Νάτριο (Na) - Νιτρικών (NNO<sub>3</sub>), εμφανίζουν υψηλή συσχέτιση ( $r > 0,79$ ;  $p < 0,05$ ).
- Χλωριόντα (Cl) – Μαγνήσιο (Mg), εμφανίζουν καλή συσχέτιση ( $r > 0,74$ ;  $p < 0,05$ ).
- Νάτριο (Na) - Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (CND) - Νιτρικά (NNO<sub>3</sub>), εμφανίζουν καλή συσχέτιση ( $r > 0,65$ ;  $p < 0,05$ ).
- Νιτρικών (NNO<sub>3</sub>) - Ενεργούς Οξύτητας (pH), εμφανίζουν υψηλή συσχέτιση ( $r > 0,89$ ;  $p < 0,05$ ).

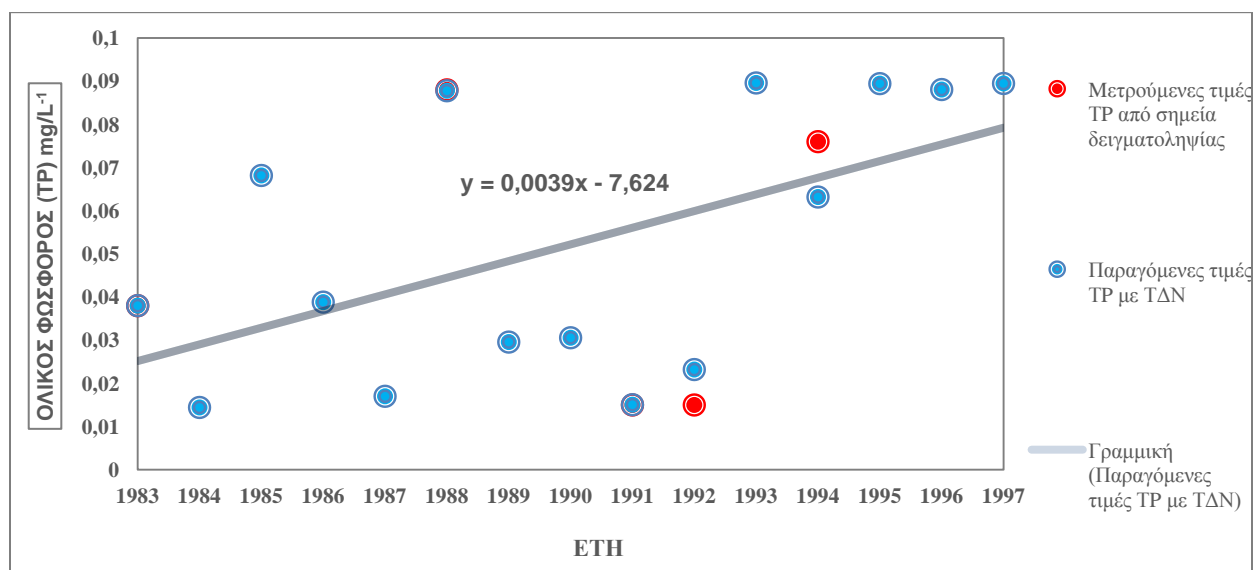
#### 4.4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΝΔ

Σύμφωνα με τις τιμές του Πίνακα 4.5., φαίνεται ότι η μέση τιμή της συγκέντρωσης του φωσφόρου για τα έτη εκπαίδευσης είναι 0.046mg/L. Ο δείκτης MBE έχει την τιμή -0.001mg/L, κάτι που δείχνει ότι το ΤΝΔ υποεκτιμά τη μέση ετήσια τιμή της συγκέντρωσης του φωσφόρου κατά 0.001mg/L, τιμή που είναι πάρα πολύ μικρή συγκρινόμενη με την αντίστοιχη μέση τιμή της περιόδου εκπαίδευσης. Αντίστοιχα, η τιμή του RMSE είναι ίση με 0.007 mg/L, τιμή πολύ μικρότερη σε σχέση με τη μέση ετήσια τιμή της συγκέντρωσης του φωσφόρου κατά τη διάρκεια της περιόδου εκπαίδευσης, υποδεικνύοντας ένα πάρα πολύ μικρό σφάλμα πρόβλεψης από το μοντέλο. Επίσης, η τιμή του συντελεστή προσδιορισμού ( $R^2$ ) είναι ίση με 0.962 που δείχνει ότι το ανεπτυγμένο μοντέλο ΤΝΔ, έχει τη δυνατότητα να ερμηνεύει το 96.2% της διακύμανσης των μέσων ετήσιων τιμών συγκέντρωσης του φωσφόρου για τη λίμνη της Βεγορίτιδας. Η τιμή του δείκτη συμφωνίας (IA) είναι ίση με 0.986, πολύ κοντά στη μονάδα, υποδεικνύοντας ότι οι προβλεπόμενες τιμές της μέσης ετήσιας συγκέντρωσης του φωσφόρου από το μοντέλο, είναι πάρα πολύ κοντά στις αντίστοιχες παρατηρούμενες τιμές.

**Πίνακας 4.5. Στατιστικοί δείκτες αξιολόγησης εφαρμογής ΤΝΔ**

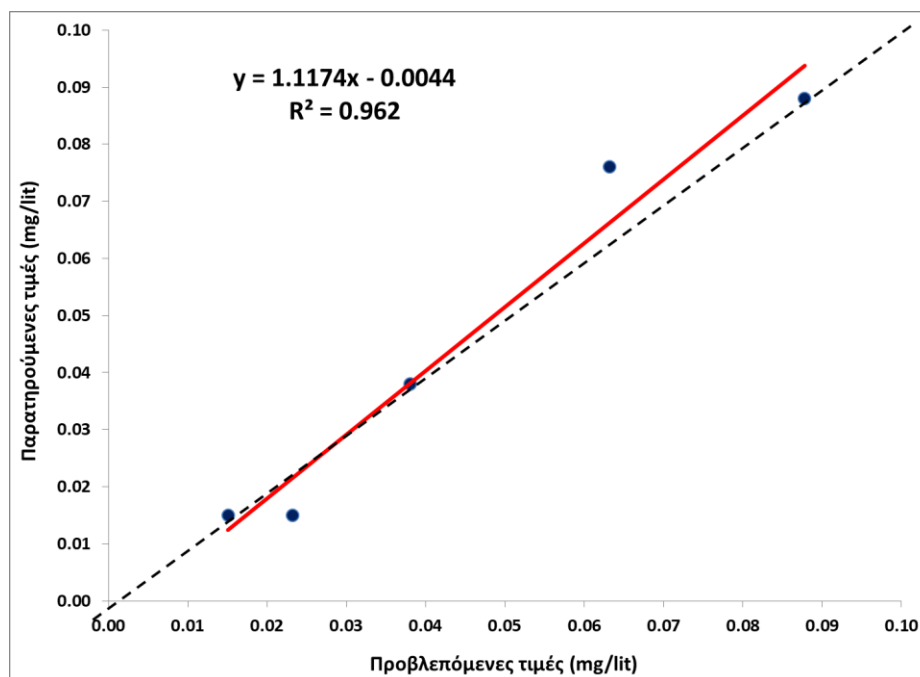
$P_{ave}$ (mg/L)	MBE (mg L <sup>-1</sup> )	RMSE (mg/L)	$R^2$	IA
0.046	-0.001	0.007	0.962	0.986

Στο Σχ.4.19., παρουσιάζεται η πλήρης χρονοσειρά των μέσων ετήσιων τιμών συγκέντρωσης του φωσφόρου για τη λίμνη της Βεγορίτιδας και για τη χρονική περίοδο 1983-1997, όπως αυτή προκύπτει με βάση το ανεπτυγμένο ΤΝΔ προγνωστικό μοντέλο. Με κόκκινο είναι τα σημεία των παρατηρούμενων-πραγματικών τιμών που προέκυψαν από μετρήσεις σε τρία διαφορετικά σημεία της λίμνης και με μπλε είναι οι αντίστοιχες μέσες ετήσιες τιμές όπως αυτές προέκυψαν με εφαρμογή του προγνωστικού μοντέλου-ΤΝΔ.



**Σχήμα 4.19:** Μέση τιμή Ολικού Φωσφόρου (TP), παραγόμενη από εφαρμογή ΤΝΔ Περίοδος ( 1983 – 1997)

Στο Σχ. 4.20., παρουσιάζεται το διάγραμμα διασποράς μεταξύ των πραγματικών-παρατηρούμενων τιμών μέσης ετήσιας συγκέντρωσης του φωσφόρου (mg/L), με τις αντίστοιχες τιμές που προβλέπει για το μέγεθος αυτό το ΤΝΔ κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσής του. Σύμφωνα και με το Σχ.4.20., είναι εμφανής η ακρίβεια του μοντέλου που αναπτύχθηκε για να προβλέπει τη μέση ετήσια τιμή συγκέντρωσης του φωσφόρου για τη λίμνη της Βεγορίτιδας. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφέρουμε τις δυο βασικές παραδοχές που έγιναν για τον συγκεκριμένο δείκτη, η πρώτη αφορούσε το γεγονός ότι το σύνολο των μετρήσεων αφορούσε λήψη μίας τιμής για κάθε μήνα σε κάθε έτος από τους τρεις σημειακούς σταθμούς και η δεύτερη παραδοχή έγκειται στο γεγονός ότι για τον ολικό φώσφορο δεν υπήρχε καμία καταγραφή σε κανένα σταθμό μέτρησης για τη ξηρή περίοδο (Μάϊος – Σεπτέμβριος). Ως εκ τούτου μελετήθηκε η διακύμανση με τη χρήση του μοντέλου μόνο για την υγρή περίοδο (Οκτώβριος – Απρίλιος).



**Σχήμα 4.20:** Διάγραμμα διασποράς μεταξύ παρατηρούμενων και παραγόμενων μέσω τιμών Ολικού Φωσφόρου (TP), από εφαρμογή ΤΝΔ Περίοδος (1983 – 1997)

## 4.5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ D.P.S.I.R.

Στον Πιν.4.6. παρουσιάζονται οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την οικολογική κατάσταση του υπό έρευνα υδάτινου σώματος και προκαλούν την διαχρονική διακύμανση των σημαντικότερων φυσικοχημικών δεικτών, Ολικού Φωσφόρου (TP) , Ενεργούς Οξύτητας (pH) και Ολικού Αζώτου (TN) για την περίοδο 1983 - 1997.

Πίνακας 4.6. Δεδομένα D.P.S.I.R. ανάλυσης για το υπό έρευνα Υ.Σ. Βεγορίτιδας Λίμνης

Κατευθυντήριες Δυνάμεις	Πιέσεις	Υφιστάμενη Κατάσταση	Επιπτώσεις	Απόκριση
Γεωργία - Κτηνοτροφία	<ul style="list-style-type: none"> <li>Χρήση λιπασμάτων</li> <li>Χρήση φυτοφαρμάκων</li> <li>Αλλαγή χρήσεων γης</li> <li>Άρδευση</li> <li>Ζωϊκό κεφάλαιο</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Υψηλή συγκέντρωση ολικού αζώτου στο νερό της λίμνης</li> <li>Υψηλές ετήσιες διακυμάνσεις της στάθμης του νερού</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Καταστροφή των οικοτόπων</li> <li>Παρουσίαση φαινομένου έντονου ευτροφισμού</li> <li>Τοξικότητα των υδάτων</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Κώδικας ορθών γεωργικών πολιτικών</li> <li>Εφαρμογή της οδηγίας 2000/60</li> </ul>
Χρήσεις γης και Αστικοποίηση	<ul style="list-style-type: none"> <li>Απώλεια οικοτόπων,</li> <li>Ανάπτυξη αστικών και ημιαστικών περιοχών</li> <li>Ζήτηση για επεξεργασία λυμάτων</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Αύξηση ρυπαντικού φορτίου</li> <li>Υποβάθμιση της ποιότητας των υδάτων</li> <li>Υψηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Απώλεια οικοτόπων</li> <li>Εξαφάνιση ειδών[9]</li> <li>Ευτροφισμός</li> <li>Απώλεια ενδιαιτημάτων</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Εφαρμογή της Οδηγίας για τα ύδατα (WFD)</li> <li>Αξιολόγηση καλής λειτουργίας σταθμών επεξεργασίας λυμάτων</li> <li>Προσδιορισμός των ζωνών οικιστικής ανάπτυξης</li> </ul>
Βιομηχανική Ανάπτυξη	<ul style="list-style-type: none"> <li>Βιομηχανικά απόβλητα</li> <li>Απαιτήσεις άρδευσης</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Διακυμάνσεις στάθμης υδάτων</li> <li>Αυξητικές τάσεις Νιτρικών ιόντων στο νερό</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ποιότητα νερού</li> <li>Απώλεια οικοτόπων</li> <li>Εξαφάνιση ειδών[9]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Εφαρμογή της Οδηγίας για τα ύδατα (WFD)</li> </ul>
Ζήτηση για προστασία του οικοσυστήματος	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ζητήματα συντήρησης και διατήρησης των ειδών</li> <li>Η κλιματική αλλαγή (πλημμύρες / ξηρασίες)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Μείωση της υγροτοπικής περιοχής</li> <li>Οι πληθυσμοί των ειδών μειώνονται[9]</li> <li>Ενδείξεις εξαφάνισης χωροκατακτητικών ειδών[9]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Κατάσταση διατήρησης</li> <li>Επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Μέτρα διατήρησης ειδών και οικοτόπων</li> <li>Αξιολόγηση αγαθών και υπηρεσιών που προσφέρει το οικοσύστημα</li> <li>Συμμετοχή τοπικών Δήμων σε σχέδια δράσης</li> </ul>

Πίνακας 4.7. Χαρακτηριστικά τυπολογίας Ελληνικών Λιμνών, (Βεγορίτιδα Λίμνη), MED – GIG, (2010), (kagalou et al., 2008;Poikane , 2009).

Οικοπεριοχή	Σύμφωνα με το παράρτημα XI της οδηγίας πλαίσιο για τα νερά (Dir.2000/60/EC), Η λίμνη Βεγορίτιδα ανήκει “στην περιοχή των Δυτικών Βαλκανίων”
Υψόμετρο	Σύμφωνα με το παράρτημα II της οδηγίας πλαίσιο για τα νερά (Dir.2000/60/EC), περιλαμβάνονται τρεις κατηγορίες υψομέτρου στις Ελληνικές λίμνες: χαμηλό (< 200 m a.s.l), μεσαίο (200 – 800 m a.s.l) και υψηλό (> 800 m a.s.l). Η Βεγορίτιδα λίμνη κατατάσσεται στις μεσαίου υψομέτρου λίμνες, περίπου, 515.0 m a.s.l.
Μέγιστο & μέσο βάθος	Το σύστημα A του παραρτήματος II της Οδηγίας Πλαίσιο για τα Νερά (Dir.2000/60/EC), προτείνει τρεις μέσες κατηγορίες βάθους ως εξής: πολύ ρηχή (< 3 m), ρηχή (3-15 m) και βαθιά (> 15 m). Η λίμνη Βεγορίτιδα έχει μέγιστο βάθος ( $Z_{max}$ ) 26,6 m. Και μέσο βάθος ( $Z_{mean}$ ) 15,0 m συνεπώς υπάγεται στην κατηγορία βαθιών λιμνών, ενώ ο λόγος $Z_{mean} / Z_{max}$ είναι ίσος με 0,56.
Εκταση περιοχής	Η λίμνη περικλείεται σε μια έκταση 40.0 km <sup>2</sup> και ανήκει στην κατηγορία “μεγάλου μεγέθους υδάτινου σώματος”, σε συνολική έκταση 1853 km <sup>2</sup> .
Γεωλογία	Η λεκάνη απορροής της Βεγορίτιδας παρουσιάζει εκτεταμένη διάβρωση ασβεστόλιθου. Επιπλέον, σύμφωνα με τον (Romero et al.,2002) τα ιζήματα της Βεγορίτιδας λίμνης περιλαμβάνουν ανθρακικό υλικό που προέρχεται από μάρμαρα και ασβεστιτικούς σχιστόλιθους με χαλαζία μοσχοβίτη και χλωρίτη. Σύμφωνα με το σύστημα A του παραρτήματος II της οδηγίας πλαίσιο για τα νερά, υποδεικνύονται τρεις τύποι γεωλογίας (ασβεστολιθική, πυριτική και οργανική), η λίμνη Βεγορίτιδα, ανήκει στην ασβεστολιθική κατηγορία.
Ανάμειξη	Η Βεγορίτιδα λίμνη είναι μονομεικτική, Συνήθως υπάρχουν βαθιές ή / και ρηχές λίμνες με μικρή θερμική διαστρωμάτωση κατά τη θερινή περίοδο (Kagalou et al., 2008)

Έπειτα από την ανάλυση της προσέγγισης στο πλαίσιο της μεθοδολογίας D.P.S.I.R όπως αναλύθηκε στον πίνακα 4.6. και τον πίνακα 4.7., που περιλαμβάνει τα βασικά χαρακτηριστικά τυπολογίας του υπό έρευνα υδάτινου σώματος, στον πίνακα 4.8. παρατίθενται οι ελάχιστες και μέγιστες μέσες ετήσιες τιμές φυσικοχημικών παραμέτρων και τα έτη αναφοράς της υπό έρευνας λίμνης Βεγορίτιδας.

Πίνακας 4.8. Ελάχιστες και μέγιστες τιμές παραμέτρων Βεγορίτιδας Λίμνης

	T (°C)	pH	Ηλ. Αγωγιμότητα (μS/cm)	DO (mg L <sup>-1</sup> )	TN (mg L <sup>-1</sup> )	TP (μg L <sup>-1</sup> )
Ελάχιστη	8.0	7.7	484	9.0	0.077	14
Μέγιστη	24.2	8.5	597	18.0	1.84	89
Έτη αναφοράς	13	14	14	14	14	10



Ακολουθώς στον πίνακα 4.9., παρουσιάζονται τα όρια των παραμέτρων σύμφωνα με το σύστημα ECOFRAME, (Moss et al., 2003), που αφορούν στην ταξινόμηση της οικολογικής κατάστασης του υδάτινου σώματος της λίμνης Βεγορίτιδας βασιζόμενο στα χαρακτηριστικά του υπό έρευνα υδάτινου σώματος όπως προκύπτει από τον Πιν 4.9.

Πίνακας 4.9. Όρια παραμέτρων υδάτινων σωμάτων (Βεγορίτιδα Λίμνη), (Moss et al., 2003)

Large warm lakes

Ecohybe no.	Temp. of warmest month (°C)	Ice cover (months)	Area (km <sup>2</sup> )	Catchment geology	Conductivity (μS cm <sup>-2</sup> )	Ecological status	pH (log units)	Total P (μg L <sup>-1</sup> )	Total N (mg L <sup>-1</sup> )	Secchi depth (m)	Chlorophyll <i>a</i> (μg L <sup>-1</sup> )	Phytoplankton diversity	Plant community	Plant diversity (species number)	Plant abundance	Cladocera (no. large : total no.)	Zoopl.phytopl (mg.μg chlorophyll <i>a</i> )	Invertebrate predators (%)	Naid:Naid + chiro (% by number)	Sensitive taxa (% by number)	Oligo: chiro [soft substr] (ratio by no.)	Fish community	Fish biomass (g m <sup>-2</sup> )	Pisc:zoopl (ratio by biomass)	Water flow	Residence	Groundwater	Depth var.n	Substrate	Lake shore	Temperature	Oxygen	Salinity	Pollution					
43	>25	<2	>100	Rock	<100	High	5.5-8	<15(pH<5.5)	<0.3	>3(pH<5.5)	<10(pH<5.5)	A Iso		>10	2	>0.3	>50	>20	>30	>20	<0.25	Pi + Abex	5 to 10	>0.5	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N				
						Good	5.5-8	16-30	0.3-0.5	>3(pH<5.5)	11 to 20	A Iso	>10	2	>0.3	>50	>15<20	>20<30	>20	>0.25<0.5	Pi + Abex	5 to 10	>0.5	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
						Moderate	5.5-8	31-50	0.5-1.0	2-2.9	21-30	A EIPo or CanNy	<10<3	3	0.1-0.3	20-50	>10<15	>10<20	10 to 20	>0.5<1	Pi or Abex	10 to 20	0.2-0.5	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
						Poor (acid)	4.5-5.5	<15(pH<5.4)	>1.0	>3(pH<5.4)	<10(pH<5.4)	A Sphag	0-3	>2 (Sph)	<0.1	>20	>5<10	>5<10	<10	<0.25	Altd	<5	<0.2	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM
						Poor (eutr)	>8.1	51-75	>1.0	1.0-1.9	31-50	B Indistinct	0-3	1	<0.1	>20	>5<10	>5<10	<10	>1	Altd	<5 or >20	<0.2	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM
44	>25	<2	>100	Rock	101-800	High	6.0-10	<30	<0.5	>3	<10	A Iso or Char		>10	2	>0.3	>50	>20	>30	>20	<0.25	Pi + Abex	5 to 20	>0.5	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N				
						Good	6.0-10	31-50	0.6-1.0	>3	11 to 20	A Iso or Char	>10	2	>0.3	>50	>15<20	>20<30	>20	>0.25<0.5	Pi + Abex	5 to 20	>0.5	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	
						Moderate	6.0-10	51-100	1.1-1.5	2-2.9	21-30	A EIPo or CanNy	<10<3	3	0.1-0.3	20-50	>10<15	>10<20	10 to 20	>0.5<1	Pi or Abex	>20	0.2-0.5	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
						Poor (acid)	<5.9 or >10.1	101-150	>1.5	1.0-1.9	31-50	B Indistinct	<3>0	1	<0.1	<20	>5<10	>5<10	<10	>1	Altd	>20	<0.2	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM
						Poor (eutr)	<5.9 or >10.1	>150	>1.5	<0.9	>51	C Absent	0	0	<0.1	<20	<5	<5	<10	No animals	Altd	<5	<0.2	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM
45	>25	<2	>100	Rock	>801	High	6.0-10	<30	<0.6	>3	<10	A Char		>10	2	>0.3	>50	>20	>30	>20	<0.25	Pi + Abex	5 to 20	>0.5	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N				
						Good	6.0-10	31-50	0.6-1.0	>3	11 to 20	A Char	>10	2	>0.3	>50	>15<20	>20<30	>20	>0.25<0.5	Pi + Abex	5 to 20	>0.5	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	
						Moderate	6.0-10	51-100	1.0-1.5	2-2.9	21-30	A EIPo or CanNy	<10<3	3	0.1-0.3	20-50	>10<15	>10<20	10 to 20	>0.5<1	Pi or Abex	>20	0.2-0.5	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	
						Poor (acid)	<5.9 or >10.1	>101	>1.5	1.0-1.9	31-50	B Indistinct	<3>0	1	<0.1	<20	>5<10	>5<10	<10	>1	Altd	>20	<0.2	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	
						Poor (eutr)	<5.9 or >10.1	>150	>1.5	<0.9	>51	C Absent	0	0	<0.1	<20	<5	<5	<10	No animals	Altd	<5	<0.2	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	

Εικόνα 4.1: Πίνακας ορίων παραμέτρων υδάτινων σωμάτων, ( Moss et al.,2003) (Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst. 13: 507–549, 2003)

Πίνακας 4.10. Σύστημα ταξινόμησης της οικολογικής ποιότητας του νερού λιμνών με βάση το σύστημα ECOFRAME (Moss et al., 2003).

Ποιότητα	pH	TP ( $\mu\text{g/l}$ )	TN ( $\text{mg/l}$ )
<b>Υψηλή</b>	6.0-10.0	<30	<0.6
<b>Καλή</b>	6.0-10.0	31-50	0.6-1.0
<b>Μέτρια</b>	6.0-10.0	51-100	1.0-1.5
<b>Ελλιπής</b>	<5.9 ή >10.1	>101	>1.5
<b>Κακή</b>	<5.9 ή >10.1	>150	>1.5

- **Υψηλή Κατάσταση (High):** Έλλειψη, ή ήσσονος μόνον σημασίας ανθρωπογενείς μεταβολές των τιμών των φυσικοχημικών και των υδρομορφολογικών ποιοτικών στοιχείων. Οι τιμές των βιολογικών ποιοτικών στοιχείων του συστήματος επιφανειακών υδάτων αντικατοπτρίζουν εκείνες των συνθηκών αναφοράς.
- **Καλή Κατάσταση (Good):** Οι τιμές των βιολογικών ποιοτικών στοιχείων του συστήματος επιφανειακών υδάτων εμφανίζουν χαμηλού επιπέδου αλλοιώσεις, λόγω ανθρωπίνων δραστηριοτήτων, αλλά διαφοροποιούνται σε μικρό βαθμό από τις τιμές που χαρακτηρίζουν το σύστημα επιφανειακών υδάτων υπό μη διαταραγμένες συνθήκες.
- **Μέτρια Κατάσταση (Moderate):** Οι τιμές των βιολογικών ποιοτικών στοιχείων του συστήματος επιφανειακών υδάτων παραλλάσσουν μετρίως τις τιμές που χαρακτηρίζουν φυσιολογικά το σύστημα επιφανειακών υδάτων υπό μη διαταραγμένες συνθήκες.
- **Ελλιπής Κατάσταση (Poor):** Τα ύδατα τα οποία εμφανίζουν ενδείξεις σημαντικών αλλοιώσεων των τιμών των βιολογικών ποιοτικών στοιχείων του τυπικού συστήματος επιφανειακών υδάτων και στα οποία οι σχετικές βιολογικές κοινότητες διαφέρουν ουσιαστικά από εκείνες που χαρακτηρίζουν το σύστημα επιφανειακών υδάτων σε μη διαταραγμένες συνθήκες.
- **Κακή Κατάσταση (Bad):** Τα ύδατα τα οποία εμφανίζουν ενδείξεις σοβαρών αλλοιώσεων των τιμών των βιολογικών ποιοτικών στοιχείων του τυπικού συστήματος επιφανειακών υδάτων και από τα οποία απουσιάζει μεγάλο μέρος των σχετικών βιολογικών κοινοτήτων που χαρακτηρίζουν φυσιολογικά το σύστημα επιφανειακών υδάτων σε μη διαταραγμένες συνθήκες.

Στον πίνακα 4.11., ακολουθεί η ταξινόμηση της οικολογικής κατάστασης της λίμνης ως ζεύξη των παραγόντων οικονομικών και κοινωνικών συνθηκών με την διαχρονική μεταβολή φυσικοχημικών δεικτών στο διάστημα αναφοράς 1983 – 1997.

Πίνακας 4.11.. Ταξινόμηση οικολογικής κατάστασης της Λίμνης Βεγορίτιδας, (1983 – 1997), σύμφωνα με ECOFRAME και MED – GIG, (2010), (Moss et al., 2003).

ΕΤΟΣ	pH	TP* ( $\mu\text{gL}^{-1}$ )	TN ( $\text{mgL}^{-1}$ )
1983	8,1	38	1,46
1984	8,2	14	1,48
1985	8,1	68	0,077
1986	8,0	39	1,7
1987	8,0	17	1,72
1988	7,7	88	1,84
1989	8,0	30	1,16

1990	8,3	31	Δεν υπάρχουν δεδομένα
1991	8,3	15	0,191
1992	8,2	23	0,191
1993	8,0	90	Δεν υπάρχουν δεδομένα
1994	8,0	63	0,328
1995	7,9	89	Δεν υπάρχουν δεδομένα
1996	Δεν υπάρχουν δεδομένα	88	Δεν υπάρχουν δεδομένα
1997	8,0	89	Δεν υπάρχουν δεδομένα

\* Αναφέρεται ότι οι τιμές του δείκτη Ολικού Φωσφόρου (TP), αποτελούν προϊόν της εφαρμογής του TNΔ για την υγρή περίοδο με τις παραδοχές που έγιναν στα κεφάλαια 3 και 4, παράγραφοι (3.4.; 4.4.), Σχ.4.19.

Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα διαπιστώνεται ότι η λίμνη Βεγορίτιδα παρουσιάζει σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις Ολικού Αζώτου (TN) κατά την περίοδο (1986 - 1988), παρόλο που από το έτος 1991 παρατηρείται μια αισθητή πτώση. Ο δείκτης αντίστοιχα της Ενεργούς Οξύτητας (pH), παρουσιάζει καλή εικόνα στο διάστημα αναφοράς και κινείται σε αποδεκτά όρια σε όλο το διάστημα αναφοράς εκτός από τα έτη (1983 – 1985 και 1990 - 1992) που η τιμή του είναι αυξημένη αλλά εντός ορίων της «καλής κατάστασης» (Moss et. al., 2003). Η τιμές του δείκτη Ολικού Φωσφόρου (TP), παρουσιάζουν μια αυξητική τάση από το έτος 1993 – 1997, στοιχείο που επιβεβαιώνει ότι οι ασκούμενες πιέσεις στο Υ.Σ. από τις γεωργικές εκμεταλλεύσεις, σε συνδυασμό με την χρήση φυτοφαρμάκων και χημικών λιπασμάτων, οι εξορυκτικές δραστηριότητες της ΔΕΗ, οι σημειακές πηγές ρύπανσης, τα αστικά λύματα που προέρχονται από τους γύρω οικισμούς και από γειτονικές πόλεις όπως η Πτολεμαΐδα και το Αμύνταιο, η άμεση απόρριψη σκουπιδιών και οι ανεξέλεγκτες χωματερές που διοχετεύουν τοξικά και άλλα απόβλητα στον υδροφόρο ορίζοντα και τη λίμνη καθώς και οι αλλαγές χρήσεων γης, δημιουργούν συνθήκες ύπαρξης έντονου ευτροφισμού, επιδείνωση της ποιότητας των υδάτων δημιουργώντας συνθήκες επιδείνωσης της οικολογικής κατάστασης της λίμνης, δεδομένο που ενισχύει το γεγονός ότι πέρα από την οικολογική υποβάθμιση που έχει διαπιστωθεί σε πλήθος αναφορών και ερευνητικών εργασιών κατά το παρελθόν (ΥΠΕΚΑ, Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2012), παράλληλα το λιμναίο σώμα εμφανίζει και μια τάση προς μέτρια χημική κατάσταση. Αξίζει να σημειωθεί ότι με βάση πρόσφατη μελέτη του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης σε συνεργασία με το Εθνικό Δίκτυο Παρακολούθησης Υδάτων το έτος 2018, παρόλο που το Υ.Σ. της λίμνης έχει χαρακτηριστεί ως προστατευόμενη περιοχή, ανήκοντας πλέον στο Ευρωπαϊκό Δίκτυο Προστατευόμενων Περιοχών (NATURA 2000), παρατηρήθηκαν φαινόμενα δισχρωματισμού, κυανοβακτηρίας και υψηλότερες συγκεντρώσεις φωσφόρου, χλωροφύλλης Π – α, στοιχεία που αρχίζουν να επιβαρύνουν ακόμη περισσότερο τη χημική κατάσταση της λίμνης και επιβεβαιώνουν την παραπάνω εκτίμηση ως προϊόν της επεξεργασίας των δεδομένων που προέκυψαν, σε συνδυασμό με την διαχρονική εντατικοποίηση των δραστηριοτήτων και πιέσεων που ασκούνται και αναλύθηκαν στον Πιν 4.6. στο πλαίσιο της ανάλυσης D.P.S.I.R.

## 5.1. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα υδάτινα σώματα στον Ελλαδικό χώρο κατά το παρελθόν όπως προκύπτει από αντίστοιχες ερευνητικές εργασίες μελέτες και δημοσιεύσεις, δέχονταν διαχρονικά ιδιαίτερα μεγάλες πιέσεις τόσο λόγω της ραγδαίας ανθρώπινης εκμετάλλευσης γεωργικής και βιομηχανικής φύσεως όσο και ως προς την έλλειψη προγραμμάτων ευαισθητοποίησης του κοινού, δημιουργία πολιτικών και νομικού πλαισίου, φιλικών προς το περιβάλλον, σχεδίων και προγραμμάτων διαχείρισης υδατικών πόρων. Αποτέλεσμα που διαχρονικά οδήγησε πολλά υδάτινα σώματα σε συρρίκνωση μεγέθους, έντονες μεταβολές της στάθμης από φαινόμενα υπεράντλησης υδάτων αλλά κυρίως αποτέλεσε σημαντικό παράγοντα που επηρέασε την οικολογική και χημική κατάσταση των σωμάτων, απομειώνοντας την αξία και το απόθεμα φυσικού περιβάλλοντος και πόρων. Η Βεγορίτιδα λίμνη δεν αποτέλεσε εξαίρεση σε αυτό καθώς όπως προέκυψε από την αξιοποίηση των δεδομένων όπως αυτά αναλύθηκαν και παρουσιάστηκαν, η λίμνη αν και ενταγμένη πλέον στο πρόγραμμα (NATURA, 2000), εντούτοις η χημική και οικολογική της κατάσταση είναι στα όρια «καλής» προς «μέτρια». Παρουσιάζοντας μεγάλες μεταβολές διαχρονικά σε κρίσιμους βιολογικούς δείκτες όπως του Ολικού φωσφόρου (TP) και Ολικού Αζώτου (TN), στοιχείο που συνδέει τη λίμνη με την ύπαρξη ευτροφισμού δημιουργώντας παράλληλα πιθανή τοξικότητα των υδάτων όπως αναφέρθηκε σε πρόσφατη μελέτη της Διεύθυνσης Υδάτων Δυτικής Μακεδονίας, το έτος 2018. Συνθήκη που αυξάνει την απώλεια του οικοτόπου και διατηρεί μια σταθερά μέτρια οικολογική και χημική κατάσταση για τη λίμνη. Αν και τα τελευταία έτη οι καταγραφές για τους δείκτες (TP, TN) δείχνουν μια πτωτική τάση στοιχείο αρκετά ενθαρρυντικό. Παράλληλα από τα περιγραφικά στατιστικά ως στάδιο στη διαδικασία της επεξεργασίας των δεδομένων για τις ανάγκες της έρευνας και την ανάλυση της συσχέτισης (correlations) και στατιστικής σημαντικότητας (p – value) μεταξύ των βιοχημικών δεικτών που μετρήθηκαν, επιβεβαιώνουν τα παραπάνω στάδια των αποτελεσμάτων, καθώς οι δέσμες δεικτών επηρεάζονται και σχετίζονται μεταξύ τους ανάλογα με τις μεταβαλλόμενες συνθήκες που επικρατούν στη λίμνη τόσο από την αλλαγή των κλιματικών φαινομένων όσο και σε συνδυασμό με τις ασκούμενες πιέσεις που έχουν ήδη αναφερθεί και επιβαρύνουν την οικολογική και χημική κατάσταση (εκτεταμένη χρήση λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων, αλλαγές χρήσεων γης, αστικοποίηση, σημειακή ρύπανση από αγροτικές ή βιομηχανικές εγκαταστάσεις, απορρίψεις απορριμμάτων σε ρέματα, μεγάλος αριθμός γεωτρήσεων για αρδευτικούς σκοπούς, εξορυκτικές μονάδες, φράγματα).

## 5.2. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στη συγκεκριμένη ερευνητική διπλωματική εργασία επιχειρήθηκε η ανάλυση των παραγόντων που αναφέρθηκαν παραπάνω και σχετίζονται με την ανθρώπινη δραστηριότητα, ως ζεύξη με την διαχρονική μεταβολή βιοχημικών δεικτών που παρουσιάστηκαν αναλυτικά σε προηγούμενο κεφάλαιο, ως εργαλείο αφενός για την ταξινόμηση της οικολογικής και χημικής κατάστασης της Λίμνης, αφετέρου ως στοιχείο για την λήψη αποφάσεων και υιοθέτηση πολιτικών, στο πλαίσιο εφαρμογής της οδηγίας για τα νερά (Dir.2000/60/EC). Επιπλέον είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι για να ελεγχθούν αποτελεσματικά οι ρυπαντικές πιέσεις και να μειωθούν οι εισροές ρύπων στη λίμνη και παράλληλα να οδηγούμαστε σε βελτίωση τόσο της οικολογικής όσο και της χημικής κατάστασης της Βεγορίτιδας λίμνης μέσα από αποφάσεις, σχεδιασμό και προγραμματισμό είναι απαραίτητο να υιοθετηθούν οι παρακάτω προτάσεις ως απόσταγμα της έρευνας για το συγκεκριμένο υδάτινο σώμα:

- Ολοκλήρωση της πιστής εφαρμογή της Οδηγίας πλαίσιο (2000/60/EC).
- Ύπαρξη ενός μόνιμου επιστημονικού προγράμματος βιοπαρακολούθησης παραμέτρων που σχετίζονται με τη ρύπανση, την ποιότητα νερού και την βιοποικιλότητα της λίμνης για τη σωστή διαχείριση και αναθεώρηση των διαχειριστικών μέτρων προς τη σωστή κατεύθυνση.
- Αντικατάσταση των ιδιωτικών γεωτρήσεων της περιοχής αυτής από ένα συλλογικό αρδευτικό δίκτυο, γεγονός που θα περιορίσει στο ελάχιστο τις ασκούμενες πιέσεις στον υδροφόρο ορίζοντα της περιοχής και θα επιτρέψει στο υδάτινο σύστημα τη σταδιακή και σε βάθος χρόνο αποκατάσταση του ισοζυγίου του, με αναπλήρωση αυτού και από τις φυσικές εισροές.
- Δημιουργία κώδικα ορθών γεωργικών πολιτικών ανά περιοχή ενδιαφέροντος.
- Κινητροδότηση για την αύξηση του αριθμού των βιολογικών καλλιεργειών.
- Επιλογή καλλιεργειών που μειώνουν τις απαιτήσεις σε νερό και τις απαιτήσεις σε λιπάσματα.
- Εφαρμογή μέτρων πρόληψης υποβάθμισης της εδαφικής ποιότητας που μπορεί να συμβεί στο μέλλον από φυσικές διεργασίες και ανθρωπογενείς δραστηριότητες.
- Κατασκευή σύγχρονης εγκατάστασης μονάδας επεξεργασίας λυμάτων.

- Δημιουργία ομάδας εθελοντών για την περιμετρική φύλαξη της λίμνης για παράνομες επιχωματώσεις.
- Παρεμπόδιση οποιασδήποτε μορφής περαιτέρω παράνομης οικιστικής δράσης, μπαζώματος, δημιουργίας κρηπιδώματος, αναχώματος ή οδοποιίας εντός των παραλίμνιων ενδιαιτημάτων της λίμνης.
- Πραγματοποίηση ελέγχου της χρήσης των λιπασμάτων και των φυτοφαρμάκων ώστε να τηρούνται τα όρια των φυσικοχημικών παραμέτρων του νερού στον πυρήνα του υδροβιότοπου.
- Ενημέρωση, κατάρτιση των πληθυσμιακών ομάδων αγροτών της περιοχής για την ορθολογική χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, καθώς και της καλύτερης αξιοποίησης της γεωργικής γης.
- Θέσπιση ειδικών μέτρων διατήρησης προστατευόμενων ειδών και οικοτόπων.
- Δημιουργία κέντρου περιβαλλοντικής εκπαίδευσης για την ευαισθητοποίηση και κατάρτιση όσων σχετίζονται με τη διαχείριση, αλλά και τη χρήση των πόρων της περιοχής.
- Προώθηση και επαναφορά παραδοσιακών επαγγελμάτων της λίμνης (ψαράδες, καλαθοπλαίχτες) και προώθηση πιστοποιημένων τουριστικών προϊόντων όταν η λίμνη επανέλθει σε καλή οικολογική και χημική κατάσταση.
- Εντοπισμός παράνομων αποχετευτικών αγωγών και σύνδεση με το κεντρικό δίκτυο.
- Προώθηση οικοτουρισμού, εάν και εφόσον αποκατασταθεί η λίμνη σε πιο φυσική κατάσταση (νέες λιμναίες εκτάσεις και ενδιαιτήματα παρόχθιας βλάστησης, ποιότητα νερού, οριοθέτηση στο φυσικό της ανάγλυφο κτλ), έπειτα από ειδική μελέτη φέρουσας ικανότητας και χωροθέτησης οικοτουριστικών δραστηριοτήτων Ανάπτυξη οικοσυστημικών υπηρεσιών.
- Προσδιορισμός των ζωνών οικιστικής ανάπτυξης.



Εν κατακλείδι η ολοκλήρωση της έρευνας για το υδάτινο σώμα της Βεγορίτιδας λίμνης κατέδειξε περίτρανα το γεγονός πως η υιοθέτηση και πιστή εφαρμογή της οδηγίας πλαίσιο για τα νερά (Dir.2000/60/EC), η υλοποίηση σχεδιασμού μέτρων προστασίας, πρόληψης, ευαισθητοποίησης διαχρονικής παρακολούθησης κ.α. στο πλαίσιο των προτάσεων που προηγήθηκαν, μπορούν να συμβάλουν αφενός στην διατήρηση και προστασία του υδάτινου σώματος της Βεγορίτιδας λίμνης, αφετέρου να αποτελέσουν απαρχή για την ανάπτυξη της οικολογικής αξίας της περιοχής που συμβάλει τα μέγιστα και ως προς την οικονομική ανάπτυξη των δραστηριοτήτων που αναπτύσσονται στην ευρύτερη περιοχή αλλά σύναμμα να προσφέρει έναν πλουτογενή σε πόρους παράγοντα που συμβάλει τα μέγιστα στην περιοχή. Συνεπώς οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες μπορούν να συνυπάρχουν με το φυσικό περιβάλλον αρκεί να το σέβονται και να μην το υπερκμεταλέυονται σε βαθμό που η διατήρησή του δεν θα είναι βιώσιμη, δεδομένου ότι οι συνέπειες αυτού θα είναι ολέθριες για τον άνθρωπο.

## ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αντωνόπουλος Β., Διαμαντίδης Γ., Τσιούρης Σ., (1996), «Λίμνη Βεγορίτιδα: Διαχρονική εξέλιξη των υδρολογικών και ποιοτικών παραμέτρων της», Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα, Τόμος 7, Σελ. 63-78.

Αργυρόπουλος Π., (2002) «Προβλήματα στο φυσικό περιβάλλον και τον άνθρωπο από τη χρήση των γεωργοχημικών ουσιών».

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, (2002), Εργαστήριο Γεωργικών Φαρμάκων, «Πρόγραμμα Ελέγχου Ποιότητας Επιφανειακών Υδάτων στη Μακεδονία-Θράκη».

Γκανούλης, Ι., (2002), «Για μια βιώσιμη διαχείριση των υδατικών πόρων στην Ελλάδα. Σημερινή κατάσταση και προοπτικές». Περιοδικό «Υδροοικονομία», τεύχος 4, σελ. 28-31.

Γούλιος Σ., (1991), «Ο αργός αλλά βέβαιος θάνατος της Βεγορίτιδας», Περιοδικό Οικοτοπία, Τεύχος 15. Σελ.8-11.

Διαμαντάρας, Κ., (2007), «Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα» Κλειδάριθμος.

ΕΓΥ-Ειδική Γραμματεία Υδάτων, (2017), «1<sup>η</sup> αναθεώρηση Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Μακεδονίας».

Ειδική Γραμματεία Υδάτων, (2017), «Σχέδιο Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Μακεδονίας – Προστατευόμενες περιοχές».

ΕΠΤΑ, (2007), σύμβουλοι μελετητές περιβαλλοντικών έργων, «Στρατηγική μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων του προγράμματος Ελλάδα-ΠΓΔΜ του στόχου 3 Ευρωπαϊκή χωρική συνεργασία».

Ιωαννίδου Σ., Μιχαλάκη Ε., Μπαλιώτη Β., (2006), «Διαχείριση υδατικών πόρων της υδρολογικής λεκάνης της λίμνης Βεγορίτιδας» Μεταπτυχιακή Διατριβή.

Κασεκτζίδου Μ., (2009), «Το χειμαρρικό περιβάλλον της λίμνης Βεγορίτιδας. Παρελθόν-Παρόν-Μέλλον», Μεταπτυχιακή Διατριβή.

Κουκουλάκης Π., (2007), «Τα προβληματικά εδάφη και η βελτίωση τους», τ. Αναπληρωτής Ερευνητής ΕΘΙΑΓΕ.

Λαμπράκης Ν., (2010), «Εισαγωγή στην Υδροχημεία», Πανεπιστήμιο Πατρών.

Μαρνασίδης Σ., (2007),«Γεωπεριβαλλοντικά μέτρα και ενισχύσεις για τη λίμνη Βεγορίτιδα». Πρακτικά της 2ης Επιστημονικής Συνάντησης του Συλλόγου Προστασίας Βεγορίτιδας «Βιώσιμη Ανάπτυξη και Περιβάλλον στη λίμνη Βεγορίτιδα, Έδεσσα. Σελ.82- 86.

Ματσατσίνης Ν., (2010), «Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων, Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών».

Μήτρακας, θ., (2001), «Ποιοτικά χαρακτηριστικά και επεξεργασία νερού», Εκδόσεις Τζιόλα, ISBN 960-8050-46-4.

Παπαϊωάννου, Τ. Λουκάς, Σ., (1991), «Εισαγωγή στην Στατιστική».

Παρασχούδης, Β. (2001), Γεωργακόπουλος, Θ., Σταυρόπουλος, Ξ., «Υδρογεωλογική μελέτη ευρύτερης λεκάνης Βεγορίτιδας-συνοπτική έκθεση. Ν.Α. Φλώρινας».

Πάτσιος Ε., (2006), «Εφαρμογή μεθόδων βαθμονόμησης για την εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών στη ρύπανση και των επιδεκτικών προς κατολίπηση περιοχών. Εφαρμογή στους Νομούς Κοζάνης – Γρεβενών», Μεταπτυχιακή Διατριβή.

Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας, (2017), «Πλαισίου Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης».

Στάμος Α. (1996), «Λίμνη Βεγορίτιδα: Βασικά υδρογεωλογικά –υδρολογικά στοιχεία της λίμνης και της ευρύτερης περιοχής. Προτάσεις διάσωσης της λίμνης. Πρακτικά της ημερίδας «Υδάτινοι πόροι Νομού Πέλλας, Διαχείριση – Προβλήματα – Προοπτικές», Σελ. 69-82.

Τολίκας Δ., (1997), «Διαχείριση υδατικών πόρων Δυτικής Μακεδονίας. Πρακτικά ημερίδας του Τ.Ε.Ε. «Διαχείριση υδατικών πόρων στη λεκάνη Κοζάνης – Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου».

ΥΠΑΝ, ΕΜΠ, ΙΓΜΕ, και ΚΕΠΕ, (2003), «Σχέδιο προγράμματος διαχείρισης των υδατικών πόρων της χώρας, Συμπλήρωση της ταξινόμησης ποσοτικών και ποιοτικών παραμέτρων των υδατικών πόρων στα υδατικά διαμερίσματα της χώρας, Ανάδοχος: Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 549 σσ., Υπουργείο Ανάπτυξης».

ΥΠΕΚΑ, Ειδική Γραμματεία Υδάτων,(2012),«Ποιότητα επιφανειακών και υπόγειων υδάτων της χώρας 2000 – 2008».

Υπουργείο Ανάπτυξης Γενική Διεύθυνση Φυσικού Πλούτου, Διεύθυνση Υδατικού Δυναμικού και Φυσικών Πόρων, (2003), «Συλλογή και Αξιολόγησης Οικολογικών Δεδομένων Ποταμών και Λιμνών για την Εφαρμογή της Οδηγίας 2000/60».

## ΛΙΕΘΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Alexakis D, Kagalou I, Tsakiris G (2011) «The application of DPSIR (Driver-Pressure-State-Impact-Response) approach on surface water bodies». Volume of Proceedings. VI EWRA International Symposium, Catania-Italy (June 29–July 2, 2011).

Alexakis D., Kagalou I., Tsakiris G. (2013) Assessment of pressures and impacts on surface water bodies of the Mediterranean. Case study: Pamvotis lake, Greece. Environmental Earth Sciences, 70 (2):687-698, DOI 10.1007/s12665-012-2152-7

Anderson J. A., (1995), «An Introduction to Neural Networks», MIT Press, Cambridge.

Andreadakis A, Gavalakis E, Kaliakatsos L, Noutsopoulos C, Tzimas A, (2007). «The implementation of the Water Framework Directive (WFD) at the river basin of Anthemountas with emphasis on the pressures and impacts analysis», Elsevier, Desalination 210:115.

Devore, J. & Peck R. (1986), “The Exploration and Analysis of Data”. St. Paul, MN: Wets.

Dixon, W.J., and Massey, F. J. Jr., (1983), “Introduction to Statistical Analysis”, 4th Ed., McGraw-Hill.

EC (2003) «Common implementation strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC) ». Guidance Documents, no. 3: Analysis of Pressures and Impacts, p 148.

Haykin, S., (1991), “Neural Networks: A Comprehensive Foundation”, Prentice Hall, ISBN 0-13-273350-1.

Hect-Nielsen, R., (1991), “Neurocomputing”, Addison-Wesley, Reading, Mass, USA.

Hornik K., Stinchcombe M., White H., (1989), «Multiyear Feedforward Networks are Universal Approximators», Neural Networks Archive, vol.2, issue 5, pp. 359-366.

Kagalou I, Leonardos I (2009) Typology, classification and management issues of Greek Lakes: implication of the Water Framework Directive (2000/60/EC). *Environ Monit Assess* 150: 469–484

Kristensen P, (2004), «The DPSIR Framework. European Topic Centre on Water», European Environment Agency.

Lampert W & Sommer U., (2007), «Limnoecology the Ecology of Lakes and Streams», Oxford University Press, New York.

McCulloch, W.S. and Pitts, W., (1943), “A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity,” *The Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5(4), pp. 115–133.

Minsky M., Papert S., (1969), «Perceptrons. Cambridge» MA: MIT Press.

Minsky M., Papert S., (1987), «Perceptrons – Expanded Edition: An Introduction to Computational Geometry», MIT Press.

Moss B, Stephen D, Alvarez C, Becares E, van de Bund W, Collings SE, van Donk E, de Eyto E, Feldmann T, Fernandez-Alaez C, Fernandez-Alaez M, Franken RJM, Garcia-Criado F, Gross EM, Gyllstrom M, Hansson LA, Irvine K, Jarvalt A, Jensen JP, Jeppesen E, Kairesalo T, Kornijow R, Krause T, Kunnap H, Laas A, Lill E, Lorens B, Luup H, Miracle MR, Noges P, Noges T, Nykanen M, Ott I, Peczula W, Peeters ETH, Phillips G, Romo S, Russell V, Salujoe J, Scheffer M, Siewertsen K, Smal H, Tesch C, Timm H, Tuvikene L, Tonno I, Virro T, Vicente E, Wilson D (2003), «The determination of ecological status in shallow lakes— a tested system (ECOFRAME) for implementation of the European Water Framework Directive». *Aquat Conserv Mar Freshw Ecosyst* 13:507–549.

Moustris K., Ziomas I., Paliatsos A., (2010), «3-Day-Ahead Forecasting of Regional Pollution Index for the Pollutants NO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, and O<sub>3</sub> Using Artificial Neural Networks in Athens, Greece. *Water Air Soil Poll*», 200: 29–43.

Moustris K.P., Tsiros I., Ziomas I., Paliatsos A., (2010), «Artificial neural network models as a useful tool to forecast human thermal comfort using microclimatic and bioclimatic data in

the great Athens area (Greece)». *Journal of Environmental Science and Health, Part A* ; 45: 447-453.

Nastos P., Moustris K., Larissi I., Paliatsos A., (2011), «Air Quality and Bioclimatic Conditions within the Greater Athens Area, Greece-Development and Applications of Artificial Neural Networks. *Advanced Air Pollution*», InTech-Open Access (ISBN: 978-953-307-511-2):557-584.

Nastos, P., Moustris, K., Larissi, I. and Paliatsos, A., (2013), “Rain intensity forecast using Artificial Neural Networks in Athens, Greece,” *Atmos. Res.*, 119, pp. 153-160.

Viotti, P., Liuti, G. and Di Genova, P., (2002), «Atmospheric urban pollution: applications of an Artificial Neural Network (ANN) to the city of Perugia», *Ecol. Model.*, 148(1), pp. 27–46.

## ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

- [1] <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=248&language=el-GR>
- [2] <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=246&language=el-GR>
- [3] <http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=apxz9FdpLcE%3d&tabid=249&language=el-GR><https://earth.google.com>
- [4] <http://www.emy.gr>
- [5] <http://www.igme.gr/>
- [6] [http://www.environmentaction.org/pollution/health\\_effects/](http://www.environmentaction.org/pollution/health_effects/)
- [7] <http://www.minagric.gr/index.php/el/for-farmer-2/eggeiesbeltioseis/sxedismowee/452-limnes/1377-begoritida>
- [8] <http://www.naturagraeca.com/ws/129,191,134,1,1,%CE%9B%CE%AF%CE%BC%CE%BD%CE%B7-%CE%92%CE%B5%CE%B3%CE%BF%CF%81%CE%AF%CF%84%CE%B9%CE%B4%CE%B1>
- [9] <http://natura2000.eea.europa.eu/Natura2000/SDF.aspx?site=GR1340004>

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος ΤΣΙΤΣΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ, του ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ, φοιτητής του ΠΜΣ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΕΣ ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ του ΠΑ.Δ.Α., πριν αναλάβω την εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Διπλωματική Εργασία (Δ.Ε) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Π.Ε, ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα, σε περίπτωση που το Ίδρυμα του έχει απονείμει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφασή της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση Π.Ε με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε πρέπει να ολοκληρώσει εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού 6μήνου από την ημερομηνία ανάθεσής της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρθρο 18. παρ.5 του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού».

Ο Δηλών  
ΧΡΗΣΤΟΣ ΤΣΙΤΣΗΣ

Ημερομηνία  
27/2/2020