



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ
ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Ανάλυση των δεδομένων παρακολούθησης
της ποιότητας των υδάτων της λιμνοθάλασσας Κεραμωτής
στο δέλτα του Νέστου»**

Μαριαλένα Λεγαντή

ΒΟΛΟΣ 2012

**«Ανάλυση των δεδομένων παρακολούθησης
της ποιότητας των υδάτων της λιμνοθάλασσας Κεραμωτής
στο δέλτα του Νέστου»**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

- **Άρης Ψιλοβίκος**, Επίκουρος Καθηγητής, Αειφορική Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Επιβλέπων***.
- **Ιφιγένεια Κάγκαλου**, Επίκουρη Καθηγήτρια, Υδρολογία, Λιμνολογία και Ποταμολογία, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Μέλος***.
- **Κωνσταντίνος Σκόρδας**, Λέκτορας, Περιβαλλοντική Γεωχημεία, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Μέλος***.

Αφιερώνεται
στους αγαπημένους μου γονείς
Βασίλη και Αθηνά,
καθώς και
στη μικρή μου ανιψιά Αθηνά

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στο να φέρω σε πέρας την παρούσα Προπτυχιακή διπλωματική Εργασία. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα της εργασίας αυτής, Επίκουρο καθηγητή κ. Άρη Ψιλοβίκο για την πολύτιμη βοήθειά του και τη διαρκή υποστήριξή του, κατά τη διάρκεια όλων των φάσεων εκπόνησης της παρούσας εργασίας, καθώς και τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής μου, αποτελούμενη από την Επίκουρη καθηγήτρια κα. Ιφιγένεια Κάγκαλου και το Λέκτορα κ. Κωνσταντίνο Σκόρδα, για τις χρήσιμες συμβουλές τους και την καθοδήγησή τους καθ' όλα τα στάδια διεκπεραίωσης της εργασίας.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Αντώνη Σέντα για την άμεση και ανιδιοτελή βοήθειά του κατά την εκπόνηση της προπτυχιακής μου εργασίας. Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω την φίλη μου Ζήνα, για την ηθική συμπαράσταση και τις συμβουλές που μου παρείχε σε κάθε δυσκολία που αντιμετώπισα.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράσταση, βοήθεια και προ πάντων κατανόηση που μου προσφέρουν σε κάθε σημείο της ζωής μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα ύδατα του ποταμού Νέστου, συμπεριλαμβανομένου και της λιμνοθάλασσας της Κεραμωτής, έχουν παρακολουθηθεί συστηματικά μέσω του δικτύου REMOS¹, κατά τη διάρκεια των ετών 2000-2007. Το δίκτυο αυτό αποτελείται από απομακρυσμένους σταθμούς οι οποίοι λαμβάνουν τα δεδομένα, και από σταθμούς βάσης στους οποίους αυτά τηλεμεταδίδονται. Όσον αφορά τη λιμνοθάλασσα της Κεραμωτής, υπάρχουν δεδομένα αρκετών ετών σχετικά με τις εξής παραμέτρους: στάθμη νερού (H-cm), REDOX (mV), διαλυμένο οξυγόνο (DO-mg/l), θερμοκρασία νερού (T_w-°C), θερμοκρασία αέρα (T_a-°C) και αλατότητα (Sal-prpt). Οι παράμετροι αυτές αφορούν την ποιότητα των υδάτων και καταδεικνύουν τυχόν υποβάθμισή της. Μετρήσεις αυτών των παραμέτρων λαμβάνουμε από το δίκτυο REMOS, το οποίο τοποθετήθηκε στην περιοχή του Νέστου στις αρχές του 2000 και διήρκησε μέχρι το 2007 όταν και ολοκληρώθηκαν τα προγράμματα παρακολούθησης. Το δίκτυο αυτό είναι απαραίτητο, ειδικά σε ευαίσθητα υδατικά οικοσυστήματα, όπως είναι οι λιμνοθάλασσες επιτρέποντας την παρακολούθηση και την άμεση επέμβαση σε περίπτωση υποβάθμισης του περιβάλλοντος, ώστε τελικά να επιτευχθεί η προστασία, διατήρηση και αποκατάσταση του.

Ο συντελεστής συσχέτισης του Pearson (Pearson's Correlation Coefficient), όπως επίσης και τα διαγράμματα συσχέτισης μέσω του προγράμματος excel, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση της φυσικοχημικής ποιότητας του νερού ενός υδάτινου οικοσυστήματος, καθώς η οποιαδήποτε αλλαγή σε κάποια από τις παραμέτρους ποιότητας έχει επίπτωση σε κάποια άλλη. Μέσω των δύο αυτών μεθόδων

¹ REMOS: Remote Environmental Monitoring System (Σύστημα τηλεμετρικής αυτοματοποιημένης περιβαλλοντικής παρακολούθησης)

συσχέτισης, ελέγχθηκε για τη λιμνοθάλασσα της Κεραμωτής, το εάν και κατά πόσο η συσχέτιση των παραμέτρων αυτών ακολουθεί τα θεωρητικά πρότυπα, γεγονός που υποδηλώνει την καλή ποιότητα των υδάτων, ή το αντίθετο.

Στο κεφάλαιο ένα, γίνεται μία αναφορά στον τύπο του οικοσυστήματος καθώς και μια σύνοψη των παραμέτρων ποιότητας του νερού. Έπειτα, λαμβάνει χώρα μία βιβλιογραφική αναφορά των ερευνών που χρησιμοποιούν την μέθοδο των συσχετίσεων για την ποιότητα των υδάτων στον Ελλαδικό χώρο, στο ευρύτερο περιβάλλον του Νέστου και στον κόσμο. Τέλος, επισημαίνεται ο σκοπός της εργασίας και η σημαντικότητα των συσχετίσεων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται η μέθοδος ανάλυσης της εργασίας και οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν. Συγκεκριμένα, περιγράφονται εκτενέστερα η περιοχή της μελέτης, οι παράμετροι ποιότητας, όπως επίσης και η μέθοδος των συσχετίσεων που χρησιμοποιήθηκε, καθώς και το δίκτυο REMOS.

Στο κεφάλαιο τρία, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της χρήσης του συντελεστή συσχέτισης και τα διαγράμματα των συσχετίσεων. Αυτά στη συνέχεια συγκρίνονται με άλλες έρευνες παγκοσμίως, γίνεται μία αποτίμηση των συγκεκριμένων παραμέτρων που παρακολούθηθηκαν και τελικά κρίνεται το εάν και κατά πόσο η ποιότητα των υδάτων παραμένει ή όχι, σε καλό επίπεδο.

Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο, ακολουθούν τα συμπεράσματα όπου αναλύονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν και σχολιάζεται αν επετεύχθη ο σκοπός της εργασίας.

Λέξεις κλειδιά: Λιμνοθάλασσα Κεραμωτής, Παρακολούθηση ποιότητας υδάτων

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	VI
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	VIII
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1. Περιγραφή περιβάλλοντος μίας λιμνοθάλασσας.....	1
1.2. Παράμετροι ποιότητας υδάτων.....	2
1.3. Παραδείγματα από τον Ελλαδικό χώρο.....	3
1.4. Παραδείγματα από τον κόσμο.....	6
1.5. Σκοπός της εργασίας.....	7
2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ	9
2.1. Περιοχή Μελέτης.....	9
2.1.1. Νέστος ποταμός.....	9
2.1.2. Κεραμωτή.....	12
2.2. Παράμετροι.....	14
2.2.1. Διαλυμένο Οξυγόνο.....	14
2.2.2. Αλατότητα.....	17
2.2.3. Ηλεκτρική αγωγιμότητα.....	19
2.2.4. Θερμοκρασία.....	21
2.2.5. Redox Potential.....	23
2.2.6. Στάθμη νερού.....	25

2.3. Συσχετίσεις (Correlation analysis).....	27
2.4. REMOS (R emote E nvironmental M onitoring S ystem)	28
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	32
3.1. Ανάλυση της συσχέτισης των παραμέτρων διαλυμένου οξυγόνου – θερμοκρασίας νερού	33
3.2. Ανάλυση της συσχέτισης των παραμέτρων Διαλυμένου οξυγόνου- Αλατότητας.....	37
3.3. Ανάλυση της συσχέτισης των παραμέτρων διαλυμένου οξυγόνου – στάθμης νερού	41
3.4. Ανάλυση της συσχέτισης των παραμέτρων redox – θερμοκρασία νερού.....	44
3.5. Ανάλυση της συσχέτισης των παραμέτρων redox – διαλυμένο οξυγόνο	47
3.6. Ανάλυση της συσχέτισης των παραμέτρων redox – αλατότητα	50
3.7. Ανάλυση της συσχέτισης των παραμέτρων στάθμης νερού – αλατότητας...	52
3.8. Ανάλυση της συσχέτισης των παραμέτρων Στάθμης νερού – Θερμοκρασίας νερού	55
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	59
5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	64
6. ABSTRACT	75

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Περιγραφή περιβάλλοντος μίας λιμνοθάλασσας

Οι λιμνοθάλασσες, όπως αυτή της Κεραμωτής, είναι οικοσυστήματα τα οποία βρίσκονται στο όριο μεταξύ των ηπείρων και της θάλασσας. Θεωρούνται το πρώτο επίπεδο συνάθροισης των βασικών φυσιογραφικών τύπων για τα παράκτια υδρόβια οικοσυστήματα, συμπεριλαμβανομένων των *rias*, *fford*, *ffards*, *bahiras*, λίμνες, εκβολές ποταμών, τους παλιρροιακούς κολπίσκους, δέλτα, κ.λ.π. (Tagliapietra et al. 2009) και είναι μεταβατικά οικοσυστήματα μεταξύ ηπειρωτικών και θαλασσιών περιοχών (Bianchi 1988). Σύμφωνα με τον Barnes (1980), λιμνοθάλασσα είναι μια περιοχή αλμυρού ή υφάλμυρου νερού που χωρίζεται από τη θάλασσα από μιας λεπτής στρώσης άμμου ή φράγματος βότσαλων.

Όσον αφορά στις παράκτιες λιμνοθάλασσες, αυτά τα οικοσυστήματα χαρακτηρίζονται από τα κοινά χαρακτηριστικά γνωρίσματα, όπως η ρηχότητα και η σχετική απομόνωση από την ανοικτή θάλασσα (Gamito et al. 2005), συνήθως ως αποτέλεσμα των παράκτιων εμποδίων που διατηρούν μερικά κανάλια επικοινωνίας ή κολπίσκους (Isla 1981). Κατά κύριο λόγο η μεταβλητότητα του περιβάλλοντος των οικοσυστημάτων αυτών στις παραθαλάσσιες λιμνοθάλασσες της Μεσογείου και του Ατλαντικού, συσχετίζεται με το μέγεθός τους και τις διαφορές στην αλατότητα όσον αφορά την ανοικτή θάλασσα και την τροφική θέση της υδάτινης στήλης (Pérez-Ruzafa et al. 2007). Το μέγεθος τους μπορεί να ποικίλει από μερικές εκατοντάδες τετραγωνικά μέτρα, σε εκτενείς περιοχές ρηχής εσώκλειστης παράκτιας θάλασσας, ενώ η αλατότητα μπορεί να κυμαίνεται από σχεδόν φρέσκο νερό έως και στο υπέρ αλατισμένο (Barnes 1980).

Οι λιμνοθάλασσες, αποτελούν υδατικά οικοσυστήματα υψηλής παραγωγικότητας λόγω του ήρεμου περιβάλλοντος και της διακύμανσης στην αλατότητα που οφείλεται στην εναλλαγή υδάτινων όγκων μεταξύ της θάλασσας και της λιμνοθάλασσας. Για το λόγο αυτό, χρήζουν άμεσης και συστηματικής παρακολούθησης τους, για την υποστήριξη αυτών των παραγωγικών δραστηριοτήτων (υδατοκαλλιέργειες, οστρακοκαλλιέργειες κλπ.)

1.2. Παράμετροι ποιότητας υδάτων

Η αλατότητα, σχετίζεται με την ποιότητα των υδάτων και ορίζεται ως το συνολικό ποσό διαλυμένων στερεών ουσιών σε ένα κιλό θαλασσινού νερού (Αλμπανάκης 2007). Άλλες παράμετροι που αφορούν την ποιότητα των υδάτων των λιμνοθαλασσών, είναι το διαλυμένο οξυγόνο, το οποίο είναι απλά η συγκέντρωση του οξυγόνου που βρίσκεται διαλυμένο στο νερό (Baker et al. 2002) και εξαρτάται άμεσα από άλλες παραμέτρους όπως η αλατότητα και η θερμοκρασία (Αντωνόπουλος 1995). Σύμφωνα με τον Αντωνόπουλο (1995), οι θερμότερες υδάτινες μάζες, είναι λιγότερο αποτελεσματικές στο να συγκρατούν το οξυγόνο, ενώ η αλατότητα είναι μία παράμετρος η οποία εμποδίζει την αύξησή του με το να καταλαμβάνει απλά τη θέση του στην υδάτινη στήλη.

Άλλη μία παράμετρος που αφορά την ποιότητα των υδάτων των λιμνοθαλασσών, είναι και η ατμοσφαιρική πίεση η οποία επιδρά κυρίως στη στάθμη του νερού σύμφωνα με τους Shirman & Melzer (2009) η οποία με τη σειρά της μπορεί να επιδράσει στη στρωματοποίηση των υδάτων και συνεπώς στην περιεκτικότητά τους σε διαλυμένο οξυγόνο (Kjerfve & Magill 1989).

Μία παράμετρος ποιότητας η οποία σχετίζεται με τον αριθμό ιόντων στην υδάτινη στήλη είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα, η οποία σύμφωνα με τον Dalmas (2000), ορίζεται ως η ικανότητα του νερού να περνά ηλεκτρικό ρεύμα ανάμεσα σε δύο ηλεκτρόδια και επηρεάζεται από τη θερμοκρασία, από τα ιόντα που βρίσκονται ήδη στο νερό όπως νάτριο ή αμμώνιο, αλλά και από το PH ή το δυναμικό οξειδοαναγωγής (*Redox potential*) (Dalmas 2000). Η παράμετρος του Redox, περιγράφει όλες τις χημικές αντιδράσεις στις οποίες άτομα δέχονται αλλαγή στον αριθμό οξειδωσής τους (Redox 2011) και σύμφωνα με τους Margoni & Psilovikos (2010) έχει άμεση σχέση με το διαλυμένο οξυγόνο, αφού η πτώση του σε τιμές πλησίον του μηδέν ενισχύει τις αναγωγικές διεργασίες, που οδηγούν σε ενώσεις των στοιχείων με το υδρογόνο και σχηματισμό υδρόθειου (H_2S), αμμωνίας (NH_3) και μεθανίου (CH_4) και σοβαρή υποβάθμιση της ποιότητας του νερού.

1.3. Παραδείγματα από τον Ελλαδικό χώρο

Έρευνες πάνω στην ποιότητα των υδάτων σε λιμνοθάλασσες, έχουν γίνει σε διάφορα μέρη στον Ελλαδικό χώρο, όπως στη λιμνοθάλασσα Βιστωνίδα από τον Gika et al. (2006), όπου έγιναν δειγματοληψίες και μελετήθηκαν οι παράμετροι της θερμοκρασίας της αλατότητας και του διαλυμένου οξυγόνου. Τα αποτελέσματα ήταν φυσιολογικά, με τις τιμές της αλατότητας και της θερμοκρασίας να είναι υψηλότερες για τη θερινή περίοδο καθώς και για τις αρχές του φθινοπώρου, ενώ οι τιμές του διαλυμένου οξυγόνου σε αυτό το χρονικό διάστημα, να παρουσιάζουν πτώση.

Παρομοίως, έρευνες έχουν γίνει και στη λιμνοθάλασσα της Γιάλοβας στο Ιόνιο πέλαγος, όπου και μελετήθηκαν παράμετροι όπως η θερμοκρασία, η αλατότητα, η

συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στην υδάτινη στήλη, καθώς και το Redox, σε σύγκριση με την επίδραση τους στη δομή του μακροβένθους και την αξιολόγηση της διαταραχής που προκαλείται από τυχόν αλλαγές. Και σε αυτή την περίπτωση, το διαλυμένο οξυγόνο κινούνταν σε φυσιολογικά επίπεδα, με μέγιστα κατά τους χειμερινούς μήνες, όταν η θερμοκρασία και η αλατότητα έπαιρναν τις ελάχιστες τιμές τους. Αυτή η διακύμανση του οξυγόνου, είχε ως αποτέλεσμα την απότομη πτώση της παραγωγικότητας των ιχθύων για τη θερινή περίοδο, και τη σταδιακή αύξησή της το χειμώνα (Koutsoubas et al. 2000).

Άλλες λιμνοθάλασσες τις Ελλάδος στις οποίες έχουν λάβει χώρα δειγματοληψίες και αναλύσεις των ποιοτικών παραμέτρων τους, είναι αυτές στο βορειοδυτικό τμήμα της χώρας στο Ιόνιο πέλαγος, οι οποίες είναι οι: Αλυκές, Μπαστιά, Βόντας, Λούτσα-Παπαδιά, Καλάγκα, Βατατσά και Ρηγό. Στις λιμνοθάλασσες αυτές, η αλατότητα ήταν υψηλότερη κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, όπως αναφέρθηκε και προηγούμενα, με την παράμετρο του διαλυμένου οξυγόνου να αυξάνεται αντίστροφα, παίρνοντας υψηλότερες τιμές κατά τη διάρκεια του χειμώνα ενώ το καλοκαίρι η λιμνοθάλασσα έφτασε ακόμη και σε συνθήκες ανοξίας (Sylaios & Theocharis 2002). Ανάλογη εποχιακή διακύμανση της αλατότητας υπήρξε και στις λιμνοθάλασσες Ροδιά και Τσουκαλιό, που βρίσκονται στην εσωτερική περίμετρο του Αμβρακικού κόλπου, με τη διαφορά ότι οι τιμές του διαλυμένου οξυγόνου ήταν πολύ υψηλές κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών (Κλαδάς και συν. 2010).

Στην παρούσα εργασία, ελήφθησαν δεδομένα από τη λιμνοθάλασσα της Κεραμωτής. Αυτή, ανήκει στη Δημοτική Ενότητα της Κεραμωτής βρίσκεται στο βορειοανατολικό άκρο της Ελλάδας όπως βλέπουμε και στην Εικόνα 1, και εντάσσεται

στην Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας – Θράκης και συγκεκριμένα στην Περιφερειακή Ενότητα Καβάλας του δήμου Νέστου (Libercon 2011).

Στον ποταμό Νέστο, υπάγονται οι εξής λιμνοθάλασσες: Βάσσοβα, Ερατεινό, Αγίασμα, Κοκάλα, Χαϊδευτό, Κεραμωτή, Μοναστηράκι και Μάγγανα (Δέλτα Νέστου 2011). Στην ευρύτερη περιοχή ανήκει και η λιμνοθάλασσα της Κεραμωτής όπου έχουν λάβει χώρα συστηματικές μετρήσεις φυσικοχημικών παραμέτρων ποιότητας, όπως είναι η αλατότητα, το διαλυμένο οξυγόνο, η θερμοκρασία, το redox και ποσότητας όπως η στάθμη, οι οποίες και θα αναλυθούν με στόχο την αποτίμηση της κατάστασης της λιμνοθάλασσας.



Εικόνα 1. Χάρτης Ελλάδας (Πηγή: Geo Strategy, 2010).

Στην περιοχή του Νέστου, αντίστοιχο πρόγραμμα παρακολούθησης έχει λάβει χώρα για τη λιμνοθάλασσα Αγιάσματος, για τα έτη 2000 – 2005, με τα αυτοματοποιημένα δίκτυα REMOS. Παρακολουθήθηκαν αυτοματοποιημένα οι παράμετροι της στάθμης του νερού, της αλατότητας, της θερμοκρασίας, του διαλυμένου οξυγόνου καθώς και του redox. Σε εργασία των Margoni & Psilovikos, 2010, βρέθηκε ότι οι παράμετροι αυτές έδειξαν μία φυσιολογική εποχιακή διακύμανση, εκτός από την παράμετρο της αλατότητας η οποία περιοδικά παρουσίασε εξαιρετικά χαμηλές τιμές για τις περιόδους του καλοκαιριού και του φθινοπώρου των ετών 2000, 2001, 2002 και συνοδεύονταν από εξίσου χαμηλές τιμές διαλυμένου οξυγόνου. Αυτή η μη φυσιολογική κίνηση, βρέθηκε πως οφείλονταν σε κλείσιμο της εισόδου του θαλασσινού νερού, πράγμα που είχε ως επίπτωση, την υποβάθμιση της ποιότητας του νερού της λιμνοθάλασσας θέτοντας σε κίνδυνο τις υδατοκαλλιεργητικές δραστηριότητες (Margoni & Psilovikos, 2010).

1.4. Παραδείγματα από τον κόσμο

Υπάρχει σημαντική πληθώρα ερευνών στην παγκόσμια βιβλιογραφία πάνω σε θέματα διερεύνησης και αποτίμησης της ποιότητας των νερών σε λιμνοθάλασσες. Ενδεικτικά, παρουσιάζονται στη συνέχεια ορισμένα παραδείγματα.

Έρευνες πάνω στη συσχέτιση παραμέτρων ποιότητας του νερού λιμνοθαλασσών με εύρεση του συντελεστή συσχέτισης, έγιναν από τους Dewidar & Khedr (2001) στη λιμνοθάλασσα Manzala στην Αίγυπτο οι οποίοι κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι συσχετίζονται παράμετροι όπως η αλατότητα, το βάθος και το διαλυμένο οξυγόνο μεταξύ τους και βρέθηκε επίσης πώς αυτές επηρεάζουν τη βιομάζα. Παρομοίως,

μελέτες έγιναν και από τους Lardicci et al. (1997) στη λιμνοθάλασσα Orbetello στη νότια Τοσκάνη, ανακαλύπτοντας πως η ποιότητα των υδάτων ήταν καλή με τη βασική παράμετρο του διαλυμένου οξυγόνου που εκφράζει την ποιότητα του νερού, να βρίσκεται στην υψηλότερη τιμή της το μήνα Μάρτιο, την ίδια περίοδο όπου η αλατότητα έπαιρνε τις χαμηλότερες τιμές της. Άλλο ένα παράδειγμα αφορά τη λιμνοθάλασσα Mar Chiquita στην Αργεντινή, όπου και συσχετίστηκαν διάφοροι παράμετροι ποιότητας του νερού, όπως PH, διαλυμένο οξυγόνο, θερμοκρασία και αλατότητα. Τα αποτελέσματα παρουσιάστηκαν σε κυματοειδείς μορφές με φυσιολογική χρονική διακύμανση κίνηση όλων των παραμέτρων που φανερώνει την καλή ποιότητα των υδάτων (Beltrame & De Marco 2008).

1.5.Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της παρούσας εργασίας, είναι η μελέτη και η ανάλυση – αποτίμηση της ποιότητας των υδάτων της λιμνοθάλασσας της Κεραμωτής. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν προέκυψαν από συστηματική παρακολούθηση που έλαβε χώρα μέσω του δικτύου REMOS, κατά τη διάρκεια των ετών 2005-2007. Η αποτίμηση των δεδομένων και η συσχέτιση των παραμέτρων μεταξύ τους, παρέχει τη δυνατότητα ανίχνευσης πιθανής υποβάθμισης του οικοσυστήματος, όπου μπορεί να γίνει εύκολα αντιληπτή με τη χρήση των συσχετίσεων. Μέσω αυτών μπορούμε να δούμε τη μεταβολή στο χρόνο των διαφόρων παραμέτρων ποιότητας, την επίπτωση που έχει η μεταβολή μίας παραμέτρου σε μία άλλη και ως εκ τούτου, τη συνολική κατάσταση των υδάτων της λιμνοθάλασσας.

Η συσχέτιση κρίνεται αναγκαία να γίνει, διότι σε ένα τόσο ευαίσθητο οικοσύστημα η παραμικρή αλλαγή μπορεί να προκαλέσει σημαντική διατάραξη και έτσι είτε να υποβαθμίσει, είτε να αναβαθμίσει την ποιότητα των υδάτων. Επομένως, έχοντας άμεση πληροφόρηση των αλλαγών αυτών μπορούμε να επέμβουμε άμεσα για να αποκαταστήσουμε το εκάστοτε πρόβλημα και να προλάβουμε δυσμενέστερες συνέπειες.

Για την επίτευξη των στόχων της παρούσας πτυχιακής εργασίας, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα του δικτύου REMOS, τα οποία συσχετίστηκαν ανά συγκεκριμένα ζεύγη μεταξύ τους και απεικονίστηκαν ως κυματομορφές. Στη συνέχεια προέκυψαν εμπειρικές εξισώσεις μεταξύ των εκάστοτε συσχετισθέντων παραμέτρων (όπως για παράδειγμα θερμοκρασία νερού – διαλυμένο οξυγόνο) οι οποίες στη συνέχεια συγκρίθηκαν με αντίστοιχα θεωρητικά πρότυπα, καθώς και με άλλες έρευνες που έχουν γίνει σε αυτού του είδους τα οικοσυστήματα. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να διερευνηθεί και να αποτιμηθεί η ποιότητα των νερών της λιμνοθάλασσας της Κεραμωτής.

2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ

2.1. Περιοχή Μελέτης

2.1.1. Νέστος ποταμός

Ο ποταμός Νέστος, ο οποίος φαίνεται στην Εικόνα 2, πηγάζει από τα βουνά Rila στη Βόρεια Βουλγαρία, και εκβάλλει στο Βόρειο Αιγαίο, έχοντας διανύσει απόσταση 230 Km. Η λεκάνη απορροής του έχει έκταση 5.414 Km² και μοιράζεται μεταξύ των Βαλκανικών χωρών Βουλγαρία, στην οποία βρίσκεται το 61,27% (3.317 km²) και Ελλάδα, στην οποία βρίσκεται το 38,73% (2.097 km²).

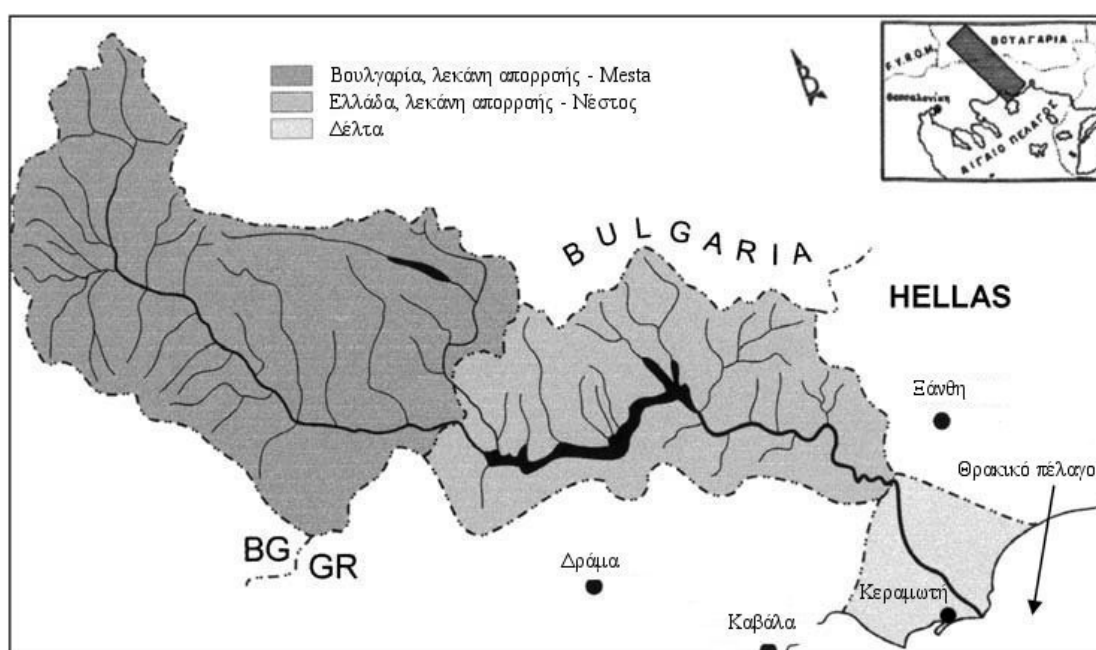
Πλέον των παραπάνω υπάρχει και η δελταϊκή του έκταση αποτελούμενη από 615 km² το 88,45% των οποίων χαρακτηρίζονται ως υγροτοπικές εκτάσεις οι οποίες έχουν σταδιακά μετατραπεί σε αρδευόμενες εκτάσεις, ενώ η υπόλοιπη έκταση είναι οι φυσικές δελταϊκές περιοχές. Τα 28 km² της παραπάνω δελταϊκής έκτασης, αποτελούν το διευθετημένο μέρος της νέας κοίτης του Νέστου (Psilonikos et al. 2006).



Εικόνα 2. Διασυνοριακή απεικόνιση του ποταμού Νέστου, μοιραζόμενη μεταξύ Βουλγαρίας και Ελλάδας (Πηγή: Nestos River 2011).

Η λεκάνη του ποταμού στο ελληνικό τμήμα της μοιράζεται ανάμεσα στους Νομούς (Περιφερειακές Ενότητες) Δράμας, Καβάλας και Ξάνθης με τη μεγαλύτερη περιοχή του να ανήκει στη Δράμα (~58%) και το μεγαλύτερο ποσοστό πληθυσμού του να βρίσκεται στην Καβάλα (~55%) σύμφωνα με την απογραφή του 2001.

Ο ποταμός Νέστος διατρέχει 11 Δήμους, ένας εκ των οποίων είναι η Κεραμωτή. Μία απεικόνιση της λεκάνης απορροής του φαίνεται στην Εικόνα 3, με τη λιμνοθάλασσα της Κεραμωτής να βρίσκεται στο δέλτα του ποταμού.



Εικόνα 3. Διασυνοριακή λεκάνη απορροής του ποταμού Νέστου, μοιραζόμενη μεταξύ Βουλγαρίας και Ελλάδας (Πηγή: Psilovikos et al., 2006).

Η περιοχή χαρακτηρίζεται αγροτική, ενώ το δέλτα του έχει αναγνωριστεί ως ένας από τους πέντε πιο σημαντικούς υδροβιότοπους της Ευρώπης. Προστατεύεται από

τη σύμβαση Ramsar² και χαρακτηρίζεται εθνικό πάρκο από την ελληνική νομοθεσία. Επίσης ανήκει στο δίκτυο Natura 2000³ (Ganoulis et al. 2003).

Το δέλτα του έχει σχηματιστεί στο περιθώριο μίας ρηξιγενούς ζώνης στο νότιο τμήμα της Ροδόπης. Τα δέλτα είναι γνωστό ότι αποτελούν δυναμικά συστήματα στα οποία η ταχύτητα των διεργασιών και μεταβολών είναι μεγάλη. Από ιστορικά στοιχεία και έρευνες που έγιναν σε εξελικτικές διεργασίες στα δέλτα Αξιού-Αλιάκμονα και στο δέλτα του Σπερχειού, προκύπτουν χρήσιμα συμπεράσματα για την ταχύτητα των αλλαγών στη μορφολογία τους. Οι αλλαγές αυτές οφείλονται κατά κύριο λόγο σε φυσικές διεργασίες αλλά ουσιαστικό ρόλο διαδραματίζει και η επέμβαση του ανθρώπου. Στην περίπτωσή μας, η μεγάλη και συνεχής βύθιση της ρηξιγενούς ζώνης της νότιας Ροδόπης και η συνεχής απόθεση υλικών στον ευρύτερο χώρο του δέλτα, είχαν ως αποτέλεσμα να αποκτήσουν οι ιζηματογενείς δελταϊκές αποθέσεις πάχος 2,5-6 Km (Ψιλοβίκος και συν. 1988).

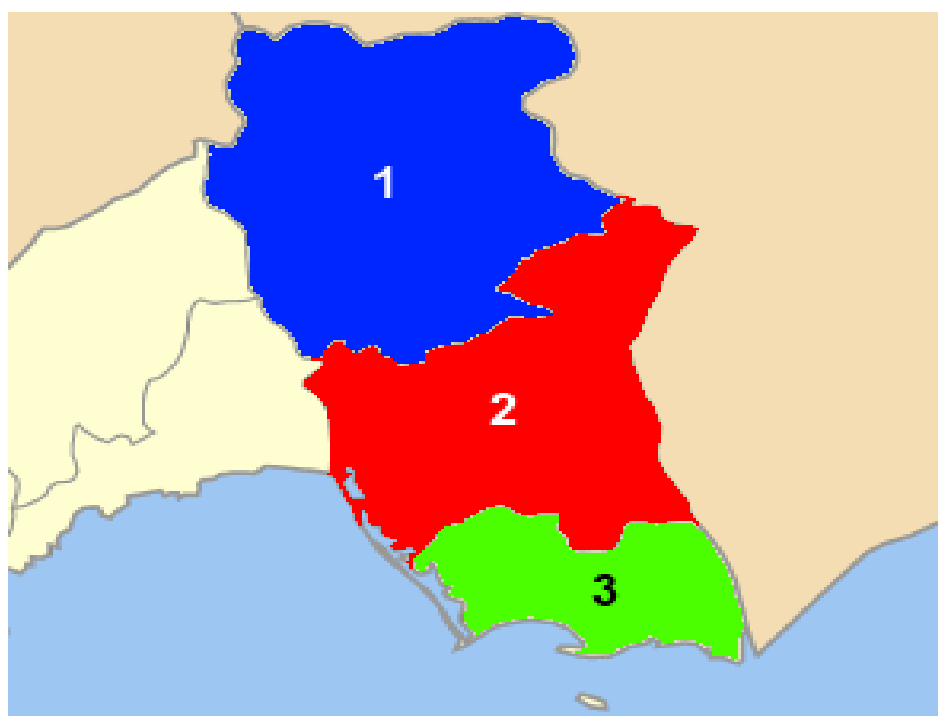
Τα ετήσια εύρη ροής του ποταμού, βρίσκονται μεταξύ $1,0-1,5 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{yr}$, ενώ η μεταφορά ιζημάτων ανέρχεται στα $0,5-1,0 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yr}$ πριν τη δημιουργία φραγμάτων στον ελλαδικό χώρο. Η παράκτια ζώνη παραμένει ακόμη και τώρα μια περιοχή με φυσικές λιμνοθάλασσες, εποχιακά έλη και αμμώδης παραλίες (Psilonikos et al. 1999).

² Η σύμβαση Ramsar υπογράφηκε το 1975 και αφορά την διεθνή προστασία των υδροβιότοπων. Ένα από τα θέματα της ήταν ότι τα οικοσυστήματα πρέπει να προστατευτούν για την αειφόρο ανάπτυξη και διατήρηση, εφόσον ο άνθρωπος εξαρτάται από το περιβάλλον (Σύμβαση Ramsar 2012).

³ Το Natura 2000 είναι ένα πανευρωπαϊκό δίκτυο προστασίας των ειδών και των ενδιαιτημάτων τους (Natura 2000, 2012)

2.1.2. Κεραμωτή

Η Δημοτική Ενότητα Κεραμωτής, υπάγεται στο Δήμο Νέστου μαζί με τις δημοτικές ενότητες Ορεινού και Χρυσούπολης, όπως βλέπουμε και στην Εικόνα 4, όπου επίσης φαίνονται τα όρια της. Καταλαμβάνει έκταση 115,1 Km² και ο πληθυσμός της ανέρχεται σε 6.039 κατοίκους (Δήμος Νέστου 2011). Ως παραθαλάσσια Δημοτική Ενότητα, έχει μέσο υψόμετρο μόλις 5 μέτρα (Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας & Κλιματικής Αλλαγής 2011) και όπως προαναφέρθηκε, περιστοιχίζεται από οκτώ λιμνοθάλασσες, η μία εκ των οποίων φέρει το όνομά της ως λιμνοθάλασσα της Κεραμωτής.



Εικόνα 4. Χάρτης των δημοτικών ενότητων: 1: Ορεινού, 2: Χρυσούπολης, 3: Κεραμωτής (Πηγή: Δήμος Νέστου 2011).

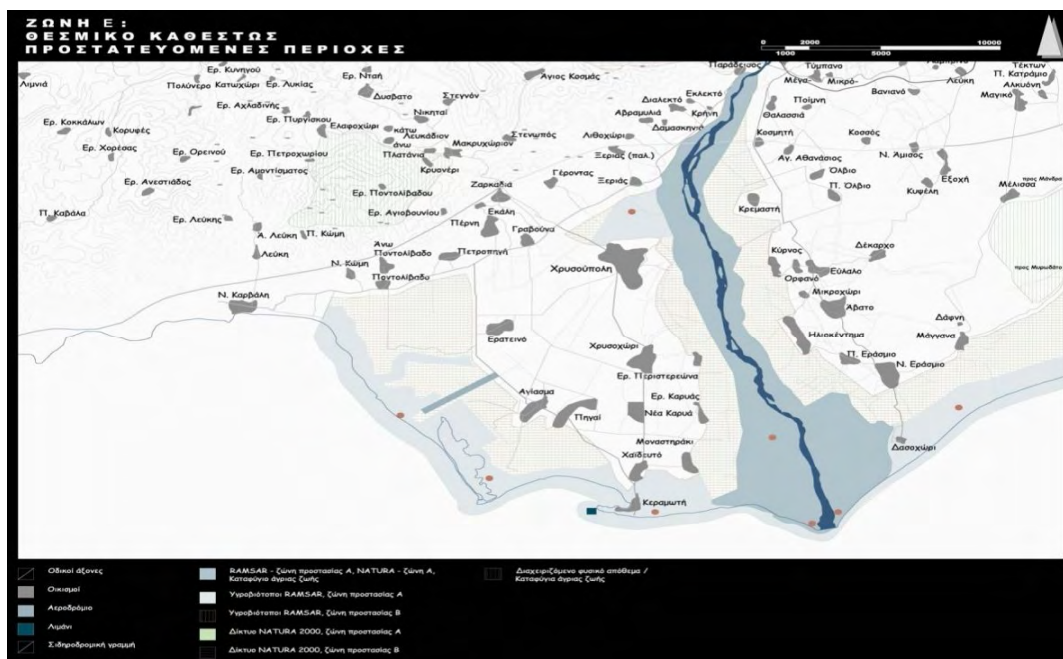
Η λιμνοθάλασσα της Κεραμωτής είναι η μία από τις δύο εισόδους του κόλπου της Καβάλας και βρίσκεται στο βορειοανατολικό τμήμα της (Perissoratis & Van Andel 1987). Το βάθος του κόλπου αυξάνεται προς το νοτιοδυτικό άκρο του, με τη λιμνοθάλασσα της Κεραμωτής να έχει μέσο βάθος τα 0,5 m (Arabatzis & Kokkinakis 2005). Είναι μία από τις πιο ορθολογικά διαχειριζόμενες περιοχές της Ελλάδος, καθότι η λιμνοθάλασσα αυτή είναι διαχειριζόμενη από μια κοινή συνεργασία αλιέων. Η συνεργασία αυτή προσάρμοσε κατάλληλα τον ημιεντατικό τρόπο διαχείρισης ιχθυοκαλλιεργειών και μεταχειρίζεται σωστά τις υποδομές αυτές.

Η περιοχή αυτή είναι επίσης ενταγμένη στη σύμβαση RAMSAR και στο δίκτυο προστασίας Natura 2000. Στην ευρύτερη περιοχή του Νέστου και της Κεραμωτής υπάρχουν περίπου 550.000 στρέμματα τα οποία εντάσσονται στη σύμβαση RAMSAR και χωρίζονται στις εξής ζώνες, ανάλογα με την βαρύτητα της προστασίας που δέχονται (Αλμπάνης & Βαδραχάνης 2003):

- Ζώνη Α (101.500 στρέμματα) : Ζώνη απόλυτης προστασίας (απαγορεύονται όλες οι δραστηριότητες)
- Ζώνη Β (166.500 στρέμματα) : Ζώνη υψηλής προστασίας (επιτρέπονται ορισμένες δραστηριότητες)
- Ζώνη Γ (288.000 στρέμματα) : Ευρύτερη περιοχή Νέστου.

Η λιμνοθάλασσα της Κεραμωτής ανήκει στη ζώνη Α, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 5.

Καθότι προστατευόμενη, η λιμνοθάλασσα έχει πληθώρα φυτικών (*Gracilaria bursa-pastoris* (Gmelin) Silva, *Lophosiphonia* spp.) και ζωικών ειδών (*Cerastoderma glaucum* Poiret) (Leontarakis et al. 2008).



Εικόνα 5. Προστατευόμενες περιοχές του Δέλτα του Νέστου και της λιμνοθάλασσας της Κεραμωτής (πηγή: Πατρίκιος, Δρίτσα 2009) .

Ο πυθμένας αποτελείται από δύο διαφορετικά τμήματα. Στο πρώτο τμήμα, συναντάται λασπώδης ιλύς από αποθέσεις του Νέστου, λάσπη και λασπώδης άμμος. Στο δεύτερο υποκείμενο στρώμα υπάρχει ασβεστολιθική λασπώδης άμμος προερχόμενη από γλυκό και όχι αλμυρό νερό αν και είναι παραλιακή (Perissocratis & Van Andel 1987).

2.2. Παράμετροι

2.2.1. Διαλυμένο Οξυγόνο

Ο όρος διαλυμένο οξυγόνο (*dissolved oxygen, DO*), αναφέρεται στη συγκέντρωση του οξυγόνου που βρίσκεται διαλυμένο στο νερό και εκφράζεται σε

χιλιοστά του γραμμαρίου ανά λίτρο (mg/l), μέρη στο εκατομμύριο (ppm), ή σε ποσοστό επί της εκατό (%) του κορεσμού.

Η μέγιστη συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου ευρισκόμενη σε ισορροπία με την περιεκτικότητα του αέρα σε οξυγόνο καλείται συγκέντρωση κορεσμού του οξυγόνου (Κούση 2011). Εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία, την αλατότητα του νερού και την ατμοσφαιρική πίεση. Μία απλή σχέση που εκφράζει τη συνάρτηση κορεσμού του οξυγόνου ως συνάρτηση της θερμοκρασίας είναι η εξής (Αντωνόπουλος 1995):

$$C_s = 14,652 - 0,4102T + 0,007991T^2 - 0,000077794T^3 \quad (2.1)$$

Οι κύριες πηγές οξυγόνου σε ένα υδατικό περιβάλλον είναι η απευθείας διάχυση από την ατμόσφαιρα, η ανάμιξη των υδάτων λόγω κυμάτων και ανέμου, και τέλος, η φωτοσύνθεση, η οποία είναι και σημαντικότερη. Το ποσό του οξυγόνου που μπορεί να διαλυθεί εξαρτάται άμεσα από τη θερμοκρασία και την αλατότητα, όπως επίσης και από τις ανάγκες των υδρόβιων οργανισμών. Το θερμότερο νερό μπορεί να συγκρατήσει μικρότερο ποσοστό οξυγόνου, λόγω μικρότερης πυκνότητας. Το ίδιο συμβαίνει και με την αύξηση της αλατότητας, όπου η παραπάνω εξίσωση (2.1), μπορεί να γραφεί ως εξής λαμβάνοντας υπόψη και την αλατότητα (Αντωνόπουλος 1995):

$$C_s = \{14,652 - 0,4102T + 0,007991T^2 - 0,000077794T^3\} \left\{1 - \frac{sal}{100.000}\right\} \quad (2.2)$$

όπου

Sal: η συγκέντρωση της αλατότητας στο νερό εκφρασμένη σε μονάδες ppm.

Συνήθως, στις εκβολές των ποταμών και στα στόμια (μπούκες) των λιμνοθαλασσών, το διαλυμένο οξυγόνο είναι σε υψηλότερα επίπεδα την ημέρα λόγω φωτοσύνθεσης ενώ το βράδυ σε χαμηλότερα, αφού η φωτοσύνθεση σταματά και οι οργανισμοί καταναλώνουν το διαθέσιμο οξυγόνο. Εκτός από τη διακύμανση της ημέρας με τη νύχτα, αντίστοιχη διακύμανση ισχύει και με το βάθος, όπου στην επιφάνεια ο επαναερισμός της υδάτινης στήλης είναι πιο άμεσος και οι ποσότητες διαλυμένου οξυγόνου μεγαλύτερες σε σχέση με βαθύτερες θέσεις αμέσως πάνω από το ίζημα. Επιπλέον σε θέσεις έντονης ανάδευσης των υδάτων, όπως εκβολές και μπούκες που αναφέρθηκε προηγουμένως, παρατηρούνται υψηλότερες ποσότητες διαλυμένου οξυγόνου. Σε ένα υγιές υδατικό σύστημα, το ποσοστό του διαλυμένου οξυγόνου παίρνει τιμές από 6 έως 12 ppm (Geiger & Mesner 2003). Οι περισσότεροι οργανισμοί για να επιβιώσουν, απαιτούν ελάχιστες συγκεντρώσεις οξυγόνου τα 5 ppm ή και παραπάνω (Mesner & Geiger 2010). Ανοξικές συνθήκες σύμφωνα με τους Margoni & Psilonikos (2010) υπάρχουν όταν το διαλυμένο οξυγόνο σε ένα υδατικό οικοσύστημα βρίσκεται σε συγκεντρώσεις 0,5-1 mg/l.

Κάθε διαφορά μεταξύ των μετρημένων τιμών οξυγόνου και των προβλεπόμενων από τη διαλυτότητά του σε μία δεδομένη θερμοκρασία και αλατότητα, δηλαδή των θεωρητικών τιμών του οξυγόνου κορεσμού, ονομάζεται «φαινομενική χρησιμοποίηση οξυγόνου» (*apparent oxygen utilization* ή *AOU*). Όσο υψηλότερη είναι η AOU τόσο μεγαλύτερο είναι και το ποσό του οξυγόνου που απομακρύνθηκε από την υδάτινη μάζα (Μουστάκα-Γούνη 1997).

Για τη ζήτηση σε οξυγόνο, υπάρχουν δύο παράμετροι: α) η Βιοχημική ζήτηση οξυγόνου (BOD) και β) η Χημική ζήτηση οξυγόνου (COD).

Το BOD ορίζεται ως η ποσότητα του οξυγόνου που χρειάζονται οι μικροοργανισμοί για την αερόβια διάσπαση της ποσότητας της οργανικής ουσίας κατά τη διάρκεια μίας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου και υπό ορισμένη θερμοκρασία. Ο ρυθμός μεταβολής του είναι ανάλογος προς την ποσότητα της οργανικής ύλης που δεν έχει οξειδωθεί (Αντωνόπουλος 1995).

Σύμφωνα με τον Αντωνόπουλο (1995), ο όρος COD εκφράζει την ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται για την οξείδωση της οργανικής ουσίας με οξειδωτικά μέσα. Είναι λίγο μεγαλύτερο από το BOD επειδή περιλαμβάνει και τις μη βιολογικά αποικοδομήσιμες οργανικές ουσίες και συνδέονται μεταξύ τους με γραμμική σχέση.

2.2.2. Αλατότητα

Το 1909 το Διεθνές Συμβούλιο για την Εξερεύνηση της Θάλασσας (International Council for the Exploration of the Sea) καθιέρωσε τον πλήρη ορισμό της αλατότητας ως εξής: *«Αλατότητα είναι το συνολικό ποσό σε γραμμάρια των διαλυμένων στερεών ουσιών που περιέχονται σε 1 Kg θαλασσινού νερού, όταν όλα τα ανθρακικά έχουν μετατραπεί σε οξείδια, το βρώμιο και το ιώδιο έχουν αντικατασταθεί από χλώριο και όλα τα οργανικά έχουν οξειδωθεί τελείως»* (Αλμπανάκης 2007).

Η αλατότητα αναφέρεται στη σχετική περιεκτικότητα άλατος του νερού και συνήθως εκφράζεται σε μέρη ανά χιλιάδα (parts per thousand – ppt.) (Baker et al. 2002). Για χρόνια εφαρμοζόταν ο υπολογισμός της αλατότητας μετρώντας τη συγκέντρωση των χλωριόντων με χημική μέθοδο, καθώς τα περισσότερα στοιχεία στους ωκεανούς είναι συντηρητικά και ως εκ τούτου είναι σε σταθερές αναλογίες μεταξύ τους. Η μέθοδος αυτή, γνωστή σαν ογκομετρική τιτλοδότηση του Knudsen,

βασίζεται στην κατακρήμνιση του χλωρίου που υπάρχει στο θαλασσινό νερό με διάλυμα νιτρικού αργύρου. Λόγω όμως του γεγονότος ότι η ακρίβεια της μεθόδου φτάνει το 0,02‰, ο Cox παρατήρησε πως η σχέση μεταξύ αλατότητας και αγωγιμότητας είναι πλησιέστερη από ότι η σχέση μεταξύ αλατότητας και χλωρίτητας (Cox et al. 1967). Αυτό είχε ως συνέπεια η επιτροπή του Ο.Η.Ε. (Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών) για την ωκεανογραφία να καθιερώσει το 1978 διεθνώς, πως ο υπολογισμός της αλατότητας θα γίνεται πλέον μέσω της μέτρησης της αγωγιμότητας. Ο υπολογισμός με τη μέθοδο αυτή ονομάζεται πρακτική αλατότητα και μετριέται σε *practical salinity units (psu)*.

Για τον υπολογισμό της, χρησιμοποιείται το παρακάτω πολυώνυμο (2.3) το οποίο στατιστικά δίνει την καλύτερη συσχέτιση μεταξύ αλατότητας και αγωγιμότητας (Noborio 2001):

$$S_{psu} = a_0 + a_1 K_{15}^{1/2} + a_2 K_{15} + a_3 K_{15}^{3/2} + a_4 K_{15}^2 + a_5 K_{15}^{5/2} \quad (2.3)$$

Όπου:

$$K_{15} = \frac{c(S,15,0)}{c(KCl,15,0)}$$

$$a_0 = -0,008$$

$$a_1 = -0,1692$$

$$a_2 = 25,3851$$

$$a_3 = 14,0941$$

$$a_4 = -7,0261$$

$$a_5 = 14,0941$$

$C(S, 15, 0)$ = η αγωγιμότητα δείγματος θαλασσινού νερού στους 15°C σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης (το δείγμα στην επιφάνεια)

$C(KCl, 15, 0)$ = η αγωγιμότητα πρότυπου διαλύματος KCl στους 15°C σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης (το δείγμα στην επιφάνεια)

Πρότυπο διάλυμα KCl = περιέχει μάζα 32,4356 g KCl σε διάλυμα μάζας 1 Kg

Η κατανομή της αλατότητας καθορίζεται από την εξάτμιση και τα κατακρημνίσματα μιας περιοχής. Σε παράκτιες περιοχές με σημαντική επίδραση από ποτάμια, υπάρχει στην επιφάνεια νερό μειωμένης αλατότητας. Αμέσως βαθύτερα, βρίσκεται μια ζώνη στην οποία η αλατότητα αυξάνεται απότομα και διαχωρίζει τα βαθιά αλμυρά νερά από τα επιφανειακά υφάλμυρα. Η ζώνη αυτή ονομάζεται αλοκλινές. Στην περίπτωση αυτή το πυκνοκλινές (δηλ. το εύρος βαθών στο οποίο η πυκνότητα των νερών μεταβάλλεται απότομα) καθορίζεται από το αλοκλινές και η θερμοκρασία επηρεάζει λιγότερο τη μεταβολή της πυκνότητας (Αλμπανάκης 2007).

2.2.3. Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Ο Fellner-Feldegg, (1969) πρότεινε πως η ηλεκτρική αγωγιμότητα (electrical conductivity EC) ($S \cdot m^{-1}$, ή $mS \cdot m^{-1}$, ή $mS \cdot cm^{-1}$, ή $\mu S \cdot cm^{-1}$) ενός δείκτη ηλεκτρολυτών μπορεί να καθοριστεί ως μία λειτουργία του παραγώγου του συντελεστή αντανάκλασης όσον αφορά το χρόνο του κύματος (time-domain reflectometry) TDR⁴ σε χρόνο $t=0$. Αργότερα αρκετοί ερευνητές πρότειναν εναλλακτικές λύσεις ώστε να προσδιορίσουν την EC από TDR κύματα (Dalton et al. 1984, Topp et al. 1988, Zegelin et al. 1989, Van Loon et al. 1990, Nadler et al. 1991). Ο Nadler et al. (1991) διερεύνησε τις περισσότερες από αυτές τις μεθόδους και κατέληξε στο συμπέρασμα πως η δική τους

⁴ TDR είναι μια τεχνική μέτρησης που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών των ηλεκτρικών γραμμών με την παρατήρηση ανακλώμενων κυματομορφών (Time domain reflectometry 2011).

μέθοδος και η διαδικασία του Dalton et al. (1984) ήταν οι καταλληλότερες για τον υπολογισμό της EC διαμέσου των TDR συμπεριλαμβανομένου και του στρωματοποιημένου εδάφους.

Η Dalmas (2000) ανέφερε πως η ηλεκτρική αγωγιμότητα ενός διαλύματος είναι η ικανότητα να διαπερνά ηλεκτρικό ρεύμα μεταξύ δύο ηλεκτρονίων. Το ρεύμα αποτελείται από ιόντα, ως εκ τούτου η αγωγιμότητα αυξάνεται με τον αριθμό των ιόντων που βρίσκονται στο νερό καθώς επίσης και από την κινητικότητά τους. Ένα διάλυμα θα αντισταθεί στο ηλεκτρικό ρεύμα εάν είναι παρόν μόνο ένα μικρό ποσοστό ιόντων. Αυτό ονομάζεται ειδική αντίσταση και είναι το αντίθετο της αγωγιμότητας.

Η αγωγιμότητα συνδέεται άμεσα με την τιμή του PH, την τιμή της θερμοκρασίας τη στιγμή της μέτρησης και το ποσοστό CO_2 που είναι διαλυμένο στο νερό για να σχηματίσει ιόντα. Λόγω αυτών των παραγόντων, η αγωγιμότητα ονομάζεται «εγγενής αγωγιμότητα». Επίσης επηρεάζεται από τα ιόντα που είναι ήδη μέσα στο νερό, όπως, χλωρίδιο, νάτριο και αμμώνιο. Αυτή η συμβολή στην αγωγιμότητα είναι η «ξένη αγωγιμότητα» (Dalmas 2000).

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα για το νερό (EC_w), είναι θεωρητικά ο καλύτερος δείκτης της αλατότητας του εδάφους, κι αυτό διότι είναι το κύριο συστατικό του. Εντούτοις η EC_w δεν έχει ευρεία χρήση για την έκφραση της εδαφολογικής αλατότητας για δύο λόγους: 1) ποικίλλει μέσα στον κύκλο άρδευσης δεδομένου ότι το περιεχόμενο του εδάφους σε νερό με αλατότητα αλλάζει και 2) οι μέθοδοι προμήθευσης του ύδατος έχουν υψηλό κόστος και κόπο, κάνοντάς τες πιο εύκολα εφαρμόσιμες σε μετρήσεις πεδίου (Rhoades et al. 1999). Ο αισθητήρας αλατότητας θεωρείται γενικά λιγότερο επιθυμητή μέθοδος για μέτρηση της EC_w λόγω του χαμηλού όγκου δειγμάτων του, την

ασταθή βαθμολόγηση με την πάροδο του χρόνου, και τον αργό χρόνο απόκρισης (Corwin 2002).

Η αγωγιμότητα μετριέται στα γλυκά εσωτερικά νερά, ενώ η αλατότητα στα παράκτια. Χρησιμοποιούν διαφορετικές μονάδες μέτρησης (Αγωγιμότητα: $\mu\text{S} / \text{cm}$, Αλατότητα: ppt ή psu), μπορούν όμως να αναχθούν και στις ίδιες μονάδες.

2.2.4. Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία του νερού είναι μία μέτρηση για το πόσο θερμό ή ψυχρό είναι το νερό, αναφερόμενο σε μία σταθερή τιμή. Συνήθως εκφράζεται σε $^{\circ}\text{C} - ^{\circ}\text{F}$ (Baker et al. 2002). Η μέτρηση της θερμοκρασίας του νερού είναι απαραίτητη καθώς οι προσδιορισμοί της αγωγιμότητας, της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου, όπως επίσης και της βιολογικής δραστηριότητας, εξαρτώνται από τη θερμοκρασία και τις διακυμάνσεις της. Ο ρόλος της είναι σημαντικός, ιδιαίτερα σε εκβολές ποταμών και λιμνοθάλασσες, αφού για παράδειγμα όταν η θερμοκρασία του νερού αυξάνεται η ικανότητα του νερού να δεσμεύει διαλυμένο οξυγόνο μειώνεται. Επηρεάζει επίσης το ρυθμό της φυτοπλαγκτονικής φωτοσύνθεσης, τους μεταβολικούς ρυθμούς των υδρόβιων οργανισμών, αλλά και την ευαισθησία τους σε τοξικούς ρύπους, παράσιτα και ασθένειες. Η μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία για την αλιεία σε θερμά ύδατα καθώς και για την άγρια υδρόβια ζωή είναι 27°C (81°F) ενώ η μέγιστη για τα ψυχρά ύδατα είναι 20°C (68°F) (Geiger & Mesner 2003).

Σύμφωνα με τον Baker (2002) η θερμοκρασία είναι συνάρτηση της εποχής, του βάθους, και του ποσοστού ανάμιξης των υδάτων λόγω ανέμων, καταγίδων και παλιρροιών. Οι εποχικές αλλαγές του καιρού έχουν τη μεγαλύτερη επίδραση πάνω της,

αλλά παράλληλα, η ανάμιξη του νερού σε εκβολές και λιμνοθάλασσες προκαλεί με τη σειρά της μεγάλη διακύμανση στη θερμοκρασία. Σε ρηχά υδάτινα σώματα οι μεταβολές της θερμοκρασίας από την επιφάνεια μέχρι τον πυθμένα είναι μικρότερες, έως και μηδαμινές.

Η ανταλλαγή θερμότητας μέσα από την ατμόσφαιρα, υπολογίζεται με βάση τέσσερις φυσικές διεργασίες (Αλμπάνης & Βαδραχάνης 2003):

- Ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος (*long wave radiation*)
- Ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος (*short wave radiation*)
- Λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης (*latent heat*)
- Θερμική ροή από αγωγιμότητα (*sensible heat flux*)

Το θερμικό ισοζύγιο μπορεί να εκφραστεί από την εξίσωση (2.4):

$$\Delta q = q_{io} + q_{ss} + q_p - q_c + q_s - q_{sr} - q_{su} + q_l - q_{lr} - q_{lu} + q_g + q_{sed} - q_v \quad (2.4)$$

Όπου:

Δq = η μεταβολή της θερμικής χωρητικότητας του νερού

q_{io} = η μεταφορά θερμότητας λόγω εισροών/εκροών

q_{ss} = η μεταφορά θερμότητας μέσω των πηγών

q_p = η μεταφορά θερμότητας λόγω των ατμοσφαιρικών κατακριμνησμάτων

q_c = η θερμική ροή από αγωγιμότητα

q_s = η ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος

q_{sr} = η ανακλώμενη μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία

q_{su} = η ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος που εκπέμπεται από την

επιφάνεια του νερού

q_l = η μεγάλη μήκους κύματος ακτινοβολία πάνω από την επιφάνεια της

Θάλασσας

q_{lr} = η ανακλώμενη μεγάλη μήκους κύματος ακτινοβολία

q_{lu} = η ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος που εκπέμπεται από την

επιφάνεια του νερού

q_g = η ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ της υδάτινης στήλης και του εδάφους

q_{sed} = η ανταλλαγή της θερμότητας μεταξύ της υδάτινης στήλης

και των ιζημάτων

q_v = η απώλεια θερμότητας λόγω εξάτμισης

2.2.5. Redox Potential

Η λέξη *Redox* είναι συντομογραφία των λέξεων *Reduction – Oxydation* (αναγωγή – οξείδωση). Περιγράφει όλες τις χημικές αντιδράσεις στις οποίες άτομα δέχονται αλλαγή στον αριθμό οξείδωσης τους (Redox 2011). Σύμφωνα με τους Margoni & Psilovikos (2010), το Redox Potential στο υδάτινο περιβάλλον είναι ένα μέτρο της έντασης των συνθηκών της αναγωγής ή της οξείδωσης και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένας δείκτης της ποιότητας του νερού. Η μείωση του διαλυμένου οξυγόνου στα υδάτινα σώματα, ενισχύει τη δράση των αναγωγικών διεργασιών οι οποίες συμβάλουν στην κακή ποιότητα των υδάτων με τη δημιουργία ενώσεων με το υδρογόνο όπως αμμωνία (NH_3), μεθάνιο (CH_4), υδρόθειο (H_2S) οι οποίες είναι τοξικές για τα υδατικά οικοσυστήματα. Τα αρνητικά αποτελέσματα αυτών των διαδικασιών της ένωσης με το υδρογόνο κάτω από συνθήκες υποξείας, μπορούν να μετριάσουν με την

αύξηση της συγκέντρωσης του οξυγόνου και όζοντος, παράγοντες οι οποίοι αυξάνουν τις θετικές τιμές του Redox Potential και είναι οξειδωτικοί.

Ο τύπος υπολογισμού του δυναμικού οξειδοαναγωγής δίνεται με την εξίσωση (2.5) (Sigg 2000):

$$E_H^o = \frac{2.3RT}{nF} * \log K \quad (2.5)$$

Όπου:

E_H^o = Redox Potential (V) (σε σχέση με ένα φυσιολογικό ηλεκτρόδιο υδρογόνου) κάτω από φυσιολογικές συνθήκες (σύνολο δραστηριοτήτων = 1, $P_{H_2}=1 \text{ atm}$, $\{H^+\} = 1M$)

F = 1 faraday (= $96.490 * \text{mol}^{-1}$)

n = αριθμός ανταλλαγμένων ηλεκτρονίων

R = σταθερά αερίων (= $8.314 \text{ J} * \text{mol}^{-1} * \text{K}^{-1}$)

T = θερμοκρασία (K)

$2.3 RT/F = 0.059 \text{ V}$ (στους 25°C)

Ένα πρότυπο σύστημα για τη μέτρηση της παραμέτρου αυτής είναι ένα ηλεκτροχημικό κελί, στο οποίο η διαφορά της δυνατότητας οξειδοαναγωγής καθορίζεται ανάμεσα σε ένα αδρανές ηλεκτρόδιο συνήθως φτιαγμένο από λευκόχρυσο, σε επαφή με ένα ζεύγος redox σε διάλυμα και ένα ηλεκτρόδιο αναφοράς σε υδρογόνο. Η ανταλλαγή ηλεκτρονίων με τα αναγόμενα και τα οξειδώμενα τμήματα, λαμβάνει χώρα στο αδρανές ηλεκτρόδιο. Στην πραγματικότητα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν

και διάφορα άλλα ηλεκτρόδια αναφοράς πέρα από αυτό του υδρογόνου (Schuring et al. 2000).

2.2.6. Στάθμη νερού

Η κλειστή μορφολογίας λιμνοθάλασσες επηρεάζονται έντονα από την ενέργεια του ανέμου και κατά συνέπεια και των κυμάτων, όπως επίσης και από τη στενή δίοδο επικοινωνίας με τη θάλασσα, έχοντας έτσι το νερό αρκετά μεγάλους χρόνους παραμονής στο εσωτερικό τους αλλά και τη δυνατότητα ανανέωσης μεγάλου μέρους του όγκου τους ανά πάσα χρονική στιγμή. Η έντονη επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας σε τέτοιου τύπου λιμνοθάλασσες έχει την τάση να στρωματοποιεί την υδάτινη στήλη, συνδυαζόμενο με τις εισροές του νερού.

Το επίπεδο της στάθμης του νερού εξαρτάται από το ποσό του εισερχόμενου ύδατος, την ανάμιξη και τοποθέτηση των φερτών υλικών περιμετρικά αλλά και στις διόδους επικοινωνίας με τη θάλασσα και τον ποταμό που εκρέει σ' αυτή. Επίσης, επηρεάζεται από τις παλίρροιες, την απορροή, τον καιρό, τα κατακρημνίσματα είτε αυτά είναι απότομα με τη μορφή της καταιγίδας είτε όχι. Τέλος από την κυματική δράση λόγω του ανέμου και λόγω των περιοδικών ταλαντώσεων της θάλασσας, και τις αλλαγές στη θερμοκρασία και την πυκνότητα των υδάτων.

Η ανάμιξη διαφορετικής αλατότητας υδάτινων μαζών και θερμοκρασιών κάνει πιο έντονη την κλίση μεταξύ θερμοκλινούς και πυκνοκλινούς, δημιουργώντας έτσι βαροκλιλικές συνθήκες, οι οποίες με τη σειρά τους μεταβάλλουν την κλίση της επιφάνειας των υδάτων και μεταφέρουν όγκους νερού εντός ή εκτός της λιμνοθάλασσας αλλάζοντας τη στάθμη της. Οι δυνάμεις βαρύτητας οδηγούν το πυκνότερο νερό προς

τον πυθμένα, πράγμα που ενισχύει τη στρωμάτωση και εμποδίζει τη σωστή οξυγόνωση. Σε μικρού βάθους λιμνοθάλασσες όμως, όπου η στρωμάτωση είναι εντελώς παροδική, αυτό οδηγεί σε ομογενοποίηση της υδάτινης στήλης κρατώντας την επαρκώς οξυγονωμένη. Κίνηση των υδάτων λόγω διαφοράς της οριζόντιας πυκνότητας μπορεί να συμβεί, και αυτό είναι μία από τις σημαντικότερες διαδικασίες κυκλοφορίας του νερού, ειδικά σε κλειστού τύπου λιμνοθάλασσες. Η κυριότερη αιτία στρωματοποίησης, καθώς και αυξομείωσης της στάθμης του νερού, είναι οι παλιρροϊκές δυνάμεις σε συνδυασμό με το προερχόμενο νερό από τη θάλασσα και το υδρογραφικό δίκτυο που τροφοδοτούν με αλμυρό ή γλυκό νερό αντίστοιχα τη λιμνοθάλασσα.

Όπως προαναφέρθηκε, η δίοδος σε κλειστού τύπου λιμνοθάλασσες, μπορεί να κλείσει από φερτά υλικά εμποδίζοντας την είσοδο του νερού και την καλή οξυγόνωση. Σε περιόδους με έντονη κυματική δραστηριότητα, συνήθως η δίοδος διατηρείται ανοικτή (Kjerfve & Magill 1989).

Η στάθμη των υδάτων, επηρεάζεται άμεσα και από την ατμοσφαιρική πίεση, με τη στάθμη να αυξάνεται καθώς η πίεση της ατμόσφαιρας πέφτει. Ένας τύπος που υπολογίζει τη διαφορά τους δίνεται με την εξίσωση (2.6) (Shirman & Melzer, 2009):

$$\Delta(h) = -0,993 * \Delta(Pa) \quad (2.6)$$

Όπου:

h = το ύψος της στάθμης σε cm

Pa = η πίεση σε μονάδες Pascal

Ένας γενικότερος τύπος που περιγράφει τους παράγοντες που επηρεάζουν το επίπεδο της θάλασσας και προκαλούν αλλαγές, δίνεται με την εξίσωση (2.7) (Shirman & Melzer, 2009):

$$Z(t) = Z_0 + A(t) + M(t) + O(t) \quad (2.7)$$

Όπου:

Z_0 = η μέση στάθμη της θάλασσας (Γεωειδές) η οποία θεωρείται σταθερή για μία περίοδο των δεκαετιών.

$A(t)$ = αστρονομική παλίρροια (έλξη από το φεγγάρι & τον ήλιο)

$M(t)$ = μετεωρολογικοί παράγοντες (πίεση αέρα & άνεμος)

$O(t)$ = ωκεανογραφικοί παράγοντες (θερμοκρασία & αλατότητα νερού, ωκεάνια τοπογραφία)

2.3. Συσχετίσεις (Correlation analysis)

Ο συντελεστής συσχέτισης περιγράφει τη συσχέτιση μεταξύ δύο διαφορετικών μεταβλητών X και Y (Von Storch 1995). Υπάρχουν δύο είδη συσχετίσεων, που εκφράζονται με τους συντελεστές *Pearson's Correlation Coefficient* και *Cross Correlation Function*. Από τα δύο αυτά είδη, στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής του *Pearson* που μετρά τη γραμμική συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών που πρέπει να ακολουθούν κανονική κατανομή (Von Storch 1995). Από αυτή την τιμή του συντελεστή, κρίνεται εάν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ δύο μεταβλητών και πόσο

ισχυρή ή χαλαρή είναι αυτή (Πάκου 2008). Ο μαθηματικός τύπος της συσχέτισης δίνεται με την (2.8) (Von Storch 1995):

$$r = \frac{S_{xy}}{S_x S_y} \quad (2.8)$$

Όπου:

S_{xy} = η συμμεταβλητότητα του δείγματος των μεταβλητών X, Y και

S_x, S_y = οι τυπικές αποκλίσεις των μεταβλητών X και Y αντίστοιχα

Για το συντελεστή συσχέτισης ισχύει $|r| \leq 1$ και όταν $0 \leq r \leq 1$, τότε οι μεταβλητές συσχετίζονται θετικά. Αν όμως $-1 \leq r \leq 0$, τότε οι μεταβλητές συσχετίζονται αρνητικά. Ο συντελεστής συσχέτισης παρουσιάζει συμμετρία ως προς X και Y, δεν εξαρτάται από την μονάδα μέτρησης και οι τιμές που παίρνει όπως αναφέραμε είναι στο διάστημα $[-1, +1]$.

Αν $r = 0$, τότε δεν υπάρχει γραμμική συσχέτιση μεταξύ των X και Y. Αν τώρα $r = 1$, τότε υπάρχει πλήρης θετική γραμμική εξάρτηση, ενώ αν $r = -1$, υπάρχει πλήρης αρνητική συσχέτιση μεταξύ τους (Κουνιάς και συν. 2003). Όσο πιο κοντά στο -1 ή 1 είναι ο συντελεστής, τόσο ισχυρότερη είναι η συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών (Correlation and dependence, 2011).

2.4. REMOS (Remote Environmental Monitoring System)

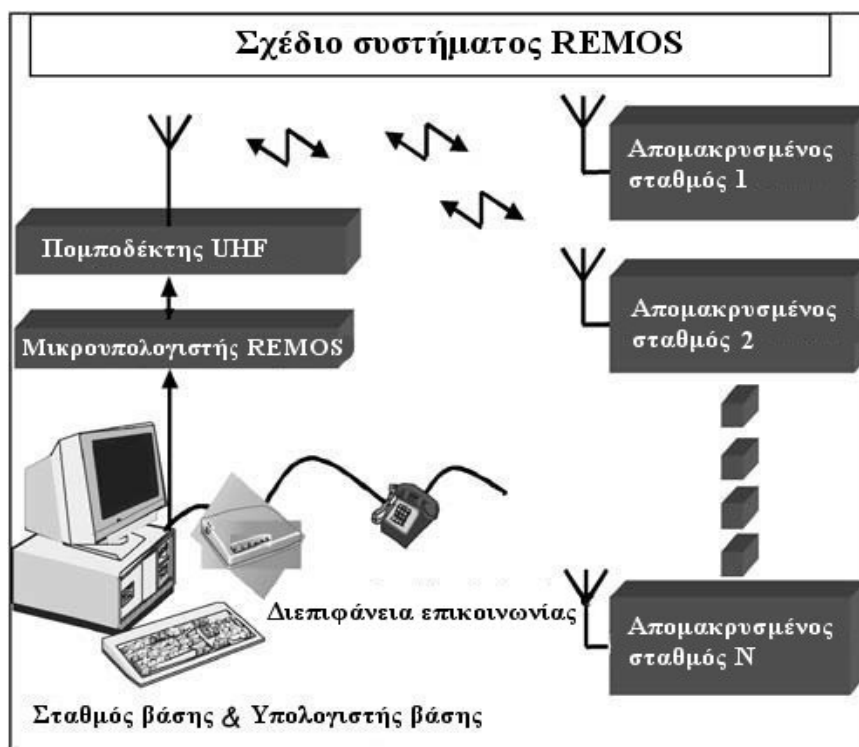
Το δίκτυο **REMOS** είναι ένα ηλεκτρονικό σύστημα αυτόματων τηλεμετρικών μετρήσεων για παραμέτρους αέρα και ύδατος. Δημιουργήθηκε από την ερευνητική

ομάδα **ΠΕΡΣΕΑΣ** με επικεφαλής τον Αείμνηστο Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας, Τομέα Φυσικής & Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας του ΑΠΘ Αντώνιο Ψιλοβίκο, σε συνεργασία με μέλη ΔΕΠ από α) τον παραπάνω Τομέα, β) τον Τομέα Ηλεκτρονικής Φυσικής και Μικροϋπολογιστών του Τμήματος Φυσικής του ΑΠΘ και γ) το Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας και συγκεκριμένα τον επιβλέποντα της διατριβής μου επίκουρο καθηγητή κ. Άρη Ψιλοβίκο, ως συνεργαζόμενο μέλος ΔΕΠ του εν λόγω Πανεπιστημίου.

Λειτουργεί με τη μορφή ενός δικτύου απομακρυσμένων τηλεμετρικών σταθμών που παρακολουθούν ηλεκτρονικά συνεχώς τις τιμές διαφόρων παραμέτρων σε ευαίσθητα οικοσυστήματα. Εφαρμόζει την προσέγγιση του «ενσωματωμένου περιβαλλοντικού ελέγχου» που είναι η ολοκλήρωση πολλών διαφορετικών ειδών περιβαλλοντικών μετρήσεων σε μια κοινή αυτοματοποιημένη δομή και λόγω των άμεσων και συνεχών μετρήσεων μπορεί να αποτρέψει τις φυσικές καταστροφές αφού λειτουργεί ως ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο αποφάσεων σε περιπτώσεις ακραίων καιρικών φαινομένων (Psilonikos et al. 2002, 2005).

Στην ευρύτερη περιοχή του Νέστου, το δίκτυο REMOS κατασκευάστηκε και τέθηκε σε λειτουργία από την ομάδα PERSEAS του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης στα πλαίσια συνεργασίας με τη ΔΕΗ. Αυτό προέκυψε ως απαίτηση από την ΚΥΑ 18496/19-9-1996 για την παρακολούθηση των φραγμάτων του Νέστου μετά την κατασκευή τους, έτσι ώστε να μπορεί να υπάρχει ο έλεγχος για την τήρηση των επιταγών της ΚΥΑ αναφορικά με την ποιότητα – ποσότητα του νερού και συγκεκριμένες μετεωρολογικές – κλιματικές παραμέτρους, απαραίτητες για τη σωστή διαχείριση του περιβάλλοντος (Psilonikos et al. 2002).

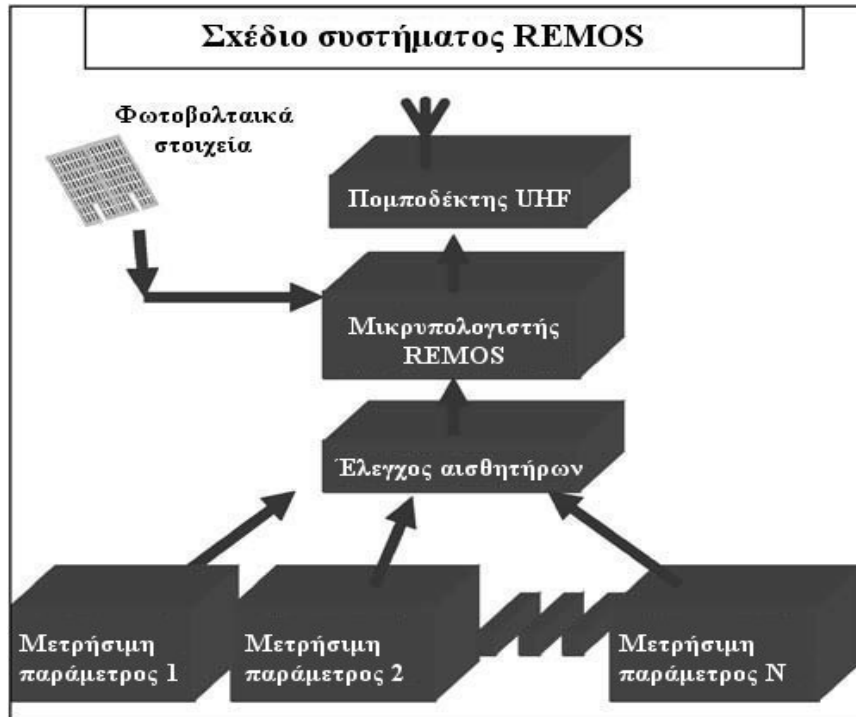
Το κάθε δίκτυο REMOS αποτελείται από δύο μέρη. Το πρώτο μέρος απεικονίζεται στην Εικόνα 6 και είναι ο σταθμός βάσης. Αυτός αποτελείται από έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή, μία διεπαφή επικοινωνίας και έναν πομποδέκτη επικοινωνίας UHF (Psilovikos et al. 2006).



Εικόνα 6. Απεικόνιση σταθμού βάσης του συστήματος REMOS

(Πηγή: Psilovikos et al, 2006).

Το δεύτερο μέρος του δικτύου είναι ένας ή περισσότεροι απομακρυσμένοι σταθμοί, οι οποίοι απεικονίζονται στην Εικόνα 7, και αποτελούνται από μία μονάδα μικροελέγχου, μία διεπαφή επικοινωνίας, έναν πομποδέκτη επικοινωνίας UHF, ένα ηλιακό πάνελ, μία μπαταρία, και αισθητήρες των παραμέτρων παρακολούθησης (Psilovikos et al. 2006).



Εικόνα 7. Απεικόνιση απομακρυσμένων σταθμών του συστήματος

REMOS (Πηγή: Psilovikos et al. 2006).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Οι παράμετροι οι οποίες αναλύθηκαν, αφορούν τα ύδατα της λιμνοθάλασσας της Κεραμωτής, λήφθηκαν με χρήση του δικτύου REMOS και είναι για το διάστημα από τον Ιανουάριο του έτους 2005, έως και τον Δεκέμβριο του 2007. Οι παράμετροι αυτές είναι:

1. Στάθμη νερού (cm)
2. REDOX (mV)
3. Διαλυμένο οξυγόνο (mg/l)
4. Θερμοκρασία νερού (°C)
5. Θερμοκρασία αέρα (°C)
6. Αλατότητα (ppt)

Σποραδικά προβλήματα στους αισθητήρες προκάλεσαν διάφορα κενά στις μετρήσεις. Τα κενά αυτά ωστόσο δεν χαίρουν ιδιαίτερης σημασίας, αφού τα δεδομένα ήταν αρκετά πλήρη ώστε να μπορούν να αναλυθούν.

Μέσω του προγράμματος Excel, αναζητήθηκαν συσχετίσεις ανάμεσα στην παράμετρο του διαλυμένου οξυγόνου και των υπολοίπων παραμέτρων, ώστε μέσω αυτών να βρεθεί πως επηρεάζεται η παράμετρος αυτή από άλλες και αν η ποιότητα των υδάτων βελτιώνεται ή όχι. Υπολογίσθηκε επίσης και ο συντελεστής συσχέτισής τους (*Correlation coefficient*).

Στον Πίνακα 1., παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εκτίμησης του συντελεστή συσχέτισης μεταξύ των διαφόρων παραμέτρων τα οποία θα αναλυθούν στα επόμενα υποκεφάλαια.

Πίνακας 1. Αποτελέσματα του συντελεστή συσχέτισης μεταξύ των παραμέτρων:

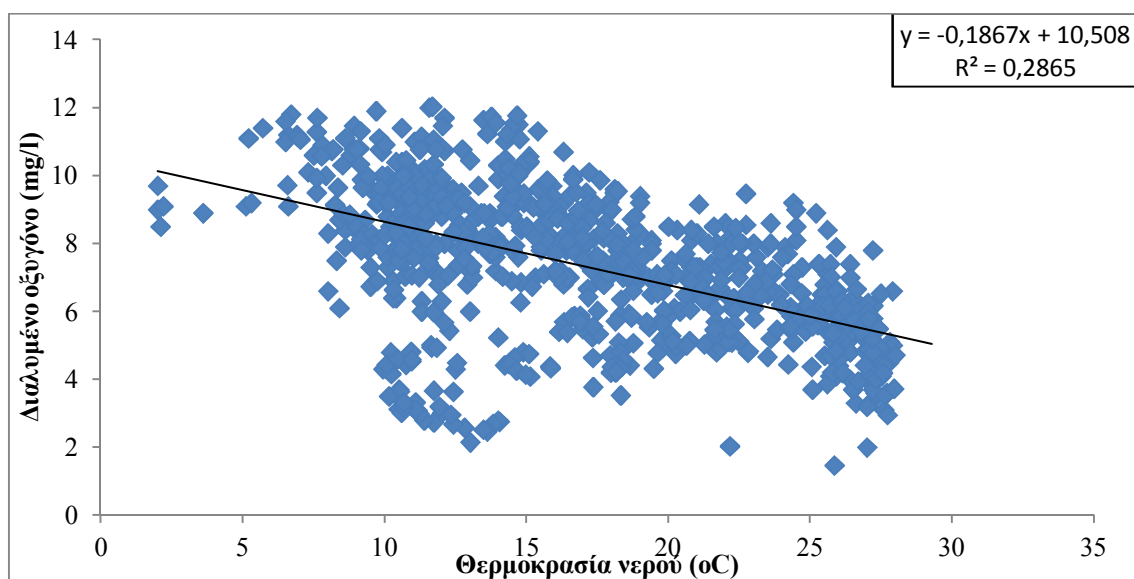
Συσχετιζόμενοι παράμετροι	Συντελεστής συσχέτισης
Διαλυμένο οξυγόνο-Θερμοκρασία νερού	-0,535
Διαλυμένο οξυγόνο-Αλατότητα	-0,106
Διαλυμένο οξυγόνο-Στάθμη νερού	-0,339
Redox-Θερμοκρασία νερού	0,442
Redox-Διαλυμένο οξυγόνο	0,072
Redox-Αλατότητα	-0,240
Στάθμη νερού-Αλατότητα	0,284
Στάθμη νερού- Θερμοκρασία νερού	0,384

3.1. Ανάλυση της συσχέτισης των παραμέτρων διαλυμένου οξυγόνου – θερμοκρασίας νερού

Τα δεδομένα της παραμέτρου του διαλυμένου οξυγόνου, είναι πλήρη με ελάχιστες μόνο ελλείψεις. Αντίστοιχα το ίδιο συμβαίνει και με τη παράμετρο της θερμοκρασίας του νερού, δίνοντάς μας έτσι τη δυνατότητα για επεξεργασία. Στα Σχήματα 1 και 2 δίνονται τα γραφήματα των δύο χρονοσειρών από τα οποία είναι εμφανής η συσχέτιση μεταξύ των δύο παραμέτρων.

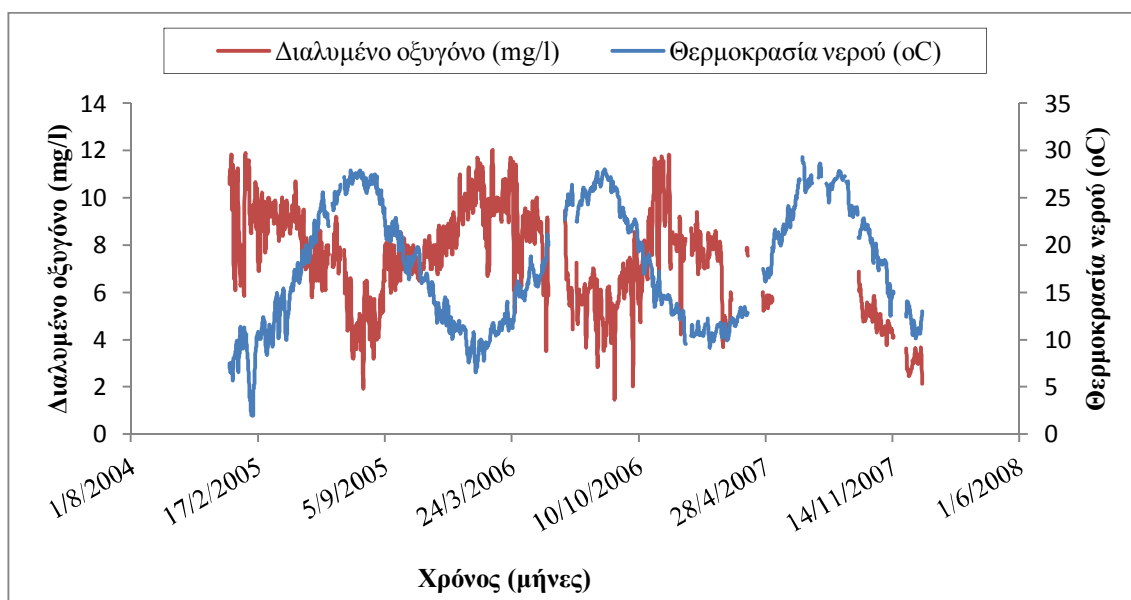
Στα Σχήματα αυτά, παρατηρείται ότι οι συγκεντρώσεις του οξυγόνου, κινούνται αντίθετα με την αύξηση της θερμοκρασίας. Η διακύμανση αυτή του οξυγόνου, έρχεται σε συμφωνία με τους Geiger et al. (2011), όπου αναφέρεται πως θεωρητικά, η ικανότητα του νερού να δεσμεύει το οξυγόνο πέφτει καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία,

και αντιστρόφως. Έτσι λοιπόν στην περίπτωση αυτή, επιβεβαιώνεται πως όταν η θερμοκρασία βρίσκεται σε πτώση, το διαλυμένο οξυγόνο βρίσκεται σε άνοδο. Αντίστοιχα αποτελέσματα έχουν προκύψει από έρευνες για την αποτίμηση των δεδομένων της παρακολούθησης του Νέστου σε άλλες θέσεις, όπως στο δέλτα στον Περιφερειακό Σταθμό – Π.Σ. Χρυσούπολης (Psilonikos et al., 2006) και στον Π.Σ. Αγιάσματος (Margoni & Psilonikos, 2010). Το γεγονός ότι αυτές οι δύο παράμετροι συσχετίζονται άμεσα φαίνεται και από τον συντελεστή συσχέτισης, ο οποίος στην περίπτωση αυτή παίρνει την τιμή $R = -0,535$ (Πίνακας 1). Η τιμή αυτή δείχνει ότι οι παράμετροι είναι έντονα αντίθετα συσχετιζόμενοι, δηλαδή, όσο αυξάνεται η τιμή της ανεξάρτητης παραμέτρου (θερμοκρασία νερού) η εξαρτημένη παράμετρος (διαλυμένο οξυγόνο) ελαττώνεται.



Σχήμα 1. Διάγραμμα της συσχέτισης των παραμέτρων Διαλυμένο οξυγόνο-Θερμοκρασία νερού.

Η αύξηση του διαλυμένου οξυγόνου συμβαίνει κατά τους χειμερινούς μήνες, με μέγιστες τιμές τον Ιανουάριο του 2005, τον Φεβρουάριο του 2006 και τον Νοέμβριο του ίδιου έτους, οπότε και επικρατούν οι ελάχιστες τιμές της θερμοκρασίας. Ωστόσο κατά τους πρώτους μήνες του έτους 2007, παρατηρείται μία ελαφρά αύξηση της θερμοκρασίας του νερού που αντανακλάται σε μείωση των επιπέδων του διαλυμένου οξυγόνου, με μέγιστο τα 9,374 mg/l τον Ιανουάριο για θερμοκρασία 10,861 °C, σε αντίθεση με τα μέγιστα των προηγούμενων δύο ετών, όπου παρατηρήθηκε πως έφταναν έως και τα 12 mg/l με 11,56 °C για τον μήνα Φεβρουάριο του έτους 2006.



Σχήμα 2. Διάγραμμα της συσχέτισης των παραμέτρων Διαλυμένο οξυγόνο-Θερμοκρασία νερού συναρτήσει του χρόνου.

Αντίστοιχη διακύμανση του διαλυμένου οξυγόνου, έχει αναφερθεί στη βιβλιογραφία και κατά τις εποχιακές αλλαγές της θερμοκρασίας για τα έτη 1984 και 1999 στη λιμνοθάλασσα Βιστωνίδα, όπου οι δειγματοληψίες έδειξαν υψηλές τιμές θερμοκρασίας να ακολουθούνται από χαμηλές τιμές διαλυμένου οξυγόνου και

αντίστροφα (Gikas et al. 2006). Το ίδιο παρατηρήθηκε και στη λιμνοθάλασσα Celestun στον κόλπο του Μεξικού κατά τα έτη 1989-1990, όπου δειγματοληψίες έδειξαν πτώση του διαλυμένου οξυγόνου τους μήνες κατά τους οποίους η θερμοκρασία των υδάτων βρίσκονταν σε αύξηση, κυρίως από το μήνα Μάρτιο έως και το μήνα Ιανουάριο (Herrera-Silveira 1996).

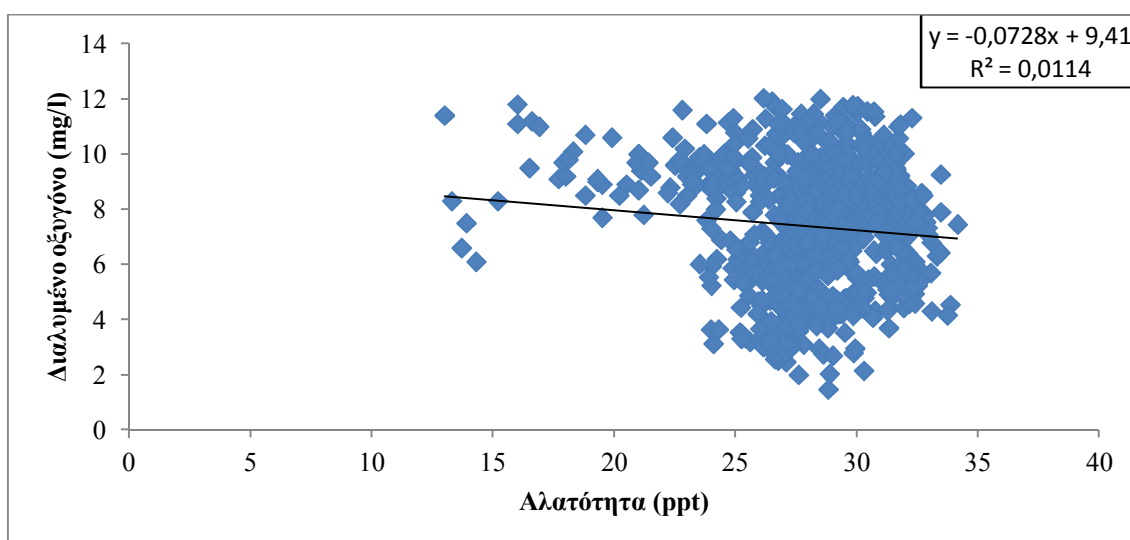
Σε ότι αφορά τη λιμνοθάλασσα Αγιάσματος (Margoni & Psilovikos, 2010) παρόμοια συμπεριφορά παρατηρήθηκε για τα έτη 2000-2002, με ορισμένες όμως απρόσμενα υψηλές τιμές μετρήσεων του διαλυμένου οξυγόνου κατά τους θερινούς μήνες που ακολουθούνταν από χαμηλές τιμές στα όρια της υποξίας – ανοξίας (1-3 mg/l). Ακραία υψηλές τιμές οξυγόνου παρατηρήθηκαν από τους Suzuki et al. (1998) σε λιμνοθάλασσα της Βραζιλίας κατά τη χρονική περίοδο Οκτωβρίου-Νοεμβρίου του έτους 1996, γεγονός που αποδόθηκε στις υψηλές τιμές της χλωροφύλλης-α που συνέβαλαν στην απότομη αύξηση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου.

Στην περίπτωση της λιμνοθάλασσας της Κεραμωτής, με βάση τα δεδομένα αυτά, δεν παρατηρήθηκαν ακραίες υψηλές τιμές. Υπήρξαν παρόλα αυτά ορισμένες χαμηλές, με την εντονότερη να είναι κοντά στα όρια εμφάνισης ανοξικών συνθηκών, με συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου 1,469 mg/l για το μήνα του Σεπτεμβρίου του 2006. Αυτές οι υπερβολικά χαμηλές τιμές μπορούν σύμφωνα με τους Sylaios και Theocharis (2002), να εξηγηθούν πέρα από την αδυναμία των εποχιακά θερμών υδάτινων μαζών να συγκρατήσουν το οξυγόνο και από το γεγονός ότι τα φύκη που δημιουργούν ένα παχύ πράσινο στρώμα που βρίσκεται σε έξαρση και εμποδίζει τον επαναερισμό. Όλα αυτά σε συνδυασμό με το ότι οι οργανισμοί και τα βακτήρια, που βρίσκονται στο εσωτερικό της λιμνοθάλασσας και καταναλώνουν το εναπομείναν οξυγόνο, οδηγούν τις τιμές του σε κρίσιμα όρια.

Παρόμοιες τιμές, σε σχέση με τις παρατηρούμενες για τη λιμνοθάλασσα της Κεραμωτής, ή και πιο ακραίες που ξεπέρασαν το κατώτατο όριο περιεκτικότητας σε οξυγόνο και προκάλεσαν ανοξικά φαινόμενα με μαζικούς θανάτους ψαριών, έχουν παρατηρηθεί και σε άλλες λιμνοθάλασσες στην ευρύτερη περιοχή του Νέστου, όπως στο Ερατεινό και στη Βάσσοβα. Στη Βάσσοβα αυτό συνέβη κυρίως λόγω έλλειψης κυματικής δραστηριότητας για τον επαναερισμό των υδάτων, ενώ στο Ερατεινό κυρίως λόγω ευτροφισμού (Sylaios & Theocharis 2002).

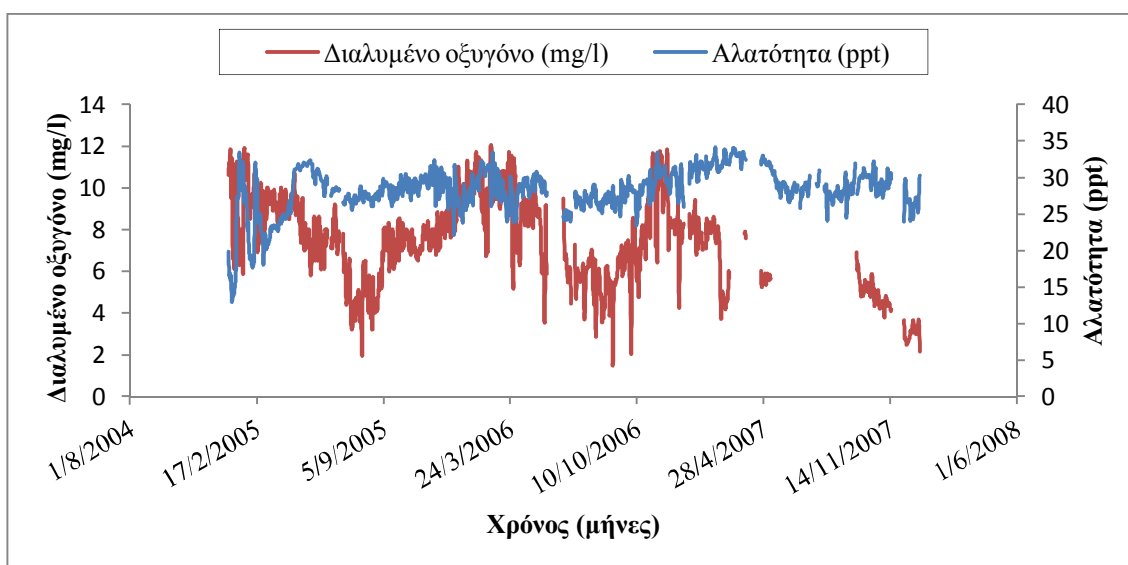
3.2. Ανάλυση της συσχέτισης των παραμέτρων Διαλυμένου οξυγόνου-Αλατότητας

Τα αποτελέσματα των δύο χρονοσειρών διαλυμένου οξυγόνου – αλατότητας που ελήφθησαν μέσω του δικτύου REMOS παρουσιάζονται στα Σχήματα 3 και 4, όπου και γίνεται εμφανής η συσχέτιση τους.



Σχήμα 3. Διάγραμμα της συσχέτισης των παραμέτρων διαλυμένου οξυγόνου – αλατότητας.

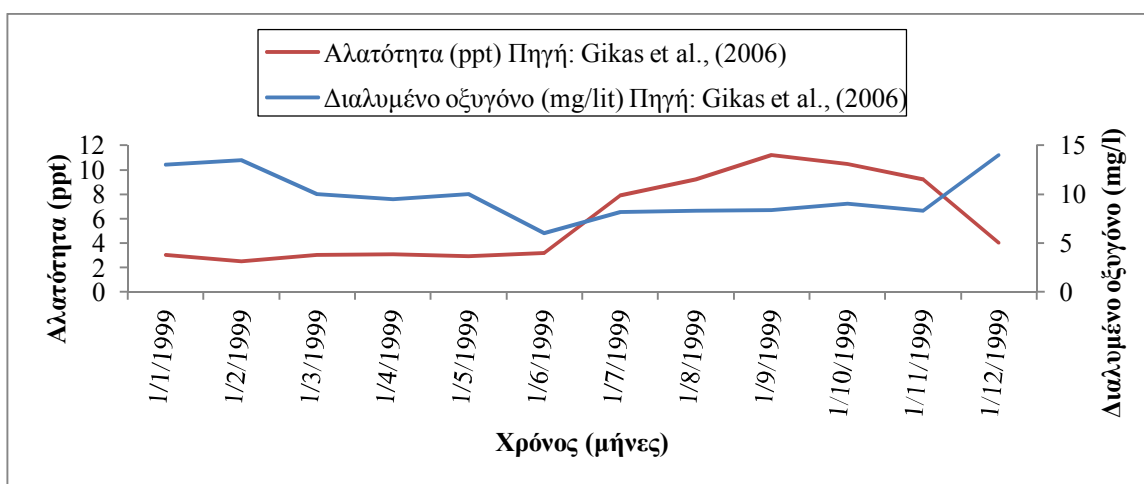
Οι παράμετροι αυτές, όπως προαναφέρθηκε, είναι θεωρητικά αντιστρόφως ανάλογες, αφού όσο αυξάνεται η συγκέντρωση της αλατότητας σε μία υδάτινη μάζα, το οξυγόνο μειώνεται, και αντίστροφα (Αντωνόπουλος 1995). Το γεγονός ότι αυτές οι δύο παράμετροι συσχετίζονται αντίστροφα, γίνεται εύκολα αντιληπτό μέσω του συντελεστή συσχέτισης, ο οποίος παίρνει την τιμή $-0,106$ (Πίνακας 1).



Σχήμα 4. Διάγραμμα της συσχέτισης των παραμέτρων Διαλυμένου οξυγόνου-Αλατότητας συναρτήσει του χρόνου για τα έτη 2005-2007 της λιμνοθάλασσας της Κεραμωτής.

Αντίστοιχα παραδείγματα στα οποία οι παράμετροι διαλυμένο οξυγόνο και αλατότητα κινούνται σύμφωνα με τα θεωρητικά πρότυπα (Εξ. 2.2), δηλαδή αντιστρόφως ανάλογα το ένα με το άλλο, έχουμε από τους Sylaios και Theocharis (2002) σχετικά με μετρήσεις για τις λιμνοθάλασσες Ερατεινό και Βάσσοβα, και τους Gikas et al. (2006) για τη λιμνοθάλασσα της Βιστωνίδας, σύμφωνα με στοιχεία από τα έτη 1984 και 1999.

Όπως βλέπουμε στο Σχήμα 5 (Gikas et al. 2006), το διαλυμένο οξυγόνο κατά το διάστημα μέχρι και τη μέτρηση του Ιουνίου, βρίσκεται σε πτώση, όπως συμβαίνει και στα δεδομένα του οξυγόνου που ελήφθησαν από τη λιμνοθάλασσα της Κεραμωτής. Το δείγμα όμως είναι πολύ αραιό και αντιστοιχεί σε μία τιμή ανά μήνα και όχι σε τριάντα όπως στη δική μας περίπτωση.



Σχήμα 5. Διάγραμμα συσχέτισης των παραμέτρων Διαλυμένου οξυγόνου-Αλατότητας για το έτος 1999 της λιμνοθάλασσας της Βιστωνίδας (Πηγή: Gikas et al. 2006).

Αυτό που παρατηρούμε στο Σχήμα 4, για τους μήνες από τις αρχές Ιανουαρίου έως και τα μέσα Μαρτίου του έτους 2005, είναι ότι έχουμε ορισμένες ακραίες μεταβολές των παραμέτρων. Επίσης παρόμοιες ακραίες μεταβολές παρατηρήθηκαν και για το διάστημα από τα τέλη του ίδιου έτους έως και το τέλος Μαρτίου του 2006, καθώς επίσης και από τις τελευταίες ημέρες του Οκτωβρίου του έτους 2007 μέχρι και το τέλος Νοεμβρίου του ίδιου έτους.

Αυτό που βλέπουμε έντονα όμως στη συγκεκριμένη συσχέτιση είναι μία ταυτόχρονη πτώση των τιμών των παραμέτρων για το διάστημα από τα μέσα του μήνα

Ιουνίου του έτους 2005 έως και το τέλος αυτού. Όπως βλέπουμε στο Σχήμα 4, η συγκέντρωση της αλατότητας παρουσιάζει μείωση για τους μήνες Μάιο έως και το τέλος Δεκεμβρίου 2005, με ελάχιστες τιμές της για τα διαστήματα από 15/7 έως και 30/7 καθώς και 14/8 με 21/8. Το ίδιο παρατηρείται και για τους μήνες από Μάιο έως και τέλος Οκτωβρίου των ετών 2006 και 2007. Αυτή η μείωση όμως, ακολουθείται και από χαμηλές τιμές διαλυμένου οξυγόνου.

Παράλληλη πτώση των παραμέτρων αυτών παρατηρείται και για τα διαστήματα από τέλη Απριλίου του έτους 2006 έως και τέλη Σεπτεμβρίου του ίδιου έτους, καθώς και από τα τέλη Σεπτεμβρίου 2007 και μέχρι το τέλος του έτους. Ο συντελεστής συσχέτισης παρ' όλα αυτά (-0,106), επιβεβαιώνει την αρνητική συσχέτιση παρά τις περιόδους παράλληλης πτώσης της αλατότητας και του οξυγόνου (Πίνακας 1).

Το φαινόμενο της παράλληλης πτώσης διαλυμένου οξυγόνου και αλατότητας, είναι κάτι που έχει παρατηρηθεί και σε άλλες έρευνες, όπως αυτή των Margoni και Psilonikos (2010). Στην περίπτωση αυτή η αλατότητα έφτασε στα ελάχιστα σημεία της με συγκεντρώσεις 4-9.5 ppt κατά τα διαστήματα από 3/6 έως 9/6 του 2000, από 6/8 έως 15/8 του 2000, από 27/6 έως 30/6 του 2001 και τέλος από 3/6 έως 20/6 του έτους 2002. Έπειτα από επισταμένη εξέταση, ανακαλύφθηκε πως η αιτία για αυτή τη συμπεριφορά των παραμέτρων, δεν ήταν άλλη από την παρεμπόδιση της κυκλοφορίας του θαλασσινού νερού μέσα στη λιμνοθάλασσα λόγω απόφραξης του στομίου (μπούκα) της λιμνοθάλασσας από φερτά υλικά.

Τέτοιου είδους διακοπή της ροής του θαλασσινού νερού στο εσωτερικό των λιμνοθαλασσών λόγω φερτών υλικών, έχει αναφερθεί και από τους Kjerfve και Magill (1989). Αυτό το φαινόμενο τόσο στην περίπτωση των Margoni και Psilonikos (2010), όσο και στην περίπτωση μας, κράτησε έως και δεκαπέντε ημέρες κατά τη θερινή

περίοδο. Η πτώση της αλατότητας οφείλεται, κατά τους Margoni και Psilovikos (2010), στο γεγονός ότι υπήρχε μόνο είσοδος γλυκού νερού στη λιμνοθάλασσα από τους παρακείμενους χείμαρρους και τους υδροφορείς του Δέλτα και όχι θαλασσινού, ενώ η πτώση του διαλυμένου οξυγόνου στην κατανάλωσή του από τους οργανισμούς.

3.3. Ανάλυση της συσχέτισης των παραμέτρων διαλυμένου οξυγόνου – στάθμης νερού

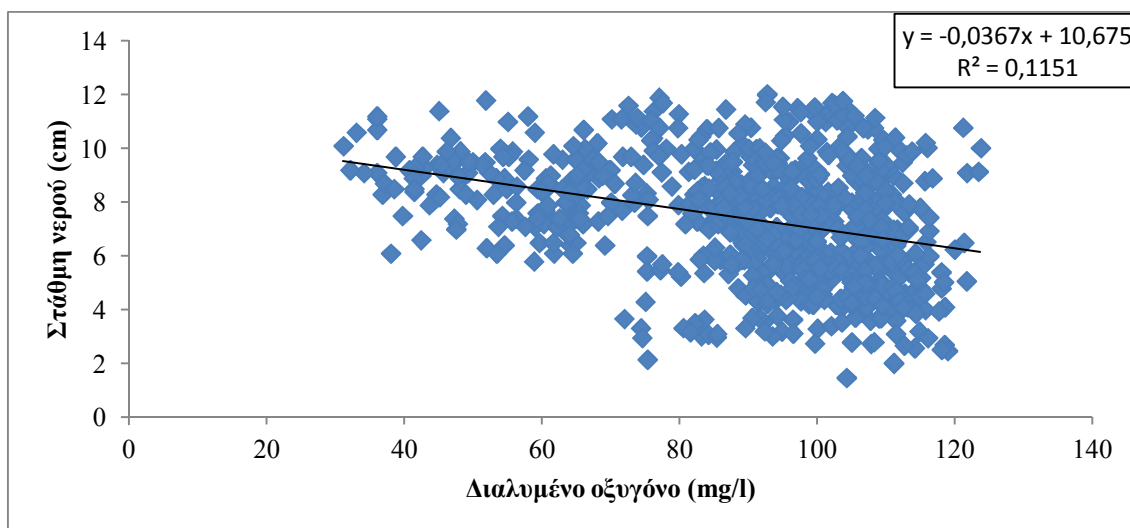
Στα Σχήματα 6 και 7, παρατίθενται τα γραφήματα των δύο χρονοσειρών, στα οποία είναι εμφανής η συσχέτιση των παραμέτρων διαλυμένου οξυγόνου – στάθμης νερού. Οι μετρήσεις είναι σχεδόν πλήρεις για την παράμετρο της στάθμης νερού για όλα τα έτη 2005-2007, γεγονός που διευκολύνει την ανάλυση και μελέτη της συσχέτισης αυτής.

Αυτό που παρατηρείται με μία πρώτη ματιά, είναι μία πολύ χαμηλή στάθμη νερού, για το διάστημα από τις αρχές Ιανουαρίου έως και τα τέλη Ιουνίου του έτους 2005. Το επίπεδο του διαλυμένου οξυγόνου παραμένει όμως ικανοποιητικά υψηλό για το διάστημα αυτό. Το γεγονός της έντονα χαμηλής στάθμης νερού, μπορεί να εξηγηθεί από μετεωρολογικά, κλιματικά και ατμοσφαιρικά αίτια και πιο συγκεκριμένα από τη θερμοκρασία του αέρα, την ατμοσφαιρική πίεση και τις κινήσεις της σελήνης που προκαλούν πλημμυρίδα και άμπωτη.

Σύμφωνα με τους Shirman και Melzer (2009), η στάθμη της θάλασσας αλλάζει και έχει μία σχεδόν ημιτονοειδή κίνηση ανά δεκαετία, περιγραφόμενη ως Αλλαγή Μεγάλης Περιόδου Στάθμης Θάλασσας της Μεσογείου, και οι κορυφές της είναι περίπου ανά δέκα έτη. Σύμφωνα με τα δεδομένα τους, το έτος 2005 βρίσκεται σε

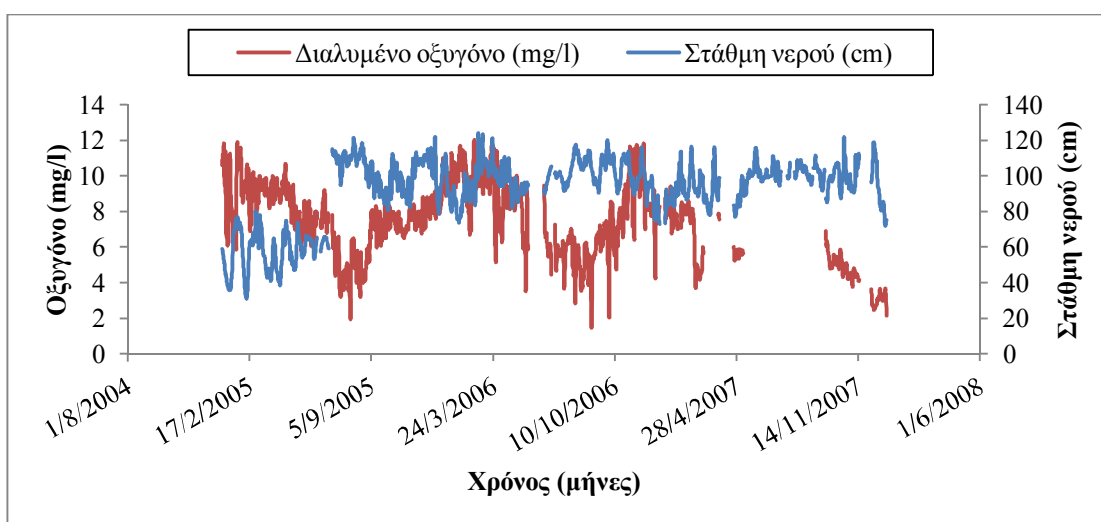
κορυφή, με υψηλότερα επίπεδα στάθμης στη Μεσόγειο, πράγμα που συμφωνεί και με τους Vigo et al. (2005), οι οποίοι σε δικά τους δεδομένα από στάθμες υδάτων σε διάφορες πόλεις της μεσογείου, όπως Θεσσαλονίκη, Antalya και άλλες, δείχνουν πως η θαλάσσια στάθμη είναι όντως χαμηλότερη κοντά στα έτη 1994-1995 και έπειτα αυξάνεται σταθερά όσο προχωράμε προς το 2004.

Όμως, αυτό που παρατηρούμε στην περίπτωση της Κεραμωτής, είναι πως η στάθμη δείχνει να πέφτει απότομα για το δεύτερο μισό του έτους 2005 (Σχήμα 7) από το οποίο ξεκινάνε οι μετρήσεις μας. Αυτό μπορεί να αποδοθεί είτε σε ξαφνικά έντονα υψηλές τιμές ατμοσφαιρικής πίεσης, είτε σε κάποιο πρόβλημα στη δίοδο τροφοδοσίας της λιμνοθάλασσας με νερό, που παρόλα αυτά δε μπορεί να εξηγήσει απόλυτα τις υψηλές τιμές διαλυμένου οξυγόνου. Η τελευταία παρατήρηση φαίνεται να συμφωνεί και με τις έντονες διακυμάνσεις της αλατότητας για το πρώτο εξάμηνο του 2005 (Σχήμα 4).



Σχήμα 6. Διάγραμμα της συσχέτισης των παραμέτρων Διαλυμένου οξυγόνου-Στάθμης νερού.

Πέρα από το πρώτο μέρος του 2005, τα επίπεδα της στάθμης είναι αρκετά υψηλά με μία μικρή τάση του οξυγόνου να αυξάνεται, καθώς η στάθμη του νερού πέφτει, όπως συμβαίνει τον Δεκέμβριο του 2005 και έχει διάρκεια έως και τα τέλη του Φεβρουαρίου του επόμενου έτους. Εντούτοις, το αντίστροφο συμβαίνει στο δεύτερο εξάμηνο των ετών 2005 και 2006, όπου το οξυγόνο κρατιέται σε χαμηλά επίπεδα ενώ η στάθμη δείχνει να αυξάνεται. Αυτού του είδους η αντίστροφη συσχέτιση επιβεβαιώνεται από το συντελεστή συσχέτισης, ο οποίος στην περίπτωση αυτή παίρνει την τιμή $R = -0,339$, και δείχνει μία σχετικά έντονη αρνητική συσχέτιση μεταξύ των παραμέτρων (Πίνακας 1).



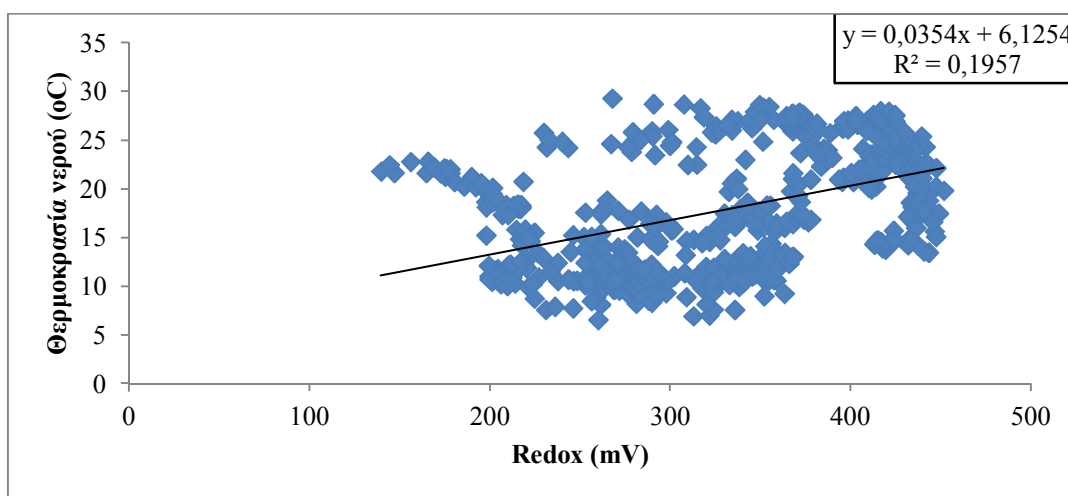
Σχήμα 7. Διάγραμμα της συσχέτισης των παραμέτρων Διαλυμένου οξυγόνου-Στάθμης νερού συναρτήσει του χρόνου.

Παρόμοιο παράδειγμα έχουμε στην περίπτωση των Margoni και Psilovikos (2010) για τη λιμνοθάλασσα του Αγιάσματος την περίοδο 2000-2002, όπου και παρατηρείται το ίδιο φαινόμενο με τη στάθμη του νερού και το διαλυμένο οξυγόνο να κινούνται ως επί το πλείστον αντιστρόφως ανάλογα. Παράλληλη αύξηση από την άλλη,

παρατηρούμε σε λιμνοθάλασσα του Μεξικού για το χρονικό διάστημα 1989-1990, όπου οι τιμές της στάθμης νερού και οξυγόνου αυξάνονται ταυτόχρονα την περίοδο του Απριλίου, με μία απότομη αύξηση του οξυγόνου και τον Ιούνιο, χωρίς αυτή ωστόσο να είναι το επακόλουθο κάποιας ανόδου της στάθμης του νερού (Herrera-Silveira 1996).

3.4. Ανάλυση της συσχέτισης των παραμέτρων redox – θερμοκρασία νερού

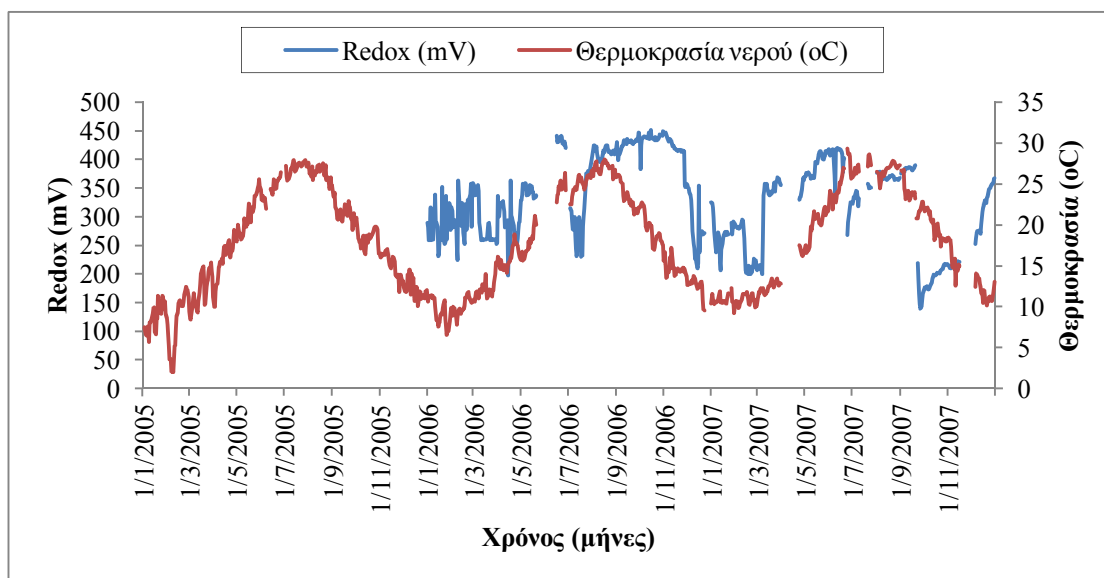
Σύμφωνα με τους Schuring et al. (2000), η παράμετρος του Redox, εξαρτάται κατά τον υπολογισμό της και από τη θερμοκρασία, και μάλιστα με θετικό τρόπο. Αυτή η θεωρητική παρατήρηση, συμφωνεί με τα αποτελέσματα του συντελεστή συσχέτισης που βρέθηκαν και στην περίπτωση της λιμνοθάλασσας της Κεραμωτής.



Σχήμα 8. Διάγραμμα της συσχέτισης των παραμέτρων Redox-Θερμοκρασίας νερού

Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 1, ο συντελεστής συσχέτισης των παραμέτρων redox – θερμοκρασίας νερού, είναι ίσος με $R = 0,442$. Ο αριθμός αυτός είναι θετικός και αρκετά μεγαλύτερος του μηδενός, πράγμα που σημαίνει πως οι παράμετροι αυτοί

έχουν έντονη και θετική συσχέτιση μεταξύ τους. Η θετική συσχέτιση φαίνεται ξεκάθαρα και στα Σχήματα 8 και 9, με το Redox να ακολουθεί πιστά την κάθε ανοδική ή καθοδική κίνηση της θερμοκρασίας του νερού.



Σχήμα 9. Διάγραμμα της συσχέτισης των παραμέτρων Redox-Θερμοκρασίας νερού συναρτήσει του χρόνου.

Αντίστοιχα αποτελέσματα θετικής συσχέτισης υπήρξαν και από τους Gianmarco et al. (1997) για τη λιμνοθάλασσα Sacca Di Goro της Ιταλίας. Η έρευνά τους διεξήχθη για το χρονικό διάστημα από τον Φεβρουάριο του 1995, έως και το τέλος του Ιανουαρίου του επόμενου έτους. Στις δειγματοληψίες τους, έγινε φανερό πως κατά τους χειμερινούς μήνες, κατά τους οποίους η θερμοκρασία του νερού βρίσκονταν σε χαμηλά επίπεδα, υπήρχαν και χαμηλές τιμές Redox, με το ελάχιστο να είναι οι 6°C για τον Ιανουάριο του 1996, που ακολουθούνταν από το ελάχιστο του Redox με μόλις -0,70 mV.

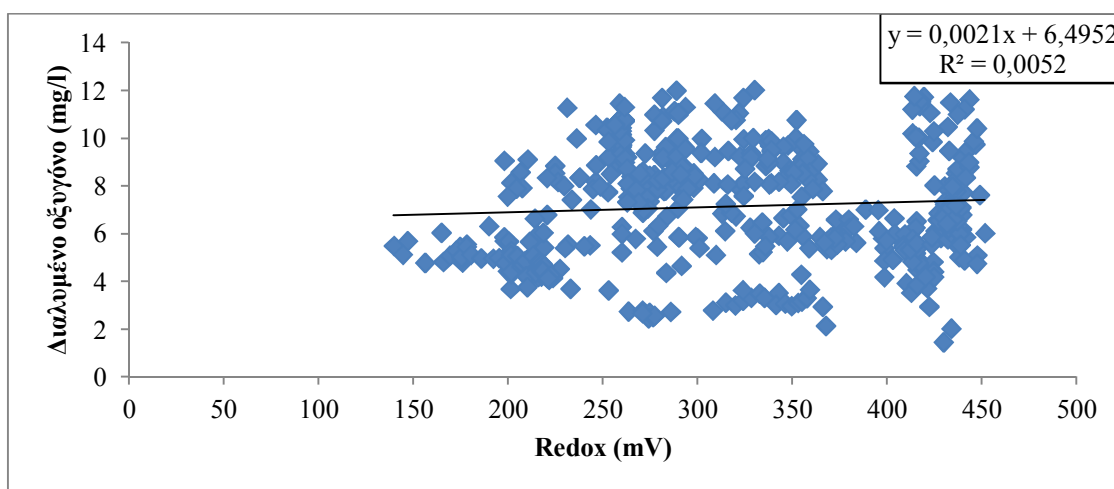
Παρομοίως, θετικά αποτελέσματα συσχέτισης, υπήρξαν και για τη λιμνοθάλασσα της Γιάλοβας στο Ιόνιο πέλαγος. Η θερμοκρασία των υδάτων κυμαίνονταν όπως είναι λογικό, σε υψηλότερα επίπεδα κατά τη διάρκεια της άνοιξης και του καλοκαιριού, με το Redox να ακολουθεί την αύξηση παίρνοντας θετικές τιμές. Οι μόνες αρνητικές τιμές, ήταν για το πρώτο διάστημα του φθινοπώρου και αυτό λόγω ανοξικών συνθηκών που δημιουργήθηκαν. Ο συντελεστής συσχέτισης όλων των παραμέτρων είναι και σε αυτή την περίπτωση θετικός, γεγονός που αποδεικνύει την έντονη συσχέτιση μεταξύ των παραμέτρων του Redox και της θερμοκρασίας, και πλησιάζει σε τιμή τον συντελεστή συσχέτισης στην περίπτωση της λιμνοθάλασσας της Κεραμωτής, που μελετάται στην εργασία αυτή (Koutsoubas et al. 2000).

Αντίθετα αποτελέσματα ωστόσο, υπήρξαν για τη λιμνοθάλασσα της Βενετίας, με το Redox να κινείται αντίθετα της κίνησης της θερμοκρασίας. Η δειγματοληψία έγινε για τα έτη 1985-86, με τις χαμηλότερες τιμές της θερμοκρασίας για τους χειμερινούς μήνες να ακολουθούνται από υψηλότερες τιμές του δυναμικού οξειδοαναγωγής, αλλά και αντίστροφα, ακολουθώντας όπως φάνηκε, τη συγκέντρωση του οξυγόνου και όχι τόσο την διακύμανση της θερμοκρασίας (Sfriso et al. 1992).

Αντίστοιχη διακύμανση του Redox, παρατηρήθηκε και από τους Sfriso και Macromini (1997) για τη συγκεκριμένη λιμνοθάλασσα, με το δυναμικό οξειδοαναγωγής να φτάνει τα 50 mV για τον μήνα του Ιουλίου, όταν η θερμοκρασία ήταν σε υψηλότερα επίπεδα. Σε γενικές γραμμές παρόλα αυτά, οι τιμές του κυμαίνονταν μεταξύ 300 και 400 mV. Ο συντελεστής συσχέτισης αποδεικνύει τη διακύμανση αυτή, με τιμή -0,66 για το σταθμό στη θέση Zosteria και -0,64 για το σταθμό στη θέση Petta di Bo, φανερώνοντας την έντονα αρνητική συσχέτιση που έχουν οι παράμετροι αυτές μεταξύ τους στην ευρύτερη περιοχή της λιμνοθάλασσας αυτής.

3.5. Ανάλυση της συσχέτισης των παραμέτρων redox – διαλυμένο οξυγόνο

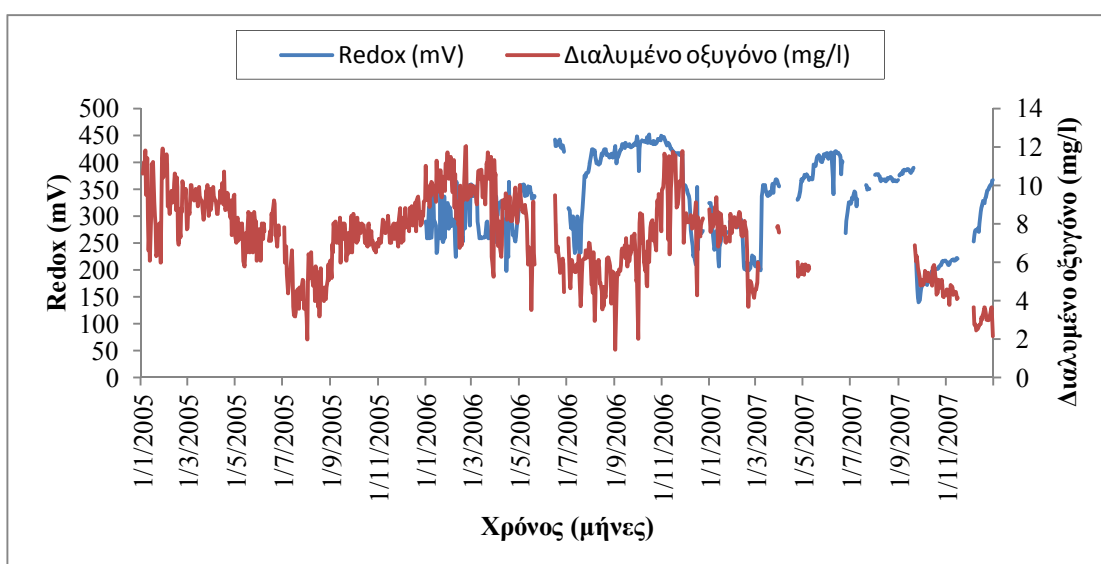
Όπως είδαμε και νωρίτερα, η αύξηση του διαλυμένου οξυγόνου ενεργεί με θετικό τρόπο στην ποιότητα των υδάτων, ενισχύοντας τις διεργασίες οξειδωσης και μετριάζοντας τις διεργασίες αναγωγής (Margoni & Psilonikos, 2010). Έτσι προκύπτει μία ασθενής αρνητική συσχέτιση για τις παραμέτρους αυτές, η οποία φαίνεται πως ισχύει και στην περίπτωση μας, με τον συντελεστή συσχέτισης να παίρνει την τιμή $R = 0,072$ (Πίνακας 1), υποδηλώνοντας μια μικρή κατά τα άλλα συσχέτιση – εξάρτηση του Redox από το διαλυμένο οξυγόνο. Αναλυτικότερα αυτή η συσχέτιση φαίνεται και στα Σχήματα 10 και 11.



Σχήμα 10. Διάγραμμα της συσχέτισης των παραμέτρων redox – διαλυμένου οξυγόνου

Όπως βλέπουμε, οι τιμές του Redox, ακολουθούν σχεδόν πιστά τις μεταβολές του διαλυμένου οξυγόνου με παράλληλη αύξηση, κυρίως κατά τους φθινοπωρινούς μήνες, ή μείωση τους για τους θερμούς μήνες του καλοκαιριού πέρα από ελάχιστες

εξαιρέσεις. Για παράδειγμα, αυτό παρατηρείται για τις τελευταίες μέρες του μήνα Ιουνίου κυρίως από 22/6 του 2005 κι έπειτα, καθώς και για τους μήνες του Μαΐου και Ιουνίου του έτους 2007. Οι τιμές του Redox για τις περιόδους αυτές βρίσκονται σε υψηλά επίπεδα φτάνοντας ακόμη και τα 441,725 mV, η οποία είναι η μέγιστη τιμή και έλαβε χώρα στις 16/6/2005 (Σχήμα 11), συμβαδίζοντας με τις υψηλές τιμές της θερμοκρασίας. Οι υπόλοιπες τιμές του Redox, συμβαδίζουν με την κάθε αύξηση ή μείωση της θερμοκρασίας.



Σχήμα 11. Διάγραμμα της συσχέτισης των παραμέτρων Redox-Διαλυμένου οξυγόνου

συναρτήσει του χρόνου.

Άλλη μία περίπτωση θετικής συσχέτισης μεταξύ των δύο αυτών παραμέτρων δίνεται και από τους Sfriso et al. (1987), για τη λιμνοθάλασσα της Βενετίας κατά το έτος 1985, οι οποίοι με την έρευνά τους απέδειξαν το είδος αυτής της συσχέτισης. Δύο περιπτώσεις ταυτόχρονης πτώσης στις τιμές του διαλυμένου οξυγόνου και του δυναμικού οξειδοαναγωγής παρατηρήθηκαν, μία στις αρχές Ιουνίου και μία στο τέλος

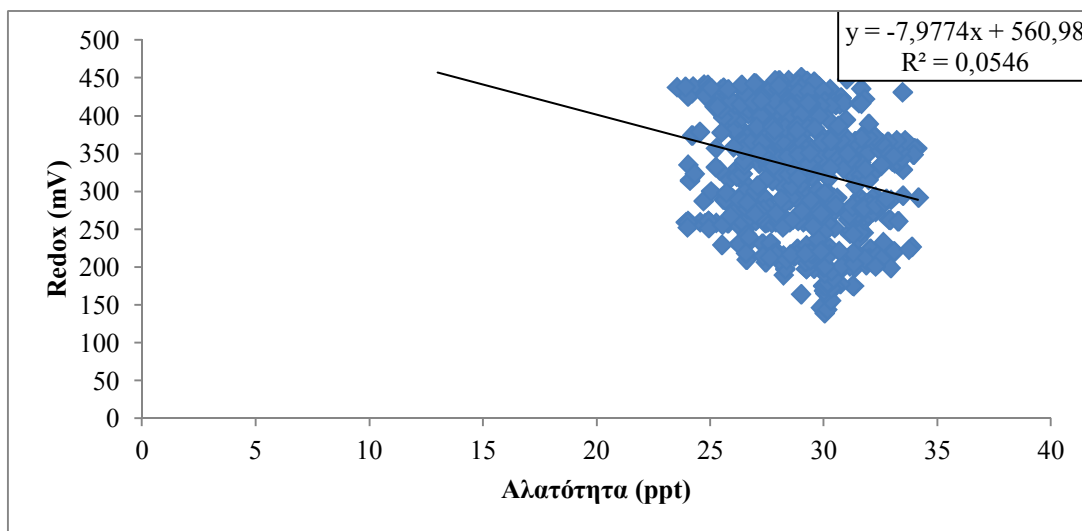
του επόμενου μήνα. Οι τιμές του redox πλησίασαν το μηδέν και έλαβαν και αρνητικές τιμές. Μελέτη για τη λίμνη της Βενετίας έγινε και από τους Sfriso και Macromini (1997), με παρόμοια θετική συσχέτιση του δυναμικού οξειδοαναγωγής και του διαλυμένου οξυγόνου, με πτώση του Redox στα 50 mV όταν εμφανιστήκαν συνθήκες υποξίας στη λιμνοθάλασσα.

Παρόμοια διακύμανση και συσχέτιση των παραμέτρων, εμφανίζεται και στη λιμνοθάλασσα Tacarigua της Βενεζουέλα, σε δειγματοληψία τον Αύγουστο του 1979. Κατά μέσο όρο, όταν η συγκέντρωση του οξυγόνου στο νερό έπεφτε κάτω από 6 mg/l, η τιμή του Redox πλησίαζε το μηδέν ή ελάμβανε ακόμα και αρνητικές τιμές. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την επικράτηση των αναγωγικών αντί των οξειδωτικών διεργασιών, ενώ όσο οι τιμή του διαλυμένου οξυγόνου αυξάνονταν, αυξανόνταν παράλληλα και το redox (Gauwet 1988).

Μία ενδιαφέρουσα έρευνα των Torretton et al. (1989), εμφανίζει το κατά πόσο αυξάνεται το δυναμικό οξειδοαναγωγής σε σχέση με το διαλυμένο οξυγόνο, σε διαφορετικές καταστάσεις της λιμνοθάλασσας Ebrie στην Ακτή Ελεφαντοστού. Οι καταστάσεις αυτές αναφέρονται στη στρωματοποιημένη εύρωτη ζώνη, στο στρωματοποιημένο επιλίμνιο, στο στρωματοποιημένο ανοξικό υπολίμνιο και τέλος στη μη στρωματοποιημένη εύρωτη ζώνη και τη μη στρωματοποιημένη άρωτη ζώνη. Στα περισσότερα τμήματα από αυτά, το δυναμικό οξειδοαναγωγής συμβάδιζε με τη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου της λιμνοθάλασσας, με παράλληλη αύξηση τους. Ωστόσο, αυτό που δείχνει ξεκάθαρα ότι το Redox εξαρτάται άμεσα από το διαλυμένο οξυγόνο, φαίνεται από το ανοξικό στρώμα, το οποίο με οξυγόνο μόλις 0,09 mg/l είχε ως αποτέλεσμα τη δράση αναγωγικών παραγόντων και την τιμή του δυναμικού οξειδοαναγωγής να είναι -175mV.

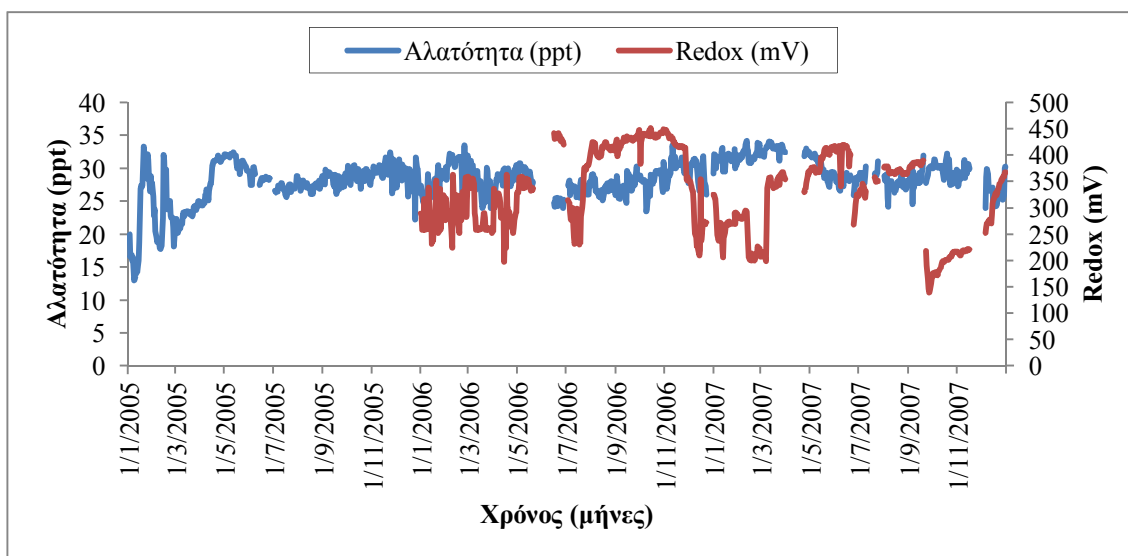
3.6. Ανάλυση της συσχέτισης των παραμέτρων redox – αλατότητα

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων για τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο υποδεικνύουν μία αντίστροφη συσχέτιση μεταξύ των παραμέτρων redox – αλατότητας. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται από τον συντελεστή συσχέτισης για τα δεδομένα της λιμνοθάλασσας της Κεραμωτής (Πίνακας 1), ο οποίος έχει την τιμή $R = -0,240$ καθώς και από τις σχηματικές απεικονίσεις της συσχέτισης (Σχήματα 12 και 13).



Σχήμα 12. Διάγραμμα της συσχέτισης των παραμέτρων redox – αλατότητας.

Αυτό που φαίνεται έντονα στο Σχήμα 13, είναι η ύπαρξη χαμηλών τιμών του δυναμικού οξειδοαναγωγής, με τη χαμηλότερη να είναι 139,575 mV στις 27/9/2007.



Σχήμα 13. Διάγραμμα της συσχέτισης των παραμέτρων redox – αλατότητας συναρτήσει του χρόνου.

Στην περίπτωση της λιμνοθάλασσας Αγιάσματος Margoni & Psilonikos, 2010), οι παράμετροι αλατότητα και redox δείχνουν μία σύμφωνη πορεία με ταυτόχρονη πτώση ή αύξηση και των δύο, χωρίς ωστόσο να έχει γίνει εξαγωγή κάποιας εμπειρικής σχέσης. Εξάιρεση αποτελεί ένα διάστημα αρνητικής συσχέτισης για τους χειμερινούς μήνες από τον Ιανουάριο του 2000, έως και τον Μάιο του ίδιου έτους, όπου η αύξηση της αλατότητας προκαλεί την πτώση του δυναμικού οξειδοαναγωγής.

Αντίστοιχα αποτελέσματα αρνητικής συσχέτισης μεταξύ των παραμέτρων αλατότητας και δυναμικού οξειδοαναγωγής, υπήρξαν πέρα από την περίπτωση μας και για τη λιμνοθάλασσα της Γιάλοβας για το έτος 1996. Στην περιοχή αυτή παρατηρήθηκαν υψηλές τιμές αλατότητας που προκάλεσαν την πτώση του δυναμικού οξειδοαναγωγής για όλες τις εποχές του έτους, πέρα από το χειμώνα. Κατά τους ψυχρούς αυτούς μήνες, αν και η αλατότητα εμφανίζονταν σε σχετική υψηλά επίπεδα (43,0 ppt), η τιμή του Redox ήταν κι αυτή υψηλή (328 mV) και μάλιστα η υψηλότερη κατά τη διάρκεια του έτους.

Αρνητική συσχέτιση μεταξύ δυναμικού οξειδοαναγωγής και αλατότητας εμφανίζεται και στη λιμνοθάλασσα Tacarigua της Βενεζουέλας από έρευνα του Gauwet (1988). Σε αυτή τη μελέτη, οι τιμές του Redox άγγιζαν για τον Αύγουστο του 1979 ακόμη και τα 270 mV, ενώ οι τιμές αλατότητας έφταναν μόλις τα 5,5 ppt, και σε άλλη περίπτωση να φτάνει τα -10 mV, με την αλατότητα να είναι 12 ppt.

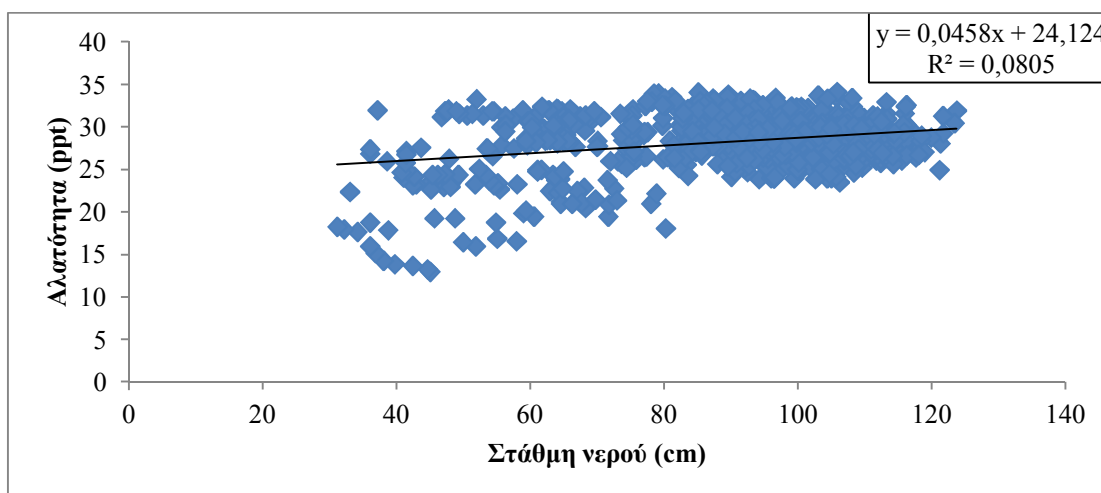
3.7. Ανάλυση της συσχέτισης των παραμέτρων στάθμης νερού – αλατότητας

Σύμφωνα με τους Kjerfve και Magill (1989), η στάθμη του νερού επηρεάζεται από πολλές άλλες παραμέτρους, όπως η κυματική δράση, οι παλίρροιες, οι απορροές, καθώς και οι περιοδικές ταλαντώσεις της θάλασσας, η θερμοκρασία αλλά και η πυκνότητα των υδάτων. Οι παράμετροι αυτές, σχετίζονται άμεσα και με την αλατότητα. Η κυματική δράση και οι παλίρροιες προκαλούν αύξηση στη στάθμη του νερού και στην αλατότητα, καθώς εισαγάγουν θαλασσινό νερό στις λιμνοθάλασσες. Επιπλέον και η θερμοκρασία επηρεάζει τους παράγοντες αυτούς, εφόσον η αύξηση της προκαλεί εντονότερη εξάτμιση του νερού και συνεπώς αύξηση της συγκέντρωσης της αλατότητας. Αντιθέτως, μείωση της αλατότητας, προκαλούν οι επιφανειακές απορροές από ποτάμια και υπόγειες από υποκείμενους υδροφορείς που εισάγουν γλυκό νερό, οι οποίες ωστόσο μπορεί να αυξήσουν τη στάθμη του νερού.

Η επίδραση όμως μπορεί να είναι και αντίστροφη, εφόσον αλλαγές στην αλατότητα προκαλούν με τη σειρά τους αλλαγές στο πυκνοκλινές και άρα αλλαγή στη βαθμίδα πίεσης που προκαλεί κίνηση των υδάτων. Η κατάσταση αυτή είναι πιθανό να οδηγήσει σε εισαγωγή ή εξαγωγή θαλασσινού νερού στη λιμνοθάλασσα. Ωστόσο, πιο έντονη επίδραση φαίνεται να έχει η κυματική δραστηριότητα και οι παλίρροιες, καθώς

προκαλούν άμεσες μεταβολές αύξησης στη στάθμη του νερού και στην αλατότητα. Επιπλέον, ακόμη και οι περιοδικές ταλαντώσεις της θάλασσας έχουν ως αποτέλεσμα μακρύτερης διάρκειας μεταβολές στις παραμέτρους αυτές.

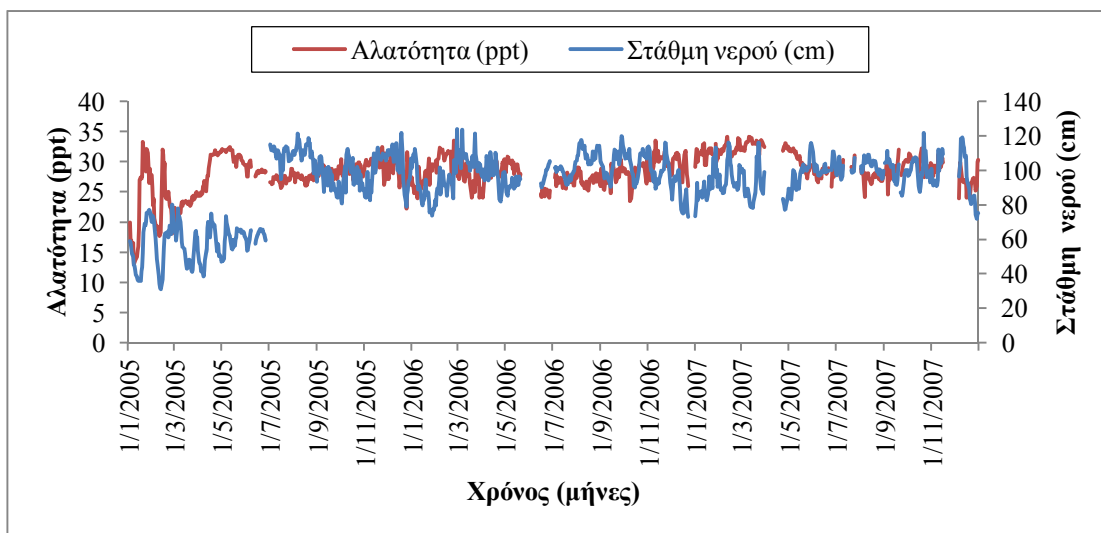
Απόδειξη της συσχέτισης των παραμέτρων αυτών, αποτελεί για την περίπτωση της λιμνοθάλασσας της Κεραμωτής ο συντελεστής συσχέτισης ο οποίος λαμβάνει την τιμή $R = 0,284$ (Πίνακας 1) και υποδεικνύει μια θετική έντονη συσχέτιση, το οποίο σημαίνει ότι η αύξηση της μίας παραμέτρου προκαλεί την αύξηση της άλλης, και αντίστροφα. Η παράλληλη αυτή διακύμανση φαίνεται και στα Σχήματα 14 και 15.



Σχήμα 14. Διάγραμμα της συσχέτισης των παραμέτρων Αλατότητας-Στάθμης νερού.

Στα σχήματα αυτά παρατηρείται μία έντονη πτώση της στάθμης του νερού για το πρώτο εξάμηνο του έτους 2005. Αυτό όπως εξηγήθηκε και στο υποκεφάλαιο 3.3., είναι πιθανό να οφείλεται σε έντονη περίοδο ξηρασίας, η οποία μείωσε την είσοδο γλυκού νερού στη λιμνοθάλασσα, αυξάνοντας έτσι την αλατότητά της. Πέρα από το διάστημα αυτό, η κίνηση των παραμέτρων είναι παράλληλη, εκτός από τα διαστήματα

3/7 έως και 30/8 του 2005, αλλά και από τα τέλη Απριλίου έως και αρχές Σεπτεμβρίου του 2007, όπου παρατηρείται μία αρνητική διακύμανση μεταξύ των παραμέτρων.



Σχήμα 15. Διάγραμμα της συσχέτισης των παραμέτρων αλατότητας – στάθμης νερού

συναρτήσεως του χρόνου.

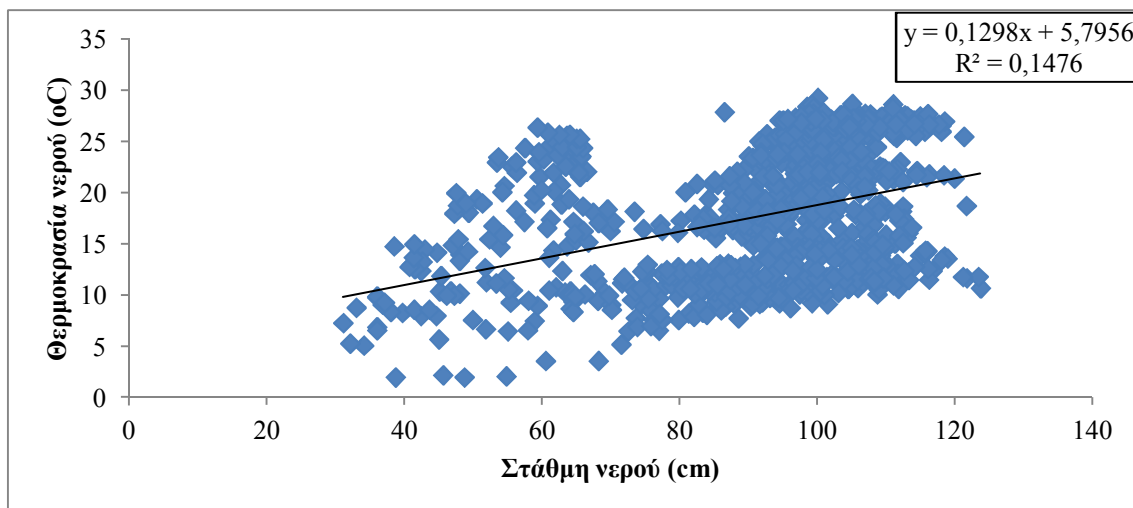
Παρόμοια θετική διακύμανση παρατηρείται και στη λιμνοθάλασσα του Αγιάσματος, με εξαίρεση το διάστημα της θερινής περιόδου, κυρίως για τον μήνα Ιούνιο. Συγκεκριμένα, το φαινόμενο αυτό εμφανίστηκε τον Ιούνιο του 2000, 2001, 2002 και τον Αύγουστο του 2000 και συνδυάστηκε και με πολύ χαμηλές τιμές αλατότητας ($<9 \text{ ‰}$). Αποδείχτηκε σε συνδυασμό και με επιτόπια έρευνα, ότι το στόμιο της λιμνοθάλασσας είχε προσχωθεί με φερτά υλικά. Για το λόγο αυτό τόσο οι τιμές της αλατότητας όσο και οι τιμές του διαλυμένου οξυγόνου κυμάνθηκαν σε πολύ χαμηλά επίπεδα λόγω αδυναμίας ανανέωσης των υδάτων της λιμνοθάλασσας με θαλασσινό νερό (Margoni & Psilonikos 2010). Η κατανάλωση του διαλυμένου οξυγόνου λόγω των διεργασιών αποικοδόμησης σε συνδυασμό με τη μικρή δυνατότητα επαναπλήρωσης

του, οδήγησαν σ' αυτό το συνδυασμό χαμηλής στάθμης, χαμηλής αλατότητας, χαμηλών τιμών διαλυμένου οξυγόνου.

Σε δειγματοληψία των Dias et al. (1999) στη λιμνοθάλασσα Ria de Aveiro της Πορτογαλίας κατά τους καλοκαιρινούς μήνες παρατηρήθηκε αύξηση της αλατότητας και μείωση της στάθμης νερού, δηλαδή αρνητική συσχέτιση. Αντίθετα αποτελέσματα παρατηρήθηκαν στη λιμνοθάλασσα Celestun της Βραζιλίας, όπου διεξήχθη δειγματοληψία για τα έτη 1989-1990 από τον Herrera-Silveira (1996). Συγκεκριμένα, η αλατότητα έδειξε να αυξάνεται κατά τη θερινή περίοδο λόγω των χαμηλών βροχοπτώσεων, ενώ η στάθμη των υδάτων έδειξε αύξηση για το ίδιο διάστημα, παρουσιάζοντας μια θετική συσχέτιση μεταξύ τους.

3.8. Ανάλυση της συσχέτισης των παραμέτρων Στάθμης νερού – Θερμοκρασίας νερού

Όπως βλέπουμε στα Σχήματα 16 και 17, και επιβεβαιώνεται και από το συντελεστή συσχέτισης που λαμβάνει την τιμή $R = 0,384$ (Πίνακας 1), οι παράμετροι Στάθμη νερού και Θερμοκρασία νερού συσχετίζονται με θετικό τρόπο. Η αλληλεπίδραση αυτή παρατηρείται και από τους Kjerfve και Magill (1989), οι οποίοι αναφέρουν πως η στάθμη νερού επηρεάζεται και από την παράμετρο της θερμοκρασίας.

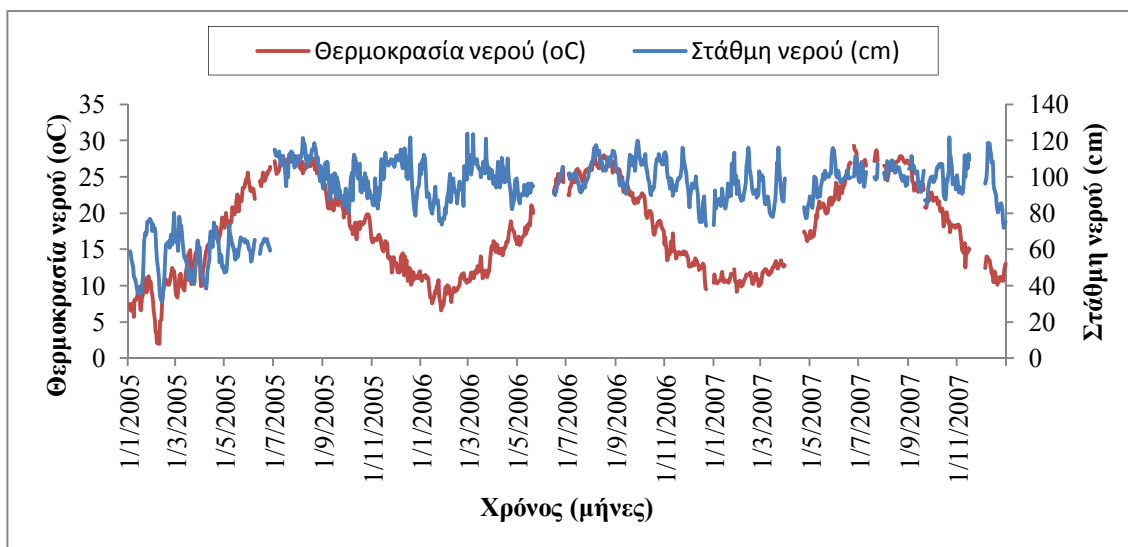


Σχήμα 16. Διάγραμμα της συσχέτισης των παραμέτρων στάθμης νερού – θερμοκρασίας νερού.

Παρατηρείται πως στη λιμνοθάλασσα η στάθμη του νερού είναι πολύ χαμηλή για το διάστημα από Ιανουάριο έως και τέλος Ιουνίου του έτους 2005. Το γεγονός αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε δύο πιθανά αποτελέσματα σχετικά με την παράμετρο της θερμοκρασίας νερού. Εάν η χαμηλή αυτή στάθμη συνδυάζονταν με υψηλή ηλιακή ακτινοβολία, τότε τα ύδατα της λιμνοθάλασσας θα έφταναν σε αρκετά μεγάλες τιμές θερμοκρασίας. Αυτή η εκδοχή θα ήταν πιθανή για τη θερινή περίοδο. Στην περίπτωση μας, όμως, αυτό δε συμβαίνει καθώς το συγκεκριμένο γεγονός λαμβάνει χώρα κατά τη χειμερινή περίοδο, όταν η ηλιακή ακτινοβολία δεν είναι ισχυρή. Έτσι λοιπόν πάμε αυτόματα στο δεύτερο πιθανό σενάριο (Σχήμα 17) όπου βλέπουμε πως οι χαμηλές τιμές της στάθμης νερού, συνοδεύονται και από χαμηλές έως και εξαιρετικά χαμηλές τιμές θερμοκρασίας, με τις πιο ακραίες τιμές να είναι για το διάστημα 4/2 – 9/2 του 2005 και να αγγίζουν έως και τους 2°C στις 7/2 και 9/2.

Πέρα από το διάστημα αυτό, οι δύο παράμετροι φαίνεται πως κινούνται σχετικά παράλληλα, με εξαίρεση ορισμένες υψηλές τιμές της στάθμης νερού κατά τους

χειμερινούς μήνες και των τριών ετών, κυρίως κατά τον μήνα Δεκέμβριο των ετών 2005 και 2007, και για τους μήνες Φεβρουάριο και Μάρτιο των ετών 2006 και 2007.



Σχήμα 17. Διάγραμμα της συσχέτισης των παραμέτρων Στάθμης νερού – Θερμοκρασίας νερού συναρτήσει του χρόνου.

Θετική συσχέτιση των παραμέτρων αυτών παρουσιάζεται και από τους Higuti και Takeda (2002) για τις λιμνοθάλασσες Guarana και Patos της Βραζιλίας σε δειγματοληψία που διεξήγαγαν για το χρονικό διάστημα από Μάρτιο του έτους 1993 έως και Φεβρουάριο του 1994. Στη μελέτη τους αυτή, οι περίοδοι που έχουν υψηλότερη στάθμη νερού, κατά τους μήνες από Μάρτιο έως και Μάιο του έτους 1993 και από Δεκέμβριο έως και Φεβρουάριο για το έτος 1994, συνοδεύονται και από υψηλότερες θερμοκρασίες. Κατά τους υπόλοιπους μήνες της δειγματοληψίας η στάθμη ήταν χαμηλότερη, και συνοδεύονταν αντίστοιχα από χαμηλότερες τιμές θερμοκρασίας.

Παρ' όλα αυτά, αρνητική συσχέτιση έχει παρατηρηθεί από τους Conde et al. (1999) για τη λιμνοθάλασσα Laguna de Rocha στην Ουρουγουάη κατά το διάστημα

Αύγουστος 1996 – Σεπτέμβριος 1997. Στην περίπτωση τους, κατά τους μήνες από Οκτώβριο έως και Ιούνιο, η στάθμη ήταν αρκετά χαμηλή, ενώ η θερμοκρασία του νερού της λιμνοθάλασσας ανέβηκε φθάνοντας ακόμη και τους 24°C το μήνα Δεκέμβριο του 1996.

Παρομοίως, οι παράμετροι στάθμη νερού και θερμοκρασία νερού βρέθηκαν να συσχετίζονται αρνητικά και για τη λιμνοθάλασσα Foz de Almargem της Πορτογαλίας, κατά το διάστημα από Ιούνιο του 2001 μέχρι και τον Ιούλιο του 2002. Μέχρι και τον μήνα του Ιανουαρίου, η στάθμη νερού ήταν σχετικά χαμηλή, ενώ η θερμοκρασία βρέθηκε να είναι υψηλή και να πέφτει μόνο κατά τους μήνες Δεκέμβριο – Ιανουάριο. Έπειτα από το διάστημα αυτό, η στάθμη κινήθηκε σε υψηλά επίπεδα με τη θερμοκρασία να κρατιέται σε χαμηλές τιμές και να ανεβαίνει μόνο τον Ιούλιο του 2002 (Coelho et al. 2007).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η λιμνοθάλασσα της Κεραμωτής, είναι ένα οικοσύστημα του οποίου η ποιότητα των υδάτων επηρεάζεται έντονα τόσο από τα εσωτερικά νερά της λεκάνης απορροής και του Δέλτα του ποταμού Νέστου όσο και από τις θαλάσσιες διεργασίες, τη θερμοκρασία, τις παλιρροϊκές δυνάμεις ή ακόμα και από μετεωρολογικές παραμέτρους όπως η ατμοσφαιρική πίεση. Όπως προαναφέρθηκε, στόχος της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη και η ανάλυση της ποιότητας των υδάτων της λιμνοθάλασσας αυτής, η ερμηνεία των συσχετίσεων των παραμέτρων μεταξύ τους, καθώς και η υπογράμμιση της αναγκαιότητας της παρακολούθησης της ποιότητας των υδάτων μέσω τηλεμετρικών συστημάτων, ώστε να αποφεύγεται τυχόν υποβάθμισή τους. Ο στόχος αυτός επετεύχθη, καθώς το δίκτυο REMOS μας παρείχε δεδομένα, τα οποία στη συνέχεια αναλύθηκαν μέσω των συντελεστών συσχέτισης εξάγοντας σημαντικά αποτελέσματα. Τα αποτελέσματα αυτά μπορούν αφενός να συμβάλουν στην ορθή ερμηνεία και αποτίμηση της ποιότητας των υδάτων, για τις παραμέτρους που αφορούν και αφετέρου στη διατήρηση του οικοσυστήματος.

Η συσχέτιση των παραμέτρων διαλυμένο οξυγόνο – θερμοκρασία νερού έδειξε μία φυσιολογική αρνητική συσχέτιση, με το διαλυμένο οξυγόνο να αυξάνεται κατά τους ψυχρότερους μήνες του έτους και αντίστροφα. Η αρνητική και έντονη συσχέτισή τους επιβεβαιώθηκε και από τον συντελεστή συσχέτισης, ο οποίος πήρε την τιμή $-0,535$.

Αρνητική συσχέτιση με μερικές, ωστόσο, παράλληλες – θετικές διακυμάνσεις υπήρξαν και στην περίπτωση της συσχέτισης των παραμέτρων διαλυμένου οξυγόνου – αλατότητας. Ο συντελεστής συσχέτισης είχε την τιμή $-0,269$. Παρόλα αυτά υπήρξαν και διαστήματα συγκεκριμένα από 15/7 έως και 30/7 του 2005 καθώς και από 14/8 έως

21/8 του 2005, όπου υπήρξε ταυτόχρονη πτώση των δύο παραμέτρων, λόγω πιθανής απόφραξης της εισόδου του θαλασσινού νερού από φερτά υλικά και άμμο. Έτσι η πτώση της στάθμης, λόγω αυτού του γεγονότος, συμβάδισε και με πτώση της αλατότητας.

Αρνητικά συσχετιζόμενες παρουσιάστηκαν και οι παράμετροι διαλυμένο οξυγόνο – στάθμη νερού, με τον συντελεστή να αγγίζει το $-0,339$, με μία ασυνήθιστα παρ' όλα αυτά χαμηλή στάθμη νερού για το διάστημα από αρχές Ιανουαρίου έως και τέλη Ιουνίου του έτους 2005. Ωστόσο, η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου για το διάστημα αυτό, όπως και για τα υπόλοιπα έτη 2006-2007, διατηρήθηκε σε ικανοποιητικά υψηλά επίπεδα.

Θετική συσχέτιση υπήρξε και με τις παραμέτρους redox – θερμοκρασία νερού. Ο συντελεστής συσχέτισης βρέθηκε ότι είναι $0,442$ και παρατηρήθηκε ανοδική πορεία και των δύο παραμέτρων τους μήνες του καλοκαιριού και καθοδική πορεία κατά τους ψυχρότερους μήνες.

Μία μικρή σχεδόν ανεπαίσθητη θετική συσχέτιση με συντελεστή $0,072$ βρέθηκε και για την περίπτωση redox – διαλυμένου οξυγόνου. Αυτό υποδεικνύει μία παράλληλη αύξηση, κυρίως για τους φθινοπωρινούς μήνες, πέρα από ορισμένες ακραίες υψηλές τιμές για τους μήνες του Ιουνίου του 2005 και του 2007. Η υψηλότερη τιμή του Redox ήταν $441,725$ mV στις 16/6/2005.

Μία αρνητική συσχέτιση παρατηρήθηκε στις παραμέτρους redox – αλατότητα, με τον συντελεστή να λαμβάνει την τιμή $-0,240$. Η χαμηλότερη τιμή του Redox είναι $139,575$ mV στις 27/9/2007, που πιθανότατα οφείλεται στην παράλληλη και έντονη πτώση οξυγόνου και αλατότητας κατά κύριο λόγο για τους μήνες του καλοκαιριού. Όπως προαναφέρθηκε, την περίοδο αυτή είναι πιθανή η απόφραξη της διόδου

επικοινωνίας με τη θάλασσα, γεγονός που εμποδίζει την αύξηση της αλατότητας αλλά και την καλή οξυγόνωση της λιμνοθάλασσας.

Το φαινόμενο αυτό επηρεάζει και τις παραμέτρους στάθμη νερού – αλατότητα, αφού αποδείχθηκε πως είχαν μία αρκετά θετική συσχέτιση με συντελεστή 0,362. Έτσι, σε όλη τη διάρκεια των ετών 2005-2007, η διακύμανση των παραμέτρων είναι παράλληλη και θετική, πέρα από τα διαστήματα 3/7 έως και 30/8 του 2005 και τους μήνες από τέλη Απριλίου έως και αρχές Σεπτεμβρίου του 2007, όπου η συσχέτιση που παρατηρείται να είναι αρνητική.

Οι παράμετροι στάθμη νερού – θερμοκρασία νερού αποδείχθηκε πως συσχετίζονται θετικά με συντελεστή 0,384. Από Ιανουάριο έως και τέλος Ιουνίου του έτους 2005 υπήρξαν ορισμένες εξαιρετικά χαμηλές τιμές θερμοκρασίας, με τις πιο ακραίες τιμές να είναι για το διάστημα 4/2-9/2 του 2005 και να αγγίζουν έως και τους 2°C στις 7/2 και 9/2, οι οποίες συνοδεύονταν από εξίσου χαμηλές τιμές στάθμης νερού. Πέρα από το διάστημα αυτό, οι δύο παράμετροι κινούνται παράλληλα. Εξαίρεση αποτέλεσαν ορισμένες υψηλές τιμές της στάθμης νερού κατά τον μήνα Δεκέμβριο των ετών 2005 και 2007, και κατά τους μήνες Φεβρουάριο και Μάρτιο των ετών 2006 και 2007. Στα διαστήματα αυτά η θερμοκρασία διατηρήθηκε χαμηλή.

Σε γενικές γραμμές κρίνεται ικανοποιητική η ποιότητα των υδάτων της λιμνοθάλασσας Κεραμωτής, με φυσιολογικές διακυμάνσεις. Τα δεδομένα της, ελήφθησαν από την τηλεμετρική της παρακολούθησης από το δίκτυο REMOS που έλαβε χώρα από τον Ιούλιο του 2005 μέχρι το τέλος του Δεκεμβρίου 2007. Το δίκτυο αυτό εγκαταστάθηκε από το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης σε Συνεργασία με τη ΔΕΗ, για την παρακολούθηση του ποταμού Νέστου, του Δέλτα και των λιμνοθαλασσών του.

Τα δεδομένα της τηλεμετρικής παρακολούθησης της λιμνοθάλασσας Κεραμωτής, συγκρίθηκαν και με αντίστοιχα δεδομένα άλλων λιμνοθαλασσών στον ελληνικό, ευρωπαϊκό και παγκόσμιο χώρο, οι οποίες βρέθηκαν να έχουν αντίστοιχη φυσιολογική συμπεριφορά. Σε γενικές γραμμές η ποιότητά της βρέθηκε ικανοποιητική για τη διαβίωση των ψαριών, πολύ σημαντικό εάν λάβουμε υπόψη ότι η συγκεκριμένη λιμνοθάλασσα είναι ένα ιδιαίτερης σημασίας παραγωγικό οικοσύστημα αφού πολλές υδατοκαλλιεργητικές δραστηριότητες λαμβάνουν χώρα εκεί.

Τα υδατικά οικοσυστήματα αυτού του είδους, είτε αναφερόμαστε σε εσωτερικά ύδατα, είτε σε μεταβατικά – παράκτια ύδατα, χρήζουν συστηματικής παρακολούθησης. Η παρακολούθηση αυτή είναι ευεργετική για τους παρακάτω λόγους:

1) Δημιουργία αξιόπιστων χρονοσειρών δεδομένων που συμβάλλουν στην αποτίμηση των ποιοτικών και ποσοτικών παραμέτρων αλλά και στη διατήρηση του οικοσυστήματος.

2) Εντοπισμός προβληματικών καταστάσεων επισφαλών για το υδρόβιο ζωικό βασίλειο, όπως το παράδειγμα της απότομης πτώσης του διαλυμένου οξυγόνου σε πολύ χαμηλά επίπεδα, το οποίο προκαλεί συνθήκες «stress» για τα ψάρια. Εάν αυτό συνδυάζεται και με πολύ χαμηλές τιμές της αλατότητας, μπορεί να σημαίνει (ενδεικτικά) απόφραξη του στομίου της λιμνοθάλασσας. Αυτό υποδεικνύει άμεσα επέμβαση με επιχειρησιακά μέτρα έτσι ώστε να προστατευτεί το ζωικό κεφάλαιο και το περιβάλλον από πιθανολογούμενες καταστροφές.

3) Υποστήριξη διαχειριστικών σχεδίων σε περιοχές ιχθυοκαλλιεργητικών και οστρακοκαλλιεργητικών δραστηριοτήτων

Τα προγράμματα παρακολούθησης, επιτάσσονται και από την Οδηγία 2000/60 της Ε.Ε. οπότε οποιαδήποτε προσπάθεια παρακολούθησης μπορεί ν' αποτελέσει τον πρόδρομο τέτοιων οργανωμένων ενεργειών.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξένη βιβλιογραφία

Arabatzis G.D., Kokkinakis A.K. (2005) Typology of the Lagoons of Northern Greece according to their Environmental Characteristics and Fisheries Production. *Operational Research*, 5: 21-34.

Baker S., Heuberger D., Philips E., Sturmer L. (2002) Water Quality and its Role on Hard Clam Production. *Technical Bulletin University of Florida*, 2: 1-6

Barnes R.S.K. (1980) *Coastal lagoons*, Cambridge University Press, Cambridge, 2: 7-11

Beltrame M.O., De Marco S.G. (2008) Cadmium and Zinc in Mar Chiquita Coastal Lagoon (Argentina): Salinity Effects on Lethal Toxicity in Juveniles of the Burrowing Crab *Chasmagnathus granulatus*, *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 55:78-85.

Bianchi C.N. (1988) Caratterizzazione bionomica delle lagune costiere italiane, *Acqua Aria*, 4:15–20.

Coelho S., Gamito S., Perez-Ruzafa A. (2007) Trophic state of Foz de Almargem coastal lagoon (Algarve, South Portugal) based on the water quality and the phytoplankton community. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 71: 218-231.

Conde D., Bonilla S., Aubriot L., De Leon R., Pintos W. (1999) Comparison of the areal amount of chlorophyll a of planktonic and attached microalgae in a shallow coastal lagoon. *Hydrologia*, 408/409: 285–291.

Corwin D.L. (2002) Solute content and concentration – measurement of solute concentration using soil water extraction – porous matrix sensors, in: Dane, J.H., Topp, G.C. (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 4 – Physical Methods*. Soil Science Society of America Book Series, No 5, Madison, Wisconsin, USA, p 1269–1273.

Dalmas P. (2000) Conductivity measurement on pure water according to the recommendations of the USP Pharmacopoeia USP24-NF19, Radiometer analytical S.A., International Laboratory News, No. 2: 1-6.

Dalton F.N., Herkelrath W.N., Rawlins D.S., Rhoades J.D., (1984) Time-domain reflectometry: simultaneous measurement of soil water content and electrical conductivity with a single probe. *Science*, 224: 989–990.

Dewidar Kh., Khedr A. (2001) Water Quality Assessment With Simultaneous Landsat-5 TM at Manzala Lagoon, Egypt, *Hydrobiologia*, 457: 49–58.

Dias J.M., Lopes J.F., Dekeyser I. (1999) Hydrological Characterisation of Ria de Aveird, Portugal, in *Early Summer*, *Oceanologica Acta*, 22: 473-485.

Gamito S., Gilabert J., Marcos C., Pérez-Ruzafa A. (2005) Effects of changing environmental conditions on lagoon ecology. In: Gönenç IE, Wolflin JP (eds) *Coastal lagoons: Ecosystem processes and modeling for sustainable use and development*. CRC Press, Boca Ratón, p 193–229.

Ganoulis J., Kolokytha E., Mylopoulos Y., (2003) Multicriterion Decision Analysis for conflict resolution in Transboundary River Basins, in E - Proceedings on CD-ROM of TRANSCAT conference on integrated Water Management of transboundary Catchments, UNESCO, Venice 24-26 March 2003, p 1-27.

Gauwet G. (1988) Distribution and Accumulation of Organic Matter in a Tropical Coastal Lagoon, the Tacarigua Lagoon, Venezuela, *The Science of the Total Environment*, 75: 261-270.

Geiger J., Mesner N. (2003) Welcome to your water education and water quality monitoring program. Utah Stream Team, 1-354.

Gianmarco G., Azzoni R., Bartoli M., Vialori P. (1997) Seasonal Variations of Sulphate Reductions Rates, Sulphur Pools and Iron Availability in the Sediment of a Dystrophic Lagoon (Sacca Di Goro, Italy), *Water Air and Soil Pollution*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 99: 363-371.

Gikas G.D., Yiannakopoulou T., Tsihrintzis V.A. (2006) Water Quality Trends in a Coastal Lagoon Impacted by Non-Point Source Pollution After Implementation of Protective Measures, *Hydrobiologia*, 563: 385–406.

Herrera-Silveira J.A. (1996) Salinity and Nutrients in a Tropical Coastal Lagoon with Groundwater Discharges to the Gulf of Mexico, *Hydrobiologia*, 321: 165-176.

Higuti J., Takeda A.M. (2002) Spatial and Temporal Variation in Densities of Chironomid Larvae (Diptera) in Two Lagoons and Two Tributaries of the Upper Parana River Floodplain, Brazil, *Brazilian Journal of Biology*, 62: 807-818.

Isla F.I. (1981) Coastal lagoons. Coastal zones and estuaries, *Encyclopedia of life support systems (EOLSS)*: 1-6.

Kjerfve B., Magill K.E. (1989) Geographic and Hydrodynamic Characteristics of Shallow Coastal Lagoons, *Marine Geology*, 88: 187-199.

Koutsoubas D., Dounas C., Arvanitidis C., Kornilios S., Petihakis G., Triantafyllou G., Eleftheriou A. (2000) Macrobenthic Community Structure and Disturbance Assessment in Gialova Lagoon, Ionian Sea, *Journal of Marine Science*, 57: 1472–1480.

Lardicci C., Rossi F., Castelli A. (1997) Analysis of Macrozoobenthic Community Structure after Severe Dystrophic Crises in a Mediterranean Coastal Lagoon, *Marine Pollution Bulletin*, 34: 536-547.

Leontarakis K. P., Xatzianastasiou I. L., Theodorou A. J. (2008) Biological aspects of the lagoon cockle, *Cerastoderma glaucum*, in a coastal lagoon in Keramoti, Greece in the northeastern Mediterranean, *Journal of Shellfish Research*, 27: 1171-1175.

Margoni S., Psilovikos A. (2010) Sustainable Management of Agiasma Lagoon–River Nestos Delta—Using R.E.MO.S. Daily Monitoring Data of Water Quality and Quantity Parameters, Trends, Assessments, and Natural Hazards for the years 2000–2002, *Desalination*, 250:287-296.

Mesner N., Geiger J., (2010) Understanding your watershed, dissolved oxygen. Utah State University, water quality extension:1-3.

Nadler A., (1991) Effect of soil structure on bulk electrical conductivity (ECa) using the TDR and 4P techniques, *Soil Science*, 152: 199–203.

Noborio K. (2001) Measurement of soil water content and electrical conductivity by time domain reflectometry: a review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 31: 213–237.

Pérez-Ruzafa A., Mompeán M.C., Marcos C. (2007) Hydrographic, geomorphologic and fish assemblage relationships in coastal lagoons, *Hydrobiologia*, 577: 107–125.

Perissocratis C., Van Andel T.H. (1988) Late Pleistocene Unconformity in the gulf of Kavalla, northern Aegean. *Marine Geology*, 81: 53-61

Psilovikos A., Albanakis K., Margoni S., Psilovikos Ar., Ioannidis, D., Makrygiorgos, Ch. (2002) Contribution in the Management and Environment Monitoring of Nestos River, in: *Proceedings of the 6th Pan-Hellenic Geographical Conference*, October 7–10, 2002, Thessaloniki, Greece, 2: 505–512.

Psilovikos A., Margoni S., Psilovikos A. (2005) Monitoring Water Quality Parameters of the Transboundary River Nestos, *American Journal of Applied Sciences*, 2: 759–762.

Psilovikos Ar., Margoni S., Psilovikos A. (2006) Simulation and Trend Analysis of the Water Quality Monitoring Daily Data in Nestos River Delta, Contribution to the Sustainable Management and Results for the Years 2000-2002, *Environmental Monitoring and Assessment*, 116: 543-562.

Psilovikos, A. and Collaborators (1999) Monitoring research of the natural processes of the fluvial system of Nestos River by the construction and operation of a pilot automated telemetric network. Research of the dynamic balance of the suspended soils, Technical Report – Research Program, Department of Physical and Environmental Geography, Aristotle University of Thessaloniki, 1–4.

Rhoades J.D., Corwin D.L., Lesch S.M. (1999) Geospatial measurements of soil electrical conductivity to assess soil salinity and diffuse salt loading from irrigation. In: Corwin, D.L., Loague, K., Ellsworth, T.R. (Eds) *Assessment of Non-point Source Pollution in the Vadose Zone. Geophysical Monograph Vol. 108.* American Geophysical Union, Washington D.C., USA, p 197–215.

Schuring J., Schulz H.D., Fischer W.R., Bottcher J., Duijnsveld W.H.M. (2000) *Redox: fundamentals, processes, and applications.* Springer, Berlin, pp 246.

Sfriso A., Macromini A. (1997) Macrophyte Production in a Shallow Coastal Lagoon. Part I: Coupling with Chemico-Physical Parameters and Nutrient Concentrations in Waters, *Marine Environmental Research*, 44: 351 -375.

Sfriso A., Macromini A., Pavoni B. (1987) Relationships Between Macroalgal Biomass and Nutrient Concentrations in a Hypertrophic Area of the Venice Lagoon, *Marine Environment Research*, 22: 297-312.

Sfriso A., Pavoni B., Marcomini A., Orio A.A. (1992) Macroalgae, Nutrient Cycles, and Pollutants in the Lagoon of Venice, *Estuaries and coasts*, 15: 517-528.

Shirman B., Melzer Y. (2009) Long Term Monitoring of the Mediterranean and Red Sea Levels in Israel, Hydrographic Surveying in Practice, FIG Working Week 2009 Eilat, Israel, 3-8 May 2009, p 1-7.

Sigg L. (2000) Redox potential measurements in natural waters: significance: concepts and problems, In: Schuring J., Schulz H.D., Fischer W.R., Bottcher J., Duijnsveld W.H.M. (eds) Redox fundamentals, processes and applications, Springer, Berlin, p 2-8.

Stednick J.D. (1991) Wetland Water Quality Sampling and Analysis. Academic Press, Inc., San Diego, p 73-79.

Suzuki M.S., Ovalle A.R.C., Pereira E.A. (1998) Effects of Sand Bar Openings on Some Limnological Variables in a Hypertrophic Tropical Coastal Lagoon of Brazil, *Hydrobiologia*, 368: 111-122.

Sylaios G., Theocharis V. (2002) Hydrology and Nutrient Enrichment at Two Coastal Lagoon Systems in Northern Greece, *Water Resources Management*, 16: 171-196.

Tagliapietra D., Sigovini M., Ghirardini A.V. (2009) A review of terms and definitions to categorise estuaries, lagoons and associated environments, *Marine & Freshwater Research*, 60: 497–509.

Topp G.C., Yanuka M., Zebchuk W.D., Zegelin S., (1988) Determination of electrical conductivity using time domain reflectometry: Soil and water experiments in coaxial lines. *Water resources research*, 24: 945-952.

Torreton J.P., Guiral D., Arfi R. (1989) Bacterioplankton Biomass and Production During Destratification in a Monomictic Eutrophic Bay of a Tropical Lagoon, *Marine Ecology Progress Series*, 57: 53-67.

Van Loon W.K.P., Perfect E., Groenevelt P.H., Kay, B.D., (1990) A new method to measure bulk electrical conductivity in soils with time domain reflectometry, *Canadian Journal of Soil Science*, 70: 403–410.

Vigo I., Garcia D., Chao B.F. (2005) Change of Sea Level Trend in the Mediterranean and Black seas, *Journal of Marine Research*, 63: 1085–1100.

Von Storch H. (1995) Misuses of statistical analysis in climate research, in: von Storch H., Navara A. (eds) *Analysis of Climate Variability: Applications of Statistical Techniques*, Springer, Berlin, p 11-26.

Zegelin S.J., White I., Kenkins D.J., (1989) Improved field probes for soil water content and electrical conductivity measurement using time domain reflectometry, *Water Resource Research*, 25: 2367–2376.

Ελληνική βιβλιογραφία

Αλμπανάκης Κ. (2007) Μαθήματα ωκεανογραφίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, κεφ. 4, σελ. 1-43.

Αλμπάνης Π., Βαδραχάνης Α. (2003) Καταγραφή και Επεξεργασία Χωροταξικών και Οικιστικών Χαρακτηριστικών Ν. Καβάλας, Διπλωματική εργασία, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών πολιτικών μηχανικών-οργάνωση και διοίκηση τεχνικών συστημάτων, σελ. 139-147.

Αντωνόπουλος Β. (1995) Ποιότητα Επιφανειακών Υδατικών Πόρων, Υδατικοί Πόροι - 1. Τεχνική Υδρολογία, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, 579-618.

Κλαδάς Γ., Κροντηρά Γ., Ιωάννου Γ., Δενδρινός Π., Βερροϊόπουλος Γ., Τζοβενής Ι. (2010) Συμβολή στην Καταγραφή της Βιοποικιλότητας Έξι Λιμνοθαλασσών της Ηπείρου: Κωπήποδα του Μεσοζωοπλαγκτού. Πρακτικά 14^ο Πανελληνίου Συνεδρίου Ιχθυολόγων. Πειραιάς, σελ. 315-318.

Κουνιάς Σ., Κολυβά-Μαχαίρα Φ., Μπαγιάτης Κ., Μπόρα-Σέντα Ε. (2003) Συσχέτιση. Σε: Εισαγωγή στην Στατιστική, εκδόσεις Χριστοδουλίδη, Θεσσαλονίκη, σελ. 256-264.

Κούση Π. (2011) Προσδιορισμός συντελεστή μεταφοράς οξυγόνου, Περιβάλλον 1, Εργαστηριακές ασκήσεις, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, σελ 1-10.

Μισοπολίνος Ν. (1991) Προβληματικά Εδάφη, Μελέτη Πρόληψη Βελτίωση, Εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη, σελ. 43-117.

Μουστάκα-Γούνη Μ., (1997) Ωκεανογραφία Μία βιολογική προσέγγιση Εκδόσεις Exin, Θεσσαλονίκη, κεφ. 9, σελ. 140.

Πάκου Α. (2008) Μελέτη της σχέσης μεταξύ Δείκτη Εμπιστοσύνης του Καταναλωτή και χρηματιστηριακών αποδόσεων στα Ευρωπαϊκά χρηματιστήρια. Μεταπτυχιακή διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, σελ. 56.

Παπαζαφειρίου Ζ., Αντωνόπουλος Β. (1991) Υδραυλική Περιβάλλοντος. Εκδόσεις Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ., σελ. 270

Ψιλοβίκος Α., Βαβλιάκης Ε., Λάγγαλης Θ. (1988) Φυσικές και ανθρωπογενείς διεργασίες της πρόσφατης εξέλιξης του δέλτα του Νέστου. Πρακτικά 3^{ου} Επιστημονικού Συνεδρίου της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, Τόμος 20, Αρ.1, Αθήνα, σελ. 312-324.

Ηλεκτρονική βιβλιογραφία

Conductivity (electrolytic) (2011) Wikipedia:

[http://en.wikipedia.org/wiki/Conductivity_\(electrolytic\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Conductivity_(electrolytic)) (Πρόσβαση: 20-9-2011)

Correlation and dependence (2011) Wikipedia:

http://en.wikipedia.org/wiki/Correlation_and_dependence (Πρόσβαση: 20-10-2011).

Natura 2000 (2012). Βικιπαιδεία: http://el.wikipedia.org/wiki/Natura_2000 (Πρόσβαση: 28-01-2012)

Nestos River (2011) Wikipedia,: http://en.wikipedia.org/wiki/Nestos_River (Πρόσβαση: 9-12-2011).

Redox (2011) Wikipedia: <http://en.wikipedia.org/wiki/Redox> (Πρόσβαση: 22-8-2011)

Shirman B., Melzer Y. (2009) Long Term Monitoring of the Mediterranean and Red Sea Levels in Israel:

http://www.fig.net/pub/fig2009/ppt/ts05f/ts05f_shirman_melzer_ppt_3250.pdf (Πρόσβαση: 13-9-2011)

Time domain reflectometry (2011) Wikipedia: http://en.wikipedia.org/wiki/Time-domain_reflectometry (Πρόσβαση: 11-7-2011)

Δέλτα Νέστου (2011) Φορέας Διαχείρισης Δέλτα Νέστου-Βιστωνίδας-Ισμαρίδας:

http://www.fdnestosvistonis.gr/site/index.php?option=com_content&view=category&id=36&Itemid=118&lang=el (Πρόσβαση: 25-10-2011).

Δήμος Νέστου (2011) Wikipedia,:

http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%AE%CE%BC%CE%BF%CF%82_%CE%9D%CE%AD%CF%83%CF%84%CE%BF%CF%85 (Πρόσβαση: 11-12-2011).

Καλλικράτης, (2011) Libercon,:

<http://libercon.gr/portal/kallikratis?%CE%91%CE%BD%CE%B1%CE%B6%CE%AE%CF%84%CE%B7%CF%83%CE%B7=&tid=6> (Πρόσβαση: 21-10-2011).

Πατρίκιος Γ., Δρίτσα Α. (2009) Οι δρόμοι του νερού στην κοιλάδα του Νέστου:

<http://www.greekscapes.gr/index.php/2010-01-21-16-47-29/enot/188.html> (Πρόσβαση: 9-7-2011)

Σύμβαση Ramsar (2011) Βικιπαιδεία:

http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CF%8D%CE%BC%CE%B2%CE%B1%CF%83%CE%B7_%CE%A1%CE%B1%CE%BC%CF%83%CE%AC%CF%81 (Πρόσβαση: 28-01-2012)

Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας & Κλιματικής Αλλαγής (2011) Δέλτα Νέστου & Λιμνοθάλασσες Κεραμωτής, Φύση 2000:

<http://www.minenv.gr/1/12/121/12103/viotopoi/g1150010.html> (Πρόσβαση: 11-12-2011).

Χάρτες, (2010) Geo Strategy, available at: <http://www.geostrategy.gr/greece.html>

(Πρόσβαση: 21-10-2011).

6. ABSTRACT

The waters of the river Nestos, including the lagoon of Keramoti, have systematically been monitored by the remote monitoring system REMOS for the years 2000 – 2007. This network is constituted by remote stations which receive the data, and base stations to which these are telemetrically transmitted. Concerning on Keramoti lagoon, recorded data for the following parameters were monitored: water level (H – cm), REDOX (mV), dissolved oxygen (DO – mg/l), water temperature (T_w – °C), air temperature (T_a – °C) and salinity (Sal – ppt). These parameters and their analysis concern the relation of the parameters to each other by computing correlation coefficients and moreover quality of water and possible degradation. The measurements in Keramoti Lagoon start from the middle of the year 2005 and last till the end of 2007, using REMOS network monitoring stations.

Pearson's correlation coefficient, as well as correlation charts through excel program, can be used for quality analysis of a water ecosystem, since any change in a parameter has an effect on another. So throughout these correlations it was checked for the Keramoti lagoon if and how much the parameters are combined with one another in a normal way, which shows the good water quality, or the opposite.

In chapter one, there is a reference on the type of the ecosystem as well as a synopsis of the water quality parameters. Afterwards, a literature review takes place on researches that use correlation methods, on the water quality of the Hellenic territory, on the greater region of Nestos River and on the world. Finally, the purpose analysis of this thesis is being indicated as well as the significance of the correlation method.

The second chapter is referring to the analysis method of this paper, and the used parameters. Specifically the region of this study, the quality parameters, as well as the part of the correlation that was used, and also the *Remote Environmental Monitoring System (REMOS)*, are defined.

On chapter three, the results of the use of correlation coefficient as well as the correlation charts are presented. Afterwards they get compared with other similar studies globally, as well as theoretical formulas, and finally the correlations are obtained between specific water quality parameters.

In the end on the fourth chapter, the conclusions are presented and some future proposals.

Key words: Keramoti Lagoon, Water Quality Monitoring