



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
TECHNOLOGICAL EDUCATION INSTITUTION of WESTERN MACEDONIA

ΚΟΙΛΑ ΚΟΖΑΝΗΣ - GR 50100 | KILA, GR 50100 KOZANI - GREECE
www.teiwm.gr

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΝΤΙΡΡΥΠΑΝΣΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ & ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΔΑΤΩΝ ΚΑΙ
ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Διευθύντρια: Δρ. Αμανατίδου Ελισάβετ, Χημικός Μηχανικός, Καθηγήτρια
Τηλ.: 24610-68015 & 24610-68012 & 68028
e-mail: eAmanatidou@teiwm.gr

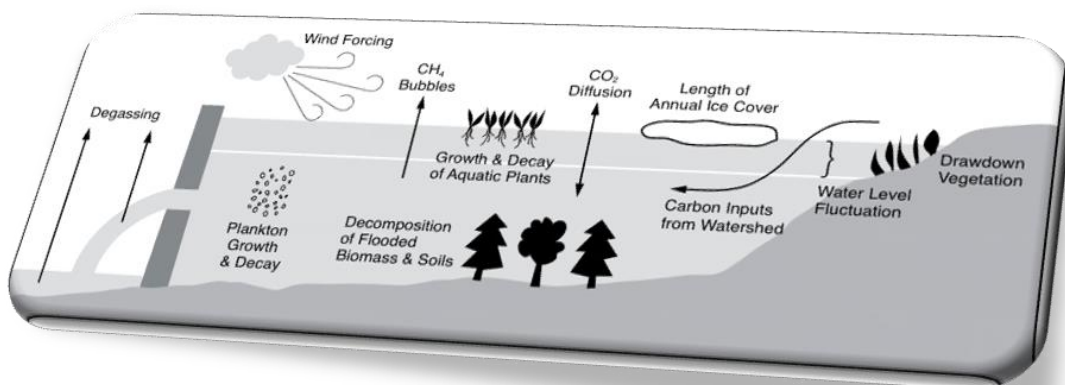
Ε.Κ.Π.Α.Α.

Αριθμ. Πρωτ.: **1175**
Ημερομηνία: **14-05-2019**

Έργο:

**«ΜΕΤΡΗΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΚΑΙ
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΟΙΟΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΥΔΑΤΩΝ ΣΕ ΦΥΣΙΚΕΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΛΙΜΝΕΣ ΤΗΣ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ»**

Τεχνική Έκθεση: Τελική Μελέτη



ΚΟΖΑΝΗ, ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2019

Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	2
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
2. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΕΣ-ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ	4
2.1 ΣΗΜΕΙΑ ΚΑΙ ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΕΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	4
2.2 ΤΡΟΠΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ και ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	6
2.3 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ-ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ	9
2.4 Αξιολόγηση της ποιοτικής κατάστασης -Ανάπτυξη Δείκτη Ποιότητας Νερού	16
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	20
3.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΝΕΡΟΥ	20
3.2 ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΔΑΤΩΝ	26
3.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	29
3.4 ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ GHGs ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ	33
3.5 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ-ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ CH ₄	36
4. ΣΥΝΟΨΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	39
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	41
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....	0

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα Τεχνική Έκθεση αποτελεί το τελικό παραδοτέο του έργου «**Μέτρηση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και αξιολόγηση ποιοτικής κατάστασης υδάτων σε φυσικές και τεχνητές λίμνες της Δυτικής Μακεδονίας**» σύμφωνα με την από 7/12/2017 Σύμβαση του «Εθνικού Κέντρου Περιβάλλοντος και Αειφόρου Ανάπτυξης (Ε.Κ.Π.Α.Α.)» και του «Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Μακεδονίας (Τ.Ε.Ι. Δ.Μ.) – Ειδικός Λογαριασμός Κονδυλίων και Έρευνας (ΕΛΚΕ)». Σκοπός το έργου είναι η πραγματοποίηση μετρήσεων (α) εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (greenhouse gases - GHGs) και (β) ποιοτικών χαρακτηριστικών των υδάτων (και στο νερό τροφοδοσίας τους), σε τουλάχιστον δύο τεχνητές και μία φυσική λίμνη της Δυτικής Μακεδονίας.

Το έργο υλοποιείται σε 3 φάσεις:

1^η Φάση: ΥΛΟΠΟΙΗΘΗΚΕ, 1^ο ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ (Δεκέμβριος 2017): Περιελάμβανε επιλογή ταμιευτήρων, περιγραφή μεθοδολογίας, θέσεων και συχνότητας δειγματοληψίας, προετοιμασία δειγματοληψιών και εργαστηριακών μετρήσεων καθώς και αξιολόγηση υφιστάμενης κατάστασης.

2^η Φάση: ΥΛΟΠΟΙΗΘΗΚΕ, 2^ο ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ (Ιούλιος 2018): Περιελάμβανε παρουσίαση των αποτελεσμάτων (α) των φυσικοχημικών αναλύσεων και την απεικόνιση της ποιότητας των υδάτων, συμπεριλαμβανομένων τις πιθανές χωρικές και χρονικές μεταβολές της, τόσο στους δύο ταμιευτήρες και στη φυσική λίμνη, όσο και στα ύδατα τροφοδοσίας αυτών και (β) των μετρήσεων εκπομπών GHGs στους δύο ταμιευτήρες, στη φυσική λίμνη, στον ποταμό τροφοδοσίας καθώς και σε εδάφη πλησίον των ταμιευτήρων που θα αξιοποιηθούν για τον υπολογισμό των συντελεστών εκπομπής GHGs (Net και Gross GHGs emissions).

3^η Φάση: Περιλαμβάνει (α) την επεξεργασία των αποτελεσμάτων των φυσικοχημικών αναλύσεων μέσω της χρήσης επικαιροποιημένου δείκτη ποιότητας υδάτων (Water Quality Index, WQI), ο οποίος αναμένεται να υποδείξει με ακρίβεια την ποιοτική κατάσταση των υδάτων, δίνοντας ένα συνολικό χαρακτηρισμό (Εξαιρετική, Καλή, Φτωχή κλπ.), (β) τον υπολογισμό των συντελεστών εκπομπής GHGs (Net και Gross GHGs emissions, (γ) τη συσχέτιση των εκπομπών με τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των υδάτων που θα οδηγήσει σε σχετικά ασφαλή συμπεράσματα που αφορούν στα αίτια που προκαλούν αύξηση των εκπομπών GHGs από υδάτινα σώματα (δ) την ανάπτυξη, επαλήθευση και εφαρμογή μοντέλου υπολογισμού εκπομπής αερίων σε βάθος εκατονταετίας (μοντέλο πρόβλεψης με μηνιαίο βήμα), (ε) την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις εκπομπές GHGs σε σχέση με την εποχή, την ποιότητα των υδάτων, τη μορφολογία και τις χρήσεις γης της περιοχής, καθώς και την ηλικία των ταμιευτήρων (στατιστική επεξεργασία).

Η παρούσα μελέτη αποτελεί το παραδοτέο ολοκλήρωσης της τρίτης και τελευταίας φάσης υλοποίησης του έργου και περιλαμβάνει τα παρακάτω κεφάλαια: 1. Εισαγωγή, 2. Δειγματοληψίες-Πειραματικές Πληροφορίες 3. Αποτελέσματα 4. Σύνοψη-Συμπεράσματα.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σύμφωνα με τις προηγούμενες Τεχνικές Αναφορές (Παραδοτέα 1 και 2), η επιλογή των θέσεων δειγματοληψίας έγινε με προϋπόθεση τη μεταβολή του βάθους του ταμιευτήρα (την ύπαρξη επαρκούς βάθους) και την ασφαλή προσβασιμότητα στο σημείο.

Στον Πίνακα 1 δίνεται η συχνότητα δειγματοληψίας και το είδος των μετρήσεων που προτάθηκαν στο Παραδοτέο 2.

Πίνακας 1: Σταθμοί δειγματοληψίας, συχνότητα δειγματοληψίας και είδος μετρήσεων

Θέση σταθμού δειγματοληψίας	Σταθμός δειγματοληψίας	Συχνότητα δειγματοληψίας	Μετρήσεις
Ταμιευτήρας Ιλαρίωνα	1) Πλάτη Φράγματος Ιλαρίωνα	1 φορά/2μήνες	Φυσικοχημικές παράμετροι & εκπομπές GHGs, Συγκέντρωση GHGs στον αέρα πλησίον των λιμνών
Ταμιευτήρας Πολυφύτου	2) Πλάτη Φράγματος Πολυφύτου	1 φορά/2μήνες	Φυσικοχημικές παράμετροι & εκπομπές GHGs, Συγκέντρωση GHGs στον αέρα πλησίον των λιμνών
	3) Ναυτικός Όμιλος Κοζάνης – ΝΟΚ (10km ανάντη φράγματος)		
Ποταμός Αλιάκμονας	4) Γέφυρα Παλιουριάς	1 φορά/εποχή	Φυσικοχημικές παράμετροι
Λίμνη Ζάζαρη ή Λίμνη Βεγορίτιδα	5) Προβλήτα (ΝΔ ακτή)	1 φορά/εποχή	Φυσικοχημικές παράμετροι & εκπομπές GHGs, Συγκέντρωση GHGs στον αέρα πλησίον των λιμνών
Εδάφη πλησίον Ταμιευτήρα Πολυφύτου-Ιλαρίωνα	6) Γέφυρα Σερβίων	1 φορά/εποχή	Εκπομπές GHGs
	7) Πλάτη Φράγματος Πολυφύτου		
Εδάφη πλησίον Λίμνης Ζάζαρη	10) Λιμένας	1 φορά/εποχή	Εκπομπές GHGs

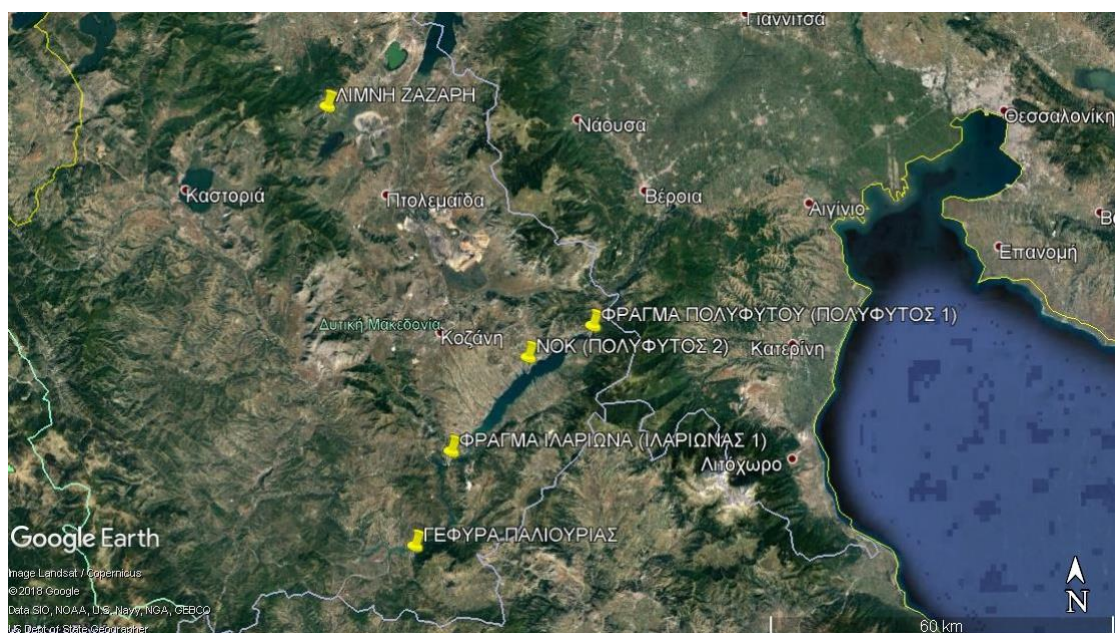
2. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΕΣ-ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ

2.1 ΣΗΜΕΙΑ ΚΑΙ ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΕΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ

Τα σημεία δειγματοληψίας παρουσιάζονται στην εικόνα 1 με κίτρινη επισήμανση.

- Στη λίμνη Πολυφύτου έγιναν δειγματοληψίες για μέτρηση ποιότητας υδάτων και εκπομπής αερίων σύμφωνα με το πρόγραμμα (κάθε δύο μήνες) σε δύο σημεία. Το ένα σημείο ήταν στην Πλάτη του Φράγματος Πολυφύτου (Πολύφυτος 1) και το άλλο σημείο στον Ναυτικό Όμιλο Κοζάνης, ΝΟΚ (Πολύφυτος 2), το οποίο βρίσκεται περίπου στη μέση της λίμνης. Η μέτρηση αερίων στο έδαφος έγινε στη Γέφυρα Σερβίων σύμφωνα με το πρόγραμμα (μία φορά ανά εποχή) και επί πλέον σε εδάφη πλησίον της Πλάτης του Φράγματος.
- Στη λίμνη του Ιλαρίωνα έγιναν δειγματοληψίες για μέτρηση ποιότητας υδάτων και εκπομπής αερίων σύμφωνα με το πρόγραμμα (κάθε δύο μήνες) σε ένα σημείο (Πλάτη Φράγματος, Ιλαρίωνας 1). Στο δεύτερο σημείο δειγματοληψίας του Ιλαρίωνα (Γλώσσα Ιλαρίωνα, 10km ανάντη φράγματος) δεν υπήρχε ασφαλής προσβασιμότητα στο σημείο. Λόγω των πολλών βροχοπτώσεων και την αυξομείωση της στάθμης, δημιουργήθηκε βάλτος γύρω από την όχθη καθιστώντας τη δειγματοληψία επικίνδυνη ενώ άλλα δύο πιθανά σημεία δειγματοληψίας είτε βρίσκονταν πολύ κοντά στο πρώτο σημείο είτε παρουσίαζαν τα ίδια προβλήματα προσβασιμότητας. Εύρεση άλλων εναλλακτικών σημείων δειγματοληψίας δεν κατέστη δυνατή λόγω της μορφολογίας του Ταμιευτήρα (μακρόστενο φαράγγι). Η μέτρηση αερίων στο έδαφος (Ελάτη – Αρχαιολογική) δεν κατέστη δυνατή για τους παραπάνω λόγους. Εναλλακτικά δοκιμάστηκε η μέτρηση εκπομπών (Απρίλιος 2018) στην πλάτη του φράγματος, όπου η γύρω περιοχή ήταν χαλικοστρωμένη από την κατασκευή του, με μηδενικές εκπομπές. Για να διαπιστωθεί η ποσότητα εκπομπών κοντά σε φράγμα, όταν υπάρχει έδαφος, έγιναν μετρήσεις εκπομπών στην πλάτη του φράγματος Πολυφύτου όπως προαναφέρθηκε.
- Στην φυσική λίμνη Ζάζαρη επίσης έγιναν δειγματοληψίες μέτρησης ποιότητας νερού και αερίων (από τη λίμνη και το έδαφος) σύμφωνα με το πρόγραμμα, (κάθε τρεις μήνες δηλαδή ανά εποχή), σε ένα σημείο (λιμένα) το οποίο θεωρείται αντιπροσωπευτικό της έτσι και αλλιώς μικρής σε έκταση λίμνης η

οποία δεν παρουσιάζει διακυμάνσεις στο βάθος της, οπότε κρίθηκε άσκοπη η δειγματοληψία από δεύτερο σημείο.



Εικόνα 1. Σημεία δειγματοληψίας υδάτων και μέτρησης εκπομπών αερίων.

- Στη Γέφυρα Παλιουριάς πραγματοποιήθηκαν φυσικοχημικές αναλύσεις ποιότητας νερού σύμφωνα με το πρόγραμμα δειγματοληψίας (κάθε τρεις μήνες δηλαδή ανά εποχή). Στο ίδιο σημείο, μετά από δύο προσπάθειες μέτρησης GHGs (Φεβρουάριος και Μάιος 2018), λόγω μη ανάπτυξης αναερόβιων συνθηκών εξαιτίας του μικρού βάθους, κρίθηκε άσκοπη η συνέχιση των μετρήσεων των αερίων στο σημείο αυτό (εξάλλου, τα σημεία δειγματοληψίας που προτάθηκαν στην πρώτη τεχνική αναφορά τελούσαν υπό την αίρεση του επαρκούς βάθους του ταμιευτήρα και της ασφαλούς προσβασιμότητας στο σημείο).

Το ημερολόγιο δειγματοληψιών παρουσιάζεται στον πίνακα 2.

Πίνακας 2. Ημερομηνίες δειγματοληψίας για το διάστημα Ιανουάριος 2018-Μάρτιος 2019.

A/A δειγματοληψίας	Ζάζαρη	Ιλαρίωνας 1	Πολύφυτος 1 (Φράγμα)	Πολύφυτος 2 (ΝΟΚ)	Γέφυρα Παλιουριάς
1	5/1/2018	19/1/2018	12/2/2018	14/2/2018	28/2/2018
2	15/5/2018	24/4/2018	24/4/2018	29/3/2018	Μάιος 2018
3	25/7/2018	29/6/2018	*	16/5/2018	25/7/2018

4	17/12/2018	29/8/2018	25/7/2018	25/7/2018	17/12/2018
5	6/3/2019	19/10/2018	18/10/2018	19/10/2018	
6		**	17/12/2018	17/12/2018	
7				6/3/2019***	

*Δεν κατέστη δυνατή η δειγματοληψία εξαιτίας πλημμυρισμένης εισόδου στην προβλήτα κατά το δίμηνο Μάιος-Ιούνιος. ** Δεν κατέστη δυνατή η δειγματοληψία το δίμηνο Νοέμβριος-Δεκέμβριος 2018 λόγω δυσμενών καιρικών συνθηκών (Είναι το μόνο σημείο στο οποίο απαιτείται χρήσης θάρκας για την δειγματοληψία), ***Μόνο δειγματοληψία ύδατος

2.2 ΤΡΟΠΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ και ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Η μέτρηση των εκπομπών αερίων στις λίμνες έγινε όπως περιγράφηκε στο 1^ο παραδοτέο (παράγραφος 3.2.2).

Η μέτρηση των εκπομπών αερίων στα εδάφη έγινε με κατάλληλη διάταξη (εικόνα 2). Το δοχείο σε αυτήν τη διάταξη είναι από πλαστικό υλικό άσπρου χρώματος, κυλινδρικού σχήματος ύψους 15 cm και διαμέτρου 26,5 cm και δεν απαιτείται μόνωση. Στο πάνω μέρος του δοχείου έχουν τοποθετηθεί κατάλληλες υποδοχές για εξαγωγή του δείγματος και εξαέρωση του δοχείου. Η εξαγωγή του δείγματος γινόταν με χρήση αντλίας και συλλέγονταν σε σακούλες δειγματοληψίας αερίων.

Η ανάλυση των δειγμάτων των αερίων γινόταν εντός 24 ωρών από την συλλογή τους σε αέριο χρωματογράφο (Shimadzu GC-8A) με ανιχνευτή ιονισμού φλόγας (FID) και ανιχνευτή θερμικής αγωγιμότητας (TCD). Για τον υπολογισμό της ροής (flux) εκπομπών (mg/day/m²) δηλαδή του ρυθμού εκπομπής αερίου (mg/day) ανά μονάδα επιφάνειας (m²) λαμβάνονταν 3-4 αέρια δείγματα σε διάφορα χρονικά διαστήματα π.χ. κάθε 30 min για διάστημα 1,5 h. Ο υπολογισμός τη ροής εκπομπών γινόταν από την παρακάτω εξίσωση [1]:

$$C = \rho \times \frac{dC}{dt} \times \frac{273,15}{(273,15+T)} \times H \quad (1)$$

Όπου:

-C: η ροή ή ο ειδικός συντελεστής εκπομπής αερίου (mg/day/m²)

-ρ: η πυκνότητα του αερίου σε πρότυπες συνθήκες (kg/m³)

-dC/dt: ο ρυθμός εκπομπής αερίου σε cm³/m³/min (ppm/min), ισοδυναμεί με την κλίση της γραμμικής συσχέτισης της συγκέντρωσης αερίου (η οποία είναι γνωστή από τον χρωματογράφο) συναρτήσει του χρόνου

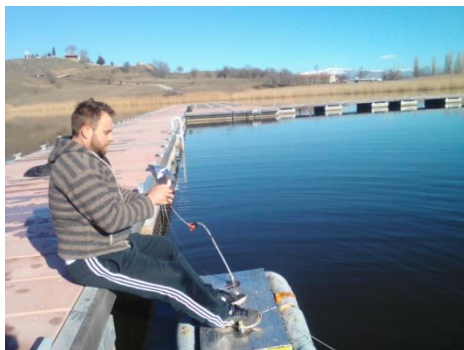
-T: η θερμοκρασία του αερίου μέσα στο δοχείο κατά τη διάρκεια της εκάστοτε μέτρησης, (°C)

-H: το ύψος του δοχείου μέτρησης που δεν είναι βυθισμένο στο νερό ή στο έδαφος, (m).



Εικόνα 2. Φωτογραφία του δοχείου για μέτρηση αερίων εκπομπών από το έδαφος.

Στις εικόνες 3α έως 3ε παρουσιάζονται φωτογραφίες από δειγματοληψίες στη λίμνη Ζάζαρη, στο Πολύφυτος 1 και 2, στο Ιλαρίωνας 1 ενώ στην 3ζ φωτογραφία φαίνεται επιφάνεια εδάφους πέριξ της Ζάζαρης με ποικίλη κάλυψη (φυτά, πέτρες, και άνευ κάλυψης) και δείχνει ποια περιοχή εδάφους θεωρούνταν αντιπροσωπευτική για την μέτρηση εκπομπών. Το είδος κάλυψης της επιφάνειας του εδάφους επηρεάζει κατά πολύ τις εκπομπές, καθώς σε πετρώδες έδαφος ή χώμα χωρίς φυτοκάλυψη οι εκπομπές είναι πολύ χαμηλές έως μηδενικές, σε σχέση με έδαφος με φυτοκάλυψη (όπου οι εκπομπές οφείλονται κυρίως σε CO₂).



α)



β)



γ)



δ)



ε)



ζ)

Εικόνα 3. Φωτογραφίες από δειγματοληψία στα σημεία α) Ζάζαρη, β) Ιλαρίωνας 1, γ) Πολύφυτος 1 και δ) Πολύφυτος 2, ε) έδαφος πέριξ της Πλάτης Φράγματος Πολυφύτου, ζ) περιοχή εδάφους στη Ζάζαρη με ποικίλη κάλυψη που θεωρείται αντιπροσωπευτική

Για λόγους που εξηγήθηκαν στην προηγούμενη Τεχνική Αναφορά (Δεύτερο Παραδοτέο) για την μέτρηση της ποιότητας των υδάτων, λαμβάνονταν ένα δείγμα νερού από το μέγιστο βάθος του εκάστοτε σημείου δειγματοληψίας. Η λήψη δείγματος από το βάθος γινόταν με κατάλληλο ανοξείδωτο δειγματολήπτη. Η μέτρηση της θερμοκρασίας και του διαλυμένου οξυγόνου γίνονταν επί τόπου στην λίμνη, των ευμετάβλητων παραμέτρων (όπως νιτρώδη και αμμωνιακά ιόντα) εντός της ίδιας ημέρας ενώ των υπόλοιπων παραμέτρων εντός 24h. Οι αναλύσεις έγιναν στο Διαπιστευμένο Εργαστήριο Περιβαλλοντικής Χημείας και Επεξεργασίας Υδάτων και Υγρών Αποβλήτων του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος και Μηχανικών Αντιρρύπανσης του ΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας σύμφωνα με πρότυπες μεθόδους [2].

2.3 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ-ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ

Η μοντελοποίηση και πρόβλεψη των εκπομπών των στην βιβλιογραφία [3,4] γίνεται με εξίσωση της παρακάτω μορφής:

$$GHG_{emission} = X_1 + X_2 * \cos\left(\frac{2\pi}{12} * (t - X_3)\right) * e^{-X_4 * t} \quad (2)$$

όπου:

$GHG_{emission}$ ($mg\ m^{-2}\ day^{-1}$) είναι ο προβλεπόμενος ρυθμός εκπομπής ή η συγκέντρωση διαλυμένου GHG στο νερό,

t (months) είναι η ηλικία του ταμιευτήρα;

X_1 ($mg\ m^{-2}\ d^{-1}$) σταθερά του μοντέλου

X_2 ($mg\ m^{-2}\ d^{-1}$); σταθερά του μοντέλου

X_3 (months) σταθερά του μοντέλου

X_4 ($months^{-1}$) σταθερά του μοντέλου

Η παραπάνω εξίσωση προβλέπει εκθετική μείωση των εκπομπών ή της συγκέντρωσης GHG στο νερό. Η εκθετική μείωση γίνεται με αυξομειώσεις με περιοδικό-ημιτονοειδή τρόπο. Η εξίσωση αυτή χρησιμοποιείται στην βιβλιογραφία είτε για την περιγραφή της συγκέντρωσης διαλυμένων GHGs στο νερό και κατόπιν την εκτίμηση των εκπομπών με τον μηχανισμό της απαέρωσης (degassing) στην έξοδο του νερού από τον ταμιευτήρα [3] είτε για την περιγραφή των εκπομπών GHGs με τον μηχανισμό της διάχυσης [4].

Σε αυτήν την μελέτη μια εμπειρική εξίσωση παραπλήσιας λογικής αναπτύχθηκε για την μοντελοποίηση και πρόβλεψη των εκπομπών CH_4 . Αν και η εξίσωση μπορεί εύκολα να εφαρμοστεί και στο CO_2 όπως και στην βιβλιογραφία, αυτό δεν έγινε λόγω αναμενόμενης χαμηλής αξιοπιστίας και της έλλειψης φυσικής σημασίας για την περίπτωση του CO_2 , όπως θα εξηγηθεί στη συνέχεια. Επίσης αν και η προτεινόμενη εξίσωση είναι εμπειρική με 4 παραμέτρους, κατέστη δυνατό να δοθεί φυσική σημασία στις παραμέτρους αυτές. Για τις τιμές των τριών από τις τέσσερις παραμέτρους μπορούν να καθοριστούν εύρη τιμών με φυσική σημασία και να επιλεγθούν τιμές με βάση ποιοτικά δεδομένα αν δεν υπάρχουν διαθέσιμα πειραματικά.

Η παραγωγή CH_4 από την αναερόβια αποσύνθεση βιομάζας και άρα οι αντίστοιχες εκπομπές, εξαρτώνται βασικά από την θερμοκρασία του νερού η οποία στην Ελλάδα μεταβάλλεται με περιοδικό-ημιτονοειδή τρόπο [5] . Ακόμα και ένα ψυχρό καλοκαίρι ή ένα ζεστό χειμώνα θα υπάρχει διακύμανση της θερμοκρασίας νερού και άρα του παραγόμενου CH_4 . Οπότε ένας ημιτονοειδής όρος στην εξίσωση απαιτείται για να ληφθεί υπόψη η εποχιακή φύσης και περιοδική παραγωγή και εκπομπή CH_4 . Αντίθετα η παραγωγή και η εκπομπή CO_2 εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, μερικοί από αυτούς με ανταγωνιστική επίδραση όπως η ηλιοφάνεια, η διάρκεια της ημέρας, την θερμοκρασία ,την συγκέντρωση CH_4 μέρος του οποίου οξειδώνεται σε CO_2 , την ύπαρξη θρεπτικών και χλωροφύλλης κ.α. Έτσι αν και οι εκπομπές CO_2 παρουσιάζουν αυξομειώσεις μέσα στο έτος η περιοδικότητα με συγκεκριμένο ρυθμό όπως στην περίπτωση του CH_4 δεν έχει νόημα (η διακύμανση είναι ακανόνιστη και δεν μπορεί να περιγραφεί με ένα απλό ημιτονοειδή όρο). Επίσης οι μετρήσεις εκπομπών CO_2 και στο παρόν έργο και στη βιβλιογραφία γίνονται την ημέρα όπου οι εκπομπές είναι κατά κανόνα μικρότερες από το βράδυ, ειδικά σε λίμνες με υπολογίσιμες συγκεντρώσεις σε χλωροφύλλη. Έτσι για πιο σωστή εκτίμηση των ημερήσιων εκπομπών CO_2 θα πρέπει να γίνουν τρεις μετρήσεις σε μια ημέρα κατά την ανατολή και την δύση του ηλίου και στην μέση της ημέρας. Δεδομένων των παραπάνω η πρόβλεψη των εκπομπών CO_2 με τέτοιου τύπου εξίσωση, εμπεριέχει μεγάλη αβεβαιότητα και χαμηλή αξιοπιστία.

Στη συνέχεια αναφέρονται οι βασικές παραδοχές του μοντέλου και περιγράφεται ο τρόπος ανάπτυξής του.

ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ -ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ

Το προτεινόμενο μοντέλο βασίζεται στις παρακάτω παραδοχές:

- 1) Η εκπομπή CH_4 βασικά εξαρτάται από την ποσότητα εγκλωβισμένης βιομάζας και από την θερμοκρασία νερού. Ένας εκθετικός όρος μπορεί να περιγράψει την σταδιακή μείωση των εκπομπών με το χρόνο και ένας ημιτονοειδής όρος τις διακυμάνσεις των εκπομπών μέσα στο έτος Η μείωση των εκπομπών είναι αποτέλεσμα της μείωσης της εγκλωβισμένης βιομάζας λόγω της σταδιακής αποσύνθεσής της, Η εντός έτους διακύμανση των εκπομπών οφείλεται στην διακύμανση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και νερού.
- 2) Η διακύμανση των εκπομπών σε βάθος ετών γίνεται με σταθερή περίοδο. Η φυσική αναλογία αυτής της παραδοχής είναι ότι η θερμοκρασία μεταβάλλεται με σταθερή

περίοδο. Για παράδειγμα στην Ελλάδα, όσο δροσερό και αν είναι ένα καλοκαίρι, το διάστημα Ιουλίου με μέσα Αυγούστου θα είναι η πιο ζεστή περίοδος [5] .

- 3) Οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και άρα των εκπομπών κατά τη διάρκεια ενός έτους είναι συμμετρικές γύρω από την μέγιστη τιμή και μπορούν να περιγραφούν από μια ημιτονοειδή καμπύλη. Η φυσική αντιστοιχία αυτού είναι η σταδιακή μετάβαση από τον χειμώνα στο καλοκαίρι και το αντίστροφο μέσω της άνοιξης και του φθινοπώρου[5].
- 4) Δεν υπάρχει σποραδική εισροή οργανικής ουσίας μέσα στη λίμνη, καθώς δεν μπορούν να προβλεφτούν οι προκύπτουσες σποραδικές εκπομπές. Αν υπάρχει συνεχής εισροή οργανικής ουσίας μπορεί να ληφθεί υπόψη η συνεισφορά της στις εκπομπές.
- 5) Δεν υπάρχει διαφορά αν βιομάζα κατακλυστεί με νερό (δημιουργία τεχνητής λίμνης) ή αν εισέλθει βιομάζα σε νερό (ρύπανση φυσικής λίμνης). Η εγκλωβισθείσα βιομάζα θα αποσυντεθεί και θα οδηγήσει σε εκπομπή CH₄. Το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την μοντελοποίηση των εκπομπών από φυσικές ρυπασμένες λίμνες. Το πρόβλημα με τις φυσικές λίμνες είναι ο ορισμός του χρόνου μηδέν (χρόνος μηδέν για μια τεχνητή λίμνη είναι η χρονική στιγμή-μήνας που δημιουργήθηκε). Για μια ρυπασμένη φυσική λίμνη στην οποία η ρύπανση έχει σταματήσει, ως χρόνος μηδέν μπορεί να θεωρηθεί ο χρόνος κατά τον οποίο σταμάτησε η ρύπανση. Για μια φυσική λίμνη η οποία ρυπαίνεται με σταθερό ρυθμό, ως χρόνος μηδέν μπορεί να θεωρηθεί ο χρόνος κατά τον οποίο άρχισε η ρύπανση.

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Το προτεινόμενο μοντέλο βασίζεται στην συνάρτηση (εξίσωση 3) που περιγράφει μια καμπύλη Gauss :

$$y = y_0 + \frac{A}{w\sqrt{\frac{\pi}{2}}} e^{-2\frac{(x-x_c)^2}{w^2}} \quad (3)$$

Όπου:

x: η ανεξάρτητη μεταβλητή εισόδου

y: η εξαρτημένη μεταβλητή εξόδου

y₀: η τιμή των σταθερών τιμών y πριν και μετά την κορυφή, δηλαδή η τιμή της βασικής γραμμής (baseline)

x_c: η τιμή του x για την οποία το y παίρνει την μέγιστη τιμή του y_c

w: $w = w_1 / [\ln(4)]^{1/2}$, όπου w_1 : το πλάτος της κορυφής για $y=(y_c-y_o)/2$

A: το εμβαδό της κορυφής

Η προτεινόμενη εξίσωση (εξίσωση 4) δίνεται στην συνέχεια:

$$E(t) = 0.5 E_o \left[1 + \cos \left(\frac{2\pi}{12} (t - t_c) \right) \right] + \frac{A}{0.5 w \sqrt{\frac{\pi}{2}}} e^{-2 \frac{(t-t_c)^2}{(0.5w)^2}} A \left[1 + \cos \left(\frac{2\pi}{12} (t - t_c) \right) \right] \quad (4)$$

Όπου

E(t) είναι η εκπομπή CH₄, (g/m²/month)

t είναι ο χρόνος, (months). Για τεχνητή λίμνη, t είναι ο χρόνος από την δημιουργία του ταμιευτήρα. Για μια ρυπασμένη φυσική λίμνη στην οποία έχει σταματήσει η ρύπανση, t είναι ο χρόνος από την παύση της ρύπανσης. Για μια ρυπασμένη φυσική λίμνη στην οποία υπάρχει σταθερή ρύπανση ως t μπορεί να θεωρηθεί ο χρόνος από την έναρξη της ρύπανσης.

E_o: Η τιμή της βασικής γραμμής, δηλαδή η τελική (μέγιστη) σταθεροποιημένη εκπομπή CH₄ (g/m²/month)

w: Ο χρόνος κατά τον οποίο αρχίζουν να σταθεροποιούνται οι εκπομπές (ο χρόνος στον οποίο εμφανίζεται η τελευταία κορυφή πριν την σταθεροποίηση της βασικής γραμμής), (months)

x_c: ο χρόνος κατά τον οποίο οι εκπομπές είναι μέγιστες, (months)

A: εκπομπή που σχετίζεται με την μέγιστη εκπομπή του ταμιευτήρα ((g/m²)^{1/2}).

Στην προτεινόμενη εξίσωση ο όρος y_o και ο εκθετικός όρος της συνάρτησης Gauss έχουν πολλαπλασιαστεί με τους όρους $\left[1 + \cos \left(\frac{2\pi}{12} t \right) \right]$ και $A \left[1 + \cos \left(\frac{2\pi}{12} t \right) \right]$ αντιστοίχως.

Όπως ήδη αναφέρθηκε η αποσυντιθέμενη βιομάζα με τον καιρό θα εξαντληθεί άρα και οι προκύπτουσες από αυτήν εκπομπές CH₄ θα τείνουν να σταθεροποιηθούν σε πολύ χαμηλές τιμές, και αυτό περιγράφεται από τον εκθετικό όρο. Η εποχιακή φύση και η περιοδικότητα των εκπομπών CH₄ περιγράφεται από τον ημιτονοειδή όρο $\left(\left[1 + \cos \left(\frac{2\pi}{12} t \right) \right] \right)$. Οπότε ο εμπειρικός τύπος που προτείνεται αρχίζει και αποκτά κάποια φυσική σημασία. Επιπροσθέτως στις παραμέτρους του μοντέλου μπορεί να αποδοθεί φυσική σημασία και να καθοριστούν τα εύρη τιμών τα οποία μπορούν να πάρουν, χωρίς να απαιτείται απαραίτητα

η συσχέτιση-βελτιστοποίηση με πειραματικές μετρήσεις (αν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα σαφώς και είναι προτιμότερο να βελτιστοποιηθούν) . Στην συνάρτηση Gauss (εξίσωση 3) η οποία περιγράφει μια συμμετρική κορυφή, το y_0 δείχνει την τιμή της βασικής γραμμής πριν και μετά την κορυφή. Το E_0 λοιπόν, στην προτεινόμενη εξίσωση, σχετίζεται με την τελική χαμηλή τιμή της εκπομπής CH_4 η οποία θα επιτευχθεί με την πάροδο του χρόνου και την αποσύνθεση όλης της βιομάζας και για λίμνες σε Μεσογειακό- Ηπειρωτικό θα κυμαίνεται γύρω από μια χαμηλή τιμή π.χ. 1-30 $mg/m^2/day$ (εύρος τιμών που προκύπτει από πειραματικές μετρήσεις της παρούσας μελέτης αλλά και βιβλιογραφικές [4]). Ο όρος $\left[1 + \cos\left(\frac{2\pi}{12}t\right)\right]$ προσδίδει σε αυτήν την τελική και σταθεροποιημένη εκπομπή CH_4 τον περιοδικό χαρακτήρα που προκύπτει από την περιοδική εναλλαγή της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια του έτους και εξασφαλίζει ότι η εκπομπή CH_4 δεν θα μεταβεί σε αρνητικές τιμές. Η τιμή λοιπόν του E_0 έχει άμεση φυσική σημασία και μπορεί να προκύψει είτε από βιβλιογραφικές τιμές είτε από πειραματικές μετρήσεις σταθεροποιημένων ταμιευτήρων. Σε λίμνες στις οποίες υπάρχει συνεχής ρύπανση η τιμή του E_0 θα είναι κατά πολύ υψηλότερη. Η παράμετρος x_c στην εξίσωση Gauss δίνει την τιμή της μεταβλητής x για την οποία η y γίνεται μέγιστη (μέγιστο της κορυφής). Η x_c διατηρεί αυτήν την ιδιότητα και στην προτεινόμενη εξίσωση. Άρα η παράμετρος t_c έχει άμεση φυσική σημασία και εκφράζει τον χρόνο σε μήνες από την δημιουργία του ταμιευτήρα στον οποίο οι εκπομπές CH_4 θα είναι μέγιστες. Στην Ελλάδα η πιο ζεστή περίοδος είναι το διάστημα από αρχές Ιουλίου μέχρι αρχές Αυγούστου όπου και αναμένεται οι εκπομπές να είναι μέγιστες. Το μέγιστο των εκπομπών θα εντοπίζεται πάντα στο διάστημα μεταξύ τέλη Ιουλίου και αρχές Σεπτεμβρίου. Η τιμή του t_c λοιπόν μπορεί να 8 (όγδοος μήνας δηλαδή ο Αύγουστος του 1^{ου} έτους από την δημιουργία του ταμιευτήρα) ή 20 (ο Αύγουστος του 2^{ου} έτους κοκ). Ανάλογα με τον μήνα δημιουργίας του ταμιευτήρα και το είδος της βλάστησης μπορεί να επιλεγεί η καταλληλότερη τιμή. Για παράδειγμα σε ένα ταμιευτήρα όπου δημιουργήθηκε Μάιο μήνα, το πιο πιθανό είναι ότι η μέγιστη αποσύνθεση της βιομάζας θα γίνει τον επόμενο Ιούλιο άρα $t_c=20$ και όχι από τον πρώτο χρόνο ($t_c=8$) καθώς από τον Μάιο μέχρι και τον Ιούλιο η αποσύνθεση δεν θα έχει προλάβει να εξελιχθεί σε μέγιστο βαθμό. Επίσης σε ταμιευτήρες με χορτολιβαδική έκταση το $t_c=8$ είναι πιο ρεαλιστικό καθώς η χαμηλή βλάστηση αποσυντίθεται εύκολα και γρήγορα ενώ σε ταμιευτήρα με θαμνώδη και δασώδη έκταση η αποικοδόμηση της ξυλώδους (λιγνοκυτταρινικής) βιομάζας είναι πιο αργή άρα μια τιμή του $t_c=20$ ή και μεγαλύτερη είναι πιο ρεαλιστική. Η τιμή του t_c επίσης επηρεάζεται και από το κλίμα καθώς σε βόρειες περιοχές με χαμηλές θερμοκρασίες για το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου, η μέγιστη αποσύνθεση μπορεί να συμβεί κατά το τρίτο ή και τέταρτο έτος. Η τιμή του w στην συνάρτηση Gauss

σχετίζεται με το πλάτος (εύρος) της κορυφής. Δηλαδή όσο πιο μεγάλο το w τόσο πιο ευρεία η κορυφή. Η φυσική σημασία λοιπόν του w είναι αφενός ότι επηρεάζει σε ένα βαθμό τις συνολικές εκπομπές, καθώς μια ευρεία κορυφή έχει μεγαλύτερο εμβαδό σε σχέση με μια οξεία (για το ίδιο ύψος) και αφετέρου επηρεάζει βασικά το πότε θα προσεγγιστεί η βασική γραμμή, δηλαδή πότε θα αρχίζουν να σταθεροποιούνται οι εκπομπές. Από βιβλιογραφικά δεδομένα [3] οι εκπομπές μέσω διάχυσης, σε τροπικά κλίματα, σταθεροποιούνται κατά τον 5^ο χρόνο δηλαδή στους 60 μήνες. Αυτό μπορεί να αλλάξει ανάλογα με το κλίμα, το είδος και την ποσότητα εγκλωβισμένης βιομάζας. Αν $w=60$ η εξίσωση προβλέπει ότι οι εκπομπές σταθεροποιούνται γύρω στους 60 μήνες, αν $W=80$ τότε η σταθεροποίηση γίνεται στους 80 μήνες κοκ. Το A στην συνάρτηση Gauss εκφράζει το εμβαδό της κορυφής. Στην προτεινόμενη εξίσωση το A σχετίζεται με το συνολικό εμβαδό της καμπύλης και καθορίζει την μέγιστη τιμή εκπομπής. Αν δεν υπάρχουν δεδομένα για τα πρώτα χρόνια από την δημιουργία του ταμιευτήρα (όπως π.χ. για την περίπτωση της λίμνης Πολυφύτου) η τιμή του A πρέπει να βελτιστοποιηθεί αναγκαστικά αν επιλεχθεί με βάση καθαρά ποιοτικά κριτήρια, με αναπόφευκτη συνέπεια την εισαγωγή μεγάλης αβεβαιότητας στις υπολογιζόμενες προβλέψεις.

Για την πρόβλεψη των εκπομπών ακολουθείται η εξής διαδικασία:

Για τιμές t από 0 ως 600 months (50 χρόνια) ή όποια άλλη επιθυμητή τιμή, λύνεται η εξίσωση βελτιστοποιώντας το A ή όποια άλλη παράμετρο κρίνεται σκόπιμο και υπολογίζονται οι τιμές $E(t)$. Στη συνέχεια υπολογίζεται η πραγματική ηλικία του ταμιευτήρα t_r από τον τύπο

$$t_r = t - t_{cr} + 1 \quad (5)$$

Όπου t_{cr} είναι ο αύξων αριθμός του μήνα δημιουργίας της λίμνης (1 για Ιανουάριο, 3 για Μάρτιο, 9 για Σεπτέμβριο κοκ). Στη συνέχεια γίνεται γραφική παράσταση του $E(t)$ συναρτήσει του t_r και για τιμές $t_r > 0$. Με χρήση κάποιου λογισμικού (π.χ Origin) γίνεται ολοκλήρωση της καμπύλης και υπολογίζεται το εμβαδό που αυτή περικλείει. Το εμβαδό αυτό αντιστοιχεί στις συνολικές εκπομπές για 50 χρόνια (ή οποιοδήποτε άλλο επιθυμητό χρονικό διάστημα) σε $g \text{ CH}_4/\text{m}^2$.

Η εξίσωση εφαρμόστηκε και για την περίπτωση της φυσικής λίμνης Ζάζαρης. Στην Ζάζαρη σύμφωνα με προφορική επικοινωνία με κατοίκους της περιοχής, εισέρχονταν ανεπεξέργαστα αστικά λύματα από διάφορα χωριά μέχρι και πριν 4-5 χρόνια. Έτσι για την μοντελοποίηση των εκπομπών της Ζάζαρης θεωρήθηκε ότι αυτή βρίσκεται στο 5^ο έτος της “δημιουργίας” της. Επίσης, σε μια φυσική λίμνη η ροή του νερού είναι αρκετά πιο χαμηλή σε

σχέση με μια τεχνητή λίμνη, ειδικά κατά τις περιόδους στις οποίες λειτουργεί ο υδροηλεκτρικός σταθμός, με αποτέλεσμα το νερό στην τεχνητή λίμνη να ανανεώνεται και αναπόφευκτα να υπάρχει και εκροή οργανικής ουσίας. Επίσης η ροή ακόμα και η στρωτή, επιταχύνει την διάχυση CH_4 προς την ατμόσφαιρα. Οπότε σε μια φυσική λίμνη η τιμή του w θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη. Επίσης η τελική τιμή σταθεροποίησης της εκπομπής E_o , αναμένεται να είναι υψηλότερη αφού λόγω της περιορισμένη ανανέωσης του νερού, είναι πιθανή η εμφάνιση ενός φαύλου κύκλου. Μέρος της αποσυντιθέμενης βιομάζας διαφεύγει ως αέριο αλλά μέρος της παραμένει διαλυμένο στο νερό π.χ. νιτρικά, φωσφορικά και το οποίο αποτελεί τροφή για την ανάπτυξη άλλης βιομάζας (π.χ. φωτοσυνθετικοί οργανισμοί) η οποία θα αποσυντεθεί κοκ. Έτσι η σταθεροποίηση των εκπομπών μπορεί να γίνει σε τιμή υψηλότερη σε σχέση με μια τεχνητή λίμνη στην οποία υπάρχει ανανέωση του νερού και εκροή θρεπτικών συστατικών.

Το προτεινόμενο μοντέλο περιγράφει τις εκπομπές με βάση τον μηχανισμό της διάχυσης και δεν λαμβάνει υπόψη τη συνεισφορά στις εκπομπές με τον μηχανισμό του αναβρασμού (ebullition) και της απαέρωσης (degassing) στο σημείο εξόδου του νερού από τον ταμιευτήρα.

Οι εκπομπές φυσαλίδων (ebullition) είναι αμελητέες για βάθη $>10\text{m}$ [1], όπου λόγω χαμηλής θερμοκρασίας και υψηλής πίεσης η διαλυτότητα του CH_4 αυξάνεται και έτσι πολύ δύσκολα θα συμβεί υπερκορεσμός ο οποίος θα οδηγήσει στην δημιουργία φυσαλίδων. Οπότε για την περίπτωση του Πολύφυτου και Ιλαρίωνα η συνεισφορά στις εκπομπές με τον μηχανισμό του αναβρασμού μπορεί να αγνοηθεί. Σχετικά με τις εκπομπές με τον μηχανισμό της απαέρωσης και πάλι μπορούν να αγνοηθούν για τον εξής λόγο: Οι εκπομπές εκφρασμένες σε $\text{g/m}^2/\text{day}$ με αυτόν τον μηχανισμό είναι οι υψηλότερες σε σχέση με οποιοδήποτε άλλο μηχανισμό λόγω της εκρόφησης διαλυμένου αερίου με την τυρβώδη ροή η οποία δημιουργείται κατά την είσοδο/έξοδο του νερού στον/από τον υδροηλεκτρικό σταθμό. Αν ληφθεί υπόψη όμως ότι ο σταθμός δεν λειτουργεί όλες τις ημέρες του χρόνου και ότι η επιφάνεια στην οποία λαμβάνει χώρα αυτό το φαινόμενο, είναι τάξεις μεγέθους μικρότερη σε σχέση με την συνολική επιφάνεια της λίμνης (όπου ο κύριος μηχανισμός εκπομπής είναι η μοριακή διάχυση) τότε η ποσότητα CH_4 που εκπέμπεται με αυτό τον μηχανισμό μπορεί να θεωρηθεί ότι έχει μικρή συνεισφορά στην συνολική ποσότητα εκπομπών.

2.4 Αξιολόγηση της ποιοτικής κατάστασης -Ανάπτυξη Δείκτη Ποιότητας Νερού

Η ποιότητα των υδάτων του ποταμού Αλιάκμονα, αλλά και των φυσικών και τεχνητών λιμνών που μελετήθηκαν αξιολογήθηκε με χρήση ενός επικαιροποιημένου Δείκτη Ποιότητας Νερού (Water Quality Index), WQI ο οποίος αναπτύχθηκε από το Εργαστήριο Περιβαλλοντικής Χημείας και Επεξεργασίας Υδάτων και Υγρών Αποβλήτων του ΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας [6]. Ο εν λόγω WQI (δείκτης ΥΔΩΡ) λαμβάνει υπόψη του συνολικά 14 παραμέτρους (βαρέα μέταλλα, φυσικοχημικές και μικροβιακές). Κάθε παράμετρος έχει διαφορετική βαρύτητα η οποία προκύπτει από στατιστική επεξεργασία των απαντήσεων που έδωσαν σε κατάλληλα ερωτηματολόγια ειδικοί π.χ. ερευνητές, υπάλληλοι αρμόδιων δημοσίων φορέων κλπ. Η τιμή της εκάστοτε παραμέτρου συγκρίνεται με μια ιδεατή τιμή και με την επιτρεπτή τιμή. Ανάλογα με την τιμή της κάθε παραμέτρου, την απόκλιση της από την ιδεατή τιμή και από την επιτρεπόμενη τιμή καθώς και από την σχετική βαρύτητα της, υπολογίζεται μια τιμή του WQI. Με βάση αυτήν την τιμή η ποιότητα του νερού χαρακτηρίζεται ως Εξαιρετική-Excellent (0-25), Καλή-Good (26-50), Μέτρια-Fair (51-75), Οριακή-Marginal (76-100) και Φτωχή-Poor (>100).

Πιο συγκεκριμένα ο WQI-ΥΔΩΡ υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$WQI = \frac{\sum_{i=1}^n (q_i \times RW_i)}{\sum_{i=1}^n RW_i} \quad (6)$$

Όπου :

q_i είναι ο υποδείκτης της “i” παραμέτρου

RW_i είναι ο σχετικός συντελεστής βαρύτητας της παραμέτρου i

Ο υποδείκτης q_i υπολογίζεται από την πιο κάτω εξίσωση:

$$q_i = \frac{100 \times |C_i - V_{io}|}{|S_i - V_{io}|} \quad (7)$$

Όπου:

C_i είναι η μετρηθείσα τιμή της παραμέτρου i

S_i είναι η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή της παραμέτρου i

V_{io} είναι η ιδεατή τιμή της εκάστοτε παραμέτρου

Η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή καθορίζεται από την νομοθεσία. Για παραμέτρους για τις οποίες το επιτρεπτό όριο είναι εύρος τιμών (π.χ. για το pH) σαν επιτρεπτή τιμή μπορεί να ληφθεί η μέση τιμή του εύρους. Για παραμέτρους για τις οποίες δεν υπάρχει επιτρεπτό όριο π.χ. σκληρότητα σαν επιτρεπτή τιμή μπορεί να θεωρηθεί για το εκάστοτε νερό (π.χ. λίμνη) η μέση τιμή από προηγούμενες μετρήσεις ή τιμής της παραμέτρου σε νερά της ευρύτερης περιοχής.

Οι ιδεατές τιμές μπορούν να επιλεχθούν είτε από οδηγίες της νομοθεσίας, είτε από τιμές αναφοράς από σημεία δειγματοληψίας στην περιβάλλουσα περιοχή του σημείου ενδιαφέροντος είτε θέτοντας μηδενικές τιμές για τις τιμές ρυπαντών. Δεδομένου ότι η μηδενική τιμή, είναι πολύ δύσκολο να αποδειχθεί, η καλή εναλλακτική λύση είναι ο καθορισμός της ιδεατής τιμής με βάση το ελάχιστο όριο ανίχνευσης της παραμέτρου. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε η προσέγγιση των ελάχιστων ορίων ανίχνευσης όπως αυτά προκύπτουν από τις πρότυπες μεθόδους ανάλυσης υδάτων και υγρών αποβλήτων [2]. Για παραμέτρους όπως η σκληρότητα, για τις οποίες δεν υπάρχει καν επιτρεπτή τιμή, η ιδεατή και επιτρεπτή τιμή ορίστηκαν με βάση χρηστικά κριτήρια (π.χ. σκληρότητα > 500 mg/L δημιουργεί προβλήματα) ενώ για παραμέτρους όπως η αγωγιμότητα η ιδεατή τιμή ορίστηκε ως ποσοστό του επιτρεπτού ορίου.

Το RW_i το οποίο απαιτείται για τον υπολογισμό του WQI (εξίσωση 8) υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$RW_i = \frac{AW_i}{\sum_{i=1}^n AW_i} \quad (8)$$

Όπου:

AW_i είναι η βαρύτητα της κάθε παραμέτρου

Το AW_i υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο και από τις απαντήσεις ειδικών σε κατάλληλα ερωτηματολόγια:

$$AW_i = \frac{\sum AWS_{ij}}{n} \quad (9)$$

Όπου

AW_{ij} είναι η βαρύτητα της κάθε παραμέτρου i που δόθηκε από τον j ερωτηθέντα

Οι τιμές RW_i και οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτήν την μελέτη λήφθηκαν από την βιβλιογραφία [6] και παρουσιάζονται στον πίνακα 3.

Πίνακας 3. Σχετική βαρύτητα, επιτρεπόμενη και ιδεατή τιμή για τις 14 παραμέτρους που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του WQI [6].

παράμετρος	Σχετική βαρύτητα R _{Wi}	Επιτρεπόμενη τιμή S _i	Ιδεατή τιμή V _{io}
Cr ⁺⁶ , µg/l	0,088	50	1
NH ₄ ⁺ , mg/l	0,082	0,5	0,005
COD, mg/l	0,081	30	0,005
NO ₂ ⁻ , µg/l	0,081	30	3
Ολικός Φώσφορος, mg/l	0,081	0,15	0,0015
NO ₃ ⁻ , mg/l	0,080	50	5
pH	0,072	9,5	7,5
Αγωγιμότητα, µS/cm	0,069	2500	500
SO ₄ ⁻² , mg/l	0,066	250	10
Cl ⁻ , mg/l	0,063	250	5
Σκληρότητα, mg/l	0,062	500	200
Na ⁺ , mg/l	0,061	200	5
K ⁺ , mg/l	0,060	200	5
Αλκαλικότητα, mg/l	0,054	400	200

Από προκαταρκτικούς υπολογισμούς βρέθηκε ότι ο συγκεκριμένος WQI δεν έχει ευαισθησία ως προς την υπέρβαση της επιτρεπτής τιμής μίας παραμέτρου. Δηλαδή αν οι 13 από τις 14 παραμέτρους έχουν τις ιδεατές τιμές και η τιμή μίας παραμέτρου υπερβαίνει το όριο τότε η τιμή του WQI είναι <25 οπότε το νερό χαρακτηρίζεται ως εξαιρετικό, ακόμα και στην περίπτωση που αυτή η μία παράμετρος αφορά τοξική και επικίνδυνη ουσία. Προφανώς, νερό με υπέρβαση ορίων σε τοξικές ουσίες π.χ. εξασθενές χρώμιο δεν μπορεί να θεωρηθεί εξαιρετικό. Για να λυθεί αυτό το παράδοξο αναπτύχθηκε και ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία-αλγόριθμος για την αναβάθμιση του δείκτη ΥΔΩΡ:

Υπολογίζεται η % απόκλιση (A_i) της μετρηθείσας τιμής C_i από την επιτρεπτή τιμή S_i της παραμέτρου i από τον παρακάτω τύπο:

$$A_i = (S_i - C_i) / S_i * 100 \quad (10)$$

Τονίζεται ότι δεν χρησιμοποιείται η απόλυτη τιμή αλλά η διαφορά $S_i - C_i$. Για κάθε παράμετρο ορίζεται μια μεταβλητή Δ_i η οποία παίρνει τιμή 1 αν $A_i \leq 0$ (δηλαδή αν η μετρούμενη τιμή C_i είναι ίση ή μεγαλύτερη από την επιτρεπτή τιμή S_i) διαφορετικά παίρνει την τιμή 0. Στη συνέχεια για τις 14 παραμέτρους που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του WQI υπολογίζεται το άθροισμα των Δ_i , $\Sigma(\Delta_i)$. Το άθροισμα $\Sigma(\Delta_i)$ ισούται με τον αριθμό των παραμέτρων που παρουσιάζουν υπέρβαση του επιτρεπτού ορίου και θα χρησιμοποιηθεί σαν ένας υποδείκτης. Ο υποδείκτης αυτός ονομάζεται Δείκτης Υπερβάσεων Ορίων (Limit Exceed index, LEI) και $LEI = \Sigma(\Delta_i)$.

Αν $LEI = 0$ τότε σημαίνει ότι καμία παράμετρος δεν υπερβαίνει την επιτρεπτή τιμή και ο WQI υπολογίζεται από την εξίσωση (10) η οποία για τη συγκεκριμένη περίπτωση ταυτίζεται με την εξίσωση (5). Αν $LEI \neq 0$ τότε υπάρχει υπέρβαση σε τόσες παραμέτρους όσες η τιμή του LEI και ο τροποποιημένος WQI ΥΔΩΡ1 υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$WQI_{ΥΔΩΡ1} = 100 * LEI + \frac{\sum_{i=1}^n (q_i \times RW_i)}{\sum_{i=1}^n RW_i} \quad (11)$$

Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω νερό, με τιμή WQI στο εύρος 76-100 χαρακτηρίζεται ως οριακό ενώ για $WQI > 100$ χαρακτηρίζεται ως φτωχό. Με τη χρήση του όρου $100 * LEI$ στην εξίσωση 11, διασφαλίζεται ότι ακόμα και αν μια παράμετρος υπερβαίνει το επιτρεπτό όριο ($LEI=1$) στον υπολογιζόμενο WQI θα προστεθεί το 100, και άρα το νερό θα χαρακτηριστεί αυτομάτως φτωχό και σε καμία περίπτωση εξαιρετικό ή καλό. Χρησιμοποιώντας και τους δύο δείκτες (αρχικό και τροποποιημένο) και τους διαφορετικούς χαρακτηρισμούς της ποιότητας νερού που προκύπτουν από αυτούς, μπορεί να προκύψει μια πιο αντιπροσωπευτική εικόνα της ποιοτικής κατάστασης του νερού.

Γενικά οι δείκτες ποιότητας νερού χρησιμοποιούνται για μια γενική και γρήγορη αξιολόγηση ενός υδάτινου πόρου αλλά σε καμία περίπτωση δεν μπορούν να αντικαταστήσουν την εξονυχιστική μελέτη και αξιολόγηση μικροβιακών και φυσικοχημικών αναλύσεων. Αποτελούν ιδιαιτέρως εύχρηστα εργαλεία για μια γενική αξιολόγηση ειδικά σε περιπτώσεις με μεγάλο όγκο δεδομένων. Ο χαρακτηρισμός του νερού ως καλό κλπ. εμπεριέχει αναπόφευκτα και υποκειμενικά στοιχεία. Επίσης ο χαρακτηρισμός του νερού με βάση τον WQI εξαρτάται και από την χρήση για την οποία προορίζεται το νερό.

Ο νέος προτεινόμενος τροποποιημένος δείκτης ορίζει την ποιότητα του νερού με αρνητικό τρόπο. Δηλαδή ως εξαιρετικό νερό θεωρείται το νερό για το οποίο όλες οι μετρούμενοι

παράμετροι απέχουν το μέγιστο δυνατό από την επιτρεπτή τιμή και βρίσκονται όσο πιο κοντά στις ιδεατές τιμές. Έτσι ένα υπερκάθαρο νερό (με μηδενικές τιμές για όλες τις παραμέτρους) παρουσιάζει τιμή WQI ίση με 41,3 και χαρακτηρίζεται ως “καλό”. Φυσικά το υπερκάθαρο νερό δεν είναι καλό π.χ. για ύδρευση ή άρδευση. Ο προτεινόμενος δείκτης, λοιπόν εστιάζει στα επιτρεπτά όρια κυρίως και είναι ιδιαίτερα ευαίσθητος στις υπερβάσεις λόγω της χρήσης του όρου $100 * LEI$. Ο δείκτης αναπτύχθηκε με τέτοιο σκεπτικό γιατί οι υπερβάσεις σε κάποιες παραμέτρους όπως φώσφορος και άζωτο που αποτελούν βασικά θρεπτικά συστατικά, μπορούν να συσχετιστούν με αυξημένη μικροβιακή δραστηριότητα και άρα αυξημένες εκπομπές GHGs. Επίσης υπερβάσεις σε άλλες παραμέτρους παρέχουν πληροφορίες για τις περιβαλλοντικές πιέσεις που δέχονται τα επιφανειακά νερά της ευρύτερης περιοχής της Κοζάνης. Με τον τροποποιημένο δείκτη ακόμα και μια μικρή υπέρβαση σε μία και μόνο μετρούμενη παράμετρο είναι αρκετή για να χαρακτηριστεί το νερό “φτωχό”. Απεναντίας ο αρχικός δείκτης παρέχει πληροφορίες για την συνολικότερη εικόνα του νερού, και δεν είναι τόσο ευαίσθητος σε οριακές υπερβάσεις της επιτρεπτής τιμής.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΝΕΡΟΥ

Όπως προαναφέρθηκε τα αποτελέσματα αναλύσεων ποιότητας υδάτων των λιμνών συμβάλλουν στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων των εκπομπών αερίων. Επίσης ο έλεγχος της ποιότητας των νερών του Αλιάκμονα και των τεχνητών λιμνών είναι μείζονος σημασίας καθώς το νερό αυτό χρησιμοποιείται για διάφορους σκοπούς εκτός της παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας όπως ύδρευση, άρδευση, ψάρεμα και θαλάσσια σπορ. Όπως είχε αναφερθεί και στην προηγούμενη αναφορά, η δειγματοληψία υδάτων γινόταν τόσο από την επιφάνεια της λίμνης όσο και από το μέγιστο βάθος του σημείου δειγματοληψίας. Επειδή δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των μετρήσεων των δειγμάτων επιφάνειας και βάθους (όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 4, για το σημείο Πολύφυτος 2) θα παρουσιαστούν στη συνέχεια (πίνακες 5 έως 12) τα αποτελέσματα μόνο από το μέγιστο βάθος.

Πίνακας 4. Τιμές διαφόρων φυσικοχημικών παραμέτρων για δύο διαφορετικά βάθη (0.3 και 12 m) δειγματοληψίας στο σημείο Πολύφυτος 2.

Παράμετρος	βάθος (m)	Τιμή
pH	0,3	7,91
	12	8,18
αγωγιμότητα $\mu\text{S}/\text{cm}$	0,3	435
	12	437
χρώμα Hazen	0,3	9,62
	12	11,544
Θολερότητα NTU	0,3	2,13
	12	2,41
TSS mg/l	0,3	1
	12	2,5
NO_3^- mg/l	0,3	2,14
	12	2,85
NO_2^- $\mu\text{g}/\text{l}$	0,3	9,7
	12	13,4
NH_4^+ mg/l	0,3	0,0279
	12	0,0431
αλκαλικότητα mg/l	0,3	206
	12	204
σκληρότητα mg/l	0,3	224
	12	229,5
Cl^- mg/l	0,3	6,74
	12	8,74
TOC mg/l	0,3	3,31
	12	3,67
χλωροφύλλη mg/m ³	0,3	2,32
	12	2,32
Cr^{+6} $\mu\text{g}/\text{l}$	0,3	1,9
	12	3,5
TKN mg/l	0,3	1,68
	12	1,96
COD mg/l	0,3	8,3
	12	3,6
BOD mg/l	0,3	<20
	12	<20
TP mg/l	0,3	0
	12	0
Na^+ mg/l	0,3	5
	12	4,5
K^+ mg/l	0,3	2,45
	12	1,6

Στους πίνακες 5-12 παρουσιάζονται οι τιμές επιλεγμένων μετρήσεων των φυσικοχημικών παραμέτρων για όλες τις δειγματοληψίες και όλα σημεία. Οι παράμετροι αυτές παρουσιάζουν μεγαλύτερο ενδιαφέρον λόγω των χωρικών/χρονικών διακυμάνσεων στις τιμές τους. Οι τιμές των υπόλοιπων παραμέτρων (π.χ. εξασθενές χρώμιο) παρατίθενται στο Παράρτημα Ι. Γενικά παρατηρείται χρονική διακύμανση της ποιότητας των υδάτων του ποταμού Αλιάκμονα (Παλιουριά) όπου λόγω του μικρού βάθους μεταβάλλεται η συγκέντρωση των φυσικοχημικών παραμέτρων είτε από φυσικά αίτια π.χ. απορροές είτε από ανθρωπογενείς παρεμβάσεις.

Πίνακας 5. Τιμές pH των υδάτων για όλες τις δειγματοληψίες

pH					
Δειγματοληψία	Ζάζαρη	Ιλαρίωνας 1	Πολύφυτος 1	Πολύφυτος 2	Παλιουριά
1	8,35	7,76	7,75	8,18	8,37
2	7,77	8,27	7,51	8,25	8,59
3	7,51	8,57	8,29	8,49	8,27
4	8,1	8,02	8,64	8,20	7,88
5	9,1	8,01	7,87	8,43	
6				7,91	
7				8,50	

Πίνακας 6. Τιμές αγωγιμότητας των υδάτων για όλες τις δειγματοληψίες

αγωγιμότητα σε $\mu\text{S}/\text{cm}$					
Δειγματοληψία	Ζάζαρη	Ιλαρίωνας 1	Πολύφυτος 1	Πολύφυτος 2	Παλιουριά
1	190,5	396	428	437	1532
2	166,8	375	414	433	341
3	166,2	368	352	436	720
4	170	387	371	366	392
5	183,5	414	411	383	
6				406	
7				425	

Ειδικότερα, στην 1^η δειγματοληψία του σημείου “Γέφυρα Παλιουριάς” οι τιμές αγωγιμότητας καθώς και τιμές συγκέντρωσης σε Cl^- και Na^+ είναι ιδιαίτερως αυξημένες λόγω ανθρωπογενών αιτιών, ενδεχομένως λόγω ρίψης υγρών αποβλήτων τυροκομείων. Στις υπόλοιπες δειγματοληψίες του σημείου “Γέφυρα Παλιουριάς” οι τιμές αυτών των παραμέτρων ελαττώθηκαν σε πιο φυσιολογικά επίπεδα και σε γενικές γραμμές βρίσκονται

σε συμφωνία με τις αντίστοιχες τιμές των τεχνητών λιμνών Πολυφύτου και Ιλαρίωνα. Για παράδειγμα η συγκέντρωση ιόντων Na^+ στην Παλιουριά (το νερό αυτής αποτελεί την τροφοδοσία των λιμνών) και στα 3 σημεία δειγματοληψίας των τεχνητών λιμνών είναι της ίδιας τάξης και παρουσιάζει μικρή διακύμανση από 2,5 ως 8,5 mg/l. Αντίστοιχα οι διακυμάνσεις για την πλειοψηφία των υπόλοιπων παραμέτρων είναι μικρή π.χ. χλωριόντα, αγωγιμότητα, pH.

Πίνακας 7. Τιμές αλκαλικότητας των υδάτων για όλες τις δειγματοληψίες

Αλκαλικότητα σε mg/l					
Δειγματοληψία	Ζάζαρη	Ιλαρίωνας 1	Πολύφυτος 1	Πολύφυτος 2	Παλιουριά
1	90,0	158,0	214,0	204,0	214,0
2	3,6	184,0	202,0	186,0	161,0
3	67,0	170,0	207,0	196,0	178,0
4	79,3	184,8	190,0	210,0	190,4
5	198,9	199,0	255,8	192,0	
6				199,2	
7				203,4	

Πίνακας 8. Τιμές χλωρίδων Cl^- των υδάτων για όλες τις δειγματοληψίες

Cl^- σε mg/l					
Δειγματοληψία	Ζάζαρη	Ιλαρίωνας 1	Πολύφυτος 1	Πολύφυτος 2	Παλιουριά
1	4,7	5	6,5	8,7	329,9
2	1,8	4,3	5,0	6,3	5,7
3	4,7	5,5	5,3	14,5	8,2
4	4,5	6,3	5,4	5,9	6,5
5	4,8	6,3	5,1	5,5	
6				5,3	
7				5,3	

Πίνακας 9. Τιμές ιόντων νατρίου Na^+ των υδάτων για όλες τις δειγματοληψίες

Na ⁺ σε mg/l					
Δειγματοληψία	Ζάζαρη	Ιλαρίωνας 1	Πολύφυτος 1	Πολύφυτος 2	Παλιουριά
1	7,4	3,2	4,2	4,5	43,2
2	7,8	2,5	3,5	4,1	7,2
3	7,3	5,6	6,0	4,4	8,3
4	8,2	6,7	6,4	6,1	7,0
5	8,4	7,1	6,5	6,6	
6				6,6	
7				6,8	

Η σχετικά παρόμοια σύσταση του νερού της Παλιουριάς και των τεχνητών λιμνών οφείλεται και στη συνεχή λειτουργία των Υδροηλεκτρικών Σταθμών (ΥΗΣ) Ιλαρίωνα και Πολυφύτου από τον Απρίλιο ως και τον Ιούλιο 2018 που προκαλούν ανάδευση των υδάτων. Γενικά οι ΥΗΣ/ΔΕΗ τίθενται σε λειτουργία για πολύ μικρό χρονικό διάστημα ετησίως και κυρίως υποβοηθητικά ή σε περίπτωση κινδύνου υπερχειλίσης των φραγμάτων. Κατά τη διάρκεια του 2018 όμως και λόγω των αυξημένων βροχοπτώσεων κατά την άνοιξη και το καλοκαίρι (που συνεπάγεται μειωμένες απαιτήσεις σε νερό για αγροτική χρήση), η στάθμη των λιμνών ήταν αυξημένη με συνέπεια την λειτουργία των ΥΗΣ για τέσσερις μήνες. Η λειτουργία των ΥΗΣ προκαλεί συνεχή ροή του νερού στις λίμνες με αποτέλεσμα την, σε κάποιο βαθμό, ομογενοποίηση του νερού και την απουσία ή την ελάττωση της πιθανότητας εμφάνισης τοπικών διακυμάνσεων των τιμών των παραμέτρων ποιότητας των υδάτων.

Πίνακας 10. Τιμές αμμωνιακών ιόντων NH_4^+ των υδάτων για όλες τις δειγματοληψίες

αμμωνιακά σε mg/l					
Δειγματοληψία	Ζάζαρη	Ιλαρίωνας 1	Πολύφυτος 1	Πολύφυτος 2	Παλιουριά
1	0,06	0	0,01	0,04	0,02
2	0,48	0,50	0,09	0	0,02
3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
4	0,01	0,02	0,01	0,01	0,06
5	0,01	0,01	0,01	0,01	
6				0,01	
7				0,05	

Πίνακας 11. Τιμές θολερότητας των υδάτων για όλες τις δειγματοληψίες

Θολερότητα NTU					
Δειγματοληψία	Ζάζαρη	Ιλαρίωνας 1	Πολύφυτος 1	Πολύφυτος 2	Παλιουριά
1	6,5	2,3	1,5	2,5	28,9
2	20,3	2,7	0,5	2,8	6,21
3	0,2	1,8	0,1	4,6	0,1
4	0,4	0,1	0,1	0,1	0,9
5	0,1	1,0	0,5	1,1	
6				0,4	
7				0,1	

Πίνακας 12. Τιμές χλωροφύλλης των υδάτων για όλες τις δειγματοληψίες. Μέσα στην παρένθεση δίνονται οι τιμές φεοφυτίνης α.

χλωροφύλλη α (φεοφυτίνη α) σε mg/m ³					
Δειγματοληψία	Ζάζαρη	Ιλαρίωνας 1	Πολύφυτος 1	Πολύφυτος 2	Παλιουριά
1					
2	17,4 (23,5)	0,8 (0)	2,6 (0,3)	2,3 (0)	1,3 (0)
3	19,7 (23)	2,5 (0)	1,2 (0,2)	2 (0)	1,1 (0)
4	20,9 (14)	1 (0)	2,4 (1,9)	1,2 (0,2)	0,2 (0,1)
5	(4,87)	1,3 (3,2)	2,2 (1,1)	8 (20,1)	
6				1,4 (0,1)	
7				2,1 (0,28)	

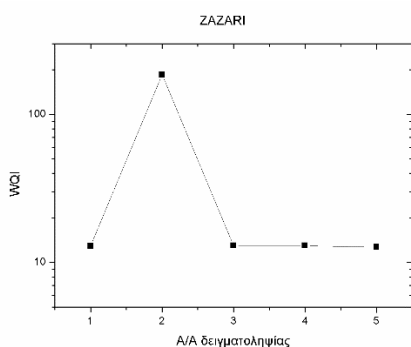
Η συνολική εικόνα του νερού της φυσικής λίμνης της Ζάζαρης είναι αρκετά διαφορετική. Το νερό είναι λιγότερο σκληρό (η σκληρότητα των νερών των τεχνητών λιμνών είναι αναμενόμενη αν ληφθεί υπόψη η ύπαρξη ασβεστολιθικών πετρωμάτων στο Ν. Κοζάνης) και γενικότερα φτωχό σε ιόντα καθώς έχει χαμηλή αγωγιμότητα. Στο νερό της Ζάζαρης μετρήθηκε υψηλή συγκέντρωση αμμωνιακών (στα όρια του πόσιμου νερού), αυξημένη θολερότητα και ιδιαιτέρως αυξημένη συγκέντρωση σε χλωροφύλλη α και φεοφυτίνη α (προϊόν αποικοδόμησης της χλωροφύλλης). Γενικά στην λίμνη Ζάζαρη υπάρχουν ενδείξεις ευτροφισμού. Οι αυξημένες τιμές χλωροφύλλης αποτελούν σαφή ένδειξη της ύπαρξης φωτοσυνθετικών οργανισμών.

Σχετικά με το διαλυμένο οξυγόνο που μετρήθηκε, γενικά σε όλες τις λίμνες αυτό είναι αυξημένο και κυμαίνεται $\pm 10\%$ από τα όρια κορεσμού. Εξάιρεση αποτελεί η Ζάζαρη όπου παρατηρήθηκε υπερκορεσμός σε οξυγόνο μέχρι και 150% . Αυτό οφείλεται στην αυξημένη δραστηριότητα των φωτοσυνθετικών οργανισμών οι οποίοι καταναλώνουν CO_2 και απελευθερώνουν οξυγόνο.

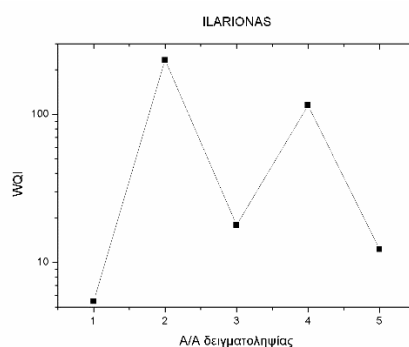
3.2 ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΔΑΤΩΝ

Στην εικόνα 4 παρουσιάζονται οι τιμές που λαμβάνει ο τροποποιημένος WQI (ΥΔΩΡ1) για τις μετρήσεις όλων των δειγματοληψιών που πραγματοποιήθηκαν στα 5 σημεία δειγματοληψίας. Η κλίμακα του άξονα Y (τιμή WQI) είναι λογαριθμική. Όπως φαίνεται στην εικόνα 4, όποτε υπάρχει μία υπέρβαση η τιμή του WQI εκτοξεύεται σε τιμές > 100 , όταν υπάρχουν 2 υπερβάσεις η τιμή του ξεπερνάει το 200 κοκ. Σε όλα τα σημεία σε τουλάχιστον μια δειγματοληψία ανιχνεύτηκε κάποια υπέρβαση. Στη Γέφυρα Παλιουριάς ανιχνεύτηκε υπέρβαση σε Cl^- και NO_2^- . Στα υπόλοιπα σημεία, οριακές υπερβάσεις ανιχνεύτηκαν στα NO_2^- και υπολογίσιμες υπερβάσεις σε ολικό φώσφορο. Στη Ζάζαρη ανιχνεύτηκαν και οριακές τιμές NH_4^+ . Με εξαίρεση το σημείο Γέφυρα Παλιουριάς, όπου σε 3 από τις 4 δειγματοληψίες υπήρξε κάποια υπέρβαση, στα υπόλοιπα σημεία οι υπερβάσεις ήταν σποραδικής φύσης, και ειδικά στα δύο σημεία δειγματοληψίας στη λίμνη Πολυφύτου υπήρξαν περιπτώσεις όπου οι τιμές του WQI ήταν μικρότερες του 10 κάτι που υποδεικνύει εξαιρετική ποιοτική κατάσταση του νερού. Οι οριακές υπερβάσεις σε νιτρώδη που ανιχνεύτηκαν και με εξαίρεση την περίπτωση της Ζάζαρης δεν συνοδεύονται από υψηλές τιμές σε αμμωνιακά ή νιτρικά και έτσι δεν τίθεται θέμα νιτρορρύπανσης,. Στον πίνακα 12 είχαν παρουσιαστεί οι τιμές χλωροφύλλης α και φεοφυτίνης α για όλα τα σημεία δειγματοληψίας. Η παρουσία νιτρωδών ενδεχομένως να οφείλεται σε αποσύνθεση της βιομάζας φωτοσυνθετικών οργανισμών η παρουσία της οποίας πιστοποιείται από την ύπαρξη φεοφυτίνης η οποία είναι προϊόν αποικοδόμησης της χλωροφύλλης. Εκτός της Ζάζαρης, οι τιμές χλωροφύλλης και φεοφυτίνης κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα και αρκετά κάτω από το μέσο μηνιαίο όριο χλωροφύλλης (15 mg/m^3) που έχει θεσπιστεί για την Λίμνη Βεγορίτιδα η οποία βρίσκεται πολύ κοντά στους υπό εξέταση ταμιευτήρες. Αντίθετα στη λίμνη Ζάζαρη σε όλες τις δειγματοληψίες βρέθηκαν τιμές χλωροφύλλης πάνω από το όριο και η μέση ετήσια τιμή συγκέντρωση χλωροφύλλης είναι ίση με $18,9 \text{ mg/m}^3$ και μέσα στο εύρος συγκεντρώσεων ($8\text{-}25 \text{ mg/m}^3$) που παρουσιάζουν οι ευτροφικές λίμνες [7]. Επίσης οι συγκεντρώσεις ολικού φώσφορου που ανιχνεύτηκαν (οι τιμές δίνονται στο παράρτημα) κυμαίνονται στα όρια τιμών μεσοτροφικών

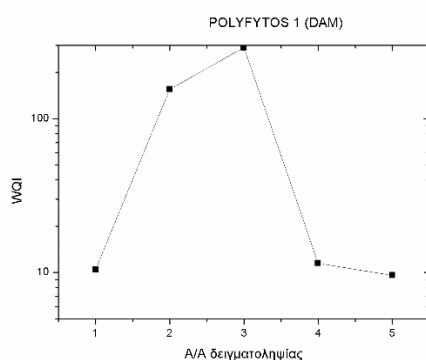
και ευτροφικών λιμνών (0,01-0,035 και 0,035-0,1 mg/L αντιστοίχως) [7]. Σε δειγματοληψία ύδατος από τον πυθμένα της λίμνης Ζάζαρης βρέθηκε τιμή ολικού φωσφόρου ίση με 2,88 mg/L. Η θορελότητα της λίμνης είναι αυξημένη με χαμηλή διαφάνεια. Επίσης, οι αυξημένες τιμές εκπομπών CH₄ που παρατηρήθηκαν στη λίμνη Ζάζαρη συνηγορούν στην ύπαρξη ανοξικών συνθηκών στον πυθμένα της λίμνης. Για τις ευτροφικές λίμνες στον πυθμένα τους ο ελάχιστος %κορεσμός σε O₂ κυμαίνεται μεταξύ 0 και 40 [7]. Γίνεται σαφές ότι η Ζάζαρη παρουσιάζει σαφή στοιχεία ευτροφισμού και ότι πρόκειται λίμνη που έχει δεχτεί υψηλές πιέσεις. Αντίθετα στις λίμνες Πολυφύτου και Ιλαρίωνα ανιχνεύτηκαν τιμές ολικού φωσφόρου στα όρια των ευτροφικών και μεσοτροφικών λιμνών ενώ οι χαμηλές τιμές χλωροφύλλης που μετρήθηκαν καθ' όλη τη διάρκεια του έτους βρίσκονται εντός των ορίων (μέση ετήσια συγκέντρωση χλωροφύλλης 2,5 mg/m³ και μέγιστη μετρούμενη τιμή 8 mg/m³) των oligotrophic λιμνών [7]. Αυτές λίμνες βρίσκονται στα όρια oligotrophic και μεσοτροφισμού.



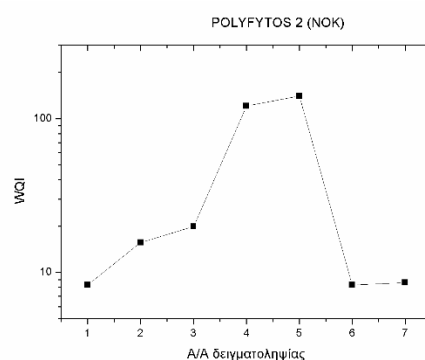
A)



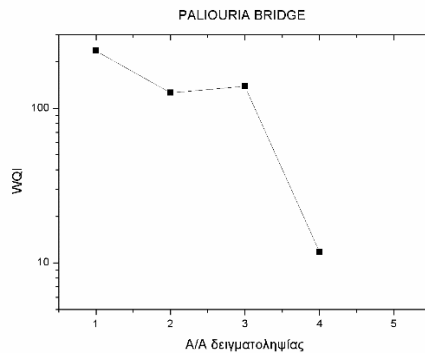
B)



Γ)



Δ)



Ε)

Εικόνα 4. Τιμές τροποποιημένου WQI για όλες τις δειγματοληψίες-χρονικές στιγμές Α) Ζάζαρη, Β) Ιλαρίωνας, Γ) Πολύφυτος 1 (Φράγμα), Δ) Πολύφυτος 2 (ΝΟΚ), Ε) Γέφυρα Παλιουριάς

Ο δείκτης που χρησιμοποιήθηκε δεν λαμβάνει υπόψη του την χλωροφύλλη α, η τιμή της οποίας, όπως προαναφέρθηκε, αποτελεί βασικό δείκτη για τον χαρακτηρισμό μιας λίμνης ως ευτροφικής και για αυτό και το νερό της Ζάζαρης αν και χαμηλότερης ποιότητας από τα υπόλοιπα νερά, δεν έχει μεγάλη διαφορά στην τιμή του WQI.

Η χρονική διακύμανση του WQI που παρουσιάστηκε στην εικόνα 4 παρέχει πληροφορίες για την χρονική διακύμανση της ποιοτικής κατάστασης του νερού και σε κάποιο βαθμό δείχνει της περιβαλλοντικές πιέσεις που δέχεται κάποιος ταμιευτήρας. Αν υπολογιστεί ο WQI μία φορά για κάθε σημείο δειγματοληψίας χρησιμοποιώντας τις μέσες τιμές των παραμέτρων, τότε μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για την συνολική εικόνα του νερού. Στον πίνακα 13 παρουσιάζονται οι τιμές του αρχικού και τροποποιημένου WQI που υπολογίστηκαν από τις μέσες τιμές των παραμέτρων για κάθε σημείο. Οι δύο δείκτες συμφωνούν στον χαρακτηρισμό του νερού ως “εξαιρετικό” για την περίπτωση του ταμιευτήρα Ιλαρίωνα. Παρόλο που και στον Ιλαρίωνα χρονικά βρέθηκαν κάποιες υπερβάσεις αυτές δεν ήταν σημαντικές και έτσι κατά μέση τιμή δεν υπάρχει κάποια υπέρβαση. Στα υπόλοιπα νερά κατά μέση τιμή υπάρχουν υπερβάσεις και έτσι με τον τροποποιημένο δείκτη όλα τα νερά χαρακτηρίζονται ως “φτωχά”. Με τον αρχικό δείκτη, το νερό της Ζάζαρης και του Πολύφυτου 1 (Φράγμα) χαρακτηρίζονται ως καλά, ενώ τα υπόλοιπα ως “εξαιρετικά”.

Από την αντίθεση στον χαρακτηρισμό του νερού που προκύπτει από τους δύο δείκτες μπορούν να γίνουν κάποιες παρατηρήσεις. Όταν το νερό χαρακτηρίζεται με τον ένα δείκτη “φτωχό” και με τον άλλο δείκτη ως “εξαιρετικό” μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι γενικά το νερό έχει καλά ποιοτικά χαρακτηριστικά και υπάρχουν λίγες και οριακές υπερβάσεις.

Αντίθετα, όταν ο χαρακτηρισμός των δύο δεικτών τείνει να συμφωνήσουν αυτό υποδεικνύει μια πιο επιβαρυσμένη κατάσταση του νερού.

Εν κατακλείδι, με εξαίρεση την Ζάζαρη τα υπόλοιπα νερά που εξετάστηκαν μπορούν να χαρακτηριστούν καλά ή και εξαιρετικά. Το σημείο δειγματοληψίας Πολύφυτος¹ αν και έχει επαρκές βάθος, βρίσκεται κοντά στην ακτή της λίμνης και με την αυξομείωση της στάθμης βιομάζα (θάμνοι, κλαδιά κλπ.) από την ακτή παρασύρεται εντός της λίμνης. Σε αυτό πρέπει να αποδοθεί και η αυξημένη τιμή χλωροφύλλης που παρατηρήθηκε μια φορά σε αυτό το σημείο, και όχι σε μια γενικότερη επιβάρυνση του νερού όπως στην περίπτωση της Ζάζαρης.

Πίνακας 13. Τιμές του τροποποιημένου ΥΔΩΡ¹ και σε παρένθεση τιμές του αρχικού ΥΔΩΡ και ο αντίστοιχος χαρακτηρισμός του νερού με βάση τις μέσες τιμές των παραμέτρων από πολλές δειγματοληψίες.

Σημείο Δειγματοληψίας	Τιμές ΥΔΩΡ 1 (ΥΔΩΡ)	Χαρακτηρισμός νερού με βάση τον ΥΔΩΡ ¹ (Χαρακτηρισμός νερού με βάση τον ΥΔΩΡ)
Ζάζαρη	144,6 (44,6)	Φτωχό (Καλό)
Ιλαρίωνας	16,4 (16,4)	Εξαιρετικό (Εξαιρετικό)
Πολύφυτος 1(Φράγμα)	146,2 (46,2)	Φτωχό (Καλό)
Πολύφυτος 2 (ΝΟΚ)	122 (22)	Φτωχό (Εξαιρετικό)
Γέφυρα Παλιουριάς	125,3 (25,3)	Φτωχό (Εξαιρετικό)

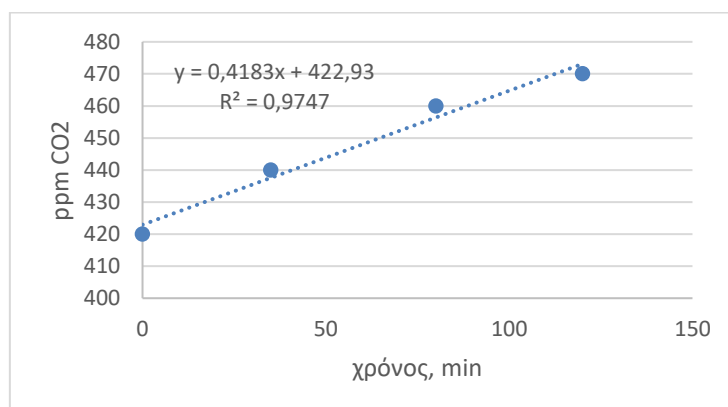
3.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Στον πίνακα 14 παρουσιάζονται οι ειδικές εκπομπές CO₂ και CH₄ από εδάφη περίξ των τεχνητών λιμνών και περίξ της φυσικής λίμνης Ζάζαρης. Στη μέτρηση του Απριλίου όπου ακόμα η θερμοκρασία του εδάφους δεν είχε αυξηθεί ιδιαίτερα, μετρήθηκαν χαμηλές εκπομπές CO₂ και μηδενική εκπομπή CH₄. Στις επόμενες μετρήσεις παρατηρείται σημαντική αύξηση των εκπομπών και για τα δύο αέρια.

Πίνακας 14. Ροές (flux) εκπομπής CO₂ και CH₄ από εδάφη πέριξ των τεχνητών λιμνών και
πέριξ της φυσικής λίμνης Ζάζαρης,

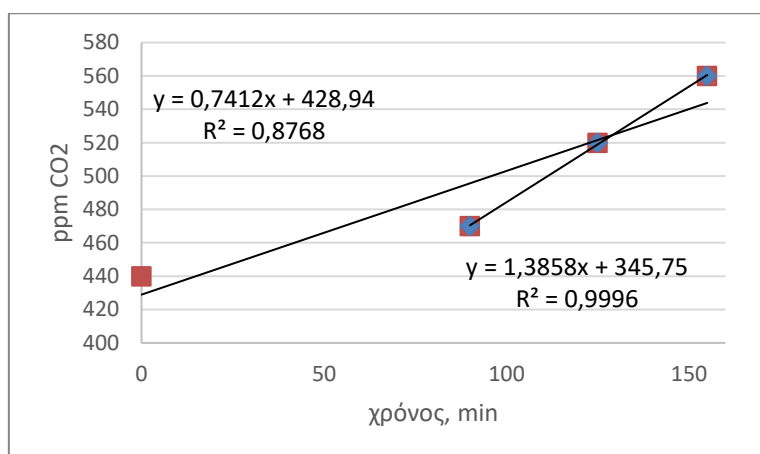
ΕΔΑΦΟΣ					
Πέριξ τεχνητών λιμνών			Πέριξ Ζάζαρης		
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	flux CO₂ (mg/m²/day)	flux CH₄ (mg/m²/day)	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	flux CO₂ (mg/m²/day)	flux CH₄ (mg/m²/day)
Πλάτη Φράγματος Πολυφύτου 20/4/2018	240	0	15/5/2018	3692	0
Γέφυρα Σερβίων 25/7/2018	1333	35	25/7/2018	1143	6995
Φράγμα Ιλαρίωνα 29/8/2019	97	0			
Φράγμα Πολυφύτου 18/10/2018	400	135			

Γενικά η εκτίμηση των εκπομπών αερίων από το έδαφος απαιτεί πολλές μετρήσεις σε διάφορα σημεία με διαφορετική σύσταση και κάλυψη του εδάφους. Όλα αυτά δεν αποτελούν αντικείμενο του παρόντος έργου. Η χρησιμότητα των σποραδικών μετρήσεων των εκπομπών από το έδαφος, στα πλαίσια του έργου, έγκειται στην εκτίμηση της συγκέντρωσης αερίων στο περιβάλλοντα χώρο των λιμνών. Κατά την μέτρηση υπεισέρχονται διάφορα σφάλματα λόγω του αέρα. Αυτό μπορεί να δώσει κάποιο σφάλμα στον υπολογισμό της ροής εκπομπών όπως φαίνεται στις εικόνες 5 και 6.



Εικόνα 5. Παράδειγμα υπολογισμού του dC/dt για το CO₂ για την μέτρηση στο σημείο
Πολύφυτος 2 στις 29/3/2018

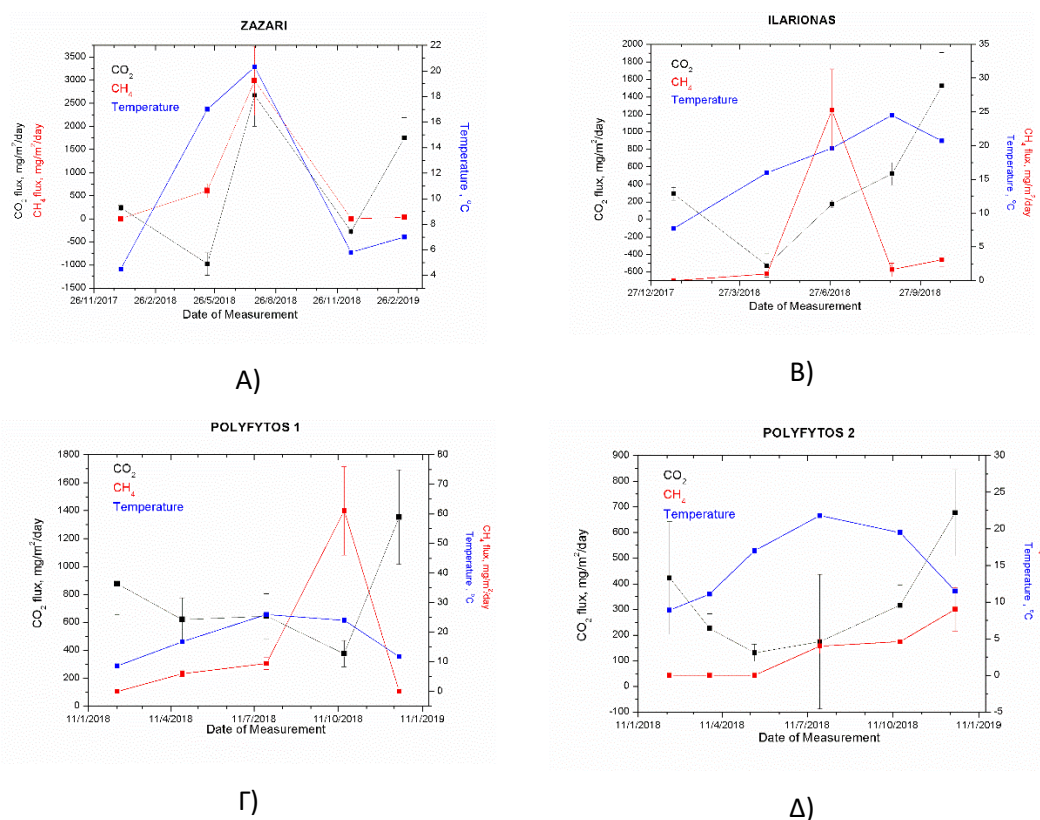
Στην εικόνα 5 φαίνεται ότι η συγκέντρωση CO₂ η οποία μετρήθηκε σε χρόνο 0 συγκλίνει γραμμικά με τις υπόλοιπες τιμές για τους άλλους χρόνους. Αντίθετα στην εικόνα 6 φαίνεται ότι οι 3 τελευταίες τιμές έχουν πολύ καλή γραμμικότητα ($R^2=0,999$) ενώ αν ληφθεί υπόψη και η συγκέντρωση σε χρόνο 0 τότε ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης πέφτει στο 0,877. Καμπύλες εκπομπών τέτοιας μορφής οφείλονται κατά πάσα πιθανότητα στην αλλοίωση της συγκέντρωσης σε χρόνο μηδέν από τον άνεμο ή σε τυχαίο πειραματικό σφάλμα κατά την δειγματοληψία. Γενικά έλλειψη γραμμικότητας όπως αυτή που παρουσιάζεται στην εικόνα 6, υπήρξε σε ελάχιστες περιπτώσεις. Σε αυτές τις περιπτώσεις αρχικά, για τον υπολογισμό του flux χρησιμοποιούνταν τα σημεία με την καλύτερη γραμμικότητα. Κατά την τελική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων κρίθηκε πιο σωστό να υπολογίζεται το flux και λαμβάνοντας υπόψη τα σημεία με την καλύτερη γραμμικότητα και όλα τα σημεία και να υπολογίζεται ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση.



Εικόνα 6. Παράδειγμα υπολογισμού του dC/dt για το CO₂ για την μέτρηση στο σημείο Πολύφυτος 2 στις 14/2/2018

Στην εικόνα 7 παρουσιάζονται οι ροές εκπομπής (flux) CO₂ και CH₄ και η θερμοκρασία νερού για τις διάφορες ημερομηνίες δειγματοληψίας για όλα τα σημεία δειγματοληψίας (εκτός του σημείου Γέφυρα Παλιουριάς στο οποίο έγιναν μόνο δειγματοληψίες ύδατος). Συγκρίνοντας αρχικά τις εκπομπές ανάμεσα σε CO₂ και CH₄, στις τεχνητές λίμνες, οι εκπομπές CO₂ είναι τάξεις μεγέθους υψηλότερες και υφίστανται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους (χειμώνα-καλοκαίρι). Αντίθετα το CH₄ αρχίζει να εμφανίζεται με την άνοδο της θερμοκρασίας και μετά τον Απρίλιο. Οι τιμές των ροών εκπομπής στα δύο σημεία του Πολυφύτου είναι της ίδιας τάξης μεγέθους. Μετρήσεις στα 2 σημεία οι οποίες έγιναν την ίδια μέρα (25/7/2018) είναι σχεδόν ίδιες. Οι ροές εκπομπής CO₂ επηρεάζονται, ανάμεσα σε άλλους παράγοντες, από τους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς, οπότε η ηλιοφάνεια κατά τη διάρκεια τη μέτρησης μπορεί

να επηρεάσει την κατανάλωση CO₂ από αυτούς (carbon fixation). Οι ροές εκπομπής CH₄ για τα δύο σημεία του Πολυφύτου είναι παραπλήσιες.



Εικόνα 7. Flux CO₂ και CH₄ και θερμοκρασία νερού για τις διάφορες ημερομηνίες δειγματοληψίας στα σημεία δειγματοληψίας Α) Ζάζαρη, Β) Ιλαρίωνας, Γ) Πολύφυτος 1 (Φράγμα Πολυφύτου), Δ) Πολύφυτος 2 (ΝΟΚ).

Όσον αφορά στη χρονική μεταβολή των ροών εκπομπής για τα δύο σημεία δειγματοληψίας στον Πολύφυτο, είναι φανερό ότι την άνοιξη με την άνοδο της θερμοκρασίας η εκπομπή CO₂ μειώνεται, σε σχέση με το χειμώνα, ενώ το καλοκαίρι κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα με την άνοιξη. Η μείωση των εκπομπών CO₂ την άνοιξη συνδέεται με την αύξησης της ηλιοφάνειας και της διάρκειας της ημέρας (σε σχέση με τον χειμώνα) που συνεπάγονται αυξημένη φωτοσυνθετική δραστηριότητα.

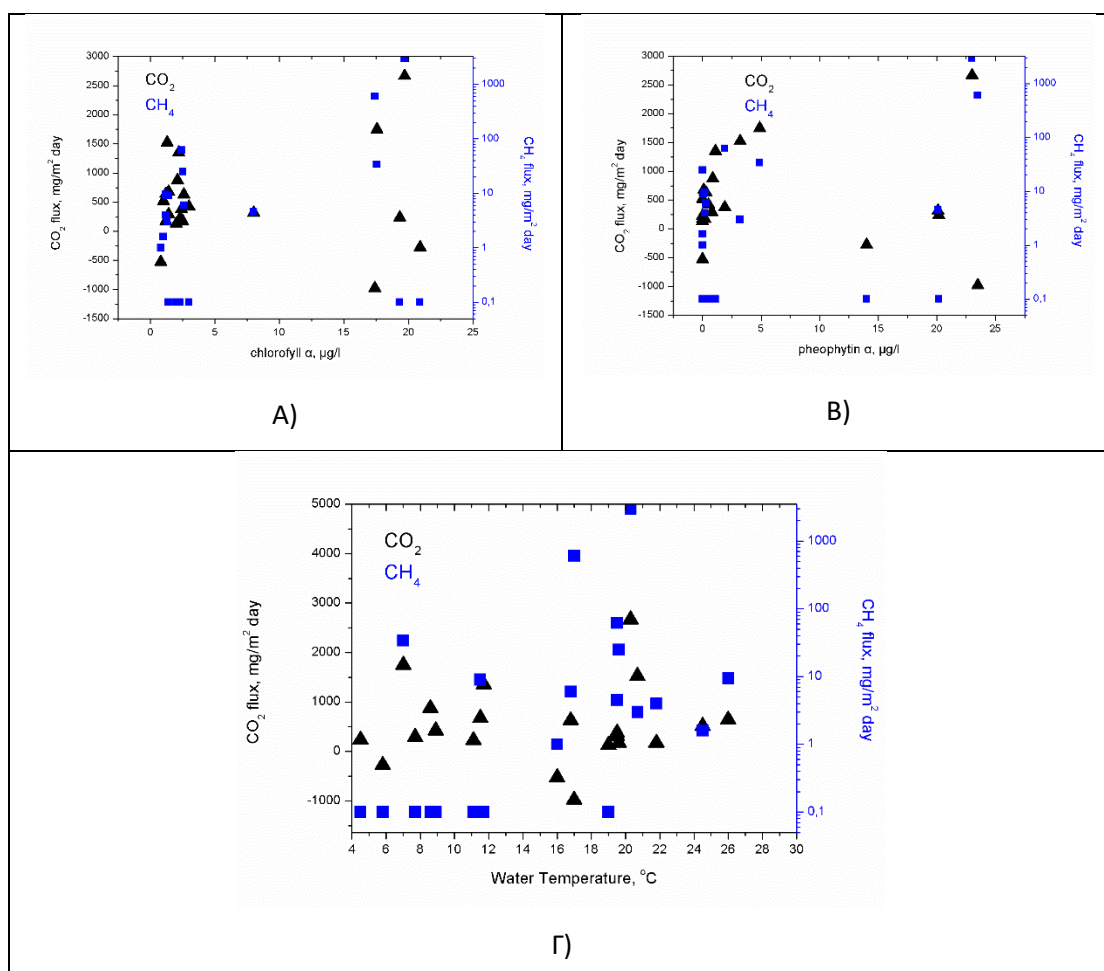
Παρόμοια μείωση στις εκπομπές CO₂ κατά την άνοιξη παρατηρήθηκε και στη Ζάζαρη και τον Ιλαρίωνα με τη διαφορά ότι η μείωση ήταν τόσο μεγάλη ώστε η ροή εκπομπής να παίρνει αρνητικές τιμές, δηλαδή οι λίμνες σε αυτό το σημείο καταναλώνουν CO₂. Αντίθετα με τα σημεία στη Λίμνη Πολυφύτου, στη Ζάζαρη και τον Ιλαρίωνα το καλοκαίρι παρατηρείται αύξηση των εκπομπών CO₂. Επίσης παρατηρείται ότι κατά τους θερινούς μήνες αυτές οι αυξημένες εκπομπές CO₂ μετρήθηκαν όταν κατά την προηγούμενη δειγματοληψία είχαν

μετρηθεί αυξημένες εκπομπές CH₄. Το ίδιο παρατηρήθηκε μια φορά και στον Πολύφυτο 1 (Φράγμα) όπου στην προτελευταία δειγματοληψία μετρήθηκαν ασυνήθιστα, για το συγκεκριμένο σημείο, υψηλές εκπομπές CH₄ και στην επόμενη και τελευταία δειγματοληψία μετρήθηκαν οι υψηλότερες για το σημείο εκπομπές CO₂. Αυτό ενδεχομένως να συμβαίνει αφενός λόγω της οξείδωσης μέρους του CH₄ σε CO₂ [1] και αφετέρου λόγω αυξημένης θερμοκρασίας, ηλιοφάνειας και μικροβιακής δραστηριότητας και παραγωγής CO₂ από μη φωτοσυνθετικούς οργανισμούς [8]. Η ροή εκπομπής CH₄ στην Ζάζαρη είναι τάξεις μεγέθους υψηλότερη από αυτή των τεχνητών λιμνών. Είναι γνωστό ότι η παραγωγή CH₄ γίνεται υπό αναερόβιες συνθήκες (απουσία οξυγόνου) και αυτό έρχεται σε αντίθεση με τις υψηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου που παρατηρήθηκαν στη Ζάζαρη. Σύμφωνα με πληροφορίες κατοίκων του χωριού πέριξ της Ζάζαρης, μέχρι και πριν 3-5 χρόνια η λίμνη ήταν αποδέκτης αστικών λυμάτων από διάφορα χωριά με αποτέλεσμα το σχηματισμό στο βυθό της λίμνης στρώματος λάσπης πλούσιο σε οργανικά συστατικά. Αυτό το στρώμα λάσπης υφίσταται ως ίζημα ή αιώρημα στον πυθμένα της λίμνης, στο οποίο λόγω απουσίας κυματισμού και ανάμιξης των υδάτων, επικρατούν αναερόβιες συνθήκες. Το οξυγόνο που παράγουν οι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί σε σημεία με αυξημένο φως, πιο κοντά στην επιφάνεια της λίμνης, δεν μπορεί να φθάσει στον πυθμένα της λίμνης. Επομένως, το CH₄ που μετρήθηκε παράγεται από βιοχημικές διεργασίες στον πυθμένα της λίμνης (βάθος 6-7 m έναντι 8-15 m για τις άλλες λίμνες) της Ζάζαρης και άρα η πιο ταχεία αλλαγή της θερμοκρασίας σε αυτήν, οφείλεται και για την ταχύτερη εμφάνιση του CH₄. Επίσης αν και για τη δημιουργία ανοξικών συνθηκών που είναι απαραίτητες για τον σχηματισμό CH₄ είναι απαραίτητο ένας βάθος τουλάχιστον 10-12m [1], στην Ζάζαρη παρά το χαμηλό βάθος οι ανοξικές συνθήκες στον πυθμένα της λίμνης ευνοούνται και από τις ευτροφικές συνθήκες που επικρατούν σε αυτήν.

3.4 ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ GHGs ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητό ότι οι εκπομπές GHG's είναι αποτέλεσμα μιας πληθώρας φαινομένων φυσικοχημικών και μικροβιακών και εξαρτώνται από διάφορες παραμέτρους, όπως ηλιοφάνεια, διάρκεια ημέρας, θερμοκρασία νερού, σύσταση του νερού. Η μείωση των ροών εκπομπής CO₂ κατά την άνοιξη με την άνοδο της θερμοκρασίας οφείλεται στους φωτοσυνθετικούς μικροοργανισμούς. Σε όλες τις λίμνες βρέθηκε χλωροφύλλη και όπως ήδη αναφέρθηκε στην Ζάζαρη πάρα πολύ υψηλές τιμές. Το ηλιακό φως μειώνεται μέσα στη λίμνη με το βάθος. Την άνοιξη λοιπόν σε χαμηλά βάθη έχουν αρκετό φως διαθέσιμο έτσι

ώστε να φωτοσυνθέσουν και να καταναλώσουν CO₂. Το καλοκαίρι καθώς η θερμοκρασία της λίμνης αυξάνεται σε όλο το βάθος άλλοι μη φωτοσυνθετικοί οργανισμοί αρχίζουν να δρουν οι οποίοι παράγουν CO₂ και CH₄ με ρυθμό μεγαλύτερο από αυτόν που μπορούν να καταναλώσουν οι φωτοσυνθετικοί και έτσι η εκπομπή CO₂ αυξάνεται και παίρνει θετικές τιμές ξανά. Επίσης μέρος του CH₄ οξειδώνεται σε CO₂ [1] προκαλώντας επίσης αύξηση των εκπομπών CO₂. Έγινε λοιπόν προσπάθεια να βρεθούν πιθανές συσχετίσεις μεταξύ των εκπομπών GHG's και των συγκεντρώσεων χλωροφύλλης α και φεοφυτίνης α καθώς και της θερμοκρασίας νερού. Στην εικόνα 8 παρουσιάζονται για όλα τα σημεία και ημερομηνίες δειγματοληψίας οι εκπομπές CO₂ και CH₄ συναρτήσει της συγκέντρωσης χλωροφύλλης α, της συγκέντρωσης φεοφυτίνης α και της θερμοκρασίας νερού και στον πίνακα 15 παρουσιάζονται οι συντελεστές συσχέτισης και σημαντικότητας για τις 5 προαναφερθείσες παραμέτρους. Οι συσχετίσεις που παρουσιάζονται στον πίνακα 15 είναι μόνο αυτές που είναι στατιστικά σημαντικές και προέκυψαν από την εφαρμογή του ελέγχου Spearman.



Εικόνα 8. Flux CO₂ και CH₄ για όλα τα σημεία και τις ημερομηνίες δειγματοληψίας συναρτήσει της: Α) Συγκέντρωσης χλωροφύλλης α, Β) Συγκέντρωσης φεοφυτίνης α, Γ) της θερμοκρασίας νερού.

Όπως φαίνεται στην εικόνα 8 οι εκπομπές και του CO₂ και του CH₄ παρουσιάζουν μεγάλη διασπορά συναρτήσει των συγκεντρώσεων χλωροφύλλης α και φεοφυτίνης α και της θερμοκρασίας νερού. Στο διάγραμμα με την θερμοκρασία μπορεί να φανεί όμως κάποια συσχέτιση καθώς για θερμοκρασίες χαμηλότερες των 12 °C στην συντριπτική πλειοψηφία οι εκπομπές CH₄ είναι πολύ χαμηλές ή και μηδενικές ενώ για θερμοκρασίες υψηλότερες των 12 °C, παρατηρούνται αυξημένες τιμές εκπομπών CH₄. Αυτή η παρατήρηση επιβεβαιώνεται από τον έλεγχο Spearman από τον οποίο προέκυψε ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική θετική συσχέτιση μεταξύ εκπομπών CH₄ και θερμοκρασίας νερού. Η φυσική εξήγηση αυτής της συσχέτισης είναι ότι τα μεθανογόνα όπως και όλα τα βακτήρια αυξάνουν την δραστηριότητά τους με την θερμοκρασία. Αντίθετα, για τις εκπομπές CO₂ δεν προέκυψε κάποια στατιστικά σημαντική συσχέτιση. Αν και θα ήταν αναμενόμενη τουλάχιστον η ύπαρξη συσχέτισης μεταξύ εκπομπών CO₂ και χλωροφύλλης, η μη εύρεση συσχέτισης είναι ενδεικτική των πολλών και ανταγωνιστικών παραγόντων που επηρεάζουν τον σχηματισμό και άρα τις εκπομπές CO₂. Για παράδειγμα η το καλοκαίρι η αύξηση θερμοκρασίας αυξάνει την παραγωγή CH₄ μέρος του οποίου οξειδώνεται σε CO₂ αλλά η ταυτόχρονη αυξημένη ηλιοφάνεια αυξάνει την κατανάλωση CO₂ από τους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι εκπομπές CO₂ που μετρήθηκαν τον Ιούλιο στα δύο σημεία του Πολυφύτου και την Ζάζαρη (εικόνα 7). Στο Πολύφυτο και απουσία σημαντικής ρύπανσης, φαίνεται να υπερισχύει η κατανάλωση CO₂ λόγω φωτοσύνθεσης με αποτέλεσμα η αντίστοιχη εκπομπή να είναι η ελάχιστη μετρούμενη ενώ στην Ζάζαρη τον Ιούλιο παρατηρήθηκε η μέγιστη μέσα στο έτος εκπομπή και για το CH₄ και για το CO₂. Η αυξημένη ύπαρξη θρεπτικών και ο ευτροφισμός της Ζάζαρης ευνοεί την βακτηριακή ανάπτυξη και δραστηριότητα με αποτέλεσμα να υπερισχύει ο σχηματισμός CO₂ λόγω οξείδωσης CH₄ παρά η κατανάλωση από φωτοσυνθετικούς μικροοργανισμούς.

Με την παρουσίαση των αποτελεσμάτων των εκπομπών CO₂ καθώς και τα αποτελέσματα συσχετίσεων γίνεται κατανοητό ότι οι εκπομπές CO₂ επηρεάζονται από πολλές παραμέτρους και αν και παρουσιάζουν αυξομειώσεις κατά τη διάρκεια του έτους, η περιοδικότητα δεν έχει συγκεκριμένη συχνότητα και για αυτό το μοντέλο που αναπτύχθηκε θα εφαρμοστεί μόνο για την περίπτωση του CH₄ και όχι του CO₂. Η μοντελοποίηση των εκπομπών CO₂ απαιτεί μια πιο πολύπλοκη μαθηματική διατύπωση, η οποία θα αποτελέσει αντικείμενο περαιτέρω έρευνας.

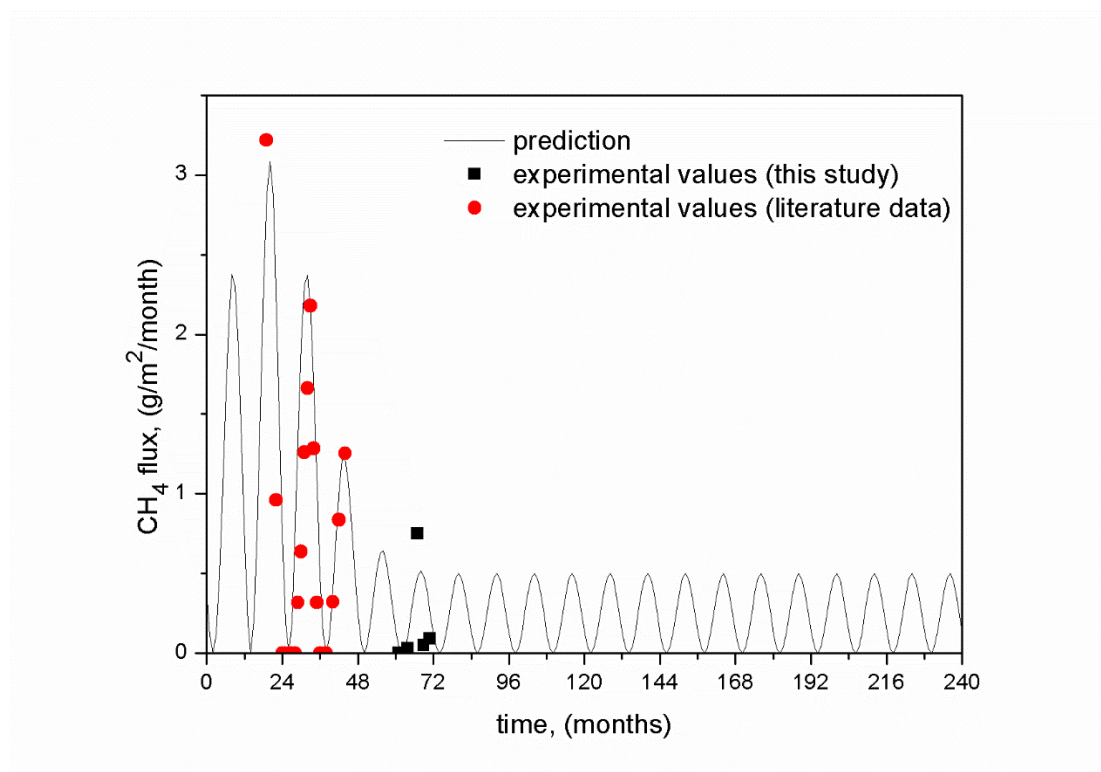
Πίνακας 15. Συντελεστής συσχέτισης (συντελεστής σημαντικότητας) του flux CO₂ και flux CH₄ με την συγκέντρωση χλωροφύλλης, συγκέντρωση φεοφυτίνης και θερμοκρασίας νερού, όπως προέκυψαν από τον έλεγχο Spearman .

	flux CO ₂	flux CH ₄	chlorophyll	pheophytin	T _{water}
flux CO ₂	-	-	-	-	-
flux CH ₄	-	-	-	-	0,512*(0,018)

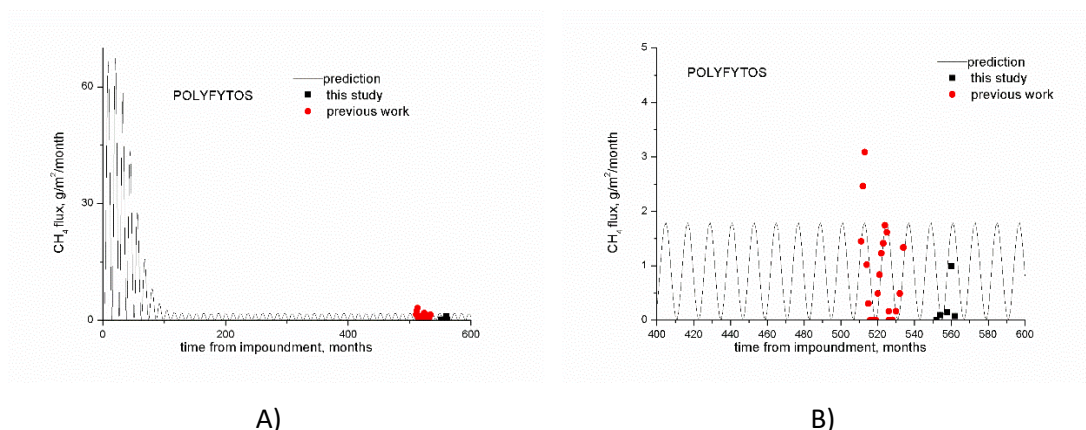
*στατιστικά σημαντική συσχέτιση σε επίπεδο 0,05

3.5 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ-ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ CH₄

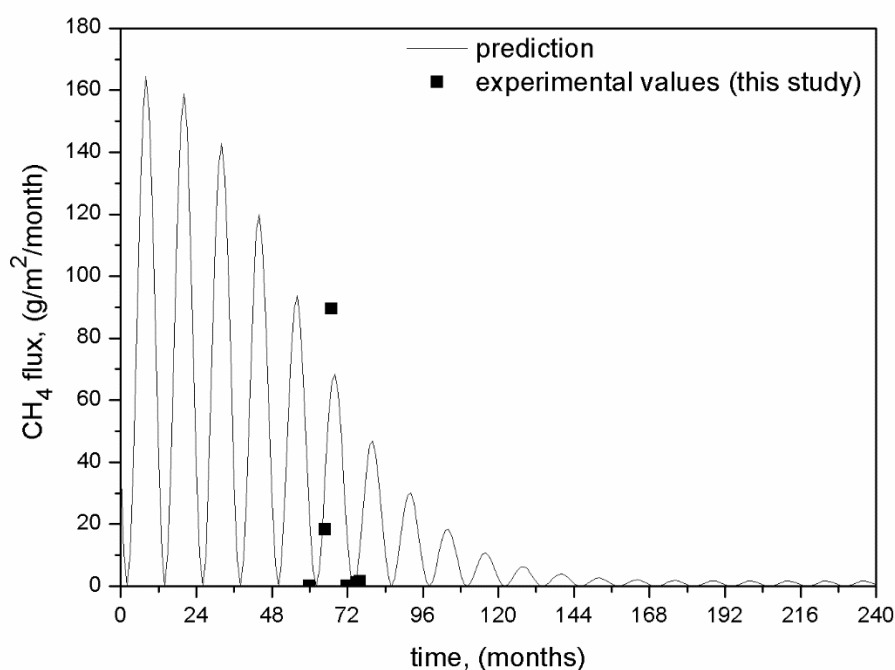
Στις εικόνες 9-11 παρουσιάζονται οι πειραματικές τιμές της παρούσας εργασίας, παλιότερες διαθέσιμες πειραματικές τιμές και οι προβλέψεις του προτεινόμενου μοντέλου για τις εκπομπές CH₄ για τη λίμνη Ιλαρίωνα, Λίμνη Πολυφύτου και λίμνη Ζάζαρη για διάφορα χρονικά διαστήματα.



Εικόνα 9. Προβλεπόμενες εκπομπές CH₄, πειραματικές μετρήσεις της παρούσας εργασίας και παλιότερες πειραματικές μετρήσεις για διάστημα 240 μηνών (20 έτη) για το σημείο Φράγμα Ιλαρίωνα.



Εικόνα 10. Προβλεπόμενες εκπομπές CH_4 , πειραματικές μετρήσεις της παρούσας εργασίας και παλιότερες πειραματικές μετρήσεις για την Λίμνη Πολυφύτου: Α) για διάστημα 600 μηνών (50 έτη) και Β) για διάστημα μεταξύ 400 και 600 μηνών



Εικόνα 11. Προβλεπόμενες εκπομπές CH_4 , πειραματικές μετρήσεις της παρούσας εργασίας για τη λίμνη Ζάζαρη για διάστημα 20 ετών

Τονίζεται ότι προβλέψεις εμπεριέχουν μεγάλη αβεβαιότητα στον Πολύφυτο λόγω έλλειψης επαρκών πειραματικών δεδομένων για τα πρώτα χρόνια από την δημιουργία του, στην

Ζάζαρη λόγω αβεβαιότητας στον ορισμό του χρόνου μηδέν και στον Ιλαρίωνα λόγω μέτρησης σε ένα μόνο σημείο της λίμνης. Οι τιμές των παραμέτρων w και t_c επιλέχθηκαν με βάση το σκεπτικό που περιγράφηκε στο θεωρητικό μέρος. Το E_o επιλέχθηκε με βάση τις πειραματικές τιμές αλλά δεν βελτιστοποιήθηκε. Η τιμή του A για την περίπτωση της Ζάζαρης και του Ιλαρίωνα βελτιστοποιήθηκε με βάση τις πειραματικές τιμές, ενώ για τον Πολύφυτο επιλέχθηκε μια ενδιάμεση τιμή με βάση τις αντίστοιχες τιμές A για τον Ιλαρίωνα και την Ζάζαρη. Στον πίνακα 16 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων του μοντέλου που χρησιμοποιήθηκαν για την περιγραφή και πρόβλεψη των εκπομπών καθώς και οι προβλέψεις των συνολικών εκπομπών σε CH_4 για τις τρεις λίμνες για διάστημα 50 και 100 ετών.

Πίνακας 16. Τιμές παραμέτρων και προβλέψεις (εμβαδά) μοντέλου για τις εκπομπές CH_4 για 50 και 100 έτη για τις λίμνες Ιλαρίωνα, Πολυφύτου και Ζάζαρης.

	A	E_o	t_c	w	ΕΜΒΑΔΟ (100 years) g/m²	ΕΜΒΑΔΟ (50 years) g/m²
ΙΛΑΡΙΩΝΑΣ	6,97	0,5	02	60	343	193
ΠΟΛΥΦΥΤΟΣ	60	1,4	20	120	3356	2937
ΖΑΖΑΡΗ	95,8	1,7	8	180	6129	5619

Με βάση τις προβλέψεις του μοντέλου οι εκπομπές στον Ιλαρίωνα σε βάθος εκατονταετίας είναι τάξη μεγέθους μικρότερες από αυτές της Λίμνης Πολυφύτου. Αυτό βρίσκεται σε συμφωνία με το διαφορετικό είδος και την ποσότητα βιομάζας που κατακλύστηκε στις δύο λίμνες. Επίσης φαίνεται ότι μια ρυπασμένη φυσική λίμνη μπορεί να παρουσιάσει εκπομπές υψηλότερες και από μία τεχνητή λίμνη. Αν γίνει αφαίρεση της πρόβλεψης μέχρι τα 50 έτη από την πρόβλεψη μέχρι τα 100 έτη η τιμή που προκύπτει είναι η πρόβλεψη για την συνολική εκπομπή CH_4 μετά το 50^ο έτος και μέχρι τα 100 χρόνια. Αυτές οι τιμές είναι της ίδιας τάξης μεγέθους για τις τρεις λίμνες. Όπως προαναφέρθηκε, ποσοτικά αυτά τα αποτελέσματα έχουν μεγάλη αβεβαιότητα αλλά ποιοτικά η ίδια τάξη μεγέθους και για τις τρεις περιπτώσεις από το 50^ο έτος και μετά, υποδεικνύει ότι η περιβαλλοντική επιβάρυνση θα εξισωθεί σε βάθος χρόνου, ανεξάρτητα από τις πρωταρχικές εκπομπές.

Για πιο αξιόπιστες ποσοτικές προβλέψεις απαιτούνται πειραματικές μετρήσεις σε εύρος ετών, καθώς και μετρήσεις των εκπομπών με τον μηχανισμό του αναβρασμού (ebullition).

4. ΣΥΝΟΨΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η επιλογή μιας φυσικής λίμνης ως αναφορά και μέτρο σύγκρισης για τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από τεχνητές λίμνες αποτελεί μια καλή προσέγγιση. Μία φυσική λίμνη, χωρίς συσσώρευση οργανικών συστατικών στον πυθμένα, παρουσιάζει χαμηλές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Αντίθετα, νέες τεχνητές λίμνες με κατακλυσμένη φυτική ύλη (συσσώρευση οργανικών συστατικών) παρουσιάζουν υψηλές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Από τα αποτελέσματα της μελέτης προκύπτει ότι η Ζάζαρη συμπεριφέρεται ως μια νέα τεχνητή λίμνη και έτσι η αυξημένη φωτοσυνθετική δραστηριότητα καθώς και η παραγωγή CH_4 από την αναερόβια αποσύνθεση της βιομάζας είναι αναμενόμενες. Ο Ιλαρίωνας ως νέα τεχνητή λίμνη στην οποία σχετικά πρόσφατα έχει εγκλωβιστεί βιομάζα έχει ποιοτικά αλλά όχι ποσοτικά ίδια συμπεριφορά με την Ζάζαρη. Οι εκπομπές CH_4 από τον Ιλαρίωνα είναι υψηλότερες από του Πολύφυτου, όπως αναμενόταν (νεότερη λίμνη). Ο Πολύφυτος έχει τις χαμηλότερες εκπομπές CH_4 , αλλά υπολογίσιμες ποσότητες, και η ροή εκπομπής CO_2 δεν έχει τις πολύ υψηλές διακυμάνσεις που παρουσιάζουν οι άλλες δύο λίμνες, κατά πάσα πιθανότητα λόγω της μειωμένης βιολογικής δραστηριότητας λόγω της απουσίας (ή μειωμένης ποσότητας) βιομάζας.

Σχετικά με την ποιότητα των υδάτων, στις τεχνητές λίμνες σποραδικώς ανιχνεύτηκε υπέρβαση ορίου στις τιμές κάποιας φυσικοχημικής παραμέτρου. Η ποιότητα του νερού των τεχνητών λιμνών μπορεί να θεωρηθεί ικανοποιητική, και παρουσιάζει ομοιότητες με το νερό τροφοδοσίας (ποταμός Αλιάκμονας). Στον Αλιάκμονα σε μία περίπτωση ανιχνεύτηκαν διακυμάνσεις ως προς τις συγκεντρώσεις των Cl^- και των Na^+ καθώς και της τιμής της αγωγιμότητας, που οφείλονταν σε πρόσφατη ρίψη υγρών αποβλήτων (πιθανόν τυροκομικών). Το νερό της Ζάζαρης θεωρείται χαμηλότερης ποιότητας με αυξημένες τιμές θολρότητας, χλωροφύλλης και αμμωνιακών. Το νερό του Ιλαρίωνα χαρακτηρίζεται ως εξαιρετικό με χρήση του WQI και του τροποποιημένου WQI. Με τον αυστηρό τροποποιημένο WQI όλα τα υπόλοιπα νερά που εξετάστηκαν χαρακτηρίζονται ως φτωχά, καθώς κατά μέσο όρο σε κάποια από τις μετρούμενες παραμέτρους υπήρξε τουλάχιστον μια υπέρβαση του επιτρεπτού ορίου. Το νερό του Αλιάκμονα στο σημείο Γέφυρα Παλιουριάς και το νερό στο σημείο ΝΟΚ του Πολυφύτου χαρακτηρίζονται ως εξαιρετικά με βάση τον αρχικό WQI και το νερό της Ζάζαρης και του φράγματος Πολυφύτου χαρακτηρίζονται ως καλά. Ο διαφορετικός χαρακτηρισμός που προκύπτει από τους δύο δείκτες μπορεί να οδηγήσει στην εξαγωγή ποιοτικών συμπερασμάτων ότι γενικά η κατάσταση του νερού είναι καλή και η όποια

παρατηρούμενη επιβάρυνση/υπέρβαση είναι είτε σποραδική είτε σε μικρή έκταση (δηλαδή η παρατηρούμενη υπέρβαση δεν είναι υψηλή).

Η μοντελοποίηση των εκπομπών GHGs από τεχνητές παρουσιάζει αβεβαιότητα, καθώς η πρόβλεψη και σύμφωνα με τις οδηγίες της UNESCO, συνιστάται να γίνεται σε βάθος εκατονταετίας αλλά τα διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα καλύπτουν πολύ μικρότερο χρονικό εύρος. Το μοντέλο που αναπτύχθηκε, βασίζεται σε εμπειρική εξίσωση και περιλαμβάνει 4 παραμέτρους. Κατέστη δυνατό και στις 4 αυτές παραμέτρους να αποδοθεί φυσική σημασία και για τουλάχιστον 2 από αυτές να δοθούν αριθμητικές τιμές με άμεσο φυσικό αντίκρισμα. Οι προβλέψεις για τις εκπομπές CH₄ από τον Πολύφυτο είναι αυξημένες σε σχέση με του Ιλαρίωνα, και αυτό είναι σε συμφωνία με το διαφορετικό είδος και ποσότητας της εγκλωβισμένης βιομάζας. Το προτεινόμενο μοντέλο χρησιμοποιήθηκε και για την πρόβλεψη εκπομπών μιας ρυπασμένης φυσικής λίμνης. Κατά αντιστοιχία με την τεχνητή λίμνη για την οποία χρόνος μηδέν θεωρείται η περίοδος της δημιουργίας της, σε μια φυσική λίμνη χρόνος μηδέν μπορεί να θεωρηθεί ο χρόνος κατά τον οποίο σταμάτησε η εισροή σε αυτήν οργανικής ύλης και γενικότερα αποβλήτων. Η μοντελοποίηση των εκπομπών έδειξε ότι μια ρυπασμένη φυσική λίμνη μπορεί να έχει σημαντικά υψηλότερες εκπομπές από μια τεχνητή λίμνη. Πάντως μετά την πάροδο αρκετών ετών π.χ. 50 ετών οι εκπομπές σταθεροποιούνται σε επίπεδα ίδιας τάξης μεγέθους.

Το μοντέλο δεν χρησιμοποιήθηκε για την μοντελοποίηση εκπομπών CO₂ καθώς όπως προέκυψε και από τις πειραματικές μετρήσεις αλλά και από την επεξεργασία αυτών και την μη εύρεση συσχέτισης με θεωρητικά καθοριστικές παραμέτρους όπως η θερμοκρασία νερού και η συγκέντρωση χλωροφύλλης, η εκπομπή CO₂ είναι πιο σύνθετη από του CH₄ και επηρεάζεται από ποικίλους παράγοντες που έχουν ανταγωνιστική δράση μεταξύ τους. Έτσι μια ημιτονοειδής διακύμανση με ορισμένη περίοδο που περιγράφεται από το μοντέλο, αν και περιγράφει αρκετά ρεαλιστικά την παρατηρούμενη εκπομπή CH₄ δεν είναι κατάλληλο για την περιγραφή της εκπομπής CO₂.

Γενικά απαιτούνται μετρήσεις εκπομπών GHGs στα ίδια σημεία για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Για την Ζάζαρη η οποία έχει μικρό βάθος, θα πρέπει να γίνουν και μετρήσεις εκπομπής με τον μηχανισμό του αναβρασμού. Για την καλύτερη εκτίμηση των εκπομπών CO₂ θα πρέπει να γίνουν μετρήσεις την ίδια μέρα σε διαφορετικές χρονικές στιγμές π.χ. στην ανατολή και δύση ηλίου και στην μέση της ημέρας και να διορθωθεί η μέση ημερήσια εκπομπή, αλλιώς υπάρχει περίπτωση υπό ή υπέρ- εκτίμησης των εκπομπών.

Αυτή η διόρθωση πιθανώς να διευκολύνει και την μοντελοποίηση των εκπομπών. Οι πειραματικές μετρήσεις σε μεγαλύτερο χρονικό διάστημα θα διευκολύνουν την μοντελοποίηση και πρόβλεψη των εκπομπών και θα αυξήσουν την αξιοπιστία της. Ειδικά για το CO₂ πρέπει να παρατηρηθούν οι εκπομπές σε μεγάλο χρονικό διάστημα ώστε να γίνει κατανοητό το είδος της διακύμανσης που παρουσιάζουν και να βρεθεί κατάλληλη μαθηματική συνάρτηση που περιγράφει αυτήν την διακύμανση.

Σχετικά με τον WQI θα πρέπει να αναπτυχθεί πιο σύνθετος αλγόριθμος που για την βαθμολογία και τον χαρακτηρισμό της ποιότητας ύδατος να λαμβάνει υπόψη την συχνότητα και το ύψος των υπερβάσεων και να υπάρχει η αντίστοιχη ευαισθησία στην αλλαγή της βαθμολογίας. Τέλος θα ήταν πολύ χρήσιμο, ειδικά για τον χαρακτηρισμό επιφανειακών υδάτων, στον WQI να συμπεριληφθεί ως παράμετρος και να προσδιοριστεί μέσω ερωτηματολογίων η βαρύτητά της, η συγκέντρωση χλωροφύλλης α.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] GHG Measurement guidelines for fresh water reservoirs. International Hydropower Association. (Derived from: The UNESCO/IHA Greenhouse Emissions from freshwater reservoirs research project.
- [2] APHA-AWWA-WEF (2012). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd ed. American Public Health Association.
- [3] R. Delmas, C. Galy-Lacaux και S. Richard, «Emissions of greenhouse gases from the tropical hydroelectric reservoir of Petit Saut (French Guiana) compared with emissions from thermal alternatives,» *Global Biogeochemical Cycles*, τόμ. 15, pp. 993-1003, 2001.
- [4] Amanatidou E., Samiotis G., Trikoilidou E., Tsikritzis L., Taousanidis N. Centennial assessment of greenhouse gases emissions of a young and an old hydroelectric reservoir in Mediterranean mainland. Accepted for publication in Journal of Environmental Informatics
- [5] http://www.hnms.gr/emy/el/climatology/climatology_city?perifereia=West%20Macedonia&poli=Kozani
- [6] Iakovidou F., trikoilidou E., Samiotis G., Stamos A., Tsikritzis L., Amanatidou E. Development of an updated water quality index based on legislation and expert's opinion. 10th World Congress on Water Resources and Environment "Panta Rhei". 5-7 Ιουλίου, Αθήνα, Ελλάδα.

[7] Chapman D. Editor. Water Quality Assessments. A guide to use of biota, sediments and water in environmental monitoring. 2nd Edition. 1992. UNESCO/WHO/UNEP.

[8] Meyers P.A., Eadie B.J. Sources, degradation and recycling of organic matter associated with sinking particles in Lake Michigan. Org. Geochem, 20 (1993) 47-56.



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Τιμές φυσικοχημικών παραμέτρων

Cr ⁺⁶ μg/l					
Δειγματοληψία	Ζάζαρη	Ιλαρίωνας 1	Πολύφυτος 1	Πολύφυτος 2	Παλιουριά
1	0	0	4	0	15
2	7	0	0	3,5	0
3	0	3	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	3	0	0	
6				0	
7				0	
K ⁺ σε mg/l					
Δειγματοληψία	Ζαζαρη	Ιλαρίωνας 1	Πολύφυτος 1	Πολύφυτος 2	Παλιουριά
1	0	0	0	1,6	4,1
2	0	1,2	0	0	1,4
3	3,2	1,7	1,6	1,6	1,8
4	3,5	1,6	1,7	1,6	1,5
5	3,7	1,7	1,7	1,7	
6				1,7	
7				1,6	
ολικό Mn σε μg/l					
Δειγματοληψία	Ζάζαρη	Ιλαρίωνας 1	Πολύφυτος 1	Πολύφυτος 2	Παλιουριά
1	0	0	0	0	75
2	70,4	0	49	0	195
3	0	0	0	40	0
4	0	0	0	0	0
Ca ⁺⁺ σε mg/l					
Δειγματοληψία	Ζάζαρη	Ιλαρίωνας 1	Πολύφυτος 1	Πολύφυτος 2	Παλιουριά
1					11,6
2			44,1		
3	16,1	34,6	30,5	0	33,9
4	18,5	31,5	36,1	33,2	41,2
5	18	38,3	43,4	35,8	
6				42	
7				43,8	

αλκαλικότητα σε mg/l					
Δειγματοληψία	Ζάζαρη	Ιλαρίωνας 1	Πολύφυτος 1	Πολύφυτος 2	Παλιουριά
1	90	158	214	204	213,95
2	3,6	184	202	186	161
3		170		196	
4	79,3	185	190		190,4
5	198,8	199	255,8		
6				199,2	
7				203,3	

νιτρικά σε mg/l					
Δειγματοληψία	Ζάζαρη	Ιλαρίωνας 1	Πολύφυτος 1	Πολύφυτος 2	Παλιουριά
1	1,2	2,85	0,47	2,85	2,38
2	0,56	1,07	0,6	2,38	
3	0,259	0,23	0,259	0	0,91
4	0,3	0,962	0,4	1,049	2,7
5	0,34	0,8	1,1	0,3	
6				1,2	
7				1,54	

νιτρώδη σε mg/l					
Δειγματοληψία	Ζάζαρη	Ιλαρίωνας 1	Πολύφυτος 1	Πολύφυτος 2	Παλιουριά
1	6	5,7	12,5	13,4	37,1
2	15,8	41,4	14	21,7	46
3	6	19,8	40	19,5	76
4	0	35	0	12	15
5	8,8	17	0	6	
6				0	
7				10,7	

TKN σε mg/l					
Δειγματοληψία	Ζάχαρη	Ιλαρίωνας 1	Πολύφυτος 1	Πολύφυτος 2	Παλιουριά
1	0,5				1,68
2		1,96	1,96	1,4	1,96
3		0,56		1,96	
4	2,8	1,68	3,08	3,08	1,96
5	4,76	1,4	1,96	1,96	
6				1,68	
7				1,96	

χρώμα HAZEN					
Δειγματοληψία	Ζάχαρη	Ιλαρίωνας 1	Πολύφυτος 1	Πολύφυτος 2	Παλιουριά
1	2,8	15,4	9,1	11,5	92
2		7,1	12,7		15
3	11,5		3,5	4,9	10,4
4	11,6		7,9	4,8	13,3
5		8,5	2,6	10	
6				2,9	
7					

TP σε mg/l					
Δειγματοληψία	Ζάχαρη	Ιλαρίωνας 1	Πολύφυτος 1	Πολύφυτος 2	Παλιουριά
1		0	0		0,144
2	1,07	0	0,87		0,06
3		0	1,2	0,03	0,04
4		0		0,15	
5	2,8	0		0,46	
6					
7					

BOD, COD και TOC σε όλες τις περιπτώσεις <20mg/l