

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**UNIVERSITY OF THESSALY DEPARTMENT OF CIVIL
ENGINEERING**



**Η κλιματική αλλαγή και η επιρροή στις κλιματικές
συνθήκες ενός τόπου και ιδιαίτερα στη μορφολογία
(στάθμη) λιμνών. Μελέτη περίπτωσης η λίμνη Πλαστήρα.**

Κόζιακας Κωνσταντίνος

Επιβλέποντες Καθηγητές:

Κεραμάρης Ευάγγελος, Φράγκου Αθανάσιος

Βόλος, 2022

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους επιβλέποντες καθηγητές μου κ. Κεραμάρη Ευάγγελο και κ. Φράγκου Αθανάσιο για την πολύτιμη βοήθειά τους και την συνεχή καθοδήγησή τους σε όλη την διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής μου. Επιπλέον, να εκφράσω ένα μεγάλο ευχαριστώ την οικογένειά μου που με στήριξε σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Περιεχόμενα	
Ευχαριστίες.....	2
Πίνακας Εικόνων.....	5
Πίνακας Πινάκων.....	6
Πίνακας Ιστογραμμάτων.....	6
Περίληψη.....	8
Abstract.....	8
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	10
Κεφάλαιο 2: Οι λίμνες και το κλίμα τους.....	12
2.1.Κλιματική Αλλαγή και Οδηγία Πλαίσιο για τα Νερά.....	12
2.2. Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στις λίμνες.....	14
2.2.1.Ακεραιότητα οικοσυστήματος.....	15
2.2.2.Βιολογικές Επιδράσεις της Κλιματικής Αλλαγής.....	15
2.2.3.Φωτοσυνθετικές Κοινότητες.....	16
2.3.Ο ρόλος της μοντελοποίησης του κλίματος στις εκτιμήσεις επιπτώσεων.....	17
2.4.Οι λίμνες ως φρουροί της κλιματικής αλλαγής.....	18
2.5.Γεωγραφική διαφοροποίηση στη χρήση των λιμνών.....	23
Κεφάλαιο 3: Η λίμνη Πλαστήρα.....	26
3.1.Ιστορικά στοιχεία.....	26
3.2. Χαρακτηριστικά της λίμνης.....	28
3.3.Εκτίμηση των Επιπτώσεων της Κλιματικής Αλλαγής στην Ελλάδα.....	30
3.4.Περιγραφή της Περιοχής Μελέτης.....	31
3.5.Γεωλογικό πλαίσιο περιοχής.....	33

3.6.Προσδιορισμός και ποσοτικοποίηση των πηγών ρύπανσης	34
3.6.1.Εκτίμηση ρύπων	34
3.6.2.Γεωργία	35
3.6.3.Ζώα	35
3.6.4.Αστικά απόβλητα.....	35
3.7.Το φράγμα του Ταυρωπού.....	36
Κεφάλαιο 4: Έρευνα- Μεθοδολογικό πλαίσιο.....	39
4.1.Κατανομές	39
4.1.1. Ομοιόμορφη κατανομή	39
4.1.2. Κανονική κατανομή.....	40
4.1.3. Κατανομή Student.....	42
4.1.4. Alpha-Stable Κατανομή.....	43
4.2.Περιγραφική Στατιστική	44
4.2.1.Μέτρα Θέσης – Μέτρα Διασποράς.....	44
4.2.2.Συντελεστής συσχέτισης Pearson.....	46
Κεφάλαιο 5: Εφαρμογή στην Λίμνη Πλαστήρα	48
5.1 Διαγράμματα.....	48
5.2 Πίνακες μέσων τιμών και Ιστογράμματα	64
5.3 Πίνακες Pearson.....	77
Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα - Προτάσεις.....	80
6.1 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	81
Βιβλιογραφία	82
Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία.....	82
Ελληνόγλωσση Βιβλιογραφία	87
Ηλεκτρονικές πηγές.....	87

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1: Η επίδραση μιας επέκτασης στην περίοδο χωρίς πάγο στη θερινή βιομάζα του φυτοπλαγκτού στη λίμνη Erken: (α) Η κατάσταση της λίμνης τη δεκαετία του 1970. (β) Η κατάσταση της λίμνης τη δεκαετία του 1990. Οι ράβδοι δείχνουν την περίοδο χωρίς πάγο και οι γραμμές τη βιομάζα του φυτοπλαγκτού (τροποποιημένο από George, 2002).....	13
Εικόνα 2: Οι μέσες διαφορές θερμοκρασιών. Οι χάρτες δείχνουν τις χωρικές διαφορές στη θερμοκρασία χειμώνα (DJF) και καλοκαίρι (JJA) (°C) και βροχόπτωση (mm/μήνα) (Samuelsson, 2010).	18
Εικόνα 3: Τοπογραφικός χάρτης της υπολεκάνης απορροής της λίμνης Πλαστήρα (Markogianni, et.al., 2013).	30
Εικόνα 4: Γεωλογία της λίμνης Πλαστήρα (Markogianni, et.al., 2016).	33
Εικόνα 5: Το φράγμα του Ταυρωπού (Πηγή: http://moucha.gr/limni-plastira-fragmenta.html , Ανάκτηση: 29.05.2022).	38
Εικόνα 6: Άλλη άποψη του φράγματος του Ταυρωπού (Πηγή: http://moucha.gr/limni-plastira-fragmenta.html , Ανάκτηση: 29.05.2022).....	38
Εικόνα 7: Το γράφημα κανονικής κατανομής τύπου «καμπάνα».	42

Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 1: Μέσες τιμές ανά έτος	64
Πίνακας 2: Μέσες τιμές ανά έτος για την άνοιξη.	67
Πίνακας 3: Μέσες τιμές για το καλοκαίρι	69
Πίνακας 4: Μέσες τιμές για το φθινόπωρο.....	71
Πίνακας 5: Μέσες τιμές για το χειμώνα.....	74
Πίνακας 6: Πίνακας Pearson μεταξύ δεδομένων	77
Πίνακας 7: Πίνακας Pearson ανά έτος	78
Πίνακας 8: Πίνακας Pearson αναλυτικός ανά τα έτη.....	78

Πίνακας Ιστογραμμάτων

Ιστόγραμμα 1: Μ.Ο. Βροχόπτωσης	64
Ιστόγραμμα 2: Μ.Ο. Στάθμης.....	65
Ιστόγραμμα 3: Μ.Ο. Εισροής	65
Ιστόγραμμα 4: Μ.Ο. Μέγιστης Θερμοκρασίας	65
Ιστόγραμμα 5: Μ.Ο. Ελάχιστης Θερμοκρασίας	66
Ιστόγραμμα 6: Μ.Ο. Εξάτμισης.....	66
Ιστόγραμμα 7: Βροχόπτωση για την άνοιξη.....	67
Ιστόγραμμα 8: Στάθμη για την άνοιξη	67
Ιστόγραμμα 9: Εξάτμιση για την άνοιξη	68
Ιστόγραμμα 10: Μέγιστη Θερμοκρασία για την άνοιξη	68
Ιστόγραμμα 11: Εισροή για την άνοιξη.....	68
Ιστόγραμμα 12: Βροχόπτωση για το καλοκαίρι	69
Ιστόγραμμα 13: Στάθμη για το καλοκαίρι.....	70
Ιστόγραμμα 14: Εξάτμιση για το καλοκαίρι.....	70
Ιστόγραμμα 15: Μέγιστη Θερμοκρασία για το καλοκαίρι.....	70
Ιστόγραμμα 16: Εισροή για το καλοκαίρι	71
Ιστόγραμμα 17: Βροχόπτωση για το φθινόπωρο	72
Ιστόγραμμα 18: Στάθμη για το φθινόπωρο	72
Ιστόγραμμα 19: Εξάτμιση για το φθινόπωρο	72
Ιστόγραμμα 20: Μέγιστη Θερμοκρασία για το φθινόπωρο	73
Ιστόγραμμα 21: Εισροή για το φθινόπωρο.....	73

Ιστόγραμμα 22: Βροχόπτωση για το χειμώνα	74
Ιστόγραμμα 23: Στάθμη για το χειμώνα.....	74
Ιστόγραμμα 24: Εξάτμιση για το χειμώνα.....	75
Ιστόγραμμα 25: Μέγιστη Θερμοκρασία για το χειμώνα.....	75
Ιστόγραμμα 26: Εισροή για το χειμώνα	75

Πίνακας Εξισώσεων

Εξίσωση 1: Συνάρτηση πυκνότητας της με $\varphi(z)$	41
Εξίσωση 2: Δειγματική μέση τιμή συμβολίζεται \bar{x}	44

Περίληψη

Από πολλές απόψεις, τα οικοσυστήματα των λιμνών φαίνεται να είναι έγκυροι φρουροί για την τρέχουσα κλιματική αλλαγή. Τα οικοσυστήματα των λιμνών λειτουργούν ως φρουροί επειδή παρέχουν δείκτες κλιματικής αλλαγής είτε άμεσα είτε έμμεσα μέσω της επίδρασης του κλίματος στη λεκάνη απορροής. Συγκεκριμένα, οι λίμνες είναι πιθανό να χρησιμεύσουν ως καλοί φρουροί για την τρέχουσα κλιματική αλλαγή επειδή τα οικοσυστήματα των λιμνών είναι καλά καθορισμένα και μελετώνται με διαρκή τρόπο, οι λίμνες ανταποκρίνονται άμεσα στην κλιματική αλλαγή και επίσης ενσωματώνουν τις επιπτώσεις των κλιματικών αλλαγών που συμβαίνουν εντός της λεκάνης απορροής, οι λίμνες ενσωματώνουν αποκρίσεις με την πάροδο του χρόνου, οι οποίες μπορούν να φιλτράρουν τον τυχαίο θόρυβο και οι λίμνες είναι κατανεμημένες σε όλο τον κόσμο και, ως εκ τούτου, μπορούν να λειτουργήσουν ως φρουροί σε πολλές διαφορετικές γεωγραφικές τοποθεσίες και κλιματικές περιοχές, καταγράφοντας διαφορετικές πτυχές της κλιματικής αλλαγής. Ωστόσο, το μεγάλο εύρος στη μορφολογία των λιμνών, τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής και η γεωγραφική τοποθεσία υποδηλώνει ότι θα πρέπει να είμαστε προσεκτικοί όσον αφορά την πραγματοποίηση γενικών συμπερασμάτων σχετικά με την ικανότητα των λιμνών να συλλαμβάνουν τις επιπτώσεις του τρέχοντος, ταχέως μεταβαλλόμενου κλίματος.

Abstract

In many ways, lake ecosystems appear to be credible watchdogs for current climate change. Lake ecosystems act as guards because they provide indicators of climate change either directly or indirectly through the influence of climate on the catchment area. Lakes are likely to serve as good watchdogs for current climate change because lake ecosystems are well defined and constantly studied, lakes respond directly to climate change and also incorporate the effects of climate change. changes occurring within the catchment area, lakes incorporate responses over time, which can filter out random noise and lakes are distributed throughout the world and, therefore, can operate as guards in many different geographical locations and climates, documenting different aspects of climate change. However, the wide range of lakes morphology, catchment characteristics and geographical location suggest that we should be careful about

making general conclusions about the ability of lakes to capture the effects of the current, rapidly changing climate.

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Τα οικοσυστήματα των λιμνών αποτελούν ζωτικούς πόρους για την υδρόβια άγρια ζωή και τις ανθρώπινες ανάγκες, και οποιαδήποτε αλλαγή της περιβαλλοντικής τους ποιότητας και των ρυθμών ανανέωσης του νερού έχει ευρείες οικολογικές και κοινωνικές επιπτώσεις. Η αυξανόμενη συσσώρευση αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα ως αποτέλεσμα των ανθρώπινων δραστηριοτήτων έχει αρχίσει να επηρεάζει τη δομή, τη λειτουργία και τη σταθερότητα των λιμνών σε όλο τον κόσμο και είναι πιθανές πολύ μεγαλύτερες επιπτώσεις στο μέλλον. Τα τρέχοντα μοντέλα παγκόσμιας κυκλοφορίας προβλέπουν αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα κατά αρκετούς βαθμούς μέχρι το τέλος του 21^{ου} αιώνα, σε συνδυασμό με μεγάλες αλλαγές στην περιφερειακή κατανομή και την ένταση των βροχοπτώσεων, οι οποίες θα συνοδεύονται επίσης από τεράστια διαταραχή των πάγων στη Γη. Αυτές οι αλλαγές στην κλιματική αλλαγή φαίνεται να έχουν ήδη ξεκινήσει και η έναρξη των αλλαγών στα φυσικά, χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά των λιμνών (Vincent, 2009).

Οι λίμνες πάντα υπόκεινται στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και οι φυσικές κλιματικές διακυμάνσεις στο παρελθόν ήταν ένας από τους κύριους λόγους που οι λίμνες αποτελούν εφήμερα χαρακτηριστικά του τοπίου. Οι περισσότερες από τις σημερινές λίμνες είναι αποτέλεσμα της αλλαγής του κλίματος και της υποχώρησης των παγετώνων του Πλειστόκαινου περίπου 10.000 χρόνια πριν και έτσι οι περισσότερες σημερινές λίμνες είναι σχετικά νεαρές. Μια ισχυρή προσέγγιση για την κατανόηση των πιθανών επιπτώσεων της μελλοντικής κλιματικής αλλαγής στις λίμνες είναι η εφαρμογή παλαιολιμνολογικών μεθόδων στις οποίες οι πυρήνες των ιζημάτων λιμνών χρονολογούνται και αναλύονται για να συναχθούν οι κλιματικές επιπτώσεις στο παρελθόν. Οι περισσότερες τέτοιες αναλύσεις έχουν περιοριστεί στη χρονική περίοδο των τελευταίων 1000 ετών. Μελέτες σημερινών λιμνών διαφορετικών ηλικιών και σε διαφορετικά γεωγραφικά σημεία παρέχουν επίσης πολύτιμες γνώσεις για τις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής. Πρόσθετες γνώσεις σχετικά με τις κλιματικές επιπτώσεις προέρχονται από μοντελοποίηση και πειράματα, σε συνδυασμό με περιφερειακές αναλύσεις πολλών λιμνών που σήμερα αντιμετωπίζουν αλλαγές στη θερμοκρασία και τις βροχοπτώσεις (Vincent, 2009).

Μερικά από τα πιο εντυπωσιακά παραδείγματα κλιματικών επιπτώσεων μέχρι σήμερα είναι από λιμνολογικές και παλαιολιμνολογικές μελέτες στις πολικές περιοχές. Τα μοντέλα παγκόσμιας κυκλοφορίας προβλέπουν ότι η ταχύτερη και πιο έντονη

θέρμανση θα είναι στα υψηλότερα γεωγραφικά πλάτη λόγω μιας ποικιλίας διαδικασιών που ενισχύουν τη θέρμανση σε αυτές τις περιοχές. Μερικές από τις άμεσες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στις λίμνες μεγάλου γεωγραφικού πλάτους περιλαμβάνουν την απώλεια πολυετούς κάλυψης πάγου, την αύξηση της διάρκειας των συνθηκών νερού, την αύξηση της θερμοκρασίας του νερού, την ισχυρότερη στρωματοποίηση στηλών νερού και τις αλλαγές στο ισοζύγιο νερού, που σε ορισμένες περιπτώσεις οδηγεί σε πλήρη αποστράγγιση ή ξήρανση (Vincent, 2009).

Σήμερα, είναι ευρέως αναγνωρισμένο ότι η Ευρώπη υφίσταται κλιματική αλλαγή και οι επιπτώσεις στους υδάτινους πόρους είναι προφανείς. Ευπάθεια υδρολογικών φαινομένων (πλημμύρες, ξηρασίες), οικοσυστήματα επιφανειακών υδάτων σε κίνδυνο, υπερεκμετάλλευση των υπόγειων υδάτων, υποβάθμιση της ποιότητας των υδάτων κ.λ.π. είναι κάποια από τα φαινόμενα που παρατηρούνται. Τα τελευταία 100 χρόνια η μέση ευρωπαϊκή θερμοκρασία αυξήθηκε κατά 0,95 °C και προβλέπεται περαιτέρω αύξηση 2,0 °C - 6,3 °C έως το έτος 2100. Οι τάσεις των βροχοπτώσεων έχουν επίσης αλλάξει, καταδεικνύοντας υψηλή μεταβλητότητα καθώς η νότια και νοτιοανατολική Ευρώπη έχουν γίνει πιο ξηρές (έως 20%), ενώ η κεντρική και η βόρεια Ευρώπη δέχονται περισσότερες βροχοπτώσεις από στο παρελθόν (10% - 40%). Αυτό το μοτίβο προβλέπεται να συνεχιστεί, με τις ετήσιες βροχοπτώσεις να μειώνονται έως και 1% ανά δεκαετία στη νότια Ευρώπη (στη θερινή ώρα είναι πιθανή μείωση 5%) και αντίθετα να αυξάνεται στη Βόρεια Ευρώπη κατά 1% - 2% κάθε δεκαετία (European Environmental Agency (EEA), 2004).

Κεφάλαιο 2: Οι λίμνες και το κλίμα τους

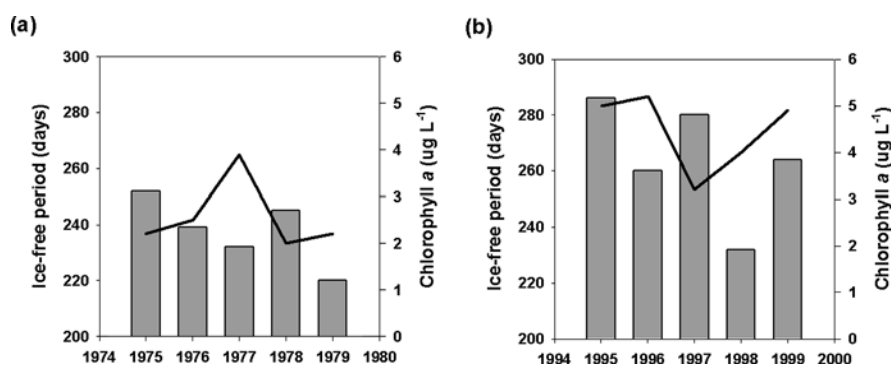
Αν και υπάρχει μια γενική αίσθηση ότι οι λίμνες μπορούν να λειτουργήσουν ως φρουροί της κλιματικής αλλαγής, η αποτελεσματικότητά τους δεν έχει αναλυθεί διεξοδικά. Οι Adrian, et.al., (2009) προσδιόρισαν τις βασικές μεταβλητές απόκρισης μέσα σε μια λίμνη που λειτουργούν ως δείκτες των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής τόσο στη λίμνη όσο και στη λεκάνη απορροής. Αυτές οι μεταβλητές αντικατοπτρίζουν ένα ευρύ φάσμα φυσικών, χημικών και βιολογικών αντιδράσεων στο κλίμα. Ωστόσο, η αποτελεσματικότητα των διαφορετικών δεικτών επηρεάζεται από την περιφερειακή αντίδραση στην κλιματική αλλαγή, τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής και τα καθεστώτα ανάμειξης λιμνών. Έτσι, συγκεκριμένοι δείκτες ή συνδυασμοί δεικτών είναι πιο αποτελεσματικοί για διαφορετικούς τύπους λιμνών και γεωγραφικές περιοχές. Η εξαγωγή κλιματικών σημάτων μπορεί να περιπλέκεται περαιτέρω από την επίδραση άλλων περιβαλλοντικών αλλαγών, όπως ο ευτροφισμός. Οι λίμνες είναι αποτελεσματικοί φρουροί για την κλιματική αλλαγή επειδή είναι ευαίσθητες στο κλίμα, ανταποκρίνονται γρήγορα στην αλλαγή και ενσωματώνουν πληροφορίες σχετικά με τις αλλαγές στη λεκάνη απορροής.

2.1.Κλιματική Αλλαγή και Οδηγία Πλαίσιο για τα Νερά

Το έργο CLIME σχεδιάστηκε για να παρέχει στρατηγική υποστήριξη για την Οδηγία Πλαίσιο για τα Νερά (ΟΠΝ) (Water Framework Directive, WFD). Η ΟΠΝ αντιπροσωπεύει μια θεμελιώδη αλλαγή στον τρόπο διαχείρισης των υδάτινων πόρων στην Ευρώπη. Καθιερώνει ένα ενιαίο σύστημα αξιολόγησης που ασχολείται με όλα τα υδάτινα συστήματα με ολιστικό τρόπο. Η κατευθυντήρια αρχή της οδηγίας είναι η επίτευξη «καλής οικολογικής κατάστασης» για όλα τα υπόγεια και επιφανειακά ύδατα έως το 2015. Τα επιφανειακά ύδατα ορίζονται ως έχοντα καλή οικολογική κατάσταση εάν τα φυσικά, χημικά και βιολογικά τους χαρακτηριστικά ταιριάζουν με αυτά παρόμοιων συστήματα που εκτίθενται σε ελάχιστες ανθρωπογενείς επιδράσεις. Όταν αναπτύχθηκε αυτό το πρόγραμμα, η κλιματική αλλαγή δεν ήταν το πιεστικό ζήτημα που είναι σήμερα. Στο μέλλον, οι διαδικασίες που χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη της οδηγίας θα πρέπει να τροποποιηθούν ώστε να αντιμετωπίζονται τόσο οι άμεσες όσο και οι έμμεσες επιπτώσεις του μεταβαλλόμενου κλίματος. Στο τρέχον σύστημα, οι διαχειριστές λεκάνης απορροής υποχρεούνται να ορίσουν τη «φυσική μεταβλητότητα» που σχετίζεται με λίμνες που βρίσκονται σε διαφορετικά μέρη της

Ευρώπης. Αυτή η μεταβλητότητα προβλέπεται να αυξηθεί, καθώς ο κόσμος γίνεται θερμότερος (Temnerud & Weyhenmeyer, 2008), επομένως τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό της οικολογικής τους κατάστασης θα πρέπει να αλλάξουν για να καλυφθεί αυτή η αβεβαιότητα. Ένας αριθμός εκθέσεων σχετικά με τον πιθανό αντίκτυπο της κλιματικής αλλαγής στην ΟΠΥ έχει ήδη παραχθεί (Wilby et al., 2006). Το CLIME ήταν ένα από τα πρώτα έργα που διερεύνησαν τις επιπτώσεις των προβλεπόμενων κλιματικών αλλαγών στην ποιότητα αλλά και στην ποσότητα του νερού. Το 2005, το διαδέχτηκε ένα άλλο έργο της ΕΕ (Eurolimpacs) που σχεδιάστηκε για την αξιολόγηση των επιπτώσεων της υπερθέρμανσης του πλανήτη σε ποτάμια και υγροτόπους καθώς και σε λίμνες (www.eurolimpacs.ucl.ac.uk).

Για τις ρυθμιστικές αρχές, το βασικό ζήτημα είναι να διακρίνουν εκείνες τις λίμνες όπου η υποβάθμιση της ποιότητας του νερού μπορεί να σχετίζεται με αλλαγές στη διαχείριση της λεκάνης απορροής από εκείνες όπου ο κύριος μοχλός είναι η περιφερειακή αλλαγή του κλίματος. Πρακτικά, αυτό σημαίνει τον εντοπισμό εκείνων των τοποθεσιών όπου τα διορθωτικά μέτρα θα ήταν πιο αποτελεσματικά πριν τεθούν νέοι στόχοι για τις λιγότερο ανθεκτικές τοποθεσίες. Η Εικ.1 δείχνει πώς οι στόχοι ποιότητας του νερού που έχουν τεθεί για μια συγκεκριμένη λίμνη μπορεί να πρέπει να αλλάξουν για να προσαρμοστούν στις νέες οριακές συνθήκες που επιβάλλονται από το μεταβαλλόμενο κλίμα. Όταν καθοριστούν αυτές οι οριακές συνθήκες (Εικ. 1α), τα μέτρα που υιοθετήθηκαν για την επίτευξη «καλής οικολογικής κατάστασης» ενδέχεται να παραμείνουν αποτελεσματικά για αρκετό καιρό. Όταν αλλάζουν οι οριακές συνθήκες (Εικ. 1β), τα διορθωτικά μέτρα «κυνηγούν έναν κινούμενο στόχο» και οι ερευνητές της λεκάνης απορροής μπορεί να χρειαστεί να αναθεωρήσουν τους στόχους που έχουν θέσει για τη λίμνη.



Εικόνα 1: Η επίδραση μιας επέκτασης στην περίοδο χωρίς πάγο στη θερινή βιομάζα του φυτοπλαγκτού στη λίμνη Erken: (α) Η κατάσταση της λίμνης τη δεκαετία του 1970.

(β) Η κατάσταση της λίμνης τη δεκαετία του 1990. Οι ράβδοι δείχνουν την περίοδο χωρίς πάγο και οι γραμμές τη βιομάζα του φυτοπλαγκτού (τροποποιημένο από George, 2002).

2.2. Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στις λίμνες

Οι κλιματικές αλλαγές όπως η άνοδος της θερμοκρασίας, οι συχνότερες ακραίες καταιγίδες και οι αλλαγές στα ποσοστά βροχοπτώσεων της εποχής θα επηρεάσουν τις λίμνες, τα ποτάμια και τα ρέματα. Καθώς οι θερμοκρασίες του αέρα αυξάνονται, τόσο θα αυξάνεται και η θερμοκρασία του νερού στα συστήματα γλυκού νερού. Τα ρηχά νερά είναι ιδιαίτερα ευάλωτα στις αυξήσεις της θερμοκρασίας, γεγονός που μειώνει τη διαθεσιμότητα ενδιαιτημάτων γλυκού νερού για είδη ψυχρού νερού. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες του νερού σε βαθιές λίμνες επιβραδύνουν τις διαδικασίες που προσθέτουν οξυγόνο στο νερό, δημιουργώντας νεκρές ζώνες ή περιοχές με λιγότερο οξυγόνο που δεν μπορούν να υποστηρίξουν τη ζωή. Αυτές οι νεκρές ζώνες μπορούν να προκαλέσουν μεγάλης κλίμακας θνησιμότητα ψαριών και τοξικές ανθοφορίες φυκιών (Patz, et.al., 2008).

Οι αυξανόμενες θερμοκρασίες, προκαλούν νωρίτερα λιώσιμο του χιονιού, σε συνδυασμό με υψηλότερες ποσότητες βροχοπτώσεων και πιο έντονες καιρικές συνθήκες και πλημμύρες θα επηρεάσουν τις αναπαραγωγικές ικανότητες των υδρόβιων ειδών. Οι αλλαγές στο χρόνο υψηλής και χαμηλής ροής δημιουργούν πίεση στα υδρόβια φυτά και ζώα, μειώνοντας τα ποσοστά επιβίωσης (Patz, et.al., 2008).

Οι αλλαγές στο καθεστώς βροχοπτώσεων που συνοδεύουν την κλιματική αλλαγή έχουν τη δυνατότητα να προκαλέσουν αλλαγές στη συνδεσιμότητα των λιμνών (με βιολογικές επιπτώσεις, π.χ. για τα μεταναστευτικά είδη ψαριών), καθώς και στους ρυθμούς διάβρωσης που θα μπορούσαν να επηρεάσουν τη δυναμική εισροής και εκροής των λιμνών. Τα τελευταία αποτελέσματα είναι ιδιαίτερα εμφανή σε περιοχές με μόνιμο παγετό και τούνδρα. Πολλές θερμοκραστικές λίμνες στην τούνδρα της Σιβηρίας και της Αλάσκα αποστραγγίζονται ως αποτέλεσμα της αυξημένης τήξης του μόνιμου πάγου, ενώ ορισμένες λίμνες νοτιότερα σε ασυνεχές, υποαρκτικό μόνιμο πάγο έχουν αρχίσει να επεκτείνονται ως αποτέλεσμα της διαφορεικής τήξης σε τέτοια εδάφη. Οι λίμνες με φράγμα πάγου, π.χ., εκείνες που βρίσκονται πίσω από παχιά τμήματα πάγου είναι επιρρεπείς σε πλήρη απώλεια λόγω ρωγμών και κατάρρευσης πάγου που εξαρτάται από το κλίμα (Vincent, 2009).

2.2.1. Ακεραιότητα οικοσυστήματος

Στην ευρύτερη κλίμακα, η κλιματική αλλαγή έχει τη δυνατότητα να αλλάξει ριζικά τη φυσική δομή των λιμνών οικοσυστημάτων και, ως εκ τούτου, να προκαλέσει την εξαφάνιση ή την αλλοίωση των υδρόβιων οργανισμών. Το λιώσιμο του μόνιμου παγετού της Σιβηρίας είναι ένα από τα πιο εντυπωσιακά παραδείγματα, όπου το 11% των λιμνών απόψυξης σε μια μεγάλη περιοχή μελέτης έχει πρόσφατα αποξηρανθεί και χαθεί, εξαλείφοντας έτσι τον οικοτόπο για τις υδρόβιες βιολογικές κοινότητες. Η συστολή μεγάλων αβαθών λιμνών έχει επίσης ως αποτέλεσμα σημαντική απώλεια οικοτόπων, ενώ ακόμη και οι βαθιές λίμνες μπορεί να χάσουν σημαντικά οικολογικά χαρακτηριστικά ως αποτέλεσμα των σχετικά μικρών διακυμάνσεων της στάθμης του νερού. Για παράδειγμα, οι παράκτιοι υγρότοποι των Μεγάλων Λιμνών της Βόρειας Αμερικής είναι σημαντικοί για τα αποδημητικά πουλιά και η πλειονότητα των ειδών ψαριών στην περιοχή εξαρτώνται από αυτά τα παράκτια και υπεράκτια περιβάλλοντα για αναπαραγωγή. Μικρές αλλαγές στα επίπεδα των λιμνών ως αποτέλεσμα της αλλαγής του υδατικού ισοζυγίου καθιστούν αυτά τα περιβάλλοντα ιδιαίτερα ευάλωτα στην κλιματική αλλαγή. Οι αλλαγές στη συνδεσιμότητα μεταξύ των υδρόβιων οικοτόπων ως αποτέλεσμα της ανόδου ή της πτώσης της στάθμης των υδάτων θα επηρεάσουν επίσης τη σύνθεση των ειδών του υδρόβιου ζώντος οργανισμού, ιδίως τις κοινότητες ψαριών (Vincent, 2009).

2.2.2. Βιολογικές Επιδράσεις της Κλιματικής Αλλαγής

Οι βιολογικές αποκρίσεις στις φυσικές και χημικές αλλαγές που σημειώνονται εδώ περιλαμβάνουν πολλαπλές αλληλεπιδράσεις, ανατροφοδοτήσεις και πολύπλοκες μη γραμμικές αποκρίσεις που δεν είναι δυνατό να προβλεφθούν πλήρως με βάση την τρέχουσα γνώση. Ωστόσο, μια μεγάλη ποικιλία από άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις μπορεί να αναγνωριστεί ως μερικές από τις πιθανές οδούς επιπτώσεων της συνεχιζόμενης κλιματικής αλλαγής. Αυτά λειτουργούν σε πολλαπλές κλίμακες, από αλλαγές στη δομή και τη δυναμική ολόκληρου του οικοσυστήματος, μέχρι τις φυσιολογικές και μοριακές αποκρίσεις σε ατομικό και κυτταρικό επίπεδο που με τη σειρά τους ανατροφοδοτούν τη συνολική δυναμική του οικοσυστήματος (Vincent, 2009).

2.2.3. Φωτοσυνθετικές Κοινότητες

Οι αλλαγές στη διαθεσιμότητα φωτός και θρεπτικών ουσιών που συνοδεύουν την κλιματική αλλαγή θα έχουν επίσης επίδραση στη σύνθεση και την ποικιλότητα των ειδών σε πρώτο επίπεδο, κάτι που με τη σειρά του μπορεί να επηρεάσει τα υψηλότερα τροφικά επίπεδα. Παλαιολιμνολογικές μελέτες έχουν δείξει ότι η σύνθεση διατόμων του φυτοπλαγκτού σε λίμνες σε πολλές τοποθεσίες στην Αρκτική έχει αλλάξει σημαντικά τα τελευταία 150 χρόνια, σύμφωνα με μια ισχυρά μειωμένη κάλυψη πάγου και πιθανώς αυξημένη παροχή θρεπτικών ουσιών. Στην αρχαία Λίμνη Βαϊκάλη, υπάρχουν ενδείξεις ότι τα ενδημικά, ψυχρά ταξινομικά τόξα διατομών που υποστηρίζουν τον τρέχοντα τροφικό ιστό θα αντικατασταθούν από ταχύτερα αναπτυσσόμενα, μη διατομικά είδη, συμπεριλαμβανομένου του φυτοπλαγκτόν. Οι αλλαγές στη στάθμη της λίμνης είναι πιθανό να επηρεάσουν τη σύνθεση των ειδών των υδρόβιων κοινοτήτων μακρόφυτων στην παράκτια ζώνη των λιμνών, με συνέπειες για τα πουλιά, τα ψάρια και άλλα είδη που εξαρτώνται από αυτά τα φυτά (Vincent, 2009).

Μια σημαντική ανησυχία για την κλιματική αλλαγή στα εύκρατα γεωγραφικά πλάτη είναι η προοπτική μιας μετατόπισης της σύνθεσης των ειδών φυτοπλαγκτού προς την κυριαρχία από είδη κυανοβακτηρίων που σχηματίζουν επιβλαβείς ανθοφορίες. Αυτοί οι οργανισμοί δημιουργούν πολλά προβλήματα ποιότητας του νερού στις λίμνες και την παραγωγή διαφόρων τοξινών και την υπερπαραγωγή βιομάζας που φράζει τα φίλτρα του νερού, διαταράσσει την τροφοδοσία του ζωοπλαγκτού και προκαλεί εξάντληση οξυγόνου. Τα κυανοβακτήρια που σχηματίζουν άνθη είναι πιθανό να ευνοούνται σε ένα θερμαινόμενο κλίμα από διάφορους μηχανισμούς. Πρώτον, η θερμοκρασία τους για βέλτιστη ανάπτυξη τείνει να είναι υψηλή (25⁰ C ή περισσότερο), και οι θερμότερες συνθήκες θα ευνοήσουν την ταχύτερη συσσώρευση και κυριαρχία τους. Δεύτερον, αυτά τα είδη μπορούν να ρυθμίσουν τη θέση τους σε σταθερές στήλες νερού μέσω κενοτοπίων αερίου που τους επιτρέπουν να βυθίζονται ή να ανεβαίνουν σε ανώτερα βάθη για φωτοσύνθεση ή πρόσληψη θρεπτικών συστατικών. Όπως σημειώθηκε παραπάνω, τα μελλοντικά σενάρια κλιματικής αλλαγής προβλέπουν αυξημένη διαστρωμάτωση της υδάτινης στήλης. Τρίτον, ένα θερμότερο κλίμα μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη ανοξία και εσωτερική αύξηση στην συγκέντρωση φωσφόρου και τα κυανοβακτήρια που σχηματίζουν άνθη τείνουν να γίνονται όλο και πιο διαδεδομένα με αυξανόμενο βαθμό εμπλουτισμού φωσφόρου. Τέλος, ένα ιδιαίτερα τοξικό είδος από τροπικές και υποτροπικές περιοχές, το *Cylindrospermopsis*

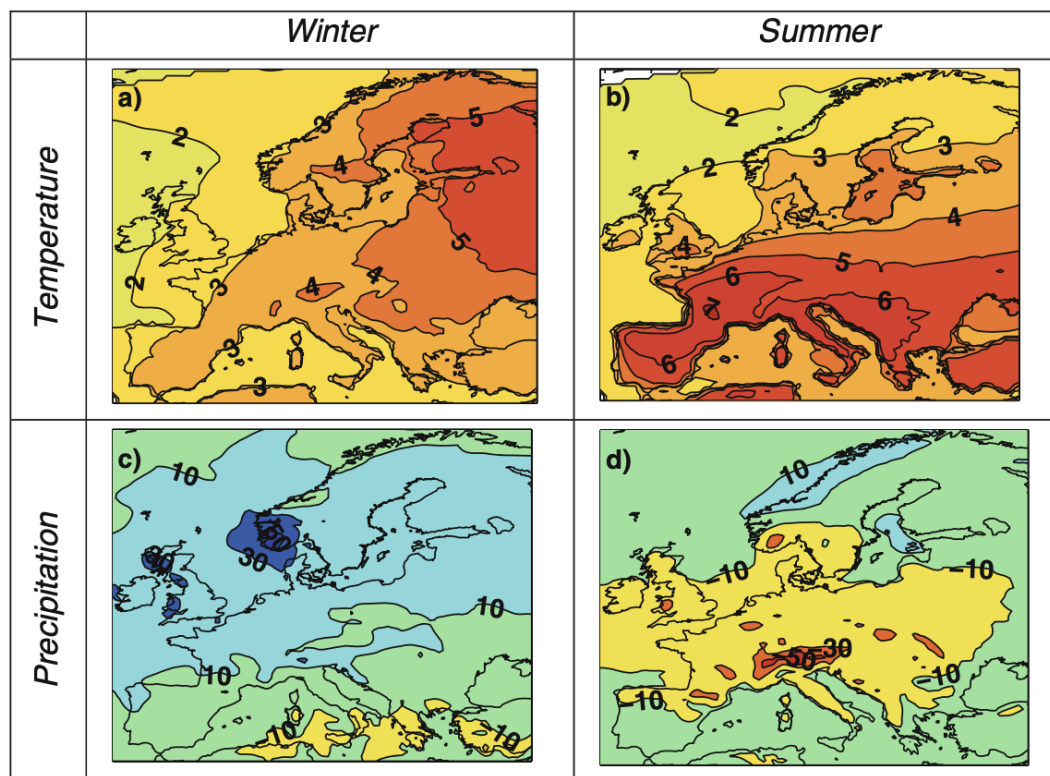
raciborskii, έχει παρατηρηθεί όλο και περισσότερο σε εύκρατες λίμνες. Αυτή η φαινομενική εισβολή έχει αποδοθεί στην κλιματική αλλαγή, με τις μεγαλύτερες θερμοκρασίες να ευνοούν την πρόωμη βλάστηση των σπόρων του (Wiedner, et.al., 2007).

2.3.Ο ρόλος της μοντελοποίησης του κλίματος στις εκτιμήσεις επιπτώσεων

Οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων στην Ευρωπαϊκή Ένωση χρειάζονται επειγόντως λεπτομερείς προβλέψεις για το μελλοντικό κλίμα και πληροφορίες σχετικά με τις αβεβαιότητες που συνδέονται με αυτές τις προβλέψεις. Τα κλιματικά μοντέλα αντιπροσωπεύουν ένα σημαντικό εργαλείο για την κατανόηση του κλιματικού συστήματος της γης. Για την τρέχουσα και ιστορική περίοδο, συμπληρώνουν τις μεθόδους παρατήρησης που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση του κλίματος. Για τις μελλοντικές περιόδους, είναι τα μόνα διαθέσιμα εργαλεία για την αξιολόγηση των ρυθμών μεταβολής που μπορούν να αναμένονται σε διαφορετικά σενάρια μελέτης. Προτού μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της πιθανής μελλοντικής κατάστασης του κλίματος, τα κλιματικά μοντέλα πρέπει να είναι σε θέση να αναπαράγουν τα βασικά χαρακτηριστικά και την ιστορία του κλίματος. Οι γνώσεις μας για το πώς λειτουργεί το σύστημα ωκεανού-ατμόσφαιρας συνεχίζουν να βελτιώνονται, αλλά εξακολουθούν να υπάρχουν πολλές αβεβαιότητες και έχουν σημαντική επίδραση στα αποτελέσματα που παράγονται από τα διαφορετικά μοντέλα (Samuelsson, 2010).

Το συνολικό μοτίβο μπορεί να εξηγηθεί από τη γενική θέρμανση της ατμόσφαιρας, τη μεγάλη κλίμακας δυναμική της και τους τοπικούς μηχανισμούς ανάδρασης. Μια πιο ζεστή ατμόσφαιρα μπορεί να κρατήσει περισσότερους υδρατμούς. Αυτό σημαίνει ότι η οριζόντια μεταφορά υδρατμών θα αυξηθεί ανεξάρτητα από οποιαδήποτε αλλαγή στο γενικό μοτίβο κυκλοφορίας (Christensen et al., 2007). Οι αυξημένες μεταφορές θα ενισχύσουν ήδη καθιερωμένες περιοχές σύγκλισης/απόκλισης, όπως η σύγκλιση στη Βόρεια Ευρώπη και η απόκλιση στη Νότια Ευρώπη. Αυτές οι αλλαγές έχουν ως αποτέλεσμα αυξημένες ποσότητες βροχοπτώσεων στη Βόρεια Ευρώπη, ειδικά κατά τη διάρκεια του χειμώνα, και μειωμένες ποσότητες βροχοπτώσεων στη Νότια Ευρώπη, ειδικά το καλοκαίρι. Υπάρχουν επίσης κάποιες ενδείξεις αλλαγής στη δυναμική μεγάλης κλίμακας, όπως μια επέκταση προς τον πόλο των υποτροπικών υψηλών και μια μετατόπιση προς τον

πόλο των δυτικών περιοχών μεσαίου γεωγραφικού πλάτους και των σχετικών τροχιών καταγίδας (Christensen et al., 2007). Αυτές οι αλλαγές στη δυναμική μπορούν, με τη σειρά τους, είτε να ενισχύσουν είτε να μειώσουν τις περιγραφόμενες τάσεις της βροχόπτωσης.



Εικόνα 2: Οι μέσες διαφορές θερμοκρασιών. Οι χάρτες δείχνουν τις χωρικές διαφορές στη θερμοκρασία χειμώνα (DJF) και καλοκαίρι (JJA) ($^{\circ}\text{C}$) και βροχόπτωση (mm/μήνα) (Samuelsson, 2010).

2.4. Οι λίμνες ως φρουροί της κλιματικής αλλαγής

Σαφώς, υπάρχει ένα σύνολο μεταβλητών που ανταποκρίνονται στο κλίμα και καλύπτουν μια σειρά από φυσικές, χημικές και βιολογικές ιδιότητες στις λίμνες (ACIA 2004; Rosenzweig et al. 2007). Μερικοί αποτελούν τους πιο αποτελεσματικούς δείκτες της κλιματικής αλλαγής. Τα κριτήρια για την επιλογή αυτών των μεταβλητών απόκρισης ήταν ο υψηλός συγχρονισμός μεταξύ των λιμνών, η ευκολία μέτρησης και η γνωστή συνάφειά τους με τη λειτουργία του οικοσυστήματος. Αυτές οι μεταβλητές απόκρισης αντικατοπτρίζουν είτε μια άμεση επίδραση του κλίματος στη λίμνη είτε μια έμμεση αλλαγή μέσω της επίδρασης του κλίματος στη λεκάνη απορροής.

Θερμοκρασία νερού: Οι επιφανειακές και επιλημνιακές θερμοκρασίες του νερού, οι οποίες μπορούν να συσχετιστούν σε μεγάλο βαθμό με τις θερμοκρασίες του αέρα σε περιφερειακή κλίμακα, παρουσιάζουν ταχεία και άμεση απόκριση στην κλιματική αλλαγή, καθιστώντας την επιλίμνια θερμοκρασία χρήσιμο δείκτη. Σε πολλές (αλλά όχι σε όλες) λίμνες, η επιλίμνια θερμοκρασία έχει υποστεί πρόσφατη αύξηση. Οι επιλίμνιες θερμοκρασίες είναι εύκολο να παρακολουθηθούν και αντανακλούν τις τάσεις αύξησης της θερμοκρασίας του αέρα στη Βόρεια Αμερική (Coats et al. 2006), την Ευρασία (Hampton et al. 2008) και την Αφρική (O'Reilly et al. 2003). Αντίθετα, οι υπολίμνιες θερμοκρασίες παρουσιάζουν πολύ πιο περίπλοκη συμπεριφορά και μπορεί να υποστούν θέρμανση ή ψύξη ανάλογα με τη μορφολογία της λίμνης και την εποχή (Straile et al. 2003). Επηρεάζοντας την πυκνότητα στη στήλη του νερού, κάθετες ετερογενείς αλλαγές στη θερμοκρασία του νερού έχουν ως αποτέλεσμα μακροπρόθεσμες αλλαγές στην ένταση και τη διάρκεια της κάθετης ανάμειξης και στρωματοποίησης, στη θερμική σταθερότητα και στο βάθος του θερμοκλινούς (Livingstone 2008). Αν και οι μακροπρόθεσμες αλλαγές στη θερμική δομή και το καθεστώς ανάμειξης μπορεί να απαιτούν λεπτομερείς μετρήσεις θερμοκρασίας στη στήλη του νερού για την ανίχνευσή τους, αντιπροσωπεύουν καλούς δείκτες κλιματικής αλλαγής λόγω της αμεσότητας και της ευαισθησίας της απόκρισής τους στην κλιματική πίεση. Επιπλέον, τέτοιες μακροπρόθεσμες φυσικές αλλαγές θα είχαν σοβαρές συνέπειες για τις συγκεντρώσεις θρεπτικών ουσιών και οξυγόνου, καθώς και για την κατακόρυφη κατανομή και τη σύνθεση του ζώντος οργανισμού.

Στάθμη νερού: Σε μη ρυθμιζόμενες λίμνες, η στάθμη του νερού είναι ένας καλός δείκτης της κλιματικής αλλαγής, επειδή αντανακλά στη δυναμική ισορροπία μεταξύ της εισροής νερού (υετός, απορροή), της απώλειας νερού (εξάτμιση) και του χρόνου της εποχής χωρίς πάγο (ACIA 2004; Van der Kamp et al. 2008) σε χρονικές κλίμακες που κυμαίνονται από ώρες έως αιώνες (Argyilan και Forman 2003· Ghanbari και Bravo 2008· Van der Kamp et al. 2008). Οι μετρήσεις της στάθμης του νερού είναι ιδιαίτερα χρήσιμες στην περίπτωση λιμνών κλειστής λεκάνης, όπου οι μακροχρόνιες διακυμάνσεις της στάθμης του νερού μπορεί να σχετίζονται με παρόμοιες διακυμάνσεις σε μεγάλης κλίμακας κλιματικές ταλαντώσεις. Πιθανές επιπτώσεις περιλαμβάνουν την επίδραση της στάθμης των υπόγειων υδάτων, μαζί με αλλαγές στη βλάστηση και τη χρήση γης στη λεκάνη απορροής.

Φαινολογία πάγου: Αν και οι διεργασίες που διέπουν το σχηματισμό και την απόψυξη του πάγου της λίμνης εξαρτώνται από πολλαπλούς μετεωρολογικούς και

λιμνολογικούς παράγοντες που αλληλεπιδρούν, η θερμοκρασία του αέρα θεωρείται ότι είναι η κυρίαρχη μεταβλητή που οδηγεί στη φαινολογία λίμνης-πάγου (Williams and Stefan 2006). Επειδή οι επιμέρους φυσικές ιδιότητες της λίμνης επηρεάζουν πολύ πιο έντονα τις διαδικασίες κατάψυξης από τις διαδικασίες απόψυξης, ο χρόνος απομάκρυνσης του πάγου αποτελεί καλύτερο άμεσο δείκτη της κλιματικής αλλαγής από το χρονοδιάγραμμα του πάγου (Šporka et al. 2006). Η χρήση δορυφορικών δεδομένων για τη μελέτη της φαινολογίας των λιμνών με πάγο, σε μεγάλες χωρικές κλίμακες ενισχύουν τη χρησιμότητα του χρόνου της απομάκρυνσης του πάγου ως δείκτη μεγάλης κλίμακας της κλιματικής αλλαγής (Latifovic & Pouliot 2007). Ωστόσο, η σχέση μεταξύ του χρόνου απομάκρυνσης του πάγου και της θερμοκρασίας του αέρα δεν είναι απαραίτητα γραμμική και διαφέρει σαφώς μεταξύ ψυχρότερων και θερμότερων γεωγραφικών περιοχών. Η διάρκεια του πάγου μπορεί να είναι ένας κατάλληλος δείκτης κλιματικής αλλαγής όταν η κάλυψη πάγου είναι διακοπτόμενη, για παράδειγμα, όταν σχηματίζεται και ξεπαγώνει πολλές φορές κατά τη διάρκεια ενός ζεστού χειμώνα (Livingstone & Adrian 2009).

Χημικές μεταβλητές: Πολλές από τις συγκεκριμένες χημικές ιδιότητες μιας λίμνης αντιπροσωπεύουν το χερσαίο τοπίο και οι αλλαγές σε αυτές τις μεταβλητές μπορεί να χρησιμεύσουν ως δείκτες χερσαίων διεργασιών που κατά τα άλλα είναι δύσκολο να εντοπιστούν στο πιο ετερογενές χερσαίο οικοσύστημα. Οι συγκεντρώσεις και οι αναλογίες θρεπτικών ουσιών στις λίμνες είναι πιθανό να μεταβληθούν ως συνέπεια των αλλαγών στις χερσαίες εξαγωγές που σχετίζονται με τις κλιματικές επιρροές στους ρυθμούς καιρικών συνθηκών, τη βροχόπτωση, την απορροή, συχνότητα πυρκαγιάς ή επίγεια πρωτογενή παραγωγικότητα (Boisvenue & Running 2006). Οι συγκεντρώσεις θρεπτικών ουσιών μπορούν επίσης να επηρεαστούν από εσωτερικές διεργασίες που σχετίζονται με αλλαγές στη θερμική δομή ή/και στην πρωτογενή παραγωγικότητα (Wilhelm & Adrian 2008). Το pH, η ιοντική σύνθεση και η αγωγιμότητα είναι πολύ ευαίσθητοι και εύκολα μετρήσιμοι δείκτες των αλλαγών στον ρυθμό της καιρικής μεταβολής, καθώς και του ισοζυγίου νερού. Για πολλές λίμνες, μπορεί να υπάρχουν προκλήσεις στην αποσύνδεση των ρόλων των εσωτερικών αλλαγών και των αλλαγών της λεκάνης απορροής σε σχέση με τη χημεία του νερού, κάτι που μπορεί να περιπλέκεται περαιτέρω από παράγοντες όπως ο ευτροφισμός, η οξίνιση ή η εναπόθεση αζώτου στην ατμόσφαιρα (Hessen et al. 2009). Αυτό είναι πιο πιθανό να ισχύει για βιολογικά αντιδραστικά στοιχεία παρά για στοιχεία όπως Na, Mg, ακόμη και Ca σε λίμνες που δεν παρουσιάζουν αλλαγές στα καιρικά φαινόμενα. Οι

συγκεντρώσεις διαλυμένου οργανικού άνθρακα (DOC) μπορούν επίσης να χρησιμεύσουν ως δείκτης και μπορεί να είναι ιδιαίτερα κατάλληλες για την ανίχνευση αλλαγών στο επίγειο περιβάλλον (Tranvik et al. 2009). Το DOC ενσωματώνει πολλαπλές αποκρίσεις εντός της λίμνης, όπως η διαφάνεια του νερού (ιδιαίτερα στην περιοχή υπεριώδους), η απορρόφηση θερμότητας και διάφορες μεταβολές της λίμνης, καθώς και αλλαγές που παρατηρούνται στη λεκάνη απορροής και σχετίζονται με αυξημένη απορροή, τήξη μόνιμου πάγου, αλλαγές στη βλάστηση, αλλαγές στους υγροτόπους (Keller et al. 2008) και αυξημένες συγκεντρώσεις CO₂ (Freeman et al. 2004). Οι συγκεντρώσεις DOC μπορεί να είναι βασικός δείκτης των διεργασιών λεκάνης απορροής, ιδιαίτερα στις βόρειες λεκάνες απορροής, όπου το DOC γενικά κυριαρχείται από αλλόχθονα υλικά και οι αυξανόμενες εισροές που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή έχουν ισχυρές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα των λιμνών (Parker et al. 2008). Τα μειονεκτήματα του DOC ως δείκτη της κλιματικής αλλαγής είναι ότι μπορεί επίσης να επηρεαστεί από την ατμοσφαιρική αλλαγή.

Οι συγκεντρώσεις οξυγόνου στις λίμνες μπορεί να υποδεικνύουν κλιματικές αλλαγές επειδή τα επίπεδα οξυγόνου επηρεάζονται έντονα από τη θερμοκρασία (Hanson et al. 2006). Για παράδειγμα, το εξαιρετικά ζεστό ευρωπαϊκό καλοκαίρι του 2003 είχε ως αποτέλεσμα μια μακρά περίοδο θερμικής διαστρωμάτωσης και αυξημένη μείωση του υπολίμνιου οξυγόνου σε ορισμένες ελβετικές λίμνες. Όταν ισχύει, οι συγκεντρώσεις υπολίμνιου οξυγόνου έχουν προστιθέμενη αξία ως δείκτες της κλιματικής αλλαγής επειδή έχουν εκτεταμένες συνέπειες για την εσωτερική φόρτωση θρεπτικών ουσιών.

Οι πλαγκτονικοί οργανισμοί έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως ως δείκτες της αλλαγής του οικοσυστήματος και επειδή αυτοί οι σχετικά βραχύβιοι οργανισμοί ανταποκρίνονται γρήγορα σε ανεπαίσθητες θερμικές αλλαγές, είναι επίσης χρήσιμοι δείκτες της κλιματικής αλλαγής. Οι κοινότητες φυτοπλαγκτού και ζωοπλαγκτού σε πολλές λίμνες έχουν σχετικά καλά τεκμηριωθεί για εκτεταμένες χρονικές περιόδους και αυτά τα αρχεία είναι χρήσιμα για την εξαγωγή αντιδράσεων που σχετίζονται με το κλίμα (Andrian, et.al., 2006). Για το ζωοπλαγκτόν, οι φαινολογικές μετατοπίσεις συνήθως περιορίζονται σε ταχέως αναπτυσσόμενο πλαγκτόν, ενώ το πλαγκτόν με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής μπορεί να ανταποκρίνεται με πιο περίπλοκους τρόπους. Για μακροβιότερους οργανισμούς με πολύπλοκο κύκλο ζωής, η υπερθέρμανση του κλίματος μπορεί να επιταχύνει την οντογενετική ανάπτυξη, η οποία μπορεί να προκαλέσει μια αλλαγή στην ιστορία της ζωής, όπως έχει αποδειχθεί για τα ψάρια και

τα είδη κωνοπόδων (Winder et al. 2009). Οι ανοιξιάτικες μεταναστεύσεις για πολλά ανάδρομα είδη ψαριών γίνονται νωρίτερα, και αυτός ο χρόνος μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης κλιματικών αλλαγών.

Οι ρυθμοί ανάπτυξης, η αφθονία και η σύνθεση των ειδών μπορούν να θεωρηθούν ως δείκτης της κλιματικής αλλαγής. Δεδομένης της επαρκούς διαθεσιμότητας πόρων, οι αυξανόμενες θερμοκρασίες γενικά επιταχύνουν τους ρυθμούς ανάπτυξης και ανάπτυξης μεμονωμένων οργανισμών, αν και οι αλλαγές στην απόλυτη αφθονία τείνουν να είναι ειδικές για τα είδη (Adrian et al. 2006). Οι αλλαγές στη σύνθεση των ειδών έχουν χρησιμοποιηθεί ως κλιματικός δείκτης σε μεγαλύτερα γεωλογικά χρονοδιαγράμματα (Rühland et al. 2008), καθώς και σε σύγχρονες μελέτες. Για παράδειγμα, σε υψηλότερες θερμοκρασίες, τα κυανοβακτήρια που σχηματίζουν άνθη έχουν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα έναντι άλλων ομάδων φυτοπλαγκτού. Ομοίως, η ισχυρότερη κατακόρυφη διαστρωμάτωση μπορεί να προκαλέσει μετατοπίσεις στη σύνθεση των ειδών φυτοπλαγκτού. Οι αλλαγές στη σύνθεση των ειδών φυτοπλαγκτού, ειδικά μεταξύ εκείνων των ταξινομικών ομάδων που είναι ευαίσθητες στη θερμοκρασία και την ανάμειξη, όπως τα κυανοβακτήρια, τα διάτομα και τα μαστίγια, μπορούν να θεωρηθούν δείκτες βελτιώσεων που προκαλούνται από το κλίμα σε θερμικά στρωματοποιημένες συνθήκες. Οι αλλαγές στην κατανομή των ειδών ψαριών, την αφθονία και τη δομή της κοινότητας είναι επίσης ενδεικτικές των κλιματικών επιπτώσεων, ιδιαίτερα ως διαθέσιμος βióτοπος για συμβόλαια ειδών κρύου νερού.

Άλλες αποκρίσεις των βιολογικών οργανισμών που σχετίζονται με το κλίμα μπορεί να είναι αποτελεσματικοί δείκτες για συγκεκριμένα συστήματα. Αυτές περιλαμβάνουν αποκρίσεις όπως αλλαγές στην πρωτογενή παραγωγικότητα (O'Reilly et al. 2003), μέγεθος σώματος ζωοπλαγκτού αυξημένη πυκνότητα βακτηριακών κυττάρων και βενθικό δίκτυο φωτοσύνθεση και ποσοστά σκοτεινής αναπνοής. Τέλος, το κλίμα μπορεί επίσης να επηρεάσει την ποικιλομορφία και τη σύνθεση των ειδών μέσω της εισβολής μη ιθαγενών ειδών που διευρύνουν τη γεωγραφική τους περιοχή καθώς οι θερμοκρασίες του νερού θερμαίνονται (Rahel & Olden 2008). Η λεπτομερής γνώση των απαιτήσεων του ιστορικού ζωής των χωροκατακτητικών ειδών θα ήταν σημαντική για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητάς τους ως κλιματικού δείκτη. Ωστόσο, όλες αυτές οι αποκρίσεις είναι συχνά συγκεκριμένες για τη λίμνη και μπορεί να είναι δύσκολο να προβλεφθούν σε μεγαλύτερες κλίμακες.

2.5. Γεωγραφική διαφοροποίηση στη χρήση των λιμνών

Οι κλιματικές αλλαγές θα έχουν διαφορετικές επιπτώσεις στις λίμνες ανάλογα με τη γεωγραφική θέση, το υψόμετρο, τη μορφολογία, το κλίμα, τη βλάστηση και τη χρήση γης. Για παράδειγμα, σε δασικές λίμνες σε εύκρατες και βόρειες ζώνες, οι συγκεντρώσεις DOC μπορεί να αντικατοπτρίζουν καλύτερα τις κλιματικές αλλαγές στις διεργασίες του εδάφους, όπως οι ρυθμοί αποσύνθεσης του εδάφους και η έκπλυση της οργανικής ύλης του εδάφους. Ωστόσο, στις γεωργικές λεκάνες απορροής, οι αλλαγές στη βροχόπτωση και στην αποσύνθεση μπορεί να αλλάξουν πρωτίστως την εισαγωγή θρεπτικών ουσιών στα υδατικά συστήματα. Στις αρκτικές λίμνες, οι συγκεντρώσεις κατιόντων (και τα ισότοπα του στροντίου) είναι ευαίσθητοι δείκτες της τήξης του μόνιμου πάγου, ο οποίος εκθέτει προηγουμένως μη αλλοιωμένους παγετώνες μέχρι τη λεκάνη απορροής σε καιρικές συνθήκες. Η στάθμη των υδάτων των λιμνών της Αρκτικής έχει επίσης αποδειχθεί ότι είναι ένας ευαίσθητος δείκτης της βόρειας έκτασης του μόνιμου παγετού (Marsh et al. 2009). Αντίθετα, οι λίμνες σε ξηρά και τροπικά περιβάλλοντα παρουσιάζουν μετατοπίσεις στη στάθμη του νερού και την αγωγιμότητα που σχετίζονται με τις διακυμάνσεις στο ισοζύγιο νερού και τη συγκέντρωση εξάτμισης (Van der Kamp et al. 2008).

Η χρησιμότητα ενός συγκεκριμένου δείκτη εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της λίμνης στην οποία μετράται. Στο απλούστερο επίπεδο, τα χαρακτηριστικά της λίμνης και της λεκάνης απορροής επηρεάζουν τόσο την ευαισθησία της μεταβλητής δείκτη στην κλιματική αλλαγή όσο και την ποσότητα της μεταβλητότητας του υποβάθρου στην οποία υπόκειται ο δείκτης. Για παράδειγμα, σε πολύ μικρές λίμνες με χαμηλή θερμοχωρητικότητα, η θερμοκρασία του επιφανειακού νερού ανταποκρίνεται γρήγορα στην ανταλλαγή θερμότητας με ακτινοβολία και εξάτμιση και στην ηλιακή ακτινοβολία. Ενώ η υψηλή ευαισθησία είναι ένα χρήσιμο χαρακτηριστικό για έναν δείκτη, οδηγεί επίσης σε περισσότερο τον ίδιο «θόρυβο» υψηλής συχνότητας που συγκαλύπτει τις μακροπρόθεσμες τάσεις στα κλιματικά δεδομένα. Μπορεί κανείς να υποθέσει, επομένως, ότι υπάρχει ένα μέγεθος λίμνης για το οποίο ο συνδυασμός μείωσης θορύβου και ευαισθησίας είναι ο βέλτιστος. Μια παρόμοια επιχειρηματολογία θα μπορούσε να κατασκευαστεί για τον βέλτιστο υδρολογικό χρόνο παραμονής όταν χρησιμοποιείται η χημεία του νερού για την ανίχνευση αλλαγών που προκαλούνται από το κλίμα που προκύπτουν από αλλαγές στις εισροές λεκάνης απορροής. Βεβαίως φαίνεται να υπάρχει ένας βέλτιστος συνδυασμός θέσης τοπίου και χρόνου παραμονής

κατά την επιλογή λιμνών που θα χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της επίδρασης του κλίματος στις ροές των υπόγειων υδάτων ως απόκριση στην ξηρασία (Marsh et al. 2009).

Η εσωτερική φυσική δομή μιας λίμνης, η μορφολογία, η υδρολογική ρύθμιση και η ζωή μπορεί να αλλάξουν τους πρωταρχικούς μηχανισμούς με τους οποίους το κλίμα επηρεάζει μια δεδομένη μεταβλητή ως δείκτη. Ως αποτέλεσμα, μια μεταβλητή που δείχνει μια διαφοροποίηση στην κλιματική αλλαγή σε μια λίμνη μπορεί να παρουσιάσει μια πολύ διαφορετική απόκριση σε μια άλλη. Για παράδειγμα, στις βόρειες λίμνες, το DOC μπορεί να αντικατοπτρίζει με τον καλύτερο τρόπο τις διακυμάνσεις στις εισροές που σχετίζονται με την παραγωγή DOC σε εδάφη λεκάνης απορροής και την επακόλουθη εξαγωγή του σε ρέματα ή υπόγεια ύδατα. Το λιώσιμο του μόνιμου παγετού, οι αυξημένες θερμοκρασίες του εδάφους και η μεγαλύτερη βροχόπτωση στις βόρειες περιοχές μπορεί να οδηγήσουν σε αύξηση του DOC για τέτοιες λίμνες. Σε λίμνες με μεγαλύτερους χρόνους παραμονής, οι διαδικασίες απώλειας όπως η βακτηριακή αποικοδόμηση, η φωτοξείδωση, η συσσωμάτωση και η καθίζηση (Von Wachenfeldt et al. 2008) γίνονται πιο σημαντικές. Στο βαθμό που η θερμοκρασία του νερού και η διάρκεια της περιόδου χωρίς πάγο επηρεάζουν αυτές τις διαδικασίες απώλειας, η αναμενόμενη αύξηση του DOC με την κλιματική αλλαγή μπορεί να αμβλυνθεί ή ακόμη και να αντιστραφεί σε αυτές τις μακροχρόνιες κατοικίες-λίμνες του χρόνου. Οι αλλαγές στα μεταλλικών θρεπτικών συστατικών μπορεί επίσης να αναμένεται να διαφέρουν μεταξύ των λιμνών με βάση τις διαδικασίες που τις οδηγούν. Στις στρωματοποιημένες λίμνες, η θέρμανση είναι πιθανό να μειώσει την παραγωγικότητα αυξάνοντας την ένταση, την έκταση ή τη συχνότητα της στρωματοποίησης και συνεπώς μειώνοντας την εσωτερική φόρτιση (O'Reilly et al. 2003; Coats et al. 2006). Σε άλλες λίμνες, οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα την παροχή νέων θρεπτικών ουσιών από τη λεκάνη απορροής ή ενισχυμένη εσωτερική ανακύκλωση (Wagner & Adrian 2009).

Σε ένα επίπεδο, η αποτελεσματική χρήση των μεταβλητών δεικτών θα εξαρτηθεί κρίσιμα από τον εντοπισμό των συνδυασμών λίμνης-μεταβλητής που είναι πιο ευαίσθητοι και επηρεάζονται λιγότερο από άλλες διαδικασίες σύγχυσης. Αυτός ο προσδιορισμός εξαρτάται σε κάποιο βαθμό από μια καλή ποσοτική γνώση των μηχανιστικών δεσμών μεταξύ των μεταβλητών του κλίματος και των μεταβλητών απόκρισης της λίμνης και υποδηλώνει ότι μπορεί να απαιτούνται πολλαπλές μεταβλητές δεικτών. Η σύνδεση των αλλαγών στο κλίμα με τις αλλαγές σε μεταβλητές

όπως το DOC, οι συγκεντρώσεις θρεπτικών ουσιών και η παραγωγικότητα των φυκών μπορεί να είναι αποδεδειγμένη, αλλά η σχέση δεν είναι πάντα καλά κατανοητή για ορισμένες λίμνες. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η ύπαρξη μεταβλητότητας μεταξύ των λιμνών αντιπροσωπεύει μια σημαντική ευκαιρία για την κατανόηση των δεσμών μεταξύ του κλίματος και αυτών των μεταβλητών δεικτών, καθώς και των τρόπων με τους οποίους αυτές οι διασυνδέσεις μεταβάλλονται από τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής και της λεκάνης απορροής. Οι συγκρίσεις μιας μεμονωμένης μεταβλητής δείκτη σε ένα φάσμα διαφορετικών τύπων λιμνών που επηρεάζονται από ένα κοινό κλιματικό σήμα μπορούν να αποσαφηνίσουν την ευαισθησία μιας μεταβλητής δείκτη στο κλίμα και να τονίσουν τις μεταβλητές που επηρεάζουν αυτήν την ευαισθησία (Adrian, et.al., 2009).

Κεφάλαιο 3: Η λίμνη Πλαστήρα

Η περιοχή μελέτης είναι η λίμνη Πλαστήρα, που βρίσκεται στην κεντρική Ελλάδα, στο Νομό Θεσσαλίας. Ανήκει στο Δίκτυο Προστασίας NATURA 2000 (Οδηγία 92/43/EK) λόγω της ιδιαίτερης φυσικής ομορφιάς του και της σημασίας των οικοσυστημάτων που φιλοξενεί. Οι κύριες οικονομικές δραστηριότητες στην περιοχή μελέτης είναι ο εντατικός τουρισμός και η γεωργία (Markogianni, et.al., 2013).

Η έκταση της λεκάνης απορροής της λίμνης Πλαστήρα είναι 167 km², ενώ το υψηλότερο υψόμετρο της περιοχής είναι 2131 m με μέσο υψόμετρο 1121 m και μέση κλίση 17%. Η ανύψωση της στάθμης του νερού της τεχνητής λίμνης είναι περιορισμένη λόγω της κατασκευής φράγματος, η κορυφή του οποίου φτάνει τα 795,20 m από την επιφάνεια της θάλασσας (Markogianni, et.al., 2013).

3.1. Ιστορικά στοιχεία

Η λίμνη Πλαστήρα είναι τεχνητή και δημιουργήθηκε στο οροπέδιο της Νεβρόπολης, με το κλείσιμο της κοίτης του Μέγδοβα, ενός παραπόταμου του Αχελώου. Παλιά στην περιοχή που σήμερα βρίσκεται η νησίδα Μορφοβουνίου, υπήρχε μικρή φυσική λιμνούλα που οι ντόπιοι ονόμαζαν «γούρνα Βαβά».

Αποτελεί σύλληψη ιδέας του Νικολάου Πλαστήρα, ο οποίος το καλοκαίρι του 1925 παραθέρριζε στο μοναστήρι της Κορώνας και καθημερινά έκανε διάφορες εκδρομές στην ευρύτερη περιοχή της Νεβρόπολης. Παρατηρώντας την περιοχή συνέλαβε την ιδέα ίδρυσης ενός παραθεριστικού κέντρου στη θέση «αλώνια» Πεζούλας, και στη θέση «Κακαβάκια» τη δημιουργία ενός φράγματος, με σκοπό τη δημιουργία τεχνητής λίμνης. Το κλείσιμο του Μέγδοβα, παραπόταμου του Αχελώου, και στη συνέχεια η εκτροπή του νερού στο Θεσσαλικό κάμπο, θα εξασφάλιζε παραγωγή ενέργειας αλλά θα έδινε και ζωή στο Θεσσαλικό κάμπο, ο οποίος το καλοκαίρι υπέφερε από λειψυδρία.

Άρχισε να καλλιεργεί την ιδέα, και το 1927 οργάνωσε δύο επισκέψεις στην περιοχή στις οποίες μετείχαν φίλοι του, επιστήμονες σχετικών με το έργο ειδικοτήτων. Οι εκτιμήσεις όλων ήταν θετικές και με πρωτοβουλία πάντα του Πλαστήρα (ο οποίος παρακολουθούσε στενά το θέμα), γίνονται από υπηρεσίες του υπουργείου Γεωργίας οι πρώτες μελέτες. Πρώτος ασχολήθηκε ο Ελβετός Louis Senn, ειδικός επιστήμονας για τα υδραυλικά έργα τον οποίο έφερε κυβέρνηση του Ε. Βενιζέλου και έμεινε στην Ελλάδα για μια δεκαετία κάνοντας ανάλογες μελέτες. Το 1932 ακολούθησε άλλη συμπληρωματική μελέτη του μηχανικού Συράκου, με εντολή του υπουργείου Γεωργίας

και η οποία αφορούσε κυρίως τα αρδευτικά έργα (<https://www.gtp.gr/LocPage.asp?id=60512&lng=1>, Ανάκτηση: 29.05.2022).

Η Κατοχή έφερε πολλά δεινά στον τόπο, το ίδιο και στην περιοχή, η οποία ταυτίστηκε με την Εθνική Αντίσταση από την πρώτη στιγμή και πλήρωσε πανάκριβα το τίμημα της Λευτεριάς. Στη Νεβρόπολη το 1943 - 44, λειτούργησε αντάρτικο αεροδρόμιο, το οποίο εξυπηρέτησε την επικοινωνία της κυβέρνησης του βουνού με τους συμμάχους και την κυβέρνηση του Λιβάνου (<https://www.gtp.gr/LocPage.asp?id=60512&lng=1>, Ανάκτηση: 29.05.2022).

Με τη λήξη γερμανικής κατοχής και στα πλαίσια της ανασυγκρότησης της χώρας, ειπώθηκε ότι θα κατασκευάζονταν και το έργο του Μέγδοβα. Τελικά επί κυβερνήσεων Πλαστήρα, συμπεριλήφθηκε στο τεχνικό πρόγραμμα του 1951 και ανατέθηκε η μελέτη στην εταιρεία KNAPPEN TIPPETTS ABBETT ENGINEERING co. Τον Οκτώβριο του 1952 δημοσιεύεται η μελέτη του έργου Ποταμού Μέγδοβα, ύψους 11,4 εκατ.\$ και με κάποιες διαφορές σε σχέση με την μελέτη Senn, και κυρίως ότι πρότεινε χωμάτινο φράγμα κάτω από το Νεοχώρι και όχι τσιμεντένιο στα Κακαβάκια.

Το Νοέμβριο του 1953 το Υπουργείο Συντονισμού προκήρυξε διεθνή διαγωνισμό για την ανάδειξη της κατασκευάστριας εταιρίας. τελικά σύμβαση υπογράφηκε με την Εταιρία OMNIUM LYONNAIS - COTECI co στις 5/5/1955, η οποία άλλαξε τη μελέτη και υιοθέτησε την αρχική πρόταση.

Το Δεκέμβριο του 1955 ο νεοορκισθείς πρωθυπουργός Κ. Καραμανλής εγκαινίασε το έργο του Μέγδοβα στο Βλάσδο (Μοσχάτο), για να ολοκληρωθεί το 1959, χρονιά την οποία κατακλύστηκε η Νεβρόπολη με τα νερά και δημιουργήθηκε η λίμνη, αλλάζοντας όχι μόνο την φυσιογνωμία της περιοχής, αλλά και την ίδια τη ζωή των κατοίκων.

Αν και με σχετικό νόμο προβλέφθηκαν ικανοποιητικές αποζημιώσεις η δημιουργία της λίμνης είχε αρχικά αρνητικά αποτελέσματα, αφού οι κάτοικοι έχασαν τα ευφορότερα χωράφια και είδαν το εισόδημά τους να συρρικνώνεται. Η επικοινωνία δυσκόλεψε και για τη διευκόλυνσή των κατοίκων ανατολικής και δυτικής πλευράς της λίμνης και γι' αυτό δρομολογήθηκε μεγάλη βάρκα. Την παραμονή του Αγίου Νικολάου (5/12) του 1959, κάτω από δυσμενείς καιρικές συνθήκες, αναποδογύρισε στέλλοντας στο βυθό 20 άνδρες, 17 από το Νεοχώρι, 2 από την Καρύτσα και 1 από το Μορφοβούνι. Το τραγικό αυτό δυστύχημα βύθισε με πένθος την περιοχή και συγκλόνησε το Πανελλήνιο (<https://www.gtp.gr/LocPage.asp?id=60512&lng=1>, Ανάκτηση: 29.05.2022).

Σήμερα η λίμνη Πλαστήρα αποτελεί πηγή ζωής για ολόκληρη την Καρδίτσα και όχι μόνο. Από την λίμνη υδρεύεται η πόλη της Καρδίτσας και δεκάδες κοινότητες, ενώ το καλοκαίρι τα νερά της φθάνουν μέχρι τα χωράφια της Λάρισας. Ως προς την παραγωγή ενέργειας περιορίστηκε κάπως η σημασία της, ενώ μία άλλη διάσταση άρχισε να αναδεικνύεται από τα μέσα της δεκαετίας του 80, αυτή του τουρισμού. Η λίμνη αποτελεί την αιχμή του δόρατος της τουριστικής ανάπτυξης, αφού δέχεται περισσότερους από 120.000 επισκέπτες ετησίως.

Για να τιμηθεί η μνήμη του μεγάλου πατριώτη και οραματιστή Ν. Πλαστήρα, το 1984 με απόφαση της ΔΕΗ, η οποία διαχειρίζεται τη λίμνη, μετονομάστηκε σε λίμνη Νικολάου Πλαστήρα (<https://www.gtp.gr/LocPage.asp?id=60512&lng=1>, Ανάκτηση: 29.05.2022).

3.2. Χαρακτηριστικά της λίμνης

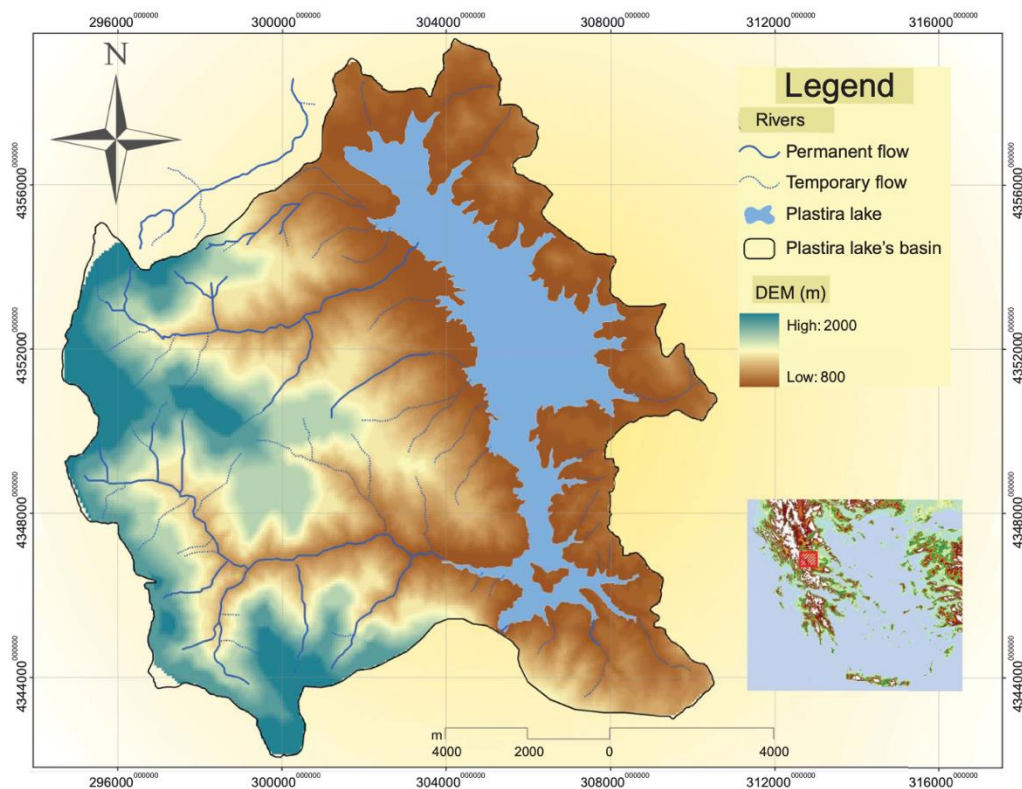
Το βάθος της τεχνητής λίμνης είναι ανομοιογενές στο σύνολό του και αυτό κυρίως προσδιορίζεται από το ανάγλυφο της περιοχής πριν σκεπασθεί από τα νερά. Το μέγιστο βάθος της είναι 60m (κοντά στο φράγμα), μέγιστο πλάτος 4 km, ενώ το μέγιστο μήκος είναι 14 km. Έχει χωρητικότητα 400 εκατομμύρια m³. Το υψόμετρο της στάθμης της είναι στα 780m από την επιφάνεια της θάλασσας, καθιστώντας την από τις σπανιότερες ορεινές λίμνες της χώρας μας (<https://www.gtp.gr/LocPage.asp?id=60512&lng=1>, Ανάκτηση: 29.05.2022).

Με το πέρασμα των ετών η λίμνη ανέπτυξε το δικό της οικοσύστημα. Στα νερά της σήμερα διαβιούν πολλά είδη ψαριών. Εκτός αυτών που προπήρχαν στον Μέγδοβα, απέκτησε και νέα όταν τα τελευταία χρόνια εμπλουτίστηκε με γόνους νέων ειδών. Τα είδη των ψαριών που υπάρχουν είναι, χέλια (*Anguilla anguilla*), λαυράκια (*Barbus albanicus*), γριβάδια (*Cyprinus carpio*), πεταλούδα (*Carassius auratus gibelio*), κορέγονος (*Coregonus lavaretus*), ασπρόψαρο (*Leuciscus cephalus*), γλήνι (*Tinca tinca*), πέστροφα και άγρια πέστροφα (*Salmo gairdneri* - *Salmo trutta*).

Στην περιοχή θα συναντήσουμε δεκάδες πουλιά της πανίδας των Αγράφων αλλά και είδη που διαβιούν στο νερό ή στις άκρες της λίμνης. Ενδεικτικά αναφέρουμε τους ερωδιούς, μαυρόκοτες, διάφορα είδη γλάρων, ενώ σπανιότερα είναι τα βουτηχτάρια και οι κορμοράνοι. Στα τριχωτά της τοπικής πανίδας μπορούμε να συμπεριλάβουμε τις αλεπούδες, ελάχιστους λύκους και αγριογούρουνα, ασβούς, νυφίτσες, κλπ.

Από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα είναι το γεγονός ότι κάθε χρόνο αυξομειώνεται σημαντικά η στάθμη της λίμνης, ανάλογα με τις απαιτήσεις του νερού για αρδευτικές και υδρευτικές ανάγκες του θεσσαλικού κάμπου. Κατά την περίοδο του χειμώνα τα νερά συχνά φθάνουν μέχρι το ανώτατο όριο, ενώ τα καλοκαίρια και ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες υποχωρούν σημαντικά. Τούτο έχει ως επίπτωση να μην μπορεί να αναπτυχθεί χλωρίδα στις ακτές, να τραυματίζεται πρόσκαιρα η αισθητική του τοπίου, να μην μπορούν να αναπτυχθούν μόνιμες εγκαταστάσεις στις ακτές. Μια σειρά από άλλα περιβαλλοντικά ζητήματα όπως π.χ. η διαχείριση των απορριμμάτων ήδη αντιμετωπίζονται σε επίπεδο διαδημοτικής συνεργασίας.

Λόγω του εξαιρετικού κάλλους της, για την προστασία της έχουν ληφθεί σειρά μέτρων. Ενδεικτικά αναφέρεται η δημιουργία Ζώνης Οικιστικού Ελέγχου στην παραλίμνια περιοχή (η οποία πρέπει να πούμε ότι υπερβάλλει και σε κάποια σημεία είναι εξοντωτική για την οικονομική ανάπτυξη της περιοχής). Επίσης η περιοχή είναι ενταγμένη στον Ευρωπαϊκό χάρτη Natura 2000, και προστατεύεται από την ευρωπαϊκή νομοθεσία. Τέλος στα πλαίσια προστασίας του περιβάλλοντος συντάσσεται από το Πανεπιστήμιο Αθηνών και άλλους φορείς ειδική περιβαλλοντική μελέτη (<https://www.gtp.gr/LocPage.asp?id=60512&lng=1>, Ανάκτηση: 29.05.2022).



Εικόνα 3: Τοπογραφικός χάρτης της υπολεκάνης απορροής της λίμνης Πλαστήρα (Markogianni, et.al., 2013).

3.3.Εκτίμηση των Επιπτώσεων της Κλιματικής Αλλαγής στην Ελλάδα

Τα κλιματικά και υδρολογικά συστήματα συνδέονται στενά και οποιοσδήποτε επαγόμενη αλλαγή προκαλούν αλυσιδωτές αλληλεπιδράσεις. Σε μια προσπάθεια επαρκούς διαχείρισης των υδάτινων πόρων στην Ελλάδα, διεξήχθη μια σειρά πειραμάτων με διαφορετικά GCM σε επιλεγμένες περιοχές μελέτης για την κατανόηση αυτής της αλληλεπίδρασης. Η παρούσα εργασία είναι μια επισκόπηση των μελετών που έγιναν στις λεκάνες του Αλιάκμονα, του Άνω Αχελώου και του Πηνειού, όπου ο περιφερειακός υδρολογικός κύκλος αξιολογήθηκε σε χωρική κλίμακα λεκάνης απορροής ποταμού για την αξιολόγηση των περιφερειακών επιπτώσεων και μεταβλητότητας. Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στους υδάτινους πόρους παρουσιάζονται με συνθετικό ποσοτικό τρόπο, προκειμένου να εξαχθούν γενικά συμπεράσματα σχετικά με τις τάσεις των υδρολογικών δεικτών. Στην μελέτη των Markogianni, et.al., (2013) παρατηρήθηκε καλή συμφωνία μεταξύ των διαφορετικών κλιματικών πειραμάτων και οι τάσεις στους επιλεγμένους υδρολογικούς δείκτες

καταδεικνύουν αύξηση της θερμοκρασίας και του PET, μείωση της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης και απορροής και μετατόπιση της περιόδου τήξης του χιονιού προς το χειμώνα, ενώ η συσσώρευση χιονιού Η αποθήκευση αποδείχθηκε ότι ήταν ένας παράγοντας ελέγχου. Τονίζεται ότι σχετικά μικρές μειώσεις στη μέση ετήσια βροχόπτωση προκαλούν δραματική αύξηση των επιπέδων κινδύνου των ταμιευτήρων της ετήσιας σταθερής παροχής νερού και της παραγωγής ενέργειας. Ως αποτέλεσμα, απαιτούνται ριζικές αυξήσεις του όγκου αποθήκευσης της δεξαμενής για τη διατήρηση σταθερών αποδόσεων νερού και ενέργειας σε ανεκτά επίπεδα κινδύνου. Η προσαρμοστική ικανότητα της χώρας δεν είναι τόσο υψηλή και πρέπει να ληφθούν μια σειρά από σοβαρές ενέργειες προκειμένου να μετριαστούν οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και να αξιολογηθούν οι επιπτώσεις της.

3.4.Περιγραφή της Περιοχής Μελέτης

Η Ελλάδα, που βρίσκεται στη νότια Ευρώπη, έχει τυπικό μεσογειακό κλίμα, με υγρές χειμερινές περιόδους και ξηρές καλοκαιρινές περιόδους. Οι υδάτινες συνοικίες που παρουσιάζονται στη μελέτη, από βορρά προς νότο, είναι το υδάτινο διαμέρισμα της Δυτικής Μακεδονίας, της Θεσσαλίας και της Δυτικής Στερεάς. Πιο αναλυτικά: Το υδάτινο διαμέρισμα της Δυτικής Μακεδονίας έχει έκταση 13.624km² και χαρακτηρίζεται από έντονο ανάγλυφο με μικρές επίπεδες περιοχές. Το κλίμα είναι ηπειρωτικό με σκληρό χειμώνα και χιονοπτώσεις και η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 13 °C. Αυτή η περιοχή παρουσιάζει επάρκεια σε νερό. Ένα υπέροχο μέρος της ζήτησης νερού καλύπτεται από τη δια- λίμνες Μικρής και Μεγάλης Πρέσπας, ενώ ο Αλιάκμονα. Ο ποταμός χρησιμοποιείται για την ύδρευση της Θεσσαλονίκης. Το μέσο ετήσιο βάθος βροχόπτωσης είναι 640 mm και το μέσο ετήσιο όγκο βροχόπτωσης υπολογίζεται στα 8.692hm³ (Baltas, 2008). Η λεκάνη απορροής του Αλιάκμονα έχει τη μεγαλύτερη έκταση (8.847km², 65% της έκτασης της υδάτινης περιοχής) και του ποταμού μήκος είναι 93km. Ποσοστό ίσο με το 28% του συνόλου έκταση αντιστοιχεί σε λεκάνες απορροής με έκταση μικρότερη από 40km. Αυτές οι λεκάνες απορροής αποχετεύονται απευθείας στη θάλασσα χαρακτηρίζονται από εφήμερη χαμηλή ροή και δεν συμβάλλουν στο υδατικό δυναμικό της περιοχής.

Το υδάτινο διαμέρισμα της Θεσσαλίας έχει έκταση 13.377km² και περιλαμβάνει το μεγαλύτερο επίπεδο έδαφος ολόκληρης της χώρας, με την υψηλότερη παραγωγικότητα των καλλιεργειών. Η ανάπτυξη της περιοχής εξαρτάται από την

προώθηση της εντατικής, αρδευόμενης γεωργίας και του τουρισμού. Υπάρχει έλλειψη υδάτινων πόρων στην περιοχή και η ζήτηση για νερό από τις υπάρχουσες καλλιέργειες δεν καλύπτεται. Ως εκ τούτου, θα πρέπει να εφαρμοστεί ειδική πολιτική διαχείρισης για την ενίσχυση του υδατικού δυναμικού μέσω της ορθολογικής χρήσης των υδατικών πόρων (επέκταση και εκσυγχρονισμός του αρδευτικού δικτύου), καθώς και μέσω της μεταφοράς υδατικών δυνατοτήτων από άλλες υδατικές περιοχές. Γεωμορφολογικά, η υδάτινη περιοχή χωρίζεται σε τρία τμήματα. το ανατολικό παραθαλάσσιο και ορεινό, με μεσογειακό κλίμα, το κεντρικό επίπεδο, με ηπειρωτικό κλίμα, το δυτικό ορεινό, με ορεινό κλίμα (Markogianni, et.al., 2013).

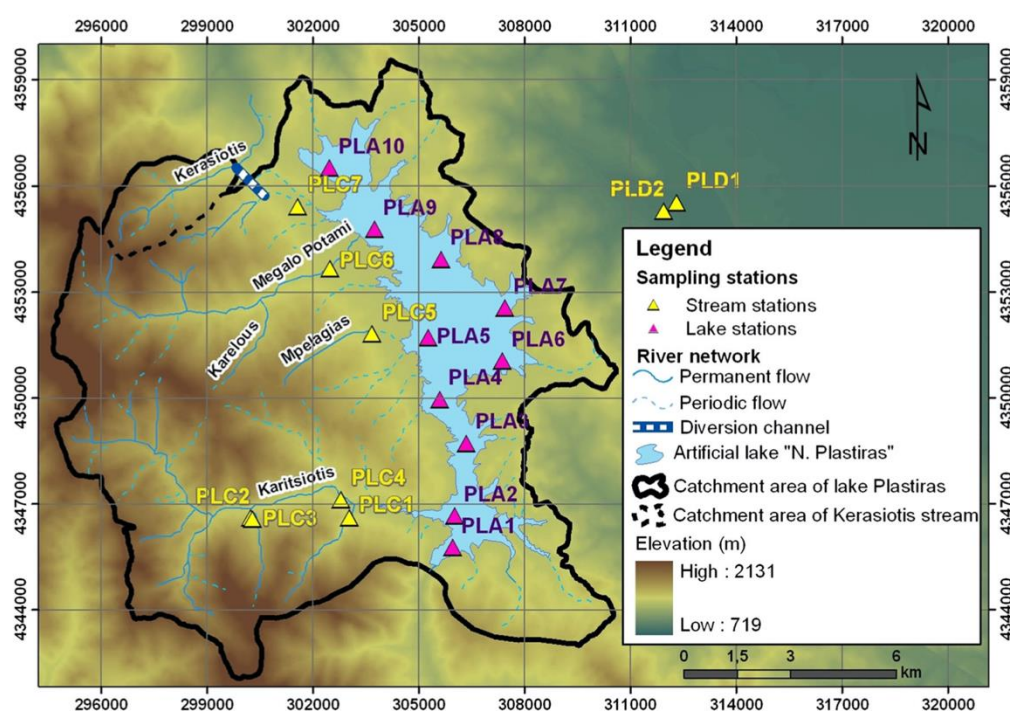
Η μέση ετήσια θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 16 και 17 °C. Το βάθος βροχόπτωσης είναι μεγαλύτερο στο δυτικό τμήμα, αυτό μειώνεται στην επίπεδη επιφάνεια και αυξάνεται στα ανατολικά ορεινές περιοχές. Το μέσο ετήσιο βάθος βροχόπτωσης είναι υπολογίζεται στα 858 χιλιοστά και ο αντίστοιχος όγκος σε 334.175m³. Η επιφανειακή απορροή υπολογίζεται στα 3.202 hm. Η λεκάνη απορροής του Πηνειού είναι η μεγαλύτερη της χώρας, με έκταση ίση με 10.628km², που αντιστοιχεί στο 81% του τη συνολική έκταση της υδάτινης περιοχής. Το μήκος του ποταμού είναι 255km.

Η υδάτινη περιοχή της Δυτικής Στερεάς έχει έκταση 10.199 km² και βρίσκεται στο τμήμα της χώρας με πολλές βροχοπτώσεις. Οι ποταμοί Αχελώος, Εύηνος και Μόρνος και η λίμνη Τριχωνίδα αποτελούν τους κυριότερους επιφανειακούς υδάτινους πόρους της επαρχίας, εκτός από τους υπόγειους υδάτινους πόρους, που γενικά μένουν αναξιοποίητοι. Προς το παρόν, μέρος (ίσο με 8,6%) του υδάτινου δυναμικού της επαρχίας χρησιμοποιείται για την ύδρευση της Αττικής. Ένα μικρό μέρος μεταφέρεται και στη Θεσσαλία μέσω της λίμνης Πλαστήρα. Τέσσερις υδροηλεκτρικοί σταθμοί στη λεκάνη απορροής του Αχελώου έχουν κατασκευαστεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το μέσο ετήσιο βάθος βροχόπτωσης είναι περίπου 800 - 1000 mm στις παράκτιες και πεδινές περιοχές, 1400 mm στις ορεινές περιοχές, ενώ υπερβαίνει τα 1800 mm σε περιοχές με υψηλό υψόμετρο. Ο μέσος ετήσιος όγκος βροχόπτωσης υπολογίζεται στα 8.680 hm, με βάση το μέσο ετήσιο βάθος βροχόπτωσης και την έκταση της η υδάτινη περιοχή (Baltas, 2008). Η επιφανειακή απορροή είναι περίπου 5.296χμ. Οι λεκάνες απορροής ποταμών με έκταση μεγαλύτερη από 1000 km είναι αυτά του Αχελώου (5.635 km²) και του Εύηνου, που καλύπτουν 65% της συνολικής έκτασης της περιφέρειας. Ένα ποσοστό ίσο σε 23% αντιστοιχεί στις λεκάνες απορροής που είναι μικρότερες 2 από 40km (Markogianni, et.al., 2013).

3.5. Γεωλογικό πλαίσιο περιοχής

Το μεγαλύτερο ποσοστό της λεκάνης απορροής της μελέτης (61 %) καλύπτεται από αδιαπέραστα μεταμορφωμένα και πλουτωνικά/ηφαιστειακά πετρώματα. Το 23% αποτελείται από ασβεστόλιθο ενώ το υπόλοιπο 16% αποτελείται από κοκκώδεις αλλουβιακές αποθέσεις.

Όσον αφορά τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης, το 23% καταλαμβάνεται από μέτριας έως υψηλής διαπερατότητας σχηματισμούς (ασβεστόλιθοι), ιδιαίτερα στο δυτικό ορεινό τμήμα της. Κυριαρχούν οι αδιαπέραστοι σχηματισμοί του φλύσχη ενώ μέτριας διαπερατότητας αποθέσεις υπάρχουν σε σχετικά μικρό ποσοστό της λεκάνης απορροής. Ως εκ τούτου, τα υπόγεια υδατικά συστήματα και η σχετική παραγωγικότητα μπορούν να χαρακτηριστούν ως σχετικά περιορισμένα στην περιοχή. Επιπλέον, στη συγκεκριμένη περιοχή υπάρχουν προβλήματα κατολισθήσεων, κυρίως λόγω της υψηλής διάβρωσης των σχηματισμών φλύσχη. Η κατάσταση αυτή επιδεινώνεται από την απότομη κλίση σε συνδυασμό με τη σχετικά υψηλή ποσότητα βροχής και χιονόπτωσης (Markogianni, et.al., 2016).



Εικόνα 4: Γεωλογία της λίμνης Πλαστήρα (Markogianni, et.al., 2016).

3.6.Προσδιορισμός και ποσοτικοποίηση των πηγών ρύπανσης

Για τον εντοπισμό των πηγών ρύπανσης στην περιοχή λεκάνης απορροής της λίμνης, συλλέχθηκαν πληροφορίες από τις τοπικές δημόσιες υπηρεσίες, μέσω ερωτηματολογίων για συγκεκριμένες τοποθεσίες και με επιτόπιες έρευνες. Επιπλέον, μια προσέγγιση για την εκτίμηση των πιέσεων ρύπανσης της λεκάνης απορροής της λίμνης Πλαστήρα βασίστηκε επίσης στα δεδομένα CORINE 2000 και στη μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του έργου COST Action 620, με στόχο την προστασία των ανθρακικών υδροφορέων (Zwahlen, 2004) και εστιάζοντας στο πιθανό σημείο και μη σημειακές πηγές ρύπανσης των παραποτάμων λεκάνης απορροής που εκβάλλουν στη λίμνη. Στο πλαίσιο αυτό, για κάθε τεκμηριωμένη χρήση γης στην περιοχή μελέτης, ένας σταθμισμένος παράγοντας κινδύνου (δείκτης κινδύνου, Hi) υπολογίζεται. Ο δείκτης κινδύνου περιγράφει την ένταση και τη δυνατότητα κάθε δυνητικού τύπου χρήσης γης να είναι πηγή ρύπανσης (Andreo et al. 2006). Ο χάρτης κινδύνου/πίεσης ρύπανσης αναπτύχθηκε μετά την ταξινόμηση των συντελεστών στάθμισης σε τέσσερις κατηγορίες (υψηλού, μέτριου, χαμηλού και πολύ χαμηλού κινδύνου), σύμφωνα με την προαναφερθείσα μεθοδολογία. Αυτή η μεθοδολογία χαρτογράφησης έχει συνδυαστεί καλά με δείκτες ποιότητας νερού τρεχούμενου νερού, παρέχοντας ένα ολοκληρωμένο εργαλείο αξιολόγησης σε κλίμακα λεκάνης απορροής (Karaouzas et al. 2009). Παρόμοια διαδικασία ακολουθήθηκε σε αυτή τη μελέτη συγκρίνοντας τη μέση τιμή του δείκτη επικινδυνότητας ανά υπολεκάνη της λίμνης με τις μετρήσεις ποιότητας του νερού τόσο στους τοπικούς ποταμούς όσο και στη λίμνη (Markogianni, et.al., 2016).

3.6.1. Εκτίμηση ρύπων

Η εκτίμηση των μη σημειακών πιέσεων ρύπανσης στη λεκάνη απορροής της Λίμνης Πλαστήρα βασίστηκε σε σχετικά ελληνικά και διεθνή βιβλιογραφικά δεδομένα, επιτόπιες παρατηρήσεις σε επίπεδο νομού και στατιστικά στοιχεία σχετικά με τις πηγές ρύπανσης (περιοχή καλλιεργειών, αριθμός ζώων και αστικών αποβλήτων, ανθρώπινα πληθυσμό) της περιοχής. Η εκτίμηση ακολούθησε τη μεθοδολογία που προτείνει ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO, 1982) η οποία βασίζεται στις σχέσεις μεταξύ των πηγών ρύπανσης και των αντίστοιχων φορτίων που παράγονται ανά επίπεδο μονάδας.

3.6.2.Γεωργία

Προκειμένου να εκτιμηθούν τα φορτία ρύπανσης από γεωργικές δραστηριότητες, χρησιμοποιήθηκε η ποσότητα λιπασμάτων που πρότειναν οι τοπικοί γεωπόνοι μηχανικοί για τους τύπους καλλιεργειών της περιοχής και η έκταση των καλλιεργειών ανά τύπο καλλιέργειας (Bertachas et al. 2006). Οι ποσότητες των λιπασμάτων ανά είδος καλλιέργειας αναφέρονται στη συσκευασία σε kg/στρέμμα για τα συστατικά N - P (P₂O₅) - K (K₂O). Κάθε θρεπτικό συστατικό αναφέρεται σε κιλά ανά 100 κιλά λιπάσματος, π.χ. 11-15-15 σημαίνει 11kgN, 15kgP₂O₅ και 15kgK₂O σε 100kg σύνθετου λιπάσματος. Το υπόλοιπο θα μπορούσε να είναι άλλα στοιχεία σε ιχνοστοιχεία, π.χ. Fe, B, Mg, ενώ αποτελείται κυρίως από αδρανείς ουσίες, π.χ. απατίτη.

Πρέπει να σημειωθεί ότι είναι πιθανό η ποσότητα των χρησιμοποιούμενων λιπασμάτων να είναι μεγαλύτερη από την προτεινόμενη λόγω διαφορετικών καλλιεργητικών πρακτικών από τους ντόπιους αγρότες. Ως μελέτη περίπτωσης και με βάση την κρίση των εμπειρογνομόνων, έχει υποτεθεί στους υπολογισμούς επιβάρυνση 20 % στην εφαρμογή λιπασμάτων, προκειμένου να αξιολογηθεί η συνολική ποσότητα N, P και K που χρησιμοποιούνται στη γεωργία.

3.6.3.Ζώα

Για τον υπολογισμό του φορτίου ρύπανσης που παράγεται από τα ζώα, χρησιμοποιήθηκαν τα σχετικά δεδομένα σχετικά με τον αριθμό των ζώων αναπαραγωγής ανά επαρχία και τις προδιαγραφές παραγωγής ζωικών αποβλήτων όπως προτείνονται από τον WHO (1982).

3.6.4.Αστικά απόβλητα

Σημαντική πίεση ρύπανσης στην περιοχή μελέτης είναι τα αστικά απόβλητα από αγροτικούς οικισμούς και ξενοδοχεία, κυρίως λόγω της έλλειψης αποχετευτικών συστημάτων. Τα αστικά απόβλητα αποτελούνται από αιωρούμενες και διαλυμένες ανόργανες και οργανικές ουσίες και η ακριβής σύνθεση εξαρτάται από τις συνθήκες διαβίωσης και την καθημερινή κατανάλωση νερού. Η τυπική σύνθεση των αστικών αποβλήτων που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη βασίστηκε στα ευρήματα των Metcalf & Eddy (1991), ενώ η ημερήσια κατανάλωση νερού με βάση εκτιμήσεις του τοπικού τμήματος της εταιρείας ύδρευσης και αποχέτευσης είναι 70 m³/άτομο/έτος για

τους κατοίκους της περιοχής, 100 lt/άτομο/ημέρα για τους κατοίκους στις ξενοδοχειακές μονάδες και 25 lt/άτομο/ημέρα για τους καθημερινούς επισκέπτες.

3.7. Το φράγμα του Ταυρωπού

Το 1925 ο Νικόλαος Πλαστήρας συνέλαβε την ιδέα για τη δημιουργία της λίμνης στην περιοχή του οροπεδίου της Νεβρόπολης. Όταν έκρινε ότι ωρίμασε η ιδέα του, περί το 1928, άρχισε να καλεί ειδικούς επιστήμονες στην περιοχή ώστε να μελετήσουν για το έργο. Την πρώτη μελέτη ανέλαβε ο Ελβετός επιστήμονας Louis Senn, προβλέποντας την κατασκευή τσιμεντένιου φράγματος στην περιοχή "Κακαβάκια", σύμφωνα και με την αρχική ιδέα του Νικόλαου Πλαστήρα. Το 1932 έγινε μια δεύτερη, συμπληρωματική μελέτη από τον Έλληνα μηχανικό Α. Συράκο, η οποία όμως αφορούσε κυρίως έργα άρδευσης. Καθώς μεσολάβησε ο πόλεμος και η περίοδος της γερμανικής κατοχής, όλες οι μελέτες και τα σχέδια έμειναν στην άκρη έως το 1951. Τότε πάλι ο Νικόλαος Πλαστήρας επί πρωθυπουργίας του, συμπεριέλαβε το έργο στο τεχνικό πρόγραμμα του 1951, στα πλαίσια της ανασυγκρότησης της Ελλάδας από τον πόλεμο (Πηγή: <http://moucha.gr/limni-plastira-fragma.html>, Ανάκτηση: 29.05.2022).

Το 1952 η νέα μελέτη ανατέθηκε στην εταιρεία KNAPPEN TIPPETTS ABBETT ENGINEERING co. Το έργο του "ποταμού Μέγδοβα", είχε προϋπολογισμό 11,4 εκατομμυρίων δολλαρίων. Η μελέτη διαφοροποιούταν αρκετά από εκείνη που είχε εκπονήσει ο Louis Senn και κυρίως στο ότι προέβλεπε κατασκευή χωμάτινου φράγματος στο ύψος περίπου του Νεοχωρίου. Το 1953 και μετά από διεθνή διαγωνισμό, ανατέθηκε το έργο στη εταιρεία OMNIUM LYONNAIS - COTECI co. Η σύμβαση υπογράφηκε στις 5/5/1955, με την εταιρεία να αλλάζει τη μελέτη για το χωμάτινο φράγμα ακολουθώντας την αρχική του Louis Senn. Το Δεκέμβριο του 1955 εγκαινιάστηκε το έργο του ποταμού Μέγδοβα, το οποίο ολοκληρώθηκε το 1959, οπότε και άρχισε η πλήρωση της Λίμνης Μέγδοβα.

Όσον αφορά τα τεχνικά στοιχεία, υπήρξαν και αρκετές αλλαγές ανάμεσα στις οποίες ήταν: το ύψος του φράγματος που έγινε ψηλότερο, συνολικού ύψους 83.5m και μήκους 220m στη στέψη, καθώς και η κατασκευή του υδροηλεκτρικού εργοστασίου στο Μοσχάτο. Έτσι σε υψόμετρο 800m δημιουργήθηκε μια λίμνη μήκους 14 περίπου km και πλάτους 4 km, με μέγιστο βάθος τα 65m (Πηγή: <http://moucha.gr/limni-plastira-fragma.html>, Ανάκτηση: 29.05.2022).

Η επιφάνεια της καταλαμβάνει περίπου 25.000 στρέμματα τα οποία μπορούν να συγκεντρώσουν 365 εκατ. m³ νερού και στη μέγιστη χωρητικότητα τους τα 400 εκατ. m³. Το νερό της λίμνης μεταφέρεται στο υδροηλεκτρικό εργοστάσιο μέσω ενός αγωγού. Το ύψος πτώσης του νερού που κινεί τους υδροστροβίλους είναι 77m και η παραγόμενη ισχύς 129 MW.

Η πραγματοποίηση του έργου αλλά και η υλοποίηση της ιδέας του Νικολάου Πλαστήρα ολοκληρώθηκε το 1959. Το Φράγμα μήκους 220m. συγκράτησε τα νερά του Ταυρωπού, τα οποία κάλυψαν το οροπέδιο της Νεβρόπολης και δημιούργησαν τη λίμνη Πλαστήρα (Ταυρωπού). Τα νερά της λίμνης τροφοδοτούν τον υδροηλεκτρικό σταθμό της ΔΕΗ. Αρδεύουν τον Θεσσαλικό κάμπο και υδροδοτούν την πόλη μαζί με 38 κωμοπόλεις και χωριά του νομού, και της ευρύτερης περιφέρειας της Θεσσαλίας.

Μια εντυπωσιακή τσιμεντένια κατασκευή, ένα κομψό τόξο που μοιάζει να αγκαλιάζει τον τεράστιο όγκο του νερού της λίμνης, είναι ένα όμορφο σημείο για να αγναντέψει κανείς τη λίμνη, αλλά και την πίσω πλευρά του φράγματος που βουτά σε βάθος 83μ., κάθετα ανάμεσα στα βράχια. Λίγο πιο κάτω, στη θέση Μούχα μπορείτε να θαυμάσετε τα φιόρδ της λίμνης και το απέναντι νησάκι Νιάγκα. Είναι και μια ευκαιρία για ψώνια καθώς στη μια μεριά της γέφυρας έχουν στηθεί όμορφα μικρά μαγαζάκια και πάγκοι που έχουν στήσει οι ντόπιοι παραγωγοί κατά μήκος του φράγματος. Πάνω τους βρίσκονται στοιβαγμένα γουστόζικα σουβενίρ αλλά και τοπικά προϊόντα, όπως τραχανάς, χυλοπίτες, τσίπουρο, γλυκά και μέλι μέχρι χαλβά, κρασί, τυριά και διάφορα άλλα παραδοσιακά προϊόντα (Πηγή: <https://www.plastiras-lake.gr/index.php/aksiotheata-limnis-plastira/65-fragma-limnis-plastira.html>, Ανάκτηση: 29.05.2022).



Εικόνα 5: Το φράγμα του Ταυρωπού (Πηγή: <http://moucha.gr/limni-plastira-fragma.html>, Ανάκτηση: 29.05.2022).



Εικόνα 6: Άλλη άποψη του φράγματος του Ταυρωπού (Πηγή: <http://moucha.gr/limni-plastira-fragma.html>, Ανάκτηση: 29.05.2022).

Κεφάλαιο 4: Έρευνα- Μεθοδολογικό πλαίσιο

4.1.Κατανομές

Υπάρχουν διάφορες κατανομές πιθανότητας. Κάθε μία από αυτές τις διανομές έχει μια συγκεκριμένη εφαρμογή και χρήση που είναι κατάλληλη για μια συγκεκριμένη ρύθμιση. Αυτές οι κατανομές κυμαίνονται από την ολοένα και πιο γνωστή καμπύλη καμπάνας (γνωστή και ως κανονική κατανομή) ως λιγότερο γνωστή, όπως η κατανομή γ . Οι περισσότερες διανομές περιλαμβάνουν περίπλοκη καμπύλη πυκνότητας, αλλά υπάρχουν μερικοί που δεν το κάνουν. Μία από τις πιο απλές καμπύλες πυκνότητας είναι για μια ομοιόμορφη κατανομή πιθανότητας (Geweke, 1991).

4.1.1. Ομοιόμορφη κατανομή

Η ομοιόμορφη κατανομή παίρνει το όνομά της από το γεγονός ότι οι πιθανότητες για όλα τα αποτελέσματα είναι τα ίδια. Σε αντίθεση με μια κανονική κατανομή με μια καμπή στη μέση ή μια χ^2 -τετραγωνική κατανομή, μια ομοιόμορφη κατανομή δεν έχει λειτουργία. Αντ' αυτού, κάθε αποτέλεσμα είναι εξίσου πιθανό να συμβεί. Σε αντίθεση με μια χ^2 -τετραγωνική κατανομή, δεν υπάρχει λανθάνουσα σημασία για μια ομοιόμορφη κατανομή. Ως αποτέλεσμα, ο μέσος και ο διάμεσος συμπίπτουν. Δεδομένου ότι κάθε αποτέλεσμα σε ομοιόμορφη κατανομή συμβαίνει με την ίδια σχετική συχνότητα, το σχήμα της κατανομής που προκύπτει είναι εκείνο ενός ορθογωνίου (Παραβάντης, 2010).

Οποιαδήποτε κατάσταση στην οποία κάθε αποτέλεσμα σε ένα δείγμα χώρου είναι εξίσου πιθανό θα χρησιμοποιήσει ομοιόμορφη κατανομή. Ένα παράδειγμα αυτού σε μια ξεχωριστή περίπτωση είναι όταν ρίχνουμε ένα ενιαίο πρότυπο πεθαίνουν. Υπάρχουν συνολικά έξι πλευρές του καλουπιού και κάθε πλευρά έχει την ίδια πιθανότητα να τυλίγεται προς τα πάνω. Το ιστόγραμμα πιθανότητας για αυτήν την κατανομή είναι ορθογώνιου σχήματος, με έξι ράβδους που έχουν το καθένα ύψος $1/6$.

Για παράδειγμα ομοιόμορφης κατανομής σε συνεχή ρύθμιση, θα εξετάσουμε μια εξιδανικευμένη γεννήτρια τυχαίων αριθμών. Αυτό θα δημιουργήσει πραγματικά έναν τυχαίο αριθμό από ένα καθορισμένο εύρος τιμών. Έτσι, εάν καθορίσουμε ότι η γεννήτρια πρόκειται να παράγει έναν τυχαίο αριθμό μεταξύ 1 και 4, τότε οι 3.25, 3, e , 2.222222, 3.4545456 και π είναι όλοι δυνατοί αριθμοί που είναι εξίσου πιθανό να παραχθούν (Παραβάντης, 2010).

Δεδομένου ότι η συνολική έκταση που περικλείεται από μια καμπύλη πυκνότητας πρέπει να είναι 1, η οποία αντιστοιχεί στο 100%, είναι εύκολο να καθοριστεί η καμπύλη πυκνότητας για την τυχαία γεννήτρια αριθμών. Εάν ο αριθμός είναι από το εύρος a έως b , τότε αυτό αντιστοιχεί σε ένα διάστημα μήκους $b - a$. Προκειμένου να έχουμε μια περιοχή ενός, το ύψος θα πρέπει να είναι $1 / (b - a)$. Για παράδειγμα, για έναν τυχαίο αριθμό που παράγεται από 1 έως 4, το ύψος της καμπύλης πυκνότητας θα είναι $1/3$ (Παραβάντης, 2010).

Είναι σημαντικό ότι το ύψος μιας καμπύλης δεν υποδεικνύει άμεσα την πιθανότητα ενός αποτελέσματος. Αντίθετα, όπως και με οποιαδήποτε καμπύλη πυκνότητας, οι πιθανότητες καθορίζονται από τις περιοχές κάτω από την καμπύλη. Δεδομένου ότι η ομοιόμορφη κατανομή έχει σχήμα ορθογωνίου, οι πιθανότητες είναι πολύ εύκολο να προσδιοριστούν. Αντί να χρησιμοποιήσουμε τον λογισμό για να βρούμε την περιοχή κάτω από μια καμπύλη, μπορούμε απλά να χρησιμοποιήσουμε κάποια βασική γεωμετρία. Το μόνο που πρέπει να θυμόμαστε είναι ότι η περιοχή ενός ορθογωνίου είναι η βάση του πολλαπλασιασμένη με το ύψος του (Παραβάντης, 2010).

4.1.2. Κανονική κατανομή

Η **κανονική κατανομή (normal distribution)** θεωρείται η σπουδαιότερη κατανομή της Θεωρίας Πιθανοτήτων και της Στατιστικής. Οι λόγοι που εξηγούν την εξέχουσα θέση της, είναι βασικά δυο (Παπαδόπουλος, 2015) :

1. Πολλές τυχαίες μεταβλητές περιγράφονται ικανοποιητικά από την κανονική κατανομή ή περιγράφονται από κατανομές που μπορούν να προσεγγισθούν από την κανονική κατανομή.

2. Οι ιδιότητες της κανονικής κατανομής αξιοποιούνται στη Στατιστική Συμπερασματολογία. Ουσιαστικά, η κανονική κατανομή, αποτελεί το θεμέλιο της Στατιστικής Συμπερασματολογίας.

Σύμφωνα με το Κεντρικό Οριακό Θεώρημα, το άθροισμα και η μέση τιμή, μεγάλου αριθμού ανεξάρτητων παρατηρήσεων, ακολουθεί κατά προσέγγιση κανονική κατανομή, ανεξαρτήτως από το ποια κατανομή ακολουθούν οι παρατηρήσεις. Σε πολλά φαινόμενα και πειράματα, οι τιμές διαφόρων χαρακτηριστικών (μεταβλητών), είναι αποτέλεσμα αθροιστικής επίδρασης πολλών ανεξάρτητων αιτίων-παραγόντων κανένα από τα οποία δεν υπερσχύει των άλλων. Καθένας από τους παράγοντες επιφέρει ένα θετικό ή αρνητικό αποτέλεσμα και όλοι μαζί αθροιστικά συντελούν στη

διαμόρφωση του τελικού αποτελέσματος. Τέτοια χαρακτηριστικά (μεταβλητές), εμφανίζονται σε πολλά φαινόμενα και πειράματα. Το Κεντρικό Οριακό Θεώρημα λέει ότι αυτά ακριβώς τα χαρακτηριστικά περιγράφονται ικανοποιητικά από την κανονική κατανομή. Επιπλέον, το Κεντρικό Οριακό Θεώρημα συνδέει την κανονική κατανομή με οποιαδήποτε άλλη κατανομή (αφού δεν προϋποθέτει να ακολουθούν οι παρατηρήσεις την κανονική κατανομή), γεγονός το οποίο, απαντάει, επίσης, στο ερώτημα, γιατί η κανονική κατανομή βρίσκει εφαρμογή σε μεγάλο πλήθος φαινομένων και πειραμάτων (Παπαδόπουλος,2015).

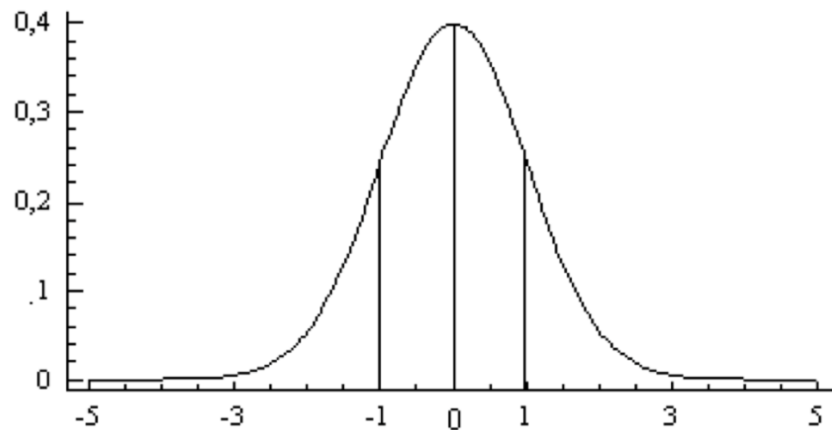
Μια από τις πρώτες εφαρμογές της κανονικής κατανομής, έγινε το 1809 από το μεγάλο Γερμανό Μαθηματικό Carl F. Gauss ο οποίος διαπίστωσε ότι τα σφάλματα που γίνονται σε αστρονομικές παρατηρήσεις μπορούν να περιγραφούν ικανοποιητικά από την κανονική κατανομή. Στη συνέχεια, διαπιστώθηκε επίσης, ότι τα τυχαία σφάλματα που εμφανίζονται σε διάφορες μετρήσεις ακολουθούν με ικανοποιητική προσέγγιση κανονική κατανομή. Για το λόγο αυτό, η κανονική κατανομή ονομάζεται και κατανομή των σφαλμάτων (law of errors). Επίσης, είναι γνωστή ως κατανομή του Gauss (Gaussian distribution), για τη μεγάλη συνεισφορά του Gauss στην ανάδειξη των ιδιοτήτων και της σημασίας της (Παπαδόπουλος,2015).

Η κανονική κατανομή που έχει μέση τιμή 0 και τυπική απόκλιση 1 (άρα και διασπορά 1), συμβολίζεται με $N(0,1)$ και ονομάζεται τυποποιημένη κανονική κατανομή (standard normal distribution). Μια τυχαία μεταβλητή που ακολουθεί την τυποποιημένη κανονική κατανομή, έχει επικρατήσει να συμβολίζεται με Z και η συνάρτηση πυκνότητας της με $\varphi(z)$ (Παπαδόπουλος,2015). Προφανώς είναι:

Εξίσωση 1: Συνάρτηση πυκνότητας της με $\varphi(z)$

$$\varphi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}}, \quad -\infty < z < +\infty.$$

Σύμφωνα με τα προηγούμενα, η καμπύλη της τυποποιημένης κανονικής κατανομής στη θέση $x = 0$ παρουσιάζει μέγιστη τιμή και στις θέσεις $x = -1$ και $x = 1$ παρουσιάζει σημεία καμπής (Παπαδόπουλος,2015). Το σχετικό γράφημα ονομάζεται γράφημα «καμπάνα» και παρουσιάζεται παρακάτω.



Εικόνα 7:Το γράφημα κανονικής κατανομής τύπου «καμπάνα».

4.1.3. Κατανομή Student

Η κατανομή t-Student (ή απλά η κατανομή t) είναι κάθε μέλος της οικογένειας των συνεχών κατανομών πιθανότητας που προκύπτει κατά τον υπολογισμό της σημασίας της κανονικής κατανομής του πληθυσμού σε περιπτώσεις όπου το μέγεθος του δείγματος είναι μικρό και η τυπική απόκλιση του πληθυσμού είναι άγνωστη. Λαμβάνοντας υπόψη ότι μια κανονική κατανομή περιγράφει την πληρότητα ενός πληθυσμού, οι t-κατανομές περιγράφουν τα δείγματα που λαμβάνονται από έναν πλήρη πληθυσμό. Κατά συνέπεια, η κατανομή t για κάθε μέγεθος δείγματος είναι διαφορετική, και όσο μεγαλύτερο είναι το δείγμα, τόσο περισσότερο η κατανομή μοιάζει με κανονική κατανομή (Park & Bera, 2009).

Η κατανομή t παίζει ρόλο σε μια σειρά ευρέως χρησιμοποιούμενων στατιστικών αναλύσεων, συμπεριλαμβανομένων των t-test του Student για την εκτίμηση της στατιστικής σημασίας της διαφοράς μεταξύ των δύο δειγμάτων μέσων, την κατασκευή των διαστημάτων εμπιστοσύνης για την διαφορά μεταξύ δύο πληθυσμών σημαίνει, και την ανάλυση της γραμμικής παλινδρόμησης. Αν πάρουμε ένα δείγμα n παρατηρήσεων από μια κανονική κατανομή, τότε η κατανομή t με $\nu = n - 1$ βαθμούς ελευθερίας μπορεί να οριστεί ως η κατανομή της θέσης της πραγματικής μέσης, σε σχέση με τη μέση τιμή δείγματος και διαιρείται με την τυπική απόκλιση του δείγματος (Park & Bera, 2009).

Με τον τρόπο αυτό, η κατανομή t μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εκτιμηθεί πόσο πιθανό είναι η πραγματική μέση να έγκειται σε οποιαδήποτε δεδομένη σειρά. Η κατανομή t είναι συμμετρική με σχήμα καμπάνας, όπως και η κανονική κατανομή,

αλλά έχει βαρύτερες ουρές, που σημαίνει ότι είναι πιο επιρρεπείς στο να παράγουν τιμές που πέφτουν μακριά από τη μέση του. Αυτό το καθιστά χρήσιμο για την κατανόηση της στατιστικής συμπεριφοράς ορισμένων τύπων από μειωμένες τιμές τυχαίων ποσοτήτων, στην οποία παραλλαγή στον παρονομαστή ενισχύεται και μπορεί να παράγει απομακρυσμένες τιμές όταν ο παρονομαστής του δείκτη πέφτει κοντά στο μηδέν. Η κατανομή t του Student είναι μια ειδική περίπτωση της γενικευμένης υπερβολικής διανομής (Park & Bera, 2009).

4.1.4. *Alpha-Stable Κατανομή*

Στη θεωρία πιθανοτήτων, μια κατανομή λέγεται ότι είναι σταθερή εάν ένας γραμμικός συνδυασμός δύο ανεξάρτητων τυχαίων μεταβλητών με αυτήν την κατανομή έχει την ίδια κατανομή, μέχρι τις παραμέτρους θέσης και κλίμακας. Μια τυχαία μεταβλητή λέγεται ότι είναι σταθερή εάν η κατανομή της είναι σταθερή. Η οικογένεια σταθερής κατανομής αναφέρεται επίσης μερικές φορές ως η άλφα-σταθερή κατανομή Lévy, μετά τον Paul Lévy, τον πρώτο μαθηματικό που τη μελέτησε (Mandelbrot, 1960).

Από τις τέσσερις παραμέτρους που ορίζουν την οικογένεια, η μεγαλύτερη προσοχή έχει επικεντρωθεί στην παράμετρο σταθερότητας, α (βλ. πίνακα). Οι σταθερές κατανομές έχουν $0 < \alpha \leq 2$, με το άνω όριο να αντιστοιχεί στην κανονική κατανομή και $\alpha = 1$ στην κατανομή Cauchy. Οι κατανομές έχουν απροσδιόριστη διακύμανση για $\alpha < 2$ και απροσδιόριστο μέσο όρο για $\alpha \leq 1$. Η σημασία των σταθερών κατανομών πιθανότητας είναι ότι είναι «ελκυστές» για σωστά κανονικά αθροίσματα ανεξάρτητων και πανομοιότυπα κατανεμημένων (iid) τυχαίων μεταβλητών. Η κανονική κατανομή ορίζει μια οικογένεια σταθερών κατανομών. Σύμφωνα με το κλασικό κεντρικό οριακό θεώρημα, το σωστά κανονικοποιημένο άθροισμα ενός συνόλου τυχαίων μεταβλητών, η καθεμία με πεπερασμένη διακύμανση, θα τείνει προς μια κανονική κατανομή καθώς αυξάνεται ο αριθμός των μεταβλητών. Χωρίς την υπόθεση πεπερασμένης διακύμανσης, το όριο μπορεί να είναι μια σταθερή κατανομή που δεν είναι κανονική. Ο Mandelbrot αναφέρθηκε σε τέτοιες διανομές ως "σταθερές παρειακές διανομές", [3][4][5] μετά τον Vilfredo Pareto. Συγκεκριμένα, αναφέρθηκε σε εκείνες που στρέφονται στο μέγιστο βαθμό προς τη θετική κατεύθυνση με $1 < \alpha < 2$ ως «διανομές Pareto–Lévy», [1] τις οποίες θεώρησε ως καλύτερες περιγραφές των τιμών των μετοχών και των εμπορευμάτων από τις κανονικές διανομές (Fama, 1963).

4.2. Περιγραφική Στατιστική

Ο πίνακας συχνοτήτων και το ραβδόγραμμα ή ιστόγραμμα δίνουν μια συνοπτική παρουσίαση των δεδομένων και μας επιτρέπουν να μελετήσουμε ποιοτικά την κατανομή της τυχαίας μεταβλητής. Τα ποσοτικά μεγέθη που περιγράφουν περιληπτικά τα βασικά χαρακτηριστικά της κατανομής της τ.μ. X και λέγονται συνοπτικά ή περιγραφικά μέτρα (summarizing or descriptive statistics). Κάθε τέτοιο μέτρο υπολογίζεται από τις παρατηρήσεις του δείγματος και αποτελεί εκτίμηση κάποιας παραμέτρου της κατανομής. Θα αναπτύξουμε με δυο τύπους περιγραφικών μέτρων (Κουγιού, 2015):

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

4.2.1. Μέτρα Θέσης – Μέτρα Διασποράς

Ως μέτρα θέσης ορίζονται τα μέτρα κεντρικής τάσης που προσδιορίζουν ένα κεντρικό σημείο γύρω από το οποίο τείνουν να συγκεντρώνονται τα δεδομένα. Τα κυριότερα μέτρα κεντρικής τάσης είναι (Κουγιού, 2015):

- η δειγματική μέση τιμή (sample mean value) ή αριθμητικός μέσος (arithmetic mean), ή μέσος όρος (average),
- η δειγματική διάμεσος (sample median),
- η δειγματική επικρατούσα τιμή (sample mode).

Μέση τιμή: Η δειγματική μέση τιμή είναι το πιο γνωστό και χρήσιμο μέτρο του κέντρου των δεδομένων. Έστω x_1, x_2, \dots, x_n , οι τιμές των παρατηρήσεων του δείγματος για μια τ.μ. X που μελετάμε. Η δειγματική μέση τιμή συμβολίζεται \bar{x} κι ορίζεται ως:

Εξίσωση 2: Δειγματική μέση τιμή συμβολίζεται \bar{x}

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i.$$

Η μέση τιμή είναι το «κέντρο ισορροπίας» των δεδομένων. Για να καταλάβουμε τη φυσική της σημασία ας φανταστούμε μια σανίδα πάνω στην οποία σκορπίζουμε ένα

αριθμό n ίδιων βαριδιών. Το σημείο στήριξης της σανίδας (ώστε να ισορροπεί σε οριζόντια θέση) είναι η μέση τιμή της θέσης των βαριδιών πάνω στη σανίδα.

Διάμεσος: Η δειγματική διάμεσος είναι ένα άλλο μέτρο του κέντρου των δεδομένων και ορίζεται ως η κεντρική τιμή όταν διατάξουμε τα δεδομένα σε αύξουσα σειρά. Θα τη συμβολίζουμε ως \bar{x} . Αν ο αριθμός n των δεδομένων είναι περιττός, τότε η διάμεσος είναι η τιμή στη θέση.

Επικρατούσα τιμή: Η δειγματική επικρατούσα τιμή χρησιμοποιείται επίσης για να δηλώσει την κεντρική τάση των δεδομένων κι ορίζεται ως η τιμή που εμφανίζεται με τη μεγαλύτερη συχνότητα. Αν υπάρχουν πάνω από μια τέτοιες τιμές, τότε όλες αυτές θεωρούνται επικρατούσες τιμές. Είναι φανερό πως η επικρατούσα τιμή δεν έχει νόημα όταν το δείγμα δεν αποτελείται από διακεκριμένες επαναλαμβανόμενες τιμές. Η δειγματική μέση τιμή είναι το πιο σημαντικό από τα τρία μέτρα κεντρικής τάσης και θα μας απασχολήσει ιδιαίτερα καθώς θα τη χρησιμοποιήσουμε στη στατιστική συμπερασματολογία για να βγάλουμε συμπεράσματα για τη μέση τιμή του πληθυσμού. Για τον υπολογισμό της μέσης τιμής χρησιμοποιούνται όλες οι τιμές του δείγματος, ενώ για τη διάμεσο μόνο η τάξη τους. Γι αυτό και η μέση τιμή επηρεάζεται από μακρινές τιμές αλλά η διάμεσος όχι. Όταν η κατανομή των αριθμητικών δεδομένων είναι μονοκόρυφη και συμμετρική, τότε και τα τρία μέτρα κεντρικής τάσης συμπίπτουν.

Παραπάνω έγινε κατανοητό ότι τα μέτρα θέσης παρέχουν κάποια πληροφορία για την κατανομή ενός πληθυσμού. Αυτά όμως δεν επαρκούν, για να περιγράψουν πλήρως την κατανομή. Ενώ οι βαθμολογίες των δύο τμημάτων Α και Β έχουν ίσες μέσες τιμές και ίσες διαμέσους, είναι φανερό ότι οι κατανομές τους διαφέρουν σημαντικά ως προς τη μεταβλητότητά τους. Οι τιμές μπορεί να είναι περισσότερο «συγκεντρωμένες» γύρω από τη μέση τιμή, ή να έχουν μεγάλες αποκλίσεις γύρω από τη μέση τιμή τους.

Παράλληλα λοιπόν με τα μέτρα θέσης κρίνεται απαραίτητη και η εξέταση κάποιων μέτρων διασποράς ή μεταβλητότητας, δηλαδή μέτρων που εκφράζουν τις αποκλίσεις των τιμών μιας μεταβλητής γύρω από τα μέτρα κεντρικής τάσης. Τέτοια μέτρα λέγονται μέτρα διασποράς (measures of variation, dispersion measures). Τα σπουδαιότερα μέτρα διασποράς είναι το εύρος, η ενδοτεταρτημοριακή απόκλιση, η διακύμανση και η τυπική απόκλιση.

Εύρος (R): Το απλούστερο από τα μέτρα διασποράς είναι το εύρος ή κύμανση (range) (R), που ορίζεται ως η διαφορά της ελάχιστης παρατήρησης από τη μέγιστη παρατήρηση.

Ενδοτεταρτημοριακό Εύρος (Q): Το ενδοτεταρτημοριακό εύρος (interquartile range) είναι η διαφορά του πρώτου τεταρτημρίου Q1 από το τρίτο τεταρτημόριο Q3. Στο μεταξύ τους διάστημα περιλαμβάνεται το 50% των παρατηρήσεων. Επομένως όσο μικρότερο είναι αυτό το διάστημα, τόσο μεγαλύτερη θα είναι η συγκέντρωση των τιμών και άρα μικρότερη η διασπορά των τιμών της μεταβλητής.

Διακύμανση (s^2): Ένας άλλος τρόπος για να υπολογίσουμε τη διασπορά των παρατηρήσεων t_1, t_2, \dots, t_n μιας μεταβλητής X θα ήταν να αφαιρέσουμε τη μέση τιμή \bar{x} από κάθε παρατήρηση και να βρούμε τον αριθμητικό μέσο των διαφορών αυτών.

Τυπική Απόκλιση (s): Η διακύμανση είναι μια αξιόπιστη παράμετρος διασποράς, αλλά έχει ένα μειονέκτημα. Δεν εκφράζεται με τις μονάδες με τις οποίες εκφράζονται οι παρατηρήσεις. Για παράδειγμα, αν οι παρατηρήσεις εκφράζονται σε cm, η διακύμανση εκφράζεται σε cm^2 . Αν όμως πάρουμε τη θετική τετραγωνική ρίζα της διακύμανσης, θα έχουμε ένα μέτρο διασποράς που θα εκφράζεται με την ίδια μονάδα μέτρησης του χαρακτηριστικού, όπως ακριβώς είναι και όλα τα άλλα μέτρα θέσης, που εξετάσαμε έως τώρα.

4.2.2. Συντελεστής συσχέτισης Pearson

Ο σκοπός της ανάλυσης συσχέτισης είναι να μετρήσει και να ερμηνεύσει την ισχύ μιας γραμμικής ή μη γραμμικής (π.χ. εκθετικής, πολυωνυμικής και λογιστικής) σχέσης μεταξύ δύο συνεχών μεταβλητών. Κατά τη διεξαγωγή ανάλυσης συσχέτισης, χρησιμοποιούμε τον όρο συσχέτιση για να σημαίνει «γραμμική συσχέτιση». Ο συντελεστής συσχέτισης παίρνει τιμές μεταξύ -1 και 1, που κυμαίνονται από αρνητικό συσχετισμό (-1) έως μη συσχετισμός (0) έως θετικά συσχετισμό (1). Το πρόσημο του συντελεστή συσχέτισης (δηλαδή θετικό ή αρνητικό) καθορίζει την κατεύθυνση της σχέσης. Η απόλυτη τιμή υποδεικνύει την ισχύ της συσχέτισης (Zou, Tuncali, & Silverman, 2003).

Ο συντελεστής συσχέτισης Pearson είναι ένα καλά καθιερωμένο μέτρο συσχέτισης, που προέρχεται από τον Galton στα τέλη του 19^{ου} αιώνα, αλλά πήρε το όνομά του από έναν συνάδελφό του και έχει εύρος από 11 (τέλεια συσχέτιση) έως 21

(τέλεια αλλά αρνητική συσχέτιση) με 0 που δηλώνει την απουσία σχέσης (Adler, & Parmryd, 2010).

Ο συντελεστής συσχέτισης δίνει μια ένδειξη για την ισχύ της γραμμικής σχέσης μεταξύ των δύο τυχαίων μεταβλητών. Οι μεταβλητές μπορεί να έχουν συσχέτιση ή να μην συσχετίζονται. Όσο πιο κοντά είναι η τιμή του στο 1, τόσο ισχυρότερη είναι η συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών. Ο συντελεστής συσχέτισης Pearson εντοπίζει μόνο γραμμικές εξαρτήσεις μεταξύ των δύο μεταβλητών. Για μια μη γραμμική εξάρτηση, συντελεστής συσχέτισης Pearson μπορεί να είναι ίσος με μηδέν (Benesty, Chen, & Huang, 2008).

Ο συντελεστής συσχέτισης Pearson, εμφανίζει διακύμανση από -1 έως 1. Οι τιμές που βρίσκονται κοντά σε, -1 και 1, υποδηλώνουν υψηλή αρνητική ή θετική συσχέτιση. Στο σημείο αυτό να αναφερθεί ότι τιμές $r \geq 0,80$, θεωρούνται υπερβολικές, ενώ ως ισχυρές συσχετίσεις θεωρούνται όταν $r = 0,60$ έως $0,80$ (Hair, Black, Babin, Anderson, & Tatham, 2006).

Ο συντελεστής συσχέτισης Pearson μετρά τη γραμμική σχέση μεταξύ δύο τυχαίων μεταβλητών. Για παράδειγμα, όταν η τιμή του προγνωστικού ρυθμίζεται (αυξάνεται ή μειώνεται) κατά ένα σταθερό ποσό, η μεταβλητή του αποτελέσματος αλλάζει αναλογικά (γραμμικά). Ένας συντελεστής γραμμικής συσχέτισης μπορεί να υπολογιστεί μέσω των δεδομένων και των μέσων δειγμάτων τους. Όταν σχεδιάζεται μια επιστημονική μελέτη, το απαιτούμενο μέγεθος δείγματος μπορεί να υπολογιστεί με βάση μια συγκεκριμένη υποθετική τιμή με την επιθυμητή στατιστική ισχύ σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο σημαντικότητας (Zou, Tuncali, & Silverman, 2003).

Ο συντελεστής συσχέτισης Pearson απαιτεί τη χρήση διαλειμματικών ή συνεχών κλιμάκων μέτρησης του μετρούμενου αποτελέσματος στον πληθυσμό της μελέτης. Αντίθετα, οι συσχετίσεις κατάταξης λειτουργούν επίσης καλά με τα δεδομένα τακτικής βαθμολογίας και τα συνεχή δεδομένα μειώνονται στις τάξεις τους (Zou, & Hall, 2002). Η διαδικασία κατάταξης θα επεξηγηθεί επίσης εν συντομία με τα παραδείγματά μας δεδομένα. Η μικρότερη τιμή στο δείγμα έχει κατάταξη 1 και η μεγαλύτερη έχει την υψηλότερη κατάταξη. Γενικά, οι συσχετίσεις κατάταξης δεν επηρεάζονται εύκολα από την παρουσία λοξών δεδομένων ή δεδομένων που είναι εξαιρετικά μεταβλητά.

Κεφάλαιο 5: Εφαρμογή στην Λίμνη Πλαστήρα

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται και σχολιάζονται αναλυτικά τα διαγράμματα που δημιουργήθηκαν από τα δεδομένα που μας δόθηκαν από την Περιφέρεια της Καρδίτσας. Συγκεκριμένα από την Υδροηλεκτρική Υπηρεσία και αφορούσαν τιμές παραμέτρων για το χρονικό διάστημα από τον Ιανουάριο του 2012 μέχρι και Μάρτιο του 2022. Τα δεδομένα αφορούν δείκτες για τις παρακάτω παραμέτρους.

- Βροχόπτωση
- Μέγιστη θερμοκρασία
- Στάθμη της λίμνης
- Μέση εισροή
- Εξάτμιση

Στο πρώτο υποκεφάλαιο αναλύονται και παρουσιάζονται τα γραφήματα των πραγματικών τιμών και τα γραφήματα έπειτα από την κανονικοποίηση των δεδομένων μας. Στο δεύτερο υποκεφάλαιο παρουσιάζονται οι πίνακες μέσω των όρων όπως αυτοί προέκυψαν από την ανάλυση των δεδομένων ανά έτος και για τον κάθε πίνακα ακολουθούν τα συγκριτικά ιστογράμματα όλων των παραμέτρων ανά έτος. Στη συνέχεια, στο τρίτο υποκεφάλαιο παρουσιάζονται υπολογισμένες συσχετίσεις με το συντελεστή Pearson και σχολιάζονται οι τιμές τους.

5.1 Διαγράμματα

Να σημειωθεί ότι, έχουν γίνει όλα τα διαγράμματα για κάθε έτος και ενδεικτικά ακολουθούν τα τέσσερα ετήσια διαγράμματα ανά εποχή των ετών 2012 (Διάγραμμα 1 - 4) και 2021(Διάγραμμα 25 - 28)

1. Βροχόπτωση – Μέση εισροή
2. Βροχόπτωση - Στάθμη
3. Εξάτμιση - Μέγιστη θερμοκρασία
4. Μέση εισροή - Μέγιστη θερμοκρασία

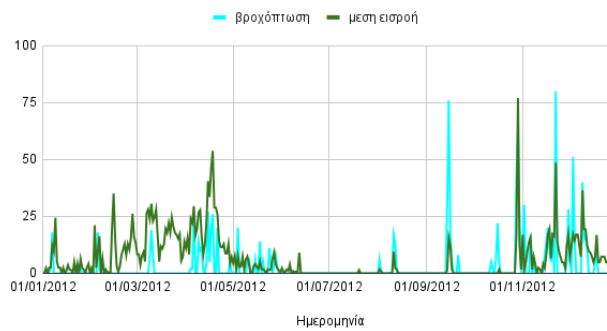
Είναι σαφές ότι έπειτα της κανονικοποίησης, τα διαγράμματα (5-8 και 29- 32) είναι πολύ κοντά στα μη κανονικοποιημένα αλλά μας είναι πολύ πιο εύκολο να τα κατανοήσουμε και να τα συγκρίνουμε διότι οι τιμές των δεδομένων είναι όμοιες. Για τη περαιτέρω κατανόηση των διαγραμμάτων ακολουθεί επιπλέον ανάλυση ανά εποχή. (Άνοιξη, Καλοκαίρι, Φθινόπωρο, Χειμώνας).

Έτσι, τα αποτελέσματα για το έτος 2012 είναι τα ακόλουθα:

2012

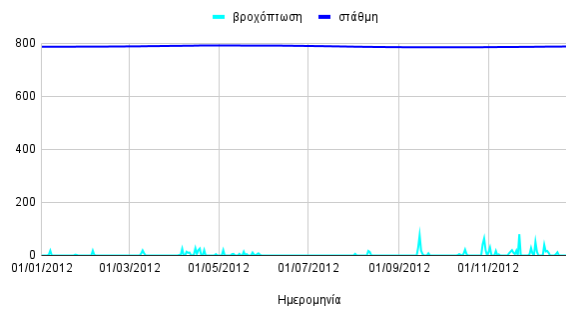
Πραγματικές Τιμές

Βροχόπτωση και Μέση Εισροή 2012



Διάγραμμα 1: Βροχόπτωση και Μέση Εισροή 2012 πραγματικών τιμών.

Βροχόπτωση και Στάθμη 2012



Διάγραμμα 2: Βροχόπτωση και Μέση Εισροή 2012 πραγματικών τιμών.

Εξάτμιση και Μέγιστη Θερμ. 2012

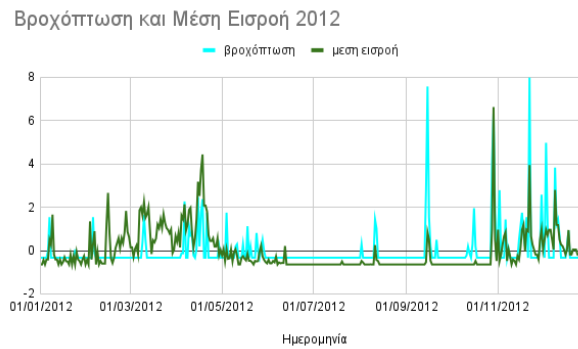


Διάγραμμα 3: Εξάτμιση και Μέγιστη Θερμοκρασία 2012 πραγματικών τιμών.

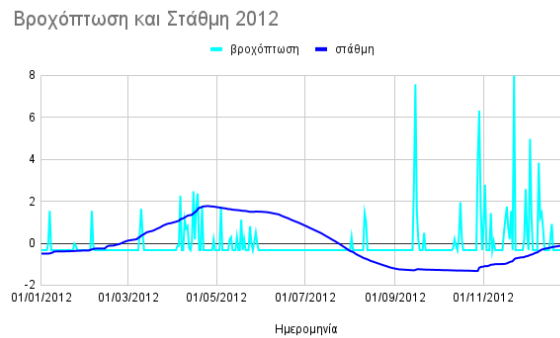


Διάγραμμα 4: Μέγιστη Θερμοκρασία και Μέση Εισροή 2012 πραγματικών τιμών.

Οι Κανονικοποιημένες τιμές για το έτος 2012 είναι οι παρακάτω.



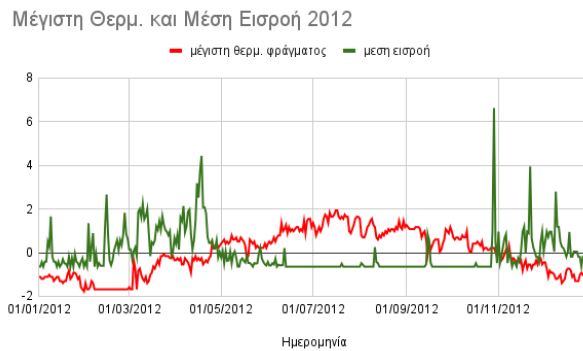
Διάγραμμα 5: Βροχόπτωση και Μέση Εισροή 2012 κανονικοποιημένων τιμών.



Διάγραμμα 6: Βροχόπτωση και Στάθμη 2012 κανονικοποιημένων τιμών.

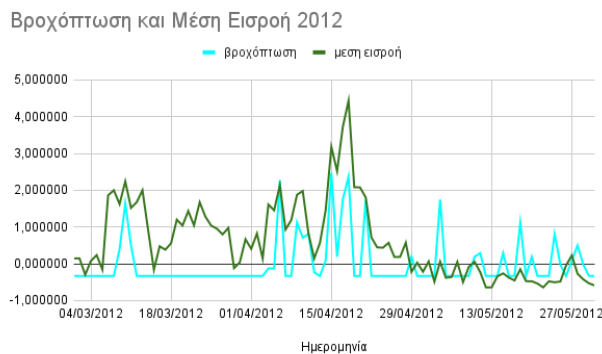


Διάγραμμα 7: Εξάτμιση και Μέγιστη Θερμοκρασία 2012 κανονικοποιημένων τιμών.

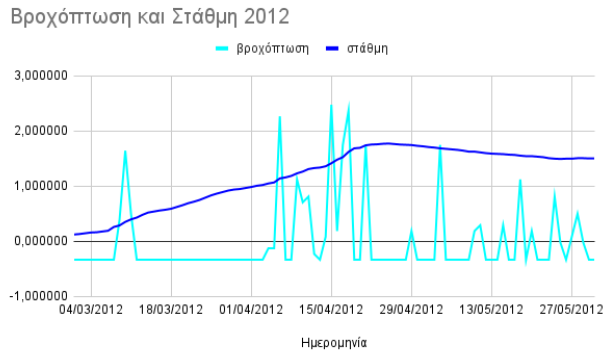


Διάγραμμα 8: Μέγιστη Θερμοκρασία και Μέση Εισροή 2012 κανονικοποιημένων τιμών.

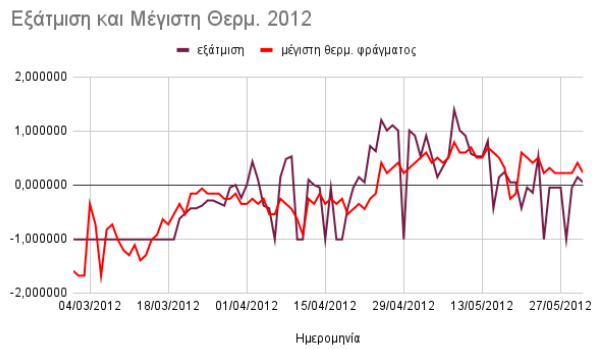
Επιπλέον εξειδίκευση της ανάλυσης με τα εποχιακά διαγράμματα του ίδιου έτους παρουσιάζονται στην συνέχεια για άνοιξη, καλοκαίρι, φθινόπωρο και χειμώνα.



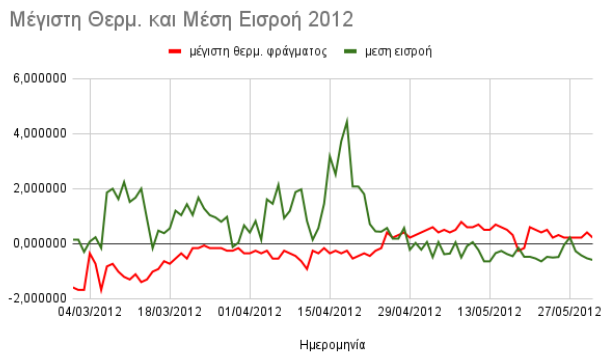
Διάγραμμα 9: Βροχόπτωση και Μέση Εισροή άνοιξης 2012.



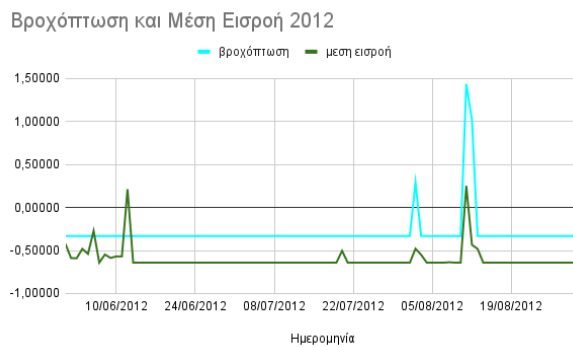
Διάγραμμα 10: Βροχόπτωση και Στάθμη άνοιξης 2012.



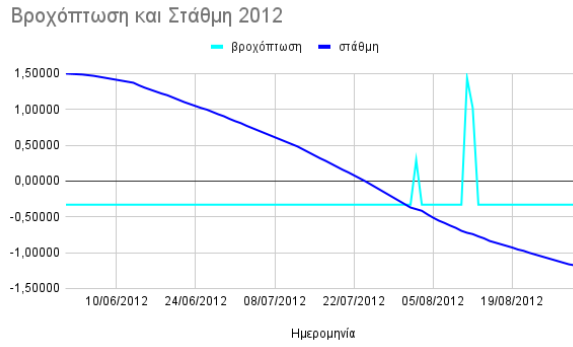
Διάγραμμα 11: Εξάτμιση και Μέγιστη Θερμοκρασία άνοιξης 2012.



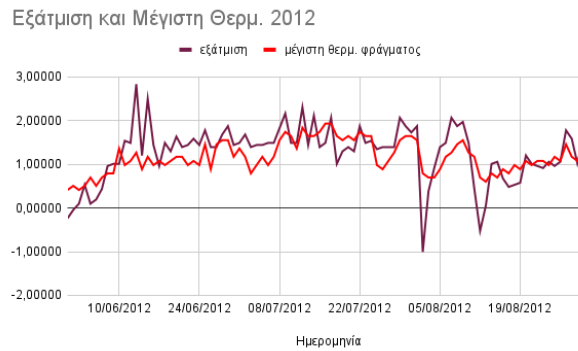
Διάγραμμα 12: Μέγιστη Θερμοκρασία και Μέση Εισροή άνοιξης 2012.



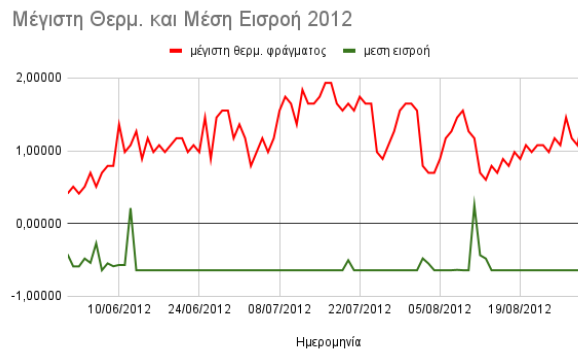
Διάγραμμα 13: Βροχόπτωση και Μέση Εισροή καλοκαιριού 2012.



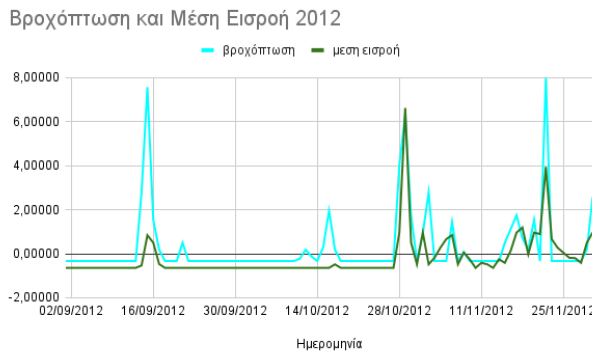
Διάγραμμα 14: Βροχόπτωση και Στάθμη καλοκαιριού 2012.



Διάγραμμα 15: Εξάτμιση και Μέγιστη Θερμοκρασία καλοκαιριού 2012.

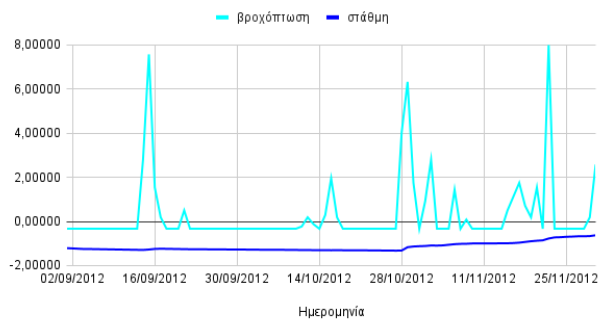


Διάγραμμα 16: Μέγιστη Θερμοκρασία και Μέση Εισροή καλοκαιριού 2012.



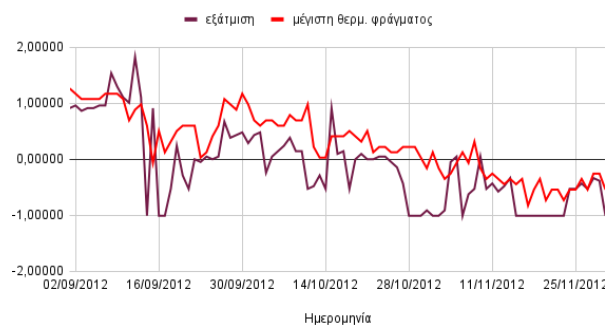
Διάγραμμα 17: Βροχόπτωση και Μέση Εισροή φθινοπώρου 2012.

Βροχόπτωση και Στάθμη 2012



Διάγραμμα 18: Βροχόπτωση και Στάθμη φθινοπώρου 2012.

Εξάτμιση και Μέγιστη Θερμ. 2012



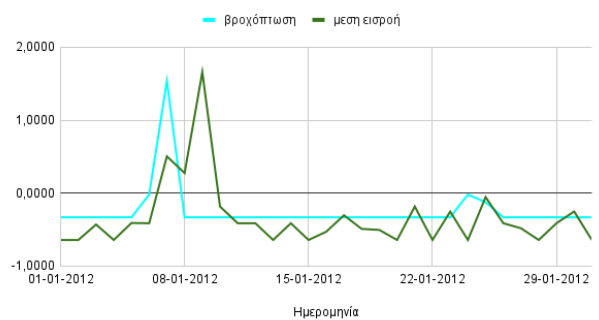
Διάγραμμα 19: Εξάτμιση και Μέγιστη Θερμοκρασία φθινοπώρου 2012.

Μέγιστη Θερμ. και Μέση Εισροή 2012

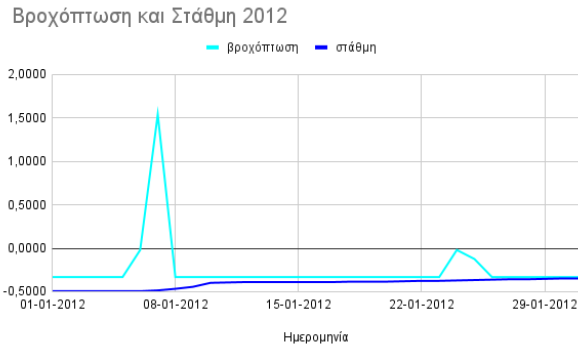


Διάγραμμα 20: Μέγιστη Θερμοκρασία και Μέση Εισροή φθινοπώρου 2012.

Βροχόπτωση και Μέση Εισροή 2012



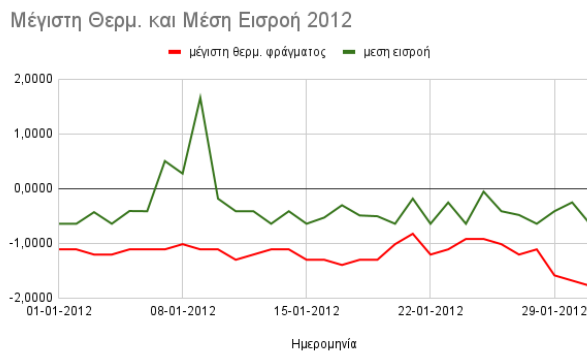
Διάγραμμα 21: Βροχόπτωση και Μέση Εισροή χειμώνα 2012.



Διάγραμμα 22: Βροχόπτωση και Στάθμη χειμώνα 2012.



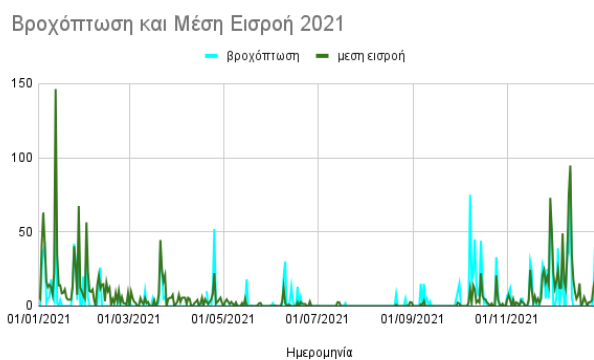
Διάγραμμα 23: Εξάτμιση και Μέγιστη Θερμοκρασία χειμώνα 2012.



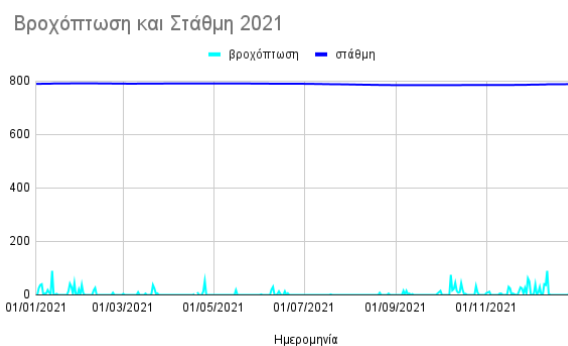
Διάγραμμα 24: Μέγιστη Θερμοκρασία και Μέση Εισροή χειμώνα 2012.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για το έτος 2021 είναι τα ακόλουθα:

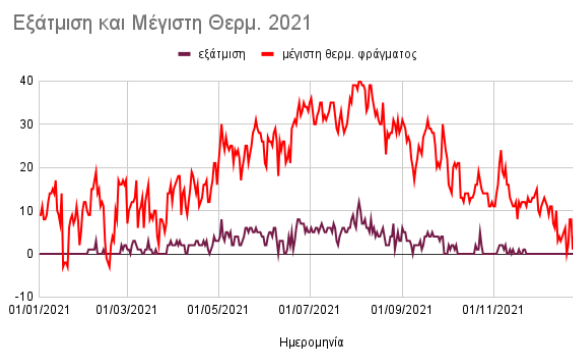
Πραγματικές Τιμές



Διάγραμμα 25: Βροχόπτωση και Μέση Εισροή 2021 πραγματικών τιμών.



Διάγραμμα 26: Βροχόπτωση και Μέση Εισροή 2021 πραγματικών τιμών.



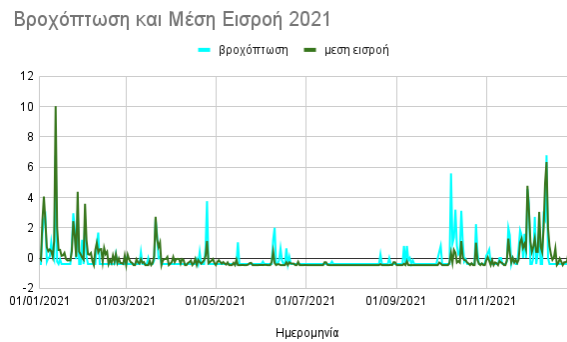
Διάγραμμα 27: Εξάτμιση και Μέγιστη Θερμοκρασία 2021 πραγματικών τιμών.



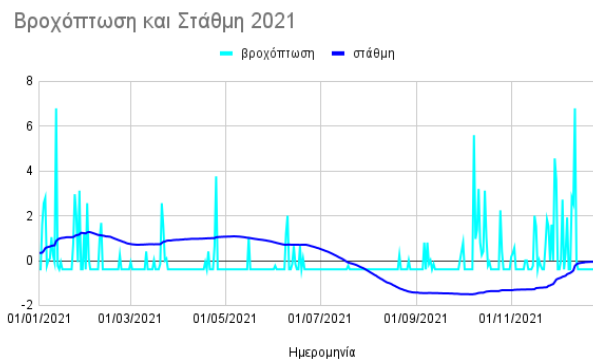
Διάγραμμα 28: Μέγιστη Θερμοκρασία και Μέση Εισροή 2021 πραγματικών τιμών.

Οι κανονικοποιημένες τιμές για το 2021 είναι:

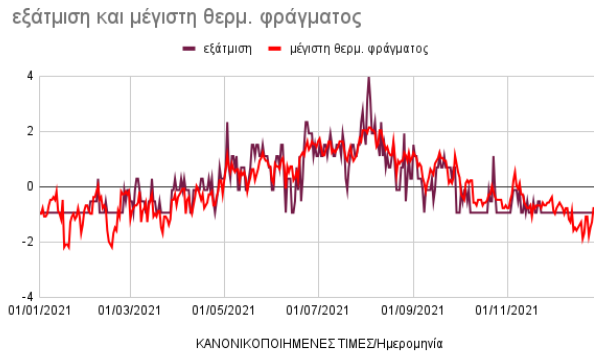
Κανονικοποιημένες τιμές



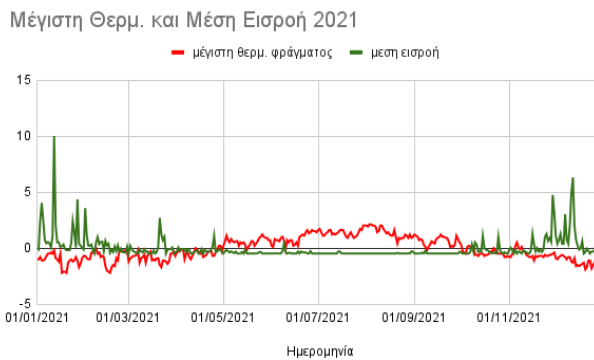
Διάγραμμα 29: Βροχόπτωση και Μέση εισροή 2021 κανονικοποιημένων τιμών.



Διάγραμμα 30: Βροχόπτωση και Στάθμη 2021 κανονικοποιημένων τιμών.



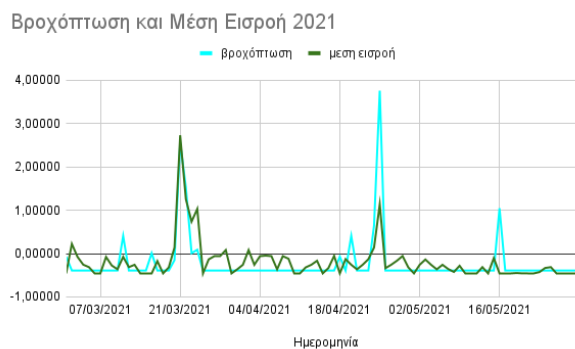
Διάγραμμα 31: Εξάτμιση και Μέγιστη Θερμοκρασία 2021 κανονικοποιημένων τιμών.



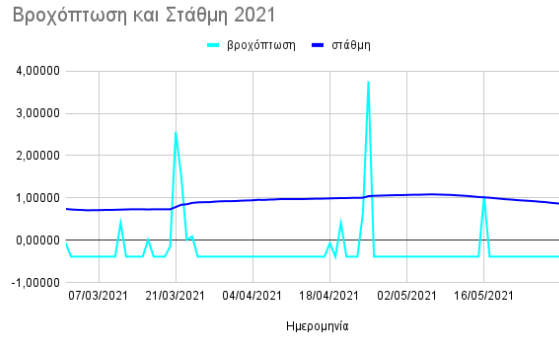
Διάγραμμα 32: Μέγιστη Θερμοκρασία και Μέγιστη Εισροή 2021 κανονικοποιημένων τιμών.

Επιπλέον, εξειδίκευση της ανάλυσης με τα εποχιακά διαγράμματα του ίδιου έτους.

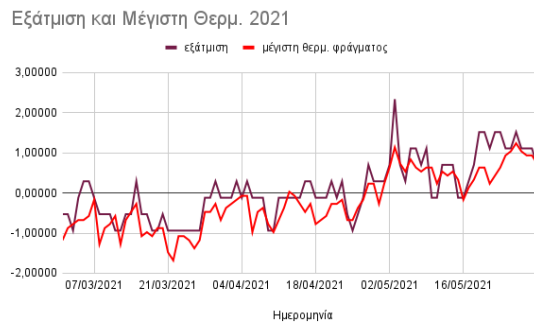
Άνοιξη



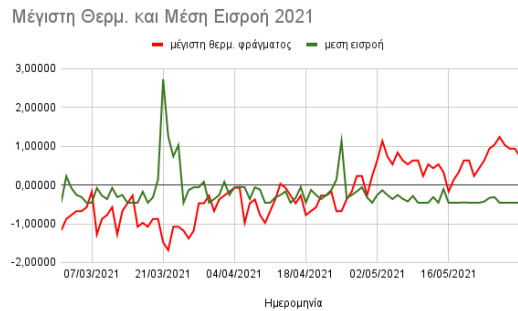
Διάγραμμα 33: Βροχόπτωση και Μέση Εισροή άνοιξης 2021.



Διάγραμμα 34: Βροχόπτωση και Στάθμη άνοιξης 2021.

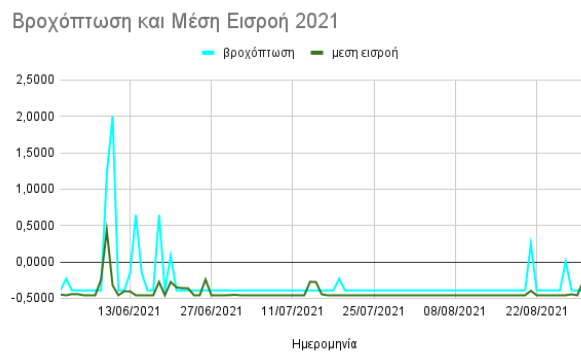


Διάγραμμα 35: Εξάτμιση και Μέγιστη Θερμοκρασία άνοιξης 2021.

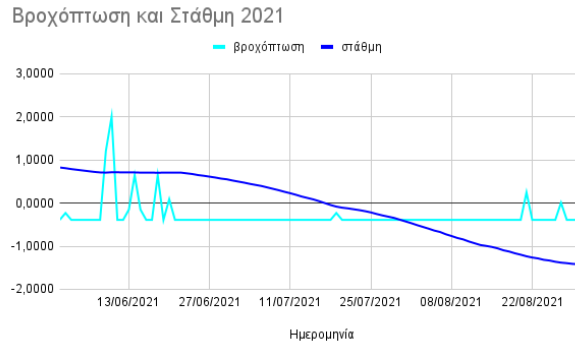


Διάγραμμα 36: Μέγιστη Θερμοκρασία και Μέση Εισροή άνοιξης 2021.

Καλοκαίρι



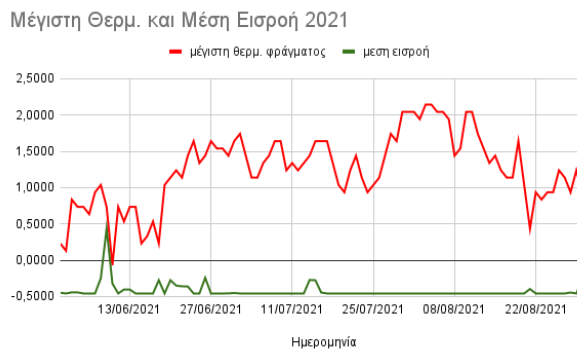
Διάγραμμα 37: Βροχόπτωση και Μέση Εισροή καλοκαιριού 2021.



Διάγραμμα 38: Βροχόπτωση και Στάθμη καλοκαιριού 2021.

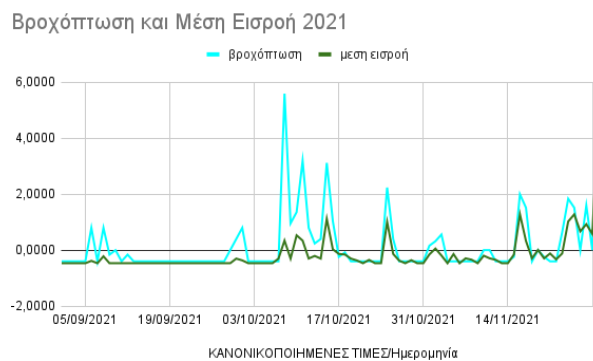


Διάγραμμα 39: Εξάτμιση και Μέγιστη Θερμοκρασία καλοκαιριού 2021.

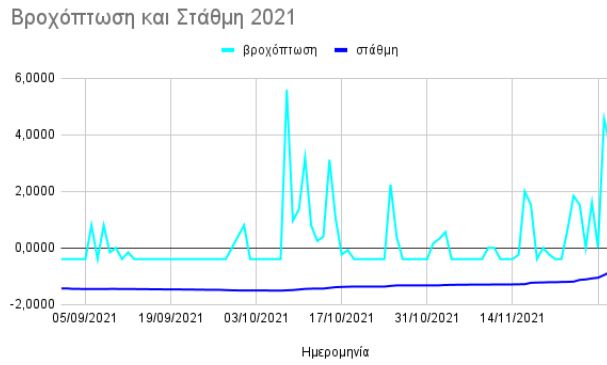


Διάγραμμα 40: Μέγιστη Θερμοκρασία και Μέση Εισροή καλοκαιριού 2021.

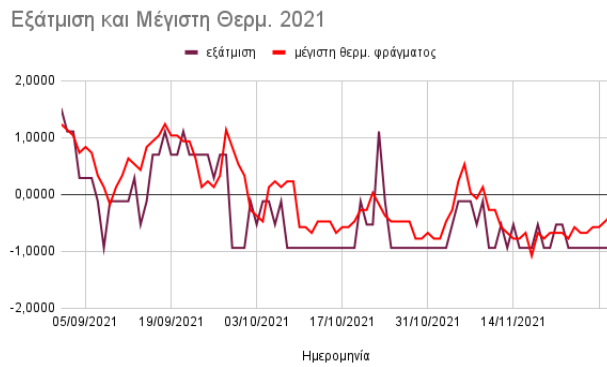
Φθινόπωρο



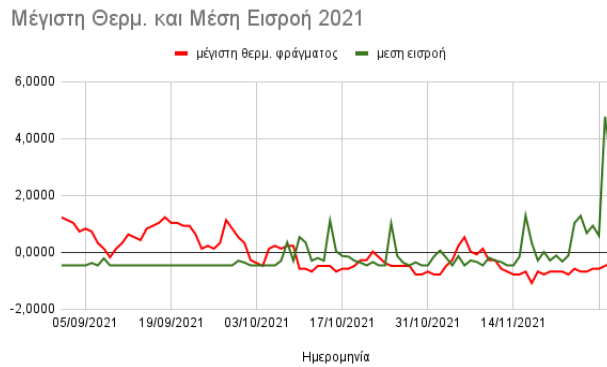
Διάγραμμα 41: Βροχόπτωση και Στάθμη φθινοπώρου 2021.



Διάγραμμα 42: Βροχόπτωση και Μέση Εισροή φθινοπώρου 2021.



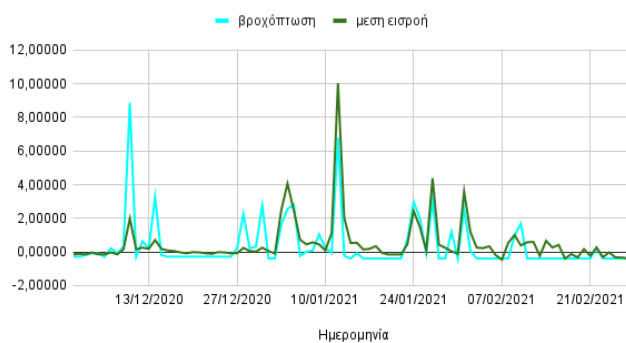
Διάγραμμα 43: Εξάτμιση και Μέγιστη Θερμοκρασία φθινοπώρου 2021.



Διάγραμμα 44: Μέγιστη Θερμοκρασία και Μέση Εισροή φθινοπώρου 2021.

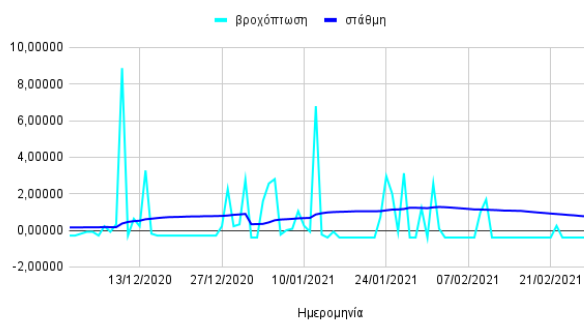
Χειμώνας

Βροχόπτωση και Μέση Εισροή 2021



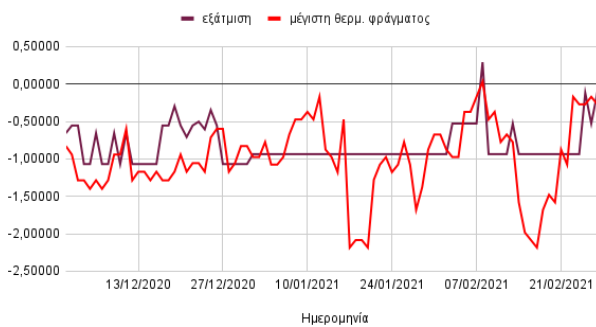
Διάγραμμα 45: Βροχόπτωση και Μέση Εισροή χειμώνα 2021.

Βροχόπτωση και Στάθμη 2021

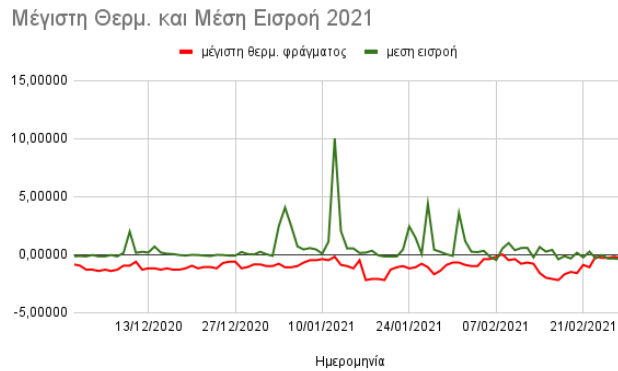


Διάγραμμα 46: Βροχόπτωση και Στάθμη χειμώνα 2021.

Εξάτμιση και Μέγιστη Θερμ. 2021



Διάγραμμα 47: Εξάτμιση και Μέγιστη Θερμοκρασία χειμώνα 2021.



Διάγραμμα 48: Μέγιστη Θερμοκρασία και Μέση Εισροή χειμώνα 2021.

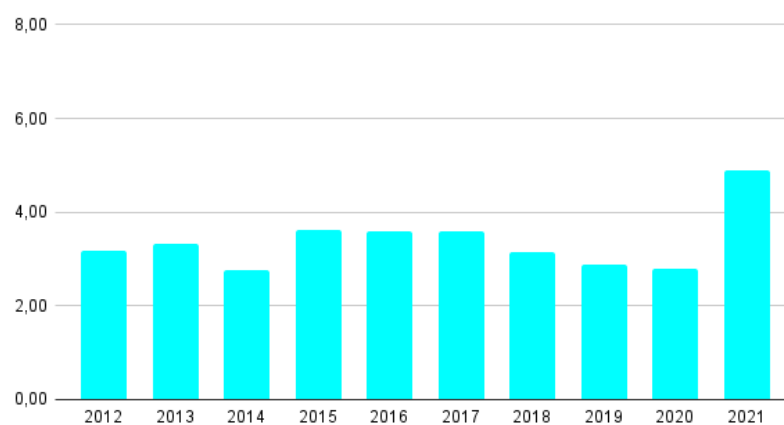
Από τα Διαγράμματα 13 και 37 συμπεραίνουμε ότι κατά τους καλοκαιρινούς μήνες η τάση του γραφήματος της βροχόπτωσης είναι καθοδική . Επιπλέον αυξητική τάση διαφαίνεται και στα γραφήματα της θερμοκρασίας Διαγράμματα 15 και 39 με συνέπεια η εξάτμιση να ακολουθεί τη τάση των μεγεθών αυτών. Όπως είναι αναμενόμενο η μέση εισροή εξαρτάται από τη βροχόπτωση όπως βλέπουμε στα Διαγράμματα 13 έως 37. Παρόλα αυτά η στάθμη της λίμνης παραμένει σε ικανοποιητικό ύψος περίπου τέσσερα μέτρα κάτω από το ανώτερο όριο της λίμνης (892 μέτρα). Αλλαγές ωστόσο παρατηρούνται στις τιμές των διαγραμμάτων της άνοιξης και του φθινοπώρου Διαγράμματα 33 έως 36 και Διαγράμματα 41 έως 44 . Ειδικότερα, την άνοιξη βλέπουμε αύξηση τιμών της βροχόπτωσης , της μέσης εισροής, και της στάθμης (Διάγραμμα 33). Αντιθέτως οι τιμές της θερμοκρασίας και της εξάτμισης παρουσιάζουν μείωση (Διάγραμμα 34). Το φθινόπωρο παρόλο που αυξάνονται οι βροχοπτώσεις μειώνεται η μέση εισροή όπως και η στάθμη της λίμνης (Διάγραμμα 42). Αυτό οφείλεται στην αύξηση ζήτησης νερού για καλλιέργειες και μεγάλο μέρος του νερού της λίμνης καλύπτει αυτή την ανάγκη. Το χειμώνα σημειώνεται ένα διαφορετικό μοτίβο στα γραφήματα των βροχοπτώσεων (Διάγραμμα 45). Συγκεκριμένα υπάρχουν χρονιές όπου οι βροχοπτώσεις είναι έντονες και αναπληρώνουν το νερό της λίμνης αλλά υπάρχουν και χρονιές όπου αυτό δεν συμβαίνει (Διάγραμμα 5.2.22). Φυσικά το χειμώνα η εξάτμιση του νερού είναι σε πολύ χαμηλά επίπεδα διότι η θερμοκρασία μειώνεται (Διάγραμμα 46). Επίσης βλέπουμε από τα διαγράμματα μέγιστης θερμοκρασίας και εξάτμισης ότι υπάρχουν μηδενικές τιμές και μάλλον οφείλεται σε ανθρώπινο λάθος (Διάγραμμα 14). Από το διάγραμμα μέγιστης θερμοκρασίας και μέσης εισροής (Διάγραμμα 48), παρατηρείται όταν αυξάνεται η βροχόπτωση και κατά συνέπεια η μέση εισροή, η θερμοκρασία μειώνεται.

5.2 Πίνακες μέσω τιμών και Ιστογράμματα

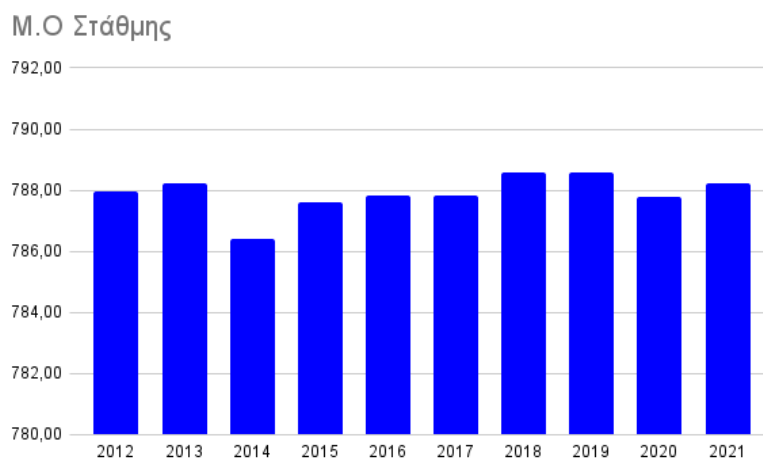
Πίνακας 1: Μέσες τιμές ανά έτος

ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ							
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	Βροχόπτωση	Εξάτμιση	Μέγιστη Θερμ.	Ελάχιστη Θερμ.	Στάθμη	Μέση Εισροή	Έτη
	3,19	2,10	17,67	7,22	787,97	6,80	2012
	3,32	2,09	17,96	7,40	788,23	5,80	2013
	2,78	1,93	17,78	7,85	786,43	3,50	2014
	3,63	1,69	17,53	7,17	787,60	5,61	2015
	3,58	1,95	18,20	7,66	787,84	4,80	2016
	3,58	1,95	18,20	7,66	787,84	4,80	2017
	3,15	1,90	17,99	7,90	788,59	5,70	2018
	2,88	1,98	18,38	7,72	788,57	4,86	2019
	2,78	2,08	18,24	7,56	787,79	5,46	2020
	4,89	2,29	18,70	7,64	788,23	6,38	2021

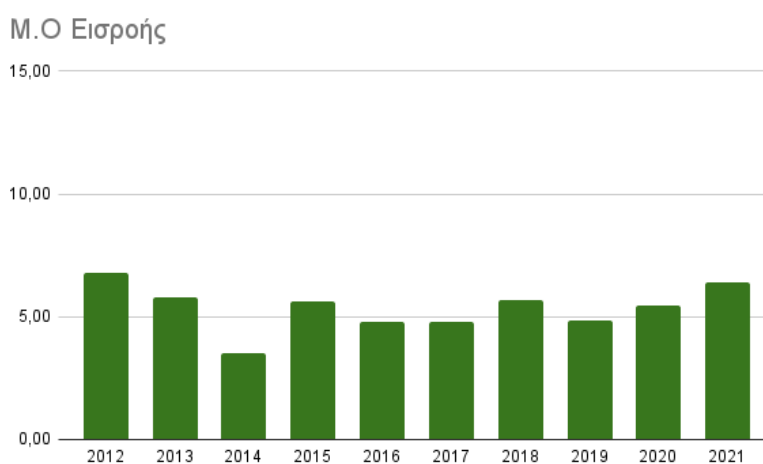
Μ.Ο Βροχόπτωσης



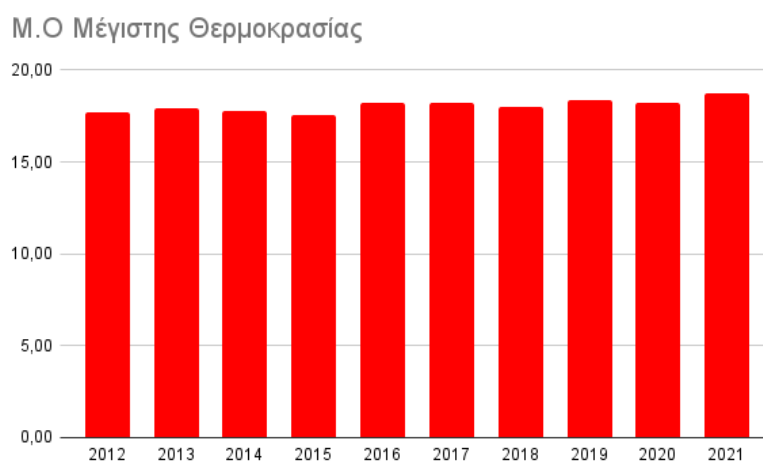
Ιστόγραμμα 1: Μ.Ο. Βροχόπτωσης



Ιστόγραμμα 2: Μ.Ο. Στάθμης

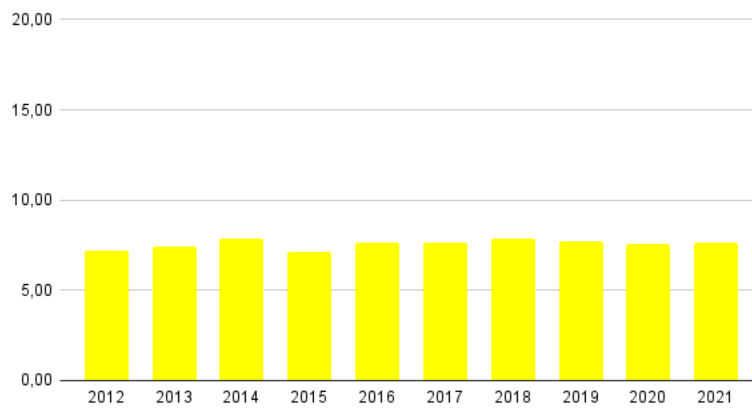


Ιστόγραμμα 3: Μ.Ο. Εισροής



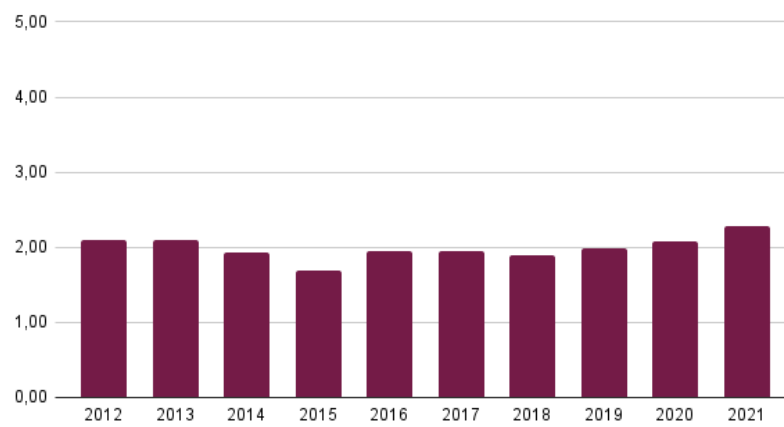
Ιστόγραμμα 4: Μ.Ο. Μέγιστης Θερμοκρασίας

Μ.Ο Ελάχιστης Θερμοκρασίας



Ιστόγραμμα 5: Μ.Ο. Ελάχιστης Θερμοκρασίας

Μ.Ο εξάτμισης

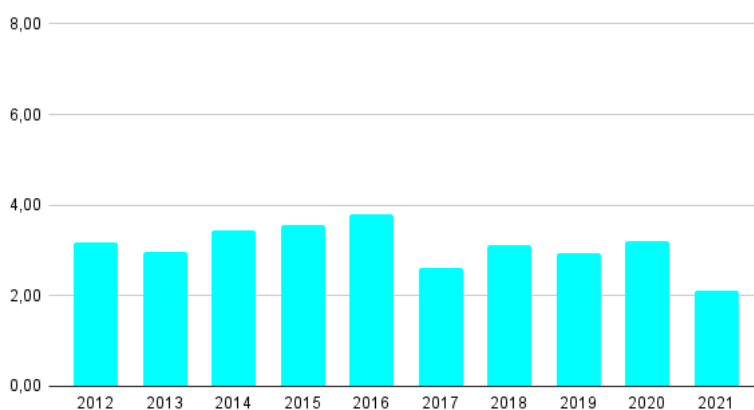


Ιστόγραμμα 6: Μ.Ο. Εξάτμισης

Πίνακας 2: Μέσες τιμές ανά έτος για την άνοιξη.

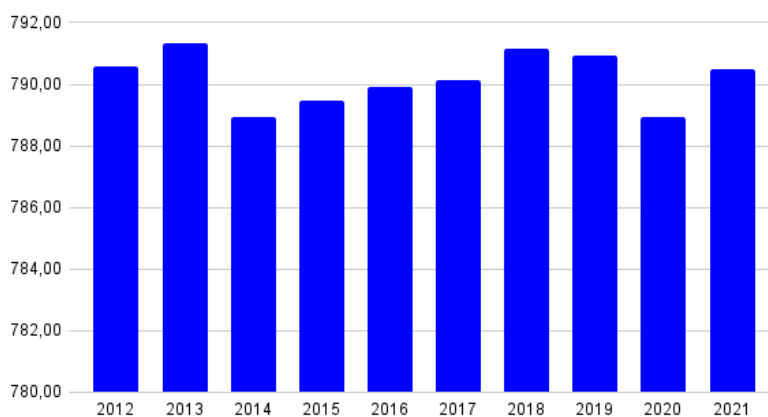
ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΑΝΟΙΞΗ						
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	Βροχόπτωση	Εξάτμιση	Μέγιστη Θερμ.	Στάθμη	Μέση Εισροή	Έτη
	3,16	1,75	15,67	790,56	13,20	2012
	2,98	1,74	16,78	791,32	8,94	2013
	3,45	1,67	14,36	788,95	6,19	2014
	3,57	1,58	15,53	789,45	8,17	2015
	3,79	1,82	17,05	789,93	5,93	2016
	2,62	2,17	17,08	790,11	5,89	2017
	3,12	1,69	17,92	791,16	7,26	2018
	2,95	1,90	16,65	790,92	7,31	2019
	3,20	2,20	16,64	788,93	6,91	2020
	2,10	2,50	16,65	790,49	3,62	2021

Βροχόπτωση Άνοιξης

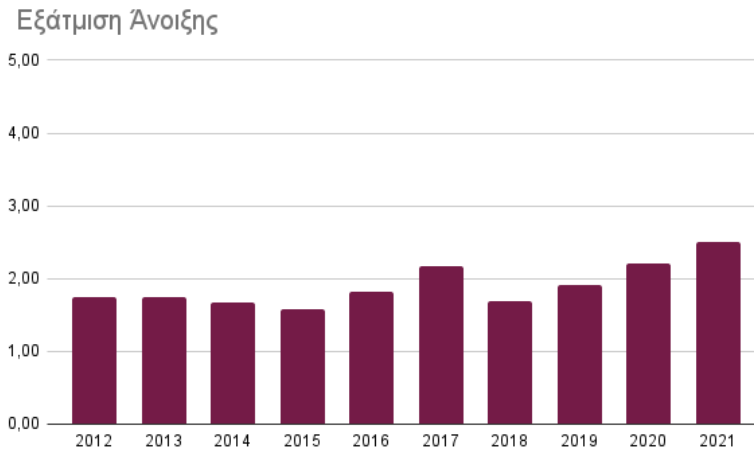


Ιστόγραμμα 7: Βροχόπτωση για την άνοιξη

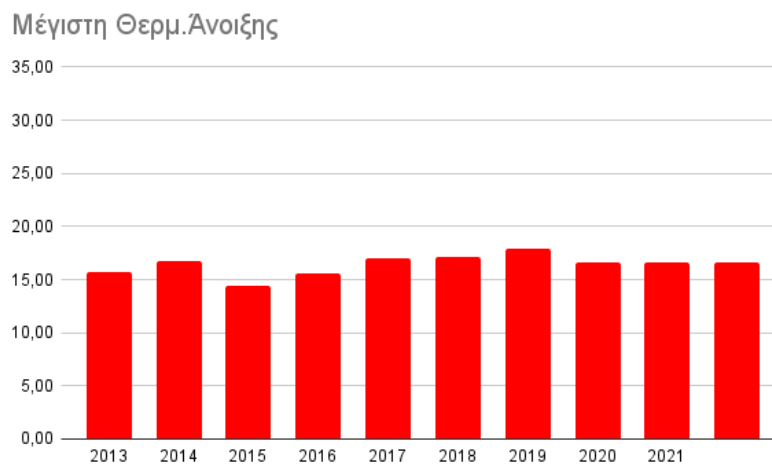
Στάθμη Άνοιξης



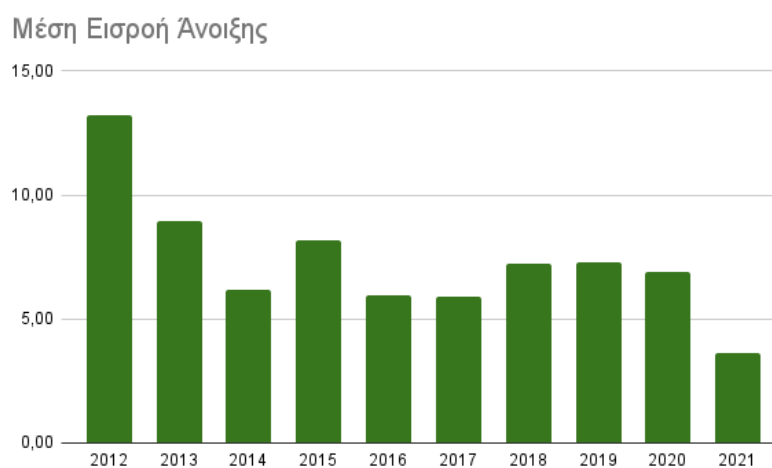
Ιστόγραμμα 8: Στάθμη για την άνοιξη



Ιστόγραμμα 9: Εξάτμιση για την άνοιξη



Ιστόγραμμα 10: Μέγιστη Θερμοκρασία για την άνοιξη

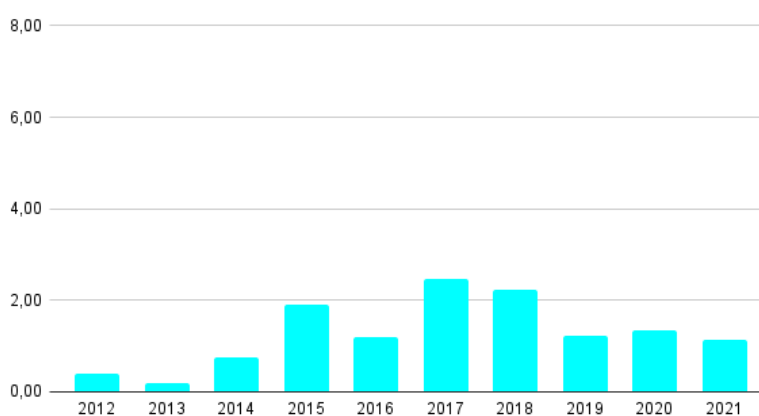


Ιστόγραμμα 11: Εισροή για την άνοιξη

Πίνακας 3: Μέσες τιμές για το καλοκαίρι

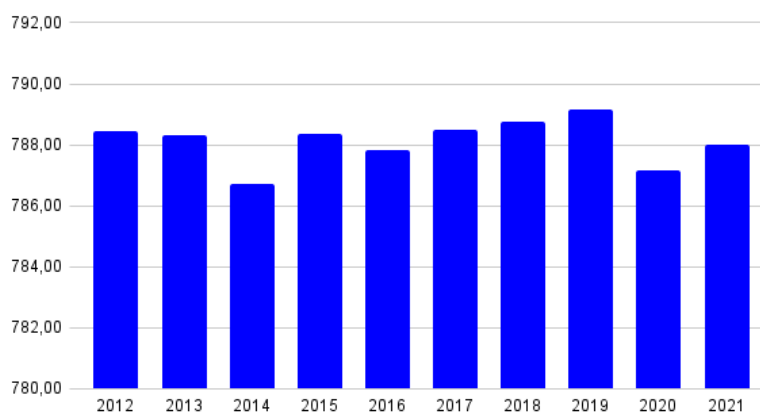
ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ						
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	Βροχόπτωση	Εξάτμιση	Μέγιστη Θερμ.	Στάθμη	Μέση Εισροή	Έτη
	0,39	4,72	29,96	788,47	0,43	2012
	0,18	4,66	27,67	788,32	0,31	2013
	0,76	3,89	28,32	786,74	0,58	2014
	1,90	3,29	27,54	788,38	1,11	2015
	1,21	4,13	28,77	787,84	0,64	2016
	2,47	4,30	28,91	788,47	1,40	2017
	2,22	3,89	27,80	788,78	1,34	2018
	1,22	3,84	29,38	789,17	0,70	2019
	1,36	3,94	28,20	787,18	0,48	2020
	1,14	5,00	31,08	787,99	0,47	2021

Βροχόπτωση Καλοκαιριού



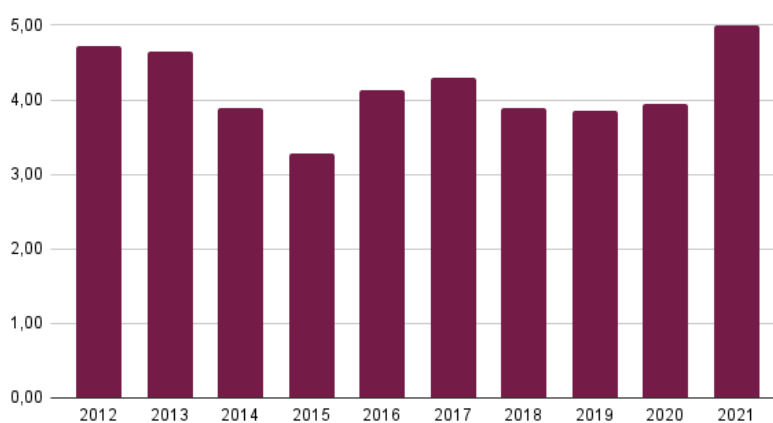
Ιστόγραμμα 12: Βροχόπτωση για το καλοκαίρι

Στάθμη Καλοκαιριού



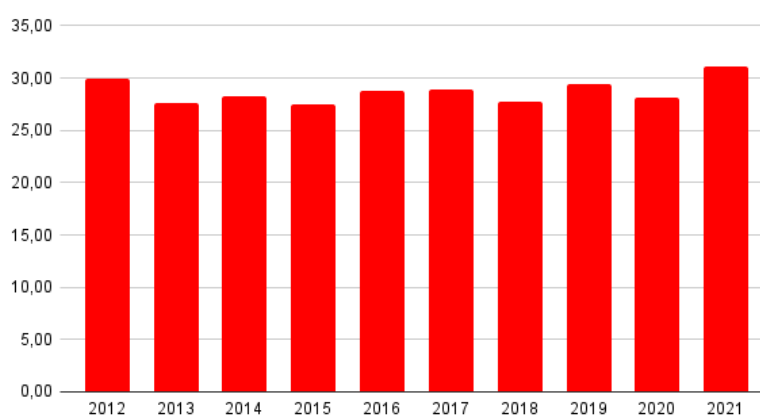
Ιστόγραμμα 13: Στάθμη για το καλοκαίρι

Εξάτμιση Καλοκαιριού



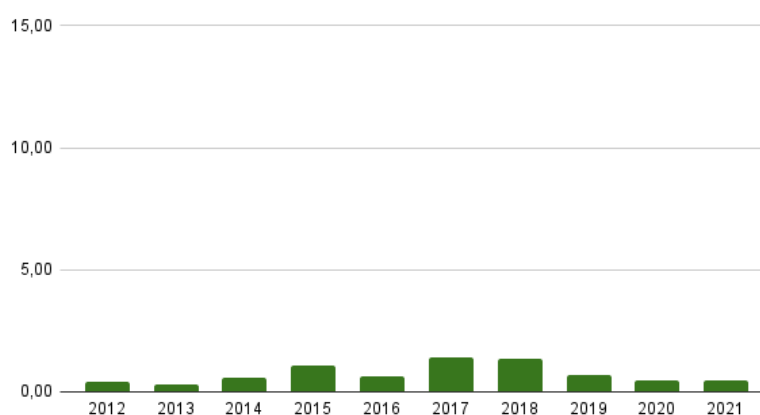
Ιστόγραμμα 14: Εξάτμιση για το καλοκαίρι

Μέγιστη Θερμ. Καλοκαιριού



Ιστόγραμμα 15: Μέγιστη Θερμοκρασία για το καλοκαίρι

Μεση Εισροή Καλοκαιριού

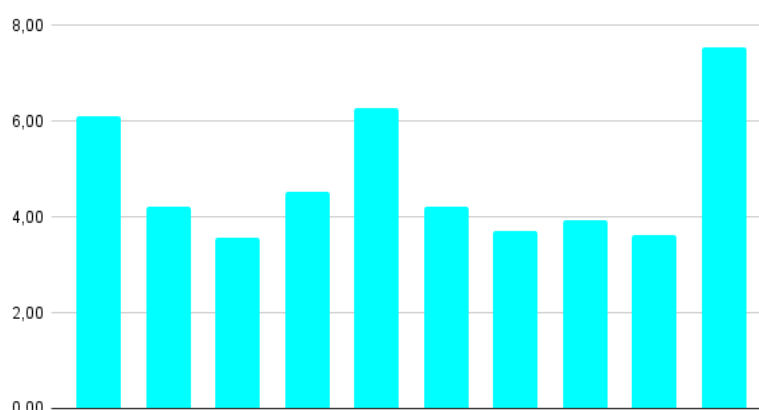


Ιστόγραμμα 16: Εισροή για το καλοκαίρι

Πίνακας 4: Μέσες τιμές για το φθινόπωρο

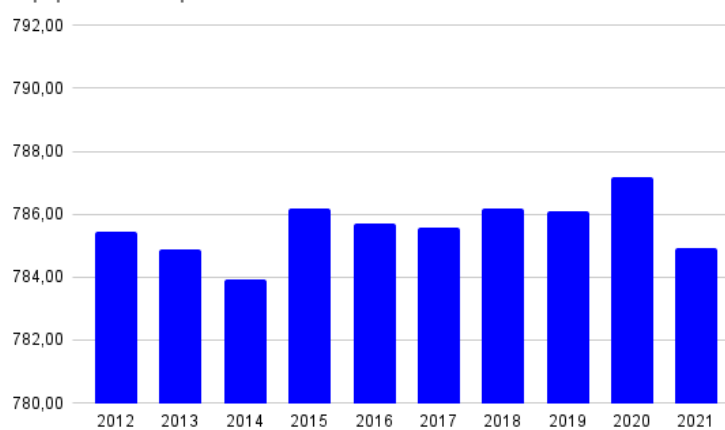
ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ						
	Βροχόπτωση	Εξάτμιση	Μέγιστη Θερμ.	Στάθμη	Μέση Εισροή	Έτη
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	6,10	1,86	20,60	785,46	4,75	2012
	4,22	1,82	19,79	784,89	2,37	2013
	3,56	1,54	18,48	783,95	1,29	2014
	4,52	1,69	19,31	786,17	4,17	2015
	6,29	1,27	17,64	785,70	6,58	2016
	4,22	1,75	18,02	785,56	1,84	2017
	3,70	1,85	18,87	786,19	3,03	2018
	3,95	1,81	20,36	786,11	2,03	2019
	3,62	1,68	19,02	787,17	10,33	2020
	7,55	1,43	18,13	784,90	4,87	2021

Βροχόπτωση Φθινοπώρου



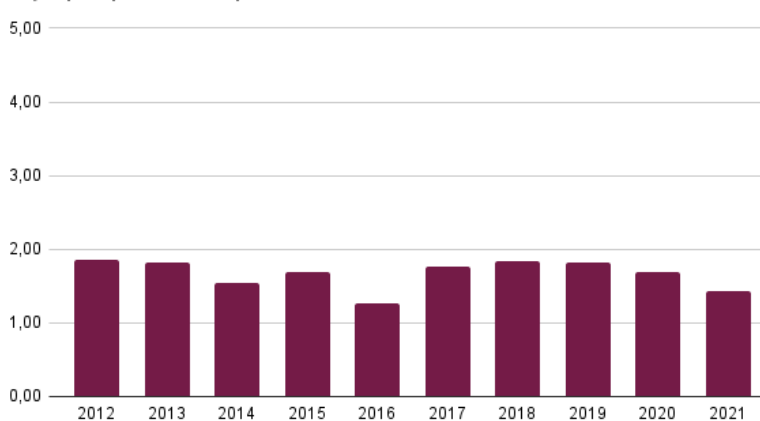
Ιστόγραμμα 17: Βροχόπτωση για το φθινόπωρο

Στάθμη Φθινοπώρου



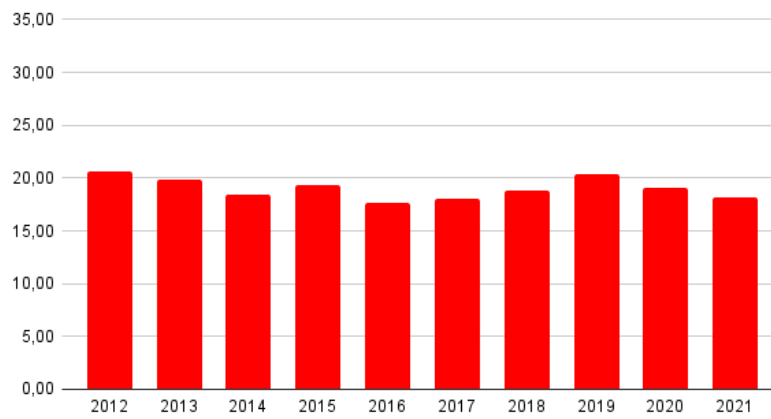
Ιστόγραμμα 18: Στάθμη για το φθινόπωρο

Εξάτμιση Φθινοπώρου



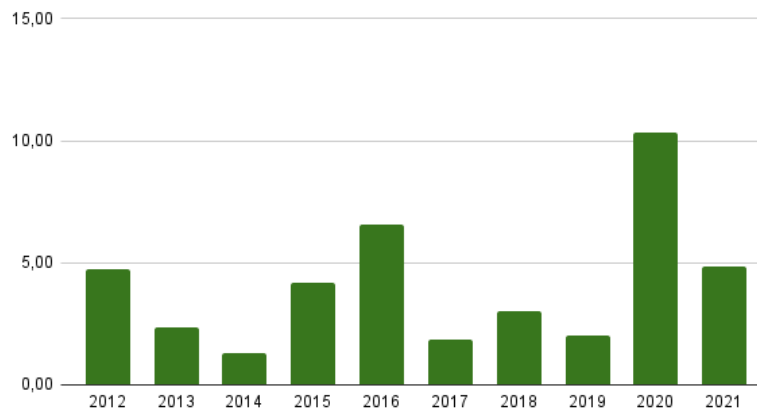
Ιστόγραμμα 19: Εξάτμιση για το φθινόπωρο

Μέγιστη Θερμ.Φθινοπώρου



Ιστόγραμμα 20: Μέγιστη Θερμοκρασία για το φθινόπωρο

Μέση Εισροή Φθινοπώρου

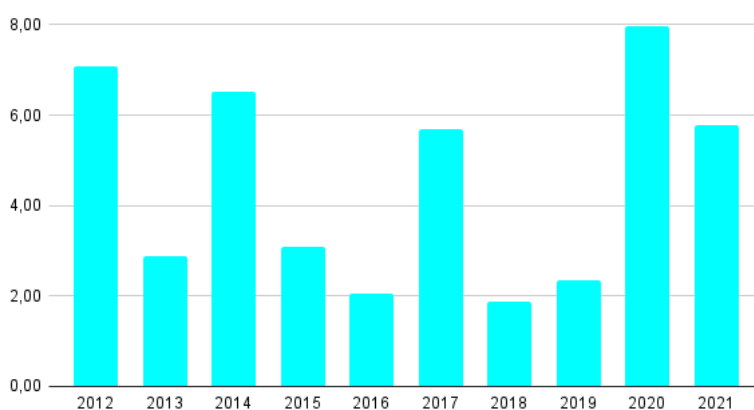


Ιστόγραμμα 21: Εισροή για το φθινόπωρο

Πίνακας 5: Μέσες τιμές για το χειμώνα

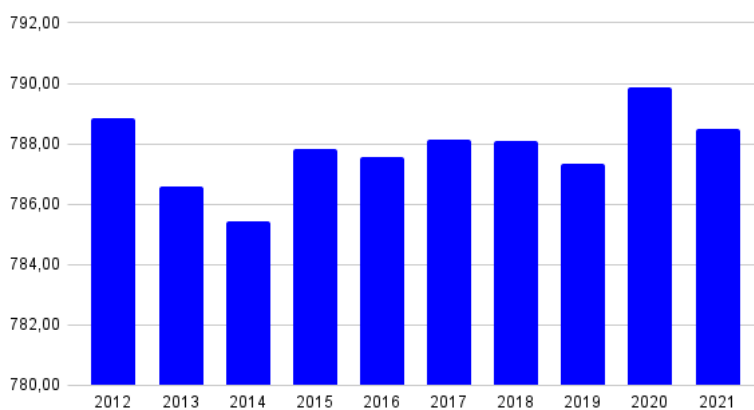
ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΧΕΙΜΩΝΑ						
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	Βροχόπτωση	Εξάτμιση	Μέγιστη Θερμ.	Στάθμη	Μέση Εισροή	Έτη
	7,08	0,14	7,19	788,84	13,83	2012
	2,89	0,46	9,01	786,59	6,57	2013
	6,52	0,21	7,34	785,45	10,54	2014
	3,10	0,60	10,28	787,81	5,97	2015
	2,06	0,07	6,13	787,56	6,13	2016
	5,68	0,22	7,61	788,12	14,08	2017
	1,89	0,15	6,01	788,11	8,35	2018
	2,36	0,49	9,13	787,35	3,64	2019
	7,98	0,35	9,14	789,88	13,93	2020
	5,77	0,07	8,23	788,51	10,63	2021

Βροχόπτωση Χειμώνα



Ιστόγραμμα 22: Βροχόπτωση για το χειμώνα

Στάθμη Χειμώνα



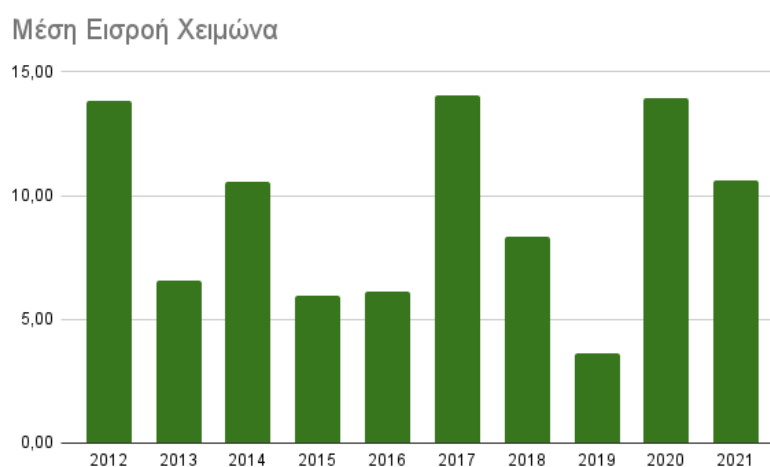
Ιστόγραμμα 23: Στάθμη για το χειμώνα



Ιστόγραμμα 24: Εξάτμιση για το χειμώνα



Ιστόγραμμα 25: Μέγιστη Θερμοκρασία για το χειμώνα



Ιστόγραμμα 26: Εισροή για το χειμώνα

Υπολογίστηκαν οι γραμμές τάσεις στα δεδομένα του πίνακα (1) και έχουν ως εξής:

- Βροχόπτωσης : $y = 0,0646x + 3,0228$
- Εξάτμισης : $y = 0,0152x + 1,9123$
- Στάθμης : $y = 0,0787x + 2,48$
- Εισροής : $y = 0,0054x + 1,3427$
- Μέγιστης Θερμοκρασίας : $y = 0,0949x + 1,545$
- Ελάχιστης Θερμοκρασίας : $y = 0,0389x + 0,3643$

Η τάση με συντελεστή +0,0646 φανερώνει αυξητική τάση της βροχόπτωσης ανά χρόνο. Όμως από το Ιστόγραμμα 1 παρατηρούμε ότι υπήρχαν χρονιές όπως το 2014, 2019 και 2020 όπου οι βροχές ήταν αρκετά χαμηλά σε σύγκριση με τα υπόλοιπα έτη. Από τα Ιστογράμματα 8 και 18 είναι εμφανές ότι το κατώτερο όριο που έχει φτάσει η λίμνη ήταν το φθινόπωρο του 2014 στα 784 μέτρα με το μέγιστο την άνοιξη του 2013 στα 791,3 μέτρα ύψος το οποίο είναι το ανώτερο που μπορεί να φιλοξενήσει η λίμνη. Σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φράγματος στα 792 μέτρα υπάρχει ένα σύστημα υπερχειλίσης που όταν το νερό φτάσει σε αυτό το σημείο αποβάλλεται και διοχετεύεται σε κανάλια για την ασφάλεια του φράγματος. Αυτό βέβαια γίνεται ελάχιστες φορές διότι προβλέπεται από την υδροηλεκτρική υπηρεσία η χρήση του νερού για ανάγκες όπως η παραγωγή ρεύματος, πόση νερού και άρδευση. Επιπλέον, από το Ιστόγραμμα 25 διαπιστώνεται η αύξηση της θερμοκρασίας κατά τους χειμερινούς μήνες. Η σημαντικότερη και η πιο ανησυχητική παρατήρηση που αντλούμε από τα ιστογράμματα είναι η αύξηση μέγιστης θερμοκρασίας αλλά και η αύξηση της ελάχιστης θερμοκρασίας (Πίνακας 1) αλλά και από το συντελεστή τάσης +0,0949x οποίος δηλώνει αυξητική τάση. Αναλυτικά φαίνεται στο Ιστόγραμμα 4 πως από το έτος 2012 έως το 2021 η διαφορά της μέγιστης θερμοκρασίας κυμαίνεται στους 1,1 βαθμούς Κελσίου καθ' όλη τη διάρκεια του έτος. Έχουμε αύξηση της θερμοκρασίας την άνοιξη (Ιστόγραμμα 10), το καλοκαίρι (Ιστόγραμμα 15) και το χειμώνα (Ιστόγραμμα 25) με τιμές άνω του ενός βαθμού Κελσίου. Αντίθετα, το φθινόπωρο γίνεται αντιληπτό ότι η θερμοκρασία μειώνεται κατά ένα βαθμό (Ιστόγραμμα 21). Με αφορμή λοιπόν τα δεδομένα που εξήχθησαν από τους παραπάνω πίνακες και τα ιστογράμματα, έπεται η μελέτη της θερμοκρασίας με τους συντελεστές Pearson.

5.3 Πίνακες Pearson

Πίνακας 6: Πίνακας Pearson μεταξύ δεδομένων

2016	Βροχόπτωση	Εξάτμιση	Μέγιστη Θερμ.	Στάθμη	Μέση Εισροή
Βροχόπτωση	1,00	-0,28	-0,39	-0,09	0,75
Εξάτμιση	-0,28	1,00	0,84	0,08	-0,33
Μέγιστη Θερμ.	-0,09	0,84	1,00	-0,06	-0,25
Στάθμη	-0,09	0,08	-0,06	1,00	0,00
Μέση Εισροή	0,75	-0,33	-0,25	0,00	1,00

Οι τιμές που ισχύουν για τα αποτελέσματα της έρευνας είναι:

- $r = 1$ Απόλυτη
- $r > 0.7$ Ισχυρή
- $0.5 < r < 0.7$ Μέτρια
- $0.3 < r < 0.5$ Ασθενής
- $r < 0.3$ Καμία ή πολύ ασθενής συσχέτιση

Ο σκοπός της δημιουργίας του παραπάνω πίνακα είναι να επιβεβαιώσει τις παρατηρήσεις που κάναμε στα προηγούμενα υποκεφάλαια (5.1 και 5.2) όσο αναφορά τις συσχετίσεις της βροχόπτωσης με τη μέση εισροή, την εξάτμιση με την μέγιστη θερμοκρασία και τη βροχόπτωση με τη θερμοκρασία. Έχουν γίνει όλοι οι πίνακες των συσχετίσεων ανά έτος και επιλέχτηκε ο Πίνακας 6 ως ο πιο αντιπροσωπευτικός. Όπως ήταν αναμενόμενο, υπάρχει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ της βροχόπτωσης με τη μέση εισροή, με συντελεστή συσχέτισης στο 0,75 και ανάμεσα στη μέγιστη θερμοκρασία και εξάτμιση, με συντελεστή συσχέτισης 0,84. Αντιθέτως, αναμενόταν μέτρια ως ισχυρή συσχέτιση, με αρνητικό πρόσημο στη τιμή που λαμβάνει χώρα μεταξύ της μέγιστης θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης αλλά όπως φαίνεται από τον Πίνακα 6 υπάρχει ασθενής συσχέτιση -0,39.

Πίνακας 7: Πίνακας Pearson ανά έτος

Θερμοκρασία Pearson	
2012-2013	0,91
2013-2014	0,83
2014-2015	0,82
2015-2016	0,81
2016-2017	0,84
2017-2018	0,84
2018-2019	0,83
2019-2020	0,84
2020-2021	0,79
2012-2021	0,82

Πίνακας 8: Πίνακας Pearson αναλυτικός ανά τα έτη

Συντελεστές συσχέτισης Pearson μέγιστης θερμοκρασίας										
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
2012	1,000	0,909	0,850	0,876	0,801	0,860	0,860	0,875	0,817	0,821
2013	0,909	1,000	0,835	0,878	0,849	0,883	0,874	0,892	0,855	0,861
2014	0,850	0,835	1,000	0,822	0,825	0,856	0,806	0,856	0,801	0,815
2015	0,876	0,878	0,822	1,000	0,808	0,856	0,829	0,839	0,826	0,846
2016	0,801	0,849	0,825	0,808	1,000	0,843	0,847	0,828	0,820	0,846
2017	0,860	0,883	0,856	0,856	0,843	1,000	0,838	0,883	0,819	0,844
2018	0,860	0,874	0,806	0,829	0,847	0,838	1,000	0,833	0,802	0,814
2019	0,875	0,892	0,856	0,839	0,828	0,883	0,833	1,000	0,835	0,800
2020	0,817	0,855	0,801	0,826	0,820	0,819	0,802	0,835	1,000	0,794
2021	0,821	0,861	0,815	0,846	0,846	0,844	0,814	0,800	0,794	1,000

Με τη σύγκριση των δύο διαγραμμάτων, γίνεται αντιληπτή η μικρή αποσυσχέτιση ανά έτος και όσο ερχόμαστε προς το παρόν αυξάνεται. Η τιμή 0,909 για τα έτη 2012-2013, είναι η πιο ισχυρή συσχέτιση και η τιμή 0,794 για τα έτη 2020-2021, είναι μεν ισχυρή αλλά γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι είναι αρκετά μειωμένη στη μεταξύ τους σύγκριση (Πίνακας 8). Είναι σαφές ότι, οι συσχετίσεις της θερμοκρασίας του παρελθόντος μεταβάλλονται με τη πάροδο του χρόνου. Στη φύση, οι μεταβολές που γίνονται στην ατμόσφαιρα είναι οριακές, οπότε ακόμα και μία μικρή μεταβολή προκαλεί αισθητές διαφορές στο κλίμα. Αυτές οι μεταβολές, μπορούν να μελετηθούν και με άλλες μεθόδους, όπως μελετώνται στη θεωρία του χάους. Μικρές αλλαγές στις

αρχικές συνθήκες αποδίδουν πολύ διαφορετικά αποτελέσματα για τα δυναμικά συστήματα (το φαινόμενο της πεταλούδας).

Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα - Προτάσεις

Στο κεφάλαιο αυτό, παρατίθενται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τα αποτελέσματα των μετρήσεων του παραπάνω κεφαλαίου συγκρίνοντας τα, με μία παγκόσμια έρευνα κλιματικής αλλαγής, καθώς και ορισμένες προτάσεις, για περαιτέρω μελέτη.

Η κλιματική αλλαγή δεν είναι πλέον μελλοντική απειλή. Είναι εδώ και επιδεινώνεται ταχύτατα. Τα πρωτοφανή κύματα καύσωνα και οι πυρκαγιές, οι έντονες βροχοπτώσεις και οι πλημμύρες και τα οικοσυστήματα που καταρρέουν μας κρούουν τον κώδωνα του κινδύνου. Μία διεθνής κοινότητα υπό την αιγίδα του ΟΗΕ δημιούργησε στα τέλη της δεκαετίας του 1980 μια διεθνή επιστημονική επιτροπή για να παρακολουθεί το φαινόμενο, να κάνει προβλέψεις και να εισηγείται παρεμβάσεις. Σύμφωνα με την τελευταία μελέτη της Intergovernmental Panel on Climate Change (Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή IPCC) που δημοσιεύτηκε τον Αύγουστο του 2021, η υπερθέρμανση που παρατηρείται είναι συνεπής με τις προβλέψεις των προηγούμενων δεκαετιών, από τότε που ξεκίνησαν οι συστηματικές επιστημονικές αξιολογήσεις. Την περίοδο 2011-2020, η παγκόσμια θερμοκρασία στην επιφάνεια της Γης ήταν περίπου 1.09°C πάνω από τα προβιομηχανικά επίπεδα (Masson-Delmotte, et.al., 2021; Greenpeace, 2021).

Αυτό ενισχύει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων από την επεξεργασία των δικών μας δεδομένων. Χρησιμοποιήθηκαν γραμμικά διαγράμματα, πίνακες, ιστογράμματα και ο συντελεστής συσχέτισης Pearson, για επιβεβαιώσουμε τα συμπεράσματα μας με διαφορετικό τρόπο, για να είμαστε ακριβείς και σίγουροι για τα αποτελέσματα. Περισσότερα και πιο έντονα ακραία φαινόμενα παρατηρούνται και έχουμε ισχυρότερες αποδείξεις για το γεγονός ότι αποδίδονται στην ανθρώπινη επιρροή. Όσο περισσότερα αέρια του θερμοκηπίου προσθέτουμε στην ατμόσφαιρα, τόσο εντονότερη η κλιματική κρίση, καθώς πολλές αλλαγές στο κλιματικό σύστημα γίνονται εντονότερες λόγω της άμεσης σχέσης με την αυξανόμενη παγκόσμια υπερθέρμανση. Περισσότερη υπερθέρμανση προκαλεί πιο συχνά και πιο έντονα ζεστά ακραία φαινόμενα, θαλάσσια κύματα καύσωνα, ξηρασίες σε κάποιες περιοχές, έντονες βροχοπτώσεις, πλημμυρικά φαινόμενα, έντονους τροπικούς κυκλώνες ενώ ενισχύει τους παράγοντες του κλιματικού συστήματος που προκαλούν επιπτώσεις, όπως το λιώσιμο των πάγων και του χιονιού, την αύξηση της στάθμης της θάλασσας, την

αλλαγή της κυκλοφορίας των ωκεανών, καθώς και στην αλλαγή των κλιματικών συνθηκών αλλά και στη μορφολογία (στάθμη) λιμνών (Masson-Delmotte, et.al., 2021; Greenpeace, 2021).

6.1 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Στη συνέχεια, αναφέρονται ορισμένες προτάσεις για περαιτέρω μελέτη των δεδομένων που έχουμε:

- Συσχετίσεις σε σχέση με το χρόνο.
- Εξαρτήσεις μεταξύ μεγεθών με μη γραμμικές μεθόδους.
- Εφαρμογή μεθόδων πρόβλεψης που θα χρησιμεύσουν για μελλοντικές προβλέψεις σχετικά με τη δυναμική εξέλιξη των δεδομένων σε μετεωρολογικό και υδρομετεωρολογικό πλαίσιο.
- Σενάρια για το τι είδους φαινόμενα μπορούν να προκληθούν και οι πιθανές επιπτώσεις πάνω στις κλιματικές συνθήκες ενός τόπου .

Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- ACIA. (2004). Impacts of a warming Arctic: Arctic climate impact assessment. Cambridge Univ. Press.
- Adler, J., & Parmryd, I. (2010). Quantifying colocalization by correlation: the Pearson correlation coefficient is superior to the Mander's overlap coefficient. *Cytometry Part A*, 77(8), 733-742.
- Adrian, R., O'Reilly, C. M., Zagarese, H., Baines, S. B., Hessen, D. O., Keller, W., ... & Winder, M. (2009). Lakes as sentinels of climate change. *Limnology and oceanography*, 54(6part2), 2283-2297.
- Adrian, R., Wilhelm, S., & Gerten, D. (2006). Life history traits of lake plankton species may govern their phenological response to climate warming. *Glob. Change Biol.*, 12:652–661.
- Andreo, B., Goldscheider, N., Vadillo, I., Vias, J.M., Neukum, C., Sinreich, M., Jimenez, P., Brechenmacher, J., Carrasco, F., Hotzl, H., Perles, M.J., & Zwahlen, F. (2006). Karst groundwater protection: first application of a Pan-European approach to vulnerability, hazard and risk mapping in the Sierra de Lybar (Southern Spain). *Sci Total Environ* 357:54–73
- Baltas, E. (2008). Climatic Conditions and Availability of Water Resources in Greece. *International Journal of Water Resources Development*, Vol. 24, No. 4, 2008, pp. 635-649. doi:10.1080/07900620802230129
- Benesty, J., Chen, J., & Huang, Y. (2008). On the importance of the Pearson correlation coefficient in noise reduction. *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 16(4), 757-765.
- Bertachas, I., Dimltriou, E., Laschou, S., & Zacharias, I. (2006). Climate change and agricultural pollution effects on the trophic status of a Mediterranean lake. *Acta Hydroch Hydrob* 34(4):349–359
- Boisvenue, C., & Running, S.W., (2006). Impacts of climate change on natural forest productivity—evidence since the middle of the 20th century. *Glob. Change Biol.*, 12:862–882.
- Christensen, J.H., Hewitson, B., Busuioc, A., Chen, A., Gao, X., Held, I., Jones, R., Kolli, R.K., Kwon, W.-T., Laprise, R., Magaña Rueda, V., Mearns, L., Menéndez, C.G., Räisänen, J., Rinke, A., Sarr, A., & Whetton, P. (2007).

- Regional Climate Projections. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.
- Coats, R., Perez-Losada, J., Schladow, G., Richards, R., & Goldman, C. (2006). The warming of Lake Tahoe. *Clim. Change.*, 76:121–148.
- EEA (European Environmental Agency), (2004). *Impacts of Europe's Changing Climate, an Indicator-Based Assessment*. EEA Report No 2/2004, Copenhagen.
- Fama, E.F. (1963). Mandelbrot and the stable Paretian hypothesis. *The journal of business*, 36(4), 420-429.
- Freeman, C, others. (2004). Export of dissolved organic carbon from peatlands under elevated carbon dioxide levels. *Nature.*, 430:195–198. [PubMed: 15241411]
- George, G. (2010). The impact of climate change on European lakes. In *The Impact of Climate Change on European Lakes* (pp. 1-13). Springer, Dordrecht.
- George, G. (2002). Regional-scale influences on the long-term dynamics of lake plankton. In: *Phytoplankton Production* (Eds. P.J. Le B. Williams, D.N. Thomas and C.S. Reynolds), Blackwell Scientific, Oxford, England, pp. 265–290.
- Geweke, J. (1991). Efficient simulation from the multivariate normal and student-t distributions subject to linear constraints and the evaluation of constraint probabilities. In *Computing science and statistics: Proceedings of the 23rd symposium on the interface* (pp. 571-578). Fairfax, Virginia: Interface Foundation of North America, Inc.
- Greenpeace, (2021). Τα σημαντικότερα συμπεράσματα από τη μελέτη της Διακυβερνητικής Επιτροπής για το Κλίμα (IPCC), AR6 WG1. <https://www.greenpeace.org/static/planet4-greece-stateless/2021/08/b1f6fb8c-symperasmata-meletis-ipcc-gia-to-klima.pdf>
- Hair, J.F., Black, W.C., Babin, B.J., Anderson, R.E., & Tatham, R.L. (2006). *Multivariate data analysis* (Vol. 6). Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.
- Hampton, S.E., Izmet'eva, L.R., Moore, M.V., Katz, S.L., Dennis, B., & Silow, E.A. (2008). Sixty years of environmental change in the world's largest freshwater lake—Lake Baikal. *Siberia. Glob. Change Biol.*, 14:1947–1958.

- Hanson, P.C., Carpenter, S.R., Armstrong, D.E., Stanley, E.H., & Kratz, T.K. (2006). Lake dissolved inorganic carbon and dissolved oxygen: Changing drivers from days to decades. *Ecol. Monogr.*, 76:343–363.
- Hessen, D.O., Andersen, T., Larsen, S., Skjelkvale, B.L., & de Wit, H.A. (2009). Nitrogen deposition, catchment productivity and climate as determinants of lake stoichiometry. *Limnol. Oceanogr.*, 54:2520–2528.
- Karaouzas, I., Dimitriou, E., Skoulikidis, N., Gritzalis, K., & Colombari, E. (2009). Linking hydrogeological and ecological tools for an integrated river catchment assessment. *Environ Model Assess* 14:677–689
- Keller, W., Paterson, A.M., Somers, K.M., Dillon, P.J., Heneberry, J., & Ford, A. (2008). Relationships between dissolved organic carbon concentrations, weather, and acidification in small Boreal Shield lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 65:786–795.
- Κουγιού, Δ. (2015). Περιγραφική Στατιστική. Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, ΑΠΘ. <https://users.auth.gr/dkugiu/Teach/CivilEngineer/descriptive.pdf>
- Latifovic, R., & Pouliot, D. (2007). Analysis of climate change impacts on lake ice phenology in Canada using the historical satellite data record. *Rem. Sens. Environ.* 2007; 106:492–507.
- Livingstone, D.M. (2008). A change of climate provokes a change of paradigm: Taking leave of two tacit assumptions about physical lake forcing. *Internat. Rev. Hydrobiol.* 93:404–414.
- Livingstone, D.M., & Adrian, R. (2009). Modeling the duration of intermittent ice cover on a lake for climate- change studies. *Limnol. Oceanogr.*, 54:1709–1722.
- Mandelbrot, B. (1960). The Pareto-Levy law and the distribution of income. *International economic review*, 1(2), 79-106.
- Markogianni, V., Mentzafou, A., & Dimitriou, E. (2016). Assessing the impacts of human activities and soil erosion on the water quality of Plastira mountainous Mediterranean Lake, Greece. *Environmental Earth Sciences*, 75(10), 1-17.
- Markogianni, V., Dimitriou, E., & Kalivas, D. P. (2013). Land-use and vegetation change detection in Plastira artificial lake catchment (Greece) by using remote-sensing and GIS techniques. *International journal of remote sensing*, 34(4), 1265-1281.

- Marsh, P., Russell, M., Pohl, S., Haywood, H., & Onclin, C. (2009). Changes in thaw lake drainage in the Western Canadian Arctic from 1950 to 2000. *Hydrol. Proc.* 2009; 23:145–158.
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., ... & Zhou, B. (2021). Climate change 2021: the physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, 2. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- Metcalf & Eddy. (1991). *Wastewater engineering. Treatment, disposal, reuse*, 3rd edn. McGraw-Hill, Singapore
- Mimikou, M.A., & Baltas, E.A. (2013). Assessment of climate change impacts in Greece: a general overview.
- O'Reilly, C.M., Alin, S.R., Plisnier, P.-D., Cohen, A.S., & McKee, B.A. (2003). Climate change decreases aquatic ecosystem productivity in Lake Tanganyika, Africa. *Nature.*, 424:766–768. [PubMed: 12917682]
- Park, S.Y., & Bera, A.K. (2009). Maximum entropy autoregressive conditional heteroskedasticity model. *Journal of Econometrics*, 150(2), 219-230.
- Parker, B.R., Vinebrooke, R.D., & Schindler, D.W. (2008). Recent climate extremes alter alpine lake ecosystems. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA.* 105:12927–12931. [PubMed: 18725641]
- Patz, J.A., Vavrus, S.J., Uejio, C.K., & McLellan, S.L. (2008). Climate change and waterborne disease risk in the Great Lakes region of the US. *American journal of preventive medicine*, 35(5), 451-458.
- Rahel, F.J., & Olden, J.D. (2008). Assessing the effects of climate change on aquatic invasive species. *Conserv. Biol.*, 22:521–533. [PubMed: 18577081]
- Rosenzweig, C. (2007). Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems. In: Parry, M.L.; Canziani, O.F.; Palutikof, J.P.; van der Linden, P.J.; Hanson, C.E.; others. , editors. *Climate change 2007—impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge Univ. Press; 2007. p. 79-131.
- Rühland, K., Paterson, A.M., & Smol, J.P. (2008). Hemispheric-scale patterns of climate-related shifts in planktonic diatoms from North American and European lakes. *Glob. Change Biol.*, 14:2740–2754.

- Samuelsson, P. (2010). Using regional climate models to quantify the impact of climate change on lakes. In *The impact of climate change on European Lakes* (pp. 15-32). Springer, Dordrecht.
- Šporka, F., Livingstone, D.M., Stuchlík, E., Turek, J., & Galas, J. (2006). Water temperatures and ice cover in the lakes of the Tatra Mountains. *Biologia*, 61:77–90.
- Straile, D., Jöhnk, K., & Rossknecht, H. (2003). Complex effects of winter warming on the physiochemical characteristics of a deep lake. *Limnol. Oceanogr.* 48:1432–1438.
- Temnerud, J., & Weyhenmeyer, G.A. (2008). Abrupt changes in air temperature and precipitation: Do they matter for water chemistry? *Global Biogeochemical Cycles*, 22, doi 10.1029/2007GB003023.
- Tranvik, L.J., others. (2009). Lakes and reservoirs as regulators of carbon cycling and climate. *Limnol. Oceanogr.*, 54:2283–2297. [PubMed: 20396409]
- Van der Kamp, G., Keir, D., & Evans, M.S. (2008). Long-term water level changes in closed-basin lakes of the Canadian prairies. *Can. Water Res. J.*, 33:23–38.
- Vincent, W. F. (2009). Effects of climate change on lakes.
- Von Wachenfeldt, E., Sobek, S., Bastviken, D., & Tranvik, L.J. (2008). Linking allochthonous dissolved organic matter and boreal lake sediment carbon sequestration: The role of light-mediated flocculation. *Limnol. Oceanogr.* 53:2416–2426.
- Wagner, C., & Adrian, R. (2009). Cyanobacteria dominance: Quantifying the effects of climate change. *Limnol. Oceanogr.*, 54:2460–2468.
- WHO, World Health Organization. (1982). *Rapid Assessment of Sources of Air, Water, and Land Pollution*, Geneva, WHO offset publication, No 62
- Winder, M., Schindler, D.E., Essington, T.E., & Litt, A.H. (2009). Disrupted seasonal clockwork in the population dynamics of a freshwater copepod by climate warming. *Limnol. Oceanogr.*, 54:2493–2505.
- Wiedner, C., Růžek, J., Brüggemann, R., & Nixdorf, B. (2007). Climate change affects timing and size of populations of an invasive cyanobacterium in temperate regions. *Oecologia* 152: 473–484. doi: 10.1007/s00442-007-0683-5.
- Wilby, R.L., Orr, H.G., Hedger, M., Forrow, D. & Blackmore, M. (2006). Risks posed by climate change to the delivery of Water Framework Directive objectives in the UK, *Environment International* 32, 1043–1055.

- Wilhelm, S., & Adrian, R. (2008). Impact of summer warming on the thermal characteristics of a polymictic lake and consequences for oxygen, nutrients and phytoplankton. *Freshwater Biol.* 53:226–237.
- Zou, K.H., Tuncali, K., & Silverman, S.G. (2003). Correlation and simple linear regression. *Radiology*, 227(3), 617-628.
- Zou, K.H., & Hall, W.J. (2002). On estimating a transformation correlation coefficient. *J ApplStat*, 29:745–760.
- Zwahlen, F. (2004). Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers. Final report of COST Action 620. European Commission, Directorate-General XII

Ελληνόγλωσση Βιβλιογραφία

- Παπαδόπουλος, Γ. (2015). Η Κανονική Κατανομή και το Κεντρικό Οριακό Θεώρημα. Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, σελ.72-83. <https://www.aua.gr/gpapadopoulos/shmeiwseis.php>
- Παραβάντης, Ι. (2010). Κατανομές. Τμήμα Διεθνών και Ευρωπαϊκών Σπουδών, Πανεπιστήμιο Πειραιώς. Μάρτιος 2010.

Ηλεκτρονικές πηγές

- <https://www.gtp.gr/LocPage.asp?id=60512&lng=1>, Ανάκτηση: 29.05.2022
- www.eurolimpacs.ucl.ac.uk
- <http://moucha.gr/limni-plastira-fragmenta.html>, Ανάκτηση: 29.05.2022
- <https://www.plastiras-lake.gr/index.php/aksiotheata-limnis-plastira/65-fragmenta-limnis-plastira.html>, Ανάκτηση: 29.05.2022