

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

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**« Προσδιορισμός της επιφάνειας και του όγκου της λίμνης της Καστοριάς
σε σχέση με το βάθος της, με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων
Πληροφοριών »**

**Δημητράκης Νέστωρ
Καρμύρης Αλέξανδρος - Βασίλειος**

ΒΟΛΟΣ 2018

**« Προσδιορισμός της επιφάνειας και του όγκου της λίμνης της Καστοριάς σε σχέση με
το βάθος της, με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών »**

Εξεταστική επιτροπή:

- 1) **Ψιλοβίκος Άρης**, Αναπληρωτής Καθηγητής, Αειφορική Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Επιβλέπων**.
- 2) **Δομενικιώτης Χρήστος**, Δρ. ΕΔΠ, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Μέλος Εξεταστικής Επιτροπής**.

Στις οικογένειές μας και στους φίλους μας...

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ειλικρινείς μας ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στο να φέρουμε σε πέρας την παρούσα Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Ιδιαίτερα θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον Επιβλέποντα της εργασίας αυτής, κ. Άρη Ψιλοβίκο για τη διαρκή υποστήριξή του και την εμπιστοσύνη που μας έδειξε ως προς την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής, καθώς και τον κ. Χρήστο Δομενικιώτη, μέλος της Εξεταστικής Επιτροπής, για την ευγένεια με την οποία δέχθηκε να την αξιολογήσει.

Σημαντική και ανιδιοτελής ήταν και η προσφορά της κας Λίνας Καραμούτσου, υποψήφια διδάκτορας στο τμήμα, της οποίας οι συμβουλές και η καθοδήγησή της ήταν κρίσιμες για την διεκπεραίωση της παρούσας πτυχιακής διατριβής.

Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε όλους τους φίλους και φίλες μας που αποτέλεσαν βασικό κομμάτι της ζωής μας στα 5 χρόνια παραμονής και φοίτησής μας στον Βόλο και στάθηκαν μαζί μας σε δυσκολίες και σε χαρές.

Τέλος, και φυσικά θα θέλαμε να εκφράσουμε τις θερμές μας ευχαριστίες στους ανθρώπους που η παρουσία τους, η συνεχής συμπαράσταση και κατανόησή τους ήταν τα στοιχεία που μας επέτρεψαν να περάσουμε τα μοναδικά αυτά χρόνια της ζωής μας απερίσπαστα και ελεύθερα, τους γονείς μας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η λίμνη της Καστοριάς (Λίμνη Ορεστιάδα) πρόκειται για μία ρηχή λίμνη με μέγιστο βάθος μικρότερο των 10 m, που βρίσκεται στο βορειοανατολικό τμήμα του Νομού Καστοριάς, στη βορειοδυτική Ελλάδα και σε υψόμετρο των 620 m από την επιφάνεια της θάλασσας. Πρόκειται για μία λίμνη που αποτελεί σημαντικό παράγοντα της ανάπτυξης της γύρω περιοχής, αφού ο φυσικός της πλούτος παρέχει νερό στις παράκτιες γεωργικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες, καθώς αποτελεί και πόλο έλξης για την αναψυχή χιλιάδων επισκεπτών κάθε χρόνο. Γνωρίζοντας, λοιπόν, τα υδρολογικά χαρακτηριστικά της λίμνης, όπως η έκτασή της, η στάθμη της και ο όγκος της, αποτελούν βασικές πληροφορίες για την παρακολούθηση και καλύτερη διαχείριση του υδατικού αυτού οικοσυστήματος. Η παρούσα εργασία στοχεύει στην εκτίμηση αυτών των πληροφοριών, με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, αλλά και στον υπολογισμό δύο ρητών σχέσεων που θα αποτελούν σημαντικό εργαλείο για την άμεση μέτρηση του όγκου και της επιφάνειας της λίμνης Ορεστιάδας.

Λέξεις – κλειδιά: Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.), Λίμνη Καστοριάς, Λίμνη Ορεστιάδα, υδατικό ισοζύγιο, σχέση όγκου – απόλυτου υψομέτρου, σχέση έκτασης – απόλυτου υψομέτρου

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
1.1 Τι είναι λίμνη – Ορισμός.....	8
1.2 Δημιουργία Λιμνών – Προέλευση	8
1.3 Ρηχές λίμνες	8
1.4 Λεκάνη Απορροής.....	9
1.5 Οικοϋδρολογία λιμνών.....	15
1.6 Σκοπός της εργασίας	22
2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	23
2.1 Οριοθέτηση ευρύτερης περιοχής.....	24
2.2 Οριοθέτηση άμεσης περιοχής	24
2.3 Υπολεκάνες και ρέματα της λεκάνης απορροής της Λίμνης Καστοριάς.....	25
2.4 Έκταση και Γεωμορφολογικά στοιχεία.....	27
2.5 Λιμνολογικά χαρακτηριστικά της Λίμνης Ορεστιάδας.....	29
2.6 Στοιχεία υδρολογίας επιφανειακού και υπόγειου υδατικού ισοζυγίου	33
2.7 Χρήση νερού της λίμνης	40
2.8 Πηγές ρύπανσης	41

3. ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	42
4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	47
4.1 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών	47
4.2 Επιλογή χαρτών.....	48
4.3 Επεξεργασία χαρτών	51
4.4 Ένωση χαρτών - Γεωαναφορά	52
4.5 Ψηφιοποίηση του χάρτη.....	53
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ	55
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	62
6.1 Ελληνική βιβλιογραφία	62
6.2 Ξενόγλωσση βιβλιογραφία.....	65
6.3 Ηλεκτρονική βιβλιογραφία	67
7. ABSTRACT	68

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Τι είναι λίμνη – Ορισμός

« Ως λίμνη ορίζουμε μια υδατοσυλλογή, που καταλαμβάνει μία ενδοηπειρωτική λεκάνη. Η λίμνη αποτελεί μια γεωμορφολογική οντότητα με αρχή, εξέλιξη και τέλος μέσα στον γεωλογικό χρόνο. Περιέχει συνήθως γλυκό νερό, μπορεί όμως αυτό να είναι και υφάλμυρο ή και αλμυρό » (Παναγιωτίδης, 1999).

1.2 Δημιουργία Λιμνών – Προέλευση

Για τη δημιουργία της λίμνης οφείλονται τα γεωλογικά φαινόμενα που συνέβησαν κατά την περίοδο των παγετώνων ή τις περιόδους των ισχυρών τεκτονικών και ηφαιστειακών δράσεων (πχ. σεισμοί και διάβρωση των ασβεστολιθικών πετρωμάτων) που είχε ως αποτέλεσμα την κατανομή της πάνω στην επιφάνεια της γης να είναι ανομοιόμορφη. Για τον σχηματισμό της λίμνης, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η ύπαρξη ενός στεγανού κοιλώματος του εδάφους αλλά και η ύπαρξη πλεονάσματος στο υδρολογικό ισοζύγιο της περιοχής (Παναγιωτίδης, 1999).

1.3 Ρηχές λίμνες

Η ρηχή λίμνη (shallow lake) ή ο λιμνίσκος (pond) ορίζονται συνήθως ως μια μόνιμη, στάσιμη υδάτινη μάζα, η οποία είναι αρκετά αβαθής ώστε να επιτρέπεται η διείσδυση επαρκούς φωτός έως τα ιζήματα του πυθμένα για την εν δυνάμει υποστήριξη των ανώτερων υδρόβιων φυτών σε ολόκληρη τη λεκάνη. Οι ρηχές λίμνες και οι λιμνίσκοι τους συναντάμε κυρίως σε περιοχές χαμηλού υψόμετρου με πολύ ήπιο ανάγλυφο. Οι ρηχές λίμνες έχουν μέτριο έως μεγάλο μέσο βάθος, συνήθως < 10 m (Wetzel, 2001).

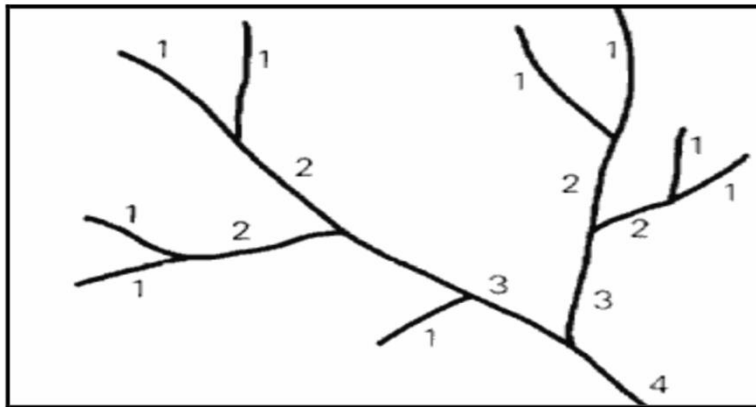
1.4 Λεκάνη Απορροής

« Ως λεκάνη απορροής ποταμού ή υδρολογική λεκάνη ή συλλεκτήρια λεκάνη ή λεκάνη αποστράγγισης ορίζεται η οριζόντια προβολή της εδαφικής έκτασης από την οποία συγκεντρώνεται το σύνολο της απορροής μέσω διαδοχικών ρεμάτων, ποταμών και πιθανώς λιμνών και παροχετεύεται στη θάλασσα με ενιαίο στόμιο ποταμού, εκβολές ή δέλτα » (Ψιλοβίκος, 2014).

Στο χαμηλότερο υψόμετρο της λεκάνης απορροής βρίσκεται η έξοδος της που γίνεται μέσω ενός στομίου και έχει τη δυνατότητα να εκβάλει είτε σε μία λίμνη (το ονομάζουμε εσωτερική λεκάνη), είτε στη θάλασσα (το ονομάζουμε εξωτερική λεκάνη). Το μικρότερο πρόβλημα διαχείρισης υδατικών πόρων, είναι η λεκάνη απορροής. Τα εξωτερικά όρια της λεκάνης απορροής τα ορίζει ο υδροκρίτης ή αλλιώς η υδροκριτική γραμμή. Ο υδροκρίτης είναι η φυσική γραμμή που διαχωρίζει την επιφανειακή απορροή σε διάφορες κατευθύνσεις και αποτελεί τη νοητή γραμμή όπου ενώνει τα πιο υψηλά σημεία των υψωμάτων στην επιφάνεια της Γης, όπως εξαρτήματα, βουνοκορφές, λόφοι, και στη συνέχεια διαχωρίζει τη ροή των όμβριων υδάτων. Το υδρογραφικό δίκτυο αποτελείται από ένα δίκτυο ρυακίων, χειμάρρων, ποταμών, φυσικών ή τεχνητών αγωγών αποστράγγισης και λιμνών, μέσω του οποίου οδηγούνται τα νερά των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων και καταλήγουν στην έξοδο της λεκάνης απορροής. Το νερό ρέει μέσω των κλαδών του υδρογραφικού δικτύου από τα υψηλότερα υψόμετρα προς τα σημεία με τα χαμηλότερα υψόμετρα (Ψιλοβίκος, 2014).

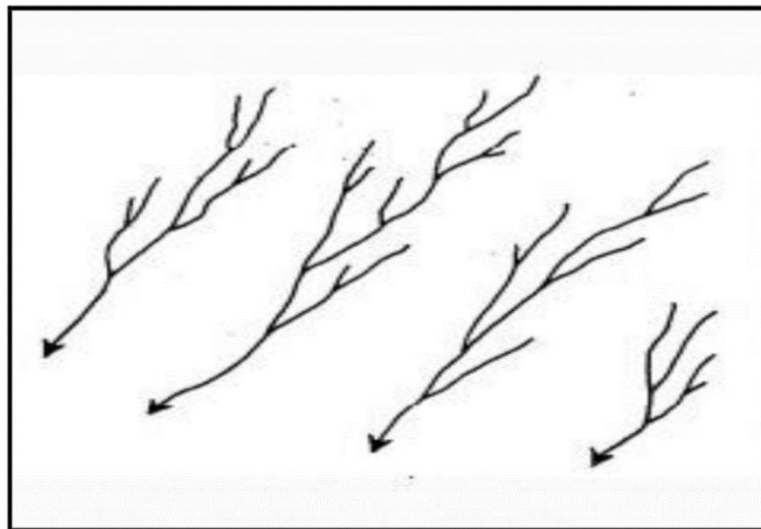
Τα υδρογραφικά δίκτυα τα χωρίζουμε σε 7 κατηγορίες, ανάλογα με τη μορφή τους (Παπαφιλίππου και συν, 1998):

1. Δενδριτική μορφή που είναι η πιο απλή μορφή υδρογραφικού δικτύου και προκύπτει από τη δράση ποτάμιων διεργασιών σε περιοχές ομογενών εδαφών που δεν έχουν ιδιαίτερα έντονη γεωλογική δομή (Σχ. 1.1).



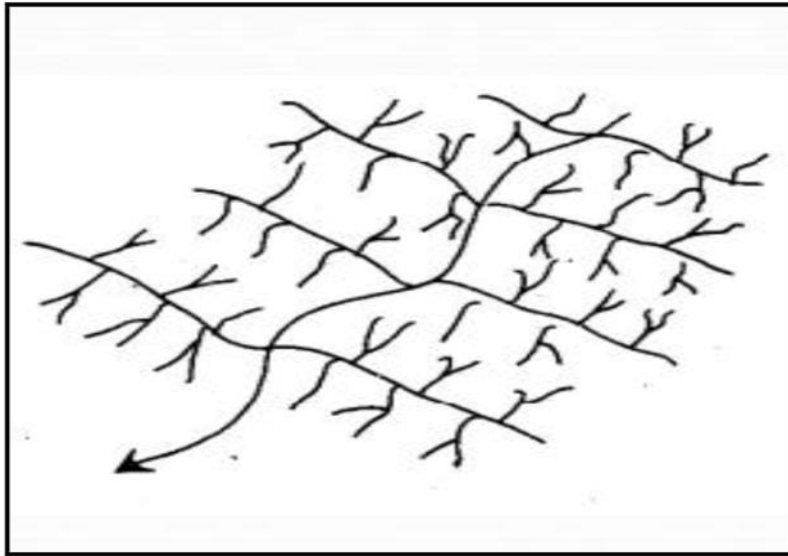
Σχήμα 1.1. Απεικόνιση δενδριτικής μορφής υδρογραφικού δικτύου (Stahler, 1964)

2. Παράλληλη μορφή όπου αναπτύσσεται εκεί που υπάρχει απότομη κλίση πετρωμάτων σε πεδίο που επιβάλλει επιλεκτική κατεύθυνση του υδρογραφικού δικτύου (Σχ. 1.2).



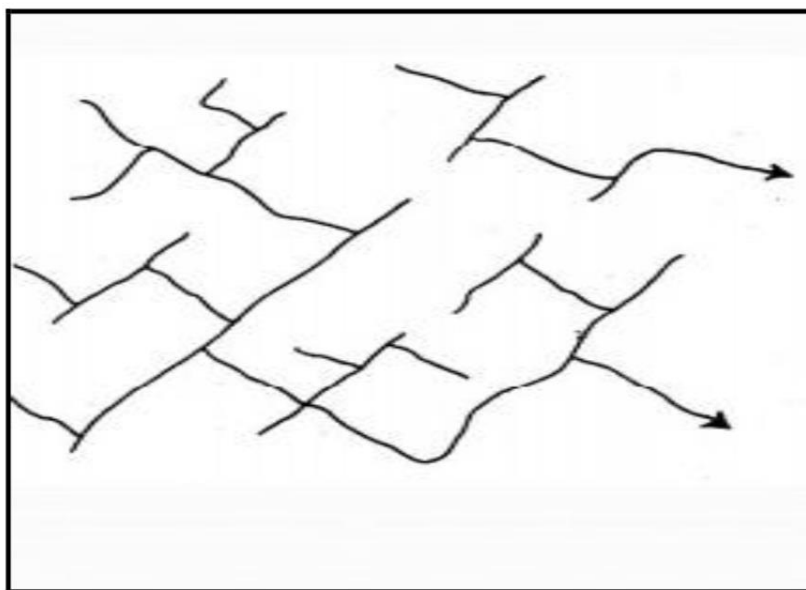
Σχήμα 1.2. Απεικόνιση παράλληλης μορφής υδρογραφικού δικτύου (Σωτηριάδης & Ψιλοβίκος, 1976)

3. Κλιμακωτή μορφή που είναι η ύπαρξη της απότομης κλίσης των πετρωμάτων και ισχυρής γεωλογικής δομής όπου συμβαίνει λόγω της παρουσίας πτυχώσεων μεταμορφωμένων πετρωμάτων (Σχ. 1.3).



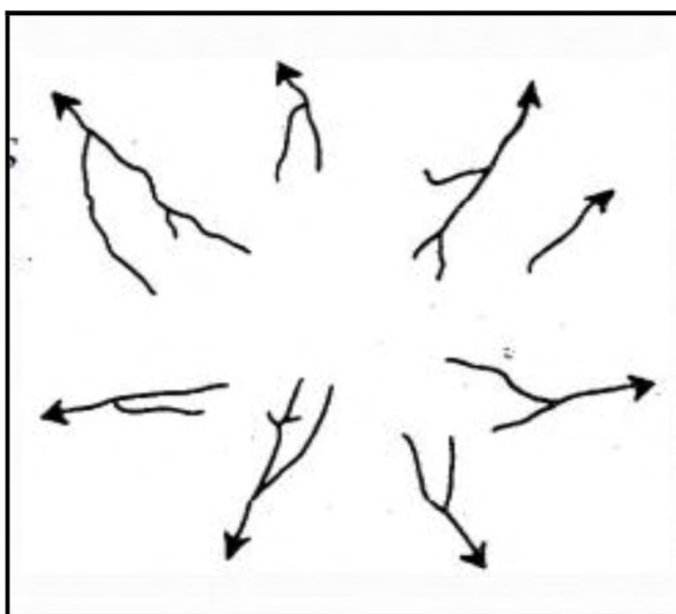
Σχήμα 1.3. Απεικόνιση κλιμακωτής μορφής υδρογραφικού δικτύου (Σωτηριάδης & Ψιλοβίκος, 1976)

4. Ορθογώνια μορφή η οποία έχει άμεση σχέση με ισχυρή δομή και οφείλεται στην ύπαρξη διακλάσεων και ρηγμάτων κάθετων μεταξύ τους (Σχ. 1.4).



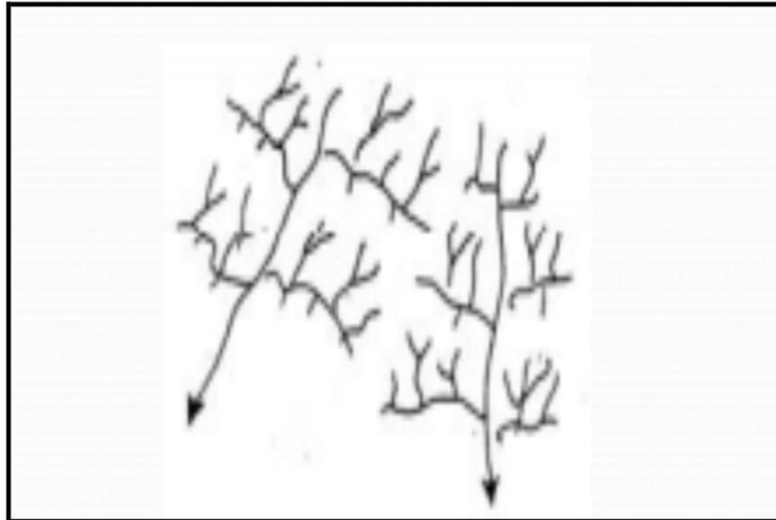
Σχήμα 1.4. Απεικόνιση ορθογώνιας μορφής υδρογραφικού δικτύου (Σωτηριάδης & Ψιλοβίκος, 1976)

5. Ακτινωτή μορφή όπου παρατηρείται γύρω από μια γεωλογική δομή ή ηφαίστειο και είναι ένδειξη παλαιότερης ή ακόμη και σύγχρονης τεκτονικής – ηφαιστειακής δραστηριότητας (Σχ. 1.5).



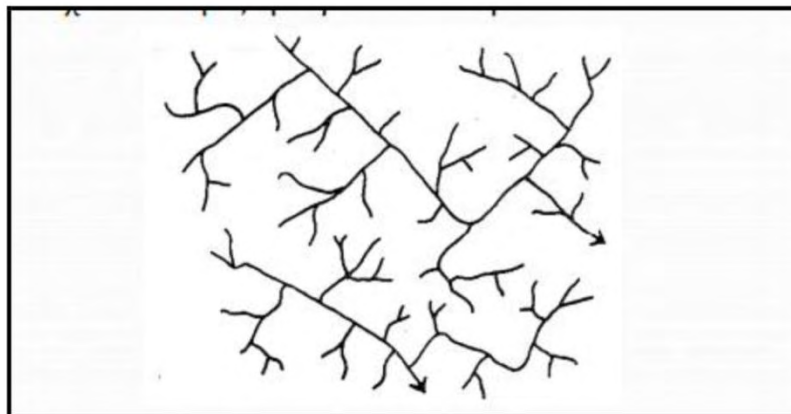
Σχήμα 1.5. Απεικόνιση ακτινωτής μορφής υδρογραφικού δικτύου (Σωτηριάδης & Ψιλοβίκος, 1976)

6. Διευρυνόμενη κλιμακωτή μορφή όπου είναι η μονόπλευρη ανάπτυξη μικρότερων κλάδων (Σχ. 1.6).



Σχήμα 1.6. Απεικόνιση διευρυνόμενη κλιμακωτής μορφής υδρογραφικού δικτύου (Σωτηριάδης & Ψιλοβίκος, 1976)

7. Συνδυασμένες μορφές που είναι ο συνδυασμός των παραπάνω μορφών (Σχ. 1.7).



Σχήμα 1.7. Απεικόνιση συνδυασμένων υδρογραφικού δικτύου (Σωτηριάδης & Ψιλοβίκος, 1976)

Οι **μορφομετρικές παράμετροι** των λεκανών απορροής χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, μετρούμενες και υπολογιζόμενες (Ψιλοβίκος, 2014):

1. Μετρούμενες παράμετροι:

- a) Εμβαδόν επιφάνειας της λεκάνης απορροής (A)
- b) Μέγιστο μήκος της λεκάνης απορροής (Lb_{max})
- c) Μέγιστο τοπικό ανάγλυφο της λεκάνης απορροής (H)
- d) Περίμετρος της λεκάνης απορροής (P)

2. Υπολογιζόμενες παράμετροι:

- a) Υδρολογική πυκνότητα (Du)
- b) Υδρογραφική συχνότητα (Fu)
- c) Λόγος ανάγλυφου (Rh)
- d) Κυκλότητα (Cu)
- e) Βαθμός τραχύτητας (Rn)
- f) Υψομετρικό ολοκλήρωμα (Hi)
- g) Λόγος επιμήκυνσης της λεκάνης (Er)

Οι βασικές **υδρολογικές παράμετροι** της λεκάνης απορροής είναι οι ακόλουθες (Ψιλοβίκος, 2014):

- 1.** Πλημμυρική παροχή ή παροχή αιχμής ή παροχή σχεδιασμού (Q) που την υπολογίζουμε μετά από ένα επεισόδιο βροχόπτωσης συγκεκριμένης έντασης.
- 2.** Ο χρόνος συγκέντρωσης ή χρόνος συρροής (T_c) που είναι ο χρόνος που χρειάζεται το νερό ώστε να φτάσει στο πιο απομακρυσμένο σημείο της λεκάνης μέχρι την έξοδο του στομίου.

1.5 Οικοϋδρολογία λιμνών

Το νερό αποτελεί το σημαντικότερο, θα έλεγε κανείς, συστατικό της ζωής αλλά και για μια σειρά οικονομικών δραστηριοτήτων. Επίσης, αποτελεί μία περιορισμένη πηγή αφού ο πλανήτης μας, τα τελευταία χρόνια, έχει υποστεί αρκετές τραγικές επιπτώσεις ξηρασίας σε αρκετές περιοχές. Ακόμα και σε περιοχές με μεγάλες υδρολογικές λεκάνες ποταμών και πλούσιες σε κατακρημνίσματα, η ανθρώπινη ενέργεια που είχε ως σκοπό την υπερκατανάλωση αλλά και την έλλειψη διαχείρισης του νερού, είχε ως αποτέλεσμα να δημιουργήσει μεγάλους περιορισμούς στη διαθεσιμότητά του.

Βασικό ρόλο αποτελούν οι μετρήσεις ποιότητας του νερού, στη σύγκριση των δεδομένων που αποκτούνται παγκοσμίως και αποτελούν τη βάση για τις σωστές αποφάσεις ώστε να παρθούν τα ανάλογα μέτρα σε σχέση με τη διαχείριση των υδάτινων πόρων, αντικείμενα παρακολούθησης, βιολογική ποιότητα κλπ.

Τα εσωτερικά ύδατα καλύπτουν ένα μικρό μόνο μέρος της επιφάνειας της γης. Πέρα από αυτό όμως, η σημαντικότητά τους είναι αξιοσημείωτη καθώς αποτελούν πηγή για πόσιμο νερό, άρδευση, ιχθυοκαλλιέργεια και τουρισμό. Η επιστήμη που μελετά τα εσωτερικά νερά, ονομάζεται διαχείριση των υδατικών πόρων και εξίσου σημαντική και αναγκαία για τη σωστή διαχείριση των λιμνών και των ποτάμιων συστημάτων. Οι λίμνες αποτελούν τόπου όπου συντελούνται πλήθος από οικολογικές αλληλεπιδράσεις, μεταξύ αυτού είναι του έμβιου και του αβιοτικού περιβάλλοντος. Στις λίμνες μπορεί να γίνει η ανάλογη μελέτη όλων αυτών των οικολογικών αλληλεπιδράσεων, εφόσον έχουν γίνει οι κατάλληλες δειγματοληψίες.

Η λίμνη αποτελεί ένα ξεχωριστό οικοσύστημα όπου είναι αρκετά πολύπλοκο και γνωρίζοντας την ποιότητα του νερού μπορεί να ανταποκριθεί διαφορετικά. Η οικολογική κατάσταση ενός τέτοιου συστήματος, αντιμετωπίζεται με διαφορετική ελαστικότητα στις συχνές ανθρωπογενείς πιέσεις. Στα λιμναία οικοσυστήματα, σύμφωνα με τα υδρολογικά και λιμνολογικά στοιχεία όπου θα μπορούσαν να μελετηθούν και να περιγράψουν ξεχωριστά:

- η λεκάνη απορροής
- οι δυναμικές διεργασίες που αναπτύσσονται στο οικοσύστημα
- οι παράγοντες εξωτερικών πιέσεων
- η διαχειριστική δράση
- η συλλογή των δεδομένων των διεργασιών αποτίμησης

Μεμονωμένα η κάθε περιοχή, από τις παραπάνω, έχει τη δική της πολυπλοκότητα και επιπρόσθετα μεταξύ τους μπορούν να δεχθούν αλληλεπιδράσεις.

Περισσότερη σημασία έχει η οικολογία του αποδέκτη, για αυτό οι παρακάτω αλληλεπιδράσεις είναι σημαντικότερες (Dillon & Rigler, 1975):

- στήλη νερού με το ίζημα
- η ανάπτυξη της μικρο/μακρο χλωρίδας και πανίδας και τη σχέση τους με την τροφική αλυσίδα αλλά και με τους φυσικούς και χημικούς προσδιοριστικούς παράγοντες
- η δυναμική μεταφορά ενέργειας στην υδάτινη μάζα κ.α.

Η πολυπλοκότητα της κάθε περιοχής μπορεί να συνδεθεί με τις ακόλουθες έννοιες:

- το υδάτινο ισοζύγιο (μαζί με τη συνεισφορά των υπόγειων νερών)
- τις δυναμικές ανάμειξης του νερού και των διαλυμένων συστατικών σε αυτό
- τις φυσικές και χημικές διεργασίες που ρυθμίζουν την εναπόθεση και την απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών από τη χλωρίδα και πανίδα του συστήματος.

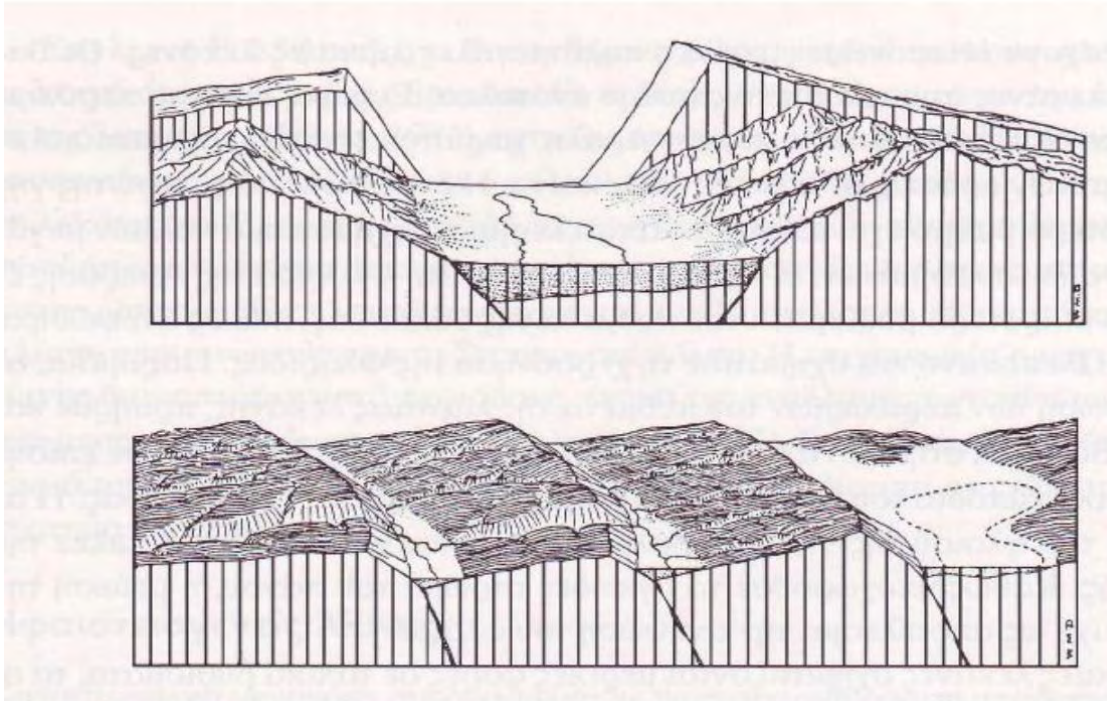
Ένα από τα μεγαλύτερα χαρακτηριστικά των λιμνών αλλά και των σχηματισμών του γλυκού νερού είναι οι μεγάλες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας μέσα στο έτος. Αν συγκρίνουμε τους σχηματισμούς του γλυκού νερού με τους θαλάσσιους, θα έλεγε κανείς ότι τα γλυκά νερά έχουμε μεγαλύτερη προσβολή από ρύπους και πηγές μόλυνσης καθώς επίσης και η στάθμη του νερού αυξομειώνεται, λόγω πλήρωσης τους κατά τη διάρκεια των βροχερών μηνών αλλά και λόγω εξάτμισης σε περιόδους ξηρασίας (Κοβάτσης, 1993).

Τα οικοσυστήματα των λιμνών έχουν σημαντικές διαφορές όπου σχετίζονται με:

- το βάθος τους
- την ποιότητα των νερών τους
- τη γεωγραφική τους θέση
- τον τρόπο σχηματισμού τους (τεκτονικές, ηφαιστειογενείς, καρστικές κ.α.)
- τη γεωμορφολογία της λεκάνης απορροής τους
- τις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες της περιοχής

Ανάλογα με τη γεωλογική προέλευσή τους, οι λίμνες διακρίνονται σε (Χριστοδουλάκης, 1995):

1. Τεκτονικές όπου προέρχονται από παραμόρφωση του φλοιού της γης και είναι οι παλαιότερες και βαθύτερες (**Εικ.1.1**).



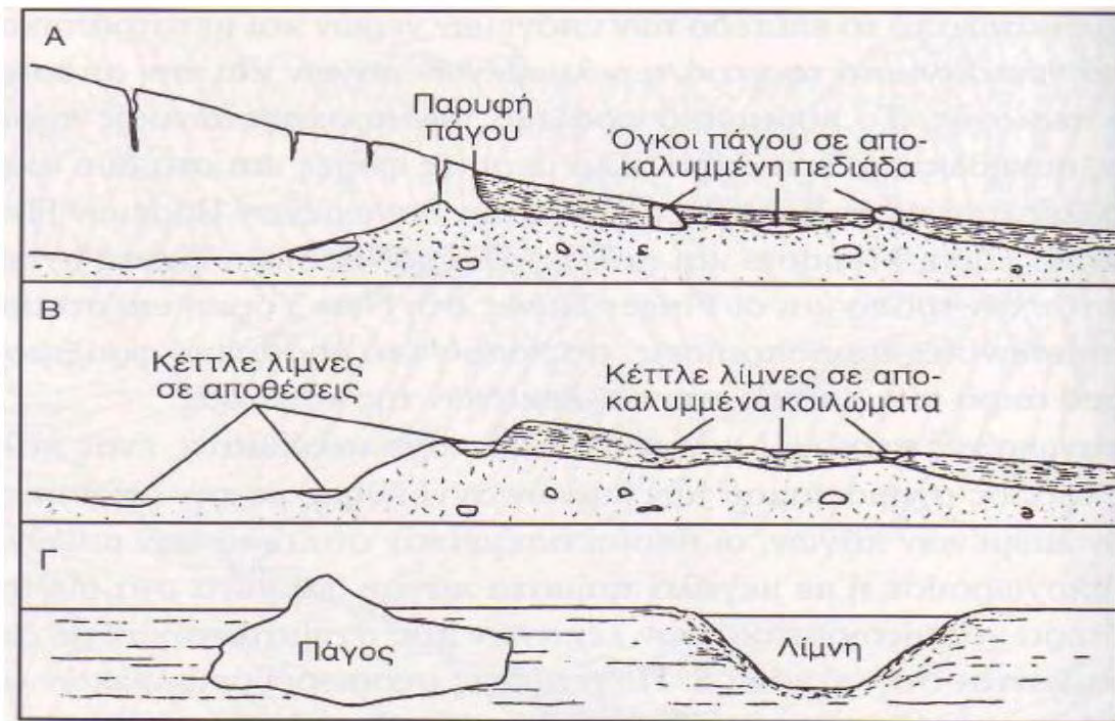
Εικόνα 1.1. Τεκτονικές λίμνες (Σίνη, 2005)

2. Φραγματογενείς που είναι πολυάριθμες και οφείλονται σε κατολισθήσεις που φράζουν τους ποταμούς (**Εικ.1.2**).



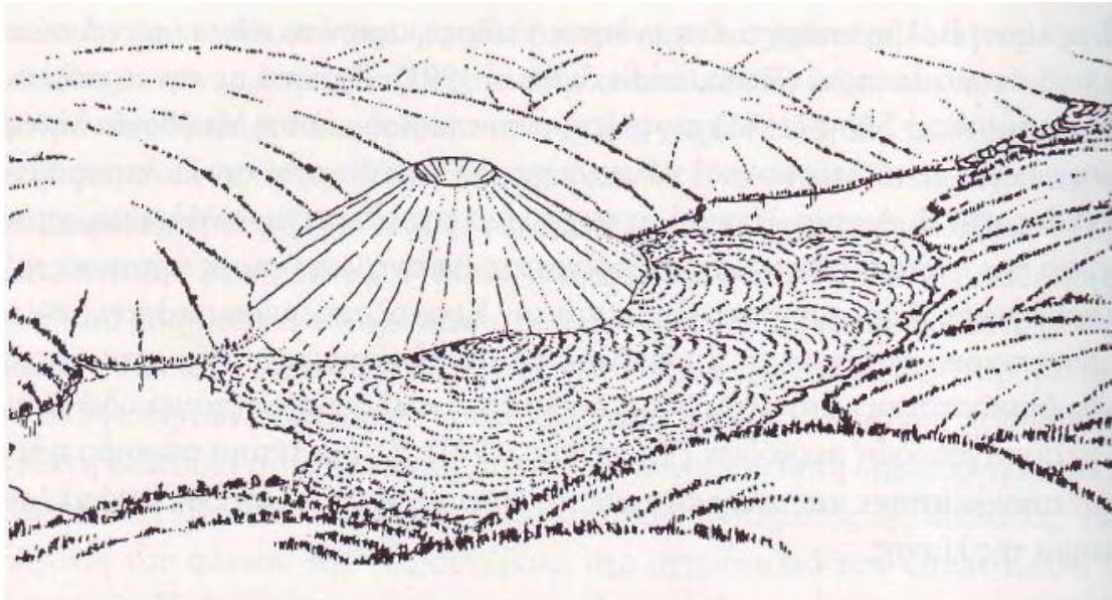
Εικόνα 1.2. Λίμνη που σχηματίστηκε από κατολίσθηση (Σίνης, 2005)

3. Λίμνες παγετωνικής προέλευσης που προέρχονται από τη δράση των πάγων σε χώρες που είχαν ή έχουν παγετώνες (Εικ.1.3).



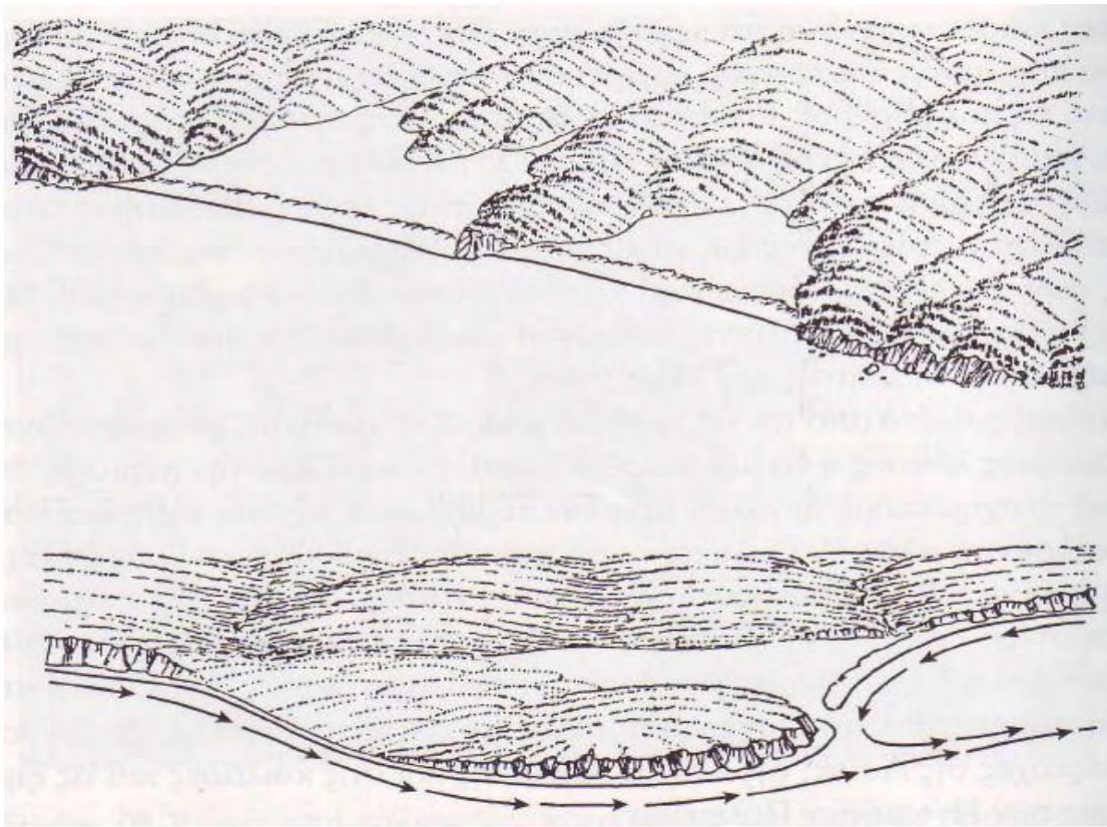
Εικόνα 1.3. Λίμνες που σχηματίστηκαν από την επίδραση πάγου (Σίνης, 2005)

4. **Ηφαιστειογενείς** σημαντικού συνήθως βάθος που σχηματίζονται σε κρατήρες σβησμένων ηφαιστείων, απομονωμένες κυρίως σε κορυφές βουνών, αποτελούν τις πιο πρόσφατες και καθαρότερες (**Εικ.1.4**).



Εικόνα 1.4. Ηφαιστειογενείς λίμνες (Σίνης, 2005)

5. **Παράκτιες** που σχηματίζονται από την συνδυασμένη δράση των ποταμών και της θάλασσας στις περιοχές των εκβολών ή και σε άλλους τύπους, όπως σε καρστικές, προσχωσιγενείς κ.τ.λ (**Εικ.1.5**).



Εικόνα 1.5. Παραθαλάσσια λίμνη (Σίνης, 2005)

6. Λίμνες που σχηματίστηκαν από **πρόσκρουση μετεωρίτη** με την επιφάνεια της γης.
7. Λίμνες που προέκυψαν από **διάλυση πετρωμάτων** από διηθημένο νερό.
8. **Ποτάμιες λίμνες** που ο σχηματισμός τους οφείλεται στην δράση του επιφανειακού νερού
9. **Αιολικές λίμνες** που έχουν σχηματιστεί από την επίδραση του ανέμου και βρίσκονται κυρίως σε ξηρές περιοχές.

Πέρα από τους παραπάνω φυσικούς τύπους λιμνών, υπάρχουν και οι τεχνητές λίμνες όπου αναφέρονται συχνά σαν φραγμαλίμνες, ταμιευτήρες ή υδατοδεξαμένες και σχηματίστηκαν με φράγματα σε ποταμούς ή με αποστράγγιση ρεμάτων και χειμάρρων. Στις

περιοχές που δημιουργήθηκαν οι τεχνητές λίμνες από ανθρωπογενή ενέργεια, η οικολογική καταστροφή είναι πολύ συχνά αναπόφευκτη (Γεράκης και συν, 2007).

Η κάθε λίμνη είναι και ένα ξεχωριστό υδατικό οικοσύστημα που μέσα σε αυτό αναπτύσσονται πλήθος βιοκοινοτήτων που λόγω των φυσικών και χημικών χαρακτηριστικών που επικρατούν, αποτελούν τους αβιοτικούς παράγοντες.

Η ζωή στις λίμνες και σε κάθε υδατικό οικοσύστημα, διαμορφώνεται από κάποιους σημαντικούς παράγοντες, όπου σε αυτούς ανήκουν η διαθεσιμότητα του φωτός στα διάφορα υδάτινα στρώματα, η θερμοκρασία και η συγκέντρωση των διαλυμένων ουσιών στο νερό. Οποιαδήποτε μεταβολή των φυσικών και χημικών παραγόντων θα έχει σημαντικές συνέπειες στους ίδιους τους οργανισμούς.

1.6 Σκοπός της εργασίας

Η εργασία αυτή αναμένεται να δώσει απαντήσεις στα θέματα που σχετίζονται με το υδατικό ισοζύγιο της λίμνης της Καστοριάς (Λίμνη Ορεστιάδα). Έχει εφαρμοστεί για πρώτη φορά στη συγκεκριμένη λίμνη, άρα εμφανίζει πρωτοτυπία και αναμένεται να δώσει ένα σημαντικό εργαλείο – αλγόριθμο, έτσι ώστε από μία απλή και άμεση μέτρηση της στάθμης της με σταθμηγράφο (που υπάρχει ήδη εγκατεστημένος), να γνωρίζουμε απευθείας με δύο ρητές σχέσεις, την επιφάνειά της και το συνολικό όγκο νερού. Θα χρησιμοποιηθούν τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών για το χαρτογραφικό υπόβαθρο και την επεξεργασία των στοιχείων.

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Για περιοχή μελέτης, ορίζουμε τη λεκάνη απορροής της λίμνης της Καστοριάς ή αλλιώς τη Λίμνη Ορεστιάδα, όπου είναι δεδομένο πως στη περιοχή αυτή, οι ανθρωπογενείς επεμβάσεις επηρεάζουν έμμεσα τη λίμνη. Η λίμνη της Καστοριάς βρίσκεται στο βορειοανατολικό τμήμα του Νομού Καστοριάς, στη Βόρειο-Δυτική Ελλάδα με συντεταγμένες 40°31'N, 21°18'E και σε υψόμετρο στα 620 m (Mourkides & Tsiouris, 1984). Θεωρείται πως δημιουργήθηκε πριν από 10.000.000 χρόνια, κατά τη Μειόκαινο, που είναι η πρώτη γεωλογική εποχή της Νεογενούς Περιόδου, όπου η σημερινή μορφή της λίμνης, είναι το αποτέλεσμα μιας παλιότερης εκτεταμένης λίμνης και έχει έκταση 164 km² και βάθος μεγαλύτερο από 50 m. Το υπερθαλάσσιο υψόμετρο υπολογίζεται περίπου στα 630 m, όπου για το σχήμα της οφείλεται κυρίως η εισχώρηση της χερσονήσου της Κορίτσας στο εσωτερικό της λίμνης και οι ακτές έχουν άνοιγμα περίπου 31 km (Βαφειάδης, 1983). Ο μεγάλος άξονας διεύθυνσης της λίμνης είναι από το Βορρά προς το Νότο με μήκος 7 km ενώ ο μικρός άξονας διεύθυνσης από την Ανατολή προς τη δύση που έχει μήκος 5,5 km και η μορφή της είναι νεφροειδής (Ζαρκάδας, 2005). Το μέσο βάθος της λίμνης είναι 4,5 m και μέγιστο βάθος σε μια μικρή έκταση 9,1 m με συνολικό όγκο νερού της τάξεως των 110x16 m³ (Mourkides & Tsiouris, 1984).

Σε μία βραχώδη ασβεστολιθική χερσόνησο, η οποία ονομάζεται χερσόνησος της Καστοριάς, βρίσκεται η πόλη της Καστοριάς που βρέχεται από τη λίμνη. Όσο αναφορά τη χερσόνησο αυτή, βρίσκεται στο δυτικό κομμάτι της λίμνης όπου τη χωρίζει σε δύο επιμέρους λεκάνες, τη βόρεια και τη νότια λεκάνη.

Για την καλύτερη οριοθέτηση της λεκάνης απορροής της λίμνης της Καστοριάς, τη χωρίζουμε σε δύο περιοχές μελέτης, την ευρύτερη και την άμεση.

2.1 Οριοθέτηση ευρύτερης περιοχής

- Βόρεια, όπου βρίσκεται το όρος Βέρνο που έχει ψηλότερη κορυφή το Βίτσι και είναι το ψηλότερο σημείο της λεκάνης απορροής της λίμνης όπου βρίσκονται και τα υψώματα Σπυριδάκη, Κορυφή Σικαβίτσας και Αγία Παρασκευή.
- Ανατολικά, στα υψώματα Φαλακρόν, Κρόνος, Δούκας, Μαυροβούνι, Στενά Κλεισούρας και Πύργος.
- Νότια, στα υψώματα Πετρώδες, Μικρό Βουνό και Κορησός.
- Δυτικά, στα υψώματα Κορυφή, Αγία Τριάς, Καζάνι και Περτσέλη.

2.2 Οριοθέτηση άμεσης περιοχής

Για την οριοθέτηση της άμεσης περιοχής της λεκάνης απορροής έχουμε την Περιοχή Προστασίας της Φύσης με το διαχειριστικό σχέδιο της Περιοχής Προστασίας της Φύσης της Λίμνης Καστοριάς” στα πλαίσια των όρων και των προϋποθέσεων που τέθηκαν στην πράξη της περιοχής αυτής (Π.Δ. 14/12, ΦΕΚ 226/ΑΑ&ΠΘ) καθορίζονται τα απαραίτητα μέτρα οργάνωσης και λειτουργίας για τη διατήρηση των αντικειμένων που προστατεύονται, εξειδικεύονται οι όροι και οι περιορισμοί άσκησης δραστηριοτήτων και εκτέλεσης έργων ενώ προσδιορίζονται αναλυτικά οι κατευθύνσεις και οι προτεραιότητες για την αποτελεσματική προστασία, διαχείριση και αποκατάσταση των αντικειμένων που προστατεύονται κατά περίπτωση.

Συγκεκριμένα η υδάτινη περιοχή που βρίσκεται εκτός των ορίων εγκεκριμένων Γενικών Πολεοδομικών Σχεδίων και εκτός ορίων κάτω από 2000 κατοίκους των

οριοθετούμενων, σύμφωνα με το από 24.4.1985 Π.Δ/γμα (Δ'181), όπως ισχύει και εκτός των ορίων οικισμών προ του 1923 του Δήμου Καστοριάς (τέως Δήμοι Καστοριάς, Βίτσιου, Μακεδόνων και Αγίων Αναργύρων Ν. Καστοριάς), όπως τα όρια της παρουσιάζονται στο Προεδρικό Διάταγμα 14/12 (ΦΕΚ 226/ΑΑ&ΠΘ) “Χαρακτηρισμός της περιοχής της λίμνης Καστοριάς ως περιοχής προστασίας της φύσης και ίδρυση Φορέα Διαχείρισης αυτής”. Το κέντρο της Περιοχής Προστασίας της Φύσης Λίμνης Καστοριάς βρίσκεται περί των συντεταγμένων 270800, 4489000 (ΕΓΣΑ '87). Τα όρια της προστατευμένης περιοχής δεν έχουν σημειωθεί στο έδαφος.



Εικόνα 2.1. Αεροφωτογραφία της Λίμνης της Καστοριάς (<http://>).

2.3 Υπολεκάνες και ρέματα της λεκάνης απορροής της Λίμνης Καστοριάς

Η επιφάνεια της λεκάνης απορροής της Λίμνης Καστοριάς αποτελείται ή διαιρείται σε 11 υπολεκάνες απορροής όπου από τις οποίες οι 9 αφορούν βασικά υδατορέματα (**Πίν. 2.1**), η 1 αφορά την υπολεκάνη της πόλης της Καστοριάς από την οποία οι απορροές στη

λίμνη εισέρχονται μέσω αγωγών αποχέτευσης όμβριων και τέλος, η άλλη 1 έχει άμεση σχέση με την υπολεκάνη της περιοχής των Αμπελοκήπων, όπου βρίσκεται στο νοτιοδυτικό τμήμα της λεκάνης της Καστοριάς, από την οποία τα επιφανειακά ύδατα καταλήγουν μέσα από το ρέμα Γκιάλε, στον Αλιάκμονα ποταμό σε αντίθεση με τα υπόγεια ύδατα που συμβάλλουν στη λίμνη (Σ.Δ.Λ.Κ, 2015).

Πίνακας 2.1. Ρέματα και υπολεκάνες της λεκάνης απορροής της λίμνης Ορεστιάδας (Ζαρκάδας, 2005).

α/α	Περιοχή ή υπολεκάνη	Έκταση (km²)
1	Ρέμα Φουντουκλή	4,23
2	Ρέμα Απόσκεπου	7,97
3	Ρέμα Βυσσινιάς	48,19
4	Ρέμα Αγίου Αθανασίου	2,11
5	Ρέμα Τοιχιού	23,10
6	Ρέμα Μεταμόρφωσης	11,98
7	Ρέμα Φωτεινής	8,53
8	Ρέμα Ξηροπόταμου	112,55
9	Ρέμα Ίστακου	5,56
10	Ρέμα Καστοριάς – Δισπηλιού	11,51
11	Ρέμα Αμπελοκήπων	17,27
	Σύνολο έκτασης	253
	Έκταση Λίμνης Ορεστιάδας	27,9

Οι κινήσεις των υδάτων που έχουν παρατηρηθεί στη λίμνη, ποικίλλουν. Οι κινήσεις μπορούν να χωριστούν σε 3 κατηγορίες, σε αυτές που έχουν μία γενική βραδεία μόνιμη ροή από το άνω τμήμα της λίμνης από το οποίο εισέρχονται νερά προς το κάτω τμήμα και στη συνέχεια εκρέουν στη θέση του ρεύματος Γκιάλε. Στη δεύτερη κατηγορία βρίσκονται οι ροές που οφείλονται στους ανέμους που πνέουν και στη μεταβολή της πυκνότητας των νερών, λόγω της αλλαγής της θερμοκρασίας στο εσωτερικό της λίμνης. Τέλος, είναι οι ροές στο υπολίμνιο, που δημιουργούνται λόγω των πλημμυρικών παροχών των χειμαρικών ρεμάτων (Τσόμπος, 2011).

2.4 Έκταση και Γεωμορφολογικά στοιχεία

Η φυσική λίμνη της Καστοριάς θεωρείται μία τεκτονικής προέλευσης λίμνη (Σωτηριάδης, 1984 & Σακκάς, 1993) όπου αποτελεί μία υπολειμματική μορφή των μεγαλύτερων λιμνών Νεογενούς – Τεταρτογενούς, που βρίσκονταν στο χώρο της Μακεδονίας και δημιουργήθηκαν από τις τεκτονικές κοιλάδες στο χώρο της Δυτικής Μακεδονίας, κατά το νεοτεκτονικό στάδιο των αλπικών πτυχώσεων (Βαφειάδης, 1983). Η λίμνη της Καστοριάς είναι μία καρστική λίμνη όπου αποτελεί τμήμα της Πελαγονίας λίμνης, που δέσποζε κατά την διλούβιο εποχή και είχε έκταση 164 km² με βάθος 50 m (Stanković, 1931). Η ζωή και η εξέλιξη μιας λίμνης ρυθμίζεται από 5 παράγοντες:

- Η τεκτονική και η λιθολογία της περιοχής
- Το ανάγλυφο και το Γεωγραφικό Πλάτος
- Το βάθος του νερού
- Το κλίμα
- Η τροφοδοσία σε νερό και υλικά

Από τους παραπάνω πέντε παράγοντες, τον σημαντικότερο ρόλο παίζει το κλίμα, ενώ παράλληλα οι φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες στο χώρο των λιμνών, καθορίζονται από τα επί μέρους στοιχεία του κλίματος (Ψιλοβίκος, 2014).

Η λίμνη Ορεστιάδα ή αλλιώς λίμνη Καστοριάς, έχει ένα αυτοτελές υδρογραφικό δίκτυο, το οποίο αποτελείται από δεκατρία (13) μικρά χειμαρρικά ρέματα. Η λεκάνη απορροής της λίμνης Καστοριάς ή αλλιώς η Περιοχή Μελέτης μας και η συνολική έκταση είναι 281 km² (Ζαρκάδας, 2005). Ως υδροκρίτη ορίζεται από ανατολικά τις κορυφές Μηλιά και Πύργος, στα βόρεια το όρος Βερνού και διέρχεται από τις κορυφές Δούκας, Κρόνος, Βίτσι και Σπυρακάκης. Στα νοτιοανατολικά, στη ράχη του όρους Πετρώδες, και καταλήγει στο νότιο τμήμα της λίμνης Καστοριάς (Μάρης, 1997).

Σύμφωνα με το μέγεθός τους, οι χείμαρροι Ξεροπόταμος, Βυσσινιάς, Κωτούρη και Μεταμόρφωσης είναι τα σημαντικότερα ρέματα του υδρογραφικού δικτύου της λίμνης.

Στον ορεινό χώρο της λεκάνης απορροής της λίμνης, υπάρχει σημαντική δασοκάλυψη. Στις ορεινές λεκάνες κυριαρχούν κυρίως πλατύφυλλα δάση καθώς και βοσκοτόπια, ενώ στις πεδινές λεκάνες υπάρχουν κυρίως καλλιεργούμενες εκτάσεις.

Στατιστικά μπορούμε να αναφέρουμε τις κύριες χρήσεις της γης στην λεκάνη απορροής της λίμνης ως εξής:

- Δάσος πλατύφυλλων 44,17%
- Βοσκότοποι 32,47%
- Γεωργικές καλλιέργειες 16,06%

Τα μεγαλύτερα ποσοστά στα δάση πλατύφυλλων ειδών είναι σε πρεμνοφυή κύρια μορφή ενώ αντίθετα, τα σπερμοφυή βρίσκονται σε μικρότερα ποσοστά. Κατά τη ταξινόμηση

της δασικής βλάστησης στην Ελλάδα, σύμφωνα με τη φυτοκοινωνιολογική, χλωριδική και οικολογική άποψη στη λεκάνη απορροής της λίμνης της Ορεστιάδας, κυριαρχεί η παραμεσογειακή ζώνη βλάστησης (*Quercetalia pubescentis*) που έχει ως υποζώνη την *Quercion confertae* και η ζώνη οξιάς – ελάτης και ορεινών παραμεσογειακών κωνοφόρων (*Faretalia*) που έχει ως υποζώνη τη *Fagion moesiaca* (Ντάφης, 1973). Στην ανατολική ακτή της λίμνης αλλά και στη γύρω περιοχή της, κυριαρχούν καλαμώνες από *Phragmites australis*, ενώ υπάρχουν και κάποιες συστάδες *Salix alba* και *Populus alba*.

Στατιστικά για τους γεωλογικούς σχηματισμούς της περιοχής, στη λεκάνη απορροής της λίμνης της Καστοριάς, έχει ως εξής:

- Κρυσταλλοπυριγενής σχηματισμός καλύπτει το 73,37%
- Ασβεστολιθικός σχηματισμός καλύπτει το 17,01% της συνολικής λεκάνης.

Όπως μόλις αναφέραμε, η λεκάνη απορροής της λίμνης της Καστοριάς αποτελείται κυρίως από δύο σχηματισμούς και ανάλογα το χειμαρικό απόθεμα, ανήκει στον μεικτό τύπο (Κωτούλας, 2001). Για τις ορεινές λεκάνες της λίμνης της Καστοριάς, θα ορίσουμε ως κύριο χαρακτηριστικό γνώρισμα την ευπάθεια στις επιφανειακές και χαραδρωτικές διαβρώσεις και αποσαθρώσεις (Μάρης, 1997).

2.5 Λιμνολογικά χαρακτηριστικά της Λίμνης Ορεστιάδας

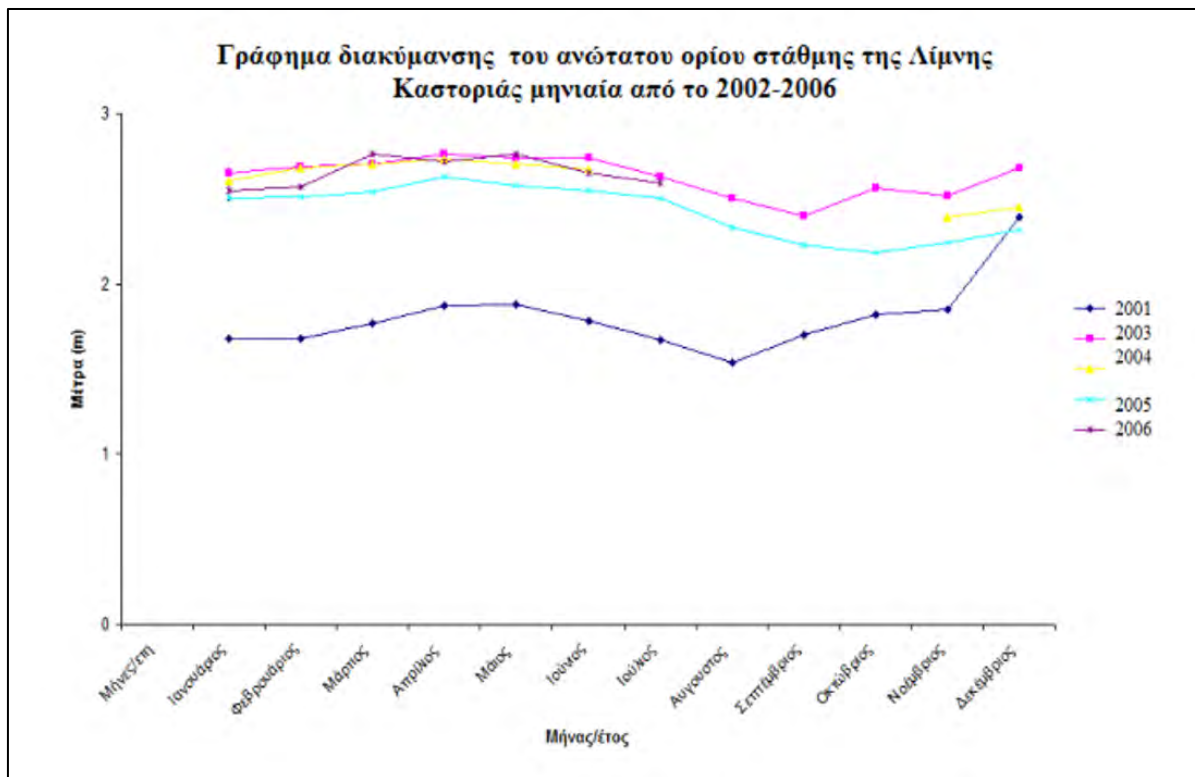
Κάθε λίμνη μπορεί να θεωρηθεί και ένας ζωντανός οργανισμός. Όπως και ένας ζωντανός οργανισμός έτσι και η λίμνη γεννιέται, μεγαλώνει, ωριμάζει, γερνά και πεθαίνει μέσα στην λεκάνη απορροής της, όπου παρείχε νερό και διαλυμένο ή σωματιδιακό υλικό. Η ζωή της λίμνης, όπως και των οργανισμών, είναι περιορισμένη και ο άνθρωπος είναι εκείνος που μπορεί να την καθορίσει ακόμη πιο περιορισμένη. Ο τρόπος ζωής της κάθε λίμνης

εξαρτάται από τις μεταβολικές διεργασίες της και συνθήκες που επικρατούν σε αυτήν. Η ζωή της εκάστοτε λίμνης δεν είναι κάτι απλό, είναι κάτι διαφορετικό και δεν εξαρτάται μόνο από το άθροισμα των μορφών ζωής που υπάρχουν μέσα σε αυτήν. Σε αυτήν την αναλογία μεταξύ της ζωής των λιμνών και των οργανισμών, για τον μεταβολισμό τους, θα συμπεριλάβουμε και τον άνθρωπο. Για το λόγο αυτό, ως διαχείριση μιας λίμνης μπορούμε να τη συγκρίνουμε με τη φροντίδα και την προληπτική ιατρική για ένα υγιές άτομο, αντίθετα η αποκατάσταση μπορεί να συγκριθεί με τη θεραπευτική ιατρική για τον άνθρωπο. Το νερό έχει χαρακτηριστικά ρευστότητας (ιζώδους) και την διαπερατότητα του από το φως, τα όποια έχουν κύρια βασική σημασία για τα φυσικά και βιολογικά φαινόμενα για την υψηλή διαλυτική ικανότητα, και περιέχει διαλυμένα συστατικά τα οποία αποτελούν βασικό στήριγμα για την ανάπτυξη των ζωντανών οργανισμών σε εκάστοτε υδάτινο οικοσύστημα. Το νερό που συγκεντρώνεται κυρίως στη λεκάνη απορροής μιας λίμνης, η σύνθεσή του είναι αποτέλεσμα τριών παραγόντων:

- Φορτίων παραγόντων κατακρήμνισης και του υδρολογικού κύκλου στη λεκάνη απορροής
- Γεωλογικής σύνθεσης των πετρωμάτων
- Γεωμορφολογικού ανάγλυφου της λεκάνης απορροής

Το νερό μιας λίμνης αποτελείται από χιλιάδες διαλυμένες ενώσεις στις οποίες υφίστανται συνεχείς μετατροπές. Μία από αυτές τις ενώσεις είναι η χημική ένωση του νερού που σαν αόριστος διαλύτης, έχει την ιδιότητα να διαλύσει οποιοδήποτε στοιχείο του φλοιού της γης. Στην εικόνα 2 βλέπουμε τη διακύμανση του ανώτατου ορίου της στάθμης της λίμνης Καστοριάς όπου σημειώθηκε για κάθε μήνα από τον Ιανουάριο του 2002 μέχρι τον Ιούλιο

του 2006, όμως δεν έγιναν μετρήσεις κατά τους μήνες Ιούλιο, Αύγουστο, Σεπτέμβριο και Οκτώβριο του 2004. Τέλος, η στάθμη υπερχείλισης της λίμνης είναι στα 2,90m.



Σχήμα 2.1. Γράφημα μηνιαίας διακύμανσης του ανώτατου ορίου στάθμης νερού από το 2002 έως το 2006 (Μαντζαφλέρη, 2007).

Για τη χημική σύνθεση του νερού στις λίμνες, παίζει μεγάλο ρόλο τα διαφορετικά χαρακτηριστικά που έχει η κάθε λίμνη. Πολλές από τις χημικές ενώσεις του νερού, προσδιορίζουν σε μεγάλο βαθμό έτσι ώστε να είναι απαραίτητες και για την ανάπτυξη και αύξηση των υδρόβιων οργανισμών της λίμνης. Οι ενώσεις από τις οποίες οφείλεται η παραγωγικότητα μίας λίμνης, είναι αυτές του αζώτου και του φωσφόρου.

Το άζωτο, ως γνωστόν, είναι άφθονο στην ατμόσφαιρα αλλά στις λίμνες μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο από τα αζωτοδεσμευτικά κυανοφύκη, σε αντίθεση με τους υπόλοιπους οργανισμούς που χρησιμοποιούν το άζωτο με τη μορφή διαλυμένων νιτρικών, αμμωνιακών

και νιτρωδών ιόντων ή ακόμη και οργανικών ενώσεων. Αντίθετα με το άζωτο, ο φώσφορος υπάρχει σε μικρότερες συγκεντρώσεις στο νερό αφού βρίσκεται στα πετρώματα. Ο ανόργανος διαλυμένος φώσφορος, βρίσκεται κυρίως στο νερό με τη μορφή ορθοφωσφορικών ιόντων. Ακόμη ο φώσφορος στο νερό βρίσκεται σε διαλυμένες οργανικές ενώσεις του καθώς σε κολλοειδή και σωματιδιακή μορφή.

Ο ολικός φώσφορος αποτελείται από τέσσερις μορφές, ανόργανο και οργανικό, διαλυμένο και σωματιδιακό. Ο ολικός φώσφορος είναι χρήσιμος στις υδροβιολογικές μελέτες και χρησιμοποιείται ως παράμετρος κλειδί στην αποκατάσταση της οικολογικής ισορροπίας σε μία λίμνη, στη συγκεκριμένη περίπτωση στη λίμνη Καστοριάς.

Η βιολογική παραγωγή της κάθε λίμνης, εξαρτάται κυρίως από τις χαμηλές συγκεντρώσεις του φωσφόρου και των θρεπτικών του αζώτου, άρα η βιολογική παραγωγή των χερσαίων οικοσυστημάτων της λεκάνης απορροής της λίμνης, εξαρτάται από αυτά τα στοιχεία που βρίσκονται σε μικροποσότητες. Για το λόγο αυτό, τα χερσαία και υδάτινα οικοσυστήματα έχουν καταφέρει να αναπτύξουν μηχανισμούς συνεχούς ανακύκλωσης, με αποτέλεσμα οι ποσότητες που ξεφεύγουν από τη λεκάνη απορροής μέσα στη λίμνη, να είναι λιγότερες. Η διαφορά των ενώσεων του φωσφόρου με του αζώτου είναι ότι του φωσφόρου είναι λιγότερο διαλύτες, αυτό καθιστά τον φώσφορο συνήθως περιοριστικό παράγοντα της πρωτογενούς παραγωγής αλλά και παράγοντα κλειδί για τη σωστή αποκατάσταση της οικολογικής σημασίας της κάθε λίμνης.

Επίσης, μεγάλες ποσότητες θρεπτικών περιέχουν και τα ιζήματα στις λίμνες όπου είναι διαθέσιμα στους οργανισμούς. Σύμφωνα με τις συνθήκες, τα θρεπτικά μπορεί είτε να δεσμεύονται είτε να απομακρύνονται σαν μη διαθέσιμα, τα ορυκτά του φωσφόρου έχουν την δυνατότητα να μετατρέπονται σε αέρια όπου και διαφεύγουν στην ατμόσφαιρα, το άζωτο

είτε με την απονιτροποίηση των νιτρικών είτε να ελευθερώνονται από το ίζημα στο νερό. Αυτά ονομάζονται φωσφορικά και αμμωνιακά ιόντα αντίστοιχα.

Η λίμνη της Καστοριάς είναι μία ρηχή λίμνη, αν σκεφτούμε το βάθος της, και το πιο εμφανές πρόβλημα στις ρηχές λίμνες είναι η μετάβαση σε μία κατάσταση, που είναι η μεγάλη αύξηση των κυανοφυκών και η μαζική τους συσσώρευση στο επιφανειακό στρώμα νερού, αλλά ακόμη και η μεγάλη ανάπτυξη μερικών μακροφύκων, όπως καλάμια, που αποτελούν απειλή για την επέκτασή τους στην επιφάνεια της λίμνης αλλά και τη μείωση του όγκου νερού (Μουστάκα και συν, 1999).

2.6 Στοιχεία υδρολογίας επιφανειακού και υπόγειου υδατικού ισοζυγίου

Για το υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης απορροής της λίμνης της Καστοριάς, εκτιμάται οι φυσικές εισροές και εκροές στη λίμνη, όπου αυτό γίνεται με τη χρήση των υφιστάμενων υδρομετεωρολογικών και υδρομετρικών στοιχείων που επεξεργάζονται μέσω μαθηματικών ομοιωμάτων.

Για το μαθηματικό μοντέλο εκτίμησης της εισροής φερτών υλικών στη λίμνη, το υδατικό ισοζύγιο χρησιμοποιείται ως βασικό μοντέλο. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να βοηθήσουν στην αναβάθμιση της ποιότητας των υδάτων της λίμνης αλλά και της τροφικής κατάστασης.

Οι επιφανειακές απορροές των χειμάρρων και άλλων μικρών ρεμάτων της λεκάνης απορροής, μεταφέρουν σημαντικές ποσότητες φερτών υλικών.

Η λεκάνη απορροής της λίμνης της Καστοριάς καλύπτεται περίπου κατά:

- 24% από καλλιέργειες
- 38% από λιβάδια

- 25% από φυσική βλάστηση
- 3% από οικισμούς
- 10% από τη λίμνη

Η λεκάνη απορροής αποτελείται από μεγάλα υψόμετρα, απότομες κλίσεις και έντονες κλιματικές συνθήκες με ραγδαίες βροχοπτώσεις και ευπάθεια στα χειμαρρικά φαινόμενα λόγω του ελλιπούς φυτομανδύα της. Αυτά έχουν ως αποτέλεσμα την έντονη διάβρωση και την απόπλυση των εδαφών. Κατά καιρούς έχουν γίνει γεωλισθήσεις, διαβρώσεις, γεωκατακρημνίσεις κ.α. και σε συνδυασμό με τους κλιματικούς παράγοντες, βοηθούν στην παραγωγή και διακίνηση φερτών υλικών.

Για να αναλύσουμε το υδατικό ισοζύγιο, πρέπει να υπάρχουν κάποιες ορισμένες προϋποθέσεις. Σύμφωνα με αυτές τις προϋποθέσεις, οποιαδήποτε ποσότητα ύδατος εισέρχεται στη λίμνη, είτε με τη μορφή διαφόρων επιφανειακών και υπογείων απορροών, η ίδια ποσότητα πρέπει και να εξέρχεται, έτσι ώστε η επιφάνεια της λίμνης να παραμένει σταθερή σε ετήσια βάση. Εδώ να σημειώσουμε πως οι όγκοι που έχουν εισέλθει και εξέλθει από τη λίμνη για τα 30 χρόνια (1975 έως 2005) και σε συνδυασμό με τις τοπικές συνθήκες. Το υδρολογικό καθεστώς της λίμνης, μπορεί να περιγραφεί με την παρακάτω σχέση:

$$\mathbf{P + R + Sw + GI = E + Q}$$

Όπου:

\mathbf{P} = όγκος βροχόπτωσης απευθείας επί της λίμνης = ύψος βροχόπτωσης στη λίμνη x επιφάνεια της λίμνης = $17,8 \times 10^6 \text{m}^3$

R = όγκος επιφανειακών απορροών = 0,2 x ύψος βροχόπτωσης στη λεκάνη x έκταση λεκάνης απορροής = $36,7 \times 10^6 \text{m}^3$ (ο συντελεστής 0,2 είναι βασισμένος στη γεωλογία της περιοχής)

Sw = όγκος απορροών από τα ακάθαρτα νερά (λύματα) στην πόλη της Καστοριάς = κάτοικοι x $0,12 \text{m}^3/\text{ημέρα}/\text{κάτοικο}$ x 365 ημέρες = $1,09 \times 10^6 \text{m}^3$

Gl = όγκος υπόγειων απορροών = 0,16 x έκταση λίμνης x βροχόπτωση στη λεκάνη = $26 \times 10^6 \text{m}^3$ (το 0,16 είναι τιμή εξαρτώμενη από τα πετρώματα της περιοχής)

E = ο όγκος του εξατμιζόμενου νερού = επιφάνεια λίμνης x ύψος εξάτμισης = $22,1 \times 10^6 \text{m}^3$

Αν αντικαταστήσουμε τις τιμές στους παράγοντες της παραπάνω μαθηματικής σχέσης, θα υπολογίσουμε ότι ο όγκος του νερού που εκρέει κάθε έτος από τη λίμνη (σύμφωνα με τις προϋποθέσεις που θέσαμε) θα είναι περίπου:

$$\mathbf{Q = 59,5 \times 10^6 \text{m}^3}$$

Ο όγκος του νερού που υπολογίσθηκε έχει άμεση σχέση με άλλους υδρολογικούς παράγοντες που επηρεάζουν την τροφική κατάσταση της λίμνης. Οι παράγοντες αυτοί είναι δύο:

- Το επιφανειακό ή υδρολογικό φορτίο της λίμνης
- Ο χρόνος παραμονής του νερού στη λίμνη

Η συχνότητα ανανέωσης του νερού της λίμνης είναι, $\rho = 1/t = 0,45$ φορές το έτος.

Από προηγούμενες διατυπώσεις για το υδατικό ισοζύγιο της λίμνης της Καστοριάς ο Βαφειάδης (1983) και η Κατσίρη (1989) υποεκτιμούν τον όγκο του νερού της λίμνης με αποτέλεσμα τόσο ο χρόνος παραμονής του νερού στη λίμνη όσο και η συχνότητα ανανέωσης των νερών να απέχουν αρκετά από τις πραγματικές συνθήκες. Τα τελευταία χρόνια οι πραγματικές υδρολογικές συνθήκες της περιοχής έχουν αρνητικό ισοζύγιο σε ετήσια βάση, οπότε ο χρόνος παραμονής του νερού στη λίμνη (σημαντικός παράγοντας ανανέωσης των νερών της λίμνης και της αναβάθμισης της ποιότητας των νερών), λογικά θα πρέπει να είναι υψηλός, αντίθετα η συχνότητα ανανέωσης των νερών θα πρέπει να είναι αρκετά μικρότερη. Δηλαδή, το αρνητικό ισοζύγιο της περιοχής μαζί με την απουσία διαχείρισης της διακύμανσης της στάθμης της λίμνης, επιδεινώνουν την τροφική κατάσταση της λίμνης, επομένως να υποβαθμίζουν την ποιότητα των υδάτων της. Σημαντικό στοιχείο για την αναβάθμιση της λίμνης αποτελεί το πόσο συχνά ανανεώνονται τα νερά της, παράγοντας εξυγίανσης του υδάτινου περιβάλλοντος της Καστοριάς.

Υδρομετεωρολογικά στοιχεία για 30 χρόνια (1961 έως 1993), όπου προέκυψαν από 15 υδρομετεωρολογικούς σταθμούς της περιοχής της λίμνης της Καστοριάς, εισήχθησαν στο Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών για τα πλαίσια του προγράμματος « Εξυγίανσης και αξιοποίησης της λίμνης Καστοριάς » και ελήφθησαν οι ακόλουθες μέσες ετήσιες τιμές των μεγεθών που φαίνονται στον **Πίνακα 2.2**.

Πίνακας 2.2. Μέσες ετήσιες τιμές υδρομετεωρολογικών στοιχείων από το 1961 έως 1993 (πρόγραμμα, Εξυγίανσης και αξιοποίησης της λίμνης Καστοριάς).

Θερμοκρασία αέρα	12,5 °C
Σχετική υγρασία	62,3%
Εξάτμιση από τη λίμνη	832,2 mm ή 23,2 x 10⁶ m³
Μέση βροχόπτωση στη λεκάνη Απορροής	719,7 mm
Δυνητική εξατμισοδιαπνοή	734,6 mm
Πραγματική εξατμισοδιαπνοή	491,9 mm
Στάθμη της λίμνης	629,79 mm

Από τις μέσες τιμές που μετρήθηκαν για τις παροχές των χειμάρρων που απορρέουν προς τη λίμνη σε όλη τη διάρκεια του έτους, προκύπτουν οι τιμές της βασικής απορροής ανά υπολεκάνη (Πίν. 2.3).

Πίνακας 2.3. Τιμές βασικής απορροής ανά υπολεκάνη (Τολίκας και συν, 2000).

Υπολεκάνες	Βασική απορροή (mm)
Φουντουκλή	0,028
Απόσκεπος	1,8
Βυρσινιάς	6,6
Τάφος Αγίου Αθανασίου	1,1
Τοιχό	2,5
Μεταμόρφωση	1,1
Φωτεινή	0,054
Ίστακος	2,9
Ξηροπόταμος	5,4
Σύνολο	21,5

Σύμφωνα με το μαθηματικό μοντέλο βροχής – επιφανειακής απορροής (Τολίκας και συν, 2000) προκύπτουν οι τιμές για κάθε υπολεκάνη στον **Πίνακα 2.4.**

Πίνακας 2.4. Τιμές επιφανειακής απορροής ανά υπολεκάνη (Τολίκας και συν, 2000).

Υπολεκάνες	Επιφανειακή απορροή (mm)
Φουντουκλή	1,04
Απόσκεπος	2,46
Βυσσιιάς	6,33
Τάφος Αγίου Αθανασίου	1,79
Τοιχίο	7,01
Μεταμόρφωση	5,21
Φωταινή	0,96
Ίστακος	2,14
Ξηροπόταμος	5,06
Σύνολο	32,0

Ο υπόγειος υδροφόρεας φορτίζει ετήσια κατά μέσο όρο τη λίμνη με $28,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ νερού.

Από τα παραπάνω προκύπτει το εξής ισοζύγιο της λίμνης στον **Πίνακα 2.5**.

Πίνακας 2.5. Υδατικό ισοζύγιο της λίμνης της Καστοριάς (Ζαρκάδας, 2005).

Μέση βροχόπτωση στη λεκάνη απορροής της λίμνης	693,07 mm
Πραγματική εξατμισοδιαπνοή	477,26 mm
Επιφανειακή απορροή προς τη λίμνη	60,62*10⁶ m³
Υπόγεια απορροή προς τη λίμνη	60,62*10⁶ m³
Όγκος βροχής	194,733*10⁶ m³
Όγκος εξατμισοδιαπνοής	134,111*10⁶ m³
Εμβαδόν Λεκάνης Απορροής	281 km²

Η βασική απορροή περιέχει και ένα μέρος της υπόγειας ροής, το οποίο στις εκβολές των χειμάρρων βγαίνει επιφανειακά.

2.7 Χρήση νερού της λίμνης

Τα τελευταία χρόνια έχουν αυξηθεί οι παράκτιες γεωργικές δραστηριότητες με αποτέλεσμα να αυξάνονται και οι ανάγκες για ποτιστικό νερό. Για την κάλυψη αυτών των αναγκών και την άρδευση, αντλείται νερό από τη λίμνη.

Η λίμνη της Καστοριάς αποτελεί και μέρος αναψυχής, όπου πολλοί κάτοικοι της περιοχής ή ακόμη και τουρίστες, την επισκέπτονται συχνά. Στη λίμνη υπάρχει δυνατότητα να την περιηγηθεί κανείς με το ειδικό караβάκι του που παρέχει ο δήμος Καστοριάς, αλλά παράλληλα με αυτή τη δράση, διεξάγονται κωπηλατικοί αγώνες στο κωπηλατοδρόμιο που βρίσκεται στη νότια πλευρά της λίμνης.

2.8 Πηγές ρύπανσης

Η ρύπανση της λίμνης μέσω των διάχυτων πηγών, είναι λόγω των ρυπαντικών φορτίων που εισχωρούν μέσω της βροχής, άμεσα μέσω αυτής είτε έμμεσα μέσω των όμβριων απορροών. Τέτοιες πηγές αναφορικά αποτελούν οι εξής:

- Μη σημειακές πηγές
- Αστικές απορροές (ρίψη σκουπιδιών, οικοδομικές εργασίες κ.α.)
- Υπαίθριες απορροές (λιπάσματα, φυτοφάρμακα, οργανικό υλικό ζώων κ.α.)
- Χωματερές
- Παραγωγικές δραστηριότητες (βυρσοδεψεία, κτηνοτροφικές μονάδες κ.α.)
- Διάφορες ανθρωπογενείς δραστηριότητες (εκχερσώσεις, μπαζώματα)

3. ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Παρακάτω αναφέρονται οι κυριότερες **εθνικές ρυθμίσεις** που έχουν ως στόχο την προστασία αλλά και την ανάδειξη του φυσικού περιβάλλοντος της λίμνης:

1. Η περιοχή της λίμνης της Καστοριάς από το 1974 έχει κηρυχθεί ως μνημείο φυσικού κάλλους
2. Σύμφωνα με το Γενικό Πολεοδομικό σχέδιο (Γ.Π.Σ.) της πόλης της Καστοριάς, τη ζώνη γύρω από τη λίμνη, την έχει χαρακτηρίσει ως ειδική ζώνη προστασίας ακτών.
3. Οι χρήσεις γης γύρω από τη λίμνη, έχουν καθοριστεί σύμφωνα με το Προεδρικό διάταγμα Περί Ζωνών Οικιστικού Ελέγχου (ΖΟΕ) (ΦΕΚ 125/δ/21-2-1986).
4. Σε όλη τη λίμνη αλλά και στη περιλίμνια περιοχή έχει απαγορευτεί το κυνήγι και η Ελληνική Ορνιθολογική Εταιρία, έχει συμπεριλάβει την περιοχή στον κατάλογο των Σημαντικών Περιοχών για τα Πουλιά της Ελλάδας και της Ευρώπης (SPA), όπου το 2001 το ΥΠΕΧΩΔΕ συμφώνησε με την πρόταση αυτή.

Κοινοτική Νομοθεσία και **διεθνείς συμβάσεις** που έχουν εφαρμογή στη λίμνη της Καστοριάς:

1. Σύμβαση της Βέρνης (1979) που αφορά τη διατήρηση της άγριας ζωής και του Φυσικού Περιβάλλοντος της Ευρώπης όπου αρκετά από τα είδη της περιοχής έχουν συμπεριληφθεί σε αντίστοιχους καταλόγους.
2. Σύμβαση της Βόννης (1979) που αφορά τη διατήρηση των μεταναστευτικών ειδών άγριων ζώων, διότι κάθε χρόνο η λίμνη της Καστοριάς φιλοξενεί αρκετά μεταναστευτικά είδη που συμπεριλαμβάνονται στους καταλόγους της σύμβασης αυτής.

3. Οδηγία 2009/147/ΕΟΚ (πρώην 79/409/ΕΟΚ) που αφορά τη διατήρηση των άγριων πτηνών όπου θεσμοθετήθηκε με σκοπό την προστασία, τη διατήρηση και τη ρύθμιση της εκμετάλλευσης όλων των ειδών πτηνών που ζουν από τη φύση τους σε άγρια κατάσταση στο ευρωπαϊκό έδαφος των κρατών μελών. Η Οδηγία 79/409/ΕΟΚ (όπου κωδικοποιήθηκε με την Οδηγία 2009/147/ΕΚ) ενσωματώθηκε στην εθνική νομοθεσία με τις ακόλουθες ΥΑ και ΚΥΑ:

- ΥΑ 414985/29-11-85 (ΦΕΚ Β'757) « Μέτρα διαχείρισης της άγριας πτηνοπανίδας »
- ΚΥΑ Η.Π. 37338/1807/Ε.103/1-9-10 (ΦΕΚ 1495/Β/6-9-10) «Καθορισμός μέτρων και διαδικασιών για τη διατήρηση της άγριας ορνιθοπανίδας και των οικοτόπων/ενδιαιτημάτων της», σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της Οδηγίας 79/409/ΕΟΚ, «Περί διατηρήσεως των άγριων πτηνών», του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου της 2ας Απριλίου 1979, όπως κωδικοποιήθηκε με την οδηγία 2009/147/ΕΚ.
- ΚΥΑ Η.Π. 8353/276/Ε103/17-2-2012 (ΦΕΚ 415/Β/23-2-2012) «Τροποποίηση και συμπλήρωση της υπ' αριθμών 37338/1807/2010 κοινής υπουργικής απόφασης» «Καθορισμός μέτρων και διαδικασιών για την διατήρηση της άγριας ορνιθοπανίδας με την Οδηγία 79/409/ΕΟΚ...» (Β' 1495), σε συμμόρφωση με τις διατάξεις του πρώτου εδαφίου της παραγράφου 1 του άρθρου 4 της Οδηγίας 79/409/ΕΟΚ «Για τη διατήρηση των άγριων πτηνών» του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου της 2ας Απριλίου 1979, όπως κωδικοποιήθηκε με την Οδηγία 2009/147/ΕΚ.

4. Η Οδηγία 92/43/ΕΟΚ «Για τη διατήρηση των φυσικών οικοτόπων καθώς και της άγριας πανίδας και χλωρίδας» θεσμοθετήθηκε από το Συμβούλιο των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων με σκοπό να συμβάλλει στην προστασία της βιολογικής ποικιλότητας, μέσω της διατήρησης των φυσικών οικοτόπων, καθώς και της άγριας πανίδας και χλωρίδας στο ευρωπαϊκό έδαφος των κρατών μελών που εφαρμόζεται η συνθήκη.

Η **Οδηγία 92/43/ΕΟΚ**, ενσωματώθηκε στην εθνική νομοθεσία με τις ακόλουθες

ΚΥΑ:

- ΚΥΑ 33318/3028/11-12-1998 (ΦΕΚ 1289/Β/28-12-98) «Καθορισμός μέτρων και διαδικασιών για τη διατήρηση των φυσικών οικοτόπων (ενδιαιτημάτων), καθώς και της άγριας πανίδας και χλωρίδας»
- ΚΥΑ Η.Π. 14849/853/Ε103/4-4-2008 (ΦΕΚ 645/Β/11-4-08) «Τροποποίηση των υπ' αριθμών 33318/3028/1998 κοινών υπουργικών αποφάσεων (Β' 1289) και υπ' αριθμών 29459/1510/2005 κοινών υπουργικών αποφάσεων (Β' 992), σε συμμόρφωση με διατάξεις της οδηγίας 2006/105 του Συμβουλίου της 20^{ης} Νοεμβρίου 2006 της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Το **Δίκτυο Natura 2000** αποτελεί ένα Ευρωπαϊκό Οικολογικό Δίκτυο περιοχών, όπου φιλοξενούν φυσικούς τύπους οικοτόπων και οικοτόπους ειδών που είναι σημαντικοί σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Αποτελείται από δύο κατηγορίες περιοχών:

- Τις «**Ζώνες Ειδικής Προστασίας (ΖΕΠ)**» (Special Protection Areas – SPA) για την Ορνιθοπανίδα, όπως ορίζονται στην Οδηγία 79/409ΕΚ «Για τη διατήρηση των άγριων πτηνών»

- Ο κατάλογος των Ελληνικών Ζωνών Ειδικής Προστασίας δημοσιεύτηκε στο ΦΕΚ 1495/Β/06.09.2010 ως παράρτημα στη νέα ενσωμάτωση της Οδηγίας 79/4009/ΕΟΚ (η οποία κωδικοποιήθηκε με την Οδηγία 2009/147/ΕΚ).
- Τους « **Τόπους Κοινοτικής Σημασίας (ΤΚΣ)** » (Sites of Community Importance – SCI) όπως ορίζονται στην Οδηγία 92/43/ΕΟΚ. Για τον προσδιορισμό των ΤΚΣ λαμβάνονται υπόψη οι τύποι των οικοτόπων και τα είδη των Παραστημάτων Ι και ΙΙ της Οδηγίας 92/43/ΕΟΚ, καθώς και τα κριτήρια του Παραρτήματος ΙΙΙ αυτής.
- 239 Ελληνικοί Τόποι Κοινοτικής Σημασίας χαρακτηρίστηκαν ως Ειδικές Ζώνες Διατήρησης με το Ν3937/2011 (ΦΕΚ60/Α/31-3-2011) (<http2>).

Η λίμνη της Καστοριάς είναι χαρακτηρισμένη ως **Ειδική Ζώνη Διατήρησης** με κωδικό : ‘GR 1320001’ και ως Ζώνη Ειδικής Προστασίας με κωδικό ‘GR 1320003’.

Η **Οδηγία 2000/60/ΕΕ**, η οποία επιβάλλει την ολοκληρωμένη εποπτική, επιχειρησιακή και διερευνητική παρακολούθηση και διαχείριση όλων των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων στον τομέα της πολιτικής των υδάτων του Ευρωπαϊκού χώρου. Η ελληνική νομοθεσία έχει εναρμονιστεί πλήρως με την παρούσα Οδηγία, με το Ν. 3199/2003/ΦΕΚ 280, Τεύχος Α΄ και την ΚΥΑ 140384/2011/ΦΕΚ 2017, Τεύχος Β, « Ορισμός Εθνικού Δικτύου Παρακολούθησης της Ποιότητας και της Ποσότητας των Υδάτων με καθορισμό των θέσεων (Σταθμών) Μετρήσεων και των Φορέων που υποχρεούνται στη λειτουργία τους κατά το Άρθρο 4, §4 του Ν. 3199/2003 (Α΄280) ».

Εθνική νομοθεσία με εφαρμογή στην περιοχή της Καστοριάς:

- ΥΑ Α/Φ31/26306/2367 (ΦΕΛ640/Β/26-06-1974) «Περί χαρακτηρισμού της Λίμνης Καστοριάς ως τόπου εξαιρετού φυσικού κάλλους». Χαρακτηρίζεται ως τόπος εξαιρετού φυσικού κάλλους η Λίμνη της Καστοριάς μετά ζώνης προστασίας 50 μέτρων από την όχθη της και προς κάθε πλευρά

Τα **Καταφύγια Άγριας Ζωής** στο Ν. Καστοριάς είναι τα:

- Αρρένων Γράμμου (υπ' αρ. 153404/398/10-6-1985 Απόφαση Υπ. Γεωργίας)
- Κάτω Νεστορίου-Πεύκο-Λιβιάδια, Κοτύλης-Παλιά Κοτύλη-Νέα Κοτύλη-Κάτω Νεστόριο (Αρ. Πρωτ. 9102/378/28-4-2010 Απόφαση του Γενικού Γραμματέα Περιφέρειας Δυτικής Μακεδονίας)
- Καστανοφύτου (ΚΗ/2519/14-7-1997 απόφαση Γενικού Διευθυντή Περιφέρειας Δυτικής Μακεδονίας)

4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

4.1 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών

Σύμφωνα με την F.I.G. (Federation Internationale des Geometres, 1983), τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.), ενώ έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά με άλλα πληροφοριακά συστήματα, έχουν το πλεονέκτημα της ύπαρξης της γεωγραφικής πληροφορίας, καθώς και της χωρικής διάστασης. Για την χρησιμοποίηση, βέβαια, αυτών των συστημάτων είναι αναγκαία η ύπαρξη διαθέσιμων δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά συλλέγονται από προηγμένα αερομεταφερόμενα και δορυφορικά συστήματα, τα οποία με την ολοένα ανάπτυξη της τεχνολογίας εξασφαλίζουν στους ερευνητές μεγαλύτερη ακρίβεια και υψηλή ποιότητα εικόνων του γεωγραφικού χώρου που εξετάζουν. Η εκτίμηση των διάφορων μεταβλητών που θα χρησιμοποιηθούν αργότερα στην μελέτη είτε ενός υδατικού ισοζυγίου είτε στην βαθυμετρία μίας λίμνης εξαρτώνται άμεσα από τα δεδομένα αυτά που θα ληφθούν από την δορυφορική τηλεπισκόπηση.

Τα Γ.Σ.Π., λοιπόν, δίνουν τη δυνατότητα στον χρήστη για μία εύκολη - γρήγορη εισαγωγή και επεξεργασία, έπειτα, των δεδομένων και των χαρτογραφικών πληροφοριών που του παρέχονται, ώστε να εξάγει τα αποτελέσματα που χρειάζεται για την εκάστοτε περιοχή μελέτης. Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε η ψηφιοποίηση της λίμνης της Καστοριάς.

Για την δημιουργία τέτοιων ψηφιακών μοντέλων ανάγλυφου, υπάρχουν τρεις βασικές πηγές δεδομένων (Βαϊόπουλος και συν, 2002) :

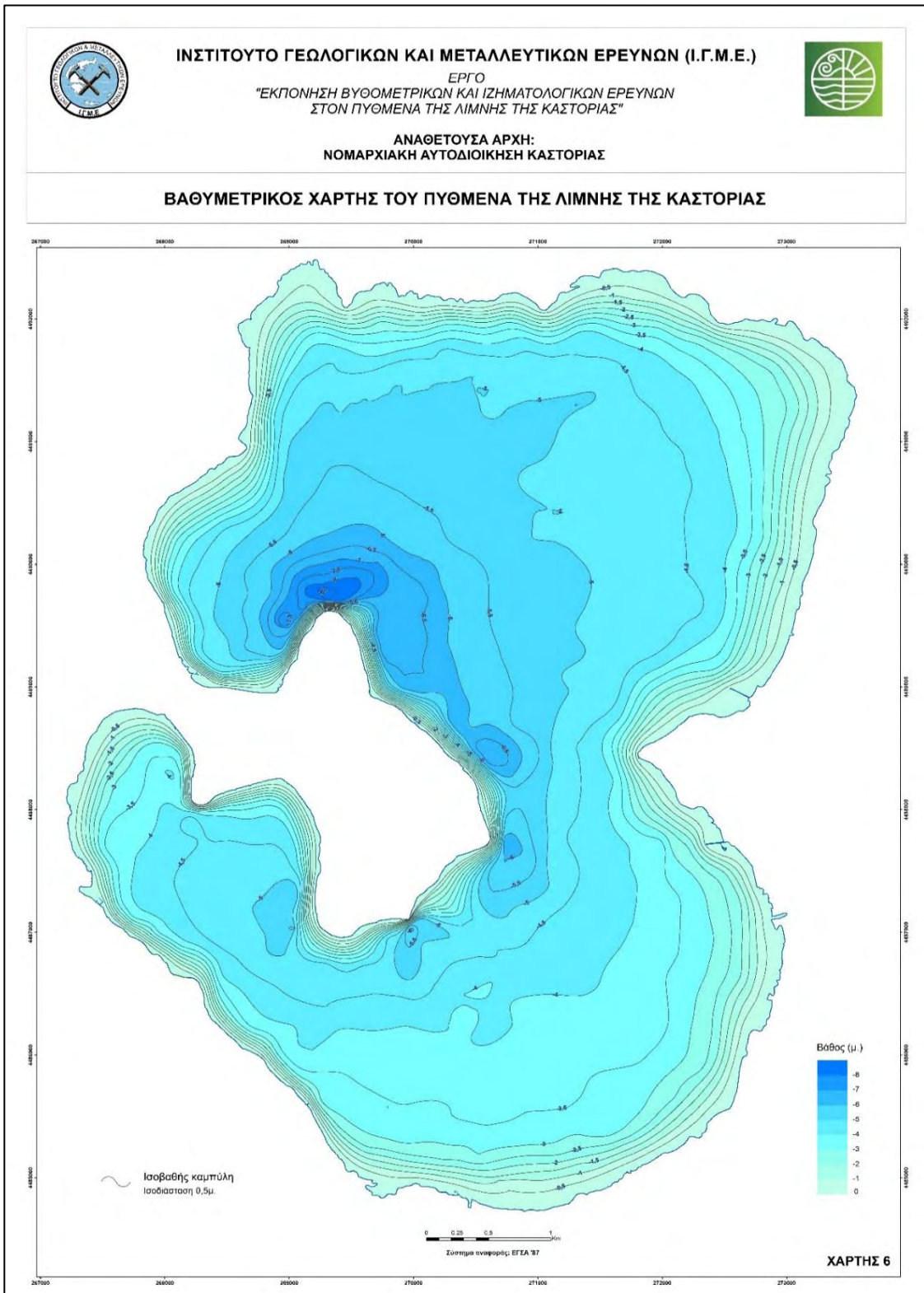
- Δεδομένα υπαίθρου, από εδαφικές μετρήσεις
- Τοπογραφικοί και βαθυμετρικοί χάρτες
- Αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες

Για την ψηφιοποίηση της λίμνης Ορεστιάδας χρησιμοποιήθηκε συνδυασμός ενός βαθυμετρικού χάρτη και δορυφορικών εικόνων, που θα αναφερθούν πιο συγκεκριμένα παρακάτω.

4.2 Επιλογή χαρτών

Ο βαθυμετρικός χάρτης που επιλέχθηκε για την καταγραφή των ισοβαθών καμπυλών της λίμνης Ορεστιάδας φαίνεται στην **Εικόνα 4.1**, και λήφθηκε από την ομάδα του επιβλέποντος καθηγητή, κ. Ψιλοβίκου. Οι ισοβαθείς καμπύλες που φαίνονται στην εικόνα δημιουργήθηκαν με τη χρήση ειδικών εργαλείων μέτρησης του βάθους.

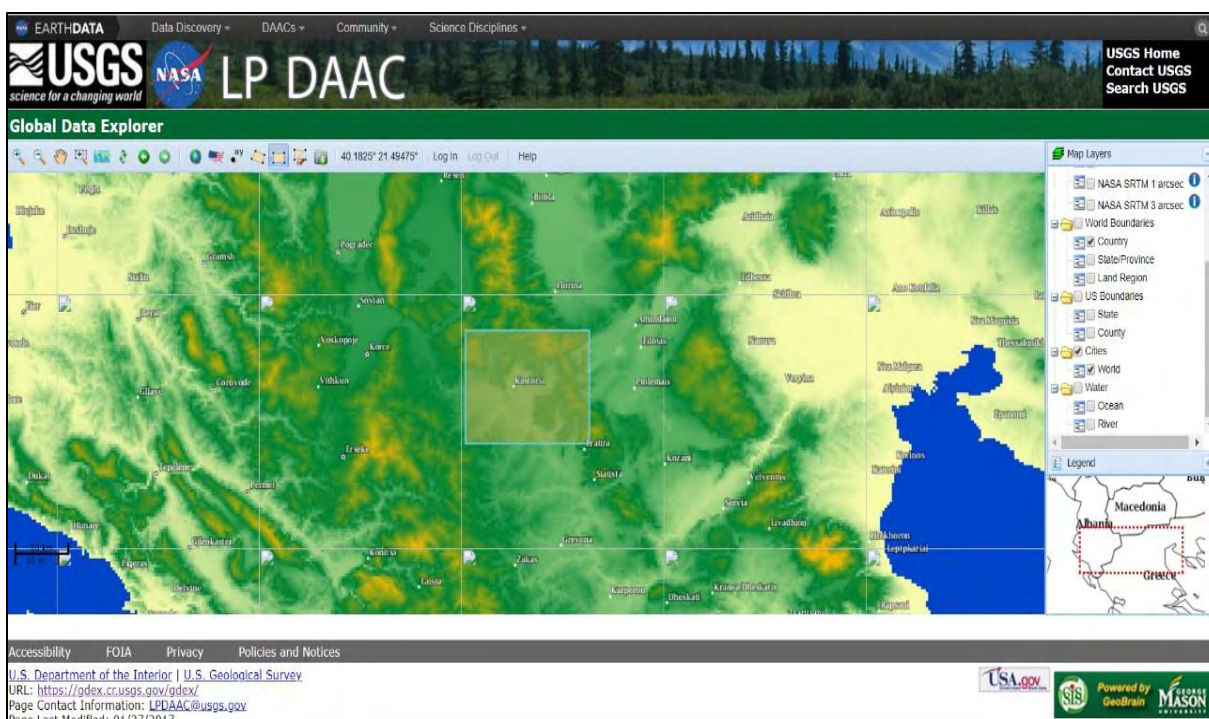
Ισοβαθής καμπύλη ορίζεται ως η ορθογώνια προβολή στο επίπεδο του χάρτη, του γεωμετρικού τόπου εκείνων των σημείων της υδάτινης επιφάνειας, τα οποία έχουν το ίδιο βάθος σε σχέση με το επίπεδο της θάλασσας (Ψιλοβίκος, 2014).



Εικόνα 4.1. Βαθυμετρικός χάρτης της λίμνης Ορεστιάδας του Ι.Γ.Μ.Ε.

Η δορυφορική εικόνα (Εικ. 4.2) που χρησιμοποιήθηκε ως χαρτογραφικό υπόβαθρο λήφθηκε από την επίσημη ιστοσελίδα της N.A.S.A. (<http3>), που αφορά την παρατήρηση της Γης. Από την ιστοσελίδα αυτή χρησιμοποιήθηκε ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο (D.E.M.), το οποίο παρέχεται από το όργανο A.S.T.E.R. του Υπουργείου Οικονομίας, Εμπορίου και Βιομηχανίας της Ιαπωνίας (M.E.T.I.), και είναι εξοπλισμένο στον δορυφόρο επιστημονικής έρευνας Terra (EOS AM-1).

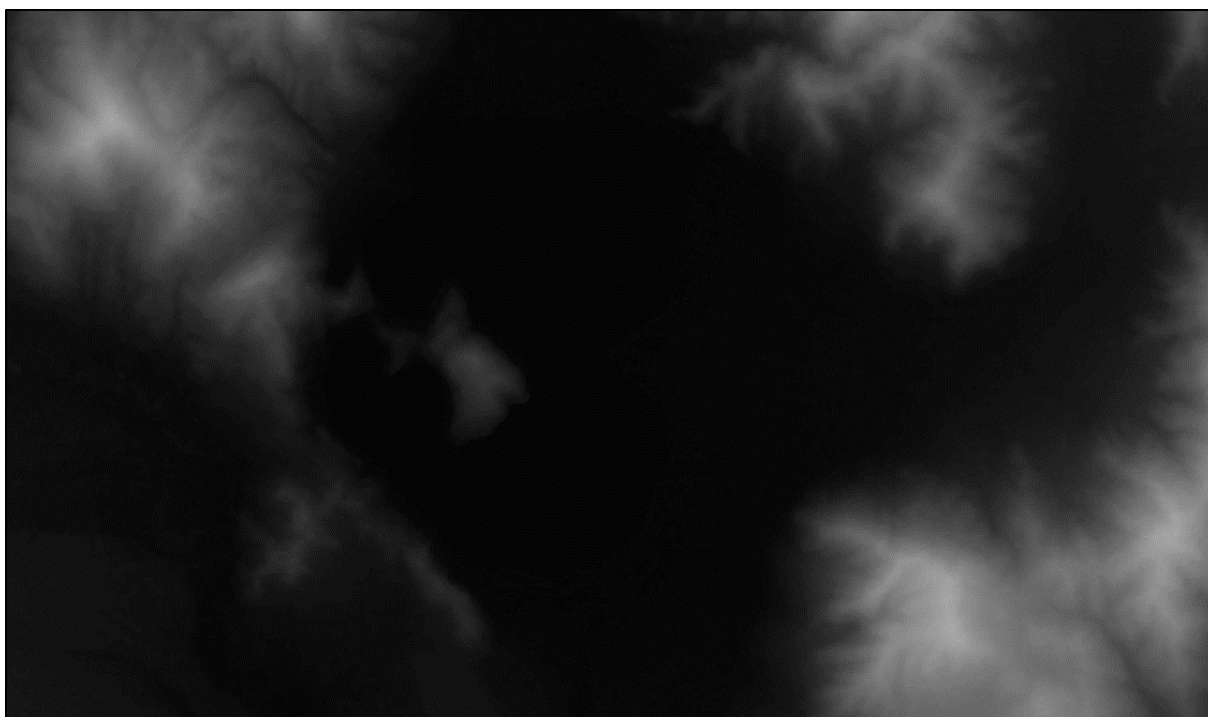
« Ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο (D.E.M.) ονομάζεται η αναπαράσταση των συνεχών τιμών ανύψωσης πάνω από μία τοπογραφική επιφάνεια με μία κανονική σειρά z – τιμών, που αναφέρεται σε ένα κοινό κατακόρυφο σημείο αναφοράς. » (<http4>).



Εικόνα 4.2. Λήψη δορυφορικής εικόνας από την ιστοσελίδα της N.A.S.A. (<http3>).

4.3 Επεξεργασία χαρτών

Χρησιμοποιώντας τα Γ.Σ.Π. και συγκεκριμένα το λογισμικό ArcMap 8.0™ που είναι εγκατεστημένο στο εργαστήριο υπολογιστών του τμήματος της σχολής, έγινε η εισαγωγή και εμφάνιση της δορυφορικής εικόνας (D.E.M.) με την ασπρόμαυρη μορφή που φαίνεται στην **Εικόνα 4.3**.

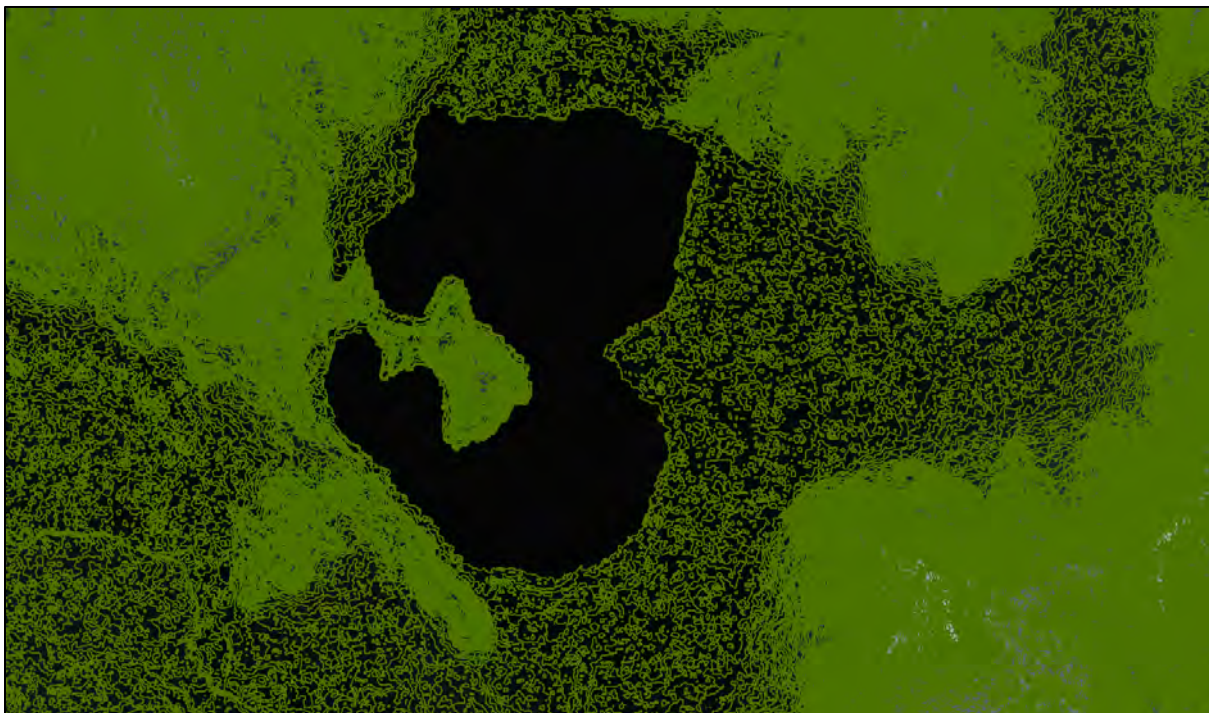


Εικόνα 4.3. Η μορφή του αρχείου (D.E.M.) μετά την εισαγωγή του στο λογισμικό.

Καθώς, όμως, η λίμνη δεν είναι ορατή σε αυτή τη μορφή, δημιουργήθηκαν οι ισοϋψείς καμπύλες (<http5>) της περιοχής με ισοδιάσταση 5 m για μεγαλύτερη ακρίβεια στο περίγραμμα της λίμνης (**Εικ. 4.4**).

« Ισοΰψης καμπύλη ονομάζεται η ορθογώνια προβολή στο επίπεδο του χάρτη, του γεωμετρικού τόπου εκείνων των σημείων της γήινης επιφάνειας, τα οποία έχουν το ίδιο υψόμετρο σε σχέση με το επίπεδο της θάλασσας » (Ψιλοβίκος, 2014).

Ισοδιάσταση ονομάζεται η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών ισοϋψών ή ισοβαθών και είναι σταθερή για την έκταση που καλύπτει ο χάρτης (Ψιλοβίκος, 2014).



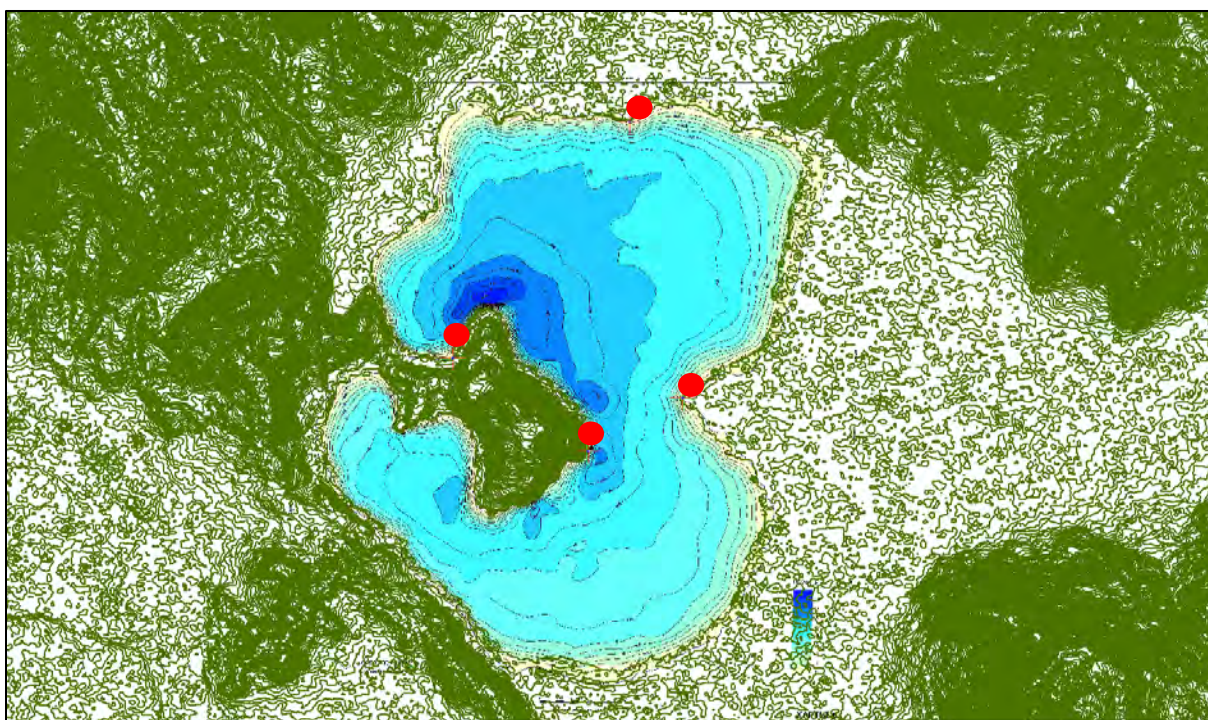
Εικόνα 4.4. Το περίγραμμα της λίμνης μετά την δημιουργία των ισοϋψών καμπυλών.

Παράλληλα έγινε και η εισαγωγή του βαθυμετρικού χάρτη (**Εικ. 4.1**) στο λογισμικό (<http6>).

4.4 Ένωση χαρτών - Γεωαναφορά

Για την δημιουργία ενός ενιαίου χάρτη, πραγματοποιήθηκε ένωση (γεωαναφορά) του βαθυμετρικού χάρτη με το επεξεργασμένο πλέον D.E.M. (**Εικ. 4.4**) και με τις συντεταγμένες του Εθνικού Γεωδαιτικού Συστήματος Αναφοράς (ΕΓΣΑ' 87), με τη χρήση 4 σημείων σύνδεσης (**Εικ. 4.5**).

« **Γεωαναφορά** ονομάζεται η μετατροπή ενός καννάβου (*raster dataset*) από ένα μη πραγματικό σύστημα συντεταγμένων σε ένα πραγματικό σύστημα συντεταγμένων ». Για την διαδικασία αυτή είναι αναγκαία η γνώση της θέσης αναγνωρίσιμων σημείων και στα δύο συστήματα συντεταγμένων. « Τα σημεία ελέγχου χρησιμοποιούνται για την πολυωνυμική μετατροπή, που θα στρεβλώσει την εικόνα από το ένα σύστημα συντεταγμένων στο άλλο » (Σταϊός & Τζιτζίκας, 2007).



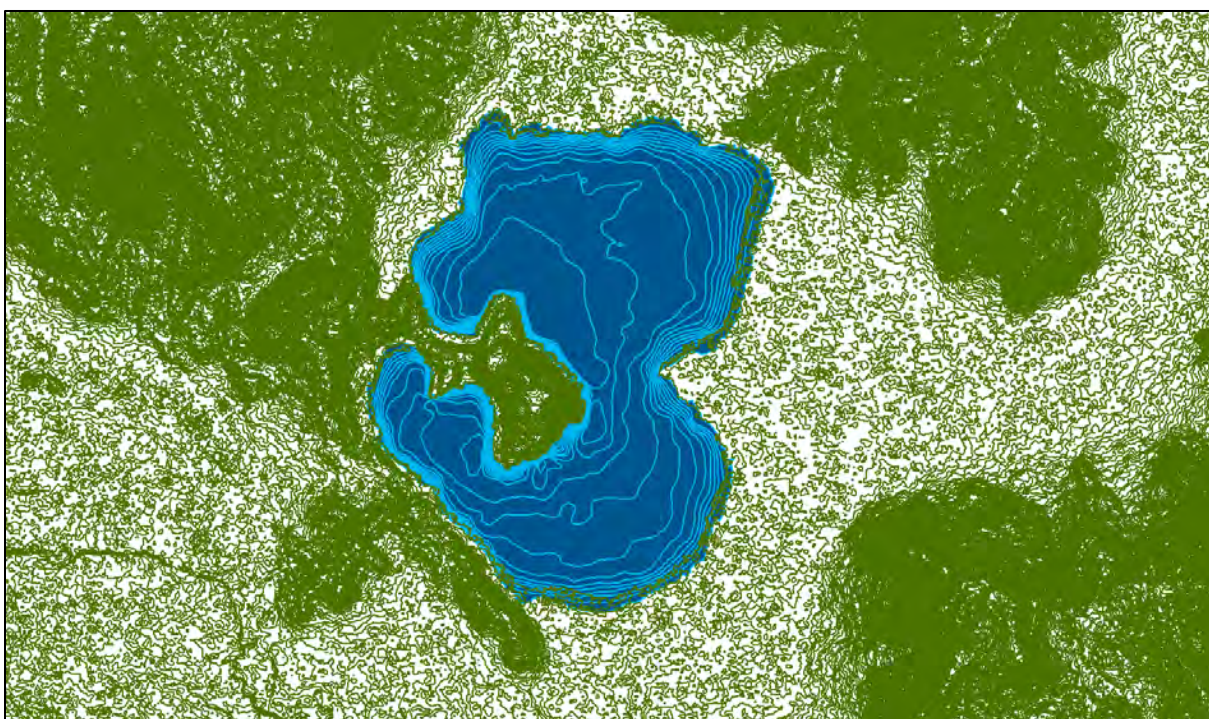
Εικόνα 4.5. Ένωση (Γεωαναφορά) του D.E.M. με τον βαθυμετρικό χάρτη της λίμνης – και τα 4 σημεία σύνδεσής τους (Κόκκινα σημεία).

4.5 Ψηφιοποίηση του χάρτη

Αφού επιτεύχθηκε η δημιουργία του ενιαίου χάρτη με την μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια που επιθυμούσαμε, πραγματοποιήθηκε η διαδικασία της ψηφιοποίησης του χάρτη

και συγκεκριμένα καθεμίας ισοβαθούς με χειροκίνητο τρόπο, δημιουργώντας πολύγωνα τα οποία είναι ορατά στην **Εικόνα 4.6**.

*Τα **πολύγωνα** στα Γ.Σ.Π. είναι κλειστές δισδιάστατες πολυγωνικές γραμμές με τουλάχιστον τρεις πλευρές και περικλείουν εδαφικές ή υδάτινες περιοχές με κοινά ανά κατηγορία χαρακτηριστικά – στη προκειμένη περίπτωση, τις ισοβαθείς. Βασικές ιδιότητες των πολυγώνων αποτελούν το εμβαδόν και η περίμετρός τους (Καρτάλης & Φείδας, 2015).*



Εικόνα 4.6. Τα πολύγωνα της κάθε ισοβαθούς της λίμνης Ορεστιάδας.

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Με την δημιουργία των πολυγώνων ήταν δυνατός πλέον ο υπολογισμός της έκτασης της κάθε ισοβαθούς, από τον πίνακα χαρακτηριστικών του ενιαίου χάρτη (Πίν. 5.1).

Πίνακας 5.1. Έκταση της κάθε ισοβαθούς της λίμνης Ορεστιάδας.

Ισοβαθείς (α/α)	Βάθη από επιφάνεια (m)	Έκταση (Km ²)
1	8,5	0,01
2	8,0	0,05
3	7,5	0,13
4	7,0	0,24
5	6,5	0,64
6	6,0	1,25
7	5,5	2,89
8	5,0	6,63
9	4,5	11,88
10	4,0	15,89
11	3,5	19,58
12	3,0	22,31
13	2,5	23,87
14	2,0	25,02
15	1,5	26,08
16	1,0	27,17
17	0,5	28,45
18	0,0	30,79

Οι λίμνες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο, αφού αποτελούν πηγές γλυκού νερού και υποστηρίζουν δραστηριότητες του ανθρώπου όπως η γεωργία, οι εκτροφές ιχθύων αλλά και αναψυχή. Υπάρχουν, όμως, παράγοντες που επηρεάζουν τον χρόνο ζωής τους. Αυτοί είναι ο ρυθμός καθίζησης και το ποσοστό απόσυρσης του νερού. Η διαδικασία καθίζησης εξαρτάται από ένα πλήθος βιοφυσικών και ανθρωπογενών παραγόντων, όπως το μέγεθος της λίμνης,

το κλίμα, οι χρήσεις γης κ.α., ενώ οι μεγαλύτερες αποσύρσεις νερού προέρχονται από την γεωργία, την εγχώρια και την βιομηχανική κατανάλωση (Dost & Mannaerts, 2005).

Ο όγκος, επομένως, μίας λίμνης αποτελεί βασική πληροφορία για τους επιστήμονες και τους διαχειριστές, αφού τον χρησιμοποιούν για τον υπολογισμό του ρυθμού καθίζησης και απόσυρσης, την εκτίμηση του υδραυλικού χρόνου παραμονής του νερού στη λίμνη, για μοντέλα συγκεντρώσεων των ρύπων και των θρεπτικών συστατικών, και επομένως τον υπολογισμό της παραγωγικότητάς της (Hollister & Milstead, 2010).

Ψηφιοποιώντας τον βαθυμετρικό χάρτη της λίμνης Ορεστιάδας και χωρίζοντας την έκτασή της σε ισοβαθείς μπορέσαμε να υπολογίσουμε τον επιμέρους όγκο της κάθε ισοβαθούς, καθώς και τον συνολικό όγκο. Τα αποτελέσματα αυτά αναλύθηκαν και εμφανίστηκαν στη συνέχεια στον συγκεντρωτικό **Πίνακα 5.2** που φαίνεται παρακάτω. Στο απόλυτο υψόμετρο της λίμνης που είναι 630 m (Mantzafleri et al., 2009) – στην επιφάνεια της λίμνης δηλαδή – ο συνολικός της όγκος υπολογίστηκε στα 113,87 Km³ και η έκτασή της στα 30,79 Km². Από το διάγραμμα (**Σχ. 5.1**) που σχηματίστηκε, εξήχθη οι παρακάτω εξισώσεις:

$$\text{a) } y = 0,1101x^2 - 133,49x + 40420$$

$$\text{b) } y = 2,4673x^2 - 3074,6x + 957855$$

Όπου η **(a)** αναπαριστά τη σχέση της **έκτασης** της λίμνης με το απόλυτο υψόμετρό της και η **(b)** αναπαριστά τη σχέση του **όγκου** με το απόλυτο υψόμετρο της λίμνης. Οι εξισώσεις αυτές, όμως, και συγκεκριμένα η εξίσωση (a) δεν αποδίδει την πραγματική σχέση – φυσική ερμηνεία – της έκτασης με το απόλυτο υψόμετρο της λίμνης, όπως φαίνεται και στο **Σχ. 5.1**, με την καμπύλη να αρχίζει από αρνητική τιμή, το - 5, και να μην εμφανίζει καμπυλότητα. Για τον λόγο αυτό και για χάρη της φυσικής ερμηνείας των αποτελεσμάτων, αφαιρέθηκαν

οι εκτάσεις από τα 5 πρώτα βάθη της λίμνης τα οποία είχαν τιμές $< 0,5 \text{ Km}^2$. Η αφαίρεση αυτή δεν επηρέασε τις τιμές του όγκου (Πίν. 5.3) με τον συνολικό όγκο να έχει τελική τιμή $113,02 \text{ Km}^3$, 0,85 μικρότερη δηλαδή από την αρχική τιμή του στο Σχήμα 5.1, που θεωρείται αμελητέα. Οι νέες αποδεκτές εξισώσεις, λοιπόν, που φαίνονται και στο Σχήμα 5.2 είναι:

$$\text{a) } y = -0,7241x^2 + 912,95x - 287747$$

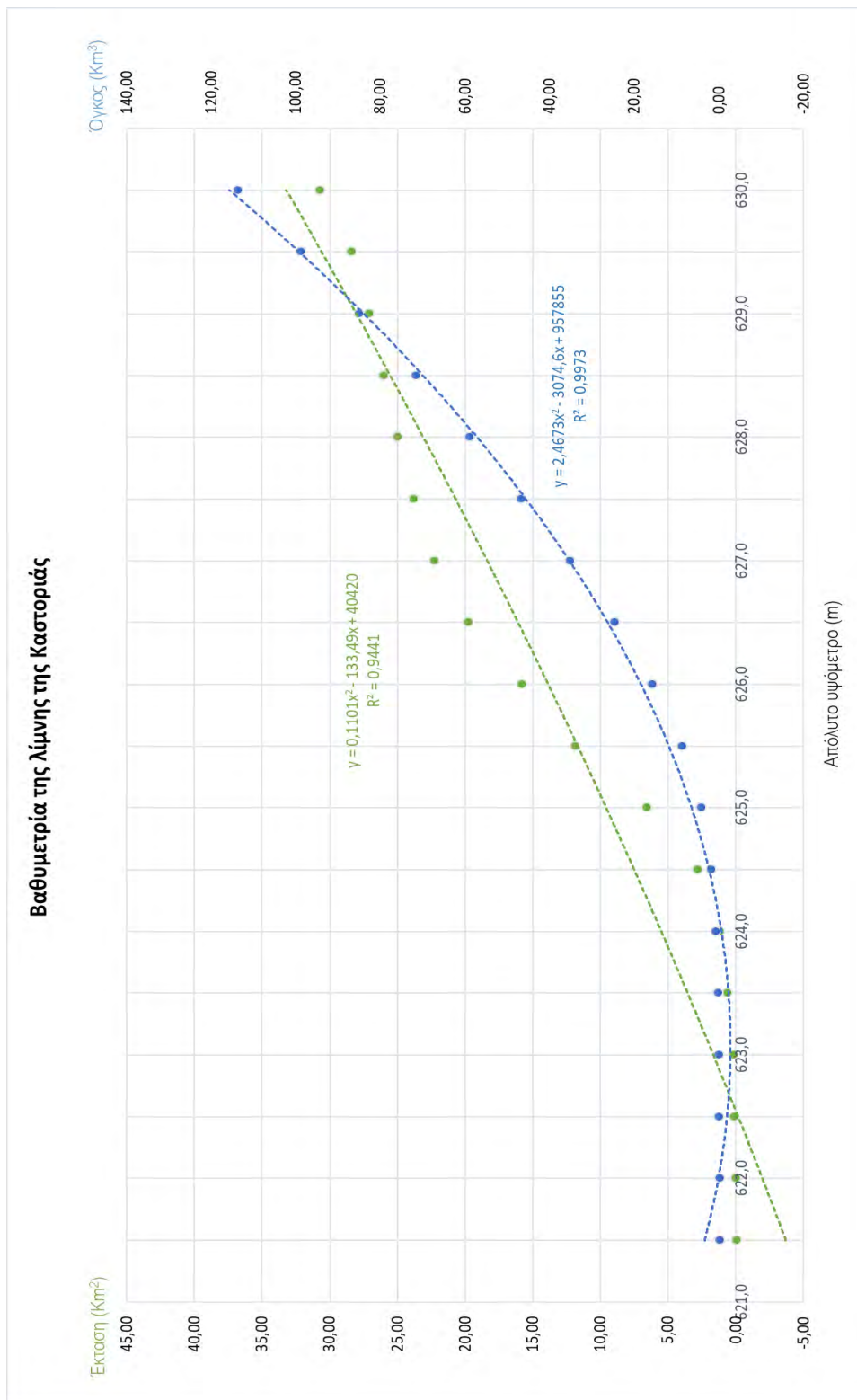
$$\text{b) } y = 2,4678x^2 - 3075x + 957885$$

Η τιμή R^2 και για τις δύο εξισώσεις υπολογίστηκαν $> 0,7$ που σημαίνει πως οι παλινδρομικές γραμμές αναπαριστούν τις πραγματικές σχέσεις που προαναφερθήκαν. Οι σχέσεις αυτές θα αποτελέσουν σημαντικό εργαλείο για την μελέτη και διαχείριση της λίμνης της Καστοριάς.

Να σημειώσουμε, τέλος, πως έχουν πραγματοποιηθεί παρόμοιες μελέτες που σχετίζονται με την βαθυμετρία και τον υπολογισμό του όγκου ή της έκτασης μίας λίμνης, όπως οι Α. Ψιλοβίκος και Α. Παλικαρίδου Α. (1999), που αφορά τη λίμνη Κάρλα, οι Agnieszka E. Lawniczak et. al (2011), που μελετήσανε την μορφομετρία και την βαθυμετρία των λιμνών Niepruszewskie και Tomickie στη Πολωνία, οι Junbo Wang et al. (2009), που εξετάσαν την λίμνη Nam Co στη Κίνα, καθώς και οι I. Tsolakidis και M. Vafiadis (2018), που σχετίζεται με την λίμνη Κερκίνη.

Πίνακας 5.2. Σχέση απόλυτου υψόμετρου – όγκου της λίμνης.

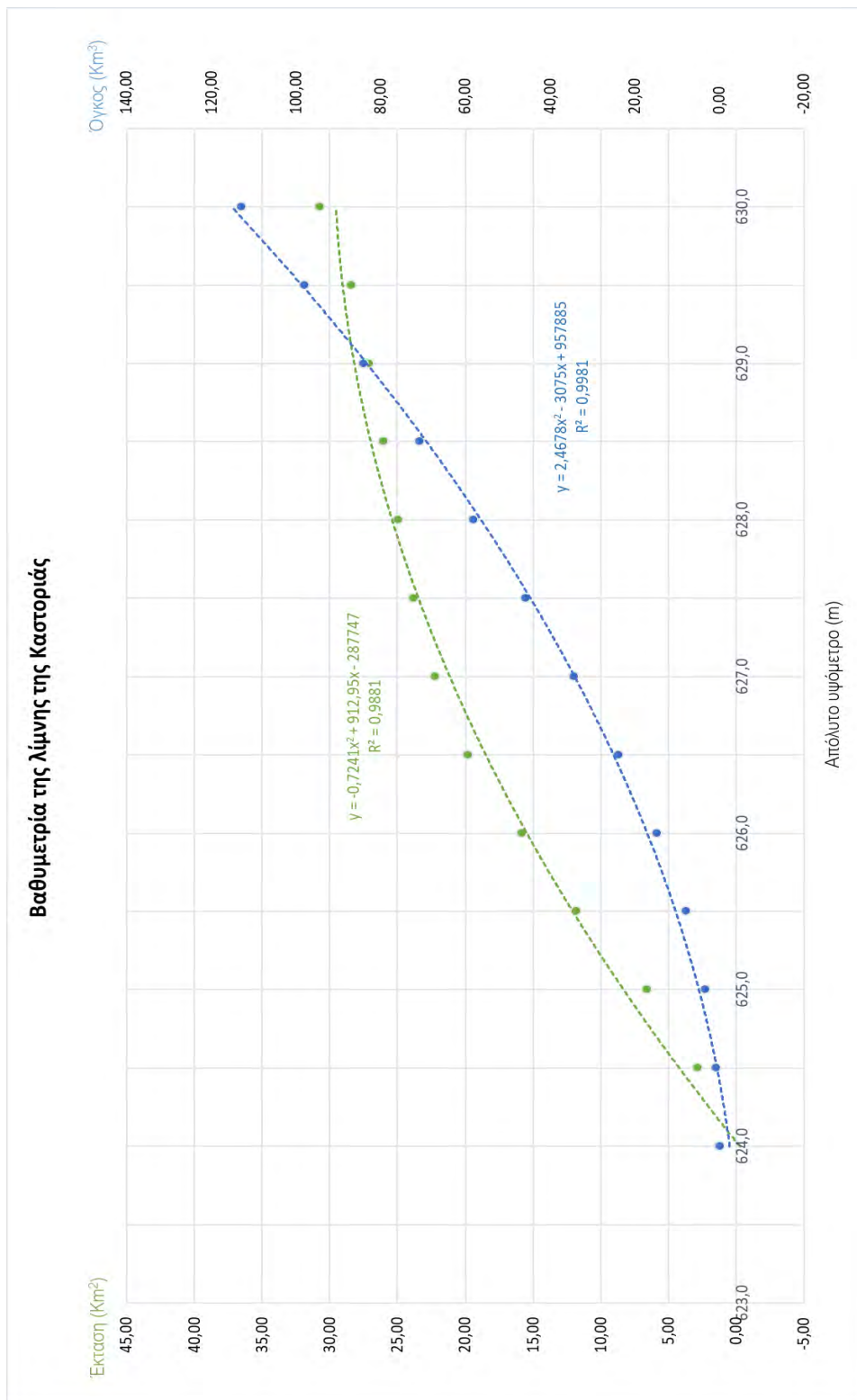
Απόλυτο υψόμετρο (m)	Όγκος (Km³)
621,5	0,00
622,0	0,02
622,5	0,06
623,0	0,15
623,5	0,37
624,0	0,85
624,5	1,88
625,0	4,26
625,5	8,89
626,0	15,83
626,5	24,76
627,0	35,30
627,5	46,85
628,0	59,07
628,5	71,85
629,0	85,16
629,5	99,06
630,0	113,87



Σχήμα 5.1. Διάγραμμα έκτασης – απόλυτου υψομέτρου (Πράσινη γραμμή) και όγκου – απόλυτου υψομέτρου (Μπλε γραμμή), και οι αντίστοιχες ρητές σχέσεις τους.

Πίνακας 5.3. Σχέση απόλυτου υψόμετρου – όγκου της λίμνης.

Απόλυτο υψόμετρο (m)	Όγκος (Km³)
624,0	0,00
624,5	1,03
625,0	3,42
625,5	8,04
626,0	14,98
626,5	23,92
627,0	34,46
627,5	46,00
628,0	58,22
628,5	71,00
629,0	84,31
629,5	98,22
630,0	113,02



Σχήμα 5.2. Διάγραμμα έκτασης – απόλυτου υψομέτρου (Πράσινη γραμμή) και όγκου – απόλυτου υψομέτρου (Μπλε γραμμή), και οι αντίστοιχες ρητές σχέσεις τους.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

6.1 Ελληνική βιβλιογραφία

- **Βαϊόπουλος, Α., Νικολακόπουλος, Κ., Σκιάνης, Α. (2002).** Δημιουργία ψηφιακών μοντέλων ανάγλυφου με ψηφιοποίηση ισοϋψών από τοπογραφικούς χάρτες και στατιστική ποσοτικοποίηση του σφάλματος που υπεισέρχεται κατά την κατασκευή τους. Πανελλήνια και Διεθνή Γεωγραφικά Συνέδρια, Συλλογή Πρακτικών, 2, 63 – 70.
- **Βαφειάδης, Π. (1983).** Υδρολογική Μελέτη της Λεκάνης Καστοριάς. Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Τμήμα Γεωλογίας.
- **Γεράκης, Π.Α., Σ. Τσιούρης, Τσιαούση Β. (2007).** Υδατικό καθεστώς και βιωτή υγροτόπων - Προτεινόμενη ελάχιστη στάθμη λιμνών και παροχή ποταμών Μακεδονίας και Θράκης. Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων - Υγροτόπων.
- **Δρούγκα, Π. (2006).** Γεωμορφολογική Μελέτη της Λίμνης της Καστοριάς. Πτυχιακή Διατριβή, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας, σελ. 117.
- **Ζαρκαδάς, Π. (2005).** Διαχείριση των υδατικών πόρων της λεκάνης απορροής της Λίμνης Καστοριάς και προσδιορισμός του υδατικού της ισοζυγίου. Πτυχιακή διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Διαχείρισης Αγροτικού Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, σελ. 173.

- **Καρασαββίδου, Ο. (2018).** Διερεύνηση της ποιότητας του νερού της Λίμνης Καστοριάς (Ορεστιάδα). Προπτυχιακή διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας, Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, σελ. 90.
- **Καρτάλης, Κ., Φείδας, Χ. (2015).** Αρχές και Εφαρμογές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, σελ. 610.
- **Κουσούρης, Θ. Σ. (1998).** Το νερό στη φύση, στην ανάπτυξη, στην προστασία του περιβάλλοντος. Μονογραφίες θαλασσιών επιστημών. Εθνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών, 188.
- **Κωτούλας, Δ. (1994).** Μελέτη για την εξυγίανση και αξιοποίηση της Λίμνης της Καστοριάς, Προστασία της λίμνης από Προσχώσεις, Ερευνητικό έργο ΑΠΘ.
- **Λαζαρίδου, Π., Στουρνάρας, Χ. (2017).** Η χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και της Τηλεπισκόπησης στον καθορισμό υδρολογικών λεκανών. Η περίπτωση της λίμνης Βεγορίτιδας. Προπτυχιακή διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας, Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, σελ. 77.
- **Σωτηριάδης & Ψιλοβίκος (1976).** Ασκήσεις Γεωμορφολογίας, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις, Α.Π.Θ.
- **Μάρης, Φ. (1997).** Το χειμαρρικό περιβάλλον της λίμνης Καστοριάς, Επιστημονική Επετηρίδα του Τμήματος Δασολογίας & Φυσικού Περιβάλλοντος.

- **Μαντζαφλέρη, Ν. (2007).** Χωρική προσομοίωση της ποιότητας των υδάτων της λίμνης Καστοριάς. Μεταπτυχιακή διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας, Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος.
- **Ντάφης, Σ., Παπαστεργιάδου, Ε., Λαζαρίδου, Ε., Τσιαφούλη, Μ. (2001).** Τεχνικός Οδηγός Αναγνώρισης, Περιγραφής και Χαρτογράφησης Τύπων Οικοτόπων της Ελλάδας. Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων - Υγροτόπων (ΕΚΒΥ).
- **Παναγιωτίδης, Π. (1999).** Υδατικά οικοσυστήματα: Εσωτερικά ύδατα, Ελληνικό Κέντρο Θαλασσιών Ερευνών (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε).
- **Παπαφίλιππου - Πέννυ, Ε., Ψιλοβίκος, Α., Βαβλιάκης, Ε., Παλικαρίδης, Χ. (1998).** Επίδραση της νεοτεκτονικής στην εξέλιξη του υδρογραφικού συστήματος του ρέματος. Πανελλήνια και Διεθνή Γεωγραφικά Συνέδρια, Συλλογή Πρακτικών.
- **Σίνης, Α. (2005).** Λιμνολογία – Θεωρία και ασκήσεις. University Press Studio.
- **Τολίκας, Δ., Μυλόπουλος, Γ. (2000).** Προσδιορισμός παροχών, φερτών υλών και ποιότητας του νερού των χειμάρρων-ρεμάτων της λεκάνης απορροής της λίμνης Καστοριάς. Διερεύνηση τάσεων και εφαρμογή εναλλακτικών σεναρίων μείωσης φόρτου. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδραυλικής & Τεχνικής Περιβάλλοντος. Θεσσαλονίκη.

- **Τσόμπος, Π. & Συνεργάτες (2011).** Εκπόνηση Βυθομετρικών και ιζηματολογικών ερευνών στον πυθμένα της λίμνης Καστοριάς. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών.
- **Χριστοδουλάκη, Σ. (2003).** Διαχείριση Υδατικών Πόρων λεκανών απορροής Ηρακλείου Κρήτης. Διδακτορική Διατριβή.
- **Ψιλοβίκος, Α. (2014).** Οικοϋδραυλική. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, σελ. 536.
- **Ψιλοβίκος, Α. και Ζαρκάδας Π. (2006).** Διαχείριση των υδατικών πόρων της λεκάνης απορροής της λίμνης Καστοριάς. Πρακτικά 10ου Πανελληνίου Συνεδρίου ΕΥΕ, Ξάνθη.
- **Ψιλοβίκος, Σ., & Παλικαρίδου, Α. (1999).** Μεταβολές της στάθμης της έκτασης και του όγκου της τέως λίμνης Κάρλας κατά το χρόνο λειτουργίας της. *Πανελλήνια και Διεθνή Γεωγραφικά Συνέδρια, Συλλογή Πρακτικών*, 14-19.

6.2 Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- **Dillon, P. J., & Rigler, F. H. (1975).** A simple method for predicting the capacity of a lake for development based on lake trophic status. *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 32(9), 1519-1531.
- **Dost, R. J. J., & Mannaerts, C. M. M. (2008, August).** Generation of lake bathymetry using sonar, satellite imagery and GIS. In *Proceedings of the 2008 ESRI international user conference*.

- **Hollister, J., & Milstead, W. B. (2010).** Using GIS to estimate lake volume from limited data. *Lake and Reservoir Management*, 26(3), 194-199.
- **Ławniczak, A. E., Choiński, A., & Kurzyca, I. (2011).** Dynamics of Lake Morphometry and Bathymetry in Various Hydrological Conditions. *Polish Journal of Environmental Studies*, 20(4).
- **Mantzafleri, N., Psilovikos, A., & Blanta, A. (2009).** Water quality monitoring and modeling in Lake Kastoria, using GIS. Assessment and management of pollution sources. *Water resources management*, 23(15), 3221-3254.
- **Mourkides, G., & Tsiouris, S. E. (1984).** Lakes of northern Greece. Eutrophication in lakes Koronia and Kastoria, 1980-1981. Γεωργική έρευνα (Agricultural research).
- **Stanković, S. (1931).** Sur les particularités limnologiques des lacs égéens: Avec 8 figures dans le texte. *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen*, 5(1), 158-196.
- **Strahler, A. N. (1964).** Part II. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. *Handbook of Applied Hydrology: McGraw-Hill, New York*, 4-39.
- **Toutin, T. (2001).** Elevation modelling from satellite visible and infrared (VIR) data. *International Journal of Remote Sensing*, 22(6), 1097-1125.

- **Tsolakidis, I., & Vafiadis, M. (2018).** MODERN MAPPING TECHNOLOGIES FOR MORPHOMETRY DYNAMICS OF KERKINI RESERVOIR.
- **Wang, J., Zhu, L., Daut, G., Ju, J., Lin, X., Wang, Y., & Zhen, X. (2009).** Investigation of bathymetry and water quality of Lake Nam Co, the largest lake on the central Tibetan Plateau, China. *Limnology*, 10(2), 149-158.
- **Wetzel, R. G. (2001).** *Limnology: lake and river ecosystems*. gulf professional publishing.

6.3 Ηλεκτρονική βιβλιογραφία

- **http1:** <http://www.thetoc.gr/taksidia/article/periigisi-sti-limni-tis-kastorias>
- **http2:** <http://www.ypeka.gr>
- **http3:** <https://gdex.cr.usgs.gov/gdex/>
- **http4:** <https://support.esri.com/en/other-resources/gis-dictionary>
- **http5:** <https://garyk500.wordpress.com/2011/04/07/generate-smooth-contours-from-dem-arcgis-modelbuilder/>
- **http6:** <https://gis.stackexchange.com/questions/43307/convert-a-jpg-map-into-a-shapefile>

7. ABSTRACT

The lake of the city of Kastoria (Lake Orestiada) is a shallow lake, the depth of which is less than 10 m, and is located in the northeastern part of Kastoria Prefecture in northwest Greece, with an altitude of 620 m above sea level. The lake is a significant factor in the development of the surrounding area, since its natural abundance provides water to coastal agricultural and livestock activities, as it is also a pole of attraction for thousands of visitors each year. Knowing, therefore, the hydrological characteristics of the lake, such as its area, level and volume, is basic information for the monitoring and management of this aquatic ecosystem. This work aims at the evaluation of such information, using the Geographic Information Systems, and at the calculation of two equations that will make up important tools for the direct measurement of the volume and surface of Lake Orestiada.

Keywords: Geographic Information System (G.I.S.), Lake of Kastoria, Lake Orestiada, volume – absolute water level correlation, area – absolute water level correlation