



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ
& ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Η χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και της Τηλεπισκόπησης στον καθορισμό
υδρολογικών λεκανών. Η περίπτωση της λίμνης Βεγορίτιδας»**

Λαζαρίδου Πολυξένη
Στουρνάρας Χρήστος

Βόλος, 2017

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.**

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	4
Περίληψη	5
1. Εισαγωγή	7
1.1 Υδατικοί Πόροι στην Ελλάδα.....	7
1.2 Λεκάνη Απορροής	8
1.3 Ψηφιακή Αναπαράσταση Αναγλύφου	13
1.4 Σκοπός της εργασίας.....	22
2. Περιοχή Μελέτης.....	23
2.1 Γεωλογία.....	25
2.2 Εδαφολογία.....	28
2.3 Μορφολογικά Χαρακτηριστικά.....	29
2.4 Λιμνολογικά Χαρακτηριστικά.....	30
2.5 Χρήσεις γης.....	32
3. Νομοθεσία.....	36
4. Μεθοδολογία.....	45
5. Αποτελέσματα – Συζήτηση.....	61
Abstract.....	77

Στις οικογένειες μας...

Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ειλικρινείς μας ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στο να περατωθεί η παρούσα Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Ιδιαίτερα θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον Επιβλέποντα της εργασίας αυτής, Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Άρη Ψιλοβίκο για την πολύτιμη βοήθεια του και τη διαρκή καθοδήγηση και υποστήριξη του.

Ιδιαίτερα σημαντική κατά την πορεία της εργασίας αυτής ήταν η συνεργασία μας με τον κ. Χρήστο Δομενικιώτη, μέλος της Εξεταστικής Επιτροπής, για τις ουσιαστικές παρατηρήσεις που μας έκανε αλλά και για την ευγένεια με την οποία δέχθηκε να αξιολογήσει την παρούσα πτυχιακή εργασία.

Ακόμη, σημαντικά στοιχεία μας δόθηκαν από την Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας και συγκεκριμένα από το Τμήμα Υδάτων και θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους υπεύθυνους για την εμπιστοσύνη που μας έδειξαν δίνοντας μας στοιχεία μετρήσεων της περιοχής μελέτης μας.

Θα ήταν παράλειψη μας να μην ευχαριστήσουμε θερμά την υποψήφια διδάκτορα κα Λίνα Καραμούτσου για τις αμέτρητες ώρες προσωπικής εργασίας που κατέβαλε, ανιδιοτελώς, με σκοπό να δημιουργηθεί μια αξιόλογη πτυχιακή διατριβή.

Επίσης θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε όλους εκείνους τους φίλους και φίλες για την υποστήριξη και την υπομονή τους αλλά και για το ευχάριστο κλίμα που δημιούργησαν κατά τη διάρκεια των πέντε ετών φοίτησης μας στο Βόλο καθώς και για την αμέριστη συμπαράσταση τους κατά τη διάρκεια διεξαγωγής της παρούσας εργασίας.

Τέλος, θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μας στις οικογένειες μας, οι οποίες μας στήριξαν σε κάθε δυσκολία, ψυχολογική και οικονομική, σε όλη τη διάρκεια της φοίτησης μας καθώς και για την αμέριστη συμπαράσταση και προ πάντων κατανόηση και ανοχή τους.

Περίληψη

Οι υδατικοί πόροι δεν είναι απεριόριστοι και αυτός είναι ο λόγος που συνίσταται αναγκαία η σωστή διαχείριση τους. Έχει αποδειχθεί ότι σε χώρες που αντιμετωπίζουν προβλήματα ανομβρίας και λειψυδρίας, οι υδατικοί πόροι δεν είναι επαρκείς και για το λόγο αυτό χρειάζονται επιχειρησιακά μέτρα αειφορικής διαχείρισης των διαθέσιμων αποθεμάτων, έτσι ώστε, οι χώρες αυτές να μην αντιμετωπίζουν προβλήματα ανάπτυξης. Η Ελλάδα είναι μια από τις χώρες που τα υδατικά της αποθέματα βρίσκονται σε πολύ καλή κατάσταση ποιότητας και ποσότητας σε σχέση και με άλλες ευρωπαϊκές χώρες. Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ) συνδυάζουν γεωγραφικά χαρακτηριστικά με πίνακες δεδομένων με σκοπό να χαρτογραφήσουν, να αναλύσουν και να αξιολογήσουν υπαρκτά προβλήματα της πραγματικότητας τα οποία μπορούν να αποδοθούν γεωγραφικά (Κουκάκης, 2017). Η χαρακτηριστική δυνατότητα που παρέχουν τα ΓΣΠ είναι η σύνδεση της χωρικής με την περιγραφική πληροφορία, η οποία από μόνη της δεν έχει καμία χωρική υπόσταση. Τα ΓΣΠ αποτελούν έναν μηχανισμό παραγωγής χαρτών υψηλής ποιότητας και μας διευκολύνουν στην εκτέλεση σύνθετων αναλύσεων (Αντωνίου, 2000). Περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας είναι το δίκτυο λιμνών της ευρύτερης περιοχής του Δήμου Αμυνταίου στη Δυτική Μακεδονία και αφορά τις λίμνες Ζάζαρη, Χειμαδίτιδα, Πετρών και Βεγορίτιδα. Η συγκεκριμένη περιοχή έχει έντονη γεωργική και βιομηχανική δραστηριότητα, γεγονός που επηρεάζει άμεσα το υπό μελέτη δίκτυο λιμνών. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι

- Ο σχεδιασμός της λεκάνης απορροής της λίμνης Βεγορίτιδας, του υδρογραφικού δικτύου, του υδροκρίτη και των ισουψών με τη χρήση γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών.
- Η σύγκριση μεταξύ της χειροκίνητης και της αυτοματοποιημένης μεθόδου στα παραπάνω.

Αυτό που προκύπτει τελικά είναι ότι η αυτοματοποιημένη μέθοδος δίνει καλύτερα αποτελέσματα από τη χειροκίνητη μέθοδο και αυτό διότι μας δίνει πρόσβαση σε ακριβείς πληροφορίες και την δυνατότητα άμεσης επεξεργασίας τους με μεγάλη ακρίβεια. Παρόλα αυτά

πρέπει κανείς να είναι γνώστης της περιοχής μελέτης για την διόρθωση τυχόν σφαλμάτων που μπορεί να προκύψουν από τη μέθοδο όπως η αστοχία κάποιας συντεταγμένης από τον δορυφόρο.

Λέξεις κλειδιά: Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ), υδρολογική λεκάνη, αυτοματοποιημένη μέθοδος, λίμνη Βεγορίτιδα

1. Εισαγωγή

1.1 Υδατικοί Πόροι στην Ελλάδα

Στους υδατικούς πόρους περιλαμβάνεται το σύνολο του νερού που «παράγεται» μέσα στην χώρα μαζί με την εξωτερική συνεισφορά νερού από γειτονικές χώρες. Στην Ελλάδα το 80% των υδατικών πόρων είναι από εσωτερικούς πόρους και το 20% από εξωτερική συνεισφορά (Λουκάς, 2012).

Η Ελλάδα λόγω της γεωγραφικής της θέσης, της γεωμορφολογικής της σύστασης και της τεκτονικής της δομής χαρακτηρίζεται ως σχεδόν άνυδρη χώρα. Αυτό προκύπτει και από το ξηροθερμικό κλιματικό περιβάλλον που επικρατεί στο μεγαλύτερο μέρος της χώρας. Η συνολική επιφάνεια της χώρας, η οποία ανέρχεται στα 131.990 m², καλύπτεται με (Αγγελάκης & Κοτσελίδου, 1996):

- επιφανειακούς υδατικούς πόρους συνολικής επιφάνειας 2200 Km², δηλαδή ποσοστό κάλυψης 1.6%,
- Οι φυσικές και οι τεχνητές λίμνες καλύπτουν έκταση τάξεως 956 Km², δηλαδή σε ποσοστό 47.2%,
- οι λιμνοθάλασσες 288 Km², δηλαδή σε ποσοστό 14.2%,
- οι ποταμοί έχουν μήκος 4268 m² και
- οι εκβολές ποταμών με τα δέλτα τους καλύπτουν έκταση 723 Km², δηλαδή σε ποσοστό 35.7% το οποίο και μειώνεται με το πέρασμα του χρόνου λόγω έργων αποξήρανσης και διευθέτησης τους.

Η δυτική Ελλάδα έχει τη μεγαλύτερη κάλυψη με εσωτερικά νερά της τάξης των 444 Km² λόγω του μεγάλου ποσού βροχής που δέχεται σε σχέση με τις άλλες περιοχές, οι οποίες είναι η κεντρική Μακεδονία με 386 Km², η Ήπειρος με 337 Km², η ανατολική Μακεδονία και Θράκη με 316 Km², η δυτική Μακεδονία με 213 Km², η Στερεά Ελλάδα με 159 Km², ενώ μικρότερες εκτάσεις με εσωτερικά ύδατα και υγροτοπικές περιοχές έχουν η Θεσσαλία με 59 Km², τα νησιά του βόρειου Αιγαίου με 33 Km², τα Ιόνια νησιά με 22 Km², η Κρήτη με 14 Km², τα νησιά του νότιου Αιγαίου με 7 Km² και τέλος η Αττική με 5 Km² (Αγγελάκης & Κοτσελίδου, 1996).

Η μέση κατανάλωση νερού στην Ελλάδα αγγίζει τα $5.500 \text{ hm}^3/\text{έτος}$ δηλαδή $5.500 * 10^6 \text{ m}^3/\text{yr}$. Στην άρδευση από αυτά καταναλώνονται περίπου 84-85 %, στην ύδρευση 13-15 % και στη βιομηχανία 2-4 % (Κουπνίς, 1986).

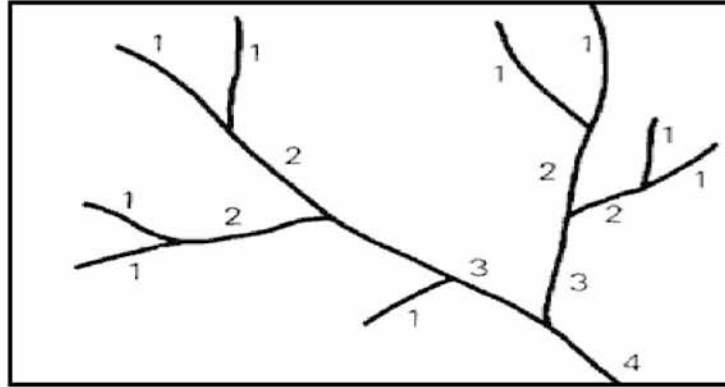
1.2 Λεκάνη Απορροής

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).

Η έξοδος της λεκάνης απορροής, γίνεται μέσω ενός στομίου, το οποίο βρίσκεται στο χαμηλότερο υψόμετρο της λεκάνης και μπορεί να εκβάλει είτε σε μια λίμνη (εσωτερική λεκάνη) είτε στη θάλασσα (εξωτερική λεκάνη). Η λεκάνη απορροής αποτελεί τη μικρότερη μονάδα αναφοράς σε προβλήματα διαχείρισης υδατικών πόρων. Τα εξωτερικά όρια της λεκάνης απορροής τα καθορίζει ο υδροκρίτης ή η υδροκριτική γραμμή. Ο υδροκρίτης αποτελεί τη φυσική γραμμή διαχωρισμού της επιφανειακής απορροής σε διάφορες κατευθύνσεις. Αποτελεί τη νοητή γραμμή που ενώνει τα υψηλότερα σημεία των υψωμάτων της επιφάνειας της Γης (εξάρματα, λόφοι, βουνοκορφές) και διαχωρίζει τη ροή των όμβριων υδάτων. Το υδρογραφικό δίκτυο είναι ένα δίκτυο ρυακίων, χειμάρρων, ποταμών, φυσικών ή τεχνητών αγωγών αποστράγγισης και λιμνών, μέσω του οποίου οδεύουν τα νερά των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων και καταλήγουν στην έξοδο της λεκάνης απορροής. Το νερό ρέει μέσω των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου, με φορά από τα σημεία με το μεγαλύτερο υψόμετρο προς τα σημεία με το χαμηλότερο (Ψιλοβίκος, 2014).

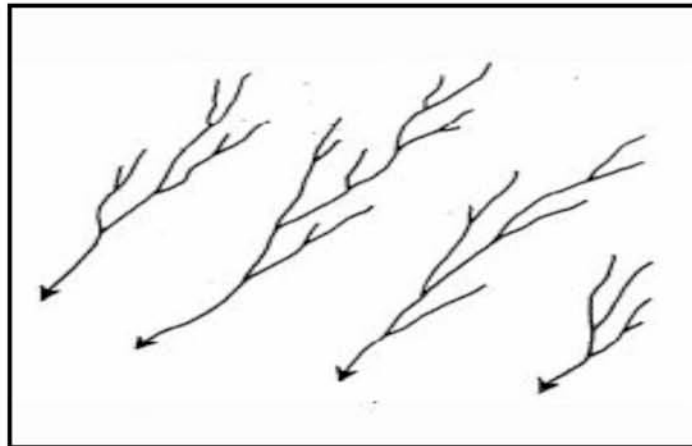
Τα υδρογραφικά δίκτυα ανάλογα με τη μορφή τους χωρίζονται στις εξής κατηγορίες (Παπαφιλίππου κ.ά., 1998):

- Δενδριτική μορφή: είναι η απλούστερη μορφή υδρογραφικού δικτύου, η οποία προκύπτει από τη δράση ποτάμιων διεργασιών σε περιοχές ομογενών εδαφών χωρίς έντονη γεωλογική δομή



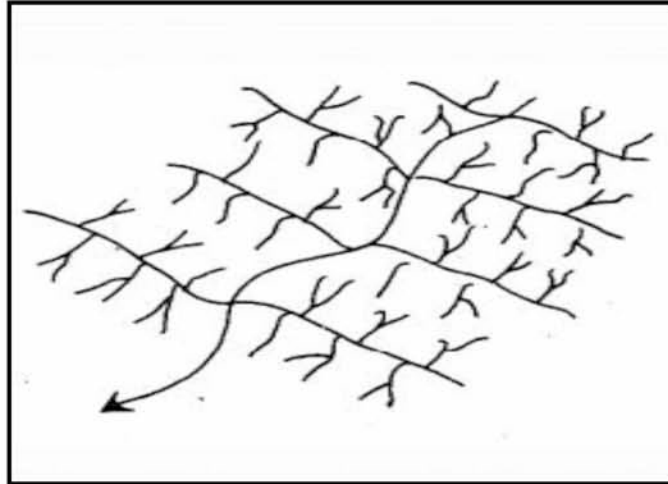
Σχήμα 1.2.1: Απεικόνιση δένδριτικής μορφής υδρογραφικού δικτύου (Strahler, 1964)

- Παράλληλη μορφή: αναπτύσσεται εκεί όπου υπάρχει απότομη κλίση πετρωμάτων σε ένα πεδίο όπου επιβάλλει μια επιλεκτική κατεύθυνση του υδρογραφικού δικτύου.



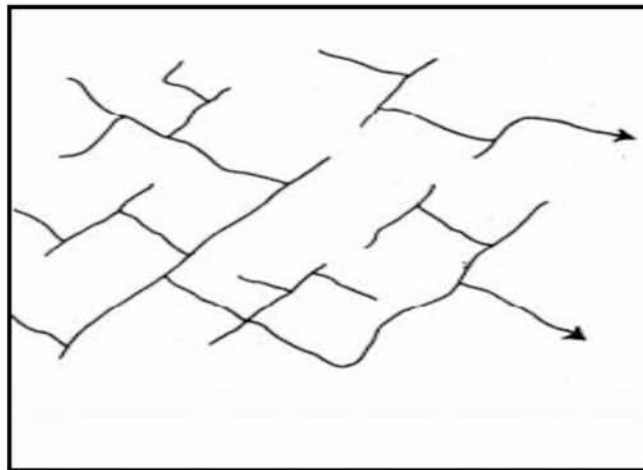
Σχήμα 1.2.2: Απεικόνιση παράλληλης μορφής υδρογραφικού δικτύου (Λουπασάκης, 2014)

- Κλιμακωτή μορφή: ύπαρξη απότομης κλίσης πετρωμάτων και ισχυρής γεωλογικής δομής, που οφείλεται στην παρουσία πτυχωμένων μεταμορφωμένων πετρωμάτων.



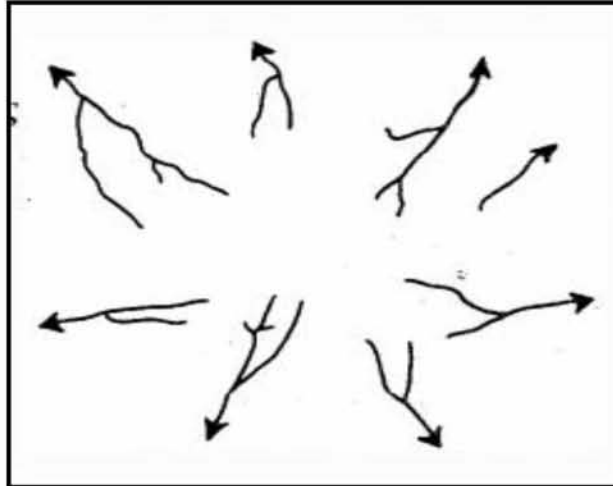
Σχήμα 1.2.3: Απεικόνιση κλιμακωτής μορφής υδρογραφικού δικτύου (Λουπασάκης, 2014)

- Ορθογώνια μορφή: σχετίζεται με ισχυρή γεωλογική δομή, η οποία οφείλεται στην ύπαρξη διακλάσεων και ρηγμάτων κάθετων μεταξύ τους



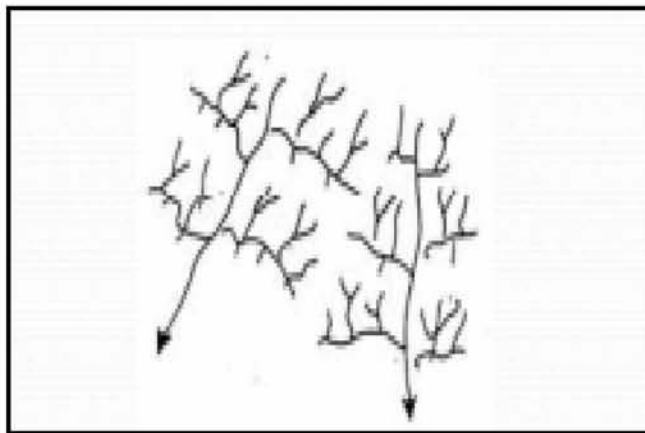
Σχήμα 1.2.4: Απεικόνιση ορθογώνιας μορφής υδρογραφικού δικτύου (Λουπασάκης, 2014)

- Ακτινωτή μορφή: εμφανίζεται γύρω από μια γεωλογική δόμη ή ηφαίστειο και είναι ενδεικτική παλαιότερης ή ακόμα και σύγχρονης τεκτονικής - ηφαιστειακής δραστηριότητας



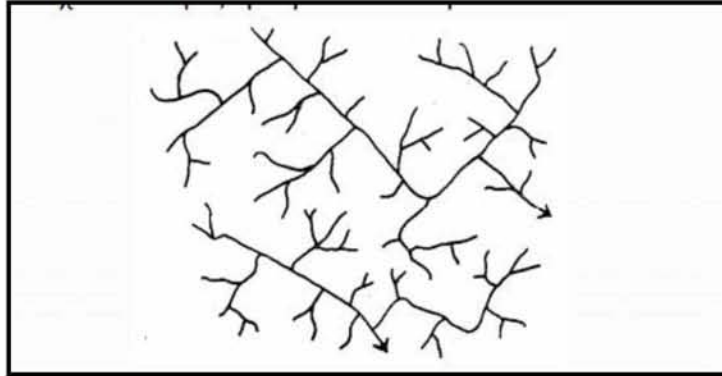
Σχήμα 1.2.5: Απεικόνιση ακτινωτής μορφής υδρογραφικού δικτύου (Λουπασάκης, 2014)

- Διευρυνόμενη κλιμακωτή μορφή: είναι η μονόπλευρη ανάπτυξη μικρότερων κλάδων



Σχήμα 1.2.6: Απεικόνιση διευρυνμένης κλιμακωτής μορφής υδρογραφικού δικτύου (Λουπασάκης, 2014)

- Συνδιασμένες μορφές: Στη φύση πολυ συχνά έχουμε συνδιασμούς των προαναφερόμενων μορφών



Σχήμα 1.2.7: Απεικόνιση συνδιασμένων μορφών υδρογραφικού δικτύου (Λουπασάκης, 2014)

Οι μορφομετρικές παράμετροι των λεκανών απορροής χωρίζονται σε μετρούμενες και υπολογιζόμενες και είναι οι εξής (Ψιλοβίκος, 2014):

- Μετρούμενες παράμετροι:
 1. Το εμβαδόν της επιφάνειας της λεκάνης απορροής (A),
 2. Το μέγιστο μήκος της λεκάνης απορροής (L_{bmax}),
 3. Το μέγιστο τοπικό ανάγλυφο της λεκάνης απορροής (H),
 4. Η περίμετρος της λεκάνης απορροής (P)

- Υπολογιζόμενες παράμετροι:
 1. Η υδρογραφική πυκνότητα (D_u),
 2. Η υδρογραφική συχνότητα (F_u),
 3. Ο λόγος ανάγλυφου (R_h),
 4. Η κυκλότητα (C_u),
 5. Ο βαθμός τραχύτητας (R_n),
 6. Το υψομετρικό ολοκλήρωμα (H_i),
 7. Ο λόγος επιμήκυνσης της λεκάνης (E_r)

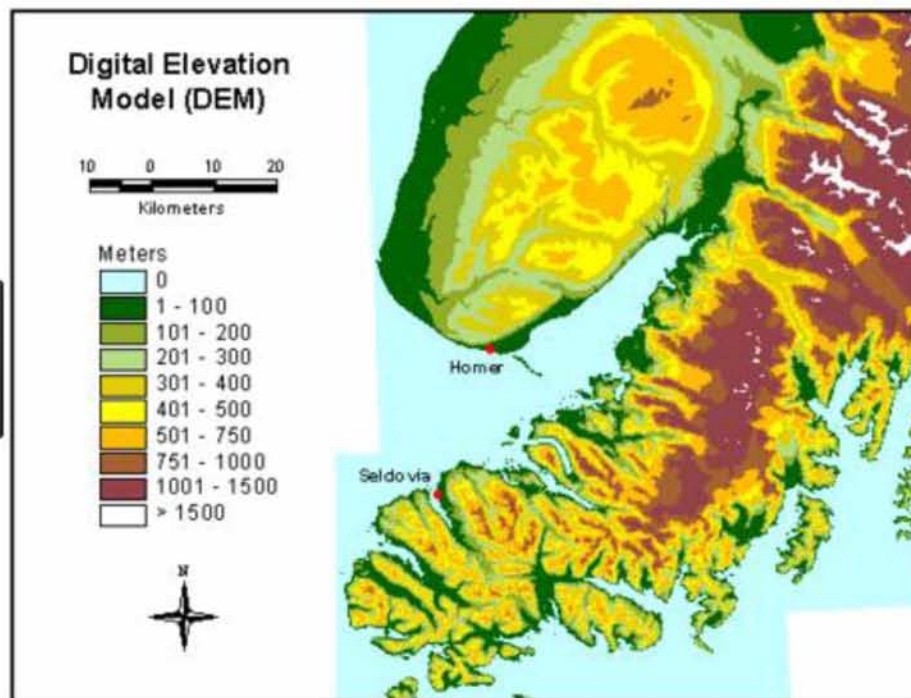
Οι βασικές υδρολογικές παράμετροι σε μια λεκάνη απορροής είναι (Ψιλοβίκος, 2014):

1. Πλημμυρική παροχή ή παροχή αιχμής ή παροχή σχεδιασμού (Q) που λαμβάνει χώρα μετά από ένα επεισόδιο βροχόπτωσης συγκεκριμένης έντασης,
2. Ο χρόνος συγκέντρωσης ή χρόνος συρροής (T_C) που αποτελεί το χρόνο που απαιτείται το νερό να φτάσει από το πιο απομακρυσμένο σημείο της λεκάνης μέχρι την έξοδο του στομίου.

1.3 Ψηφιακή Αναπαράσταση Αναγλύφου

Ένα ψηφιακό μοντέλο υψομέτρων (**Digital Elevation Model – DEM**) αποτελείται από μια κλιμακούμενη διάταξη αριθμών, που αναπαριστούν τη χωρική κατανομή των υψομέτρων πάνω σε κάποιο διακριτό σύστημα αναφοράς μιας περιοχής. Μπορεί να αποτελείται από τις τιμές των υψομέτρων που επιλέγονται σε συγκεκριμένα σημεία ή το μέσο υψόμετρο ενός συγκεκριμένου τμήματος της περιοχής μελέτης, αν και στις περισσότερες περιπτώσεις ισχύει η πρώτη περίπτωση (Zhang, 1994).

Τα **DEMs** είναι υποσύνολα των ψηφιακών μοντέλων εδάφους (**Digital Terrain Models – DTMs**), τα οποία ορίζονται ως μια κλιμακούμενη διάταξη αριθμών, που αναπαριστούν την χωρική κατανομή των περιγραφικών χαρακτηριστικών του εδάφους και όχι μόνο του υψομέτρου. Πάνω από 20 περιγραφικά χαρακτηριστικά του ανάγλυφου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να περιγράψουν την διαμόρφωση του εδάφους. Πολλά συστήματα κατηγοριοποίησης της ικανότητας του εδάφους, χρησιμοποιούν την κλίση ως την πρωταρχική έννοια για την απόδοση κατηγορίας, μαζί και άλλους παράγοντες όπως το βάθος του εδάφους, την δυνατότητα αποστράγγισης και τη γονιμότητα του. Άλλες πρωταρχικές τοπογραφικές ιδιότητες, περιλαμβάνουν συγκεκριμένες λεκάνες απορροής καθώς και το υψόμετρο (Garbrecht et al., 1999).



Σχήμα 1.3.1: Απεικόνιση ενός DEM (http1)

Η γεωμετρική ανάλυση μιας επιφάνειας παίζει σπουδαίο ρόλο στη μελέτη ποικίλων διαδικασιών σε μια περιοχή. Οι αναλυτικώς παραγόμενοι σύνθετοι τοπογραφικοί δείκτες, μπορεί να περιλαμβάνουν την περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό, τις επιφανειακές ζώνες κορεσμού, την ετήσια βροχόπτωση, τις διαδικασίες διάβρωσης, τις ιδιότητες του εδάφους και τις ιδιότητες που εξαρτώνται από την ηλιακή ακτινοβολία. Η αξιόπιστη εκτίμηση των τοπογραφικών παραμέτρων που αντανakλούν την γεωμετρία των επιφανειών και των εκτάσεων είναι απαραίτητη για τις γεωμορφολογικές, υδρολογικές και περιβαλλοντικές μελέτες, επειδή το έδαφος ελέγχει την απορροή, τη διάβρωση, και την ιζηματογένεση. Κατά την επιλογή της συγκεκριμένης μεθόδου αναπαράστασης μιας επιφάνειας, είναι σημαντικό να εξεταστεί η τελική χρήση. Η ιδανική δομή για ένα DEM μπορεί να είναι διαφορετική εάν χρησιμοποιηθεί για την δόμηση ενός κατανεμημένου υδρολογικού μοντέλου από ότι εάν χρησιμοποιείται για να καθορίσει τις τοπογραφικές ιδιότητες της περιοχής. Για διάφορες γεωεφαρμογές, προκειμένου να αποκτηθεί και να αναλυθεί ένα δίκτυο υψομετρικών δεδομένων υπάρχουν οι τρεις ακόλουθοι κύριοι τρόποι δόμησης (Μάρης κ.ά., 2014):

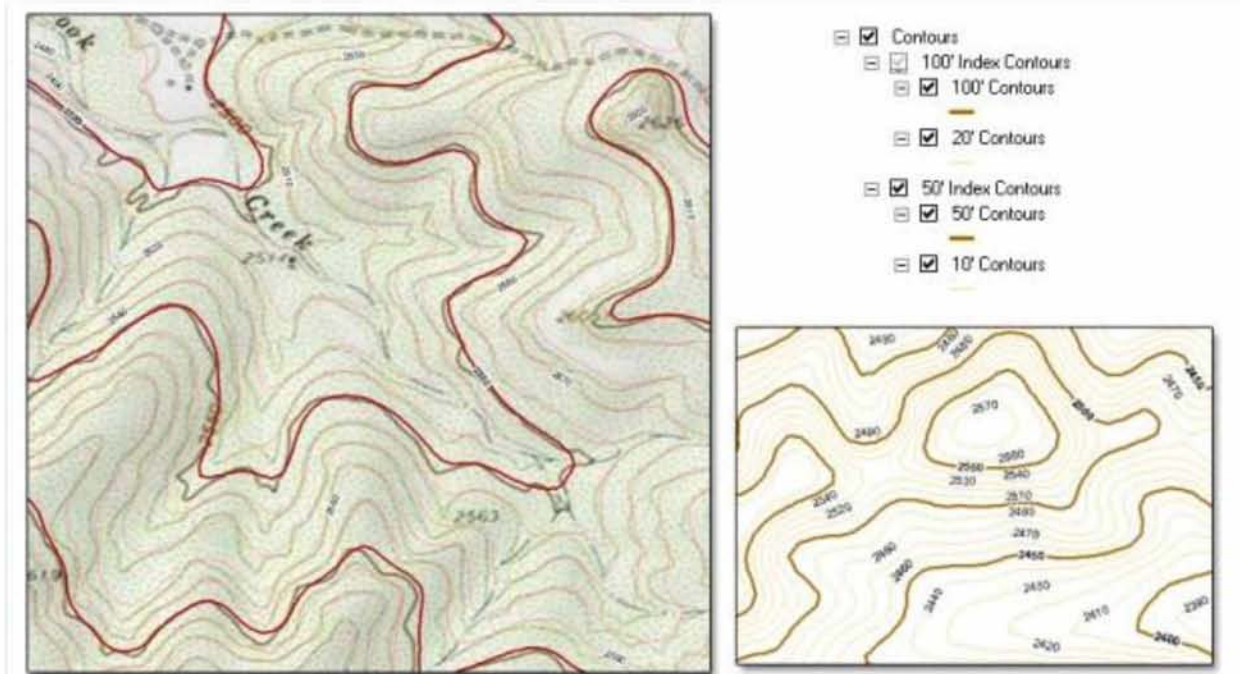
- Ισοϋψείς καμπύλες (**Contours**),

- Ψηφιδωτά (**Raster**),
- Δίκτυο Ακανόνιστων τριγώνων (**Triangulated Irregular Network – TIN**)
- Ισοϋψείς καμπύλες (Contours)

Μια ισοϋψής καμπύλη, είναι μια νοητή γραμμή πάνω σε μια επιφάνεια, που δείχνει τη θέση ίσου ύψους (επιπέδου) ή τιμής. Για παράδειγμα, μια ισοϋετής καμπύλη είναι μια γραμμή ίσης συσσώρευσης της βροχόπτωσης. Η αναπαράσταση μιας επιφάνειας με τη χρήση ισοϋψών καμπυλών, απεικονίζει τις κλίσεις και τα σχετικά ελάχιστα και μέγιστα. Η απόσταση μεταξύ των ισοϋψών καμπυλών, είναι πολύ σημαντική, ιδιαίτερα όταν παράγονται και άλλοι παράμετροι. Η διαφορά μεταξύ ενός επιπέδου ισοϋψούς από ένα άλλο ονομάζεται ισοδιάσταση (**quantization**). Οι υδρολογικές παράμετροι μπορούν να διαμορφωθούν σε διαφορετικά διαστήματα ισοδιάστασης, ανάλογα με τη μεταβλητότητα της εκάστοτε διαδικασίας και την κλίμακα στην οποία ελέγχεται η υδρολογική διαδικασία (Möhler et al., 1998).

Οι μέθοδοι αναπαράστασης υψομέτρων επιφανειών που βασίζονται στις ισοϋψείς καμπύλες (**Contour-based**), ή αναπαράστασης άλλων ιδιοτήτων, έχουν σημαντικά πλεονεκτήματα στην υδρολογική μοντελοποίηση και στις εφαρμογές της γεωπληροφορικής, διότι η δομή των στοιχειωδών περιοχών τους είναι βασισμένη στον τρόπο με τον οποίο το νερό ρέει πάνω στην επιφάνεια του εδάφους. Οι γραμμές ορθογώνια στις ισοϋψείς, είναι οι γραμμές του υδρογραφικού δικτύου οπότε οι εξισώσεις που περιγράφουν τη ροή του νερού μπορούν να μειωθούν σε μια σειρά απλών εξισώσεων που συνδέονται μεταξύ τους. Πολλά **DEMs** προκύπτουν από τους τοπογραφικούς χάρτες, έτσι η ακρίβεια τους δε μπορεί ποτέ να είναι μεγαλύτερη από αυτήν της αρχικής πηγής των δεδομένων (Moore, 1988).

Η ανάπτυξη των ισοϋψών για τις υδρολογικές εφαρμογές, έχει μεγαλύτερη σημασία από την απλή αναπαράσταση του τοπογραφικού ανάγλυφου. Σε ορισμένες περιπτώσεις, είναι λογικό να υποθεθεί ότι οι ισοϋψείς της επιφάνειας του εδάφους, ελέγχουν την κατεύθυνση της ροής. Κατά συνέπεια τα συστήματα δημιουργίας των επιφανειών που μπορούν να παράγουν τις ισοϋψείς καθώς και το υδρογραφικό δίκτυο ταυτόχρονα από τα δεδομένα των υψομέτρων, έχουν το πλεονέκτημα της αποδοτικότητας και της συνοχής (Μάρης κ.ά., 2014).



Σχήμα 1.3.2: Απεικόνιση ισοψών καμπυλών (http2)

- **Ψηφιδωτά (Raster)**

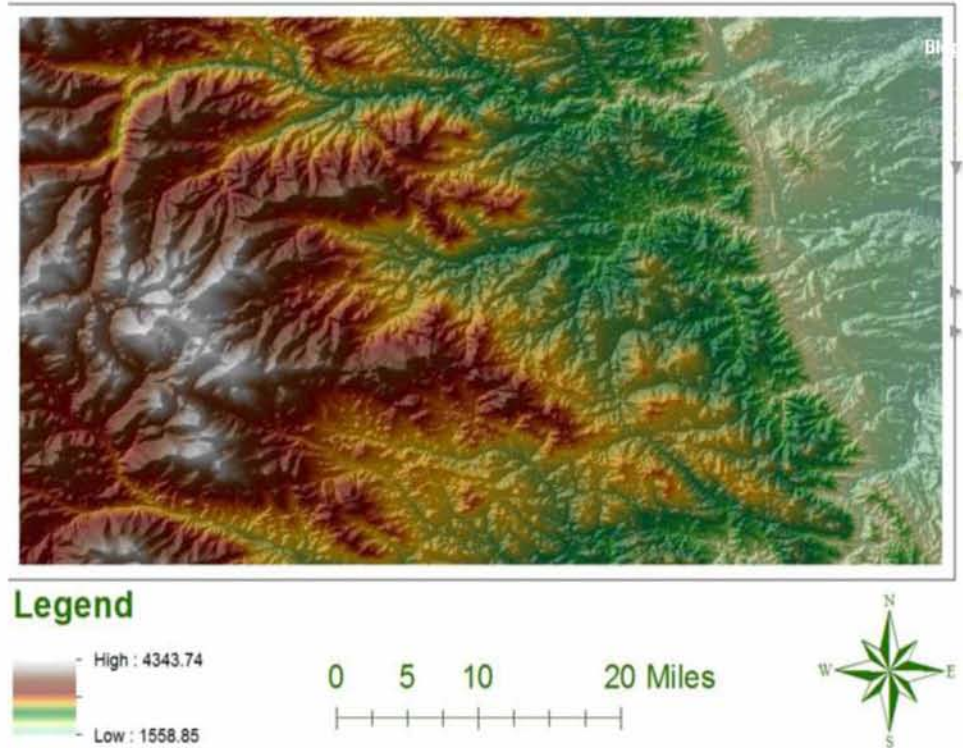
Η δομή των ψηφιδωτών δεδομένων, είναι ίσως μια από τις πιο γνωστές δομές δεδομένων στην υδρολογία. Πολλές μορφές δεδομένων, ειδικότερα οι πληροφορίες που αφορούν τον τομέα της τηλεπισκόπησης, συχνά μετρούνται και αποθηκεύονται σε ψηφιδωτή μορφή. Ο όρος **ψηφιδωτό (raster)**, προέρχεται από την τεχνολογία που έχει αναπτυχθεί για την τηλεόραση στην οποία μια εικόνα αποτελείται από μια σειρά στοιχείων εικόνας αποκαλούμενα ψηφίδες (pixels). Αυτή η ψηφιδωτή διάταξη των εικοστοιχείων είναι επίσης μια χρήσιμη μορφή για την αναπαράσταση των γεωγραφικών δεδομένων, ιδιαίτερα των δεδομένων τηλεπισκόπησης, τα οποία στην πρωτογενή τους μορφή είναι ένα ψηφιδωτό (σύνολο από ψηφίδες). Τα ψηφιδωτά δεδομένα αναφέρονται επίσης και σαν **πλέγματα** (πλεγματικά δεδομένα – **grids**). Λόγω των πολύ μεγάλων ποσοτήτων υψομετρικών δεδομένων που είναι σε ψηφιδωτή μορφή, συνήθως χρησιμοποιούνται για τη χάραξη της λεκάνης απορροής (του υδροκρίτη), την παραγωγή της κλίσης και την δημιουργία του υδρογραφικού δικτύου. Άλλα επιφανειακά χαρακτηριστικά όπως η κλίση και η έκθεση, μπορούν να προέλθουν από το DEM και να αποθηκευτούν σε ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DTM). Ο όρος **DTED (Digital Terrain Elevation Data)**,

αντιπροσωπεύει τα ψηφιακά υψομετρικά δεδομένα εδάφους, για να διαχωρίζει τα υψομετρικά δεδομένα, από άλλες μορφές DTM χαρακτηριστικών (Moore et al., 1991).

Τα ψηφιδωτά DEM είναι μια από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες δομές δεδομένων, λόγω της ευκολίας εφαρμογής των αλγορίθμων του υπολογιστή σε αυτά. Εντούτοις, έχουν αρκετά μειονεκτήματα (Scott & Higgins, 2007):

- Δεν μπορούν εύκολα να χειριστούν τις απότομες αλλαγές στο υψόμετρο,
- Το μέγεθος του πλέγματος (grid mesh), επηρεάζει τα αποτελέσματα και την υπολογιστική απόδοση,
- Οι υπολογισμένες με την αύξηση της κλίσης, γραμμές ροής που χρησιμοποιούνται στην υδρολογική ανάλυση, τείνουν σε μια τεθλασμένη πορεία (ζίγκ-ζάγκ) και επομένως δεν ανταποκρίνονται με απόλυτη ακρίβεια στην πραγματικότητα,
- Ο καθορισμός συγκεκριμένων υδρολογικών λεκανών, μπορεί να είναι ανακριβής στις επίπεδες επιφάνειες - περιοχές.

Η συλλογή της πληροφορίας υψομέτρου μιας επιφάνειας, σε ψηφιακή μορφή κατάλληλη να εισαχθεί σε έναν υπολογιστή, περιλαμβάνει την δειγματοληψία των x , y , z σημείων (Easting-Northing - Elevation) από ένα μοντέλο που αναπαριστά μια επιφάνεια όπως ένας χάρτης με ισοϋψείς καμπύλες, σειρές αεροφωτογραφιών που μπορούν να παρατηρηθούν στερεοσκοπικά, ή άλλες εικόνες. Η δειγματοληψία σε ένα DEM, μπορεί να γίνει με ποικίλες τεχνικές. Η χειροκίνητη δειγματοληψία των DEMs, περιλαμβάνει την επικάλυψη των πλεγματικών δεδομένων (grid) με έναν τοπογραφικό χάρτη και την χειροκίνητη κωδικοποίηση των τιμών του υψομέτρου, άμεσα σε κάθε κελί. Εντούτοις, αυτό είναι μια πολύ κουραστική και χρονοβόρα διαδικασία κατάλληλη μόνο για μικρές περιοχές. Εναλλακτικά, τα δεδομένα του υψομέτρου μπορούν να ληφθούν δειγματοληπτικά, με απευθείας ποσοτική φωτογραμμετρική μέτρηση, από αεροφωτογραφίες, σε ένα όργανο στερεοφωτογραμμετρικής απόδοσης. Συχνότερα, τα ψηφιακά δεδομένα υψομέτρου, επιλέγονται από τους χάρτες με ισοϋψείς, χρησιμοποιώντας έναν ψηφιοποιητή (**digitizer**), που μεταφράζει τις τιμές x , y και z σε ψηφιακά αρχεία (Gundersen et al., 1981).



Σχήμα 1.3.3: Απεικόνιση raster (<http3>)

Ο εξοπλισμός για αυτόματη σάρωση χαρτών με ισοϋψείς καμπύλες, έχει αναπτυχθεί, βασισμένος είτε σε συσκευές που ακολουθούν τη γραμμή χρησιμοποιώντας λέιζερ (**laser-driver**), είτε μία συσκευή σάρωσης ψηφιδωτών, όπως ο σαρωτής (**drum scanner**). Εντούτοις, τα αυτόματα συστήματα, συνεχίζουν να απαιτούν έναν χειριστή για να ορίσει τις τιμές του υψομέτρου για τα δεδομένα των ισοϋψών που προκύπτουν από πρόχειρη δουλειά, την αυθαίρετη εμφάνιση γραμμών που δεν είναι ισοϋψείς πάνω στις ισοϋψείς που αυτόματα σαρώθηκαν, ή άλλες ασυνέπειες - λάθη που μπορεί να υπάρξουν. Τα ψηφιακά μοντέλα υψομέτρων (DEMs), μπορούν να προκύψουν από επικαλυπτόμενα ψηφιακά τηλεσκοπικά δεδομένα, χρησιμοποιώντας αυτόματες τεχνικές στερεοσκοπικής συσχέτισης (**stereo - correlation**) όπου με αυτό τον τρόπο παράγεται το DEM γρήγορα και με ακρίβεια. Με την αυξανόμενη χωρική ακρίβεια των δεδομένων της τηλεπισκόπησης, τα μελλοντικά DEM θα έχουν τρομακτικά μεγαλύτερη ακρίβεια (Μάρης κ.ά., 2014).

Το σημαντικότερο μειονέκτημα των πλεγμάτων DEM, είναι η πάρα πολύ μεγάλη ποσότητα δεδομένων στις περιοχές με ομοιόμορφη επιφάνεια και η μετέπειτα αδυναμία να

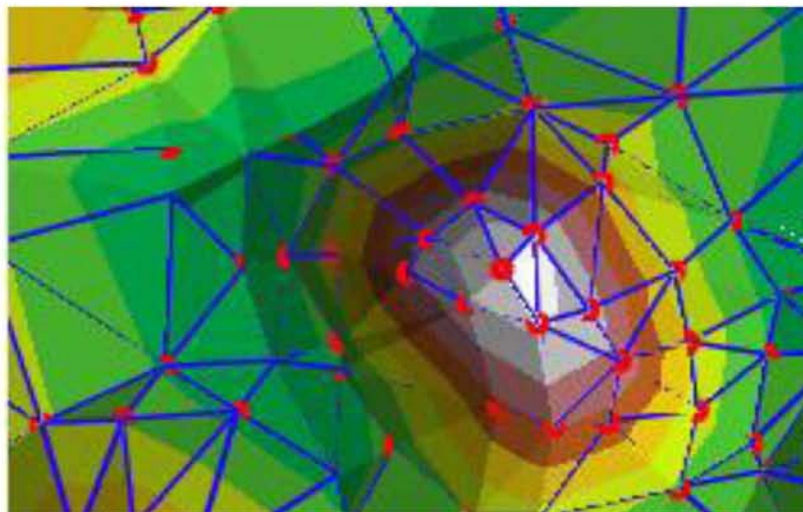
αλλαχτεί το μέγεθος των κελιών προκειμένου να απεικονιστούν περιοχές που παρουσιάζουν πολυπλοκότητα στο ανάγλυφο του εδάφους. Εντούτοις, έχουν προταθεί διάφορες τεχνικές συμπίεσης των δεδομένων για να μειώσουν τη δριμύτητα αυτού του προβλήματος, οι οποίες συμπεριλαμβάνουν τα τετραδικά δέντρα (quadtrees), τους αλυσιδωτούς κώδικες του Freeman, τους κώδικες για την συνεχόμενη ροή ίδιων δεδομένων (Run-length encoding- RLE), τους κώδικες μπλοκ και την δομή των ψηφιδωτών δεδομένων. Τα πλεονεκτήματα των ομαλών (κανονικών) πλεγμάτων DEM, είναι η εύκολη ενσωμάτωση τους με τις βάσεις ψηφιδωτών και τηλεσκοπικών δεδομένων, η πιο ομαλή και πιο φυσική εμφάνιση των χαρτών με ισοΰψεις και η παραγωγή χαρτών με εδαφικά χαρακτηριστικά και τέλος η ικανότητα αλλαγής της κλίμακας των κελιών του πλέγματος, πολύ γρήγορα (Maidment, 2002).

- Δίκτυο Ακανόνιστων τριγώνων (Triangulated Irregular Network – TIN)

Το **TIN**, είναι ένα ακανόνιστο δίκτυο από τρίγωνα, που αναπαριστούν μια επιφάνεια σαν ένα σύνολο μη-επικαλυπτόμενων γειτονικών τριγωνικών όψεων, με ακανόνιστα μεγέθη και σχήματα. Τα TIN είναι πιο κατάλληλα για την αναπαράσταση της επιφάνειας από ότι είναι η πυκνά ομοιόμορφη ψηφιδωτή αναπαράσταση. Τα TIN έχουν γίνει όλο και περισσότερο δημοφιλή, λόγω της αποδοτικότητας τους στην αποθήκευση των δεδομένων και της απλής δομής των δεδομένων τους για την προσαρμογή των ακανόνιστα κατανεμημένων δεδομένων του υψομέτρου. Κάποια επιπλέον πλεονεκτήματα έχουν παρατηρηθεί, όταν τα μοντέλα TIN χρησιμοποιούνται στην ανάλυση δια της όρασης σε τοπογραφικές επιφάνειες, για την εξαγωγή των υδρολογικών χαρακτηριστικών του εδάφους, καθώς και άλλων εφαρμογών (Silfer et al., 1987).

Το δίκτυο ακανόνιστων τριγώνων-TIN, έχει αρκετά ευδιάκριτα πλεονεκτήματα στην αναπαράσταση των επιφανειών, σε σχέση με τη χρήση ψηφιδωτών ή χαρτών με ισοΰψεις. Το κυριότερο πλεονέκτημα είναι ότι το μέγεθος κάθε τριγώνου μπορεί να ποικίλει, έτσι ώστε οι ευρείες επίπεδες περιοχές να καλύπτονται με λίγα μεγάλα τρίγωνα, ενώ οι ιδιαίτερα μεταβαλλόμενες ή με απότομες κλίσεις περιοχές να καλύπτονται με πολλά, μικρότερα τρίγωνα. Αυτό παρέχει κάποια αποδοτικότητα σε σχέση με τις ψηφιδωτές δομές δεδομένων, δεδομένου ότι τα στοιχεία μπορούν να ποικίλουν σε μέγεθος ανάλογα με τη μεταβλητότητα της επιφάνειας (Μάρης κ.ά., 2014).

Ένα TIN προσεγγίζει μια εδαφική επιφάνεια με ένα σύνολο τριγωνικών όψεων. Κάθε τρίγωνο ορίζεται από τρεις πλευρές και η κάθε πλευρά οριοθετείται από δύο κορυφές (γωνιακά σημεία). Τα περισσότερα μοντέλα TIN υιοθετούν τις επίπεδες τριγωνικές όψεις, με σκοπό την απλούστερη παρεμβολή ή τη δημιουργία ισοϋψών καμπυλών. Οι κορυφές (γωνίες) στα TIN, περιγράφουν τα κομβικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα του εδάφους όπως για παράδειγμα οι κορυφές, τα κοιλάματα ή τα περάσματα - μονοπάτια, ενώ οι πλευρές απεικονίζουν τα γραμμικά χαρακτηριστικά του ανάγλυφου εδάφους, όπως τα σπασίματα, οι κορυφογραμμές ή οι γραμμές του υδρογραφικού δικτύου. Η δημιουργία επομένως ενός TIN, από ένα DEM που έχει πλεγματική μορφή, περιλαμβάνει μερικές διαδικασίες για την αποτελεσματική επιλογή των θέσεων των κορυφών (γωνιών) όσον αφορά τα κομβικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα του ανάγλυφου του εδάφους, ή των πλευρών του TIN όσον αφορά τα γραμμικά χαρακτηριστικά του ανάγλυφου του εδάφους. Τα DEM σε μορφή πλέγματος, είναι ευρέως διαθέσιμα σε σχετικά χαμηλό κόστος. Λόγω αυτής της αυξανόμενης διαθεσιμότητας, η ανάγκη για μία αποδοτική μέθοδο εξαγωγής των κρίσιμων υψομετρικών σημείων από ένα DEM σε μορφή πλέγματος για τη διαμόρφωση ενός TIN, έχει αυξηθεί. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει όμως να δοθεί, ώστε να εξασφαλιστεί το γεγονός πως δεν έχουν χαθεί κρίσιμα στοιχεία ή οντότητες, κατά τη διαδικασία μετατροπής. Οι μέθοδοι δημιουργίας TIN από DEM σε μορφή πλέγματος, ανακαλύφθηκαν από τον Lee το 1991 (Silfer et al., 1987).



Σχήμα 1.3.4: Απεικόνιση TIN (<http4>)

Οι μέθοδοι μετατροπής μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις κατηγορίες (Μάρης κ.ά., 2014):

- Σκελετική μέθοδος (skeleton),
- Φίλτρου (filter),
- Ιεραρχική (hierarchy),
- Ευριστική μέθοδος (heuristic)

Κάθε μία από αυτές τις μεθόδους έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της, διαφέροντας μεταξύ τους, στο πώς αξιολογούν τη σημασία του σημείου, και στους κανόνες σταματήματος (stopping rules), δηλαδή, πότε να σταματήσουν να επιλέγουν υψομετρικά σημεία. Η κοινή ιδιότητα όλων των μεθόδων είναι ότι τα σύνολα των λύσεων, εξαρτώνται από μερικές προκαθορισμένες παραμέτρους, όπου αυτές είναι αρκετές ανοχές στη σκελετική μέθοδο, είτε μια ανοχή ή ένας ορισμένος αριθμός παραγόμενων σημείων, στις άλλες τρεις μεθόδους (Kumler, 1994).

Ο στόχος οποιασδήποτε μεθόδου μετατροπής ενός DEM σε TIN, είναι να εξαχθεί ένα σύνολο ακανόνιστα χωρισμένων στο χώρο, σημείων υψομέτρου, που είναι όσο το δυνατό λιγότερα, ενώ ταυτόχρονα παρέχουν όσο το δυνατόν περισσότερη πληροφορία για τις τοπογραφικές δομές. Δυστυχώς, δεν είναι αδύνατο να επιτευχθούν ταυτόχρονα και οι δύο στόχοι και δύσκολο να εξισορροπηθούν τα δύο αποτελέσματα. Η γεωμετρία μιας επιφάνειας και ειδικά οι γραμμές διαχωρισμού (breaking lines) που αναπαριστάται καλύτερα από μικρότερα TIN, μπορούν να χαθούν με μεγαλύτερα TIN. Κατά τη δημιουργία TIN από DEM με μορφή πλέγματος η μετατροπή αυτή θα έπρεπε να εξεταστεί πρώτα με την εύρεση του καλύτερου τρόπου εξάλειψης του λογικού λάθους (Kumler, 1994).

Τέλος, δεδομένου ότι αυτή θα διέφερε από μια εφαρμογή σε μια άλλη, και μεταξύ των διαφορετικών τύπων του ανάγλυφου του εδάφους, συνήθως απαιτούνται τα πειράματα δοκιμής και λάθους (trial-error), ή πειράματα επικύρωσης (cross-validation), για να αξιολογήσουν την πιστότητα της τοπογραφικής επιφάνειας (Μάρης κ.ά., 2014).

1.4 Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι ο προσδιορισμός της λεκάνης απορροής της λίμνης Βεγορίτιδας με τη χρήση γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών. Με τη βοήθεια αυτοματοποιημένων μεθόδων, πραγματοποιήθηκε η αποτύπωση του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής μελέτης με τη δημιουργία ισοϋψών καμπυλών και τη χάραξη του υδροκρίτη. Τέλος, πραγματοποιήθηκε σύγκριση μεταξύ χειροκίνητων και αυτοματοποιημένων μεθόδων προσδιορισμού μιας λεκάνης απορροής.

2. Περιοχή Μελέτης

Η λίμνη Βεγορίτιδα ονομάζεται και Αγίου Παντελεήμονα ή Άρνισσας ή Οστρόβου και βρίσκεται στα όρια των Νομών Πέλλας και Φλώρινας. Έχει γύρω της τα όρη Βέρνο, Βόρας και Βέρμιο και είναι το χαμηλότερο σημείο του συμπλέγματος των λιμνών Ζάζαρης, Χειμαδίτιδας και Πετρών. Οι συντεταγμένες της είναι 40°45' Βόρειο Γεωγραφικό Πλάτος 21°45' Ανατολικό Γεωγραφικό Μήκος και βρίσκεται στα βορειοδυτικά της Ελληνικής επικράτειας κοντά στα σύνορα με την Π.Γ.Δ.Μ. Η λεκάνη απορροής της Βεγορίτιδας έχει έκταση 1.853 km². Τροφοδοτείται από τα νερά των υπολοίπων λιμνών του υδατικού συστήματος μέσω διωρύγων και σήραγγας. Τα υδατορέματα που καταλήγουν στη λίμνη είναι τα εξής (Κασεκτζίδου, 2009):

- Φαράγγι,
- Πεντάβρυσο (Σολού),
- Αγίου Αθανασίου (Λύκας),
- Άρνισσας

Η ευρύτερη περιοχή που βρίσκεται η λίμνη Βεγορίτιδα είναι μια περιοχή με έντονη βιομηχανική και αγροτική δραστηριότητα, γεγονός που επηρεάζει σημαντικά τόσο τα ποιοτικά όσο και τα ποσοτικά στοιχεία της λίμνης (Stefanidis and Papastergiadou, 2013).

Η λίμνη των Πετρών απέχει 2 km από τη Βεγορίτιδα ενώ οι λίμνες Ζάζαρη και Χειμαδίτιδα βρίσκονται σε απόσταση 12 km και συνδέονται υδρολογικά μεταξύ τους. Η Ζάζαρη υπερχειλίζει στη Χειμαδίτιδα μέσω μιας τάφρου η οποία κατασκευάστηκε την δεκαετία του '60. Τα υπερχειλίζοντα νερά της Χειμαδίτιδας οδηγούνται μέσω μιας απαγωγού τάφρου, με μήκος γύρω στα 8 km, στο ρέμα του Αμύντα το οποίο έχει μήκος περίπου 7 km, έχοντας τελικό προορισμό τη λίμνη των Πετρών (Κουτσομπίδης, 1989).

Το 1962-1963 κατασκευάστηκε η διώρυγα και η σήραγγα Πετρών–Βεγορίτιδας, η οποία παροχετεύει τα πλεονάζοντα νερά των λιμνών Ζάζαρης–Χειμαδίτιδας και Πετρών στη Βεγορίτιδα μέσω θυροφράγματος. Το 1963 μέσω του θυροφράγματος τροφοδοτήθηκε η Βεγορίτιδα με νερό της τάξης όγκου $170 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Από τότε λόγω της μείωσης της στάθμης της λίμνης των Πετρών, το θυρόφραγμα ανοίγει μόνο κατά τους μήνες Δεκέμβριο-Μάιο και πάντοτε ανάλογα με το πλεόνασμα της λίμνης Πετρών που είναι μικρό, της τάξεως περίπου των $2.5 \cdot 10^6$

m³ νερού. Η τάφος του Σουλού που κατασκευάστηκε τη δεκαετία του '50 και αποξηραίνει το έλος Σαρί-Γκιόλ συμβάλει στη Βεγορίτιδα (Σπυρίδης, 2007).

Η Χειμαδίτιδα βρίσκεται στους πρόποδες του όρους Βέρνου, μαζί με τη Ζάζαρη, που βρίσκεται 2 περίπου km βόρεια της (Τσιρακίδου, 2008). Μετά την αποστράγγιση του πρώην έλους της Χειμαδίτιδας, στα βόρεια της σημερινής λίμνης, κατασκευάστηκε, περιφερειακά του βόρειου τμήματός της, χαμηλό ανάχωμα (0.5-1 m) με σκοπό να περιοριστεί η λίμνη και να προστατευτούν γεωργικές εκτάσεις. Η μέγιστη στάθμη της καθορίστηκε στο υψόμετρο +591.3 m. Το 1961 έγινε αποξήρανση μέρους του έλους με σκοπό να αυξηθούν οι γεωργικές εκτάσεις της περιοχής. Πράγμα όμως που δεν επέφερε τα αναμενόμενα αποτελέσματα (Νάσκος, 2004).

Στα μέσα της δεκαετίας του 1960 ο χείμαρρος του Σκλήθρου που κατέληγε στο έλος της Χειμαδίτιδας εκτράπηκε προς τη λίμνη Ζάζαρη και κατασκευάστηκε ενωτική διώρυγα μεταξύ Ζάζαρης και Χειμαδίτιδας και επεκτάθηκε το στραγγιστικό δίκτυο της περιοχής με επιπλέον διώρυγες. Εκείνη την περίοδο κατασκευάστηκε και το περιφερειακό ανάχωμα της λίμνης. Η συνεχής πτώση της υπόγειας στάθμης των νερών της περιοχής, εξαιτίας των δραστηριοτήτων των ορυχείων της ΔΕΗ, μπορεί και να οδηγήσει και στην εποχική αποξήρανσή της λίμνης (Λαζαρίδου κ.ά., 2001).

Η λίμνη Ζάζαρη απέχει από τη λίμνη Χειμαδίτιδα 2 km. Η λίμνη Ζάζαρη, τροφοδοτείται από τα ύδατα του Σκλήθρου ποταμού και από υπόγειες πηγές και τα πλεονάζοντα νερά της τα αποχετεύει στη λίμνη Χειμαδίτιδα (Σπυρίδης, 2007).

Στην ανατολική πλευρά της λίμνης κατασκευάστηκε αντιπλημμυρικό ανάχωμα και στη νοτιοανατολική, υπερχειλιστής, προκειμένου να μπορέσει να συγκρατηθεί επαρκής ποσότητα νερού για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών. Το πλεόνασμα των νερών οδηγείται στη λίμνη Χειμαδίτιδα (Νικολαΐδης & Αλυγιζάκη, 2003).



Εικόνα 2.1: Φυσική φωτογραφία της λίμνης Βεγορίτιδας (<http5>)

2.1 Γεωλογία

Η ευρύτερη λεκάνη της Φλώρινας-Πτολεμαΐδας αποτελεί κομμάτι της Πελαγονικής γεωτεκτονικής ζώνης της χώρας. Η σημερινή γεωμορφολογική εικόνα της περιοχής είναι αποτέλεσμα αποκλειστικά των γεωλογικών-τεκτονικών γεγονότων της αλπικής πύκνωσης και κυρίως της πρόσφατης ρηξιγενούς τεκτονικής που έλαβε χώρα και η οποία με γεωλογικά κριτήρια είναι και τώρα ενεργή (Τόλη, 2011).

Η λεκάνη αποτελείται από κρυσταλλικό-σχιστολιθικό βραχώδες υπόστρωμα και επικαλύπτεται από νεογενή και τεταρτογενή ιζήματα. Οι λίμνες Πετρών και Βεγορίτιδας είναι δύο καρστικές και ασβεστολιθικές λίμνες που περιβάλλονται από ασβεστολιθικούς λόφους (Pirini et al., 2010).

Στην κατηγορία των καρστικών λιμνών, σχεδόν πάντα δεν υπάρχουν επιφανειακοί αγωγοί διαρροής, αλλά υπάρχει πάντα μία υπόγεια διαρροή (Pirini et al., 2014).

Οι θερμικές ανωμαλίες που παρατηρούνται στη λίμνη έχουν να κάνουν με τις καταβόθρες νερού που έχουν σχηματιστεί στον πυθμένα της, λόγω των καρστικών ασβεστόλιθων της περιοχής (Charou et al., 2010).

Πιο συγκεκριμένα η γεωλογία της λεκάνης απαρτίζεται από ανθρακικές ενότητες οι οποίες είναι ο κύριος περατός σχηματισμός της. Έχουν επιφανειακή εξάπλωση και σημαντικό βαθμό

καρστικοποίησης. Το υδατικό δυναμικό που αναπτύσσεται εντός αυτών των σχηματισμών είναι εξαιρετικά σημαντικό για την υδρολογία της λεκάνης. Μέσω των σχηματισμών αυτών γίνεται η αποστράγγιση της λεκάνης και συγκεκριμένα μέσω των καρστικών συστημάτων του Βερμίου. Αυτά τροφοδοτούν τις πηγές που βρίσκονται στις ανατολικές παρυφές του βουνού. Επίσης υπάρχουν και κοκκώδεις σχηματισμοί οι οποίοι παρουσιάζουν σημαντική επιφανειακή εξάπλωση και αρκετό πάχος κατά περιοχές. Λόγω της λιθολογικής τους σύστασης δεν ευνοείται η ανάπτυξη σημαντικών υδραυλικών παραμέτρων πράγμα που καθιστά την υδρογεωλογική τους σημασία περιορισμένη σε σχέση με αυτή των καρστικοποιημένων ανθρακικών σχηματισμών. Στο εσωτερικό των αποθέσεων αυτών υπάρχουν υδροφορίες που καλύπτουν τις υδρευτικές ανάγκες της περιοχής. Ωστόσο μεγάλο τμήμα της υδροφορίας εντός των σχηματισμών αυτών έχει εξαντληθεί ως μέτρο για την ασφαλή λειτουργία των λιγνιτορυχείων της περιοχής. Ακόμα υπάρχουν και πυριγενείς - μεταμορφωμένοι σχηματισμοί που είναι κρυσταλλοσχιστώδους αδιαπέρατου ή τοπικής μικρής περατότητας υποβάθρου. Λόγω της λιθολογικής τους σύστασης δεν έχουν υδρογεωλογικό ενδιαφέρον, παρά μόνο σε σημειακό επίπεδο και εντός των ζωνών τεκτονικής καταπόνησης, όπου έχουμε ανάπτυξη δευτερογενούς πορώδους (Μεταξάς κ.α., 2010).

Ο πυθμένας της λίμνης της Βεγορίτιδας από γεωλογικής άποψης καλύπτεται από σιπολίνες και μάρμαρα που εκτείνονται σε βάθος περίπου 1000 m. Ηλικιακά κατατάσσονται στο Τριαδικό - ανώτερο Ιουρασικό ενώ τα ακριβή είδη των πετρωμάτων (με φορά από πάνω προς τα κάτω) έχουν ως εξής (Παυλίδης, 1985):

- Μάρμαρα με διακλάσεις πληρωμένες με διοξείδιο του πυριτίου και γλωρίτη,
- Σιπολίνες με σκούρες τοφίτικες στρώσεις μικροπτυχωμένες,
- Μάρμαρα και ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι με χαλαζία μοσχοβίτη και γλωρίτη,
- Δολομιτικά μάρμαρα με φύκη.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής χωρίζονται σε τρεις βασικές ομάδες (Papakostantinou et al., 1989):

- Μεταμορφωμένα, ημιμεταμορφωμένα και γρανιτογενευσιακά πετρώματα υποβάθρου,

- Ανθρακικά μεσοζωϊκά πετρώματα που χαρακτηρίζονται από έντονη καρστικοποίηση και την αντίστοιχη υδρογεωλογική συμπεριφορά,
- Κοκκώδεις σχηματισμοί που περιλαμβάνουν τα μολασσικά ιζήματα και τις χαλαρές τεταρτογενείς αποθέσεις

Η υδρολιθολογική συμπεριφορά των διάφορων γεωλογικών σχηματισμών εξαρτάται από (Papakostantinou et al., 1989):

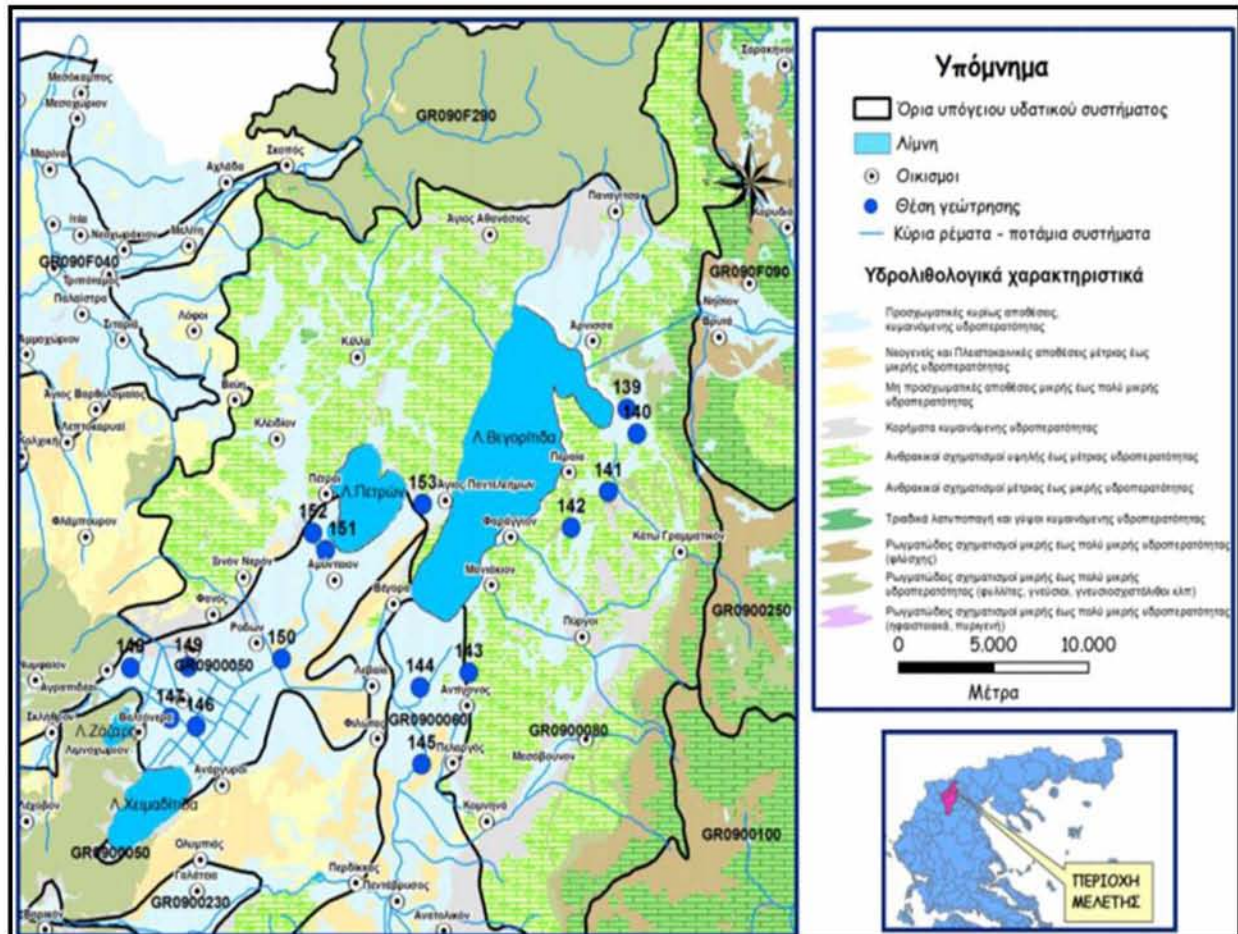
- Την κοκκομετρική σύνθεση,
- Την τεκτονική καταπόνηση,
- Την πετρολογική σύσταση,
- Το βαθμό διαγενέσεως,
- Το βαθμό διαρρήξεως και αποσαθρώσεως των πετρωμάτων.

Η υδρολογική λεκάνη της λίμνης δεν συμπίπτει με την υδρογεωλογική. Ο επιφανειακός υδροκρίτης δεν συμπίπτει με τον υπόγειο εξαιτίας των ασβεστολιθικών σχηματισμών που αναπτύσσονται στην λεκάνη (Papakostantinou et al., 1989).

Στη λεκάνη της Βεγορίτιδας μπορούν να διακριθούν οι ακόλουθες υδροφορίες (Βαβλιάκης κ.ά., 1994):

- Προσχωματική υδροφορία: Βρίσκεται εντός των χαλαρών αποθέσεων των μεταλλικών ιζημάτων που έχουν αποτεθεί στη λεκάνη Βεγορίτιδας. Εκτός από τα περιμετρικά της λίμνης βρίσκονται και εντός των υπολεκανών των κύριων υδατορευμάτων. Αν και σε κλίμακα λεκάνης θα μπορούσε να γίνει αποδεκτή η ύπαρξη ενός ενιαίου συστήματος, τοπικά η υδροφορία έχει συνθήκες ελεύθερης έως υπό πίεση ανάπτυξης ενώ κατά το παρελθόν έχουν αναφερθεί και περιπτώσεις αρτεσιανισμού.
- Καρστική υδροφορία: Βρίσκεται στο καρστικοποιημένο ανθρακικό σύστημα που υπάρχει στην περιοχή και εξαιτίας του βαθμού αποκάρσωσης και της έκτασής του έχει σημαντικό υδατικό δυναμικό. Το δυναμικό αυτό φαίνεται τόσο μέσω γεωτρήσεων όσο και μέσα από τις πολυάριθμες καρστικές πηγές.

- Ρωγμωγενής υδροφορία: Βρίσκεται σε ηφαιστειακά και μεταμορφωμένα πετρώματα και προκύπτει από τεκτονικές διεργασίες. Εντοπίζεται σε τοπικής σημασίας υδροφορίες μικρού δυναμικού.



Σχήμα 2.1.1: Απεικόνιση υδρολιθολογικού χάρτη λεκάνης με βάση τη διαχειριστική μελέτη υδατικών πόρων Μακεδονίας-Θράκης (Εξάρχου κ.ά, 2012)

2.2 Εδαφολογία

Η μηχανική σύσταση των εδαφών αποτελείται από συνδυασμένους τύπους Si, SCL, CL, SiCL. Παλιά λιμναία αποθέματα, άμμος, άργιλος, χαλίκια, και τραβερτίνες ή τόφφοι από γλυκό νερό, απαρτίζουν το έδαφος της λεκάνης (Ζουρνατζίδου, 2011).

Ιζήματα πλεοπλειστοκαινικά και σε μικρότερη έκταση μειοπλειοκαινικά έχουν πληρώσει τη λεκάνη του Αμυνταίου, ενώ σε μικρές αποστάσεις από τις λίμνες υπάρχουν μικρές αποθέσεις αλλουβιακών. Εναλλαγές πηλών, αργίλων, κροκαλοπαγών και άμμων χαρακτηρίζουν το σύνολο των κοκκωδών αποθέσεων, το πάχος τους είναι σημαντικό στα κεντρικά τμήματα της λεκάνης και μειώνεται προς τις παρυφές της (Βαβλιιάκης κ.ά., 1994).

Μικρές ποσότητες τυρφοειδούς λιγνίτη έχουν εντοπιστεί και ΒΑ της λίμνης Χειμαδίτιδας σε έκταση 25 km². Το πάχος της τύρφης φθάνει μέχρι 3.5 m, ενώ τα αποθέματα είναι 1.000.000 m³. Εξαιτίας της αποξήρανσης του τυρφόνα και της εντατικής καλλιέργειας του εδάφους, έγινε οξείδωση της τύρφης και ανάφλεξη της (αυτανάφλεξη), με αποτέλεσμα όλο το κοίτασμα να χαθεί μέσα στα τελευταία 10-15 χρόνια (Papakostantinou et al., 1989).

2.3 Μορφολογικά Χαρακτηριστικά

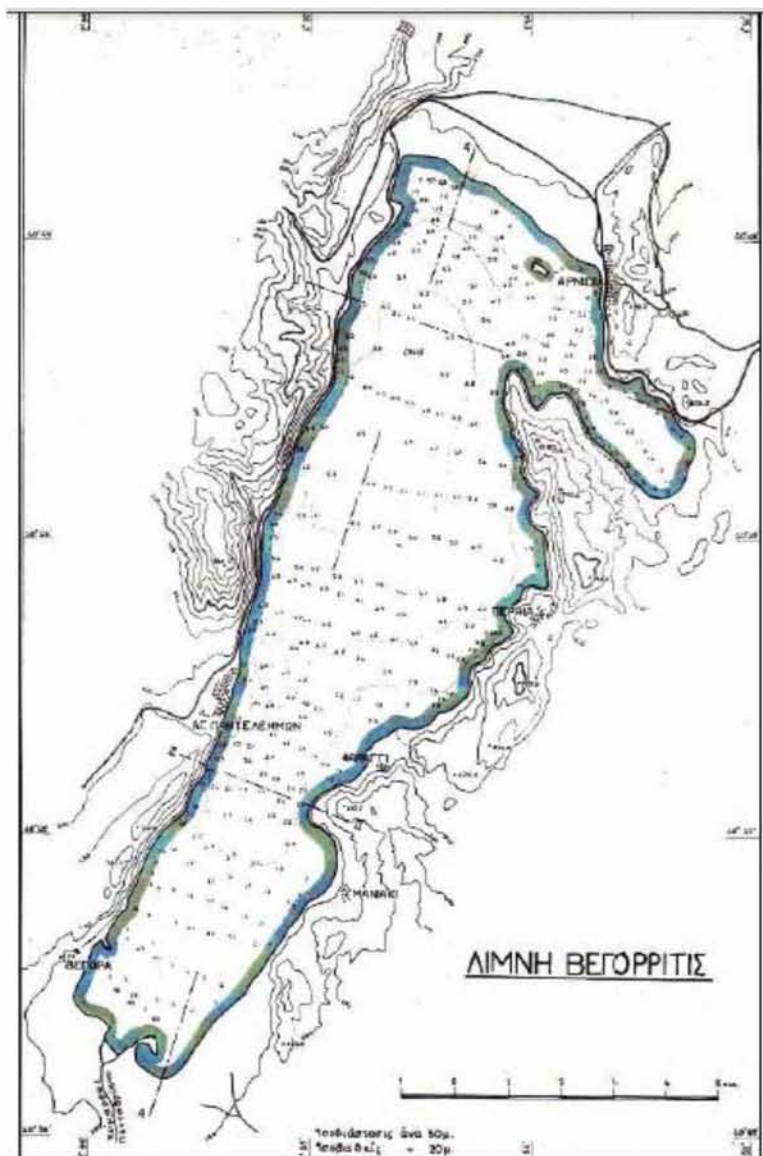
Η υδρολογική λεκάνη της Βεγορίτιδας αποτελεί ένα εξαιρετικά ευαίσθητο περιβάλλον. Εντός των ορίων της υπάρχουν τέσσερις εσωτερικές λίμνες που συνδέονται υδραυλικά μεταξύ τους. Τρεις από αυτές τις λίμνες είναι αρκετά ρηχές. Οποιαδήποτε αλλαγή στο επίπεδο νερού τους έχει αντίκτυπο και στις άλλες λίμνες στα κατάντη (Charou et al., 2010).

Η λίμνη Βεγορίτιδα έχει έκταση 54,31 km², το μέγιστο μήκος της φτάνει τα 14,8 km, το μέγιστο πλάτος είναι 6,9 km και το μέγιστο βάθος της 70 m. Το μέγεθος της υδρολογικής εδαφικής λεκάνης ανέρχεται στα 911,74 km². Η ανανέωση των νερών γίνεται 9.5 φορές ανά έτος (Στεφανίδης, 2012). Ο όγκος του νερού της λίμνης από 2200 * 10⁶ m³ που ήταν κατά τη δεκαετία του '50, μειώθηκε στα 800 * 10⁶ m³ σήμερα (Αντωνόπουλος κ.ά., 1996).

Η λίμνη των Πετρών έχει έκταση 12,6 Km, βρίσκεται σε υψόμετρο 560 m και το σχήμα της είναι σχεδόν στρογγυλό. Η υδρολογική εδαφική της λεκάνη ανέρχεται στα 114 km² και ο όγκος της είναι 37*10⁶ m³. Το μέγιστο βάθος της φτάνει το 5 m ενώ το μέσο τα 2,6 m. Το μέγιστο μήκος της είναι 5 Km ενώ το μέγιστο πλάτος της 4 Km (Στεφανίδης, 2012).

Η λίμνη Χειμαδίτιδα έχει έκταση 10,8 km², υψόμετρο 593 m, το μέσο βάθος της είναι 1 m και το μέγιστο βάθος της είναι 3,5 m (Τσιρακίδου, 2008). Το σχήμα της λίμνης είναι επίμηκες και ο όγκος της ανέρχεται στα 15*10⁶ m³. Το μέγιστο μήκος της Χειμαδίτιδας είναι 6 Km και το

μέγιστο πλάτος 3 Km. Η λίμνη Ζάζαρη έχει έκταση περίπου 2 km², το μέγιστο βάθος της είναι 4,6 m και βρίσκεται σε υψόμετρο +602 m. Ο όγκος της λίμνης είναι 3,4 *10⁶ m³ (Στεφανίδης, 2012).



Σχήμα 2.3.1: Βαθυμετρικός χάρτης λίμνης Βεγορίτιδας (Χωραφάς, 1957)

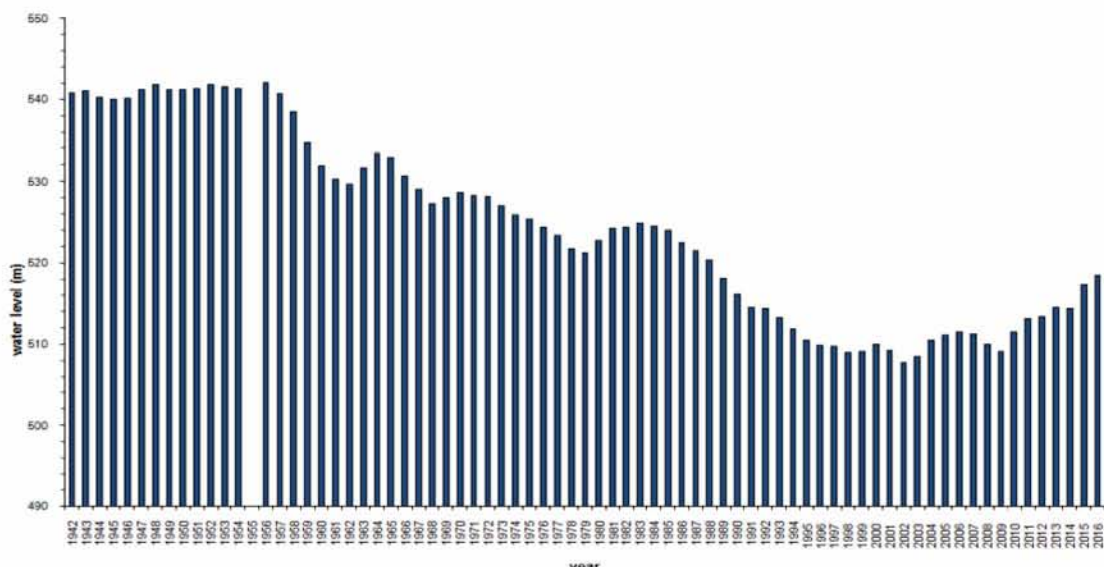
2.4 Λιμνολογικά Χαρακτηριστικά

Η λίμνη Βεγορίτιδα, απο λιμνολογικής απόψεως, είναι θερμή μονομικτική λίμνη, με υψηλή περιεκτικότητα σε νιτρικό άζωτο και αυξανόμενο ευτροφισμό. Τα νερά της Βεγορίτιδας χαρακτηρίζονται από σχετικά μικρή διαφάνεια (μέση διαφάνεια 2.1-0.7 m), χαμηλές

συγκεντρώσεις φωσφορικών αλάτων κατά το μεγαλύτερο τμήμα της, χαμηλές συγκεντρώσεις στη χλωροφύλλη-α αλλά και αρκετά υψηλές συγκεντρώσεις αζωτούχων ενώσεων, σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις χλωριόντων και νατρίου, και υψηλές συγκεντρώσεις μαγγανίου, σιδήρου και ψευδαργύρου. Λόγω των υψηλών επιπέδων αμμωνιακών αλάτων (τοξικά) είχαν προκληθεί κατά το παρελθόν αλλεπάλληλοι θάνατοι ψαριών. Οι συγκεντρώσεις των γεωργικών φαρμάκων στη λίμνη είναι χαμηλές, αν και κατά καιρούς έχουν ανιχνευθεί Parathion και DDE (Antonopoulos & Gianniou, 2000).

Η λίμνη βρίσκεται σε μεταβατικό στάδιο από την oligotροφική προς τη μεσοτροφική κατάσταση κυρίως λόγω της ελάττωσης του όγκου των νερών της από τους σταθμούς της ΔΕΗ. Η λίμνη Πετρών χαρακτηρίζεται ως μεσοτροφική. Η ποιότητα των νερών της είναι ικανοποιητική, αν και τροφοδοτείται με υποβαθμισμένα νερά, εμφανίζοντας υψηλή αλκαλικότητα και υψηλές συγκεντρώσεις χλωριόντων, θειϊκών αλάτων, νατρίου και μαγνησίου και υψηλές συγκεντρώσεις μολύβδου και ψευδαργύρου (Παπαδοπούλου-Μουρκίδου κ.ά., 2002).

Η ποιοτική σύνθεση της φυτοπλαγκτικής κοινότητας της λίμνης Χειμαδίτιδας παρουσιάζει τον ευτροφικό χαρακτήρα της λίμνης, ο οποίος στη διάρκεια του έτους και ανάλογα με υδρολογικούς, κλιματικούς, βιολογικούς και παράγοντες μπορεί να κυμαίνεται από μεσοτροφικό μέχρι και υπερτροφικό χαρακτήρα (Αντωνόπουλος κ.ά., 1996). Η λίμνη Ζάζαρη έχει εξαιρετικής ποιότητας νερά αν και παρουσιάζει σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις μαγγανίου, ψευδαργύρου και μολύβδου (Kokkinakis & Andreopoulou, 2008).



Σχήμα 2.4.1: Διαχρονική εξέλιξη της στάθμης της λίμνης Βεγορίτιδας (1942-2016) (Karamoutsou et al., 2016)

2.5 Χρήσεις γης

Σύμφωνα με καταγραφές που έγιναν το 2014 για τις χρήσεις γης στο δήμο Αμυνταίου, στον οποίο ανήκει και το σύμπλεγμα των λιμνών που μελετάμε, οι εκτάσεις που καλύπτονται από γεωργία καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο ποσοστό (66%), ακολουθούν οι περιοχές με δάση και ημιφυσικές εκτάσεις (23%), στη συνέχεια είναι οι εκτάσεις που καλύπτονται από νερά (8%) και τέλος οι τεχνητές περιοχές (3%) (Κάπρος, 2014).

Στην περιοχή της Πτολεμαΐδας έχουν κατασκευαστεί 270 γεωτρήσεις και στην περιοχή του Αμυνταίου γύρω στις 200. Η πλειονότητα των γεωτρήσεων αυτών είναι ερευνητικές ενώ ο ακριβής αριθμός των παραγωγικών γεωτρήσεων συνεχώς μεταβάλλεται (Παπαοικονόμου, 2010).

Ο γενικός αποδέκτης των επιφανειακών και υπογείων υδάτων είναι η λίμνη Βεγορίτιδα, που είναι και ο ρυθμιστής του υδατικού ισοζυγίου της περιοχής με δυναμικό 30.000.000 m³ έως 50.000.000 m³, από τα οποία 15.000.000 m³ το χρόνο χρησιμοποιούνται για αρδεύσεις. Στην περιοχή της Άρνισσας, οι αρδευόμενες εκτάσεις αυξήθηκαν από 17000 το 1981 σε 30600 στρέμματα το 1992, στην περιοχή Αμυνταίου από 15100 σε 57600 στρέμματα και στην περιοχή της Πτολεμαΐδας από 5400 σε 14800 στρέμματα την ίδια περίοδο. Μέρος των εκτάσεων που

αρδεύονται αποτελούν οι αποκαλυπτόμενες εκτάσεις της λίμνης που καταλαμβάνονται από τους γεωργούς των παραλίμνιων οικισμών (Δημητριάδης, 2000).

Από την απογραφή της ΕΣΥΕ για το έτος 1991 φαίνεται ο χαρακτήρας της περιοχής να είναι κατά κύριο λόγο δασικός με ποσοστό που φθάνει το 36,69%, με τη γεωργική γη να καλύπτει ποσοστό 31,81% ενώ οι βοσκότοποι καταλαμβάνουν το 11,77% της συνολικής έκτασης (Παναγιωτίδης, 2015).

Οι Γκανούλης κ.ά (1983) είχαν εκτιμήσει ότι ΔΕΗ το 1982 κατανάλωσε συνολικά 30×10^6 m³ νερού που προερχόταν από γεωτρήσεις και αντλήσεις από το Σουλού και τη Βεγορίτιδα και ότι οι ανάγκες της για την επόμενη εικοσαετία θα ανέρχονταν στα 72×10^6 m³ ετησίως (Δημητριάδης, 2000).

Σύμφωνα με τον μετεωρολογικό σταθμό Πτολεμαΐδας μερικός παγετός, δηλαδή ελάχιστη θερμοκρασία αέρα <0 °C, εμφανίζεται κατά μέσο όρο 74 ημέρες το χρόνο. Ολικός παγετός, δηλαδή μέγιστη θερμοκρασία αέρα <0 °C, καταγράφεται κατά μέσο όρο 10 ημέρες το χρόνο (Χιονίδου, 2007).

Η αρχή των εξορυκτικών δραστηριοτήτων του λιγνίτη το 1989 στην περιοχή άλλαξε ριζικά την υδρογεωλογική κατάσταση της σε συνδυασμό με την κατασκευή πολυάριθμων πηγαδιών (Loupasakis et al., 2014).

Στη λεκάνη του Αμυνταίου, η οποία είναι μια υπο-λεκάνη της λεκάνης της Βεγορίτιδας, ο αριθμός των πηγαδιών νερού που χρησιμοποιούνται για άρδευση έχει αυξηθεί σταθερά κατά τη διάρκεια των τελευταίων 30 ετών, όπως και η έκταση της αρδευόμενης γης. Στοιχεία και καταγραφές για το μέγεθος των αγροτικών αρδεύσεων δεν υπάρχουν. Παρ' όλα αυτά, εντός των ορίων της περιοχής μελέτης (μεταξύ του ορυχείου και της λίμνης Χειμαδίτιδας), τα πηγάδια που περιστασιακά λειτουργούν είναι 10 από το 2006. Χαρακτηριστικό είναι το ότι το 90% περίπου της πρώην περιοχής της λίμνης χρησιμοποιείται πλέον για τη γεωργία. Επίσης στην περιοχή υπάρχουν πέντε ανοιχτά ορυχεία λιγνίτη τα οποία παράγουν 55×10^6 τόνους λιγνίτη και 290×10^6 m³ απορριμμάτων ετησίως. Το 75% των κοιτασμάτων λιγνίτη στην Ελλάδα της Νεόκτιστης εποχής βρίσκεται σε Φλώρινα, Πτολεμαΐδα, Αμύνταιο, Ελασσόνα. Στην ευρύτερη περιοχή της

λεκάνης του Αμυνταίου είναι εμφανείς εδαφικές ρωγμές που οφείλονται στην υπεράντληση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα (Σαχανίδης κ.ά., 2001).

Για την έντονη μείωση της στάθμης της λίμνης, αρχικά είχε αποδοθεί η ευθύνη στη χρήση του νερού από τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια παραγωγής ενέργειας που βρίσκονται στην περιοχή, αλλά αυτές οι αντλήσεις έχουν μειωθεί τα τελευταία 20 χρόνια, ενώ οι αντλήσεις για άρδευση και άλλες χρήσεις έχουν αυξηθεί. Οι μετρήσεις της στάθμης της λίμνης δείχνουν μια σταθερή πτώση κυρίως λόγω της αυξημένης γεωργικής χρήσης και δευτερευόντως λόγω των δραστηριοτήτων των μεταλλείων και των βιομηχανιών. Η εκμετάλλευση των λιγνιτωρυχείων έχει επηρεάσει το ευρύτερο περιβάλλον και τους υδάτινους πόρους της περιοχής. Αυτό οφείλεται εν μέρει στα μέτρα αφυδάτωσης που λαμβάνονται για να προστατευτούν τα ορυχεία. Το ορυχείο Αμυνταίου άρχισε την εκμετάλλευση το 1989. Η μέση παραγωγή λιγνίτη είναι $8 \cdot 10^6$ tn/έτος και η μέση ανασκαφή είναι $7 \cdot 10^7$ m³/έτος. Το βάθος του ορυχείου είναι περίπου 150 m. Γίνεται εκτεταμένη αφυδάτωση ώστε να προστατευτεί το ορυχείο από τα υπόγεια ύδατα. Κατά μέσο όρο $7 \cdot 10^6$ m³/έτος υπόγειων υδάτων αντλήθηκαν κατά την περίοδο 2005-2008 με τη χρήση πηγάδιών νερού στην περιφέρεια του ορυχείου (Charou et al., 2010).

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

- Εξαιτίας της υπεράντλησης από γεωτρήσεις υδρολογικής προστασίας έχουμε πτώση της στάθμης των υπόγειων υδάτων και αυτό για να αποτραπεί η είσοδος του νερού μέσα στα ορυχεία,
- Έχουν κατασκευαστεί φράγματα και δεξαμενές συλλογής νερού για την κάλυψη των αναγκών ψύξης των ΑΗΣ οι οποίες είναι υπερβολικά μεγάλες και δεν καλύπτονται από τα υδατικά αποθέματα της λεκάνης,
- Λόγω της μεταβολής του μικροκλίματος που έχει επέλθει στην περιοχή, παρατηρείται μείωση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και κατά συνέπεια μείωση στο υδατικό ισοζύγιο της περιοχής

Η λεκάνη της Βεγορίτιδας έχει έντονη αγροτική δραστηριότητα, η οποία χαρακτηριστικά ανέρχεται στο 27% του νομού. Μετά το 1955 άρχισε η λειτουργία της σήραγγας Άρνισσας και

της παροχέτευσης μεγάλων ποσοτήτων νερού από τη Βεγορίτιδα προς τον υδροηλεκτρικό σταθμό Άγρα της ΔΕΗ. Όταν άρχισε η λειτουργία της σήραγγας της Άρνισσας άρχισε να μειώνεται ο όγκος της λίμνης Βεγορίτιδας και να πέφτει η στάθμη της. Τις δύο τελευταίες δεκαετίες υπάρχει πτώση της στάθμης της λίμνης που κυμαίνεται περίπου στο μέσο απόλυτο υψόμετρο των +509 m, δηλαδή πτώση των νερών κατά 16 επιπλέον μέτρα. Δεν μπορεί να παροχετευτεί πλέον νερό από τη σήραγγα της, εξαιτίας του ότι το απόλυτο υψόμετρο στην είσοδό της είναι +515 m, δηλαδή μεγαλύτερο από το μέσο απόλυτο υψόμετρο ([http6](#)).

Η ΔΕΗ κατά τη διαδικασία εκμετάλλευσης του λιγνίτη (ορυχείο Αμυνταίου), καταστρέφει τα επιφανειακά υδροφόρα στρώματα, με άντληση του νερού σε ποσότητες που φθάνουν ακόμα και τα 17.000.000 m³ το χρόνο. Επίσης πρόβλημα δημιουργεί και ο μεγάλος αριθμός των ιδιωτικών γεωτρήσεων και αντλιοστασίων που τραβούν το νερό από τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα. Μέσω των υδατορρευμάτων διοχετεύονται ρύποι στη λίμνη και την υποβαθμίζουν ποιοτικά ([http 7](#)).

Το φυσικό περιβάλλον της ευτύτερης περιοχής είναι πολύ υποβαθμισμένο, κυρίως λόγω της ανθρώπινης παρέμβασης και πιο συγκεκριμένα λόγω της υπερεκμετάλλευσης των υδάτινων πόρων, της έντονης βόσκησης, της υλοτομίας και των πυρκαγιών (Pirini et al., 2010).

3. Νομοθεσία

Οι νόμοι και οι κοινές υπουργικές αποφάσεις είτε ισχύουν από μόνοι τους, είτε είναι το αποτέλεσμα της εναρμόνισης των κρατών με τις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Παρακάτω δίνονται κάποιοι από τους σημαντικότερους Νόμους, ΚΥΑ και Αποφάσεις που έχουν εφαρμοστεί στη χώρα μας για τη διαχείριση των υδατικών πόρων, τη διατήρηση και αποκατάσταση της ποιότητας του νερού και την προστασία των υδατικών οικοσυστημάτων:

- ΚΥΑ 46399/1352/1986 (ΦΕΚ 438B/3-7-1986): αναφέρεται στην απαιτούμενη ποιότητα των επιφανειακών νερών για τις ακόλουθες χρήσεις:
 1. Πόσιμο,
 2. Κολύμβηση,
 3. Διαβίωση ψαριών σε γλυκά νερά,
 4. Καλλιέργεια και αλιεία οστρακοειδών και συγκεκριμένα αναφέρεται σε φαινόμενα ευτροφισμού.

Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στις μεθόδους μέτρησης, στη συχνότητα δειγματοληψίας και στην ανάλυση των επιφανειακών νερών που προορίζονται για πόσιμα σε συμμόρφωση με τις οδηγίες του συμβουλίου των ευρωπαϊκών κοινοτήτων 75/440/ΕΟΚ, 76/160/ΕΟΚ, 78/659/ΕΟΚ, 79/923/ΕΟΚ και 79/869/ΕΟΚ. Χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα εφόσον δεν έχει εξειδικευτεί από κάτι πιο πρόσφατο (Βενετσάνου, 2015).

- ΚΥΑ 39626/2208/2009 (ΦΕΚ Β'2075/25-09-2009): Καθορίζονται τα μέτρα για την προστασία των υπόγειων νερών από τη ρύπανση και την υποβάθμιση, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της Οδηγίας 2006/11/ΕΚ και συμπληρώθηκαν οι διατάξεις που αναφέρονται στη πρόληψη και τον περιορισμό της εισαγωγής ρύπων σε υπόγεια ύδατα, του Ν.3199/2003 και του Π.Δ.51/2007.
- ΚΥΑ αρ. Οικ.140384 (ΦΕΚ 2017/Β'/09-09-2011): 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, παράγραφος 4 του Ν.3199/2003. Σύμφωνα με την απόφαση αυτή

καθορίζονται πλήρως συγκεκριμένες θέσεις παρακολούθησης σε όλα τα υδατικά συστήματα της χώρας με απόλυτες γεωγραφικές συντεταγμένες, το είδος της παρακολούθησης (εποπτική, επιχειρησιακή, διερευνητική), η συχνότητα της παρακολούθησης και οι αρμόδιοι φορείς που έχουν την ευθύνη της παρακολούθησης ανάλογα με τις παραμέτρους που παρακολουθούνται (ΙΓΜΕ,ΓΧΚ,ΕΚΒΥ,ΕΛΚΕΘΕ).

- ΠΡΟΕΔΡΙΚΟ ΔΙΑΤΑΓΜΑ 51/2007 (ΦΕΚ 54/Α'/08-03-2007): Γίνεται καθορισμός μέτρων και διαδικασιών για την ολοκληρωμένη προστασία και διαχείριση των υδάτων, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της Οδηγίας 2000/60/ΕΕ και του Νόμου 3199/2003.
- ΥΑ ΗΠ 51354/2641/Ε103/2010 (ΦΕΚ 1909/Β/8.12.2010): Καθορισμός Προτύπων Ποιότητας Περιβάλλοντος (ΠΠΠ) για τις συγκεντρώσεις ορισμένων ρύπων και ουσιών προτεραιότητας στα επιφανειακά ύδατα, σε συμμόρφωση προς τις διατάξεις της Οδηγίας 2008/105/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 16^{ης} Δεκεμβρίου 2008, σχετικά με Πρότυπα Ποιότητας Περιβάλλοντος (ΠΠΠ) στο τομέα της πολιτικής των υδάτων και σχετικά με τη τροποποίηση και μετέπειτα κατάργηση των οδηγιών του Συμβουλίου 82/176/ΕΟΚ, 83/513/ΕΟΚ, 84/156/ΕΟΚ και 86/280/ΕΟΚ και την τροποποίηση της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, καθώς και για τις συγκεντρώσεις ειδικών ρύπων στα εσωτερικά επιφανειακά ύδατα και άλλες διατάξεις.
- Αρ. Οικ. 706/2010 (ΦΕΚ 1383/Β'/02-09-2012) ΑΠΟΦΑΣΗ ΤΗΣ ΕΘΝΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΥΔΑΤΩΝ: Με την απόφαση αυτή καθορίζονται οι λεκάνες απορροής ποταμών της χώρας και ορίζονται οι αρμόδιες περιφέρειες για τη διαχείριση και προστασία τους.
- Ν.3199/2003 (ΦΕΚ 280/Α'/09-12-2003): Η Ελλάδα ενσωμάτωσε την Οδηγία-Πλαίσιο στο εθνικό δίκαιο τον Δεκέμβριο του 2003 με τον Νόμο 3199/03 «περί προστασίας και διαχείρισης των υδάτων». Με την έναρξη ισχύος του Νόμου κάθε προγενέστερη διάταξη που είναι αντίθετη στις διατάξεις του, καταργείται (Τσάρτας κ.ά., 2014).

Με τον νέο Νόμο, ιδρύεται ένας ενιαίος φορέας για την προστασία και διαχείριση των υδάτων, ο οποίος εντάσσεται στο Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων. Ο νόμος αποτελείται από έξι κεφάλαια με συνολικά δεκαεπτά άρθρα (Μανούσης, 2006):

- Το άρθρο 1, αναφέρεται στο γεγονός της εναρμόνισης της εθνικής νομοθεσίας προς το περιεχόμενο και το σκοπό της Οδηγίας 2000/60 ΕΚ,
- Στο άρθρο 2, ορίζεται το πεδίο εφαρμογής του Νόμου και δίνονται οι βασικοί ορισμοί για την εφαρμογή του,
- Στο άρθρο 3, συστήνονται η Εθνική Επιτροπή Υδάτων και το Εθνικό Συμβούλιο Υδάτων και καθορίζονται οι αρμοδιότητες τους και οι τρόποι λειτουργίας τους,
- Στα άρθρα 5 και 6, συστήνονται οι Διευθύνσεις Υδάτων Περιφερειών και τα Περιφερειακά Συμβούλια Υδάτων για τις δεκατρείς Περιφέρειες της χώρας και καθορίζονται οι αρμοδιότητες τους και οι τρόποι λειτουργίας τους,
- Στα άρθρα 7, 8 και 9, ορίζονται τα Σχέδια Διαχείρισης, τα Προγράμματα Μέτρων και παρακολούθησης της κατάστασης των Υδάτων και τα Προγράμματα Ειδικών Μέτρων κατά της ρύπανσης τα οποία εκπονούνται από τις Περιφέρειες του Κράτους με σκοπό την Προστασία και την Διαχείριση των Υδάτων,
- Στα άρθρα 10, 11 και 12, καθορίζονται οι γενικοί κανόνες χρήσης των υδάτων, οι άδειες χρήσης και η ανάκτηση του κόστους για υπηρεσίες ύδατος,
- Στα άρθρα 13 και 14 θεσπίζονται οι Διοικητικές και Ποινικές κυρώσεις για τα φυσικά ή νομικά πρόσωπα που ρυπαίνουν ή υποβαθμίζουν τα ύδατα ή παραβαίνουν τις διατάξεις της κείμενης νομοθεσίας, καθώς και στους παραβάτες των όρων και περιορισμών που αφορούν τις άδειες χρήσης του άρθρου 11,
- Στα άρθρα 15, 16 και 17, καθορίζονται οι εξουσιοδοτικές, καταργούμενες, μεταβατικές και τελικές διατάξεις καθώς και η έναρξη ισχύος του Νόμου.

Η εφαρμογή του νόμου προϋποθέτει και απαιτεί σε πολλά σημεία την έκδοση κανονιστικών πράξεων (Υπουργικών αποφάσεων, κοινών ή μη) ώστε να ενεργοποιηθεί το σύνολο των διατάξεων του και να τεθεί σε εφαρμογή εντός δεδομένων χρονικών ορίων, ένα σύστημα προστασίας και διαχείρισης των υδάτων με βάση τις λεκάνες απορροής όπως συμβαίνει στις περισσότερες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Επιπλέον, η κύρια κριτική που δέχτηκε ο νέος νόμος αφορά την γενικότητα των διατάξεών του και το γεγονός ότι δεν ορίζονται με σαφή τρόπο θέματα που αφορούν την ενεργοποίησή του (Βενετσάνου, 2015).

- Οδηγία 2000/60/ΕΕ: Η ΕΕ καθόρισε με την Οδηγία 2000/60 την πολιτική για τους υδατικούς πόρους, η οποία αποτελεί σταθμό στο περιβαλλοντικό θεσμικό πλαίσιο της ΕΕ. Η συγκεκριμένη Οδηγία θέτει σημαντικές πολιτικές αρχές και υποχρεώσεις στα κράτη μέλη και συνοδεύεται από ένα πολύπλοκο σύστημα προδιαγραφών και παραρτημάτων. Αντιμετωπίζει με ενιαίο τρόπο τον συνολικό τομέα του νερού και έχει επίσης υψηλές απαιτήσεις και προδιαγραφές για στοιχεία, αναλύσεις, μοντέλα που αφορούν ένα σύνολο πολλών επιμέρους συνιστωσών (επιφανειακά, υπόγεια και θαλάσσια ύδατα, οικοσυστήματα) (Βενετσάνου, 2015).

Τα κύρια σημεία τα οποία μπορούν να συνοψίσουν την Οδηγία είναι τα ακόλουθα (Γεωργοπούλου, 2010):

- Το νερό δεν είναι εμπορικό προϊόν αλλά αποτελεί κληρονομιά που πρέπει να προστατεύεται και να διαχειρίζεται σωστά,
- Ο ρυπαίνον πληρώνει,
- Επανόρθωση της καταστροφής,
- Η ύδρευση είναι υπηρεσία κοινής ωφέλειας,
- Προτεραιότητα στην πηγή,
- Ισόρροπη ανάπτυξη των περιοχών,
- Τα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα ανήκουν στους ανανεώσιμους φυσικούς πόρους,
- Θέτει οικουμενικές αρχές για έλεγχο στην άντληση και για την εξασφάλιση της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας,
- Ορίζει κοινά πρότυπα περιβαλλοντικής ποιότητας σε κοινοτικό επίπεδο,
- Χαρτογραφικό προσδιορισμό της θέσης και των ορίων των υδατικών συστημάτων, των οικοπεριοχών και προσδιορισμό των συνθηκών αναφοράς για τους τύπους συστημάτων των επιφανειακών υδάτων,
- Προσδιορισμό και χαρτογράφηση των προστατευόμενων περιοχών,
- Ο χαρακτηρισμός και η συνολική περιγραφή της κατάστασης της υδρολογικής περιφέρειας και η ανάλυση των πιέσεων και των επιπτώσεων αυτών στην κατάσταση των συστημάτων επιφανειακών και υπογείων υδάτων μαζί με την οικονομική ανάλυση των χρήσεων νερού,

- Η εγκατάσταση και λειτουργία αντιπροσωπευτικών δικτύων παρακολούθησης της ποσοτικής και ποιοτικής κατάστασης υδάτων,
- Η κατάστρωση των διαχειριστικών Σχεδίων, με Προγράμματα διαχείρισης Λεκάνης Απορροής Ποταμού, που θα περιλαμβάνουν τα απαραίτητα διαχειριστικά μέτρα,
- Μέτρα για την πληροφόρηση του κοινού και τη διαβούλευση των αποτελεσμάτων τους και των συνακόλουθων τροποποιήσεων των σχεδίων.

Οι στόχοι της Οδηγίας 2000/60 είναι (Ανδρεαδάκης, 2002):

- Η προστασία των εσωτερικών επιφανειακών, των μεταβατικών, των παράκτιων και των υπογείων υδάτων,
- Η διατήρηση και η βελτίωση του υδάτινου περιβάλλοντος τόσο στην ποιότητα του νερού όσο και στην ποσότητα του,
- Η προοδευτική μείωση της εκπομπής επικίνδυνων ουσιών στο νερό,
- Η εξασφάλιση της παροχής πόσιμου ύδατος καλής ποιότητας στον πληθυσμό,
- Εξάλειψη επικίνδυνων ουσιών και συγκεντρώσεων στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Έτος	Στάδια εφαρμογής	Αναφορά
2000	Εναρξη ισχύος Οδηγίας	Άρθρο 25
2003	Εναρμόνιση με το εθνικό δίκαιο Συντονισμός διοικητικών ρυθμίσεων σε περιοχές λεκάνης απορροής ποταμού	Άρθρο 24 Άρθρο 3
2004	Χαρακτηρισμός των λεκανών απορροής ποταμού Δημιουργία μητρώου προστατευόμενων περιοχών Επανεξέταση καταλόγου ουσιών προτεραιότητας	Άρθρο 5 Άρθρο 6 Άρθρο 16
2006	Παρακολούθηση της κατάστασης των υδάτων Έναρξη διαβουλεύσεων με το κοινό	Άρθρο 8 Άρθρο 14
2007	Κατάργηση των Οδηγιών: 75/440/ΕΟΚ, 77/795/ΕΟΚ, 79/869/ΕΟΚ	Άρθρο 22
2009	Δημοσίευση των σχεδίων διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού Κατάρτιση προγράμματος μέτρων	Άρθρο 13 Άρθρο 11
2010	Εφαρμογή της αρχής ανάκτησης του πλήρους κόστους των υπηρεσιών ύδατος	Άρθρο 9
2012	Εφαρμογή προγράμματος μέτρων Εφαρμογή της συνδυασμένης προσέγγισης για σημειακές και διάχυτες πηγές ρύπανσης Υποβολή ενδιάμεσης έκθεσης σχετικά με της πρόοδο της εφαρμογής του προγράμματος μέτρων	Άρθρο 11 Άρθρο 10 Άρθρο 15
2013	Κατάργηση των Οδηγιών: 78/659/ΕΟΚ, 79/923/ΕΟΚ, 80/68/ΕΟΚ, 76/464/ΕΟΚ	Άρθρο 22
2015	Επίτευξη της καλής κατάστασης των υδατικών σωμάτων	Άρθρο 4
2019	Επανεξέταση της Οδηγίας και προτάσεις τροποποίησής της	Άρθρο 19
2021	Αναθεώρηση σχεδίων διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού	Άρθρο 13

Σχήμα 3.1: Απεικόνιση χρονοδιαγράμματος και σταδίων εφαρμογής της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ (Aubin & Varone, 2002)

- Οδηγία 2006/118/EK: Αφορά την προστασία των υπόγειων υδάτων από την ρύπανση και την υποβάθμιση, ώστε με τη θέσπιση κατάλληλων μέτρων πρόληψης και ελέγχου της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων καθώς και πρόληψης της υποβάθμισης της κατάστασης τους, να διασφαλίζεται η προστασία της δημόσιας υγείας και του περιβάλλοντος.

Τα θεσπιζόμενα μέτρα περιλαμβάνουν κυρίως (Ανδρεαδάκης, 2002):

1. Κριτήρια για την αξιολόγηση της καλής χημικής καάστασης των υπόγειων υδάτων,
 2. Κριτήρια για τον εντοπισμό και την αναστροφή σημαντικών και διατηρούμενων ανοδικών τάσεων και
 3. κριτήρια για τον καθορισμό των σημείων εκκίνησης για την αναστροφή των τάσεων.
- NATURA 2000

Το Μάιο του 1992, οι κυβερνήσεις των κρατών της Ευρωπαϊκής Ένωσης υιοθέτησαν νομοθεσία σχεδιασμένη να προστατεύει τους πιο έντονα απειλούμενους οικοτόπους και είδη της Ευρώπης. Αυτό το νομοθέτημα ονομάζεται Οδηγία για τους Οικοτόπους 92/43/ΕΟΚ, και συμπληρώνει την Οδηγία για τα Πτηνά 79/409/ΕΟΚ, που υιοθετήθηκε το 1979. Αυτές οι δύο οδηγίες είναι η βάση για τη δημιουργία του δικτύου προστατευόμενων περιοχών Natura 2000. Το Δίκτυο Natura 2000 είναι ένα Ευρωπαϊκό Οικολογικό Δίκτυο περιοχών, οι οποίες φιλοξενούν φυσικούς τύπους οικοτόπων και οικοτόπους ειδών που είναι σημαντικοί σε ευρωπαϊκό επίπεδο (Evans, 2012).

Το Natura 2000 είναι το μεγαλύτερο δίκτυο προστατευόμενων περιοχών στον κόσμο. Εκτείνεται σε 9 χερσαίες και 5 θαλάσσια βιογεωγραφικές ζώνες. Σήμερα το δίκτυο προστατεύει περισσότερες από 26.000 περιοχές στα 27 Κράτη - Μέλη, που καλύπτουν περίπου 80.000 km² ή 18% της συνολικής έκτασης της Ένωσης (<http8>).

Αποτελείται από δύο κατηγορίες περιοχών (Μινώτου, 2012):

- τις «Ζώνες Ειδικής Προστασίας (ΖΕΠ)» (Special Protection Areas - SPA) για την Ορνιθοπανίδα, όπως ορίζονται στην Οδηγία 79/409/ΕΚ «για τη διατήρηση των άγριων πτηνών»,
- 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 οικοτόπων και τα είδη των Παραρτημάτων Ι και ΙΙ της Οδηγίας 92/43/ΕΟΚ καθώς και τα κριτήρια του Παραρτήματος ΙΙΙ αυτής.

Οι ΖΕΠ καθορίζονται από κάθε Κράτος-Μέλος της ΕΕ, ενώ οι ΕΖΔ ακολουθούν μια πιο περίπλοκη διαδικασία: κάθε Κράτος-Μέλος πρέπει να συντάξει έναν κατάλογο με τις σημαντικότερες περιοχές άγριας ζωής που περιλαμβάνουν τους οικοτόπους και τα είδη της Οδηγίας των Οικοτόπων. Αυτός ο κατάλογος πρέπει στη συνέχεια να υποβληθεί στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή, που μετά από μία διαδικασία αξιολόγησης και επιλογής σε ευρωπαϊκό επίπεδο καθορίζει ποιες περιοχές θα συμπεριληφθούν στο δίκτυο ([http8](http://8)).

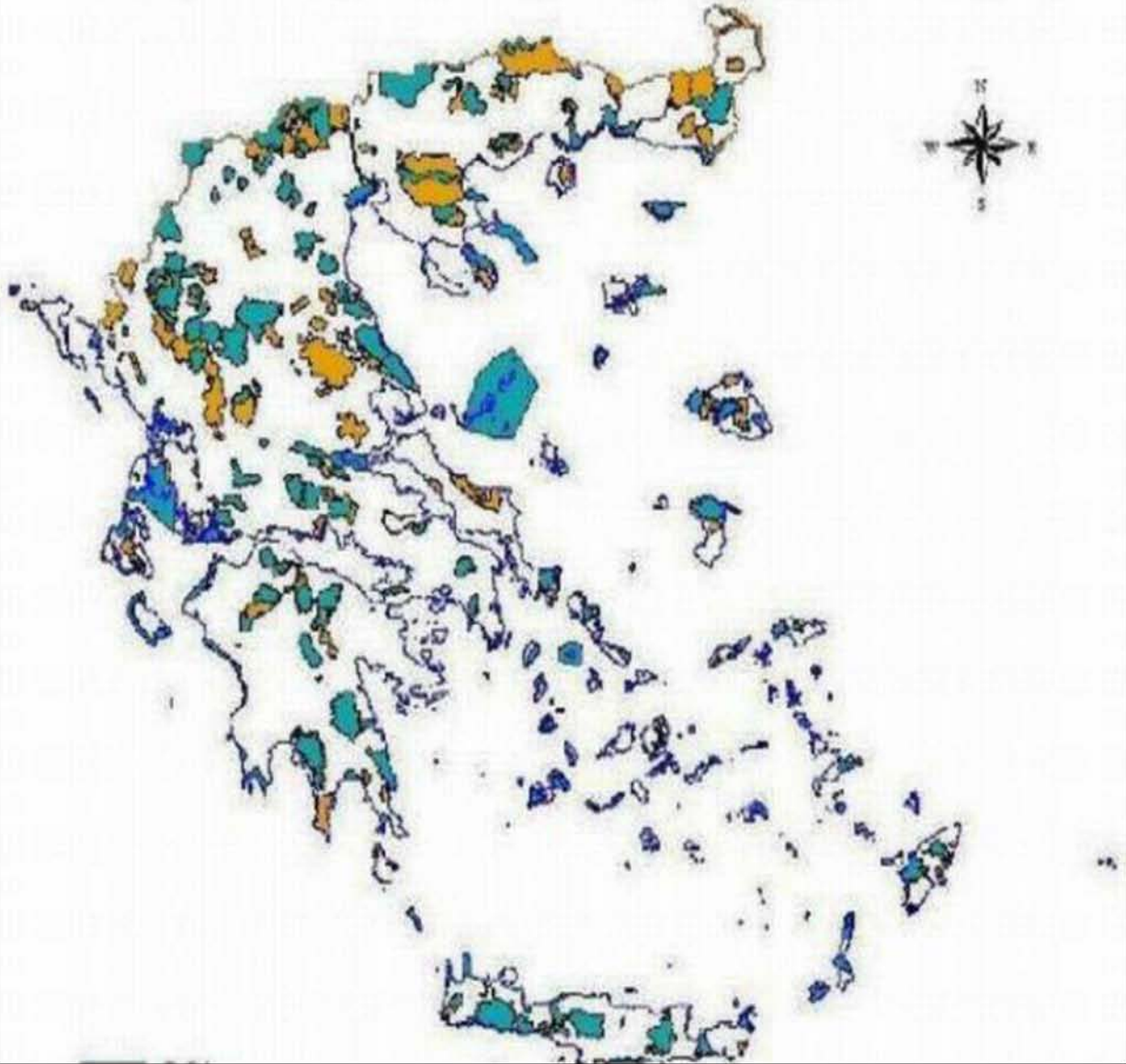
Μετά την οριστικοποίηση του καταλόγου των Τόπων Κοινοτικής Σημασίας, τα Κράτη Μέλη υποχρεούνται να κηρύξουν τις περιοχές αυτές ως «Ειδικές Ζώνες Διατήρησης (ΕΖΔ)» (Special Areas of Conservation - SAC)» το αργότερο μέσα σε μια εξαετία και να καθορίσουν τις προτεραιότητες για την διατήρηση σε ικανοποιητική κατάσταση των τύπων οικοτόπων και ειδών κοινοτικού ενδιαφέροντος εντός αυτών. Οι ΕΖΔ υπόκεινται στις διατάξεις του άρθρου 6 παρ. 1, 2, 3, 4 της Οδηγίας 92/43/ΕΟΚ.

Στην Ελλάδα, η καταγραφή των περιοχών που πληρούν τα κριτήρια της Οδηγίας 92/43/ΕΟΚ διεξήχθη από μία ομάδα περίπου 100 επιστημόνων σε ένα έργο LIFE με τίτλο «Καταγραφή, Αναγνώριση, Αξιολόγηση και Χαρτογράφηση των Τύπων Οικοτόπων και των Ειδών της Πανίδας και της Χλωρίδας στην Ελλάδα (Οδηγία 92/43/ΕΟΚ)», μεταξύ 1994-1996. Οι πρώτοι κατάλογοι λίστες ΤΚΣ και ΖΕΠ υποβλήθηκαν στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή το 1996 και το 1997 αντίστοιχα. Η Οδηγία 92/43 ενσωματώθηκε στην ελληνική νομοθεσία από την υπουργική απόφαση 33318/3028/11-12-98 (ΦΕΚ 1289/Β/28-12-98).

Σήμερα το δίκτυο Natura 2000 στην Ελλάδα περιλαμβάνει 419 περιοχές: 241 ΕΖΔ και 202 ΖΕΠ, ενώ 24 περιοχές έχουν διπλό χαρακτηρισμό ως ΕΖΔ και ΖΕΠ ταυτόχρονα. Η συνολική περιοχή κάλυψης ανέρχεται σε 4.200.000 εκτάρια, εκ των οποίων τα 2.800.000 εκτάρια είναι ΕΖΔ και τα 2.900.000 είναι ΖΕΠ. Είναι λοιπόν προφανές ότι υπάρχει σημαντική επικάλυψη μεταξύ των δύο κατηγοριών. Συνολικά, το δίκτυο καλύπτει το 27,2 % της χερσαίας και το 6,1% της θαλάσσιας εθνικής έκτασης. Αυτό αντιπροσωπεύει το 4,5% της συνολικής ευρωπαϊκής έκτασης του δικτύου και φέρνει την Ελλάδα στη δέκατη θέση ανάμεσα στα 27 Κράτη - Μέλη. Η μέση εθνική επιφανειακή κάλυψη στην Ευρώπη είναι 17,5%, επομένως η Ελλάδα (με 27,2%) είναι στην έκτη θέση ανάμεσα στα Κράτη - Μέλη, μετά τη Σλοβενία, τη Βουλγαρία, τη Σλοβακία, την Κύπρο και την Ισπανία. Η θαλάσσια κάλυψη είναι κάτω από τον ευρωπαϊκό μέσο όρο, αλλά ο κατάλογος με τις θαλάσσιες περιοχές δεν έχει ακόμα ολοκληρωθεί (<http9>).

Natura 2000

Συνολική έκταση : 4.294.960,14 ha
Έκταση χέρσου : 3.603.354,61 ha (27% της χώρας)
Έκταση θάλασσας : 691.605,53 ha (6% των χωρικών υδάτων)



Σχήμα 3.1: Περιοχές Natura 2000 της Ελλάδας (Papageorgiou & Vogiatzakis, 2006)

4. Μεθοδολογία

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά με τα υπόλοιπα πληροφοριακά συστήματα, με το επιπλέον χαρακτηριστικό της ύπαρξης της γεωγραφικής πληροφορίας και της χωρικής διάστασης, είναι ο ίσως ακριβέστερος ορισμός που έχει δοθεί από την F.I.G (Federation Internationale des Geometres – 1983). Σήμερα η παρατήρηση της επιφάνειας της γης, επιτυγχάνεται με προηγμένα αερομεταφερόμενα και δορυφορικά συστήματα επιτρέποντας την συλλογή δεδομένων για την παραγωγή εικόνων, που δίνουν τη δυνατότητα παρακολούθησης, κατανόησης και σχεδιασμού της διαχείρισης των ανθρώπινων και φυσικών πόρων (Toutin, 1999). Πιο συγκεκριμένα γίνεται χρήση πληροφοριών που αποκτήθηκαν με δορυφορική τηλεπισκόπηση για την εκτίμηση μεταβλητών που υπεισέρχονται στη μελέτη υδατικού ισοζυγίου. Η προσομοίωση του γεωγραφικού χώρου γίνεται τόσο σε δισδιάστατη όσο και σε τρισδιάστατη μορφή. Τα ΓΣΠ αποτελούν μία εξέλιξη της ψηφιακής χαρτογράφησης και, επομένως, έχουν άμεση εξάρτηση από τις τοπογραφικές πληροφορίες (Μήτσιου & Λουκάς, 2005).

Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων των μεθόδων και των μοντέλων εξαρτάται από την ανάλυση των διαθέσιμων δεδομένων καθώς και από τη διαδικασία ρύθμισης ορισμένων παραμέτρων για την εκάστοτε περιοχή μελέτης. Επιπρόσθετα, τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ) είναι ίσως τα μοναδικά εργαλεία στην ανάπτυξη διακριτοποιημένων μοντέλων. Τα Γ.Σ.Π. παρέχουν τη δυνατότητα για γρήγορη και εύκολη εισαγωγή των απαραίτητων δεδομένων (χαρτογραφικών και βάσεων δεδομένων) και επεξεργασία αυτών. Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, δίνουν ακόμα την δυνατότητα επιφανειακής ολοκλήρωσης σημειακών μετρήσεων καθώς ενσωματώνουν εργαλεία χωρικής στατιστικής ανάλυσης. Τα ΓΣΠ προσφέρουν μια σειρά πλεονεκτημάτων στην υλοποίηση εφαρμογών, που συνοψίζονται στα εξής (Καββαδά, 2012):

- Συνδυάζουν τη διαχείριση βάσης δεδομένων με τη γραφική απεικόνιση χαρτών και άλλες πληροφορίες στο χώρο,
- Επιτρέπουν άμεση πρόσβαση σε ακριβείς πληροφορίες,
- Επιτρέπουν ταυτόχρονη ενημέρωση του γραφικού μέρους και της βάσης δεδομένων,

- Έχουν τη δυνατότητα εισαγωγής και εξαγωγής δεδομένων από και σε άλλα λογισμικά.

Σε ότι αφορά τη χρήση τους σε υδρολογικές εφαρμογές, οι τεχνικές που υποστηρίζονται από τα ΓΣΠ προσφέρουν δυνατότητες όπως (Καββαδά, 2012):

- Παρεμβολή και επιφανειακή ολοκλήρωση υδρολογικών μεταβλητών,
- Εξαγωγή μορφολογικών χαρακτηριστικών λεκάνης απορροής,
- Εξαγωγή υδρολογικών ιδιοτήτων λεκάνης απορροής με βάση την επιφάνεια υψομέτρου (συγκέντρωση ροής, υδρογραφικό δίκτυο),
- Συσχέτιση απορροής με δεδομένα λεκάνης (εδαφολογία, φυτοκάλυψη, γεωλογία, χρήσεις γης).

Τα αποτελέσματα που επιτυγχάνονται με τη χρήση Σ.Γ.Π. θα ήταν εξαιρετικά δύσκολο να επιτευχθούν με άλλες παραδοσιακές ή σύγχρονες, τεχνικές και μεθόδους (Καββαδά, 2012). Υπάρχουν τρεις βασικές πηγές δεδομένων για τη δημιουργία ψηφιακών μοντέλων ανάγλυφου (Βαϊόπουλος κ.ά., 2002):

α) Τα δεδομένα υπαίθρου, με απ' ευθείας εδαφικές μετρήσεις για καταγραφή των δεδομένων και μεταφορά τους σ' έναν H/Y,





β) Οι τοπογραφικοί χάρτες, τα δεδομένα στη συνέχεια ψηφιοποιούνται,

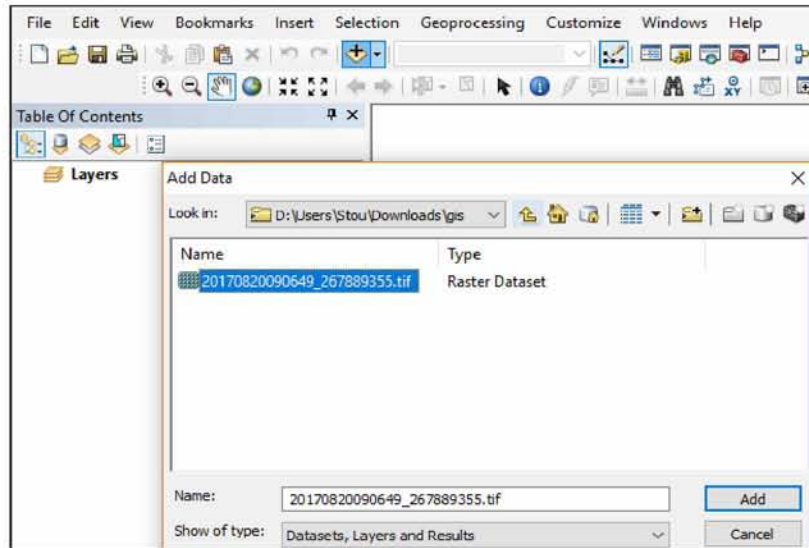
γ) Οι αεροφωτογραφίες ή οι δορυφορικές εικόνες.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκαν Γιαπωνεζικά D.E.M (aster gdem) αντί αυτών της NASA (srtm) διότι τα πρώτα έχουν χωρική ανάλυση 30 μέτρων σε αντίθεση με της NASA που η ανάλυσή τους είναι στα 90 μέτρα και επειδή η περιοχή μελέτης έχει έντονο ανάγλυφο, τα αποτελέσματα θα είναι πιο ακριβή. Για τον ορισμό της λεκάνης απορροής της λίμνης Βεγορίτιδας ακολουθήθηκαν τα παρακάτω βήματα:



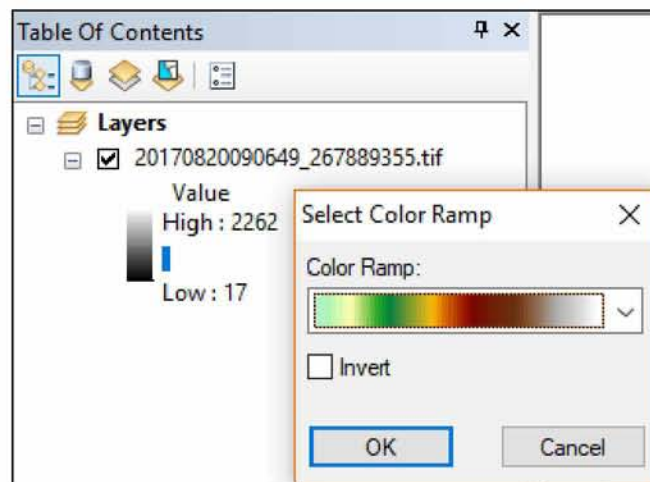
Σχήμα 4.1

1. Στο site <https://gdex.cr.usgs.gov/gdex/> διαμορφώθηκε το παραλληλόγραμμα επιλέγοντας Define Rectangular Area.
2. Επιλέχθηκε το Download Data for Defined Area  για το κατέβασμα του κομματιού που είχε διαμορφωθεί. Στο νέο παράθυρο επιλέχθηκε ως Research Area το 'Water' και πατώντας  εμφανίστηκε ένα παράθυρο Output με το κομμάτι που είχε επιλεγεί (Σχήμα 4.1).
3. Χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ArcMap και στο παράθυρο που εμφανίστηκε επιλέχθηκε New Maps → My Templates
4. Για την εισαγωγή του χάρτη επιλέχθηκε Add Data  και στο παράθυρο που άνοιξε, πατώντας Connect to Folder  και επιλέγοντας το σημείο στο οποίο αποθηκεύτηκε ο χάρτης, επιλέχθηκε το αρχείο τύπου tif και πατώντας Add εισήλθε στο περιβάλλον εργασίας του ArcMap (Σχήμα 4.2).



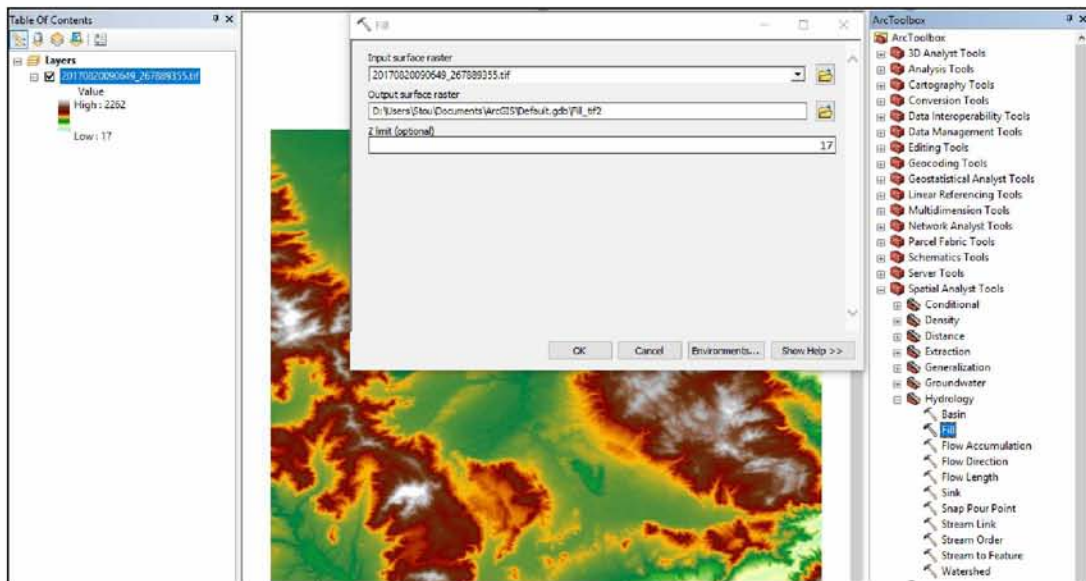
Σχήμα 4.2

5. Για την καλύτερη κατανόηση των υψομέτρων, επιλέχθηκαν «γήινοι» χρωματισμοί για την απεικόνιση του χάρτη, σε αντίθεση με την ασπρόμαυρη απεικόνιση (Σχήμα 4.3).



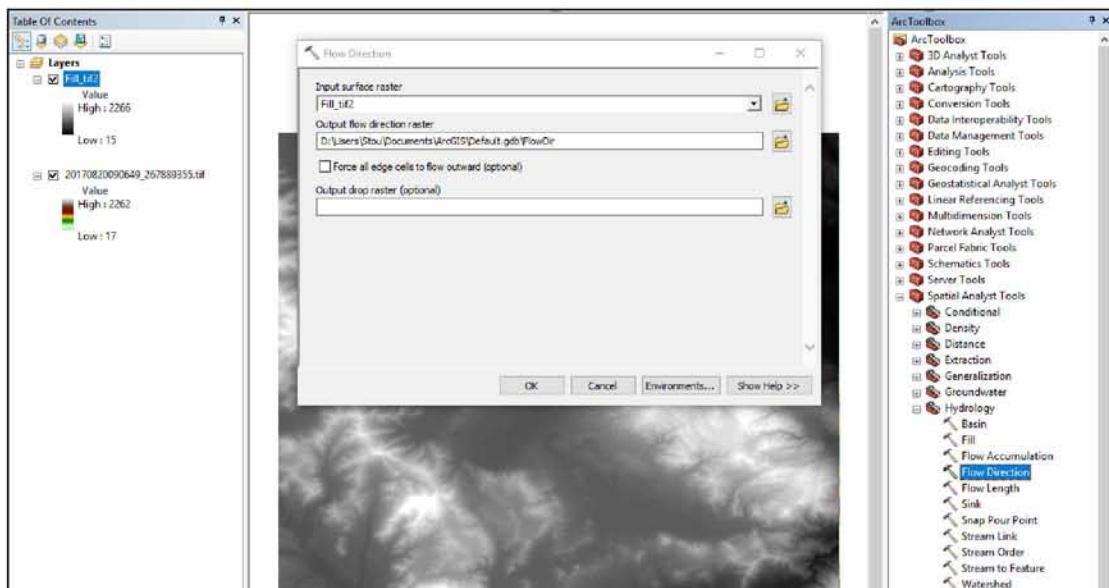
Σχήμα 4.3

6. Στο Arc Toolbox → Spatial Analyst Tools → Hydrology επιλέχθηκε το Fill και στο παράθυρο που εμφανίστηκε σέρνοντας το layer του χάρτη στη θέση του Input surface raster και πατώντας OK, εμφανίστηκε ένα καινούριο layer Fill_tif 2 (Σχήμα 4.4).



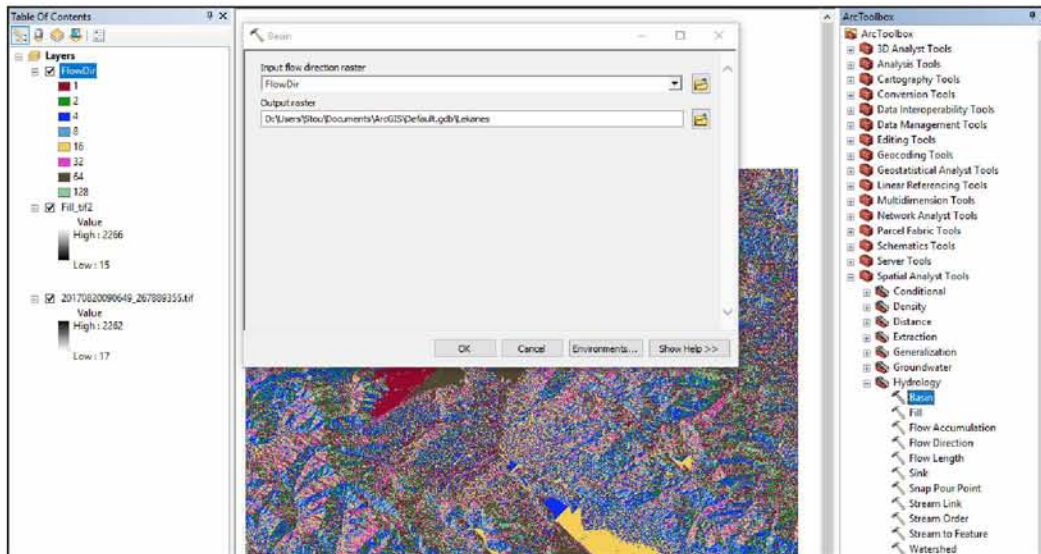
Σχήμα 4.4

7. Στο Arc Toolbox → Spatial Analyst Tools → Hydrology επιλέχθηκε το Flow Direction και στο παράθυρο που εμφανίστηκε, σέρνοντας το layer Fill.tif2 στη θέση του input surface raster και πατώντας OK, εμφανίστηκε ένα καινούριο layer Flow Dir (Σχήμα 4.5).



Σχήμα 4.5

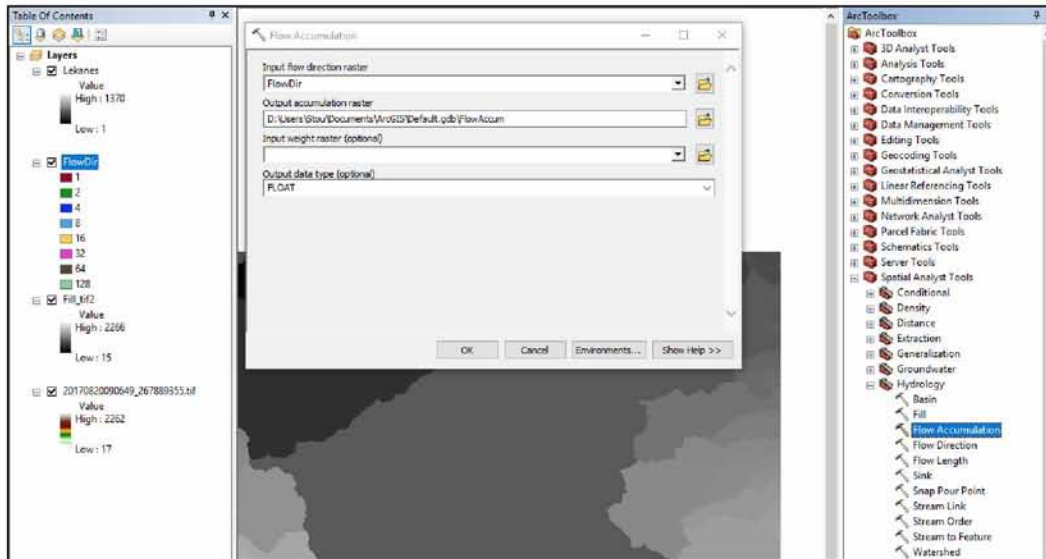
8. Στο Arc Toolbox → Spatial Analyst Tools → Hydrology επιλέχθηκε το Basin και στο παράθυρο που εμφανίστηκε, σέρνοντας το layer Flow Dir στη θέση του input surface raster και πατώντας OK, εμφανίστηκε ένα καινούριο layer Lekanes (Σχήμα 4.6).



Σχήμα 4.6

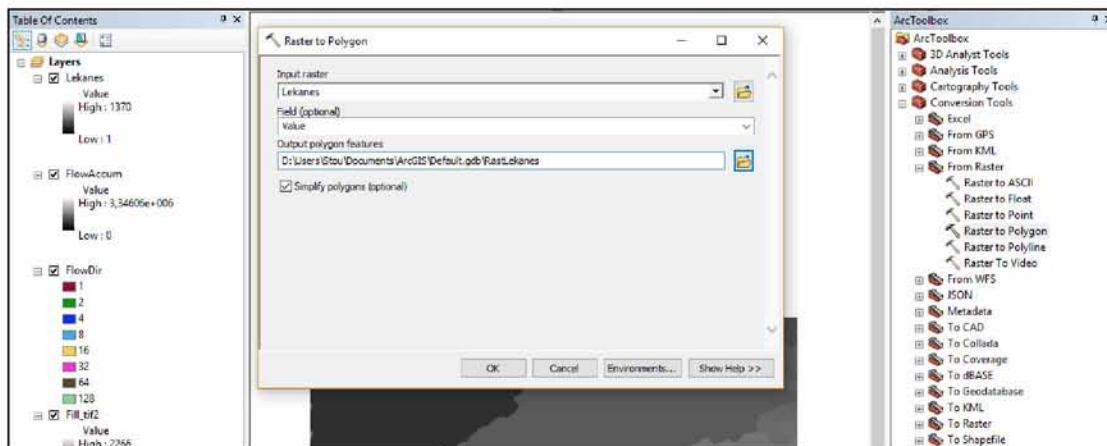
Με τον τρόπο αυτό εμφανίστηκαν οι λεκάνες απορροής της περιοχής, επειδή όμως ζητείται η λεκάνη της λίμνης, πραγματοποιήθηκαν και τα παρακάτω βήματα.

9. Στο Arc Toolbox → Spatial Analyst Tools → Hydrology επιλέχθηκε το Flow Accumulation και στο παράθυρο που εμφανίστηκε, σέρνοντας το layer Flow Dir στη θέση του input surface raster και πατώντας OK, εμφανίστηκε ένα καινούριο layer Flow Accum (Σχήμα 4.7).




Σχήμα 4.7

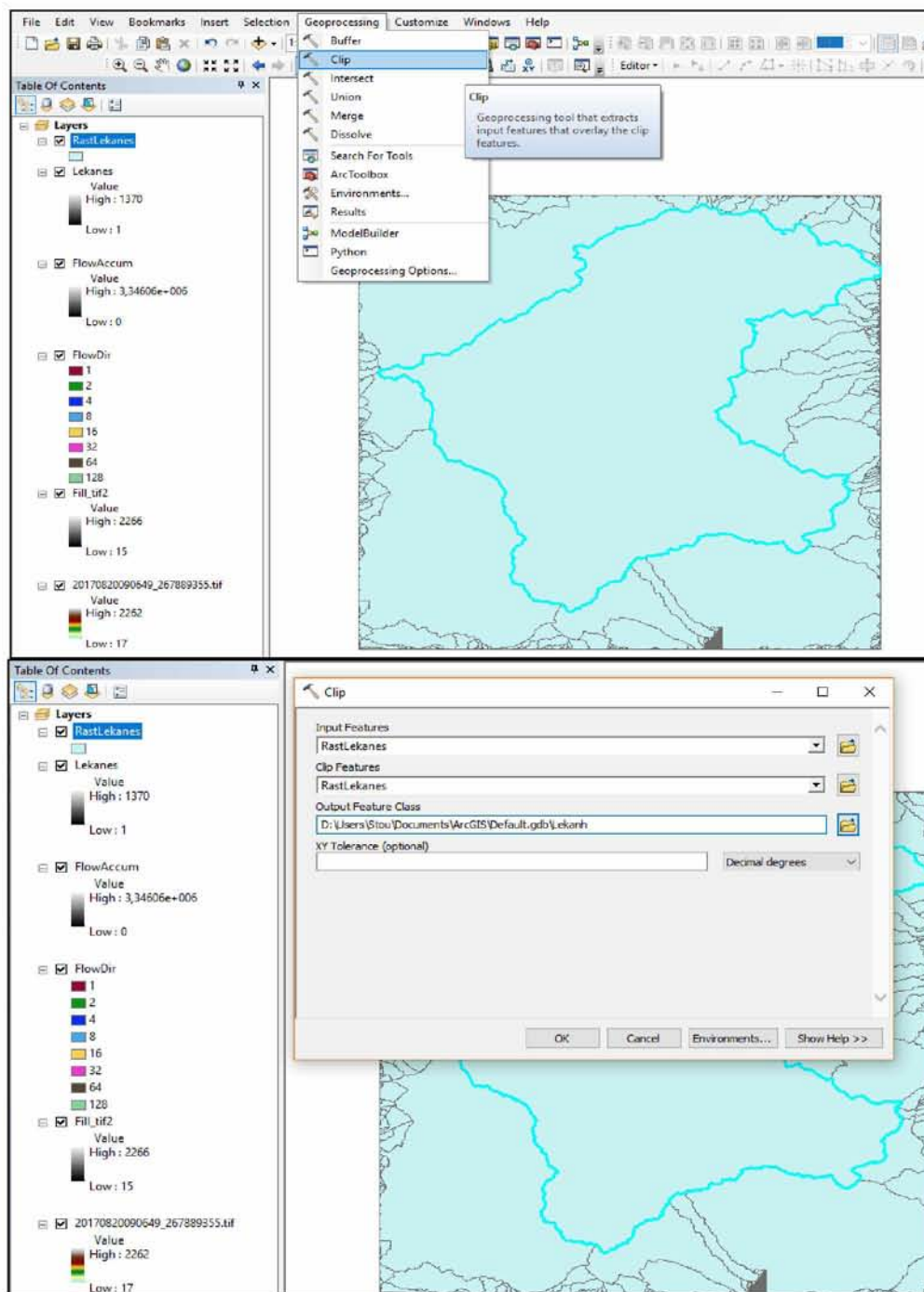
10. Στο Arc Toolbox → Conversion Tools → From Raster επιλέχθηκε το Raster to Polygon και στο παράθυρο που εμφανίστηκε, σέρνοντας το layer Lekanes στη θέση του input raster και πατώντας OK, εμφανίστηκε ένα καινούριο layer Rast Lekanes (Σχήμα 4.8).



Σχήμα 4.8

11. Με το Select Features  επιλέχθηκε η λεκάνη απορροής και στο Geoprocessing επιλέχθηκε το Clip και στο παράθυρο που εμφανίστηκε, σέρνοντας το layer Rast Lekanes στο

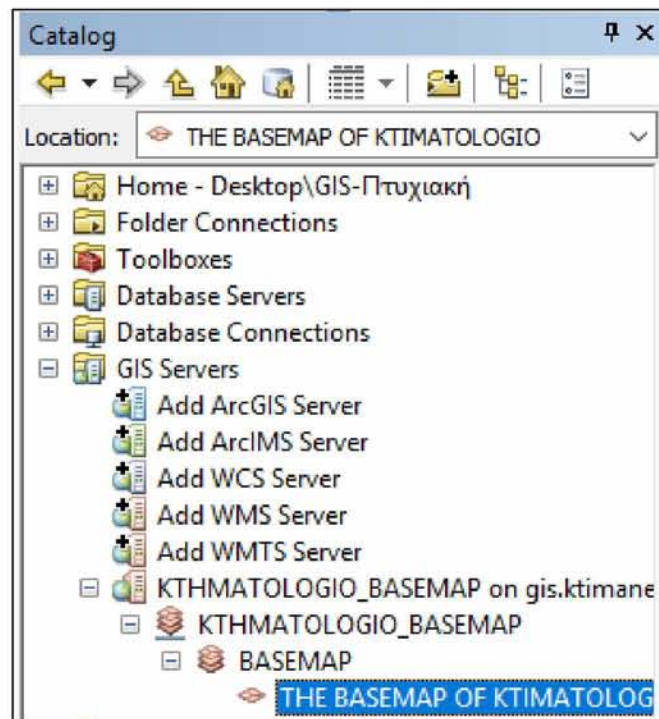
Input και στο Clip Features και πατώντας OK, εμφανίστηκε ένα καινούριο layer Lekanh. Και τα δύο layers (Lekanh, Rast Lekanes) αποχρωματίστηκαν στην επιφάνειά τους (Σχήμα 4.9).



Σχήμα 4.9

Για τις λίμνες:

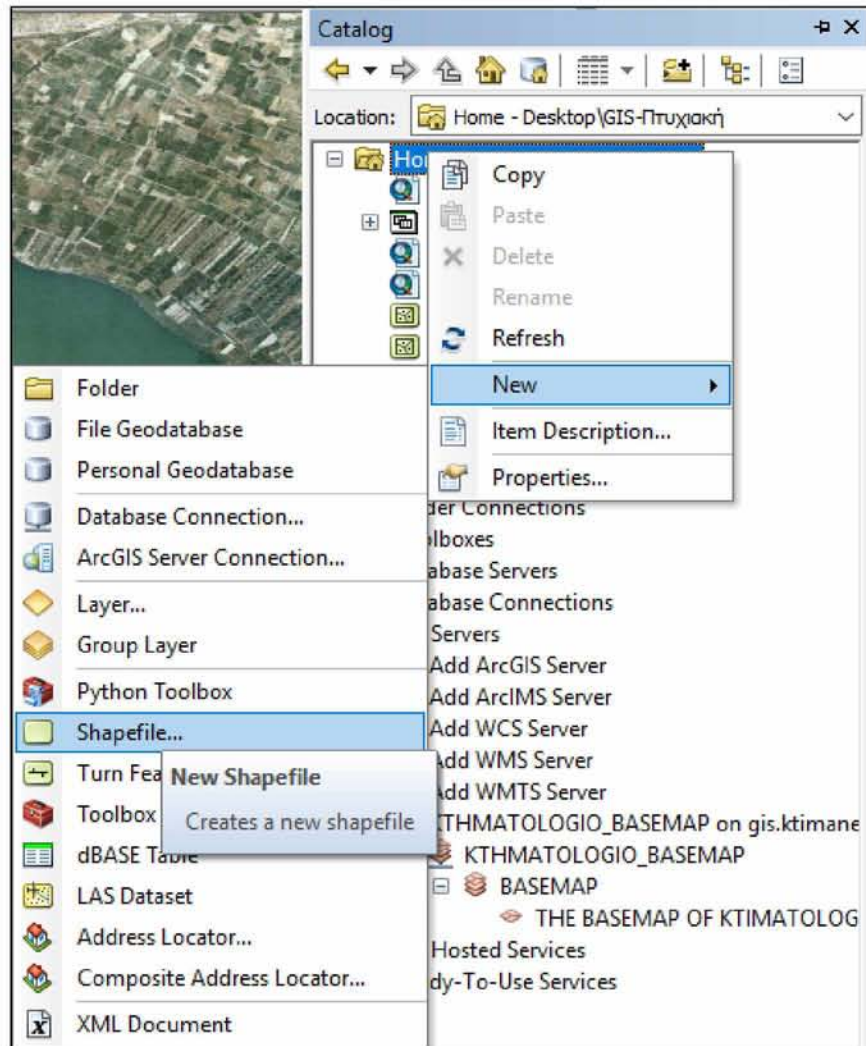
12. Στο Catalog → GIS Servers → Add WMS Server άνοιξε παράθυρο, όπου στο URL συμπληρώθηκε η διεύθυνση: <http://gis.ktimanet.gr/wms/wmsopen/wmsserver.aspx> για να γίνει η προσθήκη των ορθοφωτοχαρτών του κτηματολογίου. Επιλέχθηκε ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ_BASEMAP → BASEMAP → THE BASE MAP OF ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ, και εμφανίστηκε στο Catalog → GIS Servers server ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ_BASE MAP ongis.ktimanet.gr. Εκεί επιλέχθηκε το layer THE BASE MAP OF ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ και σύρθηκε στο Table Of Contents, εμφανίζοντας τον χάρτη του κτηματολογίου σαν layer (Σχήμα 4.10).



Σχήμα 4.10

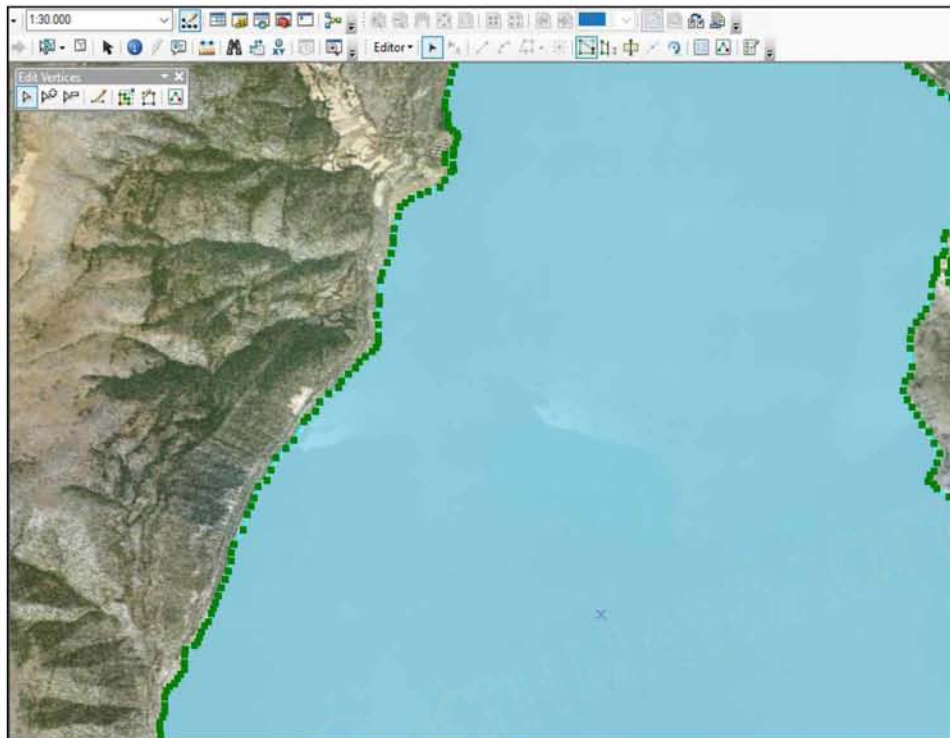
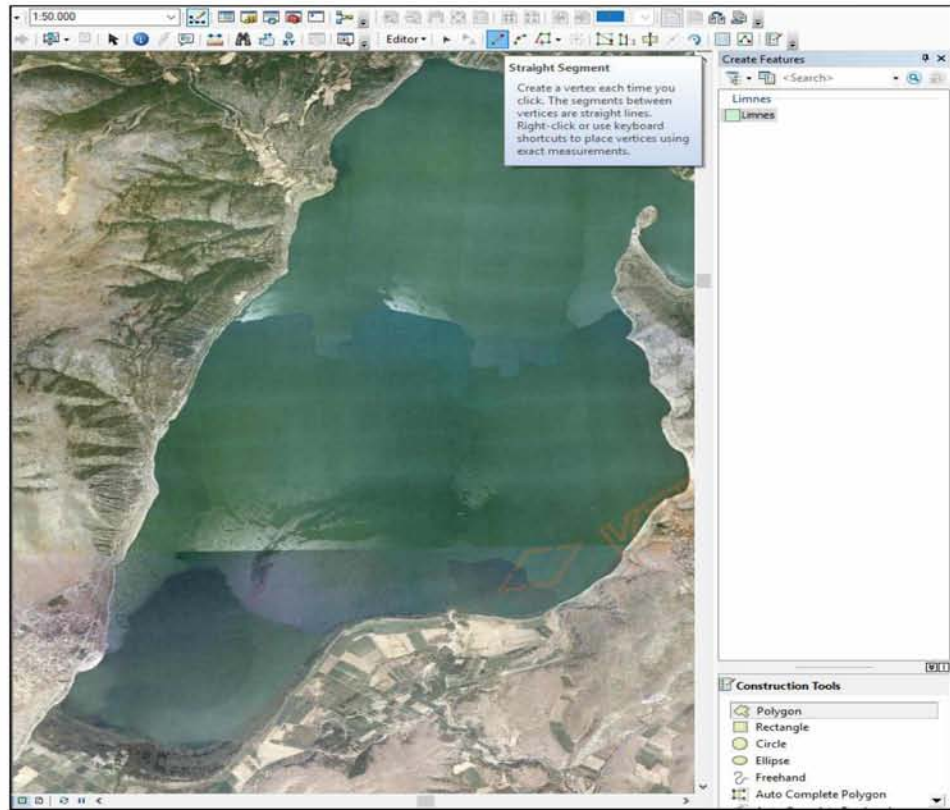
13. Για την ψηφιοποίηση των λιμνών: Catalog → δεξί κλικ στο φάκελο της εργασίας → New → Shapefile... και στο παράθυρο που άνοιξε στο Name πληκτρολογήθηκε Limnes, στο

Feature Type επιλέχθηκε το Polygon, στο Spatial Reference πατώντας το κουμπί Edit, επιλέχθηκε το GCS_Greek_Athens σαν γεωγραφικό σύστημα συντεταγμένων (Σχήμα 4.11).



Σχήμα 4.11

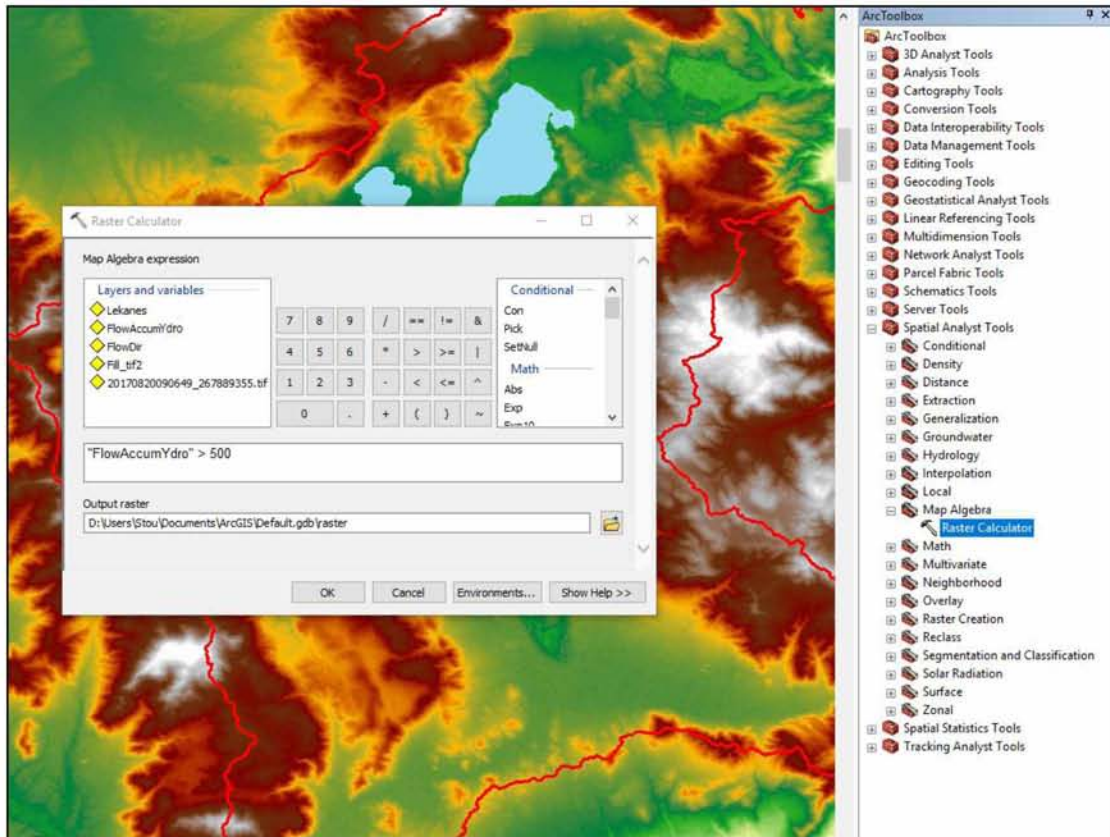
14. Στο Editor → Start Editing επιλέχθηκε το layer Limnes και αφού πατήθηκε το OK επιλέχθηκε το Create Features, έγινε κλικ στο Limnes και στο Constructio Tools το Polygon. Στο Editor επιλέχθηκε το Straight Segment και σε κλίμακα 1:30.000, χειροκίνητα έγινε η ψηφιοποίηση των λιμνών (Σχήμα 4.12).



Σχήμα 4.12

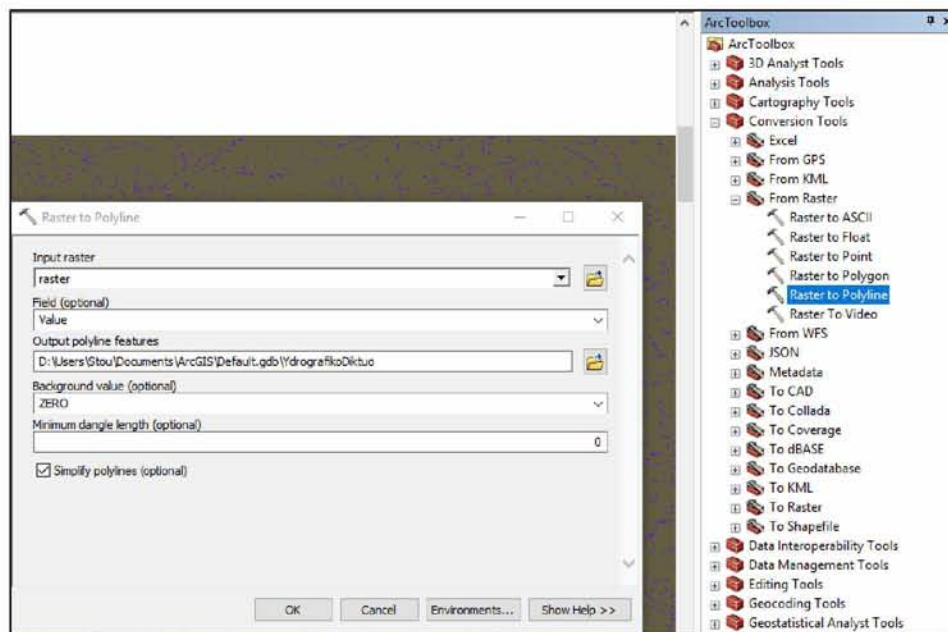
Για το Υδρογραφικό δίκτυο:

1. Στο Arc Toolbox → Spatial Analyst Tools → Hydrology επιλέχθηκε το Fill, στο Zlimit 17 και στο παράθυρο που εμφανίστηκε σέρνοντας το layer του χάρτη στη θέση του Input surface raster και πατώντας OK, εμφανίστηκε ένα καινούριο layer το Fill_Ydro. (βλ. προηγούμενο βήμα 6)
2. Στο Arc Toolbox → Spatial Analyst Tools → Hydrology επιλέχθηκε το Flow Direction και στο παράθυρο που εμφανίστηκε, σέρνοντας το layer Fill_Ydro στη θέση του input surface raster και πατώντας OK, εμφανίστηκε ένα καινούριο layer Flow Dir Ydro. (βλ. προηγούμενο βήμα 7)
3. Στο Arc Toolbox → Spatial Analyst Tools → Hydrology επιλέχθηκε το Flow Accumulation και στο παράθυρο που εμφανίστηκε, σέρνοντας το layer Flow Dir Ydro στη θέση του input surface raster και πατώντας OK, εμφανίστηκε ένα καινούριο layer Flow Accum Ydro. (βλ. προηγούμενο βήμα 9)
4. Στο Arc Toolbox → Spatial Analyst Tools → Map Algebra επιλέχθηκε το Raster Calculator και στο παράθυρο που εμφανίστηκε διατυπώνοντας «"FlowAccumydro" >500» και πατώντας OK εμφανίστηκε Layer raster (Σχήμα 4.13).



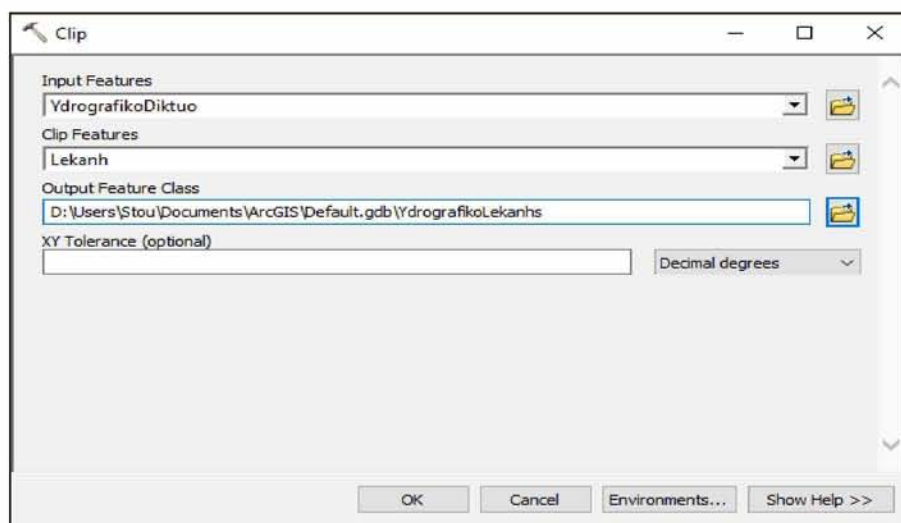
Σχήμα 4.13

5. Στο Arc Tool box → Conversion Tools → From Raster επιλέχθηκε το Raster to Polyline και στο παράθυρο που εμφανίστηκε, στο Input raster επιλέχθηκε το layer raster και πατώντας OK εμφανίστηκε το layer Υδρογραφικό Δίκτυο (Σχήμα 4.14).



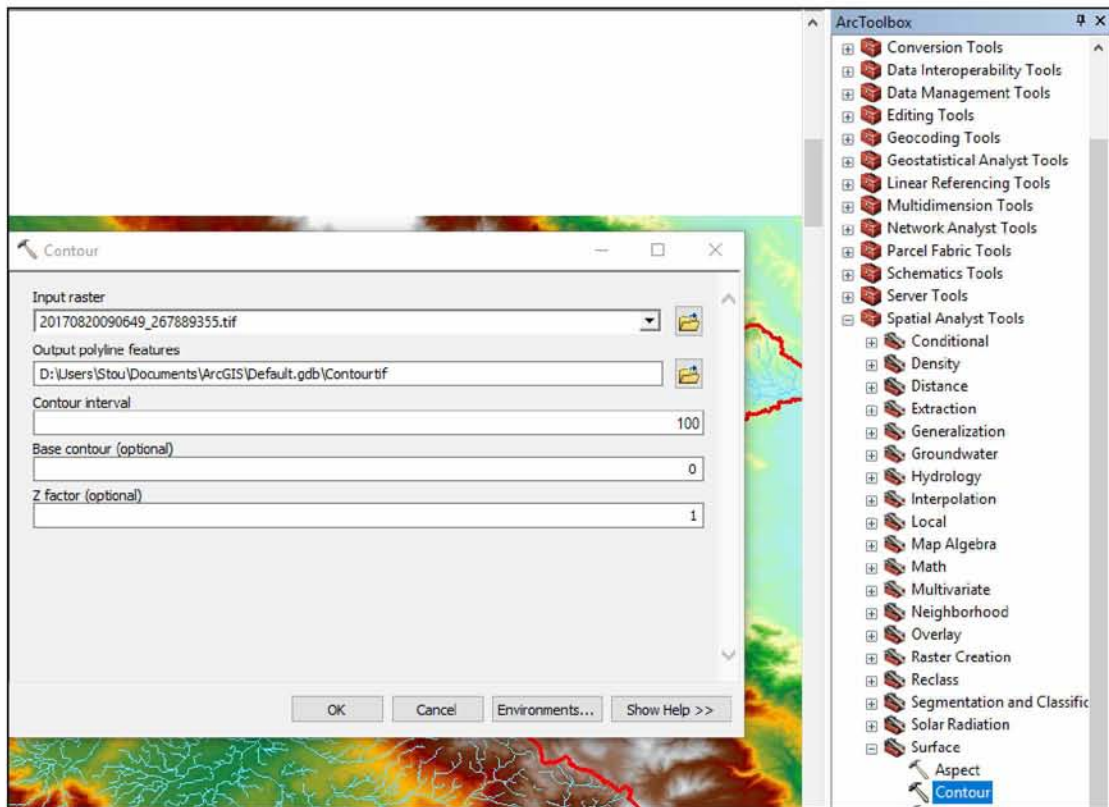
Σχήμα 4.14

6. Στο Geoprocessing επιλέχθηκε το Clip και στο Input Features επιλέχθηκε το layer Υδρογραφικό Diktuo και στο Clip Features το layer Lekanh και πατώντας OK εμφανίστηκε το layer Υδρογραφικό Lekanh που είναι το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης απορροής (Σχήμα 4.15).




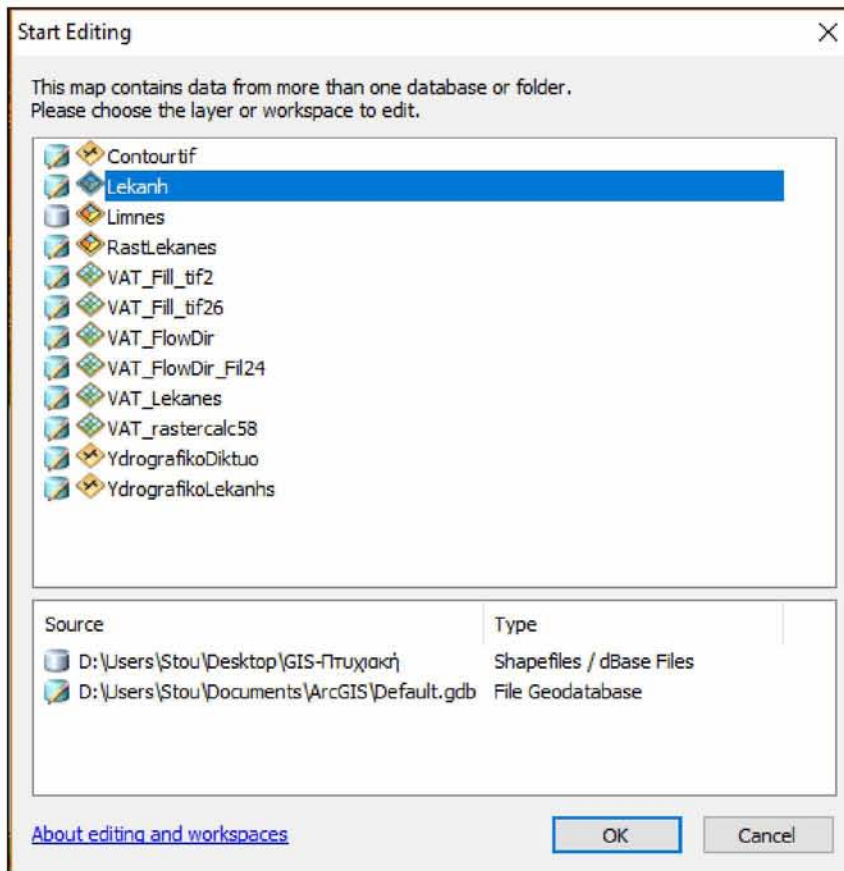
Σχήμα 4.15

7. Για τις ισουψείς στο Arc ToolBox → Spatial Analyst Tools → Surface επιλέχθηκε το Contour και στο παράθυρο που εμφανίστηκε, σέρνοντας το layer του χάρτη στο Input raster και γράφοντας 100 στο Contour interval, πατήθηκε το OK και εμφανίστηκε καινούριο layer με το όνομα Contourtif (Σχήμα 4.16).



Σχήμα 4.16

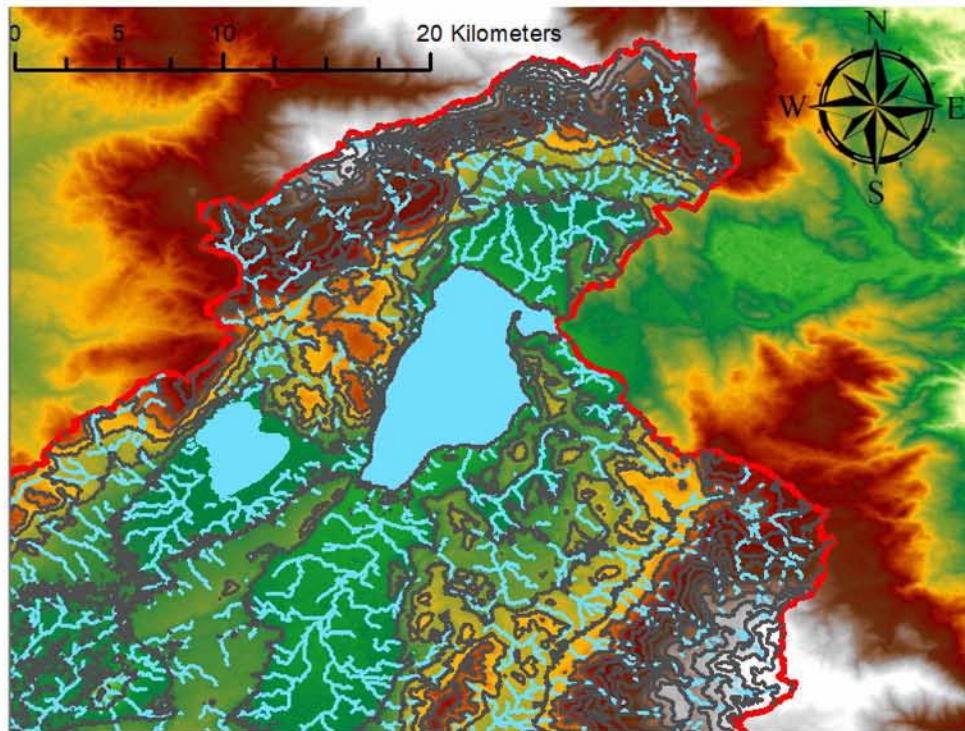
8. Για τη λεκάνη απορροής της λίμνης: Editor → Start editing επιλέχθηκε το  για τη διαμόρφωση της λεκάνης απορροής του χάρτη, σε λεκάνη απορροής της λίμνης χειροκίνητα, με τη βοήθεια των ισουψών. Στο τέλος της τροποποίησης επιλέχθηκε Save edits και Stop editing (Σχήμα 4.17).



Σχήμα 4.17

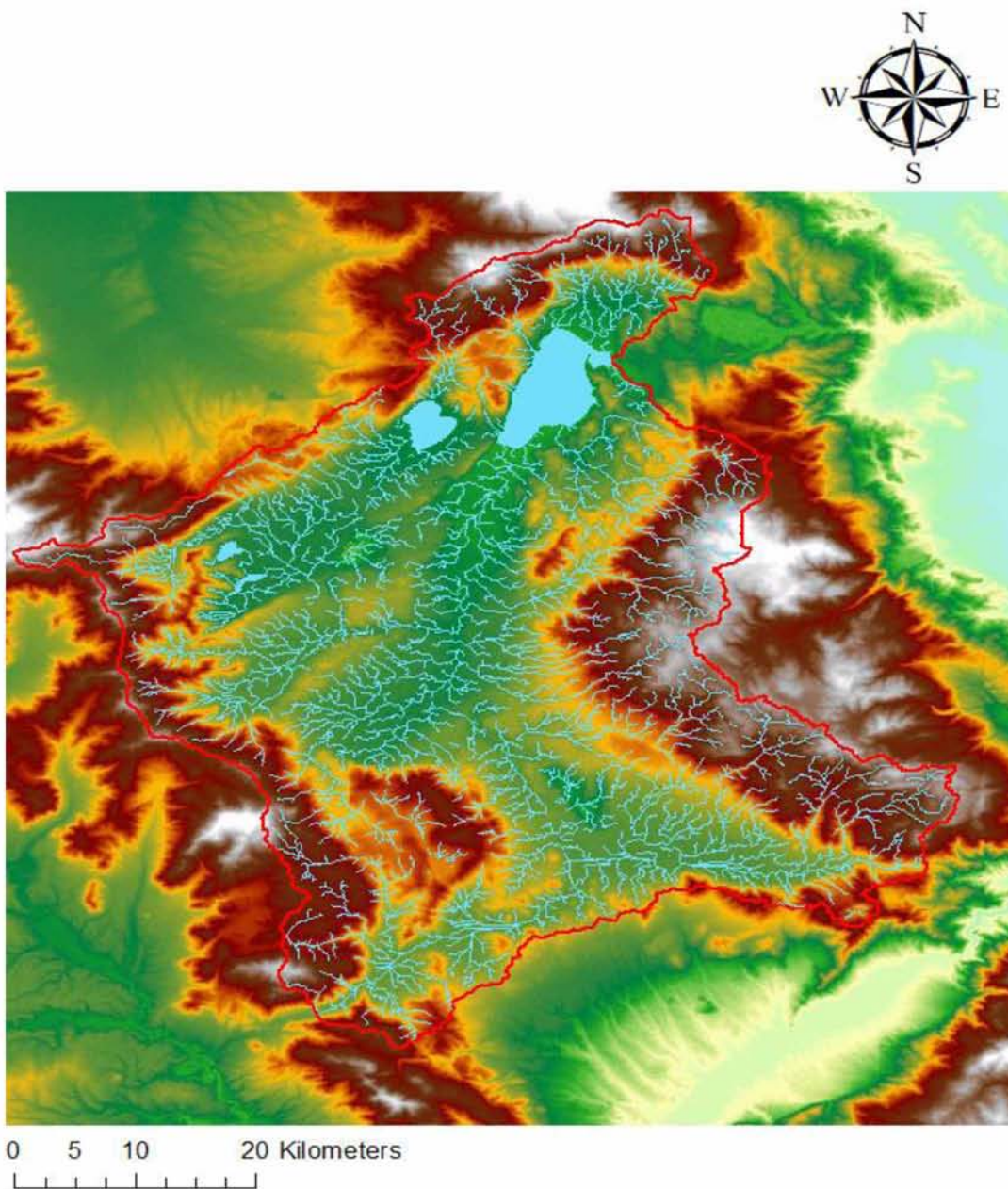
5. Αποτελέσματα – Συζήτηση

Με τη βοήθεια αυτοματοποιημένων μεθόδων, πραγματοποιήθηκε η αποτύπωση του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής μελέτης, (Σχήμα 5.3), η δημιουργία ισοϋψών καμπυλών, (Σχήμα 5.1) και η χάραξη του υδροκρίτη (Σχήμα 5.2).

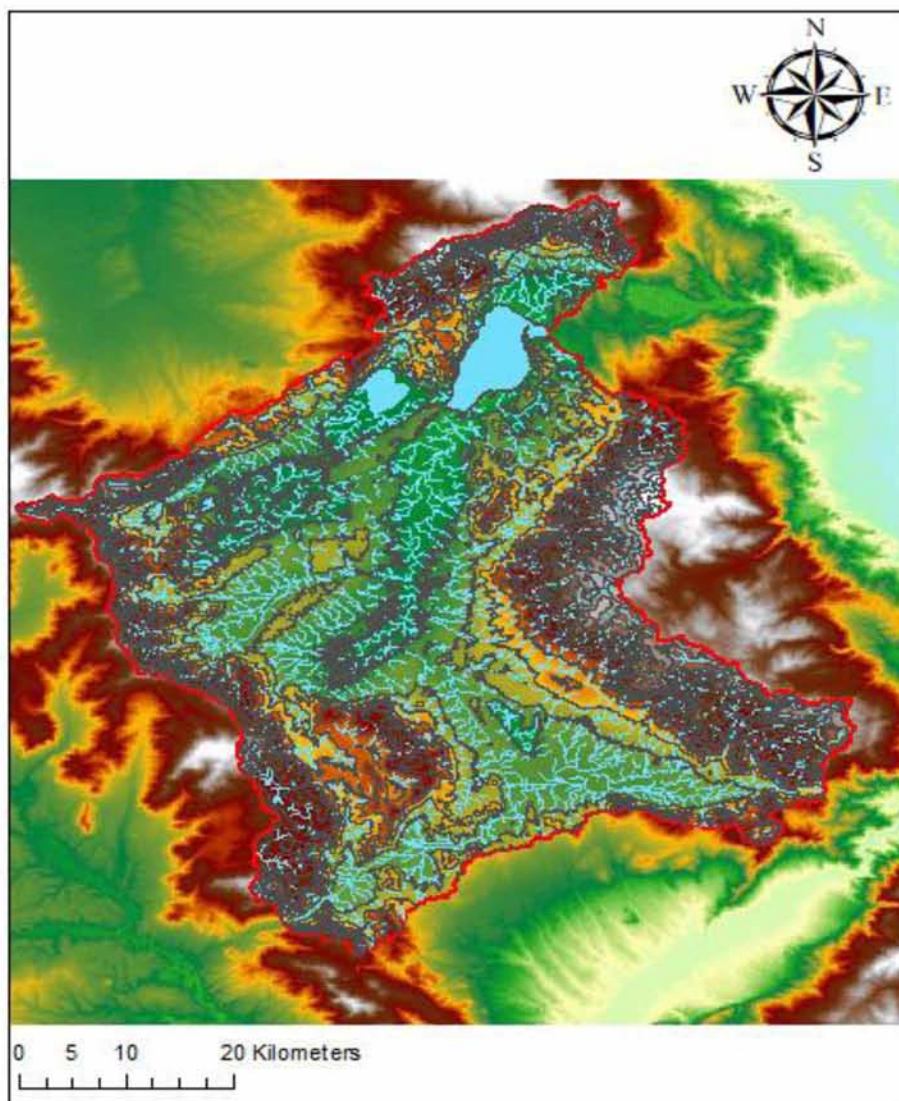


Σχήμα 5.1: Δημιουργία ισοϋψών καμπυλών

Κάνοντας χρήση χάραξης της λεκάνης απορροής με το χειροκίνητο τρόπο αντί του αυτοματοποιημένου προκύπτει το πιθανό ανθρώπινο σφάλμα το οποίο μπορεί να συμβεί καθώς το ανθρώπινο χέρι είναι αδύνατον να έχει την ίδια ακρίβεια χάραξης με αυτή ενός αυτοματοποιημένου συστήματος. Επίσης είναι μια μέθοδος υπολογιστικά δύσκολη (αργή) (Παναγιωτόπουλος, 2016). Ένα ακόμα πρόβλημα που εμπίπτει από τη χρήση αυτής της μεθόδου είναι το στοιχείο της υποκειμενικότητας ότι γίνεται χρήση μετρήσεων από τοπογραφικούς χάρτες. Το πρόβλημα αυτό δεν υφίσταται όταν οι μετρήσεις γίνονται με την βοήθεια ορθοφωτοχαρτών (Ντόντος, 2005).



Σχήμα 5.2: Χάραξη του υδροκρίτη



Σχήμα 5.3: Αποτύπωση του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής μελέτης

Από την άλλη πλευρά και η χρήση αυτοματοποιημένου τρόπο χάραξης της λεκάνης μπορεί να έχει και αυτή σφάλματα. Ένα από αυτά να είναι ότι υπάρχει περίπτωση η χρήση αρχείων (υψομετρικών) να χρήζει μετατροπών καθώς μπορεί να παρουσιάζει ένα συστηματικό σφάλμα στην γεωαναφορά των δεδομένων. Επίσης η λανθασμένη χρήση συμβόλων μπορεί να μεταφέρει ένα λανθασμένο μήνυμα στους χρήστες τονίζοντας κάποιο γνώρισμα σε βάρος κάποιου άλλου (Κυπριάδου, 2015).

Ακόμα ενώ στα λογισμικά GIS υπάρχουν εργαλεία για την κατασκευή κατά μήκος μιας γραμμής, δεν μπορεί κανείς να εξάγει ακριβείς τιμές υψομέτρου από αυτές τις τομές (Ντόντος, 2005).

Σφάλμα επίσης μπορεί να προκύψει και από τον δορυφόρο από τον οποίο παίρνουμε τις εικόνες που χρησιμοποιούμε. Πιο συγκεκριμένα ως σφάλματα δορυφόρου μπορούν να θεωρηθούν τα εξής (<http> 10):

- Η λήψη του σήματος προϋποθέτει ότι ο δέκτης και δορυφόρος συνδέονται με μια ευθεία νοητή γραμμή, στην οποία δεν παρεμβάλεται άλλο υλικό σώμα. Αυτό δεν ισχύει όταν ο δέκτης βρίσκεται μέσα στο δάσος ή περιτριγυρίζεται από ψηλά κτήρια.
- Οι δορυφόροι από τους οποίους ο δέκτης λαμβάνει το σήμα θα πρέπει να έχουν καλή κατανομή στο διάστημα αυτή η διάταξη είναι γνωστή ως γεωμετρία δορυφόρων και το σφάλμα που μπορεί να προκληθεί από άνιση κατανομή στον ουρανό, μπορεί να φτάσει και τα 100 μέτρα ακρίβεια.
- Το σήμα που φτάνει στον δέκτη, μπορεί να μην ταξιδέψει σε ευθεία γραμμή, αλλά να σκεδαστεί στην ατμόσφαιρα ή να ανακλαστεί σε μεγάλους όγκους κοντά στον δέκτη. Η ατμόσφαιρα περιέχει πολλά αέρια, υδρατμούς και σωματίδια τα οποία μπορούν να προκαλέσουν σκέδαση. Η ανάκλαση προκαλείται από ψηλά κτήρια μέσα σε μια αστική περιοχή ή από την κόμη των δέντρων μέσα ή κοντά σε ένα δάσος. Το σφάλμα αυτό δημιουργείται λόγω της σχετικής θέσης των δορυφόρων στο διάστημα και του χρήστη.
- Σε περίπτωση που οι δορυφόροι είναι σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους, το πεδίο αλληλοεπικάλυψης τους αυξάνει μειώνοντας την ακρίβεια εντοπισμού της θέσης.

Πλεονεκτήματα της αυτοματοποιημένης χάραξης σε σχέση με τη χειροκίνητη είναι ότι προσφέρει υψηλού επιπέδου λεπτομέρεια, φωτοφασματικά δεδομένα καθώς και αυξανόμενη κάλυψη (Siart et al., 2009).

Παρόλα αυτά η χειροκίνητη μέθοδος είναι ακριβέστερη σε σχέση με την αυτοματοποιημένη και κυρίως σε περιοχές έντονου αναγλύφου, με σαφώς καθορισμένα υδρογραφικά δίκτυα, μεγάλες κλίσεις και διεργασίες διάβρωσης (Γιώτη, 2010).

Βασικοί κανόνες της Διαχείρισης Υδάτινων Πόρων είναι (Ψιλοβίκος, 2014):

- η ισομερής κατανομή μεταξύ των χρηστών με βάση αντικειμενικά κριτήρια,
- η οικονομική βελτιστοποίηση της χρήσης νερού σήμερα και στο μέλλον,
- η αποφυγή βλαβών και άλλων αρνητικών συνεπειών (καταστροφή πόρων και περιβάλλοντος) και
- η βιωσιμότητα της ανάπτυξης

Η διαχείριση υδατικών πόρων έχει ως στόχους να (Μακρή, 2012):

- προμηθεύσει νερό επαρκούς ποσότητας και κατάλληλης ποιότητας για την ικανοποίηση των οικιακών, αγροτικών, βιομηχανικών, ενεργειακών και άλλων αναγκών,
- προστατεύσει τους υδατικούς πόρους από τη ρύπανση,
- παρέχει επαρκή προστασία από ακραία υδρολογικά φαινόμενα (πλημμύρες-ξηρασίες)

Σύμφωνα με τον Ασημακόπουλο (2008) τα βασικά εργαλεία για την ορθολογική διαχείριση της ζήτησης νερού είναι τα εξής:

- επιβολή (νομοθεσία, αυστηρές προδιαγραφές, πρότυπα),
- ενθάρρυνση (υποστήριξη των καταναλωτών για την ορθολογική χρήση του νερού),
- τεχνολογία και σχεδιασμός (διαχείριση διαρροών και ελαχιστοποίηση απωλειών, μέτρηση κατανάλωσης, μείωση πίεσης, μειωτές ροής),
- οικονομικά εργαλεία (οικονομικά κίνητρα και αντικίνητρα, τιμολόγηση),
- εκπαίδευση (πρόσβαση σε δεδομένα, πληροφόρηση, ενημέρωση και ευαισθητοποίηση των καταναλωτών)

Το παραδοσιακό μοντέλο διαχείρισης των υδατικών πόρων υποστηρίζει πως σημασία έχει η οικονομική και τεχνολογική ανάπτυξη και πως κάθε φυσικός πόρος αποτελεί μία από τις συνιστώσες της ανάπτυξης αυτής. Το αποτέλεσμα της επί σειρά ετών εφαρμογής του συγκεκριμένου μοντέλου, ιδιαίτερα στις αναπτυγμένες περιοχές, είναι η ανεπάρκεια νερού, η οποία οφείλεται στην αύξηση των απαιτήσεων σε νερό και την υποβάθμιση της ποιότητάς του (Αντωνόπουλος, 2003).

Οι πιο σημαντικές δυσκολίες που υπάρχουν για τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης υδατικών πόρων στη χώρα μας είναι (<http> 11).:

- Άνιση κατανομή υδατικών πόρων,
- Εξάρτηση από πηγές άλλων χωρών,
- Άνιση κατανομή πληθυσμού,
- Εποχικότητα ζήτησης,
- Υπερεκμετάλλευση των υπογείων υδροφοριών,
- Έλλειψη ορθολογικά οργανωμένου εθνικού δικτύου συλλογής πληροφοριών, φυσικών δεδομένων, αξιόπιστη, συστηματική καταχώρηση και αξιολόγηση τους,
- Δυσκολία οριοθέτησης ανεξάρτητων και ενιαίων υδρογεωλογικών λεκανών ανά υδατικό διαμέρισμα

Κάποιες άλλες γενικότερες δυσκολίες υλοποίησης σχεδίου είναι ότι (Μακρή, 2012):

- Τα υδατικά συστήματα έχουν πολλαπλούς στόχους, χρήσεις και λειτουργίες,
- Οι επιστημονικές απόψεις των ειδικών για τα υδατικά συστήματα εμπλέκονται με θεσμικές και πολιτικές απόψεις,
- Τα περισσότερα υδατικά συστήματα είναι αβέβαια,
- Για την δημιουργία ενός συστήματος διαχείρισης πρέπει να συνεργαστούν πολλές υπηρεσίες και φορείς

Ως προτάσεις για την σωστή διαχείριση των υδατικών πόρων θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν οι εξής (Δαούση & Νικολακόπουλος, 2015):

- Να γίνει εκσυγχρονισμός των δικτύων άρδευσης, ώστε να μειωθούν οι σημερινές απώλειες που φτάνουν ως και το 50%,
- Να γίνει επιλογή των βέλτιστων μεθόδων άρδευσης ανά καλλιέργεια, αλλά και σωστή επιλογή των καλλιεργειών ανάλογα με την περιοχή και το υδατικό δυναμικό της,
- Να γίνει εξοικονόμηση ενέργειας στην οικιακή χρήση κάτι που μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στην επίλυση του προβλήματος, αν αναλογιστεί κανείς τον πληθυσμό της

Αττικής (μιας σχετικά άνυδρης περιοχής) ή τον πολλαπλασιασμό του πληθυσμού στα νησιά, λόγω τουρισμού το καλοκαίρι (το 2006 για τις ανάγκες των άνυδρων νησιών των Δωδεκανήσων χρειάστηκε η μεταφορά 655.311 κυβικών νερού)

Το αποτέλεσμα της βέλτιστης λειτουργίας είναι η κάλυψη της ζήτησης να γίνεται (Ψιλοβίκος, 2014):

- με αξιοπιστία (μείωση της πιθανότητας μη κάλυψης της ζήτησης νερού σε αποδεκτά επίπεδα),
- με νερό ασφαλούς ποιότητας,
- με μεθόδους που δε δημιουργούν προβλήματα στο περιβάλλον και
- με οικονομικά πρόσφορο τρόπο

Βιβλιογραφία

Ελληνική

Αγγελάκης Ν. και Κοτσελίδου Ν., 1996. Η διαχείριση των υδατικών πόρων της Ελλάδας και η συμβολή των ΔΕΥΑ. Πρακτικά Συνεδρίου Διαείρισης Υδατικών Πόρων. ΤΕΕ Λάρισα. σελ. 18.

Ανδρεαδάκης Α., 2002. Η αναγκαιότητα συντονισμένης δράσης για την υποβοήθηση εφαρμογής της Οδηγίας Πλαίσιο για τα νερά 2000/60'. Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π.. σελ. 20-21.

Αντωνίου, Β., 2000. Οι γεωπεριβαλλοντικές συνθήκες του λεκανοπεδίου Αθηνών: με χρήση γεωγραφικών πληροφοριακών συστημάτων (Διδακτορική Διατριβή). Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Τμήμα Γενικό. Τομέας Γεωλογικών Επιστημών και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος. Εργαστήριο Ορυκτολογίας και Γεωλογία

Αντωνόπουλος, Β., Διαμαντίδης Γρ. και Τσιούρης Σ., 1996. Λίμνη Βεγορίτιδα: Διαχρονική εξέλιξη των υδρολογικών και ποιοτικών παραμέτρων της. Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα. τομ.7. τευχ. 1.σελ. 63-78.

Αντωνόπουλος, Β., 2003. Ποιότητα Νερού και Ρύπανση Υδατικών Πόρων. Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής. Τμήμα Γεωπονίας. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Θεσσαλονίκη.

Βαβλιάκης, Γ., Αλμπανάκης, Κ., Αντωνόπουλος, Ε., & Γεραμίαν, Α., 1994. Ανθρωπογενείς επιδράσεις στην εξέλιξη της λίμνης Βεγορίτιδας. Πανελλήνια (Διεθνή) Γεωγραφικά Συνέδρια. σελ.275-289.

Βαϊόπουλος, Α., Νικολακόπουλος, Κ. και 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.

Βενετσάνου, Ε., 2015. Προοπτικές ολοκληρωμένης διαχείρισης υδατικών πόρων και υδάτινων οικοσυστημάτων (σύμφωνα με την οδηγία-πλαίσιο 2000/60/ΕΚ). Η περίπτωση του δήμου Λουτρακίου-Περαχώρας.

Βούρκα, 2011. “Οικολογική ποιότητα λίμνης Πετρών με βάση το φυτοπλαγκτόν και ζωοπλαγκτόν” (Μεταπτ. Διατρ.). ΑΠΘ. Θεσσαλονίκη.

Γεωργοπούλου Α., 2010. Η Διαχείριση και κοστολόγηση των υδάτων βάσει της Οδηγίας-Πλαίσιο 2000/60/ΕΕ.

Γιώτη, Ε. 2010. Αναγνώριση γεωμορφών με τη συνδυασμένη χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων και συστημάτων των γεωγραφικών πληροφοριών. Πανελλήνια και Διεθνή Γεωγραφικά Συνέδρια, Συλλογή Πρακτικών, 633-641.

Δαούση, Χ., και Νικολακόπουλος, Γ., 2015. Χωρικός σχεδιασμός για ολοκληρωμένη προστασία και διαχείριση των υδάτινων πόρων και των υδατικών οικοσυστημάτων σύμφωνα με τις κατευθύνσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης για αρμονική και ισόρροπη ανάπτυξη της περιφέρειας Δυτικής Ελλάδας.

Δημητριάδης, Α., 2000. Η επίδραση του ρέματος Σουλού (βιολογικός καθαρισμός Πτολεμαΐδας, ΔΕΗ, ΑΕΒΑΛ) στην ποιότητα του νερού της λίμνης Βεγορίτιδα και στους ιχθυοπληθυσμούς (Μεταπτυχιακή Διατριβή).

Ζουρνατζίδου, Ι., 2011. Αλληλεπιδράσεις μεταλλευτικής δραστηριότητας και υδατικών πόρων. Περιπτώσεις απ’τον Ελλαδικό χώρο.

Καββαδά Όλγα, 2012. «Ανάπτυξη μοντέλου βροχής – απορροής σε Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών» (Διπλωματική Εργασία), Αθήνα.

Κάπρος, Π., 2014. Ανάπτυξη Προσχεδίου Δράσης για την Αειφόρο Ενέργεια για το Δήμο Αμυνταίου.

Κασεκτζίδου, 2009. “Χειμαρρικό περιβάλλον λίμνης Βεγορίτιδας” (Μεταπτυχιακή Διατριβή). Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Κιλικίδης, 1992. Υγροβιότοπος λιμνών Ζάζαρη και Χειμαδίτιδα. σ. 81. ΑΠΘ. Θεσσαλονίκη.

Κουκάκης, Ε., 2017. Εφαρμογές γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών (GIS) στην απεικόνιση και διερεύνηση πετρελαιοκηλίδων από ναυτικά ατυχήματα στον ελλαδικό χώρο.

Κουτσουμπίδης, 1989. Τεχνική Έκθεση για τις λίμνες και τα ποτάμια Ν.Φλώρινας. σ. 183. Νομαρχία Φλώρινας.

Κυπριάδου, Α., 2015. Σχεδίαση και υλοποίηση ενός γεωγραφικού πληροφοριακού συστήματος σε περιβάλλον Arc GIS.

Λαζαρίδου , 2001. Έργα προστασίας και ανόρθωσης λειτουργιών υδροτόπων Ζάζαρης-Χειμαδίτιδας. ΕΚΒΥ-ΑΠΘ.

Λουκάς, Α., 2012. Εργαστήριο Υδρολογίας και Ανάλυσης Υδατικών Συστημάτων. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. ημερίδα ΤΕΕ Μαγνησίας. Βόλος.

Λουπασάκη, Κ., 2014. Σημειώσεις Διαλέξεων. Τεχνική Γεωλογία II. ΕΜΠ

Μακρή Σ., 2012. “ Διαχείριση υδατικών πόρων-Φράγμα Παναγιώτικο” (Μεταπτυχιακή Διατριβή).

Μανούσης, Α., 2006. Η οδηγία 2000/60 ΕΚ σε συνδυασμό με το διεθνές και Ευρωπαϊκό δίκαιο ως εργαλείο διαχείρισης διασυνοριακών λεκανών απορροής ποταμών: η περίπτωση της λεκάνης απορροής του ποταμού Αξιού/Vardar σε Ελλάδα και ΠΓΔΜ.

Μάρης, Φ., Παπαρρίζος, Σ. και Καράτζιος, Γ., 2014. Υδροπληροφορική. Εκδόσεις Δίσιγμα. σ . 23-28.

Μεταξάς, Α., Καραγεωργίου, Μ., Καρυμπάλης, Ε. και Καραγεωργίου, Δ., 2010. Η παλαιογεωγραφία της ευρύτερης περιοχής των Κομνηνών στη λεκάνη Πτολεμαΐδας κατά το νεογενές και τεταρτογενές. Πανελλήνια Γεωγραφικά Συνέδρια. σελ.128-137.

Μησιάλης, Κ., 2010. Διερεύνηση του υδατικού ισοζυγίου και της ποιότητας των υδάτων της λεκάνης απορροής της λίμνης Βεγορίτιδας (Μεταπτυχιακή Εργασία), Βόλος.

Μήτσιου, Π. και Λουκάς, Α., 2005. Κατανεμημένη προσομοίωση υδατικού ισοζυγίου με χρήση γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών εφαρμογή στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ενιπέα, Θεσσαλία (Διπλωματική Εργασία), Βόλος.

Μινώτου, Χ., 2012. Προστατευόμενες περιοχές και άτομα με ειδικές ανάγκες: ειδική περιβαλλοντική αγωγή (Διδακτορική Εργασία). Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων. Σχολή Διαχείρισης Φυσικών Πόρων και Επιχειρήσεων. Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων.

Μπούσμπουρας, 2007. Η ορνιθοπανίδα της λίμνης Βεγορίτιδας. Πρακτικά Επιστημονικής Συνάντησης Συλλόγου Προστασίας Της Βεγορίτιδας. σ.18-23.

Μπούσμπουρας και Καζόγλου, 2004. Μελέτη διαχείρισης καλαμώνων λίμνης Πετρών. Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Φλώρινας.

Νάσκος, 2004. Διατήρηση-διαχείριση λιμνών Χειμαδίτιδα, Ζάζαρη. Τεχνική Έκθεση. LIFE00NAT/GR/7242.

Νικολαΐδης και Αλυγιζάκη, 2003. “Διατήρηση-διαχείριση των λιμνών Χειμαδίτιδα, Ζάζαρη, Φυτοπλαγκτόν και φυσικοχημικά, LIFE00NAT/GR/7242”. ΑΠΘ.

Ντόντος, Π., 2005. Μορφοτεκτονική ανάλυση στην λεκάνη Ξηριά, Ν. Αργολίδας. Εφαρμογή μορφοτεκτονικών δεικτών και σύγκριση τους με την βοήθεια ψηφιακών μοντέλων εδάφους διαφορετικής ανάλυσης.

Παναγιωτόπουλος, Θ., 2016. Μοντελοποίηση και απεικόνιση χάρτη ισοϋψών με χρήση συστημάτων επαυξημένης πραγματικότητας (Διδακτορική Διατριβή).

Παπαοικονόμου, Χ., 2010. Εξόρυξη λιγνίτη και αποκατάσταση εδαφών στον νομό Κοζάνης

Παπαδοπούλου-Μουρκίδου, 2002. Πρόγραμμα Ελέγχου Ποιότητας Επιφανειακών Υδάτων Μακεδονίας-Θράκης. σελ. 129. ΑΠΘ. Θεσσαλονίκη.

Παπαστεργιάδου, 1990. “Υδροβία φυτά στη βόρεια Ελλάδα” (Διδακτορική Διατριβή).

Παπαφιλίππου-Πέννου, Ε., Ψιλοβίκος, Α., Βαβλιάκης, Ε. και Παλικαρίδης, Χ., 1998. Επίδραση της νεοτεκτονικής στην εξέλιξη του υδρογραφικού συστήματος του ρέματος. Πανελλήνια και Διεθνή Γεωγραφικά Συνέδρια, Συλλογή Πρακτικών, 279-289.

Παυλίδης Σ., 1985. “Νεοτεκτονική εξέλιξη της λεκάνης Φλώρινας - Βεγορίτιδας -Πτολεμαΐδας”(Διδακτορική Διατριβή). Θεσσαλονίκη.

Πολατίδου, Ε., 2005. Ανάπτυξη Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων διαχείρισης παράκτιων περιοχών υπό την επίδραση της λεκάνης απορροής: Η περίπτωση του κόλπου Γέρας νήσου Λέσβου.

Πυρινή, Χ., 2011. Το οικοσύστημα των λιμνών Βεγορίτιδας και Πετρών: χλωρίδα, βλάστηση και φυτογεωγραφία (Διδακτορική Διατριβή). Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Σχολή Θετικών Επιστημών. Τμήμα Βιολογίας. Τομέας Βοτανικής.

Σαχανίδης, Χ., Γεωργακόπουλος, Α., Φιλιππίδης, Α. και Κασώλη-Φουρναράκη, Α., 2001. Περιεκτικότητα σε ιχνοστοιχεία των μάργα των επιστρώσεων της λιγνιτοφόρου λεκάνης Πτολεμαΐδας-Αμύνταιου. Δυτική Μακεδονία. Δελτίον της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας. Τόμος 34. Τεύχος 3. σελ. 1115-1122.

Σούλιος, Χ., 1996. Γενική υδρογεωλογία. Α΄ τόμος. University Studio Press. Θεσσαλονίκη.

Σπυρίδης, 2007. Σχέδιο διαχείρισης των υδάτων των λιμνών Χειμαδίτιδας και Ζάζαρη. ΥΕΤΟΣ και Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Φλώρινας.

Στεφανίδης, Κ., 2012. “Αξιολόγηση λιμνών ΒΔ Ελλάδας, Υδρόβια μακρόφυτα –Ζωοπλαγκτόν” (Διδακτορική Διατριβή). Πανεπιστήμιο Πατρών. σ. 301.

Τόλη, Δ., 2011. ‘Υδρογεωλογική μελέτη της λεκάνης Αμύνταιου-Αναργύρων’ (Διδακτορική Διατριβή). Δυτική Μακεδονία.

Τσάρτας, Π., Μανώλογλου, Ε., Μάρκου, Α. και Κατσακιώρη, Μ., 2014. Ανάλυση των εμπλεκόμενων κοινωνικών ομάδων και σχεδιασμός συμμετοχικών διαδικασιών για τη διαχείριση των υδατικών πόρων στη λεκάνη του ποταμού Στρυμόνα.

Τσιρακίδου, 2008. “Βελτίωση λειτουργιών λίμνης Χειμαδίτιδας” (Μεταπτυχιακή Διατριβή). ΑΠΘ.

Χιονίδου, Ε., 2007. Μελέτη και αξιολόγηση των μεθόδων αποκατάστασης του τοπίου και της βλάστησης διαταραγμένων περιοχών από μεταλλευτικές δραστηριότητες: η περίπτωση του λιγνιτικού κέντρου Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου (Διδακτορική Διατριβή).

Χωραφάς, Ν., 1957. «Η λίμνη Βεγορρίτις. Υδρολογική Διερεύνησις και Υδροδυναμική Αξιοποίησης», Διδακτορική Διατριβή, Αθήνα.

Ψιλοβίκος Α., 2014. Οικουδραυλική. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα. σελ. 307-412.

Ξενόγλωσση

Antonopoulos, V. & Gianniu, S., 2003. Simulation of water temperature and dissolved oxygen distribution in Lake Vegoritis. Greece. Ecological Modelling, 160: 39-53.

Charou, E., Stefouli, M., Dimitrakopoulos, D., Vasiliou, E. & Mavrantza, D., 2010. Using remote sensing to assess impact of mining activities on land and water resources. Mine Water and the Environment, Vol. 29(1), 45-52 pp.

Evans, D., 2012. Building the European Union’s Natura 2000 network. Nature conservation, 1, 11.

Fotis, G., Conides, A., Koussouris, T., Diapoulis, A. & Gritzalis, K., 1992. Fishery potential of lakes in Macedonia, North Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*, vol.1, no.8, pp.523-528.

Garbrecht, J. & Martz, W., 1999. Digital elevation model issues in water resources modeling. In Annual Esri Users Conference.

Gundersen, G., Boysen, M. & Reith, A., 1981. Comparison of semiautomatic digitizer-tablet and simple point counting performance in morphometry. *Virchows Archiv B*, 37(1), 317-325.

Karamoutsou L., Psilovikos A., Spiridis A., Koutalou V., Papadopoulos I., Ampas V. & Stanlacke P., 2016. Modifications in the Vegoritida's Lake Catchment and Water Level During the Last Sixty Years. E-Proceedings of the 2nd International Conference HydroMediT 2016, Mesologgi 2016.

Katsiapi, M., Mazaris, D., Charalampous, E. & Moustaka-Gouni, M., 2012. Watershed land use types as drivers of freshwater phytoplankton structure. *Hydrobiologia*, vol.698, no.1, pp.121-131.

Kokkinakis, K. & Andreopoulou S., 2008. Environmental impacts concerning the fish and the fisheries of lakes Chimaditis and Zazari in W. Macedonia. Greece. Proc. Intern. BENA Conf. on "Balkan Collaboration: The Must for Better Life and Environment in S.E. Europe". 6-9/11/2008. Florina. Greece. 62. Abstr. book &CDro.

Kumler, M., 1994. An intensive comparison of triangulated irregular networks (TINs) and digital elevation models (DEMs). *Cartographica*, 31(2), 1.

Kounis, G., 1986. Evaluation of Vulnerability and quality of groundwater Resources in Greece. Institute of Geology and Mineral Exploration of Greece.

Loupasakis, C., Angelitsa, V., Rozos, D. & Spanou, N., 2014. Mining geohazards—land subsidence caused by the dewatering of opencast coal mines: The case study of the Amyntaio coal mine. Florina. Greece. *Natural hazards*, 70(1), 675-691.

Maidment, R., 2002. Arc Hydro: GIS for water resources (Vol. 1).

Möhler, G. & Conkie, A. 1998. Parametric modeling of intonation using vector quantization. In The Third ESCA/COCOSDA Workshop (ETRW) on Speech Synthesis.

- Moore, D., O'loughlin, M. & Burch, J., 1988.** A contour based topographic model for hydrological and ecological applications. *Earth Surface Processes and Landforms*, 13(4), 305-320.
- Moore, D., Grayson, B. & Ladson, R., 1991.** Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological processes*, 5(1), 3-30.
- Papageorgiou, K. & Vogiatzakis, N., 2006.** Nature protection in Greece: an appraisal of the factors shaping integrative conservation and policy effectiveness. *Environmental science & policy*, 9(5), 476-486.
- Papakostantinou A., Meladiotis I. & Demeris C., 1989.** 'Karsthydrologische Untersuchungen in den SudostlichenRandbereich des AmyndeonBraunkohlenbekensGriechenlan. *Braunkohle* , pp.44-50.
- Pirini, B., Tsiripidis, I. & Bergmeier, E., 2014.** Steppe-Like Grass Land Vegetation in the Hills around the Lakes of Vegoritida and Petron, North-Central Greece. *Hacquetia*, Vol. 13(1), 121-169 pp.
- Pirini, B., Tsiripidis, I., Karagiannakidou, V., Raus, T. & Babalonas, D., 2010.** Pseudo-steppic and aquatic flora of the Natura 2000 network site LimnesVegoritida-Petron (North-Central Greece). *PhytologiaBalcanica*, 16, 109-129.
- Radea, C., Parmakelis, A., Papadogiannis, V., Charou, D. & Triantis, A., 2013.** The hydrobioid freshwater gastropods (*Caenogastropoda, Truncatelloidea*) of Greece: new records, taxonomic re-assessments using DNA sequence data and an update of the IUCN Red List Categories. *ZooKeys*, no.350, pp.1.
- Scott, M. & Higgins, W., 2007.** U.S. Patent No. 7,167,187. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Siart, C., Bubenzer, O. & Eitel, B., 2009.** Combining digital elevation data (SRTM/ASTER), high resolution satellite imagery (Quickbird) and GIS for geomorphological mapping: A multi-component case study on Mediterranean karst in Central Crete. *Geomorphology*, 112(1), 106-121.

Silfer, T., Kinn, J. & Hassett, M., 1987. A geographic information system utilizing the triangulated irregular network as a basis for hydrologic modeling. In Proc. Auto-Carto. Vol. 8, pp. 129-136.

Strahler, N., 1964. Quantitative geomorphology of drainage basin and channel networks. Handbook of applied hydrology.

Stefanidis, K. & Papastergiadou, E., 2012. Relationships between lake morphometry, water quality, and aquatic macrophytes, in greek lakes. Fresenius Environmental Bulletin, vol.21. no.10. pp.3018-3026.

Stefanidis, K. & Papastergiadou, E. 2013. Effects of a long term water level reduction on the ecology and water quality in an eastern Mediterranean lake. Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems. vol.411. no. 05.

Toutin, Th., 1999. Elevation modelling from satellite visible and infrared (VIR) data. International Journal of Remote Sensing.

Zhang, W. & Montgomery, R., 1994. Digital elevation model grid size, landscape representation, and hydrologic simulations. Water resources research. 30(4). 1019-1028.

HAEKTPONIKH

http1: http://webapp1.dlib.indiana.edu/virtual_disk_library/index.cgi/4970813/FID2752/html/gishtml/applicat.htm

http2: <https://garyk500.wordpress.com/2011/04/07/generate-smooth-contours-from-dem-arcgis-modelbuilder/>

http3: <http://awesomegis.blogspot.gr/2012/12/dem-in-arcgis.html>

http4: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/manage-data/tin/fundamentals-of-tin-surfaces.htm>

http5: <http://www.naturagraeca.com/ws/129,191,134,1,1,%CE%9B%CE%AF%CE%BC%CE%BD%CE%B7-%CE%92%CE%B5%CE%B3%CE%BF%CF%81%CE%AF%CF%84%CE%B9%CE%B4%CE%B1>

http6: http://www.ornithologiki.gr/page_cn.php?tID=1118&aID=78

http7: <http://vegoritida.gr/whereis.htm>

http8: <http://geodata.gov.gr/dataset/to-diktuo-natura-2000-kai-prostateuomenes-periokhes>

http9: http://www.ekby.gr/ekby/en/Natura2000_main_en.html

http10: <https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/GEO346/.../2α%20GPS.ppt>

http11: <http://www.aua.gr/wrm/Simioseis/Propryhiaka/MEN/test.pdf>

Abstract

The water resources are not unlimited and this is the reason why their right management is necessarily recommended. It has been proved that in countries which face drought and water shortage problems, the water resources are not sufficient and for this reason, operational measures for sustainable management of the available reserves need to be taken, so that these countries will not face development problems. Greece is one of the countries that their water reserves are in very good quality and quantity condition, in relation to other European countries. The Geographic Information Systems (GIS) combine geographic characteristics with data tables in order to chart, analyze and evaluate real life problems which can be geographically attributed (Koukakis, 2017). The characteristic possibility that the GIS provide is the connection of spatial and descriptive information, which alone has no territorial substance. The GIS constitute a production mechanism of high quality maps and facilitate the implementation of complex analyses (Antoniou, 2000). The study region of the present work is the lake network of the wider region of Municipality of Amyntaio in Western Macedonia and refers to the lakes Zazari, Cheimaditida, Petron and Vegoritis. The particular region has intense agricultural and industrial activity, fact that immediately influences the lake network. The aim of the present work is

- To design the lake basin of Vegoritis, the hydrographic network, the watershed and the contour with the use of GIS.
- To compare the manual with the automated method.

In conclusion, the automated method gives better results than the manual one because it gives us access in precise information and the possibility of their direct and precise processing. Nevertheless, in order to correct any chance faults that can result from that method, like some fault coordinate from the satellite, you should be conversant with the study region.

Keywords: Geographic Information Systems (GIS), hydrological basin, automated method, Lake Vegoritida