

Ανάπτυξη Ολοκληρωμένου Συστήματος Παρακολούθησης, Προσομοίωσης και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων με Περιβαλλοντική και Κοινωνικο-Οικονομική Δυναμική

Εφαρμογή του Συστήματος στη Λεκάνη Απορροής της Λίμνης Κάρλας

Athanasios Loukas
Civil Engineering Department
University of Thessaly
Volos, Greece
aloukas@civ.uth.gr

Nikitas Mylopoulos
Civil Engineering Department
University of Thessaly
Volos, Greece
nikitas@civ.uth.gr

Nicholas Samaras
Department of Computer Science
and Engineering
TEI of Thessaly
Larissa, Greece
nsamaras@teilar.gr

Konstantinos Kokkinos
Department of Computer Science
and Engineering
TEI of Thessaly
Larissa, Greece
k_kokkinos@teilar.gr

Abstract— Στο παρόν ερευνητικό πρόγραμμα, αναπτύσσουμε ένα ολοκληρωμένο σύστημα λογισμικού παρακολούθησης και προσομοίωσης (monitoring and modeling system) για την αξιολόγηση της υδρολογικής, περιβαλλοντικής, οικολογικής και κοινωνικοοικονομικής δυναμικής λεκανών απορροής λιμνών ή υγροβιότοπων. Το σύστημα διαχείρισης των υδατικών πόρων αποτελείται από μια σειρά διασυνδεδεμένων (ή συζευγμένων) μοντέλων μέσα σε ένα κοινό πλαίσιο προσομοίωσης (common simulation framework). Μετά την ολοκλήρωσή του το προτεινόμενο framework θα εφαρμοστεί στη λίμνη Κάρλα. Όλα τα υδρολογικά μοντέλα καθώς και τα μοντέλα διαχείρισης διασυνδέονται με τον πυρήνα του συστήματος και ανταλλάσσουν δεδομένα με τη χρήση του OpenMI standard. Περαιτέρω, το σύστημα περιλαμβάνει υλοποιήσεις βαθμονόμησης (calibration) με τη χρήση μιας υπηρεσίας web βαθμονόμησης.

Keywords— επιφανειακή και υπόγεια υδρολογία; οικοσύστημα; βαθμονόμηση; σύζευξη; OpenMI.

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο στόχος ενός συστήματος παρατήρησης, προσομοίωσης και διαχείρισης υδατικών πόρων είναι να διευκολύνει τη συλλογή, οργάνωση, αποθήκευση, ανάλυση και δημοσίευση των περιβαλλοντικών δεδομένων και παρατηρήσεων που συλλέγονται στο πλαίσιο ενός περιβαλλοντικού παρατηρητηρίου αλλά και να διαχειριστεί αυτή την πληροφορία με την διαδικασία προσομοιώσεων έτσι ώστε να προβλέψει διάφορα υδρολογικά φαινόμενα. Όταν σε ένα

τέτοιο σύστημα προσάψουμε και λειτουργίες περιβαλλοντικού και κοινωνικοοικονομικού χαρακτήρα μπορούμε να δημιουργήσουμε ένα ολοκληρωμένο σύστημα μελέτης μιας περιοχής που αφορά τις κλιματικές αλλαγές, τις επιπτώσεις επιφανειακής και υπόγεια υδρολογίας καθώς και τις επιπτώσεις που σχετίζονται με το περιβάλλον και τις κοινωνικές διαδικασίες της ζωής των ανθρώπων σε αυτή την περιοχή.

Η δημιουργία ενός τέτοιου ολοκληρωμένου μοντέλου δεν γίνεται με ολιστικό τρόπο δεδομένης της πολυπλοκότητας των λειτουργιών του. Ο πλέον ενδεικτικός τρόπος ως τώρα είναι η συνένωση διάφορων εξειδικευμένων μοντέλων το καθένα από τα οποία μελετά αυτόνομα καθεμία από τις παραπάνω διαδικασίες. Η ολοκλήρωση ενός τέτοιου συστήματος πρέπει να παρέχει τις απαραίτητες λειτουργίες:

- της επικοινωνίας των μοντέλων και της σύζευξης για να μπορούν να ανταλλάσσουν δεδομένα,
- της οργάνωσης και αποθήκευσης η οποία είναι μία διαδικασία με την οποία τα δεδομένα μετατρέπονται σε μια μορφή που μπορεί να χρησιμοποιείται από όλα τα μέρη του συστήματος,
- της δημιουργίας μεταδεδομένων για την μεταχρονολογημένη ανάλυση τους με την μορφή προσομοιώσεων σεναρίων,
- της οπτικοποίησης με στόχο την αύξηση της κατανόησης των υδρολογικών διεργασιών και

- της δημοσίευσης η οποία είναι η διαδικασία όπου όλα τα στοιχεία εισαγωγής, αποτελεσμάτων και ανάλυσης είναι καθολικά διαθέσιμα και παρουσιάζονται σε διαλειτουργικές μορφολογίες.

Η εξεύρεση λύσεων για τα προβλήματα διαλειτουργικότητας είναι ένα κοινό συστατικό των μεγάλων συστημάτων (framework) που διεξάγονται σε πολλά επιστημονικά πεδία, όπως η γεωλογία [1], η ωκεανογραφία [2], κ.λπ.. Εντός του τομέα της υδρολογίας, δεν έχουν υπάρξει, μέχρι σήμερα, κάποια διεθνώς αναγνωρισμένα standards για την οργάνωση των δεδομένων, την μορφοποίηση και τους μηχανισμούς δημοσίευσης τα οποία θα μπορούσαν να αυξήσουν τη διαλειτουργικότητα των μοντέλων, ωστόσο ο τρόπος που έχει επικρατήσει ως τώρα είναι αυτά τα δεδομένα να εκφράζονται ως χρονοσειρές. Κατά συνέπεια, τα δεδομένα παρατηρήσεων είναι αριθμητικές χρονοσειρές που συλλέγονται στο πεδίο μελέτης, όπως μετρήσεις αγωγιμότητας, μετρήσεις ανεύρεσης ιχνοστοιχείων που αφορούν την ποιότητα του νερού, καθώς μετρήσεις μετεωρολογικών σταθμών που αφορούν τις κλιματολογικές συνθήκες οι οποίες με τη σειρά τους επηρεάζουν την ποσότητα και την ποιότητα του νερού ή τις μελλοντικές κλιματικές αλλαγές.

Για τους παραπάνω λόγους, κάθε μία από αυτές τις προσπάθειες δημιουργίας ολοκληρωμένων συστημάτων μοντελοποίησης και διαχείρισης υδατικών πόρων βρίσκεται αντιμέτωπη με νέες προκλήσεις που περιλαμβάνουν τη δημιουργία υποδομών συλλογής δεδομένων σε ευρεία κλίμακα, τη διαχείριση της αύξησης του όγκου των δεδομένων, τη χρονική και χωρική συχνότητα συλλογής δεδομένων, την οργάνωση και μορφοποίηση τους και την δυνατότητα επικοινωνίας των εν γένει ετερογενών μοντέλων σε ένα σύστημα ολοκληρωμένης διαχείρισης. Αν προσθέσει κανείς τις ιδιαιτερότητες των ενσωματωμένων μοντέλων που αφορούν την χρονική και χωρική τους διακριτοποίηση τότε το πρόβλημα γίνεται δυσκολότερο.

Ο στόχος του προτεινόμενου ερευνητικού προγράμματος είναι να αναπτυχθεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα παρακολούθησης και προσομοίωσης του οικοσυστήματος της λεκάνης απορροής της λίμνης που αποτελείται από μια σειρά συνδεδεμένων μαθηματικών μοντέλων τα οποία προσομοιώνουν:

1. τις υδρολογικές διαδικασίες διάδρασης των επιφανειακών υδάτων με τον υπόγειο υδροφόρα,
2. το υδατικό ισοζύγιο της λίμνης και του υδροβιότοπου,
3. την περιβαλλοντική και οικολογική δυναμική της λίμνης και του υδροβιότοπου και
4. τις επιδράσεις της διαχείρισης των υδατινών πόρων στην τοπική κοινωνία μέσα από ένα κοινωνικοοικονομικό πρίσμα.

Αυτό το σύστημα διαμόρφωσης θα ενσωματώσει:

- ένα δίκτυο μετεωρολογικών σταθμών με πομποδέκτες GSM κλιματολογικές και περιβαλλοντικές μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο.
- ένα γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών (Geographical Information System, GIS) όπου θα αποθηκεύονται, θα παρουσιάζονται με διαγραμματικό τρόπο και θα χρησιμοποιούνται για προσομοίωση όλες οι

απαραίτητες φυσικές και κοινωνικές πληροφορίες της περιοχής.

Η αρχιτεκτονική του συστήματος φαίνεται στο παρακάτω σχήμα

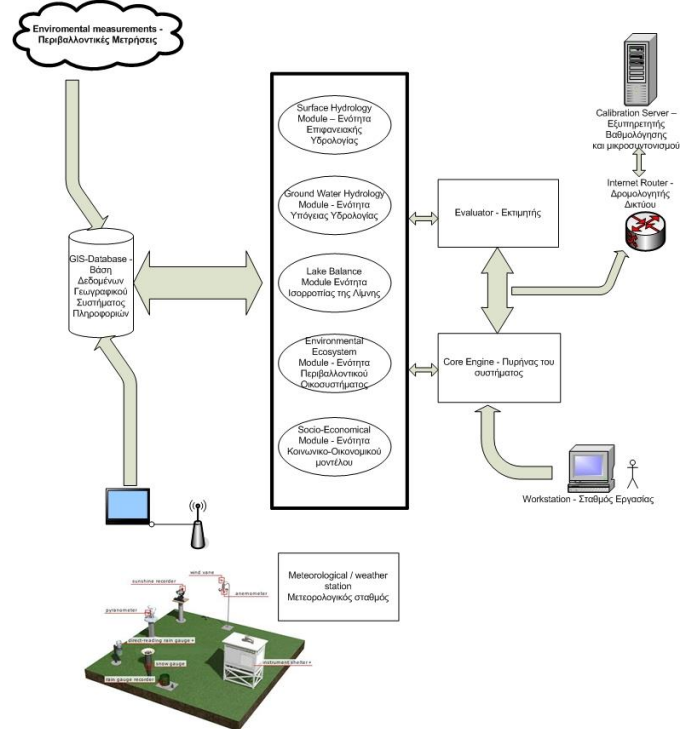


Fig. 1. Αρχιτεκτονική του Συστήματος Προσομοίωσης

Η ενότητα II περιγράφει πλήρως όλες τις λογισμικές ενότητες και τα υδρολογικά και περιβαλλοντικά και κοινωνικο-οικονομικά μοντέλα του συστήματος. Στην ενότητα III γίνεται αναλυτική επισκόπηση της βάσης δεδομένων που υλοποιήθηκε ενώ τέλος στην ενότητα IV δίνεται πλήρης περιγραφή του συστήματος GIS που αναπτύχθηκε για την υφιστάμενη περιοχή μελέτης. Τέλος αναφέρονται τα συμπεράσματα της μέχρι τώρα έρευνας καθώς και τα επόμενα βήματα που ακολουθούν για την ολοκλήρωσή της. Ιδιαίτερη μνεία γίνεται για τα προβλεπόμενα σενάρια και στρατηγικές διαχείρισης των υδατινών πόρων για την αποκαταστημένη λίμνη Κάρλα τα οποία θα προσομοιωθούν μετά το τέλος της ανάπτυξης του συστήματος προσομοίωσης.

II. ΛΟΓΙΣΜΙΚΕΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Σε αυτή την ενότητα δίνουμε μια αναλυτική περιγραφή των υποσυστημάτων/μοντέλων από τα οποία αποτελείται το framework προσομοίωσης. Το σύστημα μας αποτελείται από τις εξής λογισμικές ενότητες: (α) Μία βάση δεδομένων η οποία καταχωρεί και αποθηκεύει όλα τα ιστορικά δεδομένα έχοντας προβλέψει την ενσωμάτωση των δεδομένων παρατήρησης στο πεδίο δράσης του υδροφόρα, (β) Την ενοποίηση όλων των δεδομένων σε ένα γεωγραφικό σύστημα πληροφορίας, (γ) Την ενότητα της Επιφανειακής Υδρολογίας, (δ) Την ενότητα της Υπόγειας Υδρολογίας, (ε) Την ενότητα του Υδατικού Ισοζυγίου της λίμνης, (στ) Την ενότητα του Περιβαλλοντικού Οικοσυστήματος και (ζ) Το κοινωνικο-οικονομικό μοντέλο.

Παράλληλα, για την ενοποίηση, διασύνδεση και σύζευξη αυτών των μοντέλων αναπτύσσεται ένα framework το οποίο θα περιλαμβάνει τον πυρήνα του συστήματος, διάφορες διαλειτουργικές διασύνδεσης (σύζευξη μέσω OpenMI-standard, διασύνδεση μέσω data converters κ.λπ.) καθώς και μία μηχανή on-line βαθμονόμησης των διαφόρων μοντέλων μέσω μιας διαδικτυακής υπηρεσίας (web service).

A. Ενότητα Επιφανειακής Υδρολογίας

Στην ενότητα αυτή πέρα από τη συνάθροιση του συνόλου των δεδομένων, θα έχουμε τη δυνατότητα αποθήκευσης δεδομένων σε διάφορες μορφοποιήσεις (π.χ. λογιστικά φύλλα (spreadsheets), αρχεία κειμένου κ.λπ.). Περαιτέρω εδώ ενσωματώνεται το μοντέλο UTHBAL [3, 4] στο πλαίσιο προσομοίωσης (modeling framework) με την υλοποίηση της φορητότητας του μοντέλου αυτού και σε άλλα λογισμικά. Η ενότητα αυτή αναπτύσσεται ώστε να παρέχει αυτόματη αξιολόγηση και βελτιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης που εισάγεται στο μοντέλο UTHBAL. Επίσης έχει ήδη υλοποιηθεί η λειτουργικότητα της γραφικής παρουσίασης καμπυλών των χρονοσειρών των αποτελεσμάτων που προκύπτουν τόσο σε επίπεδο αδρομερούς διάταξης (lumped mode) όσο και σε επίπεδο ημικατανομημένης και πλήρως κατανομημένης διάταξης των παρατηρησιακών δεδομένων (semi and fully distributed mode). Τέλος η ενότητα της επιφανειακής υδρολογίας αναπτύσσεται να παρέχει διάδραση με άλλες ενότητες του πλαισίου και ειδικότερα με την ενότητα του ισοζυγίου της λίμνης (Lake Balance Module), με την ενότητα των υπογείων υδάτων και με την ενότητα της διαχείρισης της βάσης δεδομένων στο σύστημα GIS.

B. Ενότητα Υπόγειας Υδρολογίας

Η ενότητα της Υπόγειας Υδρολογίας ενσωματώνει και ολοκληρώνει το πρότυπο λογισμικού MODFLOW με μερική υποστήριξη του μοντέλου MIKE-SHE για τον καθορισμό των ορίων του ταμιευτήρα και του υδροφορέα υπο μελέτη. Όπως και στην ενότητα της Επιφανειακής Υδρολογίας, υλοποιείται το χαρακτηριστικό της φορητότητας του μοντέλου και της ανεξαρτητοποίησης του από το πεδίο δράσης. Με αυτή τη λογική το μοντέλο μπορεί να εφαρμοστεί και σε άλλους υδροφορείς μετά την υλοποίησή του. Επιπρόσθετα και σε συνδυασμό με την ενότητα της Επιφανειακής Υδρολογίας αναπτύσσεται η διαδικασία σύζευξης των δύο μοντέλων. Ο αρχικός σχεδιασμός προέβλεπε τον χωρικό και χρονικό συγχρονισμό των χρονοσειρών των αποτελεσμάτων μέσω του standard OpenMI αλλά δεδομένης της μη-ύπαρξης του πηγαίου κώδικα για το μοντέλο MODFLOW (με τη χρήση του προγράμματος GMS) θα γίνει ημι-αυτοματοποιημένη σύζευξη μέσω data converters. Από την άλλη πλευρά, μπορεί να επιτευχθεί σύζευξη με τις λογισμικές ενότητες του ισοζυγίου της λίμνης καθώς και της ενότητας του περιβαλλοντικού οικοσυστήματος δεδομένου ότι αυτές θα αναπτυχθούν και θα υπάρχει ο πηγαίος κώδικας. Τέλος, το υπο-σύστημα αυτό αυτόματα θα καταχωρεί όλα τα δεδομένα του στο ενσωματωμένο GIS σε μορφή shape files αλλά και ASCII-DEM μορφολογίας.

C. Ενότητα Υδατικού Ισοζυγίου της Λίμνης

Σε αυτή την ενότητα θα αναπτύξουμε ένα μοντέλο λειτουργίας και διαχείρισης του ταμιευτήρα (reservoir operation model). Το μοντέλο ονομάζεται UTH-Reservoir Lake Model (UTHRL) το οποίο είναι μια βελτιωμένη έκδοση του μοντέλου ταμιευτήρα που έχει εκπονηθεί από τους [5]. Αυτό είναι ένα σχετικά απλό μηνιαίο εννοιολογικό/εμπειρικό μοντέλο χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση η οποία περιγράφει τη λειτουργία του ταμιευτήρα σε κάθε μηνιαίο βήμα:

$$V(j)=V(j-1)+Q(j)-E(j)-A(j)-Y(j) \quad \square\square\square$$

όπου, $V(j)$ και $V(j-1)$ αντιστοιχούν στον αποθηκευμένο όγκο νερού στον ταμιευτήρα κατά τους μήνες j και $j-1$ αντίστοιχα, $Q(j)$ είναι το νερό που εισάγεται στον ταμιευτήρα (inflow) στο μήνα j , $E(j)$ είναι η καθαρή απώλεια νερού από τον ταμιευτήρα κατά το μήνα j , $A(j)$ είναι η πραγματική ανάλυση του όγκου νερού κατά το μήνα j , και $Y(j)$ είναι η πραγματική υπερχειλίση του ταμιευτήρα κατά το μήνα αυτό. Οι απώλειες λόγω βαθιάς διήθησης στον υπόγειο υδροφορέα συνήθως υπολογίζονται από εδαφολογικές και γεωλογικές μελέτες πριν τη δημιουργία του ταμιευτήρα. Στην περίπτωση που τέτοιες μετρήσεις δεν υπάρχουν, τότε θεωρείται σωστό οι εκτιμήσεις της απώλειας νερού λόγω βαθιάς διήθησης να λαμβάνονται ίσες με το μηδέν. Οι ανωτέρω ποσότητες εκφράζονται σε μονάδες όγκου (hm^3). Η στάθμη του νερού και η επιφάνεια του ταμιευτήρα υπολογίζονται χρησιμοποιώντας τη στάθμη του αποθηκευμένου στον ταμιευτήρα νερού και τις καμπύλες της εσωτερικής επιφάνειας του ταμιευτήρα. Χρησιμοποιώντας αυτές τις καμπύλες, έχει προταθεί η παρακάτω εξίσωση που σχετίζει την επιφάνεια του νερού του ταμιευτήρα F , με την αποθήκευση νερού, V :

$$F=a+bV^c \quad \square\square\square$$

όπου τα a , b , c είναι συντελεστές που υπολογίζονται μέσω curve fitting.

D. Ενότητα Περιβαλλοντικού Οικοσυστήματος

Το συγκεκριμένο θέμα προσεγγίζεται μέσω του μοντέλου προσομοίωσης PCLake, το οποίο αποτελεί ένα ολοκληρωμένο οικολογικό μοντέλο των ριχών λιμνών, περιγράφοντας το φυτοπλαγκτόν, τα μακρόφυτα και μια απλοποιημένη τροφική αλυσίδα, εντός του πλαισίου του κλειστού κύκλου των θρεπτικών. Σκοπός του μοντέλου είναι η ανάλυση της πιθανότητας μετάβασης από την κατάσταση που χαρακτηρίζεται από καθαρό νερό και κυριαρχείται από βλάστηση, στην κατάσταση που χαρακτηρίζεται από θολό νερό και κυριαρχείται από φυτοπλαγκτόν ή αντίστροφα, ως λειτουργία της εξωτερικής φόρτισης με θρεπτικά και άλλους παράγοντες. Εκτός από τα σενάρια διαφορετικών εξωτερικών φορτίσεων με θρεπτικά, οι επιδράσεις των υδρολογικών και μορφολογικών αλλαγών, η κλιματική αλλαγή, οι επιλογές διαχείρισης όπως η βυθοκόρηση και η διαχείριση της υδρόβιας ζώης, ή συνδυασμοί των παραπάνω, μπορούν να αξιολογηθούν με έναν τουλάχιστον ημι-ποσοτικό τρόπο. Το μοντέλο δίνει τη δυνατότητα εκτίμησης της επίδρασης διαφορετικών

υποθέσεων σε οικολογικές αλληλεπιδράσεις (όπως προκύπτουν, για παράδειγμα, από την οικολογική γνώση). Περιγράφει τις πιο σημαντικές οικολογικές αλληλεπιδράσεις σε ένα ρηχό λιμναίο οικοσύστημα που καθορίζουν ποια κατάσταση θα υπερισχύσει. Τόσο οι επιδράσεις από την επιφάνεια προς τον πυθμένα όσο και οι επιδράσεις από τον πυθμένα προς την επιφάνεια καθώς και οι έμμεσες επιδράσεις, λαμβάνονται υπόψη, εντός του γενικού πλαισίου του κύκλου των θρεπτικών. Το μοντέλο κατέχει μία ενδιάμεση θέση ανάμεσα στα μοντέλα ευτροφισμού που εστιάζουν κυρίως στα θρεπτικά και στο φυτοπλαγκτόν

E. Ενότητα Κοινωνικοοικονομικού Μοντέλου

Σε αυτή την ενότητα θα αναπτυχθεί μια μελέτη η οποία θα επεκταθεί σε τρεις ερευνητικές περιοχές: (α) το πρώτο κομμάτι θα αφορά τη γεωγραφική θέση της περιοχής, το μέγεθος της λίμνης και την ανασύστασή της, το κλίμα και τα υδρολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής της λίμνης. (β) στο δεύτερο κομμάτι θα μελετηθεί η περιοχή σαν προστατευόμενη περιοχή και θα καθοριστούν επακριβώς οι ζώνες προστασίας. Ειδικότερα θα μελετηθούν τα ειδικά χαρακτηριστικά της περιοχής του Μαυροβουνίου, το ιδιαίτερο φυσικό κάλος καθώς και το ιδιοκτησιακό καθεστώς της περιοχής του υδροφορέα. και (γ) το τελευταίο κομμάτι το οποίο θα παρουσιάσει τον κοινωνικό και οικονομικό χαρακτήρα της λεκάνης απορροής της λίμνης Κάρλας. Σαν εργαλεία εκτίμησης του χαρακτήρα αυτού χρησιμοποιήθηκαν δημογραφικά στοιχεία απογραφής ΕΣΥΕ (2001 και 1991), στοιχεία της απασχόλησης των κατοίκων καθώς και η πληθυσμιακή εξέλιξη των δημοτικών διαμερισμάτων της περιοχής.

III. ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Ένας από τους βασικότερους στόχους του ερευνητικού προγράμματος ήταν η ανάπτυξη της βάσης δεδομένων και συνίσταται στην εύρεση των αξιόπιστων ιστορικών στοιχείων των οποίων η συλλογή έγινε από διάφορες κυβερνητικές και θεσμικές οργανώσεις (πανεπιστήμια και ερευνητικά κέντρα) καθώς και τις ελληνικές και ευρωπαϊκές στατιστικές οργανώσεις. Η βάση σχεδιάστηκε και εγκαταστάθηκε σε ένα virtual server, με διαθέσιμα όλα τα προβλεπόμενα για την ανάπτυξη του ολοκληρωμένου συστήματος παρακολούθησης, προσομοίωσης και διαχείρισης υδατικών πόρων. Εδώ δίνουμε μια εκτεταμένη περιγραφή των δεδομένων αυτών [7 – 10]. Τα δεδομένα διακρίνονται σε :

- Δεδομένα Φυσικού Συστήματος: γεωγραφικά – τοπογραφικά δεδομένα, υδρομετεωρολογικά δεδομένα, γεωλογικά – υδρογεωλογικά δεδομένα, δεδομένα ποιότητας επιφανειακού και υπόγειου νερού.
- Δεδομένα Ανθρωπογενούς Περιβάλλοντος: κοινωνικά και οικονομικά δεδομένα, δεδομένα χρήσεων γης και σημειακών δραστηριοτήτων.
- Δεδομένα Έργων: δεδομένα τεχνικών έργων επαναδημιουργίας λίμνης Κάρλας και λοιπών τεχνικών έργων και υποδομών της περιοχής μελέτης.

A. Δεδομένα Φυσικού Συστήματος

Αυτά τα δεδομένα χωρίζονται σε:

- Γεωγραφικά και τοπογραφικά δεδομένα: Ψηφιακό μοντέλο εδάφους, Τοπογραφίες σε μεγάλες κλίμακες, Όρια λεκανών απορροής, Όρια δημοτικών διαμερισμάτων, Όρια οικισμών της περιοχής μελέτης, Οδικό δίκτυο κ.λπ.
- Υδρομετεωρολογικά δεδομένα: Όρια των υπο-λεκάνων της λεκάνης απορροής της λίμνης Κάρλας, Υδατορεύματα με κατάταξη κατά Strahler, Χρονοσειρές της μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης και θερμοκρασίας και Στοιχεία υδρομετρήσεων – παροχομετρήσεων των παραπάνω σταθμών σε ημερήσιο βήμα από το σχέδιο διαχείρισης υδάτων της Θεσσαλίας, τη ΔΕΗ και το ΥΠΕΚΑ
- Γεωλογικά και Υδρογεωλογικά δεδομένα: Γεωλογικοί χάρτες, Υδρογεωλογικές ενότητες της Λεκάνης, Στάθμες υπογείων νερών, Πρωτόκολλα καταγραφής δοκιμαστικών αντλήσεων για την εκτίμηση της υδροπερατότητας, Θέσεις και ενδεικτικές τιμές παροχών των καταγεγραμμένων γεωτρήσεων άντλησης (άρδευσης και ύδρευσης), Θέσεις των γεωτρήσεων παρατήρησης στάθμης υπόγειου νερού και μηνιαίες τιμές της στάθμης.
- Δεδομένα ποιότητας επιφανειακού και υπόγειου νερού: Θέσεις δειγματοληψίας ή μετρητικών σταθμών και χρονοσειρές των φυσικοχημικών παραμέτρων της ποιότητας του επιφανειακού νερού και Θέσεις δειγματοληψίας ή μετρητικών σταθμών και χρονοσειρές των χημικών παραμέτρων της ποιότητας του υπόγειου νερού από τη πρώην Διεύθυνση Εργείων Βελτιώσεων (ΔΕΒ) Μαγνησίας και Λάρισας, το ΙΓΜΕ, το ΥΠΑΑΤ, πρώην ΥΠΕΧΩΔΕ και την υδρογεωλογική μελέτη του έργου ανασύστασης της λίμνης Κάρλας.

B. Δεδομένα Ανθρωπογενούς Περιβάλλοντος

Αυτά χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- Κοινωνικοοικονομικά δεδομένα: Πληθυσμιακά δεδομένα, Οικονομικός ενεργός και μη ενεργός πληθυσμός κατά τομέα οικονομικής δραστηριότητας,
- Δεδομένα χρήσεων γης: Όρια δημοτικών διαμερισμάτων, δήμων, νομών και περιφερειών, των οποίων η πηγή πληροφόρησης είναι το Τμήμα Φυσικού Περιβάλλοντος της Γενικής Διεύθυνσης Περιβάλλοντος του πρώην ΥΠΕΧΩΔΕ, Όρια οικισμών τα οποία προέρχονται από το Ρυθμιστικό Σχέδιο Βόλου και από Γενικά Πολεοδομικά Σχέδια οικισμών, Κάλυψη γης περιοχής μελέτης από το πρόγραμμα Corine Land Cover.
- Δεδομένα σημειακών δραστηριοτήτων: Θέσεις μεταλλείων και λατομείων από τις Δ/νσεις Δασών των Ν.Α. Μαγνησίας και Λάρισας, δεδομένα για το είδος των ζώων και τον αριθμό των κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων από το σχέδιο διαχείρισης υδατικών

πόρων της Θεσσαλίας και θέσεις των κτηνοτροφικών μονάδων από το Φορέα Διαχείρισης Π.Ο.Κα.Μα.Κε.Βε., βιομηχανικές δραστηριότητες από το Εμπορικό Επιμελητήριο και κατανάλωση νερού των βιομηχανιών.

C. Δεδομένα Έργων

Σε αυτή την υπο-ενότητα παρουσιάζονται οι υφιστάμενες υποδομές που έχουν άμεση σχέση με την εργασία και τα έργα ανασύστασης της λίμνης Κάρλας που επηρεάζουν σημαντικά την περιοχή μελέτης και το υδατικό σύστημα της.

Οι πληροφορίες που συλλέχθηκαν είναι οι ακόλουθες:

- Όρια Τοπικών Οργανισμών Εγγείων Βελτιώσεων (ΤΟΕΒ)
- Οι θέσεις των ταμιευτήρων άρδευσης του ΤΟΕΒ Πηνειού από το ΤΟΕΒ Πηνειού και τη ΔΕΒ Λάρισας.
- Οι θέσεις των έργων της ανασύστασης της λίμνης Κάρλας από τη Μελέτη μεταφοράς και διανομής νερού της υπό ανασύστασης λίμνης Κάρλα.
- Νομογράφημα έκτασης – στάθμης – όγκου νερού του ταμιευτήρα της Κάρλας από τη Μελέτη μεταφοράς και διανομής νερού της υπό ανασύστασης λίμνης Κάρλα.

Στην περιοχή μελέτης δραστηριοποιείται σήμερα ο ΤΟΕΒ Πηνειού, του οποίου η περιμετρος ξεκινά από τη Λάρισα και καταλήγει στην περιοχή του Καλαμακίου. Οι υπόλοιπες εκτάσεις αξιοποιούνται από λίγους ανεξάρτητους καλλιεργητές, ενώ οι υπόλοιπες μένουν αναξιοποίητες εξ αιτίας της ακαταλληλότητάς τους. Σήμερα ο ΤΟΕΒ Πηνειού χρησιμοποιεί 4 αντλιοστάσια εκ περιτροπής τα οποία είναι εγκατεστημένα στον ποταμό Πηνειό. Η μεταφορά νερού γίνεται μέσω ανοικτών τάφρων, ενώ η υδροληψίες γίνονται με άντληση από εγκάρσιες διώρυγες, οι οποίες τροφοδοτούνται μέσω θυροφραγμάτων. Διάσπαρτες μέσα στις αγροτικές εκτάσεις βρίσκονται πρόχειρες λιμνοδεξαμενές άρδευσης οι οποίες γεμίζουν από χειμερινά νερά του Πηνειού, μέσω των αντλιοστασίων του ΤΟΕΒ. Η χωρητικότητα των λιμνοδεξαμενών δίνεται από την ΔΕΒ Λάρισας όμως στην πράξη είναι μεταβλητή καθώς χρόνο με το χρόνο αλλάζουν οι εκτάσεις των λιμνοδεξαμενών και προστίθενται κα νέες. Ο αριθμός και η σημερινή έκταση των λιμνοδεξαμενών έχουν αποτυπωθεί από αεροφωτο-γραφίες (Πηγή: Google Earth 2009).

IV. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (GIS)

Σημαντικό μέρος της έρευνας αποτελεί η ανάπτυξη του γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών (Geographical Information System, GIS) όπου αποθηκεύονται, παρουσιάζονται και θα χρησιμοποιούνται για προσομοίωση όλες οι απαραίτητες φυσικές και κοινωνικές πληροφορίες της περιοχής.

Η γεωγραφική βάση δεδομένων η οποία αναπτύχθηκε αποθηκεύτηκε σε ένα σύστημα GIS. Αυτή η βάση δεδομένων περιέχει τοπογραφικά στοιχεία (π.χ. ψηφιακά μοντέλα εδάφους Digital Elevation Model (DEM)) της λεκάνης απορροής και

της περιοχής της λίμνης, στοιχεία χρήσεων γης και στοιχεία φυτοκάλυψης που θα ανακτηθούν από διεθνείς βάσεις δεδομένων (π.χ. βάση δεδομένων CORINE) ή από τις δορυφορικές εικόνες (π.χ. εικόνες LANDSAT). Επιπρόσθετα, αυτή η βάση δεδομένων επεκτάθηκε επίσης με στοιχεία κοινωνικο-οικονομικών στατιστικών σχετικά με την περιοχή μελέτης, το δίκτυο μεταφορών, τους οικισμούς και τα αστικά κέντρα, τις βιομηχανικές περιοχές, και τις θέσεις των μετεωρολογικών σταθμών. Κλιματολογικές μετρήσεις (βροχόπτωση, εξατμισοδιαπνοή, θερμοκρασία αέρα κ.λπ.) καθώς και περιβαλλοντικές μετρήσεις θα ανακτώνται από ένα δίκτυο μετεωρολογικών σταθμών που θα εγκατασταθούν στη περιοχή μελέτης και θα διοχετεύουν με δεδομένα μέσω δικτύωσης GSM και ενός εξυπηρετητή (server) την βάση του γεωγραφικού πληροφοριακού συστήματος. Το σύστημα GIS έχει στενή σύνδεση με τη βάση δεδομένων που περιγράφηκε και θα συμβάλει στην ανάλυση των δεδομένων εισόδου στο framework αλλά και θα προσαρμόσει επίσης την απεικόνιση των αποτελεσμάτων υπό μορφή ψηφιακών θεματικών χαρτών, σχεδιαγραμμάτων και συνθετικών εκθέσεων.

Η δόμηση της βάσης στο Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών ακολούθησε τα εξής στάδια:

A. Ανάπτυξη της βάσης δεδομένων

Το στάδιο υλοποιήθηκε στο περιβάλλον της εφαρμογής ArcCatalog και περιλαμβάνει το σχεδιασμό της δομής της βάσης (καθορισμός και οργάνωση των δεδομένων σε geodatabases, feature datasets, feature classes, tables κλπ).

B. Προετοιμασία και εισαγωγή δεδομένων στο Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών:

Εδώ χρησιμοποιήθηκαν δύο κατηγορίες δεδομένων:

- *Αναλογικά δεδομένα:* στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκε η σάρωση των παρεχόμενων αναλογικών δεδομένων και η προετοιμασία και επεξεργασία αυτών για την εισαγωγή τους στο Σύστημα. Στη συνέχεια τα δεδομένα αφού εισήχθησαν στο ΓΣΠ, με την διαδικασία της Γεωαναφοράς απέκτησαν τη σωστή θέση τους στο χώρο και μετασχηματιστήκαν στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ 87).
- *Ψηφιακά δεδομένα:* Καταβλήθηκε προσπάθεια τα ψηφιακά δεδομένα να βρίσκονται σε μορφή τύπου CAD (*.dwg) ή ESRI ArcGIS (*.shp). Σε διαφορετική περίπτωση, αν υπάρχουν ψηφιακά δεδομένα άλλης μορφής, αυτά θα μετατραπούν και γεωαναφερθούν κατάλληλα μέσω των Conversion Tools του ArcToolbox προκειμένου να εισαχθούν στη βάση. (Σχήμα 2).

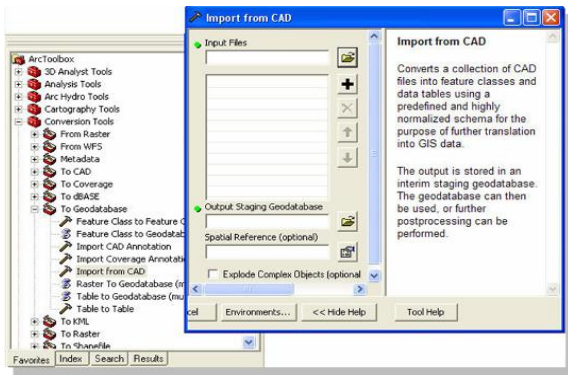


Fig. 2. Conversion tools της εφαρμογής ArcToolbox

C. Ψηφιοποίηση των Γεωγραφικών Δεδομένων

Το στάδιο αυτό αναφέρεται στη διαδικασία της διανυσματοποίησης των αναλογικών δεδομένων. Αρχικά, έγινε ο καθορισμός της μορφής και η δημιουργία των απαραίτητων επιπέδων πληροφορίας (layers) και ακολούθησε η καθαυτή διαδικασία της ψηφιοποίησης αυτών.

D. Έλεγχι τοπολογίας και ορθότητας των ψηφιοποιημένων δεδομένων

Στην Ψηφιακή Γεωγραφική Βάση Δεδομένων καθορίστηκαν ορισμένοι κανόνες που αποβλέπουν στον έλεγχο των τοπολογικών σχέσεων μεταξύ των χωρικών αντικειμένων προς αποφυγή ύπαρξης μη λογικών ή μη αποδεκτών σχέσεων.

Επίσης, επειδή η διαδικασία της ψηφιοποίησης ενδέχεται να εμπεριέχει σφάλματα διενεργήθηκε μια σειρά ελέγχων και προϋποθέσεων, για τη διασφάλιση της ορθότητας των παραγόμενων ψηφιακών γεωγραφικών δεδομένων. Οι τοπολογικοί κανόνες ορίζουν τις επιτρεπτές χωρικές σχέσεις μεταξύ οντοτήτων ή υποτύπων (subtypes) των οντοτήτων της ίδιας ομάδας αλλά και μεταξύ οντοτήτων διαφορετικών ομάδων π.χ. ο κανόνας «Δεν πρέπει να υπάρχει επικάλυψη» χρησιμοποιείται για την διαχείριση οντοτήτων στην ίδια ομάδα.

E. Μεταδεδομένα

Μεταδεδομένα (metadata) σε ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών είναι οι πληροφορίες οι οποίες περιγράφουν σύνολα και υπηρεσίες χωρικών δεδομένων, καθιστώντας δυνατή την εξεύρεση, την απογραφή και τη χρήση τους. Προκειμένου τα μεταφερόμενα ψηφιακά στοιχεία να ενσωματωθούν στη βάση δεδομένων και να διασφαλισθεί η ορθή τους χρήση ανάλογα με τη συγκεκριμένη εφαρμογή, είναι απαραίτητες οι πληροφορίες που σχετίζονται με δείκτες ποιότητας και πληροφορίας για τα δεδομένα όπως:

- Πηγή δεδομένων
- Ακρίβεια (θέσης και θεματικών ιδιοτήτων)
- Επικαιρότητα δεδομένων
- Λογική συνέπεια δεδομένων
- Πληρότητα

Έτσι, το σύνολο των μεταδεδομένων που επιλέχθηκε στο πλαίσιο του έργου είναι ιδιαίτερης σημασίας για την πορεία της, καθώς από αυτό εξαρτώνται τα χαρακτηριστικά που θα καταγραφούν για την περιγραφή των πρωτοτύπων. Για το λόγο αυτό έγινε η επιλογή του κατάλληλου προτύπου μεταδεδομένων, το οποίο είναι το ISO DIS 19115 που δημιουργήθηκε από την επιτροπή ISO/TC 211 το έτος 2003 και θεωρείται ως το ευρύτερα χρησιμοποιούμενο αλλά και πληρέστερο ως προς την περιγραφή γεωγραφικών δεδομένων. Στα σχήματα 3 και 4 παρουσιάζονται ο χάρτης προσανατολισμού της περιοχής μελέτης καθώς επίσης και ο υδρολιθολογικός χάρτης για την ίδια περιοχή όπως αυτοί απεικονίζονται από το σύστημα GIS.

V. ACKNOWLEDGMENT

Η παρούσα έρευνα έχει συγχρηματοδοτηθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο - ΕΚΤ) και από εθνικούς πόρους μέσω του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» του Εθνικού Στρατηγικού Πλαισίου Αναφοράς (ΕΣΠΑ) – Ερευνητικό Χρηματοδοτούμενο Έργο: ΑΡΧΙΜΗΔΗΣ ΙΙΙ. Επένδυση στην κοινωνία της γνώσης μέσω του Ευρωπαϊκού Κοινωνικού Ταμείου.

Η ερευνητική ομάδα αποτελείται από τους : Νικόλαο Σαμαρά, Νικόλαο Μπάτη, Παντελή Υψηλάντη, Κωνσταντίνο Κόκκινο, Όμηρο Ιατρέλλη, Βασίλειο Κυριατζή και Χαράλαμπο Δερβένη εκ μέρους του ΤΕΙ Θεσσαλίας και τους Αθανάσιο Λουκά, Νικήτα Μυλόπουλο, Χρυσή Λασπίδου, Λάμπρο Βασιλειάδη, Στέλιο Γκιάλη, Παντελή Σιδηρόπουλο και Ιωάννη Τζαμπύρα εκ μέρους του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

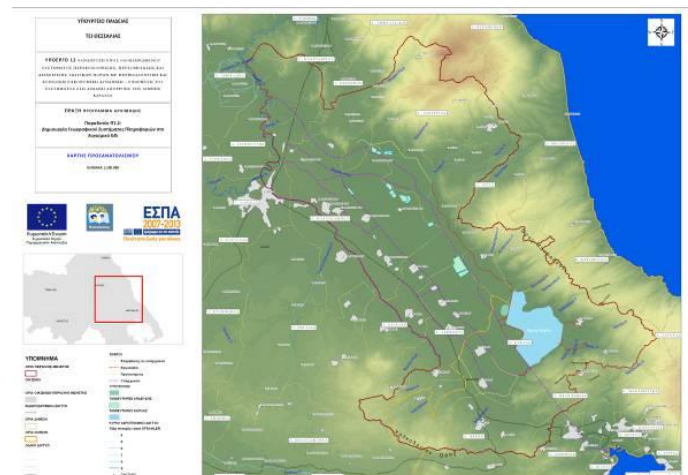


Fig. 3. Χάρτης Προσανατολισμού περιοχής μελέτης

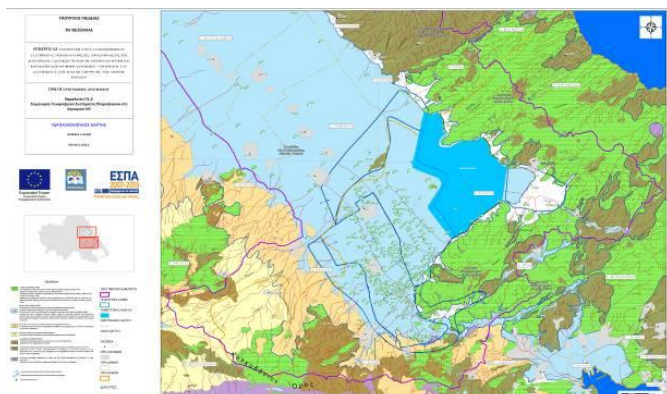


Fig. 4. Υδρολιθολογικός χάρτης περιοχής μελέτης

VI. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

[1] Nambiar, U., Ludaescher, B., Lin, K., Baru, C., "The GEON portal: accelerating knowledge discovery in the geosciences". In: WIDM '06 Proceedings of the 8th Annual ACM Workshop on Web Information and Data Management, Arlington, Virginia, USA. Association for Computing Machinery Press, pp. 83-90, 2006.

[2] Chave, A.D., Arrott, M., Farcas, C., Farcas, E., Krueger, I., Meisinger, M., Orcutt, J.A., Vernon, F.L., Peach, C., Schofield, O., Kleinert, J.E., Cyberinfrastructure for the US Ocean observatories Initiative: enabling interactive observatories in the ocean. In: Proceedings of the OCEANS 2009 IEEE Conference, Bremen, Germany. IEEE Ocean Engineering Society, pp. 1-10.

[3] Loukas, A., L. Vasiliades, and N. Mpastrogiannis, "Water Balance Modeling for the Evaluation of Surface Water Resources." 8th International Conference on Environmental Science and Technology, Lemnos Island, 8-10 September 2003, pp. 492-499.

[4] Loukas, A., N. Mylopoulos and L. Vasiliades, "A Modeling System for the Evaluation of Water Resources Management Scenarios in Thessaly". Water Resources Management, 21(10), 1673-1702, 2007.

[5] Λουκάς, Α., Π. Μήτσιου και Λ. Βασιλείαδης, "Επιπτώσεις της Χωρικής Διακριτοποίησης και του Επιπέδου Βαθμονόμησης στην Κατανομημένη Υδρολογική Προσομοίωση" 6ο Εθνικό Συνέδριο της ΕΕΔΥΠ: Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων με Βάση τη Λεκάνη Απορροής, Χανιά, 14-16 Ιουνίου 2007, pp. 1-8.

[6] Meijer, M-L., R. Portielje, M. van den Berg, E. Lammens, B. Ibelings, R. Noordhuis, W. Joosse, H. Coops & D. van der Molen. Stabiliteit van de Veluwerandmeren. RIZA report 99.054. (in Dutch), 1999.

[7] Corine Land Cover (<http://www.eea.europa.eu>)

[8] ΕΛ. ΣΤΑΤ. (<http://www.statistics.gr/portal/page/portal/ESYE>)

[9] ΥΠΕΧΩΔΕ, Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων, Διεύθυνση Εγγειοβελτιωτικών Έργων (Δ7) 2004, Μελέτη μεταφοράς και διανομής νερού της υπό ανασύστασης λίμνης Κάρλα, Αθήνα.

[10] ΥΠΕΚΑ 2013. Σχέδιο διαχείρισης λεκανών απορροής του υδατικού διαμερίσματος Θεσσαλίας