

ΧΡΗΣΗ GIS ΚΑΙ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΛΟΓΙΣΜΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΗΣ ΜΥΤΔΟΝΙΑΣ.

**Χατζηαντωνίου Ανδρομάχη^{1*}, Κορακίτης Κωνσταντίνος^{2*}, Παπαδοπούλου
Μαρία³, Σιδηρόπουλος Επαμεινώνδας⁴**

*¹Αγρονόμος Τοπογράφος Μηχανικός, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και
Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ελλάδα*

*²Αγρονόμος Τοπογράφος Μηχανικός, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών,
Πολυτεχνική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Ελλάδα*

*³Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών,
Πολυτεχνική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Ελλάδα*

*⁴Ομότιμος Καθηγητής, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Πολυτεχνική
Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Ελλάδα*

**e-mail: andromachi.chatz@gmail.com, kon.korakitis@gmail.com*

Περίληψη

Οι υγρότοποι είναι σύνθετα και δυναμικά υδάτινα οικοσυστήματα που φιλοξενούν μεγάλη ποικιλία σε είδη φυτών και ζώων, διαμορφώνουν το υδρογραφικό δίκτυο και σχετίζονται με τις διαδικασίες αναπαραγωγής της βλάστησης. Για το λόγο αυτό, η ανάπτυξη γρήγορων και αποτελεσματικών μεθόδων εποπτείας, ανάλυσης και επεξεργασίας των συγκεκριμένων περιοχών σε συνδυασμό με τη δυνατότητα εφαρμογής σεναρίων και εκτίμησης των αποτελεσμάτων, αποτελεί σημαντικό βοήθημα για τη διαχείριση των υδατικών πόρων. Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) αποτελούν πολύ σημαντικό εργαλείο σ' αυτή την κατεύθυνση, λόγω της δυνατότητας τους να επεξεργάζονται δεδομένα που αναφέρονται σε μεγάλες εκτάσεις της γήινης επιφάνειας, εκτελώντας μεγάλο όγκο σύνθετων υπολογισμών σε μειωμένο χρόνο, αλλά και της συμβατότητάς τους με υδρολογικά λογισμικά και εφαρμογές.

Το αντικείμενο της μελέτης αυτής είναι αρχικά η οριοθέτηση της λεκάνης απορροής και ο σχεδιασμός του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής μελέτης με τη χρήση λογισμικού GIS και, στη συνέχεια, η εφαρμογή διαφορετικών σεναρίων βροχοπτώσεων με τη χρήση ενός υδρολογικού λογισμικού και ο υπολογισμός της απορροής. Καίριας σημασίας γι' αυτό το κομμάτι αποτελεί η δυνατότητα επικοινωνίας και η συμβατότητα μεταξύ των δύο λογισμικών.

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα ArcGIS 10.1 της ESRI σε συνδυασμό με τις επεκτάσεις ArcHydro 10.1 και HEC – GeoHMS 10.1 (του US Army, Corps of Engineers) για την οριοθέτηση της λεκάνης απορροής της λίμνης Κορώνειας και τον υπολογισμό των απαραίτητων υδρολογικών μεγεθών και παραμέτρων, ενώ για το υδρογραφικό σκέλος, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό HEC – HMS 4.0 (του US Army, Corps of Engineers).

Λέξεις κλειδιά: GIS, ArcMap, HEC-HMS, υγρότοποι, Κορώνεια, διαχείριση υδατικών πόρων

Εισαγωγή

Οι υγρότοποι αντιπροσωπεύουν ένα από τα σημαντικότερα είδη οικοσυστημάτων παγκοσμίως και ταυτόχρονα ένα από τα περισσότερο απειλούμενα. Τα υγροτοπικά οικοσυστήματα παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην κλιματική αλλαγή, την βιοποικιλότητα, την υδρολογία και την παγκόσμια υγεία (Ramsar Convention Secretariat, 2016). Παρόλο που οι υγρότοποι με γλυκό νερό καλύπτουν μόλις το 1% της γήινης επιφάνειας, αυτές οι περιοχές παρέχουν καταφύγιο σε παραπάνω από 40% της παγκόσμιας χλωρίδας και πανίδας (Mitra, Wassmann and Vlek, 2003). Η ισορροπία τους μπορεί να διαταραχθεί από πολλούς παράγοντες, μεταξύ των οποίων η υπεράντληση ύδατος, η ρύψη αποβλήτων, η χρήση φυτοφαρμάκων και άλλων γεωργικών προϊόντων που εισχωρούν στο έδαφος και επηρεάζουν τα υπόγεια ύδατα και γενικά η υποβάθμιση της ποιότητας των υδάτινων στοιχείων (Tzimopoulos *et al.*, 2005; Perivolioti *et al.*, 2016). Η ανάγκη για την προστασία των υγροτόπων είναι διεθνώς αναγνωρισμένη, καθώς αποτελούν έναν απαραίτητο πόρο για τους ανθρώπους (Hu *et al.*, 2017).

Το Εθνικό Πάρκο Λιμνών Κορώνειας-Βόλβης χαρακτηρίζεται ως ύψιστης οικολογικής σημασίας υγροβιότοπος σύμφωνα με τη σύμβαση Ramsar και προστατεύεται από μία σειρά εθνικών και διεθνών νόμων και συμβάσεων. Επιπλέον, ο υγροβιότοπος εντάσσεται και στο ευρωπαϊκό δίκτυο προστατευόμενων περιοχών “NATURA 2000”. Η στάθμη της λίμνης Κορώνειας πέφτει συνεχώς, εξαιτίας της σπατάλης και της μη ορθολογικής διαχείρισης των υδάτων. Εκτός από την ταπείνωση της στάθμης, στην Κορώνεια παρουσιάζονται και υψηλά επίπεδα ρύπων εξαιτίας της βιομηχανικής ανάπτυξης της περιοχής (Perivolioti *et al.*, 2016). Η συνεχιζόμενη, ασταθής οικονομική ανάπτυξη της περιοχής έχει ως αποτέλεσμα την εξάντληση των αποθεμάτων νερού και την οικολογική υποβάθμιση, με σημαντικά κοινωνικά και οικονομικά επακόλουθα.

Με την αλματώδη εξέλιξη τους τα τελευταία χρόνια και τη συμβατότητά τους με μία σειρά υδρογραφικών λογισμικών, τα λογισμικά GIS αποκτούν πιο κεντρικό ρόλο στις μελέτες υδρολογικής φύσης. Η αύξηση των υπολογιστικών δυνατοτήτων στους Η/Υ καθώς και οι σχετικά μικρές απαιτήσεις σε όγκο πρωτογενών δεδομένων για τα λογισμικά GIS οδηγούν επίσης προς αυτήν την κατεύθυνση. Έτσι, είναι πλέον εφικτό να σχεδιαστεί το υδρογραφικό δίκτυο μίας περιοχής ή να οριοθετηθεί μία λεκάνη απορροής με υψηλή ακρίβεια και σε σύντομο χρονικό διάστημα με τη χρήση των σχετικών εργαλείων ενός λογισμικού GIS.

Δεδομένα και μέθοδοι

Δεδομένα

Στην επίλυση του προβλήματος, μεγάλη είναι η συνεισφορά του αναγλύφου της περιοχής, καθώς αυτό είναι που θα καθορίσει τα μεγέθη που εν τέλει θα επηρεάσουν τη μορφή του υδρογραφικού δικτύου και το μέγεθος της απορροής. Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιήθηκε ως μοναδικό δεδομένο στο πρώτο στάδιο της μελέτης ένα μωσαϊκό, που αποτελείται από δύο Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους (ΨΜΕ). Τα ΨΜΕ που χρησιμοποιήθηκαν στη συγκεκριμένη μελέτη προέρχονται από τον αισθητήρα ASTER του δορυφόρου TERRA-1 της NASA¹ (έτος 2011). Ο συγκεκριμένος αισθητήρας είναι χρήσιμος για την παραγωγή ΨΜΕ μεγάλης ανάλυσης (διάσταση pixel 30 m) και καλύπτει μεγάλο μέρος της επιφάνειας της γης (από 83° Β μέχρι 83° Ν).



Figure 1: Μωσαϊκό που προέκυψε από την συνένωση των δύο ΨΜΕ που καλύπτουν την περιοχή μελέτης

Όσον αφορά στα απαραίτητα στοιχεία για την εφαρμογή των σεναρίων βροχοπτώσεων, αυτά προέκυψαν από την καταγραφή των κατακρημνίσεων στους δύο μετεωρολογικούς σταθμούς που λειτουργούν εντός των ορίων της λεκάνης απορροής – τον μετεωρολογικό σταθμό του Λαγκαδά και εκείνον της Απολλωνίας. Τα στοιχεία για τις κατακρημνίσεις ελήφθησαν από τον Φορέα Διαχείρισης Λιμνών Κορώνειας-Βόλβης².

Εργαλεία

Η μελέτη του ανάγλυφου υλοποιήθηκε στο λογισμικό πακέτο ArcGIS της ESRI (έκδοση 10.1) σε συνδυασμό με την επέκταση ArcHydro (έκδοση 10.1, Μάιος 2013), καθώς και την επέκταση HEC-GeoHMS³ του US Army, Corps of Engineers (έκδοση 10.1, Φεβρουάριος 2013). Για το υδρογραφικό σκέλος χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα HEC

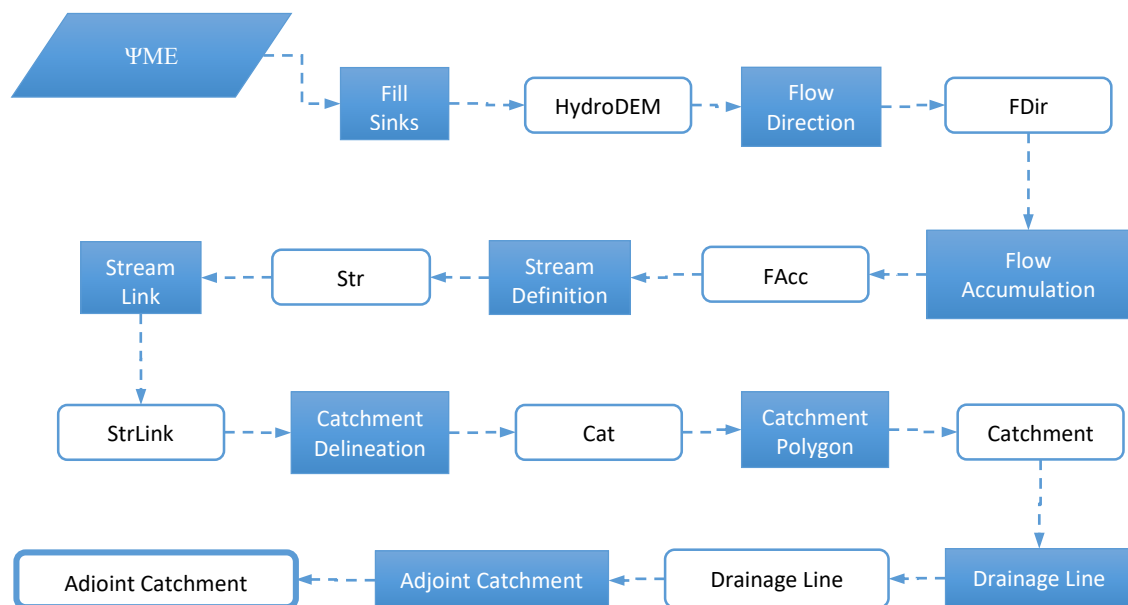
¹ <https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>

² <http://www.foreaskv.gr/>

– HMS³ (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System) (έκδοση 4.0, Δεκέμβριος 2013). Πρόκειται για ελεύθερο λογισμικό, το οποίο έχει δημιουργηθεί από το σώμα Μηχανικών του στρατού των Η.Π.Α. (US Army Corps of Engineers) και ενδείκνυται για υδρολογικές μελέτες καθώς ενσωματώνει διαφορετικούς αλγόριθμους για τον υπολογισμό της απορροής, ενώ περιλαμβάνει και πιο εξειδικευμένα εργαλεία. Επίσης, χρησιμοποιήθηκε βοηθητικά το λογισμικό Win TR-55⁴ (έκδοση 1.00.10, Φεβρουαρίου του 2013) για τον υπολογισμό του συντελεστή Curve Number (CN) που αποτελεί απαραίτητο δεδομένο εισόδου για το υδρογραφικό σκέλος της μελέτης (Natural Resources Conservation Service – United States Department of Agriculture).

Επεξεργασία Αναγλύφου

Για την παραγωγή του υδρολογικού μοντέλου, απαιτείται περαιτέρω επεξεργασία του ΨΜΕ μέσω της επέκτασης ArcHydro Tools. Η διαδικασία αυτή παρουσιάζεται συνοπτικά στο ακόλουθο διάγραμμα.



Εικόνα 1: Διάγραμμα ροής των εργασιών της επεξεργασίας αναγλύφου με την επέκταση "ArcHydro Tools". Στα γαλάζια πλαίσια φαίνονται οι εντολές του "ArcHydro Tools" που χρησιμοποιήθηκαν, ενώ στα λευκά φαίνονται τα δεδομένα που εξήχθησαν από κάθε εντολή. Ως μοναδικό δεδομένο εισόδου χρησιμοποιήθηκε το ΨΜΕ. **Πηγή:** (Chatziantoniou and Korakitis, 2015)

Όπως φαίνεται στην (Εικόνα 1), αρχικά, η λειτουργία «Fill Sinks» μεταβάλλει το υψόμετρο των κελιών, ώστε να εξαλειφθεί το πρόβλημα των κοιλωμάτων (sinks) λόγω σφάλματος του ΨΜΕ. Σε ΨΜΕ ανάλυσης 30 μέτρων το 0.9% - 4.7% των κελιών είναι κοιλάματα που οφείλονται σε σφάλμα του ΨΜΕ και συνήθως όσο μικρότερη είναι η

³ <http://www.hec.usace.army.mil/>

⁴ <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/national/water/?cid=stelprdb1042901>

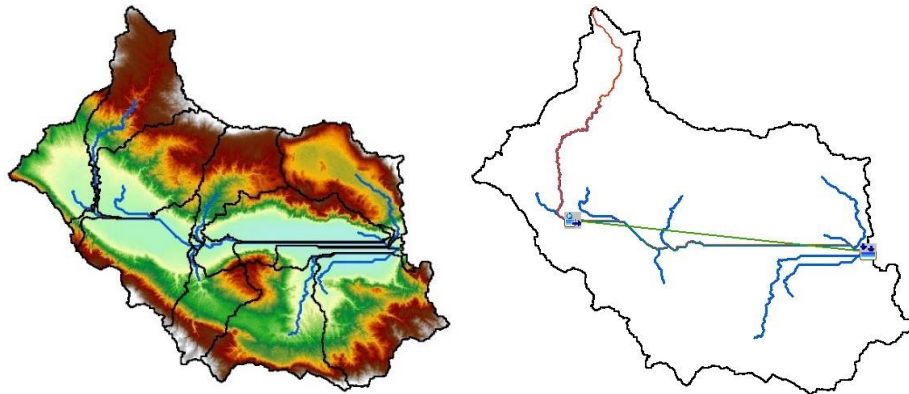
ανάλυση του ΨΜΕ τόσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό αυτό (Tarboton, Bras and Rodriguez-Iturbe, 1991). Στο δεύτερο βήμα υπολογίστηκε η κατεύθυνση της ροής (Flow Direction). Δηλαδή, προς τα που θα κατευθυνθεί το νερό που θα πέσει σε κάθε μεμονωμένο κελί. Υπάρχουν οκτώ δυνατές κατευθύνσεις που σχετίζονται με τα υπόμετρα των γειτονικών κελιών στις οποίες μπορεί να κατευθυνθεί η ροή. Το μοντέλο αυτό είναι γνωστό ως «μοντέλο ροής οκτώ κατευθύνσεων» (eight-direction flow model «D8») (Jenson and Domingue, 1988). Στη συνέχεια, υπολογίστηκε η συγκέντρωση της ροής (Flow Accumulation). Με την λειτουργία αυτή, υπολογίζεται η συσσωρευμένη ροή σε κάθε μεμονωμένο κελί, από όλα τα ανάντη κελιά που εισρέουν σε αυτό (Jenson and Domingue, 1988). Τα κελιά με τις μεγαλύτερες τιμές είναι αυτά τα οποία συγκεντρώνουν την περισσότερη ροή και επομένως αυτά που πιθανότερα θα χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή του πραγματικού υδρογραφικού δικτύου. Για τον καθορισμό της κατάλληλης τιμής κατωφλιού (threshold), το οποίο θα καθορίσει την τάξη του δικτύου που προκύπτει απ' αυτό το βήμα ακολουθούνται αναλυτικές μέθοδοι (Tarboton, Bras and Rodriguez-Iturbe, 1991) Στη συνέχεια καθορίζονται τα υδατορεύματα. Η λειτουργία καθορισμού υδατορευμάτων (Stream definition) χρησιμοποιεί την εικόνα που προέκυψε από την προηγούμενη λειτουργία (Flow Accumulation) για να δημιουργήσει το υδρογραφικό δίκτυο σε ψηφιδωτή (raster) μορφή (Paraschakis, Papadopoulou and Patias, 1990). Για να συμβεί αυτό χρειάζεται να προσδιοριστούν οι παράμετροι που θα καθορίσουν την τάξη του δικτύου που θα προκύψει. Αυτό γίνεται ορίζοντας τον αριθμό των κελιών ή το εμβαδόν της περιοχής αποστράγγισης σε τετραγωνικά χιλιόμετρα. Το συνιστώμενο κατώφλι (threshold) για τον σωστό προσδιορισμό των υδατορευμάτων (τα οποία με τη σειρά τους θα καθορίσουν την οριοθέτηση των υπολεκανών στη συνέχεια της διαδικασίας), είναι περίπου το 1% της συνολικής έκτασης (Shamsi, 2008). Ακολουθεί η τμηματοποίηση των υδατορευμάτων (Stream Segmentation) και η οριοθέτηση των υπολεκανών (Catchment Delineation) σε ψηφιδωτή μορφή με μοναδική κωδικοποίηση, και στη συνέχεια η μετατροπή τους από ψηφιδωτή σε διανυσματική (vector) μορφή (Paraschakis, Papadopoulou and Patias, 1990) με τη χρήση αρχικά του «Catchment Polygon Processing» (για τη μετατροπή των υπολεκανών) και εν συνεχεία του «Drainage Line» (για το υδρογραφικό δίκτυο). Η προεπεξεργασία του ανάγλυφου ολοκληρώνεται με τη δημιουργία των συζυγών λεκανών απορροής (adjoint catchment). Η λειτουργία «Adjoint Catchment Processing» συγκεντρώνει και ομαδοποιεί ένα πλήθος λεκανών για την διευκόλυνση της χωροθέτησης των σημείων απορροής. Για κάθε λεκάνη που δεν αποτελεί κύρια λεκάνη (head catchment), δημιουργείται ένα πολύγωνο που

αντιπροσωπεύει ολόκληρη την ανάντη περιοχή που αποστραγγίζει στο σημείο εισόδου της και την αποθηκεύει ως νέο διανυσματικό πολυγωνικό επίπεδο (Arvanitis, Koussoulakou and Papadopoulou, 2010)

Με την ολοκλήρωση της προεπεξεργασίας του αναγλύφου, είναι πλέον διαθέσιμα όλα τα απαραίτητα στοιχεία που θα χρειαστούν για το επόμενο σκέλος της μελέτης. Στο σημείο αυτό χρησιμοποιήθηκε η επέκταση HEC-GeoHMS, ώστε να εξαχθούν τα δεδομένα που αξιοποιήθηκαν στη συνέχεια για την δημιουργία του υδρολογικού μοντέλου στο υδρολογικό πρόγραμμα HEC-HMS. Για την εξαγωγή των δεδομένων είναι απαραίτητο να καθοριστεί ένα «σημείο ελέγχου» (ή αλλιώς σημείο εξόδου – outlet point) στην κατάντη έξοδο της λεκάνης. Μετά από τον καθορισμό αυτού του σημείου, το HEC-GeoHMS χρησιμοποιεί τα δεδομένα που δημιουργήθηκαν από το στάδιο της προεπεξεργασίας του αναγλύφου για την περιοχή που βρίσκεται ανάντη του σημείου αυτού.

Τα εργαλεία της επεξεργασίας της λεκάνης (basin processing) επιτρέπουν την ένωση ή τον διαχωρισμό λεκανών και υδατορευμάτων, καθώς και την οριοθέτηση νέων λεκανών από νέα σημεία. Στην παρούσα μελέτη, χρειάστηκε να ενωθούν όλες οι υπολεκάνες που σχηματίστηκαν, έτσι ώστε να δημιουργηθεί η ενιαία λεκάνη απορροής των λιμνών Κορώνειας και Βόλβης. Παράλληλα, το Hec-GeoHMS υπολογίζει πολλά τοπογραφικά και φυσικά χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής και των υδατορευμάτων τα οποία χρειάζονται για την εκτίμηση των υδρολογικών παραμέτρων. Τέτοια χαρακτηριστικά είναι για παράδειγμα τα μήκη των ποταμών, οι κλίσεις τους, το μέγιστο μήκος της ροής κ.α. Τα χαρακτηριστικά αυτά, αποθηκεύονται στον πίνακα ιδιοτήτων (attribute table) του κάθε αντικειμένου. Το επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός του κέντρου βάρους της λεκάνης (basin centroid), καθώς και του υψομέτρου του (centroid elevation) και της κεντροειδούς μέγιστης ροής (centroidal flowpath). Το κέντρο βάρους υπολογίστηκε με βάση την μέθοδο της μέγιστης διαδρομής ροής και τοποθετήθηκε στη μέση της διαδρομής αυτής (longest flowpath method). Η κεντροειδής μέγιστη ροή μετριέται από το κεντροειδές της λεκάνης μέχρι το σημείο αποστράγγισης της λεκάνης, και το μήκος της αποθηκεύεται στον πίνακα των ιδιοτήτων της. Στο σημείο αυτό, μπορούν να χρησιμοποιηθούν επιπλέον πληροφορίες σχετικά με τον τύπο του εδάφους, την υπόγεια ροή, τις χρήσεις γης κ.α. Οι πληροφορίες αυτές, θα περιληφθούν αργότερα στο υδρολογικό μοντέλο του HEC-HMS που θα παραχθεί με τη βοήθεια του HEC-GeoHMS και είναι χρήσιμες για την εξοικονόμηση χρόνου στη διαδικασία της παραμετροποίησης

του μοντέλου. Στην παρούσα μελέτη, τέτοιες πληροφορίες δεν ήταν διαθέσιμες, επομένως δεν χρησιμοποιήθηκαν στην παραμετροποίηση.



Εικόνα 2: Στην παραπάνω εικόνα φαίνονται οι υπολεκάνες, τα υδατορεύματα και το ανάγλυφο του (αριστερά) και το σχηματικό μοντέλο της σύνδεσης ανάμεσα στο κέντρο της λεκάνης (basin centroid) και στο σημείο αποστράγγισης με πράσινο χρώμα και το μέγιστο μήκος ροής (longest flowpath) με κόκκινο χρώμα (δεξιά).

Για την προετοιμασία του υδρολογικού μοντέλου και την εισαγωγή του στο HEC-HMS, το πρώτο βήμα είναι η μετατροπή των χαρακτηριστικών των λεκανών και των ρεμάτων στο διεθνές σύστημα μονάδων (SI - Système International). Στη συνέχεια ελέγχθηκαν τα δεδομένα για πιθανά σφάλματα συνοχής του μοντέλου και η δημιουργία ενός σχηματικού μοντέλου HMS (HMS Schematic), το οποίο αποτελεί την αναπαράσταση του μοντέλου μέσω GIS. Το εργαλείο αυτό, δημιουργεί ένα απλό υδρολογικό δίκτυο που περιλαμβάνει τα στοιχεία του HMS μοντέλου (τα κεντροειδή των λεκανών και τα σημεία-κόμβους) και παρουσιάζει τη σύνδεση μεταξύ τους. Το επόμενο βήμα, είναι η προσθήκη συντεταγμένων του συστήματος αναφοράς (Add Coordinates), ενώ στη συνέχεια, δημιουργήθηκαν τα αρχεία shapefile του υποβάθρου (Background Shapefile). Στα αρχεία αυτά, καταγράφονται όλες οι γεωγραφικές πληροφορίες που αφορούν τα όρια των λεκανών και τις όχθες των ρεμάτων. Στο τελευταίο βήμα (basin model file), καταγράφονται όλα τα υδρολογικά στοιχεία, οι συνδέσεις τους και οι σχετικές γεωγραφικές πληροφορίες σε ένα αρχείο κειμένου της μορφής ASCII (*.txt), το οποίο χρησιμεύει ως δεδομένο εισόδου στο λογισμικό HEC-HMS, όπου θα συνεχιστεί η υδρολογική επεξεργασία της λεκάνης απορροής.

Υδρολογική Επεξεργασία

Όσον αφορά τον αλγόριθμο για την επίλυση του προγράμματος, τελικά επιλέχθηκαν οι αλγόριθμοι SCS Curve Number⁵ (Soil Conservation Service) για τον υπολογισμό των

⁵ <http://www.professorpatel.com/curve-number-introduction.html>

απωλειών (loss method) και SCS Unit Hydrograph⁶ ως μέθοδος μετασχηματισμού (transform method). Ο λόγος που επιλέχθηκαν οι συγκεκριμένοι αλγόριθμοι από μία σειρά διαφορετικών επιλογών, είναι κυρίως η δυνατότητα να αποκτηθούν ή να υπολογιστούν τα απαραίτητα δεδομένα εισόδου (κάτι που έχει ήδη γίνει στα προηγούμενα βήματα στο ArcGIS).

Η μέθοδος SCS Curve Number βασίζεται στον ακόλουθο τύπο (USDA Soil Conservation Service, 1986):

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S}$$

Εξίσωση 1

Όπου:

Q : η απορροή

P : η βροχόπτωση

S : η πιθανή μέγιστη κατακράτηση ύδατος μετά την έναρξη της απορροής και το I_a τις αρχικές απώλειες.

Ο τύπος μπορεί να απλοποιηθεί σε:

$$Q = \frac{(P - 0.2 S)^2}{(P + 0.8 S)}$$

Εξίσωση 2

ορίζοντας τα μεγέθη I_a και S ως εξής:

$I_a : 0.2 S$

$S : \frac{1000}{CN} - 10$

όπου CN = Curve Number (Αριθμός Καμπύλης).

Ο συντελεστής CN είναι ιδιαίτερα σημαντικός καθώς μειώνει τις κατακρημνίσεις (εν προκειμένω τη βροχόπτωση) σε ενδεχόμενη απορροή, λαμβάνοντας υπ' όψιν τυχόν απώλειες λόγω εξάτμισης, διήθησης, διαπνοής ή επιφανειακής αποθήκευσης. Ο σωστός υπολογισμός του εξασφαλίζει σε μεγάλο βαθμό αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα για τη μελέτη. Για το λόγο αυτό είναι απαραίτητη η γνώση του ποσοστού φυτοκάλυψης και των χρήσεων γης στην περιοχή μελέτης. Θεωρώντας ότι τα δεδομένα που υπάρχουν στο Corine2012⁷ για το σύνολο του νομού Θεσσαλονίκης και το έτος 2000 είναι αντιπροσωπευτικά για την περιοχή και εισάγοντας τα δεδομένα αυτά στο πρόγραμμα Win TR-55 υπολογίστηκε για την υπό μελέτη περιοχή ο συντελεστής CN = 80. Όσον αφορά τη μέθοδο μετασχηματισμού SCS Unit Hydrograph, χρειάστηκε να υπολογιστούν

⁶ <http://www.professorpatel.com/scs-dimensionless-unit-hydrograph.html>

⁷ https://fr.wikipedia.org/wiki/Corine_Land_Cover

οι παράμετροι T_{lag} (χρόνος υστέρησης) και T_c (χρόνος συγκέντρωσης) (Singh, 1976; Gad, 2013). Για τον υπολογισμό τους επιλέχθηκαν οι τύποι του Kirpich (Kirpich, 1940):

$$t_c = 0.0078 \left(\frac{L^{0.37}}{S^{0.385}} \right)$$

Εξίσωση 3

όπου

L: το μήκος που διανύει το υδάτινο ρεύμα

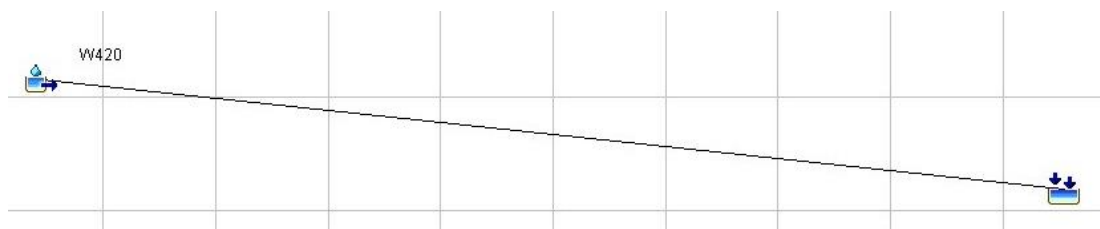
S: η μέση κλίση της λεκάνης απορροής

$$t_{lag} = \frac{t_c}{1.67}$$

Εξίσωση 4

Μετά την εισαγωγή των απαραίτητων μεγεθών, ο χρόνος υστέρησης υπολογίστηκε ίσος με $t_{lag} = 121$ min.

Για τον υπολογισμό της απορροής είναι απαραίτητα τα δεδομένα βροχοπτώσεων. Στην περιοχή μελέτης λειτουργούν δύο μετεωρολογικοί σταθμοί (του Λαγκαδά και της Απολλωνίας), οπότε ως δεδομένο εισόδου υπολογίστηκε ο μέσος όρος των καταγεγραμμένων βροχοπτώσεων στους δύο σταθμούς τα τελευταία 6 χρόνια.



Εικόνα 3: Απλοποιημένη μορφή της λεκάνης απορροής όπως εισήχθη στο HEC-HMS μετά την προεξεργασία που πραγματοποιήθηκε στο ArcGIS

Τα επόμενα βήματα αφορούν στη δημιουργία ενός νέου μετεωρολογικού μοντέλου και την αντιστοίχιση του με την υπάρχουσα λεκάνη απορροής, καθώς και της δημιουργίας ενός αρχείου με μετρήσεις βροχόπτωσης (μίας χρονοσειράς διάρκειας ίσης με τη διάρκεια της βροχόπτωσης στο υπό μελέτη σενάριο), στο οποίο εισήχθησαν τα δεδομένα που έχουμε από τους μετεωρολογικούς σταθμούς, και πληροφορίες σχετικά με τη διάρκεια της βροχόπτωσης. Πριν οριστεί το διάστημα της προσομοίωσης της βροχοπτώσης για το υπό μελέτη σενάριο, έγινε η αντιστοίχιση μεταξύ του μετεωρολογικού μοντέλου και της χρονοσειράς βροχοπτώσεων που δημιουργήθηκε. Προέκυψε τέλος, ένα αρχείο στο οποίο εισήχθη η διάρκεια βροχόπτωσης στην οποία

αναφέρεται η προσομοίωση (Simulation Run) και η οποία πρέπει να συνδέεται με την αντίστοιχη διάρκεια βροχόπτωσης στη χρονοσειρά.

Αποτελέσματα και Συζήτηση

Ως αποτελέσματα της διαδικασίας που περιγράφηκε προέκυψαν:

- α) η έκταση της λεκάνης απορροής ίση με 2066 km². Σύμφωνα με τον Φορέα Διαχείρισης Κορώνειας – Βόλβης η έκταση της λεκάνης απορροής είναι ίση με 2120 km², ενώ σύμφωνα με το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων είναι ίση με 2026 km².
- β) η απορροή της λεκάνης για δύο εναλλακτικά σενάρια ίση με 112.32 mm για βροχόπτωση διάρκειας μίας ώρας τον Οκτώβριο του 2010 και 0.18 mm για βροχόπτωση διάρκειας έξι ωρών τον Αύγουστο του 2010. Ο Οκτώβριος του 2010 είναι ο μήνας με τη μεγαλύτερη (καταγεγραμμένη) βροχόπτωση, ο Αύγουστος του ίδιου έτους παρουσιάζει τη μικρότερη τιμή για βροχοπτώσεις.

Η τιμή της έκτασης της λεκάνης απορροής που προέκυψε από την επεξεργασία του ΨΜΕ, βρίσκεται πολύ κοντά στα επίσημα στοιχεία για τις λίμνες, πράγμα που σημαίνει πως η ακρίβεια που επετεύχθη με την μέθοδο που επιλέχθηκε ήταν υψηλή. Μεγάλη σημασία έχει να επισημανθεί ότι, ενώ υπάρχουν δεδομένα για να επιβεβαιώσουν την ακρίβεια του αποτελέσματος όσον αφορά στη λεκάνη απορροής, δεν ισχύει το ίδιο και για την απορροή. Στον τομέα αυτό, οι καταγραφές στην Ελλάδα (σε αντίθεση με τις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες) είναι ελλιπείς. Σε συνδυασμό με τις ελλείψεις στην καταγραφή των κατακρημνίσεων (διακεκομμένη λειτουργία των μετεωρολογικών σταθμών ή και οριστική διακοπή λειτουργίας), αυτό μπορεί να δημιουργήσει μεγάλες δυσκολίες στον μελετητή τόσο όσον αφορά τα πρωτογενή δεδομένα όσο και τον έλεγχο του τελικού αποτελέσματος της μελέτης του.

Συμπεράσματα

Στόχος της παρούσας μελέτης ήταν να αναλυθεί η δυνατότητα ενός λογισμικού σχετιζόμενου με τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών να λειτουργήσει υποβοηθητικά για υδρολογικές μελέτες. Υπ' αυτή την έννοια, η παρούσα μελέτη αναδεικνύει την ταχύτητα και ακρίβεια που μπορεί να προσφέρει ένα πρόγραμμα όπως το ArcGIS σε συνεργασία με άλλα – υδρολογικά – προγράμματα για τέτοιες εφαρμογές (στην προκειμένη περίπτωση το HEC – HMS).

Πιο συγκεκριμένα, η παραγωγή της λεκάνης απορροής από τα ΨΜΕ της περιοχής μέσω του λογισμικού του ArcGIS, παρουσιάζει μεγάλη ακρίβεια και σίγουρα πολύ μεγαλύτερη

από τις παραδοσιακές μεθόδους, ενώ είναι αδιαμφισβήτητα λιγότερο χρονοβόρα. Ειδικά από τη στιγμή που το ΨΜΕ διατίθεται χωρίς κόστος, η διαδικασία για το μελετητή διευκολύνεται σε μεγάλο βαθμό. Πέρα από τη λεκάνη απορροής, μέσω του ArcGIS μπορούν να υπολογιστούν και άλλα στοιχεία τα οποία είναι απαραίτητα για τον τελικό υπολογισμό υδρολογικών μεγεθών. Την ίδια στιγμή, η δυνατότητα παραμετροποίησης των διαφόρων αλγορίθμων μπορεί να μειώσει σημαντικά το χρόνο επανεκτέλεσης της διαδικασίας.

Παράλληλα, παρατηρούμε ότι τα υδρολογικά προγράμματα προσαρμόζονται έτσι ώστε να επικοινωνούν με προγράμματα GIS, πέρα από την ενσωμάτωση των εξελίξεων στον κλάδο της υδρολογίας. Κατ' αυτόν τον τρόπο, οι δυνατότητες που προσφέρουν τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τα υδρολογικά προγράμματα με σκοπό τον υπολογισμό καθαρά υδρολογικών μεγεθών πλέον.

Abstract

Wetlands are complex and dynamic water – logged ecosystems, hosting a great amount of species of plant and animal communities, also supporting water regulation and peat related processes. Thus, developing accurate and robust techniques for monitoring such areas is of crucial importance in environmental monitoring and water resources management. Geographic Information Systems (GIS) offers great advantages in this respect thanks to their capability of managing data over large areas and performing complex calculation in less time, as well as their compatibility with a wide range of hydrological software. The aim of this study is to evaluate the opportunities given from Geographic Information Systems (GIS) in connection with hydrologic software, as well as the compatibility between them. As a case study is selected the Watershed of Mygdonia (National Park of Koronia & Volvi lakes) in Thessaloniki due to its high environmental interest. The main purpose of the study was to delimit the catchment area and design the hydrographic network using GIS software and to calculate the runoff by implementing different rainfall scenarios. The software used for the purposes of the study was ArcGIS 10.1, HEC – HMS 4.0, ArcHydro Tools and HEC-GeoHMS.

Βιβλιογραφία

Arvanitis, A., Koussoulakou, A. and Papadopoulou, M. (2010) *Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών*. Πανεπιστημ. Θεσσαλονίκη: Τμήμα Εκδόσεων, Αριστοτελείο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

- Chatziantoniou, A. (Faculty of E. (2015) *Χρήση GIS και υδρολογικών λογισμικών για τη μελέτη υδρολογικής λεκάνης απορροής. Εφαρμογή στην υδρολογική λεκάνη της Μυγδονίας*. Aristotle University of Thessaloniki.
- Gad, M. A. (2013) ‘A useful automated rainfall-runoff model for engineering applications in semi-arid regions’, *Computers & Geosciences*, 52, pp. 443–452. doi: 10.1016/j.cageo.2012.09.023.
- Hu, S., Niu, Z., Chen, Y., Li, L. and Zhang, H. (2017) ‘Global wetlands: Potential distribution, wetland loss, and status’, *Science of The Total Environment*. Elsevier B.V., 586, pp. 319–327. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.02.001.
- Jenson, S. K. and Domingue, J. O. (1988) ‘Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information-system analysis’, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54(11), pp. 1593–1600. Available at: <https://pubs.er.usgs.gov/publication/70142175> (Accessed: 5 May 2017).
- Kirpich, T. P. (1940) ‘Time of concentration of small agricultural watersheds’, *Civil Engineering*, 10(6), p. 362.
- Mitra, S., Wassmann, R. and Vlek, P. L. G. (2003) ‘Global inventory of wetlands and their role in the carbon cycle’, *ZEF Discusson Paper on Development Policy, Bonn*, (64), p. 57.
- Paraschakis, I., Papadopoulou, M. and Patias, P. (1990) *Σχεδίαση με Η/Υ*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις ΖΗΤΗ.
- Perivolioti, T., Mouratidis, A., Doxani, G. and Bobori, D. (2016) ‘Monitoring the Water Quality of Lake Koronia Using Long Time- Series of Multispectral Satellite Images’, 54124(August), pp. 9–13.
- Ramsar Convention Secretariat (2016) ‘An Introduction to the Convention on Wetlands (previously The Ramsar Convention Manual).’, pp. 15–18.
- Shamsi, U. (2008) ‘Arc Hydro: A Framework for Integrating GIS and Hydrology’, *Journal of Water Management Modeling*, pp. 228–11. doi: 10.14796/JWMM.R228-11.
- Singh, V. P. (1976) ‘Derivation of time of concentration’, *Journal of Hydrology*, 30(1–2), pp. 147–165. doi: 10.1016/0022-1694(76)90095-0.
- Tarboton, D. G., Bras, R. L. and Rodriguez-Iturbe, I. (1991) ‘On the extraction of channel networks from digital elevation data’, *Hydrological Processes*. John Wiley & Sons, Ltd, 5(1), pp. 81–100. doi: 10.1002/hyp.3360050107.
- Tzimopoulos, C. D., Gkinidi, P. D. and Pliatsika, D. K. (2005) ‘Ερευνα Διαχείρισης Υδατικών Πόρων της Υδρολογικής Λεκάνης Κορώνειας’, in *5ο Εθνικό Συνέδριο ΕΕΔΥΠ, Ολοκληρωμένη Διαχείριση υδατικών πόρων με βάση τη λεκάνη Απορροής*, pp. 21–27. Available at: <http://www.srcosmos.gr/srcosmos/showpub.aspx?aa=7140> (Accessed: 10 May 2017).
- USDA Soil Conservation Service (1986) ‘Urban hydrology for small watersheds’. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture. Available at: https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044171.pdf (Accessed: 11 May 2017).