

ΑΣΚΗΣΗ 4

Υδρολογική ανάλυση με τη χρήση Raster GIS

Φοιτήτρια – ΑΜ – Email : Άννα Δόσιου – 222305 - gp222305@hua.gr

Εισηγητής: Καθ. Χ. Χαλκιάς

Μάθημα: Εφαρμοσμένη ανάλυση Γεωγραφικών Δεδομένων με την αξιοποίηση ΣΓΠ

Εισαγωγή – Σκοπός

Κατά την εκπόνηση της άσκησης χρησιμοποιήθηκαν τεχνικές χωρικής ανάλυσης σε ψηφιδωτά δεδομένα και έγινε επεξεργασία ψηφιακών υψομετρικών μοντέλων. Ο σκοπός της άσκησης αφορά την εκμάθηση των βασικών τεχνικών υδρολογικής ανάλυσης με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, και συγκεκριμένα του λογισμικού ArcGIS. Η συγκεκριμένη ανάλυση υλοποιείται για τον Σπερχειό ποταμό.

Δεδομένα

Όλη η άσκηση έχει βασιστεί στο ψηφιακό μοντέλο εδάφους “ASTER GDEM” του Σπερχειού ποταμού. Η χωρική ανάλυση αυτού του DEM είναι 30 μέτρα. Η κάλυψη του ASTER GDEM εκτείνεται από τις 83 μοίρες βόρειου γεωγραφικού πλάτους έως τις 83 μοίρες νότιου. Έτσι καλύπτει το 99% της χερσαίας μάζας της Γης (Jet Propulsion Laboratory, 2012).

Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε περιγράφεται αλλά και προσδιορίζεται στο διάγραμμα ροής (διάγραμμα 1). Χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Arc Map 10.5, και για την κατασκευή των χαρτών το σύστημα συντεταγμένων ΕΓΣΑ '87 (Greek Grid).

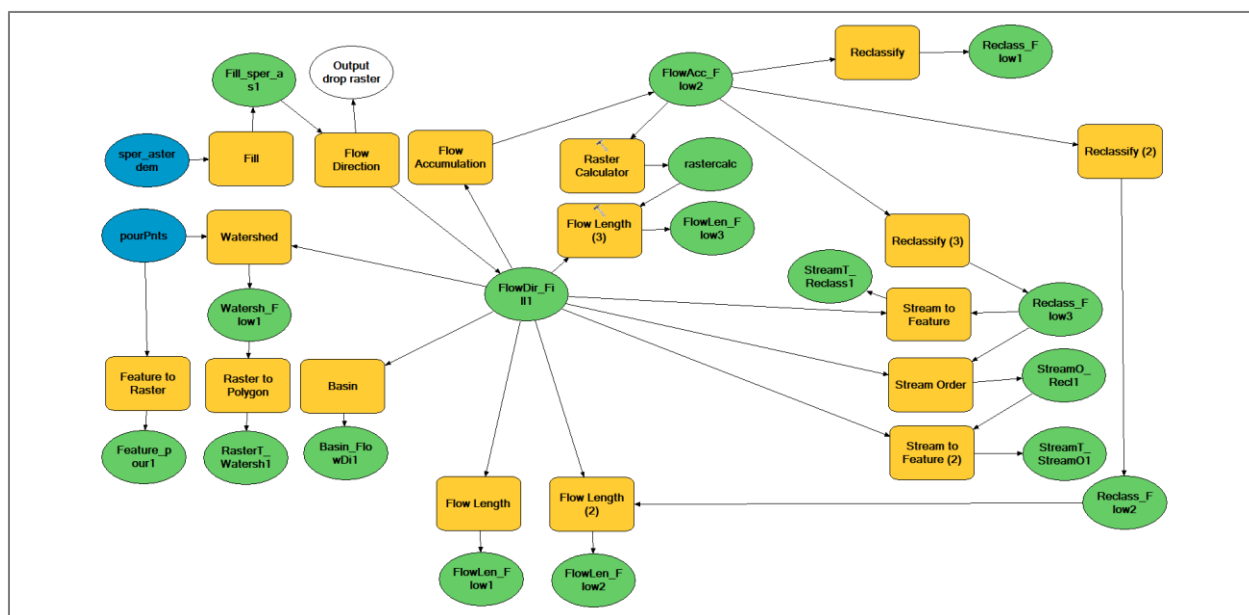
Αρχικά, πολύ σημαντικό βήμα της άσκησης είναι ο ορισμός των “Environments” βάσει των οποίων θα εξαχθούν τα ανάλογα αποτελέσματα. Στη συνέχεια, γίνεται προσθήκη του επιπέδου DEM της κοιλάδας του Σπερχειού, και με την εντολή “Fill” συμπληρώνονται οποιαδήποτε κενά και καταβόθρες υπάρχουν στο DEM και αφαιρούνται οι μικρές ατέλειες των δεδομένων. Επίσης, από το νέο αυτό DEM δημιουργείται με την εντολή “Flow Direction” ένα ψηφιδωτό επίπεδο με τις διευθύνσεις ροής του νερού από το κάθε κελί προς το γειτονικό του που έχει την πιο απότομη κλίση προς τα κάτω.

Ακόμα, με την εντολή “Flow Accumulation” δημιουργείται ένα raster αρχείο όπου απεικονίζεται η συσσώρευση του νερού στο κάθε pixel. Το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης, συνίσταται από εκείνα τα κελιά που συγκεντρώνουν την μεγαλύτερη απορροή, άρα την μεγαλύτερη συσσώρευση νερού (Πεντέρης, Καλογερόπουλος, & Χαλκιάς, 2015). Έπειτα, δημιουργείται ένα νέο διανυσματικό σημειακό επίπεδο, στο οποίο προστίθενται δύο σημεία που παρουσιάζουν υψηλή συσσώρευση νερού στο ποτάμι. Αυτά τα σημεία εισάγονται στην εντολή “Watershed” μαζί με τις διευθύνσεις ροής για να προκύψουν οι λεκάνες απορροής των σημείων.

Το επόμενο βήμα είναι να δημιουργηθούν με την εντολή “Basin” οι λεκάνες απορροής της περιοχής μελέτης με τη βοήθεια των διευθύνσεων ροής. Οι λεκάνες αποστράγγισης προκύπτουν από τον προσδιορισμό των κορυφογραμμών μεταξύ των λεκανών. Το ψηφιδωτό επίπεδο “Flow Direction” αναλύεται για να βρεθεί το σύνολο των pixel που ανήκουν στις ίδιες λεκάνες απορροής, και τα σημεία έκχυσης του νερού συνεισφέρουν στη δημιουργία των λεκανών αποστράγγισης.

Έπειτα με την εντολή “Flow Length” βρέθηκε το μήκος της απορροής που κάνει το νερό από κάθε pixel για να φτάσει μέχρι την θάλασσα, και το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι ο αριθμός των κελιών που απορρέουν σε κάθε κελί, σε μονάδες μήκους. Αν δεν οριστεί ένα ψηφιδωτό επίπεδο βάρους, τότε κάθε κελί θα λάβει το βάρος 1 (ESRI, ArcMap - Flow Length, n.d.). Για να οριστεί το βάρος γίνεται επαναταξινόμηση του επιπέδου “Flow Accumulation”, όπου ορίζονται δύο κλάσεις, η πρώτη 0 – 5000 που χαρακτηρίζεται με τον αριθμό 1, και η δεύτερη >5000 – 2500000 που είναι το υδρογραφικό δίκτυο και παίρνει την τιμή “NoData”. Προκύπτει η λεκάνη του Σπερχειού χωρίς το υδρογραφικό δίκτυο. Αυτό το νέο επίπεδο εισάγεται ως βάρος στην εντολή “Flow Length” και στο αποτέλεσμα απεικονίζεται το μήκος της απορροής που κάνει το νερό από κάθε pixel για να φτάσει έως το υδρογραφικό δίκτυο.

Πολύ χρήσιμη ενέργεια είναι να ταξινομηθούν οι κλάδοι του υδρογραφικού δικτύου ανάλογα με την σπουδαιότητά τους. Αυτό είναι δυνατό να επιτευχθεί με την εντολή “Stream Order”, η οποία ορίζει με αριθμητική σειρά τους κλάδους του υδρογραφικού δικτύου. Χρησιμοποιήθηκε στην εργασία η μέθοδος διάταξης ρεμάτων του Strahler, όπου ισχύει ότι η τάξη ενός ρέματος αυξάνεται μόνο όταν διασταυρώνεται με άλλο ρέμα ίδια τάξης. Το επίπεδο των ταξινομημένων ρεμάτων δημιουργήθηκε από την επαναταξινόμηση του επιπέδου “Flow Accumulation” όπου τα ρέματα πήραν την τιμή 1 και όλη η υπόλοιπη λεκάνη την τιμή “NoData”. Επίσης, από το επαναταξινομημένο επίπεδο “Flow Accumulation” μπορεί να παραχθεί με την εντολή “Stream to Feature” όλο το υδρογραφικό δίκτυο σε διανυσματική μορφή, χωρίς όμως να είναι ταξινομημένο.



Διάγραμμα 1: Διάγραμμα ροής του μοντέλου υδρολογικής ανάλυσης

Ερωτήσεις – Απαντήσεις

- **ΕΡΩΤΗΣΗ 1:** Ποια διεύθυνση υποδηλώνουν οι παρακάτω κωδικοί: 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 ;

Το εργαλείο “Flow Direction” λειτουργεί με τρεις αλγόριθμους μοντελοποίησης της ροής. Τον D8, τον Multi Flow Direction (MFD) και τον D-Infinity (DINF). Στο επίπεδο που απεικονίζει το “Flow Direction” υπάρχουν οκτώ πιθανές κατευθύνσεις εξόδου του νερού, όσα είναι και τα γειτονικά κελιά προς τα οποία μπορεί να κινηθεί το νερό. Αυτή η συνθήκη αποτελεί το μοντέλο ροής οκτώ κατευθύνσεων (D8). Οι τιμές για κάθε κατεύθυνση από το κέντρο ενός κελιού είναι οι 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, όπως φαίνονται και στην εικόνα 1. Στην περίπτωση που ένα κελί είναι χαμηλότερο υψομετρικά από τα οκτώ γειτονικά του κελιά, τότε αυτό είναι ίσο με την τιμή του χαμηλότερου γείτονα, άρα και το νερό ρέει προς αυτόν. Όμως αν τα γειτονικά κελιά ενός συγκεκριμένου κελιού έχουν όλα το ίδιο υψόμετρο, τότε η κατεύθυνση ροής δεν είναι δυνατό να προσδιοριστεί. Η τιμή που παίρνει το κελί εν τέλει είναι ίση με το άθροισμα των διευθύνσεων ροής προς τις οποίες μπορεί να κινηθεί το νερό (ArcMap - Flow Direction, n.d.).

32	64	128
16		1
8	4	2

Εικόνα 1: Η κωδικοποίηση της κατεύθυνσης ροής

- **ΕΡΩΤΗΣΗ 2:** Με ποιο κριτήριο επιλέγεται η τιμή Break Value;

Για τον υπολογισμό του χρόνου διαδρομής του νερού, κρίνεται απαραίτητο να διερευνηθεί τόσο η ροή νερού εντός του κύριου υδρογραφικού δικτύου έως την έξοδο της λεκάνης, όσο και η στρωματοροή στην υπόλοιπη λεκάνη. Έτσι με την ταξινόμηση του επιπέδου και τον ορισμό δύο Break Values διαχωρίζονται οι δύο τύποι ροής και καθορίζεται το υδρογραφικό δίκτυο. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή Break Value, τόσο λιγότερα ρέματα απεικονίζονται στο επίπεδο.

- **ΕΡΩΤΗΣΗ 3:** Τι προσομοιώνει η κατηγορία με τιμές > Break Value; Πόση έκταση βρίσκεται ανάντι των ψηφίδων που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία;

Η δεύτερη κλάση στο ταξινομημένο επίπεδο του “Flow Accumulation” προσομοιώνει το κύριο υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης του Σπερχειού, για αυτό και έχει πολύ υψηλές τιμές συσσώρευσης νερού. Η έκταση των ψηφίδων της πρώτης κλάσης του επιπέδου, δηλαδή της κοιλάδας του Σπερχειού χωρίς τα ρέματα, είναι $2008981404.25934 \text{ m}^2 = 2008.98140425934 \text{ km}^2$. Η έκταση μπορεί να υπολογιστεί αν το πλήθος των pixel (2474775) που αποτελούν την περιοχή πολλαπλασιαστεί με το μέγεθος του κάθε pixel. Στο συγκεκριμένο ψηφιακό μοντέλο εδάφους το κάθε pixel έχει διαστάσεις $28.491813855609 \times 28.491813855609$.

- **ΕΡΩΤΗΣΗ 4:** Ποια η έκταση της κάθε υπολεκάνης;

Για να βρεθεί η έκταση της κάθε υπολεκάνης μετατρέπεται από raster σε vector το επίπεδο των υπολεκανών. Η έκταση της υπολεκάνης του πρώτου σημείου εξόδου είναι $337062225.40794 \text{ m}^2 = 337.06222540794 \text{ km}^2$, ενώ του δεύτερου είναι $298268580.296277 \text{ m}^2 = 298.268580296277 \text{ km}^2$.

- **ΕΡΩΤΗΣΗ 5:** Πόσες είναι αυτές οι λεκάνες;

Οι λεκάνες που δημιουργεί το πρόγραμμα είναι 2651, όμως αν αφαιρέσουμε τις πολύ μικρές λεκάνες που προκύπτουν από σφάλμα (Count<=4) τότε οι υπολεκάνες της λεκάνης του Σπερχειού είναι 1351.

- **ΕΡΩΤΗΣΗ 6:** Ποια είναι η κύρια διαφορά τους με τις λεκάνες που δημιουργήθηκαν με την προηγούμενη μέθοδο;

Με αυτή τη μέθοδο δημιουργούνται όλες οι υπολεκάνες της περιοχής αυτόματα, ενώ με την προηγούμενη μέθοδο παράγονται μόνο οι υπολεκάνες συγκεκριμένων σημείων απορροής του νερού που έχει ορίσει ο χρήστης.

- **ΕΡΩΤΗΣΗ 7:** Εξετάστε το παραγόμενο και συγκρίνετε το με το FlowLen. Σε τι εύρος κυμαίνονται οι τιμές του καθενός από αυτά τα δύο επίπεδα;

Η χρωματική ακολουθία και των δύο επιπέδων είναι ασπρόμαυρη, με το μαύρο να σημαίνει ότι το μήκος απορροής είναι 0, άρα η περιοχή βρίσκεται στο σημείο εξόδου. Στο πρώτο μήκος απορροής οι τιμές κυμαίνονται από 0 – 85063.8 μέτρα και δείχνει την διαδρομή του νερού έως τη θάλασσα, οπότε το ψηφιδωτό επίπεδο παρουσιάζει μια διαβαθμισμένη χρωματική ακολουθία από δυτικά προς ανατολικά που βρίσκεται η θάλασσα. Στο δεύτερο επίπεδο μήκους απορροής με βάρος, το εύρος τιμών είναι 0 – 9066.32 μέτρα και δείχνει την διαδρομή του νερού ανά pixel έως το υδρογραφικό δίκτυο. Συμπεραίνεται ότι η απόσταση που διανύει το νερό στην δεύτερη περίπτωση είναι πολύ μικρότερη σε σχέση με την πρώτη.

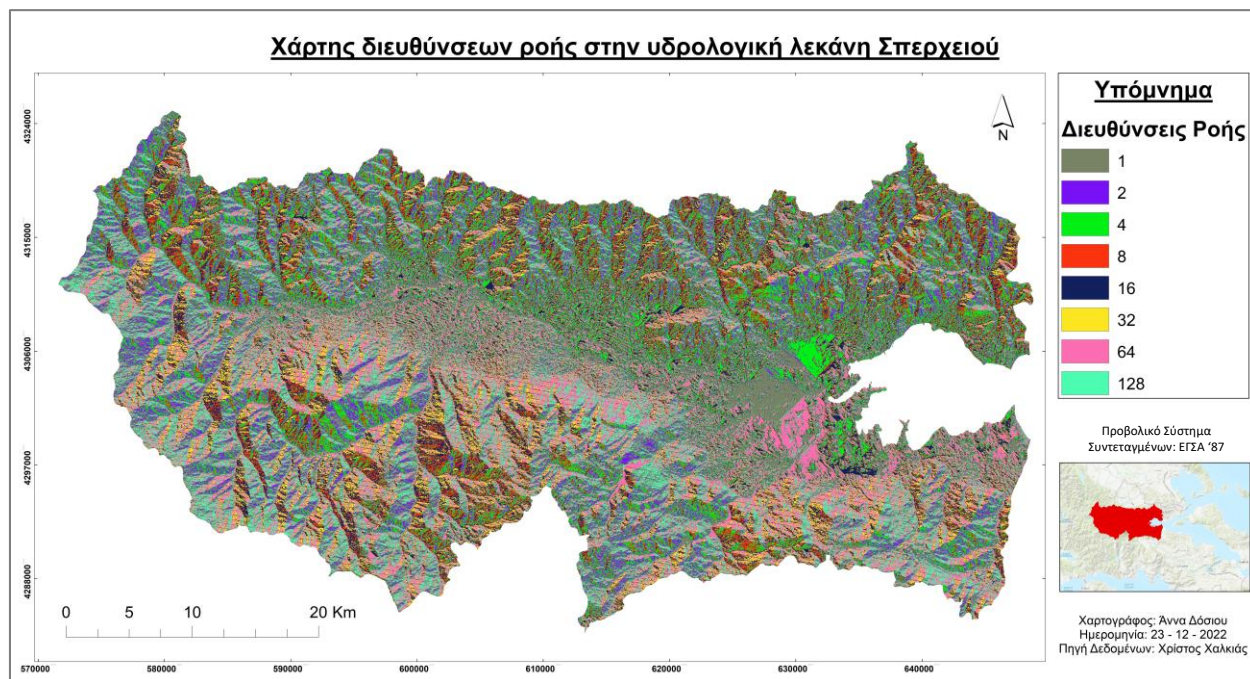
- **ΕΡΩΤΗΣΗ 8:** Εξετάστε οπτικά το παραγόμενο (streams.shp) έχοντας ως υπόβαθρο το ψηφιακό μοντέλο εδάφους και το ταξινομημένο FlowAcc αλλά και το χάρτη των ρεμάτων (αν υπάρχει). Τι παρατηρείτε;

Από την σύγκριση των παραπάνω επιπέδων συμπεραίνεται ότι στο vector αρχείο του υδρογραφικού δικτύου τα ρέματα δεν είναι ταξινομημένα και δεν είναι τόσο λεπτομερή, σε αντίθεση με τα ρέματα σε raster μορφή τα οποία είναι ταξινομημένα κατά Strahler και είναι πιο ακριβή στον χώρο. Αυτό είναι λογικό αφού τα raster δεδομένα γενικώς λόγω της απεικόνισής τους μέσω pixel έχουν την δυνατότητα να απεικονίσουν με ακρίβεια τις οντότητες. Άρα, στο vector αρχείο τα δεδομένα του raster αρχείου “Flow Accumulation” κανονικοποιούνται με αποτέλεσμα να μην παρουσιάζουν την ίδια ακρίβεια με το αρχικό layer.

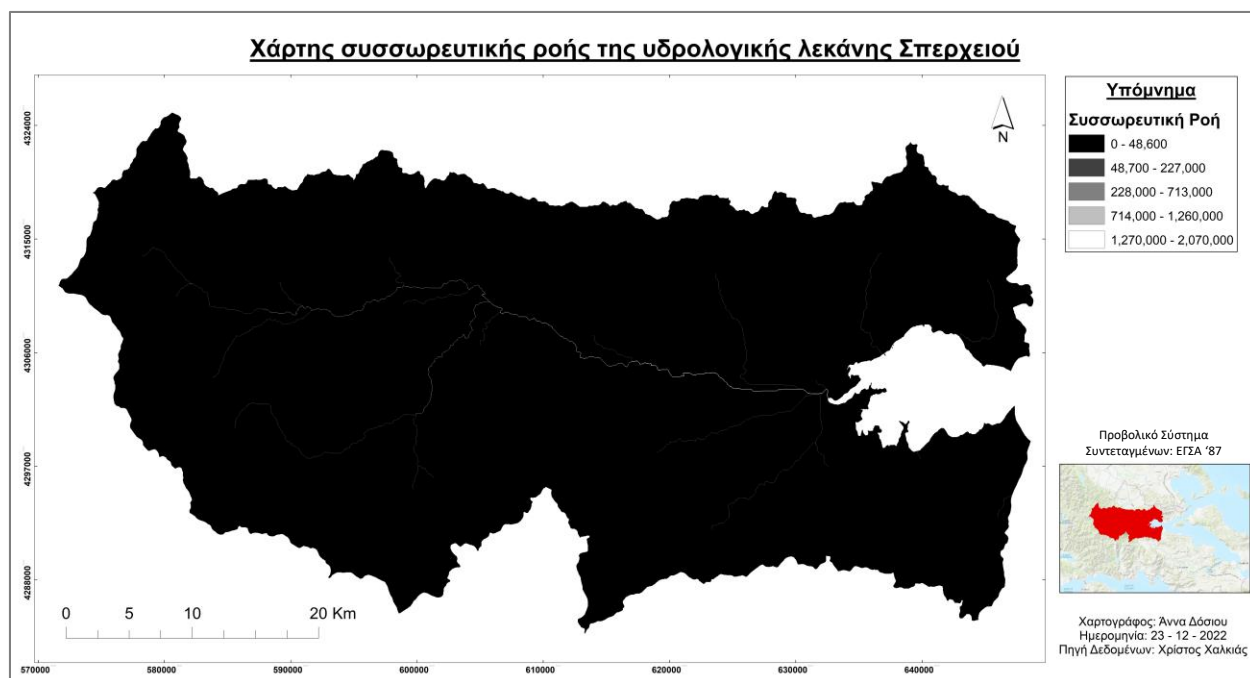
Αποτελέσματα

Από την επεξεργασία των δεδομένων παράχθηκαν χρήσιμοι χάρτες για την λειτουργία της λεκάνης του Σπερχειού. Ο πρώτος (Χάρτης 1) αφορά τις διευθύνσεις ροής της λεκάνης όπου παρουσιάζονται αναλυτικά οι διευθύνσεις ροής του νερού από κάθε pixel προς τα οκτώ γειτονικά του. Η νοτιοανατολική διεύθυνση παρουσιάζεται με μωβ χρώμα, ενώ η νοτιοδυτική με κόκκινο χρώμα.

Ο χάρτης συσσώρευσης ροής παρουσιάζεται στον χάρτη 2. Συμπεραίνεται ότι στα σημεία όπου βρίσκεται το κύριο υδρογραφικό δίκτυο συγκεντρώνονται μεγάλες ποσότητες νερού, ενώ όσο τα ρέματα απομακρύνονται από αυτό συγκεντρώνουν όλο και μικρότερη ποσότητα νερού, αφού το διοχετεύουν στην κύρια κοίτη του ποταμού. Με άσπρο χρώματα αποτυπώνεται η μέγιστη συσσώρευση νερού στην λεκάνη.

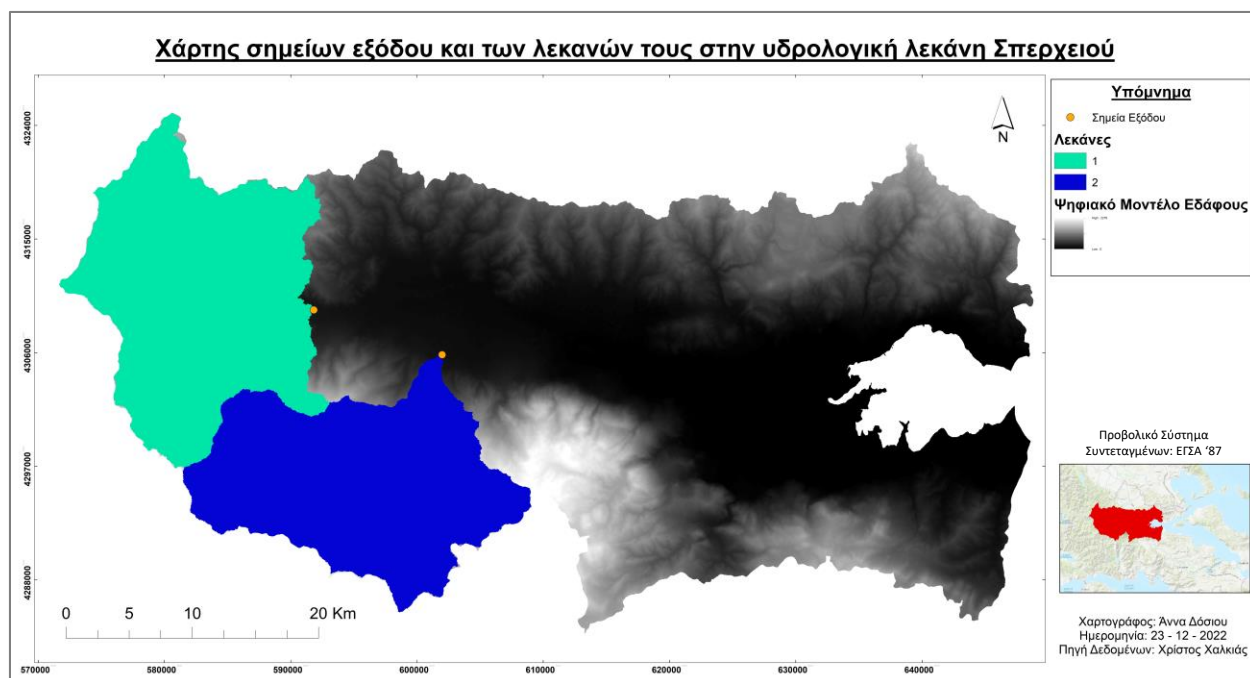


Χάρτης 1: Χάρτης διευθύνσεων ροής στην υδρολογική λεκάνη Σπερχειού



Χάρτης 2: Χάρτης συσσωρευτικής ροής της υδρολογικής λεκάνης Σπερχειού

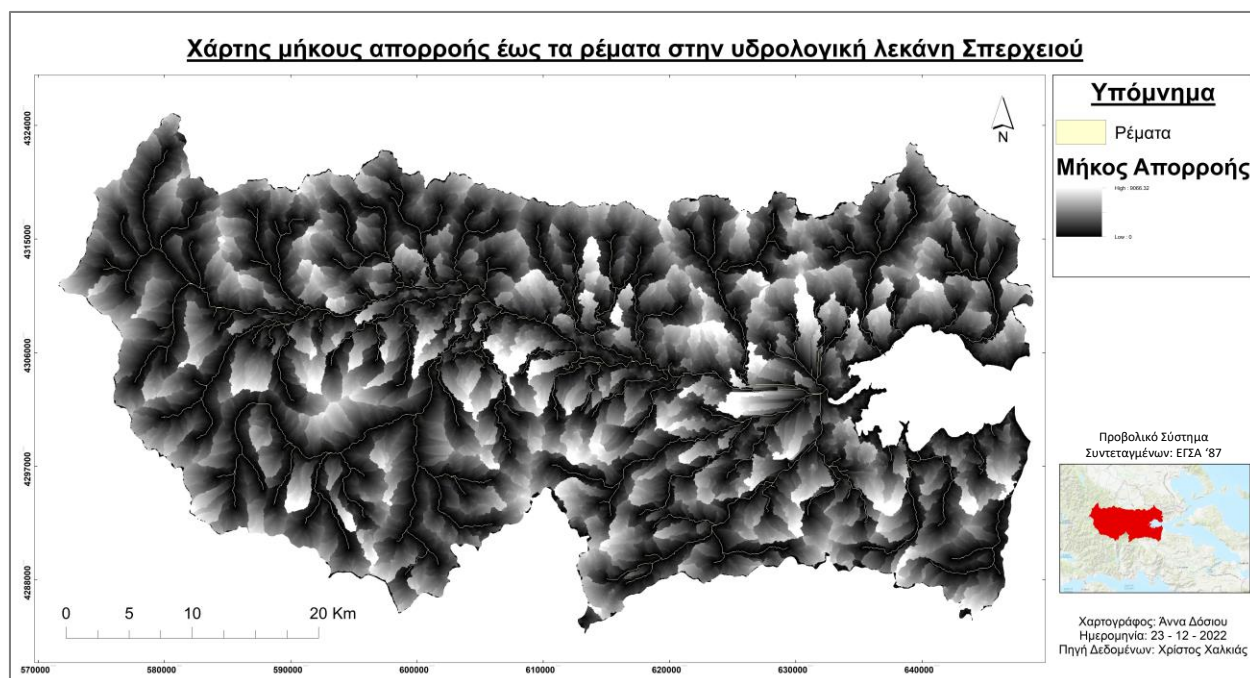
Επίσης, κατασκευάστηκε ο χάρτης των δύο σημείων που επιλέχθηκαν ως σημεία εξόδου, που παρουσιάζουν δηλαδή υψηλή συσσώρευση νερού, και των λεκανών τους (χάρτης 3). Στα δύο σημεία αποστραγγίζουν μεγάλες λεκάνες απορροής, αφού η πρώτη λεκάνη πράσινου χρώματος είναι $337.06222540794 \text{ km}^2$, ενώ η δεύτερη καταλαμβάνει έκταση $298.268580296277 \text{ km}^2$.



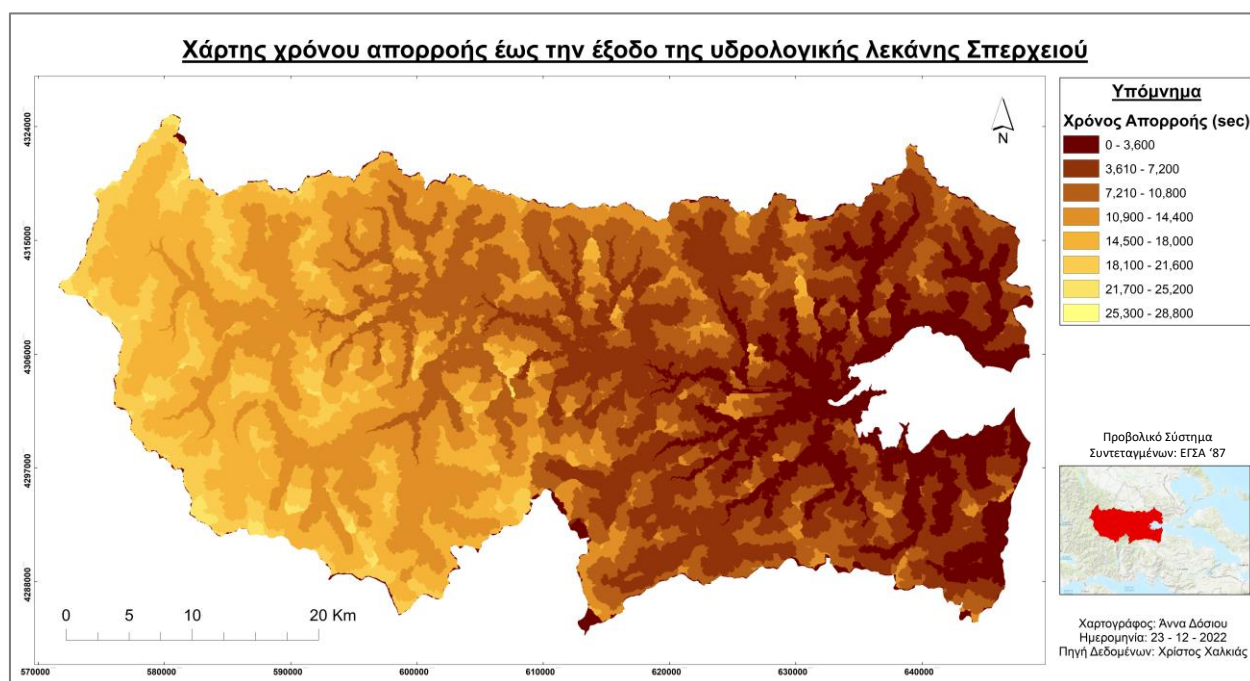
Χάρτης 3: Χάρτης σημείων εξόδου και των λεκανών τους στην υδρολογική λεκάνη Σπερχειού

Έπειτα, δημιουργήθηκε ο χάρτης 4 που απεικονίζει το μήκος απορροής του νερού έως τα ρέματα της λεκάνης. Το μεγαλύτερο μήκος που παρατηρείται είναι 9066.32 μέτρα και παρουσιάζεται με λευκό χρώμα. Το μαύρο χρώμα που δείχνει το μηδενικό μήκος απορροής, όπως είναι λογικό εντοπίζεται κατά μήκος του υδρογραφικού δικτύου.

Στον χάρτη του χρόνου απορροής έως την έξοδο της υδρολογικής λεκάνης του Σπερχειού (χάρτης 5), ο χρόνος απεικονίζεται με ισόχρονες καμπύλες της μίας ώρας. Ο χάρτης παράχθηκε βάσει των διαφορετικών ταχυτήτων ροής του νερού στα ταξινομημένα ρέματα και στην υπόλοιπη κοιλάδα. Οι περιοχές με σκούρο καφέ χρώμα στα ανατολικά της λεκάνης κοντά στις εκβολές του Σπερχειού, αποστραγγίζουν το νερό μέσα σε μία ώρα. Η υψηλότερη χρονικά απορροή στις περιοχές με ανοιχτό κίτρινο χρώμα είναι οι οκτώ ώρες, που κάνει το νερό για να φτάσει στις εκβολές της λεκάνης.

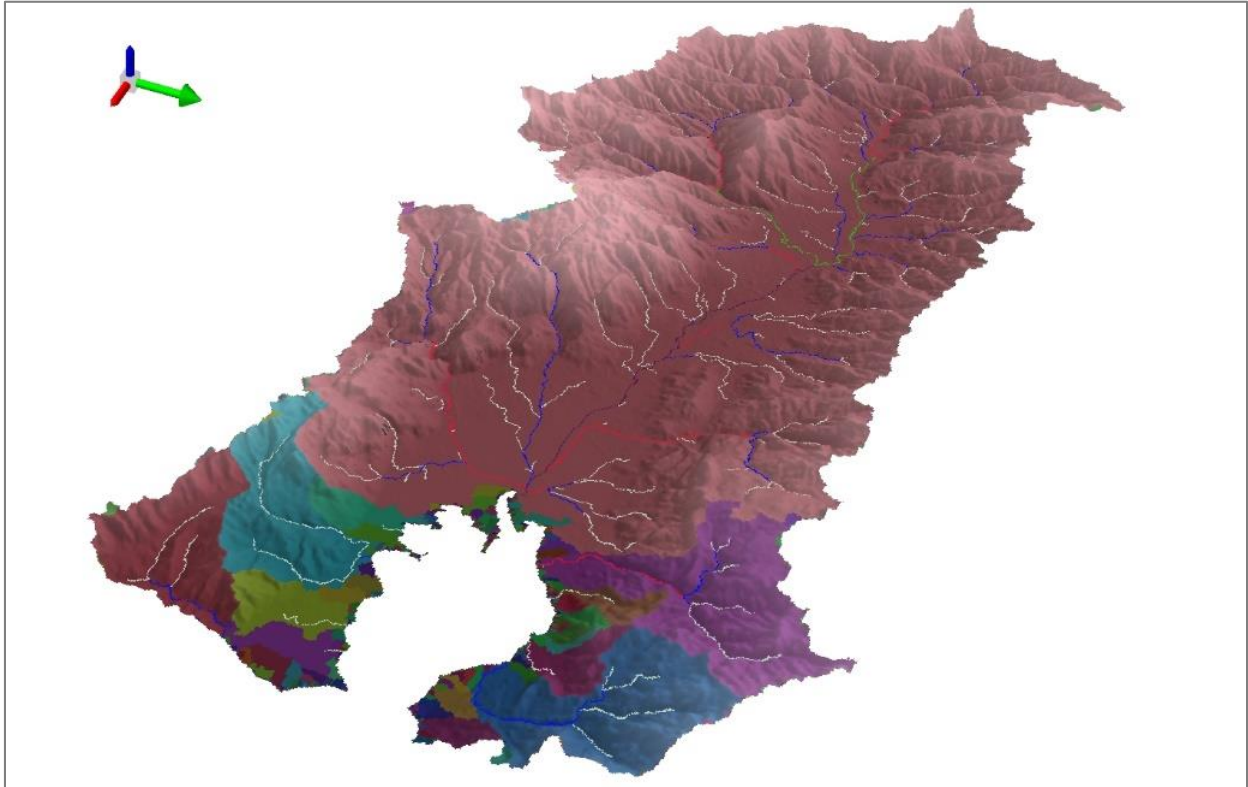


Χάρτης 4: Χάρτης μήκους απορροής έως τα ρέματα στην υδρολογική λεκάνη Σπερχειού



Χάρτης 5: Χάρτης χρόνου απορροής έως την έξοδο της υδρολογικής λεκάνης Σπερχειού

Επιπρόσθετα, στο λογισμικό Arc Scene προστέθηκαν το ψηφιακό μοντέλο εδάφους, οι υπολεκάνες της κοιλάδας του Σπερχειού και τα ταξινομημένα κατά Strahler ρέματα της λεκάνης. Αυτή η προοπτική απεικόνιση προσφέρει μια εικόνα της λεκάνης κοντά στην πραγματικότητα, που βοηθά στην ορθότερη κατανόηση της μορφολογικής κατάστασής της, αλλά και στον εντοπισμό των ρεμάτων του Σπερχειού ποταμού.



Εικόνα 2: Προοπτική Απεικόνιση λεκάνης απορροής Σπερχειού

Συμπεράσματα

Η υδρολογική ανάλυση κρίνεται απαραίτητη για την κατανόηση λειτουργίας του συστήματος της εκάστοτε λεκάνης, αλλά και την εύρυθμη αξιοποίηση της. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης προσφέρουν στοιχεία για την ροή του νερού, τις υπολεκάνες του συστήματος αποστράγγισης, και ταξινομεί τα ρέματα ανάλογα με την σπουδαιότητα τους. Ακόμα, προσδιορίζονται οι περιοχές με υψηλή συσσώρευση ροής και ο χρόνος που χρειάζεται το νερό για να φτάσει από το σημείο που θα βρέξει έως την έξοδο της λεκάνης. Αυτά τα αποτελέσματα μπορούν λειτουργήσουν συμβουλευτικά ώστε οι αρμόδιες αρχές να αποτρέψουν καταστροφές από μια πιθανή πλημμύρα, και να κατασκευάσουν τα κατάλληλα έργα στα σημεία υψηλής επικινδυνότητας, για να αποτρέψουν τις καταστροφές από τέτοιου είδους γεγονότα. Έτσι θα διασφαλιστεί η ασφάλεια των ανθρώπων και των περιουσιών τους.

Βιβλιογραφία

Ξένη Βιβλιογραφία

ArcMap - Flow Direction. (n.d.). Retrieved from ArcGIS for Desktop:

<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/flow-direction.htm>

ESRI. (n.d.). ArcMap - Flow Length. Retrieved from ArcGIS for Desktop:

<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/flow-length.htm>

Jet Propulsion Laboratory, I. (2012, 01 31). *ASTER Global Digital Elevation Map Announcement*.

Retrieved from ASTER Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer:

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

Ελληνική Βιβλιογραφία

Πεντέρης, Δ., Καλογερόπουλος, Κ., & Χαλκιάς, Χ. (2015). Εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου σε υπολεκάνη του Βουραϊκού ποταμού με τη χρήση συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών. *Γεωγραφίες*, 21-37.