

# ΧΩΡΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΠΡΟΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΠΑΡΟΧΩΝ ΡΕΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΟΣΣΑΣ

<b>Μαγαλιός Σ.,</b> MSc Αγρονόμος Τοπ. Μηχ/κός Κοραή 13 41223 Λάρισα	<b>Κωτσόπουλος Σ.,</b> Ερευνητής ΕΘΙΑΓΕ/ΙΧΤΕΛ Θεοφράστου 1, 41335 Λάρισα <a href="mailto:kotsopoulos@nagref.gr">kotsopoulos@nagref.gr</a>	<b>Αλεξίου Ι.,</b> Ερευνητής ΕΘΙΑΓΕ/ΙΧΤΕΛ Θεοφράστου 1, 41335 Λάρισα <a href="mailto:alexiou@nagref.gr">alexiou@nagref.gr</a>	<b>Γραβάνης Γ.,</b> Αν. Καθηγητής ΤΕΙ Λάρισας ΣΤΕΦ / ΠΕΥ 41110 Λάρισα <a href="mailto:gravansg@teilar.gr">gravansg@teilar.gr</a>	<b>Λόκκας Φ.,</b> Καθηγητής ΤΕΙ Λάρισας ΣΤΕΦ / ΠΕΥ 41110 Λάρισα <a href="mailto:p.lokkas@teilar.gr">p.lokkas@teilar.gr</a>	<b>Μπασδάνης Β.</b> MSc Πολιτικός Μηχανικός Ηρακλείτου 74 41447 Λάρισα
--	--	--	---	---	--

**ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ:** Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών, υδρολογικές παράμετροι, υδρολογικά μοντέλα

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η περιοχή των Β και ΒΑ κλιτύων της Όσσας δέχεται σημαντικές βροχοπτώσεις και, παρά τη σημαντική κάλυψη της από φυσική κυρίως βλάστηση, έχουν εμφανιστεί αρκετά έντονα προβλήματα από πλημμύρες που οφείλονται κυρίως στην ιδιαιτερότητα των βροχομετρικών συμβάντων σε συνδυασμό με τις τοπικές συνθήκες (υδρογεωλογικές, χρήσεων γης κ.τ.λ.) και τα υπάρχοντα έργα υποδομής. Για την ανάλυση και ερμηνεία των φαινομένων αυτών, στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος «Αρχιμήδης» (ΕΠΕΑΕΚ II), έχει επιλεγεί η εν λόγω περιοχή, όπου γίνεται η καταγραφή και αξιολόγηση πληθώρας παραμέτρων. Εργαλείο για τη συστηματική αποτύπωση και απόδοση των αναγκαίων δεδομένων είναι τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ/GIS), μέσω των οποίων ερμηνεύονται και αξιολογούνται πληροφορίες που αναφέρονται σε τοπογραφικά, υδρογραφικά, γεωλογικά, εδαφικά δεδομένα, χρήσεις γης (φυτοκάλυψη) και έργα υποδομής. Το ίδιο σύστημα χρησιμοποιείται και για την απεικόνιση συνθετότερων παραμέτρων που αποτελούν τα δεδομένα εισόδου υδρολογικών μοντέλων καθώς και για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

## SPATIAL VARIATION OF HYDROLOGIC PARAMETERS FOR THE ESTIMATION OF FLOOD DISCHARGES OF STREAMS OF MT. OSSA

<b>Magalios S.,</b> MSc Surveyor Eng. 13, Korai Str., 41223 Larissa	<b>Kotsopoulos S.,</b> Researcher NAGREF/ISCML 1, Theophrastos Str., 41335 Larissa <a href="mailto:kotsopoulos@nagref.gr">kotsopoulos@nagref.gr</a>	<b>Alexiou I.,</b> Researcher NAGREF/ISCML 1, Theophrastos Str., 41335 Larissa <a href="mailto:alexiou@nagref.gr">alexiou@nagref.gr</a>	<b>Gravanis G.,</b> Assoc. Professor TEI Larissa STA, Dept. CIW 41110 Larissa <a href="mailto:gravansg@teilar.gr">gravansg@teilar.gr</a>	<b>Lokkas F.,</b> Professor TEI Larissa STA, Dept. CIW 41110 Larissa <a href="mailto:p.lokkas@teilar.gr">p.lokkas@teilar.gr</a>	<b>Basdanis B.</b> MSc Civil Eng. 74, Iraklitou Str., 41447 Larissa
---	--	--	---	--	---

**KEYWORDS:** Geographic Information Systems, hydrologic parameters, hydrologic modelling

## ABSTRACT

The area on N and NE slopes of Mount Ossa, Thessaly, receives considerable rainfalls and, despite its extended natural vegetation, severe problems have arisen due to floods, the existence of which is based on the combination of the peculiarity of rainfall events with the local conditions (hydrogeologic, land use, etc.) and the existing infrastructure works. In order to analyze and interpret those phenomena in the context of the research programme "Archimedes" (EPEAEK II), it is essential to record and validate numerous parameters of the study area. A tool for the systematic survey and mapping of the necessary data is the Geographic Information Systems, through which the information about topographic, hydrologic, geologic and soil data, land cover and infrastructure is interpreted and validated. Finally, the GIS are also used to produce and map complex hydrologic parameters.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η ευχερής εκτίμηση υδρολογικών παραμέτρων που σχετίζονται με την εκτίμηση πλημμυρικών παροχών. Ως περιοχή μελέτης έχει επιλεγεί αυτή που καταλαμβάνει τις Β και ΒΑ κλιτύες του όρους Όσσα. Η περιοχή αυτή δέχεται σημαντικές βροχοπτώσεις, κατά πολύ μεγαλύτερες αυτών που σημειώνονται στο πεδινό τμήμα του Ν. Λάρισας και της Θεσσαλίας γενικά, και παρά τη σημαντική κάλυψή της από φυσική κυρίως βλάστηση, έχουν εμφανιστεί κατά καιρούς σε πολλά υδατορρέυματά της αρκετά έντονα προβλήματα από πλημμύρες που κατά κύριο λόγο οφείλονται στην ιδιαιτερότητα των βροχομετρικών συμβάντων σε συνδυασμό με τις τοπικές συνθήκες (γεωμορφολογικές, υδρογεωλογικές, χρήσεων γης κ.τ.λ.) και τα υπάρχοντα έργα υποδομής.

Για την καταγραφή και διαχείριση των αναγκαίων για τη μελέτη της περιοχής στοιχείων έχει χρησιμοποιηθεί το Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ) GIS-ArcView. Η χρήση ΣΓΠ [1] είναι ενδεδειγμένη για την παράσταση χωρικών μεταβλητών και για το λόγο αυτό έχουν χρησιμοποιηθεί σε πλήθος εφαρμογών, όπως διαχείρισης εδαφοϋδατικών πόρων [2], [3], [4], [5] κ.τ.λ. Όσον αφορά στην εκτίμηση των πλημμυρικών παροχών, υπάρχουν χωρικές παράμετροι που κατόπιν επεξεργασίας μάς παρέχουν τα δεδομένα εισόδου για προσομοίωση πλημμυρών [6] μέσω υδρολογικών μοντέλων [7], [8], όπως εδαφολογικά στοιχεία, στοιχεία φυτοκάλυψης, χρήσεων γης, αναγλύφου, χαρακτηριστικών υδρογραφικού δικτύου κ.τ.λ. Από την επεξεργασία των παραπάνω στοιχείων μπορούν να προκύψουν άμεσα υδρολογικές παράμετροι, όπως η έκταση των υδρολογικών λεκανών, οι κλίσεις των λεκανών και των κυρίων υδατορρευμάτων που τις διαρρέουν, οι απορροϊκοί συντελεστές κτλ.

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 2.1 Περιοχή μελέτης

Στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος «Αρχιμήδης» (ΕΠΕΑΕΚ II): «Χωροθέτηση και εκτίμηση της υδρολογικής διακινδύνευσης με έμφαση στην ξηρασία και τις πλημμύρες σε αστικές και μη αστικές περιοχές της Θεσσαλίας και αξιολόγηση των περιβαλλοντικών τους επιπτώσεων» που υλοποιείται από το ΤΕΙ Λάρισας, Τμήμα Πολιτικών Έργων Υποδομής, έχει επιλεγεί ως περιοχή μελέτης αυτή των Β και ΒΑ κλιτύων της Όσσας που καλύπτει τα υδατορρέυματα των περιοχών Ομολίου, Στομίου και Καρίτσας του Δήμου Ευρυμενών Ν. Λάρισας (Εικόνα 1). Στην περιοχή αυτή παρατηρούνται συνήθως μεγάλα βροχομετρικά ύψη, κατά πολύ μεγαλύτερα αυτών που σημειώνονται στο πεδινό τμήμα του νομού και παρά τη σημαντική κάλυψή της από φυσική κυρίως βλάστηση, έχουν εμφανιστεί κατά καιρούς αρκετά έντονα προβλήματα λόγω πλημμυρών. Οι πλημμύρες αυτές κατά κύριο λόγο οφείλονται στην ιδιαιτερότητα των βροχομετρικών συμβάντων σε συνδυασμό με τις τοπικές συνθήκες (υδρογεωλογικές, χρήσεων γης κ.τ.λ.) και τα υπάρχοντα έργα υποδομής και έχουν περιβαλλοντικές επιπτώσεις στις καλλιεργούμενες εκτάσεις της περιοχής καθώς και στην ευρύτερη περιοχή του Δέλτα Πηνειού.

### 2.2 Μεθοδολογία

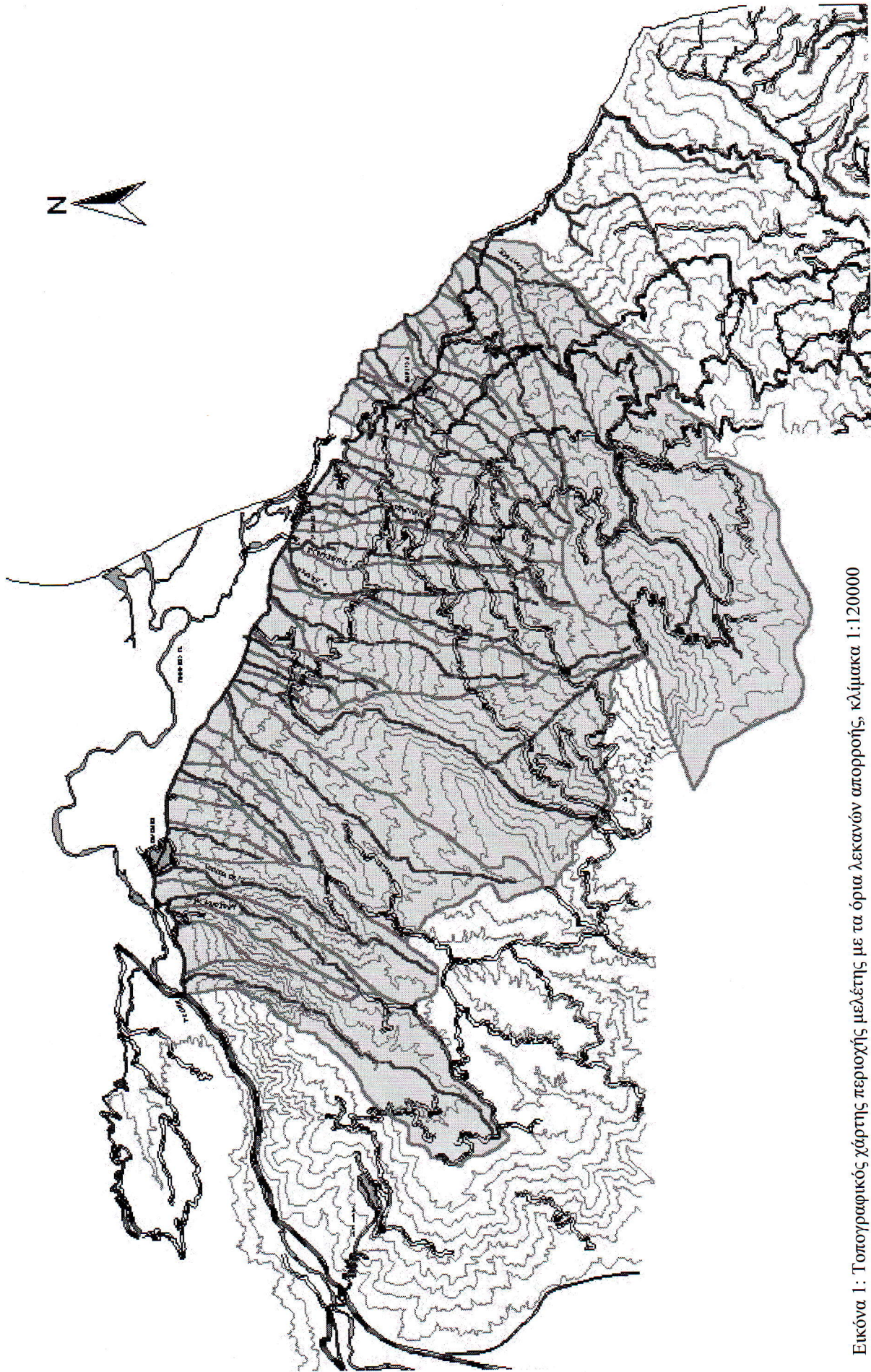
Για την καταγραφή και αποτύπωση τόσο της υπάρχουσας πληροφορίας όσο και των αποτελεσμάτων χρησιμοποιείται το Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ) GIS-ArcView, για να παρασταθεί η χωρική μεταβλητότητα των διαφόρων παραμέτρων. Τα ΣΓΠ είναι μια ισχυρή τεχνολογία, προσβάσιμη και προσιτή σε πολλούς χρήστες, η οποία επιτρέπει την αυτοματοποίηση πολλών διαδικασιών, λειτουργώντας συμπληρωματικά σε πολλές αναλυτικές μεθόδους που χρησιμοποιούνται για τη διαχείριση των υδατικών πόρων [1].

Για τη μελέτη, εκτίμηση, ανάλυση και αξιολόγηση των πλημμυρικών συμβάντων της περιοχής μελέτης είναι αναγκαία η συλλογή και χρήση πληθώρας δεδομένων υδρολογικών και εδαφολογικών, γεωλογικών, χρήσεων γης, φυτοκάλυψης, αναγλύφου εδάφους καθώς και των υπάρχουσών υποδομών (οδικό δίκτυο, διατομές φυσικών υδατορρευμάτων, τεχνικών έργων και κρίσιμες διατομές που επηρεάζουν τη ροή των υδάτων). Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν:

- χάρτες της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ), κλιμάκων 1:5000 και 1:50000,
- γεωλογικοί χάρτες του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ), κλίμακας 1:50000,
- εδαφολογικοί χάρτες του Υπ. Γεωργικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, κλίμακας 1:50000,
- δασοπονικός χάρτης κλίμακας 1:20000 και
- χάρτης εδαφοκάλυψης Όσσας 1:350000 (όρια κάλυψης δασικής βλάστησης).

Επιπρόσθετα, κατέστη αναγκαία η συλλογή στοιχείων και μετρήσεων πεδίου και για το λόγο αυτό ελήφθησαν:

- Εδαφικά δείγματα από διάφορες θέσεις σε ολόκληρη την περιοχή μελέτης και σε βάθη 0-30, 30-60 και 60-90 cm, όπου αυτό ήταν δυνατό, με καταγραφή της θέσης κάθε δειγματοληψίας με GPS.



Εικόνα 1: Τοπογραφικός χάρτης περιοχής μελέτης με τα όρια λεκανών απορροής, κλίμακα 1:120000

- Στοιχεία των τεχνικών έργων κατά μήκος του οδικού άξονα Ομόλιο-Στόμιο-Καρίτσα σχετικά με τις διατομές τους και ταυτόχρονη καταγραφή κάθε θέσης με GPS. Συνολικά υπήρχαν 46 θέσεις τεχνικών έργων, από πολύ μικρά έως σχετικά μεγάλα, που κατά βάση ανήκουν σε συγκεκριμένες λεκάνες απορροής.
- Τοπογραφικά στοιχεία για την αποτύπωση των κλίσεων και των διατομών βασικών υδατορρευμάτων της περιοχής.

Όλες οι παραπάνω χαρτογραφικές πληροφορίες, που αφορούν στην περιοχή μελέτης (Εικόνα 1, οι λεκάνες απορροής εμφανίζονται με έντονο περίγραμμα), ψηφιοποιήθηκαν και μετατράπηκαν σε αρχείο ΣΓΠ/GIS στο πρόγραμμα GIS-ArcView, όπου δημιουργήθηκαν οι χωρικές αλληλοσυσχετίσεις μεταξύ των γεωγραφικών στοιχείων (δηλαδή οι τοπολογικές σχέσεις τους) [1] και οι συνδεδεμένες προς αυτά βάσεις δεδομένων. Επιπλέον δημιουργήθηκαν στο GIS-ArcView δευτερογενείς πληροφορίες, όπως:

- τα όρια των λεκανών απορροής των σημαντικότερων ρεμάτων και η βάση δεδομένων αυτών με το εμβαδόν κάθε λεκάνης και τη μέση κλίση της,
- η βάση δεδομένων των ρεμάτων με το μήκος του καθενός, τη μέση κλίση του και τις θέσεις επιλεγμένων διατομών, με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά καθεμιάς,
- η βάση δεδομένων με στοιχεία από επιλεγμένες θέσεις δειγματοληψιών εδάφους.

Από τα στοιχεία αυτά προκύπτουν κατόπιν επεξεργασίας τα δεδομένα που είναι απαραίτητα για την προσομοίωση του φυσικού συστήματος. Στην επεξεργασία των στοιχείων περιλαμβάνονται:

- Τοπολογική επεξεργασία υδρολογικών και τοπογραφικών στοιχείων (υδρογραφικό δίκτυο, εμβαδά λεκανών απορροής, κλίσεις εδάφους και υδατορρευμάτων, μήκη υδατορρευμάτων, διατομές υδατορρευμάτων).
- Τοπολογική επεξεργασία εδαφολογικών χαρτών και στοιχείων.
- Τοπολογική επεξεργασία δασοπονικών χαρτών και χαρτών φυτοκάλυψης.

Αναφορικά με τη μέση κλίση των λεκανών, αυτή υπολογίστηκε από την εξίσωση των Gregory & Walling, όπως αναφέρεται από τον Τσακίρη [10]:

$$S_g = \frac{\Sigma L \cdot D}{E} \quad (1)$$

όπου  $S_g$  η μέση κλίση της λεκάνης,  $\Sigma L$  το συνολικό μήκος των ισοϋψών καμπυλών,  $D$  η ισοδιάσταση των ισοϋψών καμπυλών και  $E$  το εμβαδό της λεκάνης απορροής.

Για την εκτίμηση της απορροής με τη μέθοδο της Soil Conservation Service (SCS) απαιτείται η εκτίμηση του απορροϊκού συντελεστή  $CN$  της SCS [9], [10], [11], [12], [13]. Ο συντελεστής αυτός δίνεται σε πίνακες ανάλογα με τη χρήση γης, τη διαχείριση ή πρακτική, τις υδρολογικές συνθήκες και τον τύπο του εδάφους [9], [10], [11], [12], [13]. Σε περίπτωση που υπάρχουν περισσότερες από μια χρήσεις γης στην υδρολογική λεκάνη, τότε θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η σταθμισμένη τιμή του απορροϊκού συντελεστή  $CN_c$ :

$$CN_c = \frac{\sum CN_i \cdot E_i}{\sum E_i} = \sum_{i=1}^n CN_i \cdot \varepsilon_i \quad (2)$$

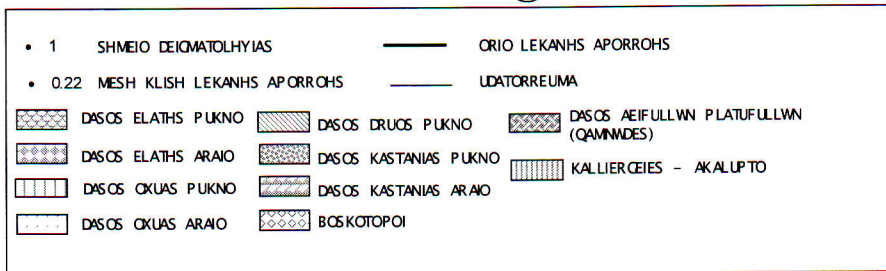
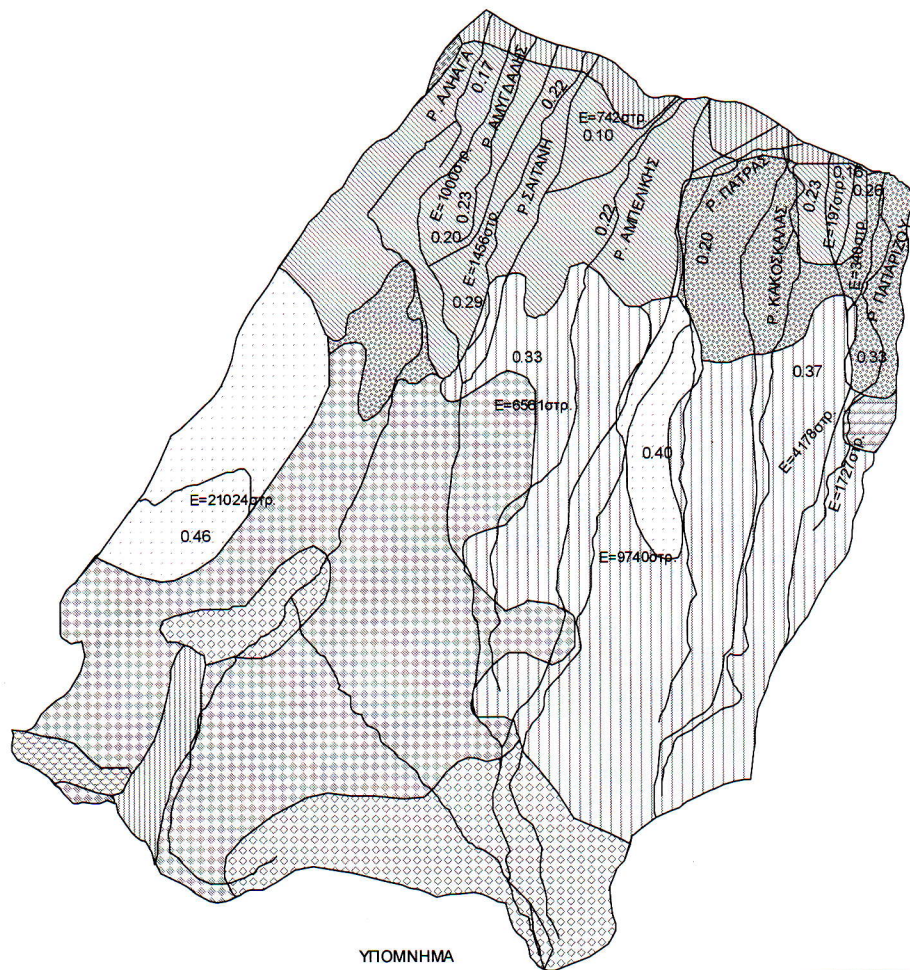
όπου  $CN_i$  συντελεστής απορροής,  $E_i$  η επιφάνεια (εμβαδό) και  $\varepsilon_i$  η σχετική επιφάνεια (κλάσμα) κάθε περιοχής  $i$ . Η σταθμισμένη τιμή του απορροϊκού συντελεστή για κάθε υδρολογική λεκάνη υπολογίστηκε μέσω του ΣΓΠ GIS-ArcView, αφού λήφθηκαν υπόψη οι επί μέρους συντελεστές απορροής για κάθε κατηγορία εδαφοκάλυψης στο εσωτερικό κάθε λεκάνης.

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

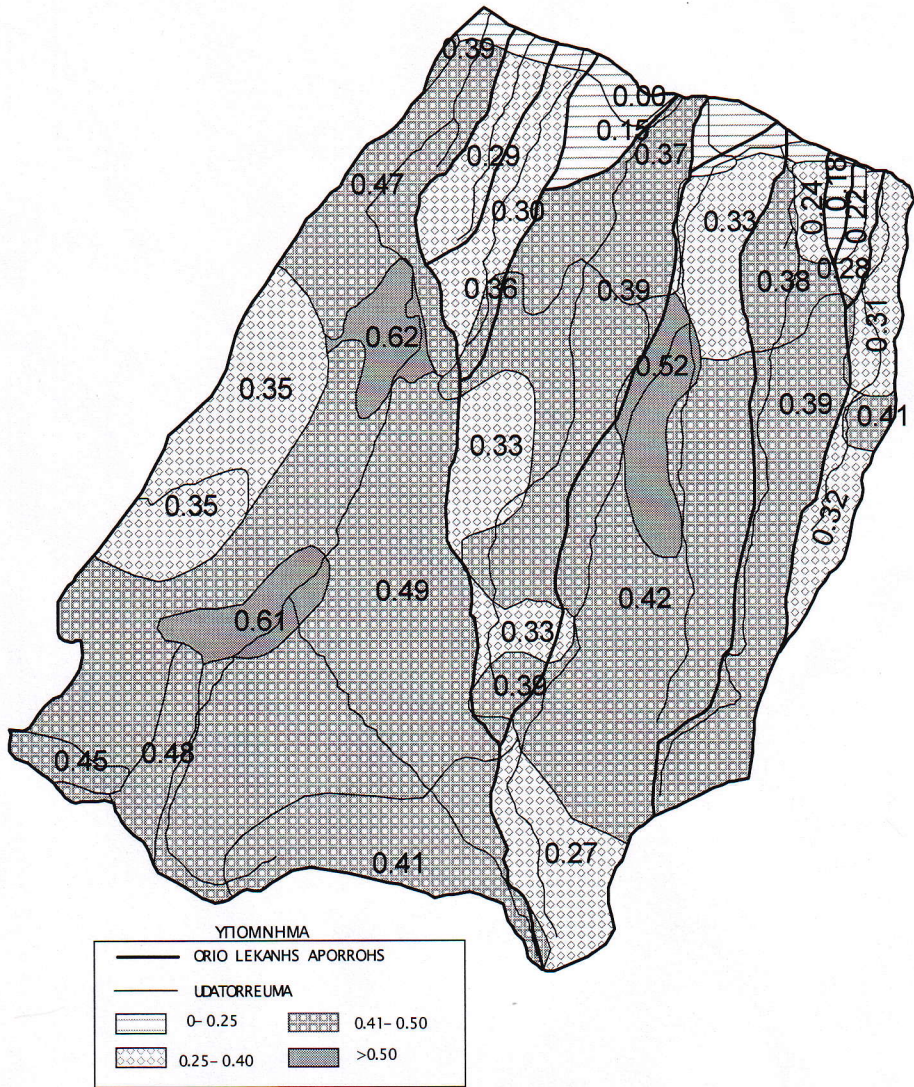
Στην περιοχή μελέτης υπάρχουν κυρίως διάφορα είδη δασικής βλάστησης και βοσκότοποι όπως παριστάνονται στην Εικόνα 2. Από την επεξεργασία χαρτογραφικών δεδομένων καθώς και από στοιχεία επίγειων αποτυπώσεων προκύπτουν το εμβαδό και η μέση κλίση των υδρολογικών λεκανών, οι κλίσεις, τα μήκη και οι διατομές των υδατορρευμάτων (Εικόνα 2, 3).

Από την ανάλυση δειγμάτων εδάφους σε βάθη έως 90 cm, όπου αυτό ήταν δυνατό, προκύπτει ότι με βάση την τιμή της τελικής διηθητικότητας το πλείστον των εδαφικών θέσεων ανήκει στον τύπο A [9], [10], [11]. Αναφορικά με τις υδρολογικές συνθήκες, ο χαρακτηρισμός τους σε καλές, μέτριες ή φτωχές προκύπτει από το

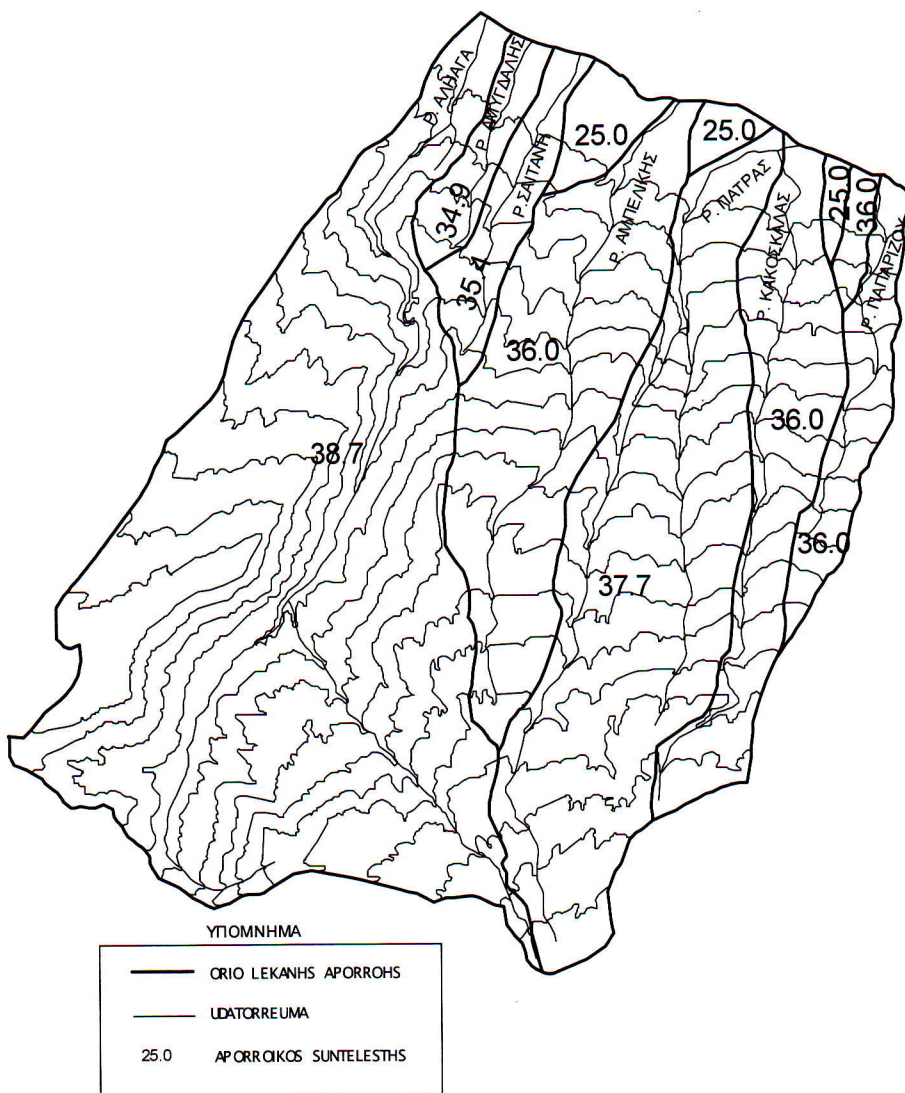
συνδυασμό των κλίσεων του εδάφους, του βάθους της εδαφικής κατατομής και την πυκνότητα της φυτοκάλυψης. Έτσι, για κάθε υποπεριοχή (ως τέτοια θεωρείται η έκταση που καλύπτεται από διαφορετικό είδος βλάστησης) ορίζεται η τιμή του απορροϊκού συντελεστή CN της SCS [9], [10], [11], [12], [13] και με τοπολογική επεξεργασία λαμβάνεται η σταθμισμένη τιμή του CN, CN<sub>c</sub>, κάθε λεκάνης απορροής (Εικόνα 4).



Εικόνα 2: Τμήμα περιοχής μελέτης με κατηγορίες εδαφοκάλυψης και σημεία δειγματοληψίας εδαφολογικών στοιχείων, κλίμακα 1:55000



Εικόνα 3: Χάρτης μέσων κλίσεων εδάφους ανά κατηγορία εδαφοκάλυψης, κλίμακα 1:55000



Εικόνα 4: Χάρτης σταθμισμένων τιμών απορροϊκού συντελεστή  $CNe$  ανά λεκάνη απορροής, κλίμακα 1:55000

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών αποδείχθηκαν ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για υδρολογική εφαρμογή στην περιοχή μελέτης των Β και ΒΑ κλιτύων της Όσσας, για την καταγραφή πλήθους χαρτογραφικών δεδομένων (αναγλύφου, υδρογραφικού δικτύου, φυτοκάλυψης-χρήσεων γης, γεωλογικών, εδαφολογικών), για την επεξεργασία και διαχείριση προς την εκτίμηση υδρολογικών παραμέτρων, όπως το εμβαδό και οι κλίσεις των υδρολογικών λεκανών, οι κλίσεις, τα μήκη και οι διατομές των υδατορρευμάτων και ο απορροϊκός συντελεστής *CN* της *SCS*.

Περισσότερα και πιο χρήσιμα συμπεράσματα αναμένονται με την ολοκλήρωση του προγράμματος, οπότε και θα αξιολογηθεί η χωρική μεταβολή της διακινδύνευσης λόγω πλημμυρών στην περιοχή μελέτης.

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Burrough P. A. (1986) **"Principles of geographical information systems for land resources assessment"**, Clarendon Press, Oxford.
2. Kalfountzos D., I. Alexiou, S.S. Magalios and P. Vyrlas (1998) "Integrated water resources management using GIS: A case study in TOEB Pinios", Proc. Int. Conf. **Protection and Restoration of the Environment IV**, Halkidiki, Macedonia, Greece, pp. 83-90.
3. Καλφούντζος Δ., Ι. Αλεξίου, Σ. Σ. Μαγαλιός, Π. Βύρλας και Γ. Τσιτσιπά (1999) "Εμπειρο σύστημα ολοκληρωμένης διαχείρισης αρδευτικού νερού: Εδική εφαρμογή στον ΤΟΕΒ Πηνηιού", 4ο Εθνικό Συνέδριο ΕΕΔΥΠ, **Διαχείριση υδατικών πόρων στις ευαίσθητες περιοχές του Ελλαδικού χώρου**, Βόλος, σελ. 20-27.
4. Kalfountzos D., D. Pateras, I. Alexiou and S.S. Magalios (1997) "Soil Survey of Xeromero District using GIS for the Support of Integrated Soil and Water Resources Management", **International Conference on the Agriculture, Fisheries and Agro-Industry in the Mediterranean with Special Reference to Islands**, Valetta, Malta.
5. Kalfountzos D, P. Vyrlas, S. Kotsopoulos, I. Alexiou and A. Panagopoulos (2002) "Irrigation management using GIS in Aisonia District", Proc. Intl. Conf. **Protection and Restoration of the Environment VI**, Skiathos, Greece, Vol. III, pp. 1689-1696.
6. Παπαμιχαήλ Δ., Χ. Μπαμπατζιμόπουλος, Σ. Κωτσόπουλος, Π. Γεωργίου και Γ. Τερζίδης (1995) "Διερεύνηση των σχέσεων βροχής - απορροής της λεκάνης της Αλμωπίας με τη βοήθεια του HEC1", 2<sup>ο</sup> Εθνικό Συνέδριο ΕΕΔΥΠ, **Ολοκληρωμένες Επεμβάσεις για τη Μείωση του Κινδύνου από τις Πλημμύρες**, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
7. Hydrologic Engineering Center (1980) **"HEC-1, Flood Hydrograph Package"**, US Army Corps of Engineers, Davis, CA, USA.
8. Hydrologic Engineering Center (2002) **"Hydrologic Modeling System HEC-HMS"**, US Army Corps of Engineers, Davis, CA, USA.
9. Soil Conservation Service (1972) **"National Engineering Handbook"**, Washington DC, Section 4, Hydrology.
10. Τσακίρης Γ. (1995) **"Υδατικοί Πόροι, Ι. Τεχνική Υδρολογία"**, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.
11. Κωτσόπουλος Σ. (2006) **"Υδρολογία"**, Εκδόσεις Ίων, Αθήνα.
12. Chow V., D. Maidment and L. Mays (1988) **"Applied Hydrology"**, McGraw-Hill International Book Company, NY.
13. Wanielista M., R. Kerten and R. Eaglin (1997) **"Hydrology: Water Quantity and Quality Control"**, J. Wiley & Sons, NY.