



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ  
ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΚΑΙ  
ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

**ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΣΤΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΣΗ  
ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ  
ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ.ΕΝΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ  
ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΟΤΑΜΟ ΟΛΥΝΘΙΟ ΤΗΣ  
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ.**

ΚΑΛΚΑΝΙΔΟΥ ΜΑΡΙΑ  
Α.Ε.Μ: 4424

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:ΛΕΚΤΟΡΑΣ  
ΟΙΚΟΝΟΜΙΔΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2011

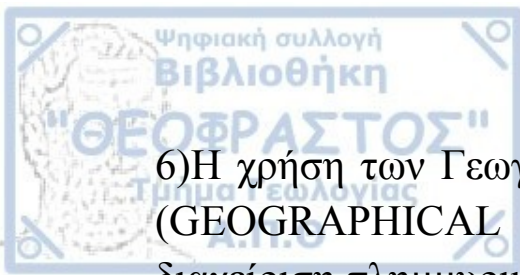


## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Επιθυμώ να ευχαριστήσω ιδιαίτερω τον επιβλέποντα της διπλωματικής μου εργασίας, Λέκτορα του Τμήματος Γεωλογίας κ. Δημήτριο Οικονομίδη για τις υποδείξεις και διορθώσεις, την επιστημονική υποστήριξη και την συνεχή καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου.



- 1) Εισαγωγή – Σκοπός της εργασίας
- 2) Φυσικές καταστροφές
  - 2.1) Πλημμύρες
  - 2.2) Ποτάμιες πλημμύρες
    - 2.2.1) Παράγοντες που επηρεάζουν την πλημμυρική απορροή
    - 2.2.2) Κατηγορίες ποτάμιων πλημμυρών
    - 2.2.3) Επικινδυνότητα πλημμυρών
- 3) Η Τηλεπισκόπηση και τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών/ ΓΣΠ (GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS/ GIS) στη διαχείριση πλημμυρών
  - 3.1) Συμβολή των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στη μελέτη της περιοχής.
    - 3.1.1) Κατασκευή Ψηφιακού Μοντέλου Αναγλύφου (DEM).
    - 3.1.2) Κατεύθυνση Ροής (FLOW DIRECTION)
    - 3.1.4) Χάρτης Σκιασμένου Αναγλύφου
    - 3.1.5) Χάρτης Κλίσεων (SLOPE)
- 4) Κάλυψη Γης
- 5) Γεωλογία της περιοχής μελέτης
  - 5.1) Γεωλογικοί Σχηματισμοί



6) Η χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών/ΓΣΠ (GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM/GIS) στη διαχείριση πλημμυρικής επιδεκτικότητας.

6.1) Μεθοδολογία

6.2) Παράγοντες που επηρεάζουν τις πλημμύρες και επίπεδα πληροφοριών που προκύπτουν απ' αυτούς.

6.2.1) Τοπογραφία - Τοπογραφικός Δείκτης Υγρασίας (t.w.i)

6.2.2) Λιθολογία - Περαιτότητα πετρωμάτων

6.2.3) Κάλυψη γης - Τραχύτητα

6.2.4) Φυτοκάλυψη - Δείκτης βλάστησης (NDVI)

6.3) Χάρτης επιδεκτικότητας της περιοχής μελέτης στις πλημμύρες

7) Συμπεράσματα

8) Βιβλιογραφία



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε με αφορμή τις πλημμύρες που έπληξαν τον Νομό Χαλκιδικής στα μέσα Φεβρουαρίου 2010, προκαλώντας πολυάριθμες καταστροφές. Η περιοχή μελέτης εντοπίζεται στο Βόρειο Ελλαδικό χώρο στην Κεντρική Μακεδονία, στο δήμο Μουδανιών της Χαλκιδικής.

Ο κύριος σκοπός της εργασίας ήταν η εκτίμηση της επικινδυνότητας της περιοχής σε πλημμυρικά φαινόμενα και στην ανίχνευση πλημμυρισμένων περιοχών.

Αρχικά, η εργασία περιλαμβάνει την κατασκευή χαρτών οι οποίοι βασίζονται σε τέσσερις παράγοντες οι οποίοι είναι η τοπογραφία, η λιθολογία, οι χρήσεις γης και η φυτοκάλυψη. Με βάση λοιπόν, αυτούς τους παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν το φαινόμενο των πλημμυρών της περιοχής μελέτης, δημιουργούνται τέσσερις χάρτες οι οποίοι είναι: χάρτης κατανομής του τοπογραφικού δείκτη υγρασίας, χάρτης περατότητας των λιθολογικών σχηματισμών, χάρτης τραχύτητας των χρήσεων γης και χάρτης βλάστησης. Στη συνέχεια με την βοήθεια των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ/GIS) εντοπίστηκαν περιοχές που παρουσιάζουν τον μεγαλύτερο κίνδυνο.

## 1) Σκοπός της εργασίας

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε με αφορμή τις πλημμύρες που έπληξαν το Νομό Χαλκιδικής στα μέσα Φεβρουαρίου 2010. Η περιοχή μελέτης τοποθετείται στο δήμο Μουδανιών και διαρέεται από τον Ολύνθιο ποταμό. Η περιοχή μελέτης είναι λοφώδεις και απέχει περίπου 60 χιλιόμετρα από την Θεσσαλονίκη.

Τον Φεβρουάριο του 2010 σφοδρές βροχοπτώσεις έπληξαν την περιοχή με αποτέλεσμα την εκδήλωση πλημμυρικών επεισοδίων που είχε ως συνέπεια να χάσει την ζωή του ένα μικρό κοριτσάκι το οποίο προσπάθησε να διασχίσει το ποτάμι και παρασύρθηκε από τα ορμητικά νερά του χειμάρρου.

Ο κύριος σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η εκτίμηση της επικινδυνότητας της περιοχής σε πλημμυρικά φαινόμενα με την κατασκευή χάρτη επιδεκτικότητας και με την βοήθεια των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών/ΓΣΠ(GIS).

Έπειτα από την σοβαρή πλημμύρα του Φεβρουαρίου 2010 στην περιοχή κρίνεται αναγκαία η λεπτομερής μελέτη με σκοπό τον προσδιορισμό των παραμέτρων που συνεισφέρουν στο φαινόμενο της πλημμύρας. Για το λόγο αυτό η παρούσα εργασία αναμένεται να συνεισφέρει στην επιστημονική μελέτη της εν λόγω περιοχής.

Οι πλημμύρες αποτελούν μία από τις πιο συχνές και σοβαρές φυσικές καταστροφές. Συμβαίνουν, συνήθως, εξαιτίας διαφόρων φυσικών φαινομένων όπως ατμοσφαιρική κατακρήμνιση, καταιγίδα, κυκλώνες, μουσώνες είτε εξαιτίας άλλων απειλών όπως σεισμοί και τσουνάμι. Η πλημμύρα θεωρείται μία μεγάλη απειλή για τις ανθρώπινες ζωές και ιδιοκτησίες, τις διεθνείς οικονομίες και την κοινωνική σταθερότητα.

Οι πρόσφατες πλημμύρες δείχνουν ότι οι ανθρώπινοι μηχανισμοί δεν είναι καλά προετοιμασμένοι και η παραδοσιακή μηχανική των ποταμών που χρησιμοποιείται, μπορεί να προκαλέσει αύξηση της συχνότητας και της κλίμακας των πλημμυρών. Οι πλημμύρες προκάλεσαν πολλές φορές ζημιές στη βιωσιμότητα και τις περιουσίες ανθρώπων ιδιαίτερα σε αστικά κέντρα.

Στις μέρες μας υπάρχει μια μεγάλη προσπάθεια από την επιστημονική κοινότητα, προσπαθώντας να προτείνουν αποτελεσματικές μεθόδους και εκμεταλλευόμενοι την διαθεσιμότητα της τεχνολογίας, να αναπτύξουν βελτιωμένα συστήματα για αποτελεσματική εκτίμηση, πρόβλεψη και επιδέξιους χειρισμούς των πλημμυρών. Μια μεγάλη ποικιλία από τεχνικές και τεχνολογίες είναι διαθέσιμες οι οποίες μπορεί να είναι ενιαίες και συνδυασμένες έτσι ώστε να αναπτυχθούν συστήματα τα οποία θα προβλέπουν πλημμύρες και θα μειώνουν το κίνδυνο πλημμυρών. (Από Νικολαΐδου, 2009)

## **2. Φυσικές καταστροφές**

Οι φυσικές καταστροφές καθορίστηκαν ως “τα στοιχεία εκείνα του φυσικού περιβάλλοντος που είναι επιβλαβή για τον άνθρωπο και προκαλούνται από δυνάμεις ξένες σ’ αυτόν”. Μια φυσική καταστροφή είναι η συνέπεια ενός φυσικού κινδύνου (πχ μιας ηφαιστειακής έκρηξης, ενός σεισμού, μιας κατολίσθησης, μιας πλημμύρας) η οποία περνάει από το στάδιο της πιθανότητας σε μία ενεργή φάση και κατά συνέπεια έχει επιπτώσεις στις ανθρώπινες δραστηριότητες. Η ανθρώπινη αδυναμία μπροστά στις φυσικές καταστροφές, που επιδεινώνεται από την έλλειψη προγραμματισμού ή την έλλειψη κατάλληλου συστήματος διαχείρισης έκτακτων αναγκών, οδηγεί σε οικονομικές, δομικές και ανθρώπινες απώλειες. Το μέγεθος της απώλειας εξαρτάται από την ικανότητα του πληθυσμού να



υποστηρίζει ή να αντισταθεί στην καταστροφή, την ανθεκτικότητά του, την επάρκειά του σε κατάλληλο εξοπλισμό και είδη πρώτης ανάγκης, γεγονός που συνοψίζεται στην έκφραση «Η καταστροφή προκύπτει όταν οι κίνδυνοι συναντούν αδυναμία». Έτσι ένας φυσικός κίνδυνος δεν θα καταλήξει ποτέ σε φυσική καταστροφή σε περιοχές όπου δεν υπάρχει αδυναμία, (πχ ένας δυνατός σεισμός σε μία ακατοίκητη περιοχή).

Οι φυσικές καταστροφές παρουσιάζουν κάποια κοινά χαρακτηριστικά:

- Η πηγή του καταστροφικού γεγονότος είναι σαφής και δημιουργεί χαρακτηριστικά αποτελέσματα (πχ η πλημμύρα δημιουργεί θανάτους από πνιγμό).
- Ο χρόνος προειδοποίησης είναι συνήθως μικρός
- Ο μεγαλύτερος αριθμός των απωλειών που προκαλούνται, είτε σε ανθρώπινες ζωές, είτε σε περιουσιακά στοιχεία, παρουσιάζονται αμέσως μετά τη δράση του φαινομένου.
- Ο κίνδυνος έκθεσης είναι σε μεγάλο ποσοστό ακούσιος, συνήθως εξαιτίας της εύρεσης πληθυσμών σε επικίνδυνες περιοχές.
- Η καταστροφή έχει τέτοια ένταση και κλίμακα που απαιτεί άμεση απόκριση.

Οι φυσικές καταστροφές μπορούν να διαχωριστούν σε :

- αυτές που οφείλονται σε ενδογενή αίτια (σεισμοί, ηφαιστειακές εκρήξεις),
- αυτές που οφείλονται σε εξωγενή αίτια (πλημμύρες, ξηρασίες χιονοστιβάδες),



- αυτές που οφείλονται σε ανθρωπογενή αίτια (π.χ. πλημμύρες που προκαλούνται από τη διάρρηξη φραγμάτων).

Συνήθως οι καταστροφές εκτιμώνται με μερικά ποσοτικά κριτήρια που αναφέρονται στους θανάτους και τις ζημιές που προκαλούνται. Σύμφωνα με ορισμένους ερευνητές, μεγάλη καταστροφή θεωρείται αυτή που προκαλεί:

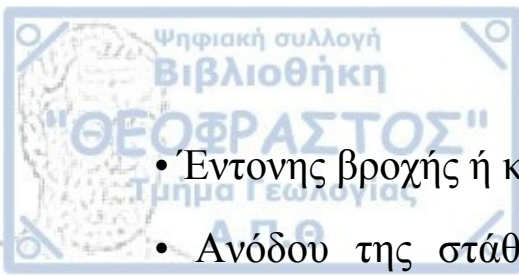
- τουλάχιστον 100 θανάτους ή
- τουλάχιστον 100 τραυματισμούς ή
- ζημιές τουλάχιστον 1 εκατομμυρίου δολαρίων.

Σύμφωνα με την UNDRO (United Nations Disaster Relief Organization), η καταστροφή ορίζεται, περισσότερο ποιοτικά ως: «Ένα γεγονός συγκεντρωμένο στο χώρο και το χρόνο, κατά το οποίο μια κοινότητα υφίσταται σοβαρό κίνδυνο και τα μέλη της αντιμετωπίζουν τέτοιες απώλειες που διαρρηγνύεται η κοινωνική δομή ενώ παρεμποδίζεται η εκπλήρωση όλων ή μερικών από τις ουσιώδεις λειτουργίες της» (Λέκκας, 1996 από Νικολαΐδου ,2009).

## 2.1 Πλημμύρες

Το νερό μετακινείται στην ατμόσφαιρα ακολουθώντας τον "Υδρολογικό Κύκλο". Απομακρύνεται από την ατμόσφαιρα πέφτοντας ως κατακρημνίσματα στο έδαφος και στη συνέχεια, μέσω της εξάτμισης, επιστρέφει πάλι στη ατμόσφαιρα. Όταν όμως για οποιοδήποτε λόγο διαταραχθεί αυτή η διαδικασία και βρεθεί σε κάποια περιοχή περισσότερο νερό απ' αυτό που είναι δυνατόν να απομακρυνθεί, είναι πιθανό να δημιουργηθεί πλημμύρα.

Πλημμύρα είναι η παροδική κατάκλυση μιας περιοχής από νερό ως αποτέλεσμα:



- Έντονης βροχής ή καταιγίδας
- Ανόδου της στάθμης ενός ποταμού ή μιας λίμνης λόγω παρατεταμένης βροχόπτωσης
- Τήξης μεγάλων στρωμάτων χιονιού ή πάγου
- Υποχώρησης – κατάρρευσης ενός φράγματος
- Συσσώρευσης μπαζών στις κοίτες ρεμάτων, ποταμών ή υπονόμων πόλεων
- Κάποιας άλλης φυσικής καταστροφής όπως τυφώνας, τσουνάμι (παράκτιες πλημμύρες), σεισμός, ηφαιστειακή έκρηξη.

Τα πλημμυρικά επεισόδια αποτελούν παγκοσμίως τη συχνότερη φυσική καταστροφή (75% των φυσικών καταστροφών) και επηρεάζουν μεγάλο αριθμό ανθρώπων κάθε χρόνο προκαλώντας ανθρώπινες απώλειες και οικονομικές ζημιές.

Η αποτελεσματική παρακολούθηση αποτελεί επομένως θεμελιώδη ανάγκη κατά την διάρκεια των φάσεων της κρίσης της πλημμύρας, πριν και μετά αυτής έτσι ώστε να αξιολογηθεί και να ελαχιστοποιηθεί το αντίκτυπό της σε σχέση με την ασφάλεια ανθρώπων, ιδιοκτησιών και περιβάλλοντος.

## 2.2 Ποτάμιες Πλημμύρες

Η επιφανειακή απορροή των υδάτων είναι υπεύθυνη, περισσότερο από κάθε άλλη επιφανειακή διεργασία, για την διαμόρφωση του γήινου αναγλύφου. Τα ποτάμια διαβρώνουν τις κοιλάδες τους μέσα από ένα σύστημα αποστράγγισης, το οποίο επηρεάζεται από το κλίμα την τοπογραφία, τον τεκτονισμό, τα πετρώματα και το έδαφος. Αποτελούν επίσης, βασικούς άξονες μεταφοράς πετρωμάτων και υλικών εδάφους, που φτάνουν στο ρεύμα από τους παραποτάμους και από τις

κλιείς των κοιλάδων. Πολλά από τα κλαστικά ιζήματα που μεταφέρονται στα ποτάμια αποτίθενται περιοδικά, είτε μέσα στην κοίτη, είτε στην λεκάνη κατάκλυσης. Οι περιοχές αυτές, που καλούνται “ποτάμιο περιβάλλον”, αποτελούν το φυσικό κομμάτι του ποταμού. Η πλάγια μετανάστευση της κοίτης των ποταμών και η υπερχείλιση της ροής τους,

συνδυάζονται στη διαμόρφωση της λεκάνης, η οποία περιοδικά κατακλύζεται από νερό και ιζήματα (ποτάμια πλημμύρα). Ο όγκος του νερού ανά μονάδα χρόνου ροής σε μια συγκεκριμένη θέση ( $m^3/s$ ), τη στιγμή που το νερό υπερχειλίζει την κοίτη καλείται “εκφόρτιση πλημμύρας” και μπορεί να προκαλέσει καταστροφές. Ο όρος “στάδιο πλημμύρας” δηλώνει ότι η στάθμη της επιφάνειας του νερού είναι ψηλότερα από το κανονικό και είναι πιθανό να προκληθούν καταστροφές σε κατασκευές που βρίσκονται στην λεκάνη κατάκλυσης.

### **2.2.1 Παράγοντες που επηρεάζουν την πλημμυρική απορροή**

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω οι σημαντικότεροι παράγοντες που προκαλούν την πλημμύρα είναι η έντονη βροχόπτωση, ξαφνική ή ισχυρή τήξη χιονιού και αστοχία φράγματος. Όλοι αυτοί οι παράγοντες μπορούν να αυξήσουν απότομα την εκφόρτιση νερού μέσα στην κοίτη και έξω από αυτήν. Επιπλέον, η εκφόρτιση προκαλεί αύξηση της στάθμης του νερού στο ποτάμι και εκχείλιση του νερού στο πλημμυρικό πεδίο (λεκάνη κατάκλυσης).

Όταν η βροχή πέφτει στην επιφάνεια του εδάφους, ένα μέρος του νερού εξατμίζεται και επιστρέφει στην ατμόσφαιρα, ένα μέρος διηθείται στο έδαφος και μεταβιβάζεται στον υπόγειο υδροφόρο και ένα μέρος συγκρατείται στις κοιλότητες ή μέσω της βλάστησης. Η ποσότητα νερού που απομένει και ρέει προς τα κατάντη ονομάζεται απορροή (runoff).



Έτσι ισχύει γενικά:

Απορροή = Κατακρημνίσματα - Διήθηση - Συγκράτηση - Εξάτμιση

Runoff = Precipitation - Infiltration - Interception - Evaporation

Η εξάτμιση τείνει να είναι η μικρότερη από τις παραπάνω ποσότητες, ιδιαίτερα σε μικρές χρονικές περιόδους και έτσι τα κατακρημνίσματα, η διήθηση και η συγκράτηση αποτελούν τις πιο σημαντικές μεταβλητές που καθορίζουν την επιφανειακή απορροή και επομένως την εκφόρτιση των ποταμών. (Από Σούλιος, 1996)

### 1. Η κατανομή της βροχόπτωσης

Αν η βροχόπτωση είναι εντονότερη απ' ό τι συνήθως σε μια συγκεκριμένη περιοχή και οι τιμές της διήθησης, συγκράτησης και εξατμισοδιαπνοής είναι χαμηλές, τότε η επιφανειακή απορροή μπορεί να είναι υψηλή και η πιθανότητα πλημμύρας αυξάνεται. Η ισχυρή βροχόπτωση μπορεί να αποτυπωθεί σε χάρτες που περιέχουν καμπύλες ίσης βροχόπτωσης. Οι καμπύλες αυτές ονομάζονται ισοϋετείς και οι χάρτες που προκύπτουν από αυτές ισοϋετείς χάρτες.

Χρόνος καθυστέρησης ή Χρονική επιβράδυνση της λεκάνης απορροής καλείται η χρονική διάρκεια μεταξύ του κέντρου βάρους της βροχόπτωσης και της αιχμής του υδρογραφήματος (του κέντρου βάρους της απορροής) (Σακκας, 2004). Ο χρόνος καθυστέρησης εξαρτάται από παράγοντες όπως η διάρκεια και η ποσότητα βροχόπτωσης και η ποσότητα της διήθησης και συγκράτησης που λαμβάνουν χώρα κατά μήκος της διαδρομής ενός ποταμού. Έτσι:

- Αν η ποσότητα βροχόπτωσης είναι υψηλή για ένα μικρό χρονικό διάστημα, τότε ο χρόνος καθυστέρησης είναι μικρός

- Αν η ποσότητα βροχόπτωσης είναι υψηλή για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα, ο χρόνος καθυστέρησης είναι μεγαλύτερος

- Έλλειψη ικανότητας διήθησης και συγκράτησης μειώνουν τον χρόνο καθυστέρησης

## 2. Διήθηση

Η διήθηση ελέγχεται από το πόσο εύκολα το νερό μπορεί να απορροφηθεί απ' το έδαφος και να περάσει στο υπόγειο σύστημα. Πολυάριθμοι παράγοντες καθορίζουν τον ρυθμό διήθησης:

- Βαθμός κορεσμού του εδάφους. Αν το έδαφος είναι ήδη κορεσμένο με νερό και ο υπόγειος υδροφόρος έχει ανέβει ως αποτέλεσμα της βροχόπτωσης προηγούμενης ισχυρής καταιγίδας, τότε πολύ λιγότερο νερό μπορεί να διηθηθεί στο έδαφος και ο ρυθμός διήθησης ελαττώνεται σημαντικά

- Κάλυψη βλάστησης. Η βλάστηση μπορεί να βοηθήσει την διήθηση επιβραδύνοντας την ροή του νερού πάνω στην επιφάνεια και παρέχοντας διόδους κατά μήκος του ριζικού τους συστήματος για την είσοδο του νερού στο έδαφος. Σε ερημικές περιοχές ή περιοχές που έχουν αποψιλωθεί είτε από πυρκαγιές είτε από ανθρώπινες ενέργειες, η διήθηση μειώνεται, αυξάνοντας τον ρυθμό απορροής και μειώνοντας τον χρόνο καθυστέρησης.

- Τύποι εδαφών (εξαρτώμενοι από το κλίμα). Ο κάθε τύπος εδάφους έχει διαφορετική ικανότητα να απορροφά την υγρασία ανάλογα με το κλίμα. Για παράδειγμα, ένας τύπος εδάφους που σχηματίζεται σε ξηρά-ερημικά περιβάλλοντα έχει ένα λεπτό σχηματισμένο στρώμα φτωχού εδάφους που επικαλύπτει έναν φλοιό/κρούστα από ανθρακικό ασβέστιο (Caliche). Η ζώνη του Caliche συμπεριφέρεται ως ένα αδιαπέρατο επίπεδο διαμέσω του οποίου το νερό μπορεί να διεισδύει μόνο με δυσκολία.



Τέτοια εδάφη σε ερήμους σε συνδυασμό με την έλλειψη βλάστησης κάνουν τις αστραπιαίες πλημμύρες πιο συχνές.

- Παγωμένο έδαφος. Αν το έδαφος είναι παγωμένο, πολύ λίγο νερό μπορεί να διεισδύσει. Έτσι, το νερό της βροχής, έπειτα από περίοδο χαμηλών θερμοκρασιών δεν είναι δυνατό να διηθηθεί μέσα από το παγωμένο έδαφος.
- Ανθρώπινες κατασκευές. Ανθρώπινες κατασκευές όπως στέγες, πεζοδρόμια, τσιμέντο εμποδίζουν την διήθηση του νερού μέσα στο έδαφος. Επιπλέον, τείνουν να διοχετεύουν το νερό σε αποχετευτικά συστήματα και συμπαγή σχεδιασμένα δίκτυα, τα οποία αυξάνουν την απορροή και μειώνουν την διήθηση.

### 3. Αστοχίες φραγμάτων

Τα φυσικά φράγματα δημιουργούνται ως αποτέλεσμα των πλημμυρών, αλλά τείνουν να είναι σχετικά χαμηλά κι έτσι δεν προσφέρουν αρκετή προστασία από τις μεγάλες παροχές γιατί μπορούν εύκολα να υπερβληθούν. Τα τεχνητά φράγματα, είναι αρκετά ψηλότερα και είναι κατασκευασμένα για την προστασία από πολύ ψηλές παροχές ποταμών.

Τα περισσότερα φράγματα είναι κατασκευασμένα από σωρούς χώματος (πέτρα και έδαφος) με τσιμεντένιο κάλυμμα σε εκείνη την πλευρά του φράγματος που βρίσκεται ο ποταμός. Τέτοια φράγματα είναι συχνά λιγότερο ασφαλή για τους κατοίκους στα πλημμυρικά πεδία που προστατεύονται από αυτά, γιατί μία αστοχία τέτοιων φραγμάτων μπορεί να οδηγήσει σε πλημμύρα είτε λόγω υπερχειλίσης του νερού πάνω από το φράγμα είτε λόγω εξασθένησής του και πτώσης του.

Τα φράγματα είναι δυνατό να αστοχήσουν για τρεις λόγους:

- Υπερχείλιση. Αν ψηλή εκφόρτιση στο ποτάμι οδηγήσει σε ύψος της στάθμης του νερού μεγαλύτερο από κάθε σημείο του φράγματος, τότε το νερό θα υπερβεί το φράγμα και θα αρχίσει να ρέει στο πλημμυρικό πεδίο. Λόγω του ότι η αρχική κλίση του ποταμού προς το πλημμυρικό πεδίο είναι ψηλή, η ταχύτητα του νερού του ποταμού καθώς θα υπερβαίνει το φράγμα θα είναι ψηλή. Ψηλές ταχύτητες μπορούν να οδηγήσουν σε υψηλούς ρυθμούς διάβρωσης με αποτέλεσμα να προκληθεί διάβρωση του φράγματος και δημιουργία καναλιού μέσω του φράγματος.

- Υπονόμευση και κατάρρευση του φράγματος. Ψηλή εκφόρτιση του ποταμού θα οδηγήσει σε μεγαλύτερες ταχύτητες και επομένως σε σταδιακή διαπλάτυνση και εκβάθυνση της κοίτης. Μεγάλες ταχύτητες μπορούν να οδηγήσουν σε ψηλούς ρυθμούς διάβρωσης κατά μήκος των εσωτερικών τμημάτων των φραγμάτων με αποτέλεσμα την υπονόμευση αυτών και κατάρρευσή τους μέσα στο ποτάμι.

Ισχυρή βροχόπτωση ή αύξηση της υγρασίας (εξαιτίας του ποταμού) μέσα στο φράγμα, είναι δυνατό να αυξήσουν τη ρευστή πίεση μέσα στο φράγμα και να οδηγήσουν σε κατάρρευση των εξωτερικών τμημάτων του φράγματος.

Αν η κατάρρευση προχωρήσει μέχρι το ανώτατο σημείο του φράγματος, μεγάλα τμήματά του ίσως καταρρεύσουν στο πλημμυρικό πεδίο με αποτέλεσμα την μείωση τους ύψους του φράγματος, κάνοντας την υπέρβαση του νερού πάνω από το φράγμα ευκολότερη.

- Σταδιακή αύξηση της ρευστής πίεσης κάτω από τα φράγματα. Αύξηση του επιπέδου του νερού μέσα στο ποτάμι θα προκαλέσει αύξηση της υπόγειας στάθμης νερού μέσα στο φράγμα. Κάτι τέτοιο θα αυξήσει την ρευστή πίεση και ίσως οδηγήσει σε προώθηση του νερού δια μέσω του φράγματος και



εκχείλισή του με μορφή πηγών στα περιβάλλοντα πλημμυρικά πεδία. Αν αναπτυχθεί υψηλός ρυθμός ροής λόγω της

αυξημένης ρευστής πίεσης, τότε είναι δυνατό να αναπτυχθεί υψηλής ταχύτητας διαδρομή προς το πλημμυρικό πεδίο και να διαβρώσει το φράγμα προκαλώντας την κατάρρευση και αστοχία του (URL 1).

### 2.2.2 Κατηγορίες πλημμυρών

Ουσιαστικά διακρίνονται δύο είδη πλημμυρών, στα ανάντη και στα κατάντη.

1. Πλημμύρες στα ανάντη (upstream flooding) και αστραπιαίες πλημμύρες

(flash floods)

Οι πλημμύρες στα ανάντη (upstream floods) συμβαίνουν στα υψηλά τμήματα της αποστράγγισης και γενικά είναι το αποτέλεσμα έντονων βροχοπτώσεων μικρής διάρκειας πάνω από μια σχετικά μικρή περιοχή. Παρόλο που οι πλημμύρες μπορεί να είναι εντονότερες πάνω από την περιοχή αυτή, γενικά, δεν προκαλούνται από τα μεγαλύτερα ρεύματα με τα οποία ενώνονται.

Αστραπιαίες πλημμύρες (flash floods) συμβαίνουν όταν λαμβάνουν χώρα ισχυρές βροχοπτώσεις σε μικρό χρονικό διάστημα και η διηθητική ικανότητα είναι χαμηλή. Είναι πλημμύρες στα ανάντη με πολύ μικρούς χρόνους καθυστέρησης (οι χρόνοι καθυστέρησης μπορεί να είναι μόνο μερικές ώρες).

Οι πλημμύρες αυτές είναι συνηθισμένες σε ξηρά και ημίξηρα περιβάλλοντα, σε περιοχές με απότομη τοπογραφία, φτωχή βλάστηση και συνεχόμενες ρωγμές, φράγματα και αναχώματα.

Παρόλο που οι προς τα ανάντη (upstream) πλημμύρες δεν προκαλούν γενικά πλημμύρες στα μεγαλύτερα ρεύματα, συμμετέχουν ωστόσο στη δημιουργία των προς τα κατάντη (downstream) πλημμυρών.

Οι πλημμύρες αυτές, εξαιτίας του γεγονότος ότι έρχονται χωρίς προειδοποίηση είναι οι πιο επικίνδυνες για τις ανθρώπινες ζωές.

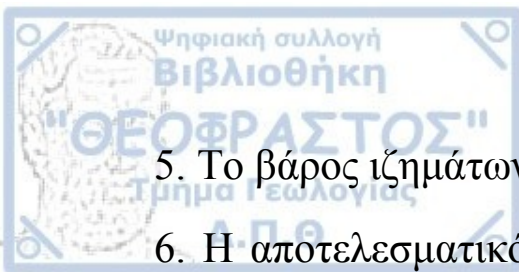
- Πλημμύρες στα κατάντη (downstream flooding)

Οι πλημμύρες στα κατάντη (downstream flooding) καλύπτουν μία ευρεία περιοχή. Συνήθως είναι το αποτέλεσμα μακράς διάρκειας καταιγίδων οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα τον κορεσμό του εδάφους σε νερό και την αυξημένη επιφανειακή απορροή. Οι χρόνοι καθυστέρησης είναι συνήθως μεγαλύτεροι καθώς τα μικρότερα ρέματα αυξάνουν συνεχώς την παροχή στα μεγαλύτερα. Οι πλημμύρες αυτές εκτείνονται σε μεγάλες χρονικές περιόδους και επηρεάζουν τα μεγαλύτερα ρέματα όσο και τα μικρότερα. Μια πλημμύρα αυτού του τύπου χαρακτηρίζεται από την κίνηση του νερού προς τα κατάντη με μεγάλη αυξομείωση της παροχής σε συγκεκριμένες τοποθεσίες (Λέκκας, 1996 από Νικολαΐδου, 2009 ).

### 2.2.3 Επικινδυνότητα των πλημμυρών

Οι παράγοντες που ελέγχουν τις καταστροφές που προκαλούνται από πλημμύρες είναι οι ακόλουθοι:

1. Η χρήση γης της λεκάνης κατάκλυσης.
2. Το μέγεθος (βάθος και ταχύτητα του νερού) και η συχνότητα της πλημμύρας.
3. Ο ρυθμός ανύψωσης και η διάρκεια της πλημμύρας.
4. Η εποχή.



5. Το βάρος ιζημάτων που αποτίθενται.

6. Η αποτελεσματικότητα της πρόβλεψης, της προειδοποίησης και των

συστημάτων εκτάκτου ανάγκης. Οι επιδράσεις των πλημμυρών μπορεί να είναι άμεσες, που προκαλούνται από την πλημμύρα, ή έμμεσες που προκαλούνται από τον αποσυγχρονισμό ή τη δυσλειτουργία των υπηρεσιών και συστημάτων που σχετίζονται με αυτήν. Τα άμεσα αποτελέσματα είναι τραυματισμοί και θάνατοι καθώς και καταστροφές που προκαλούνται από την ταχύτητα των ρευμάτων και των ιζημάτων στα αγροκτήματα, σπίτια, κτίρια, μέσα μεταφοράς, γέφυρες, δρόμους και συστήματα επικοινωνίας.

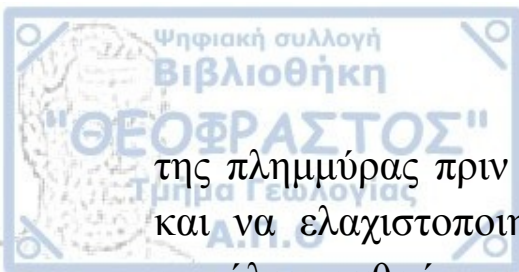
Διάβρωση και απόθεση των ιζημάτων στις αγροτικές και αστικές περιοχές, που μπορεί να επιφέρει απώλεια σημαντικού εδάφους και βλάστησης.

Οι έμμεσες επιδράσεις περιλαμβάνουν μικρής διάρκειας ρύπανση των ποταμών, πείνα, αρρώστιες και απομάκρυνση των κατοίκων.

Επιπρόσθετα, μπορεί να εκδηλωθούν φωτιές από βραχυκύκλωμα ή από κομμένους αγωγούς αερίων.

Οι πλημμυρικές απορροές επομένως, έχουν εξαιρετικώς ιδιαίζουσα σημασία λόγω των εξόχως δυσμενών επιδράσεων τις οποίες δύνανται να έχουν στη ζωή των ανθρώπων και στα διάφορα έργα, τα οποία συνδέονται με τις ποικίλες δραστηριότητες του ανθρώπου και στην οικονομική, εν γένει, ζωή των περιοχών οι οποίες βρίσκονται στην ευρύτερη φυσική κοίτη των πλημμυρικών ροών ενός ποταμού.

Η αποτελεσματική παρακολούθηση αποτελεί επομένως θεμελιώδη ανάγκη κατά την διάρκεια των φάσεων της κρίσης



της πλημμύρας πριν και μετά αυτής έτσι ώστε να αξιολογηθεί και να ελαχιστοποιηθεί το αντίκτυπό της σε σχέση με την ασφάλεια ανθρώπων, ιδιοκτησιών και περιβάλλοντος.

### **3. Η Τηλεπισκόπηση και τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών/ ΓΣΠ (GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS/ GIS) στη διαχείριση Πλημμυρών**

Οι μελέτες πλημμυρικών γεγονότων απαιτούν διεπιστημονικές (multidisciplinary) προσεγγίσεις προκειμένου να επιτρέψουν την κατανόηση τέτοιων φαινομένων, την πρόγνωση τους και την παρακολούθηση αυτών, με σκοπό την προσφορά βοήθειας στον σχεδιασμό της λήψης αποφάσεων.

Μέσα σ' ένα σύστημα παρατήρησης ή διαχείρισης φυσικών καταστροφών, οι γεωγραφικά συσχετισμένες πληροφορίες είναι βασικής σημασίας, καθώς επιτρέπουν τον εντοπισμό, την μέτρηση και την χωρική απεικόνιση του υπό μελέτη φαινομένου. Μεταξύ όλων των εργαλείων που είναι διαθέσιμα για την απόκτηση γεωγραφικών δεδομένων, οι δορυφορικές εικόνες αποτελούν πολύτιμη πηγή πληροφοριών.

Η τεχνολογία της Τηλεπισκόπησης μαζί με τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) έχουν γίνει τις δύο τελευταίες δεκαετίες προόδου τους, το εργαλείο κλειδί για την παρακολούθηση πλημμυρών.

Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται στην Τηλεπισκόπηση επιτρέπουν την συλλογή πληροφοριών για την επιφάνεια του εδάφους από κάποια απόσταση χωρίς να υπάρχει φυσική

επαφή. Οπτικά συστήματα και συστήματα ραντάρ παρέχουν ψηφιακές εικόνες υψηλής διακριτικής ικανότητας οι οποίες μπορούν να υποστούν επεξεργασία για την απόσπαση γεωγραφικά εντοπισμένων πληροφοριών, που απεικονίζονται σε χάρτες ή ενσωματώνονται σε GIS για περαιτέρω ανάλυση μαζί με άλλες θεματικές χωρικές πληροφορίες.

Οι λειτουργίες των GIS και τα συστήματα διαχείρισης της βάσης δεδομένων τους, επιτρέπουν την αποθήκευση, ανάκτηση, διαχείριση και τον συνδυασμό διαφορετικών θεματικών δεδομένων τα οποία έχουν καταγραφεί για μια συγκεκριμένη περιοχή. Οι πληροφορίες αυτές μπορεί να προέρχονται από την Τηλεπισκόπηση, από διάφορους θεματικούς χάρτες, επίγειες μετρήσεις και παρατηρήσεις αλλά και ιστορικές καταγραφές. Αυτά τα διαφορετικά επίπεδα πληροφοριών μπορούν να συνδυαστούν, να υποστούν εκμετάλλευση και να εφαρμοστούν στην πρόληψη πλημμυρικών γεγονότων, την πρόβλεψή τους καθώς επίσης και την επίδραση του αντίκτυπού τους. (Tholey et al., 1997).

Η πληθώρα φυσικών καταστροφών καθώς και οι παρατηρούμενες αδυναμίες στην αντιμετώπιση τους, κυρίως λόγω της πολυπλοκότητας των φαινομένων και των αλυσιδωτών αντιδράσεων που προκαλούν, καθιστά αναγκαία την χρήση εξελιγμένων συστημάτων πληροφορικής για την αντιμετώπιση τους.

Η διαθεσιμότητα και προσβασιμότητα σε πληροφορίες όπως αυτές που περιγράφηκαν παραπάνω καθώς και η δυνατότητα ουσιαστικής και αποτελεσματικής επεξεργασίας τους, δίνει τη δυνατότητα στις κατά τόπους κοινότητες να έχουν το στρατηγικό πλεονέκτημα σε μια ολοένα και περισσότερο ανταγωνιστική εποχή σε παγκόσμιο επίπεδο.



Η αποτελεσματική διαχείριση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης απαιτεί συγχώνευση σχεδίων αντιμετώπισης καταστροφών, ιστορικών στοιχείων και πληροφοριών πραγματικού χρόνου. Η πληροφορία πρέπει να αναμεταδοθεί και να γίνει κατανοητή στο συντομότερο δυνατό χρονικό διάστημα. Ο συνδυασμός των τεχνολογιών GIS και ειδικών αισθητήρων Τηλεπισκόπησης δίνει τη δυνατότητα άμεσης αντίδρασης παρέχοντας στο προσωπικό τις πιο ακριβείς πληροφορίες όποτε τις χρειάζεται, δίνει στους επαγγελματίες διαχείρισης κρίσεων την ικανότητα να συγκεντρώνουν ένα μεγάλο αριθμό πληροφοριών που αφορούν την περιοχή που βρίσκεται σε κρίση και μετά από ανάλυση να χρησιμοποιούν τις πληροφορίες αυτές με αποδοτικούς και έξυπνους τρόπους (URL 2).

#### -Εξοπλισμός -Υλικά- Μεθοδολογία

- Το λογισμικό ArcGIS Desktop, ver 9.1 και συγκεκριμένα η έκδοση λογισμικού ArcInfo, το οποίο είναι διαθέσιμο προς τους χρήστες του AFS (Andrew File System), ενός client-server υπολογιστικού συστήματος, το οποίο επιτρέπει την απομακρυσμένη πρόσβαση σε αρχεία και χρήση προγραμμάτων μέσω του συστήματος «πλωτών» αδειών.

Το πρόγραμμα ArcGIS περιλαμβάνει τις παρακάτω εφαρμογές:

- α) ArcMap. Αυτή η εφαρμογή καλύπτει όλες τις χαρτογραφικές εργασίες, όπως ψηφιοποίηση και διόρθωση δεδομένων, χαρτογραφία, χωρική ανάλυση, διαχείριση και εκτύπωση χαρτών κ.λ.π.
- β) ArcCatalog. Αυτή η εφαρμογή δίνει τη δυνατότητα της δημιουργίας,



διαχείρισης, γρήγορης προεπισκόπησης και οργάνωσης των χωρικών δεδομένων και των δεδομένων υπό μορφή πινάκων.

γ) ArcToolbox. Πρόκειται για μια «βιβλιοθήκη» προγραμμάτων και εργαλείων που αφορούν την γεωεπεξεργασία (geoprocessing), τη μετατροπή των δεδομένων σε διάφορες μορφές, τον καθορισμό του προβολικού συστήματος των χαρτών κ.α.

Στο λογισμικό ArcGIS, περιέχονται επίσης οι παρακάτω προεκτάσεις (extensions):

α) 3D Analyst. Πρόκειται για ένα πρόγραμμα απεικόνισης και ανάλυσης τρισδιάστατων δεδομένων. Το 3D Analyst προσθέτει μια ειδικευμένη εφαρμογή τρισδιάστατης επισκόπησης (3D viewing application), το Arc Scene, δίνοντας νέες δυνατότητες στον ArcCatalog και στον ArcMap και επιτρέποντας την αποτελεσματικότερη διαχείριση των τρισδιάστατων δεδομένων (3D GIS data), την τρισδιάστατη ανάλυση (3D analysis) και τη διαχείριση τρισδιάστατων χαρακτηριστικών (3D features editing).

β) Spatial Analyst. Το πρόγραμμα αυτό πραγματοποιεί μια ποικιλία χωρικών πράξεων και υπολογισμών, βασισμένο σε GIS δεδομένα μορφής κανάβου (raster data). Χρησιμοποιείται για την απόσπαση πληροφοριών από προϋπάρχοντα δεδομένα και την εύρεση χωρικών σχέσεων μεταξύ επιπέδων πληροφοριών με βάση την κατανομή βαρών (weighted overlay) και την συνδυασμένη μοντελοποίηση (combinations modeling) (ESRI (a). (b) και (c), 2001).

-Δεδομένα του προγράμματος CORINE LAND COVER 2000.

-Δορυφορική εικόνα Landsat-7/ETM+ λήψης 11/01/2001





### **3.1) Συμβολή των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στη μελέτη της περιοχής.**

#### **3.1.1) Κατασκευή Ψηφιακού Μοντέλου Αναγλύφου (DEM).**

Ο συνηθέστερος και πιο διαδεδομένος τρόπος απεικόνισης του αναγλύφου της γήινης επιφάνειας, είναι τα Ψηφιακά Μοντέλα Αναγλύφου/ Ψ.Μ.Α. (Digital Elevation Model/ DEM). Η προσέγγιση της επιφάνειας του εδάφους με αριθμητικές θέσεις και υψομέτρου συγκεκριμένων σημείων (ψηφιακά δεδομένα)

οι οποίες χρησιμοποιούνται κατάλληλα για την δημιουργία μαθηματικής συνάρτησης (μοντέλο) που εκφράζει ικανοποιητικά τη συνεχή επιφάνεια του εδάφους αποτελεί τον ορισμό του Ψηφιακού Μοντέλου Αναγλύφου

(Σουλακέλλης, 1994 από Αλεξάκη, 2003).

Ένα DEM είναι μία αναπαράσταση μορφής κανάβου (raster) μιας συνεχούς επιφάνειας, η οποία στις Γεωεπιστήμες συνήθως αναφέρεται στην επιφάνεια της Γης. Άλλα πιθανά DEM μπορεί να προκύψουν από τις τιμές της ατμοσφαιρικής πίεσης μιας περιοχής (ισοβαρείς καμπύλες), τον υπόγειο υδροφορέα μιας περιοχής, τα υψομετρικά σημεία που προκύπτουν από την “ταχυμετρική αποτύπωση” μιας περιοχής και για τα οποία είναι γνωστές οι συντεταγμένες τους x, y, z ως προς κάποιο κατάλληλο σύστημα αναφοράς κ.λ.π.

Στην περίπτωση της παρούσας εργασίας, το DEM αναφέρεται στο ανάγλυφο της περιοχής μελέτης και έχει ως βάση

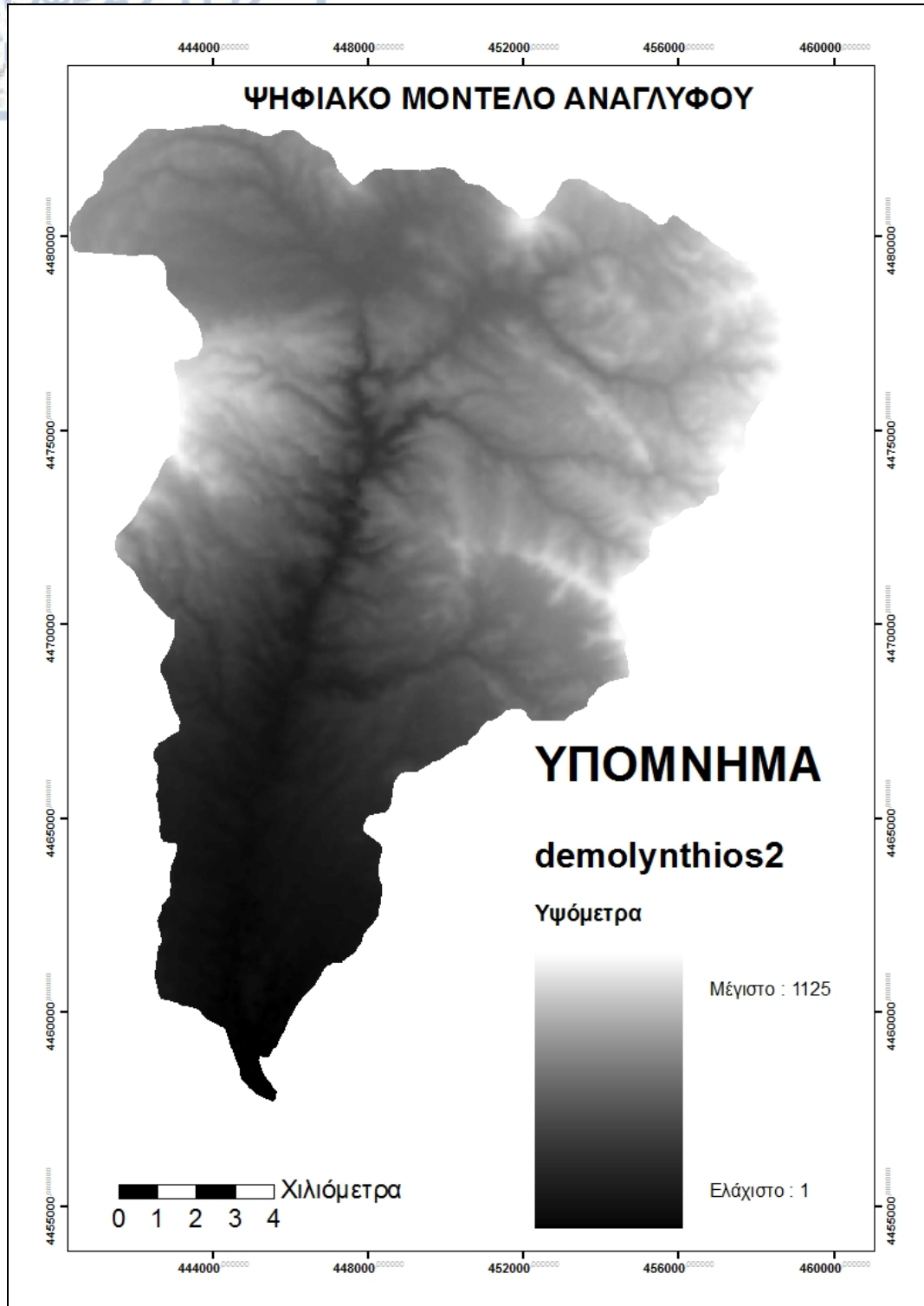


δημιουργίας του τις ισοϋψείς καμπύλες, με μέγεθος εικονοστοιχείου 20x20 m (Χάρτης 3.1.1).

Η βασική επιδίωξη κατά τον υπολογισμό ενός DEM είναι η κατά το δυνατόν καλύτερη προσαρμογή του στα δεδομένα της πραγματικής επιφάνειας του εδάφους που πρόκειται να απεικονίσει. Η ακρίβεια του παραγόμενου DEM εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η ανάλυση του DEM (η απόσταση μεταξύ των σημείων δειγματοληψίας), η μορφή των δεδομένων καθώς και η ακρίβεια και η αξιοπιστία με την οποία έγιναν οι πρωτογενείς μετρήσεις του μεγέθους μελέτης (στην συγκεκριμένη περίπτωση του υψομέτρου).

Το ανάγλυφο αναπαρίσταται από ένα πλέγμα σημείων που ισαπέχουν

μεταξύ τους και καθένα από αυτά έχει μια ορισμένη τιμή που αντιστοιχεί στο υψόμετρο. Για τον υπολογισμό του υψομέτρου σε περιοχή μεταξύ δύο γνωστών σημείων, χρησιμοποιείται η μέθοδος της “παρεμβολής” (interpolation), δηλαδή το υψόμετρο υπολογίζεται με βάση τα υψόμετρα των γειτονικών σημείων. Η μέθοδος αυτή κρίνεται πολύ αποτελεσματικότερη από εκείνη κατά την οποία το υψόμετρο υπολογίζεται χωρίς παρεμβολή και λαμβάνεται ίσο με το υψόμετρο του σημείου στο οποίο είναι πλησιέστερο (Μπαντέλλας, κ.α. 1996, ESRI 2001 από Φουρνιάδη, 2002).



Χάρτης 3.1.1: Ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου της ευρύτερης περιοχής μελέτης.

### 3.1.2 Κατεύθυνση Ροής (FLOW DIRECTION)

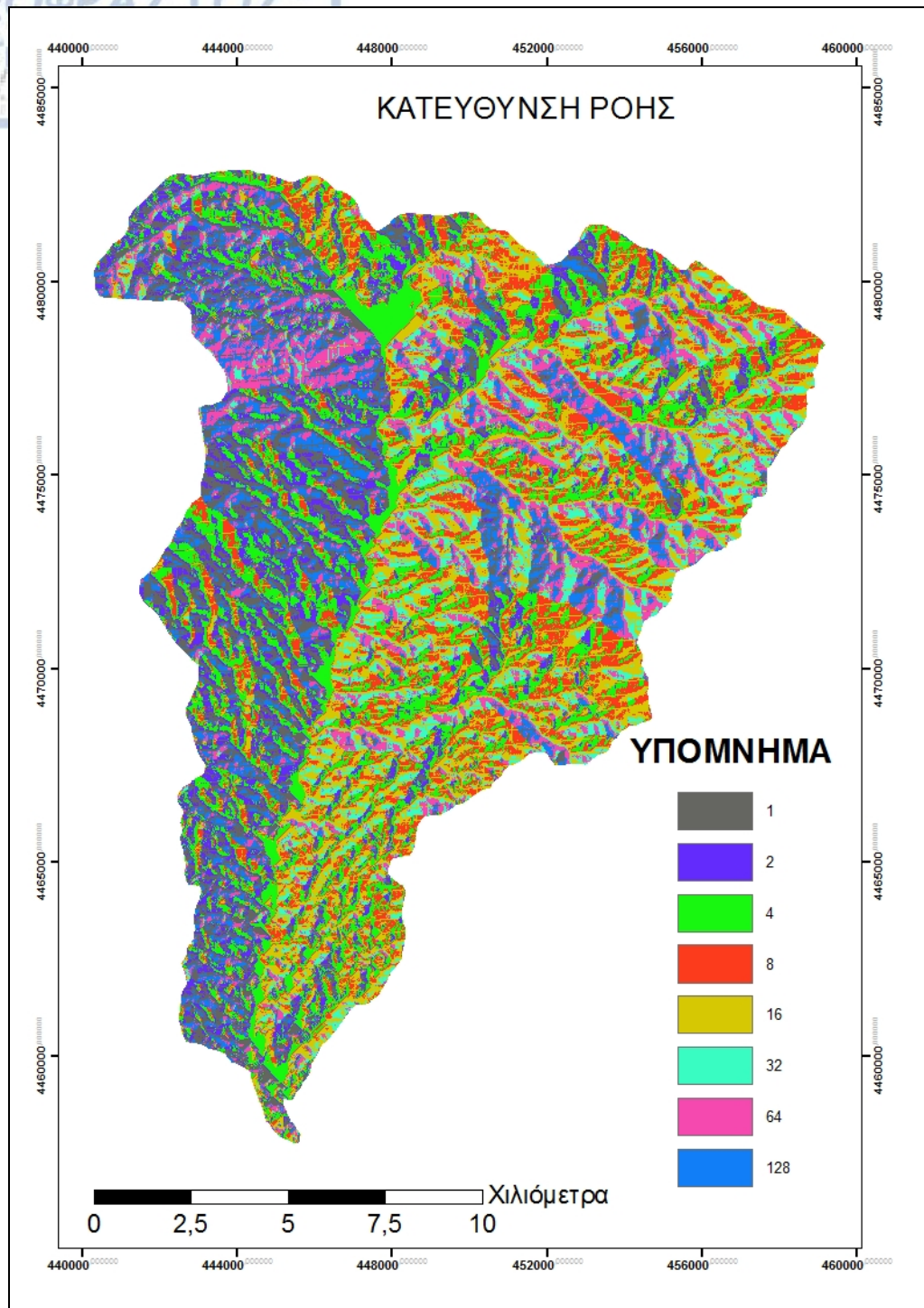
Η «κατεύθυνση» ροής (flow direction) σε κάθε εικονοστοιχείο του DEM εξαρτάται από το σχετικό υψόμετρο του σημείου αυτού ως προς τα γειτονικά του.

Αυτή η γνώση επιτρέπει τον καθορισμό της κατεύθυνσης της μέγιστης κλίσης από κάθε σημείο, η οποία ταυτίζεται με την κατεύθυνση ροής από εκείνο το σημείο προς τα γειτονικά του. Οι δυνατές κατευθύνσεις είναι οκτώ, συγκεκριμένα A, NA, N, ΝΔ, Δ, ΒΔ, Β και ΒΑ. Στο λογισμικό ArcGIS κωδικοποιούνται και γίνονται αντιληπτές ως αριθμοί (1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128), όπου το «1» αντιστοιχεί σε κατεύθυνση ροής προς τα Α, το «2» σε κατεύθυνση ροής προς τα ΝΑ κ.ο.κ.)

32	64	128
16		1
8	4	2

Κωδικοποίηση κατεύθυνσης ροής για το κεντρικό εικονοστοιχείο του DEM (ESRI 2001 (c)).

Με την εφαρμογή της ρουτίνας του υποπρογράμματος Hydrology Modelling (που αναπτύχθηκε ειδικά για τις ανάγκες της υδρογραφικής ανάλυσης) του ArcGIS για το Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου της περιοχής μελέτης, υπολογίστηκε η κατεύθυνση ροής για κάθε ένα εικονοστοιχείο διαστάσεων 20x20m (Χάρτης 3.1.2).

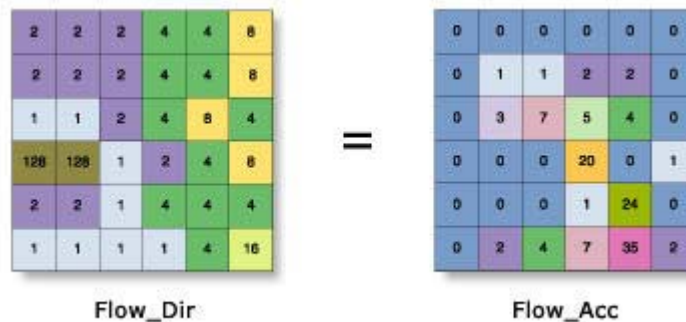


Χάρτης 3.1.2: Κατεύθυνση ροής για κάθε εικονοστοιχείο της περιοχής μελέτης.



### 3.1.3 Συσσώρευση Ροής (FLOW ACCUMULATION)

Το επόμενο βήμα προς τον στόχο της υδρολογικής ανάλυσης, είναι ο υπολογισμός της «συσσώρευσης ροής» (flow accumulation) σε κάθε εικονοστοιχείο του DEM (Χάρτης 3.1.3). Η συσσώρευση ροής εκφράζει την ποσότητα νερού η οποία θα κινηθεί προς κάθε εικονοστοιχείο από τα γειτονικά του και τελικά θα συσσωρευτεί σε αυτό. Ο υπολογισμός της συνολικής ροής που συγκεντρώνεται σε κάθε εικονοστοιχείο είναι δυνατός, με βάση την κατεύθυνση ροής στα γειτονικά αυτού σημεία



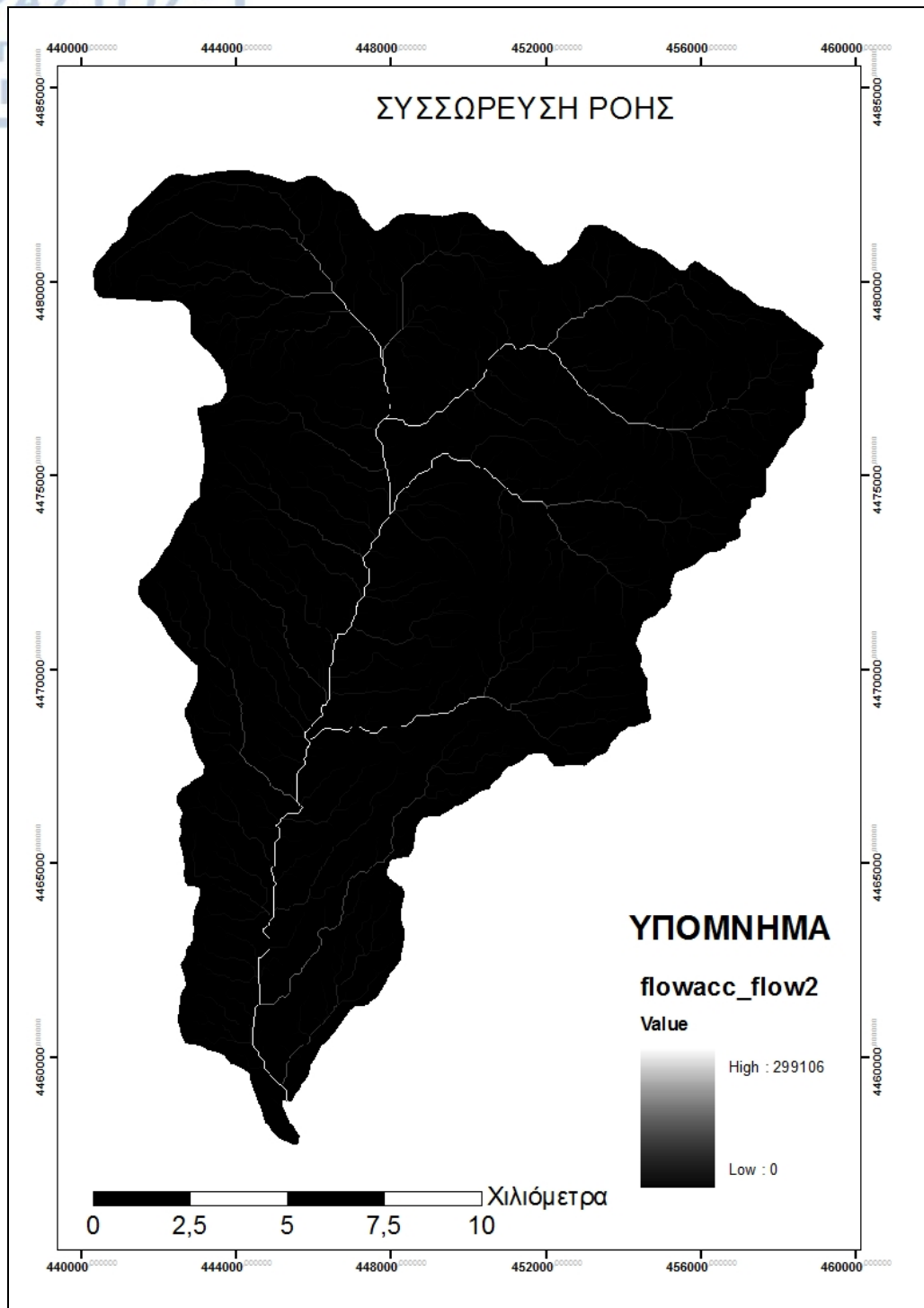
Αντιστοίχιση κατεύθυνσης και συσσώρευσης ροής (ESRI 2001 (c)). Στον πρώτο πίνακα φαίνεται κωδικοποιημένη η κατεύθυνση ροής κάθε εικονοστοιχείου του DEM. Στον δεύτερο πίνακα, ο αριθμός κάθε εικονοστοιχείου δηλώνει το πλήθος των εικονοστοιχείων που προσφέρουν τη ροή τους στο συγκεκριμένο εικονοστοιχείο ( ο αριθμός «20» δηλώνει πως είκοσι εικονοστοιχεία προσφέρουν τη ροή τους στο συγκεκριμένο εικονοστοιχείο).

Η συσσώρευση ροής για κάθε ένα εικονοστοιχείο της περιοχής μελέτης υπολογίστηκε με τη βοήθεια της ρουτίνας Hydrology Modelling του ArcGIS, λαμβάνοντας υπόψη τα γειτονικά αυτού εικονοστοιχεία. (Χάρτης 3.1.3).

Η αποτύπωση του υδρογραφικού δικτύου με τη βοήθεια της κατεύθυνσης

και της συσσώρευσης ροής (που με τη σειρά τους προήλθαν από το διορθωμένουδρολογικά DEM) είναι πλέον εφικτή, ορίζοντας ένα αριθμητικό κριτήριο στο επίπεδο πληροφορίας της συσσώρευσης ροής, το οποίο εντοπίζει τα εικονοστοιχεία που έχουν συγκέντρωση ροής πάνω από μία συγκεκριμένη τιμή. Τα σημεία που θα ικανοποιούν το κριτήριο αυτό, όταν ενωθούν, θα αποτελέσουν το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής. Πολύ μεγάλη τιμή σε αυτό το κριτήριο (πολύ μεγάλη ζητούμενη συσσώρευση ροής) θα ικανοποιηθεί μόνο από έναν μικρό αριθμό εικονοστοιχείων, κάτι που θα αποκλείσει πλήθος ρεμάτων μικρής τάξης. Αντίθετα, πολύ μικρή τιμή στο αριθμητικό κριτήριο της συσσώρευσης ροής, θα οδηγήσει σε ένα εξαιρετικά πυκνό υδρογραφικό δίκτυο (το οποίο θα αντιλαμβάνεται ακόμα και την ροή υπό μορφή μανδύα (overland flow) που απαντά στη ζώνη μη διάβρωσης (Horton, 1945 και Αστάρης, 1980) ως κομμάτι του υδρογραφικού δικτύου) το οποίο πέρα από δυσανάγνωστο, είναι και μη ρεαλιστικό.



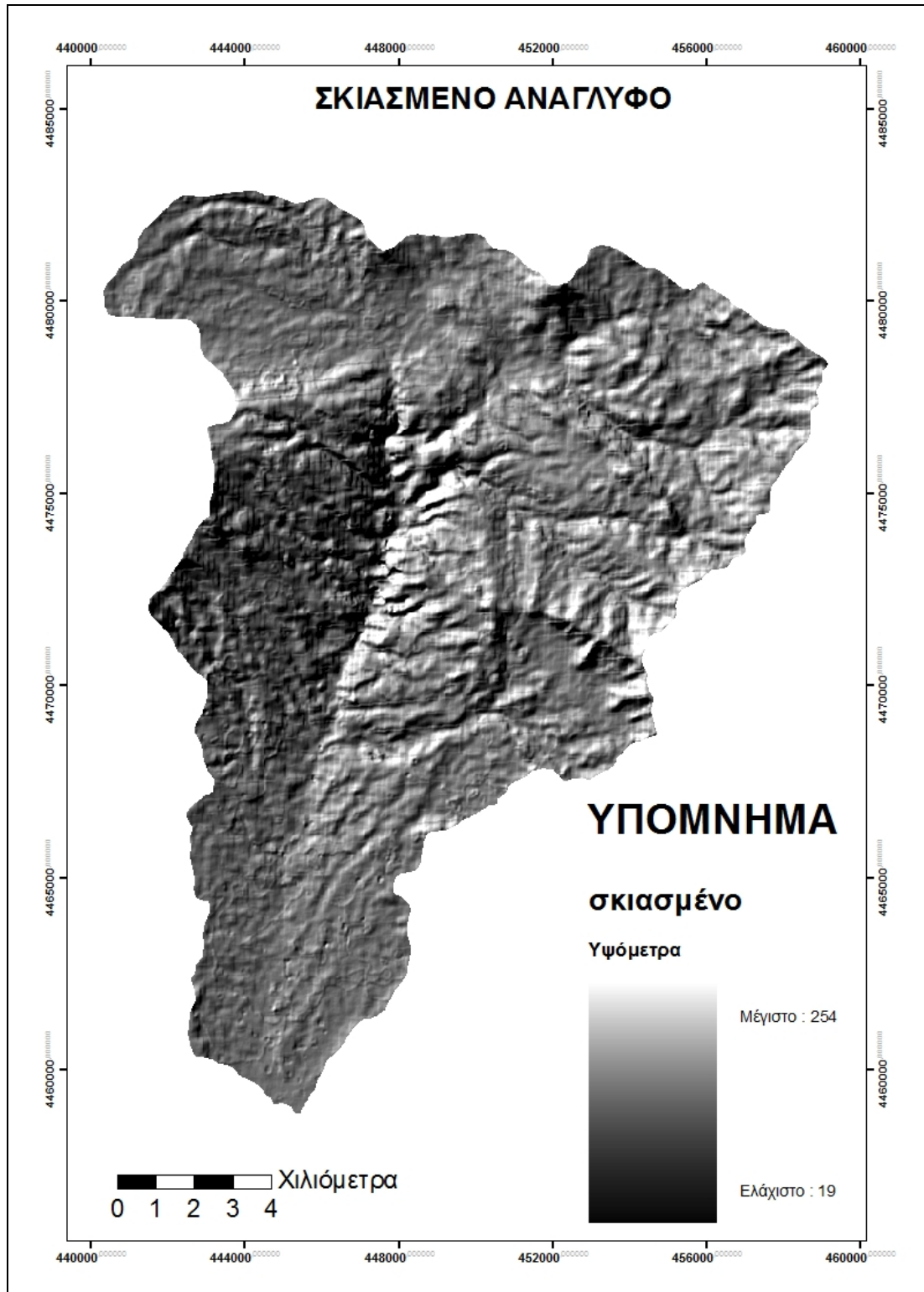


Χάρτης 3.1.3: Συσσώρευση ροής σε κάθε εικονοστοιχείο της περιοχής μελέτης

### 3.1.4 Χάρτης Σκιασμένου Αναγλύφου (HILLSHADE RELIEF)

Σύμφωνα με τους Burrough & McDonnell (2000), η αρχή της αυτόματης χαρτογράφησης του σκιασμένου αναγλύφου βασίζεται σε ένα μοντέλο το οποίο δείχνει πώς θα φαινόταν το έδαφος εάν ήταν φτιαγμένο από ιδανικό υλικό, φωτισμένο από μία συγκεκριμένη θέση. Το τελικό αποτέλεσμα μοιάζει με αεροφωτογραφία εξαιτίας της χρήσης γκρι κλίμακας και διαβαθμισμένων τεχνικών αποτύπωσης του τόνου απεικόνισης του αναγλύφου, αλλά στην πραγματικότητα ο χάρτης σκιασμένου αναγλύφου που προέρχεται από το παραγόμενο DEM διαφέρει σε σημαντικό βαθμό από τις αεροφωτογραφίες. Ο χάρτης σκιασμένου αναγλύφου δεν απεικονίζει την εδαφική κάλυψη παρά μόνο την ψηφιοποιημένη γήινη επιφάνεια. Επίσης το εδαφικό μοντέλο είναι συνήθως αποστρογγυλεμένο εξαιτίας της διαδικασίας συλλογής των δεδομένων και δεν απεικονίζει εξαιρετικές λεπτομέρειες του αναγλύφου όπως συμβαίνει στις αεροφωτογραφίες. Απαραίτητα για την παραγωγή ενός χάρτη σκιασμένου αναγλύφου είναι οι εκτιμήσεις σχετικά με τον προσανατολισμό ενός στοιχείου της επιφάνειας (πχ. Οι κλίσεις) και η ύπαρξη ενός μοντέλου που καταδεικνύει το πώς το επιφανειακό στοιχείο θα αντανακλά το φως που προέρχεται από μια πηγή φωτός τοποθετημένη σε σημείο που καθορίζει ο χρήστης. Οι χάρτες σκιασμένου αναγλύφου χρησιμοποιούνται στην τρισδιάστατη απεικόνιση του αναγλύφου. Πέρα όμως από αυτή τους τη χρήση, βρίσκουν εφαρμογή στην ποσοτική ανάλυση γεωμορφών. Όταν χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με θεματικές πληροφορίες, μπορούν να βελτιώσουν σε πολύ μεγάλο βαθμό τη ρεαλιστικότητα του παραγόμενου χάρτη. Από το DEM της περιοχής μελέτης, προέκυψε ο Χάρτης Σκιασμένου αναγλύφου (Χάρτης 3.1.4). Ως γωνία φωτισμού/ύψος ηλίου (solar elevation) για την κατασκευή αυτού, επιλέχθηκαν οι προεπιλεγμένες τιμές (default values) και ως αζιμούθιο ηλίου

(solar azimuth) (γωνία πρόσπτωσης 450 μοίρες και αζιμούθιο 315 μοίρες αντίστοιχα των εικόνων ραντάρ SAR). Η διαφορά στην φωτεινή ενέργεια που λαμβάνουν οι διάφορες περιοχές του αναγλύφου, γίνεται αντιληπτή με τις διαβαθμίσεις του τεφρού χρώματος.



Χάρτης 3.1.4: Χάρτης σκιασμένου αναγλύφου της περιοχής μελέτης.

### 3.1.5 Χάρτης Κλίσεων (SLOPE)

Μία παράμετρος που μπορεί να υπολογιστεί και να ποσοτικοποιηθεί από την περαιτέρω ανάλυση του ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου (DEM) είναι η κλίση του αναγλύφου. Η κλίση του αναγλύφου είναι το πιο ευρέως διαδεδομένα τοπογραφικό μέγεθος και πολύ μεγάλης σημασίας για κάθε γεωμορφολογική έρευνα. Ως κλίση ορίζεται η μέγιστη μεταβολή του υψομέτρου σε κάθε σημείο μιας επιφάνειας. Ο χάρτης κλίσεων υπολογίζει για κάθε εικονοστοιχείο τη μέγιστη αλλαγή του αναγλύφου από αυτό το εικονοστοιχείο προς τα γειτονικά του. Η αλλαγή εκφράζεται με μία τιμή. Γενικά, η μέγιστη αλλαγή υψομέτρου μεταξύ του κάθε εικονοστοιχείου και των 8 γειτονικών του χαρακτηρίζει την περισσότερο απότομη μεταβολή του αναγλύφου σε αυτό το εικονοστοιχείο. Στο τελικό προϊόν (χάρτης κλίσεων) κάθε εικονοστοιχείο έχει μία τιμή κλίσης. Όσο μικρότερη η τιμή κλίσης, τόσο πιο επίπεδο είναι το ανάγλυφο, ενώ όσο μεγαλύτερη η τιμή κλίσης τόσο πιο απότομο είναι το ανάγλυφο. Οι κλίσεις υπολογίζονται είτε σε μοίρες είτε σε ποσοστό επί τοις εκατό (%). Με τη βοήθεια της επέκτασης Spatial Analyst του λογισμικού ArcGIS υπολογίστηκαν οι κλίσεις σε μοίρες του αναγλύφου της περιοχής μελέτης και κατασκευάστηκε ο χάρτης κλίσεων. Λαμβάνοντας υπόψη την ταξινόμηση των κλίσεων του αναγλύφου που πρότεινε ο Demek (1972), η οποία υιοθετήθηκε στη συνέχεια από την Επιτροπή Γεωμορφολογικής Έρευνας και Χαρτογράφησης (Commission on Geomorphological Survey and Mapping) της Διεθνούς Γεωγραφικής Ένωσης (IGU – International Geographical Union), έγινε η ταξινόμηση των κλίσεων σε 6 κύριες κατηγορίες.

• **Κλίση 0<sup>0</sup> – 2<sup>0</sup> (0% – 3,5%)**: επίπεδο έως ελαφρώς κεκλιμένο ανάγλυφο (πλημμυρικά πεδία (00 – 30'), επιφάνειες επιπέδωσης, αναβαθμίδες). Έναρξη διάβρωσης τύπου καλύμματος. Απουσία προβλημάτων στις ανθρώπινες δραστηριότητες (μεταφορές, οικοδόμηση, γεωργία, υλοτομία).

• **Κλίση 2<sup>0</sup> – 5<sup>0</sup> (3,5% - 8,7%)**: ελαφρώς κεκλιμένο ανάγλυφο (πρόποδες κοιλάδων, περιοχές τελικών μοραίνων, κλιτύες θινών). Διάβρωση καλύμματος και έναρξη αυλακωτής διάβρωσης. Σε περιοχές φυτοκάλυψης παρατηρείται έναρξη ερπυσμού εδαφών. Μέτρα προστασίας του εδάφους στις καλλιεργούμενες περιοχές. Ελαφριά δυσκολία στη μετακίνηση των οχημάτων, δυνατότητα εποικισμού και λειτουργίας βιομηχανιών. Καλλιέργεια δυνατή με τη χρήση μηχανημάτων. Προτεινόμενη η καλλιέργεια κατά τις ισοϋψείς.

• **Κλίση 5<sup>0</sup> – 15<sup>0</sup> (8,7% – 26,8%)**: ισχυρώς κεκλιμένο ανάγλυφο (κλιτύες κοιλάδων, τεκτονικές αναβαθμίδες.).

Κινήσεις μαζών, ισχυρή διάβρωση τύπου καλύμματος και αυλακωτή, έντονες διαβρωτικές διεργασίες σε περιοχές μειωμένης φυτοκάλυψης αλλά έναρξη τους και σε περιοχές έντονης φυτοκάλυψης. Πιθανές ολισθήσεις εδάφους και ερπυσμός. Στις 150 (26,8%) βρίσκεται η κρίσιμη γωνία για το σχηματισμό πλήρους εδαφικού ορίζοντα. Σημαντικές δυσκολίες στην κατασκευή δρόμων και στη μετακίνηση οχημάτων. Αδύνατη η καλλιέργεια δίχως τη χρήση αναβαθμίδων. Δυσκολίες στη χρήση γεωργικών μηχανημάτων.

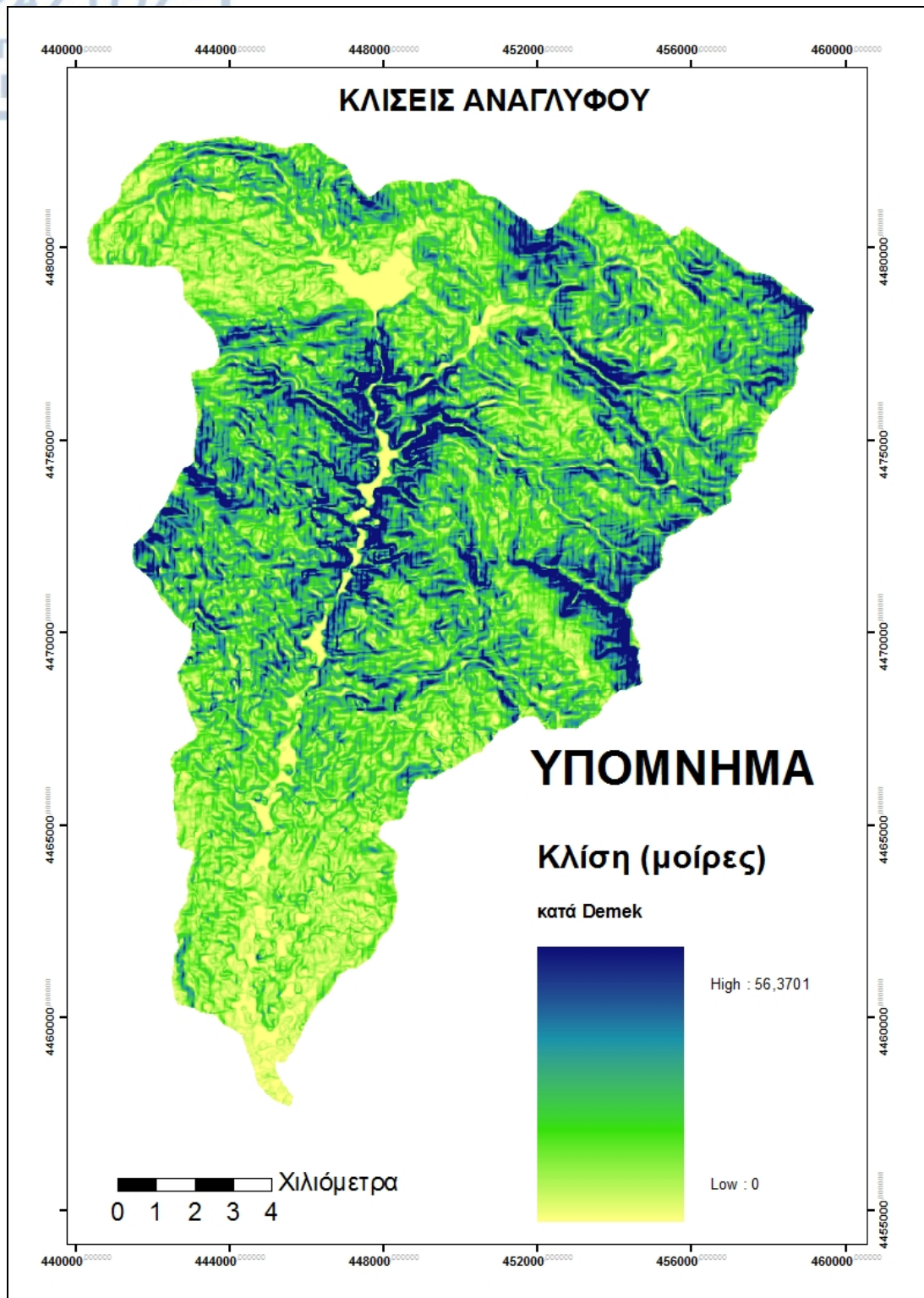
• **Κλίση 15<sup>0</sup> – 35<sup>0</sup> (26,8% - 70%)**: απότομο (150 - 250) έως εξαιρετικά απότομο (250 – 350) ανάγλυφο (κλιτύες κοιλάδων μεσαίων ορέων). Έντονες διεργασίες απογύμνωσης πάσης φύσεως, ερπυσμοί εδαφών, λασποροές, πολύ έντονη αυλακωτή και γραμμική διάβρωση τόσο σε γυμνές όσο και σε καλυμμένες (δάση) περιοχές. Δυνατή η μετακίνηση μόνο με ερπυστριοφόρα μηχανήματα. Αδύνατη η καλλιέργεια, δυσχερής η υλοτομία. Περιοχή δασών και βοσκοτόπων.



• **Κλίση  $35^{\circ}$  -  $55^{\circ}$  (70% - 135%)**: απόκρημνο ανάγλυφο (απότομες κλιτύες κοιλάδων υψηλών ορέων, κλιτύες σχηματισμών hogbacks, κλιτύες ασβεστολιθικών φαραγγιών).

Πολύ λεπτό, ασυνεχές στρώμα εδάφους, έντονη απογύμνωση του μητρικού πετρώματος, ισχυρότατη έκθεση στους παράγοντες της διάβρωσης και της βαρύτητας. Αδύνατη η προσπέλαση. Περιοχή δασών, όριο εκμετάλλευσης της υλοτομίας.

• **Κλίση  $> 55^{\circ}$  ( $>135\%$ )**: κάθετο ανάγλυφο (κάθετες κλιτύες σε περιοχές ψαμμιτικών και ασβεστολιθικών ορέων). Απουσία εδάφους. Απογύμνωση των εκτεθειμένων πετρωμάτων, κατάρρευση βραχών. Αδύνατη η οικονομική εκμετάλλευση. Αναρρίχηση. Κίνδυνος πτώσης βραχών στα κατόντη (Demek, 1972).



(Χάρτης 3.1.5): Χάρτης κλίσεων περιοχής μελέτης (ταξινόμηση κατά Demek, 1972) (Τιμές κλίσης %)

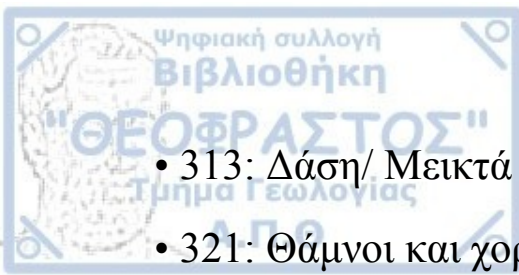


#### 4)Κάλυψη γης (LAND COVER)

Η κάλυψη γης στην περιοχή μελέτης (Χάρτης 8) δίνεται από το πρόγραμμα CORINE LAND COVER 2000. Το εν λόγω πρόγραμμα, χρησιμοποιώντας κοινή μεθοδολογία, παρέχει την πρώτη τυποποιημένη μελέτη με θέμα την Κάλυψη Γης περί το έτος 2000 και τις αλλαγές που συντελέστηκαν κατά τη διάρκεια της δεκαετίας που ακολούθησε από την διεξαγωγή του πρώτου προγράμματος CORINE LAND COVER στο τέλος της δεκαετίας του 80 (URL 4).

Σύμφωνα με τα στοιχεία του προγράμματος, οι χρήσεις γης που απαντούν στην περιοχή μελέτης είναι οι παρακάτω:

- 112: Αστικές κατασκευές/ Ασυνεχείς αστικές κατασκευές.
- 211: Ετήσιες καλλιέργειες/ Μη αρδευόμενες οργώσιμες εκτάσεις.
- 212: Ετήσιες καλλιέργειες/ Μόνιμα αρδευόμενες εκτάσεις.
- 231: Βοσκότοποι/ Βοσκοτόπια.
- 242: Ετερογενείς αγροτικές εκτάσεις/ Πολύπλοκα σχέδια καλλιέργειας.
- 243: Ετερογενείς αγροτικές εκτάσεις/ Εκτάσεις που κατά κύριο λόγο καλύπτονται από αγροτικές καλλιέργειες, σε συνδυασμό σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης.
- 311: Δάση/ Δάση πλατύφυλλων.
- 312: Δάση/ Δάση κωνοφόρων.



- 313: Δάση/ Μεικτά δάση.
  - 321: Θάμνοι και χορτολίβαδα/ Φυσικά χορτολίβαδα.
  - 323: Θάμνοι και χορτολίβαδα/ Σκληρόφυλλη βλάστηση.
  - 324: Θάμνοι και χορτολίβαδα/ Μεταβατικές εκτάσεις - ξυλώδεις θάμνοι.
  - 331: Ανοιχτές περιοχές με λίγη ή καθόλου βλάστηση/ Παραλίες, αμμοθίνες
  - 411: Υγρότοποι στην ενδοχώρα/ Έλη της ενδοχώρας.
  - 512: Υδάτινοι όγκοι της ενδοχώρας/ Υδάτινοι όγκοι.
- (Η μετάφραση της Κάλυψης Γης έγινε από Καρτέρη, 2004).

## 5. Γεωλογία της περιοχής μελέτης

### 5.1 Γεωλογικοί σχηματισμοί

Σύμφωνα με τους γεωλογικούς χάρτες κλίμακας 1: 50.000 που εκδόθηκαν από το ΙΓΜΕ φύλλα: 1) ΑΡΝΑΙΑ (1978), 2) ΠΟΛΥΓΥΡΟΣ (1972), στην περιοχή μελέτης συναντώνται οι ακόλουθοι σχηματισμοί:

Συγκεκριμένα στον χάρτη Αρναία (1978):

Ιζηματογενή πετρώματα:

-Ολοκαινικές αποθέσεις αποτελούμενες από αλλουβιακές αποθέσεις, λιμναία ιζήματα, αποθέσεις στις κοίτες ποταμών και χειμάρων, αλλουβιακά ριπίδια, άμμους και κροκάλες,

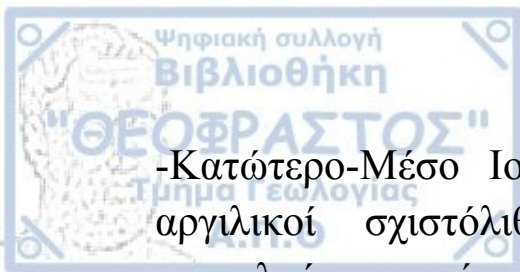


αμμούχες αργίλους, χαλίκια και άμμους, ψηφίδες και κροκάλες με πηλό ή αμμούχα άργιλο, πλευρικά κορήματα.

- Πλειστοκαινικές αναβαθμίδες
  - Τεταρτογενή ριπίδια προσχώσεων
  - Μειοκαινικοί-Πλειοκαινικοί (Νεογενές) λιμναίοι ασβεστόλιθοι, ψαμμιτομαργαϊκή σειρά και σειρά κροκαλοπαγών.
  - Τριαδικό-Ιουρασικό, ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι, φυλλίτες και χαλαζίτες που αποτελούν την Ενότητα Μελισσοχωρίου-Χολομώντα
  - Παλαιοζωικό, διμαρμαρυγιακοί γνεύσιοι (Σχηματισμός Βερτίσκου) και ορίζοντας μαρμάρων και βιοτιτικοί γνεύσιοι (Σχηματισμός Κερδυλλίων)
  - Μεσοζωικό, μεταμορφωμένα και σχιστώδη πετρώματα όπως πλαγιοκλαστικός-μικροκλινης γνεύσιος. Πρασινοσχιστόλιθοι και διορίτης που αποτελούν την Μαγματική Σειρά Χορτιάτη.
- Υπερβασική σειρά που αποτελείται από γάββρους, δουνίτες και πυροξενίτες με αξιόλογη μεταλλοφορία

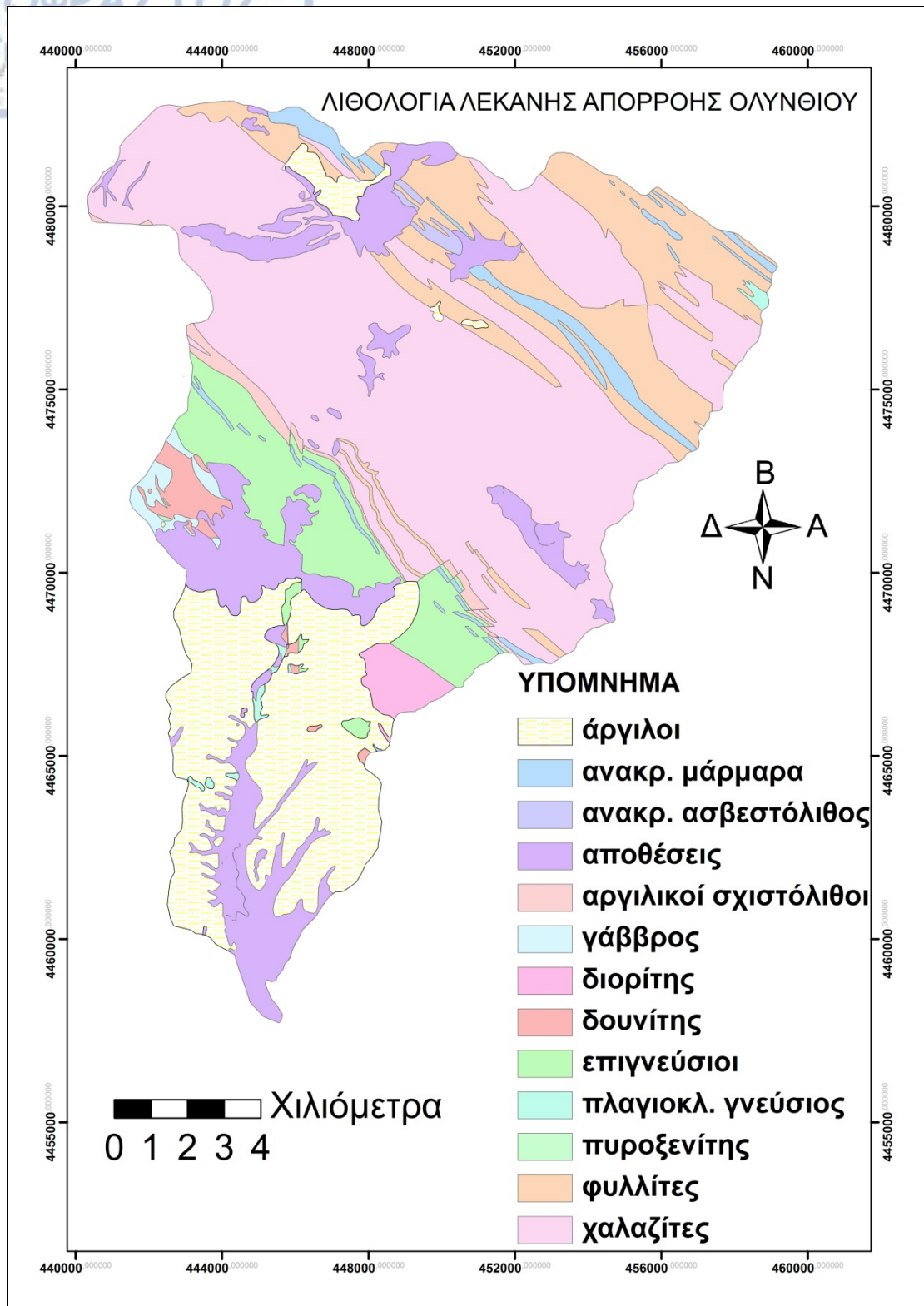
#### Συγκεκριμένα στον χάρτη Πολύγυρος (1972):

- Τεταρτογενή αλουβιακές αποθέσεις, λιμναία ιζήματα, πλευρικά κορήματα, σύστημα αναβαθμίδων και κώνοι κορημάτων.
- Νεογενή(Μειόκαινο-Πλειόκαινο) σειρά αργίλων, βασική σειρά κροκαλοπαγών και ασβεστόλιθοι Ιουρασικού( Ενότητα Παιονίας).



-Κατώτερο-Μέσο Ιουρασικό, μετα-ιζηματογενή πετρώματα αργιλικί σχιστόλιθοι και φυλλιτικοί σχιστόλιθοι που αποτελούν την ενότητα Άσπρης Βρύσης Χορτιάτη

Από την ψηφιοποίηση των παραπάνω σχηματισμών που προήλθαν από τους γεωλογικούς χάρτες του ΙΓΜΕ, προέκυψε ο Χάρτης (Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης).



Χάρτης 5.1: Γεωλογικός χάρτης περιοχής μελέτης



## **6) Η χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών/ΓΣΠ (Geographical Information Systems/GIS) στην εκτίμηση της πλημμυρικής επιδεκτικότητας.**

Ο προσδιορισμός των περιοχών στις οποίες έχει εκδηλωθεί ή έχει εκδηλωθεί πλημμύρα μπορεί να πραγματοποιηθεί με την βοήθεια των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών /ΓΣΠ (Geographical Information System/GIS). Τα ΓΣΠ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή χάρτη επιδεκτικότητας στις πλημμύρες, ο οποίος καταδεικνύει τις περιοχές που έχουν την πιθανότητα να εκδηλωθούν πλημμύρες.

Το φαινόμενο της πλημμύρας είναι ένα πολύπλοκο φαινόμενο στην εκδήλωση του οποίου συμμετέχουν πολλοί παράγοντες όπως κλιματικοί, τοπογραφικοί, γεωλογικοί, εδαφολογικοί, γεωμορφολογικοί υδρολογικοί και ανθρωπογενείς.

Τα κριτήρια με τα οποία επιλέγουμε ποιούς παράγοντες επηρεάζουν το φαινόμενο της πλημμύρας είναι υποκειμενικά. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται από το μεγάλο πλήθος εργασιών που υπάρχουν για την κατασκευή του χάρτη επιδεκτικότητας και στις οποίες κάθε μελετητής επιλέγει κάθε φορά διαφορετικούς παράγοντες για να κατασκευάσει τον τελικό χάρτη. Επομένως, ένα επιπλέον πρόβλημα για την κατασκευή των χαρτών, αποτελεί και η υποκειμενικότητα που χαρακτηρίζει το στάδιο της εργασίας και οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θεωρήθηκε ότι οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν το φαινόμενο των πλημμυρών στην περιοχή μελέτης είναι η τοπογραφία (υπολογισμός τοπογραφικού δείκτη υγρασίας), η λιθολογία (υπολογισμός διαπερατότητας των πετρωμάτων), οι χρήσεις





γης (υπολογισμός τραχύτητας) και η φυτοκάλυψη (υπολογισμός δείκτη βλάστησης).

Οι παράγοντες της βροχόπτωσης και των ιστορικών καταγραφών πλημμυρών στην περιοχή δεν λήφθηκαν υπόψη – παρά την σημαντικότητά τους- καθώς στην Ελλάδα δεν υπάρχει πυκνό δίκτυο μετεωρολογικών σταθμών αλλά και βάση δεδομένων που να περιλαμβάνει τέτοιου είδους ιστορικές πληροφορίες.

Από τους παράγοντες που προαναφέρθηκαν και με τη βοήθεια του λογισμικού ArcMap , προέκυψαν οι ακόλουθοι χάρτες:

- Χάρτης κατανομής του τοπογραφικού δείκτη υγρασίας
- Χάρτης περατότητας των λιθολογικών σχηματισμών
- Χάρτης τραχύτητας των χρήσεων γης
- Χάρτης βλάστησης

## 6.1) Μεθοδολογία

Αρχικά δημιουργήθηκαν τα ΓΣΠ επίπεδα. Για τη δημιουργία των ΓΣΠ επιπέδων ψηφιοποιήθηκαν στοιχεία από θεματικούς χάρτες.

Τα επίπεδα των πληροφοριών τα οποία αξιοποιήθηκαν ήταν τα εξής

1. Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου (DEM)
2. Υδρογραφικό δίκτυο
3. Υδροκρίτης-Λεκάνη απορροής
4. Λιθολογικοί σχηματισμοί
5. Κάλυψη γης (από τα διαθέσιμα δεδομένα του προγράμματος)



CORINE LC 2000) 6.Δείκτης NDVI (από δορυφορική εικόνα Landsat-7/ETM+)

Στη συνέχεια κατασκευάστηκε το ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου της περιοχής μελέτης και τα παράγωγα αυτού όπως κατεύθυνση ροής(flow direction) , συσσώρευση ροής (flow accumulation), χάρτης κλίσεων (slope map).Τέλος υπολογίστηκε ο τοπογραφικός δείκτης υγρασίας (topographic wetness index). Όλα τα παραπάνω δεδομένα ενσωματώθηκαν σε περιβάλλον ΓΣΠ με την βοήθεια του λογισμικού ArcMap.

Έπειτα εφαρμόστηκε η τεχνική του Δείκτη Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς(NDVI).Έτσι προέκυψε το επίπεδο πληροφορίας για την βλάστηση στην περιοχή μελέτης το οποίο ενσωματώθηκε στο περιβάλλον ΓΣΠ.

Τα παραπάνω επίπεδα πληροφοριών συνδυάστηκαν κατάλληλα μεταξύ τους προκειμένου να δημιουργηθούν διάφοροι θεματικοί χάρτες.Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία χάρτη επιδεκτικότητας της περιοχής στα πλημμυρικά επεισόδια.

## **6.2)Παράγοντες που επηρεάζουν τις πλημμύρες και επίπεδα πληροφοριών που προκύπτουν από αυτούς.**

### **6.2.1)Τοπογραφία-Τοπογραφικός Δείκτης Υγρασίας (TOPOGRAPHIC WETNESS INDEX)**

Η τοπογραφία είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας που καθορίζει την κίνηση του νερού σε μία επιφάνεια.Ο τοπογραφικός δείκτης υγρασίας είναι η πιο ευρέως διαδεδομένη δεύτερη παράγωγος των ψηφιακών μοντέλων αναγλύφου (DEM) και χρησιμοποιείται για να περιγράψει την επίδραση της τοπογραφίας στην κατανομή της υγρασίας του εδάφους σε μια περιοχή.Ο υπολογισμός του τοπογραφικού δείκτη βασίζεται στη κίνηση του νερού στα πρανή και την συγκέντρωση του νερού στη βάση των πρανών.



Ο τοπογραφικός δείκτης υγρασίας (TWI) αναπτύχθηκε από τους Beven & Kirby το 1979 και ορίζεται από την σχέση:

$$TWI = \ln(a/\tan\beta),$$

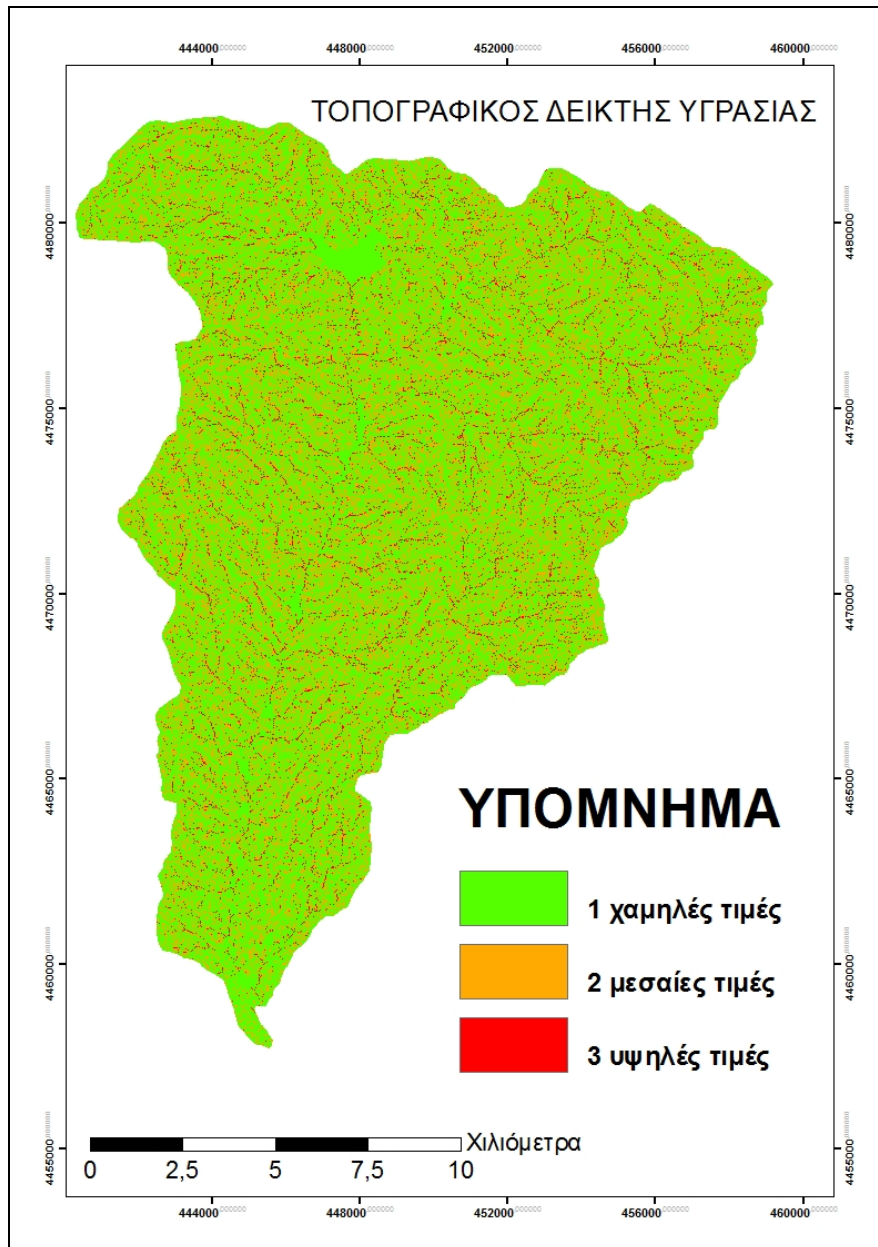
Όπου  $a$  η περιοχή ανάντη ανά μήκος ισουψούς (που δίνεται από το αρχείο συσσώρευσης ροής που προέκυψε από το DEM) και  $\beta$  η τοπική γωνία κλίσης (που δίνεται από το αρχείο κλίσεων του αναγλύφου που προέκυψε από το Dem).

Όσο μεγαλύτερη είναι η έκταση της τοπικής υδρολογικής λεκάνης και όσο μικρότερη είναι η γωνία κλίσης τόσο υψηλότερη είναι η τιμή του δείκτη και συνεπώς μπορεί να αναμένεται υγρό έδαφος. Η χρήση του δείκτη υγρασίας βασίζεται στην υπόθεση ότι οι διαδικασίες ροής είναι σταθερές, ορυθμός επαναφόρτισης του υπόγειου υδροφορέα είναι ομοιόμορφος, δεν υπάρχουν πλευρικές ροές, η υπόγεια ροή είναι παράλληλη, η γωνία κλίσης του υδροφόρου στρώματος είναι ίση με αυτή της επιφάνειας του εδάφους, η καμπύλη αγωγιμότητας είναι εκθετική και ιδανική σε όλη την περιοχή και δεν υπάρχουν εμπόδια ή απορροές στα πρανή (Beven and Kirby, 1979)

Οι ράχες χαρακτηρίζονται από χαμηλές τιμές, ενώ τα χαμηλότερα σημεία των πρανών, ιδιαίτερα οι κοίλες περιοχές και οι βάσεις των κοιλάδων έχουν υψηλές τιμές (Rodhe and Seibert, 1999) (Από Παράσχου 2005)

Στο (χάρτη 6.2.1) παρουσιάζεται η κατανομή του τοπογραφικού δείκτη υγρασίας στην περιοχή μελέτης. Ορίστηκαν 3 κατηγορίες τιμών του δείκτη (μικρή, μεσαία, μεγάλη). Η διαβάθμιση που αντιστοιχεί σε κάθε κατηγορία αντιστοιχεί στην επικινδυνότητά της. Αυξημένη τιμή του δείκτη δηλώνει περιοχή περισσότερο επικίνδυνη (διαβάθμιση 3). Μειωμένη τιμή του δείκτη δηλώνει

μειωμένη επικινδυνότητα της περιοχής για την εκδήλωση πλημμύρας (διαβάθμιση 1).



Χάρτης 6.2.1: Κατανομή του τοπογραφικού δείκτη υγρασίας στην περιοχή μελέτης.

### 6.2.2) Λιθολογία – Περατότητα πετρωμάτων

Η λιθολογία είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την απορροή και κατ' επέκταση την πλημμυρική απορροή. Περατότητα (ή διαπερατότητα) λέγεται η ιδιότητα των πετρωμάτων και σχηματισμών να επιτρέπουν την κίνηση των υγρών (των ρευστών γενικότερα) μέσω αυτών.

Μέτρο της περατότητας είναι ο συντελεστής περατότητας ή ο συντελεστής του Darcy. Ο συντελεστής αυτός έχει διαστάσεις  $[LT^{-1}]$  και μονάδες μέτρησης m/sec, cm/sec, 1 meizner, 1 darcy. Στην ευρωπαϊκή βιβλιογραφία χρησιμοποιείται συνήθως το m/sec. Ένα πέτρωμα με μεγάλο συντελεστή περατότητας παρουσιάζει μικρή σχετικά αντίσταση στη ροή του νερού δια μέσου αυτού και έτσι με μικρή σχετικά υδραυλική κλίση άρα με λίγες σχετικά απώλειες φορτίου είναι δυνατό να επιτρέψει μεγάλη ταχύτητα κατείσδυσης. Το αντίθετο ακριβώς συμβαίνει με ένα πέτρωμα που παρουσιάζει μικρή περατότητα, δηλαδή που έχει μικρό συντελεστή περατότητας. Το τελευταίο παρουσιάζει μικρή σχετικά αντίσταση στη ροή του νερού δια μέσου αυτού και με μεγάλη σχετικά υδραυλική κλίση και άρα με σχετικά μεγάλες απώλειες φορτίου. Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε λοιπόν ότι η ροή του νερού δια μέσου ενός πετρώματος με μεγάλη περατότητα έχει λιγότερες απώλειες απ' ότι η ροή διαμέσου ενός πετρώματος με μικρή περατότητα.

Σύμφωνα με την έννοια που αναπτύχθηκε πιο πάνω για την περατότητα, υπάρχουν πετρώματα (και σχηματισμοί) περισσότερο ή λιγότερο περατά, υπάρχει με άλλα λόγια μία πλήρης κλιμάκωση από πετρώματα με πολύ χαμηλό συντελεστή περατότητας (δηλαδή ελάχιστα περατά) μέχρι πετρώματα με πολύ μεγάλο συντελεστή περατότητας (πολύ περατά). Πέτρωμα πραγματικά αδιαπέρατο με την αυστηρή έννοια του όρου, δηλ. πέτρωμα που έχει μηδενικό συντελεστή περατότητας φαίνεται ότι δεν υπάρχει. Παρόλα αυτά όμως εντελώς συμβατικά διακρίνονται τα πετρώματα σε τρεις κατηγορίες:



- Διαπερατά (μεγάλη περατότητα) όταν  $k \geq 10^{-5}$  m/sec
- Ημιπερατά (μέτρια περατότητα) όταν έχουν  $10^{-5} > k > 10^{-7}$  m/sec
- Αδιαπέρατα (χαμηλή περατότητα) όταν έχουν  $k \leq 10^{-7}$  m/sec

Η διαίρεση αυτή είναι συμβατική και αυθαίρετη, αλλά είναι περίπου καθολικά αποδεκτή στη βιβλιογραφία και γίνεται για πρακτικούς λόγους (Σούλιος, 1996)

## ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ

## ΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ

Άργιλος, Άργιλλος πλαστική	$10^{-8} - 10^{-10}$
Πηλοί, Σαπρόλιθοι	$10^{-7} - 10^{-9}$
Αμμάργιλοι	$10^{-8} - 10^{-6}$
Άμμοι λεπτόκοκκοι	$10^{-3} - 10^{-4}$
Άμμοι μεσόκοκκοι	$10^{-2} - 10^{-3}$
Άμμοι χονδρόκοκκοι	$10^{-1} - 10^{-2}$
Χαλίκια	$10^0 - 10^{-1}$
Άμμοι-Χαλίκια	$10^{-2} - 10^{-3}$
Άμμοι-Χαλίκια-Πηλοί	$10^{-3} - 10^{-4}$
Μάργες	$10^{-6} - 10^{-9}$
Φλύσχης	$10^{-6} - 10^{-8}$
Ψαμμίτης	$10^{-3} - 10^{-5}$
Κροκαλοπαγή, Μολάσσειες	$10^{-4} - 10^{-5}$
Ασβεστόλιθοι, Μάρμαρα	$10^{-2} - 10^{-6}$
Σχιστόλιθοι διάφοροι	$10^{-6} - 10^{-9}$
Οφιόλιθοι	$10^{-5} - 10^{-8}$





Γνεύσιοι, Μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι και

πρασινόλιθοι και παρεμφερή μεταμορφωμένα  $10^{-6}$ - $10^{-9}$

Γρανίτες και γενικά όξινοι πλουτωνίτες  $10^{-5}$ - $10^{-8}$

Ηφαιστειακά διάφορα  $10^{-6}$ - $10^{-9}$

Τα πετρώματα της περιοχής μελέτης ταξινομήθηκαν με την βοήθεια του παραπάνω πίνακα σε 3 κατηγορίες που αναφέρθηκαν πιο πάνω. Έτσι προέκυψε ο χάρτης περατότητας των λιθολογικών σχηματισμών της περιοχής μελέτης (χάρτης 2)

Οι διαβαθμίσεις που δόθηκαν σε κάθε κατηγορία αντιστοιχούν στην επικινδυνότητά τους.

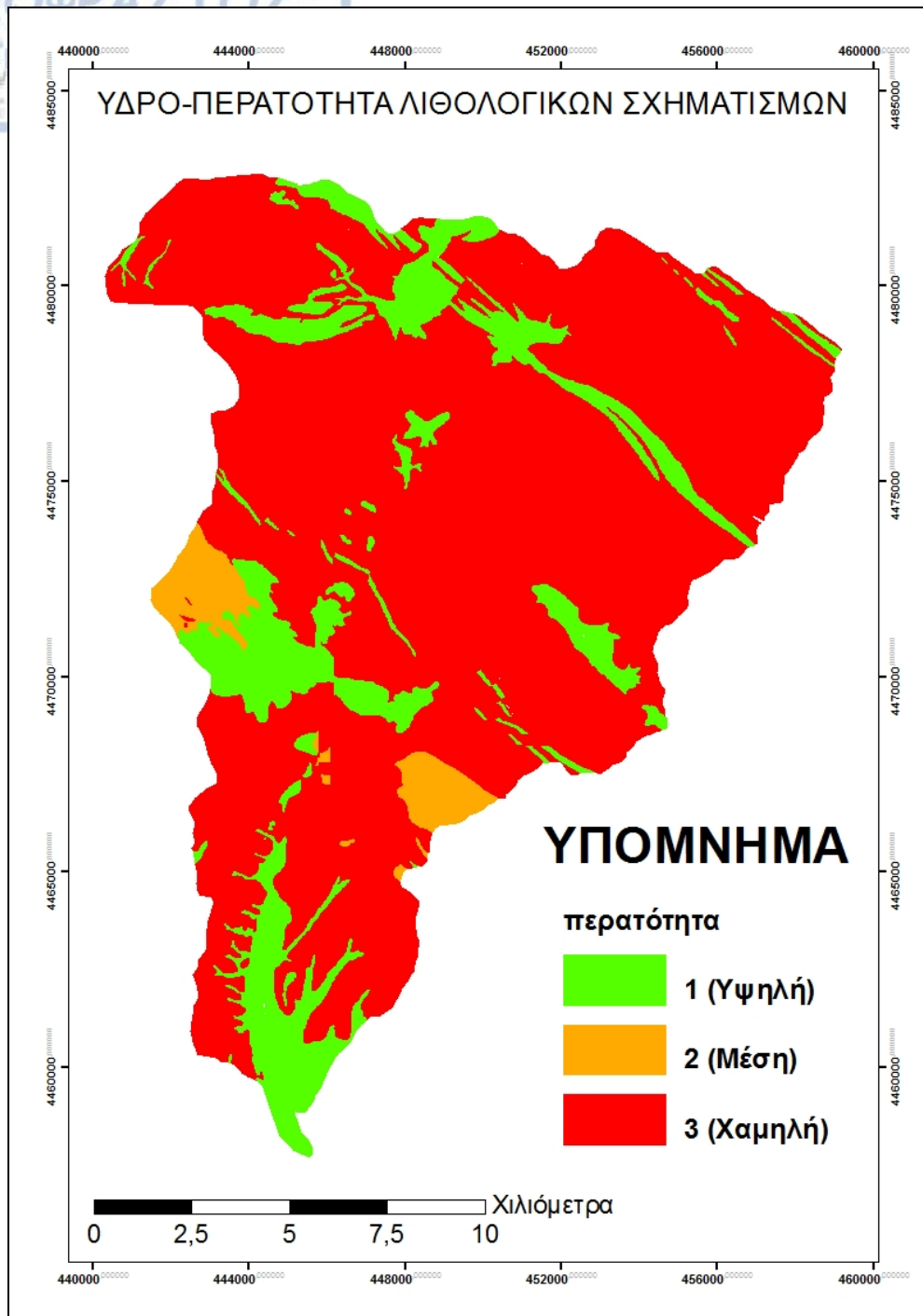
#### Περατότητα / Διαβάθμιση

1/υψηλή → μάρμαρα, αναβαθμίδες, αποθέσεις ελουβιακός μανδύας, κατώτερη αναβαθμίδα, ανώτερη αναβαθμίδα, κορήματα, κροκαλοπαγή

2/μέτρια → δουνίτης, διορίτης, γάββρος

Αρχικά, για την παραπάνω κατηγοροποίηση έγινε πρώτα ομαδοποίηση των σχηματισμών της περιοχής με αποτέλεσμα την εξαγωγή των παραπάνω ομάδων πετρωμάτων.

3/χαμηλή → χαλαζίτες, φυλλίτες, πυροξενίτης, πλαγιοκλαστικός γνεύσιος, επιγνεύσιοι, διμαρμαρυγιακός γνεύσιος, άργιλοι, αργιλικοί σχιστόλιθοι

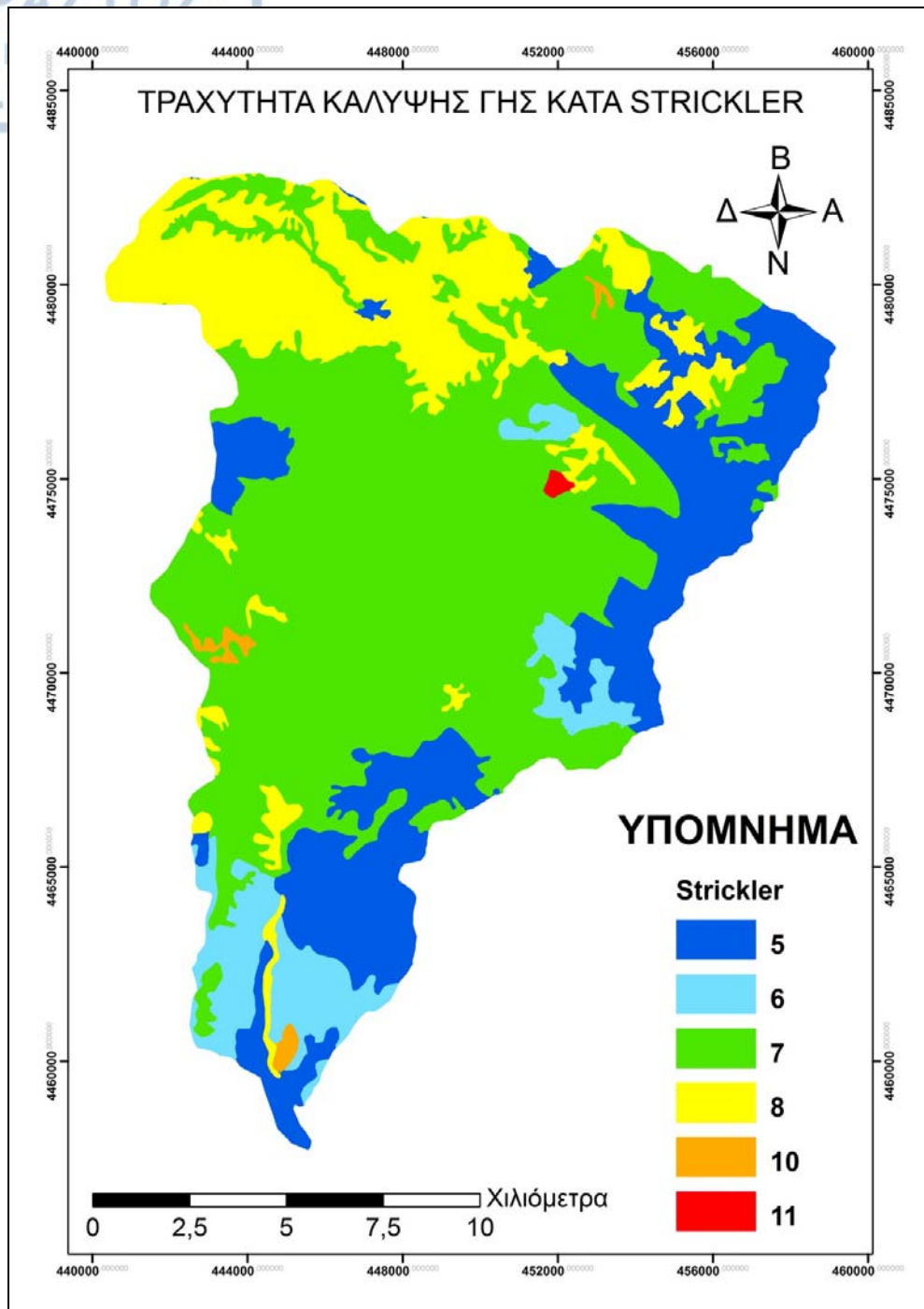


Χάρτης 2: Χάρτης περατότητας λιθολογικών σχηματισμών περιοχής μελέτης.

### 6.2.3) Κάλυψη γης- Τραχύτητα

Σε κάθε χρήση γης του χάρτη της περιοχής μελέτης, δόθηκε μία τιμή ανάλογα με την τραχύτητα που παρουσιάζει η εκάστοτε χρήση. Οι κατηγορίες τραχύτητας ορίστηκαν ως εξής: 5 , 6 ,7 ,8,10, 11 (Πίνακας 1). Η τιμή 5 αντιστοιχεί σε επιφάνεια μεγάλης τραχύτητας ενώ καθώς αυξάνουν τα νούμερα μειώνεται ο βαθμός τραχύτητας. Έτσι η τιμή 11 αντιστοιχεί σε λεία επιφάνεια. Οι τιμές αυτές προέκυψαν βασιζόμενες στον συντελεστή Strickler (Strickler coefficient) (e-EcoRisk, 2004), ο οποίος δίνει μία τιμή τραχύτητας σε κάθε χρήση γης του προγράμματος CORINE LAND COVER 2000. Τα αποτελέσματα δίνονται στον χάρτη 3) Μικρή τιμή τραχύτητας σε μία περιοχή (μεγάλη τιμή συντελεστή Strickler) ευνοεί την κίνηση του νερού προς τα κατάντη με αποτέλεσμα να το καθιστά περισσότερο επικίνδυνο. Αντίθετα , όσο αυξάνεται ο βαθμός τραχύτητας (μειωμένη τιμή Strickler) αυξάνεται και η αντίσταση που συναντά το νερό στην κίνησή του με συνέπεια την μείωση της ταχύτητάς του και επομένως και της επικινδυνότητάς του.

<b>Κωδικός κάλυψης γης</b>	311	211	323	324	313	243	321	112	242	334	312	131	223	221	331
<b>Strickler</b>	5	8	7	7	5	7	10	5	6	11	5	10	5	5	8



Χάρτης 3:Χάρτης τραχύτητας κάλυψης γης βάσει του συντελεστή Strickler.

#### 6.2.4) Φυτοκάλυψη-Δείκτης Βλάστησης NDVI

Η τεχνική της διαίρεσης (λόγου) φασματικών ζωνών που εξετάστηκε προηγουμένως, βρίσκει εφαρμογή στον υπολογισμό των λεγόμενων δεικτών βλάστησης (vegetation indices). Βιβλιογραφικά υπάρχουν αρκετοί δείκτες βλάστησης και πολλές εργασίες σχετικά με τη χρήση τους, όμως το βασικό σκεπτικό είναι, πως ο λόγος του κοντινού υπέρυθρου προς το ερυθρό είναι συνήθως υψηλός στην περίπτωση της υγιούς βλάστησης. Αυτό σημαίνει, ότι σε περίπτωση ασθένειας ή έλλειψης βλάστησης, παρατηρείται μείωση της ανάκλασης στο κοντινό υπέρυθρο και αύξηση της ανάκλασης στο ερυθρό (Συλλαίος, 2000). Στην παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκε αρχικά ο «Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς» (Normalized Difference Vegetation Index / NDVI), ο οποίος ορίζεται ως εξής (Συλλαίος 2000, Φουρνιάδης κ.α. 2002, Gupta, 2003):

$$NDVI = (N.IR - R) / (N.IR + R)$$

όπου NI.R (Near Infrared) είναι η φασματική ζώνη του κοντινού υπέρυθρου και R(Red) η φασματική ζώνη του ερυθρού. Για τις εικόνες του Θεματικού Χαρτογράφου (TM) του δορυφόρου LANDSAT 7, ο παραπάνω δείκτης βλάστησης παίρνει τη μορφή (Συλλαίος 2000, Φουρνιάδης κ.α. 2002):

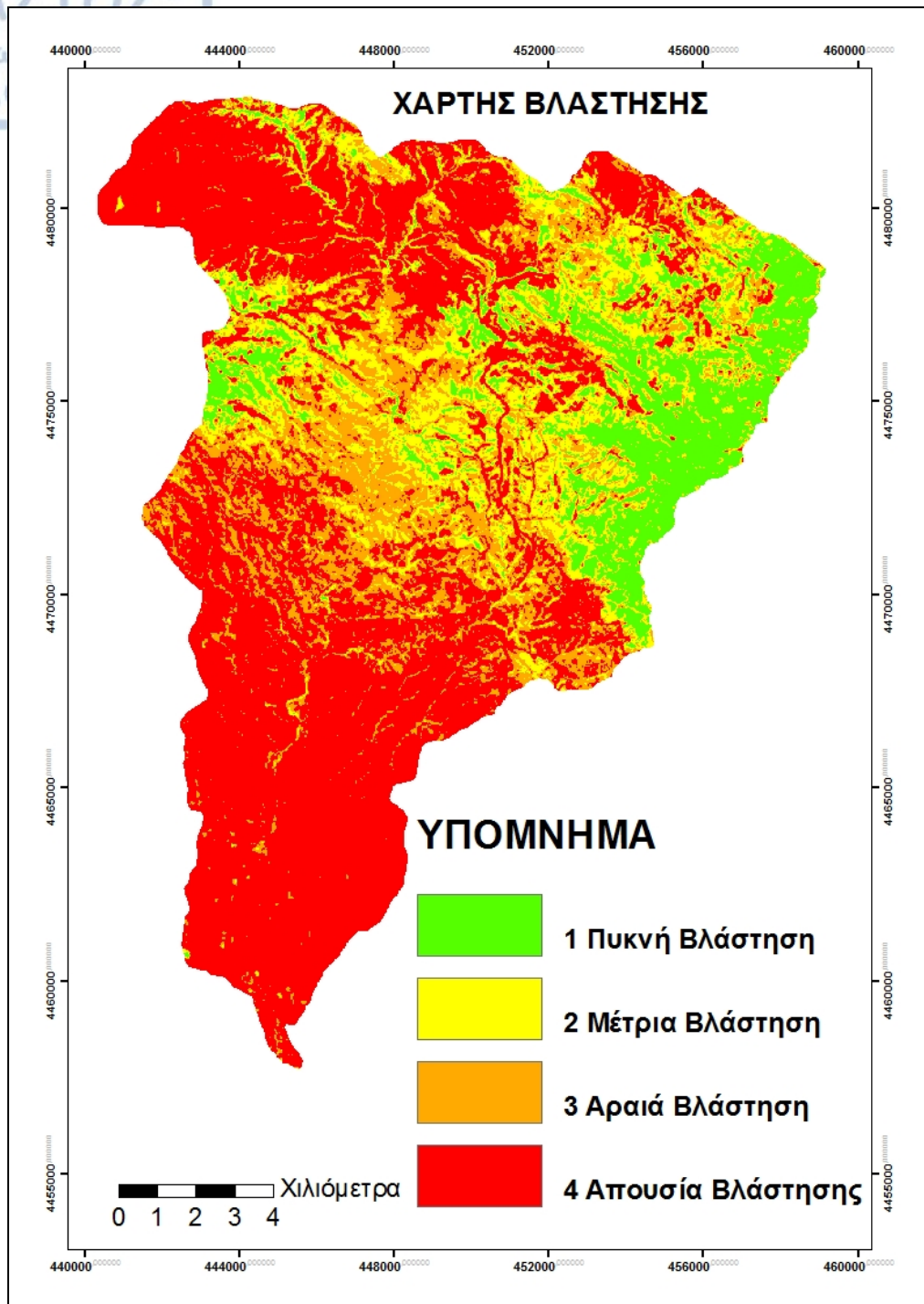
$$NDVI = ((ETM+4) - (ETM+3)) / ((ETM+4) + (ETM+3))$$

Ο δείκτης βλάστησης NDVI, λαμβάνει τιμές από -1 έως +1 (οι οποίες ανάγονται στις ραδιομετρικές τιμές 0-255). Η τιμή -1 αντιπροσωπεύει πλήρη απουσία βλάστησης, ενώ η τιμή +1 πλήρη κάλυψη από βλάστηση. Με αυτό τον τρόπο, οι περιοχές της εικόνας με υψηλές τιμές NDVI (ανοιχτό τεφρό χρώμα), είναι αυτές που καλύπτονται από βλάστηση, λόγω της υψηλής ανακλαστικότητας της βλάστησης στο κοντινό υπέρυθρο και

της χαμηλής στο ερυθρό. Αντίθετα, οι περιοχές της εικόνας με χαμηλές τιμές NDVI (σκούρο τεφρό χρώμα), είναι αυτές που παρατηρείται απουσία βλάστησης, όπως είναι οι οικιστικές περιοχές, τα αεροδρόμια, το γυμνό έδαφος (περιοχές διάβρωσης). Η κατανομή της βλάστησης στην περιοχή μελέτης προέκυψε από τον Δείκτη Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς (Normalized Difference Vegetation Index/NDVI).

Στην εικόνα αυτή Landsat-7/ETM+ εφαρμόστηκε η τεχνική της διαστρωμάτωσης της πυκνότητας (density slicing) με την βοήθεια του λογισμικού ENVI. (Sabins F., 1997, Drury, 1993, Οικονομίδης, 2000). Η τεχνική αυτή επιτρέπει την επιλογή τάξεων και τον ορισμό χρωμάτων με σκοπό την οπτική τους ενίσχυση. Ορίστηκαν οι εξής τέσσερις κατηγορίες βλάστησης: απουσία βλάστησης, αραιή βλάστηση, μέτρια βλάστηση και πυκνή βλάστηση. Τα αποτελέσματα δίνονται στο χάρτη βλάστησης. Τα αποτελέσματα δίνονται στο χάρτη 4. Η διαβάθμιση που δόθηκε σε κάθε κατηγορία βλάστησης αντιστοιχεί στην επικινδυνότητά της. Απουσία βλάστησης (διαβάθμιση 4) ευνοεί την κίνηση του νερού προς τα κατάντη καθώς το νερό δεν συγκρατείται και ρέει με μεγαλύτερη ταχύτητα με αποτέλεσμα να το καθιστά επικίνδυνο. Αντίθετα όσο αυξάνεται ο βαθμός φυτοκάλυψης (πυκνή βλάστηση (διαβάθμιση 1) αυξάνεται και η αντίσταση που συναντά το νερό στην κίνησή του καθώς αυτό συγκρατείται από το σύστημα των ριζών των φυτών με συνέπεια την μείωση της ταχύτητάς του και της επικινδυνότητάς του.





Χάρτης 4: Ταξινόμηση της βλάστησης στην περιοχή μελέτης.

### 6.3) Χάρτης επιδεκτικότητας της περιοχής στις πλημμύρες

Τα επίπεδα πληροφοριών που δημιουργήθηκαν από τα παραπάνω κριτήρια συναξιολογήθηκαν έτσι ώστε να προκύψει ο τελικός χάρτης επιδεκτικότητας της περιοχής μελέτης στις πλημμύρες. Η συναξιολόγηση πραγματοποιήθηκε έπειτα από τον προσδιορισμό του ποσοστού με το οποίο επιδρά ο κάθε παράγοντας στην εκδήλωση πλημμυρικού επεισοδίου στην περιοχή. Υπολογίστηκαν δηλαδή τα «βάρη» για κάθε παράγοντα.

Για τον υπολογισμό των «βαρών» κάθε παράγοντα χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της «Διαδικασίας της Αναλυτικής Ιεραρχίας» (Analytical Hierarchy Process/AHP), μία μεθοδολογία πολυμεταβλητής μοντελοποίησης η οποία αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε αρχικά από τον Saaty (Saaty, 1980). Σύμφωνα με την παραπάνω μέθοδο, σχηματίστηκαν όλα τα πιθανά ζεύγη όλων των παραγόντων και εν συνεχεία δόθηκε σε κάθε παράγοντα μία αριθμητική τιμή, ανάλογα με το πόσο σημαντικός θεωρείται ένας παράγοντας σε σχέση με κάποιον άλλο. Κλασματικές τιμές δείχνουν ότι ένας παράγοντας είναι λιγότερο σημαντικός από έναν άλλον.

Στον Πίνακα 1 που ακολουθεί δίνεται η μετατροπή της προτίμησης των παραγόντων σε αριθμητικές τιμές.

Προτίμηση	ενός	Αριθμητική τιμή
-----------	------	-----------------

παράγοντα σε σύγκριση με κάποιον άλλο	
ολύ σημαντικός	7
Αρκετά σημαντικός	5
Μέτρια σημαντικός	3
Εξίσου σημαντικός	1
Διαστήματα μεταξύ των προτιμήσεων	2,4,6

(Πίνακας 1)

Με τη βοήθεια του Πίνακα 2 εφαρμόστηκε η μέθοδος του αριθμητικού μέσου (arithmetic mean method) για τον υπολογισμό των βαρών του κάθε παράγοντα. Τα αποτελέσματα δίνονται στον Πίνακα 3.

Εφαρμόστηκε η μέθοδος του αριθμητικού μέσου (arithmetic mean method) για τον υπολογισμό των βαρών του κάθε παράγοντα. Με την παραπάνω διαδικασία υπολογίστηκαν τα βάρη των παραγόντων: τοπογραφικός δείκτης υγρασίας, περατότητα πετρωμάτων, τραχύτητα κάλυψη γης και δείκτης βλάστησης ως εξής:  $w_1=0,584$  ,  $w_2=0,248$  ,  $w_3=0,103$  ,  $w_4=0,065$ . Στην συνέχεια οι διαβαθμίσεις που δόθηκαν σύμφωνα με τον κάθε παράγοντα πολλαπλασιάστηκαν με το αντίστοιχο βάρος και αθροίστηκαν μεταξύ τους για την παραγωγή του τελικού χάρτη επιδεκτικότητας.

Έτσι η τελική τιμή  $M$  για κάθε εικονοστοιχείο της περιοχής μελέτης δίνεται από τον τύπο:

$$M = w_1 X_1 + w_2 X_2 + w_3 X_3 + w_4 X_4$$

Όπου  $X_1, X_2, X_3, X_4$  οι διαβαθμίσεις για κάθε παράγοντα  
 (Ahmadi H. And Esmali A., 2003 από Δομινίκη, 2005)

	Τοπογραφικός δείκτης υγρασίας	Περατότητα πετρωμάτων	Τραχύτητα χρήσεων – κάλυψης	Δείκτης βλάστησης
Τοπογραφικός δείκτης υγρασίας	1	3	6	7
Περατότητα πετρωμάτων	1/3	1	3	4
Τραχύτητα χρήσεων – κάλυψης	1/6	1/3	1	2
Δείκτης βλάστησης	1/7	1/4	1/2	1
Σύνολο	1,643	4,583	10,500	14

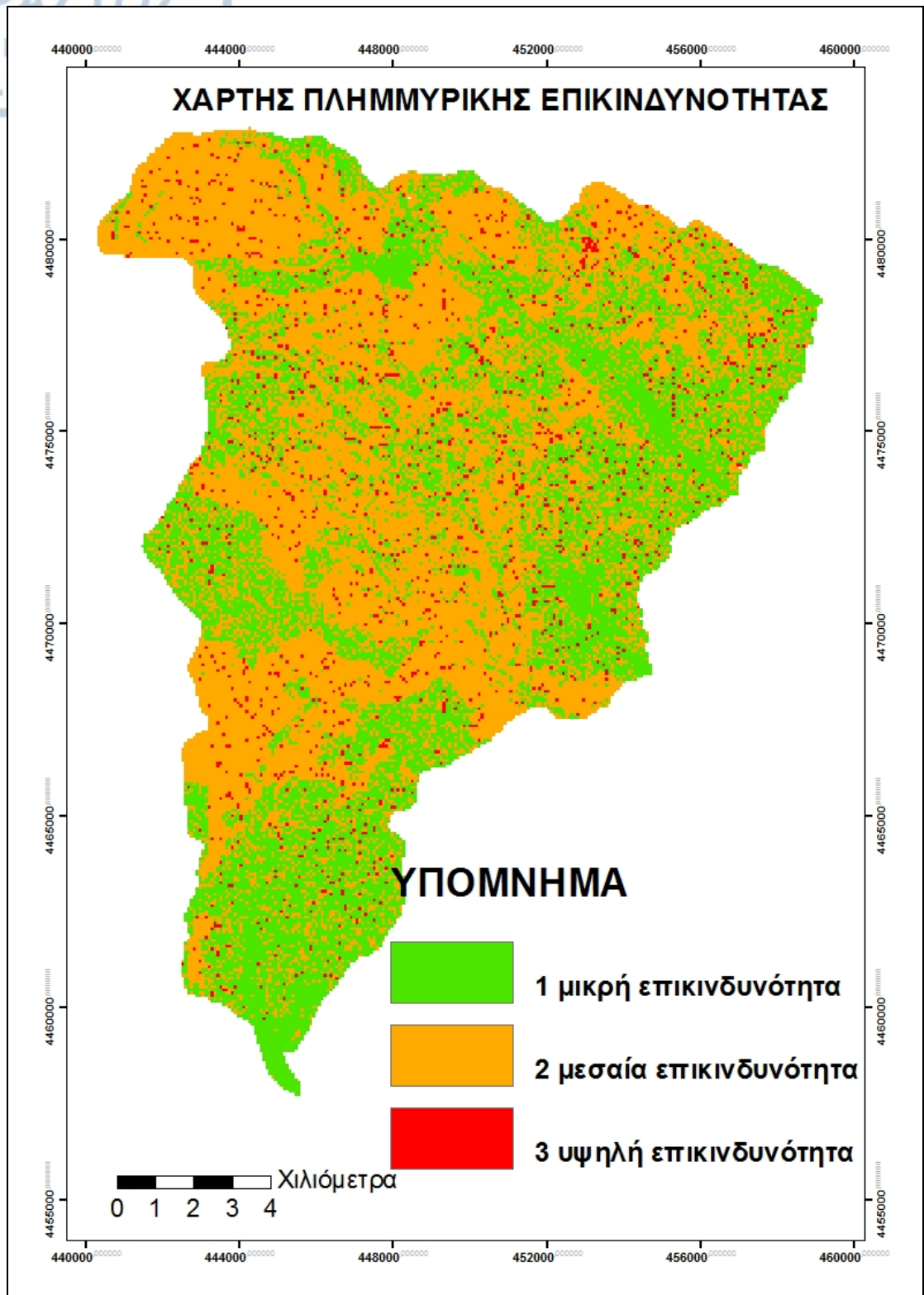
(Πίνακας 2)

	Τοπογραφικό ς δείκτης υγρασίας	Περατότητα α πετρωμάτων	Τραχύτητα α χρήσεων – κάλυψης γης	Δείκτης βλάστη σης	Μέσος Όρος
Τοπογραφικό ς δείκτης υγρασίας	0,609	0,655	0,571	0,500	0,584
Περατότητα πετρωμάτων	0,203	0,218	0,286	0,286	0,248
Τραχύτητα χρήσεων – κάλυψης γης	0,101	0,073	0,095	0,143	0,103
Δείκτης βλάστησης	0,087	0,055	0,048	0,071	0,065

(Πίνακας 3)

Στη συνέχεια ακολουθεί ο χάρτης επιδεκτικότητας στις πλημμύρες (χάρτης 6.3) και τα συμπεράσματα στα οποία καταλήγουμε.





Χάρτης 6.3:Χάρτης επιδεκτικότητας της περιοχής μελέτης στις πλημμύρες.

## 7) Συμπεράσματα

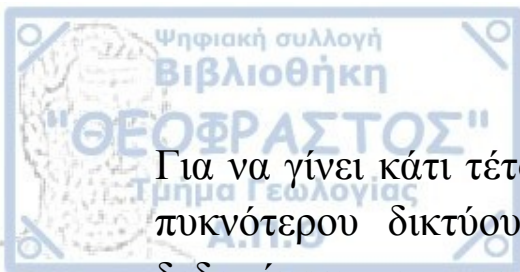
Με βάση τις διαδικασίες που αναφέρθηκαν προηγουμένως, καταλήξαμε στην εξαγωγή του χάρτη επιδεκτικότητας. Ο χάρτης επιδεκτικότητας της περιοχής στις πλημμύρες προέκυψε έπειτα από συναξιολόγηση των παραμέτρων του τοπογραφικού δείκτη υγρασίας, της περατότητας των πετρωμάτων, της τραχύτητας κάλυψης γης και της φυτοκάλυψης. Με κόκκινο χρώμα στο χάρτη απεικονίζονται οι περιοχές οι με υψηλές τιμές επιδεκτικότητας ενώ με σκούρο μπλε χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές με χαμηλό δείκτη επιδεκτικότητας.

Από την υπέρθεση των οικισμών στο χάρτη προκύπτει πως οι περιοχές με υψηλό δείκτη επιδεκτικότητας βρίσκονται διάσπαρτοι στο χάρτη αλλά κυρίως εντοπίζονται στο βόρειο τμήμα της λεκάνης απορροής της περιοχής μελέτης. Ενώ περιοχές οι οποίες βρίσκονται στο νότιο τμήμα του χάρτη παρουσιάζουν χαμηλό δείκτη επικινδυνότητας.

Σ αυτό το σημείο αξίζει να επισημανθεί ότι:

-Ο χάρτης επιδεκτικότητας που κατασκευάστηκε με τη μέθοδο που αναπτύχθηκε προηγουμένως, εμπεριέχει σε μεγάλο βαθμό υποκειμενικές κρίσεις, καθώς οι παράγοντες που λήφθηκαν υπόψη αλλά και η σημαντικότητα αυτών επιλέχθηκαν με εμπειρικό τρόπο από τη στιγμή την οποία δεν υπάρχει ακριβής μεθοδολογία για τον σκοπό αυτό.

-Για την εξαγωγή περισσότερο αξιόπιστων στοιχείων σχετικά με την επιδεκτικότητα των περιοχών στις πλημμύρες, είναι απαραίτητη η παρουσία δεδομένων που αφορούν τις βροχοπτώσεις αλλά και ιστορικές καταγραφές πλημμυρών παλαιότερων περιόδων.



Για να γίνει κάτι τέτοιο εφικτό, κρίνεται απαραίτητη η ύπαρξη πυκνότερου δικτύου μετεωρολογικών οργάνων και βάσεων δεδομένων με στοιχεία πλημμυρών που έχουν συμβεί στον Ελλαδικό χώρο κατά το παρελθόν. Στη δημιουργία τέτοιων βάσεων δεδομένων σημαντικό ρόλο μπορούν να διαδραματίσουν οι δορυφορικές εικόνες. Με τη βοήθεια των δορυφόρων η βάση δεδομένων θα ενημερώνεται συνεχώς , βελτιώνοντας τα επίπεδα πληροφοριών που θα χρησιμοποιούνται εν συνεχεία στη δημιουργία χαρτών επιδεκτικότητας.

Ελληνική

Αλεξάκης, Δ., 2003: «Διαχρονική παρακολούθηση του όρους Καμήλα και της ευρύτερης περιοχής, με τη βοήθεια της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών». Μία περιβαλλοντική προσέγγιση, Διατριβή Ειδίκευσης, Α.Π.Θ., Τμήμα Γεωλογίας, Θεσσαλονίκη.

Αστάρας, Θ., 2010 «Τηλεπισκόπηση –Φωτοερμηνεία στις Γεωεπιστήμες», Εκδοτική Γκιούρδας, Θεσσαλονίκη, 484 σελ.

Αστάρας, Θ., Οικονομίδης, Δ., Μουρατίδης, Α., 2008: «Ψηφιακή Χαρτογραφία και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (G.I.S)», πανεπιστημιακές σημειώσεις, Α.Π.Θ., Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας, Εργαστήριο Εφαρμογών Τηλεπισκόπησης και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, Θεσσαλονίκη.

Δομακίνης, Χ., 2005: Η χρήση της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στη χαρτογράφηση κατολισθήσεων, στην παράκτια περιοχή Στρυμονικού Κόλπου – Καβάλας, Διατριβή Ειδίκευσης, Α.Π.Θ., Τμήμα Γεωλογίας, Θεσσαλονίκη.

Καρτέρης, Μ. Α., 2004: Τηλεπισκόπηση περιβάλλοντος, Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.

Λέκκας, Ε.Λ., 1996: Φυσικές και τεχνολογικές καταστροφές, Ε.Κ.Π.Α., Αθήνα, σελ. 45, 77 - 89.

Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.), 1978: Γεωλογικός χάρτης κλίμακας 1:50.000, φύλλο: Αρναία, Αθήνα.

Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.), 1972: Γεωλογικός χάρτης κλίμακας 1:50.000, φύλλο: Πολύγυρος, Αθήνα.

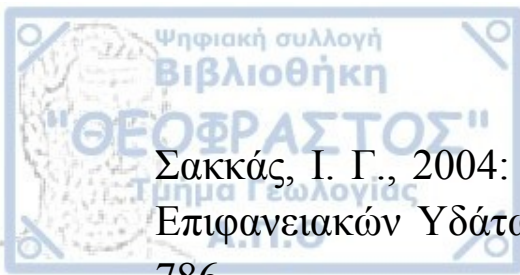
Μπαντέλας, Α.Γ., Σαββαΐδης, Π.Δ., Υφαντής, Ι.Μ. και Δούκας, Ι.Δ., 1995: Γεωδαισία: «Γεωδαιτικά όργανα και μέθοδοι μέτρησης και υπολογισμών». Εκδοτικός Οίκος Αφοί Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη, σελ 501.

Μουρατίδης, Α., 2005: «Συγκριτική αξιολόγηση των δορυφορικών εικόνων ραντάρ και των πολυφασματικών δορυφορικών εικόνων στον εντοπισμό και τη χαρτογράφηση φωτογραμμώσεων: Παραδείγματα από περιοχές της Β. Ελλάδας», Διατριβή Ειδίκευσης, Α.Π.Θ., Τμήμα Γεωλογίας, Θεσσαλονίκη.

Νικολαΐδου, Μ., 2009: «Χρήση της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών για την καταγραφή των Πλημμυρών της ορεινής περιοχής νότιας της λίμνης Βόλβης. Μια Περιβαλλοντική προσέγγιση», Διατριβή Ειδίκευσης, Α.Π.Θ., Τμήμα Γεωλογίας, Θεσσαλονίκη, σελ 165.

Οικονομίδης, Δ., 2000: «Συμβολή της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) στην γεωλογική, κοιτασματολογική και περιβαλλοντική έρευνα της ΒΑ Χαλκιδικής», Διδακτορική διατριβή, ΑΠΘ, Τμήμα Γεωλογίας, Θεσσαλονίκη, σελ 136.





Σακκάς, Ι. Γ., 2004: «Τεχνική Υδρολογία, Τομος 1 Υδρολογία Επιφανειακών Υδάτων», Εκδόσεις Αϊβαζη, Θεσσαλονίκη, σελ. 786.

Σούλιος, Γ.Χ., 1996: «Γενική Υδρογεωλογία, Α.Π.Θ., University Studio Press», Θεσσαλονίκη, σελ373.

Συλλαίος, Ν., 2000: «Εισαγωγή στην Τηλεπισκόπηση και στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, Τόμος Α, Εισαγωγή στην Τηλεπισκόπηση», Γιαχούδη- Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη, σελ. 205.

Φουρνιαδης, Ι., Οικονομίδης, Δ. & Αστάρας, Θ., 2002: «Εντοπισμός περιοχών επιδεκτικών σε διάβρωση, με τη βοήθεια των Γεωγραφικών Συστημάτων». Πανελλήνιου Γεωγραφικού Συνεδρίου της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρίας, Θεσ/νίκη 3-6 Οκτωβρίου 2002,τόμος ΙΙ.

### Ξενόγλωσση

Burrough, P. A., McDonnell R. A., 2000. «Principles of Geographical Information Systems», Oxford University Press Inc., New York, 333 p.

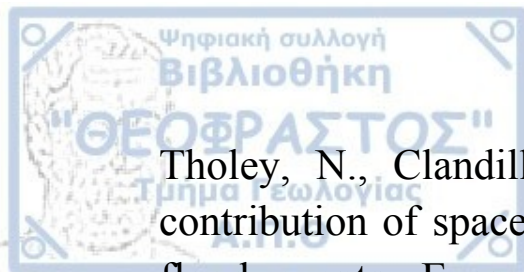
Demek, J., 1972.: «Manual of detailed geomorphological mapping». Academia,Prague, 344 p.

ESRI 2001 (a): Using ArcGIS Spatial Analyst. Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, USA.240 p.

ESRI 2001 (b): Using ArcGIS 3D Analyst. Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, USA.220 p.

ESRI 2001 (c): Editing in ArcMap. Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, USA.240 p.





Tholey, N., Clandillon, S. And P. De Fraipont, 1997: «The contribution of spaceborne SAR and optical data in monitoring flood events: Examples in Northern and Southern France». Hydrological Processes, Vol. 11, pp. 1409-1413.