

**ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΠΜΣ ΤΟΜΕΑ ΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ
ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ**

ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

**ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ
ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΤΗ
ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΩΝ
ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ(ΓΣΠ-GIS).ΕΝΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ
ΑΠΟ ΤΗ ΒΑ.ΧΑΛΚΙΔΙΚΗ.**

**ΠΑΠΠΑ ΜΑΡΙΑ
ΓΕΩΛΟΓΟΣ**

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2012

ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

ΠΑΠΠΑ ΜΑΡΙΑ

ΓΕΩΛΟΓΟΣ

**ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ
ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ
ΚΑΙ ΤΩΝ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ(ΓΣΠ-
GIS).ΕΝΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΑΠΟ ΤΗ ΒΑ.ΧΑΛΚΙΔΙΚΗ.**

Υπό την επίβλεψη του:

Δημητρίου Οικονομίδη, Λέκτορα

Και των μελών της συμβουλευτικής επιτροπής

Κωνσταντίνου Βουδούρη, Επίκουρο Καθηγητή

Θεόδωρου Αστάρη, Ομότιμου Καθηγητή

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ , 2012

***Αφιερώνεται στους γονείς μου
για τη συνεχή υποστήριξη, συμπαράσταση
και κατανόηση που μου προσφέρουν.***

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ - ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	7
ABSTRACT.....	8
1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	9
1.2. Η ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ.....	9
1.3 ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ - ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ.....	11
1.3.1 Γενικά- Φυσικές Καταστροφές.....	11
1.3.2. Πλημμύρες	12
1.3.2.1. Μέγεθος και συχνότητα πλημμυρών	14
1.3.2.2. Κατηγορίες Πλημμυρών	16
1.3.2.3. Επικινδυνότητα πλημμυρών	17
1.3.2.4. Πλημμυρική επικινδυνότητα του Ελληνικού χώρου	18
1.3.2.5. Προληπτικά και ρυθμιστικά μέτρα	19
1.3.2.6. Περιοχές επιρρεπείς σε πλημμύρες.....	22
1.3.3. Οδηγία 2007/60 για τη διαχείριση του κινδύνου πλημμύρας.....	23
1.3.4. Συμπερασματικά	25
2. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	26
2.1 ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ.....	26
2.2 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	26
2.2.1 Γεωγραφική τοποθέτηση περιοχής μελέτης	28
2.2.2. Κλιματικά-Μετεωρολογικά χαρακτηριστικά.....	30
2.2.3. Κάλυψη Γής (CORINE LAND COVER 2000).....	33
2.2.4. Γεωμορφολογία περιοχής μελέτης.....	37
2.2.5. Γεωλογικά στοιχεία περιοχής μελέτης.....	42
2.2.6. Υδρολογία περιοχής μελέτης	48
3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΣΤΟ ΣΤΡΑΤΩΝΙ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ ...	51
4.ΥΛΙΚΑ – ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	53
4.1. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ.....	53
4.2. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΑ ΚΑΙ ΑΛΛΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	53
4.3. ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ.....	54
4.3.1. Εικόνες ραντάρ (Synthetic Aperture Radar/SAR).....	54
4.3.2. Λοιπές πολυφασματικές εικόνες.....	54

4.4. ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ	55
4.5. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	56
4.6. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	56
5. ΨΗΦΙΑΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ GIS ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ	59
5.1. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ.....	59
5.2. ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΓΣΠ	59
5.3 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ	63
5.3.1. Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου (DEM)	63
5.3.2. Χάρτης κλίσεων.....	66
5.3.3. Χάρτης προσανατολισμού κλιτύων	69
5.3.4. Χάρτης σκιασμένου αναγλύφου	71
5.3.5. Κατεύθυνση Ροής (Flow direction)	73
5.3.6. Συσώρευση ροής (Flow accumulation).....	75
5.4. ΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (ΓΣΠ-GIS) ΣΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ.....	77
5.4.1. Τοπογραφία – Τοπογραφικός Δείκτης Υγρασίας (Topographic Wetness Index).78	
5.4.2. Λιθολογία – Περαιτότητα Πετρωμάτων	81
5.4.3. Τραχύτητα – Κάλυψη Γής (Roughness – Land cover)	85
5.4.4. Δείκτης Βλάστησης – Φυτοκάλυψη (NDVI).....	87
5.5. ΧΑΡΤΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΙΣ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ.....	93
6. Η ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΣΤΗ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ – ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	101
6.1. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ.....	101
6.2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ-ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ ΡΑΝΤΑΡ...101	
6.3. ΟΠΙΣΘΟΣΚΕΔΑΣΗ (BACKSCATTERING) ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ.....	103
6.4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΩΝ ΡΑΝΤΑΡ	105
6.4.1. Εισαγωγή – Φίλτρα <i>Enhanced Lee</i>	105
6.4.2. Εντοπισμός πλημμυρισμένων περιοχών – Μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν.. 113	
6.4.3 Τεχνικές Ανίχνευσης Αλλαγών.....	113
6.4.3.1. Ψευδοχρωματική απεικόνιση.....	114
6.4.3.2. Ανίχνευση αλλαγών με εφαρμογή αριθμητικών πράξεων.....	119
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	135
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ - ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ	141
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	143

ΠΡΟΛΟΓΟΣ - ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι φυσικές καταστροφές αποτελούν διακριτά (ή και όχι) φαινόμενα στον χώρο και στον χρόνο που πλήττουν τον κοινωνικό περίγυρο, προκαλώντας ανθρώπινες απώλειες και τραυματισμούς, οικονομικές και υλικές ζημιές, καθώς και διάχυτη αναταραχή στα εκάστοτε κοινωνικοοικονομικά συστήματα.

Με την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας, ελπίζω να συνεισφέρω έστω και στο ελάχιστο σε ένα καλύτερο αύριο για τους ανθρώπους οι οποίοι υπόκεινται στην ορμή των φυσικών δυνάμεων και καταστροφών.

Ανεξάρτητα δε από το αντίκρισμα της συμβολής μου, προτού κλείσει αυτό το προλογικό σημείωμα, θα ήθελα να αποδώσω τις ευχαριστίες μου στους ανθρώπους που επέτρεψαν, διευκόλυναν, ή/και ενίσχυσαν τις προσπάθειές μου για την πραγματοποίηση αυτής της διπλωματικής εργασίας. Θα ήθελα λοιπόν, κατ' αρχήν, να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου για την ευκαιρία που μου δόθηκε να συμμετάσχω σε αυτό το Πανεπιστημιακό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών.

Πιο συγκεκριμένα, θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς τον κύριο επιβλέποντά μου, Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας και διευθυντή του Τομέα Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας κ. Θεόδωρο Αστάρα, για την ουσιαστική και μεστή του καθοδήγηση στον τρόπο εκπόνησης της εργασίας (τόσο σε θεωρητικά, όσο και σε πρακτικά ζητήματα), του οποίου η οποιαδήποτε παρέμβασή είχε συμβουλευτικό χαρακτήρα και δεν σκόπευε στην χειραγώγηση των ερευνητικών επιδιώξεων αυτής της εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να υποβάλλω τις θερμότερες ευχαριστίες μου:

Στον Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας κ. Κωνσταντίνο Βουδούρη, μέλος της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής, για την επιστημονική προσφορά του κατά τη φοίτησή μου στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών.

Τον Λέκτορα του Τμήματος Γεωλογίας κ. Δημήτριο Οικονομίδη μέλος της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής, για τις επιστημονικές γνώσεις που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια της φοίτησής μου στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών και για την πολύτιμη βοήθεια σε θέματα Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών καθώς επίσης για τις διορθώσεις και χρήσιμες παρατηρήσεις που είχαν ως αποτέλεσμα την αρτιότερη παρουσίαση και συγγραφή αυτής

Τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος (European Space Agency / ESA) για την παραχώρηση των δορυφορικών εικόνων ραντάρ και την άψογη συνεργασία.

Τους συναδέλφους μου στην ειδίκευση «Γεωγραφία και Περιβάλλον» για την άριστη συνεργασία και την στήριξη και βοήθειά τους κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διατριβής.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συναδέλφους Δομακίνη Χρήστο, Χρυσάφη Αλεξάνδρα και Μακροβασίλη Κωνσταντίνα για την πολύτιμη βοήθεια σε θέματα Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών.

Τέλος το σύνολο του προσωπικού του Τομέα για την επιστημονική και υλική υποστήριξη.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διαχείριση των πλημμυρικών φαινομένων αποτελεί σήμερα πρώτης σημασίας ζήτημα για το περιβάλλον τόσο σε περιφερειακό όσο και σε τοπικό επίπεδο σε όλο τον κόσμο, επηρεάζοντας σημαντικά τον τρόπο ζωής και λειτουργίας των σύγχρονων πόλεων.

Για το λόγο αυτό η παρούσα εργασία, η οποία πραγματοποιήθηκε με αφορμή τις καταστροφικές πλημμύρες που έπληξαν το Νομό Χαλκιδικής και πιο συγκεκριμένα τη περιοχή του Στρατωνίου στις 10 Φεβρουαρίου 2010, έχει ως σκοπό την αξιολόγηση της συνεισφοράς της τεχνολογίας της Τηλεπισκόπησης και της τεχνολογίας των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) στην εκτίμηση της επικινδυνότητας/επιδεκτικότητας της περιοχής σε πλημμυρικά φαινόμενα και στον εντοπισμό πλημμυρισμένων περιοχών.

Αρχικά, στα πλαίσια της παρούσας διατριβής ειδίκευσης έπεται από κατάλληλη επεξεργασία δεδομένων από θεματικούς χάρτες (γεωλογικούς) και από την επεξεργασία του ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου, χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα αρχικά επίπεδα πληροφοριών :

- Υδρογραφικό δίκτυο
- Γεωλογικοί σχηματισμοί
- Κάλυψη γης
- Λεκάνες απορροής και όριο περιοχής μελέτης

από τα οποία στη συνέχεια, προέκυψαν νέα στοιχεία όπως χάρτες και τρισδιάστατες απεικονίσεις. Από αυτά επιλέχθηκαν τέσσερις παράγοντες (τοπογραφία, λιθολογία, χρήσεις γης, φυτοκάλυψη) ως οι σημαντικότεροι που επηρεάζουν το φαινόμενο των πλημμυρών στη περιοχή. Με συναξιολόγηση των παραγόντων αυτών έγινε η κατασκευή του χάρτη επιδεκτικότητας της περιοχής μελέτης στις πλημμύρες.

Στο δεύτερο μέρος της εργασίας γίνεται προσπάθεια να εντοπισθούν περιοχές που πλημμύρισαν από το επεισόδιο του Φεβρουαρίου 2010. Για να πραγματοποιηθεί αυτό χρησιμοποιήθηκαν τρεις εικόνες ASAR του δορυφόρου ENVISAT. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν 2 εικόνες πριν το επεισόδιο και μία μετά, οι οποίες παραχωρήθηκαν από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος. Στις εικόνες αυτές εφαρμόστηκαν μια σειρά τεχνικών ψηφιακής επεξεργασίας

εικόνων για τον εντοπισμό πλημμυρισμένων περιοχών όπως: η Ψευδοχρωματική απεικόνιση και οι Αριθμητικές πράξεις μεταξύ φασματικών τιμών των εικονοστοιχείων. Παρατηρήθηκε ότι οι περιοχές με νερό σε βάθος ήταν περισσότερες σε σχέση με αυτές όπου παρατηρήθηκε μεγάλη υγρασία.

ABSTRACT

The present study was carried out due to the floods that took place in the beginning of February 2010, in the prefecture of Halkidiki, causing numerous damages. The main purpose of the study was the utilization and the contribution of the Synthetic Aperture Radar (SAR) satellite technology and its' combined use with multispectral satellite images and Geographical Information Systems (GIS) to the evaluation of the vulnerability of the area in flood events and to the detection of flooded regions.

The first part of the study concentrates on the construction of susceptibility map, of area under study in flooding, by combining vulnerability elements, using the Analytical Hierarchy Process/ AHP (Saaty, 1980). The 4 major factors of a flood, taken into account were topography, lithology, land cover and vegetation cover. These factors were co-evaluated in order to produce the final map, which categorizes the area into zones of susceptibility to floods.

The main topic of the second part of the study was the delineation of the flooded areas of the February 2010 flood event. For the above purpose 3 ENVISAT ASAR images were used (two acquired before flood and one acquired after flood), provided by the European Space Agency.

Keywords. Floods, Envisat, GIS

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Οι πλημμύρες ανέκαθεν λογίζονταν ως οι κίνδυνοι που επηρέαζαν περισσότερους ανθρώπους και επέφεραν μεγαλύτερες οικονομικές συνέπειες, από ότι κάθε άλλος φυσικός κίνδυνος. Και αυτό διότι αποτελούν τους πλέον «κοινούς» κινδύνους, δεδομένης της εκτεταμένης γεωγραφικής διασποράς των ποτάμιων συστημάτων στο πρόσωπο της Γης. Αυτό άλλωστε έχει καταδείξει και ο Parker (2000), παραθέτοντας δεδομένα που καθιστούν τις πλημμύρες ως τα πλέον συνήθη εναύσματα για την πρόκληση καταστροφών, κατά τη διάρκεια του δευτέρου μισού του 20ου αιώνα.

Η επιστήμη της τηλεπισκόπησης σε συνδυασμό με τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ/GIS) εισήγαγαν νέες μεθόδους στη διαχείριση των φυσικών οικοσυστημάτων. Η δυνατότητα διαχρονικής παρακολούθησης της γήινης επιφάνειας σε ελάχιστο χρόνο και με μικρό σχετικά κόστος παρέχει τη δυνατότητα καταγραφής όλων των μεταβολών που συμβαίνουν στο φυσικό περιβάλλον και επομένως διευκολύνουν την αντιμετώπιση ή την πρόβλεψη πιθανών προβλημάτων που απορρέουν από αυτές τις μεταβολές

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε με αφορμή τις καταστροφικές πλημμύρες που έπληξαν το Νομό Χαλκιδικής το Φεβρουάριο του 2010 και πιο συγκεκριμένα στις περιοχές Στρατώνι και Γομάτι.

Σκοπός της εργασίας είναι η αξιολόγηση της συνεισφοράς της τεχνολογίας της Τηλεπισκόπησης και της τεχνολογίας Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών/ΓΣΠ στην καταγραφή πλημμυρικών φαινομένων, καθώς επίσης και στην εκτίμηση της επικινδυνότητας/επικινδυνότητας μιας περιοχής σε πλημμυρικά φαινόμενα με την κατασκευή χαρτών επιδεκτικότητας.

1.2. Η ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ.

Το περιβάλλον, η αειφόρος ανάπτυξη, η ατμόσφαιρα, το νερό και η βλάστηση, είναι πλέον θέματα παγκοσμίου ενδιαφέροντος και η προστασία τους απαιτεί την συλλογή στοιχείων, με αξιόπιστες μεθόδους σε πραγματικό, σε πολλές

περιπτώσεις, χρόνο και εξαγωγή πληροφοριών σε μορφή κατανοητή και άμεσα επεξεργάσιμη από χρήστες μη ειδικούς στα συστήματα αυτά. Η Τηλεπισκόπηση και τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, δύο σύγχρονες τεχνολογίες, είναι τα εργαλεία για την πραγματοποίηση των παραπάνω και για την εξερεύνηση νέων μεθόδων και τεχνικών.

Η ανάγκη της διαχείρισης του περιβάλλοντος, καθώς και η ανάγκη της πρόβλεψης των αλλαγών που θα συμβούν στο μέλλον, μέσω των διαχειριστικών πρακτικών των ανθρώπων, οδήγησε το επιστημονικό ενδιαφέρον στην μελέτη των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα και την συγκέντρωση των απαραίτητων δεδομένων με σκοπό την χωρική μοντελοποίηση των διεργασιών αυτών.

Σήμερα, μεγάλοι ιδιωτικοί και δημόσιοι οργανισμοί έχουν αντιληφθεί σε μεγάλο βαθμό τη χρησιμότητα της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ), ενώ δημιουργούνται μεγάλα διεθνή κέντρα για την διάθεση προϊόντων και υπηρεσιών σε σχετικές εφαρμογές ακόμη και από το διαδίκτυο (Google Earth). Η Ευρώπη αντιπροσωπεύεται από την ESA (European Space Agency) μόνιμο μέλος της οποίας έγινε σχετικά πρόσφατα και η Ελλάδα.

Τα ΓΣΠ έχουν να διαχειριστούν ένα μεγάλο όγκο ποικίλων πληροφοριών, οι οποίες άπτονται των διαφορετικών δραστηριοτήτων που επιτελούνται στο χώρο. Οι τοπογραφικοί χάρτες, το γεωργικό κτηματολόγιο, τα χωροταξικά σχέδια, τα πληθυσμιακά δεδομένα, οι χρήσεις γης, οι εδαφολογικοί, δασικοί και γεωλογικοί χάρτες, το περιβάλλον, η υδρολογία, κλπ, αποτελούν το πλήθος των στοιχείων που τα συστήματα αυτά καλούνται να διαχειριστούν

Με τις σύγχρονες αυτές τεχνολογίες και με την πληροφορική, προσφέρεται η δυνατότητα αποθήκευσης τεράστιου όγκου δεδομένων σε ηλεκτρονικές βάσεις, η δυνατότητα ταχείας αναθεώρησης θεματικών χαρτών και δεδομένων, η ταχεία ανάκτηση τους και η εφαρμογή σεναρίων (με άμεση οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων), στην πρόληψη πλημμυρών, στην καταγραφή (ποιοτικά και ποσοτικά) των συνεπειών καταστροφικών φαινομένων, κ.λπ. Με τη καταγραφή πληροφοριών υψομέτρου, ανάγλυφου, χρήσεων και καλύψεων γης και με την ανάλυση δορυφορικών εικόνων γίνεται δυνατή η διάκριση π.χ. υδρολογικών λεκανών, και η παραγωγή νέας πληροφορίας από ήδη υπάρχουσες, στοιχεία συμπληρωματικά και απαραίτητα στον σχεδιασμό πολιτικών.

1.3 ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ - ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ

1.3.1 Γενικά- Φυσικές Καταστροφές

Ο αριθμός των θανάτων και των ζημιών από τις φυσικές καταστροφές σε παγκόσμια κλίμακα αυξάνεται αν και δεν υπάρχει μια διεθνής βάση δεδομένων που να καταγράφει όλα αυτά τα γεγονότα. Παρόλα αυτά όμως, η συχνότητα με την οποία αντιμετωπίζονται με δυσμενείς επιπτώσεις στο κοινωνικό-οικονομικό σύστημα μειώνεται συνεχώς και αυτό λόγω της σημαντικής προόδου που έχει σημειωθεί στην πρόβλεψη, προειδοποίηση αλλά και στην αντιμετώπιση. Ο όρος φυσική καταστροφή έχει ορισθεί με τρεις διαφορετικούς τρόπους ως:

- ✓ “Τα στοιχεία εκείνα του φυσικού περιβάλλοντος που είναι βλαβερά για τον άνθρωπο και προκαλούνται από δυνάμεις ξένες και άγνωστες σε αυτόν”.
- ✓ “Η πιθανότητα εμφάνισης ενός δυνητικά καταστροφικού γεγονότος μέσα σε μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο και σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή”.
- ✓ “Μια φυσική ή ανθρωπογενής γεωλογική κατάσταση ή φαινόμενο κατά την οποία παρουσιάζεται πραγματικός ή δυνητικός κίνδυνος για την ανθρώπινη ζωή ή τις περιουσίες”.

Η φυσική καταστροφή μπορεί να αποτελεί μια ταχύτατη, στιγμιαία ή μεγάλη σύγκρουση του φυσικού περιβάλλοντος με το κοινωνικό-οικονομικό σύστημα. Πολλοί καθορίζουν το φαινόμενο πιο λεπτομερώς σαν "ένα γεγονός στο χώρο και στο χρόνο που απειλεί την κοινωνία ή κάποιο τμήμα της με σοβαρές ακούσιες επιπτώσεις που είναι αποτέλεσμα της ανεπάρκειας των προφυλάξεων οι οποίες μέχρι τότε θεωρούνταν ως επαρκείς"

Οι περιβαλλοντικές καταστροφές παρουσιάζουν κάποια κοινά χαρακτηριστικά:

- Η πηγή του καταστροφικού γεγονότος είναι σαφής και δημιουργεί χαρακτηριστικά αποτελέσματα (π.χ. η πλημμύρα προκαλεί 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 (πλημμύρες που προκαλούνται από την 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:

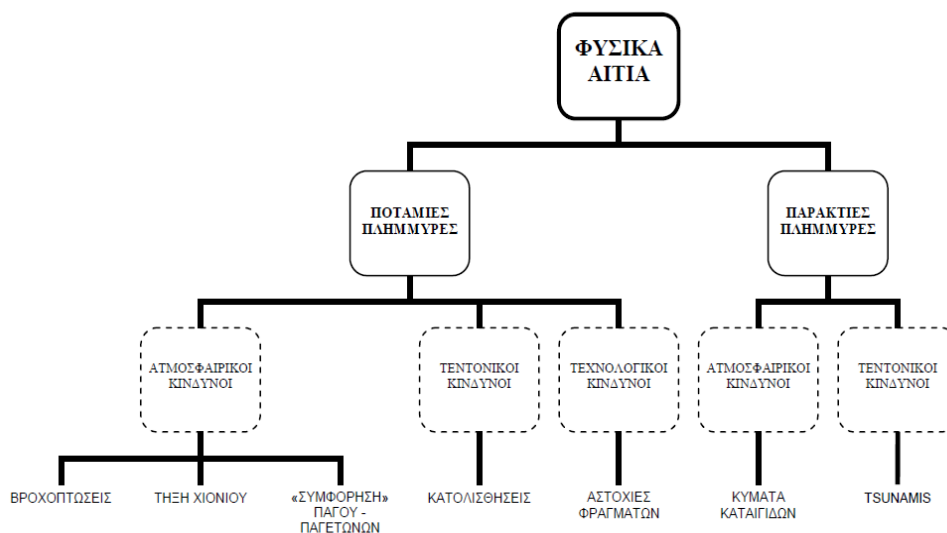
- τουλάχιστον 100 θανάτους ή,
- τουλάχιστον 100 τραυματισμούς ή,
- ζημιές τουλάχιστον 1 εκατομμυρίου δολαρίων.

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".(Από Λέκκα, 2000).*

1.3.2. Πλημμύρες

Οι πλημμύρες ανέκαθεν λογίζονταν ως οι κίνδυνοι που επηρέαζαν περισσότερους ανθρώπους και επέφεραν μεγαλύτερες οικονομικές συνέπειες, από ότι κάθε άλλος φυσικός κίνδυνος. Και αυτό διότι αποτελούν τους πλέον «κοινούς» κινδύνους, δεδομένης της εκτεταμένης γεωγραφικής διασποράς των ποτάμιων συστημάτων στο πρόσωπο της Γης. Αυτό άλλωστε έχει καταδείξει και ο Parker (2000), παραθέτοντας δεδομένα που καθιστούν τις πλημμύρες ως τα πλέον συνήθη εναύσματα για την πρόκληση καταστροφών, κατά τη διάρκεια του δευτέρου μισού του 20ου αιώνα.

Γενικά οι πλημμύρες (με τη γενική έννοια του όρου) οφείλουν την ύπαρξή τους σε πολλούς παράγοντες. Έτσι, ο «κατακλυσμός» χερσαίων εκτάσεων μπορεί να σημειωθεί τόσο σε παράκτιες, όσο και σε παρόχθιες εκτάσεις, ενώ οι γενεσιουργές αιτίες για τέτοια συμβάντα αποδίδονται σε ατμοσφαιρικά φαινόμενα, τεκτονικά φαινόμενα ή/ και στην ανθρώπινη παρέμβαση. Μια τέτοια διάκριση παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.(σχήμα 1).



Σχήμα 1. Φυσικά αίτια πλημμύρων σε σχέση με άλλους φυσικούς κινδύνους

Πηγή: Smith, 2004 (Τροποποίηση)

Σημείωση: Οι ατμοσφαιρικοί κίνδυνοι που «καταλήγουν» σε μεγάλες ποσότητες βροχόπτωσης, αποτελούν τις πιο σημαντικές πηγές πλημμυρικών κινδύνων.

Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε με τις ποτάμιες πλημμύρες, επομένως ως (ποτάμια) πλημμύρα θεωρείται η κατάσταση κατά την οποία η παροχέτευση (discharge) των υδάτων ενός ποταμού (ή τμήματός του) δεν μπορεί να επιτευχθεί διαμέσου της κανονικής του κοίτης, με αποτέλεσμα το νερό να την υπερβαίνει και να εξαπλώνεται στα γειτονικά εδάφη (Strahler and Strahler, 2003)(από Λέκκα 2000).

Οι περισσότερες ποτάμιες πλημμύρες είναι αποτέλεσμα δράσης **(i)** της συνολικής ποσότητας και κατανομής της βροχόπτωσης, **(ii)** της περατότητας του πετρώματος ή του εδάφους και **(iii)** της τοπογραφίας. Μερικές πλημμύρες είναι το αποτέλεσμα της τήξης των πάγων και του χιονιού κατά την άνοιξη, ή σε σπάνιες

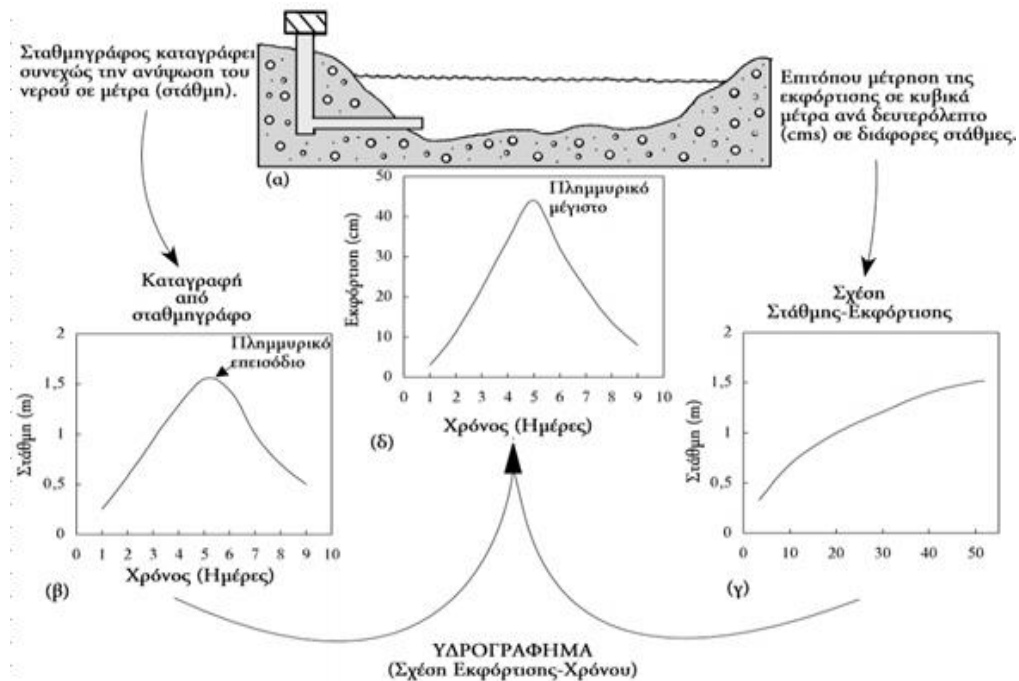
περιπτώσεις, της καταστροφής ενός φράγματος. Τέλος, η χρήση γης σε μικρές λεκάνες αποστράγγισης μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την πλημμύρα (Λέκκας, 2000).

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω γίνεται κατανοητό το πόσο σημαντική είναι η συστηματική και αποτελεσματική παρακολούθηση των φαινομένων αυτών, τόσο πριν εκδηλωθούν όσο και μετά, έτσι ώστε να αξιολογείται και να μειώνεται στο ελάχιστο δυνατό το αντίκτυπο τους σε σχέση με την ασφάλεια της ανθρώπινης ζωής, των ιδιοκτησιών αλλά και του περιβάλλοντος γενικότερα.

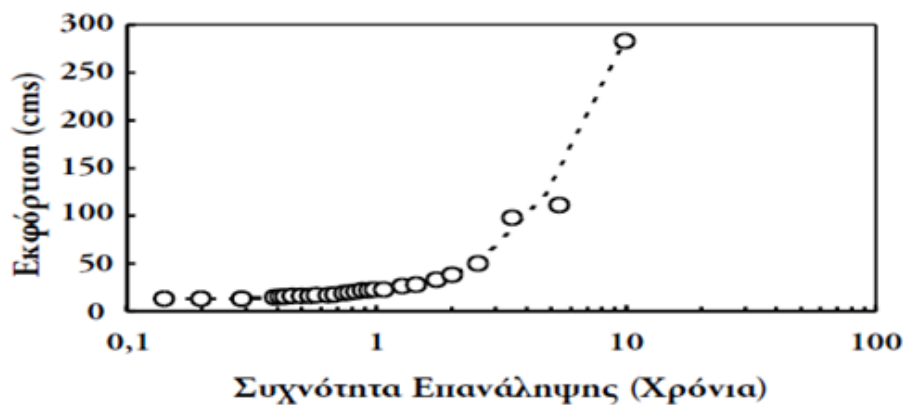
1.3.2.1. Μέγεθος και συχνότητα πλημμυρών

Το μέγεθος της πλημμύρας σχετίζεται με την ποσότητα και την ένταση της βροχόπτωσης. Οι καταστροφικές πλημμύρες, συχνά, είναι αποτέλεσμα σπάνιων, μεγάλων και έντονων καταιγίδων. Οι μικρότερες πλημμύρες ή ροές που εμφανίζονται πιο συχνά, δημιουργούνται από λιγότερο έντονες καταιγίδες.

Όλες οι ροές, που μπορούν να μετρηθούν ή να υπολογιστούν από σταθμούς μέτρησης ρευμάτων (Εικ. 1) είναι δυνατόν να καταταγούν ανάλογα με το ποσό της εκφόρτισής τους (m^3/s). Μια πλημμύρα μπορεί να προβλεφθεί από μια καμπύλη εκφόρτισης - συχνότητας (Εικ. 2). Μια πλημμύρα με εκφόρτιση ίση ή μεγαλύτερη του $283 m^3/s$, πρέπει να αναμένεται περίπου κάθε 10 χρόνια. Μελέτες πολλών ρευμάτων και ποταμών έδειξαν ότι οι κοίτες διαμορφώνονται και διατηρούνται από ροές με *περίοδο επανάληψης 1,5 με 2 χρόνια*. Επομένως, αναμένεται η ανύψωση της στάθμης ενός ρεύματος και στην συνέχεια η κατάκλιση τμήματος της κοιλάδας του με νερό και ιζήματα, περίπου μία φορά το χρόνο.



Εικόνα 1. Δεδομένα υπαίθρου (α) από συνεχή καταγραφή της στάθμης του νερού, η οποία χρησιμοποιείται για τη σχεδίαση του διαγράμματος στάθμης - χρόνου (β). Οι μετρήσεις υπαίθρου σε διαφορετικές ροές δίνουν το διάγραμμα στάθμης – εκφόρτισης (γ). Στη συνέχεια τα διαγράμματα (β) και (γ) συνδυάζονται για να παραχθεί το τελικό υδρογράφημα (δ).



Εικόνα 2. Παράδειγμα καμπύλης συχνότητας πλημμυρών

Όσο περισσότερο αυξάνει το χρονικό διάστημα καταγραφής των πλημμυρών, τόσο πιο ακριβής γίνεται η πρόγνωσή τους. Παρόλα αυτά για την κατασκευή τεχνικών έργων που να μπορούν να αντιμετωπίσουν πλημμύρες με περιόδους επανάληψης 10, 25, 50 ή ακόμα και 100 χρόνια, συνυπολογίζεται και ένα ποσοστό

λάθους. Η πρόγνωση μιας πλημμύρας γίνεται με στατιστικές μεθόδους και επομένως εμπεριέχει ένα ποσοστό τύχης. Θεωρητικά, μια πλημμύρα 25-χρόνων θα συμβεί συνολικά μια φορά κάθε 25 χρόνια, χωρίς αυτό να αποκλείει και την εμφάνιση δύο πλημμυρών με περίοδο επανάληψης 25 χρόνια στο ίδιο χρονικό διάστημα. Μπορεί κανείς έτσι να καταλήξει στο συμπέρασμα ότι όσο συνεχίζεται η κατασκευή φραγμάτων, αυτοκινητόδρομων, γεφυρών, σπιτιών και άλλων κατασκευών στις πλημμυρικές περιοχές ποταμών, θα πρέπει να αναμένονται και ανάλογες καταστροφές.

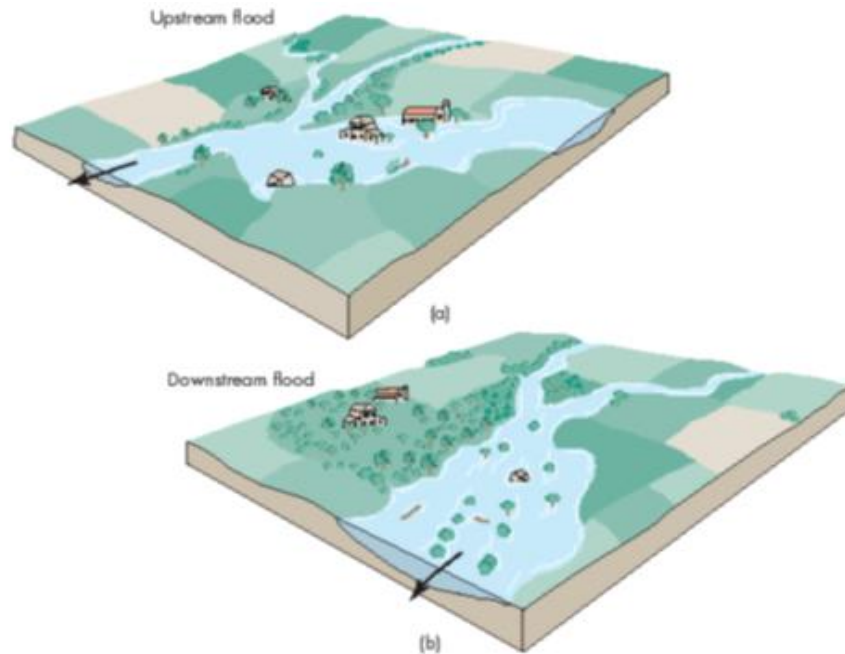
Στο αστικό περιβάλλον, η χρήση γης από τον άνθρωπο έχει αυξήσει τόσο το μέγεθος όσο και τη συχνότητα των πλημμυρών σε λεκάνες με μικρή αποστράγγιση. Η αύξηση της συχνότητας των πλημμυρών, είναι συνάρτηση του ποσοστού της αδιαπέρατης επιφάνειας (στέγες, πεζοδρόμια και τσιμέντο) και της περιοχής με δίκτυο αποχέτευσης. Οι υπόνομοι είναι σημαντικοί στην αστική περιοχή, γιατί επιτρέπουν τη γρήγορη επιφανειακή απορροή των αδιαπέρατων επιφανειών στις κοίτες των ρευμάτων. Γενικά, η αστικοποίηση αυξάνει την επιφανειακή απορροή και κατά επέκταση, τον κίνδυνο πλημμύρας. (Από Λέκκα, 2000).

1.3.2.2. Κατηγορίες Πλημμυρών.

Γενικά διακρίνονται δύο είδη πλημμυρών:

➤ **Στα ανάντη (upstream floods)** (Εικ.3α): Οι πλημμύρες στα ανάντη είναι 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. Οι πλημμύρες στα ανάντη εξαιτίας του γεγονότος ότι έρχονται χωρίς προειδοποίηση, είναι οι πιο επικίνδυνες για τον άνθρωπο.

➤ **Στα κατάντη (downstream floods)** (Εικ.3b): Οι πλημμύρες στα κατάντη, από την άλλη μεριά, καλύπτουν μια ευρεία περιοχή. Συνήθως είναι το αποτέλεσμα μακράς διάρκειας καταιγίδων που διαποτίζουν το έδαφος και έχουν αυξημένη επιφανειακή απορροή.



Εικόνα 3. Εξιδανικευμένο διάγραμμα που συγκρίνει τις προς ανάντη(3a) και προς τα κατάντη(3b) πλημμύρες(E.A. &R. H. Blodgett,2006)(από Λέκκα).

1.3.2.3. Επικινδυνότητα πλημμύρων

Η πλημμυρική επικινδυνότητα σχετίζεται με τη πιθανότητα να συμβεί μια έντονη βροχόπτωση ή βροχόπτωση μεγάλης διάρκειας που θα προκαλέσει καταστροφές. Ο βαθμός αντίστασης και ευπάθειας του φυσικού ή αστικού περιβάλλοντος θα φανεί από το εάν θα υποστούν ή όχι ζημιές, στα πλαίσια των μελλοντικών καταστροφών. Οι παράγοντες που ελέγχουν τις καταστροφές που προκαλούνται από πλημμύρες είναι οι ακόλουθοι:

- ❖ Η χρήση γης της λεκάνης κατάκλυσης.
- ❖ Το μέγεθος (βάθος-ταχύτητα του νερού) και η συχνότητα της πλημμύρας.
- ❖ Ο ρυθμός ανύψωσης και η διάρκεια της πλημμύρας.
- ❖ Η εποχή.
- ❖ Το βάρος ιζημάτων που αποτίθενται.
- ❖ 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 την αποσυγκρότηση 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 μόλυνση των ποταμών, πείνα, αρρώστιες και απομάκρυνση των κατοίκων ενώ,
- ❖ επιπρόσθετα, μπορεί να εκδηλωθούν φωτιές από βραχυκύκλωμα ή από κομμένους αγωγούς αερίων(Λέκκας 2000).

1.3.2.4. Πλημμυρική επικινδυνότητα του Ελληνικού χώρου

Από την αρχαιότητα έως σήμερα υπάρχουν πολυάριθμες αναφορές για την εκδήλωση μεγάλων πλημμυρών που έπληξαν τον Ελληνικό χώρο προκαλώντας σημαντικότερες καταστροφές. Σε ιστορικά κείμενα αλλά ακόμα και από τη μυθολογία υπάρχουν ακριβείς αναφορές όχι μόνο για τις καταστροφές των φαινομένων αυτών, αλλά και για τα αίτια που τις προκάλεσαν ή ακόμα και για τα έργα ανάσχεσής τους.

Τη σημερινή εποχή, παρότι λαμβάνουν χώρα τέτοια φαινόμενα, φαίνεται ότι ο αριθμός τους υφίσταται μια μικρή μείωση κάτι που οφείλεται κυρίως στην ανάπτυξη των τεχνικών ελέγχων και στη δυνατότητα κατασκευής μεγάλων έργων όπως π.χ. φραγμάτων, αναχωμάτων, τεχνικών κοιτών, κλπ., χωρίς όμως βέβαια να επιτυγχάνεται απόλυτη προστασία.

Γενικά, παρά το γεγονός ότι η πλημμυρική επικινδυνότητα έχει μειωθεί σε μεγάλες πεδινές εκτάσεις, εντούτοις έχει αυξηθεί κατά πολύ μέσα ή στα όρια των οικιστικών περιοχών.

Είναι γνωστά πολυάριθμα παραδείγματα Ελληνικών πόλεων που επλήγησαν από καταστροφικές πλημμύρες οι οποίες προκάλεσαν μάλιστα πολυάριθμα θύματα. Τα πλημμυρικά γεγονότα στις αστικές περιοχές φαίνεται να αυξάνονται ενώ οι κύριες αιτίες είναι οι ακόλουθες:

- ❖ Ο δραστικός περιορισμός της κοίτης των ρευμάτων στις οικιστικές περιοχές λόγω της ανεξέλεγκτης δόμησης.
- ❖ Ο φραγμός των κοιτών από τη δόμηση, την απόρριψη αδρανών υλικών ή και την άστοχη κατασκευή τεχνικών έργων.
- ❖ Η καταστροφή των δασών από τις πυρκαγιές και την αποψίλωση που βρίσκονται προς τα ανάντη μέσα στη λεκάνη απορροής.
- ❖ Η μείωση της κατεΐσδυσης και η παράλληλη αύξηση της επιφανειακής απορροής λόγω της κάλυψης της επιφάνειας της λεκάνης απορροής από την αστικοποίηση.
- ❖ Η άστοχη κατασκευή "αντιπλημμυρικών έργων" που δεν είναι συμβατά με το περιβάλλον και τις εξελισσόμενες γεωδυναμικές διεργασίες στην επιφάνεια.

Η χαρτογράφηση των παραγόντων που συμμετέχουν στην εκδήλωση ενός πλημμυρικού φαινομένου είναι μία πρώτη ενέργεια για τη μείωση του κινδύνου. Στη συνέχεια, η επεξεργασία όλων των δεδομένων μέσω ενός ηλεκτρονικού συστήματος διαχείρισης γεωγραφικών πληροφοριών θα υποδείξει τις επικίνδυνες περιοχές στα πλαίσια εφαρμογής ενός σχεδίου χρήσης γης.

1.3.2.5. Προληπτικά και ρυθμιστικά μέτρα

Τα προληπτικά και ρυθμιστικά μέτρα για τις πλημμύρες εμπεριέχουν διαφορετικές προσεγγίσεις. Η πρόληψη περιλαμβάνει μηχανικές κατασκευές και σχεδιασμούς, όπως:

- ❖ Αναχώματα και τοίχους, που λειτουργούν σαν φυσικά εμπόδια στην υψηλή στάθμη του νερού.
- ❖ Δεξαμενές για αποθήκευση νερού και απελευθέρωσή του με ασφαλείς ρυθμούς.
- ❖ Συστήματα επί τόπου κράτησης του νερού των καταιγίδων ή δημιουργία λεκανών συγκράτησης.

- ❖ Διαμόρφωση της κοίτης με σκοπό την αύξηση του μεγέθους της για γρηγορότερη απομάκρυνση του νερού.
- ❖ Διαμόρφωση των κοιτών των ρευμάτων με σκοπό τη διοχέτευση των νερών της πλημμύρας στις γύρω περιοχές.

Ένα μεγάλο πρόβλημα που συνδέεται με τα τεχνικά έργα πρόληψης είναι ότι δημιουργούν μια εσφαλμένη αίσθηση ασφάλειας, η οποία οδηγεί στην αστικοποίηση της λεκάνης κατάκλυσης. Έτσι, τα ρυθμιστικά μέτρα πρέπει να περιλαμβάνουν διαμόρφωση της λεκάνης κατάκλυσης για την αντιμετώπιση μιας πλημμύρας.

Πρέπει όμως να ληφθεί υπόψη ότι η λεκάνη κατάκλυσης ανήκει στο ποτάμιο-σύστημα και κάθε καταπάτηση που μειώνει την έκταση της, αυξάνει την ένταση της πλημμύρας. Έτσι, πρέπει να γίνεται *"σχεδιασμός ανάλογα με τη φύση"*.

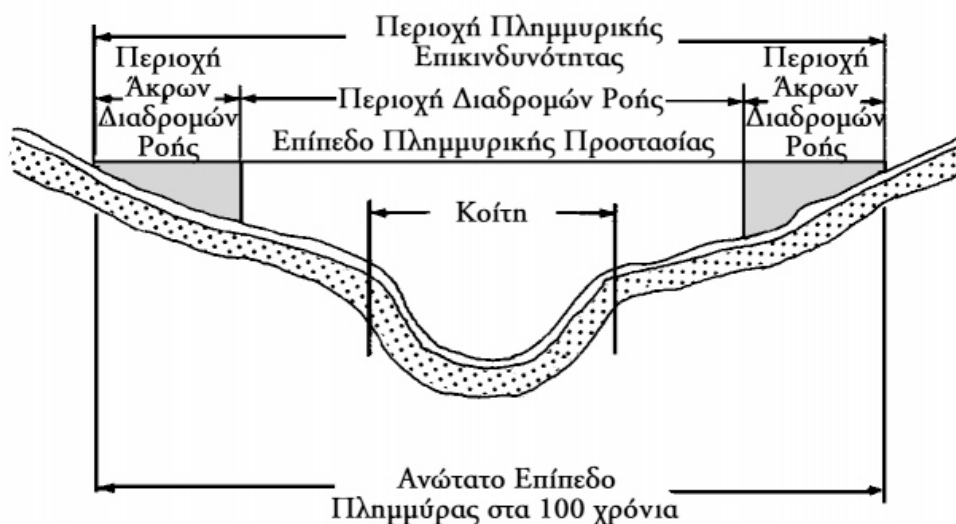
Ο σκοπός της *διαμόρφωσης της λεκάνης κατάκλυσης* είναι να καταστεί όσο το δυνατόν πιο ωφέλιμη η χρήση της, ελαχιστοποιώντας παράλληλα τις καταστροφές από τις πλημμύρες και φυσικά το κόστος προστασίας των περιοχών. Εγκατάλειψη της λεκάνης κατάκλυσης, η οποία αποτελεί μία μεγάλης αξίας φυσική πηγή, μπορεί να προκαλέσει ανθρώπινες απώλειες και τεράστιες καταστροφές. Ένα προκαταρκτικό βήμα για τη διαμόρφωση αυτή, είναι η χαρτογράφηση περιοχών *πλημμυρικής επικινδυνότητας*, η οποία είναι ένα μέσο που παρέχει πληροφορίες για την λεκάνη κατάκλυσης και το σχεδιασμό χρήσης γης.

Οι πλημμύρες μπορούν να χαρτογραφηθούν από αεροφωτογραφίες που ελήφθησαν κατά τη διάρκεια πλημμυρών ή μπορούν να υπολογιστούν από την υψηλή στάθμη του νερού και από τις αποθέσεις των πλημμυρών στην λεκάνη κατάκλυσης, που μετρήθηκαν στην ύπαιθρο μετά την υποχώρηση του νερού.

Προσεκτική μελέτη των εδαφών και της βλάστησης μπορεί επίσης να βοηθήσει στην εκτίμηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας. Τα εδάφη στις λεκάνες κατάκλυσης είναι συχνά διαφορετικά από τα εδάφη στα ανάντη, και, με ευνοϊκές συνθήκες, συγκεκριμένα εδάφη μπορούν να συσχετιστούν με πλημμύρα γνωστής συχνότητας. Ο τύπος της βλάστησης μπορεί να διευκολύνει την εκτίμηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας, γιατί συχνά υπάρχει μία ζώνωση της βλάστησης στις ποτάμιες κοιλάδες, που μπορεί να συσχετιστεί με ζώνες πλημμύρας. Κάποιοι τύποι δέντρων με ρηχές ρίζες απαιτούν άφθονη τροφοδοσία νερού και

επωφελούνται από συχνή κατάκλυση. Συνήθως, τα δέντρα αυτά βρίσκονται δίπλα στις όχθες ρευμάτων, τα οποία συχνά πλημμυρίζουν. Άλλα είδη δέντρων περιορίζονται σε καλής αποστράγγισης εδάφη, χωρίς συχνές ή παρατεταμένες πλημμύρες. Παρότι η ζώνωση της βλάστησης βοηθά στην εκτίμηση των υποκείμενων της πλημμύρας περιοχών, τα αίτια της είναι πολύπλοκα και δεν προέρχονται απ' ευθείας από την πλημμύρα.

Επομένως, η χρήση της βλάστησης, μπορεί να συνδυαστεί και με άλλες μεθόδους εκτίμησης της πλημμυρικής επικινδυνότητας όπως, δεδομένα από δορυφορικές εικόνες, αεροφωτογραφίες, ιστορικές καταγραφές και στοιχεία της λεκάνης κατάκλυσης.



Οι κανονισμοί Διαδρομών Ροής επιτρέπουν πρόσχωση ή ασφαλείς από πλημμύρα κατασκευές στην περιοχή των άκρων διαδρομών ροής

Εικόνα 4. Ιδεατό διάγραμμα που δείχνει σε εγκάρσια τομή, μια κοίτη, τη περιοχή πλημμυρικής επικινδυνότητας, των διαδρομών ροής και των άκρων διαδρομών ροής. (Λέκκας 2000).

Εν κατακλείδι, στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά οι μέθοδοι αντιμετώπισης των πλημμυρών και τα βασικότερα χαρακτηριστικά τους (Λέκκας, 2000).

Πίνακας 1. Τα χαρακτηριστικά των πλημμυρών και οι μέθοδοι αντιμετώπισής τους

Χαρακτηριστικά Πλημμυρών	Μέθοδος Αντιμετώπισης	
	Τεχνική	Μη τεχνική
Βάθος	Αναχώματα, Φράγματα	Νομικό πλαίσιο
Διάρκεια	Τοίχοι ανάσχεσης	Κατασκευαστικός κώδικας
Εκταση	Αλλαγή παροχευτικής ικανότητας του ρεύματος (βάθος, πλάτος, κλίση, κλπ.)	Ανανέωση κτισμάτων
Ταχύτητα ροής	Καθαρισμός της κοίτης	Μόνιμη εκκένωση
Χρόνος υστέρησης των ρευμάτων (ανάντι)	Μικρά ανασχετικά φράγματα στις πηγές	Αναγκαστική απαλλοτρίωση για δημιουργία διαδρόμου ροής, κλπ.
Μέγιστη ροή	Μεγάλο φράγμα (κατάντι)	Προειδοποιητικά σήματα
Ποσότητα ιζημάτων	Σταθεροποίηση των πρηνών	Ασφάλιση κατά πλημμύρας

1.3.2.6. Περιοχές επιρρεπείς σε πλημμύρες

Φυσικό περιβάλλον

Στις ορεινές λεκάνες απορροής η ύπαρξη δασοκάλυψης, μειώνει τις πλημμυρικές αιχμές και προστατεύει το γεωλογικό υπόβαθρο. Επίσης επειδή οι κλίσεις των ρεμάτων αναπτύσσονται σε βαθιές χαράδρες, δεν προκαλούνται γενικά πλημμύρες.

Στις πεδινές περιοχές οι κοίτες διαμορφώνονται κυρίως από τις μέσες παροχές νερού, γι αυτό και αδυνατούν να παροχετεύσουν μεγαλύτερες και σπανιότερες υδατοπαροχές. Έτσι οι γύρω περιοχές πλημμυρίζουν και προσχώνονται με τα φερτά υλικά.

Τέλος στα δέλτα των ποταμών η ροή διανέμεται σε περισσότερους κλάδους με μικρή ή πολύ μικρή παροχή, οπότε αν παρουσιασθεί έντονη βροχόπτωση υπερχειλίζουν και κατακλύζουν τις γύρω εκτάσεις για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

Επομένως γίνεται αντιληπτό ότι οι πεδιάδες κατάκλυσης, ή οι πιο διευρυμένες αλλουβιακές πεδιάδες, καθώς και οι ποτάμιες εκβολές συνιστούν τις πλέον επιρρεπείς στον πλημμυρικό κίνδυνο περιοχές, οι οποίες επιπροσθέτως είναι και εύκολα αναγνωρίσιμες.

Αστικό περιβάλλον

Η πλημμυρική επικινδυνότητα στις οικιστικές περιοχές θεωρείται σημαντικότερη από αυτή των μεγάλων πεδινών εκτάσεων. Πολλά είναι τα παραδείγματα πόλεων που επλήγησαν από καταστροφικές πλημμύρες με πολλούς νεκρούς.

Η κυριότερη αιτία εμφάνισης πλημμυρικών φαινομένων σε αστικές περιοχές είναι η μείωση των διατομών της κοίτης των ποταμών και παραπόταμων κάτι που οφείλεται πολλές φορές στην άναρχη δόμηση, στην ανεξέλεγκτη απόρριψη αδρανών υλικών ή και στην άστοχη κατασκευή αντιπλημμυρικών έργων τα οποία δεν συμβαδίζουν με το περιβάλλον και τις εξελισσόμενες γεωδυναμικές διεργασίες. (Μισθός, 2009).

1.3.3. Οδηγία 2007/60 για τη διαχείριση του κινδύνου πλημμύρας

Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο της 23^{ης} Οκτωβρίου 2007 εξέδωσε την Οδηγία 2007/60/EK για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας, που τέθηκε σε ισχύ στις 26 Νοεμβρίου 2007. Η Οδηγία αυτή συμπληρώνει την Οδηγία πλαισίου για τα νερά 2000/60/EK, όσον αφορά στη διαχείριση του πλημμυρικού κινδύνου.

Ο βασικός στόχος της οδηγίας 2007/60/EK είναι να βοηθήσει τα Κράτη Μέλη στην πρόληψη, τον περιορισμό και την αντιμετώπιση των πλημμυρών. Με την Οδηγία δημιουργείται το ευρωπαϊκό πλαίσιο για τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας, το οποίο επεκτείνει και συντονίζεται στενά με την Οδηγία Πλαίσιο (2000/60/EK) για τα νερά. Η νέα Οδηγία προβλέπει, στο πλαίσιο μιας προσέγγισης μακροπρόθεσμου σχεδιασμού, μια διαδικασία διαχείρισης του κινδύνου πλημμυρών, η οποία υλοποιείται σε τρία στάδια. (Γιαννόπουλος κ.α, 2008).

Το πρώτο στάδιο, σύμφωνα με το Κεφάλαιο II της Οδηγίας 2007/60/EK, θα είναι μια προκαταρκτική αξιολόγηση των κινδύνων πλημμύρας στις λεκάνες απορροής ποταμών και στις αντίστοιχες παράκτιες ζώνες, που θα έχει ολοκληρωθεί μέχρι το 2011. Το στάδιο αυτό θα περιλαμβάνει χάρτες των περιοχών σε κατάλληλη κλίμακα, με απεικόνιση ορίων των λεκανών και των υπολεκανών απορροής ποταμών, αλλά και περιγραφή των τοπογραφικών χαρακτηριστικών και των χρήσεων γης. Επίσης, θα πρέπει να γίνει περιγραφή των πλημμυρών, οι

οποίες είχαν σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στις ανθρώπινες ζωές, στις οικονομικές δραστηριότητες και στο περιβάλλον.

Το δεύτερο στάδιο (Κεφάλαιο III, Οδηγία 2007/60/ΕΚ) περιλαμβάνει την εκπόνηση χαρτών κινδύνου πλημμύρας και χαρτών επικινδυνότητας σε κατάλληλη κλίμακά για περιοχές (λεκάνες) που μπορεί να πλημμυρίσουν σύμφωνα με τα σενάρια χαμηλής, μέσης ή υψηλής πιθανότητας. Για κάθε σενάριο υπολογίζεται η έκταση που κατακλύζεται, το βάθος νερού και αναλόγως η ταχύτητα ή η παροχή υδάτων. Οι χάρτες επικινδυνότητας περιγράφουν τις δυνητικές αρνητικές συνέπειες για κάθε σενάριο πλημμύρας, όπως ο αριθμός κατοίκων που ενδέχεται να πληγούν, ο τύπος οικονομικής δραστηριότητας στην περιοχή, οι εγκαταστάσεις και οι πηγές ρύπανσης. Τα κράτη μέλη θα πρέπει να μεριμνήσουν ώστε η κατάρτιση των χαρτών επικινδυνότητας και των χαρτών κινδύνων πλημμύρας να έχει ολοκληρωθεί έως τις 22 Δεκεμβρίου 2013.

Στο τρίτο στάδιο (Κεφάλαιο IV, Οδηγία 2007/60/ΕΚ), τα κράτη μέλη θα πρέπει να εκπονήσουν συντονισμένα σχέδια διαχείρισης της επικινδυνότητας μέχρι το 2015. Τα σχέδια αυτά θα περιλαμβάνουν μέτρα μείωσης της πιθανότητας πλημμύρας και των συνεπειών της με απαγορεύσεις σε μη αειφόρες πρακτικές ως προς τις χρήσεις γης. Επίσης, θα πρέπει να προβλέπουν τρόπους θωράκισης των περιοχών από το ενδεχόμενο πλημμύρας και μείωσης των δυνητικών επιπτώσεων, αλλά και την προετοιμασία του πληθυσμού για το ενδεχόμενο πλημμύρας. Τέλος οι εκτιμήσεις επικινδυνότητας για πλημμυρικά φαινόμενα θα επανεξετάζονται και θα αναπροσαρμόζονται αναλόγως των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής καθώς και της έντασης και της συχνότητας των πλημμυρικών φαινομένων μακροπρόθεσμα (Κουγιουμτζίδου Κ ,2011).

1.3.4. Συμπερασματικά

Οι πλημμύρες αποτελούν ευρύτατα διαδεδομένους κινδύνους στο πρόσωπο της γης. Όμως, επειδή το νερό, εκτός από παράγοντα διακινδύνευσης, συνιστά ύψιστης αξίας πόρο και «συντελεστή» ευημερίας, που, αντί να απωθεί την ανθρωπογενή παρουσία, πολλές φορές την προσελκύει. Από την άλλη, η σφοδρότητα του φαινομένου, εν γένει, αφ' εαυτής, εκτός των περιπτώσεων των *flash floods*, σπάνια εκδηλώνεται σε χρόνους τέτοιους που να καθίσταται ανέφικτη η εκκένωση περιοχών υψηλής διακινδύνευσης και η παροδική μετεγκατάσταση πληθυσμών.

Επομένως, ο καταστροφικός αντίκτυπός τους (τουλάχιστον όσον αφορά στην απώλεια ζωών και στους τραυματισμούς) μπορεί να θεωρηθεί λοιπόν ότι είναι σε πολύ μεγάλο βαθμό ανθρωπογενώς επιφερόμενος. Η αλλοίωση των χαρακτηριστικών της λεκάνης απορροής, η έντονη αστικοποίηση και η καταπάτηση των πεδιάδων κατάκλυσης, συνεπάγεται επιπτώσεις επί του ανθρώπου και επί των ιδιοκτησιών.

Καθ' ότι όμως η ανθρώπινη και κοινωνική συμπεριφορά, όσο και οι οικονομικές δραστηριότητες, δεν αναμένεται να μεταβληθούν δραστικά και άμεσα, θα συνεχίσουν να απαιτούνται «ρυθμιστικές» δράσεις και πρακτικές.

Η έγκαιρη ενημέρωση και προειδοποίηση, η παρουσία μοντέλων πρόβλεψης βροχόπτωσης και απορροής, με μια πολιτική σχεδιασμού χρήσεων γης, μπορούν να οδηγήσουν σε συνθήκες αυξημένης ετοιμότητας και απόκρισης. Επιπλέον, η άμεση αποτύπωση των εκτάσεων που κατακλύζονται, μπορούν να συνδράμουν στην αποτίμηση των απωλειών (π.χ. καταποντισμός αγροτικών εκτάσεων, καταστροφή γεφυρών, οδών κ.α.) και στην γνωστοποίηση και χαρτογράφηση περιοχών υψηλού κινδύνου λόγω του γεγονότος επαναφοράς τέτοιων ακραίων επεισοδίων με σχετικά γνωστές αντίστοιχες περιόδους.

Έτσι λοιπόν, σκόπιμο είναι να εξετάζεται η διαχρονική μεταβολή του πλημμυρικού εύρους, ώστε να αποδίδεται αυτή η κατανομή στον χώρο και στον χρόνο, προς την κατεύθυνση, τόσο ειδικά της κατά περίπτωση αποτίμησης της καταστροφής, όσο και του γενικότερου μετριασμού.(Μισθός,2009).

2. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

Το παρόν κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στην αναλυτική περιγραφή του περιβάλλοντος της περιοχής μελέτης, ξεκινώντας από βασικά γεωγραφικά στοιχεία, μετεωρολογικά δεδομένα, κάλυψη γης- βλάστηση, γεωλογία, γεωμορφολογία και υδρολογία της ευρύτερης περιοχής μελέτης.

Αρχικά, παρατίθενται ορισμένα γενικότερα δεδομένα και ακολούθως τα ειδικότερα στοιχεία για τη περιοχή ενδιαφέροντος

2.2 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Ο νομός Χαλκιδικής είναι ένας από τους 51 νομούς της Ελλάδας. Είναι ένας από τους νομούς του γεωγραφικού διαμερίσματος της Μακεδονίας και ανήκει διοικητικά στην περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας. Ο νομός συνορεύει Βόρεια - Βορειοδυτικά με τον νομό Θεσσαλονίκης και Νότιο-ανατολικά με το Άγιο Όρος, ενώ βρέχεται από το Αιγαίο πέλαγος στις υπόλοιπες διευθύνσεις.



Εικόνα 5 : Διοικητική Διάρθρωση Νομού Χαλκιδικής.

Πηγή: (URL 2)

Περιλαμβάνει γεωγραφικά την χερσόνησο της Χαλκιδικής με το χαρακτηριστικό σχήμα των τριών χερσονήσων ('πόδια της Χαλκιδικής') πλην της ανατολικότερης χερσονήσου του Αγίου όρους, που είναι διοικητικά ανεξάρτητη. Σύμφωνα με το σχέδιο <<Καλλικράτης/2010>> αποτελείται από 5 δήμους, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα και όχι από 14(<< Καποδίστριας>>).Οι δήμοι Παναγιάς και Σταγείρων-Ακάνθου τους οποίους περιλαμβάνει η περιοχή μελέτης, ενώνονται με το δήμο Αρναίας για τη δημιουργία του Δήμου Αριστοτέλη με έδρα την Ιερισσό και ιστορική έδρα την Αρναία. Η έκταση του νέου Δήμου είναι 739.87 km² και ο πληθυσμός του 18861 κάτοικοι σύμφωνα με την απογραφή της ΕΣΥΕ του 2001([url 3](#)).

Ο Δήμος Σταγείρων-Ακάνθου ήταν δήμος του νομού Χαλκιδικής που συστάθηκε με το πρόγραμμα Καποδίστριας από τη συνένωση παλαιότερων κοινοτήτων της περιοχής, που αποτέλεσαν στη συνέχεια τα δημοτικά διαμερίσματα του δήμου. Λειτούργησε την περίοδο 1999 -2010 οπότε και καταργήθηκε με την εφαρμογή του προγράμματος Καλλικράτης και εντάχθηκε στον νέο δήμο Αριστοτέλη.

Στον δήμο περιλαμβάνονταν τα δημοτικά διαμερίσματα με τους αντίστοιχους πληθυσμούς:

- Δ.δ. Ιερισσού [3.118]
- Δ.δ. Αμμουλιανής [564]
- Δ.δ. Νέων Ρόδων [1.156]
- Δ.δ. Ολυμπιάδος [649]
- Δ.δ. Ουρανοπόλεως [960]
- Δ.δ. Σταγείρων [372]
- Δ.δ. Στρατονίκης [788]
- Δ.δ. Στρατωνίου [1.174] ([URL 4](#),[URL 5](#)).

Ο Δήμος Παναγιάς ήταν δήμος του νομού Χαλκιδικής που συστάθηκε με το πρόγραμμα Καποδίστριας από τη συνένωση παλαιότερων κοινοτήτων της περιοχής, που αποτέλεσαν στη συνέχεια τα δημοτικά διαμερίσματα του δήμου. Λειτούργησε την περίοδο 1999 -2010 οπότε και καταργήθηκε με την εφαρμογή του προγράμματος Καλλικράτης και εντάχθηκε στον νέο δήμο Αριστοτέλη. Είχε

πραγματικό πληθυσμό 3.897 κατοίκους, με βάση την απογραφή πληθυσμού του 2001. Έδρα του ήταν η Μεγάλη Παναγία. Στο δήμο περιλαμβάνονταν:

- Δ.δ. Μεγάλης Παναγίας -- η Μεγάλη Παναγία [2.727]
- Δ.δ. Γοματίου [637]
- Δ.δ. Πυργαδικίων [533]



Εικόνα.6. Καλλικρατικός Δήμος Αριστοτέλη

2.2.1 Γεωγραφική τοποθέτηση περιοχής μελέτης

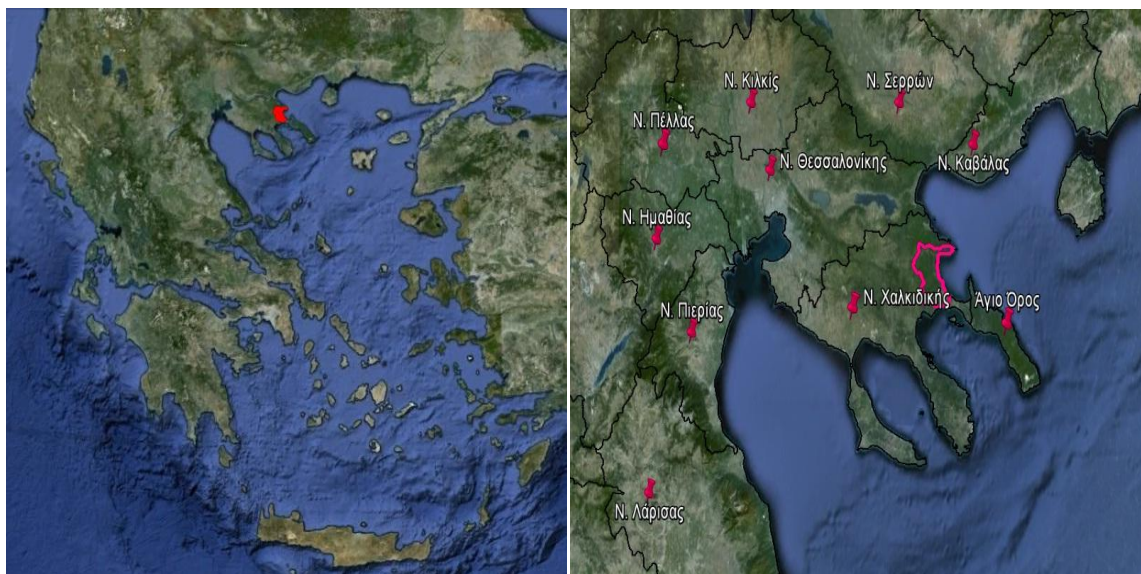
Η περιοχή μελέτης εντοπίζεται στον Βόρειο Ελλαδικό χώρο (Κεντρική Μακεδονία), βορειοανατολικά του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης ενώ διοικητικά ανήκει στο Νομό Χαλκιδικής. Οι γεωγραφικές συντεταγμένες μέσα στις οποίες περικλείεται η περιοχή μελέτης είναι:

A) Βόρειο γεωγραφικό πλάτος : 40° 22' 02.31" - 40° 32' 33.16"

B) Ανατολικό γεωγραφικό μήκος : 23° 46' 54.39" - 23° 48' 46.37"



Εικόνα 7 . Ευρύτερη περιοχή μελέτης



Εικόνες 8,9: Γεωγραφική θέση της περιοχής μελέτης στον Ελλαδικό χώρο

2.2.2. Κλιματικά-Μετεωρολογικά χαρακτηριστικά

Σύμφωνα με τον Μαριολόπουλο (1938) η Κεντρική Μακεδονία κατατάσσεται “στην περιοχή της βορείου Ελλάδος (ηπειρωτική)” όπου το κλίμα αρχίζει και απομακρύνεται από το μεσογειακό τύπο και μπορεί να χαρακτηριστεί ως ενδιάμεσο ή μεταβατικό μεταξύ αυτού και του μεσοευρωπαϊκού, με χαρακτηριστικά που φανερώνουν ηπειρωτική τραχύτητα.

Ο Κυριαζόπουλος (1939) παρουσιάζει το κλίμα της Κεντρικής Μακεδονίας ως μεσογειακό, παρουσιάζοντας την βροχή να κατανέμεται σε δύο εποχές, μία υγρή και ψυχρή και μία ξηρή και θερμή και με μεγάλη ραγδαιότητα, κυρίως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Παρόλο όμως που παρουσιάζει το κλίμα ως μεσογειακού τύπου, δέχεται και μία ηπειρωτική επίδραση, η οποία γίνεται αισθητή κατά το χειμώνα και το καλοκαίρι.

Ο Μπαλαφούτης (1977) επικαλούμενος τα όρια των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών, κατατάσσει τη Μακεδονία στα μεσόθερμα κλίματα (C) κατά Koeppe. Λαμβάνοντας υπόψη του τα βροχομετρικά ύψη κατά τους μήνες του καλοκαιριού και του χειμώνα και τη μέση τιμή της θερμοκρασίας του θερμότερου μήνα, κατατάσσει το κλίμα της Μακεδονίας στο Csa κλιματικό τύπο, δηλαδή μεσογειακό κλίμα με ήπιους χειμώνες και ξηρό θερμό καλοκαίρι, εκτός από μερικές απομακρυσμένες από τις ακτές ορεινές περιοχές τις οποίες κατατάσσει στο Cfa κλιματικό τύπο (μεταβατικός τύπος μεταξύ του μεσογειακού και ηπειρωτικού κλίματος (Από Ασάρα, 1980 και Λαμπρινό, 1989).

Γενικά, στην ευρύτερη περιοχή μελέτης το κλίμα χαρακτηρίζεται ως μεταβατικό μεταξύ του Ηπειρωτικού κλίματος της Κεντρικής Ευρώπης και του Μεσογειακού κλίματος. Από τους πίνακες κλιματολογικών στοιχείων που παρατίθενται παρακάτω (πίνακες 2,3) , προκύπτει ότι το γενικό μέσο κλίμα της περιοχής μελέτης χαρακτηρίζεται από ήπιο σχετικά καλοκαίρι με θερμοκρασίες της τάξεως των 25°C και ψυχρό χειμώνα με θερμοκρασίες κοντά στους 8°C(Καταφιώτη, 2008)

Πίνακας 2 .Μετεωρολογικά δεδομένα σταθμού Αρναίας περιόδου 1978-2001

Περίοδος 1978-2001	Μέσες μηνιαίες τιμές βασικών κλιματολογικών χαρακτηριστικών			
Μήνας	Θερμοκρασία (°C)	Ύψος βροχής (mm)	Σχετική υγρασία αέρος (%)	Εξάτμιση (mm)
Ιανουάριος	2,6	47	85	21
Φεβρουάριος	3,4	55	83	21
Μάρτιος	6,5	50	80	34
Απρίλιος	11,0	51	73	51
Μάιος	16,2	50	71	59
Ιούνιος	20,9	41	66	76
Ιούλιος	22,9	54	65	84
Αύγουστος	22,3	38	67	80
Σεπτέμβριος	18,6	31	72	61
Οκτώβριος	13,3	56	80	40
Νοέμβριος	7,6	84	85	20
Δεκέμβριος	4,7	90	86	23
Μέση (ολική)	12,5	649	76	568

Πίνακας 3 . Συχνότητα Ισχύος και κατευθύνσεις ανέμων (Μετεωρολογικός Σταθμός Αρναίας περιόδου 1978-1993).

	Ετήσια συχνότητα (%) ισχύος και κατευθύνσεως ανέμων (κλίμακα Beaufort)									
Beaufort	B	BA	A	NA	N	NA	Δ	ΒΔ	Νηνεμία	Σύνολο
Νηνεμία									1,00	1,00
1	1,10	1,10	5,90	24,30	7,50	1,20	1,20	25,60		67,90
2	0,20	0,30	3,10	5,50	4,30	0,50	0,30	7,90		22,10
3	0,00	0,40	1,30	1,50	1,80	0,50	0,00	2,90		8,40
4	0,00	0,00	0,05	0,20	0,05	0,00	0,00	0,20		0,50
5	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05		0,10
Σύνολο	1,30	1,80	10,40	31,50	13,65	2,20	1,50	36,65	1,00	100,00

Στον Πίνακα (4) που ακολουθεί συνοψίζονται τα μηνιαία μετεωρολογικά δεδομένα του Φεβρουαρίου 2010 που καταγράφηκαν στο σταθμό Στρατωνίου, από τα οποία προκύπτουν τα εξής:

✓ Τα ημερήσια βροχομετρικά ύψη κατά τις ημέρες που προηγήθηκαν της πλημμύρας (6-7-8-9 Φεβρουαρίου 2010) ήταν 36.4, 39.8, 17.6 και 0.0 mm.,αντίστοιχα.

✓ Το βροχομετρικό ύψος κατά την ημέρα της πλημμύρας ανήλθε στα 163.4 mm που αναλογεί περίπου στο 30 - 40% του ετήσιου βροχομετρικού ύψους της περιοχής (400-500 mm) και πραγματοποιήθηκε εντός μικρού χρονικού διαστήματος κατά τις απογευματινές ώρες

✓ Η μέγιστη ένταση της βροχής κατά τη 10η Φεβρουαρίου ήταν της τάξεως των 70mm/hr ή και μεγαλύτερη.

Τα παραπάνω εκπροσωπούν ασυνήθη μεγέθη για την περιοχή, τόσο ως προς το ημερήσιο ύψος όσο και (ιδιαίτερα) ως προς την μέγιστη ένταση της βροχής της 10ης Φεβρουαρίου 2010.

Πίνακας 4:

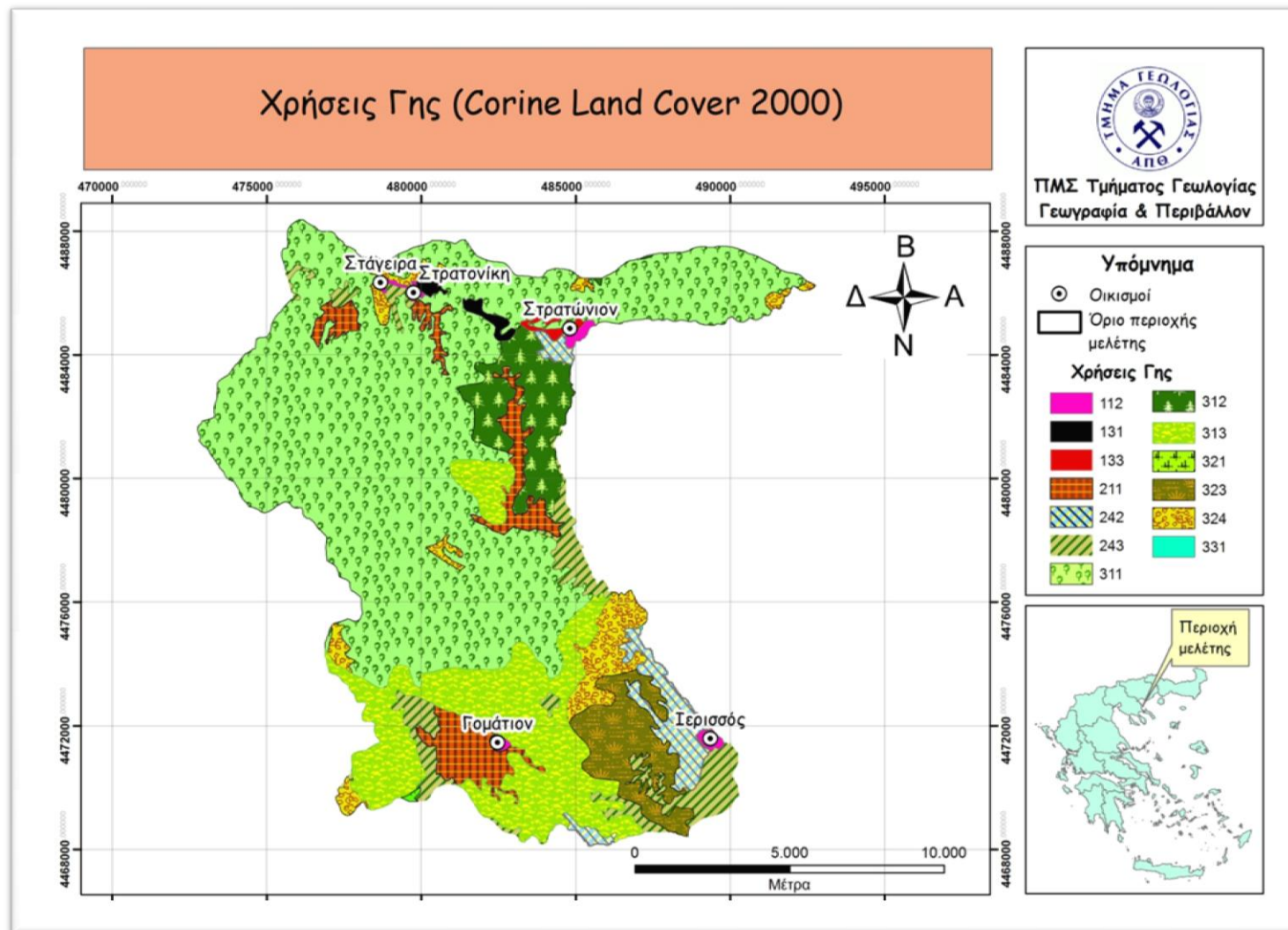
Συνοπτικά μετεωρολογικά δεδομένα για το Φεβρουάριο 2010
(Σταθμός Στρατωνίου Εθνικού Μετεωροσκοπίου Αθηνών)

ELEV: 5 m LAT: 40° 30' 00" N LONG: 23° 48' 00" E												
HEAT COOL		AVG		DEG		DEG		WIND		DOM		
MEAN												
DAY	TEMP	HIGH	TIME	LOW	TIME	DAYS	DAYS	RAIN	SPEED	HIGH	TIME	DIR
1	9.7	14.8	10:10	6.2	0:10	8.7	0.0	0.6	5.3	40.2	10:20	WNW
2	4.3	8.7	0:10	0.8	23:20	14.0	0.0	3.0	7.1	37.0	13:40	NW
3	2.9	6.8	15:20	-0.2	22:40	15.4	0.0	0.0	8.5	38.6	3:10	NW
4	5.9	11.4	15:00	-0.2	3:40	12.4	0.0	0.0	5.1	22.5	19:40	WNW
5	8.1	10.1	1:20	6.5	23:10	10.2	0.0	0.0	12.2	33.8	1:10	E
6	6.8	8.7	2:30	5.1	22:00	11.5	0.0	36.4	12.1	48.3	20:10	ESE
7	6.9	8.5	11:10	4.9	00:00	11.4	0.0	39.8	9.2	40.2	22:30	NE
8	4.9	6.5	14:50	2.7	00:00	13.4	0.0	17.6	6.6	32.2	0:10	NW
9	4.9	8.4	20:20	0.6	6:00	13.4	0.0	00.0	4.8	25.7	20:20	WNW
10	8.4	14.5	22:10	6.2	6:20	9.9	0.0	163.4	11.6	51.5	19:10	NNE
11	10.9	13.9	14:30	7.5	22:50	7.4	0.0	0.4	3.7	22.5	12:30	WNW
12	10.8	14.8	14:50	6.6	4:20	7.5	0.0	11.2	7.2	40.2	18:30	E
13	9.6	14.2	12:40	4.4	7:20	8.8	0.0	0.0	6.0	38.6	2:40	SW
14	7.6	10.8	11:50	4.9	0:10	10.8	0.0	19.8	5.0	35.4	17:20	WNW
15	9.6	13.6	15:40	6.1	00:00	8.8	0.0	7.2	5.1	33.8	12:00	WNW
16	8.7	11.0	13:50	4.2	4:00	9.7	0.0	1.4	3.7	16.1	2:00	WNW
17	10.1	11.4	17:50	8.7	00:00	8.3	0.0	4.2	2.1	19.3	5:20	WNW
18	11.3	16.4	23:40	8.0	1:50	7.0	0.0	0.2	3.1	29.0	23:20	WNW
19	12.6	15.2	0:10	9.0	6:50	5.7	0.0	0.0	3.7	19.3	1:50	WNW
20	13.7	17.2	14:10	11.3	7:20	4.7	0.0	0.0	2.6	14.5	13:10	WNW
21	13.8	17.4	13:50	8.9	00:00	4.5	0.0	0.0	11.7	57.9	14:40	WNW
22	9.7	12.2	12:30	5.4	7:30	8.7	0.0	0.0	7.7	48.3	3:30	ESE
23	9.8	12.4	13:40	7.4	3:30	8.9	0.0	1.6	2.4	11.3	12:00	WNW
24	9.9	11.9	13:10	7.0	6:30	8.4	0.0	1.2	2.7	16.1	17:10	WNW
25	11.7	14.6	14:40	9.2	0:30	6.7	0.0	0.4	2.4	22.5	19:10	WNW
26	10.7	13.6	17:00	7.1	7:20	7.6	0.0	0.0	3.4	16.1	17:10	W
27	11.9	15.8	16:10	10.2	0:30	6.4	0.0	4.6	9.5	56.3	20:20	NW
28	10.7	12.9	16:30	7.1	7:20	7.6	0.0	0.0	6.6	48.3	0:20	NW
9.1	17.4	21	-0.2	4	257.9	0.0	313.0	6.1	57.9	21		WNW

2.2.3. Κάλυψη Γής (CORINE LAND COVER 2000)

Η κάλυψη γης στην περιοχή μελέτης (Εικόνα 10) δίνεται από το πρόγραμμα **CORINE LAND COVER 2000**. Το συγκεκριμένο 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 90. Σύμφωνα με τα στοιχεία του προγράμματος, οι χρήσεις γης που συναντάμε στην περιοχή μελέτης είναι οι παρακάτω:

- ❖ **112: ΑΣΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ/** Ασυνεχής αστικός ιστός
- ❖ **131: ΟΡΥΧΕΙΑ, ΧΩΡΟΙ ΑΠΟΡΡΙΨΕΩΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΧΩΡΟΙ ΟΙΚΟΔΟΜΗΣΗΣ/** Χώροι εξορύξεως ορυκτών
- ❖ **133: ΟΡΥΧΕΙΑ, ΧΩΡΟΙ ΑΠΟΡΡΙΨΕΩΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΧΩΡΟΙ ΟΙΚΟΔΟΜΗΣΗΣ/** Χώροι οικοδόμησης
- ❖ **211: ΑΡΩΣΙΜΗ ΓΗ/** Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη.
- ❖ **242: ΕΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ/** Σύνθετες καλλιέργειες
- ❖ **243: ΕΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ/** Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης
- ❖ **311: ΔΑΣΗ /** Δάση Πλατύφυλλων
- ❖ **312: ΔΑΣΗ /** Δάση Κωνοφόρων
- ❖ **313: ΔΑΣΗ /** Μικτό Δάσος
- ❖ **321: ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΘΑΜΝΩΔΟΥΣ Η/ΚΑΙ ΠΟΩΔΟΥΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ** /Φυσικοί βοσκότοποι
- ❖ **323: ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΘΑΜΝΩΔΟΥΣ Η/ΚΑΙ ΠΟΩΔΟΥΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ /** Σκληροφυλλική βλάστηση
- ❖ **324: ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΘΑΜΝΩΔΟΥΣ Η/ΚΑΙ ΠΟΩΔΟΥΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ /** Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις
- ❖ **331: ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΧΩΡΟΙ ΜΕ ΛΙΓΗ Ή ΚΑΘΟΛΟΥ ΒΛΑΣΤΗΣΗ /** Παραλίες, αμμόλοφοι,αμμουδιές



Εικόνα 10 : Χάρτης κάλυψης γης της περιοχής μελέτης (κατά CLC 2000/για την επεξήγηση των κωδικών βλ. παραπάνω).

Στον πίνακα που ακολουθεί, δίνονται οι κατηγορίες κάλυψη γης της περιοχής μελέτης καθώς επίσης και τα ποσοστά της κάθε κατηγορίας για το σύνολο της περιοχής μελέτης

Πίνακας 5: Κάλυψη γης

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ % ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ
112	0.69
131	0.60
133	0.34
211	5.06
242	3.05
243	5.64
311	55.05
312	5.24
313	15.49
321	0.054
323	4.63
324	4.15
331	0,006

Από τον χάρτη χρήσεων γης (Εικ.10) διαπιστώθηκε ότι το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής μελέτης αποτελείται από τις παρακάτω χρήσεις γης: Δάση (Πλατύφυλλων, Μικτό και κωνοφόρων), εκτάσεις που κατά κύριο λόγο καλύπτονται από αγροτικές καλλιέργειες, σε συνδυασμό σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης και σκληρόφυλλη βλάστηση με ποσοστά 75,78%(συμπεριλαμβάνονται και τα 3 είδη δασών), 5,64% και 4,63% αντίστοιχα.

2.2.4. Γεωμορφολογία περιοχής μελέτης

Όπως αναφέρει χαρακτηριστικά ο Verstappen (1977), η μορφή του αναγλύφου αποτελεί το κεντρικό σημείο ενδιαφέροντος σχεδόν σε κάθε ερμηνεία τηλεπισκοπικών εικόνων, καθώς από αυτήν συντίθεται το «πρόσωπο της Γης», όπως φαίνεται από ψηλά (Μουρατίδης, 2010).

Σύμφωνα με τον Dikau (1989), το ανάγλυφο μπορεί να ταξινομηθεί σε 4 κατηγορίες και να χαρακτηριστεί, ανάλογα με τα υψόμετρα, σε πεδινό, λοφώδες, ημιορεινό και ορεινό (Πίνακας 6).

Πίνακας 6. Ταξινόμηση του ανάγλυφου σύμφωνα με το υψόμετρό του από την επιφάνεια της θάλασσας (Dikau, 1989).

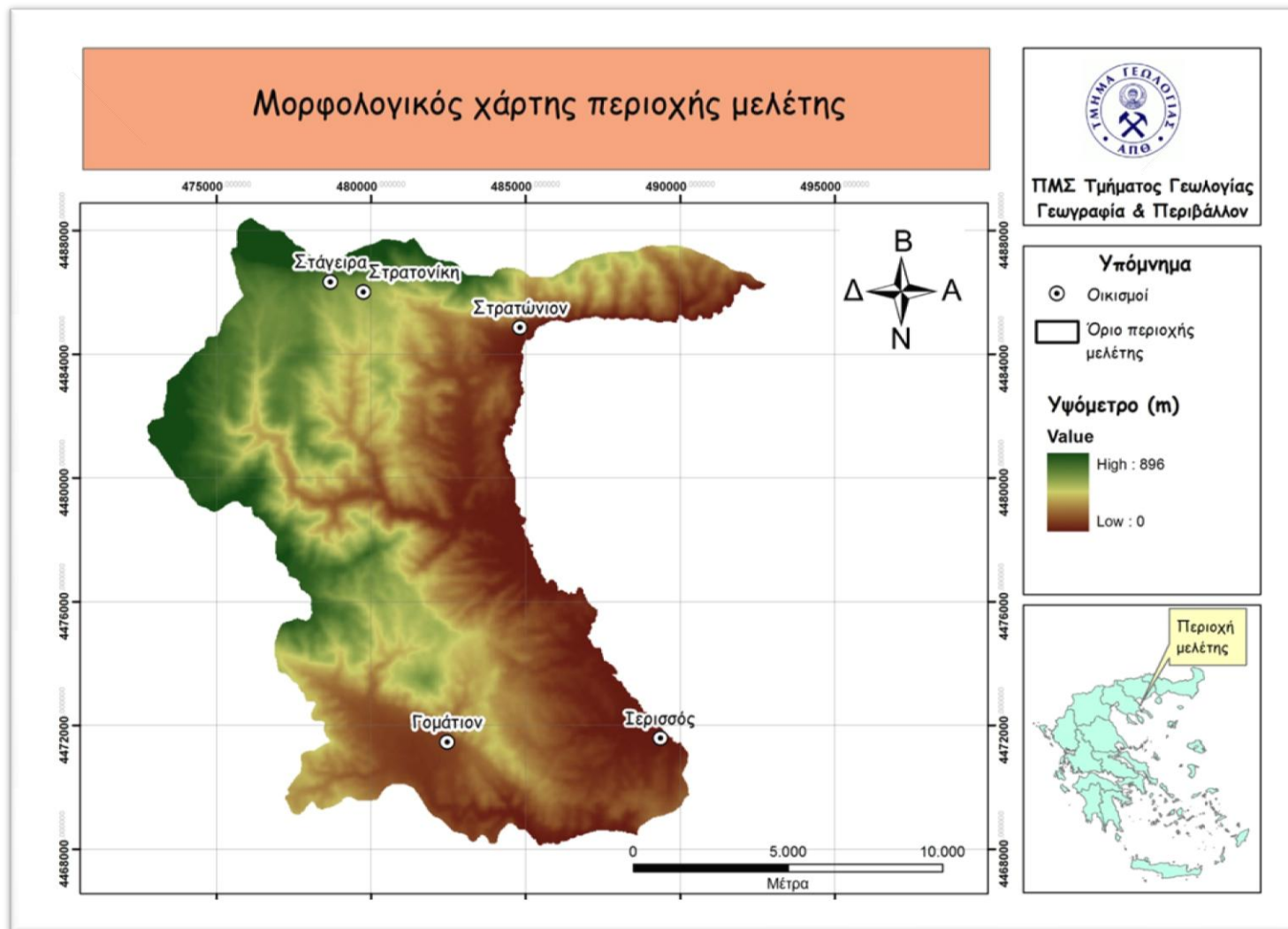
Ύψος από επιφάνεια θάλασσας	Χαρακτηρισμός
<150	Πεδινές περιοχές
150 - 600	Λοφώδεις περιοχές
600 - 900	Ημιορεινές περιοχές
>900	Ορεινές περιοχές

Χρησιμοποιώντας το ψηφιακό μοντέλο υψομέτρων (DEM) κατασκευάστηκε ο χάρτης υψομέτρων, σύμφωνα με τη ταξινόμηση του Dikau, 1989, με τη βοήθεια του προγράμματος ArcGIS 9.3. Στον πίνακα 7 παρατηρούμε ότι η έκταση της περιοχής μελέτης κατανέμεται σε τρεις γεωμορφολογικές ενότητες ή τύπους αναγλύφου.

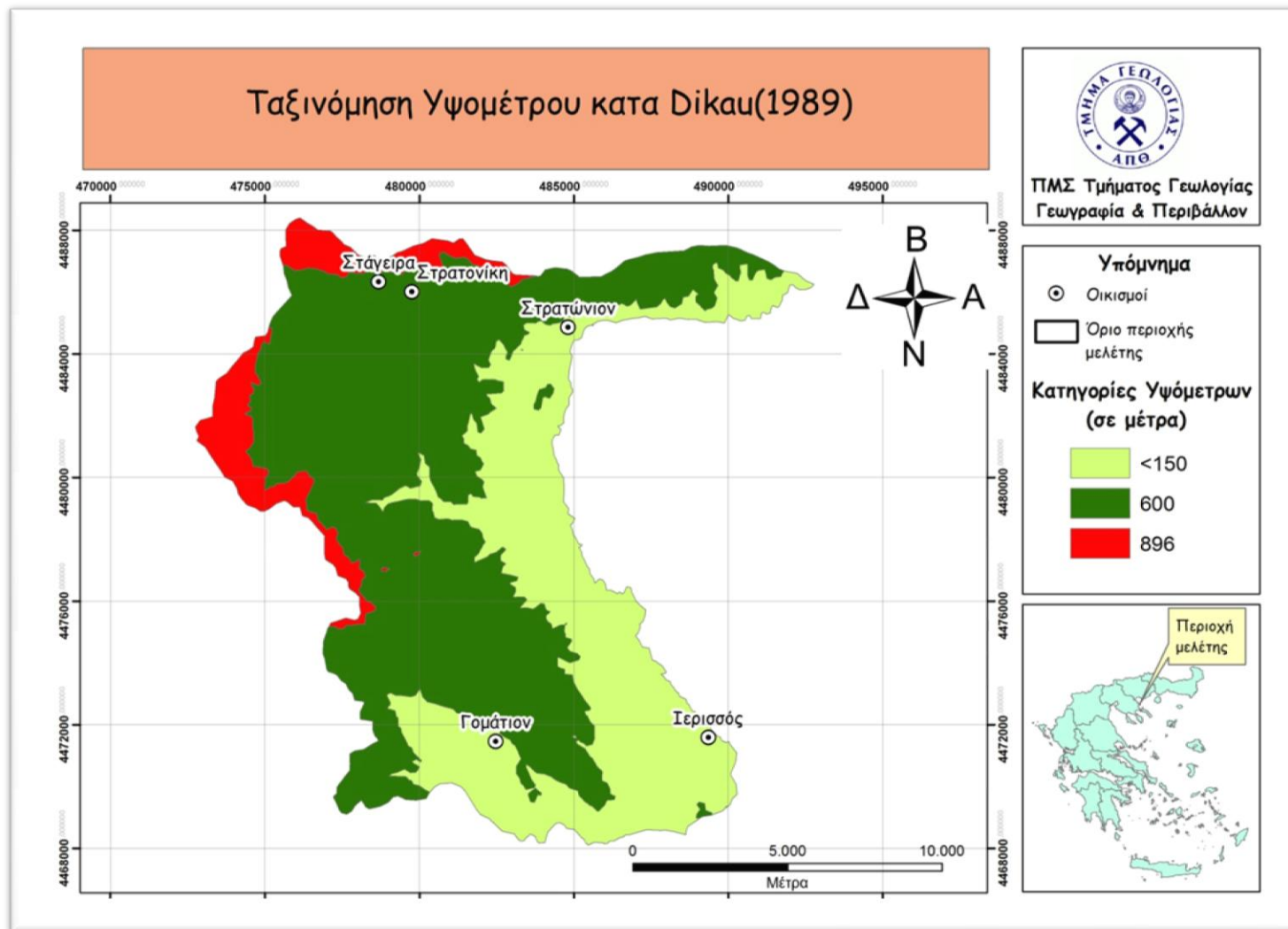
Πίνακας 7. Ταξινόμηση αναγλύφου περιοχής μελέτης κατά Dikau

Τύπος αναγλύφου	Έκταση (km ²)	Έκταση (%)
Πεδινή περιοχή	72,8	35,27
Λοφώδης περιοχή	117,8	57,08
Ημιορεινή περιοχή	15,69	7,603

Παρακάτω παρουσιάζονται ο μορφολογικός χάρτης (εικόνα 11) καθώς και ο χάρτης ταξινόμησης υψομέτρων κατά Dikau (εικόνα 12).



Εικόνα 11. Μορφολογικός χάρτης περιοχής μελέτης

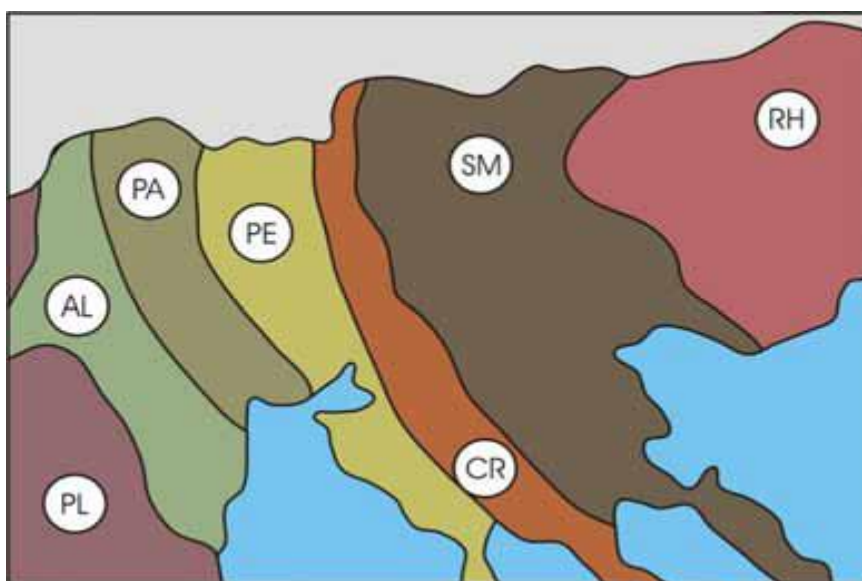


Εικόνα 12. Χάρτης ταξινόμησης υψόμετρων κατά Dikau

2.2.5. Γεωλογικά στοιχεία περιοχής μελέτης

Γεωτεκτονική τοποθέτηση της περιοχής μελέτης

Η περιοχή μελέτης ανήκει γεωτεκτονικά στη Σερβομακεδονική μάζα (Σχήμα 2), η οποία οριοθετείται ανατολικά, από τα Ελληνογιουγκοσλαβικά σύνορα έως τη Χαλκιδική, δυτικά από τον ποταμό Στρυμόνα (Kockel & Walther, 1968 και Mercier, 1966).

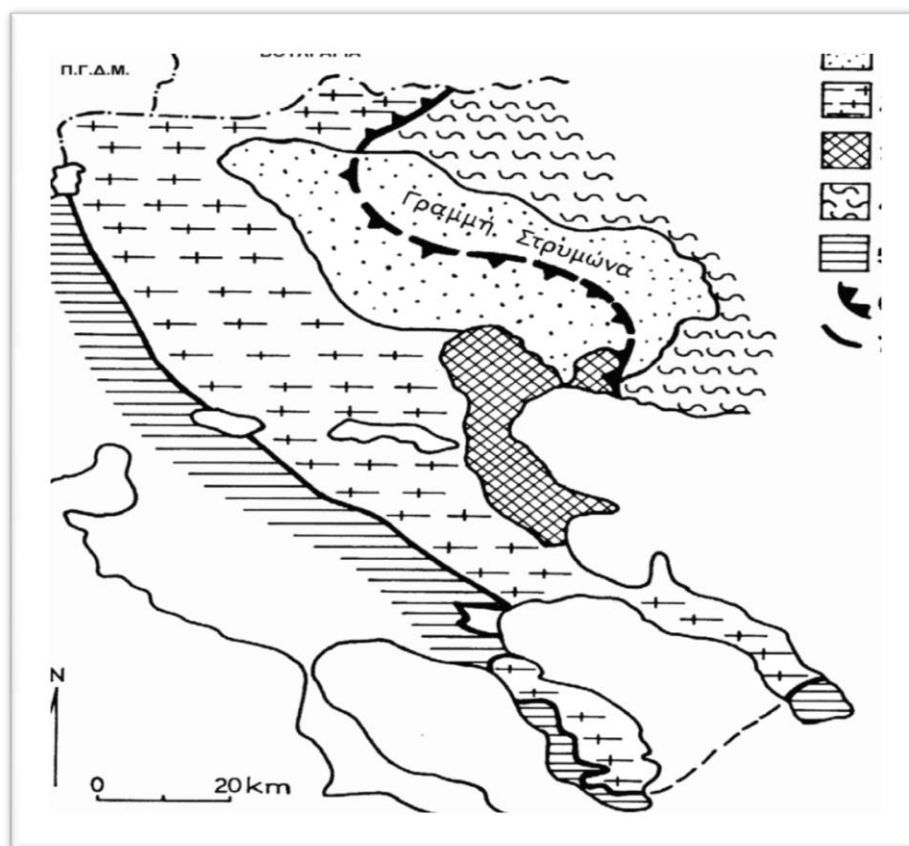


Σχήμα 2. Σκαρίφημα της γεωτεκτονικής δομής της κεντρικής Μακεδονίας. PL: Πελαγονική ζώνη, AL: υποζώνη Αλμωπίας, PA: υποζώνη Πάικου, PE: υποζώνη Παιονίας (οι AL, PA και PE συνιστούν τη ζώνη Αξιού). CR: Περιροδοπτική ζώνη, SM: Σερβομακεδονική μάζα, RH: Μάζα Ροδόπης.

Η Σερβομακεδονική ζώνη έχει ΒΒΔ - ΝΝΑ διεύθυνση και εκτείνεται από την περιοχή του Βελιγραδίου έως το Βόρειο Αιγαίο. Η ζώνη αυτή αντιστοιχεί σε μια κρυσταλλική μάζα παλαιοζωικής ή/και προκάμβριας ηλικίας, η οποία συνορεύει ανατολικά με τη μάζα Ρίλα - Ροδόπης και δυτικά με την Περιροδοπτική ζώνη.

Το ανατολικό όριο της Σερβομακεδονικής μάζας με τη μάζα της Ρίλα - Ροδόπης, κατά μήκος του ποταμού Στρυμόνα, γνωστό και ως "γραμμή Στρυμόνα", μπορεί να παρατηρηθεί μόνο σε λίγες θέσεις, λόγω των νεογενών και τεταρτογενών αποθέσεων που καλύπτουν την περιοχή του ορίου. (Από Μουντράκης 1985).

Η επαφή της Σερβομακεδονικής μάζας με την Περιροδοπική ζώνη είναι τεκτονική, οφειλόμενη στην Τριτογενή συμπίεση των Εσωτερικών ζωνών αλλά δεν έχει διευκρινιστεί πλήρως, εάν η πρωτογενής επαφή μεταξύ των δύο ζωνών είναι τεκτονική (Mercier 1968, Kockel et al. 1971, 1977) (από Σουλακέλλη 1994) ή είναι στρωματογραφική (Chatzidimitriadis et al. 1990) (Σουλακέλλης 1994).



Σχήμα 3. Τεκτονικό σκαρίφημα της Σερβομακεδονικής μάζας. 1: μεταλλικά ιζήματα της κοιλάδας του Στρυμώνα, 2:σειρά του Βερτίσκου, 3: σειρά των Κερδυλλίων, 4: μάζα της Ροδόπης, 5:Περιροδοπική ζώνη, 6:ανατολικό όριο της Σερβομακεδονικής (Γραμμή Στρυμώνα), 7:δυτικό όριο της Σερβομακεδονικής (Μουντράκης, 1985)

Τα πετρώματα της Σερβομακεδονικής αποτελούνται από μεταμορφωμένο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο, το οποίο έχει διαχωριστεί σε δύο σειρές (Kockel & Walther 1968): την κατώτερη σειρά Κερδυλλίων και την ανώτερη σειρά Βερτίσκου. (Μουντράκης, 1985).

❖ Η **σειρά των Κερδυλλίων** είναι η κατώτερη σειρά της Σερβομακεδονικής και παρουσιάζει μία γενική διεύθυνση BBD - NNA. Καταλαμβάνει την Ανατολική Χαλκιδική μεταξύ των εκβολών του Στρυμώνα και του Στρατωνίου, έχει συνολικό πάχος περίπου 3000 μέτρα και τα πετρώματά της συνιστούν τους βαθύτερους ορίζοντες της Σερβομακεδονικής μάζας και ίσως τους βαθύτερους ορίζοντες πετρωμάτων σ' όλη την Ελλάδα. Η λιθοστρωματογραφία της σειράς αποτελείται από τους εξής ορίζοντες (από τους βαθύτερους προς τους ανώτερους): βιοτιτικοί γενέσιοι, κατώτερος ορίζοντας μαρμάρου, βιοτιτικός γενέσιος, ενδιάμεσος ορίζοντας μαρμάρου, βιοτιτικός γενέσιος, ανώτερος ορίζοντας μαρμάρου.

❖ Η **σειρά του Βερτίσκου** είναι η ανώτερη σειρά της Σερβομακεδονικής μάζας και έχει διεύθυνση επίσης BBD - NNA φτάνει μέχρι τα σύνορα της Ελλάδας με τη Βουλγαρία και των Σκοπιών και επεκτείνεται και στο έδαφος των δύο αυτών χωρών. Η λιθοστρωματογραφική στήλη της σειράς αποτελείται από τους εξής σχηματισμούς: διμαρμαρυγιακοί γενέσιοι, διμαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι-γρανατούχοι, μάρμαρα, βιοτιτικοί γενέσιοι, αμφιβολίτες και άλλα μεταβασικά πετρώματα.

Γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής μελέτης

Τα πετρώματα του υποβάθρου της ευρύτερης περιοχής αποτελούνται από σχηματισμούς της Σερβομακεδονικής μάζας, των σειρών Βερτίσκου και Κερδυλλίων. Σημαντική έκταση και ιδιαίτερη σημασία για την περιοχή, αφού αποτελούν μητρικά πετρώματα της μεταλλοφορίας, έχουν τα πυριγενή πετρώματα που αναπτύσσονται εκατέρωθεν του ρήγματος του Στρατωνίου. Συγκεκριμένα:

- ✓ Γρανодиορίτης (Στρατωνίου). Περιέχει κεροστίλβη και βιοτίτη, και μεταβαίνει προς διορίτη. Συναντάται βόρεια του Στρατωνίου, στα όρια του οικισμού και στη θέση Ασπροχώματα. Στα περιθώρια του γρανίτη

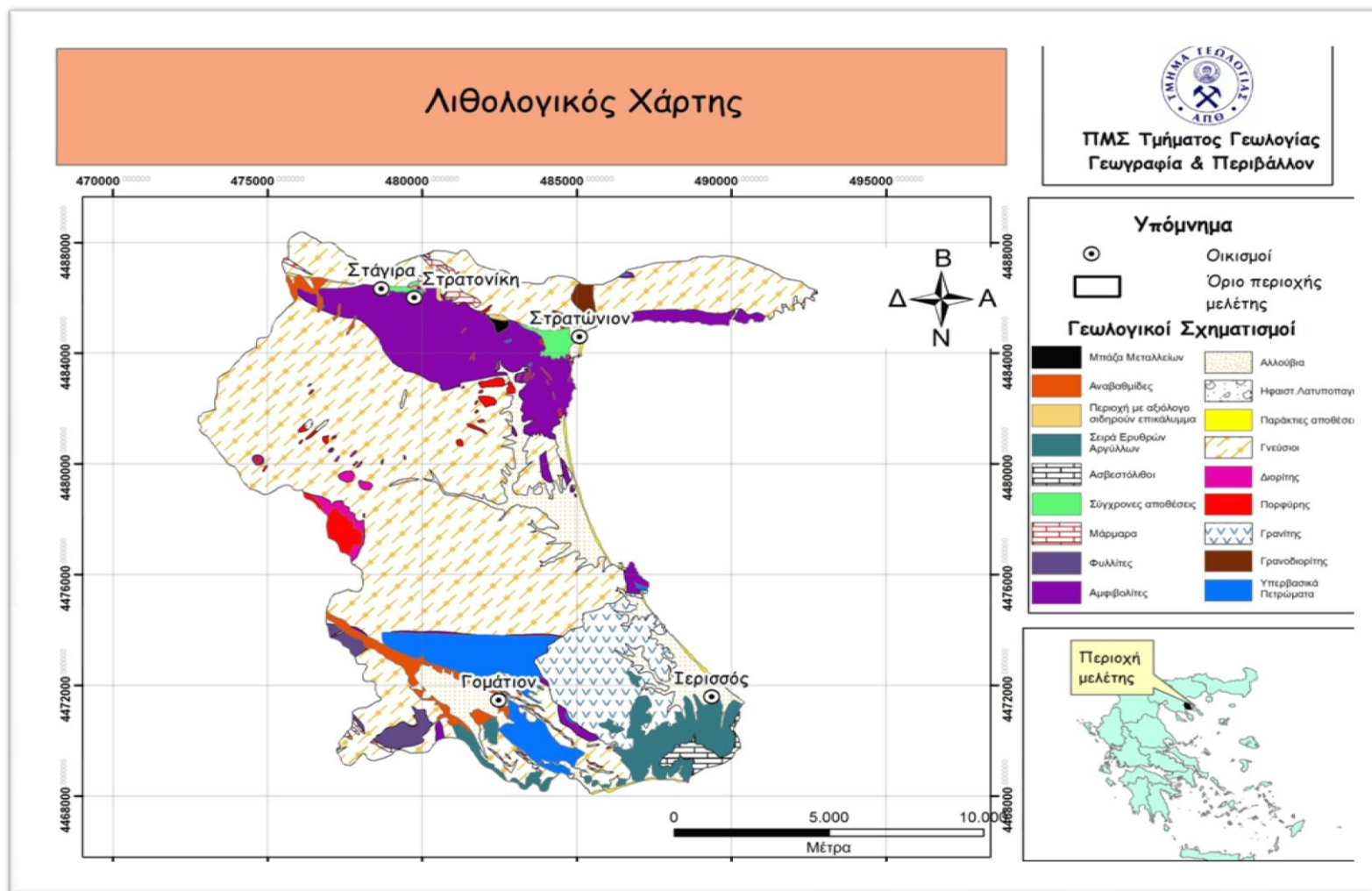
υπάρχει ζώνη μεταμόρφωσης επαφής (skarn) και άλως απλιτικών διεισδύσεων. Η τοποθέτηση της ακολουθεί καθαρά τεκτονικές γραμμές.

- ✓ Χαλαζοδιοριτικός πορφύρης. Περιέχει κεροσίλβη και βιοτίτη με πορφυριτικό ιστό. Κατά θέσεις παρατηρούνται και υδροθερμικές εξαλλοιώσεις. Παρατηρείται με τη μορφή μικρών κοιτών και φακών στην περιοχή νότια του Στρατωνίου, με μεγαλύτερη εξάπλωση στο Γεφυριού Λάκκο.
- ✓ Διοριτικός πορφύρης. Και αυτός περιέχει κεροσίλβη και βιοτίτη και έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με τον προηγούμενο. Βρίσκεται σε μικρές εμφανίσεις βόρεια της Στρατονίκης.
- ✓ Γνεύσιοι. Αποτελούνται από πλαγιокλάστα, χαλαζία, μοσχοβίτη, βιοτίτη, αστρίους, επίδοτο και επουσιώδη ορυκτά. Συχνά διατέμνονται από πηγματοειδείς φλέβες και απλιτικές παρείσακτες κοίτες. Τους συναντάμε στην περιοχή των Σκουρίων και έχουν μεγάλη έκταση.
- ✓ Εκρηξιγενή πετρώματα Μεσοζωικής ηλικίας αποτελούμενα από γάββρους, γρανίτες και γνευσίους καθώς επίσης και από επιγνευσίους, υπερβασικά
- ✓ Εκρηξιγενή πετρώματα Παλαιοζωικής ηλικίας (αμφιβολίτες) εναλλασσόμενα με μεταμορφωμένα πετρώματα του σχηματισμού Βερτίσκου
- ✓ Διμαρμαρυγικοί γνεύσιοι – σχιστόλιθοι, μάρμαρα, γνεύσιοι των σχηματισμών Βερτίσκου – Κερδυλλίων Παλαιοζωικής ηλικίας.

Τα νεότερα ιζήματα έχουν περιορισμένη έκταση και αποτελούνται από:

- ✓ Υλικά ποτάμιων αναβαθμίδων
- ✓ Αλλουβιακές αποθέσεις. Σε περιορισμένη έκταση στις κοίτες ρεμάτων της περιοχής, και σε κάπως μεγαλύτερη εμφάνιση στις ακτές του Στρατωνίου
- ✓ Παράκτιες αποθέσεις

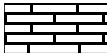
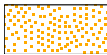
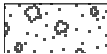
Παρακάτω παρουσιάζεται ο γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής μελέτης(Εικ.13) ο οποίος δημιουργήθηκε ύστερα από τη ψηφιοποίηση των παραπάνω σχηματισμών από τους γεωλογικούς χάρτες του Ι.Γ.Μ.Ε., κλίμακας 1:50.000, φύλλα Αρναία, Ιερισσός, Σταυρός, Στρατονίκη).



Εικόνα 13: Λιθολογικός χάρτης περιοχής μελέτης

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

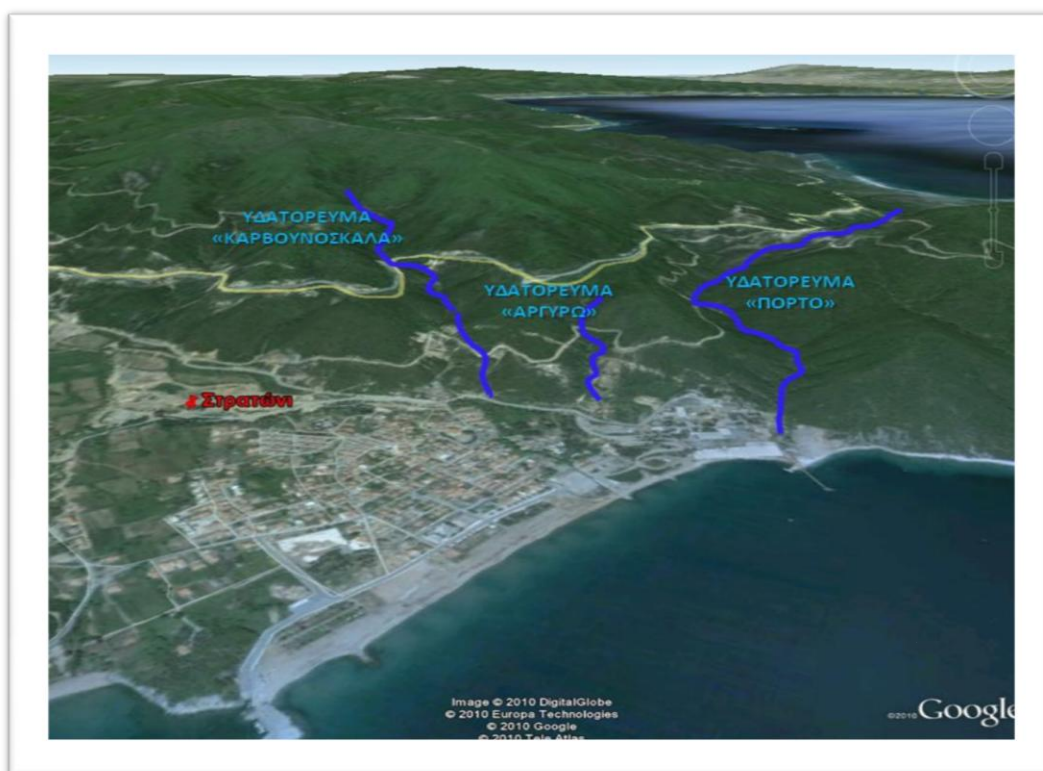
Γεωλογικοί Σχηματισμοί

	Μπάζα Μεταλλείων
	Αναβαθμίδες
	Περιοχή με αξιόλογο σιδηρούν επικάλυμα
	Σειρά Ερυθρών Αργίλων
	Ασβεστόλιθοι
	Σύγχρονες αποθέσεις
	Μάρμαρα
	Φυλλίτες
	Αμφιβολίτες
	Αλλούβια
	Ηφαιστειακά Λατυποπαγή
	Παράκτιες αποθέσεις
	Γνεύσιοι
	Διορίτης
	Πορφύρης
	Γρανίτης
	Γρανοδιορίτης
	Υπερβασικά Πετρώματα

2.2.6. Υδρολογία περιοχής μελέτης

Ως υδρογραφικό δίκτυο ορίζεται το σύνολο των επιφανειακών ρευμάτων νερού (ποταμών, χειμάρρων, κτλ) που συνδέονται μεταξύ τους με καθορισμένο τρόπο και αποστραγγίζουν μία λεκάνη απορροής (Σωτηριάδης, 1984)(Νικολαΐδου,2009).

Όσον αφορά τη περιοχή του Στρατωνίου, το υδρογραφικό δίκτυο της ανάντη περιοχής περιλαμβάνει, όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες, τρία κεντρικά υδατορεύματα τα οποία είναι οι κύριοι αποδέκτες των νερών της επιφανειακής απορροής και διασφαλίζουν τη διόδευσή τους προς χαμηλότερες στάθμες. Το πρώτο υδατορεύμα, ονομαζόμενο <<Ρέμα Καρβουνόσκαλας>> εκβάλλει στη νότια πλευρά του κόλπου του Στρατωνίου. Το δεύτερο υδατορεύμα, ονομαζόμενο <<Ρέμα Αργυρώς>> εκβάλλει στο κέντρο του κόλπου του Στρατωνίου, ενώ το τρίτο, ονομαζόμενο <<Ρέμα Πόρτο>> εκβάλλει στη βόρεια πλευρά του κόλπου του Στρατωνίου.(Αναγνωστόπουλος κ.α, 2010).



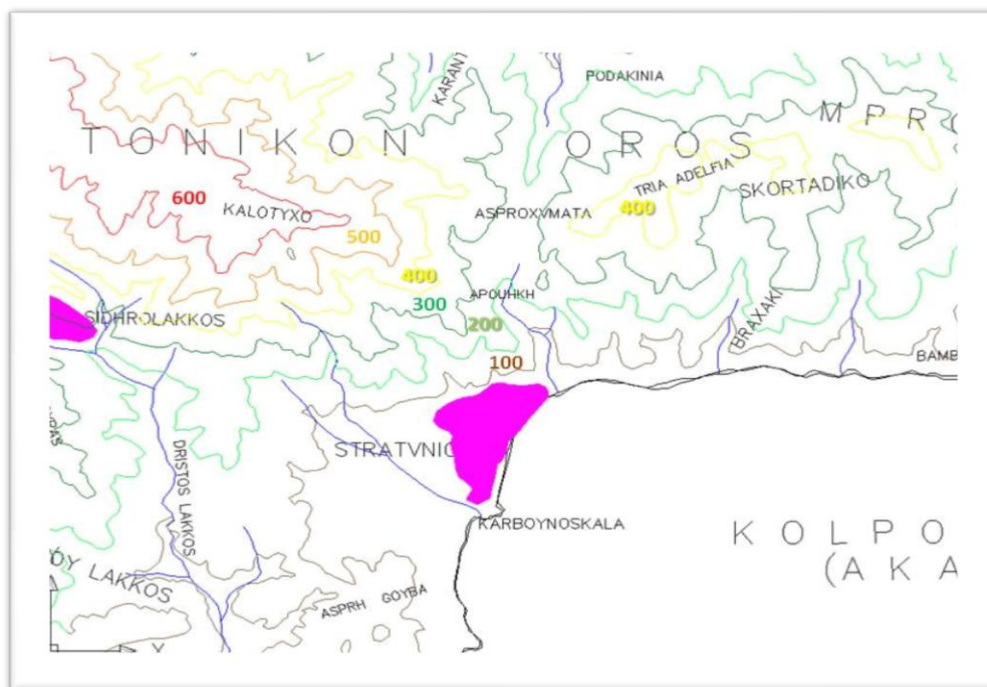
Εικόνα 14. Κεντρικά Υδατορεύματα Στρατωνίου.

Το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής, δηλαδή το σύνολο των ρεμάτων που αποστραγγίζουν τις λεκάνες απορροής της, έχει μικτή μορφή, σύμφωνα με την ταξινόμηση του Howard(1967), με ρέματα έως και 6^{ης} τάξης, σύμφωνα με την ταξινόμηση με τη μέθοδο (Strahler, 1952).

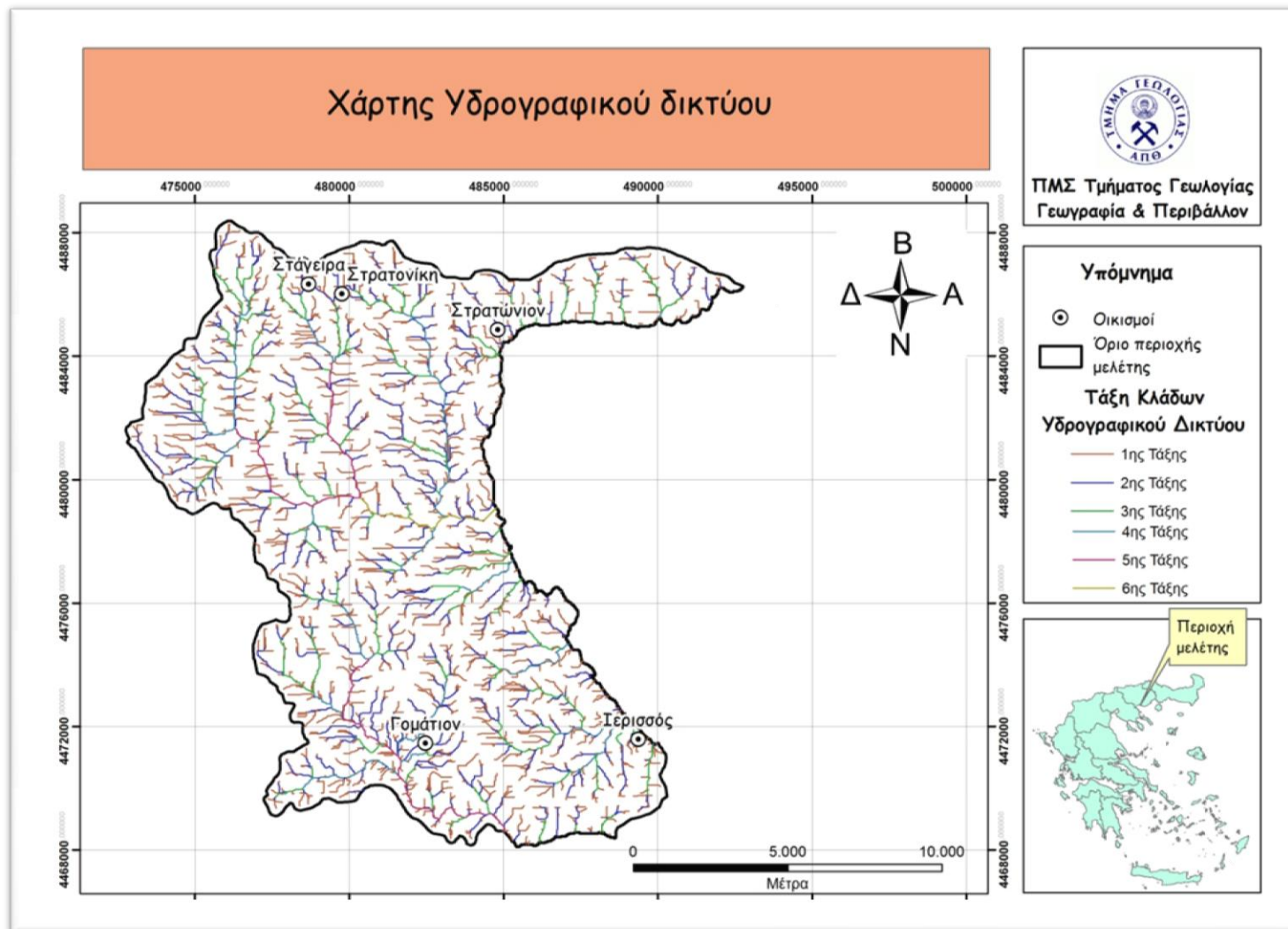
Στην περιοχή μελέτης το υδρογραφικό δίκτυο εξήχθη από το ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου(DEM) με τη βοήθεια του λογισμικού ArcGIS και πιο συγκεκριμένα με τη χρήση του υποπρογράμματος:

Spatial Analysis Tools → Hydrology.

Αρχικά το υδρογραφικό φαίνεται πολύ πυκνό, πράγμα που δεν ανταποκρίνεται στη πραγματικότητα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το πρόγραμμα αντιλαμβάνεται ως πρώτης τάξης κλάδο οποιοδήποτε κοίλωμα συναντά στη περιοχή μελέτης. Για το λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητο να διαγραφούν οι κλάδοι πρώτης και δεύτερης τάξης και να θεωρηθούν ως πρώτης τάξης οι κλάδοι τρίτης τάξης (οι τέταρτης→δεύτερης κτλ).Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι οι ευθείες γραμμές που παρατηρούνται, αντιπροσωπεύουν επίπεδες επιφάνειες και για το λόγο αυτό δεν πρέπει να λαμβάνονται υπόψη.



Εικόνα 15. Υδρογραφικό δίκτυο-Στρατώνι (Πηγή: Μωυσιιάδου, 2010).



Εικόνα 16: Χάρτης υδρογραφικού δικτύου

3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΣΤΟ ΣΤΡΑΤΩΝΙ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ

Στις 10 Φεβρουαρίου 2010 και αφού προηγήθηκαν βροχοπτώσεις από τις 6 έως τις 10 Φεβρουαρίου, έλαβε χώρα πλημμυρική κατάκλυση του δημοτικού διαμερίσματος Στρατωνίου του Δήμου Σταγείρων-Ακάνθου Νομού Χαλκιδικής από ύδατα και στερεά υλικά που μεταφέρθηκαν από υδατορεύματα της ανάντη ορεινής περιοχής. Παρόμοιου τύπου και έντασης φαινόμενα και καταστροφές παρατηρήθηκαν και σε άλλες περιοχές του νομού Χαλκιδικής(Γομάτι, Σάρπη, Συκιά, Νικήτη κ.α.).

Τα βροχομετρικά στοιχεία της περιόδου από τις 6 έως τις 10 Φεβρουαρίου αναφέρουν ισχυρές και συνεχείς βροχοπτώσεις κατά τις προηγούμενες του επεισοδίου ημέρες (6η, 7η και 8η Φεβρουαρίου με διακοπή της βροχόπτωσης την 9η Φεβρουαρίου) και σύμφωνα με πληροφορίες κατοίκων, κορύφωση της έντασης βροχής κατά τις απογευματινές ώρες της 10ης Φεβρουαρίου, οπότε και εκδηλώθηκε η πλημμύρα του Στρατωνίου.

Το υδρογραφικό δίκτυο της ανάντη περιοχής περιλαμβάνει όπως προαναφέρθηκε παραπάνω τρία κεντρικά υδατορεύματα τα οποία είναι οι κύριοι αποδέκτες των νερών της επιφανειακής απορροής και διασφαλίζουν τη διόδυσή τους προς χαμηλότερες στάθμες.

Λόγω της διάρκειας και έντασης της βροχής, τα υδατορεύματα της περιοχής μετέφεραν ασυνήθιστα υψηλές παροχές υδάτων, συμπαρασύροντας μεγάλες ποσότητες στερεών υλικών που είχαν συσσωρευτεί στις βραχώδεις κοίτες τους.

Όπως διαπιστώθηκε κατά τις αυτοψίες, τα περισσότερα από τα τεχνικά έργα (οχετοί) του οδικού δικτύου της ευρύτερης περιοχής φράχτηκαν από τις μεγάλες στερεοπαροχές των υδατορευμάτων, προκαλώντας υπερχειλίσεις με απόθεση υλικών (βραχωδών τεμαχίων, λίθων, λάσπης, κλαδιών, εκριζωμένων δένδρων, κλπ.) επί των οδοστρωμάτων, διαβρώσεις των επιχωμάτων και εδαφοροές.

Το πλημμυρικό πλήγμα στο Στρατώνι προκλήθηκε από το υδατόρευμα «Αργυρώ» και ειδικότερα όταν επήλθε απόφραξη της εισόδου της

αντιπλημμυρικής τάφρου στην βορειοδυτική πλευρά του οικισμού από τις στερεοπαροχές. Αποτέλεσμα της υπερχείλισης του υδατορεύματος ήταν η εκτροπή της ροής του δια μέσου των δρόμων του οικισμού προκαλώντας σημαντικές καταστροφές σε υποδομές, κατοικίες, αυτοκίνητα, κλπ. Κατά εξαιρετική συγκυρία δεν υπήρξαν ανθρώπινα θύματα.(Αναγνωστόπουλος κ.α, 2010).

4.ΥΛΙΚΑ – ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

4.1. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται όλα τα δεδομένα, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τις ανάγκες εκπόνησης της παρούσας εργασίας. Αρχικά απαριθμούνται τα χαρτογραφικά και άλλα επιπλέον δεδομένα (λ.χ. μετεωρολογικά, υψομετρικά κ.λ.π.) που χρησιμοποιήθηκαν, ενώ στη συνέχεια παρουσιάζονται οι διαθέσιμες δορυφορικές εικόνες ραντάρ (SAR) και οι λοιπές πολυφασματικές δορυφορικές εικόνες.

Παράλληλα στο κεφάλαιο αυτό αναφέρονται τα λογισμικά που απαιτήθηκαν για την επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων και τέλος περιγράφεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, βάσει ενός διαγράμματος ροής εργασιών, το οποίο υιοθετήθηκε.

4.2. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΑ ΚΑΙ ΑΛΛΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Για την εκπόνηση της παρούσας διατριβής ειδίκευσης χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω διαθέσιμα υλικά:

- Γεωλογικοί χάρτες κλίμακας 1:50.000 του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.), φύλλα: ΑΡΝΑΙΑ, ΣΤΑΥΡΟΣ, ΙΕΡΙΣΣΟΣ, ΣΤΡΑΤΟΝΙΚΗ
- Δεδομένα κάλυψης γης του προγράμματος Corine Land Cover 2000 (CLC2000). ([url 6](#))
- Τοπογραφικά δεδομένα ASTER-GDEM (ASTER Global Digital Elevation Model) μεγέθους ψηφίδας 1arcsec (περίπου 30m x 30 m), τα οποία διατίθενται δωρεάν μέσω του διαδικτύου. ([url 7](#))
- Διεθνής και Ελληνική βιβλιογραφία στα επιστημονικά πεδία που σχετίζονται με τη διατριβή.(βλέπε βιβλιογραφία).

4.3. ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ

Για τις ανάγκες της παρούσας διατριβής χρησιμοποιήθηκε πλήθος δορυφορικών εικόνων, τόσο πολυφασματικών όσο και εικόνων ραντάρ (SAR), με διαφόρων ειδών χωρική, φασματική, ραδιομετρική καθώς και με (δια)χρονική ανάλυση.

4.3.1. Εικόνες ραντάρ (Synthetic Aperture Radar/SAR)

Όσον αφορά στις εικόνες SAR, αποκτήθηκαν μέσω του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Διαστήματος (ΕΟΔ/ESA, category-1 project ID: 8425):

Επτά εικόνες ραντάρ (ASAR) του δορυφόρου ENVISAT του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Διαστήματος (European Space Agency/ESA), χωρικής διακριτικής ικανότητας 25m, μέγεθος εικονοστοιχείου (pixel size) 12,5m και ημερομηνιών λήψης:

- ❖ 12/08/2009
- ❖ 16/09/2009
- ❖ 03/11/2009
- ❖ 08/12/2009
- ❖ 16/02/2010
- ❖ 04/03/2010
- ❖ 23/03/2010

Από αυτές χρησιμοποιήθηκαν τελικά οι τρεις παρακάτω:

- ❖ 03/11/2009
- ❖ 08/12/2009
- ❖ 16/02/2010

4.3.2. Λοιπές πολυφασματικές εικόνες

Αναφορικά με τις άλλες πολυφασματικές εικόνες, χρησιμοποιήθηκαν:

- ✓ Εικόνα LANDSAT-5/TM, ημερομηνίας λήψης 15/08/2011 και χωρικής ανάλυσης 30m, η οποία καλύπτει το σύνολο της ευρύτερης περιοχής μελέτης.

- ✓ Εικόνες του Google Earth™, υψηλής και πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης (όπου ήταν διαθέσιμες).

4.4. ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ

Για τους σκοπούς της παρούσας διατριβής χρησιμοποιήθηκαν το εξής λογισμικό Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Geographical Information Systems/GIS):

❖ **ArcGIS (έκδοση ArcInfo 9,3)**, με τα υποπρογράμματά του (**ArcMap**, **ArcCatalog**, **ArcToolbox**) και τις επιμέρους λειτουργίες και επεκτάσεις (**extensions**) τους, όπως **Spatial Analyst™** και **3D Analyst™**, 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(floating licenses). Πιο συγκεκριμένα:

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 επεκτάσεις/προεκτάσεις (extensions):

α) **3D Analyst**. Πρόκειται για ένα πρόγραμμα απεικόνισης και ανάλυσης τρισδιάστατων δεδομένων.

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).

Για την ανάκτηση, διαχείριση και επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά:

- ❖ **ENVI™ 4.7+IDL 4.7** (αδειοδότηση αξιολόγησης / Evaluation license)
- ❖ **NEST (Next ESA SAR Toolbox) (λογισμικό ESA).**
- ❖ **TAS (Terrain Analysis System)**

Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν:

- ❖ Εφαρμογές του **Microsoft Office™ (Access, Word, Excel, Powerpoint)**
- ❖ Λογισμικό ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας **Adobe Photoshop™**

4.5. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Προσωπικός φορητός Η/Υ με λειτουργικό σύστημα Windows 7 Home Premium, Επεξεργαστής Intel ® Core ™ i5-2430M CPU @ 2,40GHz 2.40 GHz, μνήμη ram 4,00 GB .

4.6. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας αρχικά δημιουργήθηκαν επίπεδα ΓΣΠ τα οποία δημιουργήθηκαν ύστερα από τη ψηφιοποίηση των στοιχείων που μας ενδιέφεραν από τους διαθέσιμους θεματικούς χάρτες (γεωλογικούς), αλλά και από την επεξεργασία του ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου (digital elevation model) .

Στην παρούσα διατριβή ειδίκευσης χρησιμοποιήθηκε το ASTER (Global Digital Elevation Model, G-DEM), μεγέθους ψηφίδας 1arcsec (περίπου 30m x 30 m). Το συγκεκριμένο μοντέλο χρησιμοποιήθηκε λόγω της υψηλής χωρικής ανάλυσης που προσφέρει. Μάλιστα σύμφωνα με αρκετές μελέτες που

κυκλοφορούν, τα ASTER G-DEM, αποτελούν μια αξιόπιστη επιλογή υψομετρικής πληροφορίας και είναι κατάλληλα για μια πληθώρα εφαρμογών.

Από τους γεωλογικούς χάρτες ψηφιοποιήθηκαν οι λιθολογικοί σχηματισμοί της περιοχής μελέτης.

Άλλα δεδομένα που αξιοποιήθηκαν ήταν οι οικισμοί οι οποίοι λήφθηκαν από την Εθνική Υποδομή Γεωχωρικών Πληροφοριών (ΕΥΓΕΠ/Geodata) καθώς επίσης και η κάλυψη γης που προήλθε από τα διαθέσιμα δεδομένα του προγράμματος CORINE LC 2000.

Στη συνέχεια από το ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (digital elevation model) της περιοχής μελέτης προήλθαν τα παράγωγα αυτού όπως οι ισοϋψείς καμπύλες, το υδρογραφικό δίκτυο, η κατεύθυνση ροής (flow direction), η συσσώρευση ροής (flow accumulation), ο χάρτης σκιασμένου αναγλύφου (shaded relief map), ο χάρτης κλίσεων (slope map), ο χάρτης προσανατολισμού (aspect). Τέλος υπολογίστηκε ο τοπογραφικός δείκτης υγρασίας (topographic wetness index) με τη βοήθεια του προγράμματος TAS. Όλα τα παραπάνω δεδομένα ενσωματώθηκαν σε περιβάλλον ΓΣΠ με τη βοήθεια του λογισμικού ArcMap.

Έπειτα ακολούθησε η ψηφιακή επεξεργασία της εικόνας Landsat. Στην οποία εφαρμόστηκε η τεχνική του Δείκτη Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς (NDVI) με τη βοήθεια του λογισμικού Τηλεπισκόπησης ENVI. 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 και δημιουργήθηκαν διάφοροι θεματικοί χάρτες. Στη συνέχεια, ορισμένα από τα επίπεδα αυτά αξιοποιήθηκαν για τη δημιουργία χάρτη επιδεκτικότητας της περιοχής στα πλημμυρικά επεισόδια.

Τέλος ακολούθησε η ψηφιακή επεξεργασία των 3 εικόνων ραντάρ. Οι εικόνες ENVISAT/ASAR προεπεξεργάστηκαν κατάλληλα ώστε να αποσπαστούν από αυτές όσο το δυνατόν περισσότερες ποιοτικές και ποσοτικές πληροφορίες. Στη συνέχεια εφαρμόστηκε μία σειρά τεχνικών ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας με τη βοήθεια του λογισμικού ENVI με σκοπό την οριοθέτηση/εντοπισμό των πλημμυρισμένων περιοχών. Στις τεχνικές που

χρησιμοποιήθηκαν συμπεριλαμβάνονται οι τεχνικές ανίχνευσης αλλαγών όπως δημιουργία ψευδοχρωματικής εικόνας (false color composition) και η εφαρμογή αριθμητικών πράξεων μεταξύ των φασματικών τιμών των εικονοστοιχείων. Στο παρακάτω κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και οι τρόποι επεξεργασίας τους

5. ΨΗΦΙΑΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ GIS ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

5.1. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μία σύντομη εισαγωγή στα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (Geographical Information Systems / G.I.S.) και περιγράφονται τα δεδομένα που ψηφιοποιήθηκαν (δημιουργία επιπέδων πληροφοριών και βάσης δεδομένων). Στη συνέχεια τα παραπάνω δεδομένα μετά από κατάλληλη επεξεργασία αξιοποιήθηκαν για την παραγωγή δευτερογενών ψηφιακών χαρτογραφικών προϊόντων (χάρτης κλίσεων, χάρτης σκιασμένου αναγλύφου κ.α.), τα οποία αξιοποιούνται σε επόμενα στάδια της εργασίας για την παραγωγή του χάρτη επιδεκτικότητας στις πλημμύρες.

5.2. ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΓΣΠ

Η ραγδαία εξέλιξη της επιστήμης της πληροφορικής δημιούργησε καινούργιες προοπτικές στις εφαρμοσμένες επιστήμες, ειδικότερα στη χαρτογραφία, στη Τηλεπισκόπηση και τα ΓΣΠ (GIS) εισάγοντας σε αυτά την έννοια της αυτοματοποίησης.

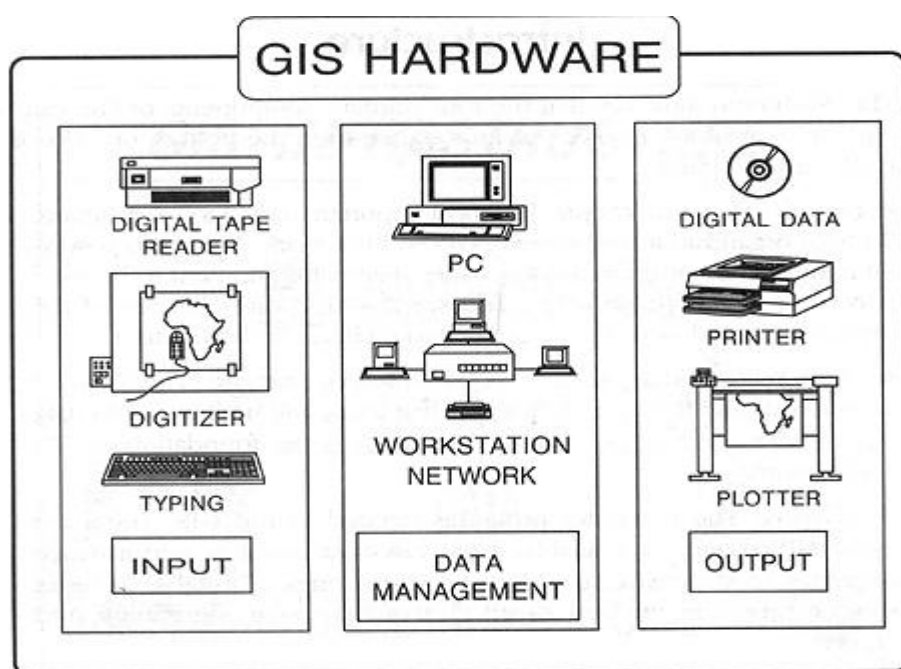
Σύμφωνα με τους Παρασχάκη κ.α. (1990), με τον όρο Ψηφιακή Χαρτογραφία (Digital Cartography) ή Χαρτογραφία μέσω Η/Υ, εννοούμε το αυτοδύναμο εκείνο κομμάτι της Χαρτογραφίας, το οποίο συλλέγει, επεξεργάζεται και αποδίδει τα χαρτογραφημένα δεδομένα, χρησιμοποιώντας ως εργαλεία τους Η/Υ και τις ειδικές περιφερειακές συσκευές τους. Όλα αυτά γίνονται σε συνδυασμό με τις δυνατότητες που παρέχονται από διάφορα λογισμικά (όπως λογισμικά γραφικών, βάσεων δεδομένων κ.λ.π.). Έτσι λοιπόν η Ψηφιακή Χαρτογραφία, η οποία αποτελεί στην ουσία τη σύγχρονη έκφραση της Χαρτογραφίας, τείνει στο εγγύς μέλλον να αντικαταστήσει σχεδόν ολοκληρωτικά τις παραδοσιακές χαρτογραφικές μεθόδους, στις διάφορες χαρτογραφικές διαδικασίες (Ασάρας κ.α., 2007).

Ως πλέον αντιπροσωπευτικό εργαλείο Ψηφιακής Χαρτογραφίας, τα **Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (Geographical Information**

Systems / G.I.S.), αποτελούν «δυναμικά εργαλεία» συλλογής, αποθήκευσης, διαχείρισης, ανάκτησης, μετασχηματισμού και απεικόνισης χωρικών δεδομένων, σχετικών με φαινόμενα που απαντούν και εξελίσσονται στον πραγματικό κόσμο (Goodchild 1985, Burrough 1992, Burrough & McDonnell 2000, Αστάρας κ.α. 2007).

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών έχουν πέντε σημαντικά επίπεδα υποδομής:

α) Υποδομή Hardware: Η υποδομή Hardware αποτελείται συνήθως από τα αντικείμενα που εμφανίζονται στην παρακάτω εικόνα



Εικόνα 17. Κύρια μέρη της υποδομής Hardware των GIS. Ένας ψηφιοποιητής (digitizer) ή ένα scanner μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εισαγωγή γεωγραφικών δεδομένων με την μετατροπή χαρτών καθώς και εγγράφων σε ψηφιακή μορφή. Ο υπολογιστής περιέχει σκληρό δίσκο για την αποθήκευση των δεδομένων αλλά επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν το δίκτυο, τα DVD και οι εξωτερικοί σκληροί δίσκοι και άλλες συσκευές για επιπλέον χώρο. Για την αναπαράσταση των δεδομένων χρησιμοποιείται κάποιο plotter, εκτυπωτής ή οποιαδήποτε άλλη συσκευή παρουσίασης. **Πηγή: Federation of American Scientists.**

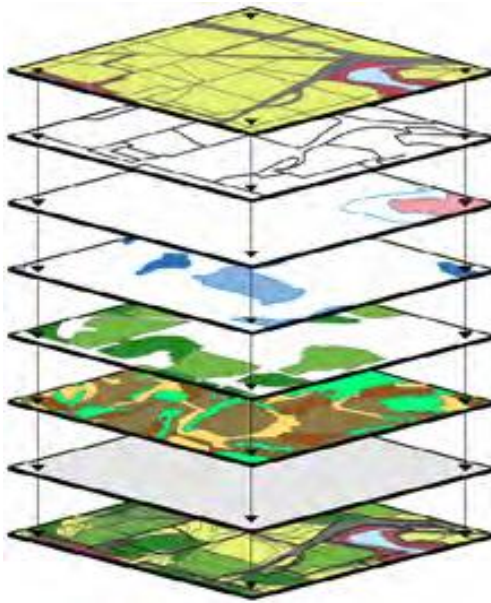
β) Υποδομή Software: Η Υποδομή software των GIS βασίζεται σε πέντε βασικά στοιχεία i) Εισαγωγή δεδομένων και επαλήθευση, ii)

Αποθήκευση και διαχείριση δεδομένων, iii) Παρουσίαση και εξαγωγή δεδομένων, iv) Μετασχηματισμός δεδομένων και v) Αλληλεπίδραση με το χρήστη

γ) Μέθοδοι εφαρμογής - Ειδικευμένο προσωπικό: Οι παραπάνω υποδομές αν και σημαντικές παραμένουν περιορισμένης αξίας αν δεν χρησιμοποιούνται από ειδικευμένο προσωπικό πάνω στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών ή αν δεν υπάρχει οριοθετημένο αντικείμενο εφαρμογής και μεθοδολογία για την χρήση τους.

δ) Δεδομένα: Τα γεωγραφικά ή χωρικά δεδομένα (**spatial data**) αποτελούν το θεμέλιο λίθο των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών ενώ χρησιμεύουν σαν μία αναπαράσταση του πραγματικού κόσμου. Περιέχουν στοιχεία για τη **θέση (location)** των φαινομένων που παρατηρούνται στον πραγματικό κόσμο όσον αφορά ένα οριοθετημένο σύστημα συντεταγμένων, τα **χαρακτηριστικά (attributes)** αυτών των φαινομένων καθώς και στοιχεία για την αλληλοσυσχέτιση μεταξύ τους η οποία περιγράφει τον τρόπο σύνδεσης αυτών των δεδομένων και ονομάζεται **τοπολογία ή (topology)**. Για να θεωρηθούν τα χωρικά δεδομένα ποιοτικά ώστε να χρησιμοποιηθούν σε μία γεωγραφική ανάλυση απαιτείται ο έλεγχος τους όσον αφορά την ακρίβεια τους. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται σήμερα επί το πλείστον στα GIS είναι τα vector, raster, image και attribute data. (Burrough and McDonnell, 2006)([url 8](#)).

Η λειτουργία των GIS στηρίζεται στη σύνδεση μιας βάσης δεδομένων (database), η οποία περιέχει περιγραφικά (μη χωρικά) δεδομένα, με διάφορα επίπεδα (layers) χωρικών πληροφοριών (Σχήμα), τα οποία διαθέτουν κάποιου είδους γεωγραφική αναφορά.



Σχήμα 4. Ο συνδυασμός διαφορετικών επιπέδων (layers) χωρικών πληροφοριών, τα οποία υπερτίθενται το ένα πάνω στο άλλο, σύμφωνα με τη γεωγραφική τους αναφορά και συνοδεύονται από μία βάση δεδομένων, συνθέτουν τη βασική δομή ενός GIS.

Ο αντικειμενικός σκοπός της συλλογής και διαχείρισης των δεδομένων σε ένα GIS είναι η συσχέτισή τους και η λήψη αποφάσεων. Έτσι, τα GIS δεν αποτελούν πλέον απλά μια τεχνολογία παραγωγής ψηφιακών προϊόντων (χάρτες, πίνακες κ.λ.π.). Αντίθετα, παρέχουν δυνατότητες για την κάλυψη οργανωτικών και διαχειριστικών αναγκών, τη δημιουργία μοντέλων και την πρόβλεψη φαινομένων και καταστάσεων. (Καπαγερίδη, 2006)

Σήμερα στην αγορά διακινούνται διάφορα πακέτα λογισμικού Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών που λειτουργούν σε διαφορετικά λειτουργικά συστήματα (όπως Windows, MacOS, Linux). Μερικά από αυτά, όπως το GRASS GIS και το QUANTUM GIS, διακινούνται ελεύθερα υπό το καθεστώς Άδεια Ελεύθερης Τεκμηρίωσης GNU και λειτουργούν σε όλα τα λειτουργικά συστήματα. (url 4).

5.3 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας συγκεντρώθηκαν, οργανώθηκαν και επεξεργάστηκαν πληροφορίες με γεωγραφική αναφορά. Έτσι αρχικά δημιουργήθηκαν τα απαραίτητα επίπεδα πληροφοριών τα οποία στη συνέχεια επεξεργάστηκαν κατάλληλα για την παραγωγή ψηφιακών χαρτογραφικών προϊόντων με τα αποτελέσματα της μελέτης.

Με τη χρήση του λογισμικού ArcGIS, δημιουργήθηκαν τα εξής επίπεδα πληροφοριών:

Από τους γεωλογικούς χάρτες του ΙΓΜΕ., κλίμακας 1:50.000, ψηφιοποιήθηκαν:

- Γεωλογικοί σχηματισμοί

Επίσης ανακτήθηκαν:

- Δεδομένα κάλυψης γης του προγράμματος CORINE 2000 (geodata.gr)
- Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας (Όρια Νομών και ΟΤΑ) (geodata.gr)
- Το Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου (DEM) από το οποίο εξήχθησαν οι ισοϋψείς καμπύλες (ισοδιάσταση 20m) και το υδρογραφικό δίκτυο και όλα τα παράγωγα αυτών που θεωρήθηκαν χρήσιμα για τη συγκεκριμένη διατριβή ειδίκευσης.

Το σύνολο αυτό των επιπέδων πληροφοριών συνδυάστηκαν κατάλληλα μεταξύ τους, προκειμένου να αναλυθούν, να αξιολογηθούν και να προκύψουν τα τελικά συμπεράσματα.

5.3.1. Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου (DEM)

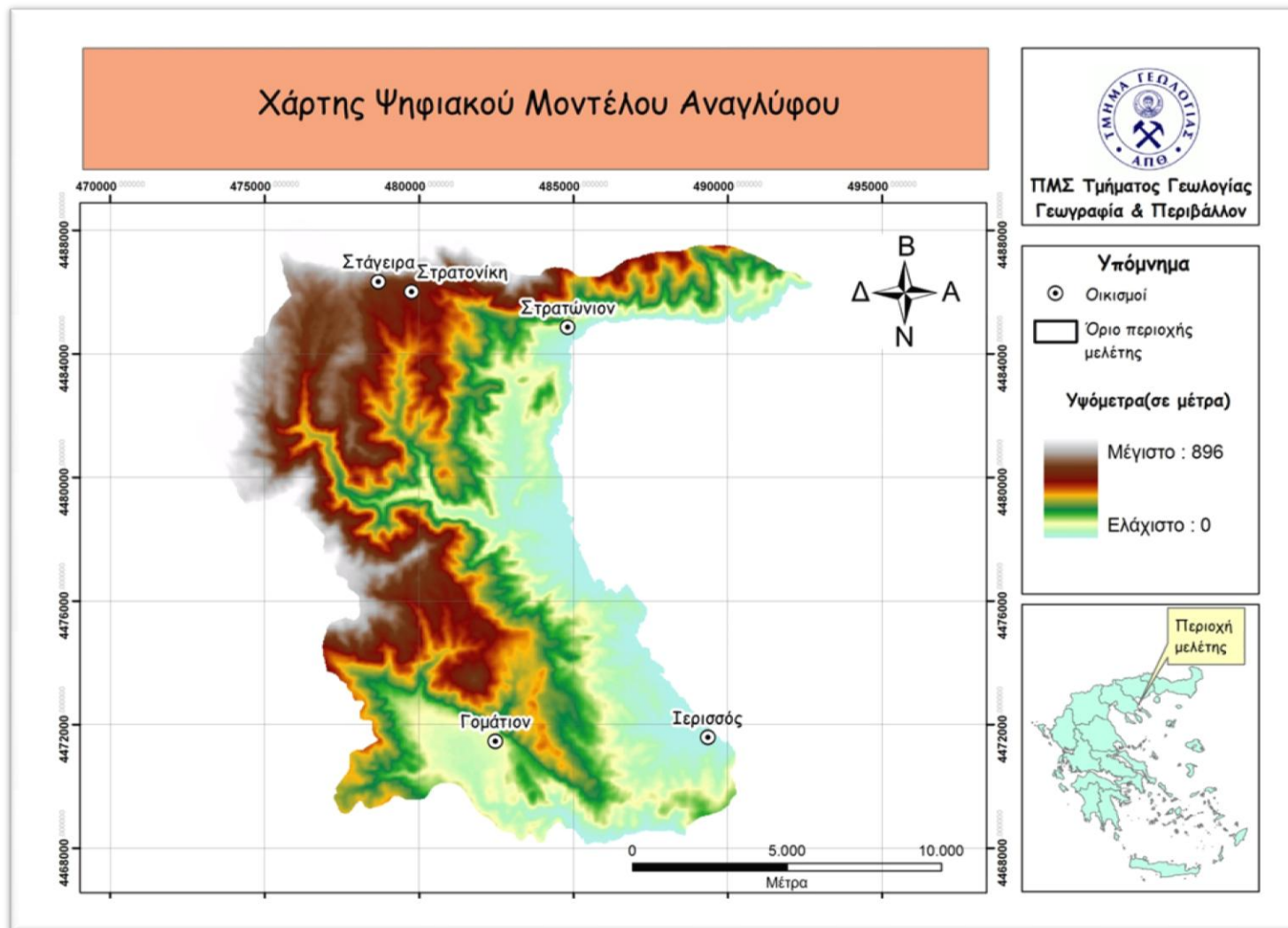
Ο συνηθέστερος και πιο διαδεδομένος τρόπος απεικόνισης του αναγλύφου της γήινης επιφάνειας, είναι τα Ψηφιακά Μοντέλα Αναγλύφου / Ψ.Μ.Α. (Digital Elevation Model/ DEM). Η προσέγγιση της επιφάνειας του εδάφους με αριθμητικές θέσεις και υψομέτρου συγκεκριμένων σημείων (ψηφιακά δεδομένα) οι οποίες χρησιμοποιούνται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

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). (από Νικολαΐδου, 2009).

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 30x30 m. Παρακάτω παρουσιάζεται το ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου της ευρύτερης περιοχής μελέτης. (Εικ.18).



Εικόνα 18. Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου περιοχής μελέτης

5.3.2. Χάρτης κλίσεων

Μία παράμετρος που μπορεί να υπολογιστεί από την περαιτέρω ανάλυση του ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου, είναι η κλίση του αναγλύφου, η οποία αποτελεί το πιο ευρέως διαδεδομένο τοπογραφικό μέγεθος και πολύ μεγάλης σημασίας για κάθε γεωμορφολογική έρευνα.

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 (Commision on Geomorphological Survey and Mapping) της Διεθνούς Γεωγραφικής Ένωσης (IGU – International Geographical Union), έγινε η ταξινόμηση των κλίσεων σε 6 κύριες κατηγορίες:

❖ **Κλίση 0° – 2° (0% – 3,5%)**: Επίπεδο έως ελαφρώς κεκλιμένο ανάγλυφο (πλημμυρικά πεδία, επιφάνειες επιπέδωσης, αναβαθμίδες). Έναρξη διάβρωσης τύπου καλύμματος. Απουσία προβλημάτων στις ανθρώπινες δραστηριότητες (μεταφορές, οικοδόμηση, γεωργία, υλοτομία).

❖ **Κλίση 2° – 5° (3,5% - 8,7%)**: Ελαφρώς κεκλιμένο ανάγλυφο (πρόποδες κοιλάδων, περιοχές τελικών μοραίνων, κλιτύς θινών). Διάβρωση καλύμματος και έναρξη αυλακωτής διάβρωσης. Σε περιοχές φυτοκάλυψης παρατηρείται έναρξη ερπυσμού εδαφών. Μέτρα προστασίας του εδάφους λαμβάνονται στις καλλιεργούμενες περιοχές. Ελαφρά δυσκολία στη μετακίνηση των οχημάτων, δυνατότητα εποίκισμού και λειτουργίας βιομηχανιών. Καλλιέργεια δυνατή με τη χρήση μηχανημάτων. Προτεινόμενη η καλλιέργεια κατά τις ισοϋψείς.

❖ **Κλίση 5° – 15° (8,7% – 26,8%)**: Ισχυρώς κεκλιμένο ανάγλυφο (κλιτύς 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 εδαφους 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 αναβαθμιδών. Δυσκολίες στη χρήση γεωργικών μηχανημάτων.

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

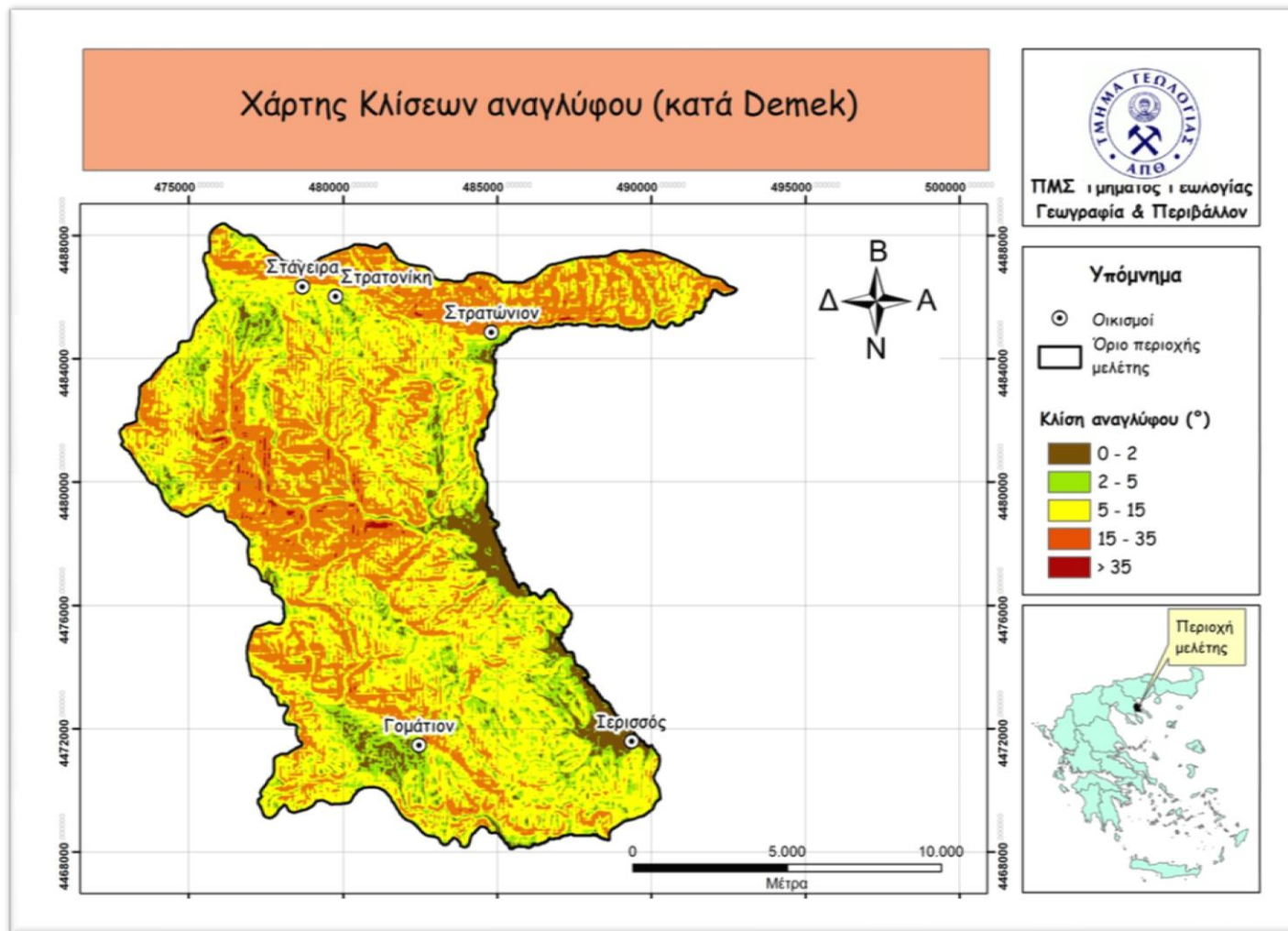
❖ **Κλίση 35° - 55° (70% – 135%)**: Απόκρημνο ανάγλυφο (απότομες κλιτύες κοιλάδων υψηλών ορέων, κλιτύες σχηματισμών hogbacks, κλιτύες ασβεστολιθικών φαραγγιών). Πολύ λεπτό, ασυνεχές στρώμα εδάφους, έντονη απογύμνωση του μητρικού πετρώματος, ισχυρότατη έκθεση στους παράγοντες της διάβρωσης και της βαρύτητας. Αδύνατη η προσπέλαση. Περιοχή δασών, όριο εκμετάλλευσης της υλοτομίας.

❖ **Κλίση >55° (>135%)**: Κάθετο ανάγλυφο (κάθετες κλιτύες σε περιοχές φαμμιτικών και ασβεστολιθικών ορέων). Απουσία εδάφους. Απογύμνωση των εκτεθειμένων πετρωμάτων, κατάρρευση βράχων. Αδύνατη η οικονομική εκμετάλλευση. Αναρρίχηση. Κίνδυνος πτώσης βράχων στα κατάντη. (Νικολαΐδου, 2009).

Ο χάρτης κλίσεων του αναγλύφου της περιοχής μελέτης προέκυψε από την επεξεργασία του ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου (DEM) με τη βοήθεια του λογισμικού ArcGIS (Spatial Analyst extension), ακολουθώντας την ταξινόμηση της IGU (Demek, 1972) και παρουσιάζεται παρακάτω (χάρτης 8).

Πίνακας 8. Χωρική κατανομή των κλίσεων της περιοχής μελέτης με τη ταξινόμηση του Demek, 1972

Κλίσεις σε μοίρες	Έκταση (km ²)	Ποσοστό %
0-2	12,672	6,14
2-5	28,024	13,58
5-15	101,43	49,16
15-35	63,313	30,68
>35	0,8742	0,42



Εικόνα 19: Χάρτης κλίσεων περιοχής μελέτης (ταξινόμηση κατά Demek, 1972)

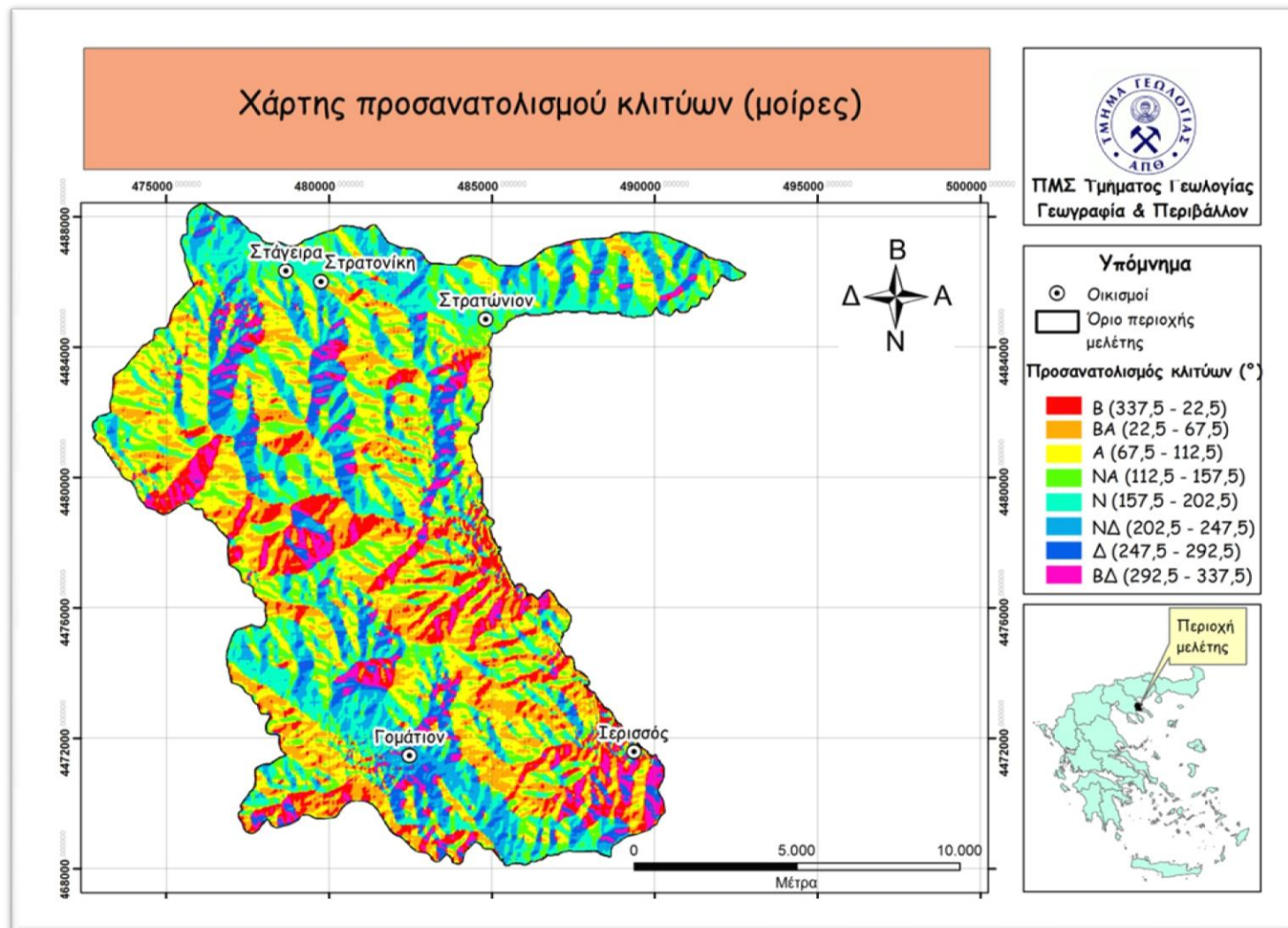
5.3.3. Χάρτης προσανατολισμού κλιτύων

Ο προσανατολισμός(slope aspect) (Σχήμα 5), αναγνωρίζει την κατεύθυνση της πιο απότομης κλίσης από κάθε εικονοστοιχείο στα γειτονικά του. Μπορεί να θεωρηθεί ως η διεύθυνση κλίσης ή η κατεύθυνση προς την οποία «κοιτάζει» μία πλαγιά. Μετριέται σε μοίρες από 0 έως 360 δεξιόστροφα (μία πλήρης περιστροφή με αφετηρία τον βορρά)(Νικολαΐδου,2009).



Σχήμα 5: Προσανατολισμός

Με τη βοήθεια της επέκτασης του υποπρογράμματος Spatial Analyst, του προγράμματος ArcGIS Desktop, υπολογίστηκε από το ψηφιακό μοντέλου εδάφους ο προσανατολισμός για κάθε ένα εικονοστοιχείο της περιοχής μελέτης και στη συνέχεια κατασκευάστηκε ο χάρτης προσανατολισμού ο οποίος δίνεται παρακάτω(εικόνα 20)



Εικόνα 20: Χάρτης προσανατολισμού των κλιτύων της περιοχής μελέτης

5.3.4. Χάρτης σκιασμένου αναγλύφου

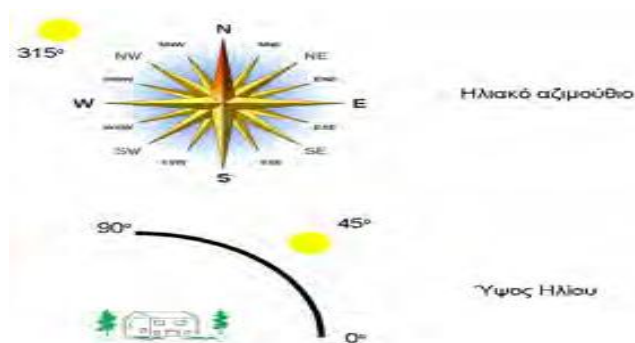
Ο χάρτης ή μοντέλο σκιασμένου αναγλύφου (Hillshade ή Shaded Relief Map/Model) δίνει την εικόνα του αναγλύφου της εκάστοτε περιοχής, θεωρώντας ότι αυτή φωτίζεται από μία υποθετική πηγή φωτός, η οποία βρίσκεται στο άπειρο και υπολογίζοντας τις σχετικές τιμές έντασης (φωτισμού) μεταξύ των εικονοστοιχείων. Ο χάρτης σκιασμένου αναγλύφου δεν απεικονίζει την εδαφική κάλυψη παρά μόνο την ψηφιοποιημένη γήινη επιφάνεια.

Ο τρόπος με τον οποίο τα στοιχεία της επιφάνειας θα ανακλούν το φως εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά τους (κλίση, προσανατολισμός) και από τη θέση της φωτεινής πηγής, η οποία καθορίζεται από τον αναλυτή, με τη βοήθεια δύο παραμέτρων: (1) του ηλιακού αζιμουθίου (Solar Azimuth) και (2) του ύψους ηλίου (Solar Elevation).

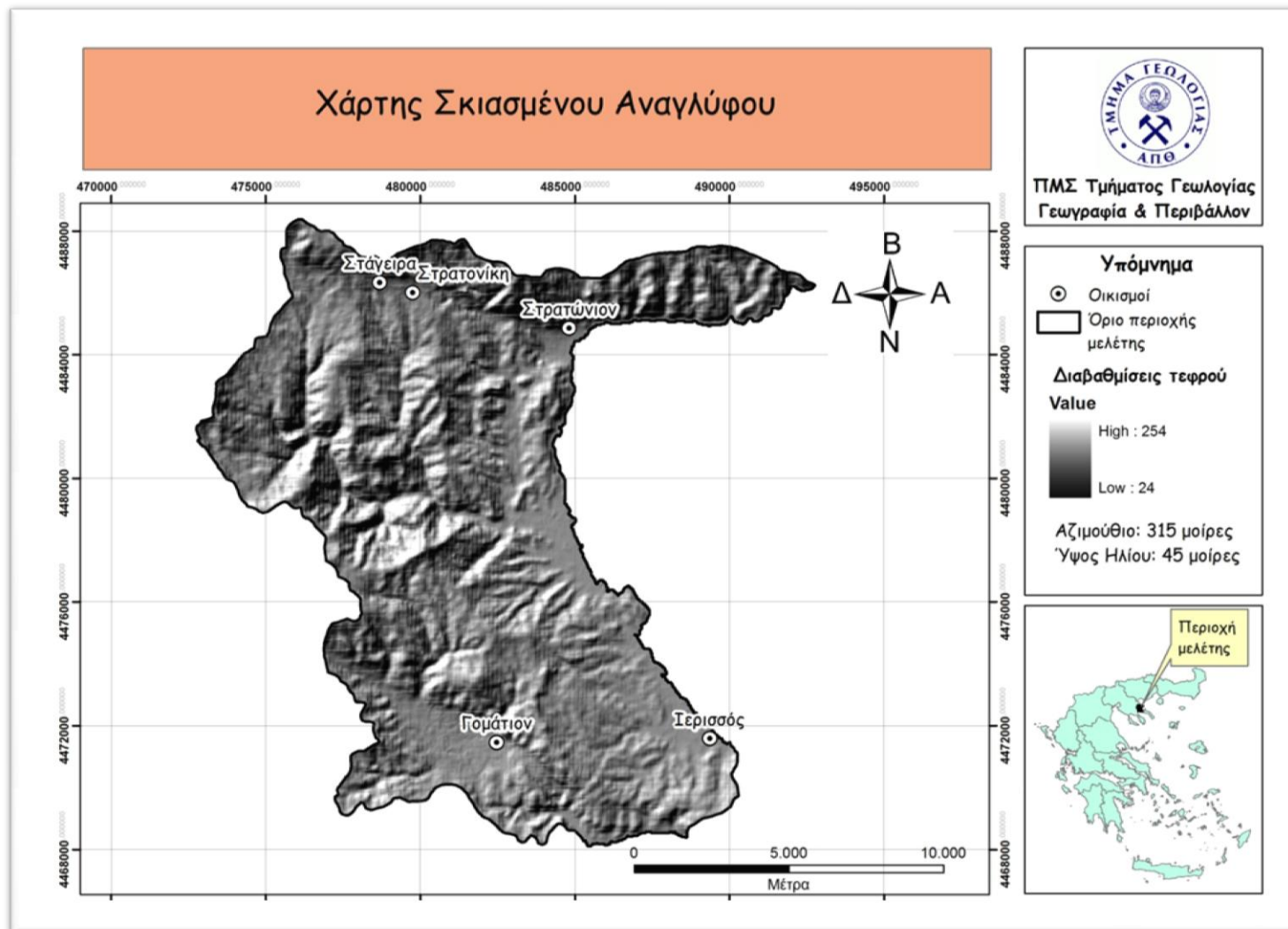
Το αζιμούθιο είναι η γωνιακή διεύθυνση (0° - 360°) του ηλίου, μετρούμενη από το Βορρά κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού. Το ύψος ηλίου ταυτίζεται με τη γωνία που σχηματίζει η φωτεινή πηγή με τον ορίζοντα.

Οι χάρτες σκιασμένου αναγλύφου δημιουργούν εντυπωσιακές απεικονίσεις του αναγλύφου και χρησιμοποιούνται στην τρισδιάστατη απεικόνιση, συχνά σε συνδυασμό με άλλα δεδομένα (π.χ. δορυφορικές εικόνες), βελτιώνοντας το οπτικό αποτέλεσμα. (από Μουρατίδη, 2010).

Ο χάρτης σκιασμένου αναγλύφου προέκυψε από το υποπρόγραμμα (extension) Spatial Analyst του λογισμικού ArcGIS με βάση το ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου της περιοχής. (Χάρτης 10). Στη συγκεκριμένη περίπτωση ως αζιμούθιο ηλίου επιλέχθηκαν οι προεπιλεγμένες τιμές 315° («φωτισμός» από ΒΔ), ενώ ως ύψος ηλίου επιλέχθηκε γωνία 45° .



Σχήμα 6. Ηλιακό Αζιμούθιο - Ύψος Ηλίου



Εικόνα 21: Χάρτης σκιασμένου αναγλύφου της περιοχής μελέτης.

5.3.5. Κατεύθυνση Ροής (Flow direction)

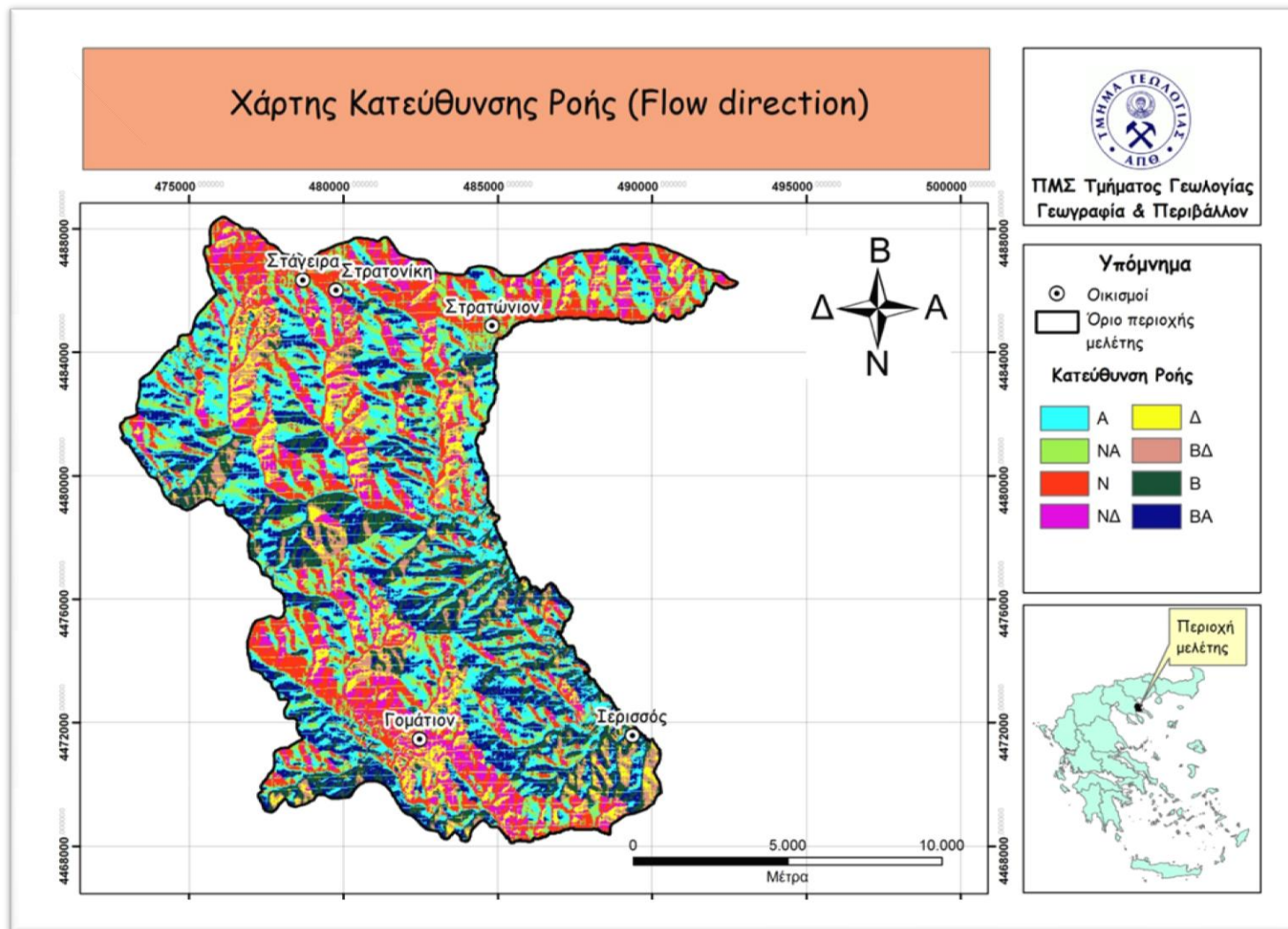
Η «κατεύθυνση» ροής (flow direction) σε κάθε εικονοστοιχείο του DEM εξαρτάται από το σχετικό υψόμετρο του σημείου αυτού ως προς τα γειτονικά του. Οι δυνατές κατευθύνσεις είναι οκτώ, συγκεκριμένα A, NA, N, ΝΔ, Δ, ΒΔ, Β και ΒΑ. Στο λογισμικό ArcGIS κωδικοποιούνται και γίνονται αντιληπτές ως αριθμοί (1, 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.) με τον τρόπο που φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 7. (Νικολαΐδου,2009).

Η λειτουργία Flow Direction υπολογίζει την κατεύθυνση ροής για ένα δεδομένο πλέγμα. Το πλέγμα το οποίο εφαρμόζεται η εντολή είναι το Fill Grid και το νερό που είναι αποθηκευμένο σε κάθε κελί θα κυλήσει προς τα γειτονικά κελιά με το χαμηλότερο υψόμετρο.

32	64	128
16		1
8	4	2

Σχήμα 7: Κωδικοποίηση κατεύθυνσης ροής για το κεντρικό εικονοστοιχείο του DEM
(ESRI 2001 (c)).

Έτσι με τη βοήθεια του υποπρογράμματος Hydrology Modelling του ArcGIS από το Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου της περιοχής μελέτης, υπολογίστηκε η κατεύθυνση ροής για κάθε ένα εικονοστοιχείο(Εικόνα 22).

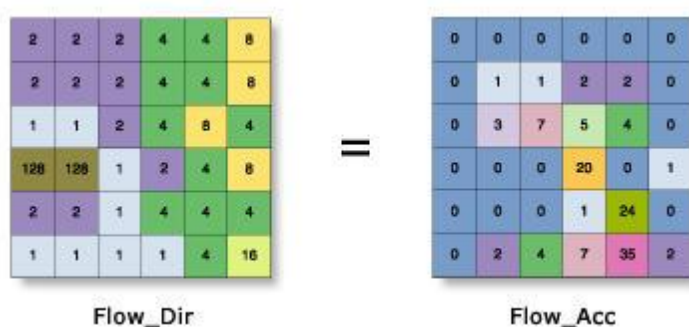


Εικόνα 22: Κατεύθυνση ροής για κάθε ένα εικονοστοιχείο της περιοχής μελέτης

5.3.6. Συσσώρευση ροής (Flow accumulation)

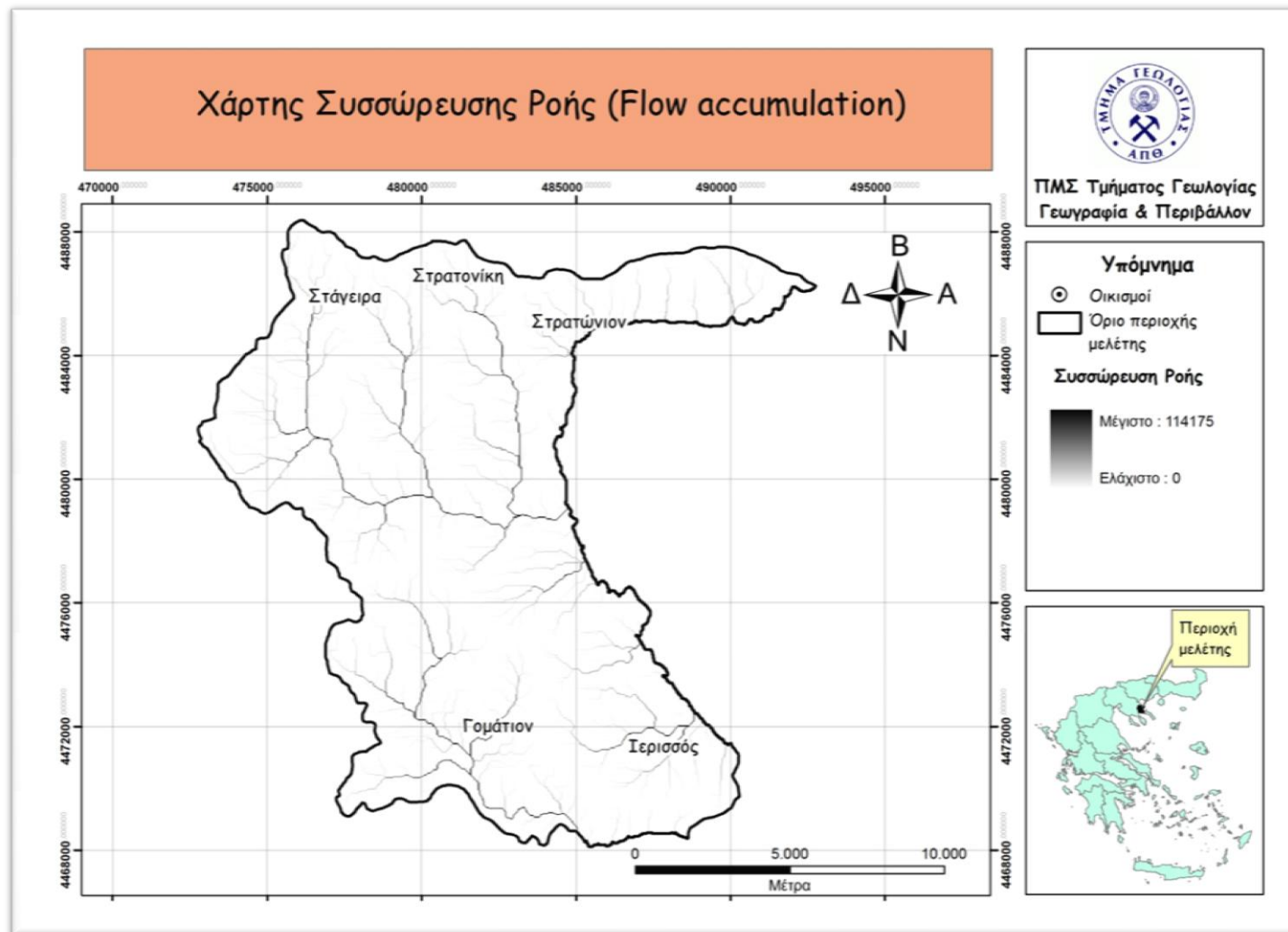
Η συσσώρευση ροής εκφράζει την ποσότητα νερού η οποία θα κινηθεί προς κάθε εικονοστοιχείο από τα γειτονικά του και τελικά θα συσσωρευτεί σε αυτό. Ο υπολογισμός της συνολικής ροής που συγκεντρώνεται σε κάθε εικονοστοιχείο είναι δυνατός, με βάση την κατεύθυνση ροής στα γειτονικά αυτού σημεία (βλ. σχήμα 8).

Η λειτουργία Flow Accumulation υπολογίζει το πλέγμα συσσώρευσης ροής (flow accumulation grid) που περιλαμβάνει τον συσσωρευμένο αριθμό κελιών πάνω από το κελί, για κάθε κελί του δοθέντος πλέγματος. Από το Flow Accumulation Grid, ανοίγοντας τον πίνακα Properties και επιλέγοντας το Source, μπορεί να παρατηρήσει κανείς πόσα κελιά υπάρχουν στο πλέγμα, το μέγεθος του κελιού, ποια είναι η μέγιστη συσσώρευση ροής σε αριθμό κελιών και σε τι αποστραγγιστική περιοχή ανταποκρίνεται (Maidment and Robayo, 2002).



Σχήμα 8: 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 του Hydrology Modelling του λογισμικού ArcGIS 9.3, λαμβάνοντας υπόψη τα γειτονικά αυτού εικονοστοιχεία (Εικόνα 23).



Εικόνα 23. Συσσώρευση ροής σε κάθε εικονοστοιχείο της περιοχής μελέτης

5.4. ΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (ΓΣΠ-GIS) ΣΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Τα ΓΣΠ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή χάρτη επιδεκτικότητας στις πλημμύρες, ο οποίος θα καταδεικνύει τις περιοχές που έχουν την μεγαλύτερη πιθανότητα να εκδηλωθούν πλημμύρες. Για την εκδήλωση ενός τέτοιου φαινομένου όπως είναι οι πλημμύρες σημαντικό ρόλο παίζουν πολλοί παράγοντες όπως κλιματικοί, τοπογραφικοί, εδαφολογικοί, γεωμορφολογικοί, υδρολογικοί, γεωλογικοί, ανθρωπογενείς.

Σήμερα, μέχρι στιγμής δεν υπάρχει συμφωνία ούτε για τις μεθόδους αλλά ούτε για το πλαίσιο της παραγωγής χαρτών επιδεκτικότητας. Σε κάθε περίπτωση δημιουργίας χάρτη επιδεκτικότητας στις πλημμύρες, η επιλογή των παραγόντων που επηρεάζουν την πλημμύρα, γίνεται καθαρά και μόνο από τη κρίση του μελετητή, δηλαδή καθαρά με υποκειμενικά κριτήρια. Στη διεθνή αλλά και εγχώρια βιβλιογραφία υπάρχουν πολυάριθμες εργασίες για κατασκευή χαρτών επιδεκτικότητας στις οποίες ο κάθε μελετητής επιλέγει κάθε φορά διαφορετικούς παράγοντες για να κατασκευάσει τον τελικό χάρτη. Τέλος, υποκειμενικό είναι και το σημείο εκείνο στην εργασία όπου αποδίδονται ειδικά βάρη (διαβαθμίσεις/ ratings) στους διάφορους παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη (Donati and Turrini, 2001) (Από Δομακίνη, 2005).

Στη συγκεκριμένη διατριβή ειδίκευσης, ως σημαντικότεροι για την κατασκευή του χάρτη επιδεκτικότητας στις πλημμύρες, θεωρήθηκαν τέσσερις παράγοντες, αφού θεωρήθηκε ότι επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό το φαινόμενο των πλημμυρών στην περιοχή μελέτης. Οι παράγοντες αυτοί είναι οι εξής:

- ✓ Η τοπογραφία-τοπογραφικός δείκτης υγρασίας
- ✓ Η περατότητα των λιθολογικών σχηματισμών στη περιοχή
- ✓ Η Τραχύτητα - Κάλυψη γης
- ✓ Η φυτοκάλυψη (δείκτης βλάστησης)

Από τους παράγοντες που προαναφέρθηκαν και με τη βοήθεια του λογισμικού ArcMap, προέκυψαν τα ακόλουθα επίπεδα πληροφοριών:

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

✓ Χάρτης βλάστησης

Στα παραπάνω επίπεδα αποδόθηκαν, βάρη ή «διαβαθμίσεις» (ratings), ανάλογα με το πόσο σημαντικά κρίνονται στην ανάπτυξη των πλημμυρικών φαινομένων. Στη συνέχεια, οι διαβαθμίσεις αυτές υπολογίστηκαν με την βοήθεια της «Διαδικασίας της Αναλυτικής Ιεραρχίας» (Analytical Hierarchy Process) (Saaty, 1980) (Από Δομακίνη, 2005). Έπειτα, τα επίπεδα αυτά συναξιολογήθηκαν ανάλογα με το βαθμό σημαντικότητάς τους και από αυτά προέκυψε ο τελικός χάρτης των περιοχών που είναι επιδεκτικές στις πλημμύρες. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά οι παράγοντες που επηρεάζουν τις πλημμύρες και τα επίπεδα πληροφοριών που προκύπτουν από αυτούς.

5.4.1. Τοπογραφία – Τοπογραφικός Δείκτης Υγρασίας (Topographic Wetness Index).

Η τοπογραφία αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που ελέγχουν τη χωρική διακύμανση των υδρολογικών συνθηκών. (Burt and Butcher, 1985; Seibert et al., 1997; Rodhe and Seibert, 1999; Zinko et al., 2005)(από R. Sørensen, U. Zinko, and J. Seibert, 2005)

Ο τοπογραφικός δείκτης υγρασίας (Topographic Wetness Index/TWI) αποτελεί μια απλή μαθηματική παραμετροποίηση της εν δυνάμει υγρασίας του εδάφους η οποία εφαρμόζεται σε πολλές μελέτες. Ο δείκτης βασίζεται και υπολογίζεται σε πλαγιές και, συνεπώς, εξαρτάται από ψηφιακά δεδομένα εδάφους.(από Jan Haas,2010).

Αναπτύχθηκε από τους Beven & Kirkby το 1979 και ορίζεται από τη σχέση:

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

όπου α η περιοχή ανάντη ανά μήκος ισοϋψούς (που δίνεται από το αρχείο συσσώρευσης ροής που προέκυψε από το DEM) και β η τοπική γωνία κλίσης (που δίνεται από το αρχείο κλίσεων του αναγλύφου που προέκυψε από το DEM).

Ο τοπογραφικός δείκτης υγρασίας (topographic wetness index) ή δείκτης υγρασίας (wetness index) ή τοπογραφικός δείκτης (topographic index), 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.

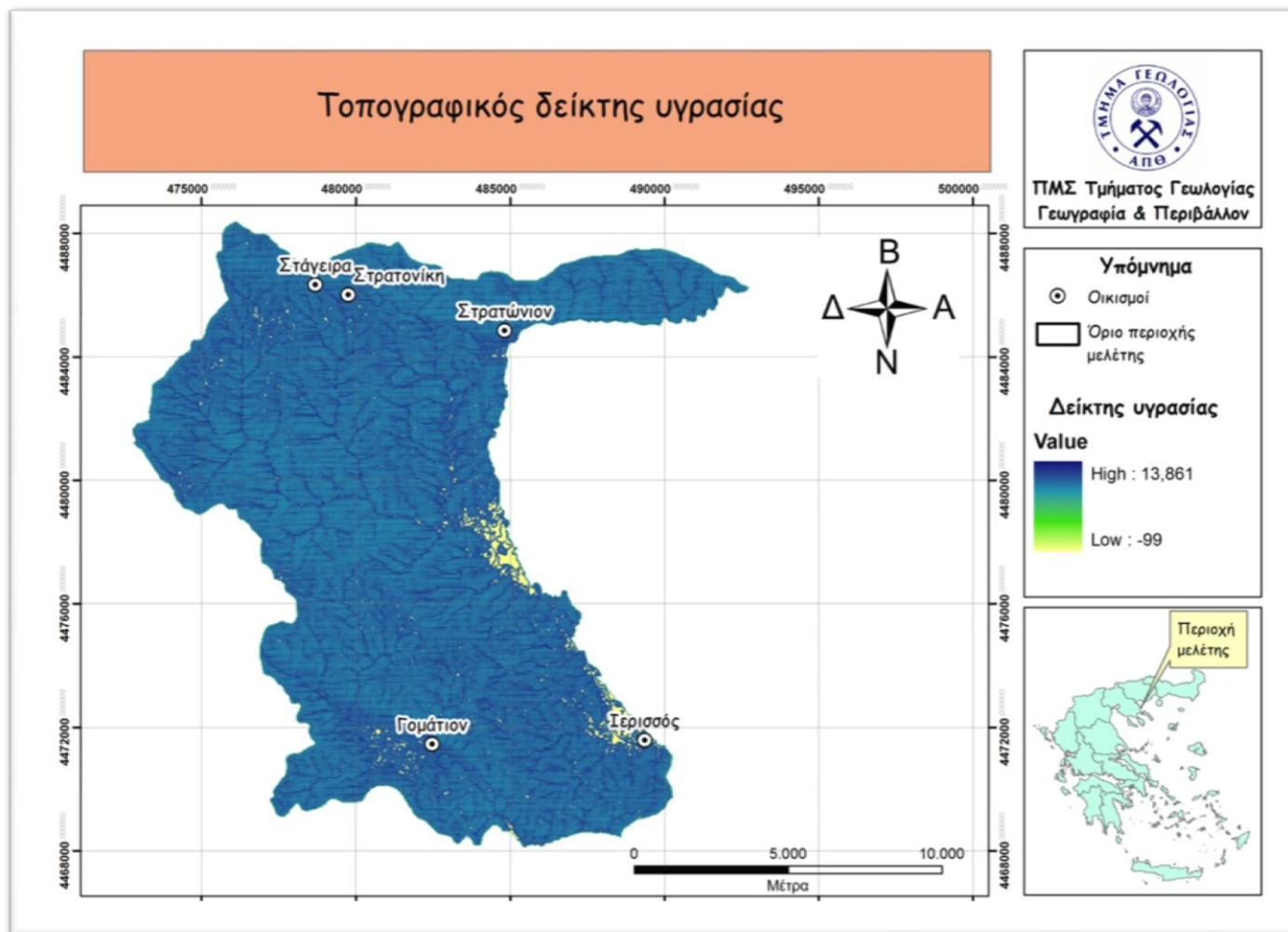
Ο υπολογισμός του τοπογραφικού δείκτη υγρασίας βασίζεται στην ιδέα της κίνησης του νερού στα πρηνή και της συγκέντρωσης του νερού στη βάση των πρηνών. Όσο μεγαλύτερη είναι η έκταση της τοπικής υδρολογικής λεκάνης και όσο μικρότερη είναι η γωνία κλίσης τόσο υψηλότερη είναι η τιμή του δείκτη και συνεπώς μπορεί να αναμένεται υγρό έδαφος. (Beven and Kirkby, 1979, Quinn et al., 1991). Η μελέτη της χωρικής κατανομής του τοπογραφικού δείκτη σε συσχέτιση με τις διάφορες γεωμορφές βοήθησε στην ταξινόμησή του και στην ερμηνεία των τιμών του. Οι ράχες χαρακτηρίζονται από χαμηλές τιμές, ενώ τα χαμηλότερα σημεία των πρηνών, ιδιαίτερα οι κοίλες περιοχές και οι βάσεις των κοιλάδων έχουν υψηλές τιμές (Rodhe and Seibert, 1999) (Από Παράσχου 2005).

Στο χάρτη παρακάτω ο οποίος εξήχθη από το DEM με τη βοήθεια του προγράμματος TAS (Terrain Analysis System), παρουσιάζεται η κατανομή του τοπογραφικού δείκτη υγρασίας στην περιοχή μελέτης. Αφού ορίστηκαν 3 κατηγορίες τιμών του δείκτη (μικρή, μέση, μεγάλη) στη συνέχεια, υπολογίστηκαν το εμβαδό και τα ποσοστά % που αντιστοιχούν στις παραπάνω κατηγορίες (Πίνακας 9).

Η διαβάθμιση που δόθηκε σε κάθε κατηγορία αφορά στην επικινδυνότητά της. Αυξημένη τιμή του τοπογραφικού δείκτη δείχνει περιοχή περισσότερο επικίνδυνη (διαβάθμιση 3) ενώ μειωμένη τιμή του δείκτη δείχνει μειωμένη επικινδυνότητα της περιοχής για την εκδήλωση πλημμύρας (διαβάθμιση 1). Από τον χάρτη προέκυψε πως το 43% περίπου της περιοχής μελέτης παρουσιάζει ψηλή τιμή του δείκτη, το 55% μέτρια, ενώ το 2% μικρή.

Πίνακας 9. Ποσοστά κατανομής Δείκτη Υγρασίας στη περιοχή μελέτης

Τιμή Δείκτη Υγρασίας / Διαβάθμιση	Ποσοστό% Περιοχή μελέτης
Χαμηλή / 1	1,158
Μέτρια / 2	55,224
Υψηλή / 3	43,618



Εικόνα 24: Κατανομή του τοπογραφικού δείκτη υγρασίας στην περιοχή μελέτης

5.4.2. Λιθολογία – Περαιτότητα Πετρωμάτων

Πέρα από τη τοπογραφία μιας περιοχής, σημαντικός παράγοντας ο οποίος επηρεάζει την απορροή και επομένως και την πλημμυρική απορροή, είναι και η λιθολογία της περιοχής αυτής. Κάθε πέτρωμα έχει και την αντίστοιχη περαιτότητα του η οποία εξαρτάται από τη σύστασή του.

Η περαιτότητα (ή υδραυλική αγωγιμότητα) είναι μια ιδιότητα των πετρωμάτων και συνδέεται με την ευκολία ή δυσκολία κίνησης του νερού μέσα στη μάζα τους. Μέτρο της περαιτότητας είναι ο συντελεστής περαιτότητας ή ο συντελεστής του Darcy. Ο συντελεστής αυτός έχει μονάδες μέτρησης m/sec, cm/sec, 1 meizner, 1 darcy. Στην ευρωπαϊκή βιβλιογραφία χρησιμοποιείται συνήθως το m/sec.

Ο συντελεστής περαιτότητας εξαρτάται από το μέγεθος των πόρων του εδαφικού υλικού και συνεπώς δεν αποτελεί ιδιότητα του υλικού αλλά μεταβάλλεται όταν μεταβάλλεται ο βαθμός συμπίκνωσής του. Για παράδειγμα, μια συγκεκριμένη άμμος έχει πολύ μεγαλύτερη διαπεραιτότητα όταν είναι χαλαρή παρά αφού συμπτυκνωθεί και αποκτήσει πολύ πυκνή δομή. Φαίνεται επομένως, ότι ο συντελεστής περαιτότητας εξαρτάται από το είδος του εδαφικού υλικού και τη σχετική πυκνότητα (ή συμπίκνωσή) του.

Ένα πέτρωμα με μεγάλο συντελεστή περαιτότητας 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 κατέισδυσης. Το αντίθετο ακριβώς συμβαίνει με ένα πέτρωμα που παρουσιάζει μικρή περαιτότητα, δηλαδή που έχει μικρό συντελεστή περαιτότητας. Το τελευταίο, παρουσιάζει μεγάλη σχετικά αντίσταση στη ροή του νερού δια μέσου αυτού και με μεγάλη σχετικά υδραυλική κλίση (κατά συνέπεια πολλές σχετικά απώλειες φορτίου) είναι δυνατό να επιτρέψει μεγάλη ταχύτητα ροής διήθησης.

Υπάρχουν επομένως πετρώματα περισσότερο ή λιγότερο περαιτά αλλά θα πρέπει να σημειωθεί ότι πετρώματα πραγματικά αδιαπέρατα με την αυστηρή έννοια του όρου, δηλαδή πετρώματα που έχουν μηδενικό συντελεστή περαιτότητας ($k = 0$) φαίνεται ότι δεν υπάρχουν (Σούλιος, 1996).

Παρόλα αυτά όμως εντελώς συμβατικά και αυθαίρετα διακρίνονται τρεις κατηγορίες πετρωμάτων (η διαίρεση αυτή των πετρωμάτων γίνεται καθολικά αποδεκτή στη βιβλιογραφία και γίνεται για πρακτικούς λόγους)(Σούλιος, 1996):

- **διαπερατά** (μεγάλη περατότητα) $\rightarrow k \geq 10^{-5} \text{ m/sec}$
- **ημιπερατά** (μέτρια περατότητα) $\rightarrow 10^{-5} > k > 10^{-7} \text{ m/sec}$
- **αδιαπέρατα** (χαμηλή περατότητα) $\rightarrow k \leq 10^{-7} \text{ m/sec}$

Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας με τους πιο συνηθισμένους συντελεστές περατότητας για τα πετρώματα που συναντώνται πιο συχνά στο ύπαιθρο:

Πίνακας 10 : Συντελεστές περατότητας πετρωμάτων (Σούλιος, 1996).

ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ	ΣΥΝΤ. ΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ k (m/sec)
Άργιλλος, Άργιλλος πλαστική	$10^{-8} - 10^{-10}$
Πηλοί, Σαπροπηλοί	$10^{-6} - 10^{-9}$
Αμμάργιλλοι	$10^{-4} - 10^{-6}$
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	$10^{-6} - 10^{-9}$
Φλύσξης	$10^{-6} - 10^{-8}$
Ψαμμίτης	$10^{-3} - 10^{-5}$
Κροκαλοπαγή, Μολάσες	$10^{-4} - 10^{-5}$
Ασβεστόλιθοι, Μάρμαρα	$10^{-2} - 10^{-5}$
Σχιστόλιθοι διάφοροι	$10^{-6} - 10^{-9}$
Οφιόλιθοι	$10^{-5} - 10^{-8}$
Γνεύσιοι, Μαρμαρυγιακοί σχιστ.	
Πρασινόλιθοι και παρεμφερή μεταμορφωμένα	$10^{-6} - 10^{-9}$
Γρανίτες και γενικά όξινοι πλουτωνίτες	$10^{-5} - 10^{-9}$
Ηφαιστειακά διάφορα	$10^{-6} - 10^{-9}$

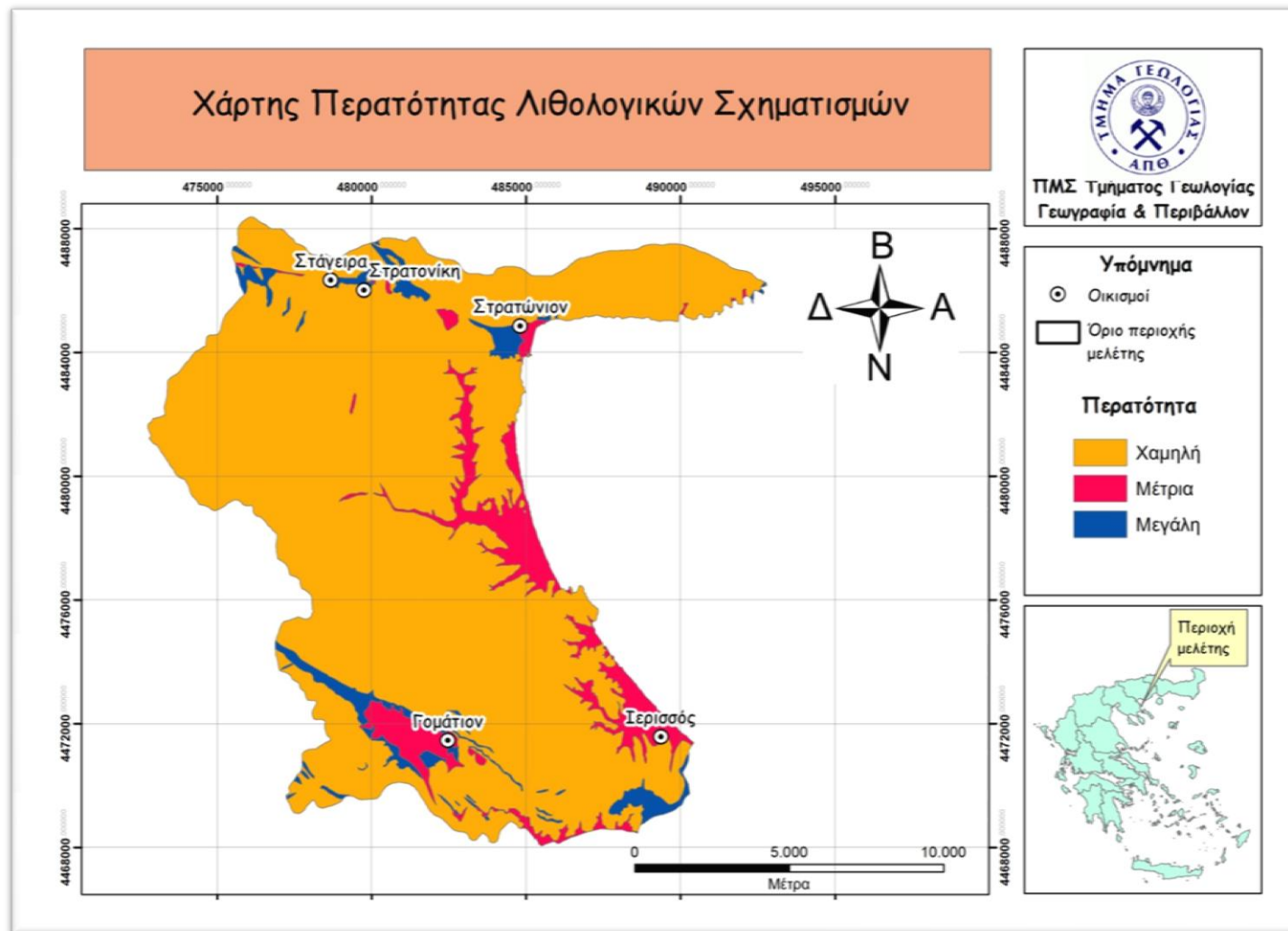
Στην παρούσα εργασία, με τη βοήθεια του προγράμματος ArcGIS Desktop, αφού έγινε ψηφιοποίηση των γεωλογικών σχηματισμών που απαντούν στα φύλλα των γεωλογικών χαρτών Αρναία, Ιερισσός, Σταυρός, Στρατονίκη, κλίμακας 1:50.000, στη συνέχεια δόθηκαν τιμές περατότητας στους λιθολογικούς σχηματισμούς(Εικ. 13) και διαιρέθηκαν στις 3 συμβατικές κατηγορίες (διαπερατά, ημιπερατά, αδιαπέρατα).

Η διαβάθμιση που δόθηκε σε κάθε κατηγορία περατότητας αντιστοιχεί στην επικινδυνότητά της. Έτσι διαβάθμιση 1 αντιστοιχεί στα διαπερατά πετρώματα, διαβάθμιση 2 στα ημιπερατά και διαβάθμιση 3 στα αδιαπέρατα πετρώματα.(πίνακας 11).

Έτσι, προέκυψε ο χάρτης περατότητας των λιθολογικών σχηματισμών της περιοχής απ' όπου υπολογίστηκε πως το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής, περίπου 87,7% καλύπτεται από αδιαπέρατα πετρώματα, 3,92% από διαπερατά και 8,36% από ημιπερατά.(Εικόνα 25).

Πίνακας 11. Ποσοστά κατανομής περατότητας στη περιοχή μελέτης

Περατότητα / Διαβάθμιση	Ποσοστό % Περιοχή μελέτης
Υψηλή / 1 →(Διαπερατά)	3,923 %
Μέτρια / 2 →(Ημιπερατά)	8,365 %
Χαμηλή / 3 →(Αδιαπέρατα)	87,718 %



Εικόνα 25: Χάρτης περατότητας λιθολογικών σχηματισμών περιοχής μελέτης

5.4.3. Τραχύτητα – Κάλυψη Γής (Roughness – Land cover)

Η κάλυψη γης στην περιοχή μελέτης δίνεται από το πρόγραμμα CORINE LAND COVER 2000 όπως προαναφέρθηκε και σε παραπάνω κεφάλαιο (Κεφ 2, Εικ.10). Βασιζόμενοι στον συντελεστή Strickler (Strickler coefficient)(e-EcoRisk, 2004), ο οποίος δίνει μία τιμή τραχύτητας σε κάθε κάλυψη γης του προγράμματος CORINE LAND COVER 2000,δόθηκε σε κάθε κάλυψη γης της περιοχής μελέτης, μία τιμή ανάλογα με την τραχύτητα που παρουσιάζει η εκάστοτε κάλυψη.

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 κίνηση του με συνέπεια την μείωση της ταχύτητάς του και επομένως και της επικινδυνότητάς του.

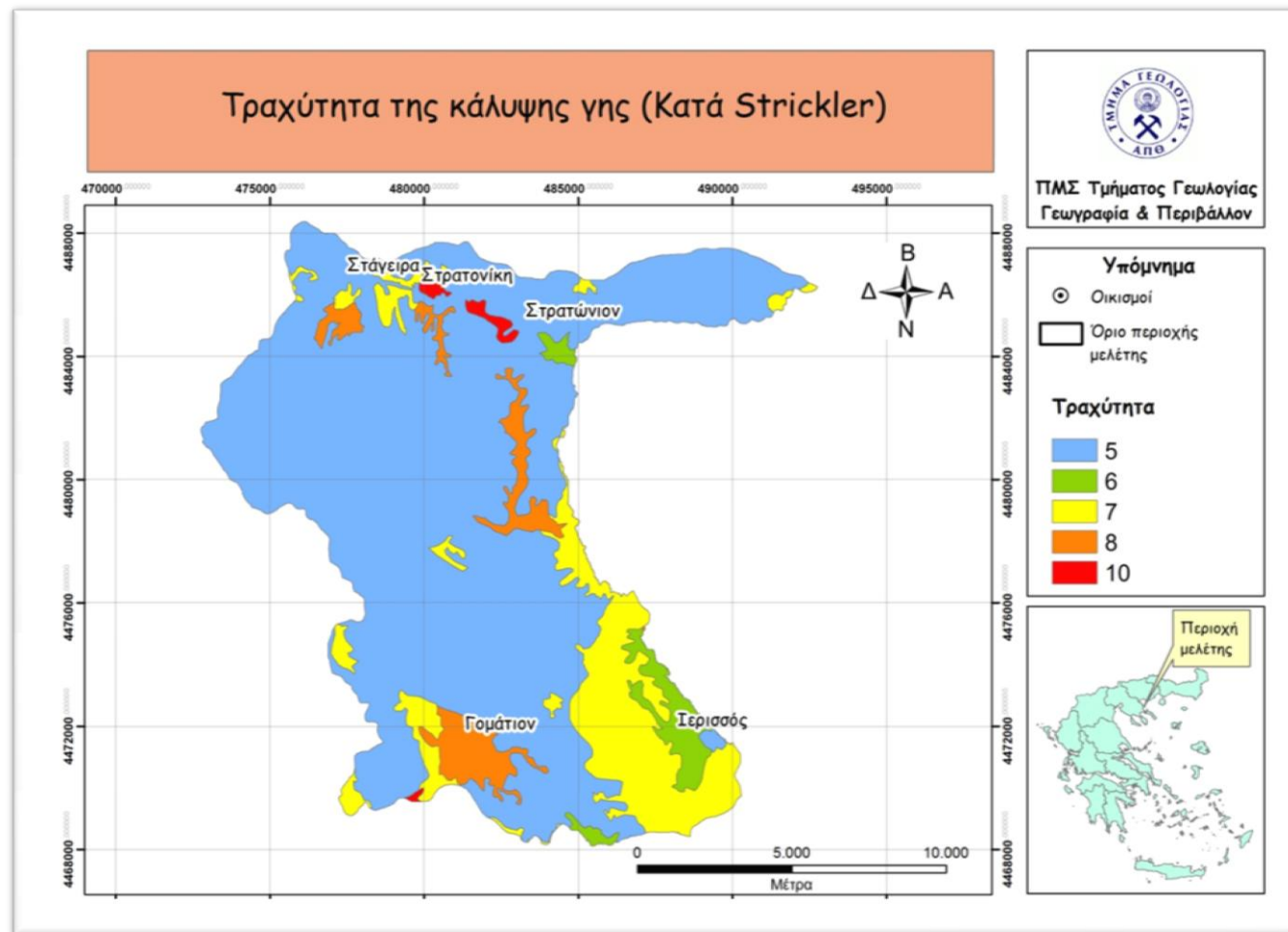
Στη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης οι κατηγορίες τραχύτητας ορίστηκαν ως εξής: 5,6,7,8,10 (Πίνακας 13). Η τιμή 5 αντιστοιχεί σε επιφάνεια μεγάλης τραχύτητας ενώ καθώς αυξάνουν τα νούμερα μειώνεται ο βαθμός τραχύτητας.

Έτσι προέκυψε ο χάρτης τραχύτητας της περιοχής μελέτης ο οποίος παρουσιάζεται παρακάτω. Στη συνέχεια υπολογίστηκε το εμβαδό που αντιστοιχεί στις παραπάνω κατηγορίες και υπολογίστηκαν τα ποσοστά % που αντιστοιχούν στο σύνολο της περιοχής.

Πίνακες 12,13. Τιμές τραχύτητας σε κάθε κάλυψη γης της περιοχής μελέτης

Κωδικός κάλυψης γης	112	131	133	211	242	243	311	312	313	321	323	324	331
Strickler coefficient	5	10	5	8	6	7	5	5	5	10	7	7	8

Τραχύτητα Χρήσεων γης (Strickler coefficient)	Ποσοστό % Περιοχή μελέτης
5	76,805%
6	3,047%
7	14,416%
8	5,071%
10	0,6630%



Εικόνα 26 : Χάρτης τραχύτητας κάλυψης γης βασισμένη στον συντελεστή Strickler

5.4.4. Δείκτης Βλάστησης – Φυτοκάλυψη (NDVI)

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).

Ένας πολύ γνωστός δείκτης είναι ο δείκτης βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI). Ο δείκτης αυτός χρησιμοποιήθηκε στη συγκεκριμένη εργασία και υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

όπου *NIR* (Near Infrared) είναι η φασματική ζώνη του κοντινού υπέρυθρου και *R* (Red) η φασματική ζώνη του ερυθρού.

Για την εικόνα του Θεματικού Χαρτογράφου (TM) του δορυφόρου LANDSAT 5, ημερομηνίας λήψης 15/08/2011 την οποία χρησιμοποιήσαμε στη παρούσα εργασία για να βγάλουμε το δείκτη βλάστησης της περιοχής μελέτης, ο παραπάνω δείκτης παίρνει τη μορφή (Συλλαίος 2000)(Φουρνιαδης κ.α. 2002):

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

Οι τιμές του NDVI κυμαίνονται θεωρητικά από -1 έως +1, όπως εξάγεται από τη μαθηματική εξίσωση που προαναφέρθηκε. Τιμές άνω του μηδενός υποδηλώνουν την ύπαρξη πράσινης βλάστησης (χλωροφύλλης) ή γυμνού εδάφους (τιμές γύρω στο μηδέν), ενώ κάτω του μηδενός δηλώνουν την πλήρη

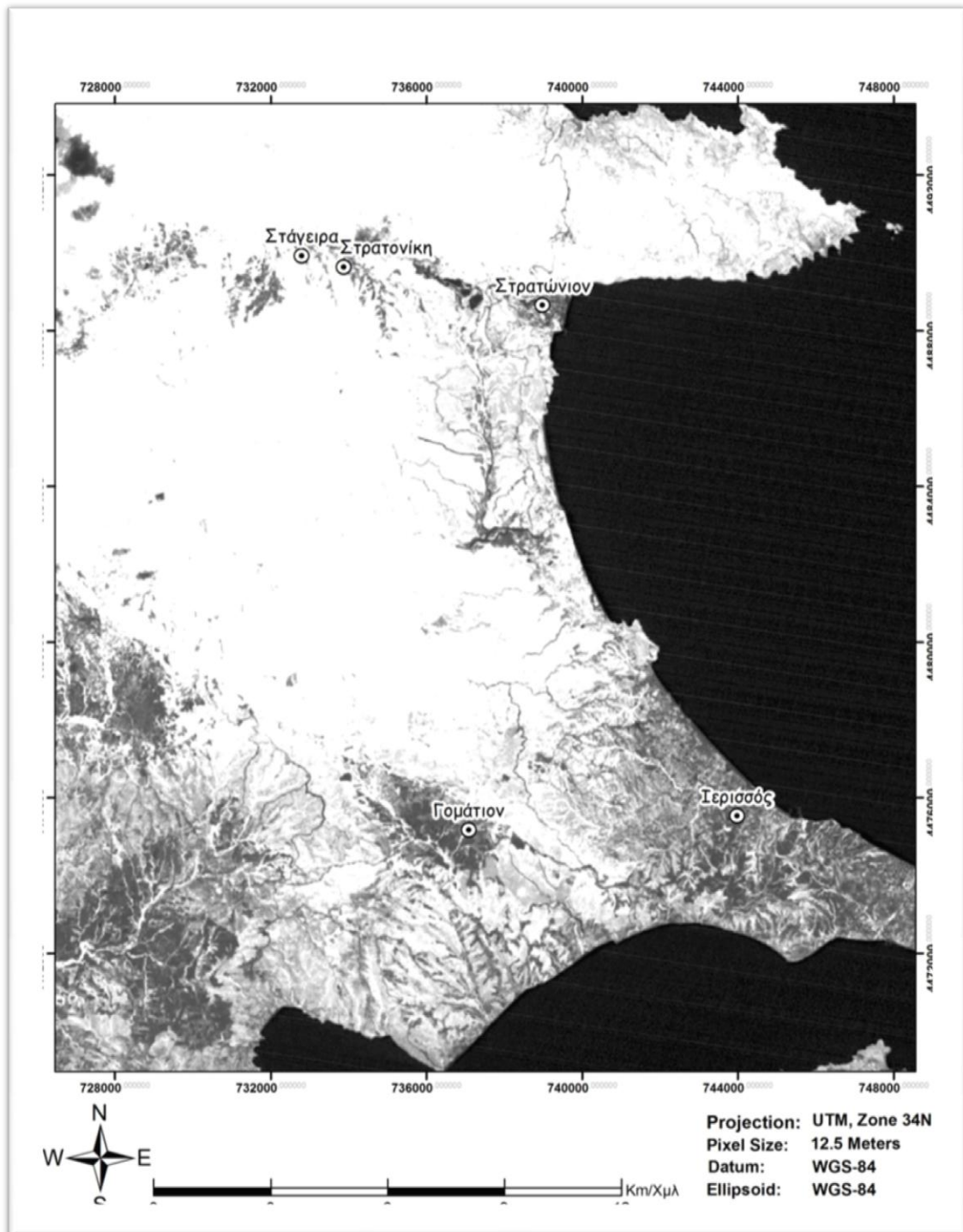
απουσία βλάστησης και την ύπαρξη νερού, χιονιού, πάγου και νεφών. Ενδεικτικές τιμές για κάθε ένα από τους παραπάνω τύπους φαίνονται στον Πίνακα 14 (Δαλέζιος, 2002)(από Τσίρο,2006).

Πίνακας 14. Ενδεικτικές τιμές του δείκτη NDVI σε διάφορες μορφές κάλυψης εδάφους (Δαλέζιος, 2002).

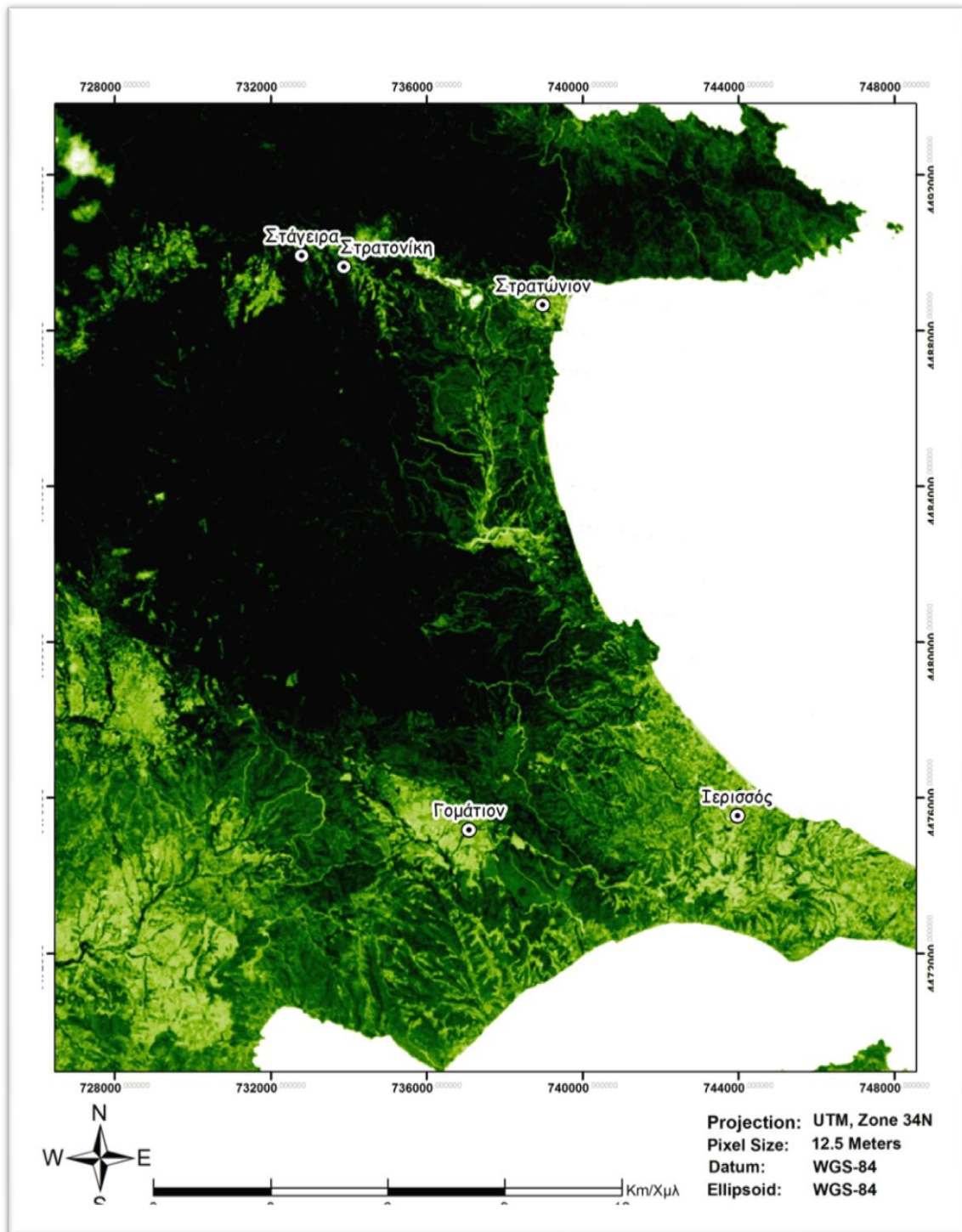
ΤΥΠΟΣ ΕΔΑΦΟΚΑΛΥΨΗΣ	NDVI (σε κλίμακα -1εώς 1)	NDVI (σε κλίμακα 0-255)
Πυκνή βλάστηση	$0.500 \leq \text{NDVI} \leq 1$	$210 \leq \text{NDVI} \leq 255$
Μέτρια πράσινη βλάστηση	$0.140 \leq \text{NDVI} < 0.500$	$118 \leq \text{NDVI} < 210$
Αραιή βλάστηση	$0.090 \leq \text{NDVI} < 0.140$	$105 \leq \text{NDVI} < 118$
Γυμνό έδαφος (οργωμένο ή βραχώδες)	$0.025 \leq \text{NDVI} < 0.090$	$88 \leq \text{NDVI} < 105$
Νέφη	$0.002 \leq \text{NDVI} < 0.025$	$83 \leq \text{NDVI} < 88$
Χιόνι και πάγος	$-0.046 \leq \text{NDVI} < 0.002$	$70 \leq \text{NDVI} < 83$
Νερό	$-1 \leq \text{NDVI} < -0.046$	$0 \leq \text{NDVI} < 70$

Επομένως, 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). Το αποτέλεσμα της εφαρμογής του ως άνω δείκτη βλάστησης, με τη βοήθεια του λογισμικού ENVI, παρουσιάζεται στη συνέχεια.(Εικόνα 27).

Για καλύτερα οπτικά αποτελέσματα,στη επόμενη εικόνα οι διάφορες διαβαθμίσεις του τεφρού χρώματος αντικαταστάθηκαν με διαφορετικά χρώματα. Η μέθοδος αυτή καλείται «ψευδοχρωματική απεικόνιση» (pseudocolour display) και εξετάζεται εκτενέστερα σε παρακάτω κεφάλαια. Με το λογισμικό ENVI, εφαρμόστηκε η παραπάνω τεχνική στην αρχική εικόνα NDVI, και προέκυψε η παρακάτω εικόνα(Εικόνα 28).



Εικόνα 27. Εικόνα που προέκυψε από την εφαρμογή του Δείκτη Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς» (Normalized Difference Vegetation Index / NDVI), με το λογισμικό ENVI



Εικόνα 28. Ψευδοχρωματική απεικόνιση (pseudocolour display) της αρχικής εικόνας NDVI, με το λογισμικό ENVI. Η διαβάθμιση της τιμής του NDVI αντικατοπτρίζει την έκταση της βλάστησης. Χαμηλή τιμή NDVI (ανοιχτό πράσινο χρώμα) συνεπάγεται αραιή βλάστηση, ενώ υψηλή τιμή NDVI (σκούρο πράσινο χρώμα) αντιπροσωπεύει έντονη παρουσία βλάστησης.

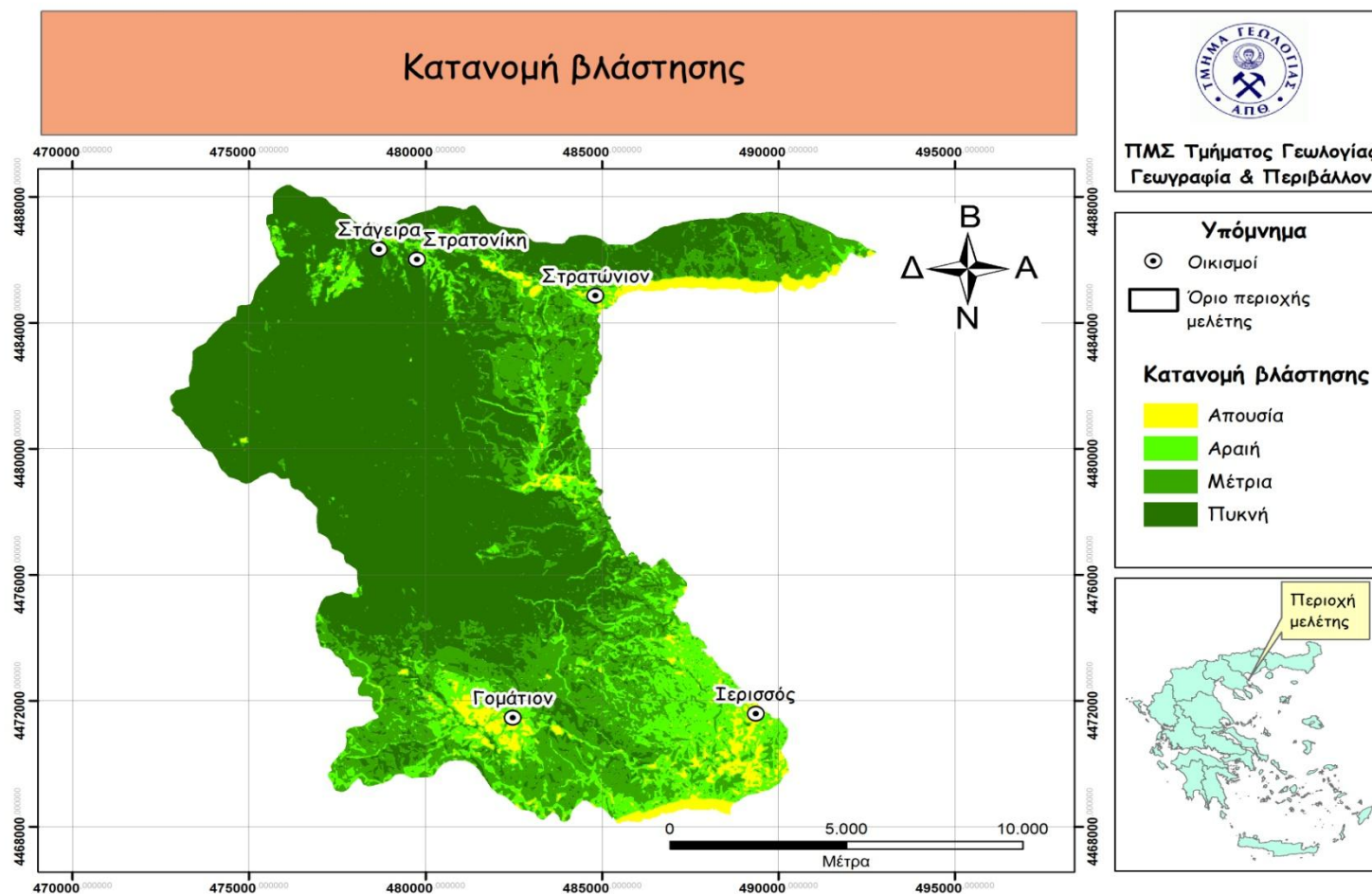
Αφού δημιουργήθηκε ο χάρτης βλάστησης της περιοχής μελέτης στη συνέχεια ορίστηκαν με τη βοήθεια του υποπρογράμματος classification του προγράμματος ArcGIS οι εξής τέσσερις κατηγορίες βλάστησης: **απουσία βλάστησης(0 –100), αραιή βλάστηση(101-160), μέτρια βλάστηση(161-210), πυκνή βλάστηση(211-255)**. Τα αποτελέσματα δίνονται στο παρακάτω χάρτη (εικόνα 29). Τέλος, υπολογίστηκε το εμβαδό που αντιστοιχεί στις παραπάνω κατηγορίες και υπολογίστηκαν τα ποσοστά % που αντιστοιχούν στο σύνολο της περιοχής. Σε κάθε κατηγορία βλάστησης δόθηκε μια διαβάθμιση, η οποία δείχνει την επικινδυνότητα της.

- Απουσία βλάστησης → (διαβάθμιση 4)
- Αραιή βλάστηση → (διαβάθμιση 3)
- Μέτρια βλάστηση → (διαβάθμιση 2)
- Πυκνή βλάστηση → (διαβάθμιση 1)

Η απουσία βλάστησης (διαβάθμιση 4) ευνοεί την κίνηση του νερού προς τα κατάντη, αφού το νερό δεν συγκρατείται από ριζικό σύστημα των φυτών, με αποτέλεσμα να ρέει με μεγαλύτερη ταχύτητα και έτσι να καθίσταται περισσότερο επικίνδυνο. Αντίθετα, όπου έχουμε πυκνή βλάστηση (διαβάθμιση 1) το νερό συναντά μεγαλύτερη αντίσταση στην κίνηση του καθώς αυτό συγκρατείται από το ριζικό σύστημα των φυτών με αποτέλεσμα να μειώνεται η ταχύτητά του και επομένως είναι λιγότερο επικίνδυνο.

Πίνακας 15. Ποσοστά κατανομής βλάστησης στη περιοχή μελέτης.

Βλάστηση / Διαβάθμιση	Ποσοστό % Περιοχή μελέτης
Απουσία / 4	4,47
Αραιή / 3	25,77
Μέτρια / 2	14,07
Πυκνή / 1	55,69



Εικόνα 29: Ταξινόμηση της βλάστησης στην περιοχή μελέτης

5.5. ΧΑΡΤΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΙΣ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ

Κάθε χωρική συνιστώσα του κινδύνου μπορεί να χαρτογραφηθεί υπό την προϋπόθεση ότι υπάρχουν επαρκείς πληροφορίες για την κατανομή του. Έτσι, όταν πραγματοποιείται εκτίμηση επικινδυνότητας έναντι φυσικών κινδύνων για μια μεγάλη περιοχή, τα αποτελέσματα μπορούν να εκφραστούν με τη μορφή χαρτών επικινδυνότητας. Ένας ιδανικός χάρτης επικινδυνότητας οφείλει να παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη χωρική και χρονική πιθανότητα εμφάνισης του υπό μελέτη κινδύνου.

Μέσω της χαρτογράφησης απεικονίζεται λοιπόν η διακύμανση της έντασης ενός κινδύνου από μια θέση σε μια άλλη και γίνεται προσπάθεια ποσοτικοποίησης του με βάση τα θύματα και τις ζημιές που επιφέρει. Επομένως, η δημιουργία χαρτών επικινδυνότητας στοχεύει στην εκτίμηση της θέσης, της πιθανότητας και της σχετικής σοβαρότητας μελλοντικών επικίνδυνων γεγονότων έτσι ώστε να εκτιμηθούν, να μετριάσθούν ή να αποφευχθούν οι ενδεχόμενες απώλειες.

Παρόλα τα πλεονεκτήματα όμως, οι χάρτες επικινδυνότητας εμφανίζουν και κάποια μειονεκτήματα αφού είναι πολύ γενικοί και αναπαριστούν μια στατική άποψη της πραγματικότητας, με αποτέλεσμα να πρέπει να ανανεώνονται περιοδικά, κάθε φορά που προκύπτουν νέα διαθέσιμα δεδομένα.

Γενικά γίνεται ένας διαχωρισμός σε χάρτες μεμονωμένου κινδύνου και μεμονωμένου αποτελέσματος, μεμονωμένου κινδύνου και πολλαπλών επιπτώσεων και πολλαπλών κινδύνων και πολλαπλών επιπτώσεων. Ο πρώτος τύπος χάρτη είναι προφανώς κατάλληλος για περιπτώσεις όπου ένας τύπος κινδύνου απειλεί μια περιοχή και οι επιπτώσεις του είναι άμεσες και ξεκάθαρες. Οι χάρτες πολλαπλών επιπτώσεων ενός μεμονωμένου κινδύνου απαιτούνται στις περιπτώσεις που ο κίνδυνος είναι πολύ πιθανό να επηρεάσει περισσότερες από μία δραστηριότητες. Εντούτοις, ο πιο χρήσιμος χάρτης όσον αφορά στο σχεδιασμό και τη λήψη αποφάσεων, είναι αυτός των πολλαπλών κινδύνων και επιπτώσεων. Τέτοιου τύπου χάρτες μπορούν να εφαρμοστούν για ανάλυση και εκτίμηση επικινδυνότητας αναδεικνύοντας τις χωρικές μεταβολές των ενδεχόμενων απωλειών και βλαβών.

Η αξιοπιστία, η δύναμη και η ευελιξία της χαρτογράφησης μπορούν να αυξηθούν με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS).

Ένας χάρτης επιδεκτικότητας περιοχών έναντι ενός γεωλογικού κινδύνου (susceptibility) υπερκαλύπτει τους χάρτες συμβάντων (inventory maps), καθώς η αξιολόγηση βασίζεται στα φυσικά δεδομένα και διεργασίες της περιοχής

Για να δημιουργηθεί χάρτης επιδεκτικότητας στις πλημμύρες στη περιοχή μελέτης, αρχικά, είναι απαραίτητος ο καθορισμός των παραγόντων που θα συμπεριληφθούν ως σημαντικοί και σχετικοί με την εκδήλωση του φαινομένου. Οι παράγοντες αυτοί δεν υπόκεινται σε ποσοτικό περιορισμό. Για την επιλογή και την ενσωμάτωσή τους στο μοντέλο είναι αναγκαία η τεκμηριωμένη επιστημονική γνώση της δυσμενούς τους επίδρασης σχετικά με το φαινόμενο και η ύπαρξη αντίστοιχων δεδομένων για τη περιοχή στην οποία εφαρμόζεται το μοντέλο. (Μωυσιάδου 2010).

Για την περίπτωση της πλημμύρας στη περιοχή μελέτης ο χάρτης επιδεκτικότητας στις πλημμύρες προέκυψε έπειτα από συναξιολόγηση των παραμέτρων του **τοπογραφικού δείκτη υγρασίας, της περατότητας των πετρωμάτων, της τραχύτητας κάλυψης της γης και της φυτοκάλυψης.**

Η συναξιολόγηση έγινε αφού πρώτα προσδιορίστηκαν τα ποσοστά με τα οποία επιδρά ο κάθε παράγοντας στην εκδήλωση πλημμυρικού επεισοδίου στην περιοχή. Υπολογίστηκαν δηλαδή τα <<βάρη>>(weights) για κάθε παράγοντα χωριστά.

Για των υπολογισμό των **«βαρών»** κάθε παράγοντα χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της **«Διαδικασίας της Αναλυτικής Ιεραρχίας» (Analytical Hierarchy Process/ AHP),** μία μεθοδολογία πολυμεταβλητής μοντελοποίησης (multiattribute modeling) η οποία αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε αρχικά από τον Saaty (Saaty, 1980). Σύμφωνα με την παραπάνω μέθοδο, σχηματίστηκαν όλα τα πιθανά ζεύγη μεταξύ των παραγόντων και εν συνεχεία δόθηκε σε κάθε παράγοντα μία αριθμητική τιμή από το 1 ως το 7, ανάλογα με το πόσο σημαντικός θεωρείται ένας παράγοντας σε σχέση με κάποιον άλλο. **Η τιμή 1 δείχνει ότι ένας παράγοντας είναι εξίσου σημαντικός με κάποιον άλλο, ενώ η τιμή 7 δείχνει ότι ένας παράγοντας είναι κατά πολύ περισσότερο σημαντικός από έναν άλλον.** (Πίνακες 15,16) Κλασματικές τιμές δείχνουν ότι ένας

παράγοντας είναι λιγότερο σημαντικός σε σχέση με κάποιον άλλον. Οι τιμές αυτές επιλέγονται μεν αυθαίρετα από το χρήστη, ωστόσο θα πρέπει να υπόκεινται σε κάποιους περιορισμούς οι οποίοι καθορίζονται από τη λογική σχέση που υπάρχει μεταξύ των παραμέτρων:

- στην υπαιτιότητα για την εκδήλωση του φαινομένου
- στη γνώση των φυσικών διεργασιών
- και στην εμπειρία του παρελθόντος.

Επίσης οι τιμές που αντιστοιχούν σε κάθε παράγοντα δεν πρέπει να έχουν μεγάλη διαφορά μεταξύ τους. Στους Πίνακες 16,17 που ακολουθούν δίνεται η μετατροπή της προτίμησης των παραγόντων σε αριθμητικές τιμές.

Πίνακες 16,17 : Προτίμηση παραγόντων και μετατροπή τους σε αριθμητική τιμή

Προτίμηση ενός παράγοντα σε σύγκριση με κάποιον άλλο) (Πίνακας 16)	Αριθμητική τιμή (Πίνακας 17)
Πολύ σημαντικός	7
Αρκετά σημαντικός	5
Μέτρια σημαντικός	3
Εξίσου σημαντικός	1
Διαστήματα μεταξύ των προτιμήσεων	2,4,6

Στη συνέχεια δίνεται ο Πίνακας 18 στον οποίο βλέπουμε όλα τα πιθανά ζεύγη μεταξύ των παραγόντων σε καθένα από τους οποίους δόθηκε μία αριθμητική τιμή από το 1 ως το 7, ανάλογα με το πόσο σημαντικός θεωρείται σε σχέση με κάποιον άλλο.

Πίνακας 18 : Σύγκριση ανά ζεύγη των παραγόντων που επιδρούν στην εκδήλωση
πλημμυρικών φαινομένων

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

Με τη βοήθεια του παραπάνω πίνακα εφαρμόσθηκε η μέθοδος του αριθμητικού μέσου(arithmetic mean method),έτσι ώστε να υπολογισθούν τα βάρη των παραγόντων ως εξής:

- ✓ τοπογραφικός δείκτης υγρασίας → $w_1 = 0,584$
- ✓ περατότητα πετρωμάτων → $w_2 = 0,248$
- ✓ τραχύτητα κάλυψης γης → $w_3 = 0,103$
- ✓ δείκτης βλάστησης → $w_4 = 0,065$

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα.

Πίνακας 19 : Υπολογισμός των βαρών (weights) για κάθε παράγοντα με τη μέθοδο
του αριθμητικού μέσου

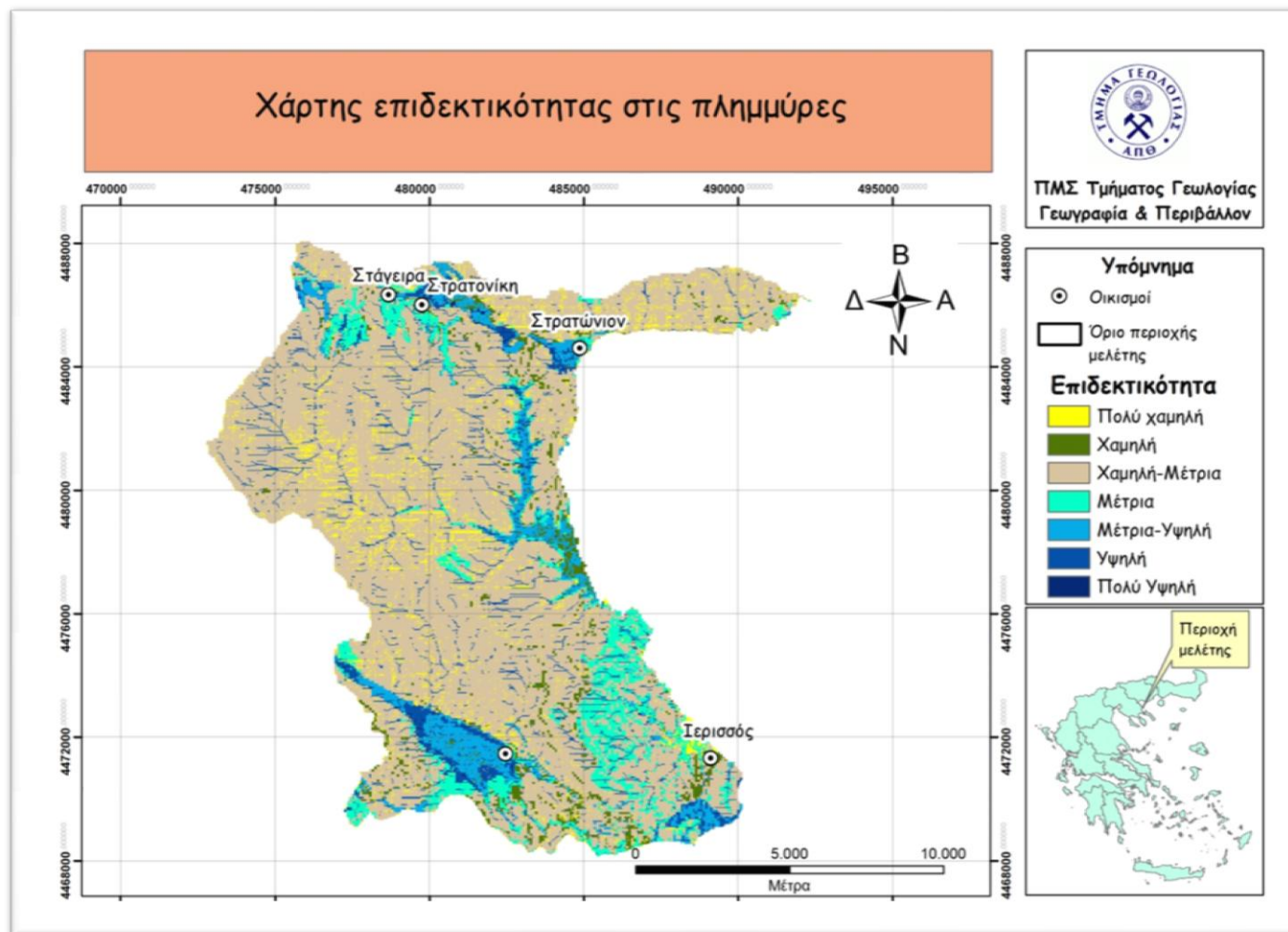
	Τοπογραφικός δείκτης υγρασίας	Περατότητα πετρωμάτων	Τραχύτητα χρήσεων- κάλυψης γης	Δείκτης βλάστησης	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ
Τοπογραφικός δείκτης υγρασίας	$1/1,643=0,609$	$3/4,583=0,655$	$6/10,500=0,571$	$7/14=0,500$	0,584 (w_1)
Περατότητα πετρωμάτων	0,203	0,218	0,286	0,286	0,248 (w_2)
Τραχύτητα χρήσεων- κάλυψης γης	0,101	0,073	0,095	0,143	0,103 (w_3)
Δείκτης βλάστησης	0,087	0,055	0,048	0,071	0,065 (w_4)

Στη 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:

$$M = w_1X_1 + w_2X_2 + w_3X_3 + w_4X_4 + \dots$$

▪ όπου X1, X2, X3, X4 οι διαβαθμίσεις για κάθε παράγοντα (Ahmadi H. And Esmali A., 2003) (Δομακίνης, 2005)(Νικολαΐδου, 2009).

Με βάση την παραπάνω μεθοδολογία και με τη βοήθεια του λογισμικού ArcGIS 9.3 και πιο συγκεκριμένα με τη χρήση του υποπρογράμματος **Spatial Analyst** → **Raster Calculator**, προέκυψε ο χάρτης επιδεκτικότητας στις πλημμύρες (εικόνα 30).



Εικόνα 30: Χάρτης επιδεκτικότητας της περιοχής μελέτης στις πλημμύρες

Ο χάρτης επιδεκτικότητας(πλημμυρικού κινδύνου) (εικόνα 30) ταξινομεί την περιοχή σε 7 κατηγορίες, οι οποίες χαρακτηρίζουν περιοχές λιγότερο ή περισσότερο επιδεκτικές στις πλημμύρες και είναι οι εξής:

- ❖ Πολύ Υψηλή,
- ❖ Υψηλή,
- ❖ Μέτρια-Υψηλή,
- ❖ Μέτρια,
- ❖ Μέτρια - Χαμηλή,
- ❖ Χαμηλή, Πολύ χαμηλή.

Από τον παραπάνω χάρτη προέκυψε ότι : γενικότερα , περιοχές με ψηλές τιμές επιδεκτικότητας εντοπίζονται διάσπαρτα κυρίως στο βόρειο τμήμα της περιοχής μελέτης ,στο ΝΔ τμήμα της περιοχής μελέτης, σε κάποια σημεία στο ανατολικό τμήμα και τέλος ΝΑ της περιοχής μελέτης.

Από την υπέρθεση των οικισμών στον χάρτη επιδεκτικότητας στις πλημμύρες, της περιοχής μελέτης, προκύπτουν αναλυτικότερα τα παρακάτω:

➤ Γύρω από τους οικισμούς Γοματίου, Στρατωνίου και Στρατονίκης εντοπίζονται περιοχές οι οποίες αντιστοιχούν σε **ζώνη πολύ υψηλής επιδεκτικότητας**, παρουσιάζουν δηλαδή μεγαλύτερο κίνδυνο για εκδήλωση πλημμυρικού φαινομένου και καταλαμβάνουν έκταση 1,42 km² ή 0,7 % της συνολικής έκτασης της περιοχής μελέτης.

➤ Ζώνη υψηλής επιδεκτικότητας παρουσιάζουν περιοχές κοντά στους οικισμούς Στρατώνι, Στάγιρα, Στρατονίκη, Γομάτι & ΝΝΑ της περιοχής μελέτης. Οι περιοχές αυτές καταλαμβάνουν έκταση 10,62 km² ή 5,4 % της συνολικής έκτασης.

➤ Ζώνη Υψηλής έως Μέτριας επιδεκτικότητας εντοπίζεται σε διάσπαρτα σημεία, βόρεια της περιοχής μελέτης (Στρατονίκη, Στάγειρα) & στο μεγαλύτερο τμήμα του οικισμού του Στρατωνίου καθώς και σε μεγάλη έκταση δυτικά του Γοματίου. Οι περιοχές αυτές καταλαμβάνουν έκταση 11,8 km² ή 6 % της συνολικής έκτασης.

➤ Ζώνη Μετριας επιδεκτικότητας εντοπίζεται σε περιοχές ΒΒΔ & ΝΑ της περιοχής μελέτης καθώς και στο νότια του οικισμού Γοματίου. Οι

περιοχές αυτές καταλαμβάνουν έκταση 17,13 km² ή 8,7 % της συνολικής έκτασης.

➤ Το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής μελέτης αντιστοιχεί στη Ζώνη Χαμηλής-Μέτριας επιδεκτικότητας η οποία καταλαμβάνει έκταση 139,38km² ή 71,2% της συνολικής έκτασης.

➤ Περιοχές οι οποίες ανήκουν σε ζώνες χαμηλής-πολύ χαμηλής επιδεκτικότητας εμφανίζονται στον χάρτη κυρίως κοντά στον οικισμό της Ιερισσού και σε διάσπαρτα σημεία της περιοχής μελέτης. Οι περιοχές αυτές καταλαμβάνουν έκταση 15,5 km² ή 8 % της συνολικής έκτασης.

➤ Επιπρόσθετα, από την υπέρθεση του GIS επιπέδου κάλυψης γης στον χάρτη επιδεκτικότητας προκύπτει ότι: οι περιοχές πολύ υψηλής επιδεκτικότητας καλύπτονται κατά κύριο λόγο από τις εξής κατηγορίες κάλυψης γης: 112, 131, περιοχές που δεν καλύπτονται από βλάστηση με αποτέλεσμα να είναι πιο ευάλωτες στην επιφανειακή απορροή σε σχέση με περιοχές που καλύπτονται από πυκνή βλάστηση, αφού ως γνωστόν οι ρίζες των φυτών απορροφούν το νερό και δεν ευνοούν την επιφανειακή απορροή. Οι περιοχές υψηλής επιδεκτικότητας καλύπτονται κατά κύριο λόγο από τις 243,131 κατηγορίες κάλυψης γης, ενώ τέλος οι περιοχές μέτριας - υψηλής επιδεκτικότητας καλύπτονται από τις 211 κατηγορίες κάλυψης γης (βλέπε χάρτης 2).

Ο χάρτης επιδεκτικότητας που κατασκευάστηκε με τη μέθοδο που παρουσιάστηκε λεπτομερώς παραπάνω, περιέχει σε μεγάλο βαθμό υποκειμενικές κρίσεις, και αυτό συμβαίνει διότι, οι παράγοντες που λήφθηκαν υπόψη αλλά και η σημαντικότητα αυτών επιλέχθηκαν με εμπειρικό τρόπο, λόγω του γεγονότος ότι δεν υπάρχει ακριβής μεθοδολογία για τον σκοπό αυτό.

Επίσης στην καλύτερη και ακριβέστερη αξιολόγηση της μεθόδου θα βοηθούσε η λήψη φωτογραφιών μετά τη πλημμύρα των σημείων που πλημμύρισαν, με συντεταγμένες, ώστε να μπορούσε να γίνει επαλήθευση της μεθόδου. Παράλληλα, η παρουσία δεδομένων και ιστορικών καταγραφών πλημμυρών παλαιότερων περιόδων είναι απαραίτητη, αφού θα βοηθούσε στην εξαγωγή πιο αξιόπιστων στοιχείων σχετικά με το αν μια περιοχή είναι επιδεκτική σε πλημμυρικά φαινόμενα ή όχι.

6. Η ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΣΤΗ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ – ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ

6.1. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με την εξ' αποστάσεως συγκέντρωση δεδομένων της γήινης επιφάνειας, ούτως ώστε να παρατηρηθεί ή/ και να παρακολουθηθεί το φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον και διαμέσου της εισαγωγής τους (ή «εισροής») τους και της επεξεργασίας τους εντός ενός κατάλληλου συστήματος να «παραχθεί» μια ωφέλιμη «εκροή».

Παρακάτω λοιπόν, πρόκειται να παρουσιαστεί η Τηλεπισκόπηση ως όρος, ενώ εν συνεχεία, γίνεται προσπάθεια να καταγραφούν οι δυνατότητες της Τηλεπισκόπησης, οι οποίες μπορούν να αξιοποιηθούν για τη παρακολούθηση, τον εντοπισμό, την αναγνώριση, την επεξεργασία χαρακτηριστικών και εμφανίσεων της γήινης επιφάνειας, ή μεταβολών τους που συνδέονται με την ανάδειξη φαινομένων και διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα τόσο στο φυσικό περιβάλλον (ανάδυση φυσικών κινδύνων), όσο και στο ανθρωπογενές. Παράλληλα γίνεται αναφορά σε συγκεκριμένες μεθόδους και τεχνικές που υλοποιούνται προκειμένου να πραγματοποιηθούν τα παραπάνω και παρουσιάζονται όλες οι διαθέσιμες δορυφορικές εικόνες ραντάρ που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διατριβή ειδίκευσης.

6.2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ-ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ ΡΑΝΤΑΡ

Η μελέτη των στοιχείων που απαρτίζουν τον κόσμο ξεκινά με τη αποκομιδή των αντίστοιχων δεδομένων. Η παρακολούθηση του φυσικού και του πολιτισμικού τοπίου, η λήψη μετρήσεων επ' αυτού, καθώς και οι περαιτέρω διεργασίες επεξεργασίας και ανάλυσης που υλοποιούνται προκειμένου να εξαχθούν χρήσιμα αποτελέσματα – πληροφορίες δηλαδή – καθίστανται δυνατές μόνο με την προηγηθείσα απόκτηση δεδομένων· η λήψη των τελευταίων επιτυγχάνεται είτε με την άμεση και επιτόπια / επί του πεδίου συλλογή (*in-situ* or *in-place*) είτε μέσω της «συγκομιδής» τους από κάποια

απόσταση (remote distance), μακρόθεν δηλαδή. Η εξ' αποστάσεως συγκέντρωση δεδομένων της γήινης επιφάνειας γίνεται με τη βοήθεια της επιστήμης της Τηλεπισκόπησης.

Ως Τηλεπισκόπηση (Remote Sensing) νοείται κάθε διάβημα προσπορισμού γνώσης και δεδομένων από απόσταση με στόχο την μετέπειτα μετουσίωσή τους σε ωφέλιμη πληροφόρηση. Σύμφωνα με δε με τον επίσημα «καταρτισμένο» ορισμό από την Αμερικανική Κοινότητα για την Φωτογραμμετρία και την Τηλεπισκόπηση (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing – ASPRS), ως Τηλεπισκόπηση «αναγορεύεται»: «η μέτρηση ή η απόκτηση πληροφορίας για κάποια ιδιότητα ενός αντικειμένου ή φαινομένου, από μια καταγραφική συσκευή η οποία δεν είναι σε φυσική ή «στενή» επαφή με το υπό εξέταση/ μελέτη αντικείμενο ή φαινόμενο» (Colwell, 1983),(από Μισθό, 2009).

Η τηλεπισκόπηση επέφερε σημαντικές αλλαγές στο χώρο της Χαρτογραφίας, αφού εισήγαγε την παρατήρηση και την παρακολούθηση του γήινου περιβάλλοντος στο σύνολό του και σε συχνή περιοδική χρονική κλίμακα (Τσακίρη- Στρατή, 1998). Η δυνατότητα λήψης εικόνων διαφορετικών ημερομηνιών διευκολύνει την παρατήρηση των μεταβολών που συντελούνται στο φυσικό περιβάλλον(Vupalla et al.,2004).

Όσον αφορά τώρα τα συστήματα εικόνων ραντάρ (Imaging Radar Systems (Radio Detection and Ranging)), αυτά αναπτύχθηκαν την δεκαετία του 1950 κυρίως για στρατιωτικούς σκοπούς. Σύμφωνα με τους Lillesand & Kiefer (2000), τα radar αποτελούν ως επί το πλείστον ενεργητικούς αισθητήρες, δηλαδή στέλνουν και δέχονται πίσω τα μικροκυματικά σήματα (με πηγή και δέκτη της τον ίδιο τον αισθητήρα). Τα συστήματα ραντάρ λειτουργούν στην περιοχή των μικροκυμάτων. Οι εικόνες ραντάρ αναπαριστούν την επιστρεφόμενη σκέδαση της μικροκυματικής ακτινοβολίας (οπισθοσκέδαση) (Αστάρας, 2006).

Τα συστήματα αυτά παρουσιάζουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα:

Πλεονεκτήματα:

➤ Δεν εξαρτώνται από τις καιρικές συνθήκες και την ηλιακή φωτεινότητα του γήινου περιβάλλοντος (λειτουργούν ημέρα και νύχτα με μερική ή ολική νεφοκάλυψη). Πρόκειται δηλαδή για “παντός καιρού συστήματα” και σ’ αυτό οφείλεται και η ευρεία εφαρμογή τους τα τελευταία χρόνια. Επίσης το σήμα, έχει τη δυνατότητα να διεισδύει σε ξηρό έδαφος και να καταγράφονται χαρακτηριστικά του υπεδάφους.

➤ Μπορούν να χρησιμοποιούν διάφορες φασματικές ζώνες αν και τα πιο πολλά συστήματα περιορίζονται σε μία ζώνη.

Μειονεκτήματα:

➤ Χρειάζονται αρκετό χρόνο και πολύπλοκα λογισμικά για την επεξεργασία των δεδομένων.

➤ Απαιτούν σημαντικές γεωμετρικές διορθώσεις στις οποίες κρίνεται αναγκαία η χρήση DEM (Digital Elevation Model - Ψηφιακών Υψομετρικών Μοντέλων).

➤ Έχουν μειωμένη λήψη δεδομένων

➤ Δεν παρέχουν πολυφασματικά δεδομένα (με εξαίρεση πειραματικές πτήσεις και διαστημικά λεωφορεία).(Κωνσταντακάτος, 2007).

➤ Παρουσιάζουν κροκιδωτή (speckle) υφή η οποία υποβαθμίζει την ποιότητα της εικόνας (Συλλαίος,1999).

6.3. ΟΠΙΣΘΟΣΚΕΔΑΣΗ (BACKSCATTERING) ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ

Κάθε χαρακτηριστικό γνώρισμα της επιφάνειας της γης παρουσιάζει διαφορετική οπισθοσκέδαση (backscattering). Έτσι για παράδειγμα οι ήρεμες υδάτινες επιφάνειες (ομαλή επιφάνεια), παρουσιάζουν χαμηλή οπισθοσκέδαση, η τραχιά θάλασσα παρουσιάζει αυξημένη οπισθοσκέδαση λόγω του αέρα και της επίδρασης των κυμάτων ενώ οι αστικές περιοχές εμφανίζουν πολύ ισχυρή οπισθοσκέδαση.

Μέτρο της οπισθοσκέδασης αποτελεί ο συντελεστής οπισθοσκέδασης ή οπισθοδιασποράς (backscattering coefficient) σ_0 , ο οποίος δίνεται από τον τύπο:

$$\sigma_o(\text{dB}) = 10 \log_{10}(\text{αναλογία ενέργειας})$$

✓ όπου : αναλογία ενέργειας = ενέργεια που λαμβάνεται από τον δέκτη

ενέργεια που ανακλάται κατά τρόπο ισότροπο

Ο συντελεστής αυτός αποτελεί μία συνάρτηση των: 1) **παραμέτρων του συστήματος ραντάρ** (συχνότητα f , πόλωση p και γωνία πρόσπτωσης των εκπεμπόμενων ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων), 2) **παραμέτρων της επιφάνειας** (τραχύτητα, γεωμετρικό σχήμα και διηλεκτρικές ιδιότητες του στόχου). Οι παράμετροι αυτοί επηρεάζουν την ένταση της οπισθοσκεδαζόμενης ακτινοβολίας και έτσι:

✓ Οι ανθρώπινες κατασκευές, οι ορεινές –φωτιζόμενες περιοχές (κλιτύες των ορέων που «βλέπουν» προς το ραντάρ), παρουσιάζουν υψηλή οπισθοσκέδαση, οπότε καταγράφονται με ανοικτούς τόνους, μέχρι μέσους τόνους του τεφρού, ανάλογα με την τραχύτητα του εδάφους και πυκνότητα της βλάστησης.

✓ Οι καλλιεργούμενες εκτάσεις μέτριας τραχύτητας, παρουσιάζουν μέτρια οπισθοσκέδαση, οπότε καταγράφονται με ενδιάμεσες διαβαθμίσεις του τεφρού χρώματος, ενώ τέλος

✓ Οι ομαλές επιφάνειες, τα ήρεμα ύδατα, το ξηρό έδαφος, οι μη φωτιζόμενες – σκιερές περιοχές, παρουσιάζουν μηδενική ή χαμηλή οπισθοσκέδαση, οπότε καταγράφονται με μαύρο χρώμα (Αστάρας, 2006).

Για τη καλύτερη κατανόηση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας των εικόνων ραντάρ που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διατριβή και επειδή όπως προαναφέρθηκε η ένταση του επιστρεφόμενου σήματος από τον στόχο, επηρεάζεται από πολύπλοκες παραμέτρους του συστήματος αλλά και της επιφάνειας του στόχου, συμπεριλαμβανομένης της τραχύτητας της επιφάνειας και των διηλεκτρικών ιδιοτήτων του εδάφους, παρακάτω, εξηγείται ο τρόπος με τον οποίο επιδρά κάθε μία από τις παραπάνω παραμέτρους στην αναγνώριση ύδατος στην επιφάνεια παρατήρησης

Πιο συγκεκριμένα, όσο μεγαλύτερη τραχύτητα έχει μια επιφάνεια τόσο μεγαλύτερη οπισθοσκέδαση παρουσιάζει, ενώ όσο πιο ομαλή είναι η επιφάνεια αυτή, το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας αντανακλάται μακριά από το ραντάρ, παρουσιάζει δηλαδή μικρή οπισθοσκέδαση προς το ραντάρ. Παράλληλα, όσον αφορά τις διηλεκτρικές ιδιότητες του στόχου και επειδή στη παρούσα εργασία ασχολούμαστε με πλημμύρες είναι απαραίτητο να αναφερθεί ότι το νερό έχει μια υψηλή διηλεκτρική σταθερά (80), τουλάχιστον 10 φορές υψηλότερη απ' ότι το ξηρό χώμα. Κατά συνέπεια, μια αλλαγή στην περιεκτικότητα σε υγρασία προκαλεί γενικά μια σημαντική αλλαγή στις διηλεκτρικές ιδιότητες των φυσικών υλικών. Η αυξανόμενη υγρασία συνδέεται με μια αυξανόμενη οπισθοσκέδαση ραντάρ. Όταν η υγρασία είναι μεγαλύτερη από 30% η οπισθοσκέδαση παραμένει σταθερή.(url 1).

6.4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΩΝ ΡΑΝΤΑΡ

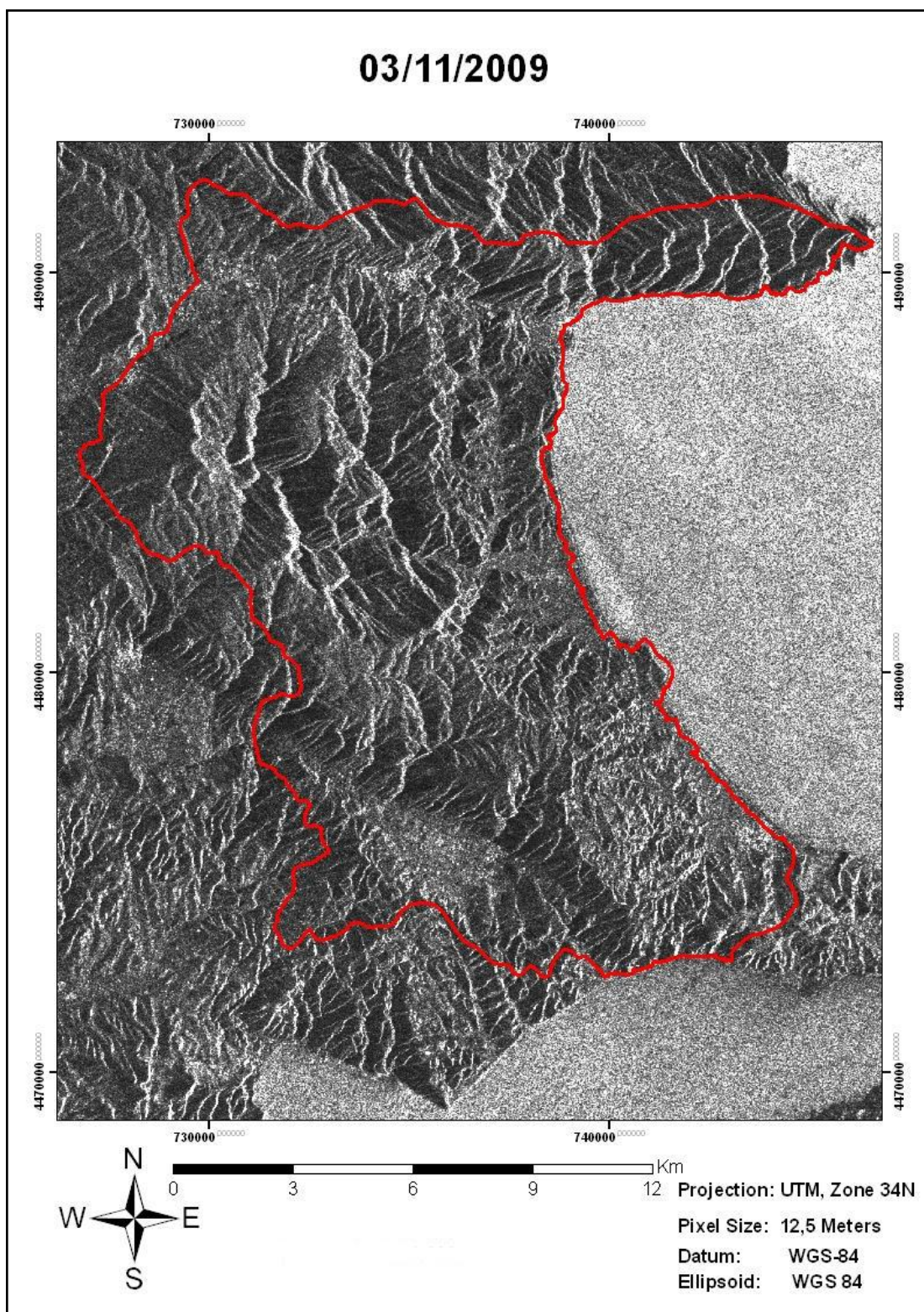
6.4.1. Εισαγωγή – Φίλτρα *Enhanced Lee*

Στα πλαίσια εκπόνησης της εργασίας μας χρησιμοποιήθηκαν τρεις δορυφορικές εικόνες ραντάρ (ENVISAT/ASAR) με ημερομηνίες λήψης 03/11/2009, 08/12/2009 και 16/02/2010, οι οποίες παραχωρήθηκαν από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος (ESA). Η λήψη της εικόνας 16/02/2010 πραγματοποιήθηκε μετά την εκδήλωση της πλημμύρας στην περιοχή μελέτης και οι 03/11/2009, 08/12/2009 πριν την πλημμύρα αντίστοιχα. Οι εικόνες ραντάρ είναι γεωμετρικά διορθωμένες, κατόπιν παραγγελίας και συγκεκριμένα η προβολή τους είναι η Παγκόσμια Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή (Universal Transverse Mercator/UTM) με datum το Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα WGS 84 (World Geodetic System 1984). Με τη βοήθεια του λογισμικού ENVI, εξήχθη η περιοχή μελέτης από τις παραπάνω εικόνες ραντάρ (Εικόνες 31,32,33).

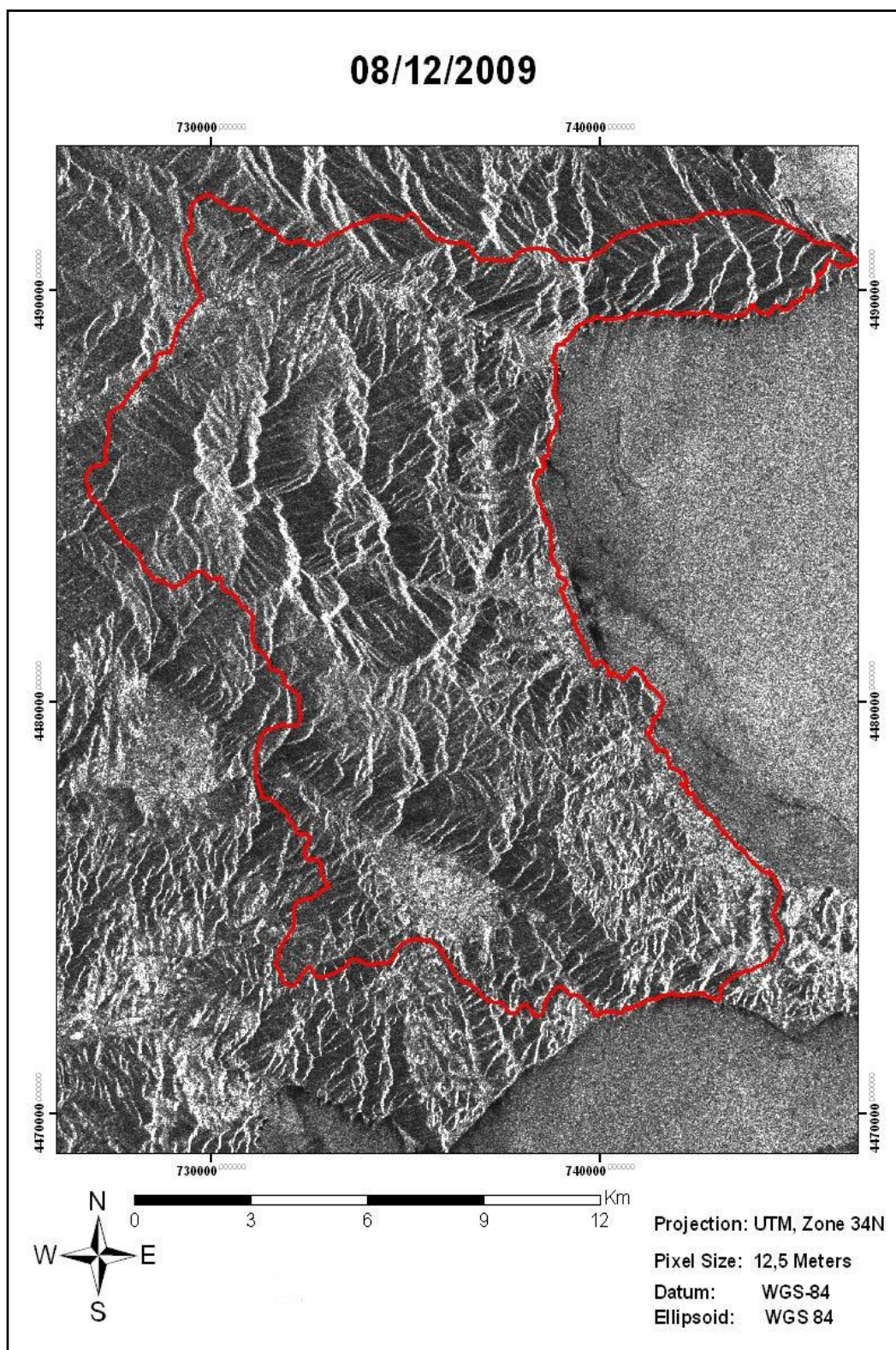
Αρχικά έγινε εγγραφή των εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν στη παρούσα εργασία, με τη βοήθεια του λογισμικού **NEST 4B** και πιο συγκεκριμένα ακολουθώντας τη διαδρομή εντολών:

SARTools→Automatic Coregistration.

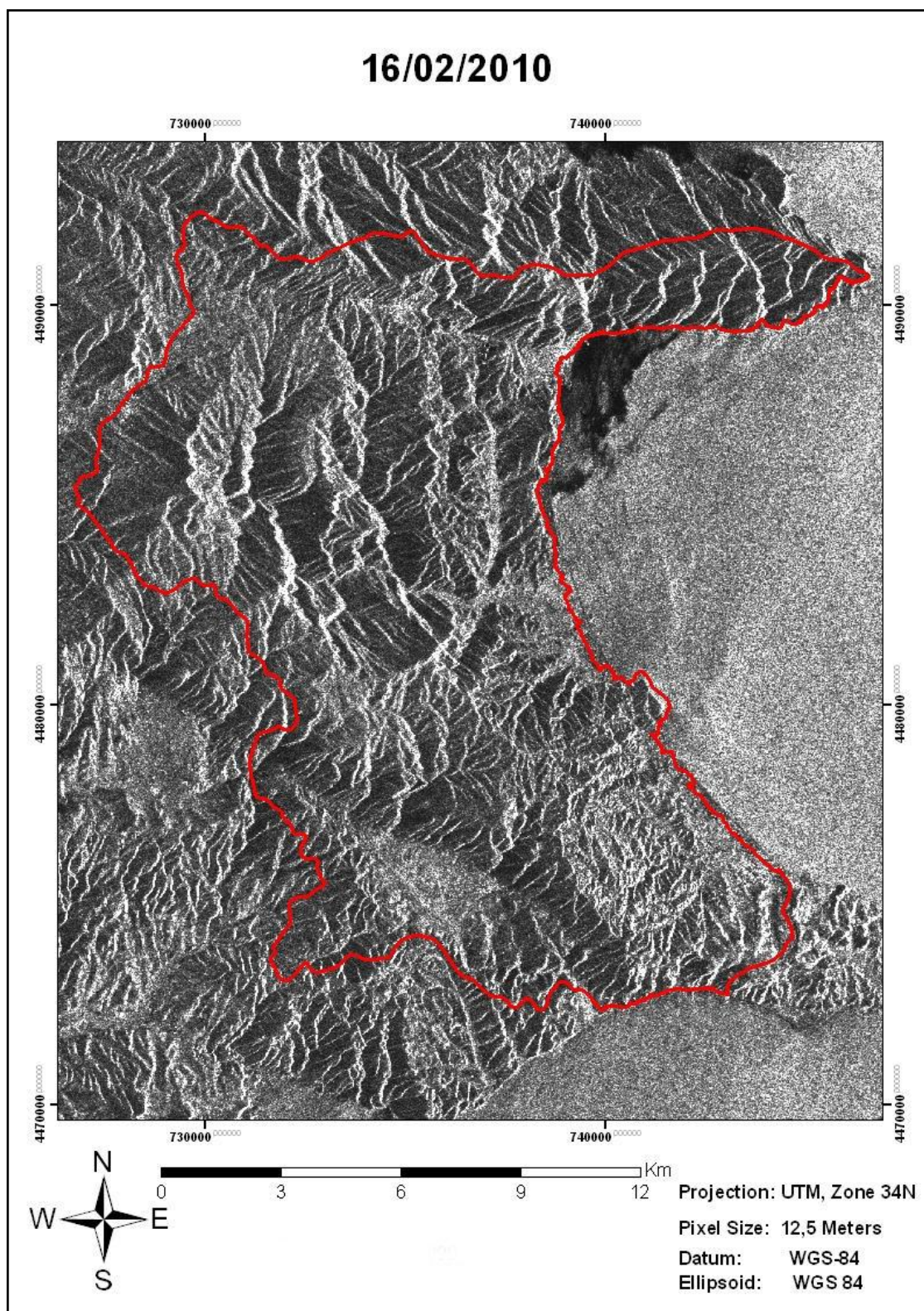
Μετά την εγγραφή των εικόνων , λόγω του γεγονότος ότι κάθε εικόνα ραντάρ κατά τη λήψη της έχει ένα χαρακτηριστικό είδος θορύβου(speckle), ο οποίος δίνει στην εικόνα κροκιδωτή εμφάνιση με αποτέλεσμα να διαστρεβλώνει και να μειώνει την πληροφορία που είναι δυνατό να ληφθεί από την εικόνα, με τη βοήθεια του λογισμικού **ENVI 4.7** εφαρμόσθηκε το φίλτρο **Enhanced Lee**, έτσι ώστε να διορθωθούν οι εικόνες. Η εφαρμογή του φίλτρου έγινε με τέτοιο τρόπο, ώστε η μείωση της ανάλυσης των εικόνων να είναι η ελάχιστη δυνατή. (**Filter → Adaptive → Enhanced Lee**). Τα αποτελέσματα που προέκυψαν μετά την εφαρμογή του φίλτρου στις τρεις εικόνες δίνονται παρακάτω (Εικόνες 34,35,36).



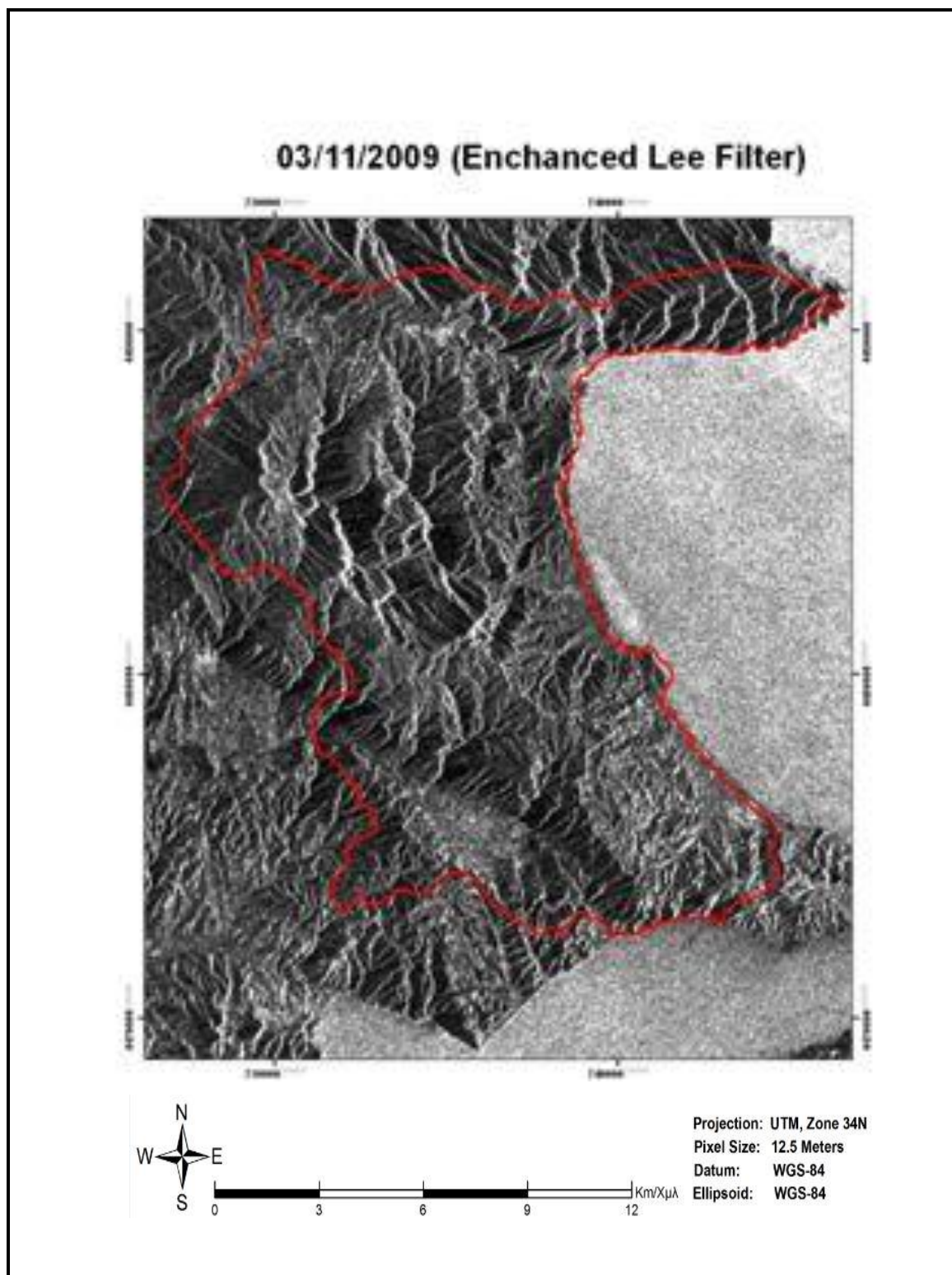
Εικόνα 31: Οριοθέτηση περιοχής μελέτης στην εικόνα ραντάρ ημερομηνίας λήψης
03/11/2009



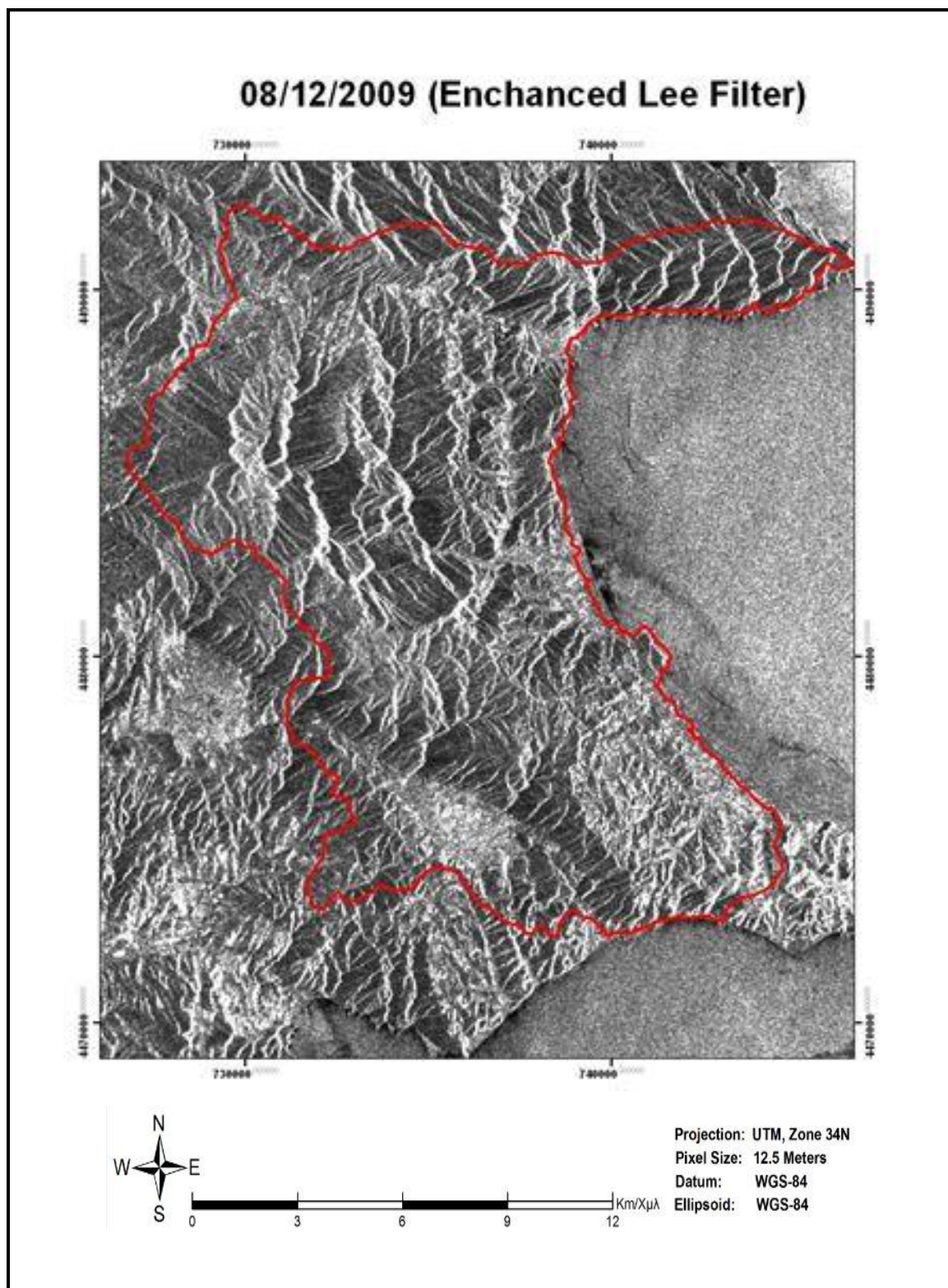
Εικόνα 32: Οριοθέτηση περιοχής μελέτης στην εικόνα ραντάρ ημερομηνίας λήψης
08/12/2009



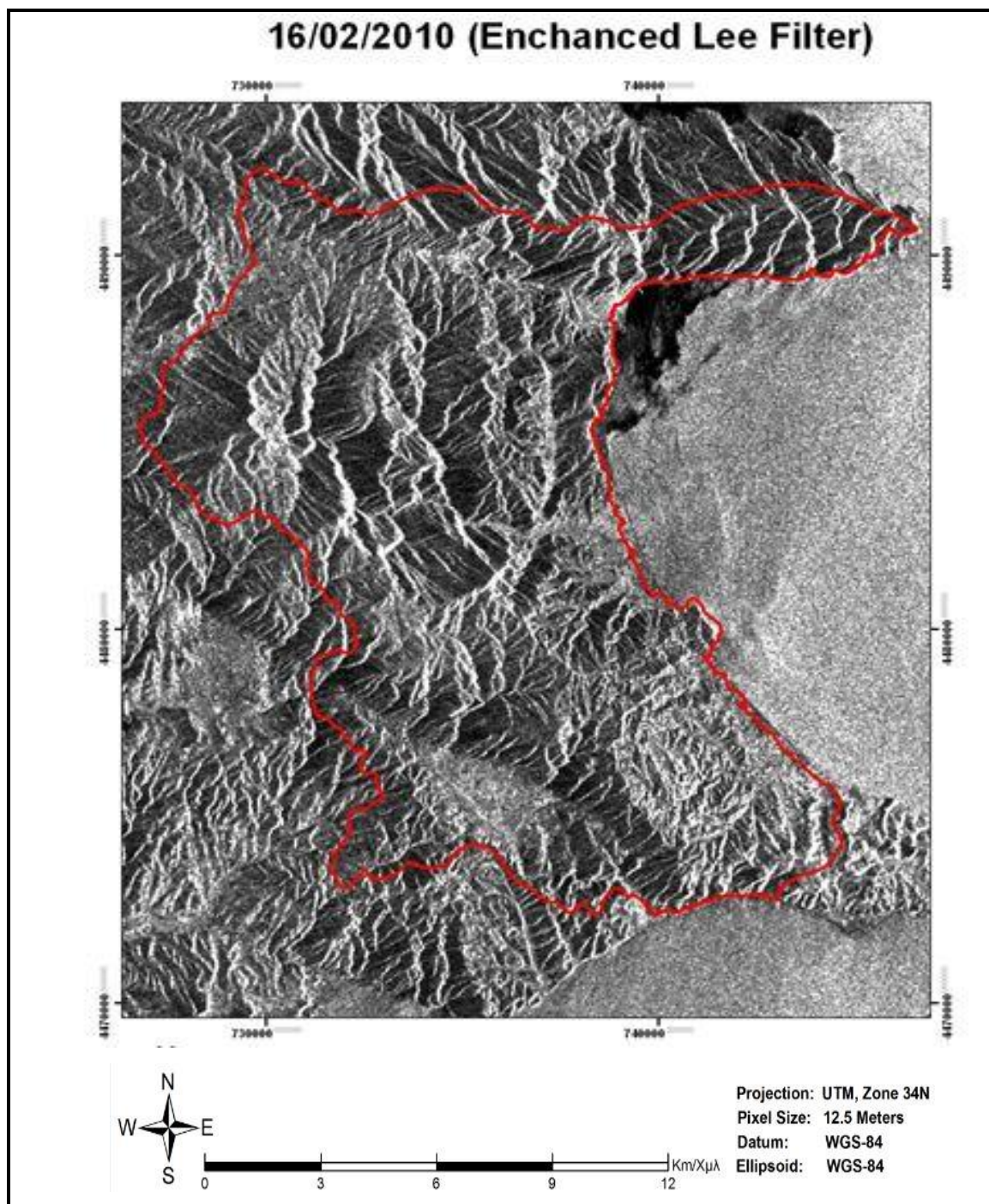
Εικόνα 33. Οριοθέτηση περιοχής μελέτης στην εικόνα ραντάρ ημερομηνίας λήψης
16/02/2010



Εικόνα 34: Η εικόνα 31 (03/11/2009) έπειτα από εφαρμογή του φίλτρου *Enhanced Lee*



Εικόνα 35: Η εικόνα 32 (08/12/2009) έπειτα από εφαρμογή του φίλτρου *Enhanced Lee*



Εικόνα 36: Η εικόνα 33 (16/02/2010) έπειτα από εφαρμογή του φίλτρου *Enhanced Lee*.

6.4.2. Εντοπισμός πλημμυρισμένων περιοχών – Μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν

Στη συνέχεια, για τον εντοπισμό των πλημμυρισμένων περιοχών χρησιμοποιήθηκαν δυο μέθοδοι:

- Τεχνική ανίχνευσης αλλαγών μέσω ψευδοχρωματικής απεικόνισης και μελέτης των φασματικών προφίλ των εικονοστοιχείων.
- Τεχνική ανίχνευσης αλλαγών μέσω μαθηματικών πράξεων μεταξύ των τιμών έντασης των ψηφίδων των εικόνων(συνδυασμοί εικόνων).

6.4.3 Τεχνικές Ανίχνευσης Αλλαγών

Οι τεχνικές της ανίχνευσης αλλαγών περιλαμβάνουν διάφορες μεθόδους οι οποίες χρησιμοποιούνται ώστε, μεταξύ δυο εικόνων της ίδιας περιοχής, οι οποίες έχουν ληφθεί σε διαφορετικούς χρόνους ή υπό διαφορετικές συνθήκες, να αναγνωριστούν να περιγραφούν και να ποσοτικοποιηθούν αλλαγές που μπορεί να έχουν προκύψει.

Σημαντικό για την εφαρμογή των τεχνικών ανίχνευσης αλλαγών σε μη θεματικές εικόνες, δηλαδή σε δεδομένα αποχρώσεων του τεφρού, είναι να ληφθούν υπόψη όλοι εκείνοι οι παράγοντες που μπορεί να κάνουν εικόνες που απεικονίζουν την ίδια περιοχή να δείχνουν διαφορετικές. Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιοι σημαντικοί παράγοντες:

- Διαφορές στην ημέρα και ώρα λήψης των δεδομένων
- Διαφορές στις ατμοσφαιρικές συνθήκες
- Διαφορές στο όργανο ή αισθητήρα ανίχνευσης (instrument or sensor)
- Διαφορές στην χωρική ανάλυση των εικόνων
- Διαφορές στην βαθμονόμηση της εικόνας (image calibration)
- Ακρίβεια εγγραφής

Οι τρεις διαθέσιμες εικόνες ραντάρ επιλέχθηκαν, αφού ελήφθησαν υπόψη οι παραπάνω παράγοντες, με σκοπό να αποφευχθούν όσο το δυνατόν περισσότερο τα σφάλματα που είναι πιθανό να προκύψουν με την επεξεργασία τους. Πιο συγκεκριμένα, οι εικόνες έχουν ληφθεί από το ίδιο όργανο ή αισθητήρα του δορυφόρου ENVISAT ASAR.

Η ώρα λήψης των δεδομένων είναι για όλες τις εικόνες η ίδια, ενώ η ημέρα λήψης διαφέρει, ανήκει όμως και στις τρεις εικόνες σε κοντινές εποχές του έτους (Νοέμβριος, Δεκέμβριος, Φεβρουάριος) έτσι ώστε να αποφευχθούν εποχιακές αλλαγές λόγω βλάστησης, ηλιακού αζιμούθιου και υψομέτρου. Όλες οι εικόνες είναι βαθμονομημένες στις ίδιες μονάδες, η χωρική ανάλυση των εικόνων είναι ίδια (25 m) με μέγεθος εικονοστοιχείου (pixel size) 12,5 m .

6.4.3.1. Ψευδοχρωματική απεικόνιση

Ως ‘Διαχρονική ψευδοχρωματική απεικόνιση’ ορίζεται η τεχνική της υπέρθεσης των ασπρόμαυρων εικόνων ραντάρ που λήφθηκαν σε διαφορετικές χρονικές περιόδους (multitemporal technique) και η προβολή τους στις χρωματικές εξόδους του κόκκινου, του πράσινου και του μπλε για την κατασκευή ψευδοχρωματικής εικόνας, μιας εικόνας δηλαδή έγχρωμής στην οποία όμως τα χρώματα δεν αντιπροσωπεύουν τα πραγματικά χρώματα των αντικειμένων που απεικονίζονται.

Επομένως η οπτική εξέταση της ψευδοχρωματικής εικόνας είναι μία αρκετά αποτελεσματική και απλή μέθοδος στην εκτέλεση και διευκολύνει τον ερμηνευτή στην αναγνώριση περιοχών που παραμένουν κάτω από το νερό για μεγάλα διαστήματα.

Οι ψευδοχρωματικές διαχρονικές (multitemporal) εικόνες χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό αλλαγών στο χρονικό διάστημα μεταξύ των ημερομηνιών λήψης των εικόνων. Όλες αυτές οι αλλαγές εμφανίζονται με χρώματα. Σύμφωνα με τους κανόνες ερμηνείας των εικόνων για μία τέτοια εικόνα θα ισχύουν τα παρακάτω:

- Τα χαρακτηριστικά που δεν έχουν αλλάξει, δηλαδή αυτά που παρέμειναν ίδια στην περιοχή εμφανίζονται ασπρόμαυρα ενώ,
- Με χρώμα εμφανίζεται οποιαδήποτε αλλαγή από την μία εικόνα στην άλλη(εκφρασμένη με αλλαγή στην οπισθοσκέδαση) .

Οι αλλαγές αυτές μπορεί να έχουν προκύψει λόγω πχ της ανάπτυξης, στην συγκεκριμένη περιοχή που εξετάζουμε, βλάστησης ή λόγω της ύπαρξης

περισσότερης υγρασίας του εδάφους, ή της ύπαρξης ενός νέου αντικειμένου ή μίας νέας μορφής ενός ήδη υπάρχοντος αντικειμένου(url 1).

Στην παρούσα εργασία κατασκευάστηκε ψευδοχρωματική διαχρονική εικόνα με τη μέθοδο της υπέρθεσης των ασπρόμαυρων εικόνων ραντάρ και της προβολής τους στις χρωματικές εξόδους του κόκκινου, του πράσινου και του μπλε. Για καλύτερο οπτικά αποτέλεσμα χρησιμοποιήθηκαν 2 εικόνες, η εικόνα μετά την πλημμύρα (**16/02/2010**) και η εικόνα που προέκυψε από την μέση τιμή των δύο εικόνων πριν την πλημμύρα(**03/11/2009+08/12/2009**) / 2). Η μέση τιμή των δυο εικόνων υπολογίστηκε με τη χρήση της εφαρμογής **Band Math** του λογισμικού ENVI.(*Basic Tools → Band Math*).

Πιο συγκεκριμένα με τη βοήθεια του λογισμικού **ENVI 4.7** αρχικά πραγματοποιήθηκε στοίχιση της εικόνας μετά τη πλημμύρα(16/02/2010) με την εικόνα που προέκυψε από τη μέση τιμή των εικόνων πριν τη πλημμύρα (03/11/2009+08/12/2009) / 2) σε ένα νέο πολυζωνικό αρχείο (multiband file),με τη χρήση της εφαρμογής **Layer Stacking** του προγράμματος ENVI 4.7.(*Map → Layer Stacking*).

Έπειτα στη κόκκινη φασματική έξοδο δόθηκε η εικόνα της πλημμύρας ενώ στην πράσινη και τη μπλε έξοδο δόθηκε η εικόνα μέσης τιμής ως εξής:

R: 16/02/2010

G: 03/11/2009+08/12/2009) / 2

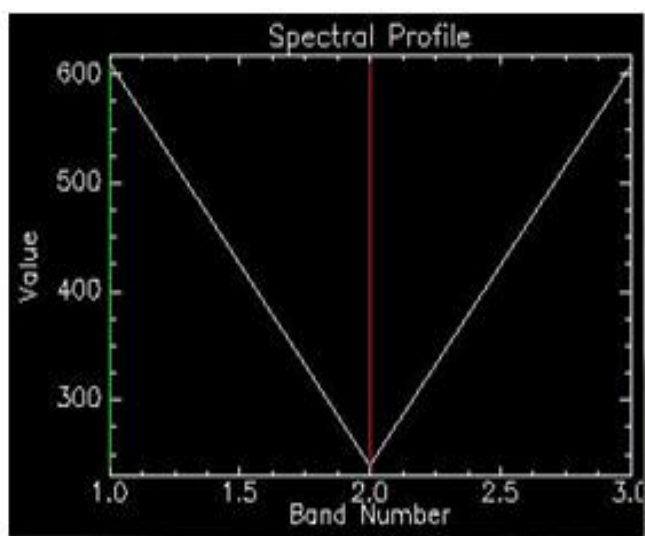
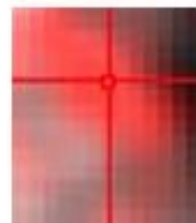
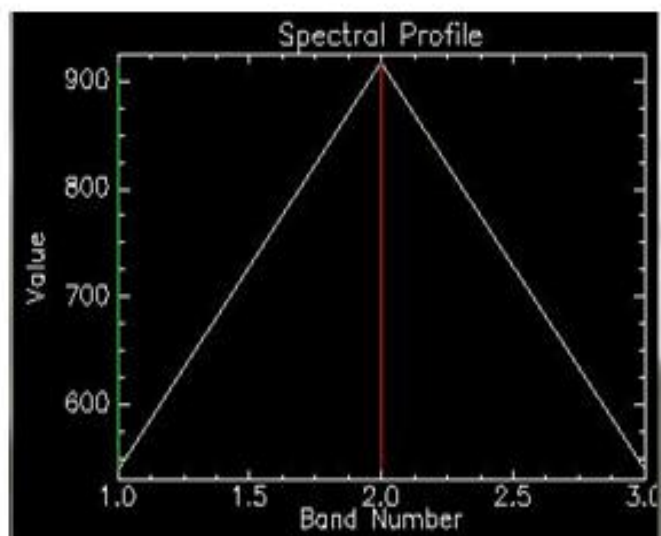
B: 03/11/2009+08/12/2009) / 2

Η επιλογή των φασματικών καναλιών έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε οι περιοχές στις οποίες εντοπίζεται νερό μόνο στην εικόνα της πλημμύρας να χρωματισθούν με χρώμα κυανό. Στη νέα εικόνα που προέκυψε η ερμηνεία των χρωμάτων έχει ως εξής:

- Στις περιοχές όπου δεν υπάρχει **καμία αλλαγή** κάθε εικονοστοιχείο έχει 3 φορές την ίδια τιμή έντασης, προβαλλόμενη στο κόκκινο, πράσινο, και μπλε φασματικό κανάλι αντίστοιχα. Στην περίπτωση λοιπόν αυτή όπου τα R, G, B είναι ίσα, **το χρώμα που προκύπτει είναι πάντα απόχρωση του τεφρού, δηλαδή από εντελώς λευκό έως εντελώς μαύρο**. Το αποτέλεσμα δηλαδή είναι ακριβώς το ίδιο με εκείνο της_κάθε εικόνας χωριστά.

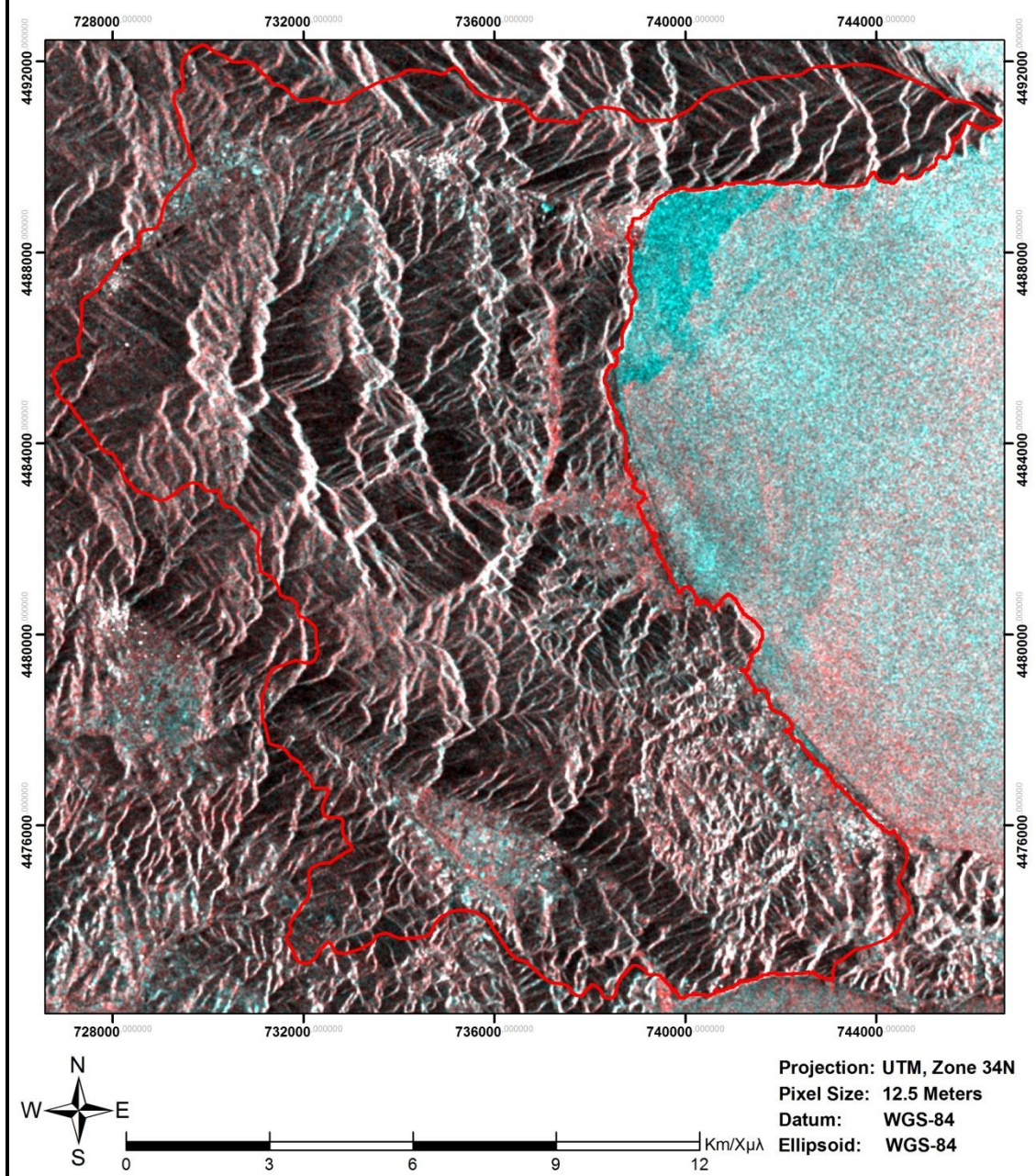
- Στις περιοχές όπου παρατηρείται χαμηλότερη οπισθοσκέδαση στην εικόνα της πλημμύρας (σκύρο τεφρό έως μαύρο), δηλαδή πολύ χαμηλές τιμές έντασης των εικονοστοιχείων (**πιθανή παρουσία νερού**), το αποτέλεσμα είναι **απόχρωση του κυανού**. Μάλιστα όσο μεγαλύτερη αλλαγή έχουμε, τόσο πιο έντονο εμφανίζεται το κυανό στο τελικό αποτέλεσμα.
- Στις περιοχές όπου παρατηρείται ψηλότερη οπισθοσκέδαση στην εικόνα της πλημμύρας (ανοιχτό τεφρό έως λευκό), δηλαδή πολύ ψηλές τιμές έντασης των εικονοστοιχείων (**πιθανή αύξηση υγρασίας**), το αποτέλεσμα είναι **απόχρωση του κόκκινου** λόγω του ότι ή εικόνα της πλημμύρας δόθηκε στο κανάλι R. Και εδώ ισχύει επίσης ότι όσο μεγαλύτερη αλλαγή έχουμε, τόσο εντονότερο εμφανίζεται το κόκκινο στο τελικό αποτέλεσμα.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα διαγράμματα του σχήματος 9 τα οποία απεικονίζουν ενδεικτικά τα φασματικά προφίλ για εικονοστοιχεία κυανού και κόκκινου χρώματος αντίστοιχα της ψευδοχρωματικής εικόνας. (Δεξί κλίκ πάνω στην εικόνα στο παράθυρο #1 Scroll → Z profile(spectrum)). Στον οριζόντιο άξονα δίνεται η φασματική έξοδος, όπου **Band 1 = 03/11/2009+08/12/2009)/2**, **Band 2 = 16/02/2010 (πλημμύρα)**, **Band 3 = 03/11/2009+08/12/2009)/2**, ενώ στον κατακόρυφο άξονα δίνεται η τιμή έντασης των εικονοστοιχείων. Το φασματικό προφίλ κόκκινου εικονοστοιχείου απεικονίζει περιοχή νότια του οικισμού Στρατωνίου με συντεταγμένες 737270,8130 E και 4485756,2500 N(μέτρα) όπου παρατηρείται έδαφος με μεγάλη υγρασία. Αντίθετα το φασματικό προφίλ του κυανού εικονοστοιχείου απεικονίζει περιοχή κοντά στον οικισμό Γοματίου με συντεταγμένες 729258,3130 E και 4478268,7500 N(μέτρα), όπου παρατηρείται έδαφος με νερό σε βάθος.



Σχήμα 9. Φασματικά προφίλ κόκκινου και κυανού εικονοστοιχείου αντίστοιχα.

Ψευδοχρωματική Απεικόνιση (Falsecolor composite)



Εικόνα 37. Ψευδοχρωματική απεικόνιση των εικόνων ραντάρ

Συνοψίζοντας λοιπόν, με τη μέθοδο αυτή έγινε ανίχνευση των αλλαγών μεταξύ των εικονοστοιχείων των εικόνων πριν και μετά την πλημμύρα οι οποίες πιστοποιήθηκαν και με την κατασκευή των φασματικών προφίλ των αντίστοιχων εικονοστοιχείων. Οι αλλαγές σύμφωνα με τη μεθοδολογία αυτή έχουν δύο μορφές: ύπαρξη νερού με βάθος (κυανό εικονοστοιχείο), ύπαρξη εδάφους με αυξημένη υγρασία (κόκκινο εικονοστοιχείο).

6.4.3.2. Ανίχνευση αλλαγών με εφαρμογή αριθμητικών πράξεων

Οι εικόνες που χρησιμοποιούνται στην διαδικασία αυτή πρέπει να είναι εγγεγραμμένες ή μία στην άλλη καθώς επίσης να έχουν γεωαναφορά. Η εγγραφή θα πρέπει να γίνεται πριν αρχίσει η επεξεργασία των εικόνων έτσι ώστε να έχουμε πιο ασφαλή αποτελέσματα(ENVI help).

Οι αλλαγές υπολογίζονται με την αφαίρεση της εικόνας που αντιπροσωπεύει την αρχική κατάσταση από την εικόνα που αντιπροσωπεύει την τελική κατάσταση (τελική – αρχική) και στη συνέχεια μπορούν να οριστούν κλάσεις με όρια τα όρια αλλαγών (change thresholds) (Kiage et al., 2005).

Μία θετική αλλαγή αντιπροσωπεύει ψηφίδες (pixel) φωτεινότερες, ενώ μία αρνητική αλλαγή αντιπροσωπεύει ψηφίδες λιγότερο φωτεινές. (από Νικολαΐδου,2009).

Με τη βοήθεια της εφαρμογής Συσσώρευση επιπέδων (Layer Stacking) του λογισμικού ENVI πραγματοποιήθηκε στοίχιση των τριών εγγεγραμμένων εικόνων σε ένα νέο πολυζωνικό αρχείο (multiband file),όπως προαναφέρθηκε και νωρίτερα. Η στοίχιση έλαβε χώρα, ώστε να προκύψει ένα αρχείο που να καλύπτει γεωγραφικά την κοινή περιοχή των εικόνων καθώς επίσης να ανήκει στο ίδιο προβολικό σύστημα και να διατηρεί το ίδιο μέγεθος ψηφίδας με εκείνο των αρχικών εικόνων.

Έτσι στη συνέχεια, με τη βοήθεια της εφαρμογής **Spectral Math** (*Basic Tools*→*Spectral Math*) του λογισμικού ENVI 4.7 πραγματοποιήθηκαν αριθμητικές πράξεις μεταξύ των φασματικών τιμών επιλεγμένων ζωνών του παραπάνω πολυζωνικού αρχείου. Εδώ πρέπει να αναφερθεί ότι η εφαρμογή spectral math χρησιμοποιείται για την διεξαγωγή μαθηματικών πράξεων σε

όλες τις ζώνες πολύζωνικών εικόνων εφόσον ο αριθμός των πολυφασματικών καναλιών ταιριάζει. Οι πράξεις που πραγματοποιήθηκαν μεταξύ των εικόνων ραντάρ από το νέο αρχείο που προέκυψε μετά την εφαρμογή *Συσσώρευση επιπέδων* είναι οι παρακάτω:

❖ Αφαίρεση των τιμών έντασης των εικονοστοιχείων της εικόνας 03/11/2009(πριν την πλημμύρα) από των αντίστοιχων της εικόνας 16/02/010 (μετά την πλημμύρα).

→ **16/02/2010 (μετά) – 03/11/2009 (πριν)**

❖ Αφαίρεση των τιμών έντασης των εικονοστοιχείων της εικόνας 08/12/2009 (πριν την πλημμύρα) από των αντίστοιχων της εικόνας 16/02/2010(μετά την πλημμύρα).

→ **16/02/2010 (μετά) – 08/12/2009(πριν)**

❖ Αφαίρεση των τιμών έντασης των εικονοστοιχείων της εικόνας 08/12/2009 (πριν την πλημμύρα) από των αντίστοιχων της εικόνας 03/11/2009(πριν την πλημμύρα).

→ **03/11/2009 (πριν) – 08/12/2009 (πριν)**

❖ Υπολογισμός του μέσου όρου των τιμών της έντασης των εικονοστοιχείων των εικόνων 03/11/2009 (πρίν την πλημμύρα) και 0812/2009 (πριν τη πλημμύρα) και αφαίρεση αυτού από τις αντίστοιχες τιμές των εικονοστοιχείων της εικόνας 16/02/2010 (μετά την πλημμύρα).

→ **16/02/2010(μετά) - (03/11/2009 + 08/12/2009) / 2) (μεσος όρος).**

Η τεχνική της ανίχνευσης αλλαγών με την αφαίρεση των φασματικών τιμών των εικονοστοιχείων εικόνων πριν και μετά την πλημμύρα, ξεπερνά τα προβλήματα σύγχυσης περιοχών όπου παρατηρούνται τα φαινόμενα σκίασης ραντάρ και αναδίπλωσης (ραντάρ layover) με τις πλημμυρισμένες περιοχές, καθώς γίνεται αφαίρεση μεταξύ εικόνων της ίδιας περιοχής με τα ίδια στοιχεία λήψης. Με αυτόν τον τρόπο οι παραπάνω περιοχές παρουσιάζονται ως περιοχές στις οποίες δεν έχει συμβεί αλλαγή καθώς απεικονίζονται ίδιες και στις δύο εικόνες(Νικολαιδου,2009).

- Θετική αλλαγή σημαίνει ότι οι τιμές έντασης στην τελική εικόνα (εικόνα από την οποία έγινε η αφαίρεση) είναι μεγαλύτερες από εκείνες στην αρχική εικόνα.
- Αρνητική αλλαγή σημαίνει ότι οι τιμές έντασης στην τελική εικόνα είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες στην αρχική.
- Καμία αλλαγή σημαίνει ότι η διαφορά στις τιμές έντασης μεταξύ των εικόνων είναι πολύ μικρή.

Σύμφωνα με την ερμηνεία της οπισθοσκέδασης που δόθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια μία αρνητική αλλαγή στις εικόνες 38, 39, και 41 (σκούρο γκρι έως μαύρο) σημαίνει πιθανόν ύπαρξη αρκετού νερού σε ήρεμες συνθήκες, ενώ μία θετική αλλαγή (ανοιχτό γκρι έως άσπρο) σημαίνει πιθανόν υγρασία εδάφους.

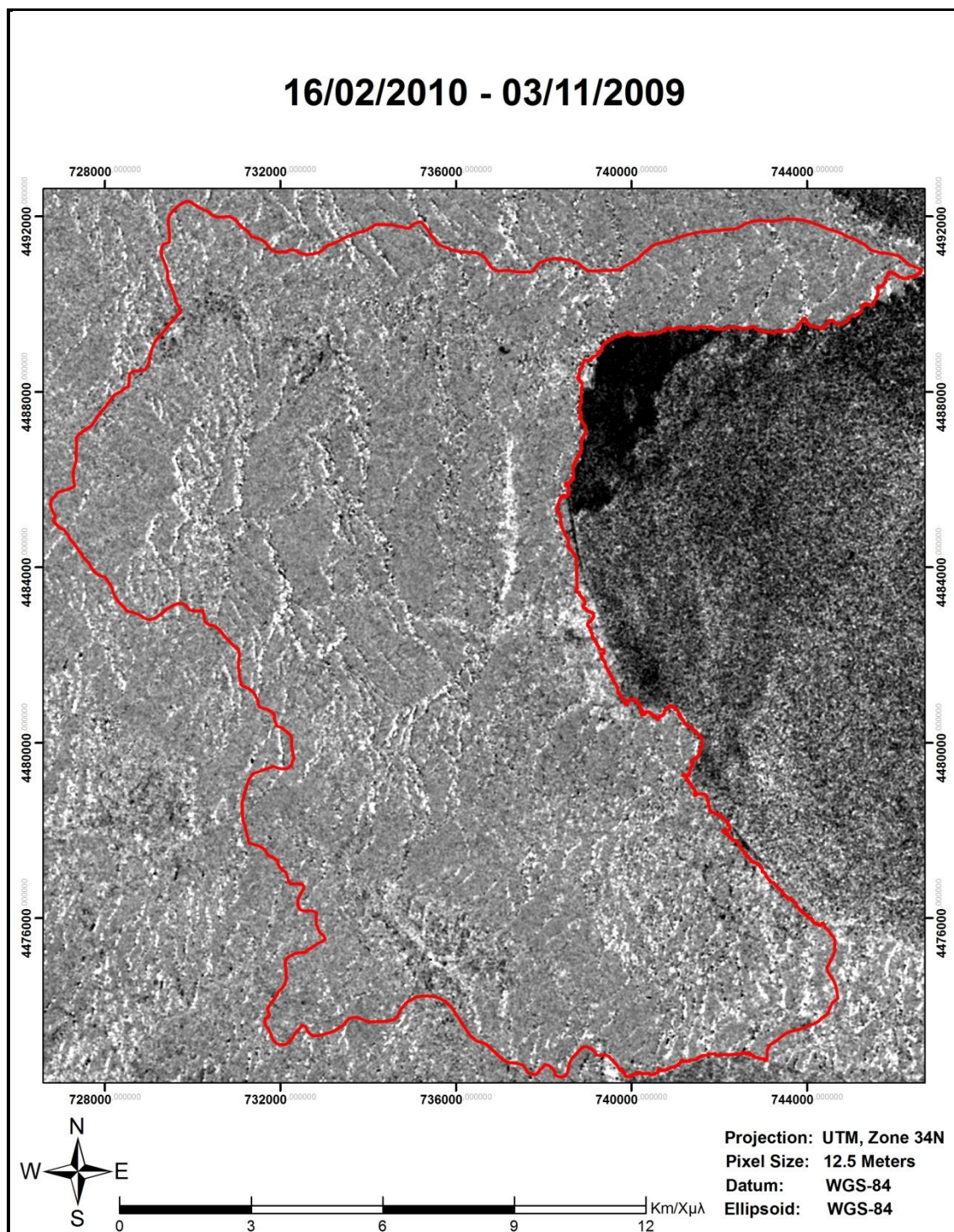
Στις εικόνες 38,39 και 41 φαίνονται οι αλλαγές που προέκυψαν μετά την πλημμύρα στην περιοχή μελέτης, με αποχρώσεις του τεφρού.

Στην εικόνα της πλημμύρας οι θετικές αλλαγές που συνέβησαν αναπαρίστανται με ανοιχτές αποχρώσεις του τεφρού, οι αρνητικές αλλαγές με σκούρες αποχρώσεις, ενώ ενδιάμεσες αποχρώσεις απεικονίζουν περιοχές στις οποίες δεν έχει υπάρξει αλλαγή.

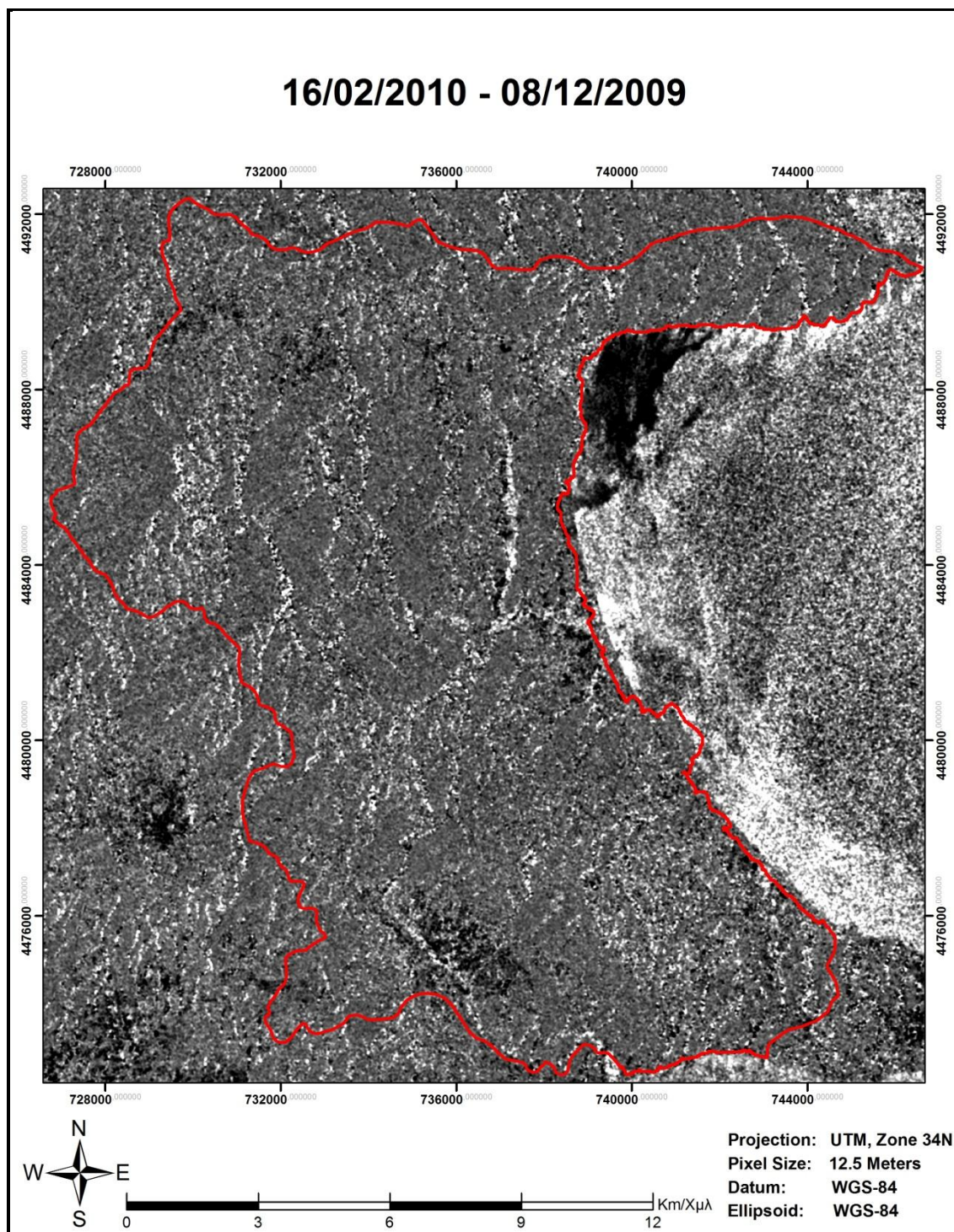
Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθούν τα παρακάτω:

- ❖ Οι εικόνες 38 και 39 αναπαριστούν τις αλλαγές που προέκυψαν μετά την πλημμύρα στην περιοχή, σε σχέση με τις δύο “στεγνές” εικόνες αντίστοιχα.
- ❖ Η εικόνα 40 δίνει τη διακύμανση των αλλαγών μεταξύ των δύο στεγνών εικόνων.
- ❖ Καταλληλότερη για την εύρεση των αλλαγών θεωρείται η εικόνα 41 καθώς χρησιμοποιεί την μέση τιμή των δύο στεγνών εικόνων. Έτσι μεγάλες διαφορές μεταξύ των στεγνών εικόνων που μπορεί να δώσουν λανθασμένα αποτελέσματα στις περιπτώσεις 38 και 39, ομαλοποιούνται στην εικόνα αυτή.

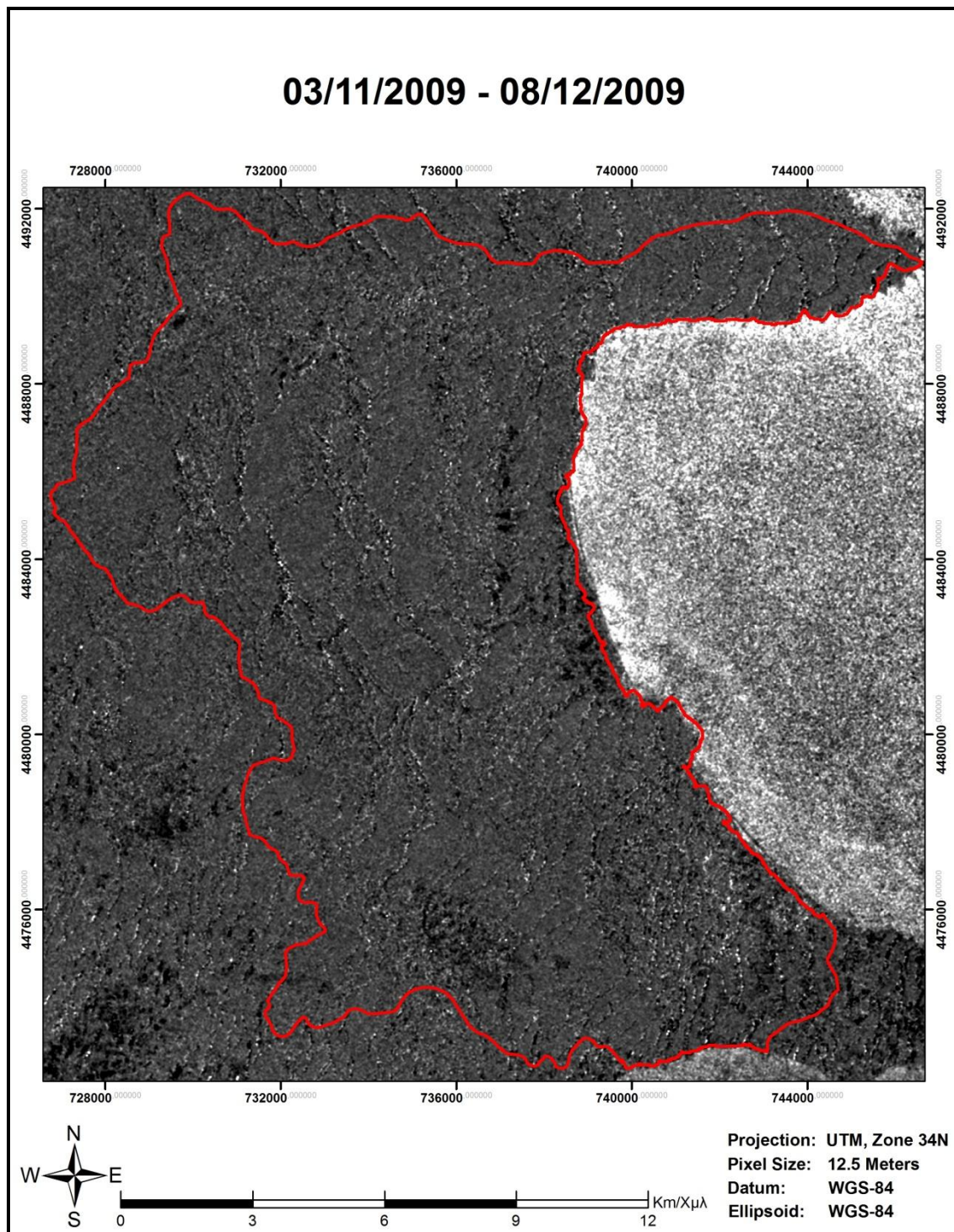
Τέλος θα πρέπει να σημειωθεί ότι η ύπαρξη περισσότερων εικόνων στεγνών περιόδων και μάλιστα μόνο Φεβρουαρίου και η εφαρμογή της παραπάνω διαδικασίας σε αυτές θα έδινε περισσότερο αξιόπιστα αποτελέσματα.



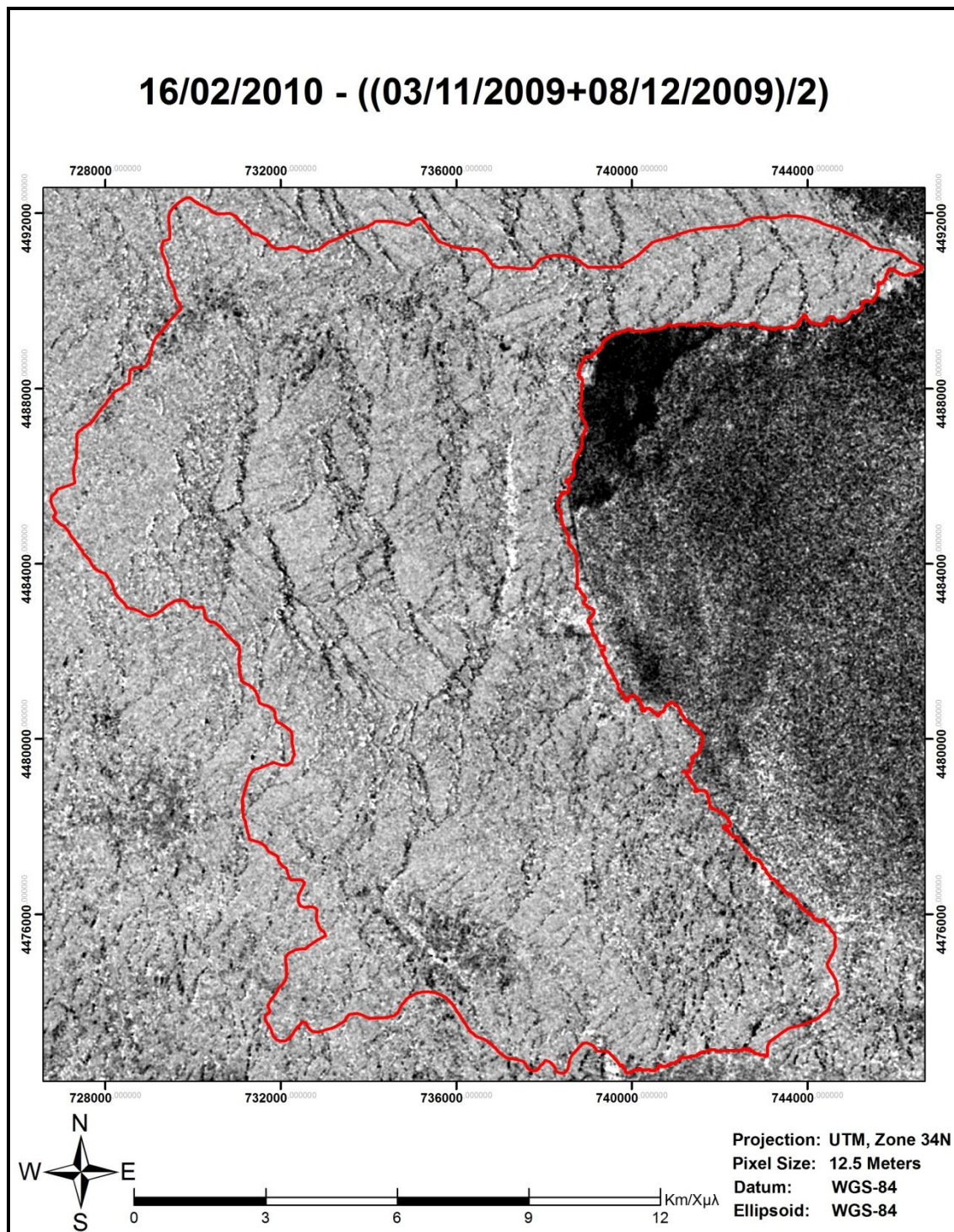
Εικόνα 38. Αφαίρεση των τιμών έντασης των εικονοστοιχείων της εικόνας
03/11/2009 από των αντίστοιχων της εικόνας 16/02/010



Εικόνα 39. Αφαίρεση των τιμών έντασης των εικονοστοιχείων της εικόνας 08/12/2009 από των αντίστοιχων της εικόνας 16/02/2010



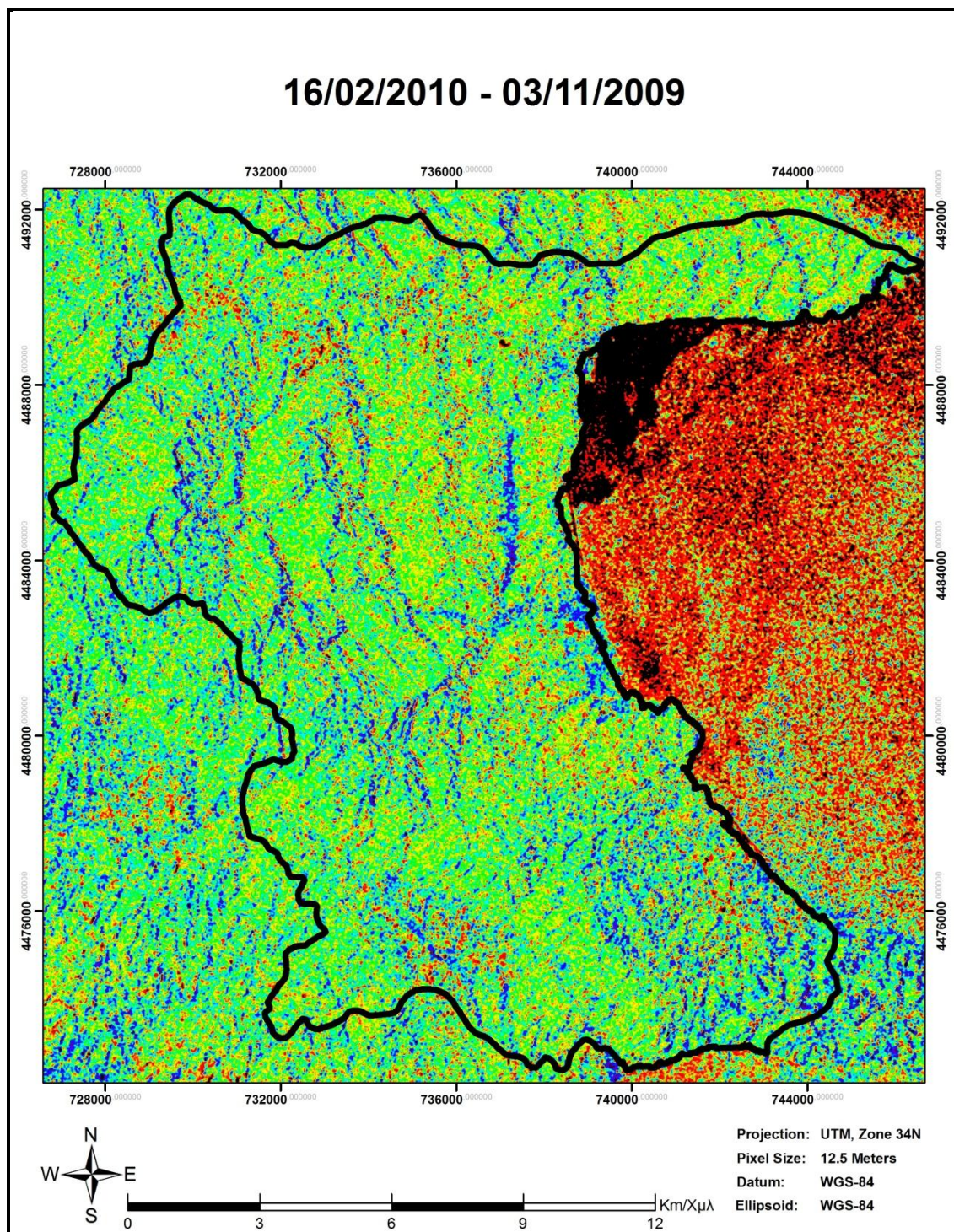
Εικόνα 40. Αφαίρεση των τιμών έντασης των εικονοστοιχείων της εικόνας
08/12/2009 από των αντίστοιχων της εικόνας 03/11/2009



Εικόνα 41. Αφαίρεση του μέσου όρου των τιμών της έντασης των εικονοστοιχείων των εικόνων 03/11/2009 και 08/12/2009 από των αντίστοιχων της εικόνας 16/02/2010

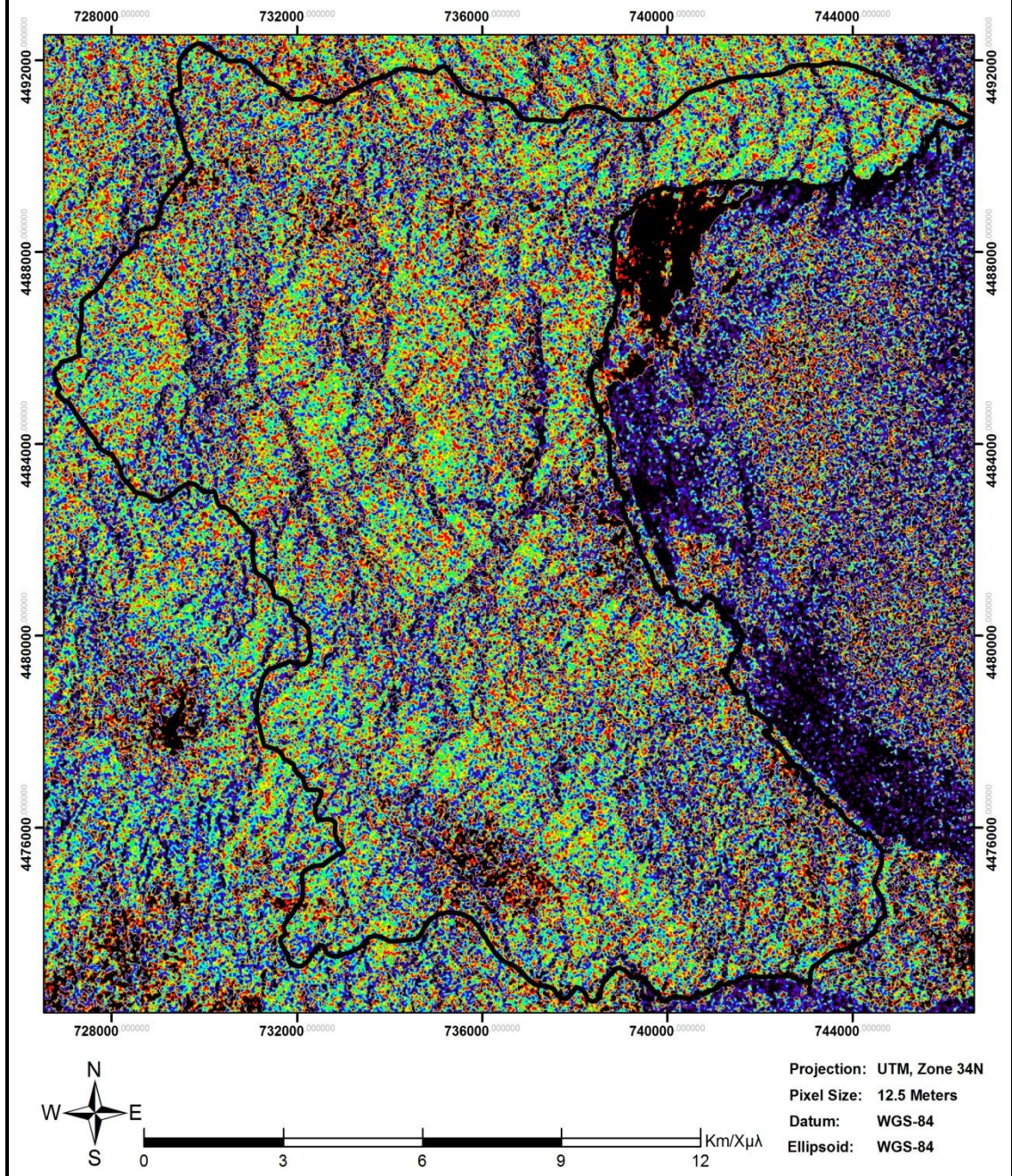
Αφού πραγματοποιήθηκαν οι παραπάνω αριθμητικές πράξεις, ακολούθησε η εφαρμογή της τεχνικής της ψευδοχρωματικής απεικόνισης με σκοπό τη δημιουργία καλύτερου οπτικά αποτελέσματος. Το οπτικό αποτέλεσμα είναι καλύτερο, καθώς το ανθρώπινο μάτι μπορεί να διακρίνει περισσότερα διαφορετικά χρώματα (εκατοντάδες) από ότι διαφορετικές διαβαθμίσεις του τεφρού χρώματος (15 έως 25) (Ασάρας 1998, Τσακίρη-Στρατή 2004). Το λογισμικό ENVI παρέχει πολλές δυνατότητες, αφού στη διάθεση του χρήστη υπάρχει μεγάλος αριθμός χρωματικών πινάκων που μπορεί να χρησιμοποιήσει.

Στην συγκεκριμένη διατριβή ειδίκευσης, παρόλα αυτά επιλέχθηκε ο χρωματικός πίνακας Rainbow Black(ανεστραμμένος) ο οποίος μας δίνει καλύτερα οπτικά αποτελέσματα. Ο πίνακας αυτός επιλέχθηκε ακολουθώντας την παρακάτω διαδρομή: **Tools→Color Mapping→Envi Color Tables** και επιλέγω το συνδυασμό των χρωμάτων που θέλω. Παρακάτω παρουσιάζονται οι εικόνες που προέκυψαν από την εφαρμογή των αριθμητικών πράξεων(Εικόνες 42,43,44,45).

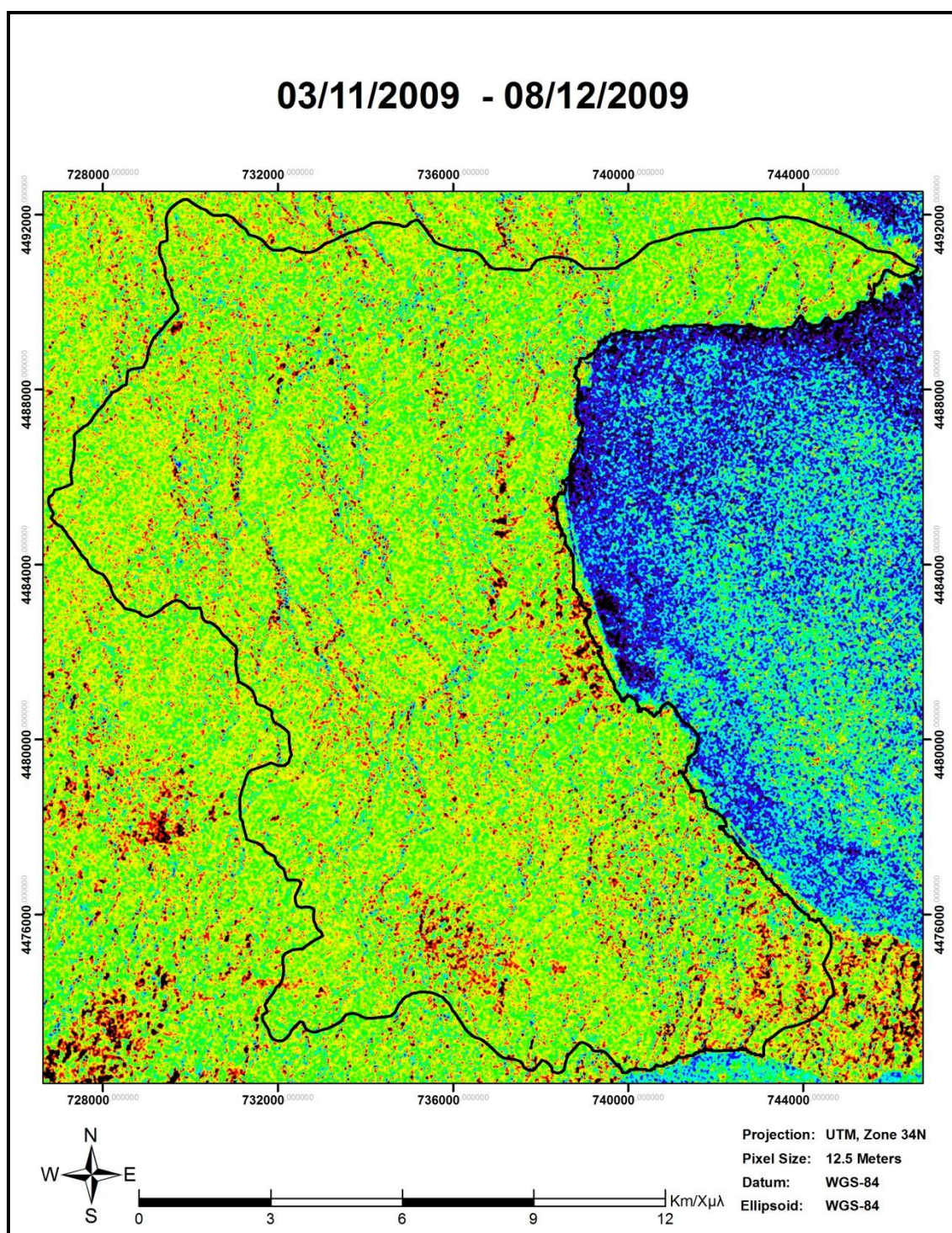


Εικόνα 42. Ψευδοχρωματική απεικόνιση της εικόνας 38 με τον χρωματικό πίνακα *Rainbow + black* του λογισμικού ENVI

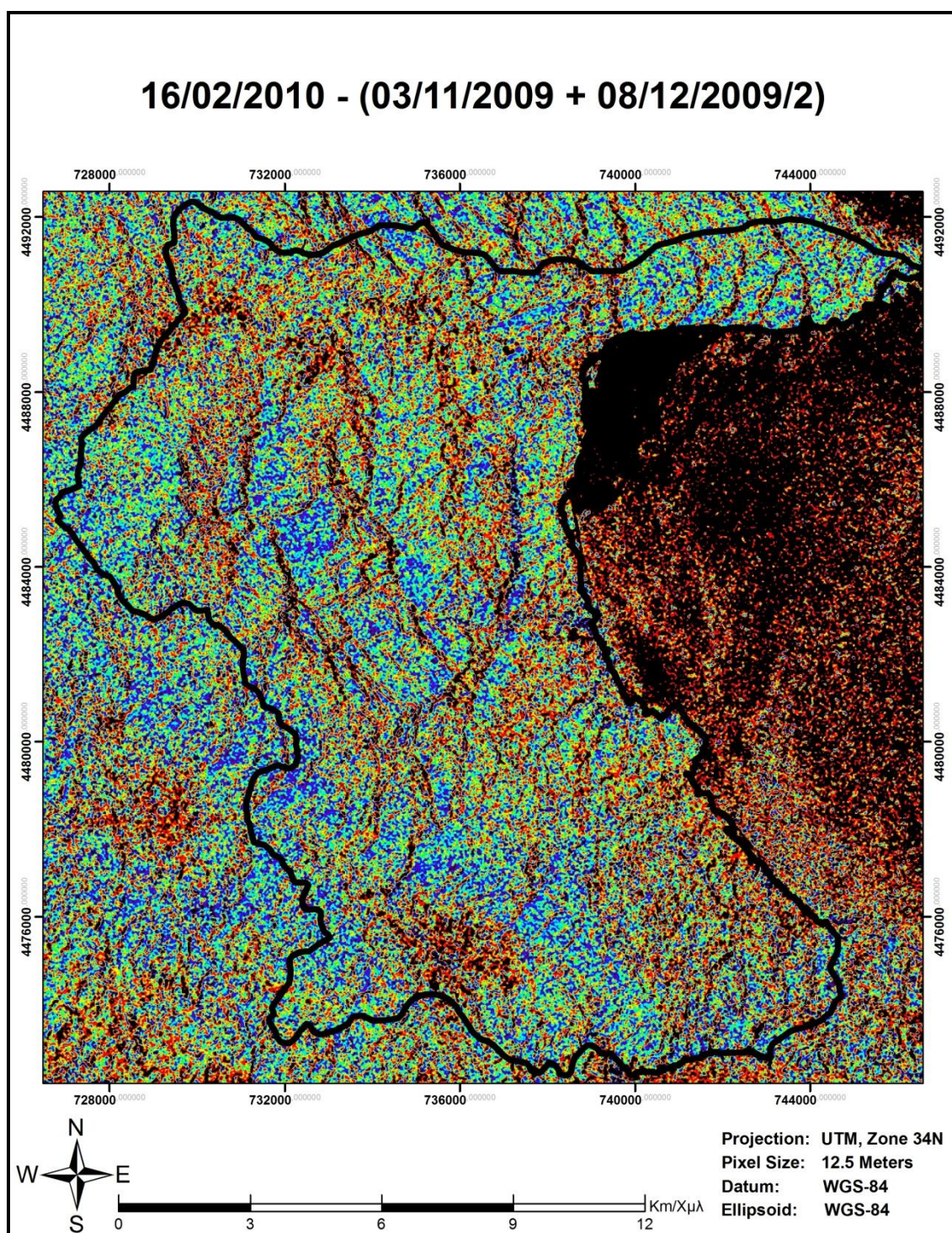
16/02/2010 - 08/12/2009



Εικόνα 43. Ψευδοχρωματική απεικόνιση της εικόνας 39 με τον χρωματικό πίνακα *Rainbow + black* του λογισμικού ENVI



Εικόνα 44. Ψευδοχρωματική απεικόνιση της εικόνας 40 με τον χρωματικό πίνακα *Rainbow + black* του λογισμικού ENVI



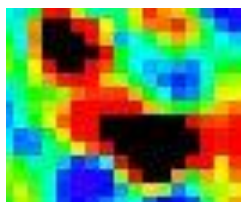
Εικόνα 45. Ψευδοχρωματική απεικόνιση της εικόνας 41 με τον χρωματικό πίνακα *Rainbow + black* του λογισμικού ENVI



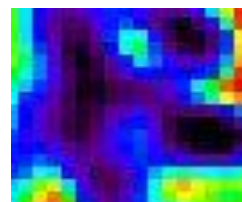
Αρνητική Αλλαγή ← καμία αλλαγή → Θετική Αλλαγή

Σχήμα 11: Χρωματικός Πίνακας ENVI Rainbow + black(ανεστραμμένος)

Στις παραπάνω τέσσερις ψευδοχρωματικές εικόνες οι αρνητικές αλλαγές (στις ασπρόμαυρες εικόνες αντιστοιχούν σε χρώμα μαύρο) απεικονίζονται με χρώμα μαύρο με κόκκινο περίγραμμα, ενώ οι θετικές αλλαγές (στις ασπρόμαυρες εικόνες αντιστοιχούν σε χρώμα λευκό) απεικονίζονται με χρώμα μαύρο με μωβ περίγραμμα. Τα ενδιάμεσα χρώματα (πορτοκαλί, κίτρινο, πράσινο, γαλάζιο, μπλε) αντιστοιχούν σε περιοχές με μικρή έως απουσία αλλαγών.



Αρνητική αλλαγή (πολύ νερό)



Θετική αλλαγή (μεγάλη υγρασία)

Στην εικόνα 44 δίνεται η διακύμανση των αλλαγών μεταξύ των δύο εικόνων στεγνών περιόδων, ενώ στις εικόνες 42,43,45 είναι εμφανείς οι αλλαγές σε πολλά σημεία.

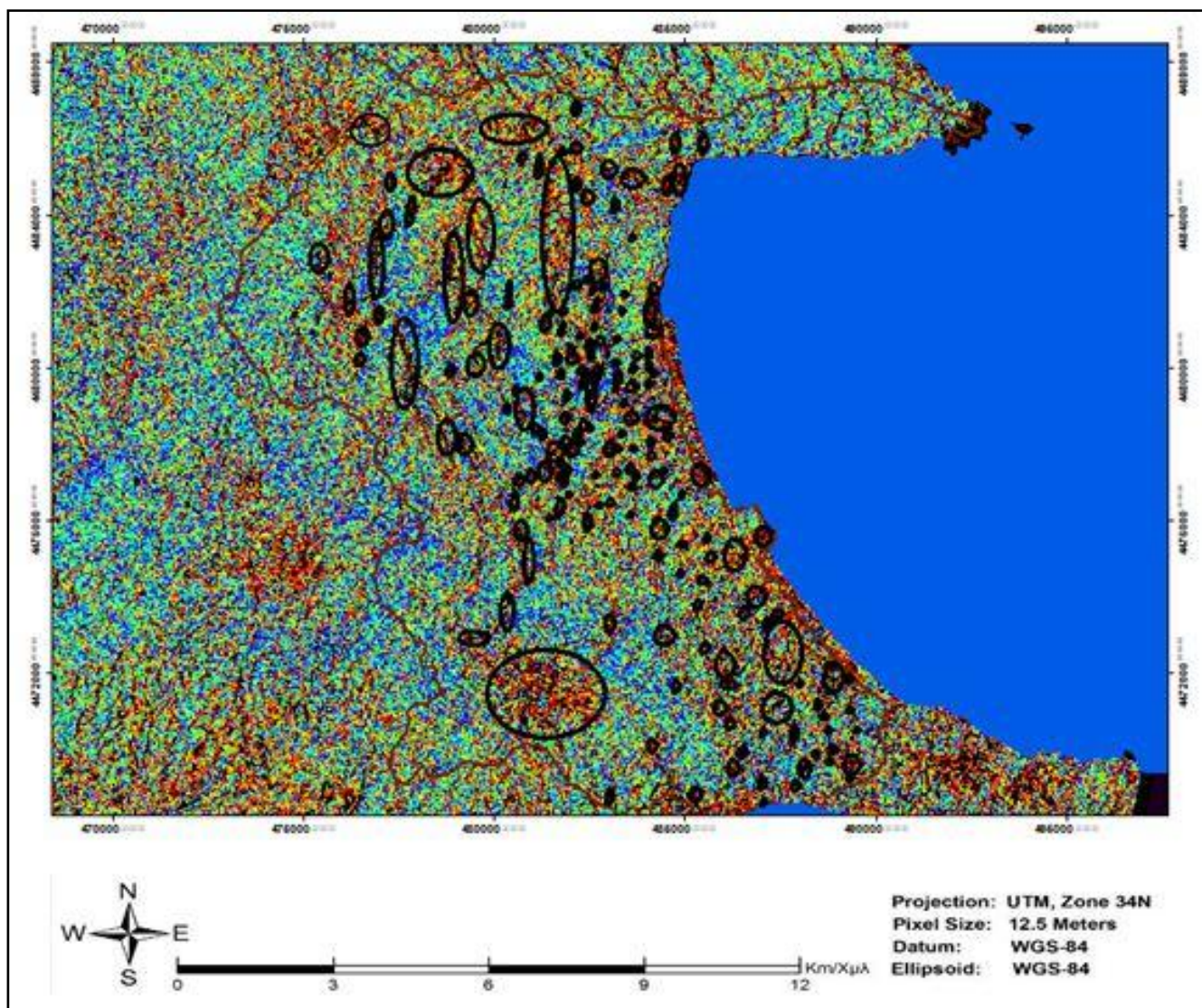
Μεταξύ των εικόνων αυτών, καταλληλότερη για τον εντοπισμό αλλαγών με πιο αξιόπιστο τρόπο είναι η εικόνα 45 και αυτό διότι χρησιμοποιεί τη μέση τιμή των εικόνων στεγνών συνθηκών ,η οποία αφαιρείται από την εικόνα της πλημμύρας. Έτσι οι διαφορές που υπήρχαν μεταξύ των εικόνων πριν τη πλημμύρα μετριάζονται και στην εικόνα που προκύπτει παρουσιάζονται ως μικρές ή απουσία αλλαγών.

Παρά το γεγονός ότι η λήψη της εικόνας έγινε έξι εικοσιτετράωρα μετά την εκδήλωση του πλημμυρικού φαινομένου και ενώ θα περίμενε κανείς την υποχώρηση του μεγαλύτερου όγκου του νερού πριν το πέρασμα του δορυφόρου, τα σημεία όπου παρατηρούνται θετικές αλλαγές, δηλαδή εκεί όπου έχουμε αυξημένη υγρασία, είναι λιγότερα από τα σημεία εκείνα όπου παρατηρούνται αρνητικές αλλαγές, περιοχές δηλαδή με χαμηλή οπισσοσκέδαση (νερό με βάθος) στην εικόνα της πλημύρας. Πιο συγκεκριμένα, στην εικόνα που επιλέχθηκε ως η καταλληλότερη για τον εντοπισμό αλλαγών παρατηρούνται τα εξής παρακάτω:

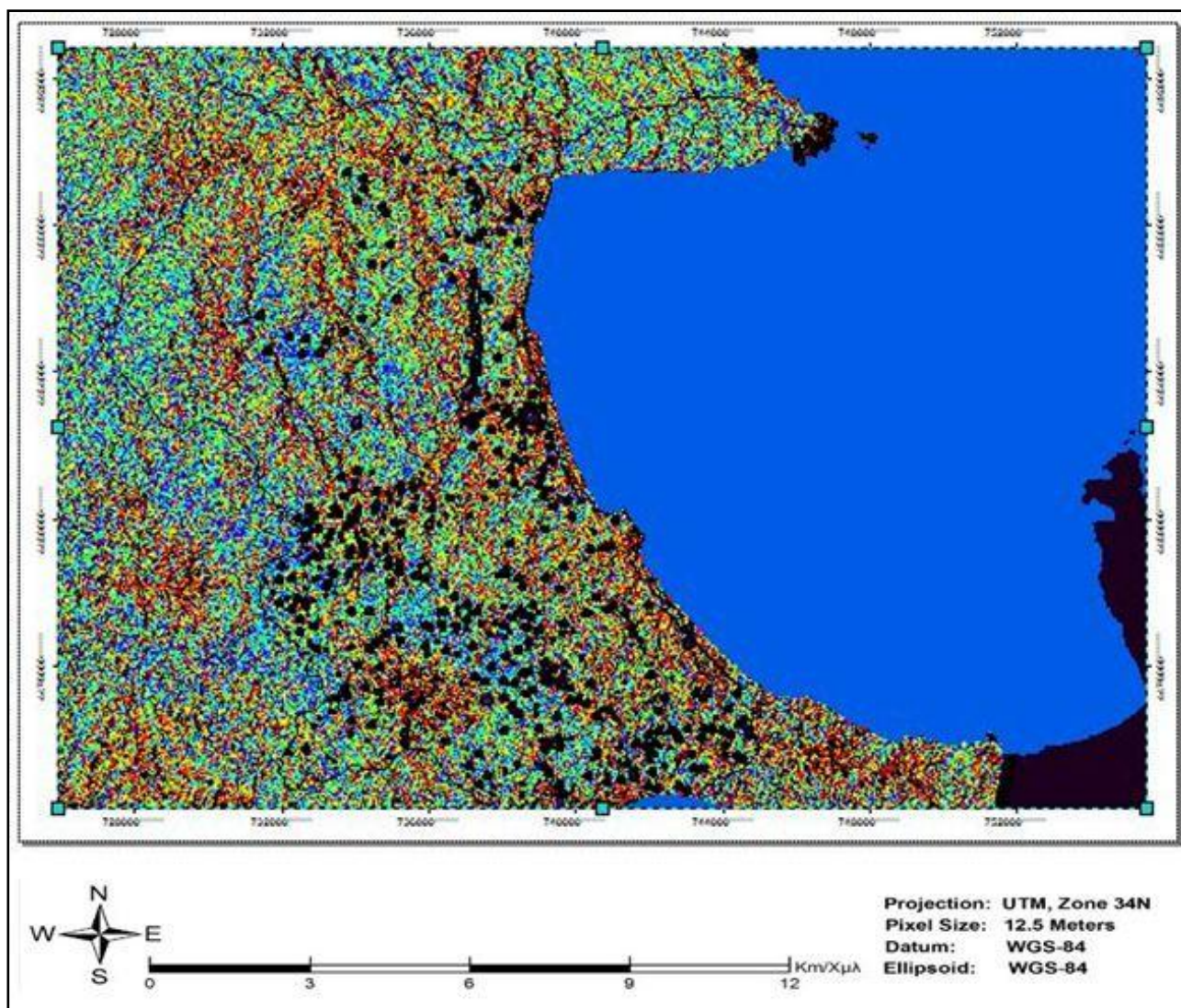
Περιοχές όπου εντοπίζονται αρνητικές αλλαγές, δηλαδή περιοχές με ύπαρξη νερού σε βάθος(πλημμυρισμένες περιοχές),εντοπίζονται σε μεγάλο βαθμό, κυρίως στο βόρειο τμήμα της περιοχής μελέτης και ειδικότερα στους οικισμούς του Στατωνίου και νότια των οικισμών Σταγείρων και Στρατονίκης. Επίσης περιοχές με αρνητικές αλλαγές εντοπίζονται νοτιοδυτικά της περιοχής μελέτης και πιο συγκεκριμένα στον οικισμό Γοματίου καθώς επίσης και νότιο-ανατολικά της περιοχής μελέτης στον οικισμό Ιερισσού.

Αντίθετα τώρα, οι θετικές αλλαγές (αυξημένη υγρασία) είναι λιγότερες και εντοπίζονται κυρίως στο ανατολικό τμήμα περιοχής μελέτης καθώς επίσης και νοτιοδυτικά της περιοχής μελέτης. Παράλληλα εντοπίζονται και κάποια σημεία βόρεια της περιοχής μελέτης.

Η εικόνα 46 που ακολουθεί (η οποία οριοθετήθηκε από την εικόνα 45 ανίχνευσης αλλαγών) απεικονίζει την περιοχή μελέτης, όπου εντοπίζονται τα σημεία στα οποία παρατηρείται μεγάλη αρνητική αλλαγή (χρώμα μαύρο με κόκκινο περίγραμμα), ενώ η εικόνα 47 απεικονίζει την περιοχή μελέτης, όπου εντοπίζονται οι σημαντικότερες θετικές αλλαγές (χρώμα μαύρο με μωβ περίγραμμα).



Εικόνα 46. Εντοπισμός περιοχών με μεγάλη αρνητική αλλαγή στην περιοχή μελέτης (πλημμυρισμένες περιοχές - μαύρο χρώμα με κόκκινο περίγραμμα).



Εικόνα 47. Εντοπισμός περιοχών με μεγάλη θετική αλλαγή στην περιοχή μελέτης (περιοχές με αυξημένη υγρασία - μαύρο χρώμα με μώβ περίγραμμα).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Είναι γεγονός ότι τα επόμενα χρόνια λόγω της κλιματικής αλλαγής, θα παρουσιασθούν πιο έντονα κλιματολογικά φαινόμενα. Σε αυτά τα ακραία φαινόμενα συμπεριλαμβάνονται και οι καταστροφικές πλημμύρες που σημειώνονται σε ολόκληρο τον κόσμο. Στη χώρα μας παρουσιάζονται καταστροφικές πλημμύρες, κυρίως σε παραποτάμιες περιοχές, οι οποίες έχουν προκαλέσει ανυπολόγιστες ζημιές στις περιουσίες των ανθρώπων. Οι ξαφνικές πλημμύρες στην Ελλάδα, είναι αποτέλεσμα κυρίως ατμοσφαιρικών διαταραχών που συνοδεύονται από ραγδαίες βροχοπτώσεις, με μεγάλα ποσά βροχής σε σύντομο χρονικό διάστημα. Οι παράγοντες που μπορεί να συνηγορούν στην εμφάνιση ξαφνικών πλημμυρών είναι πολλοί, όπως: η τοπογραφία της περιοχής, η φυτοκάλυψη, οι ανωμαλίες του εδάφους, η ένταση και η διάρκεια των βροχοπτώσεων, η αστικοποίηση.

Είναι επομένως εύλογο, ότι κύριο μέλημα όλων θα πρέπει να είναι η προσπάθεια για ορθολογική διαχείριση των φαινομένων αυτών. Πλέον σε Ευρωπαϊκό επίπεδο, για τη πρόληψη των πλημμυρών το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο και το Κοινοβούλιο επιβάλλει από το 2006 στα κράτη μέλη την υποχρέωση να υιοθετήσουν προσέγγιση μακροπρόθεσμου σχεδιασμού για τον περιορισμό πλημμυρών.

Για το λόγο αυτό μέσα από τη συγκεκριμένη διατριβή ειδίκευσης έγινε προσπάθεια να αξιολογηθεί η συνεισφορά της τεχνολογίας της Τηλεπισκόπησης και της τεχνολογίας Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών/ΓΣΠ στην καταγραφή πλημμυρικών φαινομένων, καθώς επίσης και στην εκτίμηση της τρωτότητας μιας περιοχής σε πλημμυρικά φαινόμενα με την κατασκευή χαρτών επιδεκτικότητας.

Έτσι προέκυψαν τα εξής παρακάτω συμπεράσματα:

❖ Η περιοχή μελέτης εντοπίζεται στον Βόρειο Ελλαδικό χώρο (Κεντρική Μακεδονία), βορειοανατολικά του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης, ενώ διοικητικά ανήκει στο Νομό Χαλκιδικής και καταλαμβάνει περίπου 208 km².

❖ Το κλίμα στην ευρύτερη περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται ως μεταβατικό μεταξύ του Ηπειρωτικού κλίματος της Κεντρικής Ευρώπης και του Μεσογειακού κλίματος.

❖ Σύμφωνα με τα στοιχεία του προγράμματος *CORINE LAND COVER 2000*, προέκυψε ο χάρτης κάλυψης γης της περιοχής μελέτης. Από το χάρτη αυτό, φαίνεται ότι το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής μελέτης αποτελείται από τις παρακάτω χρήσεις γης: Δάση (Πλατύφυλλων, Μικτό και κωνοφόρων), εκτάσεις που κατά κύριο λόγο καλύπτονται από αγροτικές καλλιέργειες, σε συνδυασμό σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης και σκληροφυλλική βλάστηση με ποσοστά 75,78%(συμπεριλαμβάνονται και τα 3 είδη δασών), 5,64% και 4,63%.

❖ Από το DEM στη συνέχεια, κατασκευάστηκε ο χάρτης υψομέτρων, σύμφωνα με τη ταξινόμηση του Dikau, 1989, με τη βοήθεια του προγράμματος ArcGIS. Από το χάρτη προέκυψε ότι η έκταση της περιοχής μελέτης κατανέμεται σε τρεις γεωμορφολογικές ενότητες ή τύπους αναγλύφου. Πεδινή με ποσοστό 35,27%, λοφώδης με 57,08% και ημιορεινή 7,603%.

❖ Η περιοχή μελέτης ανήκει γεωτεκτονικά στη Σερβομακεδονική μάζα και αποτελείται κατά το μεγαλύτερο μέρος της από γνεύσιους με ποσοστό 57,80%, αμφιβολίτες με ποσοστό 10,88% και αλλουβιακές αποθέσεις κατά 7,75%.

❖ Όσον αφορά το υδρογραφικό δίκτυο στην περιοχή μελέτης, το οποίο εξήλθε από το DEM, αυτό αποτελείται από κλάδους έως 6^{ης} τάξης σύμφωνα με τη ταξινόμηση κατά Strahler.

❖ Ο χάρτης κλίσεων του αναγλύφου που προέκυψε έπειτα από την επεξεργασία του ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου(DEM), ακολουθώντας την ταξινόμηση της IGU (Demek,1972), χρησιμοποιήθηκε και έδειξε ότι στην περιοχή μελέτης οι κλίσεις κυμαίνονται από 0°-49° μοίρες. Περιοχές με κλίσεις από 5° έως 15° μοίρες καλύπτουν το 49,16% της συνολικής έκτασης της περιοχής μελέτης, αντίστοιχα περιοχές με κλίσεις από 15° έως 35° μοίρες καλύπτουν το 30,68% και τέλος κλίσεις από 2° έως 5° μοίρες καλύπτουν το 13,58% της συνολικής έκτασης. Στο σημείο αυτό αξίζει να

αναφερθεί ότι κλίσεις στους οικισμούς όπου σημειώθηκαν πλημμυρικά φαινόμενα είναι της τάξεως 0° έως 2° δηλαδή στις περιοχές αυτές έχουμε επίπεδο έως ελαφρώς κεκλιμένο ανάγλυφο (πλημμυρικά πεδία, επιφάνειες επιπέδωσης, αναβαθμίδες). Τέλος ο χάρτης κλίσεων χρησιμοποιήθηκε στη συνέχεια στον υπολογισμό του τοπογραφικού δείκτη υγρασίας στην περιοχή μελέτης.

❖ Ο τοπογραφικός δείκτης υγρασίας, ο οποίος προέκυψε με τη βοήθεια του υποπρογράμματος TAS και των χαρτών συσσώρευσης ροής και κλίσεων του αναγλύφου (παράγωγα του DEM), ο οποίος παρουσιάζει την επίδραση της τοπογραφίας στην κατανομή της υγρασίας στην περιοχή. Από τον χάρτη προέκυψε πως το 43,61% περίπου της περιοχής μελέτης παρουσιάζει ψηλή τιμή του δείκτη, 55,22% το μέτρια, ενώ το μικρή 1,158%. Αυξημένη τιμή του δείκτη δείχνει περιοχή περισσότερο επικίνδυνη, ενώ μειωμένη τιμή του δείκτη δείχνει μειωμένη επιδεκτικότητα της περιοχής για την εκδήλωση πλημμύρας.

❖ Στους λιθολογικούς σχηματισμούς που όπως προαναφέρθηκε ψηφιοποιήθηκαν από τους αντίστοιχους γεωλογικούς χάρτες δόθηκαν τιμές περατότητας και διαιρέθηκαν σε τρεις συμβατικές κατηγορίες (διαπερατά, ημιπερατά, αδιαπέρατα). Έτσι, προέκυψε ο χάρτης περατότητας των λιθολογικών σχηματισμών της περιοχής απ' όπου υπολογίστηκε πως το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής, περίπου 87,7% καλύπτεται από αδιαπέρατα πετρώματα, 3,92% από διαπερατά και 8,36% από ημιπερατά.

❖ Στον χάρτη κάλυψης γης της περιοχής μελέτης έγινε αντιστοίχιση των τιμών τραχύτητας της κάθε κατηγορίας κάλυψης γης με τις αντίστοιχες τιμές τραχύτητας βασισμένες στον συντελεστή Strickler, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί ο χάρτης τραχύτητας της κάλυψης γης. Οι τιμές Strickler που απαντούν στην περιοχή μελέτης είναι οι εξής : 5,6,7,8,10 (μεγαλύτερη προς μικρότερη τραχύτητα). Η τιμή 5 αντιστοιχεί σε επιφάνεια μεγάλης τραχύτητας, ενώ καθώς αυξάνουν τα νούμερα μειώνεται ο βαθμός τραχύτητας. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι στο σύνολο της περιοχής επικρατούν περιοχές με τιμές Strickler 5, 7, και 8 με ποσοστά 76,80%, 14,40% και 5,07% αντίστοιχα.

❖ Από την ψηφιακή επεξεργασία και ανάλυση της δορυφορικής εικόνας Landsat-5 ETM+ (ημερομηνίας λήψης 15/08/2011) προέκυψε ο «Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς» (NDVI). Με τη χρήση του δείκτη αυτού, οι περιοχές οι οποίες καλύπτονται από βλάστηση εμφανίζονται με ανοιχτό τεφρό χρώμα, λόγω της υψηλής ανακλαστικότητας της βλάστησης στο κοντινό υπέρυθρο και της χαμηλής στο ερυθρό, σε αντίθεση με της περιοχές όπου παρατηρείται απουσία βλάστησης οι οποίες εμφανίζονται με σκούρο τεφρό χρώμα. Στη συνέχεια στην εικόνα που προέκυψε δόθηκαν 4 ταξινομήσεις βλάστησης (απουσία, αραιή, μέτρια, πυκνή) και ενσωματώθηκε σε περιβάλλον GIS όπου προέκυψε και ο χάρτης βλάστησης της περιοχής. Στην περιοχή μελέτης παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό της αντιστοιχεί σε πυκνή βλάστηση με 55,69%, μέτρια βλάστηση έχουμε σε ποσοστό 14,07%, αραιή σε ποσοστό 25,77% και απουσία βλάστησης συναντάμε με ποσοστό 4,47% κοντά στους οικισμούς στους οποίους εκδηλώθηκαν τα πλημμυρικά φαινόμενα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η απουσία βλάστησης ευνοεί την κίνηση του νερού προς τα κατόντη, αφού το νερό δεν συγκρατείται από ριζικό σύστημα των φυτών, με αποτέλεσμα να ρέει με μεγαλύτερη ταχύτητα και έτσι να καθίσταται περισσότερο επικίνδυνο.

❖ Από τη συναξιολόγηση των παραμέτρων του τοπογραφικού δείκτη υγρασίας, της περατότητας των πετρωμάτων, της τραχύτητας κάλυψης γης και της φυτοκάλυψης κατασκευάσθηκε εν τέλει ο χάρτης επιδεκτικότητας ο οποίος ταξινομεί την περιοχή σε 7 κατηγορίες, οι οποίες χαρακτηρίζουν περιοχές λιγότερο ή περισσότερο επιδεκτικές στις πλημμύρες. Από τον παραπάνω χάρτη προέκυψε ότι : Το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής μελέτης αντιστοιχεί στη Ζώνη Μέτριας-Χαμηλής επιδεκτικότητας η οποία καταλαμβάνει έκταση 139,38km² ή 71,2% της συνολικής έκτασης. Γενικότερα, περιοχές με ψηλές τιμές επιδεκτικότητας εντοπίζονται διάσπαρτα κυρίως στο βόρειο τμήμα της περιοχής μελέτης, στο ΝΔ τμήμα της περιοχής μελέτης, σε κάποια σημεία στο ανατολικό τμήμα και τέλος ΝΑ της περιοχής μελέτης. Πιο συγκεκριμένα, Ζώνη Υψηλής έως Μέτριας επιδεκτικότητας εντοπίζεται σε διάσπαρτα σημεία, βόρεια της

περιοχής μελέτης (Στρατονίκη, Στάγिरα) & στο μεγαλύτερο τμήμα του οικισμού του Στρατωνίου καθώς και σε μεγάλη έκταση δυτικά του Γοματίου. Οι περιοχές αυτές καταλαμβάνουν έκταση 11,8 km² ή 6 % της συνολικής έκτασης. Ζώνη υψηλής επιδεκτικότητας παρουσιάζουν περιοχές κοντά στους οικισμούς Στρατώνι, Στάγिरα, Στρατονίκη, Γομάτι & ΝΝΑ της περιοχής μελέτης. Οι περιοχές αυτές καταλαμβάνουν έκταση 10,62 km² ή 5,4 % της συνολικής έκτασης. Επιπρόσθετα, από την υπέρθεση του GIS επιπέδου κάλυψης γης στον χάρτη επιδεκτικότητας προκύπτει ότι: οι περιοχές πολύ υψηλής επιδεκτικότητας καλύπτονται κατά κύριο λόγο από τις εξής κατηγορίες κάλυψης γης: 112, 131, περιοχές που δεν καλύπτονται από βλάστηση με αποτέλεσμα να είναι πιο ευάλωτες στην επιφανειακή απορροή σε σχέση με περιοχές που καλύπτονται από πυκνή βλάστηση. Οι περιοχές υψηλής επιδεκτικότητας καλύπτονται κατά κύριο λόγο από τις 243,131 κατηγορίες κάλυψης γης, ενώ τέλος οι περιοχές μέτριας - υψηλής επιδεκτικότητας καλύπτονται από τις 211 κατηγορίες κάλυψης γης(βλέπε κεφ.2.2.3). Από τα παραπάνω προκύπτει πως οι οικισμοί στους οποίους έλαβαν χώρα πλημμυρικά φαινόμενα κατά την περίοδο του Φεβρουαρίου 2010, ανήκουν σε περιοχές όπου εντοπίζονται υψηλές ζώνες επιδεκτικότητας στις πλημμύρες, ταυτίζονται δηλαδή με το GIS μοντέλο, γεγονός που δικαιολογεί την ύπαρξη σε αυτές, πλημμυρών. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί ότι ο χάρτης επιδεκτικότητας που κατασκευάστηκε με τη μέθοδο που παρουσιάσθηκε λεπτομερώς παραπάνω, περιέχει σε μεγάλο βαθμό υποκειμενικές κρίσεις, και αυτό συμβαίνει διότι, οι παράγοντες που λήφθηκαν υπόψη αλλά και η σημαντικότητα αυτών επιλέχθηκαν με εμπειρικό τρόπο, λόγω του γεγονότος ότι δεν υπάρχει ακριβής μεθοδολογία για τον σκοπό αυτό. Επίσης στην καλύτερη και ακριβέστερη αξιολόγηση της μεθόδου θα βοηθούσε η λήψη φωτογραφιών μετά τη πλημμύρα των σημείων που πλημμύρισαν, με συντεταγμένες, ώστε να μπορούσε να γίνει επαλήθευση της μεθόδου

❖ Όσον αφορά το κομμάτι της καταγραφής των περιοχών που πλημμύρισαν, αυτή έγινε με την επεξεργασία των *τριών δορυφορικών*

εικόνων ραντάρ (SAR) του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Διαστήματος (ESA). Η επεξεργασία περιελάμβανε την καταγραφή της πλημμύρας με τεχνικές ανίχνευσης αλλαγών. Η πρώτη τεχνική που χρησιμοποιήθηκε ήταν αυτή της ψευδοχρωματικής απεικόνισης, κατά την οποία κατασκευάστηκε ψευδοχρωματική διαχρονική εικόνα. Με τη μέθοδο αυτή ανιχνεύθηκαν αλλαγές μεταξύ εικονοστοιχείων των εικόνων πριν και μετά την πλημμύρα. Σύμφωνα με τη συγκεκριμένη μεθοδολογία εντοπίζονται αλλαγές με δύο μορφές. Ύπαρξη νερού με βάθος (κυανό εικονοστοιχείο), ύπαρξη εδάφους με αυξημένη υγρασία (κόκκινο εικονοστοιχείο). Η δεύτερη τεχνική που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία ήταν αυτή της ανίχνευσης αλλαγών με εφαρμογή αριθμητικών πράξεων μεταξύ των φασματικών τιμών των εικονοστοιχείων. Και στη συγκεκριμένη περίπτωση ισχύει το ότι οι αλλαγή έχει δύο μορφές. Ύπαρξη νερού με βάθος (αρνητική αλλαγή), ύπαρξη εδάφους με αυξημένη υγρασία (θετική αλλαγή).

Συνοψίζοντας, ο εντοπισμός αρκετά μεγάλων σε έκταση πλημμυρισμένων περιοχών στην εικόνα, πιστοποιεί την σημαντικότητα των παραπάνω τεχνικών στην ανίχνευση και καταγραφή πλημμυρών. Αποδεικνύονται επομένως, αρκετά χρήσιμες στον εντοπισμό και τη καταγραφή πλημμυρικών γεγονότων, πάντα όμως με την προϋπόθεση ότι τα δεδομένα θα έχουν ληφθεί κάτω από τις καταλληλότερες το δυνατόν συνθήκες.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ - ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ



Εικόνα 48. Γενική άποψη του οικισμού Στρατωνίου μετά την κατάκλυση. (Πηγή φωτογραφίας: Αρχείο Δήμου)



Εικόνα 49. Αποτεθέντα υλικά σε δρόμο του οικισμού Στρατωνίου μετά την απόσυρση των υδάτων (Πηγή φωτογραφίας: Αρχείο Δήμου)



Εικόνα 50. Οικισμός Στρατωνίου μετά την εκδήλωση του πλημμυρικού φαινομένου, Φεβρουάριος 2010.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

- 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.
- Αναγνωστόπουλος Χ., Γεωργιάδης Μ. & Μπαντής Σ., 2010: Διερεύνηση των αιτιών του πλημμυρικού επεισοδίου της 10^{ης} Φεβρουαρίου 2010 στο Στρατώνι Ν. Χαλκιδικής, Πόρισμα ομάδας εργασίας, Θεσσαλονίκη, Ιούνιος 2010.
- Αστάρας, Θ., 1998: Φωτοερμηνεία (Τηλεπισκόπηση) στις Γεωεπιστήμες, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Αστάρας, Θ. & Οικονομίδης, Δ., 2004: Ψηφιακή Χαρτογραφία και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (G.I.S.), διδακτικές σημειώσεις, Α.Π.Θ., Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας, Εργαστήριο Εφαρμογών Τηλεπισκόπησης και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, Θεσσαλονίκη.
- Αστάρας, Θ. Α., 2006: Τηλεπισκόπηση - Φωτοερμηνεία στις Γεωεπιστήμες, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Α.Π.Θ., Τμήμα Γεωλογίας, Θεσσαλονίκη.

- Αστάρης, Θ., Οικονομίδης, Δ., Μουρατίδης, Α. (2007). Ψηφιακή Χαρτογραφία και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (G.I.S.), διδακτικές σημειώσεις, Α.Π.Θ., Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Βουβαλίδης, Κ., Αλμπανάκης, Κ. Μούρτζιος, Π., Νικολαΐδου, Μ., Παπαδοπούλου, Σ., Σταυριανού, Κ., 2006: Η πλημμύρα στο Μελισσουρό Θεσσαλονίκης, Οκτώβριος 2006. Μια φυσικογεωγραφική προσέγγιση.
- Γιαννόπουλος Σ., Γιαννοπούλου Ι, Ντούλας Α., Πέτκου Ολ., χχ. Αξιολόγηση και Διαχείριση των Κινδύνων Πλημμύρας στην Ευρωπαϊκή Ένωση σύμφωνα με τις Οδηγίες 2000/60/ΕΚ και 2007/60/ΕΚ, ΑΠΘ.
- Δαλέζιος, Ν.Ρ., Περιβαλλοντική Τηλεπισκόπηση, Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2002.
- 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.
- Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.), 1978: Γεωλογικός χάρτης κλίμακας 1:50.000, φύλλο: Αρναία (Υπεύθυνος: Δρ. Γ. Μαχαίρας), Αθήνα.
- Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.), 1978: Γεωλογικός χάρτης κλίμακας 1:50.000, φύλλο: Ιερισσός (Υπεύθυνος: Δρ. Γ. Μαχαίρας), Αθήνα.

- Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.), 1978: Γεωλογικός χάρτης κλίμακας 1:50.000, φύλλο: Στρατονίκη (Υπεύθυνος: Δρ. Γ. Μαχαίρας), Αθήνα.
- Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.), 1978: Γεωλογικός χάρτης κλίμακας 1:50.000, φύλλο: Σταυρός (Υπεύθυνος: Δρ. Γ. Μαχαίρας), Αθήνα.
- Καπαγερίδης Ι.Κ., 2006, Εισαγωγή στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, σημειώσεις θεωρίας, ΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας, Τμήμα Γεωτεχνολογίας και Περιβάλλοντος, Κοζάνη.
- Καταφιώτη, Μ., 2008: Εκτίμηση των περιβαλλοντικών συνθηκών στο Ν.Χαλκιδικής όσον αφορά τα βαρέα μέταλλα, Διατριβή Ειδίκευσης, Παν/μιο Πατρών, Τμήμα Γεωεπιστημών και Περιβάλλοντος, Πάτρα.
- Κουγιουμτζίδου Κ., 2011: Εφαρμογή της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ, για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας, στο Υδατικό Διαμέρισμα της Θεσσαλίας, Διατριβή Ειδίκευσης, Α.Π.Θ., Τμήμα Βιολογίας, Θεσσαλονίκη.
- Κωνσταντακάτος, Γ., 2007: Εντοπισμός θέσεων δημιουργίας μικρών Έργων Υποδομής, στην λεκάνη απορροής του ρέματος Ξερέας μέσω Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, (ειδικότερα του υδρολογικού μοντέλου ArcHydro) και τηλεπισκόπησης με σκοπό την αντιπλημμυρική και περιβαλλοντική προστασία της περιοχής, Διατριβή Ειδίκευσης, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος, Μυτιλήνη.
- Λαμπρινός, Ν.Α., 1989: Συμβολή της ποσοτικής μελέτης των υδρογραφικών συστημάτων στην παλαιογεωγραφική εξέλιξη των όρεων

της Βόλβης, Διδακτορική Διατριβή, Α.Π.Θ., Τμήμα Γεωλογίας , Θεσσαλονίκη.

- Λέκκας, Ε.Λ., 2000: Φυσικές και τεχνολογικές καταστροφές, Ε.Κ.Π.Α., Αθήνα, Σελ, 77 - 89.
- Μουντράκης, Δ., 1985: Γεωλογία της Ελλάδας, Α.Π.Θ., University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- Μουρατίδης, Α.Φ., 2010: Συμβολή της υποστηριζόμενης από GPS και GIS Διαστημικής Τηλεπισκόπησης στη μορφοτεκτονική έρευνα της Κεντρικής Μακεδονίας, Διδακτορική Διατριβή, Α.Π.Θ., Τμήμα Γεωλογίας, Θεσσαλονίκη.
- Μισθός, Μ.Λ., 2009: Η Συμβολή της Τηλεπισκόπησης και των ΓΣΠ στην ολοκληρωμένη διαχείριση φυσικών καταστροφών. Μελέτη περίπτωσης: Η τεχνική της ανίχνευσης μεταβολών στον εντοπισμό κατακλυσμένων εκτάσεων από ποτάμια πλημμύρα, Διατριβή Ειδίκευσης, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Δ.Π.Μ.Σ. Περιβάλλον & Ανάπτυξη ,Αθήνα.
- Μωυσιάδου, Π., 2010: Ανάπτυξη χώρο-χρονικού μοντέλου πρόβλεψης του ρίσκου των φυσικών κινδύνων – εφαρμογή σε περιοχές του Ν. Χαλκιδικής, Διατριβή ειδίκευσης, Α.Π.Θ., Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Θεσσαλονίκη.
- Νικολαΐδου, Μ., 2009: Χρήση της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στην καταγραφή των πλημμυρών της ορεινής περιοχής Νοτίως της λίμνης Βόλβης. Μια περιβαλλοντική προσέγγιση, Διατριβή Ειδίκευσης ,Α.Π.Θ., Τμήμα Γεωλογίας, Θεσσαλονίκη.

- Παράσχου, Θ., 2005: Η γεωμορφολογική εξέλιξη της κοιλάδας του Ίναχου ποταμού της Φθιώτιδας, παραποτάμου του Σπερχειού ποταμού, Διατριβή Ειδίκευσης, Α.Π.Θ., Τμήμα Γεωλογίας, Θεσσαλονίκη.
- Σουλακέλλης, Ν., 1994: Συμβολή της ανάλυσης δορυφορικών εικόνων Landsat- 5/TM και των Γεωγραφικών Συστημάτων πληροφοριών στην Τεκτονική Γεωμορφολογία περιοχών του Βορειοελλαδικού Χώρου, Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Σούλιος, Γ.Χ., 1996: Γενική Υδρογεωλογία, Α.Π.Θ., University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- Συλλαίος, Ν.Γ., 1999: Παρακολούθηση και καταγραφή πλημμυρών, Α.Π.Θ., Διαχείριση εδαφικών πόρων, Θεσσαλονίκη.
- Συλλαίος, Ν., 2000: Εισαγωγή στην Τηλεπισκόπηση και στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, Τόμος Α, Εισαγωγή στην Τηλεπισκόπηση, Γιαχούδη- Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη.
- Τσακίρη-Στρατή, Μ., 2004: Τηλεπισκόπηση, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Τσίρος Ε., 2006: Ο Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς (NDVI) και άλλοι Δείκτες στην Παρακολούθηση της Υδρολογικής Ξηρασίας, Διατριβή Ειδίκευσης, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Ζωικής Παραγωγής και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Βόλος.
- Φουρνιάδης, Ι., Οικονομίδης, Δ. & Αστάρης, Θ., 2002: Εντοπισμός περιοχών επιδεκτικών σε διάβρωση, με τη βοήθεια των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) και της Τηλεπισκόπησης. Ένα παράδειγμα από την υδρογραφική λεκάνη του Ανθεμούντα, Πρακτικά

6^{ου} Πανελλήνιου Γεωγραφικού Συνεδρίου της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας, Θεσ/νίκη 3-6 Οκτωβρίου 2002, τόμος II.

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

- Beven, K.J., Kirkby, M.J., 1979: A physically based variable contribution area model of basin hydrology. Hydrological Science Bulletin pp. 24, 43 – 69.
- Colwell, R. N. (1983). Manual of Remote Sensing. (Ed.) Falls Church, VA: American Society of Photogrammetry.
- Demek, J., 1972.: Manual of detailed geomorphological mapping. Academia, Prague, 344 p.
- Dikau, R., 1989: The application of a digital relief model to landform analysis. Taylor and Francis, London, pp. 51 – 77.
- ENVI 4.7 help
- e-EcoRisk, 2004. Περιφερειακό επιχειρησιακό δικτυακό σύστημα υποστήριξης και λήψης αποφάσεων για την αντιμετώπιση της περιβαλλοντικής επικινδυνότητας και τη διαχείριση καταστροφών από μεγάλης κλίμακας βιομηχανικά απόβλητα», που χρηματοδοτήθηκε από “European Commission- Research Directorate-General” (EVG1-2001-00087). (2004//Επιστημονικός Υπεύθυνος Α. Φιλιππίδης).
- 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.
- European Space Agency, 2005: Spaceborne radar applications in Geology. An introduction to imaging radar, and application examples of ERS SAR in Geology and Geomorphology.
- Flooded area detection using multi-temporal TerraSAR-X data Lu, X., Wang, J., Wang, Z., Sun, H. 2009 APSAR 2009 - 2009 Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar, Proceedings , art. no. 5374134, pp. 155-159.
- Lillesand T.M., Kiefer R.W., Remote Sensing and Image Interpretation. 4th edition, J. Wiley & Sons, 2000.
- Maidment David R., Oscar Robayo, Watershed and Stream Network Delineation, Center for Research in Water Resources, University of Texas at Austin, September, 2002.
- Parker, D (ed.) (2000). Floods. 2 Vols. London: Routledge
- Saaty, T.L., 1980: The Analytical Hierarchy Process, NY, McGraw Hill.
- Strahler, A., 1952: Hypsometric (area – altitude) analysis of erosional topography. Geol. Soc. Amer. Bull.
- Verstappen, H. Th. (1977).Remote Sensing in Geomorphology, Elsevier,Amsterdam.

- Vupalla, P., Asadi, S., Pavani, S. and Peddy, M., 2004. Remote Sensing Applications For the Management of Water and Land, Resources in Rainfed Area of Prakasam district, Andhra Pradesh India. Environmental Informatics Archives, 2: 885-892.
- 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.

ΠΗΓΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

- **URL 1:** <http://earth.esa.int> (Ιστοσελίδα του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Διαστήματος (European Space Agency)).
- **URL 2:** <http://samatas-stin-ormylia.blogspot.com>
- **URL 3:** <http://www.ypeka.gr/>
- **URL 4 :** <http://el.wikipedia.org/>
- **URL 5 :** <http://www.stratoni.gr/>
- **URL 6:** <http://geodata.gov.gr/>
- **URL 7:** <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/>
- **URL 8:** <http://www.gistech.gr/>