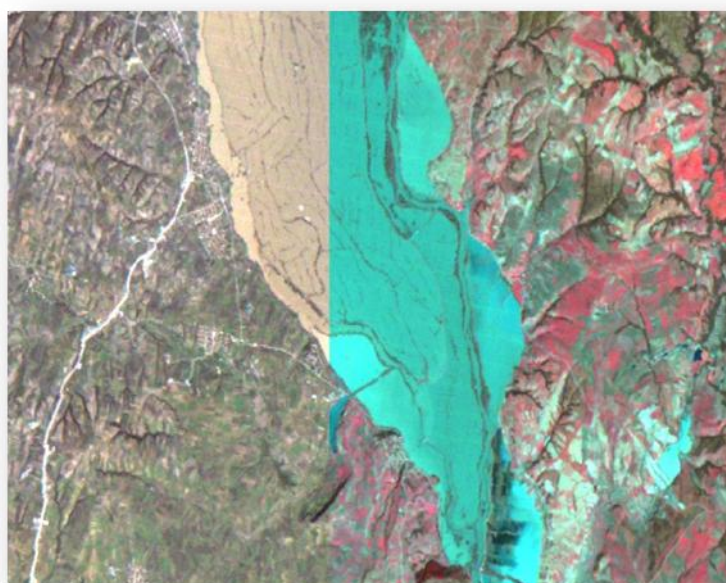




ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ **AGRICULTURAL UNIVERSITY OF ATHENS**

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
«ΘΕΤΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΣΤΗ ΓΕΩΠΟΝΙΑ ΚΑΙ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ»
ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ**



Μεταπτυχιακή Εργασία:

**«Η ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ
ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΕΒΡΟΥ.»**

Ονοματεπώνυμο Φοιτήτριας : ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΗ Γ. ΖΩΗ

Επιβλέπων Καθηγητής : ΤΣΙΛΙΓΚΙΡΙΔΗΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ

ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2013

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
«ΘΕΤΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΣΤΗ ΓΕΩΠΟΝΙΑ ΚΑΙ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ»
ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ

Μεταπτυχιακή Εργασία:
«Η ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ
ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΕΒΡΟΥ.»

Ονοματεπώνυμο Φοιτήτριας : ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΗ Γ. ΖΩΗ

Επιβλέπων Καθηγητής : ΤΣΙΛΙΓΚΙΡΙΔΗΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ

ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2013

Μεταπτυχιακή Εργασία:

**«Η ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ
ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΕΒΡΟΥ.»**

Ονοματεπώνυμο Φοιτήτριας : ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΗ Γ. ΖΩΗ

Επιβλέπων Καθηγητής : ΤΣΙΛΙΓΚΙΡΙΔΗΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ

**Εξεταστική Επιτροπή : ΤΣΙΛΙΓΚΙΡΙΔΗΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ
ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ
ΣΩΤΗΡΑΚΟΓΛΟΥ ΚΥΡΙΑΚΙΤΣΑ**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσης διπλωματικής εργασίας είναι η αξιολόγηση της συνεισφοράς των σύγχρονων αναπτυξιακών εργαλείων της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στην καταγραφή φυσικών καταστροφών και ειδικότερα των πλημμύρων με τη χρήση δορυφορικών εικόνων.

Αρχικά πραγματοποιήθηκε μια ανασκόπηση των βασικών εννοιών της τηλεπισκόπησης καθώς και καταγραφή των λειτουργιών και δυνατοτήτων των τηλεπισκοπικών δορυφόρων που υπάρχουν. Επιπλέον, παρουσιάστηκε η τηλεπισκοπική μεθοδολογία που ακολουθείται σε πλημμυρικά συμβάντα με κυριότερα στάδια αυτά της προεπεξεργασίας των δορυφορικών δεδομένων, της ανάλυσης κύριων και ανεξάρτητων συνιστωσών και της ταξινόμησης.

Για την πληρέστερη παρουσίαση της μεθοδολογίας εκπονήθηκε μία μελέτη περίπτωσης πλημμυρικού συμβάντος για τον Νομό του Έβρου κατά το έτος 2010 με απώτερο σκοπό τη χαρτογράφηση της πλημμυρισμένης περιοχής και τον εντοπισμό των πληγέντων αγροτεμαχίων. Η παραγωγή ορθοφωτοχαρτών, η ανίχνευση των πλημμυρισμένων εκτάσεων και η χωρική συσχέτιση των αγροτεμαχίων με τη περιοχή πλημμύρας συνέβαλαν καθοριστικά στο αποτέλεσμα της εργασίας.

Για την πραγματοποίηση των ανωτέρω χρησιμοποιήθηκαν δύο δορυφορικές εικόνες Landsat με περιοχή κάλυψης την ευρύτερη περιοχή και με ημερομηνία λήψης στην κορύφωση του πλημμυρικού συμβάντος. Η επεξεργασία της τηλεπισκοπικής μεθοδολογίας πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια των λογισμικών ERDAS IMAGINE 2010 και ArcGIS.

Τέλος, αναφέρονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την σύνταξη της εργασίας και αφορούν στην αποτελεσματικότητα των σύγχρονων επιστημών της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στην αντιμετώπιση πλημμυρικών φαινομένων με κυριότερο αυτό της έγκαιρης και έγκυρης αποζημίωσης των πληγέντων πολιτών.

ABSTRACT

The aim of this study is the valuation of the contribution of Remote Sensing and Geographic Information Systems in recording natural disasters and more specifically these of flood incidents with the use of satellite pictures.

We start by placing an overview of basic Remote Sensing techniques in addition to functions and possibilities of satellites. Furthermore, we present a description of the Remote Sensing methodology and its main stages, such as pre-treatment of satellite data, principal and independent component analysis and classification.

For the full comprehension of the procedure a case study of a flood incident on the Prefecture of Evros is introduced. Its final aim is the mapping of flooded regions and the localisation of affected parcels. The production of orthomaps, the detection of flooded extents and the territorial cross-correlation of parcels with the region of flood contributed decisive in the result of this Thesis.

For the above we used two Landsat satellite images taken during the peak of the flood and edited with the use of ERDAS IMAGINE 2010 and ArcGIS.

Finally, the conclusions from this Thesis that have to do with the effectiveness of the use of Remote Sensing and Geographic Information Systems in the confrontation of flood incidents are reported. Especially, we focus on the early and valid compensation of affected citizens.

.....

ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΗ ΖΩΗ

Διπλωματούχος Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Copyright © Καραγιάννη Ζωή, 2013

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία χορηγήθηκαν από τον ΟΠΕΚΕΠΕ και διέπονται από τα κάτωθι:

- Η πνευματική ιδιοκτησία και τα συναφή πνευματικά δικαιώματα των διατιθέμενων δεδομένων ανήκουν στον ΟΠΕΚΕΠΕ και προστατεύονται από το ισχύον εθνικό, κοινοτικό και διεθνές δίκαιο.*
- Τα δεδομένα που διατίθενται από τον ΟΠΕΚΕΠΕ προορίζονται για χρήση από τον συγκεκριμένο φορέα στον οποίο διατίθενται και δεν επιτρέπεται η παραχώρηση ή μεταβίβαση σε οποιονδήποτε τρίτο. Απαγορεύεται αυστηρά η με οποιονδήποτε τρόπο και μέσω αναπαραγωγή ή αναμετάδοση ή πώληση τους.*
- Τα δεδομένα περιέχουν προσωπικά στοιχεία και η διαχείρισή τους πρέπει να είναι σύμφωνη με τις διατάξεις του Ν.2472/1997 με ενσωματωμένες και τις τελευταίες τροποποιήσεις βάσει του Ν. 4024/2011.*
- Δεν επιτρέπεται η με οποιονδήποτε τρόπο έμμεσα ή άμεσα, μεταπώληση από το φορέα προς τρίτους των παρεχόμενων δεδομένων ή λογισμικών στη μορφή που παρέχονται από τον ΟΠΕΚΕΠΕ ή μετά από οποιαδήποτε τροποποίηση ή προσθήκη.*
- Η παραβίαση των ανωτέρω όρων συνεπάγεται ευθύνη του φορέα για αποκατάσταση κάθε ζημίας του ΟΠΕΚΕΠΕ.*

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	σελ. iv
ABSTRACT.....	σελ. v
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	σελ. xii
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	σελ. xiii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο: ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ	σελ. 1
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	σελ. 1
1.2 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ	σελ. 1
1.3 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	σελ. 2
1.4 ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΚΑΙ ΥΛΗΣ – ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ.....	σελ. 4
1.5 ΙΔΑΝΙΚΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	σελ. 6
1.6 ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	σελ. 7
1.7 ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ.....	σελ. 9
1.7.1 Ορισμός	σελ. 9
1.7.2 Κατηγορίες δορυφόρων.....	σελ. 9
1.7.3 Τύποι Δορυφόρων	σελ. 10
1.7.4 Χαρακτηριστικά Δορυφόρων	σελ. 12
1.8 ΟΙ ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ LANDSAT, IKONOS και QUICKBIRD	σελ. 13
1.8.1 Δορυφόρος Landsat	σελ. 13
1.8.2 Δορυφόρος Ikonos.....	σελ. 15
1.8.3 Δορυφόρος QuickBird.....	σελ. 16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο: ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ.....	σελ. 19
2.1 ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ.....	σελ. 19
2.2 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ.....	σελ. 20
2.3 ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ.....	σελ. 20
2.4 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ	σελ. 22
2.5 ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΑ ΣΥΜΒΑΝΤΑ	σελ. 23
2.6 ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΕΠΙ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΩΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ	σελ.26

2.7 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ	σελ. 27
--	---------

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	σελ. 29
3.1 ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΟΥΦΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	σελ. 29
3.1.1 Ατμοσφαιρική διόρθωση	σελ. 29
3.1.2 Γεωμετρική διόρθωση	σελ. 30
3.1.3 Ραδιομετρικές διορθώσεις	σελ. 30
3.1.4 Βελτίωση εικόνας	σελ. 31
3.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΡΙΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ	σελ. 31
3.2.1 Θεωρητική προσέγγιση	σελ. 31
3.2.2 Μαθηματική προσέγγιση.....	σελ. 33
3.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ	σελ. 35
3.3.1 Θεωρητική προσέγγιση	σελ. 35
3.3.2 Μαθηματική προσέγγιση.....	σελ. 36
3.4 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ	σελ. 39
3.4.1 Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Unsupervised Classification)	σελ. 40
3.4.2 Επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Supervised Classification)	σελ. 41
3.5 ΣΤΑΔΙΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ (Training Stage).....	σελ. 42
3. 6 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ	σελ. 44
3.6.1 Αλγόριθμος Μέγιστης Πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood)	σελ. 44
3.6.2 Αλγόριθμος της Ελάχιστης Απόστασης (Nearest Neighbour)	σελ. 49
3.6.3 Αλγόριθμος του Παραλληλεπίπεδου (Parallelepiped).....	σελ. 52

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ: ΟΙ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ

ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΕΒΡΟΥ ΤΟ ΕΤΟΥΣ 2010.....	σελ. 56
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	σελ. 56
4.2 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΝΟΜΟΥ ΕΒΡΟΥ.....	σελ. 57
4.3 ΙΣΤΟΡΙΑ ΝΟΜΟΥ ΕΒΡΟΥ	σελ. 58
4.4 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	σελ. 59
4.4.1 Γεωμορφολογία	σελ. 59
4.4.2 Γεωλογία.....	σελ. 59
4.4.3 Υδρολογία.....	σελ. 60
4.4.4 Κλίμα	σελ. 60
4.5 ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ ΝΟΜΟΥ ΕΒΡΟΥ	σελ. 61

4.6 Ο ΠΟΤΑΜΟΣ ΕΒΡΟΣ	σελ. 62
4.6.1 Θέση και έκταση της λεκάνης απορροής	σελ. 63
4.6.2 Το Δέλτα του Έβρου	σελ. 64
4.7 ΦΡΑΓΜΑΤΑ, ΑΡΔΕΥΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΚΑΙ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΕΣ	σελ. 65
4.8 ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΑ ΑΝΑΧΩΜΑΤΑ ΣΤΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΕΒΡΟΥ	σελ. 67
4.9 ΑΙΤΙΑ ΤΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΕΒΡΟΥ	σελ. 68
4.9.1 Έλλειψη καλής διαχείρισης στα ανάντη του ποταμού	σελ. 68
4.9.2 Διακρατική σχέση μεταξύ Ελλάδας, Βουλγαρίας και Τουρκίας	σελ. 70
4.9.3 Ανεπαρκείς ενέργειες για τον καθαρισμό της κοίτης	σελ. 71
4.9.4 Έντονες γεωργικές εκμεταλλεύσεις	σελ. 72
4.9.5 Ασαφής και σύνθετη νομοθεσία	σελ. 72
4.9.6 Παρουσία στρατιωτικών δυνάμεων στην περιοχή	σελ. 73
4.10 ΣΥΝΤΟΜΟ ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΤΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ ΠΟΤΑΜΟΥ ΕΒΡΟΥ ΤΩΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΩΝ ΕΤΩΝ	σελ. 74
4.10.1 Πλημμυρικό επεισόδιο Φεβρουαρίου 2005	σελ. 74
4.10.2 Πλημμυρικό επεισόδιο Μαρτίου 2006	σελ. 75
4.10.3 Πλημμυρικό επεισόδιο Νοεμβρίου 2007	σελ. 76
4.10.4 Πλημμυρικό επεισόδιο Φεβρουαρίου 2010	σελ. 76
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ	σελ. 78
5.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ	σελ. 78
5.2 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	σελ. 79
5.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΔΟΥΦΟΡΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΜΗΘΕΙΑ ΕΙΚΟΝΩΝ	σελ. 80
5.4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΠΡΩΤΟΓΕΝΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (Raw Data)	σελ. 80
5.5 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ «ΜΩΣΑΪΚΟΥ» ΤΩΝ ΟΡΘΟΦΩΤΟΧΑΡΤΩΝ ΙΚΟΝΟΣ	σελ. 82
5.6 ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΟΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΟΡΘΟΦΩΤΟΧΑΡΤΩΝ	σελ. 82
5.7 ΡΑΔΙΟΜΕΤΡΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΟΡΘΟΦΩΤΟΧΑΡΤΩΝ	σελ. 83
5.8 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΡΙΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ	σελ. 85
5.8.1 Ανάλυση αποτελεσμάτων της PCA	σελ. 88
5.9 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ	σελ. 93
5.10 ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΟΡΘΟΦΩΤΟΧΑΡΤΗ ΚΑΙ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ	σελ. 96

5.10.1 Μη Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση.....	σελ. 96
5.10.2 Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση.....	σελ. 99
5.11 ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΨΗΦΙΔΩΤΟΥ ΜΩΣΑΪΚΟΥ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ.....	σελ. 101
5.12 ΧΩΡΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΑΓΡΟΤΕΜΑΧΙΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ.....	σελ. 101
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	σελ.105
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: Επεξεργασία πρωτογενών δεδομένων (Raw Data).....	σελ. 108
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ: Δημιουργία «μωσαϊκού» των ορθοφωτοχαρτών Ikonos..	σελ. 111
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ: Φωτογραμμετρική Επεξεργασία Δορυφορικών Εικόνων και Παραγωγή Ορθοφωτοχαρτών.....	σελ. 114
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙV: Ανάλυση κύριων συνιστωσών	σελ. 117
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ V: Ανάλυση Ανεξάρτητων Συνιστωσών	σελ. 123
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	σελ. 125

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Τσιλιγκιρίδη Θεόδωρο για την ανάθεση του θέματος αυτού, την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, την αμέριστη συμπαράσταση και εύστοχη καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της μελέτης αυτής.

Επίσης, ευχαριστώ τον Οργανισμό Πληρωμών και Ελέγχου Κοινοτικών Ενισχύσεων Προσανατολισμού και Εγγυήσεων (Ο.Π.Ε.Κ.Ε.Π.Ε.) για τα ψηφιακά δεδομένα που μου χορήγησε.

Η μελέτη αυτή αφιερώνεται στην οικογένειά μου η οποία είναι δίπλα μου σε οποιοδήποτε βήμα της ζωής μου επαγγελματικό και εκπαιδευτικό.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική ανατέθηκε από το Γενικό Τμήμα του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος «Θετικές Επιστήμες στη Γεωπονία και το Περιβάλλον» με ειδίκευση στη «Γεωπληροφορική». Αφορμή για την παρούσα μελέτη στάθηκαν οι πλημμύρες που έπληξαν το Νομό Έβρου το Φεβρουάριο του 2010, προκαλώντας πολυάριθμες καταστροφές. Κύριος σκοπός της εργασίας είναι η αξιολόγηση της συνεισφοράς των σύγχρονων αναπτυξιακών εργαλείων της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.) στην ανίχνευση πλημμυρισμένων περιοχών. Αντικείμενο της παρούσας μελέτης είναι η άμεση χαρτογράφηση της πλημμυρισμένης περιοχής του Έβρου και ο εντοπισμός των αγροτεμαχίων που έχουν πληγεί.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο: ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

1.1 Εισαγωγή

Η παρατήρηση και παρακολούθηση της γης από το διάστημα αποτελεί τα τελευταία χρόνια σημαντικό εργαλείο για τη μελέτη του περιβάλλοντος, την κατανόηση του παγκόσμιου κλίματος, αλλά και το σχεδιασμό και την ενίσχυση αναπτυξιακών και παραγωγικών δραστηριοτήτων σε μια περιοχή. Με αφορμή όλους αυτούς τους λόγους γίνεται μια προσπάθεια να καταγραφούν οι χρήσεις της τηλεπισκόπησης στην εποχή μας και κατά πόσο είναι εφικτό να χρησιμοποιηθούν οι δυνατότητες που προσφέρονται από τις κυβερνήσεις, διάφορες οργανώσεις και εταιρείες.

Ωστόσο, υπάρχουν αρκετοί περιοριστικοί παράγοντες στη χρήση της τηλεπισκόπησης με κυριότερους το κόστος, τη διαθεσιμότητα και την άμεση απόκτηση των δεδομένων καθώς επίσης και τη διαθεσιμότητα ανθρώπινου ειδικευμένου προσωπικού για την τεχνική υποστήριξη της διαδικασίας.

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις γενικές αρχές της τηλεπισκόπησης, τις χρήσεις που έχει στο σύγχρονο κόσμο, στα δεδομένα που χρησιμοποιούνται και τέλος μία συνοπτική περιγραφή των δορυφόρων και των δυνατοτήτων τους.

1.2 Ορισμός της Τηλεπισκόπησης

Με τον όρο τηλεπισκόπηση εννοείται η επιστήμη παρατήρησης φαινομένων και χαρακτηριστικών από απόσταση. Η λέξη είναι σύνθετη και αποτελείται από το επίρρημα 'τήλε' και το ρήμα 'επισκοπέω', δηλαδή παρατηρώ από μακριά.

Στη διεθνή βιβλιογραφία χρησιμοποιείται ο όρος Remote Sensing, και ορισμένοι Έλληνες επιστήμονες έχουν μεταφράσει επακριβώς τον όρο σε Τηλεανίχνευση, αλλά έχει επικρατήσει ο όρος Τηλεπισκόπηση. Σύμφωνα με τον αρχικό ορισμό, η έννοια της τηλεπισκόπησης μπορεί να συμπεριληφθεί σε ένα ευρύ πεδίο εφαρμογών, τεχνικών ή και φυσιολογικών λειτουργιών, όπως για παράδειγμα στην ανθρώπινη όραση. Στην πραγματικότητα, σήμερα με το όρο Τηλεπισκόπηση εννοούμε "την επιστήμη και την τεχνολογία παρατήρησης και μελέτης των χαρακτηριστικών της

γήινης επιφάνειας από απόσταση, βάσει της αλληλεπίδρασης των υλικών που βρίσκονται επάνω σε αυτή με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία".

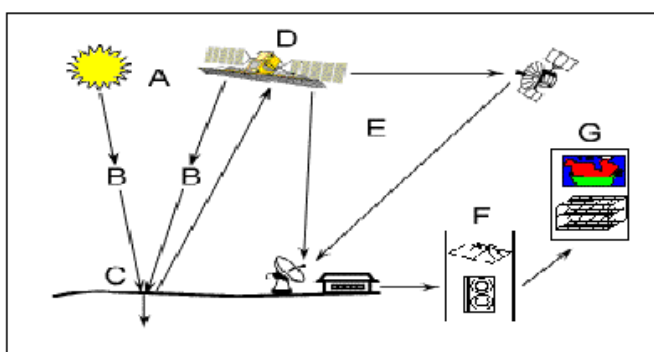
Η αξιοποίηση τηλεπισκοπικών απεικονίσεων για τη μελέτη της γης άρχισε τη δεκαετία του 1960, όταν οι τεχνικές δυνατότητες των δορυφόρων που βρίσκονταν σε τροχιά γύρω από τη γη, ακολούθησαν τη ραγδαία ανάπτυξη των δυνατοτήτων των Η/Υ για τη διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων.

Οι αεροφωτογραφίες καθώς και οι απεικονίσεις από οπτικούς δέκτες και δέκτες radar, οι οποίοι μεταφέρονται είτε από αεροπλάνα είτε από δορυφόρους, είναι οι διάφορες μορφές καταγραφής δεδομένων από απόσταση, με πιο χαρακτηριστικά και ευρέως χρησιμοποιούμενα τα δεδομένα που προέρχονται από δέκτες που βρίσκονται πάνω σε δορυφόρους (δορυφορική τηλεπισκόπηση).

1.3 Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

Στην τηλεπισκόπηση, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που προέρχεται από κάποιο αντικείμενο το οποίο βρίσκεται στην επιφάνεια της γης, μετρίεται και μεταφράζεται σε πληροφορία για το αντικείμενο ή σε διαδικασίες σχετιζόμενες με το αντικείμενο και το περιβάλλον του.

Μια απλή περιγραφή του τρόπου που λαμβάνονται τα τηλεπισκοπικά δεδομένα παρουσιάζεται στην εικόνα 1.1 που ακολουθεί παρακάτω.



Υπόμνημα Εικόνας 1:

- A) Πηγή Ενέργειας
- B) Ακτινοβολία και ατμόσφαιρα
- C) Αλληλεπίδραση με τον Στόχο
- D) Καταγραφή της Ενέργειας από τον Αισθητήρα
- E) Διάδοση, Λήψη και Επεξεργασία
- F) Ερμηνεία και Ανάλυση
- G) Εφαρμογή

Εικόνα 1.1: Τρόπος που λαμβάνονται τα τηλεπισκοπικά δεδομένα.

Πηγή: Καπαγερίδης Ι. 2010. Σημειώσεις «Εισαγωγή στην Τηλεπισκόπηση και τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών»

Μία πηγή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εκπέμπει προς όλες τις κατευθύνσεις, "φωτίζει" την επιφάνεια της γης αφού περάσει μέσα από την ατμόσφαιρα, γεγονός που περιορίζει το φασματικό εύρος της ακτινοβολίας που τελικά θα χτυπήσει στην επιφάνεια. Ένα μέρος της ακτινοβολίας που τελικά φθάνει στη γη, ανακλάται, ένα άλλο μέρος διαχέεται στο περιβάλλον, ένα άλλο μεταδίδεται και ένα άλλο απορροφάται και αποδίδεται και πάλι στο περιβάλλον.

Η ακτινοβολία που ανακλάται διέρχεται και πάλι μέσα από την ατμόσφαιρα με προορισμό το διάστημα. Σε πολύ μεγάλο ύψος (300χλμ. - 800χλμ. συνήθως) βρίσκονται σε τροχιά οι τεχνητοί δορυφόροι που είναι εξοπλισμένοι με ανιχνευτές. Οι τηλεπισκοπικοί ανιχνευτές ανιχνεύουν την ανάκλαση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας της γήινης επιφάνειας και την αποδίδουν ως ψηφιακή εικόνα. Οι ανιχνευτές μπορεί να είναι εγκατεστημένοι σε τεχνητούς δορυφόρους που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη γη ή να βρίσκονται σε αερομεταφερόμενα μέσα (αεροσκάφη ή ελικόπτερα). Ένα διαστημικό όχημα μπορεί να μεταφέρει περισσότερους από έναν ανιχνευτές. Ανάλογα με το χαρακτηριστικό που επιθυμούμε να μελετήσουμε, επιλέγεται ο φασματικός τύπος του ανιχνευτή ώστε να ληφθεί η μέγιστη πληροφορία.

Τα όργανα που είναι ικανά να μετρήσουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ονομάζονται αισθητήρες ή δέκτες. Η ταξινόμησή τους μπορεί να γίνει σε δύο κατηγορίες (*Van der Meer and De Jong, 2001*):

1. Στους παθητικούς δέκτες που δεν διαθέτουν τη δική τους πηγή ακτινοβολίας. Είναι ευαίσθητοι μόνο στην ακτινοβολία που έχει φυσική προέλευση και συνήθως είναι η ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία ή η ενέργεια που εκπέμπεται από ένα επίγειο αντικείμενο. Ένα κλασικό παράδειγμα παθητικού αισθητήρα είναι η φωτογραφική μηχανή, η οποία καταγράφει την ανακλώμενη ακτινοβολία κάποιου αντικειμένου σε μία φωτοευαίσθητη επιφάνεια και έπειτα πάνω στο φιλμ. Άλλα παραδείγματα είναι οι πολυφασματικοί σαρωτές, οι θερμικοί σαρωτές και τα ραδιόμετρα που χρησιμοποιούν μικροκύματα.

2. Στους ενεργητικούς αισθητήρες που διαθέτουν μία τεχνητή πηγή ακτινοβολίας, η οποία εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα ή σε αντικείμενα στην επιφάνεια της γης και έπειτα η ανακλώμενη ενέργεια που προκύπτει λαμβάνεται πίσω από τον αισθητήρα

για την εξαγωγή μετρητικής και ποιοτικής πληροφορίας. Παραδείγματα ενεργητικής τηλεπισκόπησης αποτελούν τα συστήματα radar (radio detection and ranging) και lidar (light detection and ranging).

1.4 Αλληλεπίδραση ακτινοβολίας και ύλης – Φασματική υπογραφή

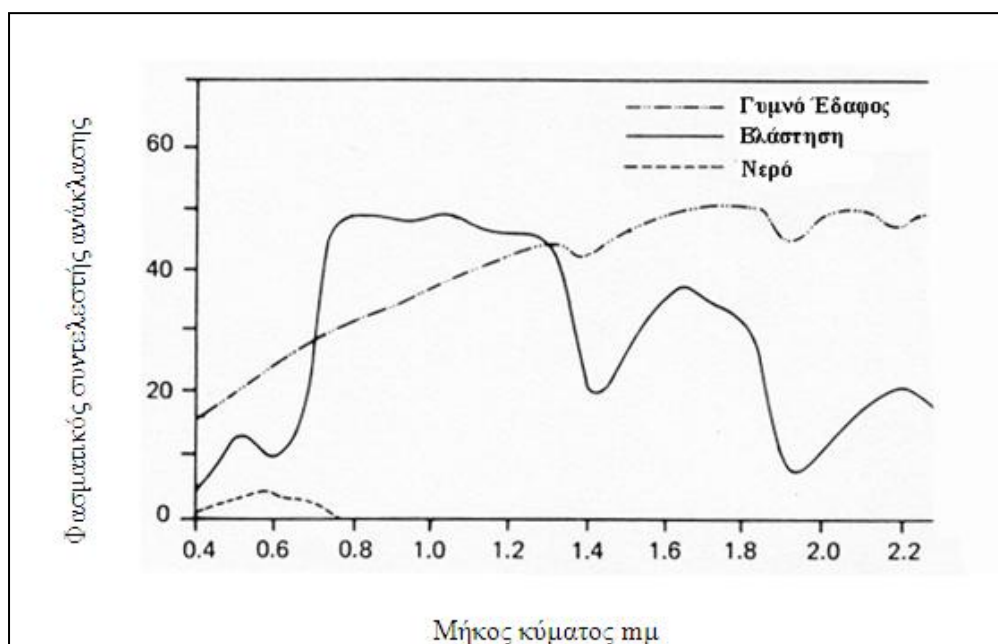
Όταν η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προσπέσει σε κάποιο αντικείμενο στην επιφάνεια της γης, θα μεταδοθεί, θα απορροφηθεί ή θα ανακλαστεί όπως έχει αναφερθεί στα προηγούμενα. Η ποσότητα ακτινοβολίας που θα διανεμηθεί καθορίζεται από τις ιδιότητες του κάθε αντικειμένου. Το μέγιστο πλεονέκτημα που υπάρχει στην τηλεπισκόπηση, είναι ότι αν και δεν μπορούμε να αναγνωρίσουμε πολλά αντικείμενα σε δορυφορικές απεικονίσεις εξαιτίας της χαμηλής χωρικής ανάλυσης, έχουμε τη δυνατότητα να εκμεταλλευτούμε τις φασματικές ιδιότητες των εικόνων, μετρώντας την ποσότητα της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας σε όρους μήκους κύματος, τη φασματική ανακλαστικότητα.

Με τον όρο ανακλαστικότητα, εννοούμε το ποσοστό της ακτινοβολίας που πέφτει σε ένα αντικείμενο και έπειτα ανακλάται. Κάποια υλικά ανακλούν ακτινοβολία συγκεκριμένου μήκους κύματος, ενώ άλλα απορροφούν τα ίδια μήκη κύματος. Εισάγεται λοιπόν η έννοια της φασματικής υπογραφής επιφανειακών αντικειμένων, όπως του εδάφους, της βλάστησης, του νερού και πολλών άλλων, μέσα στο εύρος του φάσματος. Σε άλλες φασματικές περιοχές, οι υπογραφές που μας ενδιαφέρουν μπορεί να είναι η θερμοκρασία και η εκπομπή ακτινοβολίας, όπως συμβαίνει για το θερμικό υπέρυθρο ή το ανάγλυφο της επιφάνειας της γης για τα συστήματα radar (*Van der Meer and De Jong, 2001*).

Στην εικόνα 1.2 παρουσιάζεται το διάγραμμα ανακλαστικότητας για τρεις κατηγορίες οι οποίες παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον του νερού, της βλάστησης και του εδάφους. Το νερό απορροφά το μεγαλύτερο μέρος της εισερχόμενης ακτινοβολίας και ανακλά μόνο μία μικρή ποσότητα αυτής, κυρίως στο ορατό κομμάτι του φάσματος, ενώ σε μεγαλύτερα μήκη κύματος δεν ανακλάται σημαντική ποσότητα ακτινοβολίας. Τα χωμάτινα εδάφη παράγουν μία «απαλή» καμπύλη ανακλαστικότητας. Για το λόγο αυτό, διακριτά φασματικά χαρακτηριστικά εξάγονται συνήθως από παρατηρήσεις με ειδικά όργανα που ονομάζονται φασματόμετρα.

Γενικότερα χαρακτηριστικά φαίνονται σε μήκη κύματος από 1400nm έως 1900nm, λόγω του νερού που έχει απορροφηθεί από το έδαφος. Η περιεκτικότητα σε νερό προκαλεί επίσης και τη σταδιακή μείωση της ανακλαστικότητας στο μέσο υπέρυθρο κομμάτι, όσο αυξάνεται το μήκος κύματος. Το υγρό περιεχόμενο ενός εδάφους προκαλεί τη χαμηλή καμπύλη ανακλαστικότητας, σε αντίθεση με αυτή του ξηρού εδάφους. Μπορούμε έτσι να διαχωρίσουμε δύο ομοειδείς φασματικές κατηγορίες.

Από την άλλη μεριά, η χλωρίδα εμφανίζεται με μία πολύ χαρακτηριστική καμπύλη ανακλαστικότητας. Η ανακλαστικότητα στο ορατό τμήμα της ακτινοβολίας είναι χαμηλή, εξαιτίας της απορρόφησης αυτής της ακτινοβολίας από τη χλωροφύλλη. Στο εγγύς υπέρυθρο δεν υφίσταται σχεδόν καμία απορρόφηση και η ανακλαστικότητα που προκύπτει καθορίζεται από τις μεταβολές των φυλλωμάτων των φυτών. Σαν αποτέλεσμα έχουμε υψηλή ανακλαστικότητα της πράσινης βλάστησης στο εγγύς υπέρυθρο. Στην περιοχή του μέσου υπέρυθρου παρατηρούμε μία όμοια επίδραση του νερού, όπως συμβαίνει με το έδαφος (Clevers and Jongschaap, 2001).



Εικόνα 1.2: Τυπικό διάγραμμα ανακλαστικότητας για τις κατηγορίες του εδάφους, του νερού και της βλάστησης

Πηγή: Αργιαλάς Δ. 1998. «Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση»

Αξίζει επίσης να αναφερθεί ότι στο τμήμα του θερμικού υπέρυθρου η ποσότητα ακτινοβολίας που μετράται είναι αυτή που εκλύεται από τα αντικείμενα. Η ποσότητα αυτή μπορεί να συσχετιστεί με τη θερμοκρασία του αντικειμένου που παρατηρείται, παρέχοντας έτσι και πληροφορίες σχετικές με μελέτες πάνω στην ενέργεια. Μία σημαντική ιδιότητα των μεγάλων μηκών κύματος που χρησιμοποιούνται στα μικροκύματα είναι ότι δεν επηρεάζονται από την ατμόσφαιρα, με συνέπεια να μη διασκορπίζονται. Έχουν τη δυνατότητα να διεισδύουν μέσα από σύννεφα και άλλες δύσκολες συνθήκες, εκτός της ισχυρής βροχόπτωσης.

1.5 Ιδανικό τηλεπισκοπικό σύστημα

Τα βασικά στοιχεία από τα οποία θα πρέπει να αποτελείται ένα ιδανικό τηλεπισκοπικό σύστημα είναι τα εξής:

1. Μια πηγή ενέργειας, η οποία θα έχει τη δυνατότητα να παρέχει ενέργεια σε όλα τα μήκη κύματος κατά ενιαίο και σταθερό τρόπο, ανεξάρτητα από το χώρο και το χρόνο.
2. Η μη ύπαρξη αλληλεπίδρασης της ατμόσφαιρας με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, είτε η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία κατευθύνεται προς την επιφάνεια της γης είτε επιστρέφει από αυτήν.
3. Μια σειρά μοναδικών αλληλεπιδράσεων της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με τα διάφορα αντικείμενα πάνω στην επιφάνεια της γης, οι οποίες θα είχαν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ανακλώμενων ή εκπεμπόμενων κυμάτων, γνωστών, σταθερών και μοναδικών για κάθε αντικείμενο που μας ενδιαφέρει.
4. Ένας τέλειος δέκτης, εξαιρετικά ευαίσθητος σε όλα τα μήκη κύματος, που θα έχει τη δυνατότητα να καταγράφει λεπτομερή χωρική πληροφορία σε συνθήκες απόλυτης φωτεινότητας σαν συνάρτηση του μήκους κύματος, σε όλο το εύρος του φάσματος.
5. Ένα σύστημα διαχείρισης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Στο σύστημα αυτό, τη στιγμή που η ακτινοβολία αλληλεπιδρά με ένα αντικείμενο στην επιφάνεια της γης και δημιουργείται το επιστρεφόμενο σήμα, υπάρχει η δυνατότητα επεξεργασίας του σήματος αυτού σε ένα μορφότυπο το οποίο θα είναι μοναδικό για το συγκεκριμένο αντικείμενο από το οποίο και προήλθε.

6. Χρήστες πολλαπλών δεδομένων, οι οποίοι θα είναι πλήρως καταρτισμένοι σχετικά με την τηλεπισκόπηση και τις διαδικασίες ανάλυσης και επεξεργασίας απεικονίσεων.

1.6 Πραγματικό τηλεπισκοπικό σύστημα

Προκειμένου να κατανοηθεί καλύτερα η λειτουργία και η χρησιμότητα ενός τηλεπισκοπικού συστήματος, πρέπει να ληφθούν υπόψη τα παρακάτω μειονεκτήματα και ελλείψεις που στην πραγματικότητα έχει:

1. Μία πηγή ενέργειας.

Οι παθητικοί τηλεπισκοπικοί δέκτες λαμβάνουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, η οποία είτε ανακλάται είτε εκπέμπεται με τη μορφή θερμότητας από τα αντικείμενα στην επιφάνεια της γης. Η ηλιακή ακτινοβολία εξαρτάται από το χώρο, το χρόνο και τη σύσταση των αντικειμένων. Στα ενεργητικά συστήματα τηλεπισκόπησης (συστήματα radar) μπορούμε να ελέγξουμε την πηγή ενέργειας μέχρι κάποιο βαθμό. Στην πραγματικότητα όμως, οι πηγές που χρησιμοποιούνται δεν εκπέμπουν κατά ενιαίο τρόπο σε όλα τα μήκη κύματος, ούτε είναι ανεξάρτητες τόπου και χρόνου. Γι αυτό είναι απαραίτητος ο συνεχής έλεγχος των πηγών στα ενεργητικά συστήματα.

2. Η ατμόσφαιρα.

Η ατμόσφαιρα σχεδόν πάντοτε αλληλεπιδρά με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, επηρεάζοντας σε κάποιο βαθμό τόσο την ισχύ της όσο και τη φασματική κατανομή της. Το πόσο σημαντική είναι αυτή η επίδραση εξαρτάται κάθε φορά από το μήκος κύματος και τον χρησιμοποιούμενο δέκτη. Ο έλεγχος των τηλεπισκοπικών συστημάτων, προκειμένου να αποφευχθούν ή να περιοριστούν οι επιδράσεις αυτές, είναι απαραίτητος, ειδικά όταν πρόκειται για εφαρμογές που απαιτούν επαναληπτικές παρατηρήσεις στην ίδια γεωγραφική περιοχή.

3. Αλληλεπιδράσεις ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας αντικειμένων στην επιφάνεια της γης.

Τα πράγματα θα ήταν πολύ απλά για την τηλεπισκόπηση, αν ίσχυε η ιδανική αυτή κατάσταση, κατά την οποία κάθε σώμα/αντικείμενο/εμφάνιση θα ανακλούσε ή θα εξέπεμπε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, πάντα κατά τον ίδιο, γνωστό τρόπο. Στην πραγματικότητα όμως εντελώς διαφορετικά αντικείμενα/εμφανίσεις παρουσιάζουν

πολλές φορές μεγάλη φασματική ομοιότητα, με αποτέλεσμα ο διαχωρισμός τους να είναι πάρα πολύ δύσκολος.

4. Ο δέκτης.

Δυστυχώς, ο τέλειος δέκτης δεν υπάρχει. Ταυτόχρονα, δεν υπάρχει δέκτης που να είναι ευαίσθητος σε όλες τις περιοχές του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, ενώ ένα ακόμη στοιχείο, η χωρική διακριτική ικανότητα του δέκτη -η απόσταση δηλαδή που πρέπει να έχουν δύο αντικείμενα πάνω στην επιφάνεια της γης ώστε να είναι διακριτά μεταξύ τους- περιορίζει ακόμα περισσότερο τις δυνατότητες του δέκτη.

5. Το σύστημα διαχείρισης δεδομένων.

Η ικανότητα των δεκτών που χρησιμοποιούνται σήμερα να παράγουν δεδομένα ξεπερνά σε κάθε περίπτωση τη δυνατότητα αξιοποίησης και επεξεργασίας των δεδομένων αυτών. Η διαδικασία που απαιτείται για την επεξεργασία τους απαιτεί κατάλληλες τεχνικές, γνώσεις, εμπειρία, δεδομένα αναφοράς και φυσικά αρκετό χρόνο, αφού, όσο κι αν έχουν εξελιχθεί οι τεχνικές, η παρέμβαση του ανθρώπου στην όλη διαδικασία είναι απαραίτητη.

6. Χρήστες πολλαπλών δεδομένων.

Βασικός παράγοντας στην επιτυχημένη εφαρμογή της τηλεπισκοπικής διαδικασίας είναι ο άνθρωπος χρήστης. Τα δεδομένα που προέρχονται από τον δέκτη γίνονται πληροφορία, μόνο όταν κάποιος γνωρίζει πώς προέκυψαν, πώς μπορούν να ερμηνευθούν και πώς μπορούν να αξιοποιηθούν καλύτερα. Μέχρι τώρα η φωτοερμηνεία αποτέλεσε ένα σημαντικότερο εργαλείο συλλογής πληροφορίας. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια αναπτύσσονται όλο και περισσότερες νέες τεχνικές αξιοποίησης της πληροφορίας από τηλεπισκοπικές απεικονίσεις, με αποτέλεσμα να αυξάνεται συνεχώς ο αριθμός των χρηστών και η τηλεπισκόπηση να αποτελεί σιγά σιγά ένα μοναδικό εργαλείο σε προγράμματα που αφορούν στη διαχείριση των φυσικών πόρων, σε πολλές εφαρμογές του τοπογράφου μηχανικού, καθώς και στην έρευνα.

1.7 Δορυφόροι

1.7.1 Ορισμός

Δορυφόρος είναι ένα μη επανδρωμένο διαστημικό όχημα, που τίθεται σε τροχιά γύρω από τη Γη σε ύψος μεταξύ 500 και 35.000 χιλιομέτρων από την επιφάνειά της, και εξοπλισμένο με κατάλληλα όργανα συλλέγει εικόνες και στοιχεία, τα οποία μεταδίδει σε επίγειους σταθμούς. Από το 1957, έτος εκτόξευσης του πρώτου δορυφόρου (Sputnik), έως τα μέσα της δεκαετίας του 1990, έχουν εκτοξευτεί και τεθεί σε τροχιά χιλιάδες δορυφόροι, που καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα ερευνών και εφαρμογών, άλλοι πραγματοποιώντας επιστημονικές παρατηρήσεις και μετρήσεις (επιστημονικοί δορυφόροι) και άλλοι εξυπηρετώντας οικονομικούς και εμπορικούς σκοπούς (δορυφόροι εφαρμογής). Έτσι, μέσω δορυφόρων πραγματοποιούνται αστρονομικές παρατηρήσεις, μετρήσεις κοσμικής ακτινοβολίας, μετεωρολογικές προβλέψεις, γεωλογικές έρευνες, χαρτογράφηση ηπείρων και ωκεανών, περιβαλλοντολογικές έρευνες κ.λπ. και διεξάγονται οι τηλεπικοινωνίες, η ναυσιπλοΐα, η κατασκόπευση στρατηγικών στόχων κ.ά.

1.7.2 Κατηγορίες δορυφόρων

Οι κατηγορίες δορυφόρων είναι οι ακόλουθες:

- Οι τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι, που διεκπεραιώνουν τηλεφωνικές συνδιαλέξεις, αναμεταδίδουν τηλεοπτικά προγράμματα, δεδομένα κ.λπ.
- Οι δορυφόροι πλοήγησης, που αποτελούν τη βάση ενός συστήματος προσανατολισμού και καθορισμού πορείας, κυρίως για αεροπλάνα και πλοία.
- Οι δορυφόροι γεωλογικών ερευνών, που χρησιμοποιούνται τόσο για τον εντοπισμό ορυκτών κοιτασμάτων και την παρατήρηση γεωλογικών σχηματισμών όσο και για τη συλλογή σεισμολογικών δεδομένων.
- Οι μετεωρολογικοί δορυφόροι
- Οι δορυφόροι περιβάλλοντος οι οποίοι μελετούν το χερσαίο και θαλάσσιο περιβάλλον και καταγράφουν τα φαινόμενα και τις μεταβολές που συμβαίνουν σ' αυτό, καθώς και στην ατμόσφαιρα του πλανήτη.

Οι περιβαλλοντικοί δορυφόροι συλλέγουν εικόνες και στοιχεία, τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν για την αντιμετώπιση της ρύπανσης του περιβάλλοντος, την πρόγνωση μετεωρολογικών φαινομένων, την πρόληψη και τον εντοπισμό πυρκαγιών, την παρακολούθηση καλλιεργειών, την αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών, καθώς και για την έρευνα, με απώτερο στόχο τη βελτίωση της ζωής σε όλο τον πλανήτη.

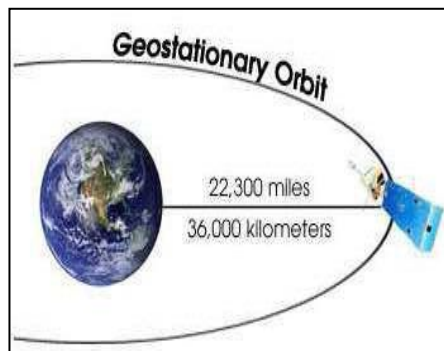
Οι δορυφόροι περιβάλλοντος της δεκαετίας του 1990 ανήκουν στην τρίτη γενιά των δορυφόρων της κατηγορίας αυτής, είναι εξελιγμένοι τεχνολογικά και έχουν δυνατότητα παρατήρησης όλο το 24ωρο. Είναι εξοπλισμένοι με όργανα υψηλής διακριτικής ικανότητας και χαρτογραφούν όλα τα χαρακτηριστικά του εδάφους, τη βλάστηση, την επιφανειακή θερμοκρασία ποταμών, λιμνών και θαλασσών, τις περιοχές με ηφαιστειακή δραστηριότητα, τις μετεωρολογικές μεταβολές και τα νέφη τόσο την ημέρα όσο και τη νύχτα, καθώς και την κατάσταση του όζοντος της στρατόσφαιρας. Τα στοιχεία που συλλέγουν περνούν από επεξεργασία και μετατρέπονται σε εικόνες υψηλής ευκρίνειας. Σ' αυτές χρησιμοποιούνται διαφορετικά χρώματα, για να απεικονιστούν οι διαφορές μεταξύ των περιοχών και οι διακυμάνσεις που παρουσιάζει το κάθε υπό μέτρηση μέγεθος σ' αυτές.

1.7.3 Τύποι Δορυφόρων

Υπάρχουν τρεις τύποι δορυφόρων ανάλογα με την τροχιά την οποία ακολουθούν.

- Πολικής τροχιάς

Πολλά οχήματα τηλεπισκόπησης έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να ακολουθούν μια τροχιά (από βορρά προς νότο) η οποία σε συνδυασμό με την περιστροφή της Γης (δύση προς ανατολή) τους επιτρέπει να καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας της Γης, εντός συγκεκριμένης χρονικής περιόδου. Αυτές είναι οι λεγόμενες πολικές τροχιές εξαιτίας της κλίσεως της τροχιάς προς τη νοητή γραμμή που διατρέχει τη Γη μεταξύ Βόρειου και Νότιου πόλου.



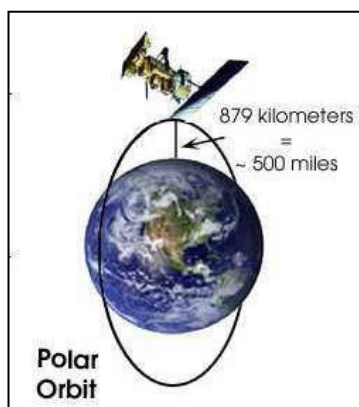
Εικόνα 1.3: Πολική τροχιά δορυφόρου

Πηγή: www.google.gr

Οι δορυφόροι που κινούνται μεταξύ των δύο πόλων της Γης και το επίπεδο της τροχιάς τους παρουσιάζει μεγάλη κλίση ως προς το επίπεδο του ισημερινού της Γης. Πολικές τροχιές έχουν πολλοί επιστημονικοί δορυφόροι όπως αυτοί που μας δείχνουν τα επίπεδα του όζοντος, την κατάσταση των δασών και τις καλλιέργειες. Επίσης πολικές τροχιές έχουν ορισμένοι μετεωρολογικοί αλλά και στρατιωτικοί δορυφόροι που μας δίνουν εικόνα της κίνησης των υποβρυχίων στους πόλους

- Γεωσύγχρονης τροχιάς

Οι γεωσύγχρονοι ή γεωστατικοί δορυφόροι βλέπουν συνεχώς το ίδιο μέρος της επιφάνειας της γης καθώς κινούνται σε συγχρονισμό με τον πλανήτη. Οι δορυφόροι αυτοί, σε υψόμετρο 36.000 χιλιομέτρων περίπου, περιστρέφονται με ταχύτητα αντίστοιχη της ταχύτητας περιστροφής της Γης, έτσι ώστε να φαίνονται ακίνητοι, σε σύγκριση με την επιφάνεια της Γης. Αυτό επιτρέπει στους δορυφόρους να παρατηρούν και να συγκεντρώνουν συνεχώς πληροφορίες πάνω από συγκεκριμένες περιοχές. Οι μετεωρολογικοί και οι τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι έχουν συνήθως αυτόν τον τύπο τροχιάς.



Εικόνα 1.4: Γεωσύγχρονη τροχιά δορυφόρου

Πηγή: www.google.gr

- Ηλιοσύγχρονης τροχιάς

Ο προσανατολισμός του τροχιακού επιπέδου είναι σχετικός με τον Ήλιο. Οι δορυφόροι καλύπτουν κάθε περιοχή της γης την ίδια τοπική ώρα της ημέρας, που ονομάζεται τοπική ώρα ήλιου.

1.7.4 Χαρακτηριστικά Δορυφόρων

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθούν και να αναλυθούν τα κυριότερα χαρακτηριστικά των δορυφόρων:

- Φασματική Διακριτική Ικανότητα

Οι περισσότερες έρευνες τηλεπισκόπησης βασίζονται στην ανάπτυξη μιας αιτιοκρατικής σχέσης ανάμεσα στην ποσότητα ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας που ανακλάται ή εκπέμπεται σε συγκεκριμένα κανάλια ή συχνότητες και στα χημικά, βιολογικά και φυσικά χαρακτηριστικά των υπό εξέταση φαινομένων (όπως π.χ. η φυτική κόμη σε καλλιέργειες καλαμποκιού). Η φασματική διακριτική ικανότητα (spectral resolution) αναφέρεται στον αριθμό και τη διάσταση (το μέγεθος) συγκεκριμένων διαστημάτων μήκους κύματος στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα (τα οποία αναφέρονται ως κανάλια ή ζώνες) στα οποία είναι ευαίσθητο ένα όργανο τηλεπισκόπησης.

- Χωρική Διακριτική Ικανότητα

Οι περισσότερες τηλεπισκοπικές μελέτες καταγράφουν τα χωρικά χαρακτηριστικά επίγειων αντικειμένων. Για παράδειγμα κάθε εικονοστοιχείο σε μια ψηφιακή τηλεπισκοπική εικόνα βρίσκεται σε ένα συγκεκριμένο σημείο της εικόνας και αντιστοιχεί σε συγκεκριμένες συντεταγμένες x, y στο έδαφος. Όταν αναχθεί η εικόνα σε ένα τυπικό χαρτογραφικό σύστημα προβολής, η χωρική πληροφορία που αντιστοιχεί σε κάθε εικονοστοιχείο έχει ιδιαίτερη αξία διότι καθιστά δυνατή τη χρήση της τηλεπισκοπικής πληροφορίας με άλλα χωρικά δεδομένα σε ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS) ή σε ένα χωρικό σύστημα λήψης αποφάσεων (SDSS).

Υπάρχει μία σχέση ανάμεσα στο μέγεθος του αντικειμένου ή της περιοχής που πρέπει να αναγνωρισθεί και στη χωρική διακριτική ικανότητα του τηλεπισκοπικού συστήματος. Η χωρική διακριτική ικανότητα είναι το μέτρο της μικρότερης γωνιακής ή γραμμικής απόστασης ανάμεσα σε δύο αντικείμενα που μπορεί να διακριθεί από το σύστημα τηλεπισκόπησης.

- Χρονική Διακριτική Ικανότητα

Μια από τις πιο σημαντικές δυνατότητες της τηλεπισκόπησης είναι η καταγραφή των τοπίων της Γης σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Πολλαπλές καταγραφές του ίδιου τοπίου με την πάροδο του χρόνου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό διεργασιών που βρίσκονται σε εξέλιξη και για προβλέψεις. Η χρονική διακριτική ικανότητα ενός συστήματος τηλεπισκόπησης αναφέρεται στο πόσο συχνά ο αισθητήρας καταγράφει εικόνες από μια συγκεκριμένη περιοχή. Σε ιδανικές συνθήκες, ο αισθητήρας καταγράφει δεδομένα κατ' επανάληψη προκειμένου να συλλάβει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του υπό διερεύνηση αντικειμένου.

Για παράδειγμα οι καλλιέργειες έχουν διαφορετικούς φαινολογικούς κύκλους σε κάθε γεωγραφική περιοχή. Για να μετρήσει κανείς συγκεκριμένες μεταβλητές καλλιεργειών, χρειάζεται να πάρει δεδομένα τηλεπισκόπησης σε κρίσιμα χρονικά σημεία του φαινολογικού κύκλου. Η ανάλυση διαχρονικών εικόνων παρέχει πληροφορίες σχετικά με το πώς αλλάζουν οι μεταβλητές με την πάροδο του χρόνου. Οι πληροφορίες μεταβολών διευκολύνουν την κατανόηση των διεργασιών που επηρεάζουν τα στάδια ανάπτυξης των καλλιεργειών.

1.8 Οι Δορυφόροι Landsat, Ikonos και QuickBird

1.8.1 Δορυφόρος Landsat

Η αρχική ονομασία του Δορυφορικού Τηλεπισκοπικού Προγράμματος Landsat ήταν ERTS (Earth Resources Technology Satellites της NASA). Ο πρώτος δορυφόρος Landsat εκτοξεύθηκε τον Ιούλιο του 1972 και διέθετε πολυφασματικό ανιχνευτή (MSS) με διακριτική ικανότητα 80 μέτρων ενώ είχε 4 φασματικά κανάλια.

Οι πρώτες πληροφορίες που καταγράφηκαν, παρείχαν πληροφορίες ανυπολόγιστης αξίας λόγω της μοναδικότητάς τους. Τον Ιούλιο του 1982, η εκτόξευση του δορυφόρου Landsat 4 ήταν πραγματικότητα, με αισθητήρα Thematic Mapper (TM) που πλέον είχε διακριτική ικανότητα 30 μέτρων και 7 φασματικά κανάλια. Αυτά τα χαρακτηριστικά φέρει και ο Landsat 5 που βρίσκεται ακόμη σε λειτουργία. Ο νεότερος δορυφόρος της οικογένειας είναι ο Landsat 7 που εκτοξεύθηκε στις 15 Απριλίου 1999. Η καινοτομία αυτού του δορυφόρου σε σχέση με τις προηγούμενες γενιές είναι ο νέος ενισχυμένος αισθητήρας. Αυτός ο αισθητήρας έχει τα ίδια 7 φασματικά κανάλια με τον προκάτοχό του αλλά έχει μια προστιθέμενη παγχρωματική ζώνη, με διακριτική ικανότητα στη θερμική ζώνη με ανάλυση στα 60 μέτρα.

Οι τηλεπισκοπικοί δέκτες των δορυφόρων Landsat 1 έως Landsat 7 και συγκεκριμένα οι:

- Return Beam Vidicon (RBV), Landsat 1, 2 και 3
- Multi Spectral Scanner (MSS), Landsat 1, 2, 3, 4 και 5
- Thematic Mapper TM ή Enhanced TM (ETM), Landsat 4, 5, 6, και 7

δίνουν ψηφιακές τηλεπισκοπικές απεικονίσεις οι οποίες καταγράφουν πολύτιμα στοιχεία για εξαγωγή απειρίας ποιοτικών και μετρητικών πληροφοριών για τη φυσική και την κοινωνικοοικονομική πραγματικότητα του πλανήτη μας, αλλά και για τις πολυδιάστατες διαλεκτικές σχέσεις, αλληλεξαρτήσεις και αλληλεπιδράσεις τους και τις τάσεις μεταβολών τους δια μέσου του χρόνου.

Όλοι οι δορυφόροι Landsat είναι προγραμματισμένοι να διασχίζουν τον Ισημερινό στις 9:45π.μ., αφού αυτή την ώρα η ατμόσφαιρα παρουσιάζει τη μεγαλύτερη διαύγεια, ενώ η ηλιοσύγχρονη τροχιά των δορυφόρων εξασφαλίζει ιδανικές συνθήκες φωτισμού. Ο δορυφόρος Landsat 7 χρειάζεται 16 ημέρες για μία πλήρη κάλυψη της γης σε ύψος 70km.

LANDSAT 7	ΕΙΔΟΣ	Πανγχρωματικό	Πολυφασματικό
	ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ	15m	30m
	ΚΑΝΑΛΙΑ	1	6 (κόκκινο, πράσινο, μπλε, εγγύς υπέρυθρο, μέσο υπέρυθρο, θερμικό υπέρυθρο)

Πίνακας 1.1: Χαρακτηριστικά του δορυφόρου Landsat 7

Οι Landsat τηλεπισκοπικές απεικονίσεις αξιοποιούνται σε πληθώρα εφαρμογών όπως π.χ. η διερεύνηση, απογραφή, χαρτογράφηση και παρακολούθηση των φυσικών και ανθρωπίνων διαθεσίμων, των χρήσεων/καλύψεων γης, του χαρακτήρα, της κατάστασης και της ποιότητας του φυσικού Περιβάλλοντος κ.λπ.

Με τη βοήθεια των αναλογικών και των ψηφιακών μεθόδων και τεχνικών της Φωτοερμηνείας-Τηλεπισκόπησης και τους αντίστοιχους εξοπλισμούς, οι ψηφιακές τηλεπισκοπικές απεικονίσεις Landsat παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες στα πεδία της Τοπογραφίας, Γεωγραφίας, Γεωλογίας, Υδρογεωλογίας, Δασολογίας, Γεωπονίας, Χωροταξίας, Πολεοδομίας, Προστασίας του Περιβάλλοντος κ.λπ. και υποστηρίζουν με αξιοπιστία και πληρότητα τους σχεδιασμούς, τις μελέτες και τα έργα Ανάπτυξης και Προστασίας του περιβάλλοντος σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο.

1.8.2 Δορυφόρος Ikonos

Από την έναρξη λειτουργίας του τον Σεπτέμβριο του 1999, ο δορυφόρος Ikonos (το όνομα του οποίου προέρχεται από την ελληνική λέξη «εικόνα») της εταιρείας GeoEye, έχει παράσχει πλούσιο υλικό από εικόνες υψηλής ευκρίνειας αποτελώντας τον πρώτο δορυφόρο που λάμβανε εμπορικά διαθέσιμα δεδομένα ανάλυσης 1m.

Λόγω της υψηλής διακριτικής ικανότητας (1m στα παγχρωματικά, 4m στα πολυφασματικά), και της παραγγελίας με βάση το πολύγωνο ενδιαφέροντος, τα δεδομένα Ikonos μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πλήθος εφαρμογών. Επίσης,

υπάρχει η δυνατότητα να συνδυαστούν τα παγχρωματικά με τα πολυφασματικά δεδομένα, δίνοντας έτσι έγχρωμα δεδομένα διακριτικής ικανότητας 1m.

Σε περίπτωση που οι υφιστάμενες λήψεις δεν ικανοποιούν τις ανάγκες και επιθυμίες του χρήστη, μπορεί να πραγματοποιηθεί προγραμματισμός του δορυφόρου, βάσει παραμέτρων που καθορίζονται με την βοήθεια του χρήστη. Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατή η προμήθεια δεδομένων τόσο πρόσφατων ώστε να απεικονίζουν την σημερινή πραγματικότητα. Επιπλέον, λόγω της δυνατότητας λήψης στερεοζευγών εντός τροχιάς, είναι δυνατή η επεξεργασία και παραγωγή DEM (ψηφιακά υψομετρικά μοντέλα) και άρα εξαγωγή πληροφορίας στην τρίτη διάσταση, με ανάλυση και ακρίβειες πρωτοποριακές για τον χώρο των δορυφορικών δεδομένων.

Ο δορυφόρος Ikonos εκτοξεύθηκε το 1999 και ζυγίζει περίπου 725 κιλά. Χρειάζεται 98 λεπτά για να περιστραφεί γύρω από τη γη από το υψόμετρο των 680 χιλιομέτρων. Στον πίνακα 1.2 που ακολουθεί παρουσιάζονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά του δορυφόρου Ikonos.

ΙΚΟΝΟΣ	ΕΙΔΟΣ	Πανχρωματικό	Πολυφασματικό
	ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ	1m	4m
	ΚΑΝΑΛΙΑ	1	4 (κόκκινο, πράσινο, μπλε και εγγύς υπέρυθρο)

Πίνακας 1.2: Χαρακτηριστικά δορυφόρου Ikonos.

1.8.3 Δορυφόρος QuickBird

Ο δορυφόρος QuickBird εκτοξεύθηκε τον Οκτώβριο του 2001 και είναι το πρώτο της σκάφος που ανέπτυξε η DigitalGlobe που είναι σε θέση να προσφέρει εμπορικές δορυφορικές εικόνες της Γης υψηλής ευκρίνειας και ακρίβειας. Η συλλογή των παγχρωματικών και πολυφασματικών εικόνων έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να υποστηρίζει διάφορες εφαρμογές που κυμαίνονται από την έκδοση χαρτών, τη

διαχείριση των γήινων πόρων, την αξιολόγηση του ασφαλιστικού κινδύνου καθώς και για πολλές άλλες.

Τα δεδομένα QuickBird προσφέρονται σε δύο διαφορετικές μορφές:

- Basic όπου τα δεδομένα είναι σε πρωτογενή μορφή συνοδευόμενα από RPC και εφημερίδες και
- Standard όπου τα δεδομένα παραδίδονται με βάση το πολύγωνο ενδιαφέροντος (μονάδα μέτρησης τετρ. χλμ.) συνοδευόμενα από RPC.

Για τα δεδομένα Standard, υπάρχει η δυνατότητα συνδυασμού των παγχρωματικών και πολυφασματικών δεδομένων, παράγοντας έτσι έγχρωμα δεδομένα διακριτικής ικανότητας 0,6 ή 0,7m, ανάλογα την επιλογή του χρήστη. Τα δεδομένα Standard προσφέρονται και σε μορφή Standard Orthoready, όπου κατά την επεξεργασία δεν έχει χρησιμοποιηθεί Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους, και άρα είναι ιδανικά για περαιτέρω επεξεργασία ορθοαναγωγής.

Σήμερα ο QuickBird είναι ικανός να προσφέρει εικόνες ανάλυσης μισού μέτρου, με πολύ καλή γεωαναφορά και με μεγάλη χωρητικότητα όσο αφορά την αποθήκευση στοιχείων στο σκάφος για μετέπειτα μετάδοση τους στους επίγειους σταθμούς.

Στον πίνακα 1.3 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά τα πλεονεκτήματα του δορυφόρου QuickBird.

QUICKBIRD	ΕΙΔΟΣ	Πανγχρωματικό	Πολυφασματικό
	ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ	0,61m	2,5m
	ΚΑΝΑΛΙΑ	1	4 (κόκκινο, πράσινο, μπλε και εγγύς υπέρυθρο)

Πίνακας 1.3: Χαρακτηριστικά δορυφόρου QuickBird.

Οι εικόνες του QuickBird έχουν χρησιμοποιηθεί σε μία πληθώρα εφαρμογών σε διάφορα επιστημονικά πεδία όπως η αρχαιολογία, η γεωργία, κτηματολόγιο, διαχείριση παράκτιων περιοχών, χαρτογράφηση για στρατιωτικούς σκοπούς, κατασκευές, παρακολούθηση του περιβάλλοντος, δασοκομία, μελέτη φαινομένου θερμοκηπίου, θέματα ασφάλειας σε πόλεις, αντιμετώπιση ανεμοστρόβιλων, μελέτη εδαφοκαλύψεων και ανίχνευση μεταβολών σε αυτές, ανάπτυξη του περιβάλλοντος, εφαρμογές σε λατομεία, μελέτη φυσικών καταστροφών, κατασκευή δικτύων ύδρευσης και άρδευσης, διατήρηση της άγριας και παράκτιας ζωής αλλά και σε μη επιστημονικούς τομείς όπως ο τουρισμός.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο: ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

2.1 Φυσικές καταστροφές

Το σύνολο των καταστροφών μπορεί να οφείλονται σε φυσικά ή ανθρωπογενή αίτια. Σεισμοί, τσουνάμι, κατολισθήσεις, τροπικοί κυκλώνες, καταιγίδες οφείλονται σε φυσικά αίτια ενώ οι τοξικές ή πετρελαϊκές διαρροές, εσκεμμένες ή τυχαίες, αποδίδονται στην ανθρώπινη δραστηριότητα. Όλα αυτά όμως εκθέτουν τους ανθρώπους, τα οικοσυστήματα, τη γλωρίδα και την πανίδα σε κίνδυνο.

Ο Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών, το 1992, όρισε τις φυσικές καταστροφές ως «σοβαρές διαταραχές στην λειτουργία της κοινωνίας, οι οποίες προκαλούν εκτεταμένες ανθρώπινες, υλικές ή περιβαλλοντικές απώλειες που υπερβαίνουν την ικανότητα της κοινωνίας να τις αντιμετωπίσει με ίδιους πόρους» (*UN-DHA, 1992, Internationally Agreed Glossary of Basic Terms Related to Disaster Management*).

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (*WHO - World Health Organization*) και το Κέντρο Ερευνών για την Επιδημιολογία των Καταστροφών (*CRED - Centre for Research on the Epidemiology of Disasters*) διακρίνει πέντε μεγάλες κατηγορίες φυσικών καταστροφών:

- Γεωφυσικές: σεισμοί, εκρήξεις ηφαιστείων και μαζικές κινήσεις της γης (κατολισθήσεις, καθιζήσεις)
- Υδρολογικές: προέρχονται από αποκλίσεις κατά τον συνήθη κύκλο του νερού και/ή από την υπερχείλιση των υδατικών συστημάτων από τον άνεμο όπως πλημμύρες.
- Μετεωρολογικές: προκαλούνται από βραχυπρόθεσμες έως και μεσοπρόθεσμες ατμοσφαιρικές διεργασίες (οι διεργασίες αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν ένα φάσμα λίγων λεπτών έως και ημερών) όπως καταιγίδες, θύελλες, τροπικούς κυκλώνες.
- Κλιματολογικές: προκαλούνται από μακροπρόθεσμες διεργασίες (σε φάσμα ενδό-εποχιακό έως και χρόνιων διακυμάνσεων του κλίματος) όπως είναι οι ακραίες θερμοκρασίες (υψηλές-χαμηλές), ξηρασίες, πυρκαγιές.

- Βιολογικές: προκαλούνται από την έκθεση των ζώντων οργανισμών σε μικρόβια ή τοξικές ουσίες όπως οι επιδημίες.

Να σημειωθεί ότι το EM-DAT (The International Disaster Database), σε πρόσφατη μελέτη των μεγαλύτερων φυσικών καταστροφών από το 1900 έως και το 2010, κατατάσσει την Ελλάδα ανάμεσα στις δέκα χώρες που υπέστησαν τις πιο καταστροφικές πυρκαγιές.

2.2 Υδρολογικοί Κίνδυνοι

Υδρολογικοί κίνδυνοι καλούνται οι κίνδυνοι από ακραία υδρολογικά φαινόμενα και κυρίως εκείνοι που σχετίζονται με την υπέρμετρη παρουσία του υδάτινου στοιχείου στα ποτάμια ή ρεύματα και που δυνητικά οδηγεί σε (υδρολογικές) πλημμύρες. Η αντιθέτως ακραία έκφανση, δηλαδή η αξιοσημείωτη μείωση των υδάτινων αποθεμάτων στα ποτάμια συστήματα (καθώς και στους υπόγειους υδροφορείς και στις λίμνες ή άλλους ταμιευτήρες) φέρνει στο προσκήνιο τον κίνδυνο της ξηρασίας.

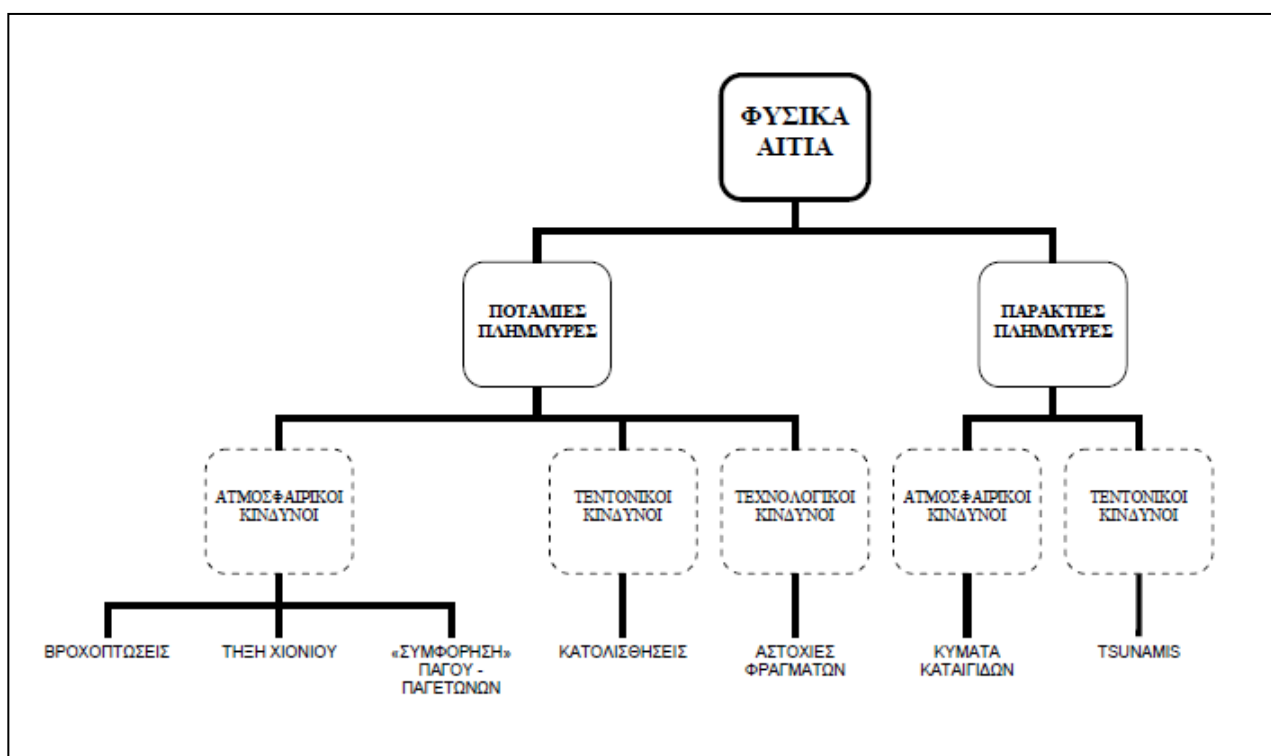
Το ερευνητικό ενδιαφέρον αυτής της εργασίας επικεντρώνεται σε καταστροφικά επεισόδια ραγδαίας εκδήλωσης παρατεταμένων βροχοπτώσεων, θυελλών ή καταγίδων.

2.3 Πλημμύρες

Οι πλημμύρες στη βιβλιογραφία αναφέρονται ως οι κίνδυνοι οι οποίοι επηρεάζουν περισσότερους ανθρώπους και επιφέρουν μεγαλύτερες οικονομικές συνέπειες, από κάθε άλλο φυσικό κίνδυνο και αυτό γιατί αποτελούν τους πλέον «κοινούς» κινδύνους, δεδομένης της εκτεταμένης γεωγραφικής διασποράς των ποτάμιων συστημάτων.

Οι πλημμύρες προκαλούνται από τις παρατεταμένες βροχοπτώσεις μίας θύελλας ή μίας καταιγίδας, από την γρήγορη τήξη των μεγάλων ποσοτήτων χιονιού, από ποταμούς οι οποίοι εξαιτίας μεγάλων βροχοπτώσεων στις πηγές τους ξεχειλίζουν και προκαλούν ζημιές στις παρακείμενες περιοχές, ή σπανιότερα από την κατάρρευση φραγμάτων και αναχωμάτων κατασκευασμένων από τον άνθρωπο.

Εν γένει, οι πλημμύρες αναδύονται στη βάση πολλών παραγόντων. 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 σχήμα 2.1 που ακολουθεί.



Σχήμα 2.1: Φυσικά αίτια για πλημμυρικά φαινόμενα

Πηγή: Smith K. (2004). «Environmental Hazards: Assessing Risk and Reducing Disaster»

Όσον αφορά στις ποτάμιες πλημμύρες, οι οποίες και θα εξεταστούν σε αυτήν την εργασία ο Ward (1978) αναδεικνύει ως κυρίαρχες αιτίες εμφάνισής τους, τους εξωγενείς κλιματικούς παράγοντες και ως δευτερεύουσες, εκείνες που συνδέονται με τα χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής.

Ως ποτάμια πλημμύρα λοιπόν θεωρείται η κατάσταση κατά την οποία η αποφόρτιση 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).

Συνήθως, εκτός περιπτώσεων όπου οι ποτάμιοι κλάδοι ρέουν σε ορεινό περιβάλλον, όταν οι κοίτες των ποταμών πλημμυρίζουν, εκατέρωθέν τους σχηματίζονται εκτάσεις ήπιου αναγλύφου, από τις αποθέσεις που επικάθονται, γνωστές ως πεδιάδες κατάκλυσης ή πεδιάδες υπερχειλίσης. Αυτές οι πεδιάδες κατακλύζονται εντελώς μόνο σε μείζονες πλημμύρες, ενώ σε επεισόδια μικρότερης έντασης και μεγαλύτερης συχνότητας, μόνο ένα τμήμα τους καλύπτεται από νερό. Πάντως, εν γένει, το εύρος αυτών των πεδιάδων εξαρτάται από τις τιμές της επιφανειακής αποφόρτισης του ποταμού (Lewin, 1978).

2.4 Κατηγορίες πλημμυρών

Οι πλημμύρες διακρίνονται σε δύο ειδών: αυτές στα ανάντη (upstream floods) και αυτές στα κατάντη (downstream flooding). Παρακάτω ακολουθεί μία σύντομη παρουσίαση των δύο προαναφερθέντων ειδών πλημμυρών.

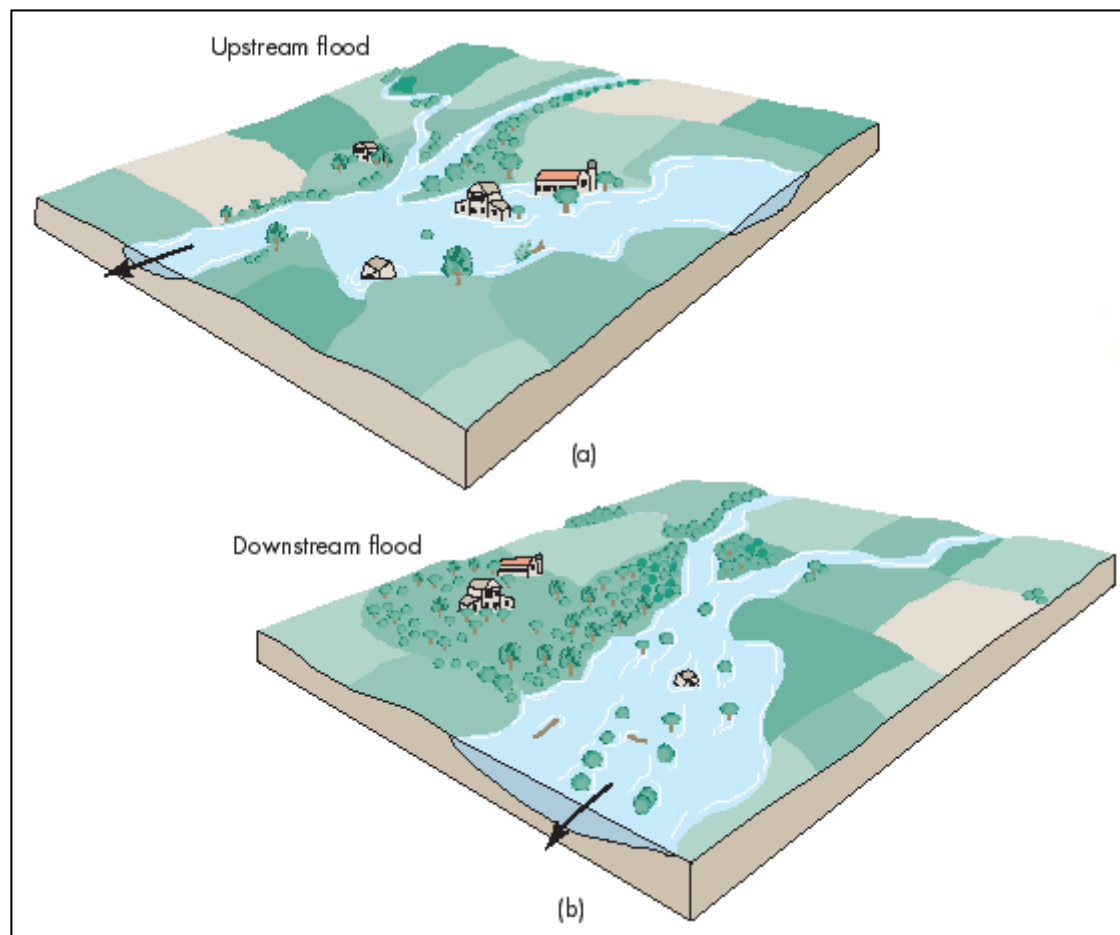
- Πλημμύρες στα ανάντη και αστραπιαίες πλημμύρες.

Οι πλημμύρες στα ανάντη συμβαίνουν στα υψηλά τμήματα της αποστράγγισης και γενικά είναι το αποτέλεσμα έντονων βροχοπτώσεων μικρής διάρκειας πάνω από μια σχετικά μικρή περιοχή. Παρόλο που οι πλημμύρες μπορεί να είναι εντονότερες πάνω από την περιοχή αυτή, γενικά, δεν προκαλούνται από τα μεγαλύτερα ρεύματα με τα οποία ενώνονται. Αστραπιαίες πλημμύρες (flash floods) συμβαίνουν όταν λαμβάνουν χώρα ισχυρές βροχοπτώσεις σε μικρό χρονικό διάστημα και η διηθητική τους ικανότητα είναι χαμηλή. Οι πλημμύρες αυτές είναι σύνηθες σε ξηρά και ημίξηρα περιβάλλοντα, σε περιοχές με απότομη τοπογραφία, φτωχή βλάστηση και συνεχόμενες ρωγμές, φράγματα και αναχώματα. Παρόλο που οι προς τα ανάντη πλημμύρες δεν προκαλούν γενικά πλημμύρες στα μεγαλύτερα ρεύματα, συμμετέχουν ωστόσο στη δημιουργία των προς τα κατάντη πλημμυρών. Οι πλημμύρες αυτές, εξαιτίας του γεγονότος ότι έρχονται χωρίς προειδοποίηση είναι οι πιο επικίνδυνες για τις ανθρώπινες ζωές.

- Πλημμύρες στα κατάντη.

Οι πλημμύρες στα κατάντη καλύπτουν μία ευρεία περιοχή. Συνήθως είναι το αποτέλεσμα μακράς διάρκειας καταιγίδων οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα τον

κορεσμό του εδάφους σε νερό και την αυξημένη επιφανειακή απορροή. Οι χρόνοι καθυστέρησης είναι συνήθως μεγαλύτεροι καθώς τα μικρότερα ρέματα αυξάνουν συνεχώς την παροχή στα μεγαλύτερα. Οι πλημμύρες αυτές εκτείνονται σε μεγάλες χρονικές περιόδους και επηρεάζουν τα μεγαλύτερα ρέματα όσο και τα μικρότερα. Μια πλημμύρα αυτού του τύπου χαρακτηρίζεται από την κίνηση του νερού προς τα κατάντη με μεγάλη αυξομείωση της παροχής σε συγκεκριμένες τοποθεσίες (Σχήμα 2.2).



Σχήμα 2.2: Εξιδανικευμένο διάγραμμα που συγκρίνει τις προς τα ανάντη και προς τα κατάντη πλημμύρες.

Πηγή: Smith K. (2004). «Environmental Hazards: Assessing Risk and Reducing Disaster»

2.5 Τηλεπισκόπηση και πλημμυρικά συμβάντα

Οι κίνδυνοι υδρολογικής φύσεως, όταν εξετάζονται υπό το πρίσμα των μεθόδων και τεχνικών τηλεπισκόπησης, σχετίζονται σχεδόν άρρηκτα μεταξύ τους, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις όπου το ενδιαφέρον εστιάζεται στις σφοδρές καταγίδες οι οποίες, εκτός

άλλων, συνοδεύονται από υψηλά ποσά κατακρημνισμάτων τα οποία δυνητικά συντελούν σε μια από τις παραμέτρους πρόκλησης υδρολογικής φύσεως πλημμυρών. Οι ποτάμιες πλημμύρες συνιστούν ένα πολύ διαδεδομένο κίνδυνο, πλήττοντας με καταστροφικές συνέπειες, ένα μεγάλο αριθμό ανθρώπων. Τα φυσικά αίτια που προκαλούν αυτήν την υπερχείλιση της κοίτης και την κατάκλυση των πεδιάδων κατάκλυσης όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα άπτονται τόσο των κλιματικών και ατμοσφαιρικών συνθηκών, όσο και των μορφολογικών και εδαφολογικών χαρακτηριστικών της επιφάνειας της γης, εντός των αποστραγγιστικών λεκανών. Επομένως, τόσο η πρόγνωση της βροχόπτωσης μέσω της παρατήρησης της ατμόσφαιρας όσο και η ανάπτυξη μοντέλων κατάκλυσης, βάσει της μορφολογίας, της σύστασης του εδάφους και των συνθηκών της επιφανείας του, εντός των εκάστοτε λεκανών απορροής μπορούν να επιφέρουν μια οδό ευέλικτης και έγκαιρης πρόγνωσης του φαινομένου, αποτίμησης και άμβλυνσης των επιπτώσεων του σε περιοχές οι οποίες πλήττονται ή μέλουν να απειληθούν από τέτοια επεισόδια. Κάτι τέτοιο μπορεί να επιτευχθεί μέσα από τα συστήματα παρακολούθησης και παρατήρησης της γης και τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.).

Πολλοί επιστήμονες πιστοποιούν με σχετικές διατυπώσεις τους ότι τα συστήματα παρακολούθησης της γης σε συνδυασμό με τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών συμβάλλουν στην επιτυχή διαχείριση των πλημμυρικών επεισοδίων, εμπερικλείοντας την αξιοποίηση μοντέλων τόσο πρόγνωσης της βροχόπτωσης-επιφανειακής απορροής, όσο και επιφανειακής κατάκλυσης λαμβάνοντας ως δεδομένα εισροής χωρικές πληροφορίες (της γήινης επιφάνειας). Στη διττή αυτή προσπάθεια, τα εισαγόμενα δεδομένα μπορούν να διακριθούν σε δύο γενικές κατηγορίες α) στα δεδομένα εικόνων και β) στα τοπογραφικά δεδομένα, ενώ χρησιμοποιείται μια πληθώρα τεχνικών αξιοποίησής τους.

Όσον αφορά στα πρώτα δεδομένα, η διεθνής βιβλιογραφία έχει δείξει πως οι απεικονίσεις Radar εξυπηρετούν, εν γένει, καλύτερα τις επιδιώξεις του εντοπισμού της εξάπλωσης μιας πλημμύρας λόγω της δυνατότητάς τους να εισχωρούν μέσα από τα φυλλώματα κορυφής δένδρων σε δασικές περιοχές, ενώ η «αδυναμία» διείσδυσης των οπτικών συστημάτων τηλεπισκόπησης σε περιοχές με πυκνά φυλλώματα, αναστέλλει το δυναμικό εντοπισμού υγροτόπων και πλημμυρισμένων εκτάσεων.

Αξίζει να σημειωθεί ότι σε περιπτώσεις κατά τις οποίες η περιοχή μελέτης δεν «επικαλύπτεται» από πυκνή βλάστηση, και οι ατμοσφαιρικές συνθήκες δεν παρακωλύουν την λήψη εικόνων από παθητικά οπτικά συστήματα, τα τελευταία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές όπου απαιτείται η απόδοση υδρολογικής πληροφόρησης σε ποτάμια περιβάλλοντα, προκειμένου να σκιαγραφηθεί η έκταση της κατάκλυσης κατά την διάρκεια μιας πλημμύρας.

Μια πολύ σημαντική παράμετρος όσον αφορά στην πρόγνωση και την έγκαιρη προειδοποίηση πλημμυρών αποτελεί η εκτίμηση της βροχόπτωσης. Η δημιουργία μοντέλων βροχόπτωσης - απορροής αποτελεί σημαντικό βήμα και απαιτεί εις βάθος έρευνα προκειμένου να αναπτυχθούν ορθολογικά και αξιόπιστα μοντέλα. Επομένως, η διαδικασία της πρόγνωσης ή προεκτίμησης ενέχει μια αλυσίδα μοντέλων και εκτιμήσεων, που πολλές φορές μπορούν να υποστηριχθούν αν οι αρχικές εκτιμήσεις της βροχόπτωσης προκύψουν από λήψεις μετεωρολογικών δορυφόρων radar σε συνδυασμό με μετρήσεις από επίγεια βροχόμετρα, των οποίων οι εκροές γενικεύονται και επεκτείνονται αν υποστηριχθούν από αριθμητικά μοντέλα πρόβλεψης του καιρού. Τα παραπάνω, στο σύνολό τους, προσφέρουν μια νέα ευκαιρία ώστε να υπερπηδηθούν τα σημαντικά προβλήματα της εκτίμησης της βροχόπτωσης στον χώρο.

Συμπεραίνεται λοιπόν ότι τόσο τα διάφορα προγνωστικά μοντέλα, όσο και τα παραγόμενα (απεικονίσεις, χάρτες κ.α.) που προκύπτουν από τα συμβάντα παρελθόντων καταστροφών, υπό κατάλληλες προϋποθέσεις δυνητικά συμβάλλουν στον βελτιωμένο σχεδιασμό, έχοντας ως απώτερο στόχο τη μείωση της διακινδύνευσης. Οι απεικονίσεις και τα εξαγόμενα αυτών μπορούν να προσφέρουν ενημέρωση - επικαιροποίηση αν ενταχθούν σε ΓΣΠ και συνδυαστούν με μια υφισταμένη πληροφοριακή βάση η οποία είτε αναφέρεται στην τοπογραφία/υδρογραφία (αρχεία μοντέλων εδάφους, DEMs, DTMs, αρχεία κλίσεων, υδρογραφικής συχνότητα και πυκνότητας κ.α.) και με αρχεία που αφορούν στις καλύψεις/χρήσεις γης και στις διάφορες ιδιότητές τους οι οποίες επηρεάζουν σημαντικά τον τρόπο εξέλιξης φαινομένων υδρολογικής φύσης.

2.6 Ανίχνευση μεταβολών επί τηλεπισκοπικών απεικονίσεων

Οι πλημμύρες, όπως έχει αναφερθεί και στα προηγούμενα, συνιστούν ένα ακραίο φυσικό φαινόμενο το οποίο λαμβάνει χώρα σε περιπτώσεις που οι παροχές ύδατος σε έναν ποτάμιο κλάδο ή σύστημα αυξάνουν κατά πολύ με αποτέλεσμα να καθίσταται αδύνατη η αποφόρτισή τους διαμέσου των κοιτών τους και μόνο. Συνεπώς, η εμφάνιση πλημμυρικών επεισοδίων αποτελεί αντικείμενο που χρήζει διερεύνησης και συνεχούς παρακολούθησης. Τα τηλεπισκοπικά συστήματα παρατήρησης - παρακολούθησης της Γης μπορούν να συμβάλλουν τα μέγιστα, εφόσον υλοποιηθούν τεχνικές ανίχνευσης μεταβολών (*change detection techniques*), επί τηλεπισκοπικών απεικονίσεων της εν λόγω περιοχής που έχουν ληφθεί σε διαφορετικές χρονικές στιγμές.

Εν γένει, η ανίχνευση μεταβολών συνιστά μια διαδικασία κατά την οποία η παρατήρηση - παρακολούθηση ενός αντικειμένου ή φαινομένου σε διαφορετικές χρονικές στιγμές αποκαλύπτει ενδεχόμενες διαφοροποιήσεις στην κατάσταση του. Στην τηλεπισκόπηση, η ψηφιακή ανίχνευση μεταβολών συμπεριλαμβάνει την ποσοτικοποίηση αυτών των διαφοροποιήσεων με την αξιοποίηση διαχρονικών εικόνων, συνηθέστερα αποκτούμενες από δορυφορικούς πολυφασματικούς σαρωτές.

Η επιτυχής υλοποίηση της διαδικασίας της ψηφιακής ανίχνευσης μεταβολών ανακύπτει μέσα από την διαδοχή ορισμένων βημάτων:

- Σαφής καθορισμός του προβλήματος.
- Περιγραφή της προς εξέταση περιοχής υπό την βοήθεια μιας αναγνώρισης θεματικών κλάσεων (μέσω προϋπάρχοντος συστήματος ταξινόμησης, ή μέσω ίδιας ταξινόμησης πρωτογενούς εικόνας της περιοχής).
- Εξέταση σημαντικών παραμέτρων.

Οι παράμετροι αφορούν τόσο σε θέματα που άπτονται των συστημάτων τηλεπισκόπησης και των χαρακτηριστικών τους, αλλά και σε έννοιες που αφορούν τα χαρακτηριστικά και τις συνθήκες του ευρύτερου περιβάλλοντος. Οι χρονικές, χωρικές, φασματικές και ραδιομετρικές διακριτικές ικανότητες των συστημάτων τηλεπισκόπησης, όσο και οι μείζονος σημασίας περιβαλλοντικοί παράγοντες, δηλαδή

οι συνθήκες φωτισμού, οι ατμοσφαιρικές συνθήκες, η υγρασία του εδάφους και τα χαρακτηριστικά του φαινολογικού κύκλου συνιστούν τέτοιες παραμέτρους.

- Απόκτηση κατάλληλων δεδομένων.

Οι εικόνες θα πρέπει να διακρίνονται από τις ίδιες χωρικές, φασματικές και ραδιομετρικές διακριτικές αναλύσεις και να έχουν ληφθεί κατά το ίδιο στάδιο του φαινολογικού κύκλου, και υπό τις ίδιες συνθήκες φωτισμού (ώρα ημέρας, συνθήκες νεφοκάλυψης, γωνία λήψης κ.α.).

- Επεξεργασία τηλεπισκοπικών δεδομένων (μέσω διαφόρων προγραμμάτων όπως το ArcGis, το ERDAS, το ENVI κτλ).
- Γεωμετρική και ραδιομετρική διόρθωση.
- Εξαγωγή πληροφοριών υφιστάμενων μεταβολών.
- Ανάλυση και έλεγχος της ποιότητας των αποτελεσμάτων.

Αποτελεί το προτελευταίο στάδιο και αφορά στην αξιοπιστία των παραγόμενων, πριν από της παρουσίαση και διανομή των αποτελεσμάτων είτε σε ψηφιακή είτε σε αναλογική μορφή, δηλαδή σε έκτυπο.

2.7 Επισκόπηση τεχνικών ψηφιακής ανίχνευσης μεταβολών

Η συνδυασμένη ανάλυση δυο εικόνων που έχουν ληφθεί σε διαφορετικές χρονικές στιγμές δύναται να προάγει τις συνολικές μεταξύ τους διαχρονικές διαφοροποιήσεις. Ζωτικής σημασίας προϋπόθεση για τη διενέργεια ανίχνευσης μεταβολών στην τηλεπισκόπηση συνιστά η απόδοση των μεταβολών αντικειμένων ή εμφανίσεων ενδιαφέροντος διαμέσου της μεταβολής των τιμών ανακλαστικότητας τους, ή της τοπικής τους υψής, σαφώς διακρινόμενες έναντι αλλαγών και διαφοροποιήσεων στις ατμοσφαιρικές συνθήκες, στον φωτισμό και στις γωνίες θέασης, καθώς και στην υγρασία του εδάφους (*Deer, 1995*).

Καίριο ζήτημα που εγείρεται λοιπόν αφορά στην ανάδειξη και ποσοτικοποίηση των αλλαγών που αναφέρονται επί προεπιλεγμένων οντοτήτων ή εμφανίσεων, δηλαδή επί εκείνων που για κάποιον συγκεκριμένο λόγο παρουσιάζουν συγκεκριμένο ενδιαφέρον για κάποιον ερευνητή ή αναλυτή εικόνας.

Σε αυτό το σημείο, χρήσιμος είναι ένας διαχωρισμός για τον όρο «μεταβολή» ώστε να αποφευχθεί ενδεχόμενη σύγχυση. Πρακτικά, ο γενικός όρος μεταβολή ενός αντικειμένου ενδιαφέροντος «υποδιαιρείται» στις επιμέρους κατηγορίες: σημαντικές ή ουσιαστικές μεταβολές και μεταβολές ειδικού ενδιαφέροντος. Μεταξύ των οποίων υπάρχει μια ουσιαστική διαφορά:

- Ως σημαντική μεταβολή εννοείται κάθε μεταβολή στην υπόσταση της κάλυψης γης (λ.χ. η μετατροπή ενός χωματόδρομου σε ασφαλτοστρωμένο).
- Ως μεταβολή ειδικού ενδιαφέροντος εννοείται κάθε μεταβολή (στην κάλυψη γης, η οποία επιπλέον εμπίπτει στα ενδιαφέροντα και στις ιδιαίτερες επιδιώξεις της εφαρμογής.

Καμία τεχνική ανίχνευσης μεταβολών δεν είναι άριστη για όλες τις εφαρμογές. Από την άλλη, ο τρόπος υλοποίησης της εκάστοτε τεχνικής επίσης επιφέρει αντίστοιχα ορθά και ακριβή ή όχι αποτελέσματα. Επομένως, η επιλογή της πλέον κατάλληλης τεχνικής ή αλγορίθμου ψηφιακής ανίχνευσης μεταβολών, πάντοτε σε συσχέτιση με τα διαθέσιμα αρχικά δεδομένα, το σύστημα επεξεργασίας εικόνας (υλικοτεχνικά μέρη και λογισμικό) και τις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής, την εξοικείωση του αναλυτή με το εν λόγω λογισμικό κ.α., είναι πολύ σημαντική, όχι όμως πάντοτε εύκολη και ευχερής.

Στα επόμενα υποκεφάλαια παρουσιάζονται οι κυριότερες κατηγορίες τεχνικών - αλγορίθμων ανίχνευσης μεταβολών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Τα βήματα που ακολουθούνται στην φωτογραμμετρική – τηλεπισκοπική διαδικασία είναι τα ακόλουθα:

- 1) Προεπεξεργασία δορυφορικών δεδομένων
 - Ατμοσφαιρική διόρθωση
 - Γεωμετρική διόρθωση
 - Ραδιομετρική διόρθωση
 - Βελτίωση εικόνας
- 2) Ανάλυση των κύριων συνιστωσών (προαιρετικό στάδιο)
- 3) Ανάλυση ανεξάρτητων συνιστωσών (προαιρετικό στάδιο)
- 4) Ταξινόμηση
 - Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση
 - Επιβλεπόμενη ταξινόμηση

3.1 Προεπεξεργασία δορυφορικών δεδομένων

Η προεπεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων προηγείται της ανάλυσής τους και της εξαγωγής της πληροφορίας και σκοπός της είναι η μείωση του θορύβου ή ο εμπλουτισμός κάποιας όψης των δεδομένων. Οι κυριότερες διορθώσεις που πραγματοποιούνται στα δεδομένα είναι οι ατμοσφαιρικές, οι γεωμετρικές και οι ραδιομετρικές.

3.1.1 Ατμοσφαιρική διόρθωση

Η ακτινοβολία που χρησιμοποιείται στην τηλεπισκόπηση πριν από την επαφή της με την επιφάνεια της γης διανύει μία μεγάλη απόσταση μέσα στην ατμόσφαιρα. Όπως γνωρίζουμε στην ατμόσφαιρα υπάρχουν σωματίδια και αέρια τα οποία επηρεάζουν την ακτινοβολία μέσω των μηχανισμών της σκέδασης και της απορρόφησης. Λόγω αυτών των διαδικασιών οι τηλεσκοπικές εικόνες δεν περιλαμβάνουν πληροφορίες μόνο για την περιοχή ενδιαφέροντος αλλά και για την ατμόσφαιρα, καθιστώντας έτσι τη διαδικασία της ατμοσφαιρικής διόρθωσης ένα πολύ σημαντικό κομμάτι της προεπεξεργασίας των δεδομένων.

Για να εξαλειφθούν αυτές οι επιδράσεις της ατμόσφαιρας, ιδιότητες όπως η ποσότητα των υδρατμών, η κατανομή των στερεών σωματιδίων μέσα στα αέρια σώματα και η ορατότητα του πεδίου πρέπει να είναι γνωστές. Επειδή όμως απευθείας μετρήσεις αυτών των ατμοσφαιρικών ιδιοτήτων δεν είναι συχνά διαθέσιμες, έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές για την εξαγωγή τους από τα ίδια τα υπερφασματικά δεδομένα, αφού κάθε pixel σε μία υπερφασματική εικόνα περιέχει μία ξεχωριστή μέτρηση της ζώνης απορρόφησης των ατμοσφαιρικών υδρατμών (*Adler-Golden '98*).

3.1.2 Γεωμετρική διόρθωση

Η γεωμετρική διόρθωση αποσκοπεί στη διόρθωση σφαλμάτων συστηματικού χαρακτήρα και πραγματοποιείται έχοντας γνώση α) των στοιχείων της τροχιάς και της κίνησης του διαστημικού φορέα και β) των στοιχείων που αφορούν τα βασικά χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες του τηλεπισκοπικού συστήματος. Η διαδικασία της γεωμετρικής διόρθωσης επιτυγχάνεται με τη χρήση παραμετρικών μοντέλων.

Για τα σφάλματα μη συστηματικού χαρακτήρα τα οποία οφείλονται είτε α) στην τυχαία καθ' ύψος απόκλιση του φορέα του τηλεπισκοπικού συστήματος από την προσδιοριζόμενη τροχιά του είτε β) στις τυχαίες αποκλίσεις των αξόνων του τηλεπισκοπικού συστήματος από τις προδιεγραμμένες θέσεις αναφοράς του, οι γεωμετρικές διορθώσεις απαιτούν την γνώση των γεωδαιτικών συντεταγμένων επίγειων σημείων ελέγχου, τα οποία είναι ταυτόχρονα ευδιάκριτα στις τηλεπισκοπικές απεικονίσεις και η διόρθωσή τους πραγματοποιείται με την χρήση μη παραμετρικών μοντέλων.

3.1.3 Ραδιομετρικές διορθώσεις

Οι ραδιομετρικές διορθώσεις γίνονται με σκοπό να περιοριστούν τα σφάλματα λειτουργίας των αισθητήρων του σαρωτή, να βελτιστοποιηθεί το δυναμικό εύρος λειτουργίας του και να περιορισθεί η ραδιομετρική επίδραση της ατμόσφαιρας στο λαμβανόμενο σήμα.

3.1.4 Βελτίωση εικόνας

Διάφορες ψηφιακές τεχνικές επιτυγχάνουν κάθε φορά την ενίσχυση - βελτίωση των εικόνων. Οι τεχνικές αυτές αποσκοπούν σε βελτιώσεις:

- σημειακού χαρακτήρα
- γραμμικού χαρακτήρα
- επιφανειακού χαρακτήρα
- χωρικού χαρακτήρα

Οι πιο συνήθεις τεχνικές ενίσχυσης είναι:

- Ενίσχυση με την υλοποίηση αριθμητικών πράξεων
- Εφαρμογή φίλτρων

3.2 Ανάλυση κύριων συνιστωσών

3.2.1 Θεωρητική προσέγγιση

Η Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών είναι μία μαθηματική μέθοδος η οποία έχει ως στόχο την “συμπίεση” διανυσμάτων σε μικρότερο αριθμό διαστάσεων. Για να το πετύχει αυτό, εκμεταλλεύεται τις συσχετίσεις ανάμεσα στις μεταβλητές των διανυσμάτων που πρόκειται να συμπιεστούν. Όσο περισσότερες συσχετισμένες μεταξύ τους είναι οι μεταβλητές των αρχικών διανυσμάτων, τόσο μεγαλύτερη συμπίεση επιτυγχάνεται.

Έστω ότι τα αρχικά διανύσματα είναι n διαστάσεων και έχουν μορφή: (x_1, \dots, x_n) . Η Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών μεταφέρει τα διανύσματα αυτά σε έναν άλλον χώρο, ο οποίος έχει και αυτός n διαστάσεις και είναι ο χώρος των κύριων συνιστωσών (Principal Components ή PCs). Η Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών μετατρέπει τα αρχικά διανύσματα στη μορφή: (PC_1, \dots, PC_n) . Έτσι, τα νέα διανύσματα έχουν n κύριες συνιστώσες (PCs).

Οι κύριες συνιστώσες είναι ασυσχέτιστες μεταξύ τους, και είναι υπολογισμένες με τέτοιο τρόπο, ώστε το μεγαλύτερο ποσοστό της μεταβλητότητας του δείγματος των διανυσμάτων να αντιπροσωπεύεται από όσο το δυνατό λιγότερες PCs. Πιο

συγκεκριμένα, οι κύριες συνιστώσες συνηθίζεται να διατάσσονται με την εξής φθίνουσα σειρά. Η πρώτη κύρια συνιστώσα (PC_1) είναι η κύρια συνιστώσα που εκφράζει το μεγαλύτερο ποσοστό της μεταβλητότητας του δείγματος. Η δεύτερη κύρια συνιστώσα (PC_2) είναι η κύρια συνιστώσα που εκφράζει το δεύτερο μεγαλύτερο ποσοστό της μεταβλητότητας του δείγματος. Και με ανάλογο τρόπο, η n -στή κύρια συνιστώσα (PC_n) είναι η κύρια συνιστώσα η οποία εκφράζει το ελάχιστο ποσοστό της μεταβλητότητας του δείγματος. Όλες μαζί οι PCs συνολικά εκφράζουν το 100% της μεταβλητότητας του δείγματος.

Ο λόγος για τον οποίον οι κύριες συνιστώσες κατασκευάζονται με τη λογική αυτή της φθίνουσας σειράς, είναι ότι αν ένας μικρός μόνο αριθμός q ($q < n$) από PCs αρκεί για να καλυφθεί ένα μεγάλο ποσοστό της μεταβλητότητας του δείγματος, τότε τα διανύσματα μπορούν να συμπιεστούν από n σε q συνιστώσες, με μικρό σφάλμα. Επίσης, η κάθε μία κύρια συνιστώσα ορίζεται να είναι ένας γραμμικός συνδυασμός των μεταβλητών (x_1, \dots, x_n) των αρχικών διανυσμάτων. Δηλαδή, η i -στή κύρια συνιστώσα PC_i έχει τη μορφή: $PC_i = a_1 x_1 + \dots + a_n x_n$.

Η σημαντική συσχέτιση μεταξύ των καναλιών είναι ένα πρόβλημα το οποίο συχνά συναντάται στην ανάλυση των πολυφασματικών εικόνων. Δηλαδή, εικόνες, οι οποίες έχουν δημιουργηθεί από ψηφιακά δεδομένα σε διάφορα μήκη κύματος συχνά εμφανίζονται παρόμοιες και εμπεριέχουν την ίδια πληροφορία. Ο μετασχηματισμός σε κύριες συνιστώσες είναι μία τεχνική η οποία έχει αναπτυχθεί ώστε να εξαλείψει ή να ελαττώσει τέτοιου είδους πλεονασμούς στα πολυφασματικά δεδομένα. Η Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών μπορεί να εφαρμοστεί είτε ως μία τεχνική ενίσχυσης πριν τη φωτοερμηνεία είτε ως μία προεπεξεργασία πριν την διαδικασία της ταξινόμησης των δεδομένων. Στην τελευταία περίπτωση ο παραπάνω μετασχηματισμός αυξάνει την υπολογιστική αποτελεσματικότητα της διαδικασίας της ταξινόμησης διότι η εν λόγω ανάλυση οδηγεί σε ελάττωση των διαστάσεων του διανυσματικού χώρου προτύπων, δηλαδή των χρησιμοποιούμενων καναλιών της εικόνας. Σκοπός της Ανάλυσης Κύριων Συνιστωσών είναι να συμπίεσει όλη την πληροφορία, η οποία εμπεριέχεται σε μία αρχική πολυφασματική εικόνα n καναλιών, σε λιγότερα από n «νέα κανάλια» ή σε διάφορες συνιστώσες, οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν αντί των πρωταρχικών δεδομένων. (Αργιαλάς, 1998)

3.2.2 Μαθηματική προσέγγιση

Η Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών εφαρμόζεται συχνά για τον καθορισμό της υποκείμενης στατιστικής διάστασης των δεδομένων μίας απεικόνισης (Ready and Wintz, 1973), τη μείωση του αριθμού των καναλιών μιας υπερφασματικής απεικόνισης και την απομόνωση του θορύβου, κάνοντας έτσι την περαιτέρω ανάλυση (ταξινόμηση, έγχρωμα σύνθετα κ.τ.λ.) ευκολότερη και πιο αξιόπιστη.

Η PCA καθορίζεται από μαθηματική άποψη ως ο ορθογώνιος γραμμικός μετασχηματισμός που μετασχηματίζει τα δεδομένα σε ένα νέο σύστημα συντεταγμένων, έτσι ώστε η μέγιστη διασπορά που προκύπτει από οποιαδήποτε προβολή των φασματικών υπογραφών να καταλήγει στην πρώτη συντεταγμένη (αποκαλούμενη πρώτη κύρια συνιστώσα), η δεύτερη μέγιστη διασπορά στη δεύτερη συντεταγμένη, και ούτω καθεξής (Singh and Harrison, 1985). Η PCA είναι θεωρητικά η βέλτιστη μετατροπή για τα δεδομένα σε όρους ελαχίστων τετραγώνων.

Στην PCA οι στατιστικές ιδιότητες μιας πολυδιάστατης οντότητας εικόνων με $M \times N$ εικονοστοιχεία ανά κανάλι και K διαφορετικά κανάλια μπορούν να μελετηθούν, αν κάθε εικονοστοιχείο περιγραφεί σαν ένα διάνυσμα του οποίου οι συνιστώσες είναι αντίστοιχες τιμές κάθε καναλιού:

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_k \end{bmatrix}$$

Με μέση τιμή $m_x = E \left[\frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^{M \times N} x_i \right]$ η διάσταση της μέσης τιμής είναι K , με τις συνιστώσες του να αντιστοιχούν στις μέσες τιμές κάθε καναλιού.

Το διάνυσμα μέσης τιμής χρησιμοποιείται για να ορίσει τη μέση ή την εκτιμώμενη τιμή των εικονοστοιχείων στο διανυσματικό χώρο, ενώ ο πίνακας συνδιασποράς περιγράφει την διασπορά τους:

$$C_x = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^{M \times N} x_i x_i^T - m_x m_x^T$$

Ο πίνακας συνδιασποράς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ποσοτικοποιήσει τη συσχέτιση καναλιών. Στην περίπτωση υψηλού βαθμού συσχέτισης τα μη-διαγώνια στοιχεία του πίνακα συνδιασποράς θα παίρνουν μεγάλες τιμές. Τα διαγώνια στοιχεία του πίνακα συνδιασποράς είναι οι διασπορές των αρχικών καναλιών.

Στην περίπτωση του μετασχηματισμού PCA ο πίνακας C_x είναι συμμετρικός, έχει πραγματικές τιμές και έτσι η εύρεση ενός συνόλου ορθοκανονικών ιδιοτιμών είναι πάντα εφικτή. Έστω e_i και λ_i όπου $i = 1, 2, 3, \dots, K$ είναι οι ιδιοτιμές και τα ιδιοδιανύσματα του πίνακα C_x ταξινομημένα σε φθίνουσα σειρά. Έστω ακόμα A ο πίνακας του οποίου οι γραμμές είναι τα ιδιοδιανύσματα C_x ταξινομημένα με φθίνουσα ως προς τις αντίστοιχες ιδιοτιμές. Ο πίνακας A μετασχηματίζει τα διανύσματα x στα διανύσματα y σύμφωνα με τη σχέση: $y = A(x - m_x)$.

Η μέση τιμή του y που προκύπτει από τον μετασχηματισμό είναι μηδέν και αντίστοιχος πίνακας συνδιασποράς C_y δίνεται από τη σχέση: $C_y = AC_x A^T$. Ο πίνακας συνδιασποράς C_y που προκύπτει είναι ένας διαγώνιος πίνακας του οποίου τα στοιχεία της κύριας διαγωνίου είναι οι ιδιοτιμές των ιδιοδιανυσμάτων C_x .

Τα μη διαγώνια στοιχεία του πίνακα συνδιασποράς είναι μηδέν γεγονός που υποδηλώνει ότι τα στοιχεία του διανυσματικού πληθυσμού y είναι ασυσχέτιστα ή κάθετα μεταξύ τους. Ο μετασχηματισμός αυτός δημιουργεί ένα νέο σύστημα συντεταγμένων του οποίου η αρχή είναι στο κέντρο του διανυσματικού πληθυσμού που προκύπτει και του οποίου οι άξονες είναι τα ιδιοδιανύσματα του πίνακα C_x . Αυτό το σύστημα συντεταγμένων δείχνει ξεκάθαρα ότι ο μετασχηματισμός στην παραπάνω εξίσωση είναι ένας μετασχηματισμός περιστροφής που στρέφει τα δεδομένα ως προς τα ιδιοδιανύσματα και ο μηχανισμός αυτός οδηγεί σε αποσυσχέτιση των δεδομένων.

Ο γραμμικός μετασχηματισμός PCA είναι μια από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες μεθόδους για ανάλυση δεδομένων τηλεπισκόπησης. Δημιουργεί ένα νέο ορθοκανονικό διανυσματικό χώρο όπου το μεγαλύτερο ποσό ενέργειας συγκεντρώνεται σε μικρό αριθμό συνιστωσών. Ο μετασχηματισμός αυτός είναι βέλτιστος με την έννοια ότι η πρώτη κύρια συνιστώσα θα έχει τη μεγαλύτερη δυνατή διασπορά και αντίθεση. Η πρώτη κύρια συνιστώσα μπορεί να απεικονιστεί σαν μια

εικόνα διαβαθμίσεων του γκρι με το μέγιστο ποσοστό ενέργειας και έτσι το μεγαλύτερο ποσοστό οπτικής πληροφορίας. Βέβαια πρέπει να αναφερθεί ότι η Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών δεν αποτελεί υποχρεωτικό στάδιο της φωτογραμμετρικής – τηλεπισκοπικής διαδικασίας. Ο μελετητής έχει τη δυνατότητα να κρίνει εάν θα εκτελέσει ή θα παρακάμψει το στάδιο αυτό.

Συγκεντρωτικά, όσον αφορά την επεξεργασία πολυφασματικών δεδομένων εικόνων και την Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Τα πολυφασματικά δεδομένα διαφόρων φασματικών διαύλων εμφανίζουν κατά κανόνα μεγάλη συσχέτιση μεταξύ τους. Η τιμή της φωτεινότητας ενός εικονοστοιχείου σε μία ζώνη μπορεί να εκτιμηθεί από την τιμή του σε μια άλλη εξαιτίας του συσχετισμού αυτού.
- Με την Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών δημιουργούνται νέες εικόνες από τις μη συσχετιζόμενες τιμές φωτεινότητας εικονοστοιχείων των συσχετισμένων εικόνων.
- Η διαδικασία πραγματοποιείται με γραμμικό μετασχηματισμό των μεταβλητών (τιμές φωτεινότητας).
- Η διαδικασία PCA εφαρμόζεται σε όλες τις φασματικές ζώνες μαζί. Με τον τρόπο αυτόν, στις νέες εικόνες συγκεντρώνεται το μέγιστο πλήθος δεδομένων αφού λαμβάνονται υπόψη μη συσχετιζόμενα δεδομένα από όλες τις εικόνες.
- Η πρώτη κύρια συνιστώσα μπορεί να συγκεντρώσει και το 98% της διαθέσιμης πληροφορίας στο σύνολο των φασματικών ζωνών.

3.3 Ανάλυση Ανεξάρτητων συνιστωσών

3.3.1 Θεωρητική προσέγγιση

Η Ανάλυση Ανεξάρτητων Συνιστωσών (Independent Component Analysis – ICA) αποτελεί μία τεχνική εξαγωγής χαρακτηριστικών γνωρισμάτων. Οποιαδήποτε εικόνα τηλεπισκόπησης μπορεί να “αποσυντεθεί” σε ξεχωριστά χαρακτηριστικά γνωρίσματα. Ο όρος “χαρακτηριστικό γνώρισμα” στην τηλεπισκόπηση αναφέρεται σε αντικείμενα όπως οι τύποι βλάστησης ή τα αστικά υλικά με παρόμοια φασματικά χαρακτηριστικά. Επομένως, ο κύριος στόχος της τεχνικής εξαγωγής χαρακτηριστικών γνωρισμάτων είναι να ανακτηθούν ακριβώς αυτά τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα. Τα εξαγόμενα χαρακτηριστικά γνωρίσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη

φωτογραμμετρική – τηλεπισκοπική διαδικασία για τη βελτίωση της απόδοσης στις διάφορες εφαρμογές τηλεπισκόπησης όπως η ταξινόμηση.

Η Ανάλυση Ανεξάρτητων Συνιστωσών αποτελεί μία γενίκευση της μεθόδου PCA η οποία προσπαθεί να υπολογίσει μία στατιστικά ανεξάρτητη διανυσματική βάση. Η μέθοδος Ανεξάρτητων Συνιστωσών σε αντίθεση με την PCA (η PCA μοντελοποιεί τα δεδομένα χρησιμοποιώντας την κανονική κατανομή Gauss) διαχωρίζει τα υπερφασματικά κανάλια ανάλογα με το αν προσομοιάζουν στατιστικά τη Gaussian καμπύλη ή όχι με σκοπό το μετασχηματισμό τους σε νέα. Η ICA χρησιμοποιεί τα στατιστικά μεγέθη υψηλότερης τάξης (high order statistics – HOS) των πολυφασματικών εικόνων όπως την κύρτωση και την εκτροπή.

Η εκτροπή είναι ένα μέτρο της ασυμμετρίας του ιστογράμματος μίας πολυφασματικής εικόνας ενώ η κύρτωση είναι ένα μέτρο το οποίο δείχνει την σχετική οξύτητα ή ομαλότητα του ιστογράμματος της εικόνας. Χαμηλές τιμές της εκτροπής ή της κύρτωσης αντιστοιχούν σε ανεξάρτητες συνιστώσες – εικόνες οι οποίες όμως περιέχουν "θόρυβο".

Η ICA εκτελεί έναν γραμμικό μετασχηματισμό των φασματικών ζωνών έτσι ώστε οι προκύπτοντες συνιστώσες να είναι ασυσχέτιστες και ανεξάρτητες. Κάθε ανεξάρτητη συνιστώσα θα περιέχει πληροφορία η οποία θα αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό γνώρισμα της αρχικής εικόνας.

3.3.2 Μαθηματική προσέγγιση

Η Ανάλυση Ανεξάρτητων Συνιστωσών έχει σαν στόχο την εύρεση μίας γραμμικής αναπαράστασης μη - Γκαουσιανών δεδομένων από την οποία να προκύπτουν προϊόντα ανεξάρτητα ή όσο το δυνατό ανεξάρτητα. Η διαδικασία φαίνεται να αποτυπώνει στη βασική δομή των δεδομένων σε πολλές διαφορετικές εφαρμογές επεξεργασίας σήματος, συμπεριλαμβανομένων της εξαγωγής χαρακτηριστικών και του διαχωρισμού σήματος.

Για τη μαθηματική περιγραφή του ICA θεωρούμε το διάνυσμα της τυχαίας μεταβλητής x της μορφής:

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_k \end{bmatrix}$$

το οποίο αντιστοιχεί στις αρχικές παρατηρήσιμες τιμές και ένα αντίστοιχο διάνυσμα s από τα στοιχεία του οποίου θα προκύψουν οι τιμές του x . Χρησιμοποιώντας την αναπαράσταση πινάκων, η γενικότερη μορφή του ICA μετασχηματισμού είναι: $x = As$.

Τα στοιχεία a_{ij} του πίνακα A , και τα στοιχεία του διανύσματος s δεν είναι γνωστά αλλά υπολογίζονται από την επαναληπτική διαδικασία του αλγορίθμου υποθέτοντας ότι τα s_i είναι στατιστικά ανεξάρτητα. Μετά το τέλος του υπολογισμού του A αντιστρέφουμε την $x = As$ από την οποία προκύπτει $s = Wx$.

Όπου $W = A^{-1}$ και s είναι οι ζητούμενες ανεξάρτητες συνιστώσες.

Οι υποθέσεις της Ανάλυσης Ανεξάρτητων Συνιστωσών είναι οι ακόλουθες:

- Υπόθεση γραμμικότητας του μετασχηματισμού: $x = As + n$
- Υπόθεση έλλειψης θορύβου: $n = 0$
- Υπόθεση στατιστικής ανεξαρτησίας των συνιστωσών

Πρόκειται για τη σημαντικότερη από τις υποθέσεις, αφού όλοι οι αλγόριθμοι ICA, χρησιμοποιούν ως γνώμονα, για την κατασκευή των συνιστωσών την επίτευξη της στατιστικής ανεξαρτησίας.

- Υπόθεση μη γκαουσιανής μορφής των συνιστωσών

Τα στατιστικά μεγέθη υψηλότερης τάξης, για μεταβλητές γκαουσιανής κατανομής, μηδενίζονται. Τα στατιστικά αυτά μεγέθη, όμως, χρησιμοποιούνται στην Ανάλυση Ανεξάρτητων Συνιστωσών και μάλιστα αποτελούν τη βάση μια σειράς αλγορίθμων των λεγόμενων αλγορίθμων HOS. Είναι λογικό, λοιπόν, οι αλγόριθμοι HOS να μην μπορούν να προχωρήσουν χωρίς την υπόθεση της μη γκαουσιανής κατανομής. Ο μηδενισμός ή μη κάποιου τέτοιου μεγέθους, που αναφέρεται στις ανακατασκευασμένες συνιστώσες μπορεί να αποτελεί κριτήριο για την κανονικότητα ή μη αυτών. Σε αυτό ακριβώς το σημείο μπορεί να εντοπιστεί και ένας περιορισμός

των αλγορίθμων ICA, που βασίζονται σε τεχνικές HOS, αφού με αυτόν τον τρόπο, δε μπορούν να εντοπιστούν συνιστώσες Γκαουσιανής κατανομής.

Ένας από τους σημαντικότερους αλγορίθμους ICA – HOS είναι ο Fast ICA ο οποίος στηρίζεται στον συντελεστή κύρτωσης για να κατασκευάσει συνιστώσες με μη Γκαουσιανή κατανομή. Ο συντελεστής κύρτωσης είναι ένα στατιστικό μέγεθος τέταρτης τάξης που αποδίδεται σε κάθε τυχαία μεταβλητή. Το μέγεθος αυτό, για μεταβλητές Γκαουσιανής κατανομής, αγγίζει ιδανικά το μηδέν. Σκοπός του αλγορίθμου Fast ICA είναι η μεγιστοποίηση του συντελεστή, έτσι ώστε οι ανακατασκευασμένες συνιστώσες να απομακρυνθούν, όσο το δυνατόν περισσότερο, από τη Γκαουσιανή κατανομή και άρα να γίνουν στατιστικά ανεξάρτητες. Ο συντελεστής κύρτωσης που ουσιαστικά φανερώνει πόσο απότομες κορυφές έχει η κατανομή μιας τυχαίας μεταβλητής, δίνεται από την εξίσωση: $kurt(x) = E \left[x^4 \right] - 3(E \left[x^2 \right])^2$ όπου x η τυχαία μεταβλητή με μηδενική μέση αριθμητική τιμή.

Το κλειδί στον υπολογισμό του μοντέλου ICA όπως προαναφέραμε είναι ότι οι μεταβλητές δεν είναι γκαουσιανές. Αυτός είναι πιθανότατα και ο βασικός λόγος για τη αργοπορημένη μελέτη του ICA, καθώς στη κλασσική στατιστική θεωρία οι τυχαίες μεταβλητές θεωρούνται ότι έχουν γκαουσιανές κατανομές, πράγμα το οποίο αποκλείει όλες τις μεθόδους που σχετίζονται με ICA.

Στο μοντέλο ICA διαφαίνονται οι ακόλουθες ασάφειες:

- Δεν μπορούν να καθοριστούν οι διακυμάνσεις των ανεξάρτητων συνιστωσών.
- Δεν μπορεί να καθοριστεί η σειρά των ανεξάρτητων συνιστωσών.

Η μέθοδος ICA εμφανίζει κάποια πιθανά πλεονεκτήματα έναντι της μεθόδου PCA:

- Παρέχει ένα καλύτερο πιθανολογικό μοντέλο δεδομένων το οποίο προσδιορίζει καλύτερα που συγκεντρώνονται τα δεδομένα στον n -διάστατο χώρο.
- Προσδιορίζει μεμονωμένα τον πίνακα μετασχηματισμού W .

- Υπολογίζει μία όχι απαραίτητα ορθογώνια βάση η οποία ίσως ανακατασκευάσει τα δεδομένα καλύτερα από την μέθοδο PCA όταν υπάρχει θόρυβος.
- Είναι ευαίσθητη σε υψηλής τάξεως στατιστικές στα δεδομένα και όχι μόνο στον πίνακα συμμεταβλητότητας.

Ωστόσο η μέθοδος ICA δεν παρουσιάζει μόνο πλεονεκτήματα. Οι αλγόριθμοι ICA είναι επαναληπτικοί και μερικές φορές συγκλίνουν δύσκολα. Επιπλέον, παρουσιάζουν δυσκολία στον χειρισμό μεγάλων σημάτων και πολυδιάστατων διανυσμάτων. Δυσκολίες που σχετίζονται με την μεγάλη διαστατικότητα των διανυσμάτων μπορούν να ξεπεραστούν με την εφαρμογή της μεθόδου PCA.

Βέβαια πρέπει να αναφερθεί ότι η Ανάλυση Ανεξάρτητων Συνιστωσών όπως και η PCA δεν αποτελεί υποχρεωτικό στάδιο της φωτογραμμετρικής – τηλεπισκοπικής διαδικασίας αλλά αντίθετα ο μελετητής μπορεί να το παρακάμψει εάν κρίνει ότι δεν θα του αποφέρει σημαντικά αποτελέσματα.

3.4 Ταξινόμηση

Σκοπός της ταξινόμησης είναι η αντικατάσταση της φωτοερμηνείας των εικόνων με ποσοτικές τεχνικές για την αυτοματοποίηση της αναγνώρισης διάφορων χαρακτηριστικών σε μια εικόνα. Σε γενικό πλαίσιο, αυτές οι διαδικασίες της τηλεπισκόπησης περιλαμβάνουν την ανάλυση, συνήθως πολυφασματικών εικόνων, και την εφαρμογή κανόνων απόφασης που βασίζονται στην στατιστική, για να προσδιορίσουν την κατηγορία χρήσης γης, που ανήκει το κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας.

Όταν αυτοί οι κανόνες απόφασης βασίζονται στα φασματικά χαρακτηριστικά των δεδομένων, τότε αναφερόμαστε σε αυτή τη διαδικασία ταξινόμησης, σαν φασματική αναγνώριση προτύπων. Σε αντίθεση, οι κανόνες απόφασης μπορεί να βασίζονται στα γεωμετρικά σχήματα, μεγέθη και πρότυπα που υπάρχουν σε μια εικόνα και τότε αυτού του είδους η ταξινόμηση, αναφέρεται σαν τεχνική χωρικής αναγνώρισης προτύπων. Και στις δυο περιπτώσεις ο σκοπός της ταξινόμησης είναι η

κατηγοριοποίηση όλων των εικονοστοιχείων μίας ψηφιακής εικόνας σε μια από ένα σύνολο τάξεων χρήσεων γης, θεματικών κατηγοριών ή αντικειμένων.

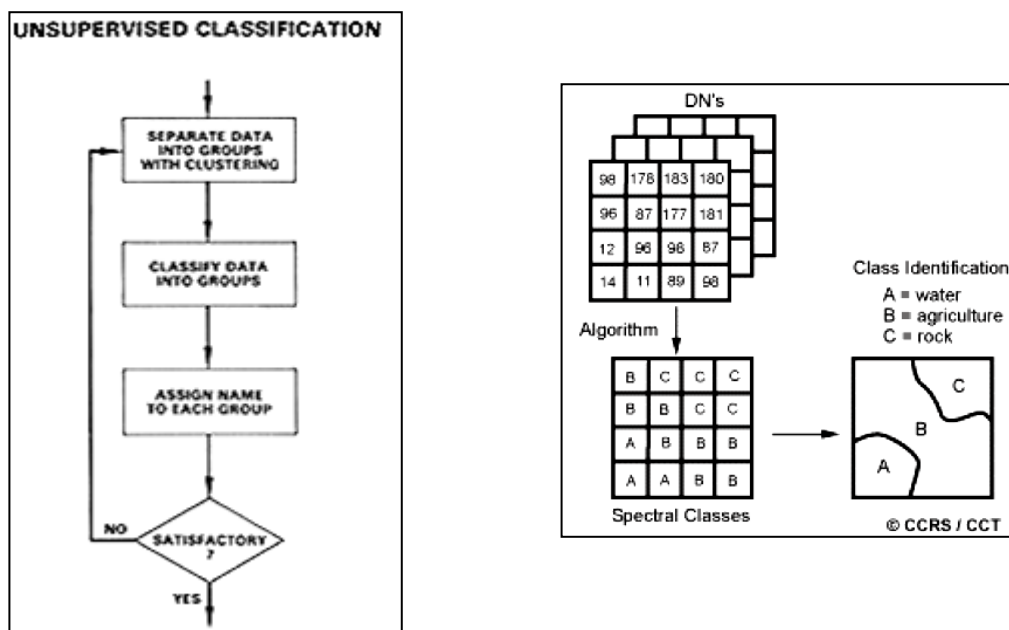
Τα ταξινομημένα δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να παραχθούν θεματικοί χάρτες κάλυψης γης ή για να παραχθούν στατιστικά δεδομένα τα οποία αναφέρονται στις περιοχές της εικόνας που καλύπτονται από την κάθε κατηγορία εδαφοκάλυψης. Δίνεται λοιπόν, έμφαση στις φασματικές τεχνικές αναγνώρισης προτύπων τις οποίες και θα αναλύσουμε στα επόμενα διότι αυτές οι τεχνικές είναι πιο προχωρημένες σήμερα από ότι οι τεχνικές της χωρικής αναγνώρισης προτύπων.

Η ταξινόμηση των φασματικών δεδομένων είναι η διαδικασία ταυτοποίησης και καταχώρησης του κάθε pixel της εικόνας σε μία συγκεκριμένη τάξη σύμφωνα με κάποια στατιστικά χαρακτηριστικά των τιμών των εντάσεων του κάθε pixel. Τα pixels της φασματικής εικόνας εξάγονται για να εκπαιδεύσουν τον ταξινομητή να αναγνωρίζει τα πρότυπα που θα τον βοηθήσουν στη διαφοροποίηση των τάξεων. Βασίζόμενος σε αυτά τα πρότυπα ο ταξινομητής δημιουργεί συναρτήσεις διαχωρισμού για την ανάθεση του κάθε pixel σε μία τάξη στο χώρο των χαρακτηριστικών (*Landgrebe 2003*). Δύο είναι κυρίως οι μέθοδοι που χρησιμοποιούμε στην ταξινόμηση εικόνας α) Επιβλεπόμενη (Supervised) και β) Μη επιβλεπόμενη (Unsupervised) ταξινόμηση.

3.4.1 Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Unsupervised Classification)

Η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση αποβλέπει στην εξαγωγή των κύριων φασματικών τάξεων, οι οποίες εμφανίζονται σε μία τηλεπισκοπική απεικόνιση. Το αποτέλεσμα που προκύπτει από την εφαρμογή των ταξινομήσεων, είναι η παραγωγή θεματικών χαρτών, κατάλληλων για συγκεκριμένες χρήσεις γης που αφορούν κάθε φορά την συγκεκριμένη μελέτη.

Στη μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση, ο υπολογιστής ή ο αλγόριθμος ομαδοποιεί αυτόματα τα pixels που έχουν παρόμοια στατιστικά και φασματικά χαρακτηριστικά (μέσες τιμές, τυπικές αποκλίσεις, πίνακες συμμεταβλητότητας κ.α), σε μοναδικές ομάδες (clusters) σύμφωνα με στατιστικά καθορισμένα κριτήρια.



Εικόνα 3.1: Η λογική των βημάτων της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης

Πηγή: Landgrebe D. 2003. «Signal Theory Methods in Multispectral Remote Sensing»

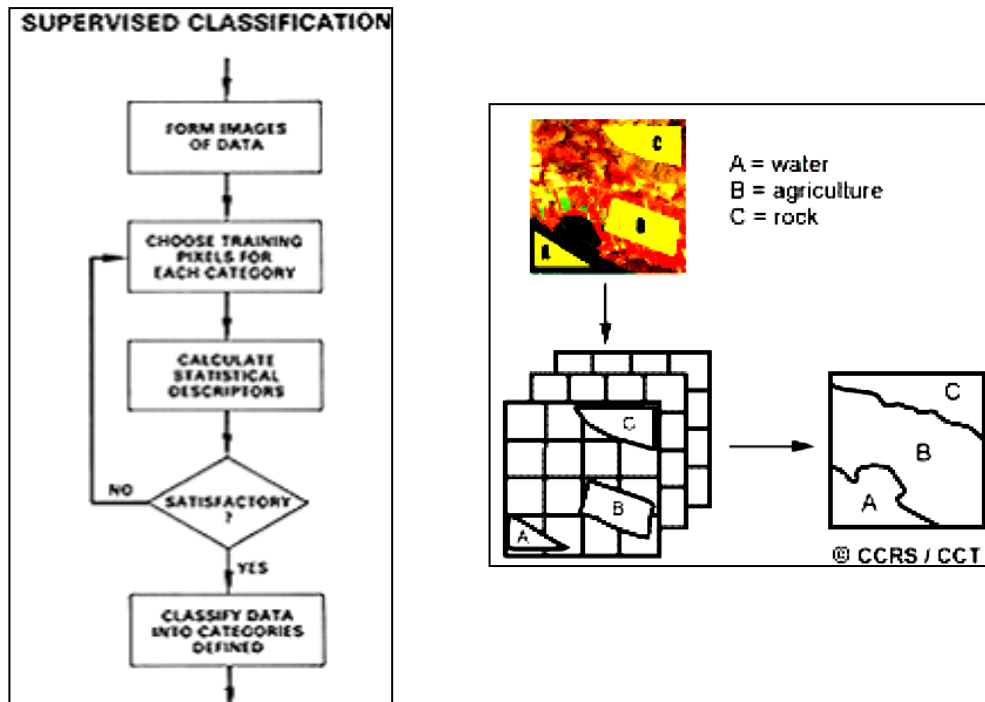
3.4.2 Επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Supervised Classification)

Στόχος της επιβλεπόμενης ταξινόμησης είναι η εξαγωγή των κύριων φασματικών τάξεων, οι οποίες εμφανίζονται σε μία δορυφορική εικόνα, η αναγνώριση και η αναφορά αυτών σε πραγματικές τάξεις αντικειμένων της γήινης επιφάνειας με την χρήση των φασματικών υπογραφών τους.

Στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση, υπάρχει μία εκ των προτέρων γνώση για τη χωρική κατανομή των τάξεων στην εικόνα. Έτσι μέσα από μία διαδικασία συλλογής στοιχείων από την απεικονιζόμενη περιοχή δημιουργούνται τα δείγματα εκπαίδευσης (training sites), τα φασματικά χαρακτηριστικά των οποίων χρησιμοποιούνται στην εκπαίδευση του αλγορίθμου για την ταξινόμηση των υπολοίπων pixels της εικόνας. Δηλαδή κάθε pixel της εικόνας, συμπεριλαμβανομένων και των pixels των training sites, αποτιμάται και τοποθετείται στην τάξη στην οποία έχει την μεγαλύτερη πιθανότητα να ανήκει.

Τα βασικά στάδια της επιβλεπόμενης ταξινόμησης είναι η επίβλεψη, η ταξινόμηση και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Κατά την επίβλεψη επιλέγονται περιοχές εκπαίδευσης από την κάθε θεματική κατηγορία της περιοχής μελέτης και

υπολογίζονται και αναλύονται οι ψηφιακές φασματικές υπογραφές τους. Κατά την ταξινόμηση το κάθε εικονοστοιχείο κατατάσσεται σε μία από τις θεματικές κατηγορίες της περιοχής μελέτης με χρήση του κατάλληλου αλγορίθμου ταξινόμησης και ελέγχεται η ακρίβεια της ταξινόμησης. Κατά το τελευταίο στάδιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σε μορφή χαρτών, πινάκων και ψηφιακών εικόνων.



Εικόνα 3.2: Η λογική των βημάτων της επιβλεπόμενης ταξινόμησης

Πηγή: Landgrebe D. 2003. «Signal Theory Methods in Multispectral Remote Sensing»

3.5 Στάδιο εκπαίδευσης (Training Stage)

Η καταγραφή των Περιοχών Εκπαίδευσης αποτελεί το σημαντικότερο κομμάτι της επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Ο αναλυτής πρέπει να εντοπίσει και να καταγράψει αντιπροσωπευτικά εικονοστοιχεία για κάθε κατηγορία. Αν η τηλεπισκοπική απεικόνιση διαθέτει αρκετά ευδιάκριτες περιοχές, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει εικονοστοιχεία μέσω οπτικής επιθεώρησης. Συνήθως όμως, ο χρήστης πρέπει να καταφύγει σε επιπρόσθετες πηγές πληροφορίας, όπως επίγειες μετρήσεις (ground truth data), υπάρχοντες χάρτες κ.α..

Ενώ η ταξινόμηση των pixels πραγματοποιείται αυτόματα από κάποιον αλγόριθμο, το στάδιο της εκπαίδευσης πρέπει να γίνει προσεκτικά από τον διαχειριστή του συστήματος. Η ποιότητα της εκπαίδευσης είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας στην ταξινόμηση αφού ουσιαστικά καθορίζει την ποιότητα του τελικού αποτελέσματος. Οι βασικοί στόχοι της διαδικασίας εκπαίδευσης είναι:

- να καθορίσει ποιες τάξεις μπορούν να αναγνωριστούν στην εικόνα και
- να εξάγει τις στατιστικές παραμέτρους που περιγράφουν την κατανομή των ψηφιακών τιμών των εντάσεων σε κάθε τάξη.

Μία βασική προϋπόθεση της ταξινόμησης είναι η πληρότητα – επάρκεια των δειγμάτων για όλες τις ανακλαστικές επιφάνειες της εικόνας. Η κατάτμηση της εικόνας όμως σε τέτοιες ανακλαστικές επιφάνειες είναι γενικά διαφορετική από την ταυτοποίηση των περιοχών ενδιαφέροντος στην εικόνα. Μερικές φορές μία επιφάνεια αποτελείται από pixels τα οποία παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές φασματικής ανάκλασης. Σε αυτή την περίπτωση είναι απαραίτητη η περαιτέρω διαίρεση σε μικρότερες τάξεις οι οποίες θα μπορούν να αναγνωριστούν από το διαχειριστή.

Μία ακόμη προϋπόθεση που πρέπει να τηρούν τα δείγματα εκπαίδευσης είναι να είναι αντιπροσωπευτικά του πληθυσμού των τάξεων. Αυτό συνεπάγεται ότι:

- Τα δείγματα εκπαίδευσης πρέπει να είναι αρκετά μεγάλα ώστε να περιέχουν έναν επαρκή αριθμό pixels για την εξαγωγή των στατιστικών παραμέτρων κατανομής των τάξεων.
- Τα δείγματα εκπαίδευσης πρέπει να είναι ομοιογενώς κατανεμημένα ώστε να αναπαριστούν τη χωρική διακύμανση των τάξεων στην εικόνα.

Πρέπει δηλαδή να υπάρχει ένας ελάχιστος αριθμός δειγμάτων εκπαίδευσης ο οποίος εξαρτάται από τον αριθμό των φασματικών ζωνών που θα χρησιμοποιηθούν στην ταξινόμηση. Ισχύει ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των δειγμάτων σε μία τάξη τόσο καλύτερη περιγραφή των φασματικών χαρακτηριστικών της τάξης. Σύμφωνα με τους Lillesand και Kiefer (1987) ο ελάχιστος αριθμός των δειγμάτων για ταξινόμηση σε n ζώνες, είναι από $10n$ για κάθε τάξη ως και $100n$. Ενώ ο Richards (1993) προτείνει ότι τα δείγματα εκπαίδευσης πρέπει να καλύπτουν ένα ποσοστό ανάμεσα στο 1% και 3% της συνολικής επιφάνειας της εικόνας.

3.6 Αλγόριθμοι Ταξινόμησης

Η διαδικασία της φασματικής επιβλεπόμενης ταξινόμησης υπόκειται στο πεδίο της αναγνώρισης προτύπων (Pattern Recognition). Με τη βοήθεια κατάλληλων αλγορίθμων αντιστοιχίζονται τα αντικείμενα σε προκαθορισμένες κατηγορίες ή τάξεις.

Οι κυριότεροι αλγόριθμοι ταξινόμησης είναι:

- Ο αλγόριθμος της Μέγιστης Πιθανοφάνειας
- Ο αλγόριθμος της Ελάχιστης Απόστασης
- Ο αλγόριθμος του Παραλληλεπιπέδου

Οι μέθοδοι ταξινόμησης μπορούν επίσης να διαχωριστούν και σε παραμετρικές και μη παραμετρικές. Στην παραμετρική ταξινόμηση τα γνωρίσματα της κάθε τάξης ορίζονται από τη Συνάρτηση Πυκνότητας Πιθανότητας (PDF) της τάξης, οπότε οι παράμετροί της πρέπει να είναι γνωστοί ή να προσδιορίζονται στη διαδικασία του training. Η παραμετρική επιβλεπόμενη ταξινόμηση δημιουργεί κανόνες ταξινόμησης που στηρίζονται σε μια στατιστική μοντελοποίηση των θεματικών τάξεων που απαιτεί τον προσδιορισμό ορισμένων παραμέτρων. Συνήθως, γίνεται μία υπόθεση για την μορφή της συνάρτησης πιθανότητας της κάθε τάξης. Η παραμετρική ταξινόμηση προτύπων περιλαμβάνει τη μέθοδο της Μέγιστης Πιθανοφάνειας. Η μη παραμετρική επιβλεπόμενη ταξινόμηση δεν κάνει καμία υπόθεση για τη στατιστική κατανομή των τάξεων. Οι απλούστερες μέθοδοι μη παραμετρικής ταξινόμησης είναι αυτές του παραλληλεπιπέδου και της ελάχιστης απόστασης.

3.6.1 Αλγόριθμος Μέγιστης Πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood)

Η μέθοδος ταξινόμησης της μέγιστης πιθανοφάνειας είναι η πιο κοινή και συχνά η πιο ακριβής από τις τρεις μεθόδους ταξινόμησης. Στη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας κάθε τάξη προσεγγίζεται από το μέσο διάνυσμά της και τη μεταβλητότητα και τη συμμεταβλητότητα των δεδομένων με αποτέλεσμα το μοντέλο κάθε τάξης να είναι μη συμμετρικό στο φασματικό χώρο προτύπων. Επιπλέον, οι διαχωριστικές επιφάνειες της μεθόδου μέγιστης πιθανοφάνειας είναι δευτεροβάθμιες δηλαδή παραβολές, κύκλοι και ελλείψεις σε αντίθεση με τη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης όπου είναι γραμμικές.

Ο ταξινομητής μέγιστης πιθανοφάνειας βασίζεται σε τεχνικές στατιστικής ανάλυσης οπότε και απαιτείται η γνώση των παρακάτω βασικών στοιχείων της θεωρίας πιθανοτήτων και βασίζεται κυρίως στο θεώρημα του Bayes.

➤ Δεσμευμένη (ή υπό συνθήκη) πιθανότητα

Μία δεσμευμένη πιθανότητα δηλώνεται ως $p(A|B)$ και είναι η πιθανότητα να συμβεί το ενδεχόμενο A δεδομένου ότι έχει ήδη συμβεί το ενδεχόμενο B.

➤ Θεώρημα Bayes

Το θεώρημα Bayes εκφράζει τις εκ των υστέρων πιθανότητες των εικονοστοιχείων σε σχέση με τις εκ των προτέρων και δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$p(\omega_i|x) = p(x|\omega_i)p(\omega_i)/p(x), i=1,2,\dots,M$$

όπου:

- $p(\omega_i)$ είναι η πιθανότητα εμφάνισης της θεματικής ενότητας ω_i στην περιοχή της εικόνας. Οι $p(\omega_i)$ καλούνται εκ των προτέρων (a priori) πιθανότητες δηλαδή είναι οι πιθανότητες που θα υποθέταμε πριν την ταξινόμηση ενός εικονοστοιχείου για την συμμετοχή του σε μία θεματική κατηγορία.
- $p(\omega_i|x)$ είναι οι εκ των υστέρων (a posteriori) πιθανότητες εμφάνισης μιας τάξης σε μία συγκεκριμένη θέση ενός εικονοστοιχείου x.
- $p(x|\omega_i)$ είναι η υπό συνθήκη πιθανότητα ενός εικονοστοιχείου, δηλαδή η πιθανότητα ενός εικονοστοιχείου από την κατηγορία ω_i να βρίσκεται στην θέση x
- $p(x)$ εκφράζει την πιθανότητα της εμφάνισης ενός εικονοστοιχείου από οποιαδήποτε θεματική ενότητα στη θέση x και δίνεται από τη σχέση

$$p(x) = \sum_{i=1}^N p(x/\omega_i)p(\omega_i)$$

➤ Συνάρτηση Πυκνότητας Πιθανότητας

Αν x μία τυχαία μεταβλητή με Gaussian κατανομή, μ η μέση τιμή του x και σ η τυπική του απόκλιση τότε η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας $p(x)$ είναι:

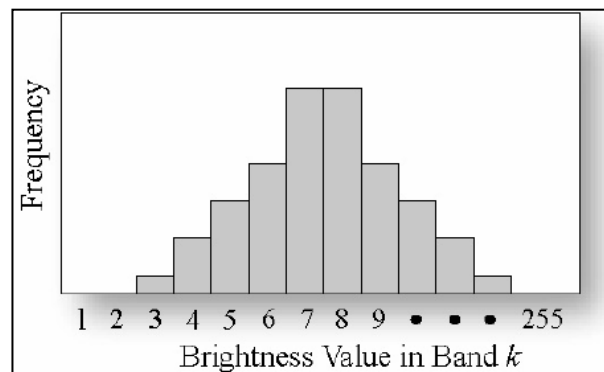
$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]$$

➤ Gaussian κατανομή πολλαπλών τυχαίων μεταβλητών

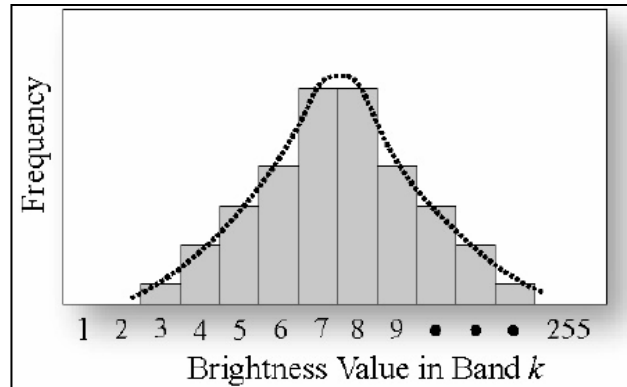
Έστω x μία N -διάστατη τυχαία μεταβλητή με Gaussian κατανομή πολλαπλών τυχαίων μεταβλητών, μ το μέσο διάνυσμα του x και C η συμμεταβλητότητα. Για παράδειγμα μία ομάδα pixels μιας εικόνας που λαμβάνονται σε N φασματικές ζώνες έχουν Gaussian κατανομή πολλαπλών μεταβλητών. Το στοιχείο της i γραμμής και j στήλης του πίνακα συμμεταβλητότητας είναι η συμμεταβλητότητα μεταξύ της i και j φασματικής ζώνης. Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας $p(x)$ είναι:

$$p(x) = \frac{1}{(2\pi)^{N/2} |C|^{1/2}} \exp\left[-\frac{1}{2} (x - \mu)^T C^{-1} (x - \mu)\right]$$

Ο αλγόριθμος της Μέγιστης Πιθανοφάνειας είναι ένας ταξινομητής ο οποίος όπως προαναφέραμε χρησιμοποιεί στατιστικές προσεγγίσεις για να ελαχιστοποιήσει το σφάλμα ταξινόμησης. Η ταξινόμηση είναι παραμετρική αφού προϋποθέτει ότι τα διανύσματα των pixels σε κάθε τάξη, για κάθε φασματική ζώνη ακολουθούν κανονική κατανομή (Gaussian). Οι Συναρτήσεις Πυκνότητας Πιθανότητας (PDF) είναι σημαντικές σε αυτή την στατιστική προσέγγιση και η ταξινόμηση μπορεί να είναι είτε επιβλεπόμενη είτε μη επιβλεπόμενη ανάλογα με τη μέθοδο εκπαίδευσης που ακολουθήθηκε.



Διάγραμμα 3.3: Διάγραμμα κατανομής συχνότητας δεδομένων για μία τάξη ω , σε μία ζώνη k
Πηγή: Hodgson, M. E. 1988. «Reducing the computational requirements of minimum – distance classifier»



Διάγραμμα 3.4: Διάγραμμα κατανομής συχνότητας δεδομένων για μία τάξη ω , σε μία ζώνη k , στρογγυλοποιημένη από τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας

Πηγή: Hodgson, M. E. 1988. «Reducing the computational requirements of minimum – distance classifier»

Αν x είναι το μετρούμενο διάνυσμα και ω_i μία τάξη, η συνάρτηση απόφασης της ταξινόμησης μέγιστης πιθανοφάνειας είναι:

αν $p(x|\omega_i)p(\omega_i) > p(x|\omega_j)p(\omega_j)$ για κάθε $j, i \neq j$ τότε ανάθεσε το x στην ω_i

Ουσιαστικά υπολογίζει την πιθανότητα για κάθε pixel να ανήκει σε κάθε μία από τις τάξεις και αναθέτει το pixel στην τάξη για την οποία έχει τη μεγαλύτερη πιθανότητα να ανήκει. Οπότε πρέπει να υπολογίσουμε τις τιμές των $p(x|\omega_i)p(\omega_i)$ για όλες τις τάξεις ω_i και να επιλέξουμε τη μέγιστη τιμή. Οι δεσμευμένες πιθανότητες $p(x|\omega_i)$ λαμβάνονται κατά την εκπαίδευση. Αφού το x είναι γνωστό μπορούμε να υπολογίσουμε τις τιμές των $p(\omega_i|x)$ για κάθε τάξη ω_i και να επιλέξουμε τη μέγιστη τιμή. Αυτό είναι λογικό αφού η πιθανότητα $p(\omega_i|x)$ είναι η πιθανότητα του x να ανήκει στην τάξη ω_i δοσμένης της μέτρησης του x . Στην ουσία αυτό είναι ίσο με την παραπάνω συνάρτηση απόφασης και μπορεί να αποδειχτεί με το θεώρημα του Bayes.

$$p(\omega_i|x) = p(x|\omega_i)p(\omega_i) / p(x)$$

Για να αξιοποιήσουμε την παραπάνω συνάρτηση απόφασης πρέπει να γνωρίζουμε τη δεσμευμένη πιθανότητα $p(x|\omega_i)$ για κάθε τάξη ω_i .

Η συναρτησιακή μορφή της δεσμευμένης πιθανότητας είναι στην αρχή άγνωστη για μας οπότε πρέπει να αρχίσουμε με μία υπόθεση. Η πιο λογική υπόθεση που μπορούμε να κάνουμε είναι αυτή της Gaussian κατανομής πολλαπλών τυχαίων μεταβλητών, οπότε στο N-διάστατο χαρακτηριστικό πεδίο η δεσμευμένη πιθανότητα είναι:

$$p(x|\omega_i) = \frac{1}{(2\pi)^{N/2} |C_i|^{1/2}} \exp\left[-\frac{1}{2} (x - \mu_i)^T C_i^{-1} (x - \mu_i)\right]$$

όπου:

- x^T είναι ο ανάστροφος του x
- μ_i είναι το μέσο διάνυσμα
- C_i είναι ο πίνακας συμμεταβλητότητας
- C_i^{-1} είναι ο αντίστροφος του C_i και
- $|C_i|$ είναι η ορίζουσα του C_i .

Κάθε στοιχείο του μέσου διανύσματος είναι η μέση τιμή της έντασης σε μία ζώνη. Κάθε στοιχείο στον πίνακα συμμεταβλητότητας γραμμής j και στήλης k είναι η συμμεταβλητότητα μεταξύ των εντάσεων των ζωνών j και k . Το μέσο και η συμμεταβλητότητα πρέπει να επαναυπολογιστούν για κάθε τάξη. Ο αλγόριθμος σταματάει όταν δεν υπάρχει ουσιαστική αλλαγή μετά από κάθε υπολογισμό ή μετά από καθορισμένο αριθμό επαναλήψεων.

Λαμβάνοντας το φυσικό λογάριθμο στην παραπάνω σχέση η συνάρτηση απόφασης της μέγιστης πιθανοφάνειας είναι:

$$g_i(x) = \ln p(\omega_i) - \left[.5 \ln(|C_i|) \right] - \left[.5 (x - \mu_i)^T (C_i^{-1}) (x - \mu_i) \right]$$

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου της μέγιστης πιθανοφάνειας περιλαμβάνουν τη χρήση μη γραμμικών διαχωριστικών επιφανειών και την ικανοποιητική αναπαράσταση μη συμμετρικών στο χώρο προτύπων.

Στη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας κάθε τάξη προσεγγίζεται από μια πολυμεταβλητή κανονική κατανομή η οποία λαμβάνει υπ' όψιν της τη διασπορά των δεδομένων σε συγκεκριμένες διευθύνσεις στο φασματικό χώρο προτύπων με τη χρήση του πίνακα συμμεταβλητότητας. Συνεπώς, οι τάξεις που είναι μη συμμετρικές

και χαρακτηρίζονται από επιμήκυνση κατά μία διεύθυνση αντιπροσωπεύονται ικανοποιητικά. Αυτό δεν είναι δυνατό σε άλλες μεθόδους όπως στη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης η οποία δεν χρησιμοποιεί τη μεταβλητότητα και τη συμμεταβλητότητα των δεδομένων.

Η δυνατότητα του αλγορίθμου μέγιστης πιθανοφάνειας να χρησιμοποιεί μη γραμμικές διαχωριστικές επιφάνειες τον καθιστά ισχυρό στον καταμερισμό του πολυφασματικού χώρου από τον αλγόριθμο της ελάχιστης απόστασης ο οποίος δημιουργεί γραμμικές διαχωριστικές επιφάνειες. Ένα άλλο πλεονέκτημα του αλγορίθμου είναι το θεωρητικά αναμενόμενο ότι δηλαδή αν χρησιμοποιηθεί σωστά θα οδηγήσει σε ελάχιστο μέσο σφάλμα ταξινόμησης. Ενώ μειονεκτεί στην περίπτωση περιορισμένου αριθμού δεδομένων εκπαίδευσης.

Η αποτελεσματικότητα του αλγορίθμου εξαρτάται από μία αρκετή ικανοποιητική ακρίβεια εκτίμησης:

- του μέσου διανύσματος μ_i και
- του πίνακα συμμεταβλητότητας C_i για την κάθε φασματική κατηγορία

3.6.2 Αλγόριθμος της Ελάχιστης Απόστασης (Nearest Neighbour)

Ο αλγόριθμος της ελάχιστης απόστασης χρησιμοποιεί ως φασματικές υπογραφές της κάθε τάξης την μέση τιμή της και ως κριτήριο ταξινόμησης την εγγύτερη απόσταση από τους μέσους.

Στη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης κάθε τάξη προσεγγίζεται από την μέση τιμή της. Σε αντίθεση με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας δεν χρησιμοποιεί τη μεταβλητότητα και τη συμμεταβλητότητα των δεδομένων και συνεπώς το μοντέλο της κάθε τάξης είναι συμμετρικό στο φασματικό χώρο προτύπων. Επίσης, αντίθετα με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας, οι διαχωριστικές επιφάνειες της μεθόδου της ελάχιστης απόστασης, που διαχωρίζουν τις φασματικές τάξεις στον πολυφασματικό χώρο προτύπων είναι γραμμικές.

Η διαχωριστική συνάρτηση του αλγορίθμου της ελάχιστης απόστασης διαμορφώνεται ως εξής. Ας υποθέσουμε ότι m_i , όπου $i=1,2,\dots,M$ είναι οι μέσοι των M τάξεων που προσδιορίζονται από τα δεδομένα εκπαίδευσης και x είναι η θέση του προς ταξινόμηση εικονοστοιχείου στον πολυφασματικό χώρο προτύπων.

Πρώτα υπολογίζεται το σύνολο των Ευκλείδειων αποστάσεων του αγνώστου εικονοστοιχείου από τα M κέντρα, που ορίζεται στο πολυφασματικό διανυσματικό χώρο προτύπων ως: $d_2(x,m_i)^2 = (x-m_i)^* (x-m_i)$ για $i=1,2,\dots,M$

Αναπτύσσοντας το γινόμενο λαμβάνουμε: $d_2(x,m_i)^2 = x^2 - 2m_i x + m_i^2$.

Ένα εύλογο κριτήριο ταξινόμησης έγκειται στην κατάταξη ενός αγνώστου εικονοστοιχείου στην εγγύτερη τάξη, δηλαδή στον εγγύτερο μέσο, που εκφράζεται ως: το x ανήκει στο ω αν $d_2(x,m_i)^2 < d_2(x,m_j)^2$, για όλα τα $j \neq i$.

Επειδή ο όρος x^2 είναι κοινός για όλα τα $d_2(x,m_i)^2$ απαλείφεται.

Είναι δυνατόν αντί να γίνει ταξινόμηση για τη μικρότερη υπολειπόμενη έκφραση, αλλάζοντας τα πρόσημα θα μπορούσε να γίνει για την μεγαλύτερη έκφραση ως εξής: το x ανήκει στο ω αν $g_i(x) > g_j(x)$ για κάθε $j \neq i$

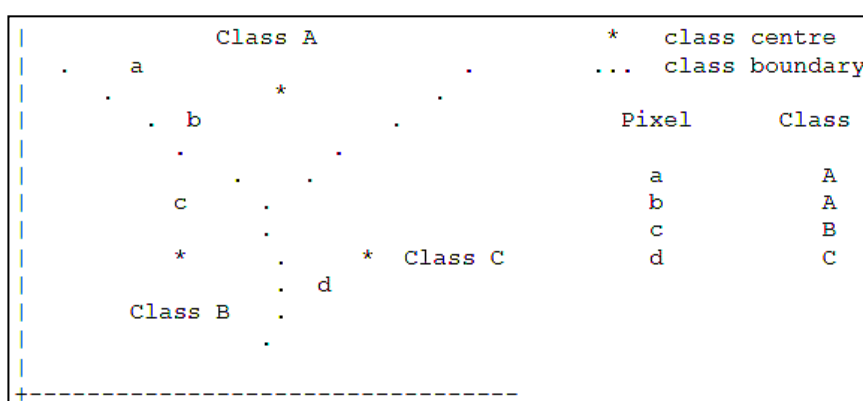
και όπου $g_i(x) = 2m_i x + m_i^2$

Οι παραπάνω εξισώσεις ορίζουν τη διαχωριστική συνάρτηση του αλγορίθμου της ελάχιστης απόστασης.

Ο αλγόριθμος της ελάχιστης απόστασης μπορεί να χρησιμοποιήσει και άλλες αποστάσεις εκτός της Ευκλείδειας απόστασης, όμως όσον αφορά την τηλεπισκόπηση οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι αλγόριθμοι βασίζονται στην Ευκλείδεια απόσταση.

Συνοψίζοντας, ο αλγόριθμος της ελάχιστης απόστασης χρησιμοποιεί τα μέσα διανύσματα από κάθε «καθαρό» εικονοστοιχείο ή των περιοχών εκπαίδευσης που ο χρήστης έχει σχηματίσει και υπολογίζει την ευκλείδεια απόσταση του κάθε αγνώστου εικονοστοιχείου με το μέσο διάνυσμα (κέντρο) της κάθε φασματικής κατηγορίας. Όλα τα εικονοστοιχεία ταξινομούνται στην κοντινότερη ομάδα, εκτός αν έχει οριστεί κάποια τυπική απόκλιση ή κάποιο «κατώφλι».

Τα κατώφλια ορίζονται ως αποστάσεις από το μέσο μιας τάξης και ως πολλαπλάσια της τυπικής απόκλισης αυτής της τάξης. Κατώφλια μπορούν να θεσπιστούν και να εφαρμοσθούν για τον αλγόριθμο της ελάχιστης απόστασης ώστε να εξασφαλισθεί ότι ένα εικονοστοιχείο κατανέμεται σε μία υποψήφια τάξη όχι μόνο όταν είναι εγγύτερα σε αυτή απ' ότι σε άλλες αλλά επίσης όταν είναι μέσα στα όρια μιας δεδομένης απόστασης από αυτή την τάξη. Σε αυτή την περίπτωση υπάρχει η πιθανότητα κάποια εικονοστοιχεία να μην ταξινομηθούν, αν δεν πληρούν τα προεπιλεγμένα κριτήρια που έχει θέσει ο χρήστης. Στην παρακάτω εικόνα, παρουσιάζεται η ταξινόμηση τεσσάρων εικονοστοιχείων σε τρεις φασματικές κατηγορίες.



Εικόνα 3.5.: Παράδειγμα του Αλγορίθμου της Ελάχιστης Απόστασης

Πηγή: Hodgson, M. E. 1988. «Reducing the computational requirements of minimum – distance classifier»

Ο αλγόριθμος της ελάχιστης απόστασης, αν και είναι ταχύτατος, δεν αντιπροσωπεύει ικανοποιητικά επιμήκεις τάξεις του χώρου προτύπων και δεν δημιουργεί παρά μόνο γραμμικές διαχωριστικές επιφάνειες.

Ο αλγόριθμος της ελάχιστης απόστασης έχει το πλεονέκτημα να είναι ταχύτερος από τον αλγόριθμο της μέγιστης πιθανοφάνειας. Το μειονέκτημά του είναι ότι δεν χρησιμοποιεί τη μεταβλητότητα και τη συμμεταβλητότητα των δεδομένων σε αντίθεση με την μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας. Στη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης κάθε τάξη προσεγγίζεται από τη μέση τιμή και συνεπώς το μοντέλο της κάθε τάξης είναι συμμετρικό στο φασματικό χώρο προτύπων. Γι' αυτό το λόγο τάξεις που δεν είναι συμμετρικές αλλά αντίθετα χαρακτηρίζονται από επιμήκυνση κατά μία διεύθυνση δεν θα αντιπροσωπευθούν ικανοποιητικά. Με αποτέλεσμα να χρειαστεί να

δημιουργηθούν περισσότερες φασματικές κατηγορίες απ' ότι θα χρειαζόταν στην περίπτωση της μέγιστης πιθανοφάνειας για την καλύτερη αναπαράσταση των δεδομένων. Σε αντίθεση με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας, οι διαχωριστικές επιφάνειες της μεθόδου της ελάχιστης απόστασης είναι γραμμικές.

Η αδυναμία του αλγορίθμου να χρησιμοποιεί μόνο γραμμικές επιφάνειες τον καθιστά πιο ανεπαρκή στον καταμερισμό του πολυφασματικού χώρου από τον αλγόριθμο της μέγιστης πιθανοφάνειας ο οποίος δημιουργεί μη γραμμικές διαχωριστικές επιφάνειες.

Παρόλα αυτά ο αλγόριθμος της ελάχιστης απόστασης είναι χρήσιμος όταν ο αριθμός των δεδομένων εκπαίδευσης είναι περιορισμένος και σε αυτές τις περιπτώσεις μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερες ακρίβειες από τη μέθοδο μέγιστης πιθανοφάνειας. Ο αλγόριθμος της ελάχιστης απόστασης μπορεί να χρησιμοποιηθεί συμπληρωματικά μετά την εφαρμογή της μεθόδου του παραλληλεπιπέδου, τεχνική που αφήνει συνήθως αταξινόμητα εικονοστοιχεία.

Η ταξινόμηση αυτή είναι μη παραμετρική αφού η συνάρτηση απόφασης βασίζεται στη μέτρηση της απόστασης και όχι στις Συναρτήσεις Πυκνότητας Πιθανότητας (PDF) των τάξεων. Επίσης, μπορεί να είναι επιβλεπόμενη αν ο διαχειριστής αναγνωρίζει τα δείγματα για εκπαίδευση, ή μη επιβλεπόμενη αν χρησιμοποιηθεί ένας αυτόματος αλγόριθμος ομαδοποίησης.

3.6.3 Αλγόριθμος του Παραλληλεπιπέδου (Parallelepiped)

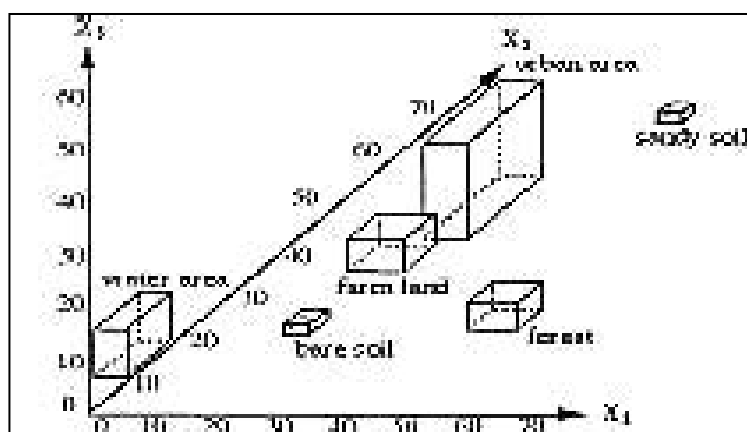
Ο αλγόριθμος του παραλληλεπιπέδου είναι ένας πολύ απλός επιβλεπόμενος αλγόριθμος. Το στάδιο επίβλεψης του αλγορίθμου γίνεται με προσεκτική εξέταση των ιστογραμμάτων των διαθέσιμων δεδομένων εκπαίδευσης από το κάθε κανάλι (ή το κάθε χαρακτηριστικό). Κατά την επίβλεψη, το μέγιστο και ελάχιστο του κάθε ιστογράμματος αναγνωρίζεται ενώ το εύρος των τιμών του ιστογράμματος χρησιμοποιείται για τον ορισμό της κάθε τάξης. Όλα μαζί τα εύρη τιμών σε όλες τις φασματικές διαστάσεις (αριθμό καναλιών) ορίζουν ένα πολυδιάστατο παραλληλεπίπεδο από το οποίο πήρε και το όνομά του ο αλγόριθμος.

Ο αλγόριθμος του παραλληλεπιπέδου χρησιμοποιεί έναν απλό κανόνα απόφασης για την ταξινόμηση των δεδομένων. Με τη χρήση ενός ορίου «κατώφλι» για τη

φασματική υπογραφή κάθε κατηγορίας, αποφασίζεται για κάθε εικονοστοιχείο αν περιέχεται σε κάποια κατηγορία ή όχι. Τα όρια αυτά, δημιουργούν ένα n-διάστατο παραλληλεπίπεδο στο φασματικό χώρο των δεδομένων, οι διαστάσεις του οποίου καθορίζονται από την τυπική απόκλιση που προκύπτει από τη μέση φασματική τιμή της κάθε επιλεγμένης κατηγορίας. Αν η τιμή ενός εικονοστοιχείου βρίσκεται πάνω από το χαμηλότερο «κατώφλι» και κάτω από το μεγαλύτερο για όλα τα κανάλια που ταξινομούνται (βρεθεί δηλαδή μέσα στο παραλληλεπίπεδο), καταχωρείται στην κατηγορία. Αν ένα pixel δε βρεθεί σε καμία κατηγορία, αυτό καταχωρείται στην τάξη 0 και ορίζεται ως αταξινόμητο. Τέλος, αν το εικονοστοιχείο «πέσει» σε παραπάνω της μίας κατηγορίες, τοποθετείται στην κατηγορία της επικάλυψης (overlap classcode).

Για τον προσδιορισμό των ορίων του Παραλληλεπιπέδου ακολουθούνται τα εξής βήματα:

- Επιλογή ζώνης δεδομένων.
- Εφαρμογή συνάρτησης μετασχηματισμού πυκνότητας για την ανάδειξη των εντάσεων I_{min} ως I_{max} των pixels ώστε να απομονωθεί η επιθυμητή τάξη.
- Επανάληψη των παραπάνω βημάτων για όλες τις επιθυμητές τάξεις.
- Επανάληψη των παραπάνω βημάτων για όλες τις υπόλοιπες ζώνες.



Εικόνα 3.6: Αναπαράσταση Αλγορίθμου Παραλληλεπιπέδου

Πηγή: Hodgson, M. E. 1988. «Reducing the computational requirements of minimum –distance classifier»

Η συνάρτηση απόφασης μπορεί τώρα να εφαρμοστεί πολύ εύκολα αφού αποτελείται μόνο από τον έλεγχο του κάθε δείγματος στα παραπάνω όρια.

Πιο αναλυτικά : $\mu_{ck} - \sigma_{ck} \leq BV_{ijk} \leq \mu_{ck} + \sigma_{ck}$

$$L_{ck} \leq BV_{ijk} \leq H_{ck}$$

όπου BV_{ijk} οι τιμές των εντάσεων του pixel ij στη ζώνη k

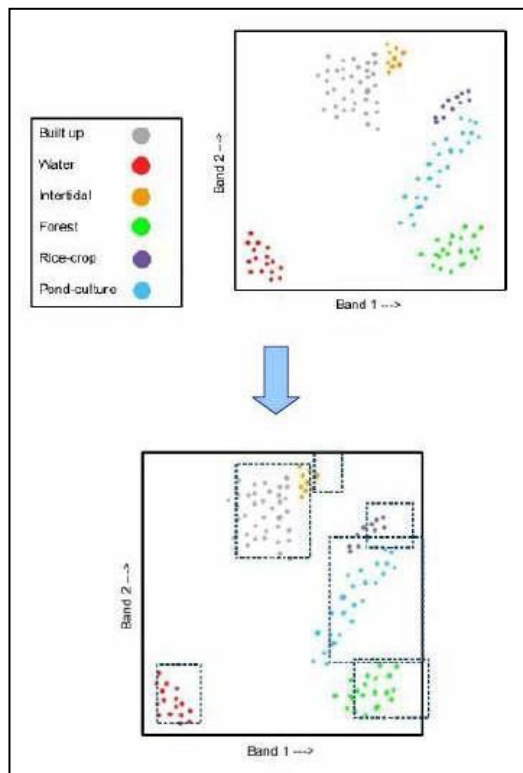
μ_{ck} το μέσο των τιμών όλων των pixels της τάξης c στη ζώνη k και

σ_{ck} η διακύμανση των τιμών των pixels της τάξης c στη ζώνη k .

Παρά την απλότητα και αποτελεσματικότητα που φαίνεται να έχει αυτός ο αλγόριθμος παρουσιάζει αρκετές αδυναμίες. Αν επιλεγθεί ένα μικρό όριο τα παραλληλεπίπεδα θα είναι πολύ μικρά και πολλά pixels δε θα ταξινομηθούν. Αν από την άλλη επιλέξουμε μεγάλο όριο πολλές τάξεις παραλληλεπιπέδων θα επικαλύπτονται οπότε πάλι θα έχουμε μη ταξινομημένα pixels. Αυτό είναι ένα πρόβλημα ειδικά όταν έχουμε να κάνουμε με υψηλά συσχετιζόμενα σύνολα δεδομένων (*Richards και Jia, 1986*).

Η ακρίβεια της ταξινόμησης με το συγκεκριμένο αλγόριθμο εξαρτάται από την επιλογή των χαμηλότερων και υψηλότερων τιμών για τον κάθε άξονα, επιλογή που βασίζεται κατά κύριο λόγο στη γνώση των στατιστικών στοιχείων για κάθε φασματική κατηγορία. Θεωρείται σημαντική δηλαδή, η κατανόηση της διασποράς των εικονοστοιχείων για όλες τις ομάδες που θα δημιουργηθούν.

Ένα απλό παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου του παραλληλεπιπέδου φαίνεται στην *Εικόνα 3.7*, με τη χρήση δύο μόνο καναλιών. Παρατηρείται, λοιπόν, πως ορισμένα εικονοστοιχεία εμφανίζονται σε περισσότερα από ένα φασματικά «κουτιά». Το γεγονός αυτό οφείλεται στη συσχέτιση των καναλιών σε ορισμένες κατηγορίες και μπορεί να ξεπεραστεί αλλάζοντας τις διαστάσεις των παραλληλεπιπέδων. Συνήθως, ο αλγόριθμος του παραλληλεπιπέδου χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που απαιτείται ταχύτητα. Δυστυχώς, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα σε πολλές περιπτώσεις να υστερεί σε ακρίβεια και πολλά εικονοστοιχεία να παραμένουν αταξινόμητα ή να κατατάσσονται σε επικαλυπτόμενα παραλληλεπίπεδα.



Εικόνα 3.7 : Παράδειγμα του Αλγορίθμου Παραλληλεπίπεδου

Πηγή: Hodgson, M. E. 1988. «Reducing the computational requirements of minimum – distance classifier»

Η παραλληλεπίπεδη ταξινόμηση είναι επιβλεπόμενη και μη παραμετρική ταξινόμηση αφού οι τιμές των I_{min} και I_{max} προσδιορίζονται από το διαχειριστή και η συνάρτηση απόφασης βασίζεται στα όρια απόφασης και όχι στις Συναρτήσεις Πυκνότητας Πιθανότητας (PDF) των τάξεων. Παρόλα αυτά μπορεί να θεωρηθεί παραμετρική αν θεωρήσουμε την PDF της κάθε τάξης σαν μια πολυδιάστατη ομοιόμορφη κατανομή ανάμεσα στα I_{min} και I_{max} , τα οποία θα θεωρήσουμε και σαν παραμέτρους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο: ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ: ΟΙ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΕΒΡΟΥ ΤΟ ΕΤΟΥΣ 2010

4.1 Εισαγωγή

Η παρούσα μελέτη πραγματοποιείται με αφορμή τις πλημμύρες που έπληξαν το Νομό Έβρου τον Φεβρουάριο του 2010, προκαλώντας πολυάριθμες καταστροφές. Η περιοχή μελέτης εντοπίζεται κατά μήκος του ποταμού Έβρου και οι περιοχές που επλήγησαν περισσότερο είναι το Πραγγί, τα Λάβαρα και ο Πόρος.

Μεγάλες ποσότητες κυρίως από τοπικά νερά, κατέκλυσαν δεκάδες χιλιάδες στρέμματα. Περισσότερα από 250 χιλιάδες στρέμματα ήταν σκεπασμένα κάτω από λάσπες και νερά και δεκάδες κτηνοτροφικές μονάδες και επιχειρήσεις πλημμύρισαν, ενώ η νομαρχιακή αυτοδιοίκηση του Έβρου εκτίμησε πάνω από 50 εκατομμύρια ευρώ το κόστος των ζημιών σε όλο το νομό.

Ο κύριος σκοπός της μελέτης είναι η αξιολόγηση της συνεισφοράς των σύγχρονων αναπτυξιακών εργαλείων της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.) στην ανίχνευση πλημμυρισμένων περιοχών. Αντικείμενο της παρούσας μελέτης είναι η χαρτογράφηση της πλημμυρισμένης περιοχής του Έβρου και ο εντοπισμός των αγροτεμαχίων που επλήγησαν.

Οι μελέτες πλημμυρικών γεγονότων απαιτούν διεπιστημονικές προσεγγίσεις προκειμένου να επιτρέψουν την κατανόηση τέτοιων φαινομένων, την πρόγνωση τους και την παρακολούθηση αυτών, με σκοπό να βοηθήσουν στον σχεδιασμό λήψης αποφάσεων. Η δημιουργία μιας βάσης διαχείρισης φυσικών καταστροφών με γεωγραφικά συσχετισμένες πληροφορίες είναι καθοριστικής σημασίας, καθώς θα επιτυγχάνεται ο εντοπισμός, η μέτρηση και η χωρική απεικόνιση του υπό μελέτη φαινομένου.

Μεταξύ όλων των εργαλείων που είναι διαθέσιμα για την απόκτηση γεωγραφικών δεδομένων, οι δορυφορικές εικόνες αποτελούν την πλέον πολύτιμη πηγή πληροφοριών. Η τεχνολογία της Τηλεπισκόπησης μαζί με τα Γεωγραφικά Συστήματα

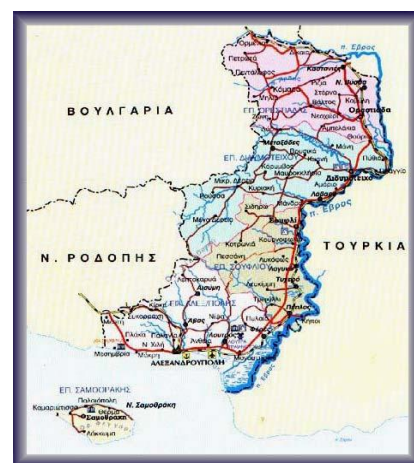
Πληροφοριών (G.I.S.) έχουν γίνει τις δύο τελευταίες δεκαετίες, το εργαλείο κλειδί για την παρακολούθηση πλημμύρων.

Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται στην Τηλεπισκόπηση επιτρέπουν την συλλογή πληροφοριών για την επιφάνεια του εδάφους από κάποια απόσταση χωρίς να υπάρχει φυσική επαφή. Οι εφαρμογές των G.I.S. και τα συστήματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων επιτρέπουν την αποθήκευση, ανάκτηση, διαχείριση και τον συνδυασμό διαφορετικών θεματικών δεδομένων τα οποία έχουν καταγραφεί για μια συγκεκριμένη περιοχή. Τα προηγούμενα διαφορετικά επίπεδα πληροφοριών μπορούν να συνδυαστούν και να εφαρμοστούν στην πρόληψη πλημμυρικών γεγονότων, την πρόβλεψή τους καθώς επίσης και την επίδραση των συνεπειών τους.

Η πληθώρα φυσικών καταστροφών, λόγω της πολυπλοκότητας των φαινομένων και των αλυσιδωτών επιπτώσεων που προκαλούν, καθιστά αναγκαία τη χρήση εξελιγμένων συστημάτων πληροφορικής για την αντιμετώπιση τους. Η διαθεσιμότητα πληροφοριών και η δυνατότητα ουσιαστικής και αποτελεσματικής επεξεργασίας τους, δίνει τη δυνατότητα στις κατά τόπους κοινότητες να έχουν το στρατηγικό πλεονέκτημα σε μια ολοένα και περισσότερο ανταγωνιστική εποχή σε παγκόσμιο επίπεδο.

4.2 Γεωγραφική θέση Νομού Έβρου

Ο Νομός Έβρου βρίσκεται στο βορειοανατολικό άκρο της Ελλάδας, στο φυσικό σύνορο της χώρας με την Βουλγαρία στα βόρεια και την Τουρκία στα ανατολικά, αποτελεί δε το ένα από τα τρία τριεθνή σημεία που υπάρχουν στην Ελλάδα. Δυτικά συνορεύει με τον νομό Ροδόπης, η πρόσβαση στον οποίον γίνεται μέσω της Εγνατίας Οδού και στα νότια βρέχεται από το Θρακικό πέλαγος. Χιλιομετρικά αποτελεί τον πλέον απομακρυσμένο νομό από την Αθήνα καθώς η πρωτεύουσα του νομού, Αλεξανδρούπολη, απέχει 840 χλμ. από αυτήν, 340 χλμ. από την Θεσσαλονίκη και 295 χλμ. από την Κωνσταντινούπολη.



Εικόνα 4.1: Γεωγραφική θέση του Ν. Έβρου

Πηγή: www.google.gr

4.3 Ιστορία Νομού Έβρου

Η εξέλιξη του πολιτισμού στη νοτιοανατολική αιγιακή Θράκη, την περιφέρεια του Ν. Έβρου, συνδέεται άμεσα με τη γεωμορφολογία και ιδιαίτερα την ύπαρξη του ποταμού Έβρου. Η διαχρονική και δυναμική σχέση του ποταμού και των ανθρώπινων κοινωνιών αντικατοπτρίζεται με ιδανικό τρόπο, στο όνομα του σύγχρονου Νομού, που το δανείζεται από το ιστορικό και ζωογόνο ποτάμι.

Οι ανθρώπινες ομάδες συναντούν ευνοϊκές περιβαλλοντικές συνθήκες για την ανάπτυξη της οικονομίας τους, που αποτελεί τη βάση για την πλούσια εμπορική και πολιτιστική τους έκφραση. Ακόμη, λόγω της θέσης καθώς βρίσκεται στο νοητό όριο δύο σημαντικών πολιτισμικών κύκλων, της Δύσης και της Ανατολής δέχτηκε τη γονική επίδραση και από τις δύο πλευρές, δημιουργώντας το δικό του γοητευτικό πρόσωπο.

Η περιοχή του Έβρου κατοικήθηκε από την Παλαιολιθική Εποχή (10.000 - 7.000 π.Χ.) όπως μαρτυρούν τα λίθινα εργαλεία που βρέθηκαν επιφανειακά κοντά στον Άρδα και στον Έβρο ποταμό. Η ανθρώπινη παρουσία εξακολουθεί να υπάρχει τη Νεολιθική εποχή (5.500-3.000 π.Χ.) στην περιοχή και μάλιστα στην περίοδο της Εποχής του Χαλκού (3.000 - 1.050) παρατηρούνται επαφές με κατοίκους εκτός Θράκης και συγκεκριμένα η ανασκαφή στη περιοχή Μικρό Βουνί Σαμοθράκης δείχνει εμπορικές επαφές με Μινωίτες.

Κατά την διάρκεια των Κλασικών χρόνων Αιολείς αποικίζουν το νησί της Σαμοθράκης και χτίζουν το Ιερό των Μεγάλων Θεών. Επιπλέον, η περίοδος αυτή χαρακτηρίζεται από την συγκρότηση οργανωμένων οικισμών στα νότια παράλια του νομού, που δημιουργείται η Πόλη-Κράτος της Σαμοθράκης για να ενισχύσει τις εμπορικές επαφές της με τη Θρακική ενδοχώρα. Πιο γνωστή από αυτές τις μικρές πόλεις, που απάρτιζαν τη Σαμοθρακική Περαία, είναι η Μεσημβρία-Ζώνη.

Οι Ρωμαϊκοί χρόνοι που διήρκεσαν ως τον 4ο αι. μ.Χ. οδηγούν στην ανάδειξη του ελληνικού χαρακτήρα του τοπικού πολιτισμού.

Η περιοχή του Έβρου λόγω της γειννιάσής της με την Κωνσταντινούπολη παίζει πρωτεύοντα ρόλο κατά την Βυζαντινή περίοδο. Το 1151-1152 ο αυτοκράτορας Ισαάκιος Κομνηνός ιδρύει το μοναστήρι της Παναγίας Κοσμοσώτειρας στις Φέρες ενώ κατά τον εμφύλιο πόλεμο του 1341-1347 ο Ιωάννης ΣΤ' Κατακουζηνός στέφεται αυτοκράτορας στο Διδυμότειχο.

Από τα μέσα του 18ου αι. ο αστικός ελληνικός πληθυσμός της περιοχής γνωρίζει μια διαρκή ανάπτυξη. Από τους οικισμούς του νομού, το Σουφλί είναι αυτό που γνωρίζει την μεγαλύτερη άνθηση χάρη στο μετάξι. Δυστυχώς στα τέλη του 19ου και στις αρχές του 20 αι. ολόκληρη η περιοχή της Θράκης χωρίς να εξαιρεείται ο νομός Έβρου γνωρίζει τις συνέπειες των ενδοβαλκανικών ανταγωνισμών και συγκρούσεων. Η Θράκη ενώθηκε με την Ελλάδα το 1920 με την υπογραφή της συνθήκης των Σεβρών μετά το τέλος του Α' Παγκοσμίου Πολέμου και αφού πέρασε μία περίοδος διαβαλκανικής διοίκησης.

4.4 Γεωγραφικά στοιχεία ευρύτερης περιοχής

4.4.1 Γεωμορφολογία

Ο νομός Έβρου, είναι πεδινός κατά το μεγαλύτερο μέρος του και παρουσιάζει ομαλό ανάγλυφο: από τα 4.242τ.χλμ. της επιφάνειάς του μόνο τα 424 είναι ορεινά, ενώ τα 2.578 είναι πεδινά και τα 1.240 ημιορεινά. Το δυτικό τμήμα του νομού είναι ορεινό, ενώ το ανατολικό γίνεται περισσότερο πεδινό όσο πλησιάζουμε στην κοιλάδα του ποταμού Έβρου. Οι κυριότερες κορυφές της Ροδόπης, από τα Βόρεια προς τα Νότια, είναι: Σίλο (1.065μ.), Σάπκα (1.044μ.), Καλλιθέα (944μ.) και Επτάδενδρος (794μ.), οι τρεις τελευταίες βρίσκονται στα όρια με τον νομό Ροδόπης. Στο εσωτερικό του νομού, στο ύψος του Σουφλίου, βρίσκεται η κορυφή Αντάς (654μ.), νοτιότερα το Κάψαλο (618 μ.) και στο νοτιοδυτικό τμήμα η κορυφή Τσοπάν (628μ.).

4.4.4 Γεωλογία

Η μάζα της Ροδόπης επεκτείνεται και στο κεντρικό τμήμα του νομού Έβρου. Το υπόλοιπο ορεινό και ημιορεινό τμήμα του αποτελείται από παλαιοζωικά πετρώματα, ηφαιστειακούς σχηματισμούς (λιπαρίτες, δακίτες, ανδεσίτες, διαβάσεις), ηφκαινικά

ιζήματα (κροκαλοπαγή, νουμουλιτικούς ασβεστόλιθους, ψαμμιτομαργαϊκά στρώματα με ενστρώσεις τόφων και κροκαλοπαγών, αργιλικούς σχιστόλιθους), θαλάσσια ιζήματα του νεογενούς και τέλος ποτάμια αποθέματα του τεταρτογενούς. Το βόρειο τμήμα του νομού είναι σχεδόν επίπεδο (πεδιάδα Ορεστιάδας Διδυμοτείχου), όπως και το ανατολικό, όπου σχηματίζεται η κοιλάδα του Έβρου, που πλαταίνει καθώς ο ποταμός προχωρεί προς τα Νότια, για να σχηματίσει στις εκβολές του το λιμνοβαλτώδες δέλτα του. Η ακτή του νομού Έβρου, αλίμενη και χωρίς κολπώσεις, μόνο Ανατολικά της Αλεξανδρούπολης παρουσιάζει κάποια ποικιλία (λιμνοθάλασσες Αβγάνων, Δράκοντα, Παλούκια), όπου όμως αλλάζει συνεχώς μορφή εξαιτίας των προσχώσεων του ποταμού Έβρου και η χέρσος της επεκτείνεται μέσα στη θάλασσα.

4.4.5 Υδρολογία

Σημαντικό υδρογραφικό στοιχείο του νομού αποτελεί ο ποταμός Έβρος, στον οποίο καταλήγουν πολλά μικρά υδάτινα ρεύματα ενώ οι δύο βασικοί παραπόταμοί του είναι α) ο Άρδας, ο οποίος πηγάζει από τη βουλγαρική πλευρά των ορέων της Κούλας και διαρρέει τον νομό σε όλο το πλάτος του πριν καταλήξει στον Έβρο, και β) ο Ερυθροπόταμος, ο οποίος πηγάζει από την ίδια κατεύθυνση και περνάει από το Διδυμότειχο πριν φτάσει στον Έβρο. Στην ηφαιστειότητα της περιοχής οφείλονται οι αξιόλογες θερμομεταλλικές πηγές Λουτρών. Όσον αφορά τα μεταλλεύματα, στον νομό Έβρου υπάρχουν χρωμίτες και μαγγάνια (περιοχή Σουφλίου) και μεικτά θειούχα (μολύβδου – ψευδαργύρου και σιδήρου, περιοχή Κίρκης).

4.4.5 Κλίμα

Το κλίμα του νομού Έβρου είναι ηπειρωτικό με ετήσιο θερμομετρικό εύρος ανώτερο των 20°C και χαρακτηρίζεται από δριμείς χειμώνες και θερμά καλοκαίρια. Το χιόνι είναι συνηθισμένο φαινόμενο κατά την ψυχρή εποχή και το έδαφος παραμένει σκεπασμένο από χιόνι για πολλές ημέρες. Άλλο συνηθισμένο φαινόμενο, επίσης έντονο κατά τη χειμερινή περίοδο, είναι και ο παγετός. Το ύψος της βροχής, εκτός από τον Δεκέμβριο, είναι μικρό και ελαττώνεται όσο προχωρούμε από τις παράκτιες περιοχές προς το εσωτερικό. Αυτό οφείλεται στο ότι τα αντικυκλωνικά συστήματα, υπό την επίδραση των οποίων βρίσκεται η περιοχή κατά την ψυχρή περίοδο του έτους, μεταφέρουν πολικές ηπειρωτικές ή και αρκτικές μάζες αέρα, πολύ ψυχρές και

σχετικά ξηρές. Επίσης, εξαιτίας της αντικυκλωνικής δράσης, οι θερμοκρασίες της χειμερινής περιόδου είναι πολύ χαμηλές: οι απόλυτες ελάχιστες θερμοκρασίες κατέρχονται στους 10°C, περισσότερο υπό το μηδέν στα παράκτια τμήματα και κάτω από τους 15 - 20°C στα εσωτερικά και βόρεια. Κατά τη θερινή περίοδο, στις εσωτερικές περιοχές του νομού, οι οποίες κατακλύζονται από θερμές και ξηρές ηπειρωτικές μάζες, οι θερμοκρασίες υπερβαίνουν πολλές φορές τους 40°C, ενώ τα παράκτια τμήματα, επειδή επηρεάζονται από τη θάλασσα, δεν παρουσιάζουν πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Οι βροχές, οι οποίες τείνουν να κατανεμηθούν ομοιόμορφα κατά τη διάρκεια του έτους, δεν σπανίζουν κατά τη θερμή εποχή. Εκτός από τις βροχές που προέρχονται από υφέσεις, σημειώνονται και θερμικές καταιγίδες. Τα μελέμια δεν είναι πολύ συχνά στην περιοχή ούτε έντονα, επειδή οι άνεμοι αυτοί μεταφέρουν θερμές και ξηρές μάζες αέρα.

4.5 Οικονομία Νομού Έβρου

Η οικονομία του νομού Έβρου βασίζεται κυρίως στη γεωργία και κατά δεύτερο λόγο στην κτηνοτροφία, ενώ η βιομηχανία αναπτύχθηκε μετά το 1990. Καθοριστικός παράγοντας της οικονομίας του νομού θετικά αλλά και αρνητικά είναι ο ποταμός Έβρος λόγω της επίδρασής του στη σύσταση του εδάφους με τις ύλες που μεταφέρει και λόγω των περιοχών που αρδεύει ή μπορεί να αρδεύσει, αλλά και αρνητικά, λόγω των ζημιών που προκαλεί με τις πλημμύρες του.

Ο Έβρος είναι ένας νομός πεδινός αφού μόνο το 10,3% είναι ορεινοί όγκοι, έναντι των εκτεταμένων πεδιάδων που καταλαμβάνουν το 62,4% της έκτασης του, ένα μεγάλο μέρος των οποίων καλλιεργείται. Στην καλλιέργεια συμβάλλει η ύπαρξη του ποταμού Έβρου, των παραποτάμων του και πλήθος αρδευτικών καναλιών.

Η γεωργία στηρίζεται στην καλλιέργεια σιτηρών κυρίως στις μεγάλες πεδινές εκτάσεις των δήμων Ορεστιάδας και Διδυμοτείχου, οι οποίες καλύπτουν περισσότερο από τα δύο τρίτα της επιφάνειας που καλλιεργείται συνολικά στον νομό Έβρου. Τα σιτηρά αντιπροσωπεύουν σημαντικό τμήμα της συνολικής αξίας της γεωργικής παραγωγής, η οποία περιλαμβάνει και προϊόντα όπως το σκουπόχορτο (σόργο), ο σπόρος μηδικής, τα πεπόνια και ο ηλίανθος.

Ο νομός παρουσιάζει και αξιόλογη κτηνοτροφία, ενώ έχει αναπτυχθεί ποσοτικά και ποιοτικά και η κτηνοτροφία μεγάλων ζώων (βοοειδών). Για τον λόγο αυτό έχει αυξηθεί σημαντικά η καλλιέργεια της μηδικής σε ξερικά εδάφη. Στην περιοχή του Σουφλίου, όπου καλλιεργείται η μουριά, σημαντική είναι η σηροτροφία για την παραγωγή μεταξιού. Χάρη στη δραστηριότητα αυτή, το Σουφλί είναι γνωστό σε όλη την Ελλάδα για τα περίφημα μεταξωτά του.

Τα δάση καλύπτουν περίπου το 29% του εδάφους του νομού, δεν υπάρχει όμως αξιόλογη εκμετάλλευση. Ωστόσο, ξεχωριστή ανάπτυξη παρουσιάζει η καλλιέργεια της λεύκας.

Η αλιεία, που διεξάγεται με κέντρο την Αλεξανδρούπολη, είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένη και εκμεταλλεύεται τον αλιευτικό πλούτο του ποταμού Έβρου (ψάρι οξύρρυγχος από το οποίο βγαίνει το μαύρο χαβιάρι), του Δέλτα του και του Θρακικού πελάγους.

4.6 Ο ποταμός Έβρος

Ο ποταμός Έβρος είναι ο δεύτερος μεγαλύτερος ποταμός στα Βαλκάνια, μετά το Δούναβη, πηγάζει από την οροσειρά Ρίλα στη Βουλγαρία και εκβάλλει στο Θρακικό πέλαγος. Το συνολικό μήκος του είναι 550χλμ περίπου, εκ των οποίων 320χλμ, περίπου βρίσκονται στη Βουλγαρία, 10χλμ περίπου στην Τουρκία και 220χλμ περίπου αποτελούν το σύνορο Ελλάδας – Βουλγαρίας και Ελλάδας – Τουρκίας στα κατάντη (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε, 2007).



Εικόνα 4.2: Ο ποταμός Έβρος

Πηγή: www.google.gr

Ιδιαίτερα σημαντική είναι η διεθνής υπόστασή του, καθώς η λεκάνη απορροής του κατανέμεται μεταξύ Ελλάδας, Βουλγαρίας και Τουρκίας. Η κλίση του ποταμού είναι ομαλή στα λοφώδη τμήματα ενώ καταλήγοντας σε μια πεδιάδα προς τις εκβολές του έχει μικρές και ομαλές κλίσεις.

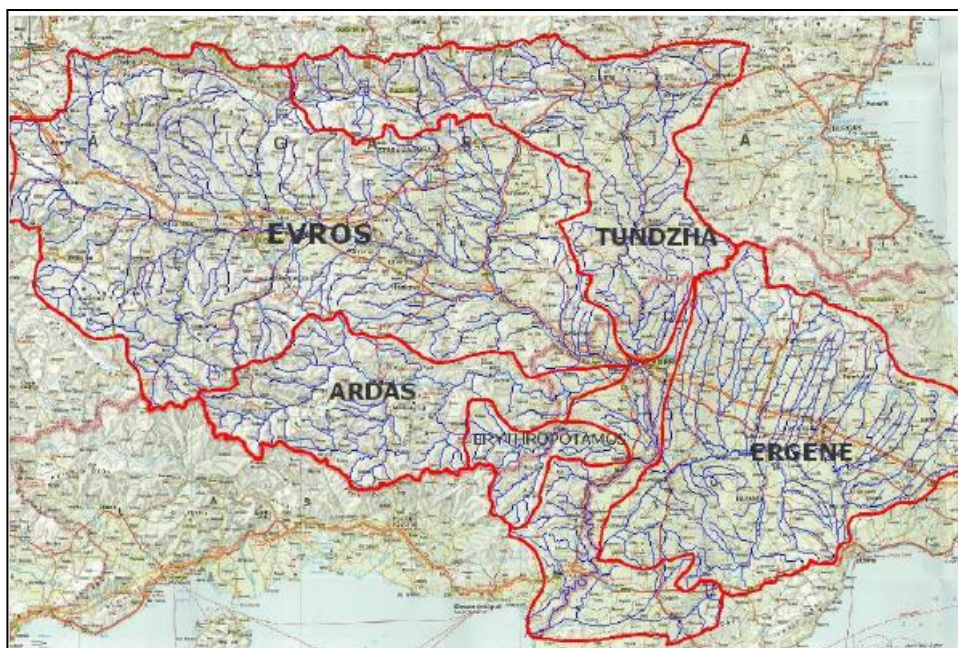
4.6.1 Θέση και έκταση της λεκάνης απορροής

Η ευρεία λεκάνη, η οποία τροφοδοτεί με τα νερά της τον ποταμό Έβρο έχει επιφάνεια 53.000τ.χλμ και καταλαμβάνει τμήματα της Βουλγαρίας, της Τουρκίας και του Νομού Έβρου στην Ελλάδα. Στον επόμενο πίνακα απεικονίζεται σχηματικά η κατανομή της λεκάνης απορροής του μεταξύ των τριών χωρών:

ΧΩΡΑ	ΕΚΤΑΣΗ (σε τ.χλμ.)	ΕΚΤΑΣΗ (σε ποσοστό)
Ελλάδα	3.340 τ.χλμ.	6%
Τουρκία	4.860 τ.χλμ.	28%
Βουλγαρία	34.860 τ.χλμ.	66%
ΣΥΝΟΛΟ	53.000 τ.χλμ.	100%

Πίνακας 4.1: Κατανομή λεκάνης απορροής του ποταμού Έβρου

Πηγή: Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης, 2006



Εικόνα 4.3: Λεκάνες απορροής του ποταμού Έβρου και των παραποτάμων του

Πηγή: Αρχαιακό υλικό του Τμήματος Πολιτικής Προστασίας του Ν. Έβρου



Εικόνα 4.4: Λεκάνες απορροής του ποταμού Έβρου και των παραποτάμων του
 Πηγή: Αρχαιακό υλικό του Τμήματος Πολιτικής Προστασίας του Ν. Έβρου

4.6.2 Το Δέλτα του Έβρου

Ιδιαίτερης σημασίας είναι οι εκβολές του ποταμού που αποτελούν το Δέλτα του Έβρου και το οποίο προστατεύεται από τη συνθήκη Ramsar. Έχει αναγνωριστεί ως διεθνής υγρότοπος (Σύμβαση του Ramsar, 1971). Αποτελεί προστατευόμενη περιοχή και καταφύγιο θηραμάτων, όπου ζουν πολλά σπάνια ή απειλούμενα είδη. Έχει συνολική έκταση 111.937 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Σχηματίστηκε από τις φερτές ύλες και την αλληλεπίδραση της ροής γλυκού ύδατος του ποταμού με τα θαλάσσια ρεύματα. Παράλληλα, στη διπλή εκβολή του Έβρου στο Θρακικό πέλαγος σχηματίζονται μικρές νησίδες (Ασάνη, Ξέρα Ασάνη, Καραβιού Ξηράδι), αμμοθίνες, λιμνοθάλασσες (Δράνα, Λακί, Μονολίμνη, Παλούκια), λίμνες γλυκού νερού (Νυμφών, Τσεκούρι, Σκέπη, Σπίτια, Γυναίκα), βάλτοι, καθώς και έλη αλμυρού και υφάλμυρου νερού.

Οι κυριότεροι παραπόταμοι του Έβρου είναι οι ακόλουθοι:

- Αρδας

Η λεκάνη απορροής του είναι 5.600 τ.χλμ. Από αυτά, 5.300 τ.χλμ βρίσκονται στη Βουλγαρία και 344 τ.χλμ στην Ελλάδα. Πηγάζει στη Δυτική Ροδόπη (Βουλγαρία) και έχοντας διανύσει περίπου 240 χλμ σε βουλγαρικό έδαφος με ανατολική πορεία, στα

βόρεια της Ανατολικής Ροδόπης, εισέρχεται στο ελληνικό έδαφος. Μετά από 35 χλμ σε αυτό συμβάλλει στον ποταμό Έβρο στο ύψος των Καστανιών απέναντι από την Ανδριανούπολη.

- Τούντζας

Η λεκάνη απορροής του είναι περίπου 8.000 τ.χλμ από τα οποία 7.900 τ.χλμ βρίσκονται στη Βουλγαρία και 100 τ.χλμ περίπου στην Τουρκία. Πηγάζει στην κεντρική Βουλγαρία. Αφού εισέλθει στο τουρκικό έδαφος και μετά από 50 χλμ σε αυτό, συμβάλλει στον ποταμό Έβρο στο ύψος της Ανδριανούπολης, απέναντι από τις Καστανιές.

- Εργίνης

Η λεκάνη απορροής του είναι 11.300 τ.χλμ περίπου. Πηγάζει στα βουνά της Ανατολικής Θράκης. Συμβάλλει στον ποταμό Έβρο απέναντι από το Τυχερό, στο ύψος του Ιμπρικτεπέ.

- Ερυθροπόταμος

Αναπτύσσεται εξολοκλήρου σε ελληνικό έδαφος και ενώνεται με τον Έβρο κοντά στο Διδυμότειχο. Η λεκάνη απορροής του είναι 1.570 τ.χλμ εκ των οποίων περίπου 970 τ.χλμ βρίσκονται στο ελληνικό έδαφος.

4.7 Φράγματα, αρδευτικά δίκτυα και ταμιευτήρες

Στο ελληνικό τμήμα της λεκάνης του ποταμού Έβρου και ιδίως στο βόρειο τμήμα αυτής, απαντώνται πολυάριθμα αρδευτικά έργα. Ο Έβρος και ο Άρδας παρέχουν το αρδευτικό νερό, ενώ οι γεωτρήσεις χρησιμοποιούνται σε ποσοστό 25% για την άρδευση πολλών επιπλέον εκτάσεων. Στο βουλγαρικό τμήμα, τα αρδευτικά δίκτυα τροφοδοτούνται από φράγματα του Έβρου εντός αυτού. Στο τουρκικό τμήμα, η τροφοδότηση των αρδευτικών δικτύων γίνεται μέσω υδροληψιών.

Τα φράγματα του ελληνικού τμήματος της λεκάνης του Έβρου που χρησιμοποιούνται για άρδευση είναι τα παρακάτω:

- Το φράγμα της Λύρας II στη θέση «Μαυρόρεμα».

- Το φράγμα του Προβατώνα στη θέση «Ρέμα Ξέφωτο», στα βόρεια της Λευκίμης, του Προβατώνα και του Τυχερού.
- Το φράγμα του Αρδανίου και της Καβησσού στη θέση «Μέγα Ρέμα», στα βόρεια των Φερρών, του Αρδανίου και της Καβησσού.
- Το φράγμα του Άρδα στα ελληνοβουλγαρικά σύνορα, νότια της Μηλέας και του Κυπρίνου.

Στο βουλγαρικό τμήμα υπάρχουν τα παρακάτω φράγματα:

- Μπέλκεμεν στον ποταμό Κρίβα (άρδευση και βιομηχανική υδροδότηση).
- Γκόλιαμ Μπεγλίκ στον ποταμό Τσέρνο Ντερέ (παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας).
- Μπατάκ στον ποταμό Μάτνιτσα (παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, άρδευση και βιομηχανική υδροδότηση).
- Βάτσα στον ομώνυμο ποταμό (παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και άρδευση).
- Τράκιετς στον ποταμό Ολού Ντερέ (παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, άρδευση).
- Τοπόλνιτσα στον ομώνυμο ποταμό (άρδευση).
- Πιάσατσνικ στον ομώνυμο ποταμό (άρδευση).
- Ντόμλιαν στον ποταμό Σβεζένκα (άρδευση).

Στο τουρκικό τμήμα υπάρχουν τα ακόλουθα φράγματα:

- Kayalikoy
- Suloglu
- Karaidemir

Στο τμήμα της λεκάνης του Έβρου υπάρχουν οι ταμιευτήρες: Oncharitsa, Gavanovo, Krichim, Rozov Kladenets, Rozov Chaira, Suloglu Dam, Karaidemir, Karasaz, Kirishane, Kuplu, Altinyazi – Alic και Kadikoy Dam. Στο τμήμα της λεκάνης του Άρδα υπάρχουν οι ταμιευτήρες: Κουρτζαλί, Στούντεν Τάντενετς, Ιβαΐλοφγκραντ, ενώ στο τμήμα της λεκάνης του Τούντζα βρίσκονται οι ταμιευτήρες: Κομπρίνκα, Ζρέμπσεβο, Σάρκοβο. (Υ.Π.Ε.Χ.Ε.Δ.Ε, 2007)

4.8 Υφιστάμενα αναχώματα στο ελληνικό τμήμα της λεκάνης απορροής του ποταμού Έβρου

Υπάρχουν τρεις κατηγορίες των υφιστάμενων ελληνικών αναχωμάτων στη λεκάνη απορροής του ποταμού Έβρου οι οποίες αναλύονται παρακάτω:

- **Κύρια αναχώματα**

Είναι τα αναχώματα αυξημένης διατομής που κατασκευάστηκαν ως πρώτα βασικά αντιπλημμυρικά έργα μέχρι το 1963 σε απόσταση 600 – 1000μ. από τον ποταμό Έβρο. Κατασκευάστηκαν, κυρίως, για προστασία των οικισμών Φερρών, Πόρου, Λαγηνών, Λυκόφης, Τυχερού, Σουφλίου, Ορεστιάδας με τα παλιά δεδομένα των πλημμυρικών παροχών του ποταμού (12.000 κ.μ/δλ), εκ των οποίων τα μισά περίπου προέρχονταν από τον Άρδα πριν την κατασκευή των τριών αλληλοτροφοδοτούμενων βουλγαρικών φραγμάτων.

- **Υπερβλητά ή Δευτερεύοντα αναχώματα**

Με τη συστηματική εκμετάλλευση των παρέβριων αφύλακτων από τις πλημμύρες γεωργικών εκτάσεων μετά το 1963, παρέστη η ανάγκη προστασίας των εκτάσεων αυτών με την κατασκευή μικρού ύψους αναχωμάτων για την ανάσχεση μικρών πλημμυρών. Με την πάροδο των ετών με διαρκείς συμπληρώσεις και βελτιώσεις, τα υπερβλητά αναχώματα απέκτησαν ύψος 2,5 – 3μ. και περιέλαβαν όλες τις παρέβριες πεδινές εκτάσεις, ώστε σήμερα να μην υφίσταται καμία απροστάτευτη περιοχή. Στις ίδιες ενέργειες αλλά με βραδύτερο ρυθμό προέβηκε από την πλευρά τη και η Τουρκία. Τα σημαντικότερα υπερβλητά αναχώματα παρουσιάζονται στον πίνακα 4.2 που ακολουθεί.

- **Τριτεύοντα αναχώματα**

Τα τριτεύοντα αναχώματα είναι περιορισμένου ύψους, δηλαδή περίπου 1μ και χαμηλότερα από τα υπερβλητά. Εξυπηρετούν, συνήθως, τη διακίνηση κατά μήκος της παρέβριας ζώνης και προστατεύουν για σχετικά μικρές παροχές. Μοναδικό είναι το τριτεύον ανάχωμα Ισαακίου – Πραγγίου, στη θέση «Παλιό Νησί» με μήκος 4.400μ και προστατευόμενη καλλιεργήσιμη έκταση περίπου 800 στρέμματα.

ΘΕΣΗ ΑΝΑΧΩΜΑΤΟΣ	ΜΗΚΟΣ	ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΟΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ
Πέταλο – Πέπλος	10.500μ.	7.000στρ.
Γέφυρα Κήπων – Πέπλου – Πόρου	12.500μ.	9.000στρ.
Γεμιστή	3.500μ.	3.000στρ.
Τυχερό	8.500μ.	8.000στρ.
Λυκόφη – Λαγυνά	10.000μ.	9.000στρ.
Κορνοφωλιά	4.500μ.	3.000στρ.
Σουφλί	6.500μ.	6.000στρ.
Μάνδρα	2.000μ.	1.000στρ.
Αμόριο – Λάβαρα	14.500μ.	13.500στρ.
Ψαθάδες	2.500μ.	2.000στρ.
Διδυμότειχο – Πραγγί -Πετράδες	12.000μ.	10.000στρ.
Πύθιο – Ρήγιο	20.000μ.	17.000στρ.
Πύθιο – Θούριο - Ορεστιάδα	12.500μ.	12.000στρ.

Πίνακας 4.2: Υπερβλητά αναχώματα του Νομού Έβρου

Πηγή: Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., 2007

4.9 Αίτια των πλημμυρών του ποταμού Έβρου

Τα αίτια των επαναλαμβανόμενων εκτεταμένων πλημμυρικών επεισοδίων στην ευρύτερη περιοχή του ποταμού Έβρου δεν οφείλονται μόνο σε φυσικά αίτια αλλά και σε ανθρωπογενής παρεμβάσεις. Οι πλημμύρες του Έβρου αποτελούν ένα πολυσύνθετο πρόβλημα που επιτείνεται ακόμη περισσότερο, κυρίως, λόγω της διασυννοριακότητας του ποταμού. Πολλοί είναι οι παράγοντες που ευθύνονται για τη συντέλεση των πλημμυρών (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε, 2007). Οι κυριότεροι εκ των οποίων αναλύονται παρακάτω.

4.9.1 Έλλειψη καλής διαχείρισης στα ανάντη του ποταμού

Αναμφισβήτητα, η κατάσταση που έχει διαμορφωθεί στην ευρύτερη περιοχή του Έβρου, αποτελεί θέμα διακρατικό και ως τέτοιο θα πρέπει να εξεταστεί. Ο Έβρος πηγάζει από τα ορεινά της Βουλγαρίας και συγκεκριμένα από το όρος Ρήλα και

συνεπώς η διαχείριση του ανάντη τμήματός του αποτελεί δικαιοδοσία και αντικείμενο διαχείρισης του βουλγαρικού κράτους. Χαρακτηριστικά του ανάντη τμήματος είναι οι μεγάλες παροχές για την αξιοποίηση των οποίων έχει κατασκευαστεί πληθώρα φραγμάτων και ταμιευτήρων. Η εκμετάλλευση των νερών αυτών, ανήκει δικαιωματικά στην βουλγαρική πλευρά. Οι μεγάλοι όγκοι νερού που συγκεντρώνονται στους ταμιευτήρες χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, η οποία τελικά καταναλώνεται όχι μόνο στη Βουλγαρία αλλά και για την ηλεκτροδότηση ελληνικών περιοχών της περιφέρειας αλλά και αντίστοιχων περιοχών στο έδαφος της Τουρκίας σαν εισαγόμενο προϊόν.

Αυτό που λογικά προκύπτει σαν επιδιωκόμενος στόχος της βουλγαρικής πλευράς είναι η αποθήκευση όσο το δυνατόν μεγαλύτερων όγκων νερού στους ταμιευτήρες των φραγμάτων της ώστε αυτοί να λειτουργούν με την κατά το δυνατόν υψηλότερη ανώτατη στάθμη ύδατος και συνεπώς να εξασφαλίζεται η παραγωγή των μέγιστων δυνατών ποσών ενέργειας. Η εθνική αυτή ενεργειακή πολιτική της Βουλγαρίας η οποία αποτελεί την στρατηγική της για εξασφάλιση εθνικής ασφάλειας σε διαθέσιμη ενέργεια δεν είναι ανεξάρτητη από τις δυσμενείς συνθήκες που δημιουργούνται στις ελληνικές περιοχές στα κατάντη. Τα πλημμυρικά επεισόδια που πλήττουν τις περιοχές των εκβολών του Έβρου οφείλονται κατά κύριο λόγο στις τεράστιες ποσότητες που αποδεσμεύονται από τα ανάντη φράγματα.

Οι μεγάλοι αυτοί όγκοι που αποδεσμεύονται από τα βουλγαρικά φράγματα όταν κρίνεται απαραίτητο για την ασφαλή και καλή λειτουργία τους, σε συνδυασμό και με τους όγκους που φυσικά απορρέουν μέσω της κοίτης του ποταμού οδηγούν αθροιστικά στην παροχέτευση απαγορευτικών όγκων στα κατάντη της κοίτης. Φυσικό αποτέλεσμα αυτού είναι κατά τη διάρκεια συνήθως της χειμερινής περιόδου όπου οι παροχές είναι ήδη αυξημένες λόγω των σημαντικών όγκων νερού που προέρχονται από τήξη χιονιού των ορεινών περιοχών της Βουλγαρίας να πραγματοποιούνται ανεξέλεγκτες υπερχειλίσεις παρόχθια του ποταμού στα κατάντη. Οι υπερχειλίσεις αυτές καταστρέφουν ιδιοκτησίες και καλλιεργήσιμες εκτάσεις στο ελληνικό έδαφος χωρίς φυσικά να επηρεάζουν τις περιοχές στα ανάντη.

Καθίσταται σαφές λοιπόν πως η έλλειψη καλής διαχείρισης των όγκων των νερών στα ανάντη του ποταμού στη βουλγαρική επικράτεια αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα αίτια των πλημμυρικών φαινομένων στην περιοχή του Έβρου.

4.9.2 Διακρατική σχέση μεταξύ Ελλάδας, Βουλγαρίας και Τουρκίας

Μερίδιο ευθύνης στην επανάληψη πλημμυρικών επεισοδίων αποτελεί η έλλειψη ουσιαστικής συνεργασίας μεταξύ των τριών χωρών που διατρέχει ο ποταμός Έβρος. Ουσιαστικός συντονισμός σε ότι αφορά την διαχείριση των όγκων των νερών του ποταμού δεν υπάρχει ενώ αντίθετα έχει επικρατήσει σαν πάγιος τρόπος διαχείρισης του θέματος η ανεξάρτητη και μονομερής δράση από πλευράς κάθε χώρας χωριστά.

Συγκεκριμένα, όπως ήδη αναφέρθηκε, δεν υπάρχει κάποιου είδους αποτελεσματική συνεργασία μεταξύ των κρατών της Ελλάδας και της Βουλγαρίας, τα οποία είναι και τα πιο άμεσα εμπλεκόμενα. Η διοχέτευση μεγάλων πλημμυρικών όγκων από το βουλγαρικό στο ελληνικό τμήμα συνεχίζεται με τους ίδιους ρυθμούς μέσα στην πάροδο των ετών παρά την αποδεδειγμένη συσχέτιση του γεγονότος αυτού και της εμφάνισης καταστροφικών πλημμυρών στις ευάλωτες περιοχές στα κατάντη.

Αντίστοιχα, από έλλειψη καλής συνεργασίας μπορεί να χαρακτηριστεί και η διμερής σχέση μεταξύ Ελλάδας και Τουρκίας σε ότι αφορά στην αντιμετώπιση του ίδιου θέματος. Τα προβλήματα αφορούν κυρίως στη διευθέτηση και τις παρεμβάσεις στα νερά του Έβρου πριν τις εκβολές του, στο τμήμα που εκτείνεται διασυνοριακά των δύο χωρών. Χαρακτηριστικό του συγκεκριμένου τμήματος είναι οι ανυψώσεις μικρών προβολών και αναχωμάτων, πρακτική που ξεκίνησε να εφαρμόζεται κατά τη δεκαετία του '50 κατά μήκος των μικρών παραποτάμων του Έβρου στην ελληνοτουρκική μεθόριο.

Τα μικρά αναχώματα και οι πρόβολοι που κατασκευάστηκαν είχαν αρχικά σαν στόχο τον περιορισμό της διάβρωσης των εδαφών αλλά και την αντιπλημμυρική προστασία των κοντινών οικισμών. Κατά τη διάρκεια των επόμενων δεκαετιών πληθώρα αναχωμάτων συνέχισαν άκριτα να κατασκευάζονται στον ποταμό Έβρο και τους κύριους παραποτάμους του με σκοπό πλέον τη δημιουργία περισσότερων εκμεταλλεύσιμων εκτάσεων καθώς και για αρδευτικούς σκοπούς, ηλεκτροδότηση και

υδροδότηση. Αυτή η ανεξέλεγκτη κατασκευή μεγαλύτερων ή μικρότερων αναχωμάτων είχε σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση νησίδων μέσα στην κοίτη του ποταμού, περιορίζοντας ακόμη περισσότερο την δυνατότητά του στην παροχέτευση σημαντικών όγκων νερού και οδηγώντας αναπόφευκτα στην υπερχείλιση μεγάλων όγκων αυτών.

Εξαιτίας των προβλημάτων στις σχέσεις Ελλάδας και Τουρκίας δεν υπάρχει στενή συνεργασία για τις θέσεις και το είδος των έργων που κατασκευάζονται, με αποτέλεσμα η κάθε πλευρά να υλοποιεί έργα χωρίς την ειδοποίηση της άλλης πλευράς. Πολλές φορές μετά από πλημμύρες που κατέστρεφαν αναχώματα, γίνονταν εργασίες ανακατασκευής τους, για τις οποίες όμως δεν υπάρχει διμερής συνεργασία, με αποτέλεσμα να εκτελούνταν διαφορετικές εργασίες στις δυο πλευρές, πολλές φορές αλληλοσυγκρουόμενες.

Κατά την περιγραφή της διμερούς σχέσης Ελλάδας – Τουρκίας δεν θα πρέπει βέβαια να παραλειφθεί η αναφορά στο γεγονός της διαφορετικής υπάρχουσας νομοθεσίας για τη διαχείριση των τέτοιων καταστάσεων. Αυτή η διαφοροποίηση στη νομοθεσία καθιστά την καλή συνεργασία και διευθέτηση των όποιων καταστάσεων περισσότερο περίπλοκη συγκρινόμενη με την αντίστοιχη σχέση που θα αναπτυσσόταν μεταξύ δύο ευρωπαϊκών χωρών.

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί και η αντίστοιχη έλλειψη συνεργασίας όσον αφορά το κράτος της Βουλγαρίας ως προς τα γειτονικά της Ελλάδας και της Τουρκίας. Η γειτονική βαλκανική χώρα φαίνεται να δρα εντελώς αυτόνομα και χωρίς τον απαραίτητο συντονισμό και ενημέρωση που απαιτείται να δίνει στις κατάντη χώρες.

4.9.3 Ανεπαρκείς ενέργειες για τον καθαρισμό της κοίτης

Με τον όρο «καθαρισμό» της κοίτης εννοείται η απομάκρυνση των φερτών όπου έχουν αποθεθεί σε μεγάλες συγκεντρώσεις ή η απομάκρυνση διαφόρων άλλων υλικών (αναχώματα, κορμοί δένδρων κ.α.) που πιθανόν να εμποδίζουν την ελεύθερη ροή του ποταμού και μειώνουν την παροχετευτική του δυνατότητα και η απομάκρυνση των σχηματισμένων χωμάτων νησίδων από την κοίτη του ποταμού με κατάλληλα μέσα και μεθόδους πάντοτε.

Όσον αφορά τον ποταμό Έβρο η απομάκρυνση των χωμάτινων νησίδων αποτελεί επιτακτική ανάγκη καθότι το μέγεθος τους σε πολλά σημεία έχει φτάσει σε δραματικά επίπεδα μειώνοντας πολλές φορές το πλάτος της κοίτης ακόμα και σε ποσοστά μεγαλύτερα του 50%. Συμπεραίνεται λοιπόν ότι ο μη καθαρισμός της κοίτης έχει άμεση συσχέτιση με την εμφάνιση σημαντικού εύρους πλημμυρικών επεισοδίων.

Με τον καθαρισμό της κοίτης του ποταμού καθίσταται πιο εύκολη η παροχέτευση των όγκων του ποταμού η οποία ιδιαίτερα κατά τους χειμερινούς μήνες ανεβαίνει πολλές φορές σε κρίσιμα επίπεδα. Παρ' όλα τα όσα αναφέρθηκαν ο οργανωμένος καθαρισμός της κοίτης του ποταμού Έβρου δεν αποτελεί τακτική πρακτική για καμία από τις τρεις εμπλεκόμενες χώρες. Ενέργειες αποφράξεων της κοίτης του ποταμού πραγματοποιούνται συνήθως μεμονωμένα από κάθε χώρα και οι οποίες δεν επαρκούν για πλήρη διευθέτηση του προβλήματος.

4.9.4 Έντονες γεωργικές εκμεταλλεύσεις

Όσον αφορά την ελληνική πλευρά δεν πρέπει να παραλείψουμε τις έντονες πιέσεις που ασκήθηκαν από τους ντόπιους αγρότες προς τους πολιτικούς και κοινωνικούς φορείς της Πολιτείας την τελευταία δεκαετία με στόχο την αύξηση των γεωργικών εκτάσεων στην ευρύτερη περιοχή του ποταμού Έβρου. Ως συνέπεια αυτών είναι η δημιουργία νέων εντατικών γεωργικών εκτάσεων στην περιοχή με άμεσο επακόλουθο τον περιορισμό της ευρείας κοίτης του ποταμού.

4.9.5 Ασαφής και σύνθετη νομοθεσία

Οι υποχρεώσεις και τα δικαιώματα των τριών χωρών τις οποίες διατρέχει ο ποταμός Έβρος υπαγορεύονται από το αντίστοιχο νομοθετικό πλαίσιο, το οποίο για το δεδομένο θέμα αναπτύσσεται στις Οδηγίες 2000/60 και 2007/60 της Ευρωπαϊκής Ένωσης, τον αντίστοιχο Νόμο 3199/2003 (εναρμόνιση του εθνικού δικαίου στις αρχές της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 2000/60) καθώς και το Προεδρικό Διάταγμα 51/2007, από την Συνθήκη RAMSAR και από το σχέδιο NATURA 2000 για το Δέλτα του Έβρου.

Το πρόβλημα έγκειται στο γεγονός ότι η διάρθρωση των εν λόγω νομοθετικών κειμένων κατά κύριο λόγο περιορίζεται στο ύφος της «προτροπής» και όχι της δέσμευσης ως προς την εφαρμογή συγκεκριμένων ενεργειών και συνεπώς υπάρχουν πολλά περιθώρια μη εφαρμογής των όσων θα έπρεπε κατηγορηματικά να υπαγορεύονται. Επίσης, το πρόβλημα εντείνεται λόγω της ασυνέχειας και ασάφειας των εν λόγω νομοθετικών κειμένων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το νομοθετικό πλαίσιο των υδάτινων πόρων που διέπει τη χώρα μας καθώς χαρακτηρίζεται από πολυνομία, αντιφατικότητα, αποσπασματικότητα και έλλειψη εκσυγχρονισμού.

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί η συνύπαρξη του μη ευρωπαϊκού γειτονικού κράτους της Τουρκίας και ο ρόλος του στην εφαρμογή του δεδομένου νομοθετικού πλαισίου καθώς οι υπαγορεύσεις της νομοθεσίας είναι λιγότερο ή και καθόλου περιοριστικές και δεσμευτικές για τα μη ανήκοντα στην Ευρωπαϊκή Ένωση κράτη. Στη περίπτωση του Έβρου όπου εμπλέκονται δύο ευρωπαϊκά και ένα μη ευρωπαϊκό κράτος το θέμα της διαχείρισης του ποταμού καθίσταται αρκετά έως πολύ περίπλοκο.

4.9.6 Παρουσία στρατιωτικών δυνάμεων στην περιοχή

Μέσα στα όρια του ελληνικού τμήματος της λεκάνης απορροής του Έβρου ποταμού είναι εγκατεστημένες και λειτουργούν στρατιωτικές μονάδες εκπαίδευσης του πεζικού τμήματος του ελληνικού στρατού. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται και την ύπαρξη σημαντικών στρατιωτικών οχυρωματικών έργων και εγκαταστάσεων μέσα σε ένα πεδίο που η έκταση του φτάνει περίπου τα 70.000 στρέμματα. Όλα αυτά τα έργα και οι εγκαταστάσεις επηρεάζουν τη λειτουργία του ποταμού. Άμεση συνέπεια της ύπαρξής τους είναι η πολλαπλή διακοπή της ροής του ποταμού και η μείωση της παροχευτικής δυνατότητάς αυτού. Συμπεραίνεται λοιπόν ότι η παρουσία στρατιωτικών δυνάμεων αποτελεί έναν επιπλέον παράγοντα στην ήδη αρνητικά διαμορφωμένη κατάσταση της περιοχής.

4.10 Σύντομο ιστορικό των πλημμυρών ποταμού Έβρου των τελευταίων ετών

Κυριότερο πρόβλημα της ευρύτερης περιοχής του Έβρου είναι οι καταστροφικές και επαναλαμβανόμενες πλημμύρες που λαμβάνουν χώρα, απειλώντας τακτικά την πορεία της οικονομίας και της κοινωνικής ευστάθειας της περιοχής. Στην υπό μελέτη περιοχή του Έβρου ποταμού οι πλημμύρες οφείλονται σε καταρρακτώδεις – ραγδαίες βροχές με μεγάλα ποσά βροχής σε σύντομο χρονικό διάστημα.

Οι πιο μεγάλες πλημμύρες του Έβρου συνέβησαν: τον Απρίλιο του 1929, τον Μάρτιο του 1936, τον Δεκέμβριο του 1940, τον Φεβρουάριο του 1956 και τον Φεβρουάριο του 1963, όταν κινδύνευσε η γέφυρα των Κήπων λόγω τεράστιων μεταφερόμενων τεμαχίων πάγου, τα οποία δεν μπορούσε να θραύσει στρατιωτική επιχείρηση με όλμους. Αργότερα συντελέστηκαν μεγάλες πλημμύρες στον ποταμό Έβρο τα έτη 1996, 1997, 1998, 2005 και 2006 με επιπτώσεις τόσο στην τοπική οικονομία, όσο και στη γεωργία, στις υποδομές, στις συγκοινωνίες κ.α. Οι τελευταίες πλημμύρες που έπληξαν ιδιαίτερα την ελληνική πλευρά ήταν του Φεβρουαρίου του 2010. Αναλυτικότερα παρουσιάζονται οι σφοδρότερες πλημμύρες της τελευταίας δεκαετίας.

4.10.1 Πλημμυρικό επεισόδιο Φεβρουαρίου 2005

Το λιώσιμο του χιονιού σε συνδυασμό με τις σημαντικές βροχοπτώσεις των πρώτων εβδομάδων του Φεβρουαρίου του 2005, οδήγησαν την περιοχή του Έβρου σε κρίσιμη κατάσταση, θέτοντας σε κίνδυνο 30.000 στρέμματα εποχιακών καλλιεργειών και σημαντικό αριθμό παράκτιων του ποταμού οικισμών. Συγκεκριμένα στις 17 Φεβρουαρίου, στο σταθμό μέτρησης Πυθίου η στάθμη του νερού του ποταμού Έβρου είχε φθάσει στα 6,05μ. με όρια επικινδυνότητας και συναγερμού τα 5,70μ. και όριο αντοχής των αναχωμάτων τα 6,10μ. Επίσης, στο φράγμα Κυπρίνου τα νερά του ποταμού Άρδα είχαν ανέλθει στα 5,70μ. δηλαδή 50εκ. πάνω από το όριο επικινδυνότητας.

Οι αρχές του Έβρου βρισκόμενες σε συνεχή επαφή και συνεργασία με την βουλγαρική και τουρκική πλευρά, επεδίωξαν και πέτυχαν τη διοχέτευση μικρότερων ποσοτήτων νερού στους ποταμούς Έβρο και Άρδα. Προκειμένου να εκτονωθεί η κατάσταση στον ποταμό Έβρο πραγματοποιήθηκε από συνεργεία της Περιφέρειας Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης, τεχνητή θραύση του αναχώματος του Έβρου

στις θέσεις Λάβαρα και Αμορίου και ελεγχόμενη παροχέτευση υδάτων σε μία περιοχή 7.000 περίπου στρεμμάτων, σε θέση τέτοια ώστε να μην απειλείται η ασφάλεια ή οι περιουσίες των κατοίκων της περιοχής. Αντίστοιχη επιχείρηση οργανώθηκε και έλαβε χώρα και για τους πληθυσμούς Πυθίου και Διδυμότειχου, κοντά στο οποίο έγινε ελεγχόμενη παροχέτευση υδάτων σε περιοχή 8.000 περίπου στρεμμάτων. Από την πλευρά της η Τουρκία προχώρησε σε σπάσιμο αναχωμάτων σε πέντε σημεία, προκειμένου να υπάρξει μία πιο άμεση και αποτελεσματική εκτόνωση της κατάστασης.

Παρόλα αυτά, κατά τη διάρκεια της πλημμύρας του 2005, μεγάλος αριθμός καλλιεργήσιμων εκτάσεων σε απόσταση μέχρι και 10χλμ. από την κοίτη του ποταμού καταστράφηκε ενώ οι δρόμοι και η σιδηροδρομική γραμμή υπέστησαν σοβαρές ζημιές.

4.10.2 Πλημμυρικό επεισόδιο Μαρτίου 2006

Αντίστοιχου μεγέθους πλημμύρες έπληξαν την ευρύτερη περιοχή του Έβρου ποταμού και την Άνοιξη του 2006, γεγονός που επιδείνωσε ακόμα περισσότερο την ήδη βεβαρημένη από τα γεγονότα του περασμένου έτους κατάσταση στην περιοχή. Η πλημμύρα του 2006 προκάλεσε σημαντικές καταστροφές στο Νομό Έβρου στα ανατολικά σύνορα της Ελλάδας, οι δε συνέπειες ήταν σοβαρές για τον πληθυσμό και τις περιοχές κοντά στον ποταμό Έβρο, όπου πλημμύρισαν περίπου 250εκατ. τετραγωνικά μέτρα καλλιεργήσιμης γης με δυσβάσταχτες ζημιές στη γεωργία και στην κτηνοτροφία.

Εκτός από τις σοβαρές καταστροφές στη γεωργία, οι πλημμύρες προκάλεσαν σοβαρές ζημιές και στα δίκτυα μεταφορών και ύδρευσης, ενώ το σύνολο των άμεσων ζημιών εκτιμήθηκε σε 372 εκατ. ευρώ. Η πλημμύρα αυτή επέδρασε αρνητικά στην οικονομική δραστηριότητα της περιοχής αυτής που είχε πληγεί και το 2005, ενώ οι σωρευτικές συνέπειές τους είχαν τεράστιο αντίκτυπο και στην οικονομία της περιφέρειας γενικότερα. Πρέπει βέβαια να σημειωθεί πως μεγάλες ζημιές υπέστηκε και η Τουρκία αφού στην ανατολική Θράκη κατακλύστηκαν επίσης μεγάλες εκτάσεις της τάξης των 300.000 περίπου στρεμμάτων.

4.10.3 Πλημμυρικό επεισόδιο Νοεμβρίου 2007

Στις 20 Νοεμβρίου του 2007, μετά από καταρρακτώδεις βροχοπτώσεις στην Βορειοανατολική Ελλάδα, επήλθε άνοδος της στάθμης του ποταμού η οποία ξεπέρασε κατά πολύ το όριο συναγερμού, προκαλώντας σοβαρά προβλήματα στους Δήμους Τριγώνου και Βύσσας. Μέσα σε χρονικό διάστημα 24 ωρών, η στάθμη του Έβρου είχε σταθεροποιηθεί στα 6,10μ. με όριο συναγερμού τα 5,70μ., ενώ οι πρώτες εκτιμήσεις έκαναν λόγο για περίπου 12.000 στρέμματα πλημμυρισμένων εκτάσεων.

Οι συνέπειες των βροχοπτώσεων του Νοεμβρίου του 2007 άρχισαν από τις πρώτες ώρες της καταιγίδας, με διακοπή των δρομολογίων της σιδηροδρομικής γραμμής Ορεστιάδας – Δικαίων λόγω υπερχειλίση της γραμμής από τοπικά νερά. Τα σοβαρότερα προβλήματα όμως προέκυψαν λίγες ώρες αργότερα στο βορειότερο σημείο του νομού, το Δήμο Τριγώνου.

4.10.4 Πλημμυρικό επεισόδιο Φεβρουαρίου 2010

Το πιο πρόσφατο πλημμυρικό γεγονός στην περιφέρεια του Έβρου συνέβη τον Φεβρουάριο του 2010 και καθιστά σαφές ότι αναγκαίες μελέτες και κατάλληλα έργα για την αντιμετώπιση του φαινομένου των πλημμυρών του Έβρου δεν έχουν γίνει ή δεν έχουν γίνει επιτυχώς. Οι πλημμύρες του Φεβρουαρίου του 2010 και οι οποίες διαρθρώθηκαν κατά το κρίσιμο διάστημα σε τρεις εβδομάδες.

Κατά την 1^η εβδομάδα (09/02/2010 - 13/02/2010) υπήρξε επικοινωνία της Βουλγαρίας και της Ελλάδας μέσω των αντίστοιχων Νομαρχιών Χασκόβου και Έβρου για θέση της τελευταίας σε επιφυλακή λόγω της αύξησης της στάθμης των υδάτων πάνω από τα όρια συναγερμού στα σταθμήμετρα του Νομού. Ακολούθησε σειρά έκτακτων δελτίων για ενημέρωση όλων των εμπλεκόμενων φορέων στο Τοπικό Σχέδιο Αντιμετώπισης Πλημμυρών «Ξενοκράτης». Πραγματοποιήθηκε τεχνητή θραύση υπερβλητών αναχωμάτων και υποχώρηση άλλων με παράλληλη διακοπή κυκλοφορίας σε τμήμα του δημοτικού οδικού δικτύου του Βορείου Έβρου. Οι εκτιμώμενες πλημμυρισμένες εκτάσεις από τοπικά νερά και υπερχειλίσεις αναχωμάτων μέχρι εκείνη τη χρονική στιγμή υπολογίστηκαν από τον Ελληνικό Οργανισμό Γεωργικών Ασφαλίσεων στα 150.000 στρέμματα. Το τοπικό

Συντονιστικό Νομαρχιακό Όργανο αποφάσισε τότε την εισήγηση για κήρυξη του Νομού Έβρου σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης πολιτικής προστασίας.

Κατά τη 2^η εβδομάδα (14/02/2010 - 21/02/2010) υπήρξε κορύφωση των πλημμυρικών φαινομένων. Παράλληλα ο Γενικός Γραμματέας Πολιτικής Προστασίας κήρυξε το Νομό σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης πολιτικής προστασίας ενώ ταυτόχρονα πραγματοποιήθηκε οργανωμένη απομάκρυνση των κατοίκων του οικισμού Πόρου του Δήμου Φερών και του Δημοτικού Διαμερίσματος Λαβαρών του Δήμου Ορφέα. Τέλος, κατά την 3^η εβδομάδα (22/02/2010 - 25/02/2010) οριοθετήθηκε η πληγείσα περιοχή ενώ παράλληλα έγινε αυτοψία από αρμόδιο κλιμάκιο στις πλημμυρισμένες εκτάσεις και καταγραφή των ζημιών. Οι πλημμυρισμένες εκτάσεις υπολογίστηκαν στις 250.000 στρέμματα.

Συνοψίζοντας, ο νομός Έβρου υπέστη σοβαρές καταστροφές τον Φεβρουάριο του 2010 λόγω των έντονων βροχοπτώσεων έχοντας ως συνέπειες να καταστραφούν τεράστιες εκτάσεις με καλλιέργειες και να πλημμυρίσουν ολόκληρα χωριά. Για το λόγο αυτό σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η δημιουργία ενός ψηφιακού χάρτη, πάνω στον οποίο θα απεικονίζεται το περίγραμμα της πλημμυρισμένης περιοχής, έτσι ώστε να εντοπισθεί η διάσταση της πληγείσας περιοχής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Το διάγραμμα ροής των εργασιών που πραγματοποιήθηκαν στο κεφάλαιο της πρακτικής εφαρμογής και αφορά τη φωτογραμμετρική – τηλεπισκοπική μεθοδολογία για την περίπτωση των πλημμυρών του ποταμού Έβρου του έτους 2010 ακολουθεί τα εξής βήματα:

- 5) Επιλογή δεδομένων και λογισμικών.
- 6) Καθορισμό περιοχής μελέτης.
- 7) Επιλογή δορυφόρου και προμήθεια εικόνων.
- 8) Επεξεργασία πρωτογενών δεδομένων (Raw Data) δορυφορικών εικόνων.
- 9) Δημιουργία «μωσαϊκού» των ορθοφωτοχαρτών Ikonos.
- 10) Φωτογραμμετρική επεξεργασία δορυφορικών εικόνων και παραγωγή ορθοφωτοχαρτών.
- 11) Ραδιομετρική επεξεργασία ορθοφωτοχαρτών.
- 12) Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών (PCA).
- 13) Ανάλυση Ανεξάρτητων Συνιστωσών (ICA).
- 14) Τηλεπισκόπηση ορθοφωτοχαρτών και καθορισμό περιοχών πλημμύρας.
- 15) Διανυσματοποίηση του ψηφιδωτού μωσαϊκού περιοχών πλημμύρας.
- 16) Χωρική συσχέτιση αγροτεμαχίων και περιοχών πλημμύρας.

5.1 Δεδομένα και Λογισμικά

Για την εκπόνηση της παρούσας μελέτης χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω:

- 1) Δύο δορυφορικές εικόνες Landsat 5 με ημερομηνία λήψης 19/02/2010 με τα εξής χαρακτηριστικά:
 - 7 κανάλια
 - Pixel_Size: 30m στα κανάλια 1,2,3,4,5,7
 - Pixel_Size: 120m στο κανάλι 6
- 2) Ορθοφωτοχάρτες Ikonos του Συστήματος Αναγνώρισης Αγροτεμαχίων (Land Parcel Identification System – LPIS) του Νομού Έβρου που διαθέτει ο Ο.Π.Ε.Κ.Ε.Π.Ε.

- 3) Η γεωβάση δηλώσεων αγροτεμαχίων του Ολοκληρωμένου Συστήματος Διαχείρισης και Ελέγχων (ΟΣΔΕ) του έτους 2010 που τηρείται στον Ο.Π.Ε.Κ.Ε.Π.Ε.
- 4) Το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DTM) του ΥΠΑΑΤ.

Η επεξεργασία και διαχείριση των παραπάνω δεδομένων πραγματοποιήθηκε μέσω των παρακάτω λογισμικών:

- Το Λογισμικό Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S), ArcGIS Desktop, version 9.3 το οποίο περιλαμβάνει τις παρακάτω εφαρμογές:
 - α) ArcMap: εφαρμογή η οποία καλύπτει όλες τις χαρτογραφικές εργασίες, όπως ψηφιοποίηση και διόρθωση δεδομένων, χαρτογραφία, χωρική ανάλυση, διαχείριση και εκτύπωση χαρτών κ.λ.π.
 - β) ArcCatalog: εφαρμογή η οποία 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 τη γεωεπεξεργασία, τη μετατροπή των δεδομένων σε διάφορες μορφές, τον καθορισμό του προβολικού συστήματος των χαρτών κ.α.
- Το λογισμικό Ψηφιακής Επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων ERDAS IMAGINE 2010.

Χρησιμοποιήθηκε για μονοεικονική ορθοδιόρθωση, για ανάλυση κύριων και ανεξάρτητων συνιστωσών, για επιβλεπόμενη και μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση καθώς και για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων σε διανυσματική απεικόνιση.

5.2 Καθορισμός Περιοχής Μελέτης

Το πρωταρχικό και βασικότερο τμήμα μιας τέτοιου είδους μελέτης είναι ο καθορισμός και η οριοθέτηση της περιοχής. Στη περίπτωση του Νομού Έβρου πραγματοποιήθηκε μια συλλογή πληροφοριών από φορείς της περιοχής για τον καθορισμό των Καποδιστριακών Δήμων που επλήγησαν καθώς επίσης προμηθευτήκαμε το πολύγωνο των περιοχών πλημμύρας σύμφωνα με την Πολιτική Προστασία.

5.3 Επιλογή Δορυφόρου και Προμήθεια Εικόνων

Οι εφαρμογές τηλεπισκόπησης επιβάλλουν τη προμήθεια εικόνων με κατά το δυνατόν περισσότερα φασματικά κανάλια. Στόχος είναι η μέγιστη διακριτότητα στη εικόνα των διαφορετικών καλύψεων γης της υπό μελέτη περιοχής.

Σε περιπτώσεις μελετών τέτοιων φαινομένων οι ζητούμενες εικόνες πρέπει να πληρούν τις παρακάτω προϋποθέσεις:

- Ημερομηνία λήψης κοντινή στη μέγιστη πλημμυρίδα.
- Κατά το δυνατόν μεγαλύτερη κάλυψη του πολυγώνου μελέτης.
- Τουλάχιστον τέσσερα φασματικά κανάλια.
- Ελάχιστη ή μηδενική νεφοκάλυψη.
- Κατά το δυνατό μικρότερο μέγεθος εικονοστοιχείου.
- Κατά το δυνατό μεγαλύτερο βάθος τόνων απεικόνισης.

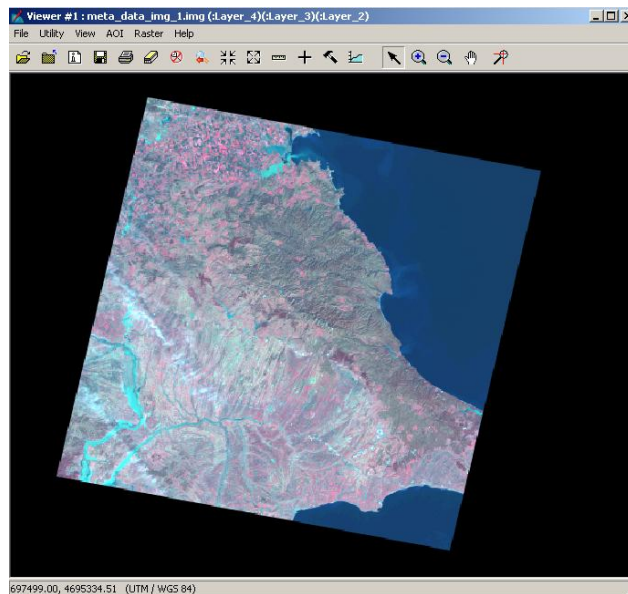
Σε ότι αφορά τη περιοχή του Έβρου προμηθευτήκαμε δύο εικόνες LANDSAT με μεταξύ τους επικάλυψη από τον Ο.Π.Ε.Κ.Ε.Π.Ε. οι οποίες έχουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Ημερομηνία λήψης 19 Φεβρουαρίου 2010.
- Καλύπτουν το 90% της περιοχής μελέτης.
- Διαθέτουν 7 φασματικά κανάλια (3 στο ορατό φάσμα, 3 στο υπέρυθρο και 1 θερμικό).
- Έχουν μηδενική νεφοκάλυψη στην περιοχή μελέτης.
- Έχουν μέγεθος εικονοστοιχείου 30x30μ.
- Έχουν βάθος τόνου 8 bit.

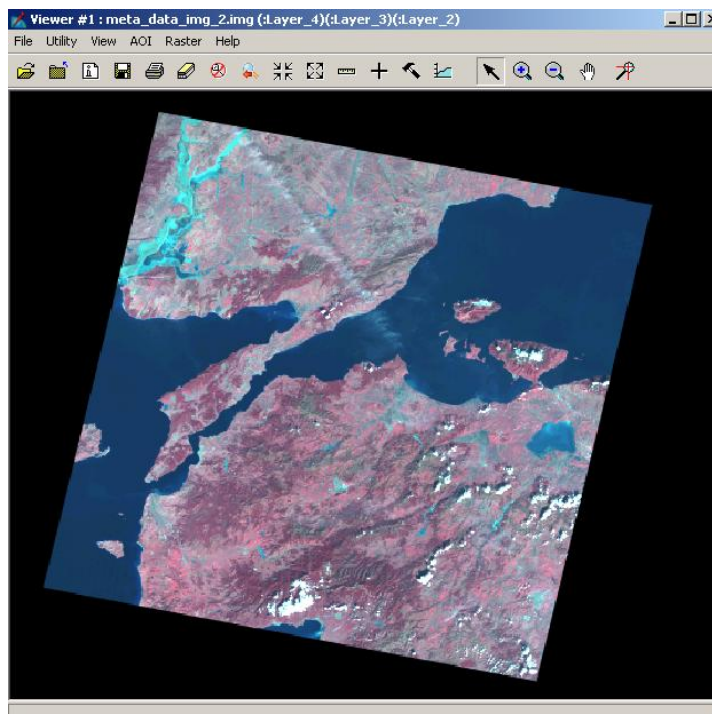
5.4 Επεξεργασία πρωτογενών δεδομένων (Raw Data)

Πρώτη ενέργεια αποτέλεσε η διαμόρφωση των πρωτογενών δεδομένων των εικόνων - Raw Data σε κατάλληλα αναγνώσιμα αρχεία τα οποία θα μπορούν να αναγνωρισθούν και να παρουσιαστούν με τη μορφή διακριτών καναλιών στο λογισμικό ERDAS IMAGINE 2010. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε περιγράφεται αναλυτικά στο

παράρτημα I. Με το πέρας της διαδικασίας δημιουργήθηκαν οι δύο εικόνες προς επεξεργασία (Εικόνες 5.1. και 5.2).



Εικόνα 5.1: Απεικόνιση 1^{ης} Δορυφορικής εικόνας Landsat 5 του Νομού Έβρου με το λογισμικό ERDAS IMAGINE 2010.



Εικόνα 5.2: Απεικόνιση 2^{ης} Δορυφορικής εικόνας Landsat 5 Νομού Έβρου με το λογισμικό ERDAS IMAGINE 2010

3.6 Δημιουργία «μωσαϊκού» των ορθοφωτοχαρτών Ikonos

Σε αυτό το σημείο δημιουργήσαμε ένα «μωσαϊκό» από τους ορθοφωτοχάρτες Ikonos του LPIS (μέγεθος εικονοστοιχείου 1μ. και οριζοντιογραφική ακρίβεια 1,5μ.) τους οποίους προμηθευτήκαμε από τον Ο.Π.Ε.Κ.Ε.Π.Ε. ώστε να το χρησιμοποιήσουμε στη φωτογραμμετρική επεξεργασία των εικόνων Landsat και στη μετέπειτα παραγωγή των ορθοφωτοχαρτών.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη δημιουργία του «μωσαϊκού» περιγράφεται αναλυτικά στο παράρτημα II Μετά το πέρας της διαδικασίας μπορούμε να φορτώσουμε στο λογισμικό ArcMap την εικόνα της ευρύτερης περιοχής πλημμύρας του Νομού Έβρου δηλαδή το «μωσαϊκό» που δημιουργήσαμε.

5.6 Φωτογραμμετρική Επεξεργασία Δορυφορικών Εικόνων και Παραγωγή Ορθοφωτοχαρτών

Η φωτογραμμετρική επεξεργασία των εικόνων πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον ERDAS 2010. Στόχος της επεξεργασίας ήταν η παραγωγή ορθοφωτοχαρτών της περιοχής έτσι ώστε η τηλεπισκόπηση να οδηγήσει σε μετρητικά αξιόπιστα αποτελέσματα.

Για τη φωτογραμμετρική επεξεργασία των εικόνων χρησιμοποιήθηκαν:

- Σημεία γνωστών οριζοντιογραφικών συντεταγμένων (φωτοσταθερά) από το «μωσαϊκό» των ορθοφωτοχαρτών Ikonos του LPIS που δημιουργήσαμε στο προηγούμενο βήμα στο σύστημα ΕΓΣΑ '87 μεγέθους εικονοστοιχείου 1μ και οριζοντιογραφικής ακρίβειας 1.5 μ.
- Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου του Υπουργείου Γεωργίας βήματος 30μ. για τη λήψη της υψομετρικής πληροφορίας.

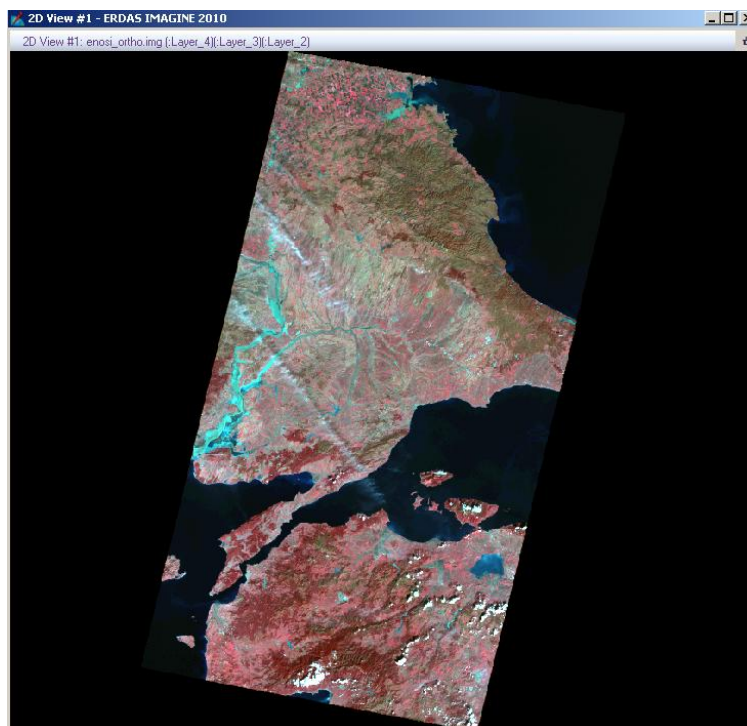
Με τη χρήση κατάλληλου αριθμού φωτοσταθερών κατάλληλα κατανεμημένων (κάλυψη όλης της εικόνας, πύκνωση στις πέριξ της πλημμύρας περιοχές) και με τη βοήθεια του λογισμικού ERDAS IMAGINE 2010 πραγματοποιήθηκε η ορθοδιόρθωση των εικόνων.

Κατά την ορθοδιόρθωση της δεύτερης εικόνας ελήφθησαν φωτοσταθερά και στην ορθοδιορθωμένη πρώτη έτσι ώστε να διασφαλιστεί η βέλτιστη μεταξύ τους ταύτιση. Μετά το πέρας της ορθοδιόρθωσης πραγματοποιήθηκε ποιοτικός έλεγχος με τη χρήση κατάλληλων εργαλείων του λογισμικού. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα της ορθοδιόρθωσης με τη χρήση 16 πλήρων φωτοσταθερών στη κάθε εικόνα ήταν 16 μ κατά X και 18 μ. κατά Y δηλαδή περί το ½ του μεγέθους του εικονοστοιχείου πράγμα που κρίνεται αποδεκτό. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την παραγωγή των ορθοφωτοχαρτών περιγράφεται αναλυτικά στο παράρτημα III.

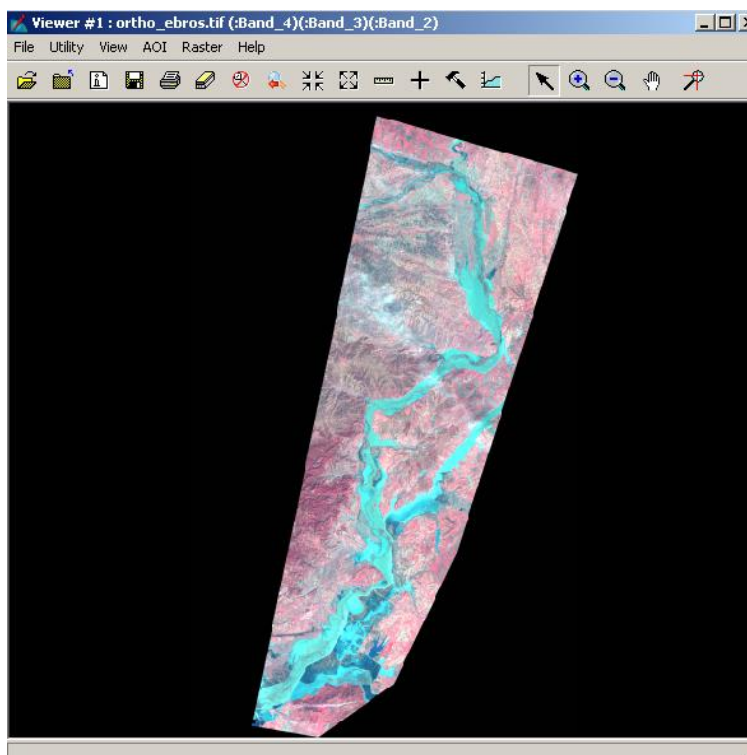
5.7 Ραδιομετρική Επεξεργασία Ορθοφωτοχαρτών

Η ραδιομετρική επεξεργασία των εικόνων περιλαμβάνει τη συνένωση των δύο παραγόμενων ορθοφωτοχαρτών για τη δημιουργία ενός ορθοφωτοχάρτη, τη ραδιομετρική ενίσχυση των τόνων του ορθοφωτοχάρτη και την οριοθέτηση του ορθοφωτοχάρτη που αφορά τα ευρύτερα όρια της περιοχής μελέτης. Μετά την υλοποίηση των ανωτέρω σταδίων θα παραχθεί ο τελικός ορθοφωτοχάρτης που αφορά στη περιοχή μελέτης επί του οποίου θα πραγματοποιηθούν οι τελικές ψηφιακές τηλεπισκοπικές διαδικασίες.

Από το λογισμικό ERDAS IMAGINE 2010 έγινε η συνένωση των δύο παραγόμενων ορθοφωτοχαρτών. Από το κεντρικό μενού επιλέγουμε Mosaic/Mosaic Pro. Προσθέτουμε τους δύο ορθοφωτοχάρτες και επιλέγουμε Run the Mosaic. Στην *Εικόνα 5.3* παρουσιάζεται ο νέος ορθοφωτοχάρτης που προέκυψε από τη συνένωση των δύο πρώτων και τέλος στην *Εικόνα 5.4* παρουσιάζεται ο ορθοφωτοχάρτης που αφορά μόνο την περιοχή μελέτης.



Εικόνα 5.3: Παρουσίαση τελικού ορθοφωτοχάρτη ο οποίος προέκυψε από συνένωση δύο



Εικόνα 5.4: Παρουσίαση του ορθοφωτοχάρτη της περιοχής μελέτης

5.8 Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών

Η τελική εικόνα Landsat που δημιουργήσαμε στα προηγούμενα βήματα θα μετασχηματιστεί στις κύριες συνιστώσες ώστε τα δεδομένα να φαίνονται πολύ καλύτερα και να διευκολυνθεί η εύρεση των «περιοχών εκπαίδευσης» που θα χρησιμοποιηθούν στη διαδικασία της ταξινόμησης που θα ακολουθήσει.

Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό ERDAS IMAGINE 2010 και τα βήματα που ακολουθήθηκαν είναι τα εξής:

- Δημιουργία μοντέλου ώστε να προκύψει ο πίνακας συμμεταβλητότητας (covariance matrix) των δεδομένων.
- Δημιουργία μοντέλου ώστε να προκύψει ο πίνακας συσχέτισης (correlation matrix) των δεδομένων.
- Υπολογισμός των κύριων συνιστωσών
- Αποτύπωση κύριων συνιστωσών

Στο παράρτημα IV παρουσιάζονται αναλυτικά όλα τα βήματα που ακολουθήθηκαν στην ανάλυση κύριων συνιστωσών. Στα επόμενα παρουσιάζονται ο πίνακας συμμεταβλητότητας των ψηφιακών τιμών των αρχικών καναλιών (Πίνακας 5.1) και ο πίνακας με τους συντελεστές συσχέτισης των ψηφιακών τιμών των αρχικών καναλιών (Πίνακας 5.2).

Μεταβλητότητα – Συμμεταβλητότητα ψηφιακών τιμών αρχικών καναλιών							
	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 6	Band 7
Band 1	4041,20	4005.05	3940.33	3612.78	3389.17	3983.92	3397.59
Band 2	4005,05	4019.07	3972.94	3550.81	3283.51	3902.50	3296.94
Band 3	3940.33	3972.94	3979.81	3455.40	3212.08	3807.32	3243.11
Band 4	3612.78	3550.81	3455.40	3924.67	3754.20	3711.78	3641.46
Band 5	3389.18	3283.51	3212.32	3754.20	3988.86	3552.44	3911.85
Band 6	3983.92	3902.50	3807.32	3711.78	3550.44	4085.66	3530.53
Band 7	3397.59	3296.94	3243.11	3641.46	3911.85	3530.53	3888.77

Πίνακας 5.1: Πίνακας συμμεταβλητότητας αρχικών καναλιών

Συντελεστές Συσχέτισης ψηφιακών τιμών αρχικών καναλιών							
	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 6	Band 7
Band 1	1	0,994	0,983	0,907	0,844	0,980	0,857
Band 2	0,994	1	0,993	0,894	0,820	0,963	0,834
Band 3	0,983	0,993	1	0,874	0,806	0,944	0,824
Band 4	0,907	0,894	0,874	1	0,949	0,927	0,932
Band 5	0,844	0,820	0,806	0,949	1	0,880	0,993
Band 6	0,980	0,963	0,944	0,927	0,880	1	0,886
Band 7	0,857	0,834	0,824	0,932	0,993	0,886	1

Πίνακας 5.2: Πίνακας συσχέτισης αρχικών καναλιών

Σκοπός της Ανάλυσης Κύριων Συνιστωσών είναι να συμπιεστούν τα δεδομένα σε λιγότερα κανάλια ώστε η διαστατικότητα τους να μειωθεί και η «ανάγνωσή» τους να είναι πιο εύκολη. Από τον πίνακα 5.2 παρατηρούμε ότι μεταξύ κάποιων καναλιών υπάρχει έντονη συσχέτιση και συνεπώς οι πληροφορίες που παίρνουμε από αυτά να είναι αλληλοκαλυπτόμενες. Για παράδειγμα έντονη συσχέτιση υπάρχει μεταξύ των καναλιών:

- 1 και 2
- 1 και 3
- 2 και 3
- 4 και 5
- 5 και 7 κτλ.

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι όντως η Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών θα επιφέρει πλεονεκτήματα καθώς θα μειώσει τη διαστατικότητα των δεδομένων αφού παρατηρούνται αλληλοσυσχετίσεις μεταξύ των καναλιών. Στην εφαρμογή της PCA θα ζητήσουμε τέσσερις κύριες συνιστώσες.

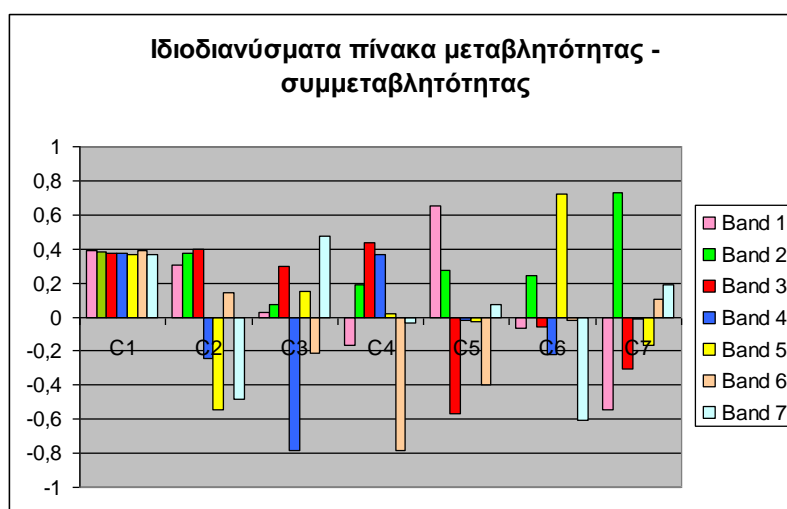
Με τη βοήθεια του προγράμματος ERDAS IMAGINE 2010 προέκυψαν τα αποτελέσματα των των ιδιοδιανυσμάτων (eigen vectors) και των ιδιοτιμών (eigenvalues) του πίνακα μεταβλητότητας – συμμεταβλητότητας (Πίνακες 5.3 και 5.4) καθώς και το γράφημα των ιδιοδιανυσμάτων (Γράφημα 5.1).

Ιδιοδιανύσματα του πίνακα μεταβλητότητας - συμμεταβλητότητας							
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Band 1	0,3874	0,3052	0,02584	-0,1650	0,6552	-0,0685	-0,5430
Band 2	0,3824	0,3742	0,07260	0,1914	0,2774	0,2409	0,7327
Band 3	0,3763	0,3979	0,2945	0,4353	-0,5709	-0,0556	-0,3081
Band 4	0,3762	-0,2429	-0,7841	0,3675	-0,0180	-0,2218	-0,0109
Band 5	0,3676	-0,5421	0,1518	0,0188	-0,0254	0,7215	-0,1626
Band 6	0,3902	0,1446	-0,2113	-0,7809	-0,4014	-0,0159	0,1046
Band 7	0,3650	-0,4845	0,4742	-0,0369	0,0758	-0,6035	0,1894

Πίνακας 5.3: Πίνακας Ιδιοδιανυσμάτων

Ιδιοτιμές του πίνακα μεταβλητότητας - συμμεταβλητότητας							
Συνιστώσα	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Ιδιοτιμή	25761,87	1687,51	250,40	183,44	25,30	11,59	7,94
% μεταβλητότητα	92,244	6,042	0,897	0,657	0,091	0,041	0,028

Πίνακας 5.4: Πίνακας Ιδιοτιμών



Γράφημα 5.1: Γράφημα Ιδιοδιανυσμάτων

5.8.1 Ανάλυση αποτελεσμάτων της PCA

Όπως έχει ήδη προαναφερθεί, η ψηφιακή τηλεπισκοπική απεικόνιση, η οποία χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες της εργασίας, είναι ένα προϊόν του θεματικού χαρτογράφου TM του δορυφόρου Landsat 5, με ημερομηνία λήψης 19/02/2012 και αποτελείται από επτά κανάλια, στα οποία καταγράφεται η γήινη επιφάνεια σε ορισμένα μήκη κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας όπως φαίνεται στον πίνακα 5.5 που ακολουθεί. Στον πίνακα 5.6 παρουσιάζονται οι εφαρμογές των φασματικών καναλιών για τον Landsat Thematic Mapper.

Φασματικά κανάλια για τον Landsat Thematic Mapper		
Κανάλι	Μήκος Κύματος (μm)	Περιοχή Φάσματος (ΗΜΑ)
Band 1	0,45 – 0,52	Μπλε
Band 2	0,52 – 0,60	Πράσινο
Band 3	0,63 – 0,69	Κόκκινο
Band 4	0,76 – 0,90	Εγγύς υπέρυθρο
Band 5	1,55 – 1,75	Μέσο υπέρυθρο
Band 6	10,4 – 12,5	Θερμικό υπέρυθρο
Band 7	2,08 – 2,35	Μέσο υπέρυθρο

Πίνακας 5.5: Φασματικά κανάλια για τον Landsat Thematic Mapper

Πίνακας 5.6: Εφαρμογές των φασματικών καναλιών για τον Landsat Thematic Mapper

Κανάλι	Εφαρμογές
Band 1	Σχεδιάστηκε για να διεισδύει στις υδάτινες επιφάνειες. Χρήσιμο για: <ul style="list-style-type: none">• την χαρτογράφηση παράκτιων περιοχών,• την διάκριση διαφόρων ειδών φυτοκάλυψης• την χαρτογράφηση δασικών περιοχών• ανθρωπογενών κατασκευών
Band 2	Σχεδιάστηκε για να μετράει το μέγιστο της ανάκλασης της φασματικής καμπύλης της βλάστησης. Πολύ χρήσιμο για: <ul style="list-style-type: none">• διάκριση διαφόρων ειδών βλάστησης• ανθρωπογενών κατασκευών
Band 3	Σχεδιάστηκε για να καταγράφει στην περιοχή απορρόφησης της χλωροφύλλης. Χρήσιμο για: <ul style="list-style-type: none">• διάκριση διαφορετικών ειδών βλάστησης• ανθρωπογενών κατασκευών
Band 4	Χρήσιμο: <ul style="list-style-type: none">• στον προσδιορισμό ειδών βλάστησης• στον προσδιορισμό της βιομάζας• στη διάκριση υδάτινων επιφανειών• στην χαρτογράφηση της περιεχόμενης υγρασίας στο έδαφος
Band 5	Χρήσιμο: <ul style="list-style-type: none">• στον προσδιορισμό της υγρασίας των φυτών• στον προσδιορισμό της υγρασίας του εδάφους• στην διάκριση νεφών από επιφάνειες με χιόνια
Band 6	Χρήσιμο: <ul style="list-style-type: none">• σε εφαρμογές θερμικής χαρτογράφησης• στην διάκριση διαφορών στην περιεχόμενη υγρασία του εδάφους• στον εντοπισμό ασθενειών της βλάστησης
Band 7	Χρήσιμο: <ul style="list-style-type: none">• στην διάκριση ορυκτών και πετρωμάτων• στον προσδιορισμό της περιεχόμενης υγρασίας της βλάστησης

Με εφαρμογή της τεχνικής της ανάλυσης των κύριων συνιστωσών στα επτά κανάλια (1, 2, 3, 4, 5, 6 και 7) καταγραφής της ανακυκλώμενης ηλεκτρονικής ακτινοβολίας από τον θεματικό χαρτογράφο TM του δορυφόρου Landsat, προέκυψαν τέσσερις δευτερογενείς εικόνες.

Η εφαρμογή της τεχνικής της ανάλυσης των κύριων συνιστωσών στην επεξεργασία ψηφιακών τηλεπισκοπικών απεικονίσεων στηρίζεται θεωρητικά σε γνωστή μέθοδο στατιστικής ανάλυσης πολλών μεταβλητών, κατά την οποία γίνεται αλλαγή του συστήματος συντεταγμένων σε νέο σύστημα ορθογώνιων αξόνων. Στις περιπτώσεις επεξεργασίας τηλεπισκοπικών ψηφιακών απεικονίσεων η εν λόγω μέθοδος χρησιμοποιείται συχνά λόγω της μεγάλης συσχέτισης που παρουσιάζουν οι αρχικές πολυφασματικές απεικονίσεις. Πρέπει βέβαια να σημειωθεί ότι η ανάλυση κύριων συνιστωσών δεν αποτελεί υποχρεωτικό στάδιο της φωτογραμμετρικής – τηλεπισκοπικής μεθοδολογίας. Στη παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε η ανάλυση κύριων συνιστωσών με σκοπό να γίνουν πιο εύκολα αντιληπτές οι κυριότερες κλάσεις που υπάρχουν στην εικόνα και συνεπώς οι «περιοχές εκπαίδευσης» που θα χρησιμοποιηθούν στη διαδικασία της ταξινόμησης που θα ακολουθήσει.

Με τη χρήση της τεχνικής της ανάλυσης των κύριων συνιστωσών στην επεξεργασία ψηφιακών εικόνων, δημιουργούνται νέες δευτερογενείς εικόνες (οι κύριες συνιστώσες), για τις οποίες ισχύουν τα εξής:

- Οι συνιστώσες-εικόνες (pc-images) είναι μεταξύ τους ασυσχέτιστες και επομένως, η καθεμία από αυτές μεταφέρει διαφορετική πληροφορία.
- Η πρώτη συνιστώσα-εικόνα (pc-1) περιέχει όλη σχεδόν την πληροφορία.

Η τεχνική της PCA εφαρμόστηκε στα επτά κανάλια της ανακυκλώμενης ακτινοβολίας του TM (band1, band2, band3, band4, band5, band6 και band7) και ζητήθηκαν τέσσερις κύριες συνιστώσες (PC1, PC2, PC3 και PC4).

Η ανάλυση και η φωτοερμηνεία των δευτερογενών αυτών εικόνων στηρίχθηκαν στη μελέτη του πίνακα συντελεστών συσχέτισης των ψηφιακών τιμών των αρχικών καναλιών, του πίνακα μεταβλητότητας-συμμεταβλητότητάς τους, του πίνακα των

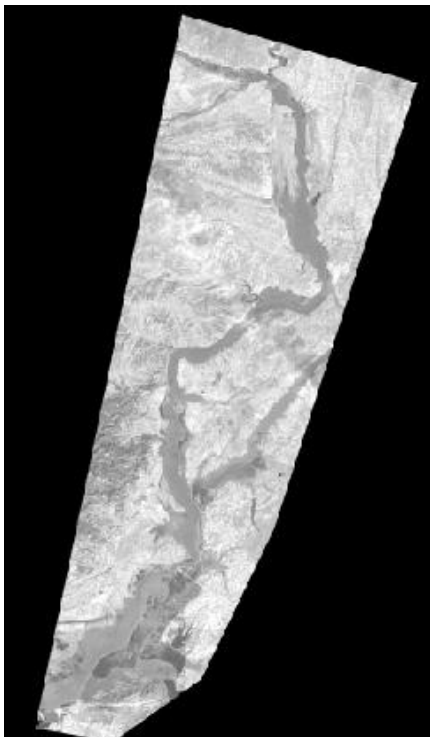
ιδιοτιμών και του πίνακα των ιδιοδιανυσμάτων, από τον οποίο προκύπτουν οι ψηφιακές τιμές των κύριων συνιστωσών (PCi) όπως φαίνονται στους πίνακες 5.3 και 5.4 καθώς και του γραφήματος 5.1 των ιδιοδιανυσμάτων.

Για να ερμηνευθούν τα χαρακτηριστικά, τα οποία αναδεικνύονται σε μία κύρια συνιστώσα, προσδιορίζονται το βασικό κανάλι ή τα κανάλια, τα οποία συμμετέχουν σε μεγάλο βάρος στη διαμόρφωσή τους όπως φαίνεται στις εικόνες που προέκυψαν για καθεμία κύρια συνιστώσα (Εικόνες 5.5 έως 5.8).

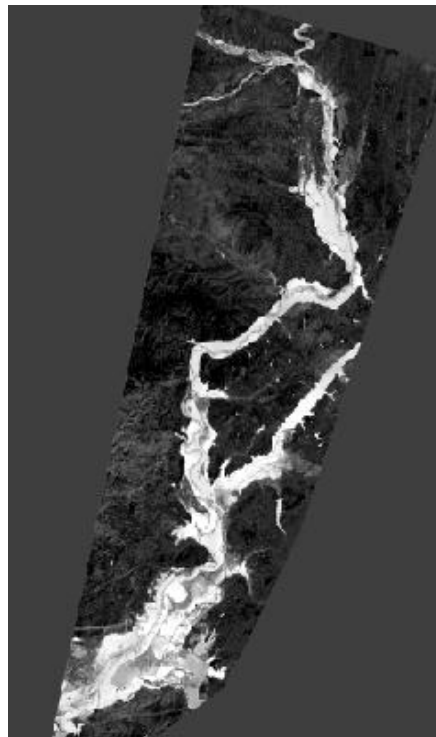
Από τη μελέτη των πινάκων 5.1, 5.2, 5.3 και 5.4 και του γραφήματος 5.1 διαπιστώνεται ότι:

- Η PC1-εικόνα περιέχει την περισσότερη πληροφορία (92,244%). Στη διαμόρφωσή της συμμετέχουν όλα τα αρχικά κανάλια με θετικό πρόσημο και στον ίδιο βαθμό περίπου.
- Η πληροφορία, την οποία περιέχει η PC2-εικόνα, αφορά κυρίως στον προσδιορισμό της υγρασίας του εδάφους και της βλάστησης, επειδή στη διαμόρφωσή της συμμετέχουν κυρίως τα κανάλια 5 και 7.
- Η PC3-εικόνα μεταφέρει πληροφορίες κυρίως για τη διάκριση των υδάτινων επιφανειών και τον προσδιορισμό της υγρασίας του εδάφους. Στη διαμόρφωσή της συμμετέχουν κυρίως τα κανάλια 4 και 7 με αντίθετα πρόσημα.
- Η πληροφορία, την οποία περιέχει η PC4-εικόνα, αφορά κυρίως στον εντοπισμό ασθενειών της βλάστησης επειδή στη διαμόρφωσή της συμμετέχει κυρίως το κανάλι 6.

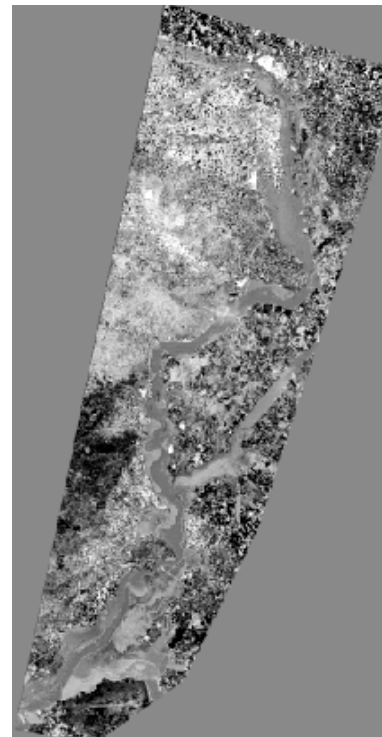
Layer 1



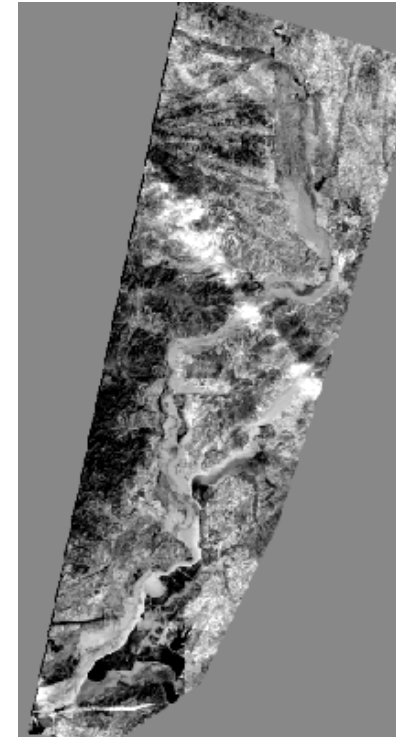
Layer 2



Layer 3



Layer 4



Εικόνα 5.5: PC1 εικόνα

Εικόνα 5.6: PC2 εικόνα

Εικόνα 5.7: PC3 εικόνα

Εικόνα 5.8: PC4 εικόνα

5.9 Ανάλυση Ανεξάρτητων Συνιστωσών

Οποιαδήποτε εικόνα τηλεπισκόπησης μπορεί να αποσυντεθεί σε διάφορα χαρακτηριστικά γνωρίσματα. Ο όρος «γνώρισμα» αναφέρεται στα αντικείμενα με παρόμοια φασματικά χαρακτηριστικά που εμφανίζονται στην εν λόγω εικόνα όπως τύποι βλάστησης, αστικό περιβάλλον, ποτάμια ή δρόμοι κτλ. Επομένως, ο κύριος στόχος μιας τεχνικής εξαγωγής χαρακτηριστικών γνωρισμάτων είναι να ανακτηθούν ακριβώς αυτά τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα.

Η Ανάλυση Ανεξάρτητων Συνιστωσών (Independent Component Analysis – ICA) αποτελεί μία γενίκευση της μεθόδου PCA η οποία προσπαθεί να υπολογίσει μία στατιστικά ανεξάρτητη διανυσματική βάση. Αντίθετα με τους άξονες των κύριων συστατικών που λαμβάνονται από την PCA οι οποίοι είναι κάθετοι μεταξύ τους στην ICA οι άξονες δεν είναι κάθετοι μεταξύ τους με αποτέλεσμα τα μετασχηματισμένα δεδομένα να είναι ασυσχέτιστα και ανεξάρτητα μεταξύ τους.

Η ICA εκτελεί έναν γραμμικό μετασχηματισμό των φασματικών καναλιών έτσι ώστε οι συνιστώσες που προκύπτουν να είναι ασυσχέτιστες και ανεξάρτητες. Κάθε ανεξάρτητη συνιστώσα περιέχει τις πληροφορίες που αντιστοιχούν σε ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό γνώρισμα της αρχικής εικόνας. Αξίζει να σημειωθεί ότι πρέπει να ζητηθεί ο αριθμός των συνιστωσών να είναι μεγαλύτερος από τον αριθμό των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων ώστε να ανακτηθούν όλα τα γνωρίσματα από τις ανεξάρτητες συνιστώσες.

Η Ανάλυση Ανεξάρτητων Συνιστωσών πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό ERDAS IMAGINE 2010 από όπου και προέκυψαν τα αποτελέσματα του πίνακα «Unmixing Matrix» (Πίνακας 5.7).

Στο παράρτημα V παρουσιάζονται αναλυτικά όλα τα βήματα που ακολουθήθηκαν στην ανάλυση κύριων συνιστωσών.

Unmixing Matrix – Πίνακας Μετασχηματισμού των Ανεξάρτητων Συνιστωσών							
	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 6	Band 7
C1	0.0049	0.0125	0.0177	-0.0008	-0.0114	-0.0097	-0.0103
C2	-0.0043	-0.0009	-0.0096	0.0531	-0.0066	-0.0009	-0.0264
C3	0.0037	-0.0007	-0.0003	-0.0157	0.0067	0.0087	0.0129
C4	-0.0125	0.0123	0.0328	0.0128	0.0073	-0.0579	0.0089

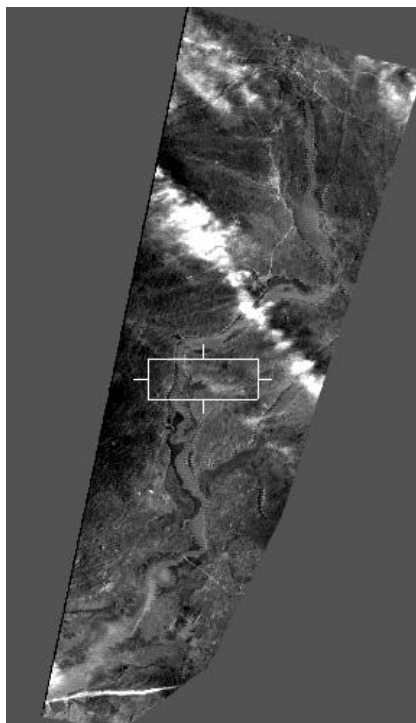
Πίνακας 5.7: Πίνακας μετασχηματισμού Ανεξάρτητων Συνιστωσών

Με τη χρήση της τεχνικής της ανάλυσης των ανεξάρτητων συνιστωσών στην επεξεργασία ψηφιακών εικόνων, δημιουργούνται νέες δευτερογενείς εικόνες (οι ανεξάρτητες συνιστώσες) οι οποίες είναι ασυσχέτιστες και ανεξάρτητες μεταξύ τους και επομένως η κάθε μια από αυτές μεταφέρει διαφορετική πληροφορία.

Πρέπει βέβαια να σημειωθεί ότι και η ανάλυση ανεξάρτητων συνιστωσών δεν αποτελεί υποχρεωτικό στάδιο της φωτογραμμετρικής – τηλεπισκοπικής μεθοδολογίας. Μάλιστα αξίζει να αναφερθεί ότι στις προηγούμενες εκδόσεις του λογισμικού ERDAS δεν υπήρχε η δυνατότητα παραγωγής των ανεξάρτητων συνιστωσών. Στη παρούσα διπλωματική εργασία και λόγω ότι το πρακτικό μέρος πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό ERDAS IMAGINE 2010 το οποίο και είχε τη δυνατότητα παραγωγής ανεξάρτητων συνιστωσών κρίθηκε σκόπιμο να γίνει και η ανάλυση αυτή. Τέλος, παρατηρήθηκε ότι οι εικόνες που προέκυψαν από την PCA αλλά και από την ICA οδηγούν περίπου στα ίδια αποτελέσματα.

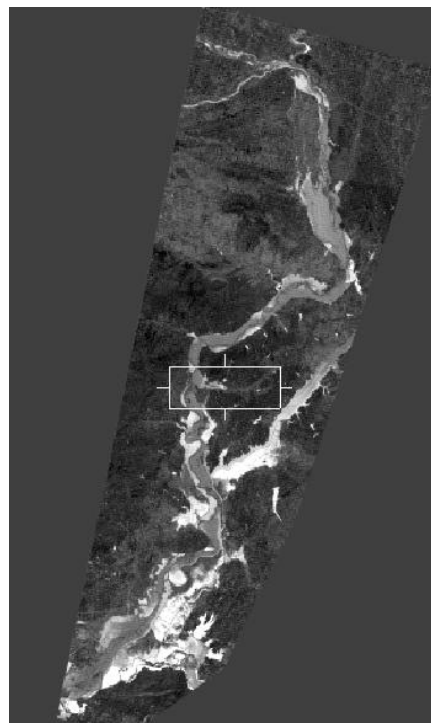
Η τεχνική της ICA εφαρμόστηκε στα επτά κανάλια της ανακυκλώμενης ακτινοβολίας του TM (band1, band2, band3, band4, band5, band6 και band7) ενώ ζητήθηκαν τέσσερις ανεξάρτητες συνιστώσες IC1, IC2, IC3 και IC4 (Εικόνες 5.9 έως 5.12).

Layer 1



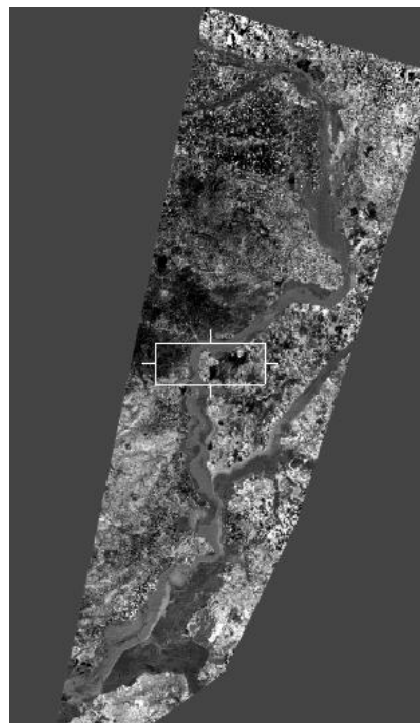
Εικόνα 5.9: IC1 εικόνα

Layer 2



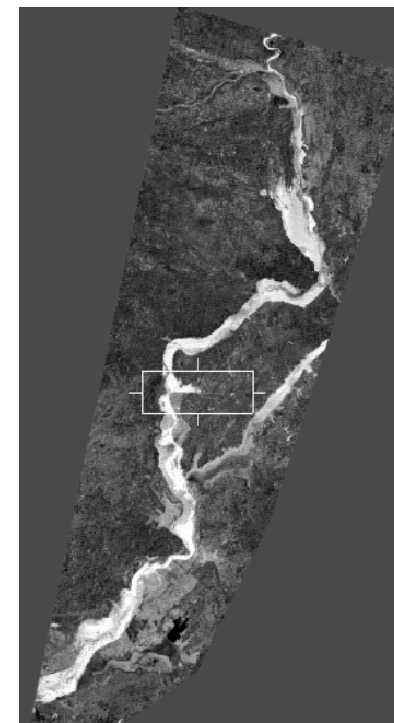
Εικόνα 5.10: IC2 εικόνα

Layer 3



Εικόνα 5.11: IC3 εικόνα

Layer 4



Εικόνα 5.12: IC4 εικόνα

5.10 Τηλεπισκόπηση Ορθοφωτοχάρτη και Καθορισμός Περιοχών Πλημμύρας

Οι ψηφιακές τηλεπισκοπικές διαδικασίες περιλαμβάνουν:

- Μη επιβλεπόμενη Ταξινόμηση
- Φωτοερμηνευτικός Έλεγχος
- Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση
- Φωτοερμηνευτικός Έλεγχος

5.10.1 Μη Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση

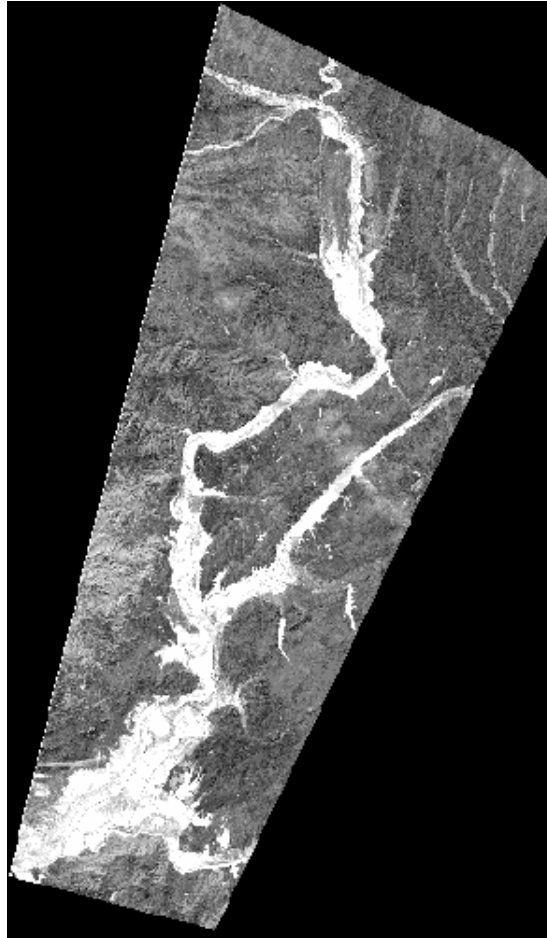
Για τη Μη Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση χρησιμοποιήσαμε το λογισμικό ERDAS IMAGINE 2010. Από το κεντρικό μενού επιλέξαμε Classifier/Unsupervised Classification και ορίσαμε τις παραμέτρους της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης.

Για τη μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση χρησιμοποιήθηκαν και τα επτά κανάλια του ορθοφωτοχάρτη. Ορίστηκε ως μέγιστος αριθμός κλάσεων το 10 (Number of Classes) και ως μέγιστος αριθμός επαναλήψεων το 20 (Maximum Iterations). Επίσης, το ποσοστό των εικονοστοιχείων που δεν θα αλλάζουν κλάση από επανάληψη σε επανάληψη ορίστηκε στο 97% οριοθετώντας το επίπεδο εμπιστοσύνης της ταξινόμησης. Το όριο του 97% ικανοποιήθηκε πριν το πέρας των 20 επαναλήψεων γεγονός που καθιστά το αποτέλεσμα μετρητικά αξιόπιστο.

Μετά την ολοκλήρωση της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης πραγματοποιήθηκε φωτοερμηνευτικός έλεγχος με αποτέλεσμα τον προσδιορισμό των κλάσεων που αφορούν σε επιφάνειες πλημμύρας.

Ακολουθούν οι ταξινομημένες εικόνες σε grey scale αλλά και true color (*Εικόνες 5.13 και 5.14*) καθώς και οι αντίστοιχες υπογραφές (*Εικόνες 5.15 και 5.16*) που δημιουργήθηκαν κατά τη διαδικασία της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης.

Στην υπογραφή της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης σε true color μπορούμε με τη βοήθεια της φωτοερμηνείας να διακρίνουμε κάποιες κλάσεις όπως αυτές για τα νερά, καλλιέργειες, λοφώδης εκτάσεις, οικισμούς κτλ.



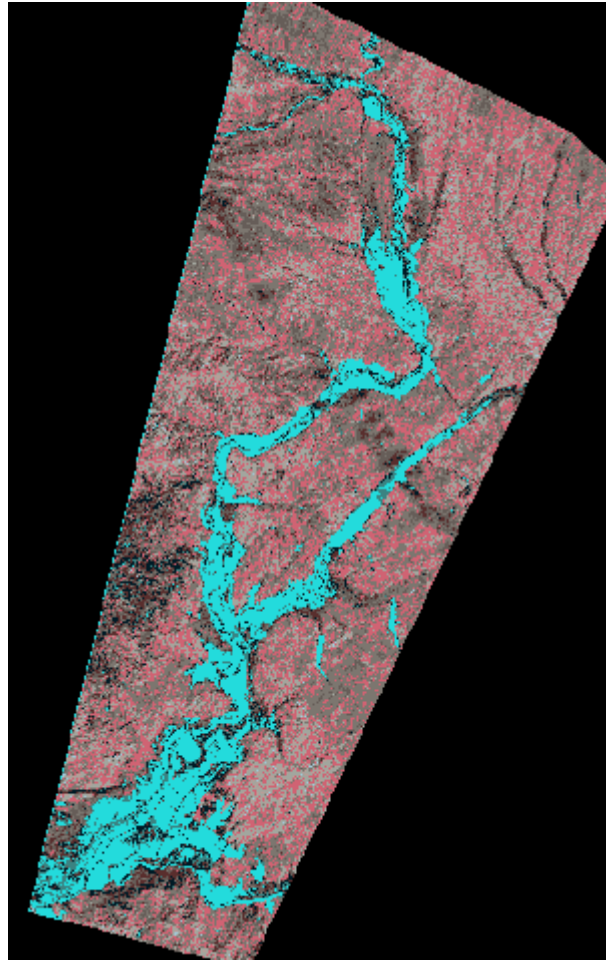
Εικόνα 5.13: Ταξινομημένη εικόνα σε grey scale

Signature Editor (unsupervised_grey_scale_ebros.sig)

File Edit View Evaluate Feature Classify Help

Class #	>	Signature Name	Color	Red	Green	Blue	Value	Order	Count
1	▶	Class 1		0.100	0.100	0.100	1	1	189139
2		Class 2		0.200	0.200	0.200	2	2	435714
3		Class 3		0.300	0.300	0.300	3	3	671105
4		Class 4		0.400	0.400	0.400	4	4	881672
5		Class 5		0.500	0.500	0.500	5	5	1022048
6		Class 6		0.600	0.600	0.600	6	6	847815
7		Class 7		0.700	0.700	0.700	7	7	379005
8		Class 8		0.800	0.800	0.800	8	8	131210
9		Class 9		0.900	0.900	0.900	9	9	237418
10		Class 10		1.000	1.000	1.000	10	10	573279

Εικόνα 5.15: Υπογραφή της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης σε grey scale



Εικόνα 5.14: Ταξινομημένη εικόνα σε true color

Signature Editor (unsupervised_true_color_ebros.sig)

File Edit View Evaluate Feature Classify Help

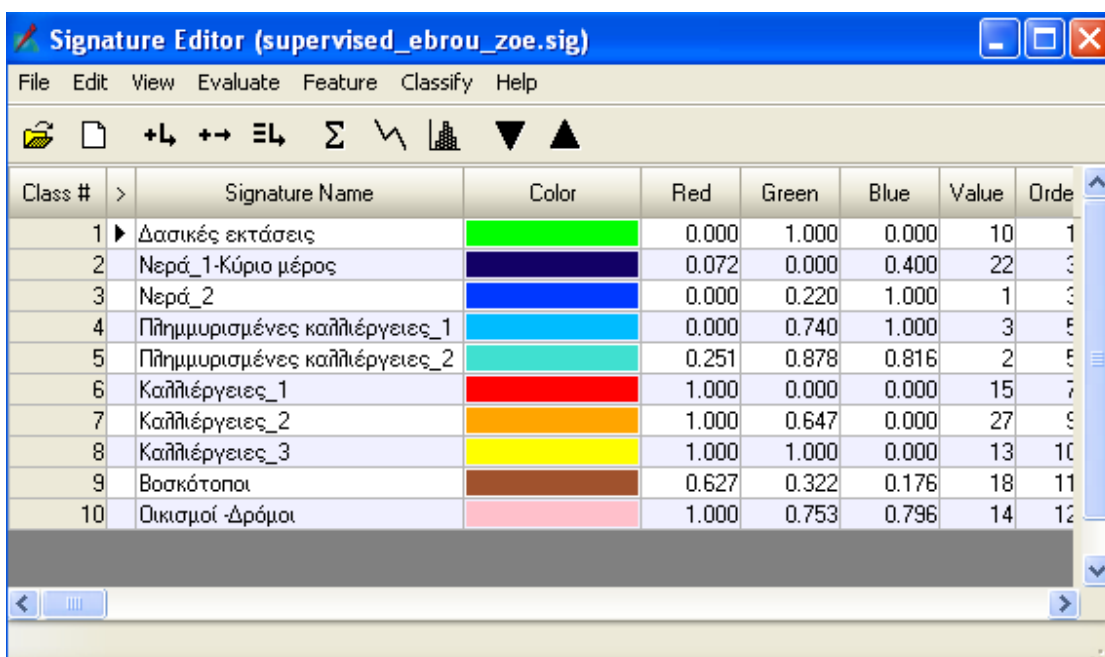
Class #	Signature Name	Color	Red	Green	Blue	Value	Order	Count
1	Class 1		0.639	0.785	0.845	1	1	189
2	Class 2		0.723	0.622	0.599	2	2	435
3	Class 3		0.637	0.653	0.623	3	3	671
4	Class 4		0.816	0.390	0.452	4	4	881
5	Class 5		0.488	0.463	0.438	5	5	1022
6	Class 6		0.401	0.366	0.349	6	6	847
7	Class 7		0.352	0.181	0.178	7	7	379
8	Class 8		0.000	0.107	0.151	8	8	131
9	Class 9		0.228	0.516	0.513	9	9	237
10	Class 10		0.138	0.861	0.863	10	10	573

Εικόνα 5.16: Υπογραφή της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης σε true color

5.10.2 Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση

Για καλύτερο και ασφαλέστερο αποτέλεσμα πραγματοποιήθηκε επιβλεπόμενη ταξινόμηση με καθορισμό περιοχών εκπαίδευσης οι οποίες διέκριναν περαιτέρω τις κλάσεις της ταξινόμησης. Στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιες παράμετροι με τη μη επιβλεπόμενη με επιλογή του αλγορίθμου μέγιστης πιθανοφάνειας ως φίλτρο ταξινόμησης.

Η υπογραφή που δημιουργήθηκε παρουσιάζεται στην *Εικόνα 5.17* που ακολουθεί. Οι περιοχές εκπαίδευσης εντοπίστηκαν μετά από φωτοερμηνευτικό έλεγχο στην εικόνα αλλά και με τη βοήθεια των δηλώσεων ΟΣΔΕ των παραγωγών του Νομού Έβρου που προμηθευτήκαμε από τον Ο.Π.Ε.Κ.Ε.Π.Ε.



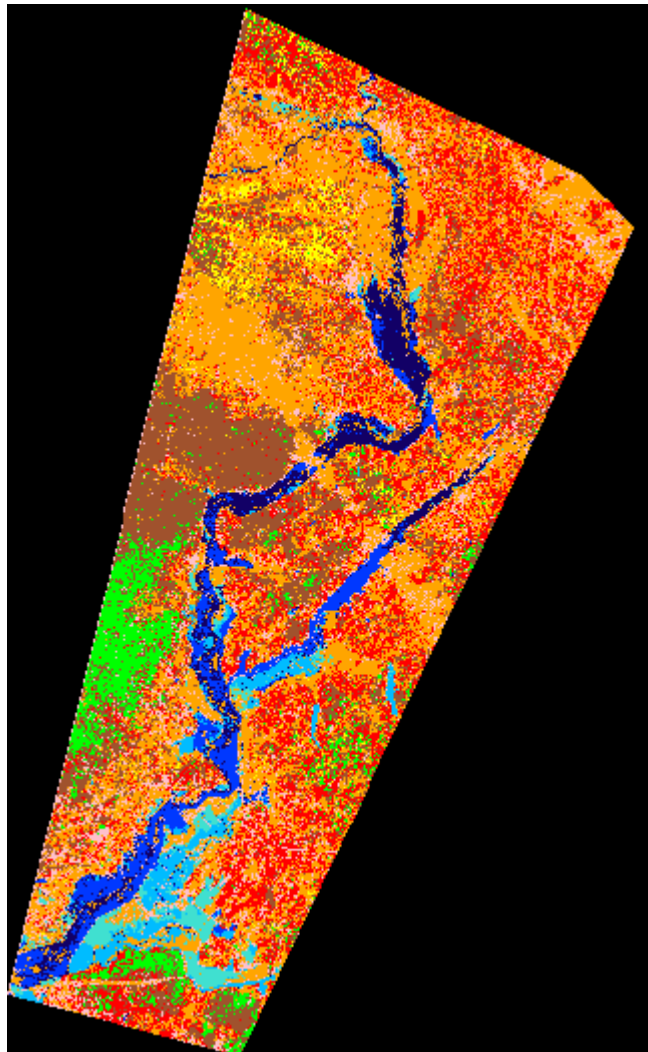
Class #	Signature Name	Color	Red	Green	Blue	Value	Order
1	Δασικές εκτάσεις	Green	0.000	1.000	0.000	10	1
2	Νερά_1-Κύριο μέρος	Dark Blue	0.072	0.000	0.400	22	2
3	Νερά_2	Blue	0.000	0.220	1.000	1	3
4	Πλημμυρισμένες καλλιέργειες_1	Cyan	0.000	0.740	1.000	3	4
5	Πλημμυρισμένες καλλιέργειες_2	Light Green	0.251	0.878	0.816	2	5
6	Καλλιέργειες_1	Red	1.000	0.000	0.000	15	6
7	Καλλιέργειες_2	Orange	1.000	0.647	0.000	27	7
8	Καλλιέργειες_3	Yellow	1.000	1.000	0.000	13	8
9	Βοσκότοποι	Brown	0.627	0.322	0.176	18	9
10	Οικισμοί-Δρόμοι	Pink	1.000	0.753	0.796	14	10

Εικόνα 5.17: Υπογραφή της επιβλεπόμενης ταξινόμησης μετά από φωτοερμηνευτικό έλεγχο

Για την Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση χρησιμοποιήσαμε το λογισμικό ERDAS IMAGINE 2010. Από το κεντρικό μενού επιλέξαμε Classifier/Supervised Classification και ορίσαμε τις παραμέτρους της επιβλεπόμενης ταξινόμησης.

Μετά την ολοκλήρωση της επιβλεπόμενης ταξινόμησης πραγματοποιήθηκε φωτοερμηνευτικός έλεγχος με αποτέλεσμα τον προσδιορισμό των κλάσεων που αφορούν σε επιφάνειες πλημμύρας.

Στην *Εικόνα 5.18* παρουσιάζεται η ταξινομημένη εικόνα της περιοχής μελέτης που δημιουργήθηκε κατά τη διαδικασία της επιβλεπόμενης ταξινόμησης.



Εικόνα 5.18: Τελική ταξινομημένη εικόνα

5.11 Διανυσματοποίηση του Ψηφιδωτού Μωσαϊκού Περιοχών Πλημμύρας

Μετά το πέρας της ταξινόμησης ακολούθησε η διανυσματοποίηση των κλάσεων της τηλεπισκόπησης. Πρόκειται για μια διαδικασία με την οποία ο θεματικός χάρτης των κλάσεων μετατρέπεται σε διανυσματικό θεματικό επίπεδο το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια σε περιβάλλον GIS. Ως ελάχιστη απόσταση γειτονικών κόμβων επιλέχθηκαν τα 15 μ, μέγεθος που σχετίζεται άμεσα με την οριζοντιογραφική ακρίβεια της ορθοδιόρθωσης και το μέγεθος του εικονοστοιχείου. Με τον τρόπο αυτό θα προκύψει το διανυσματικό θεματικό επίπεδο των πλημμυρισμένων περιοχών σύμφωνα με τη τηλεπισκόπηση. Με την ολοκλήρωση του ανωτέρω σταδίου ολοκληρώνεται το τμήμα της φωτογραμμετρίας και της τηλεπισκόπησης και ξεκινά το μέρος του GIS.

5.12 Χωρική Συσχέτιση Αγροτεμαχίων και Περιοχών Πλημμύρας

Μετά το πέρας της διανυσματοποίησης των κλάσεων της τηλεπισκόπησης και συγκεκριμένα των κλάσεων που αφορούν τις πλημμυρισμένες περιοχές ακολούθησε η χωρική συσχέτιση των αγροτεμαχίων με τα εν λόγω πολύγωνα της πλημμύρας.

Με τη βοήθεια των δηλώσεων ΟΣΔΕ για το Νομό Έβρου που χορηγήθηκαν από τον Ο.Π.Ε.Κ.Ε.Π.Ε. στα πλαίσια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε η χωρική συσχέτιση των εν λόγω δηλώσεων - τεμαχίων με τα πολύγωνα της πλημμύρας που προέκυψαν από τη διανυσματοποίηση των κλάσεων της ταξινόμησης. Η συσχέτιση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του τελεστή επικάλυψης. Έτσι για κάθε πολύγωνο τεμαχίου υπολογίστηκε το εμβαδόν που είχε πλημμυρίσει. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατόν να γίνεται έγκαιρα και έγκυρα η αποζημίωση των πληγέντων παραγωγών καθώς και ο υπολογισμός της αποζημίωσης τους σύμφωνα με το ποσοστό της πλημμυρισμένης επιφάνειας των τεμαχίων.

Πρέπει να σημειωθεί ότι με τη χρήση της τηλεπισκόπησης προέκυψαν λιγότερα πληγέντα τεμάχια σε σχέση με αυτά που προέκυψαν από την πολιτική προστασία. Αυτό συμβαίνει γιατί η πολιτική προστασία θεώρησε μεγαλύτερα τα όρια της πλημμύρας σε σύγκριση με αυτά που προέκυψαν από την τηλεπισκόπηση.

Πιο συγκεκριμένα και με τη βοήθεια του λογισμικού ArcGIS και του προγράμματος ArcMap προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα:

Σύμφωνα με την τηλεπισκόπηση:

- Η συνολική έκταση της πλημμύρας είναι 616.703.015τ.μ. (περιλαμβάνει τις πλημμυρισμένες περιοχές και στις δύο χώρες Ελλάδα και Τουρκία).
- Η συνολική έκταση της πλημμύρας για τα όρια της Ελλάδας είναι περίπου 215.498.447τ.μ.
- Τα πληγέντα αγροτεμάχια υπολογίζονται περίπου σε 10.961 σύμφωνα με την τηλεπισκόπηση.
- Η συνολική έκταση των αγροτεμαχίων που επλήγησαν στο Νομό Έβρου είναι περίπου 120.000.000τ.μ

Σύμφωνα με την Πολιτική Προστασία:

- Η συνολική έκταση είναι 411.944.100τ.μ.
- Τα πληγέντα αγροτεμάχια υπολογίζονται περίπου σε 18.157.
- Η συνολική έκταση των αγροτεμαχίων που επλήγησαν στο Νομό Έβρου είναι 220.053.488τ.μ

Με τη βοήθεια του προγράμματος ArcMap και του Excel δημιουργήσαμε έναν πίνακα (*Πίνακα 5.8*) στον οποίο εμφανίζεται το ποσοστό πλημμυρισμένης επιφάνειας στα αγροτεμάχια. Στην περίπτωση αυτή πραγματοποιήθηκε κατηγοριοποίηση επί το ποσοστού της πλημμύρας στα αγροτεμάχια. Δημιουργήθηκαν τέσσερις τάξεις με εύρος 25.

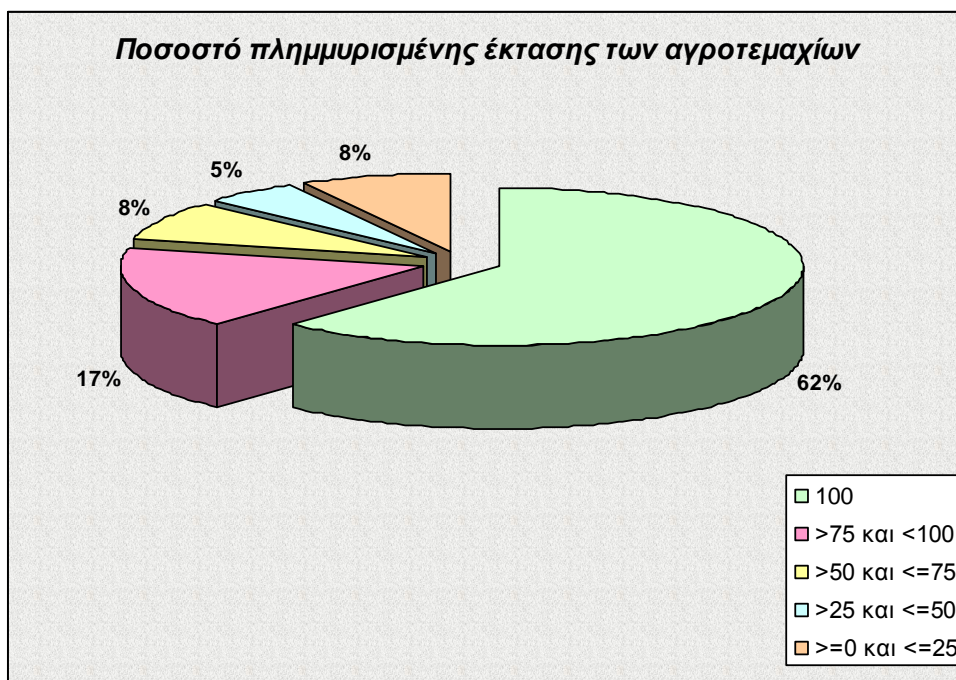
ΠΟΣΟΣΤΟ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΕΜΑΧΙΩΝ	ΕΜΒΑΔΟΝ ΠΛΗΜΜΥΡΙΣΜΕΝΗΣ ΕΚΤΑΣΗΣ
100	6.759	80.015.762,07
>75 και <100	1.834	27.833.162,88
>50 και <=75	831	6.868.740,22
>25 και <=50	593	2.610.214,22
>=0 και <=25	944	929.908,05
ΣΥΝΟΛΟ	10.961	118.257.7787,44
* Τα εμβαδά μετρούνται σε τετραγωνικά μέτρα		

Πίνακας 5.8: Κατηγοριοποίηση πληγέντων τεμαχίων

Από τον παραπάνω πίνακα συμπεραίνεται ότι:

- 6.759 τεμάχια καταστράφηκαν ολοσχερώς και αποτελούν το 62% επί του συνόλου των τεμαχίων
- 1.834 τεμάχια πλημμύρισαν σε ποσοστό 75 – 100% και αποτελούν το 17% επί του συνόλου των τεμαχίων
- 831 τεμάχια πλημμύρισαν σε ποσοστό 50 – 75% και αποτελούν το 8% επί του συνόλου των τεμαχίων
- 593 τεμάχια πλημμύρισαν σε ποσοστό 25 – 50% και αποτελούν το 5% επί του συνόλου των τεμαχίων
- 944 τεμάχια πλημμύρισαν σε ποσοστό 0 – 25% και αποτελούν το 8% επί του συνόλου των τεμαχίων

Στο γράφημα 5.2 παρουσιάζονται τα παραπάνω αποτελέσματα.



Γράφημα 5.2: Ποσοστά πλημμυρισμένων εκτάσεων αγροτεμαχίων

Συμπεραίνεται λοιπόν ότι με τη βοήθεια της Τηλεπισκόπησης μπορεί να υπάρξει έγκαιρη και έγκυρη καταγραφή των καταστροφών που προκλήθηκαν από πλημμυρικά φαινόμενα όπως στην περίπτωση του Νομού Έβρου. Πιο συγκεκριμένα μπορεί να υπάρξει ακριβής καταγραφή των ακόλουθων:

- έκταση πλημμύρας
- αριθμός τεμαχίων που επλήγησαν
- ποσοστό πλημμύρας ανά τεμάχιο

η οποία θα συντελέσει στην άμεση και δίκαιη αποζημίωση των αγροτών.

Επιπλέον πρέπει να σημειωθεί ότι με τη συμβολή της Τηλεπισκόπησης το Κράτος αλλά κυρίως οι αρμόδιες υπηρεσίες της εκάστοτε περιοχής μπορούν να εξοικονομήσουν χρόνο και κόστος. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι τα όρια της πλημμύρας στην περίπτωση του Νομού Έβρου ήταν τελικά πιο στενά από αυτά που δόθηκαν από την Πολιτική Προστασία και συνεπώς και τα πληγέντα αγροτεμάχια προς αποζημίωση ήταν αρκετά λιγότερα. Ενώ τέλος όσον αφορά το χρόνο συμπεραίνεται ότι μία τέτοιου είδους μελέτη είναι πιο γρήγορη σε σύγκριση με τους επιτόπιους ελέγχους στους οποίους καταφεύγει κάθε φορά η Πολιτεία σε φυσικές καταστροφές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το περιβάλλον, η αειφορική ανάπτυξη, η ατμόσφαιρα, το νερό και η βλάστηση, είναι πλέον θέματα παγκόσμιου ενδιαφέροντος και η προστασία τους απαιτεί την συλλογή στοιχείων, με αξιόπιστες μεθόδους σε πραγματικό (σε πολλές περιπτώσεις) χρόνο και την εξαγωγή πληροφοριών σε μορφή κατανοητή και άμεσα επεξεργάσιμη από χρήστες. Η Τηλεπισκόπηση και τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών αποτελούν δύο σύγχρονα εργαλεία για τη πραγματοποίηση των παραπάνω καθώς διέπονται από το αναμφισβήτητο πλεονεκτήματα της αμερόληπτης συλλογής στοιχείων και πληροφοριών, σε (σχεδόν) πραγματικό χρόνο. Η τεχνολογική εξέλιξη των μεθόδων και τεχνικών της Τηλεπισκόπησης και των Γ.Σ.Π. δημιουργούν τις προϋποθέσεις για μια ολοκληρωμένη προσπάθεια διαχείρισης και προστασίας του φυσικού και ανθρωπογενούς περιβάλλοντος.

Η παρούσα μελέτη εστιάζει στο φαινόμενο των πλημμυρών λόγω της μεγάλης καταστρεπτικής τους δύναμης και συγκεκριμένα στις ποτάμιες πλημμύρες του Νομού Έβρου για το έτος 2010. Ο ποταμός Έβρος είναι μια περιοχή με πολλές ιδιαιτερότητες, κυρίως λόγω της διασυνοριακής του θέσης. Επιπλέον, είναι μια περιοχή με ιστορικό πλημμυρών που επανεμφανίζονται με σχεδόν σταθερή συχνότητα.

Η επιλογή της μελέτης περίπτωσης ενός πλημμυρικού φαινομένου υπό την σκοπιά της αξιοποίησης δορυφορικών ψηφιακών τηλεπισκοπικών απεικονίσεων μέσω της τεχνικής ψηφιακής ανίχνευσης μεταβολών και την μετέπειτα διαχείριση, χωρική ανάλυση και οπτικοποίηση των εξαγόμενων πληροφοριών - συμπερασμάτων, αποτελεί ένα χειροπιαστό επίτευγμα συγκερασμού των μεθόδων και τεχνικών της Τηλεπισκόπησης και των Γ.Σ.Π. προκειμένου τα εν λόγω εργαλεία να ενσωματωθούν σε μια ολοκληρωμένη διαχειριστική, αλλά και δυναμική προσέγγιση.

Η παρούσα διπλωματική εργασία κατέδειξε και παρουσίασε τις πολλαπλές δυνατότητες χρήσεως και επιλογών των εξελιγμένων τεχνικών και μεθόδων της ψηφιακής επεξεργασίας δορυφορικών δεδομένων και συγκεκριμένα των τεχνικών ταξινόμησης στην ανίχνευση, τον προσδιορισμό και την ανάδειξη ποιοτικών και μετρητικών πληροφοριών, για τη γη και το περιβάλλον γενικότερα.

Το οικονομικό όφελος από την εφαρμογή της ανωτέρω μεθοδολογίας είναι μεγάλο τόσο κατά τον άξονα της δίκαιης αποζημίωσης των πραγματικά πληγέντων όσο και κατά τον άξονα της διαχείρισης του ανθρώπινου δυναμικού.

Σε ότι αφορά τον πρώτο, χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα της μελέτης περίπτωσης σύμφωνα με τα οποία τα πληγέντα αγροτεμάχια που προέκυψαν από την Τηλεπισκόπηση ανέρχονται σε 10.961 και η συνολική έκτασή τους είναι περίπου 120.000.000τ.μ σε αντίθεση με τα αποτελέσματα της Πολιτικής Προστασίας η οποία υπολόγισε τα πληγέντα αγροτεμάχια περίπου σε 18.157 και τη συνολική έκτασή τους σε 220.053.488τ.μ. Παρατηρείται από τα προηγούμενα, ότι τα προς αποζημίωση αγροτεμάχια σύμφωνα με τη Πολιτική Προστασία είναι σχεδόν διπλάσια από αυτά που προέκυψαν με τη χρήση της Τηλεπισκόπησης.

Επιπλέον, όσο αφορά το κόστος διαχείρισης του ανθρώπινου δυναμικού επισημαίνεται ότι με την χρήση της Τηλεπισκόπησης αυτό διατηρείται σε σχετικά χαμηλά επίπεδα, εν αντιθέσει με τις παραδοσιακές μεθόδους που χρησιμοποιούνται και οι οποίες απαιτούν τη συμμετοχή πολυάριθμης ομάδας ανθρώπων σε μία συνήθως εκτός έδρας εξόρμηση για μεγάλο χρονικό διάστημα. Πιο συγκεκριμένα, αν αναλογιστούμε ότι η Πολιτική Προστασία οφείλει να ελέγξει όλα τα πληγέντα αγροτεμάχια (18.157) σε εύλογο χρονικό διάστημα της τάξης του ενός μήνα (20 εργάσιμες ημέρες) και υπό την προϋπόθεση ότι κάθε ελεγκτής μπορεί να ελέγχει περίπου 20 αγροτεμάχια την ημέρα, τότε χρειάζεται μία ομάδα των 45 ατόμων για να φέρει σε πέρας το εν λόγω έργο. Επιπλέον, γνωρίζοντας ότι ο κάθε ελεγκτής κοστίζει περίπου 100€ την ημέρα πέραν του μισθού του τότε το κόστος με αυτή τη μέθοδο ανέρχεται σε 90.000€. Αντιθέτως, το κόστος με τη μέθοδο της Τηλεπισκόπησης για την ίδια μελέτη περίπτωσης ανέρχεται σε περίπου σε 1.600€ (κόστος μίας εικόνας Landsat κατόπιν παραγγελίας είναι max 600\$).

Συμπεραίνεται λοιπόν ότι το κόστος με την παραδοσιακή μέθοδο είναι υπέρογκο σε σχέση με το κόστος της Τηλεπισκόπησης. Συνοψίζοντας, η Τηλεπισκόπηση αποτελεί μια ποιοτικά ελεγχόμενη μέθοδο αισθητά χαμηλού κόστους, η οποία απαιτεί περιορισμένο ανθρώπινο δυναμικό και ελάχιστες εξορμήσεις στο ύπαιθρο για να οδηγήσει σε ένα αποτέλεσμα συγκεκριμένης μετρητικής ακρίβειας. Επιπλέον, με την

χρήση της Τηλεπισκόπησης, οι πληγέντες λαμβάνουν την πρόνοια της πολιτείας έγκυρα και έγκαιρα, ενώ το κράτος μπορεί να προβεί σε χρηστή διαχείριση των οικονομικών του πόρων προς όφελος του πολίτη.

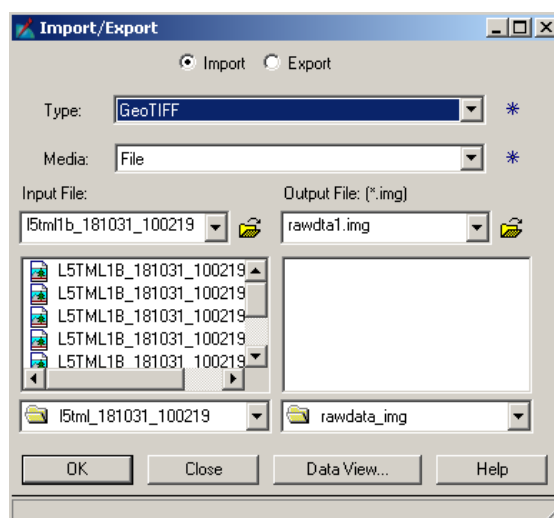
Η συγκεκριμένη μελέτη αποτελεί ένα εργαλείο το οποίο εάν αξιοποιηθεί σωστά μπορεί να δώσει μια λύση μόνιμη και μακροπρόθεσμη για τη σωστή διαχείριση της υδρολεκάνης του Έβρου και γενικότερα των υδάτων της περιοχής. Επιπλέον, μπορεί να αποτελέσει τη βάση για τη δημιουργία ενός μοντέλου αντιμετώπισης παρόμοιων καταστάσεων. Ένα μοντέλο, το οποίο θα λειτουργεί σαν ένα σύστημα λήψης αποφάσεων για πρόληψη και αντιμετώπιση πλημμύρων, χρησιμοποιώντας σύγχρονες τεχνικές επεξεργασίας και διαχείρισης δεδομένων και το οποίο θα επιτρέπει στους υπεύθυνους να εκτιμούν εύκολα την έκταση της πλημμύρας και να αξιολογούν τις κοινωνικό - οικονομικές επιπτώσεις στην γύρω περιοχή. Βασικά γνωρίσματα του μοντέλου θα είναι το ιστορικό των βροχοπτώσεων και των πλημμύρων στην εκάστοτε περιοχή, η κλίση και η σύσταση του εδάφους, η χαρτογράφηση τεχνικών έργων, η πληθυσμιακή κατανομή κ.ά. Με τη βοήθεια του μοντέλου αυτού οι αρμόδιοι θα έχουν τη δυνατότητα να καθορίσουν ποια είναι τα κατάλληλα κατασκευαστικά ή μη μέτρα που πρέπει να λάβουν ώστε να αποφύγουν την πλημμύρα ή να ελαχιστοποιήσουν τις επιπτώσεις της.

Τέλος, με τη χρήση εικόνων και των Γ.Σ.Π. δημιουργείται μια διαχρονική καταγραφή των φυσικών καταστροφών με βασικά χαρακτηριστικά της το χρόνο, τον τόπο, την ακρίβεια, την αξιοπιστία και τον ποιοτικό έλεγχο. Με τον τρόπο αυτό δομείται μια γεωχωρική – διαχρονική βάση δεδομένων, η οποία με το πέρασμα του χρόνου θα αποτελέσει ένα βασικό διαχειριστικό εργαλείο και ένα πολύτιμο στοιχείο του συστήματος λήψεων αποφάσεων για την πολιτική ηγεσία του τόπου.

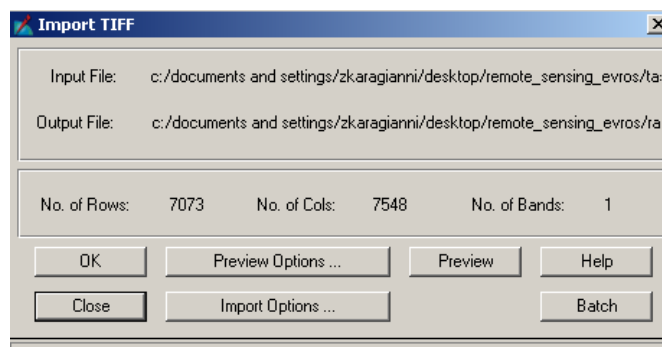
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: Επεξεργασία πρωτογενών δεδομένων (Raw Data)

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων είναι η κάτωθι:

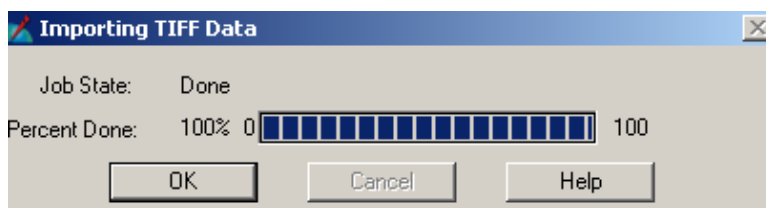
- Από το βασικό μενού του ERDAS IMAGINE επιλέγουμε την εντολή Import το οποίο ανοίγει το ακόλουθο παράθυρο (Εικόνα I.1). Στην επιλογή Type επιλέγουμε Geotiff και στην επιλογή Media επιλέγουμε File.
- Στην επιλογή Input File επιλέγουμε από τα πρωτογενή δεδομένα που έχουμε το κανάλι 1 (Band1).
- Στην επιλογή Output File επιλέγουμε τη θέση και το όνομα του αρχείου που θα δημιουργηθεί.
- Αφού τελειώσει η διαδικασία για το κανάλι 1 επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία και για τα υπόλοιπα κανάλια.



Εικόνα I.1: Επεξεργασία πρωτογενών δεδομένων

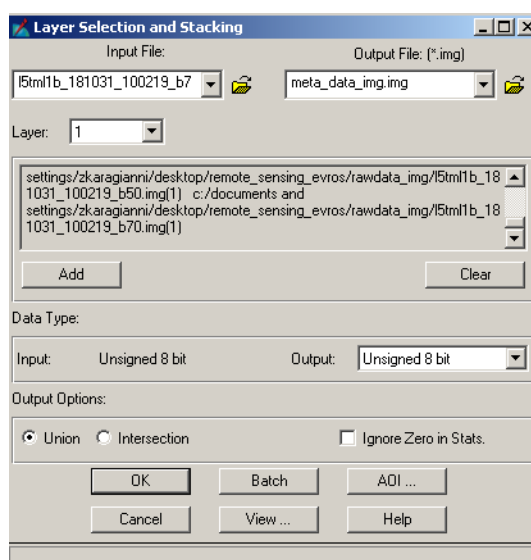


Εικόνα I.2: Επεξεργασία πρωτογενών δεδομένων

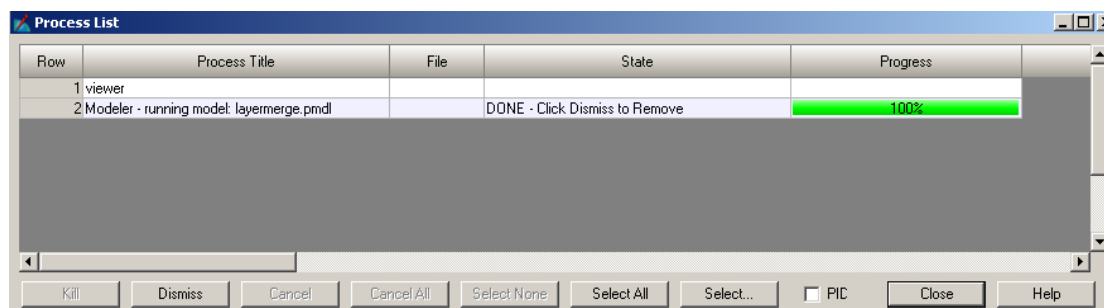


Εικόνα I.3: Υλοποίηση της επεξεργασίας πρωτογενών δεδομένων

Αφού τελειώσουμε τη διαδικασία (Εικόνα I.3) με όλα τα κανάλια επιλέγουμε από το κεντρικό μενού του ERDAS IMAGINE την επιλογή Interpreter/Utilities/Layer Stack ώστε να συνδυάσουμε τα ξεχωριστά .img files που δημιουργήσαμε με την παραπάνω διαδικασία σε ένα multilayer .img. file (Εικόνα I.4).

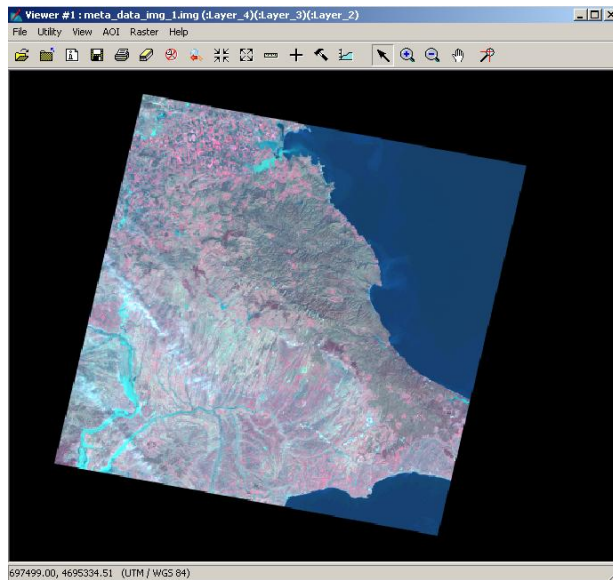


Εικόνα I.4: Δημιουργία multilayer file

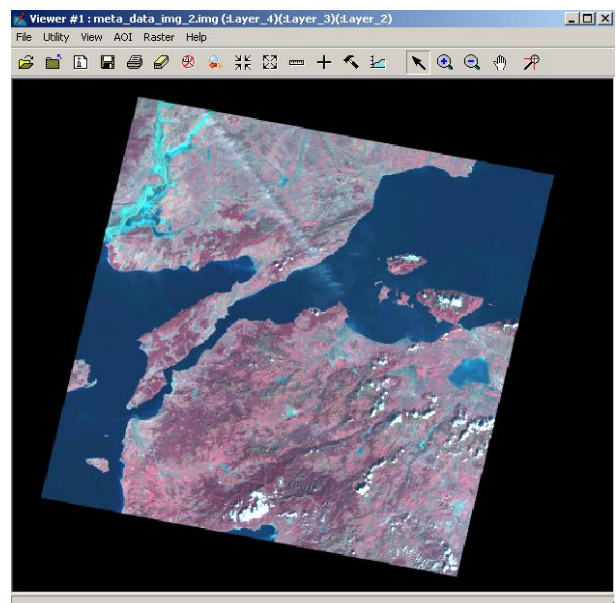


Εικόνα I.5: Υλοποίηση του multilayer file

Αφού τελειώσει η διαδικασία (Εικόνα I.5) έχουμε πλέον δημιουργήσει την εικόνα προς επεξεργασία. Την ίδια ακριβώς διαδικασία ακολουθούμε και για τα πρωτογενή δεδομένα της δεύτερης δορυφορικής που έχουμε προμηθευτεί. Οι εικόνες που δημιουργήθηκαν από τα Raw Data είναι οι ακόλουθες (Εικόνες I.6 και I.7):



Εικόνα I.6: Απεικόνιση 1^{ης} Δορυφορικής εικόνας Landsat 5 του Νομού Έβρου



Εικόνα I.7: Απεικόνιση 2^{ης} Δορυφορικής εικόνας Landsat 5 Νομού Έβρου

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II: Δημιουργία «μωσαϊκού» των ορθοφωτοχαρτών Ικonos

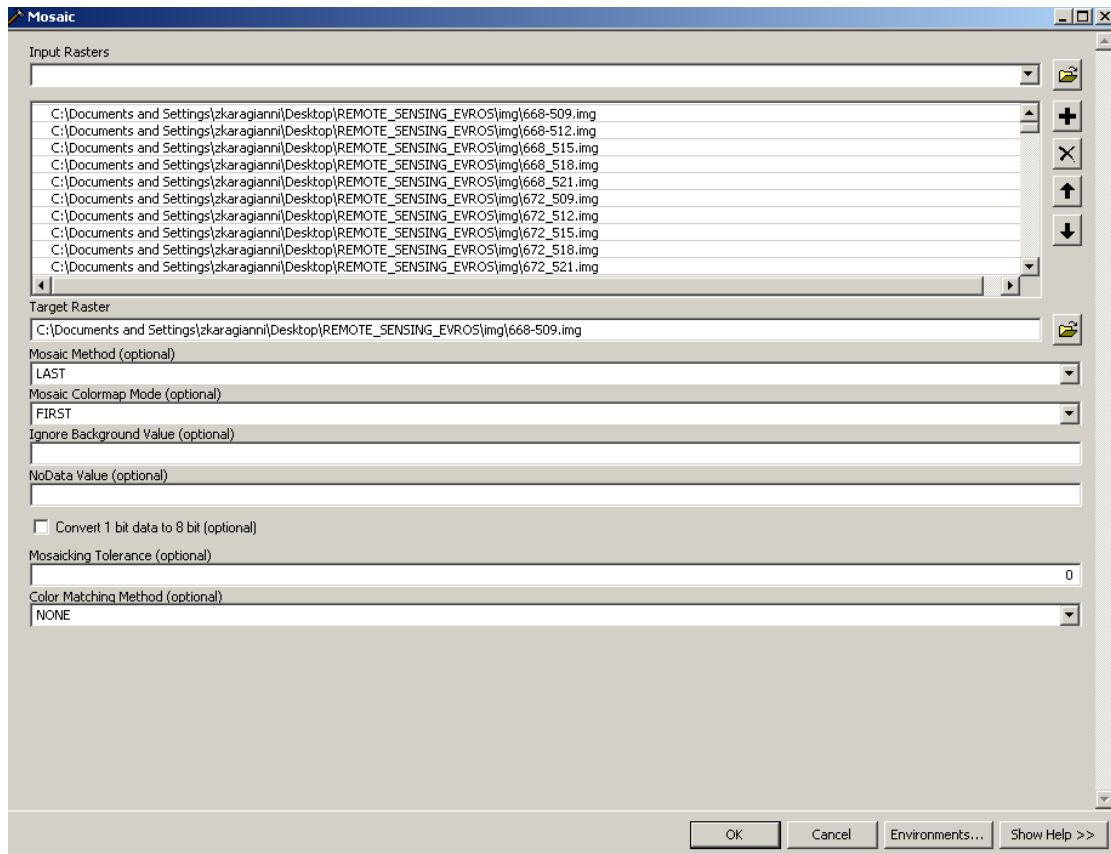
Τα βήματα που ακολουθούνται για να παραχθεί το «μωσαϊκό» από όλους τους ορθοφωτοχάρτες της ευρύτερης περιοχής της πλημμύρας του Νομού Έβρου είναι τα ακόλουθα:



- Ανοίγουμε το ArcMap.
- Από το ArcToolbox επιλέγουμε την εντολή:
Raster/Raster Dataset/ Mosaic.

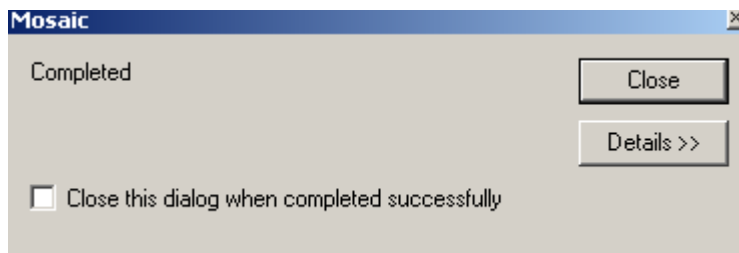
Εικόνα II.1: Βήματα για δημιουργία «μωσαϊκού»

Εμφανίζεται το παρακάτω παραθυρικό περιβάλλον (Εικόνα II.2) όπου στην επιλογή Input Rasters προσθέτουμε όλους τους ορθοφωτοχάρτες Ικonos για τους οποίους και θέλουμε να δημιουργήσουμε το «μωσαϊκό». Στην επιλογή Target Raster επιλέγουμε τον πρώτο ορθοφωτοχάρτη από τα Input Rasters.



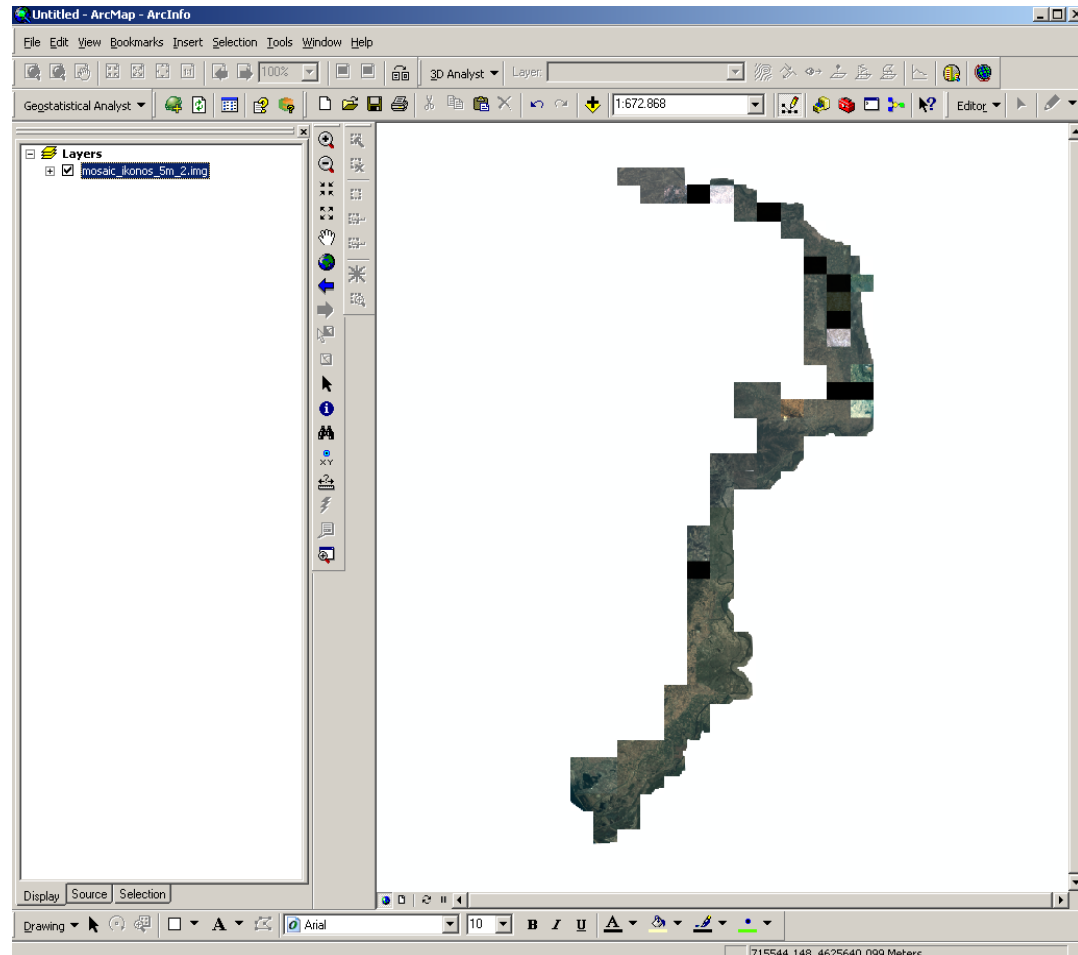
Εικόνα II.2: Παράμετροι για τη δημιουργία «μωσαϊκού»

Όταν τελειώσει η διαδικασία (Εικόνα II.3) εμφανίζεται το ακόλουθο μήνυμα το οποίο μας ενημερώνει ότι η δημιουργία του «μωσαϊκού» έχει ολοκληρωθεί.



Εικόνα II.3: Υλοποίηση «μωσαϊκού»

Φορτώνουμε την εικόνα που δημιουργήσαμε στο λογισμικό ArcMap και βλέπουμε το «μωσαϊκό» (Εικόνα II.4) της ευρύτερης περιοχής πλημμύρας του Νομού Έβρου που δημιουργήσαμε.

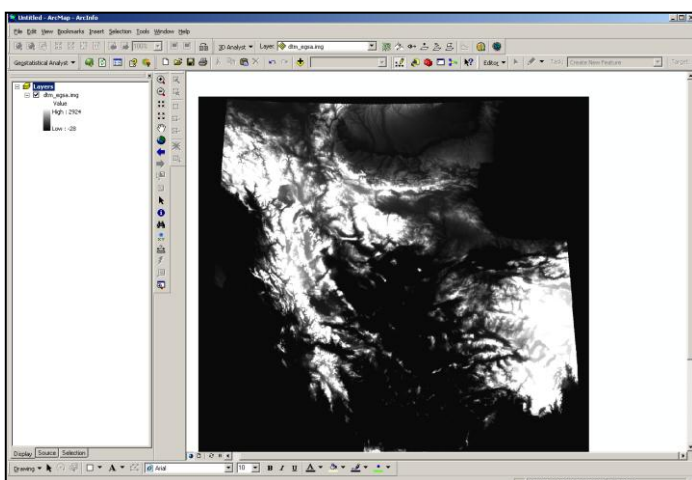


Εικόνα II.4: Απεικόνιση του «Μωσαϊκού» των Ορθοφωτοχαρτών Ικονος Νομού Έβρου με το λογισμικό ArcGIS Desktop, version 9.3

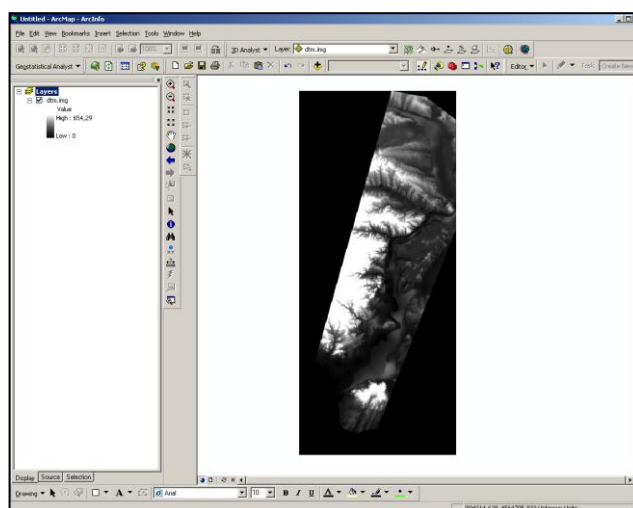
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ: Φωτογραμμετρική Επεξεργασία Δορυφορικών Εικόνων και Παραγωγή Ορθοφωτοχαρτών

Για τη φωτογραμμετρική επεξεργασία των εικόνων χρησιμοποιήθηκαν:

- Σημεία γνωστών οριζοντιογραφικών συντεταγμένων (φωτοσταθερά) από το «μωσαϊκό» των ορθοφωτοχαρτών Ikonos του LPIS που δημιουργήσαμε στο προηγούμενο βήμα στο σύστημα ΕΓΣΑ '87 .
- Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου του Υπουργείου Γεωργίας (Εικόνες ΙΙΙ.1 και ΙΙΙ.2)



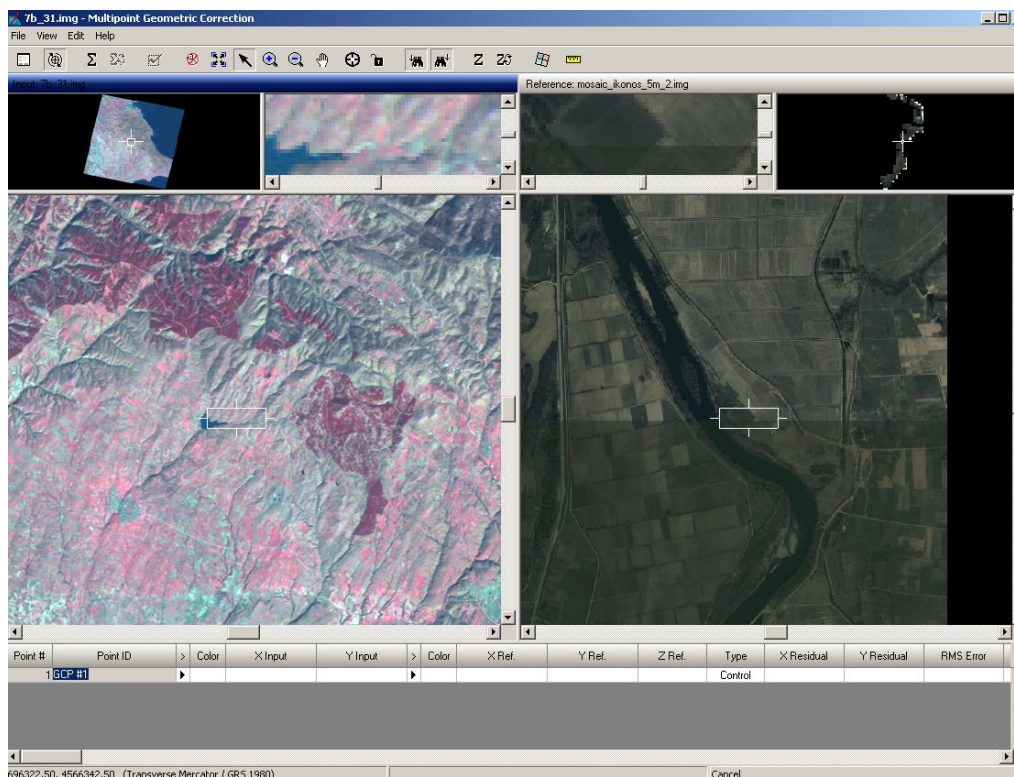
Εικόνα ΙΙΙ.1: Απεικόνιση DTM Ελλάδας με το λογισμικό ArcGIS Desktop



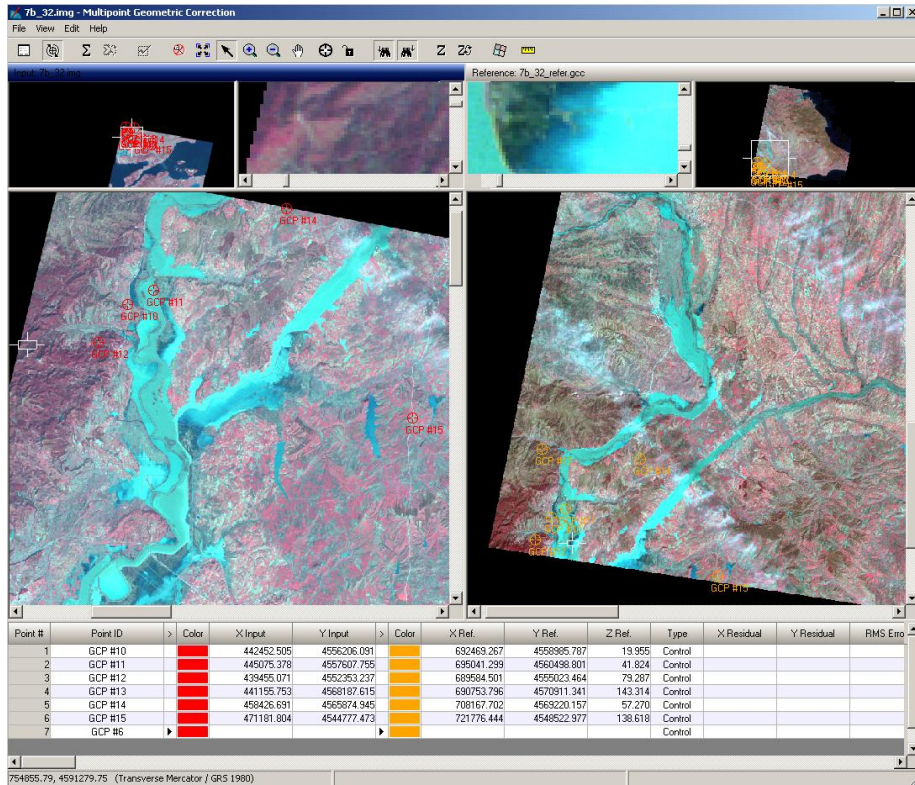
Εικόνα ΙΙΙ.2: Απεικόνιση DTM περιοχής μελέτης με το λογισμικό ArcGIS Desktop

Η διαδικασία που ακολουθείται στο λογισμικό ERDAS IMAGINE 2010 είναι η παρακάτω:

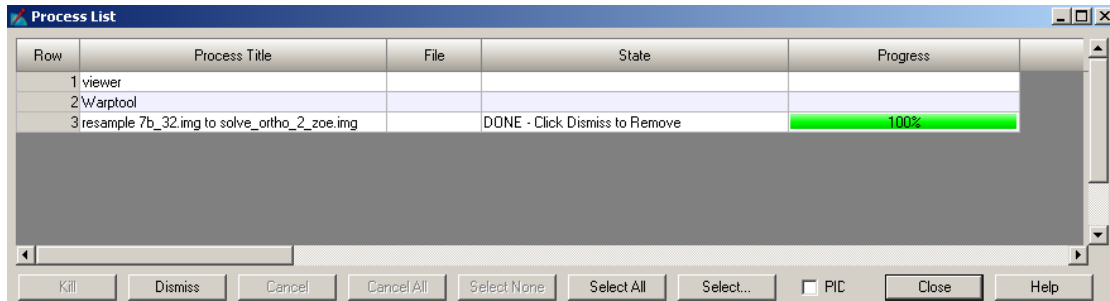
- Από το κεντρικό μενού επιλέγουμε Raster/Multispectral.
- Φορτώνουμε την εικόνα που θέλουμε να ορθοδιορθώσουμε.
- Από την επιλογή Multispectral επιλέγουμε Transform & Orthocorrect/ Control Points.
- Στο παράθυρο στην επιλογή Set Geometric Model επιλέγουμε Landsat.
- Φορτώνουμε την Reference εικόνα η οποία είναι ορθοδιορθωμένη.
- Στη συνέχεια φορτώνουμε το DTM.
- Στο περιβάλλον που ανοίγει έχουμε τώρα και τις δύο εικόνες. Αυτή που θέλουμε να ορθοδιορθώσουμε και την ήδη ορθοδιορθωμένη (Εικόνα III.3).
- Επόμενο βήμα είναι η εισαγωγή σημείων GSPs (Εικόνα III.4).
- Υπολογισμός σφάλματος.
- Τελευταίο βήμα είναι η ορθοαναγωγή της εικόνας από την επιλογή (Start Ortho Resampling Process) και η αποθήκευση της εικόνας.



Εικόνα III.3: Απεικόνιση της προς ορθοδιόρθωση εικόνας



Εικόνα III.4: Εισαγωγή σημείων GSPs



Εικόνα III.5: Υλοποίηση ορθοαναγωγής της εικόνας

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV: Ανάλυση κύριων συνιστωσών

Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό ERDAS IMAGINE 2010 και τα βήματα που ακολουθήθηκαν είναι τα εξής:

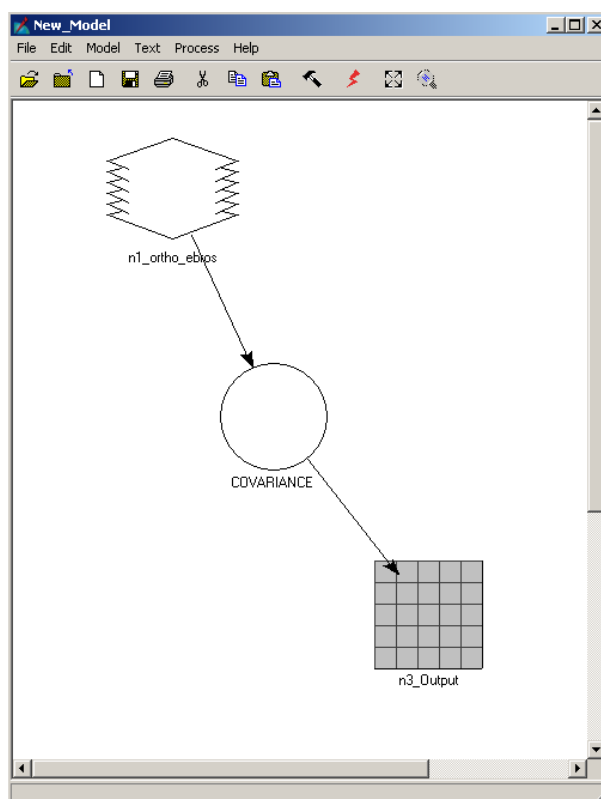
- Δημιουργία μοντέλου ώστε να προκύψει ο πίνακας συμμεταβλητότητας (covariance matrix) των δεδομένων.
- Δημιουργία μοντέλου ώστε να προκύψει ο πίνακας συσχέτισης (correlation matrix) των δεδομένων.
- Υπολογισμός των κύριων συνιστωσών.

Δημιουργία του πίνακα συμμεταβλητότητας (covariance matrix) των δεδομένων

Επιλέγουμε την εντολή Model Maker (Εικόνα IV.1) από το μενού του ERDAS IMAGINE και διαλέγουμε New Model.

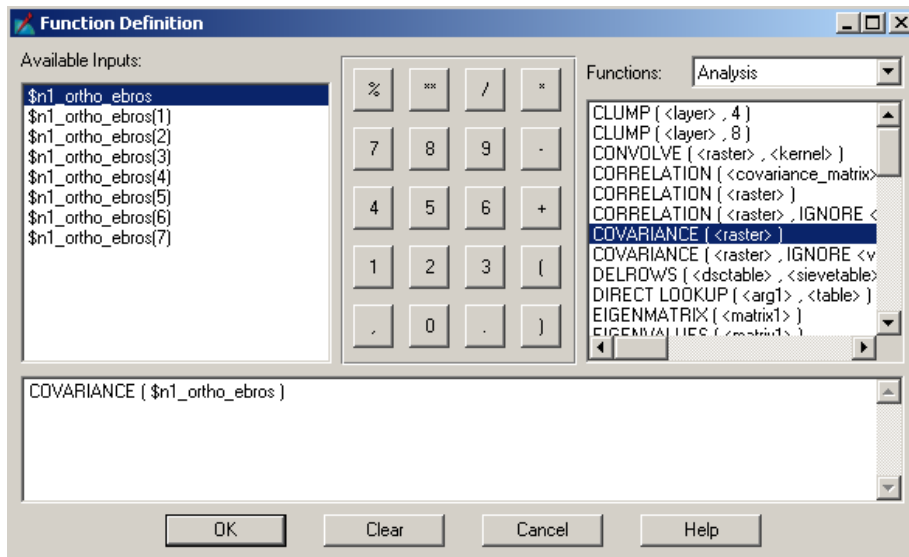
Το μοντέλο που θα δημιουργήσουμε για τον πίνακα συμμεταβλητότητας είναι το ακόλουθο:

- Ως δεδομένο εισόδου έχουμε την εικόνα Landsat.
- Ως εντολή πράξης επιλέγουμε covariane.
- Ως δεδομένο εξόδου παίρνουμε τον πίνακα συμμεταβλητότητας των δεδομένων.



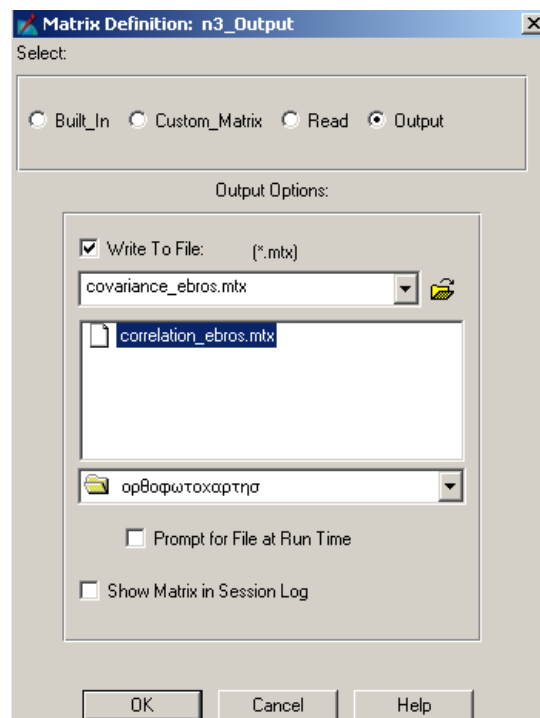
Εικόνα IV.1: Δημιουργία Μοντέλου για τον πίνακα συμμεταβλητότητας

Στο ακόλουθο παράθυρο (Εικόνα IV.2) επιλέγουμε ως input την εικόνα και ως function την εντολή covariance.



Εικόνα IV.2: Παράμετροι δημιουργίας πίνακα συμμεταβλητότητας

Στο επόμενο παράθυρο (Εικόνα IV.3) επιλέγουμε ονομασία για τον πίνακα συμμεταβλητότητας «covariance_ebros.mtx» και αφήνουμε τη διαδικασία να ολοκληρωθεί.



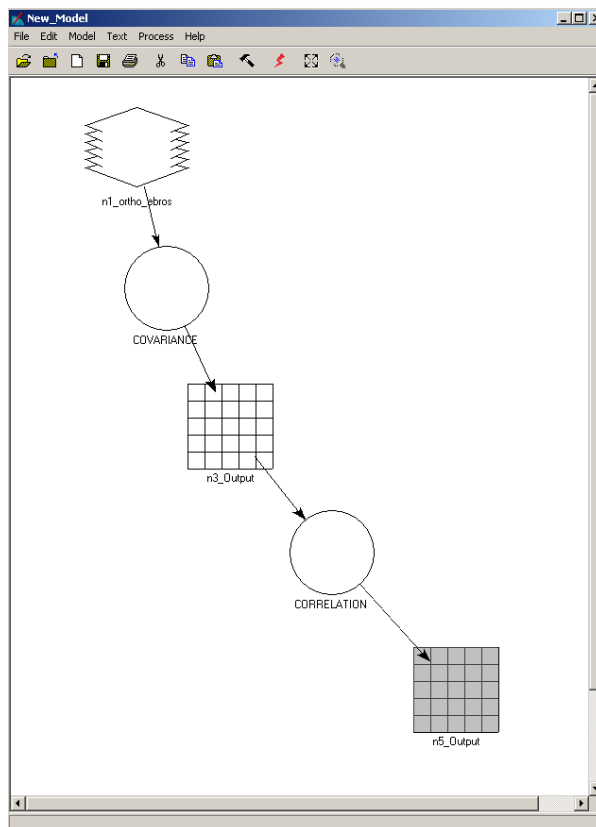
Εικόνα IV.3: Ονομασία και αποθήκευση πίνακα συμμεταβλητότητας

Δημιουργία του πίνακα συσχέτισης (correlation matrix) των δεδομένων

Επιλέγουμε την εντολή Model Maker (Εικόνα IV.4) από το μενού του ERDAS IMAGINE και διαλέγουμε New Model.

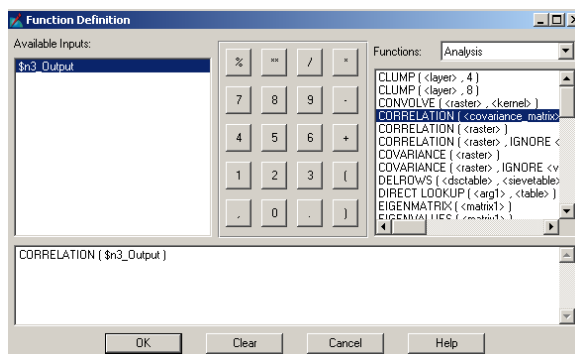
Το μοντέλο που θα δημιουργήσουμε για τον πίνακα συσχέτισης είναι το ακόλουθο:

- Ως δεδομένο εισόδου έχουμε την εικόνα Landsat.
- Ως εντολή πράξης επιλέγουμε covariance.
- Δημιουργείται ο πίνακας συμμεταβλητότητας των δεδομένων.
- Στον πίνακα συμμεταβλητότητας εφαρμόζουμε καινούργια πράξη, αυτή της συσχέτισης των δεδομένων.
- Ως δεδομένο εξόδου παίρνουμε τον πίνακα συσχέτισης των δεδομένων.



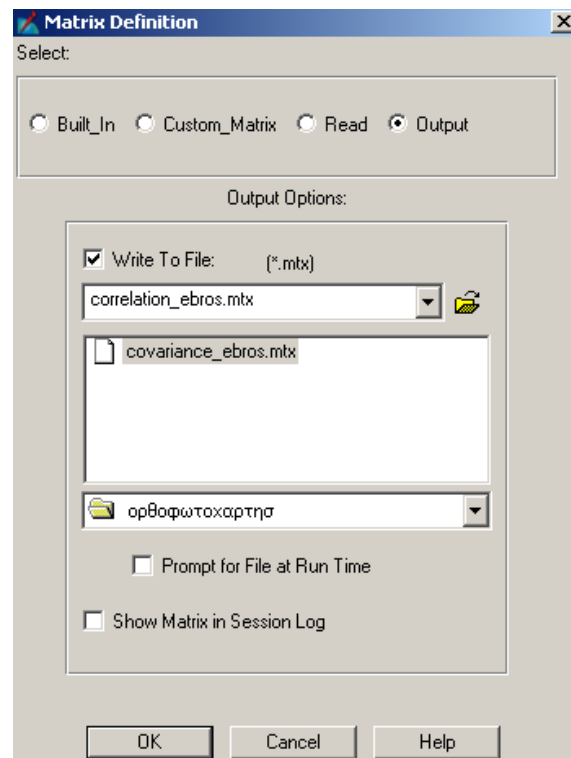
Εικόνα 6.IV.4: Δημιουργία Μοντέλου για τον πίνακα συσχέτισης

Στο ακόλουθο παράθυρο (Εικόνα IV.5) επιλέγουμε ως input το πίνακα συμμεταβλητότητας που έχει κρατήσει στη μνήμη το λογισμικό από την προηγούμενη εντολή και ως function την εντολή correlation.

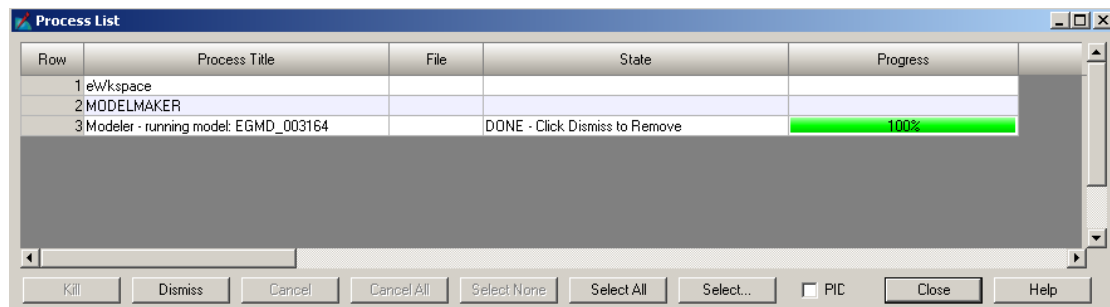


Εικόνα IV.5: Παράμετροι δημιουργίας πίνακα συσχέτισης

Στα επόμενα παράθυρα (Εικόνες IV.6 και IV.7) επιλέγουμε ονομασία για τον πίνακα συσχέτισης «correlation_ebros.mtx» και αφήνουμε τη διαδικασία να ολοκληρωθεί.



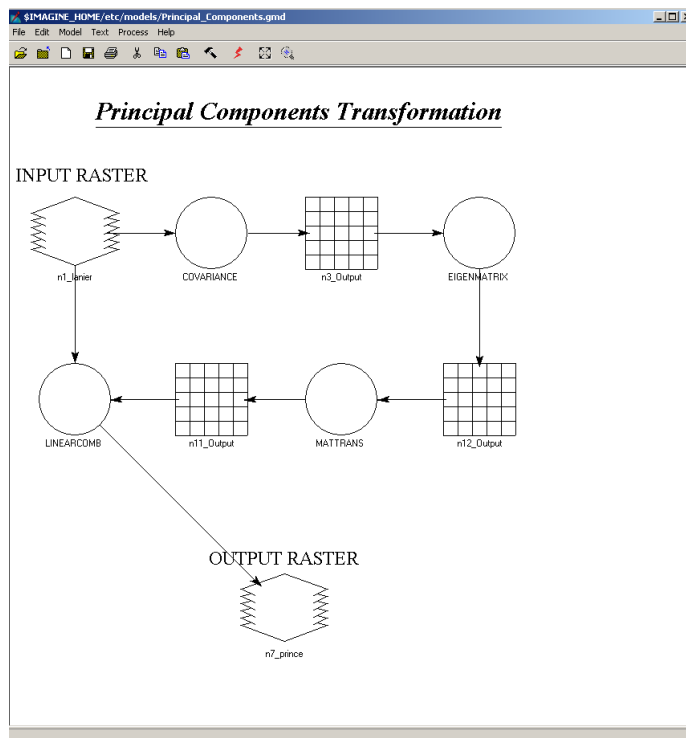
Εικόνα IV.6: Ονομασία και αποθήκευση πίνακα συσχέτισης



Εικόνα IV.7: Υλοποίηση δημιουργίας πίνακα συσχέτισης

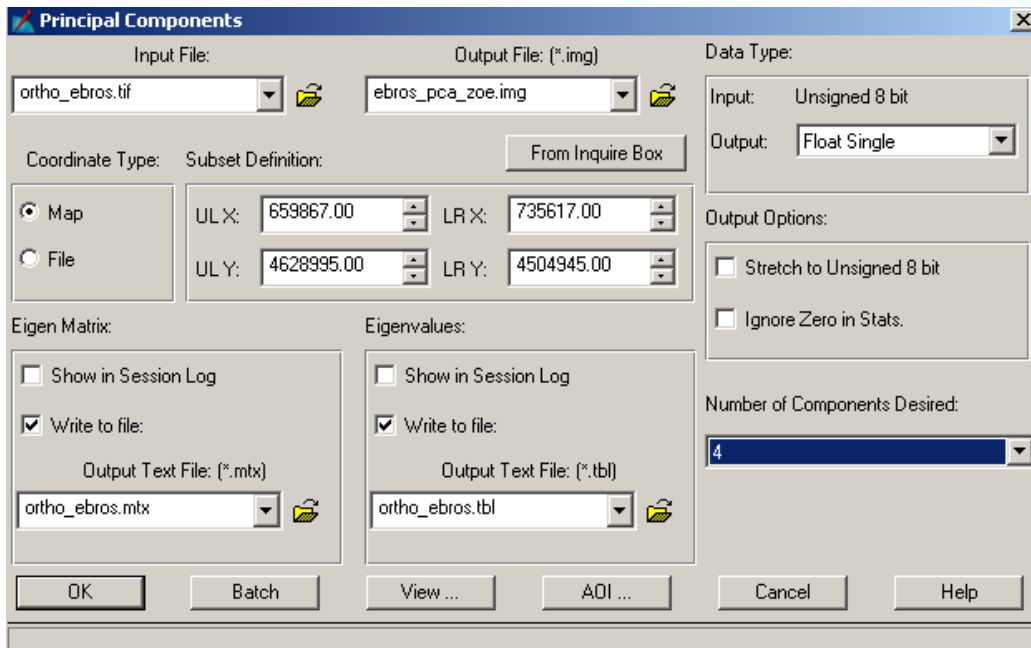
Υπολογισμός των κύριων συνιστωσών.

Η διαδικασία που ακολουθείται στην Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών παρουσιάζεται από το λογισμικό ERDAS IMAGINE 2010 (Εικόνα IV.8).

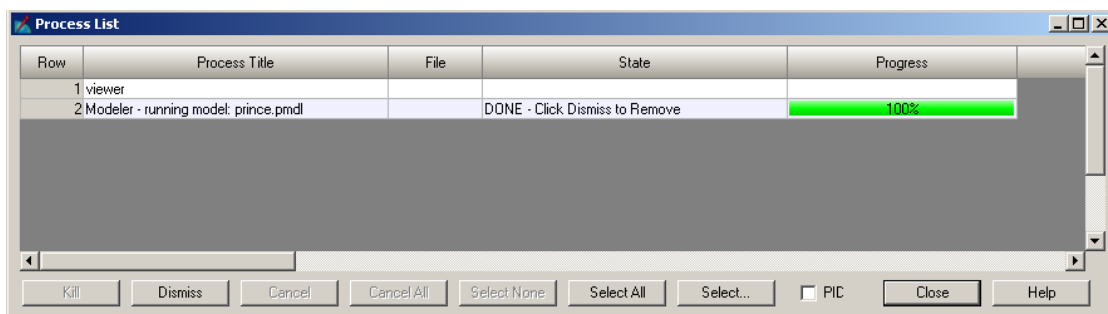


Εικόνα IV.8: Διαδικασία Ανάλυσης Κύριων Συνιστωσών

Από το κεντρικό μενού του ERDAS IMAGINE επιλέγουμε το Interpreter/ Spectral Enhancement/ Principal Components και ανοίγει το ακόλουθο παράθυρο (Εικόνα IV.9). Στο οποίο στο input file βάζουμε την ορθοδιορθωμένη εικόνα του Έβρου και στο output file ανατρέχουμε σε νέο φάκελο όπου θα αποθηκευτεί η νέα εικόνα έστω με την ονομασία «ebros_pca.img». Ταυτόχρονα, επιλέγουμε την αποθήκευση σε αρχείο των ιδιοδιανυσμάτων (eigen vectors) και των ιδιοτιμών (eigenvalues) του πίνακα μεταβλητότητας - συμμεταβλητότητας.



Εικόνα IV.9: Παράμετροι Ανάλυσης Κύριων Συνιστωσών



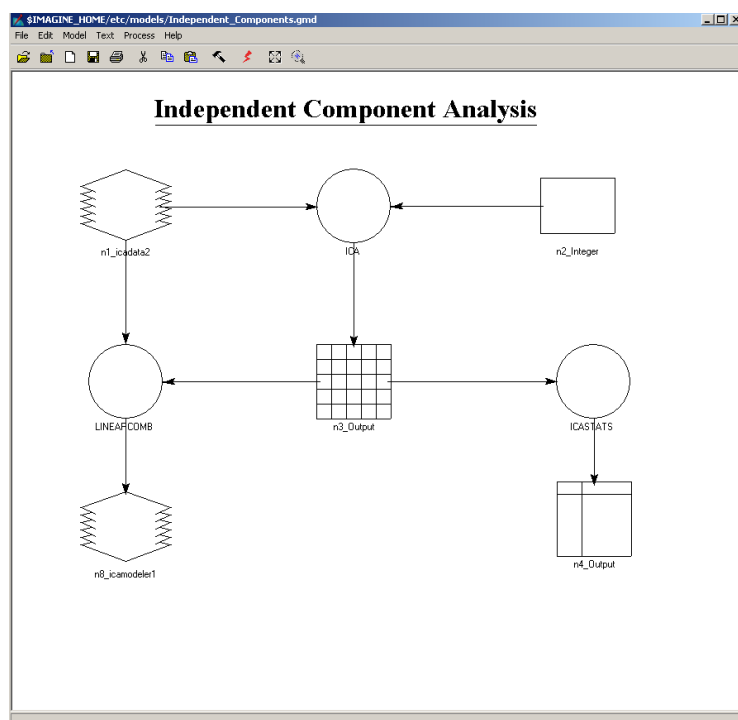
Εικόνα IV.10: Υλοποίηση PCA

Από την παραπάνω διαδικασία προκύπτουν τα αποτελέσματα των ιδιοδιανυσμάτων (eigen vectors) και των ιδιοτιμών (eigenvalues) του πίνακα μεταβλητότητας – συμμεταβλητότητας.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ V: Ανάλυση Ανεξάρτητων Συνιστωσών

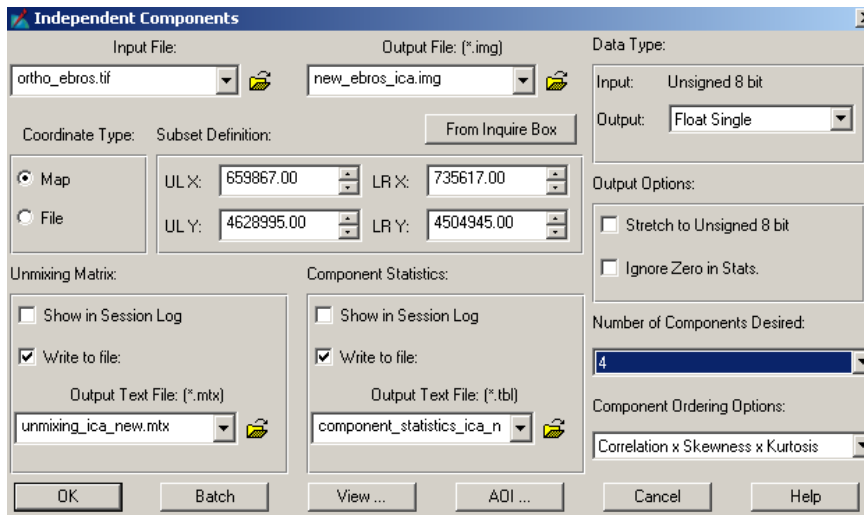
Υπολογισμός των ανεξάρτητων συνιστωσών.

Η διαδικασία που ακολουθείται στην Ανάλυση Ανεξάρτητων Συνιστωσών παρουσιάζεται από το λογισμικό ERDAS IMAGINE 2010 (Εικόνα V.1).

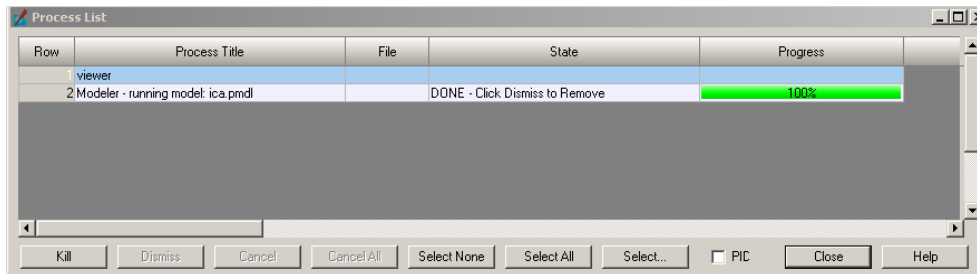


Εικόνα V.1: Διαδικασία Ανάλυσης Ανεξάρτητων Συνιστωσών

Από το κεντρικό μενού του ERDAS IMAGINE επιλέγουμε το Interpreter/ Spectral Enhancement/ Independent Components (Εικόνα V.2) και ανοίγει το ακόλουθο παράθυρο. Στο οποίο στο input file βάζουμε την ορθοδιορθωμένη εικόνα του Έβρου και στο output file ανατρέχουμε σε νέο φάκελο όπου θα αποθηκευτεί η νέα εικόνα έστω με την ονομασία «ebros_ica.img». Ταυτόχρονα επιλέγουμε την αποθήκευση σε αρχείο του πίνακα «Unmixing Matrix».



Εικόνα V.2: Παράμετροι Ανάλυσης Ανεξάρτητων Συνιστωσών



Εικόνα V.3: Υλοποίηση ICA

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αργιαλάς Δ.(1998).«Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση», Εγχειρίδιο μαθήματος, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα
2. Αργιαλάς Δ.(2000).«Φωτοερμηνεία – Τηλεπισκόπηση», Εγχειρίδιο μαθήματος, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα
3. Αργιαλάς Δ., Καραντζαλος Κ., Μαυραντζά Ο., Νούτσου Β., Τζώτσος Α., Κουτρομπάς Γ.,(2005).«Ανάλυση εικόνων, αναγνώριση προτύπων και όραση υπολογιστών στην τηλεπισκόπηση: Μέθοδοι και Εφαρμογές», Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα
4. Γαλανού Ε., Ρόκος Δ.(1999).«Η ανάλυση των κύριων συνιστωσών στην οριοθέτηση λιθολογικών ενοτήτων και στην αναγνώριση γεωλογικών δομών της νήσου Νάξου με τη χρήση πολυφασματικών TM εικόνων Landsat», Εκδόσεις ΤΕΕ, Αθήνα
5. Καπαγερίδης Ι.(2010).«Εισαγωγή στην Τηλεπισκόπηση και τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών», Σημειώσεις μαθήματος, ΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας, Κοζάνη
6. Κουτσόπουλος Κ.(2002).«Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και Ανάλυση Χώρου», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα
7. Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης (2006). «Η μάχη του Έβρου. Ένα μοντέλο διαχείρισης κρίσης.», Εκδόσεις Ελληνικά Γράμματα, Αθήνα
8. Ρόκος Δ.(2005).«Φωτοερμηνεία – Τηλεπισκόπηση», Εγχειρίδιο μαθήματος, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα
9. Ρόκος Δ.(2005).«Ειδικές Φωτοερμηνευτικές και Τηλεπισκοπικές Εφαρμογές», Εγχειρίδιο μαθήματος, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα
10. Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.(2007).«Παρουσίαση και αξιολόγηση υφιστάμενης κατάστασης αντιπλημμυρικής προστασίας σε περιοχές λεκάνης απορροής του ποταμού Έβρου» Συνοπτική έκθεση, Αθήνα
11. Φωτόπουλος Φ.(2007).«Παρακολούθηση των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών των ποταμών Ερυθροπόταμου, Άρδα και Έβρου», Αθήνα

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Adler-Golden S.M., Berk A., Bernstein L.S. and Richtsmeier S. (1998). «Flaash, a Modtran for atmospheric correction package for hyperspectral data retrievals and simulations», Summaries 7th JPL Airborne Earth Sci. Workshop
2. Alok Sharma, Kuldip K. Paliwan (2007).«Fast principal component analysis using fixed-point algorithm», Griffith University, Brisbane, Australia
3. Chemgfan LI, Jingyan YIN, Junjuan ZHAO, Feiyue YE (2011).«An Improved Independent Component Analysis Method for Ground Targets Information Identification», Shanghai University, China
4. Clevers, Jongschaap R.(2001).«Imaging spectrometry for agricultural applications. Imaging Spectrometry: Basic Principles and Prospective Applications», Kluwer Academic Publishers
5. Deer, P. J.(1995).«Digital Change Detection Techniques: Civilian and Military Applications». International Symposium on Spectral Sensing Research
6. Guang Zhao, Ann L. Maclean (2000).«A comparison of canonical discriminant analysis and principal component analysis for spectral transformation», American Society for Photogrammetry and Remote Sensing
7. Hodgson, M. E. (1988). «Reducing the computational requirements of minimum – distance classifier» Remote Sensing of Environment
8. Landgrebe David A.(2003). «Signal Theory Methods in Multispectral Remote Sensing, Wiley Interscience
9. Lewin J.(1978).«Floodplain Geomorphology. Progress in Physical Geography», Geographical Journal
10. Ready P.J. and Wiintz P.A.(1973). «Information extraction, SNR improvement and data compression in multi-spectral imagery», I.E.E.E. Transactions on Communications.
- 11.Richards J.A. (1986). «Remote Sensing Image Analysis», Berlin
- 12.Singh A. and Harrison A. (1985). «Standardised Principal Components», International Journal of Remote Sensing

13. Smith K. (2004). «Environmental Hazards: Assessing Risk and Reducing Disaster» 4th Edition, London and New York: Routledge
14. Strahler A. N., Strahler A.(2003).«Introducing Physical Geography», Third Edition by Alan Strahler, and Arthur Strahler.
15. United Nations, Department of Humanitarian Affairs(1992).«Internationally Agreed Glossary of Basic Terms Related to Disaster Management», Geneva
16. Van der Meer, De Jong(2001).«Imaging Spectrometry. Basic Principles and Prospective Applications», Kluwer Academic Publishers
17. Ward, R. C.(1978).«Floods: A Geographical Perspective», The Macmillan Press, London

NΟΜΟΘΕΣΙΑ

1. Ευρωπαϊκή Ένωση(2000). Οδηγία 2000/60 ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23^{ης} Οκτωβρίου 2000 «για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων», Επίσημη Εφημερίδα της ΕΕ
2. Ευρωπαϊκή Ένωση(2007). Οδηγία 2007/60 ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23^{ης} Οκτωβρίου 2007 «για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας», Επίσημη Εφημερίδα της ΕΕ
3. Ν. 3199/2003 «για την προστασία και διαχείριση των υδάτων» (ΦΕΚ Α' 280/9-11-2003)
4. Π.Δ 51/2007.«Καθορισμός μέτρων και διαδικασιών για την ολοκληρωμένη προστασία και διαχείριση των υδάτων σε συμμόρφωση της οδηγίας 2000/60 ΕΚ» (ΦΕΚ Α' 54/8-3-2007)

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ

1. www.nomevrou.gr (Ιστοσελίδα του Νομαρχιακού Διαμερίσματος Έβρου)
2. www.e-evros.gr (Ιστοσελίδα του Νομού Έβρου)
3. www.evrosrivers.gr (Ιστοσελίδα για την παρακολούθηση των ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών των ποταμών Ερυθροπόταμου, Άρδα και Έβρου)
4. www.ypeka.gr (Ιστοσελίδα του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής)
5. www.tee.gr (Ιστοσελίδα του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας)
6. www.emdat.be (Ιστοσελίδα της Διεθνούς Βάσης Δεδομένων των Καταστροφών - The International Disaster Database)
7. www.who.int/en (Ιστοσελίδα για τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας - World Health Organization)
8. www.cred.be (Ιστοσελίδα για το Κέντρο Ερευνών για την Επιδημιολογία των Καταστροφών - Centre for Research on the Epidemiology of Disasters)
9. www.ramsar.org (Ιστοσελίδα για τη συνθήκη Ramsar)
10. www.natura2000.org (Ιστοσελίδα για τις προστατευόμενες περιοχές Natura)