

**ΣΥΓΧΩΝΕΥΣΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΚΑΙ RADAR ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ  
ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ**

**ΠΑΡΧΑΡΙΔΗΣ ΙΣ.<sup>1</sup>, ΨΟΜΙΑΔΗΣ ΕΜ.<sup>2</sup>**

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Τα τελευταία χρόνια, η αλματώδης ανάπτυξη της τεχνολογίας των διαστημικών δεδομένων παρατήρησης της γης, έδωσε την δυνατότητα συνδυασμού δορυφορικών δεδομένων, τα οποία εμπεριέχουν διαφορετικά πλεονεκτήματα, όσον αφορά την χωρική και φασματική τους ανάλυση. Τα δορυφορικά δεδομένα (δορυφόροι Landsat και ERS-1) παρέχουν συμπληρωματική πληροφόρηση σχετικά με την τοπογραφία, την τραχύτητα του εδάφους, τη βλάστηση, την χρήση / κάλυψη γης κ.α.

Η εφαρμογή αυτή εστιάζεται στην οριοθέτηση και χαρτογράφηση του υδρογραφικού δικτύου δύο διαφορετικών περιοχών. Της υδρολογικής λεκάνης της Κοζάνης και του κάτω ρου της λεκάνης του Αχελώου ποταμού. Οι δύο αυτές περιοχές διαφέρουν ως προς την μορφολογία τους, με την πρώτη να χαρακτηρίζεται ως σχεδόν πεδινή-λοφώδης, ενώ η δεύτερη σαν πεδινή περιοχή. Τα προϊόντα της τεχνικής συγχώνευσης, με την ταυτόχρονη χρήση φίλτρων για την βελτίωση της καταγραφής του υδρογραφικού δικτύου, εκτιμήθηκαν για τις δύο περιοχές και έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων τους.

**ABSTRACT**

In recent years, as remote sensing imagery technology has developed, image combination from different sensors with different spatial and spectral resolutions, has become a significant technique in the field of digital remote sensing. In the present study, the usefulness of integration Landsat TM, ETM and SAR (ERS-1) data for the mapping of drainage network, in two different areas, has been demonstrated. The two data sets after co-registration and resampling were merging forming a combined image. The combination image offers the spectral characteristics of the TM and ETM data with the spatial resolution and roughness sensitivity of SAR images. This technique, also termed data fusion' is used to combine images such as ERS-1 (SAR) and Landsat7 ETM, Landsat5 TM, giving new images that merges the shadows and highlights plus spatial resolution of radar with the spectral information from ETM. In other words, fusion techniques are used to enhance the spatial resolution of the multispectral images by combining these with high-resolution panchromatic or SAR images.

This technique was applied in two regions having different geomorphological characteristics. The first region lies in Kozani basin, at the northern-central Greece and is characterized as a hilly area. The second area lies at Acheloos river basin at the southwestern extremity of mainland Greece, which is characterized as undulated plains. Furthermore, for the better detection of the drainage network, several different filters (like edge enhancement such as Robinson 3-level algorithm and texture filter such as variance algorithm) were used in order to enhance the appearance of the drainage network. Hence, texture enhancement and edge detection filters have been applied for both areas and the final images were evaluated.

The application presented here was focused on the analysis of the information extracted from the combination of satellite data regards the drainage mapping of these two regions and the evaluation of the results. The software Radarsoft of PCI (Mineralogy-Geology Laboratory) has been used for the process of SAR images. The process of Landsat data and the merging technique were achieved using the ERDAS Imagine software [(v8.4) (Space Application Research Unit)].

---

1:Δρ. Διαστημικών Εφαρμογών, Εργαστήριο Γεωφυσικής-Γεωθερμίας (Space Application Research Unit), Τμήμα Γεωλογίας, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών Πανεπιστημιούπολη-Ιλίσια, 157 84, Αθήνα, e-mail: [parchar@geol.uoa.gr](mailto:parchar@geol.uoa.gr)

2:ΜSc. Γεωπόνος, Υποψήφιος Διδάκτορας Εφαρμογών Τηλεπισκόπησης, Εργ. Ορυκτολογίας-Γεωλογίας, Γεωπονικό Παν. Αθηνών, Ιερά Οδός 75, 118 55, Αθήνα, e-mail: [mpsomiadis@aua.gr](mailto:mpsomiadis@aua.gr)

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:** Landsat, ERS-1, προϊόντα συγχώνευσης, χαρτογράφηση, υδρογραφικό δίκτυο, Λεκάνη Κοζάνης, Λεκάνη Αχελώου.

**KEY WORDS:** Landsat, ERS-1, fusion data, mapping, drainage network, Kozani basin, Acheloos basin.

## **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Η τεχνική της συγχώνευσης είναι μία μορφή επεξεργασίας των δορυφορικών δεδομένων, η οποία προσπαθεί να συνδυάσει τα αντιφατικά δεδομένα, της φασματικής και χωρικής διακριτικής ικανότητας. Ο συνδυασμός εικόνων με υψηλή χωρική διακριτική ικανότητα, με εικόνες που έχουν υψηλή φασματική διακριτική ικανότητα, γίνεται με σκοπό να ληφθεί περισσότερη πληροφόρηση από αυτή που μπορεί να ληφθεί από κάθε δέκτη μεμονομένα. Κατ' αυτόν τον τρόπο, καθίσταται περισσότερο αποτελεσματική η προσπάθεια χαρτογράφησης διαφόρων επίγειων χαρακτηριστικών (Saraf 1999).

Η χαρτογράφηση των διαφόρων γεωμορφολογικών και γεωλογικών χαρακτηριστικών και υδρολογικών διεργασιών, χρησιμοποιεί τα δορυφορικά δεδομένα, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου υπάρχει δυσκολία πρόσβασης ή δυσκολία εκτίμησης διαφόρων παραμέτρων τους (Chavez & Bowell 1988). Προηγούμενες μελέτες, έχουν διερευνήσει την χρησιμότητα των δεδομένων συγχώνευσης οπτικών συστημάτων με radar, στην δημιουργία γεωμορφολογικών μοντέλων αναγλύφου (Buchroithner et al., 1992), στην εκτίμηση της έκθεσης ευαίσθητων περιοχών σε φυσικούς κινδύνους, καθώς και στην χαρτογράφηση διαβρώσεων, αλλαγών των χρήσεων γης (Hill, 1994) κ.α. Όσον αφορά την ύπαρξη μελετών, οι οποίες χρησιμοποιούν δορυφορικά δεδομένα για την χαρτογράφηση του υδρογραφικού δικτύου, έχουν πραγματοποιηθεί κυρίως σε περιοχές εκτός του Ελληνικού χώρου (Desnos et al. 1996), ενώ λιγότερες, αλλά αξιόλογες εργασίες έχουν γίνει και εντός των Ελληνικών συνόρων και αφορούν την ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου (Astaras 1985, Astaras et al., 1990).

Για την μελέτη αυτή, επιλέχθηκαν δύο διαφορετικές περιοχές. Η λεκάνη της Κοζάνης, η οποία βρίσκεται στην δυτική Μακεδονία και η περιοχή του κάτρω του ποταμού Αχελώου, η οποία εντοπίζεται στο δυτικό άκρο της Στερεάς Ελλάδας. Η πρώτη από γεωμορφολογική άποψη χαρακτηρίζεται σαν μία σχεδόν πεδινή περιοχή, ενώ η δεύτερη σαν πεδινή. Οι δύο αυτές περιοχές, επιλέχθηκαν με σκοπό να εξεταστεί η χρησιμότητα και δυνατότητα των προϊόντων συγχώνευσης των δορυφορικών δεδομένων στην καταγραφή και χαρτογράφηση του υδρογραφικού τους δικτύου.

Τα δορυφορικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την συγχώνευση προέρχονταν από τους δορυφόρους Landsat 5 και 7, που παρέχουν δεδομένα με υψηλή φασματική πληροφόρηση και από δεδομένα του δορυφόρου ERS-1 (SAR), ο οποίος συνεισέφερε την χωρική πληροφόρηση καθώς και την ευαισθησία που παρουσιάζει στην τραχύτητα της γήινης επιφάνειας και στην παρουσία υγρασίας. Η τεχνική ενοποίησης που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο μετασχηματισμός IHS, ενώ εφαρμόστηκαν και κατάλληλα χωρικά φίλτρα, με στόχο να ενισχύσουν την εμφάνιση του υδρογραφικού δικτύου.

Τα τελικά προϊόντα συγχώνευσης εκτιμήθηκαν σχετικά με την ανάδειξη και χαρτογράφηση του υδρογραφικού δικτύου και πραγματοποιήθηκε σύγκριση των αποτελεσμάτων για τις δύο περιοχές μεταξύ τους.

## **ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕΛΕΤΗΣ**

Η λεκάνη της Κοζάνης : Η λεκάνη της Κοζάνης βρίσκεται στη Δυτική Μακεδονία και ορίζεται νότια από τον ποταμό Αλιάκμονα και την τεχνητή λίμνη Πολυφύτου, βόρεια από την πόλη της Κοζάνης και το όρος Σκοπός και δυτικά και νοτιοανατολικά από τα όρη Βούρνος και Καμβούνια αντίστοιχα. Ο άξονάς της έχει μία γενική διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ, σε παράλληλη σχέση με τις Ελληνίδες (Εικ.1). Ο κύριος άξονας αποστράγγισης της περιοχής είναι ο ποταμός Αλιάκμονας, ο οποίος διαιρεί την λεκάνη σε δύο ασύμμετρα τμήματα, από τα οποία το νοτιοανατολικό είναι στενότερο και πιο απότομο, ενώ το βορειοδυτικό είναι ευρύτερο και με ομαλότερη μορφολογική κλίση. Στο χαμηλότερο τμήμα της λεκάνης και μετά την κατασκευή του φράγματος Πολυφύτου, δημιουργήθηκε η ομώνυμη τεχνητή λίμνη. Το βόρειο τμήμα της λεκάνης έχει τοξοειδές σχήμα, ενώ στο εσωτερικό της αναπτύσσονται κλιμακωτές δομές με τη μορφή αναβαθμίδων. Το υδρογραφικό δίκτυο που αποστραγγίζει τη λεκάνη και αποτελεί τμήμα του ευρύτερου υδρογραφικού δικτύου του Αλιάκμονα, έχει σχήμα ορθογώνιο (Παρχαρίδης κ.αλ., 1996).

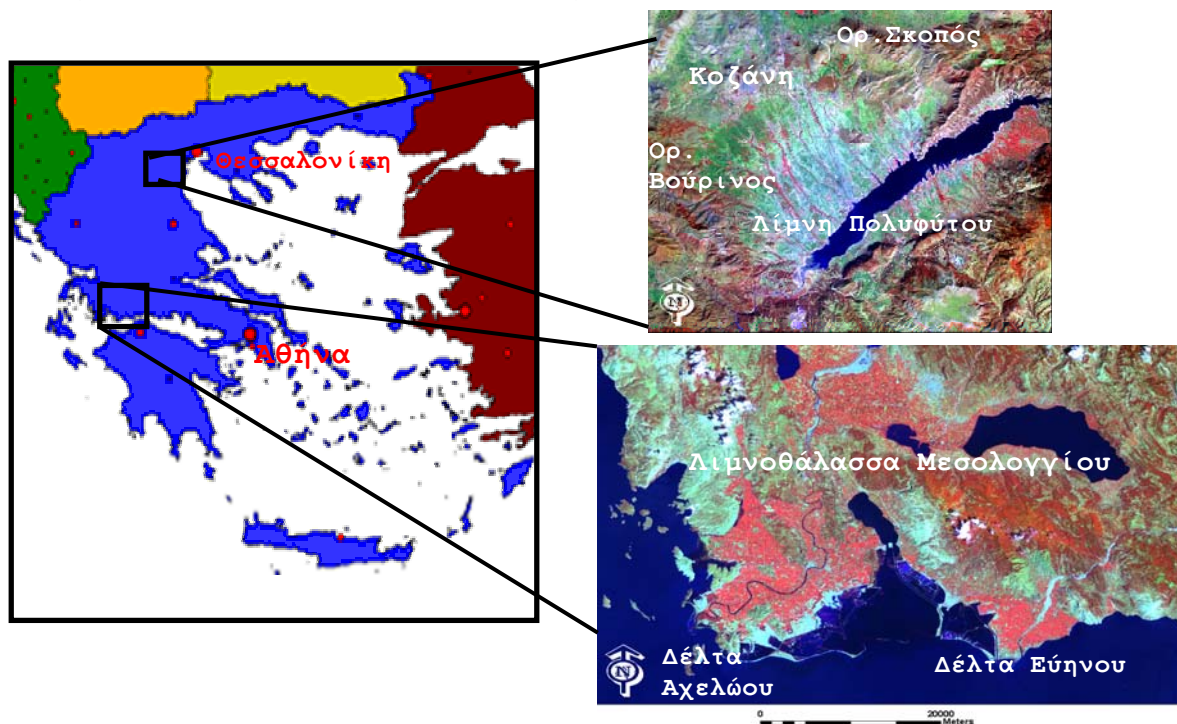
Από γεωλογική άποψη η λεκάνη της Κοζάνης εντοπίζεται στο Δυτικό περιθώριο της Πελαγονικής ζώνης (Παπανικολάου 1986). Η περιοχή δομείται από κλαστικούς

πλειο-πλειστοκαινικούς σχηματισμούς επάνω στους οποίους, κατά θέσεις αναπτύσσονται πρόσφατες αποθέσεις ποικίλης λίθολογικής και κοκκομετρικής σύστασης με μέτριο βαθμό διαγένεσης. Οι σχηματισμοί αυτοί αντιπροσωπεύουν χερσαίες, ποτάμιες και λιμναίες αποθέσεις. Ειδικότερα διακρίνονται: (α) Σύγχρονες αποθέσεις (κροκαλοπαγή, κορήματα κλιτύων, εδαφικοί σχηματισμοί), (β) Πλειο-πλειστοκαινικά ιζήματα: καταλαμβάνουν ικανή έκταση της λεκάνης (κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, ψαμμούχες μάργες, άργιλοι). (γ) Νεογενείς σχηματισμοί: απαντώνται στα κράσπεδα των αλπικών σχηματισμών, από τη διάβρωση των οποίων προέρχονται, (δ) Το προ-αλπικό και αλπικό υπόβαθρο συγκροτείται από Τριαδικούς-Ιουρασικούς, Οφιολιθικούς, Κρητιδικούς σχηματισμούς, καθώς και φλύσχη μαιστρίχτιας ηλικίας.

Οι τάσεις του νεοτεκτονικού ρηγματογόνου ιστού ακολουθούν διευθύνσεις που κυμαίνονται σε ένα διάστημα 70° εκατέρωθεν της διεύθυνσης Β-Ν. Με την ΒΑ/κή διεύθυνση ταυτίζεται ο μεγάλος άξονας των λιμνών, καθώς και οι κλάδοι μεγάλης και μικρής τάξης. Η ΒΑ/κή διεύθυνση ταυτίζεται με το μικρό μήκος των λιμνών. Στην περιοχή επίσης, παρουσιάζεται έντονη διάρρηξη ΒΑ/κής διεύθυνσης, παράλληλης με το ρου του ποταμού Αλιάκμονα, η οποία διατρέχει τους Πελαγονικούς και Μεταλπικούς σχηματισμούς (Παρχαρίδης, 1994).

Η περιοχή του κάτω ρου της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Αχελώου: Εντοπίζεται γεωγραφικά στο δυτικότερο άκρο της Στερεάς Ελλάδας και συγκεκριμένα στο νοτιοδυτικό τμήμα του νομού Αιτωλοακαρνανίας (Εικ. 1). Η περιοχή μελέτης αποτελεί το πεδινό τμήμα μίας ευρύτερη περιοχής, του οποίου το ανάγλυφο είναι ομαλό. Οι εκτάσεις είτε είναι γυμνές, είτε καλλιεργούνται από χαμηλού ύψους καλλιέργειες. Ορισμένα τμήματα αποτελούν βάλτους, ενδιάμεσο στάδιο μεταξύ του χέρσου και των λιμνοθαλασσών. Το επίπεδο διακόπτεται από αναχώματα μικρού ύψους, χρήσιμα για την προστασία των καλλιεργειών και την μετακίνηση.

Ολόκληρη αυτή η πεδινή περιοχή, έχει προέλθει από την πρόσχωση με φερτές ποταμό-χειμάρειες ύλες των τεκτονικών βυθισμάτων που δημιουργήθηκαν κατά τη Μειοκαινική και Πλειοκαινική περίοδο. Σ' αυτή την περιοχή το υδρογραφικό δίκτυο είναι αραιό και κυρίως τεχνητό, αφού τα περισσότερα ρέματα, όπως και εκείνα που κατέρχονται από το όρος Αράκυνθος, έχουν δεσμευθεί και εκτραπεί στο σύστημα των



Εικόνα 1. Οι δύο περιοχές μελέτης όπως εμφανίζονται στις ψευδέγχρωμες εικόνες 471 (κόκκινο, πράσινο, μπλε) του δορυφόρου Landsat

Image 1. The location of the two study areas as appear in the false color composite images 471 (RGB) of Landsat

αρδευτικών καναλιών της περιοχής. Στα ανατολικά όρια της ευρύτερης περιοχής, υπάρχουν και άλλα μικρότερα ή μικρά ρέματα τα οποία αποστραγγίζουν τον προς ΒΑ κύριο ορεινό όγκο του Αράκυνθου που έχει υψηλό δείκτη βροχοπτώσεων και στεγανά

πετρώματα. Τα ρέματα αυτά προσέφεραν σημαντικές ποσότητες φερτών υλικών στον παραλιακό προσχωματικό χώρο. Η γενική κατεύθυνση ροής όλων αυτών των ποταμών ρεμάτων είναι ΒΑ-ΝΔ με λίγες μοίρες απόκλιση όσον αφορά στην προς νοτιοδυτική πορεία τους.

Από γεωλογική άποψη, η περιοχή δομείται κυρίως από πετρώματα της Ιονίου γεωτεκτονικής ζώνης κατά κύριο λόγο και σε μικρότερη κλίμακα από πετρώματα των ζωνών Ωλονού-Πίνδου και Γαβρόβου Τριπόλεως (Doutsos et al., 1987). Οι σχηματισμοί από τους οποίους δομείται η περιοχή είναι Προ-Αλπικοί Τριαδικοί λατυποπαγείς σχηματισμοί στα δυτικά, Αλπικά Παλαιοκαινικοί-Ηώκαινικοί ασβεστόλιθοι και Ολιγοκαινικός φλύσχης στα ανατολικά. Στην πεδινή περιοχή εντοπίζονται κυρίως Τεταρτογενείς σχηματισμοί (Kouris et al. 1996).

#### **ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΡΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ - ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ**

Για τις δύο περιοχές μελέτης χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα δεδομένα:

Για την περιοχή της Κοζάνης: (α)Εικόνα SAR.PRI του δορυφόρου ERS-1, ημερομηνία λήψης:5/5/1992, orbit/frame:4203/2799, 16 bits, (β)Εικόνα του δορυφόρου Landsat5 TM, ημερομηνία λήψης 18/10/1989, path/row:184/033.

2.Για την περιοχή του Αχελώου: (α)Εικόνα ERS-1.PRI με ημερομηνία λήψης 31/7/1997, orbit/frame:31601, 2835, pixels 7879x8204, 16 bits, (β)Εικόνα του δορυφόρου Landsat7 ETM, ημερομηνία λήψης 28/7/1999, path/row:184/033.

-Χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά Radarsoft της PCI και το Imagine της ERDAS.

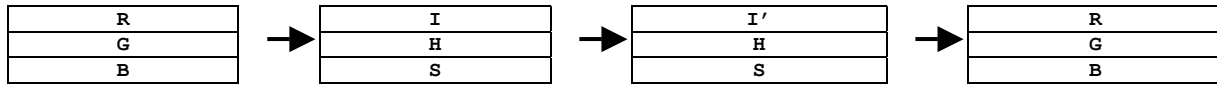
Το πρώτο βήμα για την εφαρμογή των τεχνικών βελτίωσης των εικόνων radar ήταν η απομάκρυνση του θορύβου (speckle noise), η οποία πραγματοποιήθηκε με την χρήση του φίλτρου Lee, το οποίο δημιουργεί μία νέα εικόνα εξομάλυνσης χωρίς να απαλείφονται τα όρια και το περίγραμμα των επιφανειακών χαρακτηριστικών (Lee, 1981).Επειτα ακολούθησε, η συμπίεση των δεδομένων με μετατροπή των εικόνων από 16 σε 8 bit με την μέθοδο της γραμμικής συνάρτησης (Kattenborn, 1993). Η ενίσχυση στις εικόνες έγινε με επέμβαση στα ιστογράμματά τους μέσω της δημιουργίας ενός νέου πίνακα αντιστοιχιών, ακολουθώντας την μέθοδο Drieman Strech που είναι μία μη γραμμική ενίσχυση της αντίθεσης, ειδικά για εικόνες radar. Η μέθοδος αυτή αυξάνει τη δυνατότητα ερμηνείας της εικόνας γιατί δημιουργεί περισσότερες διαβαθμίσεις του γκρι σε επίπεδες περιοχές όπου συνήθως υπάρχει περιορισμένη αντίθεση των διαβαθμίσεων της κλίμακας γκρι.

Η βελτίωση της αντίθεσης, των εικόνων του δορυφορικού συστήματος Landsat, πραγματοποιήθηκε με την μέθοδο της γραμμικής επέκτασης του ιστογράμματος. Επιλέχθηκαν και από τις δύο σκηνές του Landsat τα φασματικά κανάλια 1,4 και 7, τα οποία και διορθώθηκαν γεωμετρικά, χρησιμοποιώντας κατάλληλα εδαφικά σημεία ελέγχου, ομοιόμορφα κατανεμημένα σε ολόκληρη τη σκηνή. Η διόρθωση έγινε στο σύστημα τετραγωνισμού ΕΓΣΑ87 και η αναδόμηση των pixels έγινε στα 30 μέτρα χρησιμοποιώντας την μέθοδο της εγγύτερη ισοδυναμίας. Ακολούθως δημιουργήθηκε η σύνθετη ψευδέγχρωμη εικόνα των καναλιών αυτών με τον συνδυασμό 4,7,1 με τη χρωματική σειρά R,G,B (κόκκινο,πράσινο,μπλε). Ο συνδυασμός αυτός επιλέχθηκε διότι είναι ο πιο κατάλληλος για την καλύτερη ανάδειξη των φασματικών ταυτοτήτων των γεωλογικών σχηματισμών και διαχωρισμό των υδάτινων μαζών από την ηπειρωτική ζώνη (Sabins, 1997). Στις ψευδέγχρωμες αυτές εικόνες η βλάστηση εμφανίζεται με διαβαθμίσεις του κόκκινου χρώματος, τα γυμνά πετρώματα και εδάφη με διαβαθμίσεις του πράσινου, οι υδάτινες μάζες με σκούρο μπλε χρώμα και οι αστικές περιοχές με ανοιχτότερη μπλε απόχρωση.

Εν συνεχεία, ακολούθησε η γεωμετρική διόρθωση των αντίστοιχων για κάθε περιοχή, εικόνων radar. Η διόρθωση πραγματοποιήθηκε με βάση σημεία που επιλέχθηκαν από τις ήδη διορθωμένες εικόνες του Landsat και έγινε αναδόμηση των pixel στα 15 μέτρα. Στην εικόνα radar, με μαύρο χρώμα απεικονίζονται κυρίως οι υδάτινες μάζες οι οποίες παρουσιάζουν πολύ μικρή οπισθοσκέδαση ( $\sigma^0=0$ ), ενώ οι αστικές περιοχές και διάφορες κατασκευές που ανακλούν σε μεγάλο βαθμό εμφανίζονται με λευκό. Επίσης, στις εικόνες αυτές αναδεικνύονται και κάποια γραμμικά όρια της επιφάνειας, κυρίως μεταξύ διαφορετικών εδαφικών κλίσεων οι οποίες μπορούν να συνεισφέρουν, εξαρτώμενες βέβαια πάντοτε και από την γεωμορφολογία της περιοχής, στην ανάδειξη του υδρογραφικού δικτύου.

Επειτα, πραγματοποιήθηκε η συγχώνευση των πολυφασματικών εικόνων των δορυφόρων Landsat5 & 7 με τις εικόνες του δορυφόρου ERS-1. Η μεθοδολογία που ακολουθεί η τεχνική της συγχώνευσης εμφανίζεται με τα εξής βήματα: (α) Η αρχική ψευδέγχρωμη πολυφασματική εικόνα του Landsat, μετασχηματίζεται από το σύστημα

χρωματισμού RGB στο σύστημα IHS (Intensity, Hue, Saturation=Ένταση, Απόχρωση ή χροιά, Κορεσμός χρώματος), όπου στο Intensity περικλείεται η χωρική πληροφορία και στα Hue-Saturation η φασματική πληροφορία, (β) Εν συνεχεία, αντικαθίσταται το Intensity από την εικόνα Radar, η οποία περιέχει καλύτερη χωρική πληροφορία από τα δεδομένα του Landsat, (γ) Τέλος, μετασχηματίζεται εκ νέου το νέο IHS σε RGB συνιστώσες (πίνακας 1, εικόνες 2 & 3)



Πίνακας 1. Η διαδικασία που χρησιμοποιείται από την τεχνική συγχώνευσης IHS.  
 Table 1. The procedure used by IHS merging technique

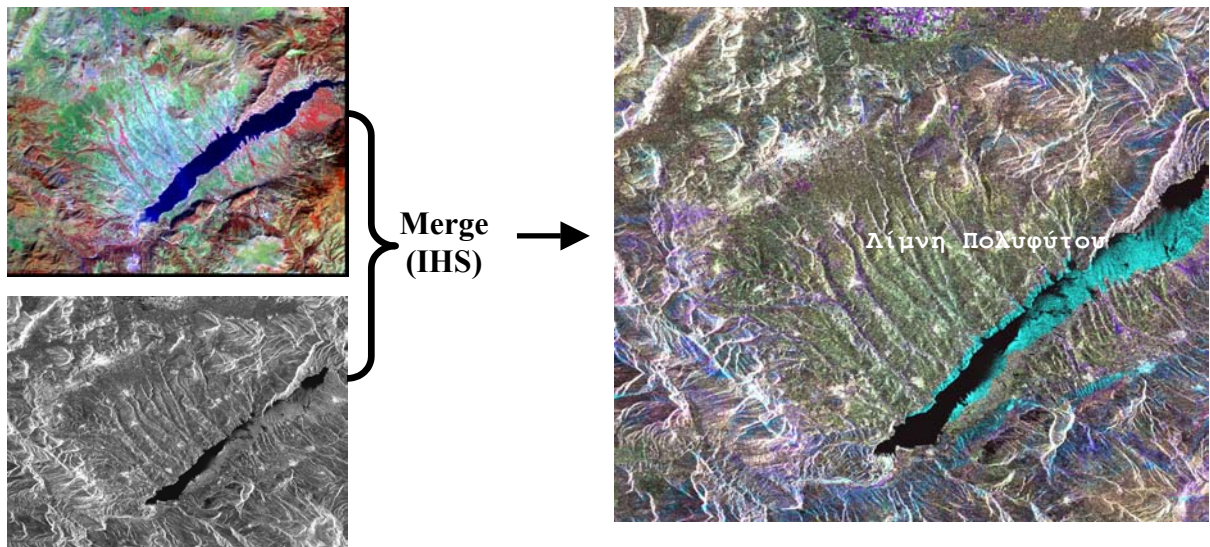
**ΨΗΦΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ & ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΚΑΙ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ**

Στο προϊόν της συγχώνευσης που προέκυψε, για την περιοχή της Κοζάνης, παρατηρούμε ότι το εδαφικό κάλυμμα και τα γυμνά πετρώματα εμφανίζονται με πράσινες αποχρώσεις, ενώ η βλάστηση με αποχρώσεις από μπλε έως πορφυρό. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό που εμφανίζεται στην εικόνα, έχει να κάνει με τις αλλαγές που επισημαίνονται στις όχθες της τεχνητής λίμνης Πολυφύτου, και απεικονίζονται με μία εκτεταμένη ζώνη από κυανό χρώμα και ερμηνεύεται ως υποχώρηση που επήλθε στην στάθμη των υδάτων της λίμνης κατά το διάστημα μεταξύ της λήψης της εικόνας Landsat (1989) και της λήψης της εικόνας radar (1992). Ο εντοπισμός αυτού του φαινομένου οφείλεται κυρίως στα πλεονεκτήματα της εικόνας radar, η οποία παρουσιάζει μεγάλη ευαισθησία στην παρουσία της υγρασίας.

Όσον αφορά το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής, εμφανίζεται πολύ καθαρά στην εικόνα αυτή, με γενική διεύθυνση από βόρειο-δυτικά προς νότιο-ανατολικά. Χαρακτηρίζεται σαν υπο-παράλληλο ως παράλληλο, λόγω της επαλληλίας των κύριων ρεμάτων αποστράγγισης, ενώ τα δευτερεύοντα αποστραγγιστικά ρέματα συναντούν με την ίδια περίπου γωνία τα κύρια ρέματα αποστράγγισης (Howard 1997, Αστάρας 2000). Η μορφή του αυτή, οφείλεται κυρίως στην ύπαρξη αρκετά ομοιογενών απότομων κλίσεων της επιφάνειας, στην ύπαρξη παράλληλων, επιμηκών σχηματισμών του αναγλύφου καθώς και στο υπόβαθρο το οποίο αποτελείται από χαλαρούς, ιζηματογενείς σχηματισμούς.

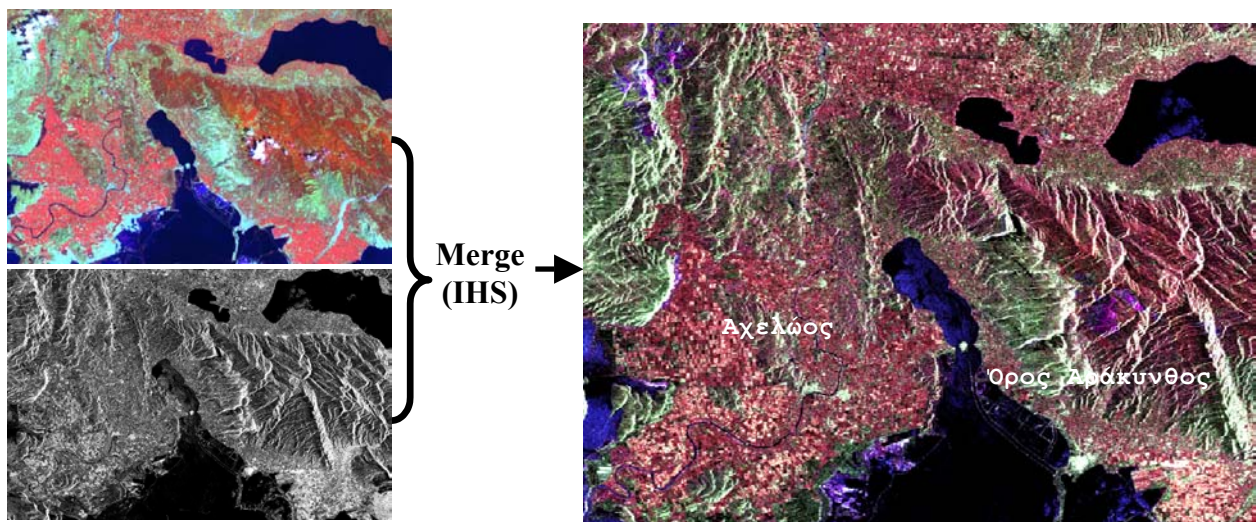
Στο προϊόν συγχώνευσης, της λεκάνης του Αχελώου εμφανίζονται, με διαφορετικές διαβαθμίσεις του κόκκινου χρώματος, τα διαφορετικά είδη βλάστησης, είτε αυτή είναι φυσική βλάστηση (σκουρότερες αποχρώσεις), είτε καλλιέργειες (ανοιχτότερες αποχρώσεις). Με πράσινο χρώμα εμφανίζονται τα γυμνά πετρώματα και εδάφη, ενώ με σκούρο μπλε εμφανίζονται οι υδάτινες μάζες (θαλάσσιες και λίμνες). Στην εικόνα αυτή, σε αντίθεση με την περιοχή της Κοζάνης, η εμφάνιση του υδρογραφικού δικτύου, περιορίζεται μονάχα στον εντοπισμό του κύριου κλάδου και καθόλου στην ανάδειξη των λιγοστών δευτερευόντων κλάδων που αποστραγγίζουν την λεκάνη, καθώς και των πολλών παλαιών κοιτών των μαιάνδρων του ποταμού Αχελώου, που εμφανίζονται πολύ καθαρά στις σύνθετες ψευδέγχρωμες εικόνες του Landsat.

Για να γίνει πιο έντονη η εμφάνιση των χαρακτηριστικών του υδρογραφικού δικτύου στις δύο συγχωνευμένες εικόνες εφαρμόστηκαν διαφορετικά χωρικά φίλτρα. Αρχικά, εφαρμόστηκε το φίλτρο «ενίσχυσης των ακμών», του οποίου η δράση, τονίζοντας τα γραμμικά χαρακτηριστικά που υπάρχουν σε κάθε εικόνα. Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο «Robinson 3 level», ενώ ο πίνακας τιμών kernel που χρησιμοποιήθηκε, είχε μέγεθος 3x3 (ERDAS manual, 1995). Τα παράθυρα με μέγεθος 5x5 και 7x7 που δοκιμάστηκαν, δεν έδωσαν το ίδιο καλό αποτέλεσμα. Η διεύθυνση εφαρμογής του φίλτρου που επιλέχθηκε, ύστερα από δοκιμές, ήταν η νότιο-δυτική η οποία έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα. Το γεγονός αυτό, ήταν αναμενόμενο, εφόσον αυτή η διεύθυνση ήταν κάθετη με την διεύθυνση που είχαν τα ρέματα και συνεπώς τόνιζε περισσότερο την γραμμικότητά τους (Εικ.4). Η χρήση του συγκεκριμένου φίλτρου, εξάλειψε τα άλλα μη γραμμικά χαρακτηριστικά της εικόνας, απομονώνοντας έτσι την πληροφορία που αφορούσε το υδρογραφικό δίκτυο (Εικ. 5). Αντίθετα, στην εικόνα



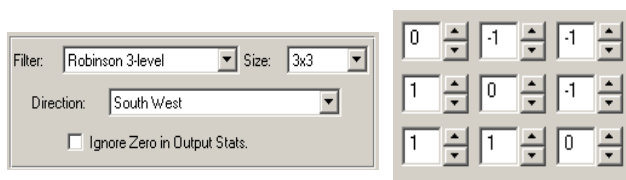
**Εικ.2:** Το τελικό προϊόν της συγχώνευσης (δεξιά) των αρχικών εικόνων του Landsat7 και ERS-1 (αριστερά), για την περιοχή της Κοζάνης.

**Image 2:** The combined image (right) derived from Landsat5 and ERS-1 data, for the study area of Kozani.



**Εικ.3:** Το τελικό προϊόν της συγχώνευσης (δεξιά) των αρχικών εικόνων του Landsat5 και ERS-1 (αριστερά), για την περιοχή του Μεσολογγίου.

**Image 3:** The combined image (right) derived from Landsat5 and ERS-1 data, for the study area of Achelooos.

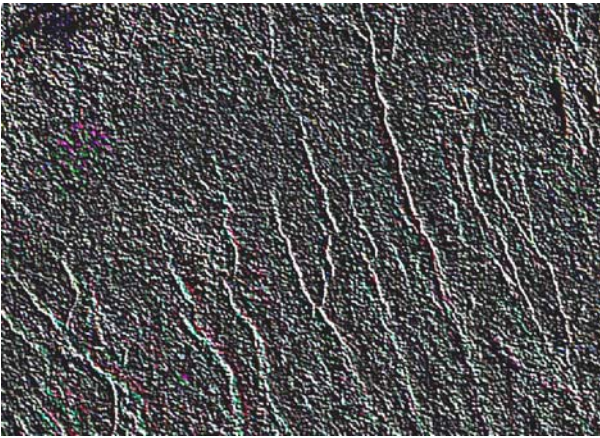


**Εικ. 4:** Ο αλγόριθμος, το παράθυρο kernel και η διεύθυνση δράσης του χωρικού φίλτρου «ενίσχυσης των ακμών», που χρησιμοποιήθηκε.

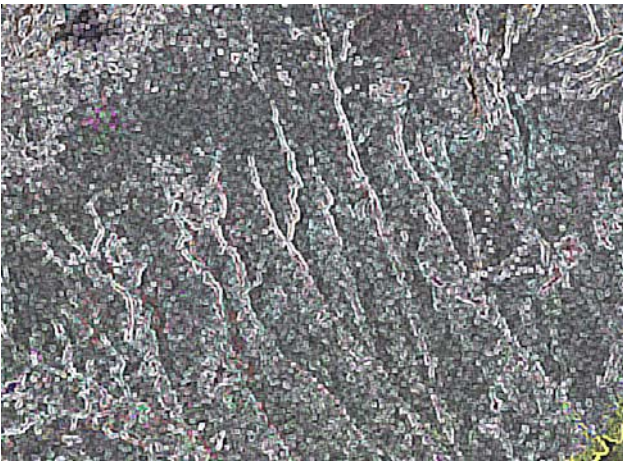
**Image 4:** The algorithm, the Kernel size and the direction used in the spatial filter «edge enhancement».

της περιοχής του κάτω ρου της λεκάνης του Αχελώου, η χρήση του φίλτρου αυτού, σε οποιαδήποτε μορφή χρησιμοποιήθηκε (αλγόριθμο, διεύθυνση και μέγεθος παραθύρου kernel) δεν έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα. Επίσης, εφαρμόστηκε το χωρικό φίλτρο «ενίσχυσης της υψής», χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο «διακύμανσης», με μέγεθος του πίνακα τιμών kernel 7x7. Το φίλτρο αυτό, έδωσε εξαιρετικά αποτελέσματα, όσον αφορούσε την ανάδειξη του υδρογραφικού δικτύου, για την περιοχή της Κοζάνης. Στην εικόνα αυτή εμφανίζονται με μεγάλη λεπτομέρεια τα γραμμικά χαρακτηριστικά οριοθέτησης των ρεμάτων, δηλαδή εμφανίζονται οι «όχθες» των ρεμάτων. Στο γεγονός αυτό συντελεί η έντονη διάβρωση που έχει υποστεί το

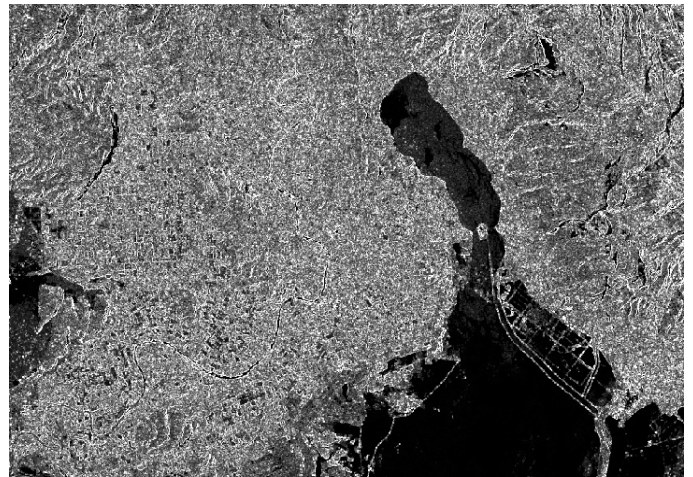
έδαφος από την διαβρωτική δράση του νερού. Αντίθετα στην περιοχή της λεκάνης του Αχελώου, το αποτέλεσμα ήταν και πάλι αρνητικό, χωρίς να αναδεικνύεται καθόλου το δευτερεύον υδρογραφικό δίκτυο (Εικ. 6 & 7).



Εικ. 5: Παράθυρο μεγέθυνσης της εικόνας της περιοχής της Κοζάνης, μετά την εφαρμογή του χωρικού φίλτρου «edge enhancement».  
Image 5: Sub-scene of the image of Kozani area, after the implementation of the «edge enhancement» filter.



Εικ. 6: Παράθυρο μεγέθυνσης της περιοχής της Κοζάνης, μετά την εφαρμογή του χωρικού φίλτρου «ενίσχυσης της υφής», όπου απεικονίζεται το υδρογραφικό δίκτυο.  
Image 6: Image Sub-scene with the drainage network of Kozani area, after the «texture enhancement» filter.



Εικ. 7: Παράθυρο μεγέθυνσης της περιοχής του Αχελώου, μετά την εφαρμογή του χωρικού φίλτρου «ενίσχυσης της υφής».  
Image 7: Image Sub-scene with the drainage network of Acheloos river area, after the «texture enhancement» filter.

#### **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Στα δεδομένα που προέκυψαν από την συγχώνευση των αρχικών εικόνων, η χρήση της εικόνας radar ανέδειξε τη μορφολογία της περιοχής και βοήθησε σημαντικά στην χαρτογράφηση του υδρογραφικού δικτύου, μαζί με την φασματική πληροφόρηση που προσέφεραν τα οπτικά δεδομένα. Απ' την άλλη πλευρά όμως, παρουσιάστηκε και μια σαφής μείωση της φασματικής πληροφόρησης που είχαν οι αρχικές εικόνες Landsat, ενώ στην περίπτωση του Αχελώου, το πρόβλημα που προκαλεί η χρήση της εικόνας radar λόγω της μορφολογίας και του φαινομένου του layover, εμπόδιζε πιθανά την αναγνώριση κάποιων ρεμάτων που βρίσκονται στις ΒΔ παρυφές του όρους Αράκυνθος.

Εξετάζοντας τα αποτελέσματα των τελικών προϊόντων, εξάγεται σαν συμπέρασμα ότι στην σχεδόν λοφώδης-ημιορεινή περιοχή της Κοζάνης τα αποτελέσματα ήταν πολύ σημαντικά και αποκαλύπτουν την χρησιμότητα της διαδικασίας που χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή του υδρογραφικού δικτύου. Η ανάδειξή του είναι άμεση, σε σχέση με την αρχική εικόνα του Landsat, στην οποία γίνεται μεν αναγνώριση του υδρογραφικού δικτύου, αλλά βασίζεται στην παρόχθια βλάστηση που αναπτύσσεται κατά μήκος των ρεμάτων. Στην καταγραφή του υδρογραφικού δικτύου θετικό ρόλο διαδραμάτισε και το γεγονός ότι η διεύθυνση σάρωσης του δορυφόρου ERS-1 ήταν σχεδόν κάθετη στην διεύθυνση των ρεμάτων. Αντίθετα, στην πεδινή περιοχή του

Αχελώου η εικόνα συγχώνευσης όπως και τα χωρικά φίλτρα που εφαρμόστηκαν, δεν έδωσαν ικανοποιητικά αποτελέσματα για την ανάδειξη του υδρογραφικού δικτύου.

Η χρήση των χωρικών φίλτρων, παρείχε σημαντική πληροφόρηση για την καλύτερη αναγνώριση και καταγραφή του υδρογραφικού δικτύου, όσον αφορούσε κυρίως την λοφώδη-ορεινή περιοχή, ενώ αντίθετα για την πεδινή περιοχή δεν έδωσαν κάποια θετικά στοιχεία. Προϋπόθεση για την επιτυχία των χωρικών φίλτρων φάνηκε ότι είναι η επιλογή της κατάλληλης διεύθυνσης εφαρμογής τους.

#### **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- [1] Αστάρης, Θ., 2000. Φωτοερμηνεία (Τηλεπισκόπηση) στις γεωεπιστήμες. σελ.199, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων.
- [2] Astaras, Th., 1985. Drainage network analysis of Landsat images of the Olympus-Pieria mountain area, northern Greece. *Int.J. Remote Sensing*, Vol.6, No.5, p. 673-686.
- [3] Astaras, Th., Lambrinos, N., Soulakelis, N., 1990. A drainage system analysis evaluation of, and comparison between RBV, Landsat5 TM and SPOT PA imageries cover the Central Macedonia district, Greece. *Int.J. Remote Sensing*, Vol.11, No.9, p. 1549-1559.
- [4] Buchroithner, M.F., Raggam, J., Strobl, D., Almer, A., 1992. Multisensor data merging for digital landscape models. Analysis of Earth Observation Space Data Integration, Proceedings EARSeL workshop, held in Sinaia, Romania, 28-30 October 1992 (Paris:EARSeL), p.34-42.
- [5] Chavez, P.S., Bowell, J.A., 1988. Comparison of the spectral information content of Landsat Thematic Mapper and SPOT for three different sites in the Phoenix, Arizona region. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54, p.1699-1708.
- [6] Desnos, Y.L., Mayer, T., Sardar, A.M., 1996. Multitemporal ERS-1 SAR images of the Brahmaputra flood plains in Northern Bangladesh. *Earth Observation Quarterly*, 51, p.6-10.
- [7] Doutsos, T., Kontopoulos, N., Frydas, D., 1987. Neotectonic evolution of northwestern-continental Greece. *Geologische Rundschau*, Vol.76, No.2, p.433-450.
- [8] Hill, J., 1994. Land degradation and soil erosion hazard mapping in Mediterranean environments with operational earth observation satellites. Proc. Int. symposium "Operationalization of Remote Sensing", ITC, Enschede, The Netherlands, 19-23 April, vol.9, p.41-51.
- [9] ERDAS-Imagine manual, 1995. Atlanta, USA.
- [10] Howard, D., 1967. Drainage analysis in geological interpretation: a summation. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol.*, vol.51, (11), p.2246-2259.
- [11] Kattenborn, G., Nezry, E., De Grandi, G. & Sieber, A.J., 1993. High resolution detection, monitoring and analysis of changes using ERS1 SAR data. Proc. Of ESA/FAO/CEC/TELESPAZIO Workshop on Use of ERS1 SAR data for agricultural, forestry and environmental applications in Central-eastern Europe, Edit. ESA, p. 19-29.
- [12] Κουρής, Χ., Τσαΐλα-Μονόπολη, Στ., Σκούρτση-Κορωναίου, Β., Solakious, N., Χωριανοπούλου, Π., 1996. Γεωλογικός χάρτης, φύλλο «Μεσολόγγι», κλίμακα 1:50.000, έκδοση ΙΓΜΕ.
- [13] Lee, J.S., 1981. Refined filtering of image noise using local statistics. *Computer Graphic and Image Processing*, 15, p. 380-389.
- [14] Παπανικολάου, Δ., 1986. Γεωλογία της Ελλάδας. Εκδ. Επτάλοφος, σελ.240, Αθήνα.
- [15] Παρχαρίδης, Ισ., Παυλόπουλος, Α., Σερέλης, Κ., Μιγκίρος, Γ., 1996. Ενεργός ρηξιγενής τεκτονική και εδαφοκάλυψη της λεκάνης της Κοζάνης με χρήση δορυφορικών εικόνων Landsat 5 TM. Πρακτικά 6<sup>ου</sup> Πανελληνίου Εδαφολογικού Συνεδρίου, τόμος Α, σελ.118-124, Θεσσαλονίκη.
- [16] Παρχαρίδης, 1994. Τεκτονική ανάλυση της περιοχής Β.Θεσσαλίας και Κεντρικής-Δυτικής Μακεδονίας με χρήση μεθόδων τηλεπισκόπησης. Διδακτορική διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, σελ. 244.
- [17] Sabins, F.F., 1997. Remote Sensing: Principles and Interpretation. W.H. Freeman and Company, p. 494, New York.
- [18] Saraf, A.K., 1999. IRS-1-LISS-III and Pan data fusion: an approach to improve remote sensing based mapping techniques. *Int.J.Remote Sensing*, Vol.20, No.10, p. 1929-1934.