

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών

**ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
ΛΑΤΟΜΕΙΩΝ – ΑΝΟΙΧΤΩΝ
ΟΡΥΧΕΙΩΝ
ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ**

Διδακτορική Διατριβή

Υποβληθείσα στο Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Νικόλαος Β. Σπυρόπουλος

Αθήνα 2010

Στην Άντα, στη Ζωή και στη Χλόη

ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Επιβλέπων Σπύρος Βάλμης

Καθηγητής Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

Μέλη

Νικόλαος Δαλέζιος

Καθηγητής Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Βασιλική Κόλλια-Κουσουρή

Καθηγήτρια Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Σπύρος Βάλμης

Καθηγητής Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

Νικόλαος Δαλέζιος

Καθηγητής Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Γεώργιος Καραντούνας

Καθηγητής Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

Βασιλική Κόλλια-Κουσουρή

Καθηγήτρια Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

Διονύσιος Καλύβας

Επίκουρος Καθηγητής Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

Βασιλική Καραθανάση

Επίκουρος Καθηγήτρια Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

Αθανάσιος Γκανάς

Κύριος Ερευνητής Β' Γεωδυναμικού Ινστιτούτου, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών

Περίληψη

Η παρούσα Διδακτορική Διατριβή προτείνει μια καινοτομική προσέγγιση η οποία μπορεί να αποτελέσει μία επιμέρους ή αυτοδύναμη μεθοδολογία για την αξιόπιστη διαχρονική καταγραφή, παρακολούθηση και έλεγχο αποκατάστασης της λατομικής και μεταλλευτικής δραστηριότητας στη χώρα μας με γρήγορο και οικονομικό τρόπο, χάρις στην νέα τεχνολογία της δορυφορικής τηλεπισκόπησης και των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ), που σε καμία περίπτωση δεν θα ήταν δυνατόν με τη χρησιμοποίηση συμβατικών μεθόδων. Πιο αναλυτικά, σ' αυτή την ερευνητική εργασία επιχειρείται να δημιουργηθεί ένα επικουρικό εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων για την αποκατάσταση μιας περιοχής εξόρυξης με βάση την αποτύπωση και χαρτογράφηση των διαχρονικών σταδίων της εκμετάλλευσης και των γειτονικών χρήσεων γης, η οποία καταγράφεται μέσα από τη συνδυαστική χρήση μέσης ευκρίνειας πολυφασματικών δεδομένων Landsat TM, υψηλής ευκρίνειας παγχρωματικών δεδομένων KVR-1000 και στερεοσκοπικών δεδομένων μέσης ευκρίνειας SPOT. Έμφαση δόθηκε ώστε το σύστημα λήψης αποφάσεων να παρουσιάζει και να προσομοιώνει όλα τα απαραίτητα βήματα που πρέπει να ακολουθήσει ένας γεωπόνο-αρχιτέκτων τοπίου, τοπογράφος μηχανικός, μηχανικός περιβάλλοντος ή μηχανικός υπαίθριων εκμεταλλεύσεων κατά τη διάρκεια της σύνταξης μελετών αποκατάστασης λατομικών και μεταλλευτικών δραστηριοτήτων. Η περιοχή έρευνας εστιάζεται στα ορυχεία νικελίου της Λάρκο ΑΕ στον Παγώντα, στο Σούρτζι και το Ίσωμα του Νομού Ευβοίας.

Στην παρούσα εργασία ως πρώτη προτεραιότητας δράση επελέγη η καθορισμός των κριτηρίων επιλογής των δορυφορικών δεδομένων. Καθορίζεται η προς εξέταση περιοχή και συσχετίζεται με τη διαθεσιμότητα των δορυφορικών δεδομένων έτσι ώστε να αντιστοιχίζονται οι ημερομηνίες λήψεως αυτών με τα στάδια εκμετάλλευσης και αποκατάστασης των ανοιχτών ορυχείων της Λάρκο. Γίνεται η συλλογή των δεδομένων και η προεπεξεργασία τους.

Ακολουθεί η ανάλυση των δεδομένων που έχει ένα πολυδιάστατο χαρακτήρα και αποτελείται από την ποσοτική, την ποιοτική ανάλυση των δεδομένων και την επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου ανίχνευσης μεταβολών φυσικής κάλυψης και χρήσεων γης για τη παραγωγή διαχρονικών θεματικών χαρτών. Γίνεται διερεύνηση και αποτύπωση τόσο των χρήσεων γης, όσο και της φυσικής κάλυψης με τη χρήση δορυφορικής τηλεπισκόπησης, η οποία βοηθά στον καλύτερο εντοπισμό περιβαλλοντικά ευαίσθητων περιοχών και των αντίστοιχων προβλημάτων και είναι περισσότερο ακριβής και λιγότερο χρονοβόρος.

Ακολουθεί η παραγωγή και ανάπτυξη του ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου για την εξαγωγή χάρτη κλίσεων, προσανατολισμού και ανάλυσης υδρογραφικού δικτύου της ευρύτερης περιοχής και η ανάπτυξη ενός ΣΓΠ για την ολοκληρωμένη διαχείριση των όλων των σχετικών γεωπληροφοριών. Η ανάλυση περιλαμβάνει και την ανάπτυξη του διαδραστικού εργαλείου το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα Σύστημα Λήψης Αποφάσεων (ΣΛΑ) για την εξαγωγή υψηλής ποιότητας χαρτών και σχεδίων προσομοίωσης των παρεμβάσεων ή την επιλογή του είδους της αποκατάστασης μιας λατομικής ή μεταλλευτικής δραστηριότητας. Το μοντέλο αναπτύσσεται αντλώντας τους τύπους των μονάδων των χρήσεων γης που χρησιμοποιούνται στην αποκατάσταση με βάση την επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων του μεταλλείου στο Παγώντα και επαληθεύεται και αξιολογείται με βάση το μεταλλείο στο Ίσωμα.

Η μεθοδολογική γνώση που δημιουργήθηκε από την ανάλυση των δεδομένων μπορεί σαφώς να υποδείξει «αρχές οικονομίας» στην αποκατάσταση υπαίθριων εκμεταλλεύσεων που αξιοποιούν πλουτοπαραγωγικούς πόρους. Αυτή η πτυχή είναι πολύ σημαντική όχι μόνο για τους υπεύθυνους και υπόλογους της αποκατάστασης, αλλά και για τις τοπικές, διοικητικές αρχές και περιβαλλοντικές οργανώσεις. Το χαμηλό κόστος κατά 40% σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους είναι σημαντικό πλεονέκτημα που καθιστά τη μεθοδολογία αυτή αποδεκτή σε εύκρατα κλίματα λόγω της μεγάλης διάρκειας της ηλιοφάνειας που επιτρέπει μια ασφαλή παρακολούθηση σε σταθερά χρονικά διαστήματα. Το χαμηλό κόστος αλλά και η προσβασιμότητα σε δεδομένα μπορεί να αποτελέσουν θετικά κριτήρια για την ενσωμάτωση τέτοιων προϊόντων στις λειτουργικές δραστηριότητες των μεταλλευτικών επιχειρήσεων.

Summary

The thesis examined how space technology can provide a cost-effective assistance in the planning of surface mineral workings and their subsequent restoration, and developed a decision support system (DSS) to be used as a tool towards protecting the land from the disturbances created by mining activities. The study employed and integrated state-of-the-art technologies such as: (1) Digital Image Processing and Interpretation satellite imagery; the most efficient means of: (i) obtaining information on geomorphologic, geologic and land-use conditions of large areas, and (ii) detecting time-changes on those conditions, (2) Use of Geographical Information System (GIS) for multi-layers mapping, (3) Multi-criteria Decision-making (MCDM) techniques based on less defensible and balanced weights, (4) Advanced visualization techniques and (5) Mathematical modelling. It also integrated relative EU and National directives regarding land restoration and rehabilitation from surface mining. The study area was based on the open cast nickeloferrous ore mines of Pagontas, Sourtzi and Isoma located in Evia Island, Greece. Three Landsat TM images and KVR-1000 scene were processed to derive land use, land cover maps and land-use change maps. A Digital Elevation Model of 10m was built using the Spot stereo pan images. All derived information was hierarchically feed to GIS and then linked to DSS. The DSS is nothing else but a tool based on multi-criteria decision-making (MCDM) techniques in a GIS environment. The main MCDM technique is the multi-criteria analysis, which involves the evaluation of a relatively small set of allocation alternatives. These alternatives, usually about three to five and rarely more than ten, are defined beforehand and are simply evaluated against each other. For open cast mining activities, the DSS reflects and simulates the major decision steps of a mining expert during the formulation of a restoration plan. The main restoration options are where to restore and what will be the new land use. The SDSS makes a comparison between different strategies based on multiple criteria supplied by the user. The system allowed decision maker to solve problems which are resulted from confuted objectives in a mathematical way. The low cost and data collection facility are important advantages that make this research effort acceptable and applicable in geographic regions with great duration of sunshine that permits secure coverage in fixed time intervals. The integration of derived imagery intelligence into a GIS system can be a standard approach for pre-mining and post-mining activities worldwide. The utilisation of satellite remote sensing data information by a SDSS that make use MCDM techniques based on less defensible and balanced weights throughout the friendly and well-known GIS environment will be fully appreciated not only by mining experts, engineers, and managers, but also by administration authorities, whose task is to control and evaluate post-mining activities.

Περιεχόμενα

Σελίδα

| | |
|--|-----------|
| 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 20 |
| 1.1 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ | 20 |
| 1.2 ΠΑΡΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ - ΙΣΤΟΡΙΚΟ | 21 |
| 1.3 ΣΚΟΠΟΙ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ | 23 |
| 1.4 ΔΟΜΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ..... | 27 |
| 2. ΓΝΩΣΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ..... | 29 |
| 2.1 ΟΙ ΕΞΟΡΥΞΕΙΣ ΚΑΙ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ..... | 29 |
| 2.2 Η ΜΟΝΑΔΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΞΟΡΥΞΗΣ..... | 30 |
| 2.3 ΟΡΥΧΕΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΚΤΑΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ – ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΝΟΝΙΣΜΩΝ ΧΩΡΩΝ ΤΗΣ ΕΕ..... | 32 |
| 2.4 ΑΕΙΦΟΡΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗ | 37 |
| 2.5 ΟΡΥΧΕΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ – ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ | 38 |
| 2.6 ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ – Ένα Διαχειριστικό Εργαλείο Κατά το Στάδιο Σχεδιασμού Ένός Μεταλλείου | 40 |
| 2.7 ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΚΤΑΣΕΩΝ | 42 |
| 3. ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ (SATELLITE REMOTE SENSING)..... | 44 |
| 3.1 ΓΕΝΙΚΑ..... | 44 |
| 3.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ..... | 45 |
| 3.3 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ ΚΑΙ ΦΑΣΜΑΤΙΚΕΣ ΥΠΟΓΡΑΦΕΣ..... | 47 |
| 3.4 ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ | 47 |
| 3.4.1 Γενικά..... | 47 |
| 3.4.2 Ψηφιακοί - Θεματικοί χάρτες..... | 48 |
| 3.5 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ..... | 50 |
| 3.5.1 Παθητικά και Ενεργητικά | 50 |
| 3.6 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ | 52 |
| 3.6.1 Φασματική Ενκρίνεια | 53 |
| 3.6.2 Χωρική Ενκρίνεια..... | 54 |
| 3.6.3 Ραδιομετρική Ανάλυση | 56 |
| 3.6.4 Χρονική Ανάλυση ή Ρυθμός Επισκεψιμότητας ενός Σημείου..... | 56 |
| 3.7 ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ | 57 |
| 3.7.1 Γεωστατικοί Δορυφόροι..... | 57 |
| 3.7.2 Δορυφόροι Πολικής Τροχιάς | 58 |

| | |
|---|------------|
| 4. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ – GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS (ΣΓΠ) | 59 |
| 4.1 ΓΕΝΙΚΑ..... | 59 |
| 4.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΣΓΠ..... | 60 |
| 5. ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ – ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΜΕΤΑΛΛΕΙΟΥ ΣΤΗΝ ΙΣΠΑΝΙΚΗ ΓΑΛΙΚΙΑ..... | 64 |
| 5.1 Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ, ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ, ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ, ΓΕΩΛΟΓΙΑ | 64 |
| 5.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ..... | 67 |
| 5.3 Ο ΧΩΡΟΣ ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ | 67 |
| 5.4 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΣΧΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ | 68 |
| 5.5 ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΧΩΡΩΝ ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΤΟΥ AS RONTES..... | 69 |
| 5.6 ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΣ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΣΗΣ..... | 72 |
| 6. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ | 76 |
| 6.1 ΓΕΝΙΚΑ..... | 76 |
| 6.2 ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ LANDSAT..... | 77 |
| 6.3 ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ SPOT..... | 82 |
| 6.4 ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΜΕΡΑ KVR-1000 | 87 |
| 6.5 ΠΡΟ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ | 90 |
| 6.6 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ - ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ | 91 |
| 6.6.1 Ταξινόμηση..... | 91 |
| 6.6.2 Αλγόριθμοι ανίχνευσης μεταβολών σε όμοια δορυφορικά δεδομένα..... | 93 |
| 6.7 ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ | 103 |
| 6.8 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΧΑΡΤΩΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΕΤΗΣΙΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ..... | 106 |
| 6.9 ΑΝΑΓΚΗ ΕΝΟΣ ΕΝΙΑΙΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ | 108 |
| 6.10 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΝΕΑΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ..... | 109 |
| 6.11 ΣΥΝΟΨΗ..... | 115 |
| 7. ΠΕΡΙΟΧΗ ΈΡΕΥΝΑΣ «ΜΕΤΑΛΛΕΙΑ ΤΗΣ ΛΑΡΚΟ ΣΤΟ ΠΑΓΩΝΤΑ ΚΑΙ ΙΩΜΑ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΕΥΒΟΙΑΣ»..... | 116 |
| 7.1 ΓΕΝΙΚΑ..... | 116 |
| 7.2 ΦΥΣΙΚΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ..... | 116 |
| 7.3 ΧΛΩΡΙΚΗ ΠΟΙΚΙΛΟΜΟΡΦΙΑ | 117 |
| 7.4 ΔΑΣΗ ΚΑΙ ΔΑΣΙΚΕΣ ΕΚΤΑΣΕΙΣ | 119 |
| 7.5 ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΑ | 120 |
| 7.6 ΚΛΙΜΑ | 120 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 7.7 | ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ | 121 |
| 7.8 | Η ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΤΗΣ ΛΑΡΚΟ – ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ..... | 122 |
| 7.8.1 | <i>Γεωγραφία των ορυχείων</i> | <i>123</i> |
| 7.8.2 | <i>Η γεωλογία των ορυχείων της ΛΑΡΚΟ.....</i> | <i>124</i> |
| 7.8.3 | <i>Υφιστάμενες τεχνικές αποκατάστασης των περιοχών εκμετάλλευσης.....</i> | <i>126</i> |
| 8. | ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΤΗΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΩΝ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ - ΣΥΛΛΟΓΗ, ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ..... | 130 |
| 8.1 | ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ..... | 130 |
| 8.2 | ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΙ ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ..... | 135 |
| 8.3 | ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ..... | 143 |
| 8.3.1 | <i>Ατμοσφαιρική/Ραδιομετρική διόρθωση (βαθμονόμηση).....</i> | <i>148</i> |
| 8.3.2 | <i>Γεωμετρική διόρθωση με χρήση σημείων επίγειου έλεγχου</i> | <i>150</i> |
| 8.3.2.1 | <i>Συστηματικές παραμορφώσεις.....</i> | <i>150</i> |
| 8.3.2.2 | <i>Τυχαίες παραμορφώσεις (σφάλματα)</i> | <i>150</i> |
| 8.4 | ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ..... | 160 |
| 8.4.1 | <i>Θεματική χαρτογράφηση - ταξινόμηση</i> | <i>160</i> |
| 8.4.2 | <i>Η μέθοδος ανίχνευσης μεταβολών.....</i> | <i>167</i> |
| 9. | ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΣΓΠ – ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ | 181 |
| 9.1 | ΓΕΝΙΚΑ..... | 181 |
| 9.2 | ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗΣ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ..... | 181 |
| 9.3 | ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ | 182 |
| 9.4 | ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ (DIGITAL ELEVATION MODEL - DEM) ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΥΣ ΧΑΡΤΕΣ | 185 |
| 9.5 | ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΛΙΣΕΩΝ | 197 |
| 9.6 | ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΚΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ | 200 |
| 9.7 | ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗΣ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ..... | 202 |
| 9.8 | ΠΑΡΑΓΩΓΗ DEM ΑΠΟ ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ SPOT..... | 211 |
| 10. | ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΟΡΥΧΕΙΩΝ | 221 |
| 10.1 | ΓΕΝΙΚΑ..... | 221 |
| 10.2 | ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΣΛΑ..... | 222 |
| 10.3 | ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΧΩΡΩΝ ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΣΤΕΙΡΩΝ..... | 225 |
| 10.4 | ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΣΛΑ | 228 |
| 11. | ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ | 242 |

| | | |
|------|-------------------|-----|
| 11.1 | ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ..... | 242 |
| 11.2 | ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ..... | 251 |

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

| | | |
|----------------------|---|------------|
| <i>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι</i> | <i>Φωτογραφικό υλικό.....</i> | <i>262</i> |
| <i>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ</i> | <i>Πίνακες αναγωγής /γεωμετρικής διόρθωσης.....</i> | <i>266</i> |
| <i>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ</i> | <i>Πίνακες ταξινόμησης.....</i> | <i>271</i> |
| <i>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙV</i> | <i>Πίνακες των Eigens.....</i> | <i>278</i> |

Εικόνες

Σελίδα

| | |
|--|-----|
| ΕΙΚΟΝΑ 3.1. ΣΤΑΘΜΕΣ ΦΩΤΕΙΝΟΤΗΤΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ | 52 |
| ΕΙΚΟΝΑ 3.2. ΑΠΟ ΑΡΙΣΤΕΡΑ ΠΡΟΣ ΤΑ ΔΕΞΙΑ ΚΑΙ ΠΡΟΣ ΤΑ ΚΑΤΩ. ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ Ν. ΣΑΛΑΜΙΝΑΣ ΑΠΟ LANDSAT MSS (80M), LANDSAT TM (30M) ΚΑΙ SPOT PAN (10M)..... | 55 |
| ΕΙΚΟΝΑ 4.1. (Α) ΠΛΕΓΜΑΤΙΚΗ ΜΟΡΦΗ (RASTER) ΣΓΠ, (Β) ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΙΚΗ ΜΟΡΦΗ (VECTOR) ΣΓΠ | 61 |
| ΕΙΚΟΝΑ 4.2. ΙΕΡΑΡΧΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΑ ΚΑΙ ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΟΥΣ Σ' ΕΝΑ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΕΝΙΑΙΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ..... | 62 |
| ΕΙΚΟΝΑ 5.1. ΟΡΥΧΕΙΟ ΛΙΓΝΙΤΗ AS PONTES (ΠΗΓΗ: ENDESA) | 66 |
| ΕΙΚΟΝΑ 5.2. ΤΟ ΣΧΕΔΙΟ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΠΟΥ ΥΠΟΒΛΗΘΗΚΕ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΣΤΙΣ ΙΣΠΑΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ (ΠΗΓΗ ENDESA)..... | 68 |
| ΕΙΚΟΝΑ 5.3. ΓΡΑΦΗΜΑ ΠΟΥ ΔΕΙΧΝΕΙ ΤΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΧΩΡΩΝ ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ (ΠΗΓΗ: ENDESA)..... | 70 |
| ΕΙΚΟΝΑ 6.1. | 79 |
| ΕΙΚΟΝΑ 6.2. | 81 |
| ΕΙΚΟΝΑ 6.3. | 82 |
| ΕΙΚΟΝΑ 6.4. | 84 |
| ΕΙΚΟΝΑ 6.5. | 86 |
| ΕΙΚΟΝΑ 6.6. | 87 |
| ΕΙΚΟΝΑ 6.7. | 88 |
| ΕΙΚΟΝΑ 6.8. | 89 |
| ΕΙΚΟΝΑ 7.1. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΕΥΒΟΙΑΣ..... | 117 |
| ΕΙΚΟΝΑ 7.2.. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΔΗΜΩΝ ΚΑΙ ΚΟΙΝΟΤΗΤΩΝ ΤΟΥ Ν. ΕΥΒΟΙΑΣ. | 121 |
| ΕΙΚΟΝΑ 7.3. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ (ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 1997) ΤΟΥ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΥ ΟΡΥΧΕΙΟΥ ΤΗΣ ΛΑΡΚΟ ΣΤΙΣ ΆΚΡΕΣ (ΝΟΤΙΑ ΤΟΥ ΔΥΤΙΚΟΥ ΠΑΓΩΝΤΑ, ΕΥΒΟΙΑ, ΕΛΛΑΔΑ – ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ ΤΩΝ ΕΚΣΚΑΦΩΝ). | 123 |
| ΕΙΚΟΝΑ 7.4. ΘΕΣΗ ΤΩΝ ΟΡΥΧΕΙΩΝ ΤΗΣ ΛΑΡΚΟ ΣΤΗΝ ΕΥΒΟΙΑ. Ο ΒΟΡΡΑΣ ΕΙΝΑΙ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΚΟΡΥΦΗ ΤΗΣ ΣΕΛΙΔΑΣ. ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ LANDSAT TM. | 124 |
| ΕΙΚΟΝΑ 7.5. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ (ΙΟΥΛΙΟΣ 1999) ΤΟΥ ΟΡΥΧΕΙΟΥ ΝΙΚΕΛΙΟΥ ΣΤΟ ΊΣΩΜΑ ΣΤΗ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΕΥΒΟΙΑ. ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΚΑΘΑΡΑ Η ΕΠΑΦΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΛΑΤΕΡΙΤΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΑΓΟΝΩΝ (ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ). ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΝΟΤΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΗ..... | 126 |
| ΕΙΚΟΝΑ 7.6. ΟΡΥΧΕΙΟ ΠΑΓΩΝΤΑ: ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ (ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 1997) | 128 |
| ΕΙΚΟΝΑ 7.7. ΟΡΥΧΕΙΟ ΙΣΩΜΑΤΟΣ: ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΤΟΠΟΘΕΣΙΩΝ ΑΠΟΡΡΙΨΗΣ | 128 |
| ΕΙΚΟΝΑ 8.1. ΨΕΥΔΟΧΡΩΜΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ LANDSAT TM ΤΗΣ 22-5-1986. ΚΑΝΑΛΙΑ 7,4,1 (RGB)..... | 138 |
| ΕΙΚΟΝΑ 8.2. ΨΕΥΔΟΧΡΩΜΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ LANDSAT TM ΤΗΣ 29-6-1991. ΚΑΝΑΛΙΑ 7,4,1 (RGB)..... | 139 |
| ΕΙΚΟΝΑ 8.3. ΨΕΥΔΟΧΡΩΜΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ LANDSAT TM ΤΗΣ 18-4-1997. ΚΑΝΑΛΙΑ 7,4,1 (RGB)..... | 140 |
| ΕΙΚΟΝΑ 8.4. ΠΑΓΧΡΩΜΑΤΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ SPOT/ΤΡΟΧΙΑ ΤΗΣ 16-1-1993 | 141 |
| ΕΙΚΟΝΑ. 8.5. ΠΑΓΧΡΩΜΑΤΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ SPOT/ ΤΡΟΧΙΑ ΤΗΣ 4-2-1993..... | 142 |

| | |
|--|-----|
| ΕΙΚΟΝΑ 8.6. ΠΑΓΧΡΩΜΑΤΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ KVR-1000 ΤΗΣ 17-5-1992..... | 143 |
| ΕΙΚΟΝΑ 8.7. ΑΡΧΕΙΟ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΣΕ ΕΓΣΑ'87. | 145 |
| ΕΙΚΟΝΑ 8.8. ΑΠΟΣΠΑΣΜΑ ΤΟΥ ΦΥΛΟΥ ΧΑΡΤΗ ΨΑΧΝΑ ΤΗΣ ΓΥΣ ΓΕΝΙΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ 1/50.000 | 146 |
| ΕΙΚΟΝΑ 8.9. ΣΧΕΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΤΗΣ ΛΑΡΚΟ ΣΤΟ ΎΣΩΜΑ..... | 147 |
| ΕΙΚΟΝΑ 8.10. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΜΕ ΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΑΥΡΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ. Η ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗ ΕΙΚΟΝΑ ΣΤΑ ΔΕΞΙΑ ΕΙΝΑΙ ΟΠΤΙΚΑ ΛΙΓΟΤΕΡΟ ΦΩΤΕΙΝΗ ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΑΦΑΙΡΕΣΗΣ ΤΩΝ ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΤΙΜΩΝ ΑΠΟ ΤΗ ΣΚΕΔΑΣΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ. | 149 |
| ΕΙΚΟΝΑ 8.11. ΤΟ ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΕΠΙΛΟΓΗΣ, ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ, ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΕΠΙΓΕΙΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥΣ. ΣΤΗ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΟΠΩΣ ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΚΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΑΡΑΠΑΝΩ ΕΙΚΟΝΑ ΤΟ RMSx ΕΙΝΑΙ ΙΣΟ ΜΕ 0.63 PIXEL ΚΑΙ ΤΟ RMSy ΙΣΟΥΤΑΙ ΜΕ 0.76 ΤΟΥ PIXEL ΟΠΟΤΕ ΤΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ RMS ΚΥΜΑΙΝΕΤΑΙ ΣΕ ΑΠΟΔΕΚΤΑ ΕΠΙΠΕΔΑ. Η ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΕΓΙΝΕ ΜΕ ΦΘΙΝΟΝ ΣΦΑΛΜΑ. ΣΤΗΝ ΕΝΘΕΤΗ ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΞΙΑ ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΚΑΙ ΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ «ΣΤΡΟΦΗΣ» ΜΕ ΠΟΛΥΩΝΥΜΟ 1 ^{ΟΥ} ΒΑΘΜΟΥ..... | 153 |
| ΕΙΚΟΝΑ 8.12. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΕΠΙΓΕΙΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ GCPs ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗΣ ΔΙΟΡΘΩΣΗΣ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΤΟΥ LANDSAT 5. Η ΤΙΜΗ 1.17 ΑΝΑΦΕΡΕΤΑΙ ΣΤΟ ΜΕΓΙΣΤΟ ΥΠΟΛΟΙΠΟ (RESIDUAL) ΠΟΥ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΤΗΚΕ ΣΕ ΚΑΠΟΙΟ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΟ ΣΗΜΕΙΟ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΟΡΘΩΣΗ. ΠΟΛΥΩΝΥΜΟ 1 ^{ΟΥ} ΒΑΘΜΟΥ. | 154 |
| ΕΙΚΟΝΑ 8.13. ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗ ΕΙΚΟΝΑ LANDSAT ΤΟΥ 1986. Ο ΨΕΥΔΟΧΡΩΜΟΣ ΧΡΩΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΙΝΑΙ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟΣ ΤΟΥ CORINE LAND-COVER, ΚΑΝΑΛΙΑ 4,5,3 (RGB)..... | 155 |
| ΕΙΚΟΝΑ 8.14. ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗ ΕΙΚΟΝΑ LANDSAT ΤΟΥ 1991. Ο ΨΕΥΔΟΧΡΩΜΟΣ ΧΡΩΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΙΝΑΙ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟΣ ΤΟΥ CORINE LAND-COVER, ΚΑΝΑΛΙΑ 4,5,3 (RGB)..... | 156 |
| ΕΙΚΟΝΑ 8.15. ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗ ΕΙΚΟΝΑ LANDSAT ΤΟΥ 1997. Ο ΨΕΥΔΟΧΡΩΜΟΣ ΧΡΩΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΙΝΑΙ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟΣ ΤΟΥ CORINE LAND-COVER, ΚΑΝΑΛΙΑ 4,5,3 (RGB)..... | 156 |
| ΕΙΚΟΝΑ 8.16. ΦΥΛΟ ΧΑΡΤΗ ΨΑΧΝΑ ΤΗΣ ΓΥΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ 1/50.000 | 157 |
| ΕΙΚΟΝΑ.8.17. ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗ ΕΙΚΟΝΑ KVR-1000 | 158 |
| ΕΙΚΟΝΑ 8.18. ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗ ΕΙΚΟΝΑ KVR-1000. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΤΑΛΛΕΙΟΥ ΎΣΩΜΑΤΟΣ (ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ). | 159 |
| ΕΙΚΟΝΑ 8.19. ΑΝΑΔΟΜΗΜΕΝΗ ΕΙΚΟΝΑ KVR-1000 ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ RGB-HIS. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΤΑΛΛΕΙΟΥ ΤΟΥ ΠΑΓΩΝΤΑ..... | 162 |
| ΕΙΚΟΝΑ 8.20. ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΠΑΓΩΝΤΑ ΚΑΙ ΣΟΥΡΤΖΙ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΕΠΟΠΤΕΥΟΜΕΝΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ LANDSAT TM 1986..... | 163 |
| ΕΙΚΟΝΑ 8.21. ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΠΑΓΩΝΤΑ ΚΑΙ ΣΟΥΡΤΖΙ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΕΠΟΠΤΕΥΟΜΕΝΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ LANDSAT TM 1991..... | 164 |
| ΕΙΚΟΝΑ 8.22. ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΠΑΓΩΝΤΑ ΚΑΙ ΣΟΥΡΤΖΙ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΕΠΟΠΤΕΥΟΜΕΝΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ LANDSAT TM 1997..... | 164 |
| ΕΙΚΟΝΑ 8.23. ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΝΕΩΝ ΚΑΝΑΛΙΩΝ (1-5) ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΘΗΚΑΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ PCA ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΙΣ ΕΙΚΟΝΕΣ LANDSAT TM 1986 ΚΑΙ 1991. ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΕΝΤΟΠΙΖΟΝΤΑΙ ΣΤΑ ΚΑΝΑΛΙΑ 2 | |

| | |
|--|-----|
| ΕΩΣ 5 ΕΝΩ ΤΟ ΚΑΝΑΛΙ 1 ΟΥΣΙΑΣΤΙΚΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΝΕΙ ΟΛΗ ΤΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟ ΤΙΣ ΔΥΟ ΕΙΚΟΝΕΣ. | 170 |
| ΕΙΚΟΝΑ 8.24. ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΝΕΩΝ ΚΑΝΑΛΙΩΝ (1-5) ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΘΗΚΑΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ PCA ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΙΣ ΕΙΚΟΝΕΣ LANDSAT TM 1991 ΚΑΙ 1997. ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΕΝΤΟΠΙΖΟΝΤΑΙ ΣΤΑ ΚΑΝΑΛΙΑ 2 | |
| ΕΩΣ 5 ΕΝΩ ΤΟ ΚΑΝΑΛΙ 1 ΟΥΣΙΑΣΤΙΚΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΝΕΙ ΟΛΗ ΤΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟ ΤΙΣ ΔΥΟ ΕΙΚΟΝΕΣ. | 171 |
| ΕΙΚΟΝΑ 8.25. ΧΑΡΤΗΣ ΑΛΛΑΓΩΝ ΤΩΝ ΔΑΣΩΝ ΚΑΙ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΚΤΑΣΕΩΝ 1986-1991 | 175 |
| ΕΙΚΟΝΑ 8.26. ΧΑΡΤΗΣ ΑΛΛΑΓΩΝ ΤΗΣ ΤΕΧΝΗΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ 1986-1991 | 175 |
| ΕΙΚΟΝΑ 8.27. ΧΑΡΤΗΣ ΑΛΛΑΓΩΝ ΤΩΝ ΔΡΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΑΝΑΒΑΘΜΙΔΩΝ 1986-1991 | 176 |
| ΕΙΚΟΝΑ 8.28. ΧΑΡΤΗΣ ΑΛΛΑΓΩΝ ΤΩΝ ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΩΝ ΕΔΑΦΩΝ 1986-1991 | 176 |
| ΕΙΚΟΝΑ 8.29. ΧΑΡΤΗΣ ΑΛΛΑΓΩΝ ΤΩΝ ΣΚΙΑΖΟΜΕΝΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ 1986-1991 | 177 |
| ΕΙΚΟΝΑ 8.30. ΧΑΡΤΗΣ ΑΛΛΑΓΩΝ ΤΟΥ ΜΗΤΡΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ 1986-1991 | 177 |
| ΕΙΚΟΝΑ 8.31. ΧΑΡΤΗΣ ΑΛΛΑΓΩΝ ΤΩΝ ΔΑΣΩΝ ΚΑΙ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΚΤΑΣΕΩΝ 1991-1997 | 178 |
| ΕΙΚΟΝΑ 8.32. ΧΑΡΤΗΣ ΑΛΛΑΓΩΝ ΤΗΣ ΤΕΧΝΗΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ 1991-1997 | 178 |
| ΕΙΚΟΝΑ 8.33. ΧΑΡΤΗΣ ΑΛΛΑΓΩΝ ΤΩΝ ΔΡΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΑΝΑΒΑΘΜΙΔΩΝ 1991-1997 | 179 |
| ΕΙΚΟΝΑ 8.34. ΧΑΡΤΗΣ ΑΛΛΑΓΩΝ ΤΩΝ ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΩΝ ΕΔΑΦΩΝ 1991-1997 | 179 |
| ΕΙΚΟΝΑ 8.35. ΧΑΡΤΗΣ ΑΛΛΑΓΩΝ ΤΩΝ ΣΚΙΑΖΟΜΕΝΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ 1991-1997 | 180 |
| ΕΙΚΟΝΑ 8.36. ΧΑΡΤΗΣ ΑΛΛΑΓΩΝ ΤΟΥ ΜΗΤΡΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ 1991-1997 | 180 |
| ΕΙΚΟΝΑ 9.1. ΥΠΕΡΘΕΣΗ ΤΩΝ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΙΣΟΨΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΠΑΓΩΝΤΑ ΚΑΙ ΣΟΥΡΤΖΙ ΕΠΑΝΩ ΣΤΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ LANDSAT TM ΤΟΥ 1997, 741(RGB) | 186 |
| ΕΙΚΟΝΑ 9.2. ΥΠΕΡΘΕΣΗ ΤΩΝ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΙΣΟΨΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΠΑΓΩΝΤΑ ΚΑΙ ΣΟΥΡΤΖΙ ΕΠΑΝΩ ΣΤΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ LANDSAT TM ΤΟΥ 1997, 321(RGB) (ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ) | 187 |
| ΕΙΚΟΝΑ 9.3. ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΔΑΦΟΥΣ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΤΗΣ ΛΑΡΚΟ. Η ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ ΤΩΝ ΧΡΩΜΑΤΩΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΖΕΙ ΜΕ ΚΙΤΡΙΝΟ, ΠΡΑΣΙΝΟ ΤΑ ΧΑΜΗΛΑ ΥΨΟΜΕΤΡΑ ΚΟΝΤΑ ΣΤΟ ΥΨΟΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ ΕΝΩ ΟΙ ΣΚΟΥΡΟΧΡΩΜΕΣ ΑΠΟΧΡΩΣΕΙΣ (ΜΠΛΕ ΚΑΙ ΒΑΘΥ ΜΠΛΕ) ΜΕ ΑΠΟΚΟΡΥΦΩΣΗ ΤΟ ΜΟΒ, ΤΑ ΜΕΓΑΛΑ ΥΨΟΜΕΤΡΑ. | 188 |
| ΕΙΚΟΝΑ 9.4. ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΤΗΣ ΛΑΡΚΟ ΜΕ ΥΠΕΡΘΕΣΗ ΤΟ ΠΟΛΥΓΩΝΟ ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΤΟΥ ΠΑΓΩΝΤΑ ΚΑΙ ΣΟΥΡΤΖ (ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΒΟΡΑΣ → ΝΟΤΟΣ). | 189 |
| ΕΙΚΟΝΑ 9.5. ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΝΑΓΛΥΦΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΤΗΣ ΛΑΡΚΟ ΜΕ ΥΠΕΡΘΕΣΗ ΤΟ ΠΟΛΥΓΩΝΟ ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΤΟΥ ΠΑΓΩΝΤΑ ΚΑΙ ΣΟΥΡΤΖΙ. | 190 |
| ΕΙΚΟΝΑ 9.6. ΧΑΡΤΗΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΟΗΣ (FLOW DIRECTION MAP). ΤΑ ΑΝΟΙΧΤΑ ΧΡΩΜΑΤΑ ΔΕΙΧΝΟΥΝ ΚΟΙΛΟΤΗΤΕΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗΣ ΝΕΡΟΥ. ΤΟ ΚΟΚΚΙΝΟ ΠΟΛΥΓΩΝΟ ΕΙΝΑΙ ΟΙ ΘΕΣΕΙΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΠΑΓΩΝΤΑΣ ΚΑΙ ΣΟΥΡΤΖΙ. | 193 |
| ΕΙΚΟΝΑ 9.7. ΔΙΚΤΥΟ ΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ ΜΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΤΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ LANDSAT TM | 194 |
| ΕΙΚΟΝΑ 9.8. ΔΙΚΤΥΟ ΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ ΜΕ ΥΠΕΡΘΕΣΗ ΤΟ ΠΟΛΥΓΩΝΟ ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΠΑΓΩΝΤΑ ΚΑΙ | |

| | |
|---|-----|
| ΣΟΥΡΤΖΙ | 195 |
| ΕΙΚΟΝΑ 9.9. ΨΗΦΙΑΚΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΟΥ ΧΑΡΤΗΣ ΥΠΟΛΕΚΑΝΩΝ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΠΑΓΩΝΤΑ ΚΑΙ ΣΟΥΡΤΖΙ ΚΑΙ ΤΗΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ LANDSAT TM. | 196 |
| ΕΙΚΟΝΑ 9.10. ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΛΙΣΕΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΜΕ ΥΠΕΡΘΕΣΗ ΤΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ LANDSAT TM 1991 | 199 |
| ΕΙΚΟΝΑ 9.11. ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΚΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΜΕ ΥΠΕΡΘΕΣΗ ΤΟ ΠΟΛΥΓΩΝΟ ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΠΑΓΩΝΤΑΣ ΚΑΙ ΣΟΥΡΤΖΙ..... | 201 |
| ΕΙΚΟΝΑ 9.12. ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΤΑ ΟΡΙΑ ΤΩΝ ΔΗΜΩΝ (ΚΥΑΝΟ), ΤΟ ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ (ΚΑΦΕ) ΚΑΙ ΤΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ (ΜΠΛΕ) | 203 |
| ΕΙΚΟΝΑ 9.13. ΥΠΕΡΘΕΣΗ ΤΟΥ ΟΔΙΚΟΥ, ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΤΩΝ ΟΡΙΩΝ ΤΩΝ ΔΗΜΩΝ ΚΑΙ ΚΟΙΝΟΤΗΤΩΝ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΠΑΓΩΝΤΑ ΚΑΙ ΣΟΥΡΤΖΙ ΣΤΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ LANDSAT TM ΤΟΥ 1997..... | 204 |
| ΕΙΚΟΝΑ 9.14. ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΙΣ ΤΟΥ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΤΟΥ ΜΕΤΑΛΛΕΙΟΥ ΤΟΥ ΙΣΩΜΑΤΟΣ. | 205 |
| ΕΙΚΟΝΑ 9.15. ΥΠΕΡΘΕΣΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΔΩΝ ΕΞΟΡΥΞΗΣ ΚΑΙ ΖΩΝΩΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΤΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ KVR-1000 ΣΤΟ ΜΕΤΑΛΛΕΙΟΥ ΤΟΥ ΙΣΩΜΑΤΟΣ..... | 206 |
| ΕΙΚΟΝΑ 9.16. ΜΗ ΕΠΙΟΠΤΕΥΟΜΕΝΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΟΥ ΜΕΤΑΛΛΕΙΟΥ ΤΟΥ ΙΣΩΜΑΤΟΣ. | 207 |
| ΕΙΚΟΝΑ 9.17. ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΤΟ ΜΕΤΑΛΛΕΙΟΥ ΤΟΥ ΠΑΓΩΝΤΑ. | 208 |
| ΕΙΚΟΝΑ 9.18. ΚΑΛΥΨΗ CORINE LAND-COVER ΤΟΥ 1990 (ΑΝΑΛΥΣΗ 250Μ). | 209 |
| ΕΙΚΟΝΑ 9.19. ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ (ΚΛΑΣΕΙΣ) ΤΟΥ CORINE LAND-COVER ΤΟΥ 1990..... | 210 |
| ΕΙΚΟΝΑ 9.20. ΕΙΚΟΝΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΦΩΤΕΙΝΟΤΗΤΑΣ ΠΟΥ ΔΕΙΧΝΕΙ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ (DEM) ΠΟΥ ΕΞΗΧΘΗ ΑΠΟ ΤΟ ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΚΟ ΖΕΥΓΟΣ SPOT PAN ΤΟΥ 1993. Η ΑΥΞΑΝΟΜΕΝΗ ΦΩΤΕΙΝΟΤΗΤΑ ΔΕΙΧΝΕΙ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ. Η ΜΕΓΑΛΗ ΣΚΟΥΡΑ ΓΚΡΙΖΑ ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΣΤΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΔΕΙΧΝΕΙ ΤΗ ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΜΕΣΑ ΣΤΟ ΧΩΡΟ ΤΟΥ ΟΡΥΧΕΙΟΥ. | 212 |
| ΕΙΚΟΝΑ 9.21. Ένα υπόστυλο του γεωσυσχετισμένου χάρτη 1: 50,000 χρησιμοποιήθηκε για τη σύλλογη των σημείων γεωαναφοράς. Ο χάρτης είχε παραχθεί από τη ΓΥΣ (1990) και η ονομαστική του ακρίβεια είναι 25 μέτρα XY και 10 μέτρα Z. Η ασπρή περιοχή είναι η επιφανειακή εκτάση των ορυχείων της ΛΑΡΚΟ το 1990..... | 214 |
| ΕΙΚΟΝΑ 9.22. Οι θέσεις των υψομέτρων στο μοντέλο (DEM) αναφοράς της ΓΥΣ που χρησιμοποιήθηκαν στον υπολογισμό του σφάλματος RMS των υψομέτρων σε σύγκριση με το μοντέλο (DEM) που υπολογίστηκε από τις εικόνες SPOT. Το κόκκινο πολύγωνο απεικονίζει την εκτάση του ορυχείου του Παγώντα το 1990..... | 218 |
| ΕΙΚΟΝΑ 9.23. Χρωματικά κωδικοποιημένο ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο (DEM) της ίδιας περιοχής, του 1976..... | 219 |
| ΕΙΚΟΝΑ 10.1. Προγραμματισμός του μοντέλου σε JAVA SCRIPT/HTML..... | 223 |
| ΕΙΚΟΝΑ 10.2. Τυπική απεικόνιση της κεντρικής σελίδας του ΣΛΑ. Οι ελλειψοειδείς κύκλοι απεικονίζουν τα τέσσερα βασικά λειτουργικά πεδία του μοντέλου με τα οποία ο χρήστης | |

| | |
|---|-----|
| ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΕΙ ΔΙΑΔΡΑΣΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ. Η ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΕΙ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ ΜΕ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ < 90 ΜΟΙΡΕΣ ΓΙΑ ΤΟΠΟΘΕΣΙΕΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ (ΠΡΑΝΗ ΠΟΥ ΒΛΕΠΟΥΝ ΠΡΟΣ ΒΟΡΡΑ). ΤΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΑΠΟ ΤΟ GIS ΕΙΝΑΙ ΕΠΙΣΗΣ ΕΜΦΑΝΕΣ. | 229 |
| ΕΙΚΟΝΑ 10.3. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟ > 270 ΜΟΙΡΕΣ ΓΙΑ ΤΟΠΟΘΕΣΙΕΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ (ΠΡΑΝΗ ΠΟΥ ΒΛΕΠΟΥΝ ΠΡΟΣ ΒΟΡΡΑ). ΜΕΤΑΛΛΕΙΑ ΠΑΓΩΝΤΑΣ ΚΑΙ ΣΟΥΡΤΖΙ. | 233 |
| ΕΙΚΟΝΑ 10.4. Η «ΒΑΣΙΚΗ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ» ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΟΠΟΙΑ ΕΚΤΕΛΕΙΤΑΙ Ο ΕΛΑΧΙΣΤΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΝΑ ΒΕΛΤΙΩΣΕΙ ΤΗ ΔΥΝΑΤΗ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ (ΜΕΤΑΛΛΕΙΑ ΠΑΓΩΝΤΑΣ ΚΑΙ ΣΟΥΡΤΖΙ). | 236 |
| ΕΙΚΟΝΑ 10.5. ΣΕΝΑΡΙΟ 1 ^ο – ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΕΝΟΣ ΑΡΙΘΜΟΥ ΜΕΤΡΩΝ (ΜΕΤΑΛΛΕΙΑ ΠΑΓΩΝΤΑΣ ΚΑΙ ΣΟΥΡΤΖΙ). . | 237 |
| ΕΙΚΟΝΑ 10.6. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΒΑΣΙΚΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ (ΕΠΑΝΩ) ΚΑΙ ΤΥΧΑΙΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ (ΚΑΤΩ). ΜΕΤΑΛΛΕΙΑ ΠΑΓΩΝΤΑΣ ΚΑΙ ΣΟΥΡΤΖΙ. | 238 |
| ΕΙΚΟΝΑ 10.7. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ (ΜΕΤΑΛΛΕΙΑ ΠΑΓΩΝΤΑΣ ΚΑΙ ΣΟΥΡΤΖΙ). | 239 |
| ΕΙΚΟΝΑ 10.8. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟ > 270 ΜΟΙΡΕΣ ΓΙΑ ΤΟΠΟΘΕΣΙΕΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ (ΠΡΑΝΗ ΠΟΥ ΒΛΕΠΟΥΝ ΠΡΟΣ ΒΟΡΡΑ). ΜΕΤΑΛΛΕΙΟ ΤΟΥ ΙΣΩΜΑΤΟΣ. | 240 |
| ΕΙΚΟΝΑ 10.9. Η «ΒΑΣΙΚΗ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ» ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΟΠΟΙΑ ΕΚΤΕΛΕΙΤΑΙ Ο ΕΛΑΧΙΣΤΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΝΑ ΒΕΛΤΙΩΣΕΙ ΤΗ ΔΥΝΑΤΗ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ (ΜΕΤΑΛΛΕΙΟ ΙΣΩΜΑΤΟΣ). | 240 |
| ΕΙΚΟΝΑ 10.10. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ (ΜΕΤΑΛΛΕΙΑ ΙΣΩΜΑΤΟΣ). | 241 |

Πίνακες

Σελίδα

| | |
|---|-----|
| ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1..... | 79 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2..... | 82 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3. ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ SPOT– 4..... | 85 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 6.4..... | 88 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 6.5..... | 97 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 6.6..... | 100 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 6.7..... | 102 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 6.8..... | 102 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 7.1. ΔΗΜΟΙ ΚΑΙ ΚΟΙΝΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ Ν. ΕΥΒΟΙΑΣ..... | 122 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 8.1. ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΟΡΥΧΕΙΩΝ ΤΗΣ ΛΑΡΚΟ ΣΤΟ ΠΑΓΩΝΤΑ, ΣΤΟ ΣΟΥΡΤΖΙ ΚΑΙ ΊΣΩΜΑ ΕΥΒΟΙΑΣ..... | 136 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 8.2. ΑΠΟΣΠΑΣΜΑ ΤΗΣ ΜΗΤΡΑΣ ΛΑΘΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΕΠΟΠΤΕΥΟΜΕΝΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ LANDSAT ΤΟΥ 1986..... | 165 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 8.3. ΑΠΟΣΠΑΣΜΑ ΤΗΣ ΜΗΤΡΑΣ ΛΑΘΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΕΠΟΠΤΕΥΟΜΕΝΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ LANDSAT ΤΟΥ 1991..... | 165 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 8.4. ΑΠΟΣΠΑΣΜΑ ΤΗΣ ΜΗΤΡΑΣ ΛΑΘΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΕΠΟΠΤΕΥΟΜΕΝΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ LANDSAT ΤΟΥ 1997..... | 166 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 9.1..... | 212 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 9.2. ΑΝΑΦΟΡΑ GCP ΓΙΑ ΤΟ ΑΡΧΕΙΟ ΕΙΚΟΝΑΣ SP040293.PIX..... | 216 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 9.3. ΑΝΑΦΟΡΑ GCP ΓΙΑ ΤΟ ΑΡΧΕΙΟ ΕΙΚΟΝΑΣ SP160193.PIX..... | 217 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 9.4. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ (DEM) ΠΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗΚΕ ΑΠΟ ΤΙΣ ΕΙΚΟΝΕΣ SPOT..... | 220 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 10.1. ΚΟΣΤΟΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ (ΠΗΓΗ ΛΑΡΚΟ)..... | 225 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 10.2. ΣΤΟΧΟΙ, ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ Η ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥΣ (ΜΕΤΑΛΛΕΙΑ ΠΑΓΩΝΤΑΣ ΚΑΙ ΣΟΥΡΤΖΙ)..... | 230 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 10.3. ΣΧΕΣΗ ΤΩΝ ΤΥΠΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΟΥΣ..... | 231 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 11.1. ΑΛΛΑΓΕΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΣΤΑ ΟΡΥΧΕΙΑ ΠΑΓΩΝΤΑ ΚΑΙ ΣΟΥΡΤΖΙΟΥ..... | 245 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 11.2. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΜΕΤΑΞΥ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΛΑΤΟΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΚΑΙ GIS (ΠΗΓΕΣ : ΛΑΡΚΟ ΚΑΙ ENDESA)..... | 250 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 11.3..... | 253 |

Σχήματα

Σελίδα

| | |
|---|-----|
| ΣΧΗΜΑ 6.1..... | 112 |
| ΣΧΗΜΑ 8.1. ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ RGB ΣΕ HIS ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ | 161 |
| ΣΧΗΜΑ 8.2. ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ PCA. | 169 |
| ΣΧΗΜΑ 9.1. ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ | 182 |
| ΣΧΗΜΑ 9.2. ΕΠΙΠΕΔΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟΥ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ | 184 |
| ΣΧΗΜΑ 10.1..... | 224 |
| ΣΧΗΜΑ 10.2. ΔΕΝΔΡΟ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ ΤΩΝ ΟΡΥΧΕΙΩΝ ΤΗΣ ΛΑΡΚΟ. ΟΙ ΑΡΙΘΜΟΙ ΑΠΕΙΚΟΝΙΖΟΥΝ ΤΗ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ. | 227 |
| ΣΧΗΜΑ 10.3. ΤΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΣΤΑΔΙΑ ΡΟΗΣ ΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΩΝ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΕΞΟΡΥΞΕΩΝ. | 234 |
| ΣΧΗΜΑ 11.1 ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΑ ΟΡΥΧΕΙΑ ΤΟΥ ΠΑΓΩΝΤΑ ΚΑΙ ΣΟΥΡΤΖΙΟΥ. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ LANDSAT TM 1986, 1991 ΚΑΙ 1997 ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΔΟΚΙΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΕΠΟΠΤΕΥΟΜΕΝΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ | 245 |
| ΣΧΗΜΑ 11.2..... | 251 |

Συντομογραφίες

| | |
|-------|--|
| CNES | Centre National d' Etudes Spatiales |
| DATUM | Ελλειψοειδές |
| DBMS | Data Base Management System |
| DEM | Digital Elevation Model |
| DG | Directorate General |
| DN | Digital Number |
| DSS | Decision Support System |
| DTM | Digital Terrain Model |
| EU | European Commission |
| GCP | Ground Control Point |
| GIS | Geographic Information Systems |
| GPS | Global Positioning System |
| HRV | High Resolution Visible Sensors |
| LACIE | Large Crop Inventory Experiment |
| MSS | Multi Spectral Scanner |
| PCA | Principal Components Analysis |
| PCALC | Post Classification Automatic Logical Comparison |
| PCT | Principal Components Transformation |
| RMS | Root Mean Error |
| RBV | Return Beam Vidicon |
| RDBMS | Relational Data Base Management System |
| TM | Thematic Mapper |
| UTM | Universal Transverse Mercator projection |
| VMI | Vegetation Monitoring Instrument |
| WGS | World Geographic System |
| WRS | World Reference System |
| ΓΥΣ | ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΣΤΡΑΤΟΥ |
| ΕΓΣΑ | ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ |
| ΕΕ | ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ |
| ΚΥΑ | ΚΟΙΝΗ ΥΠΟΥΡΓΙΚΗ ΑΠΟΦΑΣΗ |
| ΣΛΑ | ΣΥΣΤΗΜΑ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ |
| ΣΓΠ | ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ |
| ΨΔΤΑ | ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΕΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΙΣ |

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Η αναγνωρισμένη ανάγκη προστασίας του φυσικού περιβάλλοντος και η διατήρηση της ισορροπίας των φυσικών οικοσυστημάτων αφενός και της αειφόρου, οικονομικής και κοινωνικής ανάπτυξης αφετέρου, συνδυασμένη με την απειλή της αλλαγής του κλίματος, καθίσταται τώρα περισσότερο από ποτέ άλλοτε αναγκαία και επιβάλλει την εφαρμογή μιας αποτελεσματικής προσέγγισης (ή μεθοδολογίας) που να εξασφαλίζει την αειφόρο διατήρηση και ανάπτυξη των φυσικών πόρων μετά από ορθολογική εκμετάλλευση πλουτοπαραγωγικών μη ανανεώσιμων πηγών (Harris, 1971).

Οι λατομικές και μεταλλευτικές δραστηριότητες στην Ευρώπη εκτιμάται ότι καλύπτουν μια περιοχή έκτασης όση είναι το 1/2 της Πελοποννήσου, περιλαμβάνοντας μεγάλα υπαίθρια ορυχεία λιγνίτη και βασικών ορυκτών-μεταλλευμάτων καθώς και αρκετές μικρότερες εκμεταλλεύσεις αδρανών υλικών (άμμου, χαλικιών), βιομηχανικών υλικών (ποτάσας, αργίλου) και οικοδομικών υλικών (γρανίτη, μάρμαρου).

Και η εθνική και η κοινοτική νομοθεσία απαιτούν την υποβολή στις αρμόδιες αρχές ενός σχεδίου αποκατάστασης πριν την έναρξη της εξόρυξης. Ουσιαστικά, όλα σχεδόν τα κράτη Μέλη και η Ευρωπαϊκή Ένωση έχουν εκδώσει οδηγίες, οι οποίες επιβάλλουν με την ολοκλήρωση των μεταλλευτικών δραστηριοτήτων, την αποκατάσταση των υπαίθριων εκμεταλλεύσεων στην αρχική τους κατάσταση. Ο σχεδιασμός και η υλοποίηση αυτού του έργου έχουν παραδοσιακά αναληφθεί από τοπογραφικές αποτυπώσεις, επικουρούμενες από αεροφωτογραφήσεις, εργασίες που απαιτούν μεγάλο αριθμό εργαζομένων και είναι χρονοβόρες, και συνεπώς δαπανηρές, ειδικά καθώς απαιτείται συνήθως τακτική ενημέρωση (Wadge και λοιποί 1993).

Οι εφαρμογές των Ψηφιακών Δορυφορικών Τηλεπισκοπικών Απεικονίσεων (ΨΔΤΑ) ή των ψηφιακών δορυφορικών δεδομένων στη βιομηχανία των λατομικών και μεταλλευτικών δραστηριοτήτων εντοπίζονται στην δημιουργία θεματικών χαρτών που χρησιμοποιούνται στις εργασίες πεδίου και στους χάρτες ανίχνευσης και εξερεύνησης νέων ορυκτών μεταλλευμάτων, τα οποία ενδέχεται να απεικονίζονται στην επιφάνεια του εδάφους ή διαφαίνονται έμμεσα σχετίζοντας την επιφανειακή και την υπόγεια γεωλογία (Elroi, 1995).

1.2 ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ - ΙΣΤΟΡΙΚΟ

Πολυάριθμες μελέτες έδειξαν ότι οι λατομικές και μεταλλευτικές έρευνες είναι μια από τις κύριες εφαρμογές της δορυφορικής τηλεπισκόπησης στη λατομική και μεταλλευτική βιομηχανία, γενικά, χωρίς να επεκτείνεται στα μεταγενέστερα στάδια της εκμετάλλευσης και της αποκατάστασης. Οι δραστηριότητες επιφανειακής εξόρυξης σε Ευρωπαϊκό επίπεδο υπολογίζεται ότι καταλαμβάνουν έκταση 8.000-10.000 τετραγωνικά χιλιόμετρα και εκτείνονται από μεγάλα επιφανειακά ορυχεία εξόρυξης άνθρακα και βασικών μετάλλων (Ganas και λοιποί, 2004) έως πολύ μικρότερα ορυχεία συμφυρμάτων (πέτρα, χαλίκι, και άμμος), βιομηχανικών ορυκτών (ποτάσα και άργιλος), καθώς και λατομείων οικοδομικών υλικών (γρανίτης και μάρμαρο). Είναι σαφές ότι ένας φορέας διαχείρισης και προγραμματισμού έργων εξόρυξης πρέπει να συμβιβάσει την στρατηγική της αποκατάστασης ενός τοπίου μέσα από μια πληθώρα οικονομικών, γεωτεχνικών και οικολογικών κριτηρίων λαμβάνοντας υπόψη τις χωρικές παραλλαγές (spatial variations) στο κλίμα, στον εδαφολογικό τύπο, στην χρήση γης, στις μεθόδους άρδευσης και στο κόστος ύδατος. Εντούτοις, ανεπάρκειες στη διαθεσιμότητα των κατάλληλων στοιχείων, η περιορισμένη πρόσβαση σε αναλυτικές πληροφορίες, μαζί με την έλλειψη κατάλληλων εργαλείων για την χωροταξική ανάλυση των απαιτήσεων, έχουν διαμορφώσει συνεχόμενους περιορισμούς στη συλλογή των σωστών εκτιμήσεων.

Ένας μεγάλος αριθμός μελετών έχει καταδείξει την απαίτηση της αποκατάστασης των τοποθεσιών των ορυχείων σε μια φαινομενική “προ-εξορύξεων” κατάσταση μετά την ολοκλήρωση των μεταλλευτικών δραστηριοτήτων (Spyropoulos και λοιποί, 2010). Οι περισσότερες μελέτες έδειξαν ότι διαθεσιμότητα αρκετών δορυφορικών συστημάτων τηλεπισκόπησης για την παρατήρηση της Γης επιτρέπει τη συλλογή περιβαλλοντικών δεδομένων, καθώς και δεδομένων που σχετίζονται με μεταλλευτικές δραστηριότητες, για χρήση στο σχεδιασμό και την ανάληψη εργασιών αποκατάστασης ορυχείων, σε συχνή και επωφελή βάση.

Αρκετές μελέτες έδειξαν ότι οι απαιτήσεις των μεταλλευτικών εταιρειών μπορούν να ικανοποιηθούν με χρήση πολυφασματικών δορυφορικών δεδομένων κλίμακας 1:50.000 και πανχρωματικών δορυφορικών δεδομένων κλίμακας 1:5.000, κλίμακες οι οποίες είναι εφικτές με τους σημερινούς αισθητήρες που βρίσκονται σε τροχιά (Llorens και λοιποί,

2000). Αναμένεται ότι με τα προηγμένα ραδιομετρικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά των αισθητήρων της νέας γενιάς των δορυφόρων (με υψηλή χωρική ευκρίνεια που φτάνει στα 50 εκατοστά) οι οποίοι ήδη βρίσκονται σε τροχιά, οι απαιτήσεις των χρηστών θα ικανοποιηθούν σχεδόν στην ολότητά τους.

Οι κύριες χρήσεις της τηλεπισκόπησης στις περιβαλλοντικές διαστάσεις της επιφανειακής εξόρυξης βρίσκονται στην οπτικοποίηση του ορυχείου μέσα στο τοπίο, στην κατάρτιση βάσεως γεωγραφικών δεδομένων χρήσεων γης στην περιοχή της προτεινόμενης μεταλλευτικής δραστηριότητας και στο σχεδιασμό της αποκατάστασης (Landsat Applications Notes, 1995). Ειδικότερα, η τηλεπισκόπηση μπορεί να παίζει σημαντικό και οικονομικά επωφελή ρόλο:

- στην παροχή ποσοτικών μετρήσεων παραγωγικότητας της γης, όπως είναι οι διαχρονικοί δείκτες βλάστησης (ο λόγος των καναλιών στην περιοχή των κοντινού υπέρυθρου και του κόκκινου), με χρήση καναλιών από πανομοιότυπους αισθητήρες.
- στην εκτίμηση της ποιότητας του αποκατεστημένου τοπίου με τεχνικές εικονικής πτήσεως πάνω από ψηφιακά μοντέλα αναγλύφου της περιοχής του ορυχείου και
- στη σύγκριση των μεγεθών και των σχημάτων των αγροτεμαχίων σε αποκατεστημένες περιοχές και σε περιοχές που δεν έχουν πραγματοποιηθεί εξορύξεις, με υπέρθεση ορθοαναγμένων εικόνων.

Καθώς τα δεδομένα αποκτώνται σε ψηφιακή μορφή, μπορούν εύκολα και γρήγορα να μετασχηματιστούν και να χρησιμοποιηθούν σε διάφορες μορφές πληροφορίας, συμπεριλαμβανομένων των θεματικών, υποδομής, και χαρτών εκμετάλλευσης, όπως είναι οι τρισδιάστατες απεικονίσεις της τοποθεσίας του ορυχείου σε διάφορες χρονικές στιγμές και από διάφορες οπτικές γωνίες για λόγους οπτικοποίησης.

Τα τελευταία χρόνια, η εξέλιξη της τεχνολογίας των υπολογιστών και λογισμικού, (computer hardware και software), η αυξανόμενη διαθεσιμότητα των γεωγεγραμμένων πληροφοριακών δεδομένων, συνδυασμένα με την ανάπτυξη του χωρικού λογισμικού ανάλυσης, δηλαδή τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ) και των συναφών τους συστημάτων λήψης αποφάσεων (ΣΛΑ – Decision Support Systems- DSS), καθώς και της δορυφορικής τηλεπισκόπησης, δίνουν πολλές ελπίδες για νέες προσεγγίσεις στην

αποκατάσταση των υπαίθριων εκμεταλλεύσεων, που σχετίζονται με τις λατομικές και μεταλλευτικές δραστηριότητες (Wagner, 1995). Η χρήση και εφαρμογή αυτών των τεχνικών, των σχετικών πλεονεκτημάτων και των περιορισμών τους, και της πιθανής εφαρμογής τους στο στρατηγικό σχεδιασμό πριν την έναρξη της επιφανειακής επέμβασης ή εξόρυξης, αποτελεί το αντικείμενο αυτής της διατριβής. Σε αυτό το πλαίσιο, η διδακτορική διατριβή έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να παρέχει ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων, βασισμένο σε δεδομένα της δορυφορικής τηλεπισκόπησης για τους υπεύθυνους στη λήψη αποφάσεων σχετικών με την εξόρυξη, με σκοπό την προστασία του τοπίου από τις ενοχλήσεις που προκαλούν οι εργασίες σε επιφανειακά λατομεία ή ορυχεία.

1.3 ΣΚΟΠΟΙ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Οι λατομικές-μεταλλευτικές δραστηριότητες σε μια περιοχή αποτελούν σημαντική πηγή παρέμβασης και διατάραξης του φυσικού περιβάλλοντος με άμεσες ή έμμεσες επιπτώσεις κοινωνικοοικονομικού περιεχομένου. Ένας μεγάλος αριθμός δορυφορικών συστημάτων παρέχει τη δυνατότητα συνοπτικών μετρήσεων περιβαλλοντικών παραμέτρων.

Ο στόχος αυτής της διατριβής είναι να διερευνηθεί ο βαθμός στον οποίο η Ψηφιακή Δορυφορική Τηλεπισκόπηση σε συνδυασμό με τα ΣΓΠ, αποτελούν χρήσιμα και αποτελεσματικά εργαλεία για το γενικό προγραμματισμό, παρακολούθηση, διαχείριση και έλεγχο της αποκατάστασης λατομικών και μεταλλευτικών δραστηριοτήτων. Οι τεχνικές της τηλεπισκόπησης που χρησιμοποιήθηκαν για τον εντοπισμό-καταγραφή και αποτύπωση σε χάρτες των πεδίων όπου γίνεται μεταλλευτική ή/και λατομική δραστηριότητα, έρχονται να αντικαταστήσουν τις μέχρι τώρα συμβατικές μεθόδους, που σχεδόν ήταν αδύνατο να συμβάλουν ουσιαστικά, στην παρακολούθηση και προστασία του περιβάλλοντος από τέτοιου είδους δραστηριότητες. Πιο αναλυτικά, στη διδακτορική αυτή διατριβή επιχειρείται να δημιουργηθεί ένα επικουρικό εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων για την αποκατάσταση μιας περιοχής εξόρυξης με βάση την αποτύπωση και χαρτογράφηση των διαχρονικών σταδίων της εξόρυξης και των γειτονικών χρήσεων γης, η οποία καταγράφεται μέσα από τη συνδυαστική χρήση μέσης ευκρίνειας πολυφασματικών δεδομένων Landsat TM, υψηλής ευκρίνειας παγχρωματικών δεδομένων KVR-1000 και στερεοσκοπικών δεδομένων μέσης ευκρίνειας SPOT. Η συνδυαστική αυτή χρήση επιτρέπει

το «πάντρεμα» των πλεονεκτημάτων για κάθε έναν από τους παραπάνω δορυφόρους σ' ένα ενιαίο σύστημα. Με άλλα λόγια σαν να είχαμε μια δορυφορική εικόνα που να έχει τα πολυφασματικά χαρακτηριστικά του Landsat TM, τα χωρικά χαρακτηριστικά του KVR-1000 και τα στερεοσκοπικά χαρακτηριστικά του SPOT. Έμφαση δόθηκε ώστε το σύστημα λήψης αποφάσεων να παρουσιάζει και να προσομοιώνει όλα τα απαραίτητα βήματα που πρέπει να ακολουθήσει ένας γεωπόνος-αρχιτέκτων τοπίου, τοπογράφος μηχανικός, μηχανικός περιβάλλοντος ή μηχανικός υπαίθριων εκμεταλλεύσεων κατά τη διάρκεια της σύνταξης μελετών αποκατάστασης λατομικών και μεταλλευτικών δραστηριοτήτων.

Η παρούσα διδακτορική διατριβή προσεγγίζει και αξιοποιεί τις πολλαπλές δυνατότητες των εξελιγμένων μεθόδων και τεχνικών και πιο συγκεκριμένα:

- α) της ψηφιακής επεξεργασίας των δεδομένων από δορυφορικές τηλεπισκοπικές απεικονίσεις μέσης και υψηλής ευκρίνειας (Landsat TM, SPOT και KVR-1000),
- β) των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ)
- γ) των συστημάτων επεξεργασίας εικόνας και των
- δ) των συστημάτων λήψης αποφάσεων.

Ο σύνθεση όλων των παραπάνω αποτελεί τη καινοτομία της έρευνας κατά την οποία, έχει αναπτυχθεί μια ολοκληρωμένη μεθοδολογία για την καταλληλότερη γεωδαιτική αναφορά και χαρτογράφηση των απαραίτητων πληροφοριών από κατάλληλες επιλεγμένες χρήσεις γης και φυσική κάλυψη με σκοπό την παρακολούθηση και επισκόπησή τους, με απώτερο στόχο την κατάστρωση διαχειριστικών σχεδίων δράσης και προγραμματισμού έργων υποδομής αναπτυξιακού χαρακτήρα και προστασίας. Τα αποτελέσματα της διδακτορικής διατριβής συνιστούν το χαρτογραφικό υπόβαθρο, το οποίο θα βοηθήσει στον αποτελεσματικότερο δυνατό σχεδιασμό αποκατάστασης της περιοχής εφαρμογής που είναι τα μεταλλεία της Λάρκο στον Παγώντα, στο Σούρτζι και το Ίσωμα Ευβοίας και την ένταξή τους σε σχέση με τα γειτονικά φυσικά διαθέσιμα της ευρύτερης περιοχής.

Πέραν των γνωστών κλασικών μεθόδων, η παρούσα διδακτορική διατριβή προσβλέπει, μεταξύ άλλων στην ουσιαστική και αποτελεσματική αξιοποίηση των σύγχρονων μεθόδων και τεχνικών στους τομείς της ψηφιακής επεξεργασίας δεδομένων και θεωρείται ότι εκτός από τα άμεσα αποτελέσματα τα οποία μπορεί να δώσει, θα συμβάλλει

και στην μεταφορά τεχνογνωσίας (know-how) αιχμής και στον εκσυγχρονισμό της υφιστάμενης μεθοδολογίας διαχείρισης των ευαίσθητων χρήσεων γης και την επιλογή περιοχών για τυχόν απαιτούμενη άμεση επέμβαση.

Η παρούσα διδακτορική μελέτη στοχεύει:

- Στην ανάπτυξη ενός ευέλικτου μηχανισμού εποπτείας και παρακολούθησης ανοιχτών ορυχείων συνδυάζοντας υψηλής ευκρίνειας δορυφορικά δεδομένα KVR-1000 και μέσης ευκρίνειας δορυφορικά δεδομένα όπως LANDSAT και SPOT και την αξιοποίηση της τεχνολογίας των ΣΓΠ.
- Να βοηθήσει όλους τους εμπλεκόμενους φορείς ώστε να εξασφαλίσουν το χαρτογραφικό υπόβαθρο εκείνο το οποίο θα υποστηρίξει την αποτελεσματικότερη λήψη αποφάσεων σχετικών με την εξόρυξη, με σκοπό την προστασία του τοπίου από τις ενοχλήσεις που προκαλούν οι εργασίες σε επιφανειακά ορυχεία.
- Να καταγράψει πλήρως και με ικανοποιητική ακρίβεια τις χρήσεις γης γύρω από τα μεταλλεία και να δώσει τη δυνατότητα παρακολούθησης της όλης δραστηριότητας με εποπτική εικόνα, έτσι ώστε να μπορεί να γίνει άμεση παρέμβαση όταν παραβιάζεται, σε βάρος του περιβάλλοντος, η υφιστάμενη νομοθεσία.
- Να προωθήσει ένα νέο υπολογιστικό περιβάλλον για τις αρμόδιες υπηρεσίες που έχουν ως κύριο στόχο την συνεχή και συστηματική εποπτεία και παρακολούθηση της αποκατάστασης υπαίθριων εκμεταλλεύσεων. Το αποτέλεσμα της έρευνας είναι ένα σύστημα καταγραφής-παρακολούθησης της λατομικής και μεταλλευτικής δραστηριότητας με γρήγορο και οικονομικό τρόπο, χάρις στη νέα τεχνολογία της δορυφορικής τηλεπισκόπησης, που σε καμία περίπτωση δεν θα το είχε με τη χρησιμοποίηση συμβατικών μεθόδων. Το σύστημα θα αποτελέσει ένα δυναμικό εργαλείο λήψης αποφάσεων για δράσεις και έργα ανά περιοχή προς όφελος της ανάπτυξης αλλά και της αποκατάστασης του περιβάλλοντος από τις λατομικές και μεταλλευτικές δραστηριότητες.
- Το περιβάλλον αυτό θα χαρακτηρίζεται ως:
 - Ασφαλές σε όλους τους τομείς προσφέροντας προειδοποίηση πριν από ενδεχομένως τυχαία διαγραφή δεδομένων.

- Φιλικό προς το χρήστη λόγω του σχεδιασμού του και την ανάπτυξή του σε περιβάλλον Microsoft Windows.
- Εύχρηστο διότι δεν απαιτεί υψηλού βαθμού ειδίκευση στη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών από τους χρήστες.
- Ολοκληρωμένο καλύπτοντας όλες τις δραστηριότητες σχετικά με την παρακολούθηση και εποπτεία των ευαίσθητων περιοχών, με τα ανάλογα έτοιμα συστήματα ή τις προσαρμογές που δύναται να γίνουν ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες χρησιμοποιώντας ως βάση τον παραμετρικό σχεδιασμό και την αρχιτεκτονική του συνόλου.
- Κατάλληλο για περαιτέρω ανάπτυξη της συγκεκριμένης εφαρμογής σύμφωνα με τις επιλογές του χρήστη.

Για την επίτευξη των στόχων και σκοπών που προαναφέρθηκαν οι επιμέρους εργασίες που πραγματοποιήθηκαν ήταν:

- Καταγραφή σχετικής ευρωπαϊκής και ελληνικής και διεθνούς νομοθεσίας.
- Χαρτογράφηση και αποτύπωση της φυσικής κάλυψης και των χρήσεων γης στις περιοχές εξόρυξης της περιοχής εφαρμογής και τις γειτονικές τους περιοχές χρησιμοποιώντας ψηφιακές τηλεπισκοπικές απεικονίσεις Landsat TM (Thematic Mapper), μέσης διακριτικής ικανότητας 28.5μ.
- Διαχρονική εξέλιξη των χρήσεων γης χρησιμοποιώντας ψηφιακές τηλεπισκοπικές απεικονίσεις Landsat TM.
- Χαρτογράφηση και αποτύπωση των πεδίων της εξόρυξης και εξαγωγή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της (πχ δρόμοι, κτιριακές μονάδες μέσα στα όρια του μεταλλίου, θέση και διαστάσεις των αναβαθμίδων εξόρυξης κλπ..) χρησιμοποιώντας ψηφιακές τηλεπισκοπικές απεικονίσεις KVR-1000 υψηλής διακριτικής ικανότητας (2 μέτρων).
- Παραγωγή και ανάπτυξη ψηφιακού μοντέλου εδάφους για την εξαγωγή χάρτη κλίσεων και προσανατολισμού, χρησίμου για σχετικές μελλοντικές μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων χρησιμοποιώντας στερεοσκοπικά δορυφορικά δεδομένα SPOT.

- Ανάπτυξη περιβάλλοντος ΣΓΠ όπου οι γεωγραφικές πληροφορίες δομούνται κατάλληλα επιτρέποντας την ολοκληρωμένη επεξεργασία και διαχείρισή τους (χρήσεις γης και φυσική κάλυψη προερχόμενη από την επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων) και άλλων πληροφοριών όπως υδρογραφικό, οδικό δίκτυο, ψηφιακό μοντέλο εδάφους, κλπ).
- Παραγωγή θεματικών χαρτών (thematic maps) με τη συνδυαστική χρήση δορυφορικών δεδομένων, με χρήση λογισμικών ψηφιακής επεξεργασίας απεικονίσεων και ΣΓΠ.
- Ανάπτυξη μοντέλου λήψης αποφάσεων για την εξαγωγή υψηλής ποιότητας χαρτών και σχεδίων προσομοίωσης των παρεμβάσεων από λατομικές και μεταλλευτικές δραστηριότητες.

1.4 ΔΟΜΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Η διατριβή αυτή στοχεύει στην εφαρμογή της δορυφορικής τηλεπισκόπησης και των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφορικών στην παρακολούθηση και αποκατάσταση των λατομικών και μεταλλευτικών δραστηριοτήτων. Ειδικότερα επικεντρώνεται στο περιοχή των μεταλλείων της Λάρκο στον Παγώντα, στο Σούρτζι και το Ίσωμα του Νομού Ευβοίας. Για να επιτευχθούν οι στόχοι που παρουσιάστηκαν στην ενότητα 1.3 η διατριβή αυτή έχει ακολουθήσει τη παρακάτω δομή.

Στα κεφάλαια 2, 3, 4 και 5 γίνεται μια ανασκόπηση της κυρίας βιβλιογραφίας σχετικά με την μεταλλευτική δραστηριότητα στην Ευρώπη και στην Ελλάδα, τη δορυφορική τηλεπισκόπηση και τα ΣΓΠ, την αποκατάσταση υπαίθριων εκμεταλλεύσεων χρησιμοποιώντας διάφορες πηγές όπως βιβλία, επιστημονικά άρθρα, στατιστικά δεδομένα και στοιχεία της περιοχής των μεταλλείων της ΛΑΡΚΟ στον Παγώντα, στο Σούρτζι και το Ίσωμα του νομού Ευβοίας καθώς και αντίστοιχων μεταλλείων στην Γαλικία της Ισπανίας. Στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζεται η μεθοδολογία της έρευνας, ενώ στο κεφάλαιο 7 περιγράφεται η περιοχή έρευνας. Στο κεφάλαιο 8 γίνεται ο καθορισμός των κριτηρίων της επιλογής των δορυφορικών δεδομένων, η συλλογή, προκαταρκτική αξιολόγηση και η προεπεξεργασία των δεδομένων. Στο ίδιο κεφάλαιο γίνεται η καταγραφή της υφιστάμενης κατάστασης της φυσικής κάλυψης με τη χρήση της δορυφορικής τηλεπισκόπησης και των διαχρονικών πολυφασματικών δορυφορικών δεδομένων στη περιοχή των μεταλλείων του

Παγώντα και του Σουρτζίου στο Νομό Ευβοίας. Στο κεφάλαιο 9 παρουσιάζεται η δημιουργία ενός Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών το οποίο δέχεται όλες τις χωρικές πληροφορίες από την ποσοτική και ποιοτική ανάλυση των δορυφορικών δεδομένων. Στο κεφάλαιο αυτό δημιουργείται και το ψηφιακό μοντέλο εδάφους από την ψηφιοποίηση των ισοϋψών καμπυλών από χάρτες κλίμακας 1/50.000 και διορθώνεται με το μοντέλο που προήλθε στερεοσκοπική επεξεργασία των δεδομένων SPOT.

Στο κεφάλαιο 10 δημιουργείται η μεθοδολογία για την ανάπτυξη ενός συστήματος λήψης αποφάσεων. Στη βασική μορφή το μοντέλο συνδέεται με το αντίστοιχο ΣΓΠ για την αξιοποίηση των πληροφοριών που προέρχονται από την επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων και την εκτίμηση της αποκατάστασης των μεταλλείων του Παγώντα και του Σουρτζίου μέσα από διαφορετικές στρατηγικές, σενάρια και περιορισμούς. Το μοντέλο αξιολογείται ως προς την αποτελεσματικότητά του με την εφαρμογή του στο μεταλλείο του Ισώματος.

Τέλος στο κεφάλαιο 11 αναλύονται τα συμπεράσματα της έρευνας και ακολουθούν προτάσεις για το μέλλον.

2. ΓΝΩΣΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

2.1 ΟΙ ΕΞΟΡΥΞΕΙΣ ΚΑΙ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Οι μεταλλευτικές επιχειρήσεις αντιμετωπίζονται με τον ίδιο τρόπο από τους περιβαλλοντολόγους και τους οικολόγους, δηλαδή ως πηγή προβλημάτων. Χωρίς αμφιβολία, οι επιχειρήσεις των παραγωγών ορυκτών και ανθράκων έχουν προκαλέσει περιβαλλοντικές καταστροφές διαφορετικής έκτασης στις περιοχές εξόρυξης, οι οποίες βρίσκονται συνήθως σε απομακρυσμένες περιοχές. Η ανησυχία εστιάζεται κυρίως στις φυσικές και αισθητικές επιπτώσεις των επιχειρήσεων τους στη γη, ως κύρια πλουτοπαραγωγική πηγή, κατά τη διάρκεια αλλά και μετά το πέρας των δραστηριοτήτων τους (Corbley, 1994).

Η μεταλλευτική δραστηριότητα είναι προσωρινός και μόνον νομέας της επιφάνειας της γης και, συνεπώς, έχει εφήμερο χαρακτήρα. Αν και τα ενεργά ορυχεία σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή δεν είναι τόσο διαδεδομένα όπως άλλες χρήσεις γης, μεταβάλλουν το τοπίο δραματικά και τείνουν να αφήνουν τα ίχνη της προηγούμενης χρήσης τους. Έτσι, τα αποτελέσματα της εγκατάλειψης ή της διακοπής λειτουργίας τους γίνονται ιδιαίτερος αισθητά στο ευρύ κοινό. Οι αντιπαραθέσεις μεταξύ ομάδων πολιτών, κυβερνητικές υπηρεσίες και μέλη της μεταλλευτικής βιομηχανίας είναι συνεχείς. Ο βαθμός των συγκρούσεων και η φύση τους συνήθως εξαρτάται από την τρέχουσα χρήση της γης και τις εκτιμώμενες συνέπειες των προτεινόμενων οχλήσεων (Hough, 1993). Οι συγκρούσεις επικεντρώνονται συνήθως στα εξής θέματα:

- καταστροφή του τοπίου
- αισθητική υποβάθμιση
- διατάραξη της ροής των υδάτων
- καταστροφή καλλιεργήσιμων και δασικών εκτάσεων
- καταστροφή εκτάσεων αναψυχής
- ηχορύπανση
- σκόνη
- διέλευση φορτηγών
- δημιουργία προσχώσεων και απογύμνωση του εδάφους
- καθίζηση του εδάφους
- δονήσεις από ανατινάξεις και εκρηκτικά κύματα

2.2 Η ΜΟΝΑΔΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΞΟΡΥΞΗΣ

Τα κοιτάσματα των ορυκτών βρίσκονται σε συγκεκριμένες τοποθεσίες, οπότε οι μεταλλευτικές δραστηριότητες, σε αντίθεση με αυτές των ανανεώσιμων πόρων, δεν υπόκεινται σε διαδικασίες ορθολογικής επιλογής ή προγραμματισμού. Εξ αιτίας των μοναδικών φυσικών συνθηκών που σχετίζονται με τη θέση τους, δεν υπάρχει θέμα επιλογής σχετικής με τα οικολογικά χαρακτηριστικά του τοπίου, τα βιολογικά και χημικά χαρακτηριστικά, τη σύνθεση του ορυκτού, ή του βαθμού καθαρότητας του μεταλλεύματος. Όλοι οι ανωτέρω παράγοντες επηρεάζουν την τελική σχεδίαση, τη θέση και το μέγεθος της επιχείρησης, καθώς και τα βασικά περιβαλλοντικά προβλήματα, καθώς και τις πιθανές επιπτώσεις μεγαλύτερης εμβέλειας στην ευρύτερη περιοχή.

Η φύση του οικολογικού τοπίου καθορίζει επίσης τις άλλες χρήσεις γης ή τις δραστηριότητες, που μπορεί να επηρεαστούν από την προτεινόμενη μεταλλευτική δραστηριότητα. Τα λατομεία και ορυχεία έχουν πεπερασμένο χρόνο ζωής. Εξ αιτίας της μη ανανεώσιμης φύσης των κοιτασμάτων, η μεταλλευτική δραστηριότητα αφορά στην προσωρινή χρήση γης, και μόνον. Όμως, σε κάποιες περιπτώσεις, τα αποθέματα των ορυκτών είναι τόσο μεγάλα, που οι μεταλλευτική δραστηριότητα μοιάζει να είναι αναπόσπαστο χαρακτηριστικό της ζωής των κατοίκων της περιοχής. Τα λατομεία και τα ορυχεία βρίσκονται συνήθως σε τοπία που είναι σχετικά άθικτα. Η αντίθεση μεταξύ του ίδιου του ορυχείου, του χώρου εναπόθεσης των απορριμμάτων του και του φυσικού ορεινού τοπίου είναι συνεχώς ορατή από όλους.

Σε πολλές περιπτώσεις, το αρχικό ορυχείο είναι ο λόγος ύπαρξης μιας πόλης ως παράγοντας ή μέσο οικονομικής στήριξης (Dekker, 1993). Συχνά, εξ αιτίας της απομονωμένης φύσεως αυτών των πόλεων των ορυχείων σε περιοχές που καλύπτονται από δάση, αναπτύσσονται εναλλακτικές δραστηριότητες, όπως η δασοπονία και η αναψυχή. Η σημαντικότερη διαφορά μεταξύ εναλλακτικών χρήσεων γης και εξόρυξης σε ένα απομονωμένο δάσος, άγονης τούνδρας ή ορεινών περιοχών είναι ότι οι περισσότερες εναλλακτικές χρήσεις γης σχετίζονται με ανανεώσιμους πόρους που θεωρούνται λιγότερο καταστροφικές από την εξόρυξη. Οι μεταλλευτικές δραστηριότητες σχετίζονται επίσης με τον άνθρακα, την άμμο, το χαλίκι, την πέτρα και τα κοιτάσματα ποτάσας, που βρίσκονται κάτω από εύφορες εκτάσεις ή που συνορεύουν με επεκτεινόμενα αστικά κέντρα. Σε αυτές τις περιπτώσεις, το πρόβλημα της κατανομής της γης περιπλέκεται ακόμα περισσότερο από πολιτικούς, κοινωνικούς, οικονομικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες.

Άλλη μια σημαντική διάσταση είναι η χρονική καθυστέρηση των ζωνών ανάπτυξης ορυχείων. Μετά την αρχική ανακάλυψη και αξιολόγηση ενός πιθανού ορυχείου, περνούν χρόνια ανάπτυξης και κατασκευών πριν αρχίσει η παραγωγή. Ο χρόνος αυτός μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις στον τελικό αντίκτυπο των μεταλλευτικών επιχειρήσεων στο περιβάλλον. Απρόβλεπτες φυσικές και χημικές αλλαγές στο περιβάλλον μπορεί να προκύψουν σε οιοδήποτε στάδιο της ζωής του ορυχείου ή πολύ αργότερα από το κλείσιμό του, παρά τα προληπτικά μέτρα (Corbley, 1994).

Στο πρόσφατο παρελθόν, η νομοθεσία σχετικά με τους νέους περιβαλλοντικούς ελέγχους και τις διαδικασίες διαχείρισης πόρων έχει οδηγήσει σε κάποιες σημαντικές αλλαγές στην παραδοσιακή προσέγγιση της μεταλλευτικής δραστηριότητας και της ανάπτυξης πόρων.

Στα νέα μέτρα ελέγχου περιλαμβάνονται τα ακόλουθα:

- εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων και δημόσιων διαβουλεύσεων
- όροι για την έγκριση της άδειας
- διαχείριση πόρων και σχέδια χρήσεων γης
- ανάκτηση και αποκατάσταση εκτάσεων

Αυτά τα μέτρα ελέγχου έχουν δημιουργήσει μια παρατεταμένη και πολύπλοκη διαδικασία ανάπτυξης στη ζωή ενός μελλοντικού λατομείου ή ορυχείου. Με μια διογκούμενη πρακτική που στοχεύει στην προσεκτική προετοιμασία τυποποιημένων προτάσεων για όλες τις μείζονες αναπτυξιακές δραστηριότητες, έχει διαδοθεί σε μεγάλο βαθμό η χρήση διαδικασιών εκτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων ως οδηγός στην ανάπτυξη και τη διαχείριση ενός νέου έργου. Δύο παράλληλες διαδικασίες λειτουργούν κατά τη διάρκεια του σταδίου ανάπτυξης και λειτουργίας ενός ορυχείου:

- ο η σχεδίαση, η χωροθέτηση και οι τεχνολογικές απαιτήσεις που σχετίζονται με τις λατομικές μεταλλευτικές δραστηριότητες, και
- ο ένα περιβαλλοντικό πρόγραμμα που καλύπτει όλους τους τρέχοντες κανονισμούς και πρότυπα για την ποιότητα του αέρα, του νερού και της γης.

2.3 ΟΡΥΧΕΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΚΤΑΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ – ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΝΟΝΙΣΜΩΝ ΧΩΡΩΝ ΤΗΣ ΕΕ

Η φύση της αποκατάστασης εκτάσεων γης στη Δανία σήμερα, δεν βασίζεται στην κατάκτηση νέων εκτάσεων από τη φύση, αλλά μάλλον την αποκατάσταση, σε μεγαλύτερο βαθμό, περιοχών όπου η ανθρωπότητα εκμεταλλευόταν ή κακομεταχειριζόταν τη φύση όπως, για παράδειγμα, με το άνοιγμα ορυγμάτων για την εξόρυξη λιγνίτη, ορυγμάτων για την εξόρυξη χαλκικών, τόπους εναπόθεσης στείρων υλικών κλπ. Ο ιδιοκτήτης ενός ορυχείου ή λατομείου θα πρέπει να ανταποκρίνεται στις προβλέψεις για την τελική βελτιωτική επεξεργασία εντός των χρονικών ορίων που έχουν τεθεί από το Νομαρχιακό Συμβούλιο. Αλλιώς, δικαστικές αποφάσεις θα τον υποχρεώσουν να πραγματοποιήσει τις εργασίες με δικά του έξοδα.

Στο Βέλγιο η μεταλλευτικής βιομηχανία θα πρέπει να υποβάλλει σχέδια για την αποκατάσταση της γης μετά το κλείσιμο του ορυχείου. Μια κοινή εγγύηση που κατατίθεται σε μια ειδική τράπεζα πριν αρχίσουν οι εργασίες διασφαλίζουν ότι οι εργασίες αποκατάστασης θα εκτελεστούν με ικανοποιητικό τρόπο. Αν η μεταλλευτική βιομηχανία αποτύχει στην υλοποίηση του σχεδίου αποκατάστασης, το Επαρχιακό Συμβούλιο μπορεί να κατάσχει την εγγύηση. Όταν κλείσουν τα ορυχεία, η γη πρέπει να χρησιμοποιηθεί για το σκοπό που έχει διατυπωθεί στα αρχικά σχέδια, συνεπώς οι συμβάσεις αδειοδότησης μπορεί να επιβάλλουν όρους για την αποκατάσταση του περιβάλλοντος στις εκτάσεις αυτές. Η έκταση στην οποία πραγματοποιείται η εξόρυξη πρέπει να είναι αρκετά πλατιά ώστε να περιλαμβάνει “εφεδρείες” γης: Η έκταση της περιοχής αυτή δεν μπορεί να μειωθεί ή να αναπτυχθεί με άλλους τρόπους μέχρι να ολοκληρωθεί η μεταλλευτική δραστηριότητα.

Στη Γαλλία έχουν γίνει ειδικές προσπάθειες για την αναδόμηση περιοχών εξόρυξης. Οι κύριοι αντικειμενικοί στόχοι είναι να διασφαλιστεί ότι οι υποδομές και οι δρόμοι σε μεταλλευτικές πόλεις θα επισκευαστούν και θα αναβαθμιστούν σύμφωνα με αποδεκτά πρότυπα πριν παραδοθούν στις τοπικές αρχές, και να βοηθηθεί η αναδημιουργία ενός αποδεκτού περιβάλλοντος και ενός ικανοποιητικού πλαισίου διαβίωσης στις υπ’ όψιν περιοχές (Συμβούλιο Παραγωγής και Εμπορίου). Μελέτες πραγματικών επιπτώσεων πρέπει να εκπονηθούν από τους ιδιοκτήτες της γης, αναλόγως της κλίμακας των έργων. Η εκ νέου ανάπτυξη της περιοχής του λατομείου για τη νέα χρήση (δάσος, αγροτική

καλλιέργεια) πρέπει να λαμβάνει υπ' όψιν τα βασικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος, και να εκτελείται όταν κλείνει το λατομείο. Προσφάτως, οικολογικές ομάδες έχουν αναπτύξει σημαντικές αντιδράσεις, σε λατομεία στα οποία η καταπάτηση ή άλλες χρήσεις γης και η επιβλαβής φύση τα αναγορεύουν σε ειδικές απειλές για το περιβάλλον. Τα ορυχεία ουρανίου έχουν χαρακτηριστεί ως επικίνδυνα εξ αιτίας της ρύπανσης και των επιβλαβών τους επιπτώσεων, καθώς και γιατί είναι στενά συνδεδεμένα με την ανάπτυξη της Γαλλικής βιομηχανίας πυρηνικής ενέργειας, η οποία υπάρχει ακόμα, παρά τις αντιξοότητες. Δυστυχώς, φαίνεται ότι ούτε η τρέχουσα νομοθεσία ούτε οι δημόσιες αρχές που έχουν την ευθύνη για την εφαρμογή της νομοθεσίας είναι σε θέση να παρέξουν ένα αποτελεσματικό σχέδιο αποκατάστασης. Τα ορυχεία και τα λατομεία στη Γαλλία υπόκεινται στο Υπουργείο Βιομηχανίας και όχι στο Υπουργείο Περιβάλλοντος, και το γεγονός αυτό εξηγεί κάπως τα προαναφερθέντα θέματα.

Τα προβλήματα της εξόρυξης στη Γερμανία διακατέχονται από τοπικές πολιτικές αντιπαραθέσεις. Η δημιουργία θέσεων εργασίας, οι δευτερεύουσες θετικές επιπτώσεις για το τοπικό εμπόριο και την ελαφρά βιομηχανία, καθώς και τα οικονομικά αποτελέσματα στο δημοτικό προϋπολογισμό είναι επιχειρήματα με τα οποία εύκολα αποκτώνται πολιτικές πλειοψηφίες στα τοπικά εκλεγμένα συμβούλια της περιοχής. Σε μια περιοχή που επιβαρύνεται βαρύτερα από τις αρνητικές επιπτώσεις της δομικής αλλαγής στην απασχόληση, αυτού του είδους οι υποσχέσεις είναι καλύτερα επιχειρήματα από την προστασία της φύσης και του περιβάλλοντος. Η μεταλλευτική νομοθεσία, η οποία έχει τροποποιηθεί αλλά είναι τελείως ανεπαρκής ως προς αυτή την άποψη, δεν προβλέπει για την επίσημη συμμετοχή των δήμων κατά την κατάρτιση των σχεδίων λειτουργίας ενός ορυχείου.

Στην Ιταλία, η εξόρυξη είναι η κύρια δραστηριότητα, που δημιουργεί την ανάγκη για μια περιβαλλοντική αποκατάσταση. Υπάρχουν αρκετοί περιφερειακοί νόμοι που απαιτούν από τους υποψήφιους κατόχους αδειών εξόρυξης και λατόμευσης να υποβάλλουν σχέδιο του έργου περιβαλλοντικής αποκατάστασης που θα απαιτηθεί. Οι πόλεις της Ουμβρίας, της Αιμιλίας- Ρωμανίας, και της Τυρρηνίας (Τοσκάνης) έχουν σχεδιάσει μέτρα για την θεραπεία και την αποκατάσταση των περιοχών από μεταλλευτικές δραστηριότητες. Πρόσφατη νομοθεσία περί Προστασίας καθιστά σαφές ότι οι κρατικές υπηρεσίες στις οποίες έχει ανατεθεί η ευθύνη της εκπόνησης σχεδίων ορυχείων ή λατομείων, απαιτείται να διασφαλίζουν ότι η εξορυκτική δραστηριότητα είναι έτσι διατεταγμένη ώστε να προκαλεί

τη μικρότερη δυνατή ζημία στο περιβάλλον και να διευκολύνει την αποκατάσταση των περιών ο λόγος περιοχών μόλις ολοκληρωθούν οι εργασίες. Ο υποψήφιος για μια άδεια εξόρυξης αναλαμβάνει την υποχρέωση να πληρώνει ετήσια “τέλη εκσκαφής” εν είδει φόρου εξόρυξης και ακολούθως να αποκαταστήσει τη γη σε κατάσταση στην οποία μπορεί να καθοριστεί η τελική της χρήση. Όλοι οι πρόσφατοι Νόμοι δεν καλύπτουν τις ανάγκες που έχουν ήδη δημιουργηθεί από εγκαταλελειμμένα ορυχεία. Η έλλειψη ξεκάθαρων κρατικών νόμων και κανονισμών που σχετίζεται με την έλλειψη οικονομικής υποστήριξης είχε ως αποτέλεσμα μια πολύ αργή, επίπονη και συχνά παράτυπη διαδικασία αποκατάστασης. Οι νόμοι περί ορυχείων αδιαφορούν τελείως για το περιβαλλοντικό όφελος και ασχολούνται αποκλειστικά με την ενίσχυση της παραγωγής και την προστασία των θέσεων εργασίας.

Η εξόρυξη στην Ολλανδία μπορεί να γίνει κατανοητή με τη διαφοροποίηση μεταξύ βαθιάς εξόρυξης και επιφανειακής ή υπαίθριας εκμετάλλευσης. Η τρέχουσα νομοθεσία διαφέρει για τους δύο τρόπους εξόρυξης, όπως και οι επιπτώσεις για το περιβάλλον, τη χλωρίδα και την πανίδα, καθώς και το τοπίο.

Το Ηνωμένο Βασίλειο έχει μια εξαιρετικά μακρά ιστορία μεταλλευτικών δραστηριοτήτων, οι περισσότερες των οποίων, ιδίως αυτών που χρονολογούνται από τον 19ο αιώνα, έχουν αφήσει μια τεράστια κληρονομιά λεηλατημένων εδαφών στις παλαιότερες περιοχές εξόρυξης. Ως αποτέλεσμα, ο σημερινός έλεγχος των μεταλλευτικών δραστηριοτήτων είναι σχολαστικός και εξονυχιστικός. Η νομοθεσία, που καλύπτει το σύνολο των θεμάτων που αφορούν την εξόρυξη και τη λατόμευση, είναι εκτενής. Καλύπτει θέματα ιδιοκτησίας γης και μεταλλευτικά δικαιώματα, υγείας και ασφαλείας κατά την εργασία, καθώς και θέματα ελέγχου του περιβάλλοντος στο μέτωπο της εξόρυξης. Οι τρόποι διαχείρισης περιλαμβάνουν την έννοια του μετώπου της εξόρυξης τη σταδιακή αποκατάσταση, τον καθορισμό του τύπου και της μεθόδου επενδύσεως-σφραγίσματος που θα χρησιμοποιηθεί καθώς και την τελική χρήση της αποκατεστημένης περιοχής. Όπου αυτό είναι δυνατόν, η γη θα πρέπει να αποδίδεται στην παραγωγική γεωργία, όμως υπάρχουν και δυνατότητες για χρήσεις αναψυχής και προστασίας της φύσης σε εκτάσεις όπου υπήρχαν μέτωπα εξόρυξης. Τα προγράμματα αποκατάστασης παραδοσιακά προσαρμόζονται προς την κατεύθυνση της βελτίωσης του περιβάλλοντος, ώστε να κάνουν μια περιοχή να φαίνεται ελκυστική στη βιομηχανία. Οι περισσότεροι δημόσιοι φορείς έχουν επιδιώξει να επιστρέψουν τις εκτάσεις των ορυχείων σε κάποια “πράσινη χρήση” -

αρχικά αυτό σημαίνει γεωργική χρήση, δημόσια ανοικτή έκταση ή χρήση για κάποιες ευκολίες. Στις περιοχές των ανθρακωρυχείων, όπως το Δυτικό Γιόρκσαϊρ, ο αντικειμενικός στόχος είναι η βελτίωση της εικόνας του περιβάλλοντος. Η στατιστική έχει δείξει ότι το πρόβλημα της εγκαταλελειμμένης γης απέχει πολύ από την επίλυσή του, οι πραγματικές ευκαιρίες να ανταποκριθούν τα εγκαταλελειμμένα ορυχεία στις απαιτήσεις των νέων και αναπτυσσόμενων βιομηχανιών είναι περιορισμένες όπως και η έμφαση που προσδίδεται από κάποιες κυβερνητικές δραστηριότητες (Wagner, 1995). Παρ' όλα αυτά, πολλές αδυναμίες παραμένουν στο σύστημα σχεδιασμού των εξορύξεων, μεταξύ των οποίων το σημαντικό θέμα του συντονισμού της απόρριψης των στείων υλικών.

Σε κράτη-μέλη, όπως η Ελλάδα, δεν υπάρχουν ξεκάθαρες πολιτικές που να καλύπτουν τις δραστηριότητες πριν και μετά την εκμετάλλευση. Οι διατάξεις της τρέχουσας νομοθεσίας (άρθρο 13 του Ν. 335/2005) είναι εξαιρετικά περίπλοκες, παράτυπες, ή ανίκανες να επιλύσουν προβλήματα που σχετίζονται με τον προγραμματισμό μετώπων επιφανειακής εξόρυξης και την μετέπειτα αποκατάστασή τους. Επιπλέον η υφιστάμενη ελληνική νομοθεσία περιλαμβάνει:

Τη νομοθεσία διαχείρισης επικίνδυνων αποβλήτων :

- Γενικό πλαίσιο (ΚΥΑ 13588/725/2006)
- Τεχνικές προδιαγραφές (ΚΥΑ 24944/1159/2006)
- Εθνικός Σχεδιασμός (ΚΥΑ 8668/2007)

Τη νομοθεσία διαχείρισης στερεών (μη επικίνδυνων) αποβλήτων :

- Γενικό πλαίσιο (ΚΥΑ 50910/2727/2003)
- Τεχνικές προδιαγραφές (ΚΥΑ 114218/1997)

Τη νομοθεσία υγειονομικής ταφής αποβλήτων (ΚΥΑ 29407/3508/2002)

Τη νομοθεσία προστασίας και διαχείρισης υπόγειων υδάτων :

- ΚΥΑ 26857/553/1988

Τη νομοθεσία εναρμόνισης με οδηγία – πλαίσιο 2000/60/ΕΚ:

- Νόμος 3199/2003
- Π.Δ. 51/2007

Τη νομοθεσία περιβαλλοντικής αδειοδότησης δραστηριοτήτων:

- ΚΥΑ 15393/2332/2002
- ΚΥΑ 11014/703/Φ104/200

Η Επιτροπή της Ευρωπαϊκής Ένωσης, λαμβάνοντας υπ' όψιν την:

1. οδηγία 1999/31/ΕΚ (υγειονομική ταφή αποβλήτων)
2. οδηγία 2000/60/ΕΚ (πλαίσιο δράσης στον τομέα πολιτικής των υδάτων)
3. οδηγία 2006/18/ΕΚ (προστασία υπόγειων υδάτων)
4. οδηγία 2004/35/ΕΚ (περιβαλλοντική ευθύνη)
5. την πρόταση της Επιτροπής, (ΕΕ αριθ. C 169 της 9. 7. 1980)
6. τη γνώμη του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, (ΕΕ αριθ. C 66 της 15.3.1982)
7. τη γνώμη της Οικονομικής και Κοινωνικής Επιτροπής, (ΕΕ αριθ. C 185 της 27.7.1981)
8. το πρόγραμμα δράσης του 1973 στον τομέα του περιβάλλοντος, (ΕΕ αριθ. C 112 της 20.12.1973)
9. το πρόγραμμα δράσης του 1977 στον τομέα του περιβάλλοντος, (ΕΕ αριθ. C 139 της 13.6.1977)
10. το πρόγραμμα δράσης του 1983 στον τομέα του περιβάλλοντος, (ΕΕ αριθ. C 46 της 17.2.1983)

υιοθέτησε την οδηγία 2006/21/ΕΚ (διαχείριση εξορυκτικών αποβλήτων) του Συμβουλίου, για την εκτίμηση των επιπτώσεων ορισμένων σχεδίων δημοσίων και ιδιωτικών έργων στο περιβάλλον. Σύμφωνα με αυτή την οδηγία, έργα όπως:

- η εξόρυξη ορυκτών, εκτός μεταλλευμάτων και ορυκτών για την παραγωγή ενέργειας, όπως είναι το μάρμαρο, η άμμος, το χαλίκι, ο σχιστόλιθος, τα φωσφορικά άλατα και η ποτάσα,
- η εξόρυξη ορυκτών, εκτός μεταλλευμάτων και ορυκτών για την παραγωγή ενέργειας με επιφανειακή εξόρυξη,
- η εξόρυξη άνθρακα και λιγνίτη με υπόγεια και επιφανειακή εξόρυξη,
- η εξόρυξη μεταλλευμάτων
- οι επιφανειακές βιομηχανικές εγκαταστάσεις για την μετάλλευση άνθρακα, πετρελαίου, φυσικού αερίου και μεταλλευμάτων, καθώς και ασφαλωδών σχιστόλιθων

πρέπει να υπόκεινται σε εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Τα κράτη-μέλη πρέπει να λάβουν τα αναγκαία μέτρα ώστε να διασφαλίσουν ότι ο κύριος του έργου θα παρεκεί, σε κατάλληλη μορφή, τις πληροφορίες που καθορίζονται στο παράρτημα III αυτής της Οδηγίας του Συμβουλίου. Οι πληροφορίες αυτές που θα παρέχονται από τον κύριο του έργου, θα πρέπει να περιλαμβάνουν τουλάχιστον τα εξής:

- a) περιγραφή του έργου η οποία θα πρέπει να περιλαμβάνει πληροφορίες ως προς τη θέση, το σχεδιασμό και το μέγεθός του,
- b) περιγραφή των μέτρων που μελετώνται προκειμένου να αποφευχθούν, να μειωθούν και, αν είναι δυνατό, να αντιμετωπισθούν οι σημαντικότερες δυσμενείς επιπτώσεις, και
- c) τα στοιχεία που απαιτούνται για την εξακρίβωση και την εκτίμηση των σημαντικών επιπτώσεων που το σχέδιο προβλέπεται ότι θα έχει στο περιβάλλον.

2.4 ΑΕΙΦΟΡΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗ

Η αειφόρος ανάπτυξη ως όρος δηλώνει μια πολιτική για συνεχή οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη που δεν συνεπάγεται την καταστροφή του περιβάλλοντος και των φυσικών πόρων, αλλά αντιθέτως, εγγυάται την ορθολογική βιωσιμότητά τους. Στην Έκθεση της Παγκόσμιας Επιτροπής για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη (Επιτροπή Brundland, 1987), η Αειφόρος Ανάπτυξη ορίζεται ως «η ανάπτυξη, η οποία καλύπτει τις ανάγκες του παρόντος χωρίς να διακυβεύεται η ικανότητα των μελλοντικών γενεών να καλύψουν τις δικές τους ανάγκες»

Στη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών οι επιστημονικές έρευνες πρόσφεραν άφθονα δεδομένα που δείχνουν την αυξανόμενη υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Οι διαπιστώσεις αυτές συνετέλεσαν στη βαθμιαία συνειδητοποίηση ότι η οικονομική ανάπτυξη έχει κάποια όρια που προσδιορίζονται από το πεπερασμένο περιβάλλον του πλανήτη. Η ευρέως διαδεδομένη άποψη ότι τα πάντα είναι δυνατά αν διαθέτει κανείς "αρκετή ενέργεια και τεχνολογία" άρχισε να αμφισβητείται, όταν διαπιστώθηκε η περιορισμένη αντοχή των φυσικών κύκλων, αλλά και οι αστάθμητοι κίνδυνοι από τις παρενέργειες της τεχνολογίας. Η ύπαρξη ορίων στη μεγέθυνση της ανθρώπινης δραστηριότητας υποστηρίχτηκε με αντικειμενικά επιχειρήματα σχετικά με τον παγκόσμιο πληθυσμό, τους φυσικούς πόρους, τους δείκτες ρύπανσης κλπ. από την περίφημη μελέτη της Λέσχης της Ρώμης, το 1971. Η πρώτη διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για το

περιβάλλον στη Στοκχόλμη το 1972 υπήρξε η αφετηρία μιας σειράς δραστηριοτήτων με στόχο την προστασία του παγκόσμιου περιβάλλοντος. Ωστόσο, οι περιβαλλοντικές πολιτικές των διαφόρων χωρών είναι πολύ άνισες και διαφορετικές και έχουν στενή σχέση με το επίπεδο οικονομικής ανάπτυξης και περιβαλλοντικής συνειδητοποίησης (Χατζημπίρος, 2003).

Θεμέλιο της αειφόρου ανάπτυξης αποτελεί η ορθολογική διαχείριση των φυσικών πόρων, με στόχο την κάλυψη των ανθρώπινων αναγκών, τόσο στο παρόν όσο και στο μέλλον. Αυτό προϋποθέτει την κυκλική κίνηση των προϊόντων των φυσικών πόρων, είτε στα πλαίσια κύκλων που υπάρχουν στη φύση (ανανεώσιμοι φυσικοί πόροι) είτε με τη δημιουργία τεχνητών κύκλων (ανακυκλώσιμοι φυσικοί πόροι).

Οι τάσεις της διεθνούς κοινότητας που διαμορφώνονται οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η ανάπτυξη για να καταλήξει να είναι αειφόρος χρειάζεται πολύ προσοχή και μεγάλη προσπάθεια. Η συνεχής αύξηση ζήτησης των προϊόντων εξόρυξης, η συνεχής αύξηση της κατανάλωσης γενικά, οι συνεχώς αυξανόμενες πηγές ρύπανσης, οι παρατηρούμενες κλιματικές αλλαγές είναι μόνο μερικοί από τους παράγοντες που πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη σε κάθε προσπάθεια χάραξης πολιτικής προστασίας και αποκατάστασης φυσικών πόρων. Γι αυτό και ο όρος “Διαχείριση”, όταν αναφέρεται στην αποκατάσταση φυσικών πόρων, κατά κανόνα συνοδεύεται από επιθετικούς προσδιορισμούς του τύπου “ορθολογική”, “βέλτιστη”, αειφόρος” κ.λ.π. ανάλογα με τον “Διαχειριστή” και τη χρονική περίοδο, δηλαδή ανάλογα με το κριτήριο που δεσπόζει κατά τη διαχείριση (Καλλέργης, 2000). Ως αποτέλεσμα ένας συγκερασμός όλων των παραπάνω επιθετικών προσδιορισμών εισάγεται το 1986 από τον Driscoll με τον όρο “σοφή χρήση” (“wise use”).

2.5 ΟΡΥΧΕΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ – ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ

Οργανισμοί επιφανειακής εξόρυξης παρέχουν τα περισσότερα από τα βιομηχανικά ορυκτά του κόσμου, όπως επίσης μέταλλα και ορυκτά από τα οποία παράγεται ενέργεια. Η ανησυχία του κοινού για το περιβάλλον, σε συνδυασμό με τους Κρατικούς Θεσμικούς κανονισμούς επιβάλλουν περιορισμούς στη βιομηχανία επιφανειακής εξόρυξης. Σε πολλά Ευρωπαϊκά κράτη πρέπει να εγκριθούν τα σχέδια από τοπικές και κρατικές αρχές πριν αρχίσει η εξόρυξη. Η εκμετάλλευση θα πρέπει να επιδεικνύει μια περιβαλλοντική

επίγνωση και μια προθυμία να προκαλέσουν όσο το δυνατόν μικρότερη αναστάτωση στην επιφάνεια της γης. Μόλις ολοκληρωθεί η εξόρυξη, απαιτείται συνήθως από τους επιχειρηματίες να επαναφέρουν τη γη στην αρχική της κατάσταση και χρήση. Περιβαλλοντικές πιέσεις έχουν υποχρεώσει τις μεταλλευτικές εταιρείες να υιοθετήσουν μια περισσότερο ολιστική θεώρηση των επιχειρηματικών τους σχεδίων, με την περιβαλλοντική ομάδα να παίζει κάποιο ρόλο σε όλες, πρακτικά, τις φάσεις του έργου (Wagner, 1995). Για παράδειγμα, θα πρέπει συχνά να διατυπωθεί μια περιβαλλοντική βάση αναφοράς πριν ακόμα διαταραχθεί το έδαφος και αναμένεται να λειτουργήσει ως οδηγός του προγράμματος αποκατάστασης όταν σταματήσει η λειτουργία του ορυχείου. Αυτό έχει προσδώσει αυξημένη βαρύτητα στην επίτευξη συνέχειας στη διαχείριση δεδομένων γεωπληροφορικής.

Η λατομική και μεταλλευτική βιομηχανία έχει μέχρι σήμερα διερευνητικές μόνον επαφές με τη βιομηχανία διαχείρισης δεδομένων με χρήση υπολογιστικών συστημάτων (παρόχους/ ειδικούς δορυφορικών δεδομένων / συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών – GIS). Μέχρι τώρα, διαφορετικές ομάδες με διακριτές ευθύνες διαχειρίζονται τα έργα εξορύξεων, με την κάθε ομάδα να περνάει το έργο στην επόμενη, όταν ολοκληρωνόταν η αποστολή της (Spencer, 1995). Για παράδειγμα, η ομάδα εξερεύνησης περνούσε το έργο στην ομάδα ανάπτυξης όταν επιβεβαιωνόταν η «φλέβα» του κοιτάσματος. Η ομάδα ανάπτυξης περνούσε το έργο στην ομάδα εκμετάλλευσης μόλις ολοκληρωνόταν η προσπάθεια απόκτησης των αδειών και της κατασκευής. Και η ομάδα εκμετάλλευσης περνούσε το έργο στην ομάδα αποκατάστασης όταν το σώμα του κοιτάσματος δεν ήταν πλέον εμπορικά εκμεταλλεύσιμο. Κάθε ομάδα είχε συγκεκριμένους στόχους και ευθύνες και συγκεκριμένους προϋπολογισμούς με τους οποίους έπρεπε να τους πετύχουν. Προστίθεται δε το γεγονός ότι μια μεταλλευτική επιχείρηση μπορεί να καταστεί ασύμφορη και να διακοπεί η λειτουργία της, ως αποτέλεσμα των απρόβλεπτων τροπών των αγορών διαπραγματεύσιμων αγαθών.

Η Διαστημική Τεχνολογία μπορεί να είναι ένα διαχειριστικό εργαλείο πληροφοριών για:

- I. μεταλλευτικές επιχειρήσεις (στα στάδια σχεδιασμού και αποκατάστασης) και
- II. για τοπικές και κρατικές αρχές στα πλαίσια της διατήρησης των φυσικών πόρων και της βελτίωσης των τοπικών κοινωνικο-οικονομικών δραστηριοτήτων.

Η Διαστημική Τεχνολογία έχει προκαλέσει τεράστια αλλαγή στη δυνατότητα του ανθρώπου να παρακολουθεί και να καταλαβαίνει τη γη, με χρήση αισθητήρων που συλλέγουν δεδομένα από τα οποία η εξερεύνηση και η ανάπτυξη σε πλανητικό επίπεδο έχει ωφεληθεί κατά τη διάρκεια των 40 τελευταίων ετών (Prelat, 1993). Η τηλεπισκόπηση είναι η συλλογή και η ερμηνεία δεδομένων οιαδήποτε φυσικού χαρακτηριστικού, χωρίς φυσική επαφή. Η πληροφορία συλλέγεται από προηγμένα συστήματα αισθητήρων, που μετρούν και καταγράφουν την ενέργεια σε διάφορα μήκη κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Οι αισθητήρες, εγκατεστημένοι σε δορυφόρους που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη γη, μεταδίδουν την πληροφορία στη γη, όπου καταγράφεται μόνιμα για μελλοντική χρήση. Τα δεδομένα που έχουν συλλεγεί από απόσταση υφίστανται επεξεργασία από κατάλληλο σύστημα ηλεκτρονικού υπολογιστή ώστε να παράγουν “ψηφιακές φωτογραφίες” ή ψευδοχρωματικές εικόνες (false color composites). Η παραγόμενη πληροφορία χρησιμοποιείται στην αναζήτηση και την εκμετάλλευση πόρων και περιλαμβάνει τη δημιουργία χαρτών αναφοράς, τον εντοπισμό εκτάσεων προς εξερεύνηση, σχεδιασμό επιχειρήσεων και δράσεων, τον καθορισμό εκτάσεων προς εξερεύνηση και την οριοθέτηση περιβαλλοντικά ευαίσθητων περιοχών, οι οποίες απαιτούν επί πλέον επιτήρηση για την παρακολούθηση τυχόν επιπτώσεων από την εξερεύνηση. Η τηλεπισκόπηση/GIS είναι μια τεχνολογία, που συνήθως σχετίζεται με την μακροχρόνια διαχείριση δεδομένων γεωπληροφορικής και επομένως έχει υπάρξει περιορισμένο ενδιαφέρον ή δυνατότητα κερδοφορίας από οιαδήποτε των προαναφερθεισών διακριτών ομάδων που σχετίζονται με μια μεταλλευτική επιχείρηση. Αυτό αληθεύει ιδιαίτερος καθώς κάθε ομάδα είναι απρόθυμη να πληρώσει για κεφαλαιουχικές βελτιώσεις, που θα ωφελούσαν άλλες ομάδες αλλά που δεν θα χρηματοδοτηθούν και δεν θα επιδοτηθούν.

2.6 ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ – ΈΝΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΚΑΤΑ ΤΟ ΣΤΑΔΙΟ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΕΝΟΣ ΜΕΤΑΛΛΕΙΟΥ

Στο στάδιο απόκτησης αδειάς για μια νέα μεταλλευτική επιχείρηση ή για επέκταση μιας τέτοιας επιχείρησης, είναι συχνά χρήσιμο να μπορείς να σχηματίσεις μια εικόνα της τοποθεσίας του ορυχείου στο τοπίο (Connors, 1995). Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με ειδικά κατασκευασμένους χάρτες ή αεροφωτογραφίες, αλλά στην περίπτωση μεγαλύτερων ορυχείων γίνεται συνήθως με χειροποίητα τρισδιάστατα μοντέλα ή χειροποίητα προοπτικά

σχέδια. Η προετοιμασία τους είναι δαπανηρή και χρονοβόρα, αλλά επιτρέπουν σε αυτούς που ετοιμάζουν τα επιχειρησιακά σχέδια να παρατηρούν το προτεινόμενο αναπτυξιακό έργο από διάφορα σημεία θεώρησης και είναι εύκολα κατανοητά από μη ειδικούς που μπορεί να εμπλέκονται στη διαδικασία λήψεως αποφάσεων. Εκτός από το κόστος, ένα σημαντικό μειονέκτημα των περισσότερων τρισδιάστατων μοντέλων και προοπτικών σχεδίων είναι η απουσία ευελιξίας. Δεν επιτρέπουν τον πειραματισμό με διαφορετικά επιχειρησιακά σχέδια (σύνθεση πληροφοριών) και ενώ τα μοντέλα επιτρέπουν τη θεώρηση από όλες τις κατευθύνσεις, τα προοπτικά σχέδια είναι αμετάβλητα (π.χ αλλαγή κλίμακας).

Ο συνδυασμός δορυφορικών εικόνων με ψηφιακά μοντέλα αναγλύφου (Digital Terrain Model – DTM) ή ψηφιακών μοντέλων εδάφους (Digital Elevation Models) επιτρέπει τη δημιουργία τρισδιάστατων όψεων από οιοδήποτε επιθυμητό σημείο. Επί πλέον, οι σχεδιαστές που χρησιμοποιούν ψηφιακά μοντέλα (DTM) μπορούν να συμπεριλάβουν πρόσθετες πληροφορίες, όπως είναι οι περιορισμοί της σχεδίασης. Μέσω της τροποποιήσεων των ψηφιακών μοντέλων (DTM) οι σχεδιαστές μπορούν να δείξουν την οπτική εντύπωση διαφορετικών βαθών ορυχείων ή υψών λόφων απορριμμάτων, αν και οι ορατές λεπτομέρειες περιορίζονται ασφαλώς από την ανάλυση των δορυφορικών δεδομένων (ανάλυση εικονοστοιχείου 2 μέτρα, 10 μέτρα, 20 μέτρα και 30 μέτρα). Η δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων ή προοπτικών σχεδίων από εξειδικευμένους επιστήμονες είναι μια πολύ δαπανηρή διαδικασία.

Μια ακόμα συνηθισμένη απαίτηση κατά το στάδιο του σχεδιασμού είναι η κατάρτιση μιας λεπτομερούς βάσης δεδομένων των χρήσεων γης στην περιοχή του προτεινόμενου ορυχείου. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και λειτουργεί επίσης ως βάση για την εκτίμηση των δραστηριοτήτων αποκατάστασης μετά το τέλος της εξόρυξης.

Σε μια μικρή μεταλλευτική επιχείρηση η χρήση γης μπορεί πιθανώς να εκτιμηθεί με οικονομικότερο τρόπο με χρήση αεροφωτογραφιών χαμηλού ύψους, σε συνδυασμό με τοπογραφικές αποτυπώσεις. Για μεγαλύτερες επιχειρήσεις, η συνεισφορά της δορυφορικής τηλεπισκόπησης μπορεί να είναι σημαντική. Η κατηγοριοποίηση ψηφιακών δεδομένων με πληροφορίες που προέρχονται από περιορισμένες επιφάνειες μπορεί να παράγει χάρτες χρήσεων γης ικανής ακρίβειας, με πολύ χαμηλότερο κόστος από αυτό των συμβατικών

τεχνικών τοπογραφικής αποτύπωσης. Ένα πρόσθετο πλεονέκτημα είναι ότι οι ποσοτικές μετρήσεις της παραγωγικότητας της γης, όπως αυτές των δεικτών βλάστησης μπορούν να συγκριθούν με παρόμοια δεδομένα μετά την εξόρυξη και την αποκατάσταση. Ο μακροχρόνιος σχεδιασμός μπορεί να υποστηρίξει το όραμα ότι η τηλεπισκόπηση και τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών προσφέρουν την καλύτερη μέθοδο για την αποθήκευση, τη διαχείριση, την ενημέρωση και την απεικόνιση δεδομένων γεωπληροφορικής και των σχετικών μη χωρικών χαρακτηριστικών. Ο μακροχρόνιος σχεδιασμός παρέχει επίσης την αιτιολόγηση των πιστώσεων του προϋπολογισμού τηλεπισκόπησης και GIS και προβάλλει ένα σχέδιο ενεργειών.

2.7 ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΚΤΑΣΕΩΝ

Όταν ολοκληρωθεί η εξόρυξη, απαιτείται να αποκατασταθεί ο χώρος στη χρήση που είχε πριν την εξόρυξη, η οποία, στις περισσότερες Ευρωπαϊκές χώρες, συνήθως είναι η αγροτική καλλιέργεια. Ο στόχος είναι η επίτευξη αγροτικής παραγωγικότητας στην αποκατεστημένη γη ισοδύναμη με αυτή της γης στην οποία δεν έχει γίνει ποτέ εξόρυξη και υπάρχει μια αυξανόμενη απαίτηση για την ποιότητα του τοπίου της γης που θα πρέπει να διατηρηθεί. Μπορεί ακόμα να υπάρχουν ευκαιρίες για τη βελτίωση του τοπίου κατά την αποκατάσταση, με την προσθήκη, για παράδειγμα, μικρών λόφων σε ένα τοπίο στερούμενου ιδιαίτερων χαρακτηριστικών, ή τη δημιουργία νερόλακκων και μικρών λιμνών. Ο σχεδιασμός της αποκατάστασης μπορεί να συνεπάγεται αντιπαραθέσεις μεταξύ αγροτών, οι οποίοι επιθυμούν τη μεγιστοποίηση της παραγωγικότητας με την αντικατάσταση των αρχικών μικρών αγροτεμαχίων με μεγάλα ορθογώνια αγροτεμάχια, και οικολόγων οι οποίοι θα ήθελαν να διατηρήσουν το δίκτυο των φρακτών από θάμνους στο αρχικό σχήμα.

Η τηλεπισκόπηση μπορεί να διαδραματίσει έναν σημαντικό και οικονομικά αποδοτικό ρόλο στην εκτίμηση της ποιότητας της αποκατεστημένης γης, καθώς και στη σύγκριση των μεγεθών και σχημάτων αγρών σε αποκατεστημένες περιοχές και σε περιοχές όπου δεν έχουν γίνει εξορύξεις (Corbley, 1994). Συγκεκριμένα, οι δορυφορικές εικόνες μπορούν να συνεισφέρουν, με οικονομικό τρόπο, στο σχεδιασμό επιφανειακών εξορύξεων και την μετέπειτα αποκατάστασή τους. Μπορεί επίσης να βοηθήσει τις μεταλλευτικές εταιρείες στην επιτήρηση περιβαλλοντικά ευαίσθητων επιχειρήσεων και τη λήψη

επανορθωτικών μέτρων πριν γίνουν σοβαρά τα προβλήματα. Ο ψηφιακός τους χαρακτήρας επιτρέπει την πραγματοποίηση μελετών ποσοτικών αναλύσεων που δεν ήταν προηγουμένως δυνατές.

Από την άλλη μεριά, η χρήση Διαστημικής τεχνολογίας και συναφών τεχνολογιών, όπως είναι τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) και του Παγκόσμιου Συστήματος Προσδιορισμού Στίγματος (Global Positioning System – GPS), στη μεταλλευτική βιομηχανία, ειδικά στη σημερινή οικονομική ύφεση, παρεμποδίζεται από την έλλειψη λεπτομερούς γνώσεως της τεχνολογίας. Ο τρόπος ρύθμισης του κατάλληλου εργαλείου Τηλεπισκόπησης για δραστηριότητες που προηγούνται ή έπονται των εξορύξεων, έχει γίνει εξαιρετικά συγκεκριμένος.

3. ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ (SATELLITE REMOTE SENSING)

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η παρακολούθηση της γης από το διάστημα αποτελεί τα σαράντα τελευταία χρόνια ένα σημαντικό εργαλείο για τη μελέτη του φυσικού περιβάλλοντος, την κατανόηση του παγκόσμιου κλίματος, και την ενίσχυση αναπτυξιακών και παραγωγικών δραστηριοτήτων σε μια περιοχή. Η δορυφορική τηλεπισκόπηση για την μελέτη της γης άρχισε να αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον, όταν οι τεχνικές δυνατότητες των δορυφόρων που κινούνται σε τροχιά γύρω από τη γη ακολουθούνταν από την ραγδαία ανάπτυξη των δυνατοτήτων των Η/Υ για την διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων, σε όσο το δυνατόν μικρότερο χρόνο (Lillesand και Kiefer, 1994).

Η τηλεπισκόπηση ή τηλεανίχνευση (remote sensing) είναι ο επιστημονικός κλάδος συλλογής δεδομένων με τεχνικά μέσα και χωρίς φυσική επαφή, για ένα αντικείμενο που βρίσκεται στην επιφάνεια της γης ή στην ατμόσφαιρα της. Διάφορες μορφές καταγραφής δεδομένων από απόσταση αποτελούν οι αεροφωτογραφίες, οι δορυφορικές εικόνες και οι εικόνες από ραντάρ. Πιο χαρακτηριστικά και διαδεδομένα είναι τα στοιχεία που προέρχονται από ανιχνευτές που βρίσκονται εγκατεστημένοι πάνω σε δορυφόρους (Δορυφορική Τηλεπισκόπηση).

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται ή ανακλάται από τα διάφορα αντικείμενα παρατήρησης (επιφάνειες), αποτελεί την παράμετρο η οποία εξετάζεται σχολαστικά σε όλες τις διαδικασίες τηλεπισκόπησης. Η εφαρμογή της τηλεπισκόπησης στηρίζεται στην δυνατότητα συλλογής ακτινοβολίας σε μια μεγάλη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η κατανομή της ακτινοβολίας που εκπέμπει ή ανακλά κάθε σώμα σε διάφορα μήκη κύματος είναι χαρακτηριστική της φυσικής κατάστασης και της χημικής του σύστασης (φασματική απογραφή), (Slater, 1980). Η φασματική καταγραφή είναι χαρακτηριστική για κάθε σώμα ή χημική ένωση και μας επιτρέπει να διακρίνουμε το χιόνι από το νερό, την βλάστηση από το έδαφος, τους διάφορους τύπους πετρωμάτων, τις διάφορες ενώσεις τόσο στην ατμόσφαιρα όσο και στη θάλασσα (Lo, 1986). Τα ανιχνευτικά όργανα των δορυφόρων καταγράφουν την ακτινοβολία η οποία προέρχεται από την γη σε διαφορετικές ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής:

Για κάθε στοιχειώδη επιφάνεια ανάλυσης, την οποία ονομάζουμε εικονοστοιχείο (pixel), τα δεδομένα αντιστοιχούν σε κάποια τιμή ακτινοβολίας η οποία καταχωρείται σε κάθε μια από τις εν λόγω επιφάνειες. Στη συνέχεια, οι τιμές αυτές αντιστοιχίζονται σε διαφορετικά χρώματα ή σε αποχρώσεις του γκριζου, για να μας δώσουν μια εικόνα. Με περαιτέρω επεξεργασία των ψηφιακών αυτών δεδομένων παραλαμβάνουμε ένα πλήθος προϊόντων τα οποία χρησιμοποιούνται για διάφορους σκοπούς.

3.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η επιτυχία των δορυφορικών συστημάτων και των δορυφορικών δεδομένων οφείλεται στα ακόλουθα χαρακτηριστικά τους:

- A.** Συνοπτική καταγραφή της Γης.
- B.** Επαναλαμβανόμενη κάλυψη.
- Γ.** Περιορισμοί απόκλισης.
- Δ.** Διακριτική ικανότητα.
- Ε.** Πολυφασματικά δεδομένα.
- ΣΤ.** Ψηφιακή μορφή δεδομένων.
- Z.** Στερεοσκοπική κάλυψη.
- H.** Ελάχιστη παραμόρφωση.

A. Συνοπτική καταγραφή της Γης. Μία δορυφορική εικόνα καλύπτει γήινη έκταση π.χ. 185 x 185 km για τους LANDSAT, ενώ 60 x 60 km για τον SPOT. Για παράδειγμα, για την κάλυψη του ελλαδικού χώρου απαιτούνται 25 εικόνες LANDSAT TM και 123 εικόνες SPOT, σε σύγκριση με μερικές χιλιάδες αεροφωτογραφίες που απαιτούνται για τον ίδιο σκοπό.

B. Επαναλαμβανόμενη κάλυψη. Οι δορυφόροι έχουν την ικανότητα να καταγράφουν την γήινη επιφάνεια σε τακτά χρονικά διαστήματα, που είναι 16 ημέρες για τους LANDSAT την ίδια πάντα ώρα (9.45) και 26 ημέρες για τον SPOT την ίδια πάντα ώρα (10.30).

Γ. Περιορισμοί απόκλισης. Τα δορυφορικά δεδομένα (χάρτες, ψηφιακές εικόνες) αποκτούνται χωρίς περιορισμούς και η παραγγελία και η αγορά τους δεν συναντά τα εμπόδια της ζήτησης των αεροφωτογραφιών.

Δ. Διακριτική ικανότητα, χωρική ικανότητα (διακριτική ικανότητα κατά χώρο). Αυτός είναι σημαντικός παράγοντας γιατί επιδρά στην αξιοπιστία των αποτελεσμάτων, που παίρνονται από τη χρήση των δορυφορικών εικόνων. Στους δορυφόρους LANDSAT η διακριτική ικανότητα είναι 30 x 30 m (0.1 εκτάριο), στον SPOT είναι 20 x 20 m και 10 x 10 m.

Ε. Πολυφασματικά δεδομένα. Οι εικόνες καταγράφονται σε διάφορα κανάλια (περιοχές) του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Στους δορυφόρους LANDSAT 1, 2 & 3 τα κανάλια είναι 4. Στους LANDSAT 4 & 5 είναι 7. Στον SPOT τα κανάλια είναι 3 πολυφασματικά και 1 παγχρωματικό. Οι γεωπόνοι - δασολόγοι - γεωλόγοι αναγνωρίζουν τα αντικείμενα της επιφάνειας της Γης βασιζόμενοι στον ιδιαίτερο τρόπο, με τον οποίο κάθε αντικείμενο απορροφά και ανακλά την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

ΣΤ. Ψηφιακή μορφή δεδομένων. Οι δορυφορικές εικόνες διατίθενται κυρίως σε ψηφιακή μορφή, πράγμα που επιτρέπει την επεξεργασία τους από ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Ζ. Στερεοσκοπική κάλυψη. Αφορά κυρίως τον δορυφόρο SPOT.

Η. Ελάχιστη παραμόρφωση. Τα δορυφορικά δεδομένα παρουσιάζουν πολύ μικρή παραμόρφωση αναγλύφου σε σχέση με τις αεροφωτογραφίες.

Η ανίχνευση και αναγνώριση των διαφόρων αντικειμένων της επιφάνειας της γης, από τα τηλεπισκοπικά συστήματα, βασίζεται στον εκλεκτικό τρόπο που έχουν τα επιφανειακά αντικείμενα να απορροφούν και ν' ανακλούν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στα διάφορα μήκη κύματος. Ενδεικτικά για τον Θεματικό Χαρτογράφο (Thematic Mapper) του δορυφόρου LANDSAT:

α. Μπλε 0.45-0.52 μm: Το κανάλι που αντιστοιχεί στη μπλε περιοχή του φάσματος βοηθά τον μελετητή να διαφοροποιήσει το γυμνό έδαφος από τη βλάστηση, τα κωνοφόρα από τα πλατύφυλλα, να εντοπίζει ιζήματα ή μόλυνση σε υδάτινο περιβάλλον και να καταγράψει βάθη μέχρι 30 m στις παράκτιες ζώνες.

β. Πράσινο 0.52-0.60 μm: ισχυρή αντανάκλαση της βλάστησης.

γ. Κόκκινο 0.63-0.69 μm: πολύ ισχυρή απορρόφηση της βλάστησης.

δ. Εγγύς υπέρυθρο 0.76-0.90 μm: υψηλή αντίθεση γης/νερού, ισχυρή ανάκλαση βλάστησης.

- ε. Εγγύς μέσο 1.55-1.75 μm: πολύ ευαίσθητο στην εδαφική υγρασία, διάκριση χιονιού από σύννεφα
- στ. Θερμικό υπέρυθρο 10.04-12.5 μm: πολύ ευαίσθητο στην εδαφική υγρασία και στο “stress” της βλάστησης.
- ζ. Μέσο υπέρυθρο 2.08-2.35 μm: πολύ χρήσιμο σε γεωλογικές εφαρμογές (διαχωρισμός πετρωμάτων).

3.3 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ ΚΑΙ ΦΑΣΜΑΤΙΚΕΣ ΥΠΟΓΡΑΦΕΣ

Τα δορυφορικά συστήματα, μπορούν, ως γνωστόν, με τους υπερσύγχρονους αισθητήρες που διαθέτουν να ανιχνεύουν ταυτόχρονα την ορατή και αόρατη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Τα επιφανειακά στοιχεία, φυσικά ή τεχνητά (φυσική βλάστηση, γυμνό έδαφος, λίμνες, χαράδρες, δέλτα ποταμών, αστικές περιοχές), της γης παρουσιάζουν διαφορετικά και διακριτά φασματικά πρότυπα. Για παράδειγμα η ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία πάνω σ' ένα φυτό έχει ένα χαρακτηριστικό μήκος κύματος που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο φυτό και είναι διαφορετική από οποιαδήποτε άλλη ακτινοβολία ενός άλλου φυτού ή εδάφους ή νερού. Το φασματικό πρότυπο αυτού του συγκεκριμένου φυτού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αναγνωρίσει παρόμοια επιφανειακά στοιχεία.

Οι αισθητήρες υπέρυθρης ακτινοβολίας των δορυφορικών συστημάτων μπορούν να κάνουν τη διάκριση μεταξύ υγιούς και μη βλάστησης, πριν ακόμη γίνει εμφανής η διαφορά στην ορατή περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

3.4 ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

3.4.1 Γενικά

Η εξέλιξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών, τα τελευταία χρόνια, βοήθησε αρκετά στο να αυξηθούν τόσο ο αριθμός των χρηστών όσο και οι εφαρμογές των ψηφιακών δορυφορικών τηλεπισκοπικών απεικονίσεων (ΨΔΤΑ). Η δομή των ΨΔΤΑ, η οποία είναι ένα μωσαϊκό από εικονοστοιχεία (pixels) που η σύνθεσή τους παρουσιάζει την εικόνα ενός

φαινομένου στο χώρο επέτρεψε την ανάλυσή τους και την εξαγωγή πολύτιμων πληροφοριών από προγράμματα επεξεργασίας εικόνας. Γενικά η επεξεργασία των ΨΔΤΑ απαιτεί πιο πολύπλοκα μαθηματικά μοντέλα (ανόρθωση - rectification), ενώ μεγάλο μέρος της επεξεργασίας βασίζεται σε στατιστικές μεθόδους (ταξινόμηση - classification).

Η ανόρθωση αφορά την αποκατάσταση της γεωμετρίας των εικονοστοιχείων των ΨΔΤΑ τόσο στο κέντρο όσο και στα άκρα, ώστε να μην υπάρχουν αποκλίσεις όταν αυτές προβάλλονται σ' ένα χάρτη δεδομένης κλίμακας. Αυτό συμβαίνει γιατί η επιφάνεια της γης δεν είναι επίπεδη, ειδικά από το ύψος που γίνεται η παρατήρηση.

Η ταξινόμηση είναι η διαδικασία του διαχωρισμού των εικονοστοιχείων των ΨΔΤΑ σε διαφορετικές κατηγορίες ανάλογα με προκαθορισμένα κριτήρια. Τα κριτήρια αυτά είναι συνήθως η τιμή των εικονοστοιχείων σε ένα ή περισσότερα κανάλια, ή και συνδυασμοί διαφορετικών καναλιών. Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης είναι ένας χρωματικός χάρτης ή απλώς τα όρια μεταξύ διαφορετικών κατηγοριών των εικονοστοιχείων των ΨΔΤΑ. Τα αποτελέσματα αυτά μπορεί να εμφανιστούν στον ίδιο χάρτη ή να εισαχθούν σε συστήματα GIS για περαιτέρω επεξεργασία και ανάλυση.

3.4.2 Ψηφιακοί - Θεματικοί χάρτες

Η έννοια ενός χάρτη μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι μια αφηρημένη, γενικευμένη και συμβολική γραφική απεικόνιση των χαρακτηριστικών της γήινης επιφάνειας. Η αποθήκευση ενός τέτοιου χάρτη στην ηλεκτρονική μνήμη ενός υπολογιστή μπορεί να θεωρηθεί σε γενικές γραμμές ως ένας ψηφιακός χάρτης. Η διαφορά μεταξύ ενός εντύπου και ενός ηλεκτρονικού χάρτη έγκειται στο “χαρτογραφικό μοντέλο”, δηλαδή στο μεν πρώτο συνυπάρχει η χωρική πληροφορία και η απεικόνισή της, στο δε δεύτερο υπάρχει μόνο η πληροφορία. Η απεικόνισή της είναι ανεξάρτητη διαδικασία η οποία μπορεί να επιτευχθεί με διαφορετικούς τρόπους επεξεργασίας της πληροφορίας. Το γεγονός αυτό καθιστά τον ψηφιακό χάρτη πιο ευέλικτο, χρήσιμο και δυναμικό εργαλείο από τον έντυπο.

Τα δορυφορικά τηλεπισκοπικά συστήματα επιτρέπουν την ηλεκτρονική αποθήκευση των περιοχών που σαρώνουν και κατά συνέπεια την ψηφιακή χαρτογραφική απεικόνιση συγκεκριμένων περιοχών της γήινης επιφάνειας.

Οι δορυφορικές εικόνες περιέχουν πολλά στοιχεία που μπορεί να χρησιμοποιηθούν σε ένα χάρτη, ανάλογα με τον τύπο του χάρτη. Μέχρι πολύ πρόσφατα η λεπτομέρεια των δορυφορικών εικόνων δεν μπορούσε να θεωρηθεί ιδανική για όλους τους τύπους χαρτών

και για όλες τις κλίμακες. Μέχρι πρότινος η κλίμακα 1:20.000 θεωρείτο η ιδανικότερη και ήταν επιτευκτική με τη χρήση του Γαλλικού δορυφόρου SPOT, στο παγχρωματικό κανάλι, με χωρική ανάλυση της τάξης των δέκα (10) μέτρων.

Το πλεονέκτημα της κλίμακας των 1: 5000 των δεδομένων του ινδικού δορυφόρου IRS-1C {παγχρωματικό κανάλι, με χωρική ανάλυση της τάξης των πέντε (5) μέτρων} επισκιάστηκε από τη συνολική ποιότητα των δεδομένων (6 bit), καθώς και την καθυστέρηση στη διάθεσή τους.

Τα νέα δορυφορικά τηλεπισκοπικά συστήματα με δυνατότητα χωρικής ανάλυσης της τάξης του ενός (1) μέτρου και πολυφασματική των τριών (3) μέτρων, αυξάνουν κατακόρυφα τη λεπτομέρεια των δορυφορικών τους εικόνων και ταυτόχρονα τα καθιστούν ικανά να χρησιμοποιηθούν και για άλλους σκοπούς όπως την αναζήτηση θεματικών περιοχών (χαρτογράφηση βλάστησης, οικισμών, ικανοποίηση περιβαλλοντικής νομοθεσίας κλπ.) ή για την ενημέρωση χαρτών.

Τυπικές, ενδεικτικές περιοχές εφαρμογών των προϊόντων των δορυφόρων υψηλής διακριτικής ικανότητας περιλαμβάνουν τομείς όπως :

- Κτηματολόγιο - Διαχείριση Γης - Ψηφιακή Χαρτογραφία,
- Διαχείριση Περιβάλλοντος - Φυσικοί Πόροι - Διαχείριση Ακτών και Παράκτιων Ζωνών,
- Σχεδιασμός – Ανάπτυξη Υποδομής σε όλους τους βαθμούς Αυτοδιοίκησης,
- Γεωργία – Δάση – Γεωεπιστήμες,
- Δημογραφία και διεξαγωγή Απογραφικών Ερευνών,
- Δίκτυα Μεταφορών
- Σχεδιασμός Υπηρεσιών Άμεσης Επέμβασης και Δημόσια Ασφάλεια
- Πολιτικός Σχεδιασμός Έκτακτης Ανάγκης - Καταγραφή και Εκτίμηση του μεγέθους των Φυσικών Καταστροφών και Αποκατάστασης των Ζημιών
- Δίκτυα Αγωγών Μεταφοράς και Διανομής Αγαθών των Οργανισμών Κοινής Ωφέλειας - Τηλεπικοινωνίες

- Απεικόνιση ρεαλιστικών 3-διάστατων μοντέλων εδάφους και Προσομοίωση Πτήσεων και Κίνησης σε πραγματικό φυσικό χώρο
- Πολιτιστική και Κοινωνική έρευνα και διαχείριση Αρχαιολογικών και Ιστορικών Χώρων και Μνημείων
- Τουρισμός - Ανάπτυξη Χώρων και Υπηρεσιών Αναψυχής
- Κτηματομεσιτικές Εφαρμογές
- Μέσα Ενημέρωσης - Εκδοτικές Δραστηριότητες και Γραφικές Τέχνες
- Εκπαίδευση, κλπ.

3.5 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

3.5.1 Παθητικά και Ενεργητικά

Δυο είναι τα βασικά συστήματα τηλεπισκόπησης (Richards, 1986):

- Τα παθητικά συστήματα καταγραφής και ανίχνευσης (sensors), που υπάρχει άμεση σύνδεση με την εκπομπή ενέργειας από τα παρατηρούμενα σώματα (η εκπομπή μπορεί να οφείλεται στην ανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας ή στην εκπομπή, λόγω θερμοκρασίας τους, στο θερμικό υπέρυθρο φάσμα (thermal infrared). Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν το τμήμα του φάσματος, το οποίο εκτείνεται από την περιοχή των πολύ μικρών μηκών κύματος (μικρότερα των 0.4 μm) της υπεριώδους ακτινοβολίας έως την περιοχή του μήκους κύματος των 1000 μm. Ανάλογα δε, με την εφαρμογή επιλέγεται και η αντίστοιχη φασματική περιοχή.
- Τα ενεργητικά συστήματα βασίζονται στην ανάκλαση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που εκπέμπονται από άλλη εξωτερική πηγή, π.χ. από τον ίδιο τον ανιχνευτή /radar, ανακλώνται στον στόχο (αντικείμενο ή περιοχή) της επιφάνειας της γης, επιστρέφουν και καταγράφονται στο σύστημα. Σε αυτούς τους ανιχνευτές, όπως τα radar που εκπέμπουν στην περιοχή των μικροκυμάτων, το επιστρεφόμενο σήμα έχει υποστεί αλλοίωση που εξαρτάται, μεταξύ άλλων, από τις ιδιότητες της επιφάνειας. Έτσι επιτυγχάνεται η αναγνώριση και μελέτη σωμάτων και φαινομένων, όπως κατασκευές εδάφους, αέριες χημικές ενώσεις, ωκεάνια συστήματα κυκλοφορίας, πετρελαιοκηλίδες κλπ. Από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα του radar είναι η επιχειρησιακή του δυνατότητα να χρησιμοποιείται ημέρα και νύχτα από όλες σχεδόν τις καιρικές συνθήκες.

Βασικά χαρακτηριστικά της δορυφορικής τηλεπισκόπησης είναι η διακριτική ικανότητα (χωρική, χρονική, ραδιομετρική και φασματική) ενώ ιδιαίτερη σημασία δίνεται στις διορθώσεις της καταγραφόμενης ακτινοβολίας (ατμοσφαιρική, γεωμετρική, ραδιομετρική, θόρυβος).

Η διακριτική ικανότητα ποικίλει ανάλογα με την εφαρμογή και το είδος του δορυφόρου, διακρίνεται δε σε (Barrett, 1982):

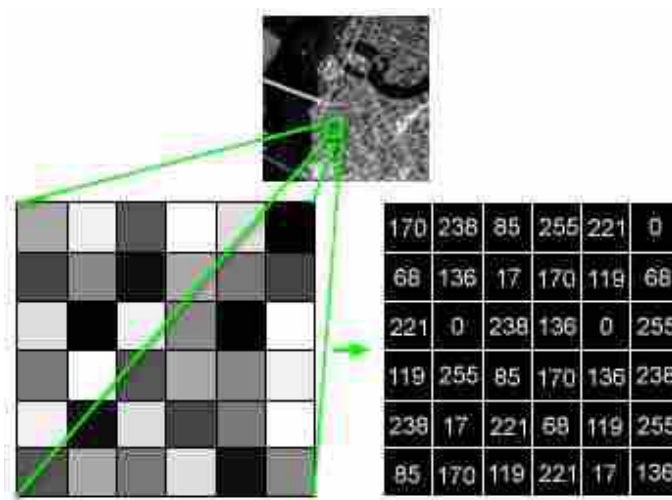
- **Χωρική διακριτική ικανότητα (Spatial Resolution).** Είναι η ικανότητα του ανιχνευτή να ξεχωρίζει πολύ κοντινά αντικείμενα ή πληροφορίες στην εικόνα, (ποσοτικά ισούται με την μικρότερη απόσταση που μπορούν να έχουν δυο αντικείμενα έτσι ώστε να εμφανίζονται ξεχωριστά).
- **Χρονική διακριτική ικανότητα (Temporal Resolution)** η οποία σχετίζεται με την συχνότητα λήψης εικόνων για την ίδια γεωγραφική περιοχή.
- **Ραδιομετρική διακριτική ικανότητα (Radiometric Resolution)** που ορίζεται ως η ευαισθησία του δέκτη να καταγράψει διαφορές στην ισχύ του σήματος.
- **Φασματική διακριτική ικανότητα (Spectral Resolution)** η οποία περικλείει το εύρος των περιοχών του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος στις οποίες πραγματοποιεί καταγραφές ένας πολυφασματικός ανιχνευτής, καθώς και τον αριθμό των καναλιών που χρησιμοποιούνται.

3.6 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Μια ψηφιακή εικόνα αποτελείται από μια σειρά αριθμών που αντιπροσωπεύουν την ποσότητα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που προέρχεται από μια μικρή περιοχή στην επιφάνεια του στόχου. Μια ενότητα από αυτές τις μικρές περιοχές συνενώνεται σε μορφή πλέγματος για να σχηματίσει μια εικόνα.

Μια εικόνα αναπαρίσταται και προβάλλεται σε ψηφιακή μορφή με το διαχωρισμό της σε μικρές περιοχές ιδίων διαστάσεων και σχήματος, οι οποίες ονομάζονται εικονοστοιχεία (picture elements – pixels) και οι οποίες αντιπροσωπεύουν τη φωτεινότητα κάθε περιοχής με μια αριθμητική τιμή ή ψηφιακό αριθμό (digital number – DN). Η Εικόνα 3.1 εμφανίζει κάθε ψηφιακή τιμή της εικόνας ως διαφορετικές στάθμες φωτεινότητας.

Το μέγεθος του εικονοστοιχείου καθορίζει τη χωρική ευκρίνεια του συστήματος. Άλλοι σημαντικοί παράγοντες είναι η φασματική ανάλυση και η φασματική κάλυψη του οργάνου.



Εικόνα 3.1. Στάθμες φωτεινότητας εικόνων

Τα δεδομένα τηλεπισκόπησης παρέχουν μια συνοπτική ή περιφερειακή εικόνα της επιφάνειας της Γης, καθώς και την ευκαιρία για τον προσδιορισμό της ταυτότητας συγκεκριμένων χαρακτηριστικών ενδιαφέροντος. Αναλυτικές τεχνικές συχνά συσχετίζουν συγκεκριμένες τιμές δεδομένων μια εικόνας με κάποια χαρακτηριστικά του εδάφους, ή με παραμέτρους οι οποίες προσδιορίζουν αυτά τα χαρακτηριστικά. Ωστόσο, οι μέθοδοι

πρόσκτησης δεδομένων της τηλεπισκόπησης υποκρύπτουν τουλάχιστον ένα επί πλέον επίπεδο επεξεργασίας.

Για παράδειγμα, μια συγκεκριμένη μελέτη μπορεί να στοχεύει στον προσδιορισμό και την κατάσταση της φυτοκάλυψης. Καθώς αυτές οι παράμετροι δεν μπορούν να μετρηθούν απ' ευθείας μέσω της τηλεπισκόπησης, θα πρέπει να συσχετιστούν με μια ιδιότητα της βλάστησης που μπορεί να «μετρηθεί» από απόσταση, δηλαδή την ανάκλαση. Η ευκρίνεια (resolution) αναφέρεται στην ένταση ή το ρυθμό της δειγματοληψίας και σχετίζεται με το μικρότερο χαρακτηριστικό, ή διακύμανση χαρακτηριστικών, που μπορεί να παρατηρηθεί. Όπως ειπώθηκε και σε προηγούμενη ενότητα υπάρχουν τέσσερις τύποι ευκρίνειας οι οποίοι και αναλύονται διεξοδικά στην παρακάτω ενότητα.

3.6.1 Φασματική Ευκρίνεια

Η φασματική ευκρίνεια ενός συστήματος περιγράφει τον αριθμό και το εύρος των διαύλων ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που δειγματίζει ένα όργανο. Ο δορυφόρος SPOT έχει τρεις διαύλους, ο δορυφόρος Landsat Thematic Mapper (Landsat TM) έχει επτά. Διαφορετικά υλικά ανταποκρίνονται με διαφορετικούς, και συχνά χαρακτηριστικούς, τρόπους στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Αυτό σημαίνει ότι μια συγκεκριμένη καμπύλη φασματικής απόκρισης, ή φασματική υπογραφή, μπορεί να προσδιοριστεί για κάθε τύπο υλικού. Βασικές κατηγορίες ύλης (όπως συγκεκριμένα ορυκτά) μπορούν να αναγνωριστούν στη βάση της φασματικής τους υπογραφής, και μόνον, αλλά μπορεί να απαιτηθούν φασματικά δεδομένα ευρείας περιοχής και με ικανή λεπτομέρεια ως προς τα διαστήματα δειγματοληψίας (περιοχές συχνοτήτων). Όμως κατηγορίες ύλης που συντίθενται από πολλά υλικά (όπως είναι το έδαφος που περιέχει διαφορετικά ορυκτά), μπορεί να είναι αναγνωρίσιμο από τα φασματικά δεδομένα και μόνον.

Στις περισσότερες δορυφορικές εικόνες, επιλέγονται οι διάυλοι έτσι ώστε να είναι δυνατή η διάκριση μεταξύ των διαφόρων τύπων κάλυψης. Στις λήψεις από αέρος η θέση, το εύρος και ο αριθμός των διαύλων του φάσματος των αισθητήρων μπορεί να ρυθμιστεί για συγκεκριμένο τύπο εδαφοκάλυψης ή περιοχή τιμών εδαφοκάλυψης ενδιαφέροντος.

Η αύξηση της φασματικής ευκρίνειας σε δεδομένη περιοχή του φάσματος θα έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερο αριθμό φασματικών διαύλων. Όμως αυτή η πρόσθετη ευκρίνεια

συνεπάγεται κάποιο «κόστος» καθώς αυξάνεται ο όγκος των δεδομένων και το συνεπακόλουθο κόστος επεξεργασίας.

Επομένως, το θεωρητικά βέλτιστο εύρος και η ανάλυση του φάσματος για συγκεκριμένο τύπο εδαφοκάλυψης μπορεί να χρειαστεί τροποποίηση αναφορικά με την πρακτική θεώρηση της συλλογής και της επεξεργασίας δεδομένων.

3.6.2 Χωρική Ευκρίνεια

Η χωρική ευκρίνεια καθορίζει το επίπεδο της χωρικής λεπτομέρειας που αναπαρίσταται σε μια εικόνα. Αυτή μπορεί να περιγραφεί ως το μικρότερο αντικείμενο που διακρίνεται στο έδαφος ως χωριστή οντότητα στην εικόνα, με το μικρότερο αντικείμενο να είναι αναγκαστικά μεγαλύτερο από ένα εικονοστοιχείο. Με αυτή τη λογική, η χωρική ευκρίνεια σχετίζεται άμεσα με το μέγεθος του εικονοστοιχείου. Με φωτογραφικούς όρους, ένα εικονοστοιχείο μπορεί να συγκριθεί με τον κόκκο του φιλμ ενώ η χωρική ευκρίνεια σχετίζεται περισσότερο με τη φωτογραφική κλίμακα.

Σε πρακτικούς όρους, στη δυνατότητα εντοπισμού ενός αντικειμένου σε μια εικόνα υπεισέρχεται η έννοια της φασματικής αντίθεσης, καθώς και η χωρική ευκρίνεια. Το σχήμα ενός χαρακτηριστικού σχετίζεται επίσης με τη δυνατότητα οπτικής διάκρισης σε μια εικόνα.

Αντικείμενα που έχουν μακρά και λεπτά χαρακτηριστικά, όπως είναι οι δρόμοι, διακρίνονται πιο εύκολα από μικρά και συμμετρικά αντικείμενα. Το μέγεθος του εικονοστοιχείου είναι συνήθως συνάρτηση του οχήματος και του αισθητήρα, ενώ η διακριτική ικανότητα μπορεί να αλλάζει από τόπο σε τόπο και από χρονική στιγμή σε χρονική στιγμή.

Ο δορυφόρος SPOT έχει χωρική ευκρίνεια 20 μέτρων σε πολυφασματικές λήψεις, το οποίο σημαίνει ότι η εικόνα αποτελείται από εικονοστοιχεία με διάμετρο, στο έδαφος, 20 μέτρων. Αυτό υποδηλώνει ότι το μικρότερο αντικείμενο που μπορεί να εντοπιστεί σε μια εικόνα SPOT θα πρέπει να έχει πλάτος τουλάχιστον 20 μέτρων. Από την άλλη μεριά, ο δορυφόρος Landsat Thematic Mapper έχει χωρική ανάλυση 30 μέτρων. Παρατίθενται δορυφορικές λήψεις της Νήσου Σαλαμίνας (Spyropoulos, 1993) από συσκευές τηλεπισκόπησης με διαφορετική χωρική ανάλυση: Landsat MSS – εικονοστοιχείο 80 μέτρων, Landsat TM – εικονοστοιχείο 30 μέτρων και SPOT– εικονοστοιχείο 10 μέτρων (Εικόνα 3.2).



Εικόνα 3.2. Από αριστερά προς τα δεξιά και προς τα κάτω. Απεικόνιση της Ν. Σαλαμίνας από Landsat MSS (80m), Landsat TM (30m) και SPOT PAN (10m)

Παρ' όλα αυτά, μικρότερα χαρακτηριστικά μπορούν να εντοπιστούν αν έχουν ικανή αντίθεση με τον περιβάλλοντα χώρο ώστε να επηρεάσουν τη συγκριτική «φωτεινότητα» του εικονοστοιχείου. Έτσι, είναι δυνατόν να εντοπιστούν γραμμικά χαρακτηριστικά, όπως

είναι οι σκοτεινοί ασφαλτοστρωμένοι δρόμοι μέσα σε περιοχές με φωτεινή άμμο, οι διαστάσεις των οποίων είναι μικρότερες από την ανάλυση του αισθητήρα.

3.6.3 Ραδιομετρική Ανάλυση

Η ραδιομετρική ανάλυση σε δεδομένα τηλεπισκόπησης ορίζεται ως το ποσόν της ενέργειας που απαιτείται για να αυξηθεί η τιμή ενός εικονοστοιχείου κατά μία ποσοτική μονάδα ή «μέτρηση». Αναφέρεται στον αριθμό των επιπέδων του γκριζου που είναι διαθέσιμος για την ανάλυση. Η λήψη των περισσότερων εικόνων τηλεπισκόπησης γίνεται με 256 επίπεδα του γκρι (και η λήψη μερικών εικόνων γίνεται με 1024 επίπεδα), δηλαδή το ελάχιστο «ανιχνεύσιμο» επίπεδο ακτινοβολίας καταγράφεται ως 0 ενώ το «μέγιστο» επίπεδο ακτινοβολίας καταγράφεται ως 255. Η κλίμακα αυτή αναφέρεται επίσης ως ανάλυση 8 bit, καθώς όλες οι τιμές της κλίμακας μπορούν να παρασταθούν με 8 bit (δυαδικά ψηφία) σε έναν υπολογιστή. Υψηλή ραδιομετρική ανάλυση παρέχει βελτιωμένη δυνατότητα διάκρισης μεταξύ χαρακτηριστικών ενδιαφέροντος.

Η ραδιομετρική ανάλυση στις ψηφιακές εικόνες είναι συγκρίσιμη με τον αριθμό των τόνων σε μια φωτογραφική εικόνα, που σχετίζεται με την αντίθεση της εικόνας. Η ανάλυση δίνεται συχνότερα με τον αριθμό των δυαδικών ψηφίων παρά με τον αριθμό ή το εύρος των διακριτών επιπέδων.

Στην επεξεργασία εικόνας, τα επίπεδα της ανάλυσης αναφέρονται συνήθως ως Ψηφιακοί Αριθμοί (Digital Numbers – DN).

3.6.4 Χρονική Ανάλυση ή Ρυθμός Επισκεψιμότητας ενός Σημείου

Η χρονική ανάλυση των δεδομένων τηλεπισκόπησης αναφέρεται στον κύκλο επανάληψης ή χρονικό διάστημα μεταξύ λήψεων διαδοχικών εικόνων του ίδιου σημείου πάνω στη γη. Ο κύκλος αυτός για τα διαστημικά οχήματα είναι σταθερός και ορίζεται από τα τροχιακά τους χαρακτηριστικά (λ.χ. SPOT 26 ημέρες, Landsat 16 ημέρες, NOAA-AVHRR δύο φορές την ημέρα), αλλά είναι αρκετά εύκολο να αλλάξει για αεροσκάφη.

Η χρονική ανάλυση είναι ένας κρίσιμος παράγοντας σε εφαρμογές που συνεπάγονται τακτική παρακολούθηση. Οι δορυφόροι προσφέρουν επαναλαμβανόμενη κάλυψη με μειωμένο κόστος αλλά οι αναλλοίωτοι χρόνοι υπερπτήσεως μπορεί συχνά να συμπίπτουν με νεφοκάλυψη ή κακές καιρικές συνθήκες. Αυτό μπορεί να δημιουργήσει σημαντικά προβλήματα όταν οι εργασίες στο πεδίο πρέπει να συμπίπτουν με τη λήψη των εικόνων. Οι

αεροφωτογραφήσεις, αν και είναι πιο ακριβές από τις λήψεις δορυφορικών εικόνων, παρέχουν το πλεονέκτημα του καθορισμού του χρόνου της πτήσεως από το χρήστη, και ο χρόνος αυτός μπορεί να αλλάξει, αν απαιτηθεί, σύμφωνα με τις τοπικές καιρικές συνθήκες.

3.7 ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ

Τα όργανα τηλεπισκόπησης μπορούν να τοποθετηθούν σε διάφορα οχήματα για την παρακολούθηση και τη λήψη δεδομένων εικόνας από στόχους. Αν και μπορούν να χρησιμοποιηθούν επίγεια οχήματα και αεροσκάφη, οι δορυφόροι παρέχουν μεγάλο μέρος των εικόνων τηλεπισκόπησης που χρησιμοποιούνται συνήθως. Οι δορυφόροι έχουν αρκετά απaráμιλλα χαρακτηριστικά που τους κάνουν εξαιρετικά χρήσιμους για την τηλεπισκόπηση της επιφάνειας της Γης.

Η διαδρομή που ακολουθεί ένας δορυφόρος ονομάζεται τροχιά. Οι τροχιές των δορυφόρων εναρμονίζονται με τις δυνατότητες και τους αντικειμενικούς στόχους των αισθητήρων που μεταφέρουν. Η επιλογή της τροχιάς μπορεί να διαφέρει ως προς το υψόμετρο (η απόστασή τους από την επιφάνεια της Γης) καθώς και τον προσανατολισμό και την περιστροφή τους ως προς τη Γη.

Υπάρχουν δύο τύποι δορυφόρων:

- Γεωστατικοί και
- Πολικής τροχιάς δορυφόροι.

3.7.1 Γεωστατικοί Δορυφόροι

Οι γεωστατικοί ή γεωσύγχρονοι 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. Εξ αιτίας της μεγάλης τους απόστασης από την επιφάνεια της γης, κάποιοι γεωστατικοί μετεωρολογικοί δορυφόροι μπορούν να παρακολουθούν τους σχηματισμούς των καιρικών φαινομένων και των νεφών ενός ολόκληρου ημισφαιρίου της Γης.

3.7.2 Δορυφόροι Πολικής Τροχιάς

Πολλά οχήματα τηλεπισκόπησης έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να ακολουθούν μια τροχιά (βασικά από το βορρά προς το 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 *σχεδόν-πολικές τροχιές*, και ονομάζονται έτσι εξ αιτίας της κλίσεως της τροχιάς προς τη νοητή γραμμή που διατρέχει τη Γη μεταξύ του Βόρειου και του Νότιου πόλου. Πολλές από αυτές τις δορυφορικές τροχιές είναι επίσης *ηλιοσύγχρονες*, έτσι ώστε να καλύπτουν κάθε περιοχή της γης την ίδια τοπική ώρα της ημέρας, που ονομάζεται τοπική ώρα ήλιου.

Ο ακριβής αριθμός ημερών σε αυτόν τον επαναλαμβανόμενο κύκλο διαφέρει και εξαρτάται από το ακριβές υψόμετρο του δορυφόρου και τη γωνία κλίσης της τροχιάς του. Για παράδειγμα, ο δορυφόρος Landsat έχει κύκλο δεκαέξι ημερών. Το μειονέκτημα μιας τροχιάς με μικρότερη γωνία είναι ότι ο δορυφόρος δεν βλέπει την επιφάνεια της Γης κοντά στο Βόρειο και το Νότιο πόλο.

Το υψόμετρο του δορυφόρου επηρεάζει τη λεπτομέρεια που ανιχνεύεται. Σε μεγαλύτερες αποστάσεις από τη Γη, ο δορυφόρος επισκέπτεται την ίδια περιοχή πιο συχνά, αλλά λαμβάνει πληροφορίες με μικρότερη λεπτομέρεια. Σε μικρότερες αποστάσεις, ο δορυφόρος επισκέπτεται την ίδια περιοχή λιγότερο συχνά, αλλά λαμβάνει πιο λεπτομερείς πληροφορίες. Οι δορυφόροι επηρεάζονται από την βαρύτητα της Γης, η οποία τους έλκει προς αυτήν. Τελικά, ο δορυφόρος σύρεται μέσα στην ατμόσφαιρα της Γης, όπου και καταστρέφεται. Για να διασφαλιστεί ότι η ζωή ενός δορυφόρου είναι τουλάχιστον πέντε χρόνια, το ύψος της τροχιάς του πρέπει να είναι τουλάχιστον 450 χλμ. Οι περισσότεροι μη επανδρωμένοι δορυφόροι τηλεπισκόπησης λειτουργούν στα 800 χλμ.

4. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ – GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS (ΣΓΠ)

4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ – ή GIS - Geographic Information System), είναι ένα λογισμικό εργαλείο κατάλληλης αρχιτεκτονικής σχεδίασης για την συλλογή, αποθήκευση, ενημέρωση, επεξεργασία, ανάλυση και παρουσίαση όλων των τύπων των γεωκωδικοποιημένων πληροφοριών (Burrough 1986, Maguire 1991).

Τα Γεωγραφικά Πληροφορικά Συστήματα (ΣΓΠ) είναι συστήματα αυτόματης γεωγραφικής επεξεργασίας που περιγράφουν αντικείμενα του πραγματικού κόσμου σε σχέση με: α) τη θέση τους ως προς ένα σύστημα συντεταγμένων, β) παραμέτρους που δεν έχουν σχέση με τη γεωγραφική τους θέση και γ) τους τοπολογικούς συνδέσμους που έχουν με άλλα αντικείμενα. Τα ΣΓΠ δεν είναι απλά συστήματα σχεδίασης με Η/Υ (Computer Graphics). Τεχνικές αυτόματης σχεδίασης χρειάζονται οπωσδήποτε σε ένα καλό ΣΓΠ αλλά στα ΣΓΠ μεγάλη σπουδαιότητα έχουν παράλληλα με της χωρικές και οι μη χωρικές πληροφορίες (Κόλλια-Κουσούρη, 2003).

Είναι εργαλεία για την μελέτη του περιβάλλοντος, εργαλεία για την μελέτη των δυνατών αποτελεσμάτων που θα προκύψουν από κάποιο συγκεκριμένο σχεδιασμό. Δηλαδή χρησιμοποιούνται όπως οι προσομοιωτές των αεροπορικών πτήσεων για να αποφευχθούν τα λάθη ορισμένων ενεργειών πριν εφαρμοσθούν στη γη (σχεδιασμός χρήσεων γης, αξιολόγηση καλλιεργειών, εγχειοβελτιωτικά έργα κλπ). Η τηλεπισκόπηση έπαιξε σοβαρό ρόλο στην ανάπτυξη των ΣΓΠ ως μια πηγή τεχνολογίας και πηγή δεδομένων (Κόλλια-Κουσούρη, 2003).

Οι γεωγραφικές πληροφορίες διακρίνονται σε χαρτογραφικές και σε περιγραφικές.

- Οι χαρτογραφικές πληροφορίες αναφέρονται:

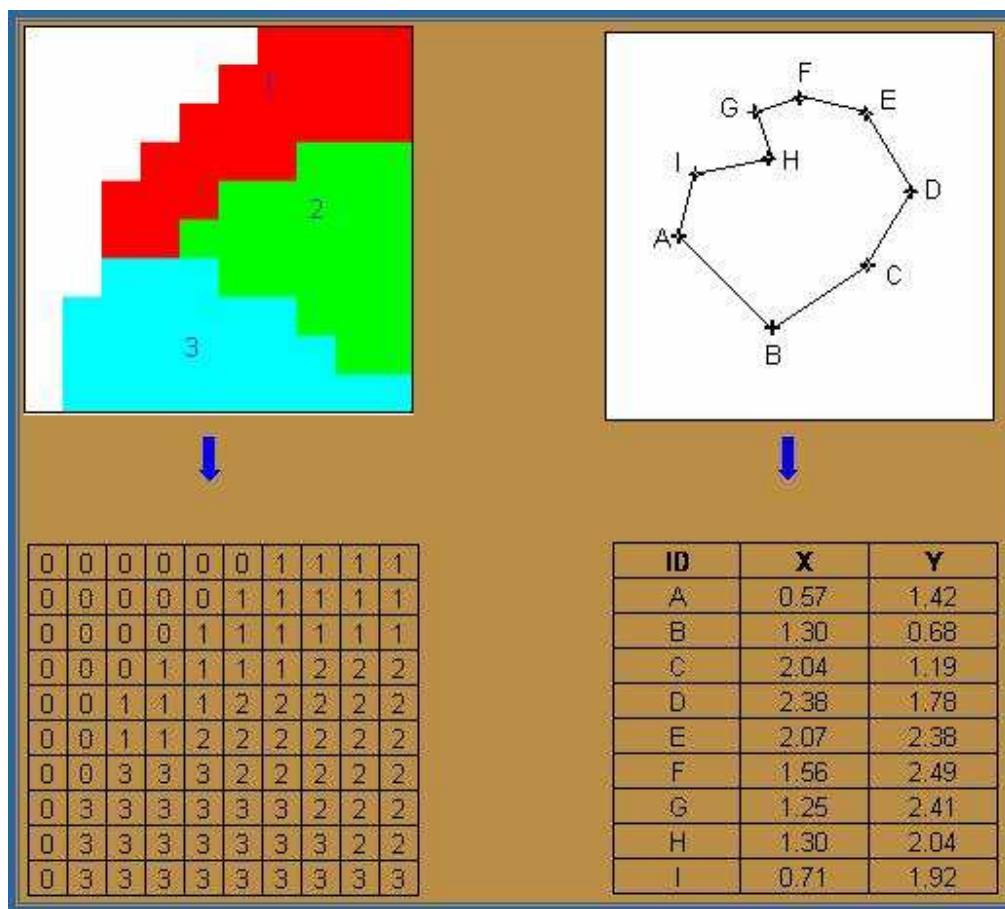
-σε πληροφορίες που αφορούν τη θέση και το σχήμα ενός φαινομένου στη γη (γεωμετρία του χώρου), κάνοντας δηλαδή δυνατό τον εντοπισμό ενός φαινομένου στο έδαφος, αποδίδοντας ταυτοχρόνως και το σχήμα του ή την έκτασή του π.χ. υδρογραφικό δίκτυο μιας περιοχής (σχήμα, μήκος), τις κλίσεις και εκθέσεις των εδαφών.

-σε πληροφορίες που περιγράφουν την τοπολογία του χώρου δηλαδή τις σχέσεις (σύνδεση, συνέχεια, γειτνίαση) που αναπτύσσονται μεταξύ των δομικών στοιχείων του χώρου, π.χ. παραπόταμοι ενός ποταμού. Οι χαρτογραφικές πληροφορίες αποθηκεύονται σε γεωγραφική βάση δεδομένων. Κυριότερο χαρακτηριστικό που καταγράφεται είναι συντεταγμένες.

- Οι περιγραφικές πληροφορίες αφορούν χαρακτηριστικά, ποιοτικά ή ποσοτικά, των φαινομένων που συμβαίνουν στο χώρο. Π.χ. ο χαρακτηρισμός μιας χρήσης γης είναι μια ποιοτική περιγραφική πληροφορία, ενώ η έκταση της είναι μια ποσοτική περιγραφική πληροφορία. Οι περιγραφικές πληροφορίες αποθηκεύονται σε βάσεις δεδομένων οι οποίες συνδέονται με τις προηγούμενες βάσεις των χαρτογραφικών δεδομένων

4.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΣΓΠ

Τα ΣΓΠ διακρίνονται σε διανυσματικά και πλεγματικά (Εικόνα 4.1). Η διάκριση οφείλεται στον τρόπο αποθήκευσης των χαρτογραφικών πληροφοριών. Στα διανυσματικά (vector) ΣΓΠ η αποθήκευση γίνεται χρησιμοποιώντας τις συντεταγμένες των δομικών στοιχείων (σημείο, γραμμή, πολύγωνο). Στα πλεγματικά (raster) η περιοχή χωρίζεται, με την βοήθεια ενός νοητού κανάβου, σε κυψέλες, συνήθως τετράγωνες. Κάθε κυψέλη ανάλογα εάν έχει δεδομένα ή όχι παίρνει μια τιμή.

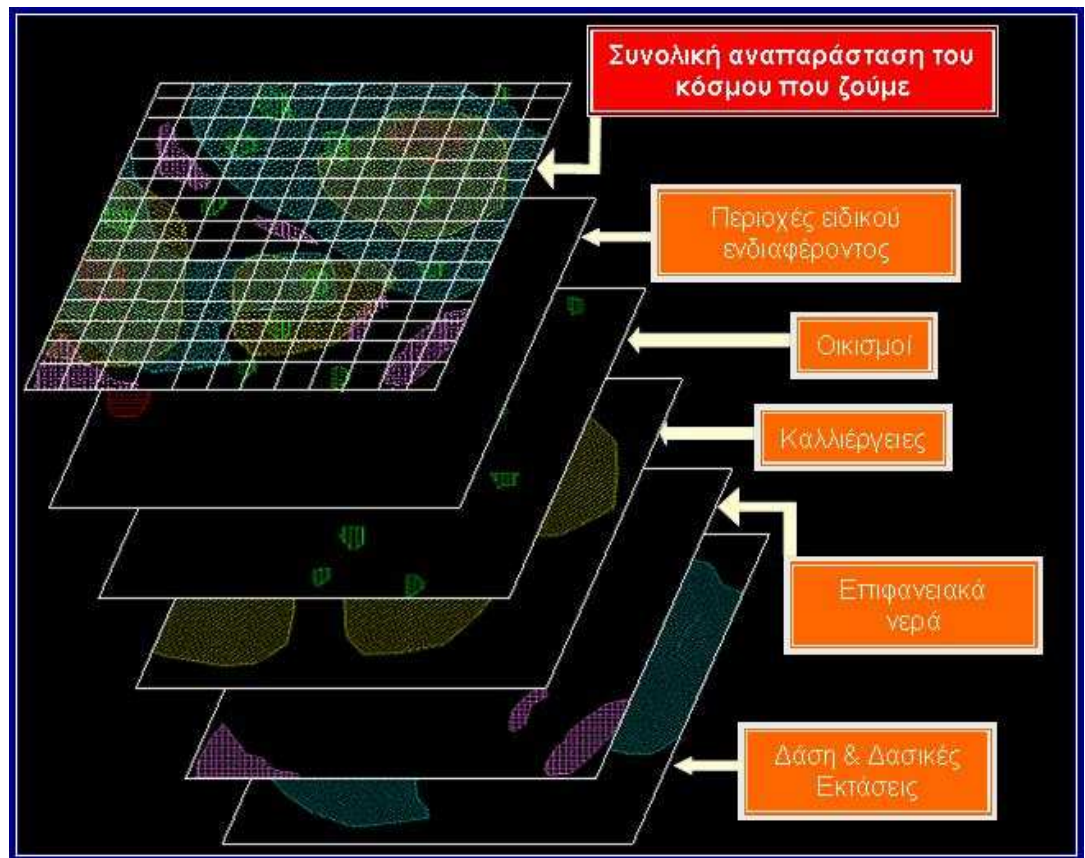


(α)

(β)

Εικόνα 4.1. (α) Πλεγματική μορφή (raster) ΣΓΠ, (β) διανυσματική μορφή (vector) ΣΓΠ

Βασικό χαρακτηριστικό-δυνατότητα (της οποίας όμως πρέπει να γίνει σωστή χρήση κατά την ανάπτυξη ενός ΣΓΠ μιας περιοχής) είναι η διαστρωμάτωση των γεωγραφικών πληροφοριών (Καλύβας και Παπαευσταθίου 1995, Maguire, 1991). Αυτή αναφέρεται στην οργάνωση της πληροφορίας, χωρικής ή περιγραφικής, σε επίπεδα (layers) ομοιογενών πληροφοριών. Ένα τέτοιο παράδειγμα απεικονίζεται στην εικόνα Εικόνα 4.2.



Εικόνα 4.2. Ιεράρχηση γεωγραφικών πληροφοριών σε επίπεδα και σύνθεσή τους σ' ένα ολοκληρωμένο ενιαίο υπόβαθρο.

Ένα ΣΓΠ μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από τα εξής υποσυστήματα:

- Συλλογή και κωδικοποίηση των δεδομένων. Τα δεδομένα που αποθηκεύονται σ' ένα ΣΓΠ προέρχονται από διάφορες πηγές (π.χ. χάρτες, αεροφωτογραφίες, δορυφορικές εικόνες, πίνακες, κλπ.), αναφέρονται σε διαφορετικές θέσεις και χρονικές στιγμές και μπορεί να βρίσκονται σε αναλογική ή ψηφιακή μορφή.
- Αποθήκευση και ανάκτηση των δεδομένων. Η διαχείριση γενικά των χωροχρονικών δεδομένων ενός ΣΓΠ γίνεται με τη χρήση ενός Συστήματος Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων, Σχεσιακών ή μη (Data Base Management System,

DBMS, Relational or not), που επιτρέπει γρήγορο εντοπισμό τους από το χρήστη για ανάλυση, ακριβή αναβάθμιση και διόρθωση.

- Χειρισμός και επεξεργασία των δεδομένων. Μερικές από τις επεξεργασίες είναι: μετατροπές στις δομές των δεδομένων, γεωμετρικές πράξεις στα χωρικά δεδομένα (στροφή υπό κάποια γωνία, αλλαγή της κλίμακας, αλλαγή του συστήματος συντεταγμένων, κλπ.), τοπογραφική ανάλυση των δεδομένων (γειτονικά χαρακτηριστικά, σύνδεσμοι, λανθασμένα χαρακτηριστικά, κλπ.), στατιστική ανάλυση και γεωστατιστική ανάλυση, αλληλοσυσχέτιση επιπέδων, σύνθεση, μετρήσεις γραμμών και τόξων, ανάκτηση χωρικών και μη δεδομένων, κλπ.
- Παρουσίαση των δεδομένων. Ταυτόχρονη παρουσίαση/επίθεση των αποτελεσμάτων των επεξεργασιών σε χάρτες ή και πίνακες σε μια ποικιλία από μέσα, όπως χαρτί, διαφάνειες, οθόνες, μαγνητικά μέσα, με χρήση συσκευών όπως εκτυπωτές ακίδων, laser, inkjet, plotters.

5. ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ – ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΜΕΤΑΛΛΕΙΟΥ ΣΤΗΝ ΙΣΠΑΝΙΚΗ ΓΑΛΙΚΙΑ

5.1 Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ, ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ, ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ, ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Η Ισπανική περίπτωση περιλαμβάνει τη περιοχή του ορυχείου As Pontes που εκμεταλλεύεται από την εταιρία ENDESA, στη περιοχή της Γαλικίας. Η εκμετάλλευση από την ENDESA ξεκίνησε το 1976 και αναμένεται το πέρας της εντός του 2011. Το ανθρακωρυχείο του As Pontes είναι επιφανειακό και έχει έκταση 13,4 x 7,4 χλμ ενώ η ευρύτερη περιοχή που μελετάται από την ENDESA έχει έκταση 36,4 x 27,1 χλμ.

Η περιοχή εξόρυξης αποτελείται από δύο κύριες κοιλότητες με βάθος 200-250 μέτρα, περίπου. Ο κύριος στόχος είναι η εξόρυξη λιγνιτών, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο θερμοηλεκτρικό εργοστάσιο που βρίσκεται στο εξωτερικό άκρο του ορυχείου. Οι λιγνίτες πριν την άφιξη τους στο θερμοηλεκτρικό σταθμό αναμειγνύονται με άνθρακα υψηλής ποιότητας από το Γουαϊόμινγκ (ΗΠΑ) και την Ινδονησία, καθώς η ποιότητα των λιγνιτών δεν είναι πολύ υψηλή.

Η περιοχή του ορυχείου βρίσκεται στη λεκάνη του ποταμού Eume, η μέση βροχόπτωση στην περιοχή αυτή είναι 1600 mm το χρόνο ενώ η μέση μηνιαία θερμοκρασία κυμαίνεται από 6.8 °C (Ιανουάριος) μέχρι 17.5 °C (Αύγουστος). Δάση δρυός αποτελούν την πρωταρχική χλωρίδα, η οποία περιλαμβάνει τα είδη *Quercus robur* (έμμισχος δρυς), *Betula pubescens* (σημύδα) και *Castanea sativa* (καστανιά). Οι αγροτικές, δασοκομικές και κτηνοτροφικές πρακτικές έχουν μειώσει σημαντικά την έκτασή τους (< 25 %). Οι κύριοι τύποι βλάστησης που απαντώνται σήμερα είναι θαμνώνες-φρύγανα (*Ulex europaeus*, *U. Gallii*, *Erica mackaina*, *E. Cinerea*, κλπ.), φυτείες (καλαμπόκι, σιτάρι, όσπρια, πατάτες, και λαχανικά) και βοσκοτόπια (*Agrostis*, *Holcus*, *Cynosorus*, *Festuca*, *Trifolium*, κλπ.), φυτείες κωνοφόρων (*Pinus pinaster*, *P. sylvestris*) και ευκαλύπτων (*Eucalyptus globulus*) και τα εναπομείναντα πρωταρχικά δάση φυλλοβόλων. Οι δασικές πυρκαγιές και οι εγκαταλελειμμένες φυτείες έχουν αυξήσει την έκταση των θαμνώνων.

Τα υλικά της Τριασικής που γεμίζουν τη λεκάνη μπορούν να ομαδοποιηθούν σε έξι λιθολογικούς τύπους: λιγνίτης, άργιλος, άργιλος πλούσια σε άνθρακα, άμμος,

ασβεστολιθικός πηλός με χοντρή άμμο (marl) και σύνθετη μάζα βάσεως. Μέσα στον άργιλο και τον ανθρακούχο πηλό υπάρχουν υλικά με διαφορετικές αναλογίες άνθρακα και αργίλου. Η κατανομή τους δεν είναι ομοιογενής. Τα στρώματα των λιγνιτών και των ανθρακούχων αργίλων έχουν συνήθως ένα σχετικά σταθερό πάχος, αν και με σημαντικές τοπικές διαφοροποιήσεις, κυρίως στα όρια της λεκάνης. Το πάχος κυμαίνεται από μισό μέτρο (ελάχιστο εκμεταλλεύσιμο πάχος) μέχρι 25 μέτρα. Συνολικά έχουν εντοπιστεί μέχρι και 19 στρώματα λιγνίτη. Τα στρώματα αυτά βυθίζονται με κατεύθυνση από το Νότο προς το Βορρά, με το απόθεμα να σχηματίζει γωνία 15 μοιρών. Η ελάχιστη θερμαντική ισχύς κυμαίνεται μεταξύ 1600 και 2200 kcal/kg.

Το σύστημα εκμετάλλευσης που εφαρμόζεται είναι η “Γερμανική Μέθοδος”. Το σύστημα συνίσταται κυρίως στην συνεχή εκσκαφή του κοιτάσματος και τη μεταφορά του, με ιμάντες μεταφοράς, στο θερμικό εργοστάσιο παραγωγής ισχύος, αν είναι άνθρακας, ή στο σημείο απόρριψης, αν είναι στείρο. Ένα τετράγωνο πλέγμα γεωτρήσεων 100 x 100 μέτρων καλύπτει την επιφάνεια της εκμετάλλευσης, αν και σε περιοχές που δεν μπορούν να χαρακτηριστούν εύκολα, η πυκνότητα των γεωτρήσεων είναι μεγαλύτερη. Οι διάφοροι τύποι των γεωτρήσεων είναι: γεωλογικές γεωτρήσεις, υδρογεωλογικές, γεωτεχνικές και πηγάδια για τη συλλογή ύδατος.

Η εκσκαφή των υλικών του κοιτάσματος γίνεται με επτά εκσκαφείς που λειτουργούν σε αναβαθμούς ύψους 20 μέτρων (Εικόνα 5.1). Κάθε εκσκαφέας αδειάζει σε έναν ιμάντα μεταφοράς. Εξ αιτίας της υψηλής περιεκτικότητας του λιγνίτη σε θείο στο As Pontes, γίνεται ανάλυση (θερμαντικής ικανότητας, περιεκτικότητας σε τέφρα) κάθε 25 δευτερόλεπτα, με φασματόμετρο ακτίνων.



Εικόνα 5.1. Ορυχείο Λιγνίτη As Pontes (πηγή: ENDESA)

Η μεγάλη ποσότητα διαθέσιμου ύδατος (λόγω της υψηλής βροχόπτωσης) έχει επιτρέψει την εκπόνηση ενός σχεδίου αποκατάστασης το οποίο προβλέπει τη δημιουργία μιας μεγάλης λίμνης, η οποία σχηματίζεται από τις δύο ανοικτές κοιλάδες. Αυτή τη στιγμή έχουν υπολογίσει ότι ο χρόνος πλήρωσης θα είναι πέντε με επτά χρόνια. Από την άλλη μεριά, εξετάζεται ακόμα ο τελικός υδροχημικός χαρακτήρας αυτών των υδάτων πλήρωσης μετά την αντίδραση με το όξινο λιθολογικό περιβάλλον, η επεξεργασία και η χρήση τους, καθώς και ποια θα είναι η γεωτεχνική συμπεριφορά των αναβαθμών της εκμετάλλευσης που θα κατακλυσθούν. Το βάθος αυτής της λίμνης θα είναι περίπου 200 μέτρα.

Το Σχέδιο Αποκατάστασης του ορυχείου As Pontes στοχεύει στην αποκατάσταση μιας έκτασης περίπου 3000 εκταρίων, συμπεριλαμβανομένης της περιοχής της εκμετάλλευσης και του χώρου απόρριψης. Το τελικό σενάριο του σχεδίου αυτού συνδυάζει την ύπαρξη μιας λίμνης με την αναβλάστηση της επιφάνειας που έχει επηρεαστεί από τις εργασίες εξόρυξης, ακολουθώντας τα φυσικά σχήματα της ευρύτερης περιοχής. Πρόκειται για μια συμβιβαστική λύση με οικονομικά, γεωτεχνικά και οικολογικά κριτήρια. Μετά το τέλος της εκμετάλλευσης, το κοίλωμα του ορυχείου θα μετατραπεί σε λίμνη, με χρήση υδάτων που προέρχονται από τοπικά ρέματα και από βροχόπτωση. Απαιτούνται περίπου

τρία χρόνια για να γεμίσει η λίμνη. Το πάνω μέρος του κοιλώματος του ορυχείου (+/- 100 μέτρα) έχει το σχήμα δύο – τριών αναβαθμών από σχιστόλιθο, οι οποίες θα αποκατασταθούν. Η μελέτη που θα οδηγήσει στη βέλτιστη λύση για αυτούς τους αναβαθμούς θα εκπονηθεί εντός των επομένων ετών.

5.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Η περιοχή εκμετάλλευσης του As Pontes μπορεί να χωριστεί σε δύο κύριες περιοχές. Την περιοχή όπου γίνεται η εξόρυξη του λιγνίτη και το χώρο απόθεσης απορριμμάτων. Βασικά όλα τα στείρα υλικά (50% του συνόλου των ορυκτών) απορρίπτονται στην ίδια περιοχή. Για την περιοχή της απόρριψης έχει καθοριστεί από πριν το μέρος όπου απορρίπτονται τα στείρα υλικά, βάσει γεωτεχνικής τεκμηρίωσης και της ποιότητας των στειρών υλικών.

5.3 Ο ΧΩΡΟΣ ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

Τα απόβλητα αποτελούνται από δύο τύπους υλικών: σχιστόλιθο (20%) και άργιλο (80%). Η άργιλος σχηματίζει το εσωτερικό μέρος των χώρων απόθεσης (υλικό γέμισης) ενώ ούτως ή άλλως οι σχιστόλιθοι μένουν στην επιφάνεια. Εξαρτάται από την ποιότητα του εδάφους κατά πόσον απαιτείται η προσθήκη ενός επιφανειακού στρώματος από χώμα έτσι ώστε να δημιουργηθεί έδαφος κατάλληλο για την ανάπτυξη βλάστησης.

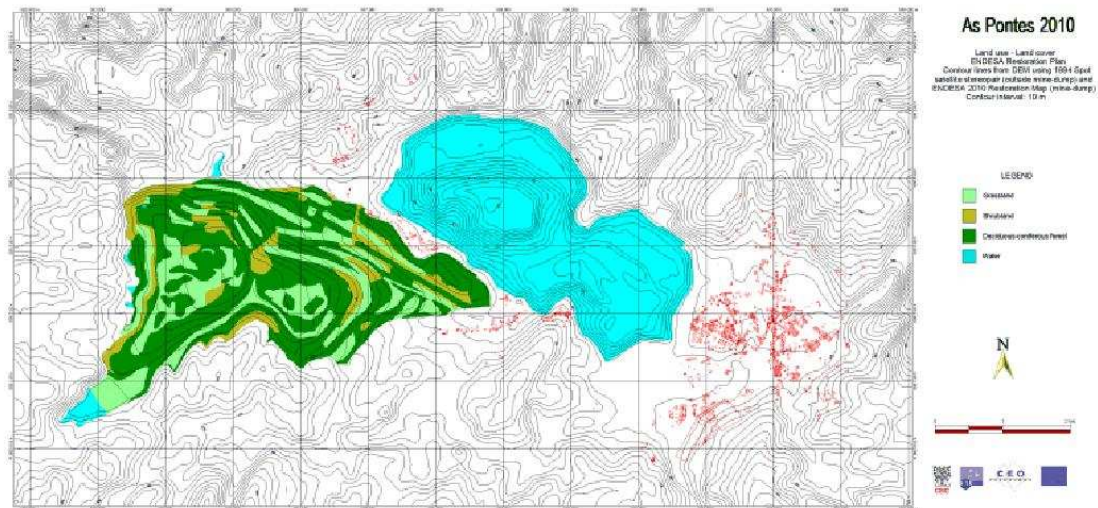
Οι οριακές συνθήκες για την ανάπτυξη οιοδήποτε τύπου βλάστησης είναι

- 1) pH 4,5 ή περισσότερο, και
- 2) περιεκτικότητα σε θείο μικρότερη από 0.5%.

Αυτές οι οριακές συνθήκες είναι δυνατόν να επιτευχθούν μετά από ένα ή δύο χρόνια με τη σπορά χόρτου και θάμνων. Τα είδη αυτά εμπλουτίζουν το έδαφος και ανεβάζουν το pH. Στην περίπτωση αυτή οι θάμνοι κόβονται ώστε να τονωθεί η διεργασία της ύγρανσης. Μετά από δύο χρόνια είναι δυνατή η φύτευση δένδρων σε προκαθορισμένες τοποθεσίες. Τα δένδρα καθαρίζονται μετά από μερικά χρόνια για να εμπλουτίσουν και πάλι το έδαφος.

Επί πλέον, τα πρανή των περιοχών δεν πρέπει να υπερβαίνουν το λόγο 1:3. Βασικά, το σχήμα του χώρου απόθεσης απορριμμάτων θα μοιάζει με τεράστιους πάγκους πλάτους 100 μέτρων και πρανή με υψομετρική διαφορά 20 μέτρων.

ENDESA FINAL RESTORATION PLAN AS PONTES COAL MINE - 2010 WITH PLANNED LAKE (h < 340 m)



Εικόνα 5.2. Το σχέδιο αποκατάστασης που υποβλήθηκε από την εταιρεία στις Ισπανικές Αρχές (πηγή ENDESA).

5.4 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΣΧΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

Το σχήμα της περιοχής απόθεσης απορριμμάτων καθορίζεται από γεωτεχνικές παραμέτρους, η σημαντικότερη των οποίων είναι η σταθερότητα των πρανών. Η σταθερότητα των πρανών προσδιορίζεται από τον τύπο του υλικού και την κλίση του εδάφους. Η περιοχή απόθεσης απορριμμάτων πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη για να δεχθεί τον όγκο των απορριμμάτων.

Οι τοποθεσίες απόθεσης θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στην περιοχή της εξόρυξης, ώστε να ελαχιστοποιείται το κόστος μεταφοράς. Η έκταση της επιφάνειας του χώρου απόθεσης απορριμμάτων θα πρέπει να ελαχιστοποιείται, ώστε να ελαχιστοποιείται και η χρήση γης. Οι δρόμοι θα κατασκευαστούν στην άκρη του οριζοντίου τμήματος του αναβαθμού. Τα κανάλια απορροής υδάτων κατασκευάζονται στο

όριο των πρανών με το οριζόντιο τμήμα. Το σύνολο του χώρου απόθεσης απορριμμάτων περιβάλλεται από ένα κανάλι απορροής, το οποίο ελέγχει την απορροή της περιοχής. Με τη λήψη δειγμάτων από το κανάλι αυτό μπορεί να ελέγχεται η ποιότητα των υδάτων.

5.5 ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΧΩΡΩΝ ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΤΟΥ AS PONTES

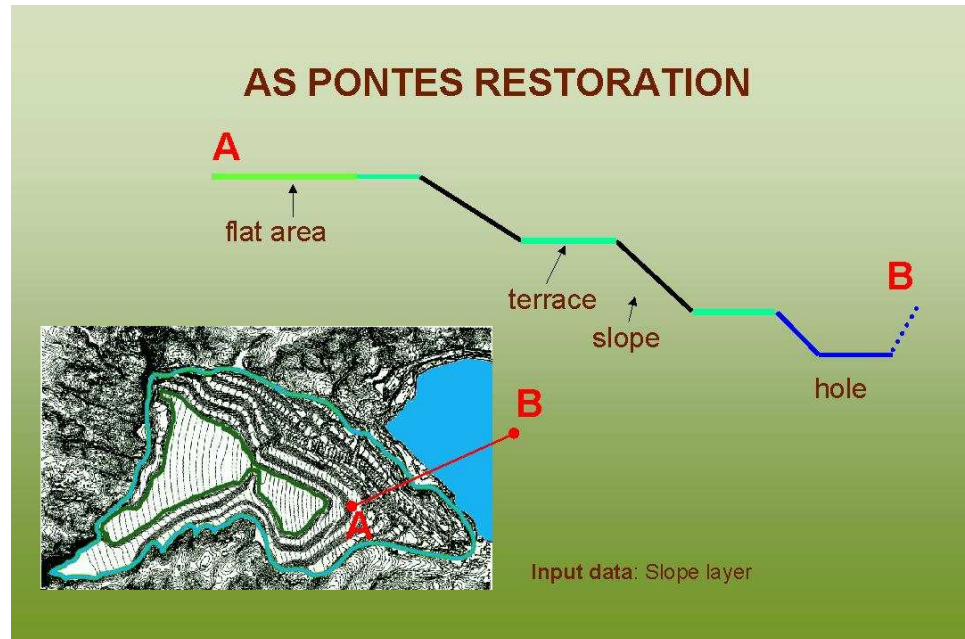
Το Σχέδιο Αποκατάστασης του Ορυχείου As Pontes στοχεύει στην αποκατάσταση περίπου 1.800 εκταρίων από τα οποία περίπου 1.150 εκτάρια αφορούν χώρους απόθεσης και 650 εκτάρια είναι τα όρια του ορυχείου. Αυτή τη στιγμή, η αποκατεστημένη επιφάνεια έχει έκταση περίπου 800 εκταρίων. Τα γεωγραφικά (κλίση, έκταση), οικονομικά (γεινίαση) και γεωλογικά (ανυπαρξία εκμεταλλεύσιμων κοιτασμάτων, γεωτεχνικά χαρακτηριστικά των εδαφών) χαρακτηριστικά των δύο κοιλάδων που συνορεύουν με την περιοχή του ορυχείου ήταν αποφασιστικής σημασίας για την οριοθέτηση των χώρων απόθεσης απορριμμάτων του ορυχείου (ο συνολικός όγκος στείρων προς συγκέντρωση είναι 750x106 m³).

Η αποκατάσταση του χώρου απόθεσης απορριμμάτων εξαρτάται αμέσως από τη σχεδιάσή του, η οποία βασίζεται σε γεωτεχνικά κριτήρια. Η μορφολογία και οι κλίσεις σε ένα χώρο απόθεσης εξαρτώνται σε αυτές τις γεωτεχνικές παραμέτρους που καθορίζουν τη σταθερότητά τους.

Στάδια Αποκατάστασης:

1.Κατασκευή του χώρου απόθεσης απορριμμάτων υπό συνθήκη μέγιστης ευστάθειας (μέγιστης ασφάλειας). Τα πρανή στις πεζούλες του χώρου απόθεσης απορριμμάτων κυμαίνονται από 3:1 (ελάχιστο για αποκατάσταση), με 6:1 να είναι τα καλά για αποκατάσταση εν αναμονή του 5:1. Το πλάτος αυτών των αναβαθμών είναι περίπου 100 μέτρα, που είναι ο απαιτούμενος χώρος για την εγκατάσταση των φορτωτών, ιμάντων μεταφοράς και υποδομών. Η ανομοιογένεια μεταξύ αναβαθμών είναι της τάξεως των 20 μέτρων. Η μορφολογία του μετώπου της πεζούλας είναι μάλλον ευθύγραμμη, εξ αιτίας της εγκατάστασης των ιμάντων μεταφοράς (η ευθεία είναι η βραχύτερη και πλέον οικονομική

διαδρομή). Μόλις κάποια πεζούλα φτάσει στο σημείο αναφοράς, αρχίζουν οι κατάλληλες εργασίες αποκατάστασης.



Εικόνα 5.3. Γράφημα που δείχνει τη γεωμετρία αποκατάστασης των χώρων απόθεσης Απορριμμάτων (Πηγή: ENDESA).

2. Προετοιμασία του επιφανειακού εδάφους: Η εταιρεία ENDESA έχει χαρακτηρίσει εδαφογενετικά (φυσικές-χημικές παράμετροι) όλους τους τύπους των στείρων υλικών (περισσότεροι από 30) που υπάρχουν ανάμεσα στα 19 στρώματα εκμεταλλεύσιμου λιγνίτη, για να δει ποια από αυτά είναι τα ιδανικά για να σχηματίσουν το αρχικό έδαφος της αποκατάστασης και να εκμεταλλευτεί τα στείρα ως επιφανειακό έδαφος. Οι παράμετροι που μελετήθηκαν ήταν: μέγεθος κόκκου, pH, περιεκτικότητα σε θείο, ορυκτολογία, ικανότητα κατιονικής ανταλλαγής, ικανότητα συγκράτησης υγρασίας, περιεκτικότητα σε σίδηρο και αλουμίνιο, περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα (Mn, Pb, Co, Zn, Ni). Σε φθίνουσα κατάταξη, τα στείρα στρώματα που είναι κατάλληλα για τη δημιουργία εδαφών είναι:

- Σχιστόλιθοι (20%) *
- Σχιστόλιθοι χωρίς θείο
- Σχιστόλιθοι με θείο
- Άργιλοι (70%) *

- “Καθαρές” άργιλοι (χωρίς άνθρακα ή θείο) (25%) *
- Άργιλοι πλούσιες σε άνθρακα (75%) *
- Στάχτες (6-10%) *

(* ποσοστά για το 2000).

Έχει αποφασιστεί ότι οιοδήποτε στείρο υλικό εκπληρώνει τις επόμενες συνθήκες, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως επιφανειακό έδαφος. Τα υπόλοιπα χρησιμοποιούνται για την πλήρωση του χώρου απόθεσης:

$\%S < 0.5$

$pH > 4.5-5$

Το πάχος αυτού του ρηχού στρώματος κυμαίνεται μεταξύ 0.5-1 μέτρο. Καθώς η διαθεσιμότητα καλών υλικών για την αποκατάσταση εξαρτάται από το σχεδιασμό της εκμετάλλευσης, συχνά θα πρέπει να συγκεντρώνεται (ή να χάνεται ως υλικό πλήρωσης, εξ αιτίας ελλείψεως χώρου για την αποθήκευσή του). Το τελικό στάδιο προετοιμασίας της επιφάνειας είναι η κατασκευή οδών προσπέλασης στα πιο απομακρυσμένα σημεία της πεζούλας, και αυτή των καναλιών απορροής με τη βοήθεια μιας όχθης. Η μη διαθεσιμότητα καλού υλικού για την αποκατάσταση αναπληρώνεται με την προσθήκη επιφανειακού εδάφους, ανθρακικού ασβεστίου ή τέφρας (έλεγχος του pH = μείωση του όξινου χαρακτήρα των αρχικών υλικών). Έχει υπολογιστεί ότι όταν ολοκληρωθεί η εκμετάλλευση, 50% της τελικής επιφάνειας των χώρων απόθεσης θα έχει δημιουργηθεί απ' ευθείας με επιφανειακό έδαφος και το άλλο 50% με στείρα υλικά (σχιστόλιθοι χωρίς θείο και τέφρα).

3. Η επαναφύτευση. Η φάση αυτή αποτελείται από τρία στάδια:

Επαναφύτευση με πόες: ο αντικειμενικός στόχος είναι η σταθεροποίηση και η ανάπτυξη του εδάφους. Η επιφάνεια σπέρνεται το συντομότερο δυνατόν ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι συνέπειες της διάβρωσης. Το στάδιο αυτό διαρκεί περίπου δύο χρόνια. Επαναφύτευση με θάμνους: ο αντικειμενικός στόχος είναι η δημιουργία επιφανειακού εδάφους.

Επαναφύτευση με το τελικό είδος:

- Πόες: *Festuca roudinacea*, *Dactylis glomerata*, τριφύλλι (*Trifolium repens*)

- ο Θάμνοι: Ράχος ο Ευρωπαϊκός (Gorse ή Furze - Ulex eoropaeu) και σόργον το σάρωθρον (Spartium junceum)
- ο Δένδρα: ευκάλυπτος (επτά ποικιλίες) και: σημύδα * (Betula pendula), ράμνος * (Alnus glutinosa), καστανιά * (Castanea sativa) και δρυς * (Quercus robur), πεύκο (Pinus pinaster και Pinus απορρίπτονται λόγω ασθενειών, Pinus pseudosirga = Oregon pine δουλεύει καλύτερα).
(*Αυτόχθονο δάσος)

Η κατανομή των διαφόρων τύπων βλάστησης είναι γενικά:

- ο Στις ράχες: δένδρα
- ο Στους αναβαθμούς: πόες (βοσκή) και θάμνοι

Η συντήρηση των αποκατεστημένων περιοχών είναι περιορισμένη. Πολλές φορές εξαρτάται από την ύπαρξη εγγραφής στον προϋπολογισμό για το σκοπό αυτό.

Η κατά προσέγγιση συνολική τιμή αποκατάστασης ανά εκτάριο είναι 10.000 ευρώ.

5.6 ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΣ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΣΗΣ.

1. Κόστος αποκατάστασης

Μέσο κόστος, ανά εκτάριο, σε τιμές αναπροσαρμοσμένες σε ευρώ το 2006, των διαφόρων ενεργειών αποκατάστασης.

Ενέργειες πάνω σε πρηνή αργίλων και διαφόρων στειρών, ανομοιογενούς ποιότητας:

Περίοδος εναπόθεσης: 1976-1980

Επεξεργασία

| | |
|---|------------------|
| Επιφανειακό έδαφος (2.00 m ³ /εκτάριο) | 7.000€ /εκτάριο |
| Ανθρακικό ασβέστιο (3 T/εκτάριο) | 500€ /εκτάριο |
| Χημικό λίπασμα | 300€ /εκτάριο |
| Σπορά | 500€ /εκτάριο |
| Φύτευση | 4.000€ /εκτάριο |
| Σύνολο επεξεργασίας | 12.300€ /εκτάριο |

Ενέργειες πάνω σε πλατφόρμα όξινων σχιστόλιθων:

Περίοδος εναπόθεσης: 1986

Επεξεργασία

| | |
|---------------------------------------|-----------------|
| Τέφρα (1.000 m ³ /εκτάριο) | 5.000€ /εκτάριο |
| Χημικό λίπασμα | 600€ /εκτάριο |
| Σπορά | 500€ /εκτάριο. |
| Σύνολο επεξεργασίας | 6.100€ /εκτάριο |

Ενέργειες πάνω σε πλατφόρμα όξινων σχιστόλιθων:

Περίοδος εναπόθεσης: 1986

Επεξεργασία

| | |
|-----------------------------------|-----------------|
| Ανθρακικό ασβέστιο (10 t/εκτάριο) | 1.200€ /εκτάριο |
| Χημικό λίπασμα | 1.000€ /εκτάριο |
| Σπορά | 500€ /εκτάριο. |
| Φύτευση | 2.500€ /εκτάριο |
| Σύνολο επεξεργασίας | 5.500€ /εκτάριο |

Ενέργειες πάνω σε πρανή ανθρακούχων αργίλων:

Περίοδος εναπόθεσης: 1984

Επεξεργασία

| | |
|---|------------------|
| Ashy (1000 m ³ /εκτάριο) | 5.000€ /εκτάριο |
| Επιφανειακό έδαφος (2000 m ³ /εκτάριο) | 7.000€ /εκτάριο |
| Χημικό λίπασμα | 650€ /εκτάριο |
| Σπορά | 500€ /εκτάριο |
| Σύνολο επεξεργασίας | 13.150€ /εκτάριο |

Ενέργειες πάνω σε πλατφόρμες μη όξινων σχιστόλιθων:

Περίοδος εναπόθεσης: 1986

Επεξεργασία

| | |
|----------------------------------|---------------|
| Ανθρακικό ασβέστιο (3 t/εκτάριο) | 500€ /εκτάριο |
|----------------------------------|---------------|

| | |
|-----------------------------------|------------------|
| Οργανικό λίπασμα (Chicken Purina) | 1.200 € /εκτάριο |
| Χημικό λίπασμα | 600€ /εκτάριο |
| Σπορά | 500€ /εκτάριο |
| Σύνολο επεξεργασίας | 2.800€ /εκτάριο |

Ενέργειες πάνω σε πλατφόρμα όξινων σχιστόλιθων:

Περίοδος εναπόθεσης: 1986

Επεξεργασία

| | |
|--------------------------------------|------------------|
| Επιφανειακό έδαφος (3.000 t/εκτάρια) | 10.000€ /εκτάριο |
| Χημικό λίπασμα | 600€ /εκτάριο |
| Σπορά | 500€ /εκτάριο |
| Φύτευση | 2.500€ /εκτάριο |
| Σύνολο επεξεργασίας | 13.600€ /εκτάριο |

Ενέργειες πάνω σε πλατφόρμα δύσοσμων σχιστόλιθων:

Περίοδος εναπόθεσης: 1987

Επεξεργασία

| | |
|---|------------------|
| Επιφανειακό έδαφος (1.500m ³ /εκτάρια) | 6.000€ /εκτάριο |
| Ανθρακικό ασβέστιο (4t/εκτάρια) | 500€ /εκτάριο |
| Χημικό λίπασμα | 500€ /εκτάριο |
| Σπορά | 500€ /εκτάριο |
| Φύτευση | 4.000€ /εκτάριο |
| Σύνολο επεξεργασίας | 11.500€ /εκτάριο |

Ενέργειες πάνω σε πλατφόρμα όξινων σχιστόλιθων:

Περίοδος εναπόθεσης: 1987

Επεξεργασία

| | |
|--|-----------------|
| Επιφανειακό έδαφος (3.000 m ³ /εκτάρια) | 10.000€/εκτάριο |
| Χημικό λίπασμα | 500€ /εκτάριο |
| Σπορά | 500€ /εκτάριο |
| Φύτευση | 3500€ /εκτάριο |

Σύνολο επεξεργασίας

14500€ /εκτάριο

Κόστος πλήρους αεροφωτογράφισης και παραγωγής ορθοφωτοχαρτών:

Συνολική επιφάνεια (ορυχεία + χώρος απόθεσης) 12.000 εκτάρια:

| | | |
|------------------|--------------|----------|
| Κλίμακα 1/5.000 | 12€/εκτάριο | 144.000€ |
| Κλίμακα 1/8000 | 10€ /εκτάριο | 120000€ |
| Κλίμακα 1/22.000 | 8€ /εκτάριο | 96.000€ |

6. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

6.1 ΓΕΝΙΚΑ

Αναμφίβολα οι υπαίθριες εκμεταλλεύσεις σε μια περιοχή αποτελούν σημαντική πηγή παρέμβασης και διατάραξης του φυσικού περιβάλλοντος με άμεσες ή έμμεσες επιπτώσεις κοινωνικοοικονομικού περιεχομένου. Τόσο οι εθνικές όσο και οι διεθνείς τάσεις συγκλίνουν στην αντίληψη περί εφαρμογής εργαλείων, μεθόδων και τεχνολογιών για την εξερεύνηση, αξιοποίηση και αποκατάσταση υπαίθριων εκμεταλλεύσεων. Πολλές φορές η Πολιτεία αδυνατεί να παρακολουθήσει και να ελέγξει όχι μόνο τις προόδους εκμετάλλευσης λατομικών και μεταλλευτικών δραστηριοτήτων αλλά και την εφαρμογή του σχεδίου αποκατάστασης όπως αυτό είχε αρχικά υποβληθεί προς σ' αυτή για την έκδοση της σχετικής αδείας εκμετάλλευσης του πλουτοπαραγωγικού πόρου.

Η ολοκληρωμένη παρακολούθηση και έλεγχος όμως στηρίζεται στα διατιθέμενα στοιχεία, η ακρίβεια των οποίων επηρεάζει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων που προκύπτουν. Τα δεδομένα χρειάζεται πολλές φορές να διατίθενται σε μεγάλο αριθμό παρατηρήσεων και μετρήσεων και να καλύπτουν μεγάλες χρονικές περιόδους, ώστε να είναι δυνατή η στατιστική τους επεξεργασία για την εξαγωγή εγκυρότερων συμπερασμάτων. Λόγω της χωρικής και χρονικής φύσης των απαιτούμενων πληροφοριών αλλά και λόγω του μεγάλου όγκου δεδομένων μια τεχνολογία που έχει συμβάλει αποφασιστικά στην αποκατάσταση λατομικών και μεταλλευτικών δραστηριοτήτων είναι ο συνδυασμός της Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης και των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ). Η τεχνολογία της δορυφορικής τηλεπισκόπησης μπορεί να παράγει χωρικά δεδομένα και να παρακολουθεί και να ελέγχει αλλαγές που προκαλούνται με το πέρασμα του χρόνου και να επιτρέπει την αποτελεσματική εκτίμηση της προόδου των διαφόρων καταστάσεων. Η τηλεπισκόπηση και τα ΣΓΠ είναι εργαλεία που περιλαμβάνουν διαφορετικές μεθοδολογίες και τεχνικές, οι οποίες όμως μπορούν επιτυχώς να ενσωματωθούν στη μελέτη και επίλυση περιβαλλοντικών προβλημάτων.

Η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας που αναλύθηκε στο κεφάλαιο αυτό υπογράμμισε ότι επί του παρόντος δεν υπάρχει κάποια ενιαία μεθοδολογία και αντίστοιχα εργαλεία που μπορούν να εφαρμοστούν σε εθνικό, ακόμα και Ευρωπαϊκό επίπεδο και να προσφέρουν μια μερική ή ολιστική λύση στην αποκατάσταση λατομικών ή μεταλλευτικών

δραστηριοτήτων. Αντιθέτως η διεθνής πρακτική δείχνει πως τα προβλήματα χρήσης και γενικά διαχείρισης και αποκατάστασης υπαίθριων εκμεταλλεύσεων που αξιοποιούν πλουτοπαραγωγικούς φυσικούς πόρους παρουσιάζουν αυξημένη πολλαπλότητα και πολυπλοκότητα. Οι ειδικές συνθήκες της κάθε περιοχής όπως κλιματικές, γεωγραφικές, εδαφικές κ.τ.λ. επιδρούν ανασταλτικά στην ανταλλαγή σχετικής έρευνας και τεχνολογίας.

Ο κύριος στόχος του παρούσας ερευνητικής εργασίας είναι να διερευνηθεί ο βαθμός στον οποίο η Ψηφιακή Δορυφορική Τηλεπισκόπηση σε συνδυασμό με τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ) και τα Συστήματα Λήψης Αποφάσεων (ΣΛΑ) αποτελούν χρήσιμα εργαλεία για τον γενικό προγραμματισμό, διαχείριση και κατανομή αποκατάστασης λατομικών και μεταλλευτικών δραστηριοτήτων. Πιο αναλυτικά, στην διδακτορική αυτή διατριβή επιχειρείται να δημιουργηθεί ένα επικουρικό εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων για την αποκατάσταση μιας περιοχής εξόρυξης με βάση τη αποτύπωση και χαρτογράφηση των διαχρονικών σταδίων της εξόρυξης και των γειτονικών χρήσεων γης η οποία καταγράφεται μέσα από τη συνδυαστική χρήση μέσης ευκρίνειας πολυφασματικών δεδομένων Landsat TM, υψηλής ευκρίνειας παγχρωματικών δεδομένων KVR-1000 και στεροσκοπικών δεδομένων μέσης ευκρίνειας SPOT.

Μελετώντας όλες τις παραμέτρους που πρέπει να ακολουθήσει ένας γεωπόνος-αρχιτέκτων τοπίου, τοπογράφος μηχανικός, μηχανικός περιβάλλοντος ή μηχανικός υπαίθριων εκμεταλλεύσεων κατά τη διάρκεια της σύνταξης μελετών αποκατάστασης λατομικών και μεταλλευτικών δραστηριοτήτων η έρευνα αυτή στοχεύει στην ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας αποκατάστασης για τη πιθανή κατάστρωση διαχειριστικών σχεδίων δράσης και προγραμματισμού έργων. Η μεθοδολογία αυτή επομένως θα διερευνήσει τις ανάγκες αλλά και θα αξιολογήσει το βαθμό με τον οποίο η τηλεπισκόπηση, τα ΣΓΠ και τα συστήματα λήψης αποφάσεων μπορούν να αξιοποιηθούν στην αποκατάσταση μεταλλευτικών δραστηριοτήτων. Η προσέγγιση αυτή παρουσιάζεται αναλυτικά στα επόμενα κεφάλαια.

6.2 ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ LANDSAT

Ο πρώτος δορυφόρος που σχεδιάστηκε ειδικά για την παρατήρηση της επιφάνειας της Γης ονομαζόταν ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite-1) και αναπτύχθηκε

ως μέρος του αμερικανικού προγράμματος LACIE (Large Area Crop Inventory Experiment) με στόχο τη καταγραφή των εκτάσεων των σιτηρών και καλαμποκιού στην πρώην Σοβιετική Ένωση. Μετονομάστηκε αργότερα σε LANDSAT. Αποδείχθηκε μια πολύ επιτυχημένη αποστολή, καθώς παρείχε εικόνες που δεν ήταν χρήσιμες μόνον στη γεωργία και τη γεωλογία, αλλά και σε πολλές άλλες εφαρμογές. Από την εκτόξευση του ERTS-1 την 23η Ιουλίου 1972, έχουν λειτουργήσει αρκετοί ακόμη δορυφόροι τύπου LANDSAT.

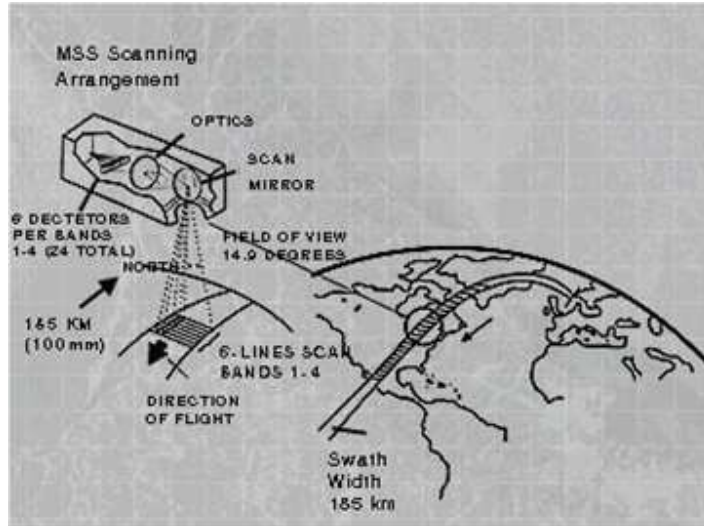
Οι πρώτοι τρεις της σειράς αυτής (LANDSAT 1, 2 και 3) έχουν επαναλαμβανόμενες, κυκλικές, ηλιοσύγχρονες, σχεδόν-πολικές τροχιές, σε υψόμετρο 913 χλμ. Ο κύκλος επανάληψης ήταν δεκαοκτώ ημέρες. Παρέχουν πλήρη κάλυψη μεταξύ 81°N και 81°S. Οι πρώτοι τρεις δορυφόροι πρώτης γενιάς μετέφεραν δύο αισθητήρες – την κάμερα Return Beam Vidicon (RBV) και τον πολυφασματικό σαρωτή (MULTISPECTRAL SCANNER - MSS) (Πίνακας 6.1). Εξ αιτίας τεχνικών προβλημάτων με την κάμερα RBV και την φασματική και ραδιομετρική υπεροχή του MSS, τα δεδομένα RBV χρησιμοποιήθηκαν σε σπάνιες περιπτώσεις.

Το MSS είναι ένα σύστημα πολυφασματικής σάρωσης, το οποίο καταγράφει την ανακλώμενη ενέργεια από την επιφάνεια της Γης ή από την ατμόσφαιρα σε τέσσερις περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος: τρεις διάλοιοι στο ορατό φάσμα και ένας κοντά στο υπέρυθρο.

Στους δορυφόρους LANDSAT 1 και 2, το MSS είχε σχεδιαστεί αρχικά ως δευτερεύων αισθητήρας, ενώ η κάμερα που είναι γνωστή ως Return Beam Vidicon (RBV) ήταν ο κύριος αισθητήρας. Όμως το σύστημα αυτό παρουσίασε προβλήματα, πράγμα το οποίο σήμαινε ότι το MSS θα γινόταν ο κύριος αισθητήρας σε προηγούμενες αποστολές LANDSAT. Το MSS διαθέτει έναν περιστρεφόμενο καθρέπτη ο οποίος κινείται από πλευρά σε πλευρά καθώς ο δορυφόρος προχωρά κατά μήκος της τροχιακής του διαδρομής (Εικόνα 6.1).

Η ενέργεια κατευθύνεται από τον καθρέπτη σε ανιχνευτές μέσα στο όργανο κατά τη διάρκεια ενός περάσματος. Το MSS καλύπτει ζώνη 185 χλμ. στο έδαφος και οι εικόνες που παράγονται από δεδομένα MSS έχουν ανάλυση εικονοστοιχείου 80 μέτρων. Οι δορυφόροι LANDSAT 4 και 5 είναι εξοπλισμένοι με έναν πιο εκλεπτυσμένο πολυφασματικό σαρωτή,

το όργανο που ονομάζεται Thematic Mapper (TM), όμως υπάρχει επίσης και ένα όργανο MSS για να διασφαλίσει ότι αυτοί που χρησιμοποιούσαν τα δεδομένα MSS μπορούν να συνεχίσουν να λαμβάνουν εικόνες από το MSS. Αυτού του είδους η συνέχεια στην παροχή δεδομένων είναι ένα σημαντικό θέμα.



Εικόνα 6.1.

| Thematic Mapper (TM) | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------|-----------|-----------|
| Bands | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 (thermal IR) | 7 | |
| Wavelength (μm) | 0.45-0.52 | 0.52-0.60 | 0.63-0.69 | 0.76-0.90 | 1.55-1.75 | 10.42-12.50 | 2.08-2.35 | |
| Resolution (m) | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 120 | 30 | |
| Multi-Spectral Scanner (MSS) | | | | | | | | |
| Bands | 1 | 2 | 3 | 4 | | | | |
| Wavelength (μm) | 0.5-0.6 | 0.6-0.7 | 0.7-0.8 | 0.8-1.1 | | | | |
| Resolution (m) | 80 | 80 | 80 | 80 | | | | |
| Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) | | | | | | | | |
| Bands | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 (thermal IR) | 7 | PAN |
| Wavelength (μm) | 0.45-0.52 | 0.52-0.60 | 0.63-0.69 | 0.76-0.90 | 1.55-1.75 | 10.42-12.50 | 2.08-2.35 | 0.52-0.90 |
| Resolution (m) | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 120 | 30 | 15 |

Πίνακας 6.1.

Η δεύτερη γενιά δορυφόρων LANDSAT εγκαινιάστηκε το 1982 με την εκτόξευση των δορυφόρων LANDSAT 4 (16/7/1982) και LANDSAT 5 (1/3/84), και μεταφέρει το όργανο που ονομάζεται ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΟΣ (THEMATIC MAPPER – TM) (Πίνακας 6.1), μαζί με το MSS. Οι δορυφόροι LANDSAT 4 και 5 τέθηκαν σε σχεδόν-

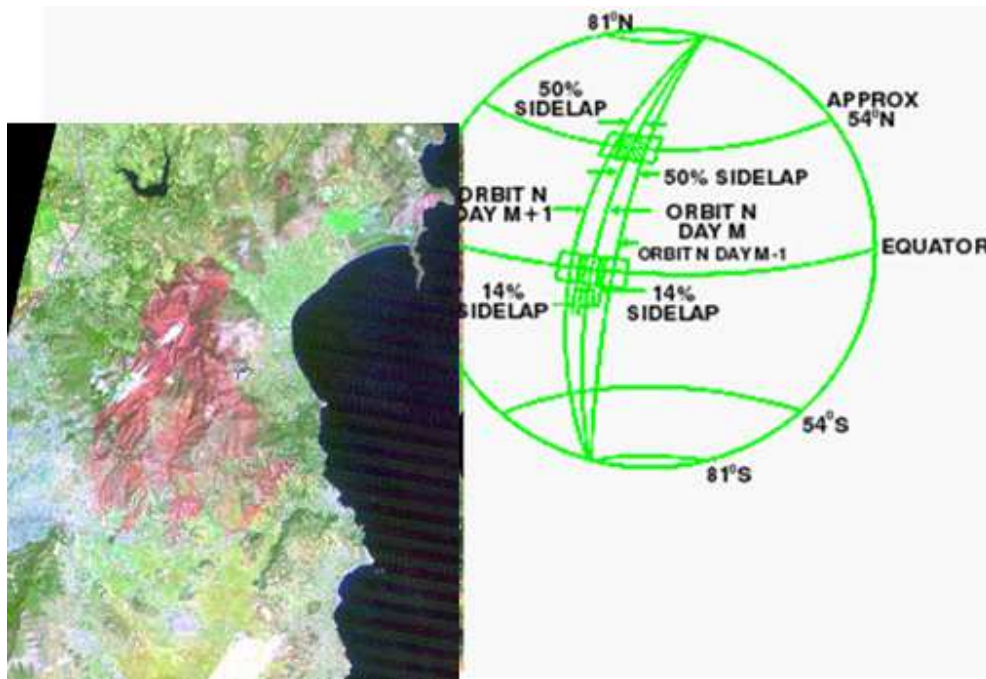
πολική, ηλιοσύγχρονη τροχιά, σε υψόμετρο 705 χιλιομέτρων και με κύκλο επανάληψης δεκαέξι ημερών (Πίνακας 6.2).

Το 1993, ο LANDSAT 6 δυστυχώς χάθηκε αμέσως μετά την εκτόξευσή του. Ο LANDSAT 7, εξοπλισμένος με έναν Βελτιωμένο Θεματικό Χαρτογράφο (Πίνακας 6.2) καθώς και με έναν νέο σαρωτή υψηλής ευκρίνειας, εκτοξεύτηκε την 15η Απριλίου 1999. Σύμφωνα με τις σημερινές προβλέψεις, οι οποίες βασίζονται στις επιδόσεις των συστημάτων και των αισθητήρων του LANDSAT 5, η συνέχεια των δεδομένων Θεματικού Χαρτογράφου είναι εξασφαλισμένη για πολλά χρόνια μέσα στον επόμενο αιώνα.

Θεματικός Χαρτογράφος (Thematic Mapper)

Ο Θεματικός Χαρτογράφος είναι ένας οπτικός αισθητήρας ο οποίος ανιχνεύει την ανακλώμενη ενέργεια και τη θερμότητα που ακτινοβολείται από την επιφάνεια της Γης (Πίνακας 6.1). Είναι ένας γραμμικός σαρωτής, στον οποίο ένας καθρέπτης στρέφεται από πλευρά σε πλευρά για την κάλυψη ενός διαδρόμου πλάτους 185 χιλιομέτρων στο έδαφος, καθώς ο δορυφόρος κινείται κατά μήκος της τροχιακής του διαδρομής.

Η συστοιχία του αισθητήρα συλλέγει δεδομένα και στις δύο κινήσεις και η κίνηση του δορυφόρου επιτρέπει την κάλυψη διαδοχικών λωρίδων της επιφανείας του εδάφους. Το σύστημα είναι σχεδιασμένο με τρόπον ώστε να συνδυάζεται η κίνηση του καθρέπτη με την κίνηση του οχήματος και κάθε λωρίδα να είναι συνέχεια της προηγούμενης. Συνήθως δεν υπάρχουν κενά μεταξύ λωρίδων αλλά καμιά φορά η εμφάνιση σφαλμάτων έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια δεδομένων (γραμμών).



Εικόνα 6.2.

Η ενέργεια που έρχεται από την επιφάνεια της Γης αντανακλάται στον καθρέπτη ο οποίος κατευθύνει την ενέργεια προς μία συστοιχία αισθητήρων μέσα από μια διάταξη οπτικών φακών. Πριν φτάσει η ενέργεια στους αισθητήρες χωρίζεται σε διάφορες ζώνες συχνοτήτων. Έτσι, ο Θεματικός Χαρτογράφος είναι γνωστός ως πολυφασματικός αισθητήρας. Ανιχνεύει ενέργεια σε επτά ζώνες συχνοτήτων. Φωτοηλεκτρικοί αισθητήρες χρησιμοποιούνται για έξι από τις ζώνες συχνοτήτων αλλά αισθητήρες ευαίσθητοι στη θερμότητα πρέπει να χρησιμοποιηθούν για την καταγραφή της θερμικής υπέρυθρης ενέργειας. Η ανάλυση των εικονοστοιχείων για τις έξι ζώνες συχνοτήτων είναι 30 μέτρα. Η ζώνη των υπέρυθρων έχει ανάλυση εικονοστοιχείου 120 μέτρων στον Landsat -5 και 60 μέτρων στον Landsat -7.

Στην Εικόνα 6.2 παρατίθεται μια σύνθετη ψευδοχρωματισμένη εικόνα (ζώνες 7,4,1) η οποία εμφανίζει την κατάσταση του τοπίου στην Αττική τον Σεπτέμβριο του 1998 μετά την εποχή των πυρκαγιών. Οι καμένες περιοχές του όρους Πεντέλη εμφανίζονται με κόκκινο. Το πράσινο δείχνει υγιή βλάστηση (συμπεριλαμβανομένων των δασών).

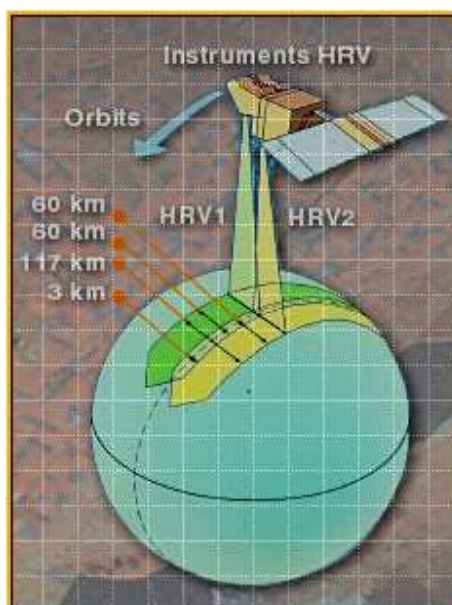
| Satellite | Launch | Altitude | Inclination | Scene Size (km) | Revisit interval (days) |
|-----------|--------|----------|-------------|-----------------|-----------------------------------|
| Landsat 4 | 1982 | 705.3 | 98.2° | 183×172 | 16 at equator, 8 at ±60° latitude |
| Landsat 5 | 1984 | 705.3 | 98.2° | 183×172 | 16 at equator, 8 at ±60° latitude |
| Landsat 7 | 1999 | 705.3 | 98.2° | 183×172 | 16 at equator, 8 at ±60° latitude |

Πίνακας 6.2

6.3 ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ SPOT

Ο SPOT (Système Probatoire de l'Observation de la Terre) είναι ένας δορυφόρος παρατήρησης της Γης, τον οποίο εκμεταλλεύεται η διαστημική υπηρεσία της Γαλλίας, το εθνικό κέντρο διαστημικών μελετών της Γαλλίας (Centre National d' Etudes Spatiales - CNES) και η εταιρεία Spot Image. Ο πρώτος από αυτούς τους δορυφόρους (SPOT-1) εκτοξεύτηκε τον Φεβρουάριο του 1986.

Οι δορυφόροι τύπου SPOT τίθενται σε σχεδόν-πολικές, ηλιοσύγχρονες τροχιές σε υψόμετρο 832 χιλιομέτρων. Κάθε δορυφόρος είναι εξοπλισμένος με δύο αισθητήρες υψηλής ευκρίνειας ορατού φάσματος (High Resolution Visible Sensors – HRV) οι οποίοι λειτουργούν σε ένα σύστημα σάρωσης που ονομάζεται σαρωτικός συλλέκτης pushbroom).



Εικόνα 6.3

Οι σαρωτές αυτού του τύπου διαθέτουν μια μεγάλη συστοιχία ανιχνευτών οι οποίοι απλώς συλλέγουν δεδομένα καθώς ο δορυφόρος κινείται προς τα εμπρός, ως μια σκούπα που σαρώνει το πάτωμα (Εικόνα 6.3). Τα όργανα βλέπουν την επιφάνεια που βρίσκεται ακριβώς κάτω από αυτά (όψη ναδίρ), ή μπορούν να αλλάξουν διεύθυνση ώστε να βλέπουν την επιφάνεια που βρίσκεται μέχρι και 27 μοίρες από το ναδίρ. Αυτό είναι σημαντικό γιατί σημαίνει ότι μπορεί να πραγματοποιηθούν δύο λήψεις από την ίδια περιοχή πολύ κοντά χρονικά ή μία στην άλλη, σε δύο διαδοχικά περάσματα.

Μια περιοχή που φαίνεται ακριβώς από πάνω σε ένα πέρασμα μπορεί να ειδοωθεί από το πλάι στο επόμενο πέρασμα του δορυφόρου. Το προσωπικό του Επίγειου Κέντρου Ελέγχου στέλνουν σήματα στο δορυφόρο για να αλλάξει τη διεύθυνση σκόπευσης. Χωρίς αυτή τη δυνατότητα σκόπευσης θα χρειαζόταν ολόκληρος ο κύκλος επανάληψης, που στην περίπτωση του SPOT είναι 26 ημέρες, πριν βρεθεί ο δορυφόρος πάνω από την ίδια τοποθεσία.

Το κέντρο διαστημικών μελετών (CNES) εκμεταλλεύεται σήμερα δύο δορυφόρους τύπου SPOT, που σημαίνει ότι τα δύο συστήματα μπορούν να λάβουν δεδομένα εικόνας της ίδιας περιοχής με μικρή χρονική διαφορά. Οι αισθητήρες SPOT HRV είναι σήμερα μοναδικοί αισθητήρες φερόμενοι από δορυφόρους στο ότι επιτρέπουν επιλεγόμενη σκόπευση για πλάγια, εκτός-ναδίρ, παρατήρηση. Αυτό παρέχει τις κατάλληλες συνθήκες για τη λήψη στερεοσκοπικών ζευγών και τη δυνατότητα καθημερινής κάλυψης επιλεγμένων χαρακτηριστικών για μικρές χρονικές περιόδους.

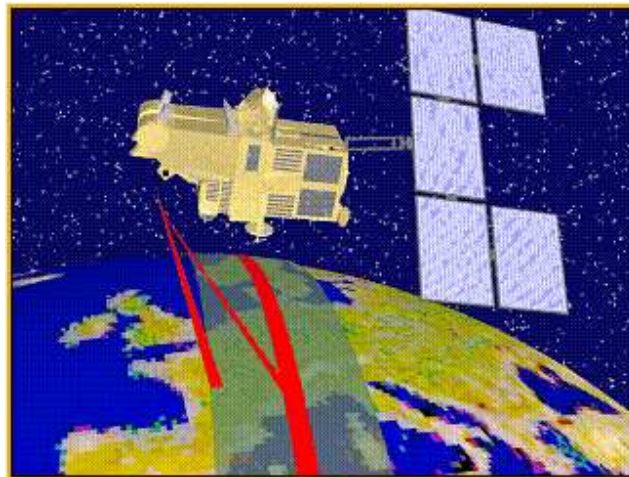
Καθώς το σύστημα μπορεί να πάρει δύο εικόνες τις ίδιας περιοχής από διαφορετικές οπτικές γωνίες, είναι δυνατή η δημιουργία στερεοσκοπικών (τρισδιάστατων) εικόνων. Η δυνατότητα αυτή είναι παρόμοια με τους δύο οφθαλμούς που διαθέτουμε, οι οποίοι μας επιτρέπουν να βλέπουμε σε τρεις διαστάσεις: κάθε οφθαλμός βλέπει την ίδια σκηνή από μια λίγο διαφορετική θέση και ο εγκέφαλος δημιουργεί μια τρισδιάστατη εικόνα από αυτά τα δεδομένα. Ένας υπολογιστής μπορεί να δημιουργήσει ένα Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο (Digital Elevation Model – DEM) από ένα ζεύγος στερεοσκοπικών εικόνων. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να μετρηθεί το σχήμα του εδάφους.

Ο δορυφόρος SPOT-1 εκτοξεύτηκε την 22/2/1986 και αποσύρθηκε από την ενεργή υπηρεσία την 31/12/1990. Ο δορυφόρος SPOT-2 εκτοξεύτηκε την 22/01/1990 και βρίσκεται ακόμα σε λειτουργία. Ο δορυφόρος SPOT-3 εκτοξεύτηκε την 26/09/1993.

Κάποιο συμβάν στον SPOT-3 την 14/11/1996 είχε ως συνέπεια τη διακοπή της λειτουργίας του δορυφόρου. Οι δορυφόροι SPOT –1, 2 και 3 έχουν πανομοιότυπο εξοπλισμό.

Ο δορυφόρος SPOT-4 (Εικόνα 6.4) εκτοξεύτηκε το Μάρτιο του 1998 και είναι εξοπλισμένος με έναν ακόμα δίαυλο για την παρατήρηση του μέσου υπέρυθρου φάσματος και ένα όργανο (Vegetation Monitoring Instrument – VMI) για την παρατήρηση της βλάστησης και των καλλιεργειών σε καθημερινή βάση (Πίνακας 6.3).

Η εκτόξευση του δορυφόρου SPOT-5 έγινε στην αρχή 2002. Ο δορυφόρος αυτός προσφέρει σημαντική βελτίωση στην ανάλυση του εδάφους (5 μέτρα και 2,5 μέτρα), διατηρώντας ένα ευρύ πεδίο σάρωσης (60 χλμ). Και αυτός ο δορυφόρος παρέχει καλύτερη δυνατότητα για χαρτογραφικές εφαρμογές και στερεοσκοπική απεικόνιση με ένα πέρασμα.



Εικόνα 6.4.

| SPOT - 4 (HRV) Panchromatic Mode | | |
|-----------------------------------|------------------------|--------------------|
| Channel | Waveband (Micrometres) | Spatial resolution |
| 1 | 0.51 - 0.73 | 10 metres |
| SPOT - 4 (HRV) Multispectral Mode | | |
| Channel | Waveband (Micrometres) | Spatial resolution |
| 1 | 0.50 - 0.59 | 20 metres |
| 2 | 0.61 - 0.68 | 20 metres |
| 3 | 0.79 - 0.89 | 20 metres |
| 4 | 1.53 - 1.75 | 20 metres |

Πίνακας 6.3. Αισθητήρας παρατήρησης SPOT-4

Αισθητήρες SPOT: Ως παθητικός αισθητήρας, ο SPOT βασίζεται στο φωτισμό του ήλιου και μετράει την αντανάκλαστικότητα αντικειμένων που βρίσκονται στην επιφάνεια της Γης. Ο SPOT μεταφέρει δύο αισθητήρες παρατήρησης οι οποίοι είναι γνωστοί ως HRV (High Resolution Visible – Υψηλής Ευκρίνειας στο Οπτικό φάσμα), και οι οποίοι μεταδίδουν πολυφασματικά δεδομένα εικόνας (XS) με ανάλυση 20 μέτρων ή πανχρωματικά δεδομένα (P) με χωρική ανάλυση 10 μέτρων.

Η πανχρωματική “P” (SPOT 1, 2, 3) εικονοληψία πραγματοποιείται σε μία φασματική ζώνη που αντιστοιχεί στο ορατό μέρος του φάσματος, χωρίς το μπλε χρώμα (Εικόνα 6.5). Η ζώνη καλύπτει μήκη κύματος από 0.51 μέχρι 0.73 μm . Αυτός ο τρόπος μονοδιαυλικής εικονοληψίας παράγει μόνον ασπρόμαυρες εικόνες με εικονοστοιχείο 10 μέτρων. Η ζώνη αυτή προορίζεται κυρίως για εφαρμογές που απαιτούν μεγάλη γεωμετρική λεπτομέρεια.

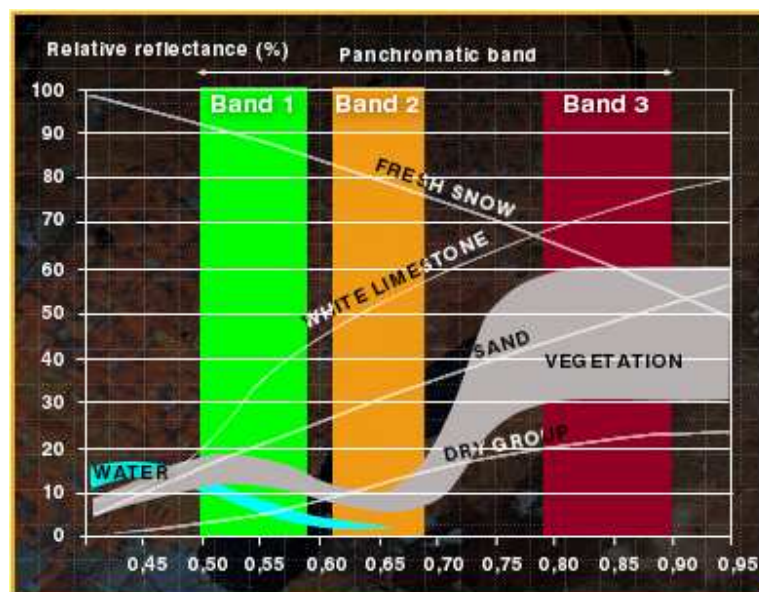
Η πολυφασματική “XS” (SPOT 1, 2, 3) εικονοληψία πραγματοποιείται σε τρεις φασματικές ζώνες (Εικόνα 6.5). Οι ζώνες που χρησιμοποιούνται είναι η ζώνη 1 που καλύπτει τα μήκη κύματος από 0.50 έως 0.59 μm (πράσινο), η ζώνη 2 που καλύπτει τα μήκη κύματος από 0.61 έως 0.68 μm (κόκκινο) και η ζώνη 3 που καλύπτει τα μήκη κύματος από 0.79 έως 0.89 μm (σχεδόν υπέρυθρο). Με το συνδυασμό δεδομένων που έχουν καταγραφεί από αυτούς τους διαύλους, μπορούν να κατασκευαστούν συνθετικές εικόνες με εικονοστοιχείο 20 μέτρων.

Ζώνη 1: 0.50-0.59 μικρά (πράσινο). Συνιστάται για χρήση σε συνδυασμό με άλλες ζώνες εξ αιτίας της χαμηλής αντίθεσης και ευαισθησίας στην ομίχλη.

Ζώνη 2: 0.61-0.68 μικρά (κόκκινο). Είναι η καλύτερη για την εμφάνιση δρόμων και γυμνών

εδαφών. Η ζώνη αυτή αυξάνει την αντίθεση μεταξύ περιοχών με και χωρίς φυτοκάλυψη.

Ζώνη 3: 0.79-0.89 μικρά (σχεδόν υπέρυθρο). Η ζώνη αυτή χρησιμοποιείται για να αξιολογεί τη βιομάζα της φυτοκάλυψης και διαχωρίζει τα ύδατα από τη βλάστηση.



Εικόνα 6.5.

Η μονοφασματική “M” (SPOT 4) εικονοληψία πραγματοποιείται στη ζώνη B2 (0.61 έως 0.68 μm). Όπως και η πανχρωματική “P” λήψη των Spot 1, 2, 3, αυτός ο τρόπος μονοδιαυλικής εικονοληψίας παρέχει μόνον ασπρόμαυρες εικόνες με εικονοστοιχείο 10 μέτρων.

Η πολυφασματική “Xi” (SPOT 4) εικονοληψία πραγματοποιείται σε τέσσερις φασματικές ζώνες: τις ίδιες ζώνες που χρησιμοποιεί η εικονοληψία XS (B1, B2, B3), μαζί με μια τέταρτη ζώνη υπέρυθρων μικρού μήκους κύματος, που καλύπτει την περιοχή 1.58 έως 1.75 μm. Το μέγεθος του εικονοστοιχείου είναι 20 μέτρα.

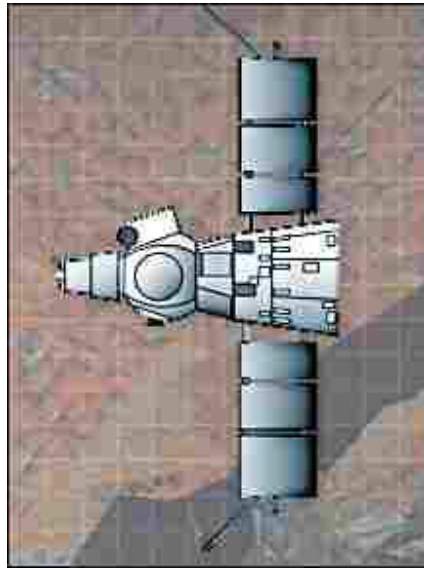
Στην Εικόνα 6.6 παρατίθεται ένα δείγμα εικόνας από τον SPOT-2 (συνδυασμός ζωνών 3,2,1) της ευρύτερης περιοχής των Μεσογείων Αττικής, Ελλάδα, η λήψη της οποίας έγινε τον Αύγουστο του 1992. Η υγιής πράσινη βλάστηση απεικονίζεται με αποχρώσεις του κόκκινου χρώματος.



Εικόνα 6.6

6.4 ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΜΕΡΑ KVR-1000

Η κάμερα υψηλής ευκρίνειας KVR-1000 μεταφέρεται από τη σειρά δορυφόρων COSMOS (Εικόνα 6.7), όπως και η τοπογραφική κάμερα TK-350. Η σειρά των δορυφόρων COSMOS ξεκίνησε ως ένα Ρωσικό στρατιωτικό πρόγραμμα. Ο δορυφόρος κινείται σε χαμηλή τροχιά με υψόμετρο περίπου 200 χλμ. και οι κάμερες TK-350 και KVR-1000 καταγράφουν τις υψηλής ευκρίνειας εικόνες τους σε πανχρωματικό φιλμ που παραδίδεται με εκτοξευόμενα μεταλλικά δοχεία. Εξ αιτίας των πεπερασμένων αποθεμάτων φιλμ και καυσίμων για την εξουδετέρωση της ατμοσφαιρικής αντίστασης, η διάρκεια της αποστολής περιορίζεται σε 45 ημέρες περίπου. Ο δορυφόρος ανακτάται στο τέλος κάθε αποστολής και το μεγαλύτερο μέρος του εξοπλισμού επαναχρησιμοποιείται. Η στρατιωτική φύση της αποστολής σημαίνει ότι πληροφορίες για κάποια θέματα της λειτουργίας του δορυφόρου δεν είναι διαθέσιμες.



Εικόνα 6.7

Η κάμερα KVR-1000 παρέχει τη μεγαλύτερη ευκρίνεια που είναι σήμερα διαθέσιμη στο εμπόριο, ενώ οι εικόνες από τη συσκευή TK-350 παρέχει ακριβή υψομετρικά στοιχεία μέσω λήψεως στερεοσκοπικών εικόνων. Στην κάμερα KVR-1000 χρησιμοποιείται φακός 1000 mm. Η κάμερα αυτή παρέχει πανχρωματικά δεδομένα εικόνας με ανάλυση 2 μέτρων (Πίνακας 6.4). Ένα δείγμα εικόνας από την κάμερα KVR-1000 παρατίθεται κατωτέρω. Εμφανίζει την περιοχή της Χαλκίδας, Ελλάδα (Εικόνα 6.8).

| Sensors | Wavelength (μm) | Resolution (m) | Scene size (km) |
|----------|------------------------------|----------------|-----------------|
| KVR-1000 | 0.49-0.59 (panchromatic) | 2 | 40 x 40 |
| TK-350 | 0.49-0.59 (panchromatic) | 10 | 200 x 300 |

Πίνακας 6.4.



Εικόνα 6.8.

Ο δορυφόρος εκτοξεύεται σε τροχιά με κλίση 71° . Το ύψος της τροχιάς μεταβάλλεται μεταξύ 190 και 270 χλμ, αναλόγως του αντικειμένου και της διάρκειας της αποστολής. Οι δύο συσκευές λήψεως μπορούν να καλύψουν οιοδήποτε γεωγραφικό πλάτος μέχρι 70 μοίρες από κάθε πλευρά του ισημερινού. Το αρχείο των KVR-1000 και TK-350 περιέχει δεδομένα από το 1984. Πολλές από τις εικόνες που έχουν ληφθεί από τότε είναι διαβαθμισμένες και, ως εκ τούτου, δεν είναι σήμερα διαθέσιμες. Υπάρχει όμως σημαντική ποσότητα εικόνων που είναι διαθέσιμες και περισσότερες μπορούν να αποδεσμευτούν καθώς αποσύρεται η σκιά του Ψυχρού Πολέμου.

Τα προϊόντα εικόνας SPIN-2 προέρχονται από τα συστήματα λήψεως των Ρωσικών διαστημοπλοίων Cosmos. Τα διαστημόπλοια αυτά τίθενται σε τροχιά με Ρωσικούς προωθητικούς πυραύλους. Οι δορυφόροι μεταφέρουν δύο συσκευές λήψεως σε τροχιά, οι οποίες επιτρέπουν την παραγωγή εικόνων με ανάλυση 2 και 10 μέτρων.

6.5 ΠΡΟ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η προ-επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων συνήθως περιλαμβάνει τη ατμοσφαιρική/ραδιομετρική και γεωμετρική διόρθωση

Η ραδιομετρική τιμή ενός εικονοστοιχείου μπορεί να μεταβληθεί από:

- Ατέλειες του ανιχνευτή ή ηλεκτρονικό θόρυβο
- Ατμοσφαιρική απορρόφηση και σκέδαση της διαδιδόμενης ακτινοβολίας

Καθώς οι παραπάνω αιτίες μεταβολής της ραδιομετρικής τιμής του εικονοστοιχείου δεν μπορούν να ποσοτικοποιηθούν άμεσα, γίνονται έμμεσες ραδιομετρικές διορθώσεις οι οποίες βασίζονται σε υποθέσεις και μοντέλα. Στόχος είναι οι τιμές του εικονοστοιχείου που αναπαριστούν κάποιο ποιοτικό μέγεθος να παραμείνουν ίδιες ανεξάρτητα από εξωγενείς παράγοντες.

Η γεωμετρική διόρθωση είναι αναγκαία εάν τα παραγόμενα δεδομένα από την δορυφορική τηλεπισκόπηση πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για χαρτογραφικούς σκοπούς ή για ποικίλες αναλύσεις των δεδομένων με χρήση ενός Γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών ΣΓΠ. Η γεωμετρική ακρίβεια των δεδομένων επηρεάζεται από την περιστροφή και την καμπυλότητα της γης, τις μεταβολές υψομέτρου της επιφάνειας της γης, την αστάθεια της τροχιάς του δορυφόρου, την αστάθεια των καταγραφικών συστημάτων, τις αβεβαιότητες του προβολικού συστήματος του ανιχνευτή και στις ατμοσφαιρικές συνθήκες.

Η γεωμετρική διόρθωση των δορυφορικών δεδομένων μπορεί να γίνει σε δύο στάδια:

- Στάδιο 1: Συστηματικά σφάλματα που οφείλονται στην περιστροφή της γης, αστάθειες του δορυφόρου και των οργάνων του, π.χ. γωνία παρατήρησης, κλπ.
- Στάδιο 2: Εσωτερική βελτίωση δορυφορικής εικόνας, μεταφορά σε επιλεγμένη χαρτογραφική προβολή, αναγωγή στη μέση στάθμη του εδάφους, μετασχηματισμό βασιζόμενο στις χαρτογραφικές συντεταγμένες και διορθώσεις για τις μεταβολές του εδάφους.

Μετά την εφαρμογή των παραπάνω διορθώσεων, η γεωμετρική ακρίβεια μπορεί

στην πραγματικότητα να γίνει καλύτερη από την χωρική διακριτική ικανότητα. Για παράδειγμα, δεδομένα με διακριτική ικανότητα 10 μέτρα μπορεί να έχουν γεωμετρική ακρίβεια της τάξης των ± 6 έως ± 7 μέτρων, και δεδομένα με διακριτική ικανότητα 80 μέτρα μπορεί να έχουν γεωμετρική ακρίβεια της τάξης των ± 50 μέτρων έως και ± 70 μέτρων.

6.6 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ - ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

6.6.1 Ταξινόμηση

Με τον όρο ποσοτική και ποιοτική ανάλυση ή θεματική ταξινόμηση φασματικών δεδομένων εννοείται η διαδικασία καταχώρησης κάθε εικονοστοιχείου της εικόνας σε κάποια χρήση ή κάλυψη που βρίσκεται στην επιφάνεια της γης (Willard, 1983). Η ταξινόμηση μιας δορυφορικής εικόνας αποσκοπεί στην αυτοματοποίηση του εντοπισμού ομογενών επιφανειών σε μια εικόνα παρακάμπτοντας την υποκειμενικότητα του ανθρώπινου παράγοντα (Williams και λοιποί, 1984). Με την ταξινόμηση γίνεται προσπάθεια να συσχετιστεί η φασματική κατηγορία με μια βιοφυσική κατηγορία οι οποίες με τη σειρά τους υποδιαιρούνται σε φασματικές ή βιοφυσικές υποκατηγορίες. Τα εικονοστοιχεία μιας εικόνας ταξινομούνται με βάση στατιστικούς κανόνες σε τάξεις (classes) με φυσική όμως σημασία όπως έδαφος, θάλασσα, βλάστηση κ.α. Υπάρχουν δύο μέθοδοι ταξινόμησης:

- η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση
- η επιβλεπόμενη ταξινόμηση

Στην εποπτευόμενη ταξινόμηση χρησιμοποιούνται εκπαιδευόμενες περιοχές οι οποίες μετά από ανθρώπινη επέμβαση (εργασία πεδίου) αντιστοιχούν σε

γνωστές χρήσης γης στον χρήστη. Οι περιοχές αυτές χρησιμοποιούνται για να εξάγουν τα απαραίτητα στατιστικά στοιχεία των εικονοστοιχείων που περιλαμβάνουν και μετέπειτα με βάση αυτά τα στοιχεία, να κατηγοριοποιήσουν τα υπόλοιπα νέα εικονοστοιχεία σε κάποια από τις γνωστές χρήσεις γης ανάλογα με τη πιθανότητα να συμπίπτουν στατιστικά περισσότερο ή λιγότερο κοντά στις τιμές τους.

Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Unsupervised classification γνωστή και ως clustering ή συσταδοποίηση): Σκοπός είναι η αυτόματη ομαδοποίηση από το υπολογιστή (μη ανθρώπινη επέμβαση) των εικονοστοιχείων μιας εικόνας σε ομάδες, οι οποίες καλούνται τάξεις, με βάση τα στατιστικά τους χαρακτηριστικά (Richards, 1986). Κάθε τάξη χαρακτηρίζεται από μια ψηφιακή τιμή η οποία αποτελεί το κέντρο της και από μια τυπική απόκλιση. Τα εικονοστοιχεία της εικόνας αποδίδονται σε μια τάξη όταν οι ψηφιακές τιμές βρίσκονται πιο κοντά στο κέντρο της συγκεκριμένης τάξης. Η δημιουργία μιας τάξης εικονοστοιχείων γίνεται αποκλειστικά με κριτήρια που βασίζονται στις ψηφιακές τιμές.

Οι γνωστοί εποπτευόμενοι ταξινομητές είναι τρεις: α) ανάλυση παραλληλεπιπέδων (PARALLELEPIPED) β) κοντινότερης απόστασης (MINIMUM DISTANCE) γ) μέγιστης πιθανοφάνειας (MAXIMUM LIKELIHOOD).

Οι γνωστοί μη εποπτευόμενοι ταξινομητές είναι : ο μέσος K (K-Means Clustering), ο υπολογισμός του μέσου K μέσω νευροασαφούς ανάλυσης (fuzzy K-Means Clustering) και η μέθοδος ISO-Data Clustering η οποία είναι παρόμοια με την μέθοδο K-Means με τη διαφορά όμως ότι η πρώτη αντιπροσωπεύει ένα αρκετά περιεκτικό σύνολο πρόσθετων

διαδικασιών που αυτοδιδάσκουν (heuristic) το ίδιο τον αλγόριθμο μέσα από τη διαδικασία της επανάληψης.

Ο στόχος της παρούσας διατριβής δεν είναι να εμβαθύνει παραπάνω στη συσταδοποίηση μιας και αυτή έχει αναλυθεί διεξοδικά μέσα από τη διεθνή βιβλιογραφία.

6.6.2 Αλγόριθμοι ανίχνευσης μεταβολών σε όμοια δορυφορικά δεδομένα

Η ανίχνευση μεταβολών είναι η διαδικασία αναγνώρισης διαφορών στην κατάσταση ενός αντικειμένου παρατηρώντας το σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές ανίχνευσης για την ανάλυση μιας ολόκληρης σειράς μεταβολών στα φυσικά και τα τεχνητά χαρακτηριστικά της επιφανείας. Όμως είναι ευρέως αναγνωρισμένο ότι η επιλογή μιας και μόνης μεθόδου ανίχνευσης μεταβολών για την επίλυση ενός συγκεκριμένου προβλήματος μπορεί να μην είναι μια απλή εργασία. Οι περισσότερες από τις τεχνικές ανίχνευσης μεταβολών μπορούν να ομαδοποιηθούν σε δύο γενικές κατηγορίες:

- A – Αυτές που βασίζονται σε φασματική κατηγοριοποίηση (κατάταξη) των δεδομένων εισόδου
 - I. Σύγκριση μετά την κατηγοριοποίηση
 - II. Κατηγοριοποίηση συνόλων δεδομένων από διαφορετικούς χρόνους λήψεως (multitemporal)
- B – Αυτές που βασίζονται σε ραδιομετρικές μεταβολές μεταξύ ημερομηνιών λήψεως
 - I. Φασματικές διαφορές (Macleod και Congalton, 1998).
 - II. Διαφορές μεταξύ μετασχηματισμένων φασματικών δεδομένων, λ.χ. δείκτες βλάστησης (Ganas, 2000)
 - III. Χρονική σύγκριση εικόνων με χρήση λόγων .
 - IV. Πρωτεύουσες συνιστώσες (Macleod και Congalton, 1998).

Στη συνέχεια συνοψίζουμε εν συντομία τα βασικά χαρακτηριστικά κάθε τεχνικής και τα κύρια σημεία της επεξεργασίας στα οποία εφιστούμε την προσοχή:

I) Σύγκριση μετά την κατηγοριοποίηση. Σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση, εικόνες από δύο ημερομηνίες κατηγοριοποιούνται χωριστά και συσχετίζονται. Ακολούθως, μπορεί να

εφαρμοστεί ένα αλγόριθμος για να προσδιορίσει τα εικονοστοιχεία των οποίων η κατηγορία έχει αλλάξει μεταξύ των ημερομηνιών αυτών (Lillesand και Kiefer, 1994). Δύο διαδικασίες κατηγοριοποίησης μπορούν να εξεταστούν: η χειροκίνητη ερμηνεία και η αυτόματη κατάταξη. Κατά τη χειροκίνητη ερμηνεία τα χαρακτηριστικά ενδιαφέροντος (δηλαδή οι κατηγορίες εδαφοκάλυψης) εισάγονται στα χωρικά δεδομένα από ειδικά εκπαιδευμένα άτομα. Για τη λήψη αποδεκτών αποτελεσμάτων είναι σημαντικό να μειωθεί η υποκειμενικότητα η οποία ενυπάρχει στην ερμηνεία. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τον καθορισμό κανόνων για την ερμηνεία εικόνων. Για την αυτόματη διαδικασία κατηγοριοποίησης υπάρχουν αρκετοί αλγόριθμοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να παράγουν θεματικούς χάρτες χρησιμοποιώντας μεθόδους φασματικής κατάταξης, οι οποίοι απαιτούν διαφορετικό βαθμό ανθρώπινης επέμβασης (με και χωρίς επιτήρηση). Όμως δεν υπάρχει κάποια τυποποιημένη διαδικασία (Connors και Graham, 1995). Είναι σημαντικό να γνωρίζεις ότι, για την ίδια περιοχή υπό εξέταση, διαφορετικοί αλγόριθμοι μπορεί να παράγουν χάρτες με διαφορετική ακρίβεια στην κατηγοριοποίηση, και ότι ο ίδιο αλγόριθμος αν εφαρμοστεί σε διαφορετικές περιοχές μπορεί να παράγει χάρτες με διαφορετική ακρίβεια.

II) Κατηγοριοποίηση συνόλων δεδομένων από διαφορετικούς χρόνους λήψεως

(**multitemporal data sets**). Σε αυτή την εναλλακτική, ένας τύπος κατηγοριοποίησης εφαρμόζεται σε ένα συνδυασμένο σύνολο δεδομένων για τις δύο ημερομηνίες ενδιαφέροντος. Εφαρμόζεται κατηγοριοποίηση, με επιτήρηση ή χωρίς, για την κατάταξη των τύπων εδαφοκάλυψης στη συνδυασμένη εικόνα (Lillesand και Kiefer, 1994). Οι τρόποι αντιμετώπισης που εξετάστηκαν προηγουμένως για τις διαδικασίες αυτόματης κατηγοριοποίησης ισχύουν και για αυτή την τεχνική.

I) Η σύγκριση φασματικών διαφορών (band differencing) είναι μία τεχνική όπου γίνεται αντιστοίχιση δύο εικόνων και κατασκευάζεται μια εικόνα χρονικών διαφορών με την αφαίρεση των ψηφιακών αριθμών (DN) της μιας ημερομηνίας από τους ψηφιακούς αριθμούς της άλλης. Η διαφορά σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν μεταβολές θα είναι πολύ μικρή (θα τείνει προς το μηδέν), και οι περιοχές όπου υπάρχουν μεταβολές θα αποκαλύψουν μεγάλες θετικές ή αρνητικές τιμές (Lillesand και Kiefer, 1994). Αυτή η

διαδικασία απαιτεί ότι οι εικόνες των διαφορετικών ημερομηνιών έχουν βαθμονομηθεί ραδιομετρικά.

II) Η σύγκριση διαφορών μετασχηματισμένων φασματικών δεδομένων (transformed band differencing) είναι μια διαδικασία όπου δείκτες βλάστησης (για παράδειγμα) υπολογίζονται για κάθε εικόνα. Οι διαδικασίες επεξεργασίας δεδομένων για την ανίχνευση μεταβολών θα συνίστανται τότε στη μέτρηση των διαφορών μεταξύ δεικτών βλάστησης και την αξιολόγηση των στατιστικών στοιχείων της μεταβολής.

III) Η χρονική σύγκριση εικόνων με χρήση λόγων (temporal image ratioing) συνεπάγεται τον υπολογισμό των λόγων των δεδομένων εικόνας των δύο ημερομηνιών. Οι λόγοι για περιοχές που δεν έχουν μεταβληθεί τείνουν προς το 1 και οι περιοχές που έχουν υποστεί μεταβολές θα έχουν μεγαλύτερες ή μικρότερες τιμές λόγων (Lillesand και Kiefer, 1994).

IV) Ο μετασχηματισμός πρωτευουσών ή κύριων συνιστωσών (principal component transformation) είναι μια τεχνική αναγωγής η οποία παράγει μια σειρά γραμμικών μετασχηματισμών των μεταβλητών υπό εξέταση, που έχουν ως αποτέλεσμα ένα νέο, μικρότερο, σύνολο μεταβλητών, καθέτων μεταξύ τους (Byrne και λοιποί 1988). Αυτές οι μετασχηματισμένες μεταβλητές (πρωτεύουσες συνιστώσες) είναι τέτοιες ώστε η πρώτη να περιέχει το μεγαλύτερο μέρος της διακύμανσης των δεδομένων, η δεύτερη να περιέχει το επόμενο μεγάλο μέρος της διακύμανσης, κ.τ.λ. Επί πλέον, τα δεδομένα δεν είναι συσχετισμένα σε αυτούς τους άξονες πρωτευουσών μεταβλητών. Εξ αιτίας αυτού του χαρακτηριστικού, έχει χρησιμοποιηθεί ως μετασχηματισμός δεδομένων για να τονίσει περιοχές τοπικών μεταβολών σε διαχρονικά, πολυφασματικά δεδομένα εικόνας. Αυτό είναι άμεσο αποτέλεσμα του υψηλού συσχετισμού που υφίσταται μεταξύ δεδομένων εικόνας για περιοχές που δεν έχουν μεταβληθεί σημαντικά και του σχετικά χαμηλού συσχετισμού περιοχών που έχουν υποστεί σημαντικές μεταβολές.

V) Η ανάλυση διανυσμάτων μεταβολής (change vector analysis) είναι μία τεχνική όπου δύο φασματικές μεταβλητές αποτυπώνονται για τις ημερομηνίες 1 και 2, για ένα δεδομένο εικονοστοιχείο. Το διάνυσμα που συνδέει αυτά τα δύο σύνολα δεδομένων περιγράφει την ποσότητα και την κατεύθυνση των φασματικών μεταβολών μεταξύ ημερομηνιών. Μπορεί να οριστεί μια τιμή κατωφλίου για τον προσδιορισμό περιοχών που έχουν μεταβληθεί, και η κατεύθυνση του διανύσματος φασματικής μεταβολής συχνά σχετίζεται με τον τύπο της μεταβολής (Lillesand και Kiefer, 1994). Αυτή η διαδικασία απαιτεί ότι οι εικόνες των διαφορετικών ημερομηνιών έχουν βαθμονομηθεί ραδιομετρικά.

Αξιολόγηση των αλγορίθμων ανίχνευσης μεταβολών

Για το σκοπό αυτό απαιτείται ένα ανεξάρτητο σύνολο δεδομένων εδάφους (δηλαδή άλλα από αυτά τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται ως δεδομένα «εκπαίδευσης» για τις διάφορες περιοχές).

Αξιολόγησης της ακριβείας

Μήτρα Λαθών

Η μήτρα λαθών, η οποία ονομάζεται επίσης μήτρα σύγχυσης (confusion matrix) ή πίνακας ενδεχομένων (contingency table), είναι η πιο διαδεδομένη μορφή παρουσίασης της αξιολόγησης της ακριβείας. Βασικά, αποτελείται από μια τετραγωνική μήτρα αριθμών στοιχισμένων σε σειρές και στήλες. Οι αριθμοί εκφράζουν τον αριθμό των δειγμάτων (εικονοστοιχεία) που έχουν τεθεί σε μια συγκεκριμένη κατηγορία, σε σύγκριση με την πραγματική τους κατηγορία. Εδώ έχουμε υιοθετήσει τη σύμβαση ότι οι σειρές απεικονίζουν δεδομένα αναφοράς και οι στήλες υποδεικνύουν τα αποτελέσματα της διαδικασίας κατηγοριοποίησης.

Η μήτρα λαθών **C**, είναι μια μήτρα $k \times k$ όπου **k** είναι ο αριθμός των δεδομένων κατηγοριών και c_{ij} είναι ο αριθμός των δειγμάτων που, ενώ ανήκουν στην κατηγορία **i**, έχουν στην πραγματικότητα εκχωρηθεί στην κατηγορία **j**

| ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΙΚΟΝΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΕΚΧΩΡΗΘΕΙ ΣΕ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ | | | | | | | | |
|---|--------|----------|----------|-----|----------|-----|----------|--------|
| | | 1 | 2 | ... | j | ... | k | Σύνολο |
| ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ | 1 | c_{11} | c_{12} | ... | c_{1j} | ... | c_{1k} | t_1 |
| | 2 | c_{21} | c_{22} | ... | c_{2j} | ... | c_{2k} | t_2 |
| | ... | ... | ... | ... | | ... | ... | ... |
| | I | c_{i1} | c_{i2} | ... | c_{ij} | ... | c_{ik} | t_i |
| | ... | ... | ... | ... | | ... | ... | ... |
| | K | c_{k1} | c_{k2} | ... | c_{kj} | ... | c_{kk} | t_k |
| | Σύνολο | m_1 | m_2 | ... | m_j | ... | m_k | n |

Πίνακας 6.5.

Ο συνολικός αριθμός δειγμάτων που ανήκει στην **πραγματική κατηγορία** i , t_i , δίδεται από το άθροισμα της σειράς:

$$t_i = \sum_{j=1}^k c_{ij}$$

Ο αριθμός των δειγμάτων που έχουν στην πραγματικότητα **εκχωρηθεί στην κατηγορία** j , m_j , είναι το άθροισμα της στήλης:

$$m_j = \sum_{i=1}^k c_{ij}$$

Συνεπώς, ο συνολικός αριθμός των δειγμάτων, n , δίδεται από τη σχέση:

$$n = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k c_{ij}$$

Μέτρα κριτηρίων

Τα δεδομένα που παρέχει η μήτρα λαθών χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό μιας σειράς σημαντικών στατιστικών κριτηρίων. Ένα από τα απλούστερα κριτήρια, είναι η *συνολική ακρίβεια*, που μετράει την αναλογία σωστά κατηγοριοποιημένων δειγμάτων ως προς το σύνολο των δειγμάτων. Υπολογίζεται διαιρώντας το συνολικό αριθμό των σωστά κατηγοριοποιημένων δειγμάτων (το σύνολο της κυρίας διαγωνίου) από το μέγεθος του δείγματος (το συνολικό αριθμό των δειγμάτων).

$$\text{Συνολική Ακρίβεια} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k c_{ii}$$

Η ακρίβεια μεμονωμένων κατηγοριών μπορεί επίσης εύκολα να υπολογιστεί. Η συνολική ακρίβεια και οι ακρίβειες μεμονωμένων κατηγοριών καλούνται επίσης “αναλογία σωστά κατηγοριοποιημένων δειγμάτων (Proportion of Correctly Classified sample units – PCC). Παραδοσιακά, η ακρίβεια για μια κατηγορία *i* υπολογίζεται διαιρώντας τον αριθμό των δειγμάτων που έχουν σωστά εκχωρηθεί στην κατηγορία *i* με το συνολικό αριθμό των δειγμάτων που ανήκουν πραγματικά στην κατηγορία *i*. Αυτό το μέτρο της ακρίβειας καλείται συνήθως *ακρίβεια παραγωγού* (producer's accuracy – βλ. Lillesand και Kiefer, 1994) γιατί ο παραγωγός της κατηγοριοποίησης ενδιαφέρεται για το κατά πόσον ένα δείγμα έχει εκχωρηθεί στην πραγματική του κατηγορία.

$$\text{Producer's Accuracy} = (\forall 1 \leq i \leq k) \frac{c_{ii}}{t_i}$$

Έτσι, η ακρίβεια του παραγωγού εκφράζει την αναλογία των δειγμάτων που έχουν εκχωρηθεί στην πραγματική τους κατηγορία. Σχετίζεται αμέσως με το αντίθετο μέτρο, το οποίο ονομάζεται *σφάλμα παράλειψης* (omission error) και δίνεται από:

$$\text{Omission Error} = (\forall 1 \leq i \leq k) \frac{t_i - c_{ii}}{t_i}$$

Το σφάλμα παράλειψης εκφράζει την αναλογία δειγμάτων μιας δεδομένης κατηγορίας που έχει εσφαλμένως εκχωρηθεί σε μια άλλη κατηγορία, δηλαδή την αναλογία των δειγμάτων που η διαδικασία κατηγοριοποίησης παρέλειψε από την πραγματική τους κατηγορία.

Σημειώστε ότι η ακρίβεια του παραγωγού συν το σφάλμα παράλειψης ισούται με 1.

Υπάρχει και άλλος τρόπος παράστασης της ακρίβειας μεμονωμένων κατηγοριών, που ονομάζεται *ακρίβεια του χρήστη* (user's accuracy). Υπολογίζεται διαιρώντας τον αριθμό των δειγμάτων που έχουν σωστά εκχωρηθεί σε μια δεδομένη κατηγορία από το συνολικό αριθμό των δειγμάτων που έχουν εκχωρηθεί – σωστά ή μη – σε αυτή την κατηγορία.

$$\text{User's Accuracy} = (\forall 1 \leq i \leq k) \frac{c_{ii}}{m_i}$$

Το μέτρο αυτό εκφράζει την αναλογία των δειγμάτων που πραγματικά ανήκουν στην κατηγορία στην οποία εκχωρήθηκαν. Σχετίζεται με τον τρόπο θεώρησης του χρήστη, καθώς ο χρήστης της κατηγοριοποίησης ενδιαφέρεται για το κατά πόσον η κατηγορία στην οποία εκχωρήθηκε κάθε δείγμα είναι η πραγματική του κατηγορία. Συνιστάται ο υπολογισμός και των δύο μέτρων (ακρίβεια παραγωγού και ακρίβεια χρήστη) γιατί μερικές φορές αποκαλύπτουν μεγάλες διαφορές ακριβείας μεταξύ τους, όπως φαίνεται στο παράδειγμα που ακολουθεί. Η ακρίβεια του χρήστη σχετίζεται με το σφάλμα «εκ μεταφοράς» (commission error), το οποίο δίδεται από

$$\text{Commission Error} = (\forall 1 \leq i \leq k) \frac{m_i - c_{ii}}{m_i}$$

Το σφάλμα «εκ μεταφοράς» εκφράζει την αναλογία δειγμάτων που εκχωρούνται σε μία κατηγορία ενώ στην πραγματικότητα ανήκουν σε μια άλλη, λ.χ. την αναλογία των δειγμάτων που έχουν εσφαλμένα καταχωρηθεί σε μια δεδομένη κατηγορία. Σημειώστε, για μια ακόμη φορά, ότι η ακρίβεια του χρήστη συν το σφάλμα «εκ μεταφοράς» ισούται με 1.

Άλλη μια τεχνική είναι επίσης πολύ χρήσιμη στην αξιολόγηση της ακρίβειας. Είναι η στατιστική *ΚΑΙΠΠΑ*. Το μέτρο αυτό μειώνει τη συνολική ακρίβεια αφαιρώντας την εκτιμώμενη συνεισφορά τυχαίας συμφωνίας (μετά από την κατηγοριοποίηση τυχαίων δειγμάτων εικονοστοιχείων για έλεγχο).

Η στατιστική *Κάππα* υπολογίζεται ως

$$KAPPA = \frac{n \sum_{i=1}^k c_{ii} - \sum_{i=1}^k (t_i \times m_i)}{n^2 - \sum_{i=1}^k (t_i \times m_i)}$$

Ο Πίνακας που ακολουθεί απεικονίζει ένα παράδειγμα μήτρας λαθών που προκύπτει από την κατηγοριοποίηση εικονοστοιχείων που έχουν ληφθεί από σύνολο εκπαίδευσης, όπου η μονάδα δείγματος είναι το εικονοστοιχείο.

| ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΙΚΟΝΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΕΚΚΛΗΡΗΘΕΙ ΣΕ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ | | | | | | |
|--|--------|-----|-----|-----|-----|--------|
| | | D | C | B | S | Σύνολο |
| ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ | D | 75 | 16 | 20 | 34 | 145 |
| | C | 40 | 61 | 51 | 17 | 169 |
| | B | 22 | 35 | 85 | 37 | 179 |
| | S | 24 | 88 | 19 | 190 | 321 |
| | Σύνολο | 161 | 200 | 175 | 278 | 814 |

D = Φυλλοβόλα, C = Κωνοφόρα, B = Γυμνά Εδάφη, S = Θάμνοι.

Πίνακας 6.6

Τα στοιχεία της κυρίας διαγωνίου (c_{ii} , με $i = D, C, B, S$) περιέχουν την ποσότητα των σωστά κατηγοριοποιημένων δειγμάτων. Τα στοιχεία εκτός διαγωνίου περιέχουν τα στοιχεία που έχουν εκχωρηθεί σε λάθος κατηγορία, δηλαδή τα σφάλματα παράλειψης και τα σφάλματα «εκ μεταφοράς».

Παρατίθενται τώρα όλα τα μέτρα που έχουν περιγραφεί ως εδώ, μετά τη μετατροπή τους σε στρογγυλές τιμές επί τοις εκατόν, για μεγαλύτερη ευκολία στην ανάγνωση.

Συνολική Ακρίβεια = 50.4%

Ακρίβεια Παραγωγού

Φυλλοβόλα = 51.7%

Κωνοφόρα = 36%

Γυμνά = 47.4%

Ακρίβεια Χρήστη

Φυλλοβόλα = 46.5%

Κωνοφόρα = 30.5%

Γυμνά = 48.5%

Θάμνοι = 59.1%

Θάμνοι = 68.3%

Σημειώστε πόσο διαφορετικές μπορεί να είναι οι δύο ενότητες ακριβείας. Για παράδειγμα, στην κατηγορία “Θάμνοι”, αν και έχει κατηγοριοποιηθεί σωστά το 59% των θαμνώνων, 68% από τα εικονοστοιχεία που έχουν εκχωρηθεί στην κατηγορία των θάμνων ανήκουν πραγματικά στην κατηγορία αυτή.

Σφάλμα παράλειψης

Φυλλοβόλα = 48.2%

Κωνοφόρα = 64%

Γυμνά = 52.6%

Θάμνοι = 41%

Σφάλμα «εκ μεταφοράς»

Φυλλοβόλα = 53%

Κωνοφόρα = 70%

Γυμνά = 51.5%

Θάμνοι = 32%

Το μέτρο ΚΑΠΠΑ αναμένεται να είναι μικρότερο από τη συνολική ακρίβεια (50.4%). Αυτό σημαίνει ότι αυτή η ακρίβεια είναι μόνον ΚΑΠΠΑ % καλύτερη από την ακρίβεια μιας τυχαίας κατηγοριοποίησης.

Μήτρα λαθών για τη σύγκριση μετά την κατηγοριοποίηση

Τα ανωτέρω παραδείγματα αναφέρονται σε τυποποιημένες διαδικασίες ποσοτικής εκτίμησης ακριβείας για μια ημερομηνία, και μόνον. Για να πραγματοποιηθεί μια εκτίμηση ακριβείας της τεχνικής ανίχνευσης μεταβολών μετά την κατηγοριοποίηση, θα πρέπει να τροποποιηθεί η μήτρα λαθών.

Η νέα μήτρα έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με τη μήτρα λαθών κατηγοριοποίησης της μιας ημερομηνίας, εκτός του ότι εκτιμά λάθη σε μεταβολές μεταξύ δύο χρονικών περιόδων.

| | | ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ | | | | | | | | |
|---------------------|----------------|---------------------------|----|----|----------|----|----|----|----|----|
| | | ΧΩΡΙΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗ | | | ΜΕΤΑΒΟΛΗ | | | | | |
| | | AA | BB | CC | AB | AC | BA | BC | CA | CB |
| ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ | ΧΩΡΙΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗ | AA | | | | | | | | |
| | BB | | | | | | | | | |
| | CC | | | | | | | | | |
| | ΜΕΤΑΒΟΛΗ | AB | | | | | | | | |
| | | AC | | | | | | | | |
| | | BA | | | | | | | | |
| | | BC | | | | | | | | |
| | | CA | | | | | | | | |
| | CB | | | | | | | | | |
| ΣΥΝΟΛΟ | | | | | | | | | | |

Πίνακας 6.7

Οι κατηγορίες A, B, C είναι κατηγορίες εδαφοκάλυψης (λ.χ. πυκνό, μέτριο και αραιό δάσος, αντιστοίχως).

Για 3 κατηγορίες, η μήτρα λαθών μιας ημερομηνίας έχει διαστάσεις 3 x 3, ενώ η μήτρα λαθών της ανίχνευσης μεταβολών έχει διαστάσεις 9 x 9. Οι διαστάσεις αλλάζουν γιατί δεν θεωρούμε πλέον μια μόνον κατηγορία αλλά τη μεταβολή μεταξύ δύο διαφορετικών κατηγοριών που δημιουργήθηκαν σε διαφορετικούς χρόνους.

Η μήτρα λαθών της ανίχνευσης μεταβολών, μπορεί να απλοποιηθεί σε μήτρα λαθών με/χωρίς μεταβολή:

| | ΧΩΡΙΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗ | ΜΕΤΑΒΟΛΗ | ΣΥΝΟΛΟ |
|----------------|----------------|----------|--------|
| ΧΩΡΙΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗ | | | |
| ΜΕΤΑΒΟΛΗ | | | |
| ΣΥΝΟΛΟ | | | |

Πίνακας 6.8.

6.7 ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

Τα τελευταία χρόνια οι απαιτήσεις για πληροφορίες γης είναι πολύ μεγάλες ιδιαίτερα για πληροφορίες που έχουν σχέση με τη χρήση γης για τις αλλαγές της. Επομένως χρειάζεται συνεχής ενημέρωση των χαρτών γεγονός που κάνει τελείως ασύμφορη την χρησιμοποίηση των χαρτών που σχεδιάζονται από χαρτογράφους (Robinson, 2002). Η χρησιμοποίηση των αεροφωτογραφιών και των δεδομένων των δορυφόρων είναι οπωσδήποτε μια πρόοδος γιατί έτσι παρατηρούνται οι μεταβολές της επιφάνειας της γης με το χρόνο. Αλλά αυτά δεν είναι χάρτες με την παραδοσιακή έννοια του όρου αλλά μια σειρά ψηφιακά δεδομένα για την αποδικοποίηση των οποίων σε εικόνες δημιουργήθηκαν νέα εργαλεία όπως η τηλεπισκόπηση (remote sensing), και η ανάλυση εικόνας (image analysis) (Κόλλια-Κουσούρου, 2003). Τα δεδομένα που λαμβάνονται από την τηλεπισκόπηση είναι χωρίς αμφιβολία πρωτεύουσα πηγή δεδομένων. Θεωρούνται ολοένα και περισσότερο συμπληρωματικά σε άλλα χωρικά κατανεμημένα δεδομένα τα οποία μπορούν να συσχετισθούν για την ικανοποιητική εξαγωγή στοιχείων. Εξού και η επιστήμη της τηλεπισκόπησης είναι στενή συγγενής των ΣΓΠ και από μια άποψη θεωρείται ως κλάδος των ΣΓΠ.

Τα Γεωγραφικά Πληροφορικά Συστήματα όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 4, είναι συστήματα βασισμένα στη χρήση υπολογιστών τα οποία χρησιμοποιούνται για την μεταχείριση γεωγραφικά εξαρτημένων πληροφοριών (Fabbrì, 1992). Ο Aronoff (1989) ορίζει ένα ΣΓΠ ως ένα εργαλείο για τη συλλογή, αποθήκευση, και ανάλυση αντικειμένων και φαινομένων όπου γεωγραφική πληροφορία είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό για την ανάλυση.

Τα δεδομένα μιας γεωμετρικά διορθωμένης εικόνας τα οποία αποκτήθηκαν μέσω ενός δορυφορικού φασματικού καναλιού μπορούν να θεωρηθούν ως ένα θεματικό επίπεδο από εικονοστοιχεία. Υπάρχει η δυνατότητα σε κάθε θεματικό επίπεδο από εικονοστοιχεία να αντιστοιχούμε 1 βασικό χρώμα (Red, Green, Blue) με αποτέλεσμα την δημιουργία ‘ψευδόχρωμων’ ψηφιακών εικόνων με πάρα πολλές χρήσεις. Πολυφασματικά δεδομένα μπορούν επομένως να αποτελέσουν θεματικά επίπεδα ενός ΣΓΠ, τα οποία ‘υπερτίθενται’

(overlaid) (βλέπε Εικόνα) πάνω σε υπάρχοντα επίπεδα του ΣΓΠ, τα οποία δημιουργήθηκαν με επίγειες μετρήσεις ή από άλλους υπάρχοντες χάρτες ή προήλθαν από μετατροπή άλλων υφιστάμενων ψηφιακών αρχείων. Οι δορυφορικές εικόνες μιας συγκεκριμένης περιοχής, που ελήφθησαν σε διαφορετικές χρονικές περιόδους από ένα δορυφόρο ή σε συνδυασμό με άλλους δορυφόρους, μπορούν να προσαρμοστούν στην ίδια χαρτογραφική προβολή, σύστημα συντεταγμένων και μέγεθος εικονοστοιχείου, και επομένως μπορούν να δημιουργήσουν ένα καινούριο επίπεδο ΣΓΠ που 'υπερτίθεται' σε άλλα υπάρχοντα.

Τα δεδομένα της τηλεπισκόπησης είναι μεν σε ψηφιακή μορφή αλλά πρέπει να συσχετισθούν με άλλα δεδομένα από διάφορες πηγές και σε συνδυασμό με τους τοπογραφικούς χάρτες της χώρας. Τα ΣΓΠ δεν αντιμετωπίζουν μόνο το πρόβλημα χειρισμού, αποθήκευσης και επεξεργασίας μεγάλου όγκου δεδομένων από διαφορετικές πηγές αλλά και τα προβλήματα της ανάκτησης των πληροφοριών από ένα μεγάλο εύρος χρηστών.

Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι χαρτογραφικά επίπεδα σε ταξινομημένη ψηφιδωτή (raster) μορφή (γεωλογία, βλάστηση, κλπ) μπορούν να τοποθετηθούν και να επεξεργαστούν στο ίδιο σύστημα αρκεί οι αντίστοιχες γεωμετρίες και αναφορές στο χάρτη να είναι ίδιες με τις αντίστοιχες οι οποίες χρησιμοποιούνται εκείνη τη στιγμή στο σύστημα. Επίσης έχουμε τη δυνατότητα εισαγωγής στο σύστημα διανυσματικών δεδομένων (vector) όπως είναι προϊόντα ψηφιοποίησης τα οποία μετατρέπονται σε δεδομένα raster χρησιμοποιώντας κατάλληλες συναρτήσεις μετατροπών και μπορούν να επεξεργαστούν και να αναλυθούν με τον ίδιο τρόπο που έχει περιγραφεί προηγουμένως.

Σε πολλές από τις αναπτυσσόμενες χώρες λείπουν βασικά τοπογραφικά δεδομένα και πολλές φορές οι υφιστάμενοι χάρτες περιέχουν περιορισμένη πληροφορία. Η ανάπτυξη της τηλεπισκόπησης μπορεί να βελτιώσει κάπως τη κατάσταση δημιουργώντας ένα χωρικό πλαίσιο αναφοράς στο οποίο μπορούν να ενταχθούν δεδομένα από άλλες πηγές. Επίσης οι λύσεις που θα υιοθετηθούν κατά την υλοποίησης του ΣΓΠ θα πρέπει να λάβουν υπόψη τους τις δυνατότητες που είναι διαθέσιμες όχι μόνο για την λειτουργία του ΣΓΠ αλλά και τη συντήρηση του (Κόλλια-Κουσούρη, 2003).

Σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται υφιστάμενοι χάρτες οι οποίοι ψηφιοποιούνται. Όταν όμως δεν υπάρχει κατάλληλος χάρτης ή όταν αυτοί που υπάρχουν χρειάζονται διόρθωση είναι απαραίτητο να συλλεχθούν νέα δεδομένα. Τα δεδομένα

μπορεί να είναι υπό μορφή αναλογικών χαρτών ή δεδομένα ψηφιακά ανάλογα με τη μέθοδο συλλογής. Οι μελέτες εδάφους μπορεί να παράγουν ψηφιακά δεδομένα ή δεδομένα που χρειάζονται περαιτέρω ψηφιοποίηση. Οι μελέτες εδάφους είναι πιο κατάλληλες όταν εξετάζεται μικρή περιοχή ή όταν η ζητούμενη χωρική ευκρίνεια είναι τέτοια που δεν μπορεί να ληφθεί με άλλο διαθέσιμο τρόπο. Σε πολλές περιπτώσεις όμως η ζητούμενη πληροφορία μπορεί να ληφθεί πιο οικονομικά από τα δεδομένα τηλεπισκόπησης που μπορεί να ερμηνευθούν είτε με το μάτι είτε με μια μεγάλη ποικιλία τεχνικών αναγνώρισης εικόνας.

Οι Καλύβας και λοιποί (2003) ανέπτυξαν ένα σύστημα ΣΓΠ για να ποσοτικοποιήσουν και χωρικά να χαρακτηρίσουν τις χρονικές αλλαγές στη μορφολογία της λίμνης του Κοτυχίου στη βορειοδυτική Πελοπόννησο καθώς και της επιφανειακής περιοχής για τη περίοδο από 1945 μέχρι το 1993. Χωρική και θεματική πληροφορία σχετικά με την τοπογραφία, την επιφανειακή περιοχή, και τις κύριες περιοχές κάλυψης cover areas για τα έτη 1945, 1960, 1987 και 1993 πάρθηκε από αεροφωτογραφίες και εκτιμήσεις της γης αποθηκεύτηκε στη βάση δεδομένων του ΣΓΠ. Με τη χρήση των ΣΓΠ και των αεροφωτογραφιών διαπιστώθηκαν οι αλλαγές που υπήρξαν με τα χρόνια, πιστοποιήθηκαν οι ανάγκες σε ορισμένες χρονικές περιόδους, και δικαιολογήθηκε η αντίληψη της σπουδαιότητας των εργασιών που έγιναν την περίοδο 1989-1992. Αυτό που τονίστηκε όμως στο τέλος της μελέτης είναι οι περιορισμοί που εγκύπτουν στη μελέτη από την ποιότητα και την ποσότητα των αεροφωτογραφιών που είναι διαθέσιμες για χωρική ανάλυση. Τονίζουν επίσης ότι αν υπήρχαν περισσότερες φωτογραφίες διαθέσιμες για ανάλυση και αποθήκευση τότε τα αποτελέσματα θα ήταν πολύ πιο ακριβή.

Η τηλεπισκόπηση και τα ΣΓΠ είναι πεδία που περιλαμβάνουν διαφορετικές αρχές, οι οποίες όμως μπορούν επιτυχώς να ενσωματωθούν στη μελέτη και επίλυση περιβαλλοντικών προβλημάτων. Οι Gomarasca και λοιποί (1992) μάλιστα τονίζουν ότι η συνεισφορά αρκετών ειδικών επιστημόνων από διαφορετικά πεδία όπως γεωργία, περιβάλλον, επιστήμη μηχανικών κτλ, είναι απαραίτητη για να αναπτυχθεί ένα επικεντρωμένο, εστιασμένο ΣΓΠ για να καθοριστούν τα προβλήματα και ο σχεδιασμός της γης.

6.8 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΧΑΡΤΩΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΕΤΗΣΙΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Οι εφαρμογές που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες ενότητες σχετικά με τις τη χρήση των δορυφορικών δεδομένων και των ΣΓΠ στην αποκατάσταση υπαίθριων εκμεταλλεύσεων τονίζουν τη σημαντική χρησιμότητά τους και στον τομέα αυτό. Η συνηθισμένη τακτική παρακολούθηση της αποκατάστασης είναι η Αυτόματη Λογική Σύγκριση μετά την Κατηγοριοποίηση (PCALC – Post Classification Automatic Logical Comparison) η οποία συνίσταται στη παραγωγή των χαρτών με αεροφωτογράφιση που χρησιμοποιούνται στην τακτική παρακολούθηση της αποκατάστασης.

Όπως περιγράφηκε διεξοδικά και στην ενότητα 6.2.2., η ανίχνευση μεταβολών είναι η διαδικασία προσδιορισμού διαφορών μεταξύ καταστάσεων μέσω της παρατήρησης σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Διάφορες τεχνικές ανίχνευσης έχουν αναπτυχθεί για την ανάλυση μιας ολόκληρης σειράς μεταβολών στα φυσικά και ανθρωπογενή χαρακτηριστικά της επιφάνειας της γης. Η τεχνική ανίχνευσης επιλέγεται ανάλογα με την κάλυψη της γης και τον αντικειμενικό στόχο της έρευνας. Για ομογενή τοπία, μπορούν να εφαρμοστούν τεχνικές που βασίζονται σε ραδιομετρικές αλλαγές μεταξύ ημερομηνιών λήψεων. Για ομογενή τοπία, μπορούν να εφαρμοστούν τεχνικές που βασίζονται σε ραδιομετρικές αλλαγές μεταξύ ημερομηνιών λήψεων. Στις μεθόδους αυτές περιλαμβάνονται οι τεχνικές φασματικών διαφορών (Macleod και Congalton, 1998), διαφορών φασματικών μετασχηματισμών – λ.χ. λόγοι μεταξύ φασμάτων και δείκτες βλάστησης (Γήτας και Khaldoun, 2003) και Κυρίων Συνιστωσών (Ingebritsen και Lyon, 1985).

Ένας χάρτης αποκατάστασης ενός ορυχείου επιφανειακής εξόρυξης στοχεύει στην παρακολούθηση και τον ποσοτικό προσδιορισμό της διαδικασίας αποκατάστασης. Στην πραγματικότητα είναι ένας χάρτης ανίχνευσης μεταβολών, ο οποίος υποδεικνύει τις αλλαγές που εμφανίζονται με την πρόοδο της εκμετάλλευσης και την αποκατάσταση που επιτυγχάνεται σε μια καθορισμένη χρονική περίοδο. Οι κατηγορίες αποκατάστασης προσδιορίζονται με βάση τον τύπο της πιο πρόσφατης κατηγορίας χρήσεως γης. Οι κατηγορίες αποκατάστασης χωρίζονται σε δύο ομάδες, αυτές της μεταβολής και της μη μεταβολής. Οι κατηγορίες αποκατάστασης είναι αυτές που σχετίζονται με τη φύτευση σε ανακτημένες περιοχές.

Σε πολλές περιπτώσεις σύμφωνα με την PCALC, για να γίνει η διάκριση μεταξύ αποκατεστημένης και μη αποκατεστημένης βλάστησης, χρησιμοποιείται ένας χάρτης αρχείου ο οποίος απεικονίζει προκαταρκτικές εργασίες εκμετάλλευσης σε μια περιοχή που καλύπτεται κυρίως από αγροτική γη και λιβάδια. Αυτός ο «προ-εκμεταλλεύσεως» χάρτης παρεμβολής περιλαμβάνει την κατηγορία αποκατάστασης που ονομάζεται *Μη μεταβληθείσα αρχική βλάστηση*, θεωρώντας ότι δεν είχε αρχίσει ακόμα η εκμετάλλευση στην περιοχή του ορυχείου. Η διαδικασία στη συνέχεια αυτής της μεθόδου συνίσταται στη σύγκριση της κατηγοριοποίησης που επετεύχθη σε μια συγκεκριμένη ημερομηνία με τον προηγούμενο χάρτη αποκατάστασης, με χρήση λογικών τελεστών ώστε να παραχθεί ένας νέος χάρτης αποκατάστασης. Για παράδειγμα, μια τυπική εξέλιξη θα ήταν η μεταβολή από την αρχική βλάστηση (προ-εκμετάλλευσης κατάσταση) σε γυμνό έδαφος (εκμετάλλευση του ορυχείου) και αργότερα σε χορτολιβαδική έκταση (αποκατάσταση).

Οι χάρτες αποκατάστασης παράγονται με προγράμματα γραμμένα στη Γλώσσα Χωρικών Χειρισμών (Spatial Manipulation Language) TNTmips® (Microimages, Inc.). Η διαδικασία αυτή επιτρέπει την παραγωγή χαρτών αποκατάστασης για μια σειρά από ζεύγη ετών ενδιαφέροντος (λ.χ. 1956- 1984, 1984-1991, 1991-1997 και 1984-1997, ορυχείο του As Pontes). Οι χάρτες αποκατάστασης επιτρέπουν την παρακολούθηση της εξέλιξης της διαδικασίας αποκατάστασης και τον ποσοτικό τους προσδιορισμό.

Επιπλέον η Ανάπτυξη μοντέλων προσομοίωσης που βασίζονται σε γραμμικά μοντέλα που αξιοποιούν τεχνικές βελτιστοποίησης μεταβάλλοντας προκαθορισμένους βαθμούς εμπιστοσύνης, τα οποία περιγράφουν την αποκατάσταση και τις σχέσεις της με τους άλλους πόρους ενός φυσικού οικοσυστήματος, είναι αξιόπιστα και η αξιοπιστία τους έχει πλήρως ελεγχθεί σε υδρολογικά μοντέλα (Aerts και λοιποί, 1999).

Τα δεδομένα των μοντέλων προέρχονται από μετρήσεις ή από εκτιμήσεις με χρήση χωρικής στατιστικής - γεωστατιστικής η οποία αντιμετωπίζει με ικανοποιητικό τρόπο την χάραξη ορίων μεταξύ διαφορετικών καταστάσεων – τιμών περιβαλλοντικών δεδομένων (Buckholts, 1988). Συμπερασματικά θα λέγαμε ότι η δορυφορική απεικόνιση μπορεί να εφαρμοστεί στη διαχείριση των ορυχείων επιφανειακής εξόρυξης για την ποσοτική παρακολούθηση της αποκατάστασης και για την παρακολούθηση της βλάστησης στην ευρύτερη περιοχή. Η κατηγοριοποίηση των δορυφορικών δεδομένων χρησιμοποιείται από τους κοινούς αλγόριθμους PCALC για να ανιχνευθούν οι μεταβολές που έχουν επέλθει σε διαφορετικές χρονικές στιγμές σε μια υπαίθρια εκμετάλλευση ενώ η κατηγοριοποίηση των

δορυφορικών δεδομένων μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τα χωρικά συστήματα λήψης αποφάσεων για να αντλήσουν τους τύπους των μονάδων που χρησιμοποιούνται στην αποκατάσταση. Η ψηφιακή μορφή των παραγομένων προϊόντων διευκολύνει κατά πολύ την ενσωμάτωσή τους στο σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) του ορυχείου.

6.9 ΑΝΑΓΚΗ ΕΝΟΣ ΕΝΙΑΙΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ

Στη σημερινή εποχή, που γίνεται κριτική και αμφισβητούνται πολλές ανθρώπινες δραστηριότητες που συνδέονται με την γενικότερη αναπτυξιακή προσπάθεια και τις βλαπτικές επιπτώσεις που αυτή συνεπάγεται στην αειφορία του περιβάλλοντος, είναι αναγκαίο να διερευνηθεί με όσο το δυνατό πιο λεπτομερή και τεκμηριωμένο τρόπο η περιβαλλοντική ευστάθεια και να προσδιοριστούν πιθανές ασυμβατότητες της αποκατάστασης των περιοχών εκμετάλλευσης πλουτοπαραγωγικών πόρων με τα γειτονικά οικοσυστήματα και το περιβάλλον γενικότερα.

Σήμερα η νομοθεσία, εθνική και της ΕΕ, απαιτεί ένα σχέδιο αποκατάστασης πριν ξεκινήσουν οποιεσδήποτε λατομικές μεταλλευτικές δραστηριότητες. Το σχέδιο αυτό περιγράφει τα μέτρα που απαιτούνται για την αποκατάσταση της περιοχής εκμετάλλευσης (μετά το πέρας των εξορυκτικών δραστηριοτήτων) σε κατάσταση όσο το δυνατόν πλησιέστερη στις αρχικές περιβαλλοντικές συνθήκες και περιλαμβάνει τους αρχικούς τύπους βλάστησης και το τοπίο.

Είναι γενικά αποδεκτό ότι η στη χώρα μας δεν υπάρχουν ξεκάθαρες πολιτικές που να καλύπτουν τις δραστηριότητες πριν και μετά την εκμετάλλευση. Οι διατάξεις της τρέχουσας νομοθεσίας είναι εξαιρετικά περίπλοκες, παράτυπες, ή ανίκανες να επιλύσουν προβλήματα που σχετίζονται με τον προγραμματισμό μετώπων επιφανειακής εξόρυξης και την μετέπειτα αποκατάστασή τους. Η επιφανειακή εξόρυξη μεταλλευμάτων και ορυκτών για την μη παραγωγή ενέργειας, όπως είναι το μάρμαρο, η άμμος, το χαλίκι, ο σχιστόλιθος, τα φωσφορικά άλατα και η ποτάσα, η εξόρυξη ορυκτών και μεταλλευμάτων για την παραγωγή ενέργειας με επιφανειακή εξόρυξη, η εξόρυξη άνθρακα και λιγνίτη με επιφανειακή εξόρυξη, η εξόρυξη μεταλλευμάτων και οι επιφανειακές βιομηχανικές εγκαταστάσεις για την μετάλλευση άνθρακα, πετρελαίου, φυσικού αερίου και μεταλλευμάτων, καθώς και ασφαλτωδών σχιστόλιθων πρέπει να υπόκεινται σε εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Ο κύριος του έργου θα πρέπει να παρέξει, σε κατάλληλη μορφή, τις πληροφορίες που περιλαμβάνουν τουλάχιστον την περιγραφή του έργου (θέση, το σχεδιασμό και το μέγεθός του), τη περιγραφή των μέτρων που μελετώνται προκειμένου να αποφευχθούν, να μειωθούν και, αν είναι δυνατό, να αντιμετωπισθούν οι σημαντικότερες δυσμενείς επιπτώσεις, και τα στοιχεία που απαιτούνται για την εξακρίβωση και την εκτίμηση των σημαντικών επιπτώσεων που το σχέδιο προβλέπεται ότι θα έχει στο περιβάλλον.

Τα μεταλλεία της Λάρκο που βρίσκονται στο Παγώντα, Σούρτζι και Ίσωμα εξετάζονται ως περιοχή έρευνας στο κεφάλαιο 7, είναι χαρακτηριστικά για το Νομό Ευβοίας και περιλαμβάνουν ένα ενεργό ορυχείο (Ίσωμα) και ορυχεία που έχουν μερικώς αποκατασταθεί (Παγώντας και Σούρτζι).

Όπως εξετάστηκε στο κεφαλαίο 2, η αποκατάσταση λατομικών και μεταλλευτικών δραστηριοτήτων είναι ένα σύνθετο και πολύπλοκο επιστημονικό αντικείμενο, το οποίο αποκτά ιδιαίτερη σημασία όταν σχετίζεται με την παρακολούθηση και προστασία του περιβάλλοντος από τέτοιου είδους δραστηριότητες. Το σημαντικό στάδιο στην διαδικασία αποκατάστασης μιας υπαίθριας εκμετάλλευσης είναι ο εντοπισμός-καταγραφή και αποτύπωση σε χάρτες των χώρων όπου γίνεται μεταλλευτική ή/και λατομική δραστηριότητα. Όλοι οι παραπάνω προβληματισμοί μας οδήγησαν στην αναζήτηση μιας νέας μεθοδολογίας προς αντικατάστασης των συμβατικών μεθόδων στηριγμένης σε μια προσέγγιση με δορυφορική τηλεπισκόπηση, ΣΓΠ και χωρικών συστημάτων λήψης αποφάσεων με στόχο τον την παρακολούθηση και επισκόπησή τους, με απώτερο στόχο την κατάστρωση διαχειριστικών σχεδίων δράσης και προγραμματισμού έργων υποδομής αναπτυξιακού χαρακτήρα και προστασίας.

6.10 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΝΕΑΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

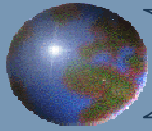
Τα διάφορα στάδια της ανωτέρω μεθοδολογίας περιγράφονται παρακάτω, (σχήμα.6.1) και είναι:

- 1^ο Στάδιο. Καθορίζονται τα κριτήρια επιλογής των δορυφορικών δεδομένων και ακολουθεί η συλλογή, η προκαταρκτική αξιολόγηση και προεπεξεργασία των δεδομένων.

- 2^ο Στάδιο. Αξιολόγηση και Ανάλυση των δεδομένων και των μεθόδων ανίχνευσης μεταβολών φυσικής κάλυψης και χρήσεων γης, παραγωγή διαχρονικών θεματικών χαρτών.
- 3^ο Στάδιο. Ανάπτυξη ΣΓΠ για τη διαχείριση διαχρονικών θεματικών χαρτών, χαρτογραφικών υποβάθρων, επεξεργασία ψηφιακών μοντέλων εδάφους και εξαγωγή γεωγραφικών χαρακτηριστικών.
- 4^ο Στάδιο. Καθορισμός των κριτηρίων, μέτρων, στρατηγικών και σεναρίων αποκατάστασης για το σχεδιασμό και λειτουργία του μοντέλου λήψης αποφάσεων.
- 5^ο Στάδιο, Αξιολόγηση, όλων των στρατηγικών αποκατάστασης που έχουν διαμορφωθεί και σύγκρισής τους με τη βασική στρατηγική.

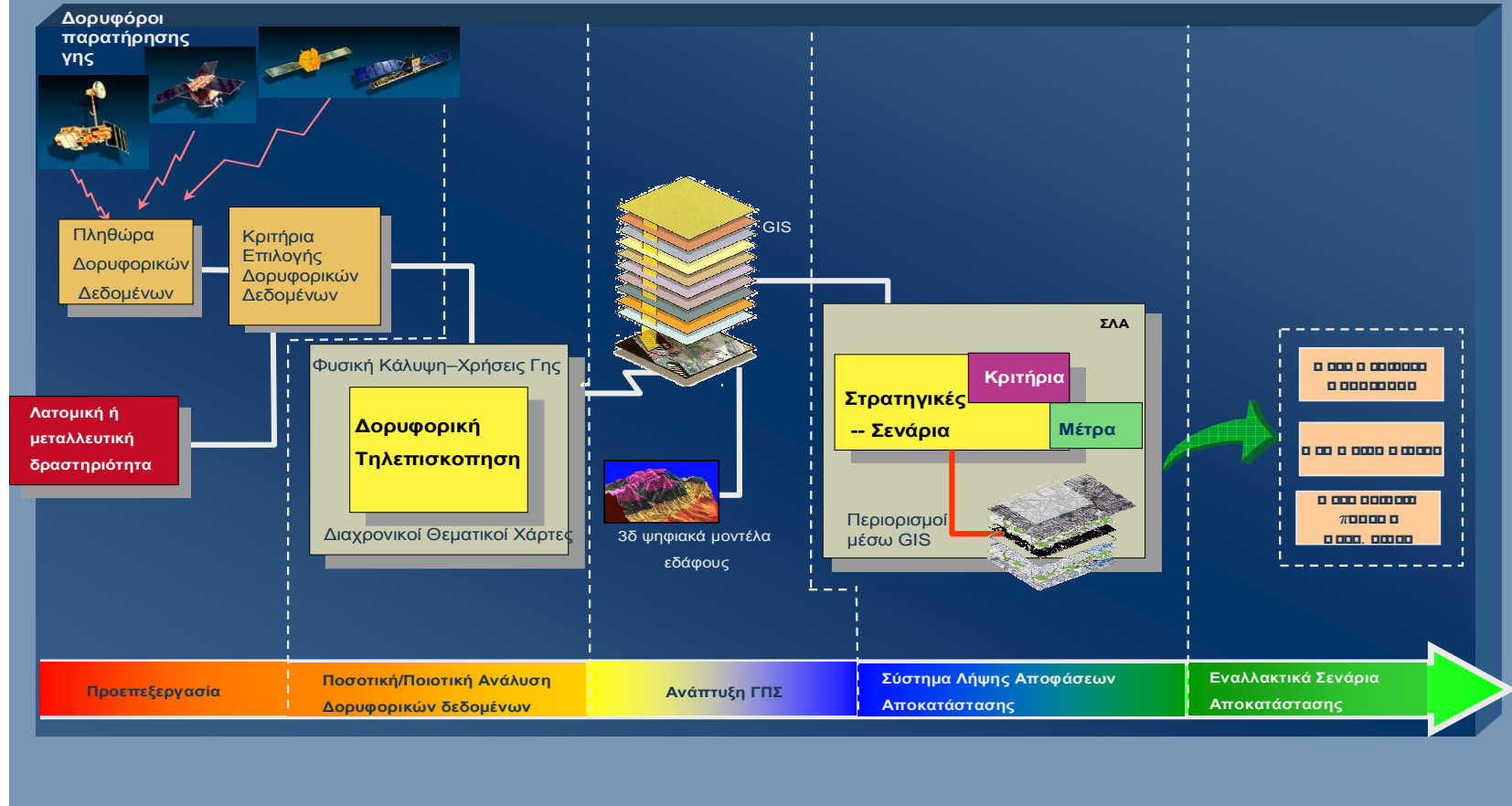
Ως πρώτη προτεραιότητα δράση επελέγη η καθορισμός των κριτηρίων επιλογής των δορυφορικών δεδομένων (κεφάλαιο 8). Δύο βασικά χαρακτηριστικά των ΨΔΤΑ είναι ιδιαίτερης σημασίας για την αποκατάσταση υπαίθριων εκμεταλλεύσεων. Το πρώτο είναι η χωρική ανάλυση ή η διακριτική ικανότητα και το δεύτερο η χρονική ανάλυση ή ο ρυθμός επισκεψιμότητας ενός σημείου της επιφάνειας της γης. Η κατάλληλη επιλογή των δεδομένων μπορεί να αξιοποιηθεί για την παραγωγή ψηφιακών μοντέλων εδάφους των μια λατομική ή μεταλλευτική μονάδα, για την παραγωγή θεματικών χαρτών και για την παραγωγή διαχρονικών θεματικών χαρτών. Στη παρούσα μελέτη καθορίζεται η προς εξέταση περιοχή και συσχετίζεται με τη διαθεσιμότητα των δορυφορικών δεδομένων έτσι ώστε να αντιστοιχίζονται οι ημερομηνίες λήψεις αυτών, ή αν είναι δυνατόν να συμπίπτουν με τα στάδια εκμετάλλευσης και αποκατάσταση των μεταλλείων της Λάρκο στον Παγώντα, Σούρτζι και Ίσωμα στο Νομό Ευβοίας. Γίνεται η συλλογή των δεδομένων και προεπεξεργασία που περιλαμβάνει τη ατμοσφαιρική/ραδιομετρική και γεωμετρική διόρθωση σε ένα ενιαίο υπόβαθρο που δεν ήταν άλλο από το προβολικό σύστημα του Ελληνικού Γεωδαιτικού Συστήματος Αναφοράς ΕΓΣΑ'87.

Ακολουθεί η ανάλυση των δεδομένων που έχει ένα πολυδιάστατο χαρακτήρα και αποτελείται από τη ποσοτική, ποιοτική ανάλυση των δεδομένων και την επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου ανίχνευσης μεταβολών φυσικής κάλυψης και χρήσεων γης για τη παραγωγή διαχρονικών θεματικών χαρτών (κεφάλαιο 8). Η ανάλυση περιλαμβάνει τη πλήρη και ακριβή διαχρονική καταγραφή των χρήσεων γης και της φυσικής κάλυψης της ευρύτερης περιοχής του μεταλλείου.



Μεθοδολογία

Διάγραμμα Ροής των Σταδίων της Μεθοδολογίας



Σχήμα 6.1

Γίνεται διερεύνηση και αποτύπωση τόσο των χρήσεων γης, όσο και της φυσικής κάλυψης με τη χρήση δορυφορικής τηλεπισκόπησης, η οποία βοηθά στον καλύτερο εντοπισμό περιβαλλοντικά ευαίσθητων περιοχών και των αντίστοιχων προβλημάτων και είναι περισσότερο ακριβής και λιγότερο χρονοβόρος.

Ακολουθεί η παραγωγή και ανάπτυξη του ψηφιακού μοντέλου εδάφους για την εξαγωγή χάρτη κλίσεων, προσανατολισμού και ανάλυσης υδρογραφικού δικτύου της ευρύτερης περιοχής και η ανάπτυξη ενός ΣΓΠ (κεφάλαιο 9) για την ολοκληρωμένη διαχείριση των γεωπληροφοριών (φυσική κάλυψη, χρήσεις γης που προέρχονται από την επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων) και άλλων πληροφοριών όπως υδρογραφικό, οδικό δίκτυο, που προέρχονται είτε από την επεξεργασία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους είτε από την ψηφιοποίηση αναλογικών τοπογραφικών, γεωλογικών και χαρτών γενικής χρήσης.. Σε αυτή τη ενότητα γίνεται ο έλεγχος συμβατότητας δεδομένων όσον αφορά την κλίμακα και την γεωαναφορά.

Ο καθορισμός των κριτηρίων, μέτρων, στρατηγικών και σεναρίων αποκατάστασης για το σχεδιασμό και λειτουργία του μοντέλου λήψης αποφάσεων ακολουθεί στο κεφάλαιο 10. Ο πρωταρχικός στόχος ήταν να δημιουργηθεί ένα διαδραστικό εργαλείο που βασίζεται σε δορυφορικά δεδομένα και το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα Σύστημα Λήψης Αποφάσεων (ΣΛΑ) για την εξαγωγή υψηλής ποιότητας χαρτών και σχεδίων προσομοίωσης των παρεμβάσεων ή την επιλογή του είδους της αποκατάστασης μια λατομικής ή μεταλλευτικής δραστηριότητας. Οι βασικές επιλογές του ΣΛΑ είναι *που* θα γίνει η αποκατάσταση και *ποια* θα είναι η νέα χρήση γης. Το ΣΛΑ της παρούσας διδακτορικής διατριβής δεν παρέχει σενάρια ή λύσεις σχετικά με την συντήρηση των αποκατεστημένων περιοχών, μιας και αυτή απαιτεί επιπλέον στοιχεία για το μικροκλίμα, διάβρωση εδαφών, εδαφολογία και γενικά τη φυτοτεχνική επιστήμη (Jim 2001, Ninot et al. 2001). Το μοντέλο αναπτύσσεται αντλώντας τους τύπους των μονάδων των χρήσεων γης που χρησιμοποιούνται στην αποκατάσταση με βάση την επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων του μεταλλείου στο Παγώντα και επαληθεύεται και αξιολογείται με βάση το μεταλλείο στο Ίσωμα.

Στη παρούσα έρευνα, για την περιοχή των μεταλλείων της Λάρκο στον Παγώντα και Σούρτζι στο Νομό Ευβοίας που επιλέχθηκε, έγινε φανερό ότι η ανάπτυξη ενός πλήρους

μοντέλου λήψης αποφάσεων αποκατάστασης δεν ήταν εφικτή γιατί τα απαραίτητα στοιχεία όπως για παράδειγμα λεπτομερή εδαφολογικά υδρολογικά και οικονομικά στοιχεία ήταν μη διαθέσιμα και ελλιπή, ως ιδιοκτησία των ιδιωτικών φορέων εκμετάλλευσης. Η μεθοδολογία επομένως που προτείνεται χρησιμοποιεί μια απλούστερη μέθοδο εξαγωγή σεναρίων και εκτίμησης αποκατάστασης για να μπορέσει να γίνει μια ουσιαστική σύγκριση των αποτελεσμάτων αν και σε κάθε περίπτωση η χρήση ενός πλήρους μοντέλου λήψης αποφάσεων παρέχει μια ασφαλέστερη βάση για συγκρίσεις.

Η μεθοδολογία ολοκληρώνεται με το τελευταίο στάδιο που αφορά στην αξιολόγηση (κεφάλαιο 11) των αποτελεσμάτων και την παρουσίαση μιας ολοκληρωμένης πολυδιάστατης προσέγγισης-μεθοδολογίας αποκατάστασης λατομικών και μεταλλευτικών δραστηριοτήτων με τη χρήση της δορυφορικής τηλεπισκόπησης και των επικουρικών ΣΓΠ συστημάτων και εργαλείων χωρικής λήψης αποφάσεων. Η μεθοδολογία αυτή μπορεί σαφώς να υποδείξει αρχές οικονομίας στη χρήση των αξιοποίησης επιφανειακών πλουτοπαραγωγικών πόρων, καθώς και καταστάσεις «σπατάλης», που έχουν έμμεση μεν - σαφή δε- περιβαλλοντική διάσταση.

Είναι σαφές ότι το πλήθος, η ποικιλία και η πολυπλοκότητα των μεταβλητών και παραγόντων που πρέπει να ληφθούν υπόψη στους υπολογισμούς για τη αποκατάσταση των υπαίθριων εκμεταλλεύσεων συνδυαζόμενη με την αλματώδη πρόοδο των αντιλήψεων για την αειφορία του περιβάλλοντος, όπως έχει εξελιχθεί σήμερα, καθιστά την αξιολόγηση της αποκατάστασης λατομικών και μεταλλευτικών δραστηριοτήτων θέμα δύσκολο (εξ αιτίας του πολυδιάστατου χαρακτήρα του) και απαιτεί πολλές και ενδελεχείς επί μέρους προσεγγίσεις πριν την τελική σύνθεσή του. Η προτεινόμενη μεθοδολογία αναντίρρητα μπορεί να εμπλουτιστεί περισσότερο και να συμπεριλάβει και άλλα εργαλεία, όπως: η χαρτογράφηση των οικονομικών οφελών της δυνατότητας εφαρμογής άρδευσης των αναβαθμίδων ή ανάλυση ευαισθησίας χρησιμοποιώντας διαφορετικά σενάρια για να καθοριστούν τα όρια εμπιστοσύνης των διαφόρων μεταβλητών που έχουν χρησιμοποιηθεί.

Στη παρούσα φάση όμως κρίθηκε ότι η έρευνα έπρεπε να εστιάσει τη προσοχή της περισσότερο στην ανάπτυξη και αξιολόγηση μιας μεθοδολογίας, “εργαλείο” που χρησιμοποιεί νέες τεχνολογίες όπως τη δορυφορική τηλεπισκόπηση και τα ΣΓΠ και για την καλύτερη αποκατάσταση λατομικών και μεταλλευτικών δραστηριοτήτων.

6.11 ΣΥΝΟΨΗ

Η παρούσα διδακτορική εργασία προτείνει μια καινοτομική προσέγγιση που μπορεί να αποτελέσει μία επιμέρους ή αυτοδύναμη μεθοδολογία για την αξιόπιστη καταγραφή και διαχρονική παρακολούθηση της λατομικής και μεταλλευτικής δραστηριότητας στη χώρα μας με γρήγορο και οικονομικό τρόπο, χάρις στην νέα τεχνολογία της δορυφορικής τηλεπισκόπησης και των ΣΓΠ, που σε καμία περίπτωση δεν θα ήταν δυνατόν με τη χρησιμοποίηση συμβατικών μεθόδων. Η προτεινόμενη μεθοδολογία οδηγεί στην ανάπτυξη ενός συστήματος που θα αποτελέσει ένα δυναμικό εργαλείο λήψης αποφάσεων για δράσεις και έργα ανά περιοχή προς όφελος της ανάπτυξης αλλά και της αποκατάστασης του περιβάλλοντος από τις λατομικές και μεταλλευτικές δραστηριότητες.

Ο τρόπος με τον οποίο εφαρμόζεται αυτή η μεθοδολογία στη περιοχή των μεταλλείων της ΛΑΡΚΟ στο Παγώντα, Σούρτζι και Ίσωμα του Νομού Ευβοίας που έχουν επιλεγεί επεξηγείτε στα κεφάλαια 8, 9 και 10.

7. ΠΕΡΙΟΧΗ ΈΡΕΥΝΑΣ «ΜΕΤΑΛΛΕΙΑ ΤΗΣ ΛΑΡΚΟ ΣΤΟ ΠΑΓΩΝΤΑ ΚΑΙ ΙΣΩΜΑ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΕΥΒΟΙΑΣ»

7.1 ΓΕΝΙΚΑ

Ο Νομός Ευβοίας βρίσκεται σχεδόν στο κέντρο της Ελληνικής επικράτειας, μεταξύ των παραλλήλων 38ο 00' Β και 37ο 00' Β και των μεσημβρινών 23ο 00' Α και 25ο 00' Α. Βόρεια και περιλαμβάνει τα νησιά Εύβοια και Σκύρο (Εικόνα 7.1). Η Εύβοια είναι το δεύτερο σε έκταση νησί της Ελλάδας μετά την Κρήτη. Το επίμηκες νησί της Εύβοιας, μήκους 175 χλμ. βρίσκεται αντίκρυ στη Στερεά Ελλάδα σε όλο το μήκος των ανατολικών ακτών της, από το ακρωτήριο Κηναίο, που εισχωρεί στο Μαλιακό κόλπο και το ακρωτήριο Αρτεμίσιο, που βλέπει την είσοδο του Παγασητικού κόλπου μέχρι τον όρμο της Καρύστου που μαζί με το νότιο άκρο της Αττικής αποτελούν τις πύλες που οδηγούν στο αρχιπέλαγος των Κυκλάδων. Έχει έκταση 3.896 τετραγωνικά χιλιόμετρα και πληθυσμό 215.136 κατοίκους σύμφωνα με την απογραφή του 2001. Στο μήκος της οφείλει και το όνομα "Μάκρις", ένα από τα ονόματα με το οποίο ήταν γνωστή στην αρχαιότητα. Την Εύβοια και την Στερεά τη χωρίζουν ο βόρειος και ο νότιος Ευβοϊκός κόλπος, οι οποίοι στο ύψος της Χαλκίδας στενεύουν σχηματίζοντας τον πορθμό του Ευρίπου. Η Εύβοια χωρίζεται σε μικρές φυσικές απομονωμένες περιφέρειες από τους μεγάλους και απότομους ορεινούς όγκους που καταλαμβάνουν τη μεγαλύτερη έκταση της : το Τελέθριο προς βορρά, τη Δίρφη στο κεντρικό τμήμα της και την Όχη προς νότον.

7.2 ΦΥΣΙΚΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ

Από άποψη ανάγλυφου το νησί μπορεί να χωριστεί σε τρία τμήματα. Το βόρειο και νότιο τμήμα της είναι ομαλά και λοφώδη, ενώ το κεντρικό είναι ορεινό. Τα κυριότερα όρη της Βόρειας Εύβοιας είναι τα Λιχάδα (763 m), Τελέθριο (970 m) και Ξηρόν (991 m). Η Κεντρική Εύβοια χωρίζεται από τη Βόρεια με μία οροσειρά, που αποτελείται από το παράκτιο όρος Κανδήλι (1246 m) και από τις βορειοδυτικές διακλαδώσεις της Δίρφους (1743 m), Πυξαριά (1343 m) και Γερακοβούνι. Οι νότιες απολήξεις της Σκοτεινή (1362

m), Μαυροβούνι (1189 m) και Όλυμπος (1172 m), διασχίζουν την Κεντρική Εύβοια. Το σημαντικότερο όρος της Νότιας Εύβοιας είναι η Όχη (1398 m).



Εικόνα 7.1. Γεωγραφικός προσδιορισμός της περιοχής του Νομού Ευβοίας

7.3 ΧΛΩΡΙΚΗ ΠΟΙΚΙΛΟΜΟΡΦΙΑ

Η χλωρίδα της Εύβοιας αποτελείται από 1824 taxa (είδη και υποείδη), από τα οποία 30 είναι Πτεριδόφυτα και 1794 Σπερματόφυτα. Σ' αυτά δε συμπεριλαμβάνονται 14 υβρίδια που έχουν αναφερθεί από την περιοχή. Ο μεγάλος αριθμός φυτικών ειδών, η σπανιότητα και το ιδιαίτερο φυτογεωγραφικό ενδιαφέρον πολλών από αυτά καθιστούν την Εύβοια ένα από τα σημαντικότερα κέντρα χλωριδικής ποικιλότητας στην περιοχή του Αιγαίου (Τρίγκας, 2001). Ο συνολικός αριθμός των φυτικών ειδών και το ποσοστό των ενδημικών ειδών που υπάρχουν σε κάθε νησί επηρεάζεται από ένα συνδυασμό παραγόντων, οι σημαντικότεροι από τους οποίους είναι: η έκταση του νησιού, η γεωγραφική του θέση, ο αριθμός των ζωνών βλάστησης και των τύπων οικοτόπων, ο χρόνος της γεωγραφικής απομόνωσης του νησιού, η απόσταση που το χωρίζει από την πλησιέστερη ηπειρωτική

χέρσο και η χλωριδική σύνθεση και χλωριδική ποικιλότητα της ηπειρωτικής περιοχής-δότη. Κατά κανόνα, όσο πλησιέστερα βρίσκεται ένα νησί στην ηπειρωτική χέρσο τόσο υψηλότερη χλωριδική ποικιλότητα έχει και όσο μακρύτερα από την ηπειρωτική χέρσο βρίσκεται και για όσο περισσότερο χρόνο διαρκεί η γεωγραφική του απομόνωση, τόσο αυξάνεται το ποσοστό των ενδημικών ειδών στη χλωρίδα του.

Μεταξύ των νησιών του Αιγαίου που βρίσκονται πολύ κοντά σε κάποια ηπειρωτική περιοχή, η Εύβοια παρουσιάζει το υψηλότερο ποσοστό ενδημισμού. Ο μεγάλος πλούτος της χλωρίδας της Εύβοιας την καθιστά ένα από τα σημαντικότερα κέντρα χλωριδικής ποικιλότητας στον Ελληνικό χώρο.

Οι σημερινές εξαπλώσεις των ειδών και υποειδών της Εύβοιας μπορούν να διαιρεθούν σε 20 υποενότητες, με βάση τη μέχρι σήμερα γνωστή γεωγραφική εξάπλωση των ειδών της χλωρίδας. Περίπου 587 (32,2%) από τα συνολικά taxa της Εύβοιας παρουσιάζουν ευρεία εξάπλωση. Το μεγαλύτερο ποσοστό από αυτά καταλαμβάνουν τα Ευρασιατικά (8,7%) και τα Υποκοσμοπολιτικά και Κοσμοπολίτικα (7,2%) γεωστοιχεία.

Η υψηλότερη συγκέντρωση τοπικών ενδημικών ειδών παρουσιάζεται στα όρη Δίρφου, Κανδήλι και Ξηροβούνι της Κεντρικής Εύβοιας, στο όρος Όχη της Νότιας Εύβοιας και την ευρύτερη περιοχή του ακρωτηρίου Καφηρέα και στις οφιολιθικές περιοχές της Βόρειας Εύβοιας. Η επιλεκτική εξάπλωση των ενδημικών ειδών σε συγκεκριμένο γεωλογικό υπόστρωμα είναι ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά της ενδημικής χλωρίδας της Εύβοιας. Το υψηλότερο ποσοστό των ενδημικών ειδών αναπτύσσεται σε ασβεστολιθικό υπόστρωμα, ενώ ένα σημαντικό ποσοστό αναπτύσσεται στα οφιολιθικά (κυρίως σερπεντινικά) εδάφη της Βόρειας Εύβοιας. Το φαινόμενο του ενδημισμού είναι ένα πολύπλοκο φαινόμενο με πολλές διαστάσεις, που δε μπορεί να εξαντληθεί στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, θα ήθελα λοιπόν να περιοριστώ στα νέα στοιχεία που έχουν προκύψει από την έρευνα των τελευταίων ετών και αφορούν τα ενδημικά φυτά της Εύβοιας. Ορισμένα από τα είδη που μέχρι πρόσφατα θεωρούνταν ενδημικά της νήσου Εύβοιας, έχουν βρεθεί και σε άλλες περιοχές της Ελλάδας. Μερικά από αυτά ενδεικτικά είναι: τα είδη *Scorzonera serpentinica* Rech. fil. και *Allium euboicum* Rech. Fil, το είδος *Stachys euboica* Rech. Fil, το είδος *Bufonia euboica* Phitos & Kamari, το είδος *Fumana pinatzii* Rech. fil, και το είδος *Linum euboicum* Bornm.

7.4 ΔΑΣΗ ΚΑΙ ΔΑΣΙΚΕΣ ΕΚΤΑΣΕΙΣ

Γενικά τα εδάφη του Νομού είναι αξιόλογα από δασική άποψη και κατά το μεγαλύτερο μέρος μπορούν να θεωρηθούν άριστα δασικά εδάφη. Ο Νομός παρουσιάζει μεγάλη κλιματική ποικιλία, που οφείλεται στην πολυμορφία του ανάγλυφου, την γεωγραφική του θέση και την μεγάλη περίμετρο των ακτών του. Οι άριστες κλιματικές συνθήκες κυρίως στην Βόρεια και Βορειοανατολική πλευρά και η ποικιλία των εδαφικών τύπων και μικροπεριβαλλόντων, έχει ως αποτέλεσμα την πλούσια χλωρίδα που υπάρχει στην Εύβοια. Σύμφωνα με σχετική ερευνητική εργασία στην Εύβοια εξαπλώνονται οι παρακάτω φυτοκοινωνικές διαπλάσεις:

- Η θερμομεσογειακή διάπλαση (OLEO CERATO*IO*) της Ανατολικής Μεσογείου. * Η Μεσογειακή διάπλαση της Αριάς (QYERCIO* ILICIS) τύπος της Βαλκανικής και Ανατολικής Μεσογείου.
- Η ζώνη των φυλλοβόλων δασών (QUERCIO* CO*FERTAE)
- Η ζώνη της Κεφαλληνιακής ελάτης (ABIETIO* CEPHALO*ICAE)

Τέτοια είναι η ποικιλία των κλιματοεδαφικών συνθηκών, που έχει ως αποτέλεσμα να συνυπάρχουν η Ελάτη και η Μαύρη πεύκη, με την Χαλέπιο και να σχηματίζουν μικτές μικροσυστάδες. Διάσπαρτα άτομα Μαύρης πεύκης και Ελάτης κατέρχονται σχεδόν μέχρι τη θάλασσα του Αιγαίου πελάγους. Η συνύπαρξη καστανιάς, δρυός, πλατάνου, ελάτης, χαλεπίου πεύκης σε πολλές περιοχές, όπως της Στενής, δίδουν μια ξεχωριστή μορφή και ομορφιά στο τοπίο, που εντυπωσιάζει κάθε επισκέπτη. Η ύπαρξη σπάνιων και πολλών ειδών της χλωρίδας, όπως της Ευβοϊκής δρυός, Λεύκης, Ιταμού, κλπ αλλά και ποωδών, βοτάνων δίδουν μια ξεχωριστή θέση στην Εύβοια από βοτανική άποψη (Παπαγεωργίου, 2001). Επί πλέον, η ποικιλότητα της βλάστησης, τα εκτεταμένα δάση της χαλεπίου πεύκης, της ελάτης, της δρυός, της καστανιάς, τα διάσπαρτα φυλλοβόλα, η χρωματική εναλλαγή του τοπίου, οι χαραδρώσεις με τα εξάιρετα φαράγγια, όπως το Δημοσάρι, ο συνδυασμός του βουνού με τις θαυμάσιες ακρογιαλιές και η χρήση του δάσους από τους εκδρομείς, προσκυνητές στα υπάρχοντα μοναστήρια, παραθεριστές και τους κατοίκους του Νομού, δίδουν στο δάσος της Εύβοιας μεγάλη αξία από αισθητική άποψη. Επακόλουθο της πλούσιας χλωρίδας είναι η ύπαρξη πανίδας από τριχωτά, (Ζαρκάδι, λαγός, κλπ) και πτερωτά είδη τόσο σε ενδημικά ή διερχόμενα, υδρόβια και μη. Κύρια δασοπονικά είδη του Νομού είναι η χαλέπιος, η Μαύρη πεύκη, η ελάτη, η δρυς και η καστανιά. Τα δάση της

χαλεπίου πεύκης εκμεταλλεύονται κυρίως για την παραγωγή ρητίνης, ξυλείας, καυσόξυλων και εξυπηρετούν τις ανάγκες της κτηνοτροφίας, μελισσοκομίας και τουρισμού. Από ιδιοκτησιακή άποψη τα δάση είναι Δημόσια, Κοινοτικά, Συνιδιόκτητα, Ιδιωτικά, Μοναστηριακά και Διακατεχόμενα κυρίως της ολότητας των κατοίκων των διαφόρων οικισμών. Η έκταση των δασών ανέρχεται σε 115.429 εκτάρια ήτοι είναι το 27,7 % της συνολικής επιφανείας του Νομού, των δε δασικών εκτάσεων ανέρχεται σε 107.688 εκτάρια με αντίστοιχο ποσοστό 25,8 %. Τα εκτεταμένα δάση της χαλεπίου πεύκης βρίσκονται στη Βόρεια, Βορειανατολική και κεντρική Εύβοια. Έχουν διφυή μορφή με υπόροφο τα αείφυλλα πλατύφυλλα, πολλές φορές έχουν την μορφή ομήλικο και προέρχονται από πυρκαγιά ή υποκηπευτοειδή προερχόμενα από επιλογικές υλοτομίες των απορρητινευθέντων δένδρων ή και από κανονικές τοιούτες.

7.5 ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΑ

Η δομή των εδαφών, το είδος της βλάστησης, το μικρό μήκος των ρεμάτων, είναι παράγοντες που επιδρούν ανασταλτικά στην δημιουργία χειμαρρικών φαινομένων. Λόγω της διάπλασης του ανάγλυφου οι δύο κύριοι ποταμοί του νησιού, ο Μεσσάπιος και ο Λήλας νομού πηγάζουν από το κεντρικό ορεινό τομέα και συγκεκριμένα τη οροσειρά της Δίρφυς. Από τη Δίρφυ επίσης πηγάζουν και τα μικρότερα ποτάμια του Μετοχίου και των Στροπώνων. Στο βόρειο τμήμα υπάρχει και ένα εκτενές δίκτυο από μικρά ρέματα και ξεροπόταμους.

7.6 ΚΛΙΜΑ

Λόγω της θέσης του ο νομός Ευβοίας έχει κλίμα μεσογειακό, με ήπιους χειμώνες και ξηρά και θερμά καλοκαίρια. Χαρακτηριστικό του κλίματος είναι η μεγάλη ηλιοφάνεια. Η μέση ετησία θερμοκρασία στο Βόρειο τμήμα του Νομού είναι περίπου 18^ο και στο νότιο τμήμα περίπου 19^ο Κελσίου. Η απόλυτος ελαχίστη θερμοκρασία αέρος εκτιμάται ότι μπορεί να κατέλθει μέχρι -10^ο και η απόλυτος μεγίστη να ανέλθει περίπου μέχρι τους +45^ο Κελσίου. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής στην Ιστιαία είναι 813.5 mm, στην Χαλκίδα 474mm στην Κύμη 1102,4 mm και στην Κάρυστο 544,9mm Οι παγετοί είναι σπάνιοι στην Νότια Εύβοια και συχνοί στην Βόρεια. Η σχετική υγρασία είναι αρκετά αυξημένη στην Βόρεια

από ότι στην Νότια και η μέση ετησία κυμαίνεται στο 66%. Οι άνεμοι είναι κυρίως Βόρειοι - Βορειοανατολικοί μεγάλης συχνότητας και έντασης κυρίως στην Νότια Εύβοια. Οι άριστες κλιματικές συνθήκες κυρίως στην Βόρεια και Βορειοανατολική πλευρά και η ποικιλία των εδαφικών τύπων και μικροπεριβαλλόντων, έχει ως αποτέλεσμα την πλούσια χλωρίδα που υπάρχει στην Εύβοια.

7.7 ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ

Κατά την απογραφή του 2001 ο νομός Ευβοίας είχε 3 επαρχίες, 25 δήμους και 2 κοινότητες. Πρωτεύουσα του νομού είναι η Χαλκίδα, με 55.264 κατοίκους. Η γεωγραφική κατανομή των δήμων παρουσιάζεται στην εικόνα 7.2 και στο πίνακα 7.1.



Εικόνα 7.2.. Γεωγραφική κατανομή των δήμων και κοινοτήτων του Ν. Ευβοίας.

| | |
|--------------------------|--------------|
| • 1. Δήμος Χαλκιδέων | • Chalkida |
| • 2. Δήμος Αιδηψού | • Edipsos |
| • 3. Δήμος Αμαρυνθίων | • Amarynthos |
| • 4. Δήμος Ανθηδώνος | • Anthidona |
| • 5. Δήμος Αρτεμισίου | • Artemisio |
| • 6. Δήμος Αυλίδος | • Avlida |
| • 7. Δήμος Αυλώνος | • Avlon |
| • 8. Δήμος Διρφύων | • Dirfys |
| • 9. Δήμος Δυστίαν | • Dystos |
| • 10. Δήμος Ελυμνίων | • Elymni |
| • 11. Δήμος Ερέτριας | • Eretria |
| • 12. Δήμος Ιστιαίας | • Istiea |
| • 13. Δήμος Καρύστου | • Karystos |
| • 14. Δήμος Κηρέως | • Kireas |
| • 15. Δήμος Κονιστρών | • Konistres |
| • 16. Δήμος Κύμης | • Kymi |
| • 17. Δήμος Ληλαντίων | • Lilandia |
| • 18. Δήμος Μαρμαρίου | • Marmari |
| • 19. Δήμος Μεσσαπίων | • Messapia |
| • 20. Δήμος Νέας Αρτάκης | • Nea Artaki |
| • 21. Δήμος Νηλέως | • Nileas |
| • 22. Δήμος Σκύρου | • Skyros |
| • 23. Δήμος Στυραίων | • Styra |
| • 24. Δήμος Ταμναίων | • Taminei |
| • 25. Δήμος Ωρεών | • Orei |
| • 26. Κοινότητα Καφηρέως | • Kafireas |
| • 27. Κοινότητα Λιχάδος | • Lichada |

Πίνακας 7.1. Δήμοι και Κοινότητες του Ν. Ευβοίας

7.8 Η ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΤΗΣ ΛΑΡΚΟ – ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η ΛΑΡΚΟ είναι μια σημαίνουσα μεταλλευτική και μεταλλουργική εταιρεία, η οποία εκμεταλλεύεται ορυχεία νικελίου και λιγνιτωρυχεία στην Ελλάδα. Το κύριο πεδίο των δραστηριοτήτων της αποτελεί η εξαγωγή περίπου 17,000 τόνων νικελίου το χρόνο, με τη μορφή FeNi από μετάλλευμα νικελίου το οποίο υφίσταται εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Για το σκοπό αυτό, λειτουργούν τέσσερις περιστροφικοί κλίβανοι, τέσσερις ηλεκτρικοί

φούρνοι αναγωγής και δύο μετατροπείς O.B.M. Βρίσκονται σε λειτουργία στο εργοστάσιο μεταλλουργίας στη Λάρυμνα. Η τοποθεσία ελέγχου για τη ερευνητική εργασία είναι τα ορυχεία του Παγώντα, στην Κεντρική Εύβοια (Εικόνα 7.3). Ο κύριος στόχος είναι η αποκατάσταση των επιφανειακών ορυχείων της ΛΑΡΚΟ στην Κεντρική Εύβοια, με νέες χρήσεις γης. Το σχέδιο αποκατάστασης θα πρέπει να υποβληθεί στην κυβέρνηση πριν την έναρξη των μεταλλευτικών δραστηριοτήτων. Τα ορυχεία λειτούργησαν για πρώτη φορά την δεκαετία του 1960.



Εικόνα 7.3. Φωτογραφία (Οκτώβριος 1997) του επιφανειακού ορυχείου της ΛΑΡΚΟ στις Άκρες (νότια του Δυτικού Παγώντα, Εύβοια, Ελλάδα – νότια όψη των εκσκαφών).

7.8.1 Γεωγραφία των ορυχείων

Τα ορυχεία νικελίου της ΛΑΡΚΟ βρίσκονται στο νησί της Εύβοιας, περίπου 60 χλμ. Βόρεια της Αθήνας (Εικόνα 7.4). Τρεις τοποθεσίες εξόρυξης θα εξεταστούν λεπτομερώς: ο Παγώντας ($N38^{\circ} 40'$ και $E23^{\circ} 35'$), το Σούρτζι ($N38^{\circ} 39'$ και $E23^{\circ} 40'$) και το Ίσωμα ($N38^{\circ} 35'$ και $E23^{\circ} 43'$). Οι δύο πρώτες τοποθεσίες θα χρησιμοποιηθούν ως

τοποθεσίες ελέγχου για την ανάπτυξη του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων, ενώ η τρίτη τοποθεσία θα χρησιμοποιηθεί ως τοποθεσία επαλήθευσης για το μοντέλο. Η τελευταία τοποθεσία έχει το τελευταίο ενεργό ορυχείο σήμερα (η εκμετάλλευση άρχισε το 1983). Το ανάγλυφο της περιοχής είναι δύσβατο, με υψόμετρο που κυμαίνεται μεταξύ 0 και 1500 μέτρων. Η πρόσβαση σε όλες τις τοποθεσίες είναι εύκολη, μέσω δημόσιων και ιδιωτικών (ΛΑΡΚΟ) δρόμων.



Εικόνα 7.4. Θέση των ορυχείων της ΛΑΡΚΟ στην Εύβοια. Ο Βορράς είναι προς την κορυφή της σελίδας. Δορυφορική εικόνα Landsat TM.

7.8.2 Η γεωλογία των ορυχείων της ΛΑΡΚΟ

Τα ορυχεία της ΛΑΡΚΟ είναι ανοικτές εκμεταλλεύσεις στρωματοειδών κοιτασμάτων που σχηματίστηκαν κατά τα τέλη της Πρώιμης Κρητιδικής περιόδου, πριν τη μετάβαση στην Ύστερη Κρητιδική (Κενομάνιος). Το κοίτασμα είναι λατερίτης πάχους 1 – 40 μέτρων πάνω από οφιολιθικά πετρώματα (κυρίως λάβα βασάλτη και περιδοτίτες -

Εικόνα 7.5). Παχείς ασβεστόλιθοι της Ύστερης Κρητιδικής περιόδου της Πελαγονικής ζώνης μεταμόρφωσης (isopic) καλύπτουν το λατερίτη. Η στρωματοειδής στήλη της περιοχής ξεκινά με νηριτικούς ασβεστόλιθους της Ιουρασικής περιόδου και τελειώνει με μια ακολουθία ετερογενών βραχωμάτων (φλύσχη) της Παλαιοκαίνου. Σε μερικές περιοχές, στρώματα λιμναίων ιζημάτων της Νεογενούς περιόδου με διαφορετικές κατευθύνσεις καλύπτουν τον ασβεστόλιθο. Παρατηρούνται επίσης διάσπαρτα επιφανειακά εδάφη της Τριασικής περιόδου. Νεοτεκτονικά ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης και καθέτου ύφους έχουν διασπάσει όλους τους βράχους σε υπερβολικό βαθμό. Η Εύβοια έχει χαρτογραφηθεί από το ΙΓΜΕ (Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα) από τα τέλη της δεκαετίας του 1950 μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1970, ενώ οι γεωλόγοι της ΛΑΡΚΟ έχουν χαρτογραφήσει το σημείο επαφής του λατερίτη σε κλίμακες από 1:500 έως 1:5000.

Η συνολική παραγωγή στον Παγώντα ήταν 16,000,000 τόνοι μεταλλεύματος και 14,000,000 τόνοι στείρων υλικών (1970-1989), στο Σούρτζι 2,700,000 τόνοι μεταλλεύματος και 16,300,000 τόνοι στείρων υλικών (1969-1993) και στο Ίσωμα 4,800,000 τόνοι μεταλλεύματος και 32,700,000 τόνοι στείρων υλικών, αντιστοίχως. Το μετάλλευμα περιέχει νικέλιο σε ποσοστό 0.8-1.2 %



Εικόνα 7.5. Φωτογραφία (Ιούλιος 1999) του Ορυχείου Νικελίου στο Ίσωμα στη κεντρική Εύβοια. Φαίνεται καθαρά η επαφή μεταξύ των λατεριτών και των επιφανειακών άγονων (ασβεστόλιθοι). Κατεύθυνση Νοτιοανατολική.

7.8.3 Υφιστάμενες τεχνικές αποκατάστασης των περιοχών εκμετάλλευσης

Στις τοποθεσίες της ΛΑΡΚΟ της Εύβοιας δύο περιοχές παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Η πρώτη είναι η περιοχή όπου λαμβάνει χώρα η εξόρυξη και η δεύτερη είναι η περιοχή όπου εναποτίθονται τα στείρα (πέτρωμα απουσία μετάλλου). Πριν την έναρξη οποιαδήποτε μεταλλευτικής εκμετάλλευσης η ΛΑΡΚΟ, ως φορέας υλοποίησης αποκτά την απαραίτητη επιφάνεια που γειτνιάζει με το μεταλλείο για την εναπόθεση των στείρων υλικών της εξόρυξης. Αυτή η περιοχή ονομάζεται περιοχή εξωτερικών αποθέσεων. Το βασικό κριτήριο για την επιλογή αυτής της περιοχής είναι να μπορεί να εναποθέτει μη οικονομικά εκμεταλλεύσιμο μέταλλευμα που προέρχεται από την εξόρυξη (πχ Κρητογενής ασβεστόλιθος Cretaceous Limestone). Δευτερεύοντα κριτήρια επιλογής αποτελούν τα παρακάτω:

- α) η γειννίαση με το μεταλλείο,
- β) ο όγκος των στειρών που πρόκειται να εναποτεθούν
- γ) η υψομετρική διαφορά μεταξύ του σημείου της εξόρυξης και της περιοχής εναπόθεσης, δ) η υφιστάμενη χρήση γης που δέχεται τα στείρα (δάσος, γυμνό έδαφος κλπ) και
- ε) η διαθεσιμότητα εδάφους στη γειτονική περιοχή που θα χρειαστεί να αναμιχθεί με τα στείρα για την εφαρμογή κάποιου σεναρίου αποκατάστασης.

Άλλοι (δευτερεύοντες) παράμετροι που επηρεάζουν το τελικό κόστος είναι η ύπαρξη δάσους, αγροτικής γης, διαθεσιμότητα χώματος κλπ.

Κατά τις εργασίες εκμετάλλευσης είναι μερικές φορές δυνατόν να γίνει *εσωτερική εναπόθεση*, δηλαδή να επιλεγεί μια τοποθεσία όπου έχουν γίνει εκσκαφές στο παρελθόν ως χώρος απόρριψης.

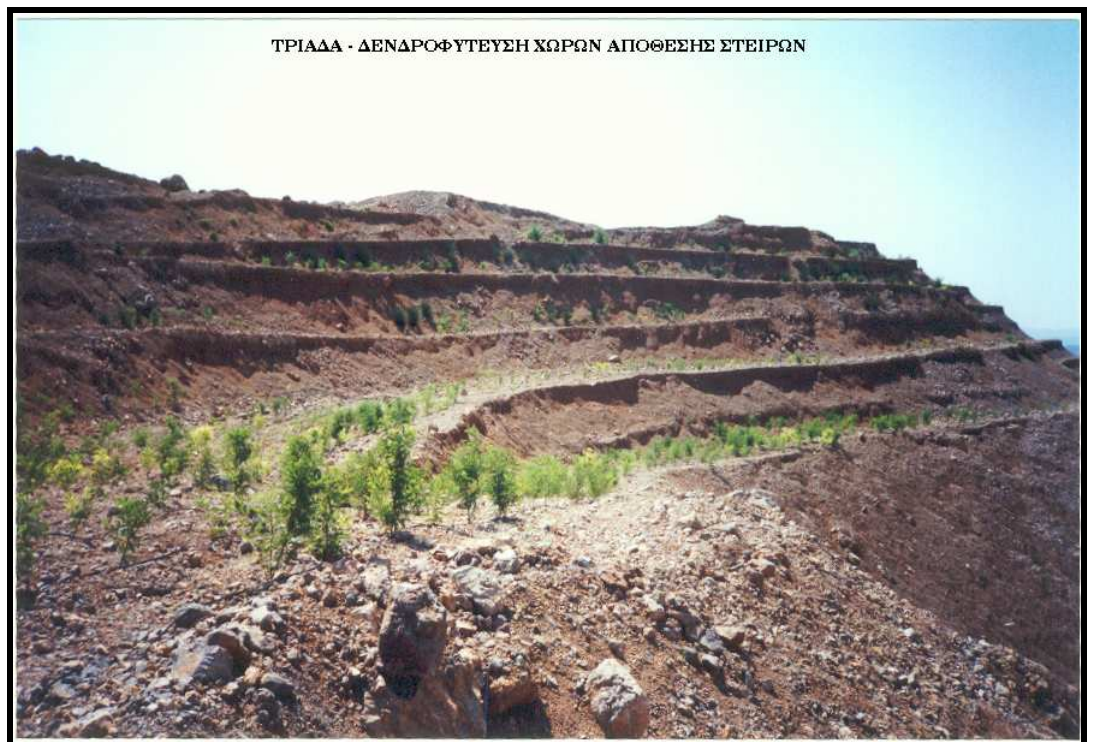
Αυτή δεν αποτελεί γενική περίπτωση για τα ορυχεία της ΛΑΡΚΟ. Μια τοποθεσία προηγούμενων εκσκαφών μπορεί να είναι ο χώρος *εξωτερικής εναπόθεσης* απορριμμάτων μιας κοντινής, νέας, τοποθεσίας εκσκαφών.

Η ΛΑΡΚΟ σήμερα αποκαθιστά και τους δύο χώρους (εκμετάλλευσης και εναπόθεσης απορριμμάτων).

Μία κρίσιμη παράμετρος στην δημιουργία των περιοχών εξωτερικών αποθέσεων είναι η σταθερότητα των πρανών. Το υλικό που εναποτίθεται είναι κομμάτια ασβεστόλιθου αναμεμιγμένα με άργιλο και άμμο. Μόλις τα πρανή φτάσουν τη κρίσιμη γωνία κλίσης ($\sim 45^{\circ}$) αμέσως το έδαφος ισοπεδώνεται σε μια επίπεδη επιφάνεια. Μετά η επιφάνεια αυτή μετατρέπεται ανά 6 μέτρα ύψος σε σειρές αναβαθμίδων (πεζουλών) πλάτους 6 μέτρα η κάθε μία. Η επιφάνεια καλύπτεται από έδαφος πάχους 40 εκατοστών και φυτεύεται με δένδρα. Μετά τη δενδροφύτευση η περιοχή που αποκαταστάθηκε συντηρείται σε τακτά χρονικά διαστήματα είτε με επεμβάσεις άρδευσης, διευθέτησης κλίσης κλπ.



Εικόνα 7.6. Ορυχείο Παγώντα: αποκατάσταση των περιοχών εκμετάλλευσης (Οκτώβριος 1997)



Εικόνα 7.7. Ορυχείο Ισώματος: αποκατάσταση των τοποθεσιών απόρριψης

Μετά το πέρας της εκμετάλλευσης, η τελική επιφάνεια των πρανών (ύψος 12 μέτρα – πλάτος 6 με 8 μέτρα) καλύπτεται με χώμα και φυτεύεται με δένδρα. Τις περισσότερες φορές δεν πραγματοποιούνται εργασίες ισοπέδωσης ώστε να μειωθεί το ύψος του

αναβαθμού, να μειωθεί η γωνία των πρανών κλπ. εξ αιτίας του υψηλού ενεχόμενου κόστους. Επί πλέον, σε περιπτώσεις κλειστών εκσκαφών, υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας μιας τεχνητής λίμνης που γεμίζει από υπόγεια ύδατα και απορροές. Στο ορυχείο του Παγώντα, στην κεντρική Εύβοια, έχει γίνει αποκατάσταση σε δύο περιοχές: (α) κατά μήκος των επιπέδων εκμετάλλευσης που αποτελούνται κυρίως από ασβεστόλιθους (Εικόνα 7.6) και (β) στις τοποθεσίες απόρριψης που περιέχουν στείρα υλικά (Εικόνα 7.7).

Συνοψίζοντας, τα κριτήρια με τα οποία μπορούμε να μετρήσουμε τα δυνητικά (ή εναλλακτικά) τα σχέδια αποκατάστασης για τα ορυχεία της ΛΑΡΚΟ είναι τα ακόλουθα:

1. Κόστος [σε Ευρώ] ισοπέδωσης.
2. [Εκτάρια] μιας συγκεκριμένης χρήσης γης σε σύγκριση με την προηγούμενη έκταση [σε εκτάρια] (συνθήκες προ-εξορύξεως) των χρήσεων γης
3. Δυνατότητα ψυχαγωγίας, όπως εκφράζεται από την ύπαρξη
 - (α) υπόστασης εθνικού πάρκου για την περιοχή
 - (β) ενός καλού δρόμου για πρόσβαση στις γειτονικές πόλεις και χωριά, και
 - (γ) την παρουσία λίμνης [σε εκτάρια]

8. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΤΗΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ - ΣΥΛΛΟΓΗ, ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

8.1 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ

Τα δορυφορικά δεδομένα ή ΨΔΤΑ μπορούν να αξιοποιηθούν σε διάφορα στάδια της διαδικασίας λήψης αποφάσεων σχετικά με την αποκατάσταση μιας υπαίθριας εκμετάλλευσης λατομικής ή μεταλλευτικής δραστηριότητας.

Πιο αναλυτικά τα δορυφορικά δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν

- A) για την παραγωγή ψηφιακών μοντέλων εδάφους των σε λατομικής ή μεταλλευτικής μονάδας
- B) για την παραγωγή θεματικών χαρτών
- Γ) για την παραγωγή διαχρονικών θεματικών χαρτών

Δύο βασικά χαρακτηριστικά των ΨΔΤΑ είναι ιδιαίτερης σημασίας για την αποκατάσταση υπαίθριων εκμεταλλεύσεων. Το πρώτο είναι η χωρική ανάλυση ή η διακριτική ικανότητα και το δεύτερο η χρονική ανάλυση ή ο ρυθμός επισκεψιμότητας ενός σημείου της επιφάνειας της γης.

Ο καθορισμός των κριτηρίων τη επιλογής των δορυφορικών δεδομένων σχετικά με το πεδίο έρευνας των Μεταλλείων της ΛΑΡΚΟ στο Παγώντα, Σούρτζι και Ίσωμα στο Νομό Ευβοίας έγινε σύμφωνα με την ικανότητα της χωρικής, φασματικής τους και χρονικής τους ανάλυσης να μπορούν να απεικονίσουν και να ποσοτικοποιήσουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά των υπαίθριων εκμεταλλεύσεων:

(1) Χαρτογράφηση και απεικόνιση της γεωλογίας της περιοχής μελέτης

Υπερκείμενα υλικά. Μη σταθεροποιημένα υπερκείμενα υλικά (Ιζήματα όπως οι αλλουβιακές αποθέσεις, άμμος, άργιλος, κλπ.). Σταθεροποιημένα υπερκείμενα υλικά (μεταμορφωσιγενείς λίθοι, ασβεστόλιθοι, ψαμμίτες, γρανίτες, σχιστόλιθοι κλπ.). Ανάμικτα υπερκείμενα υλικά. Τεκτονική γεωλογία (οριοθέτηση ζωνών διάρρηξης και κατολισθήσεων).

Στο σχεδιασμό της αποκατάστασης πρέπει να αποφεύγονται οι περιοχές όπου παρουσιάζονται έντονα φαινόμενα κατολίπησης ή βρίσκονται πάνω σε ενεργά ρήγματα. Κατά τη διάρκεια ενός σεισμού οι μετακινήσεις των πετρωμάτων είτε μέσα στο μεταλλείο είτε στην γειτονική περιοχή μπορούν να οδηγήσουν στη δημιουργία των καθιζήσεων εδάφους είτε στην επανεργοποίηση των παλαιών καθιζήσεων εδάφους. Μαλακές λιθολογίες όπως πχ ασβεστόλιθοι προερχόμενοι από γρανίτες είναι δυνατόν να ενισχύσουν την πιθανότητα της επίγειας αυτής κίνησης (Townshed, 1981). Για την απόθεση των στείρων υλικών και άλλων αποβλήτων πρέπει να επιλέγονται όσο το δυνατόν εδάφη με σταθερή λιθολογία (Sengupta, 1993).

(2) Ανίχνευση και απεικόνιση της παρουσίας ή απουσίας εργοστασίου επεξεργασίας μεταλλεύματος

Η παρουσία η απουσία εγκαταστάσεων επεξεργασίας στην ευρύτερη περιοχή των εξορύξεων είναι σημαντικός παράγοντας για περιβαλλοντική επιβάρυνση. Επιπλέον υποδομές όπως ταινιόδρομοι μεταφοράς μεταλλεύματος μπορεί να επιφέρουν περιβαλλοντική υποβάθμιση. Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας παράγουν στερεά απόβλητα (από την καύση και καθαρισμό του μεταλλεύματος), υγρά απόβλητα (από τη καύση και πλύση του μεταλλεύματος) και αέρια και διάφορα σωματίδια (πχ στάχτη από καύση κλπ). Η σκόνη που διαφεύγει είναι πρόβλημα σε περιοχές με ισχυρούς ανέμους. Η άρδευση και η φύτευση σε περιοχές στερεών αποθέσεων είναι μια μέθοδος αντιμετώπισης της σκόνης. Τα υγρά απόβλητα μπορούν να επεξεργαστούν σε έναν τεχνητά δημιουργημένο χώρο διαχείρισης αποβλήτων, χρησιμοποιώντας αδρανοποιημένα βιομηχανικά ορυκτά (Sand,, Mumpton, 1978). Η παρουσία ασβεστόλιθων εξουδετερώνει το pH των όξινων και βασικών νερών ρυθμίζοντάς το κοντά στην ουδέτερη περιοχή. Μερικά βιομηχανικά μεταλλεύματα και βράχοι παρουσιάζουν υψηλή δυνατότητα λήψης των ιχνοστοιχείων από τα υγρά απόβλητα (Vernet, 1991).

(3) Ανίχνευση παρουσίας ή απουσίας διασποράς του μεταλλεύματος

Οι ΨΤΔΑ μπορούν να εντοπίσουν και να μετρήσουν την επιφάνεια της φυσικής ή τεχνητής διασποράς του μεταλλεύματος και την ανάμιξή του με άλλα υλικά (στείρα υλικά, χώμα στάχτες κλπ).

(4) εκτίμηση της τοπολογίας των αποθέσεων των στείρων υλικών

Τα στείρα υλικά εναποτίθενται είτε σε εγκαταλειμμένα μεταλλεία είτε σε περιοχές εξωτερικών αποθέσεων που βρίσκονται κοντά στην εκμετάλλευση.

Η θέση και η απόσταση μεταξύ της περιοχής των ορυχείων και της περιοχής των εξωτερικών αποθέσεων των στείρων υλικών είναι κρίσιμες ειδικά για τις περιοχές όπου επικρατούν ισχυροί άνεμοι (Guthrie 1993). Αυτό έχει επιπτώσεις τόσο στη διασπορά αποθέσεων στον αέρα όσο και στη διαβρωτικότητα (βαθμός ευκολίας διάβρωσης ενός εδάφους σε σύγκριση με ένα άλλο κάτω από τις ίδιες συνθήκες) των αποθέσεων. Η απόσταση της εξωτερικών των περιοχών των εξωτερικών αποθέσεων από την περιοχή των ορυχείων είναι σημαντικός παράγοντας επιλογής των περιοχών αυτών μιας και οι μεγάλες αποστάσεις μπορούν να αποδειχθούν μια ακριβή λύση και κατά συνέπεια, οικονομικά ασύμφορη για την μεταφορά αυτών. Η επιλογή και η ευκολία της δημιουργίας αναβαθμίδων στις περιοχές εξωτερικών αποθέσεων για την αποφυγή σχηματισμού απότομων κλίσεων είναι ένα άλλος παράγοντας εντοπισμού και εκτίμησης των περιοχών αυτών.

(5) εκτίμηση της τοπογραφίας και του ανάγλυφου

Οι ΨΤΔΑ μέσω των στεροσκοπικών τους δυνατοτήτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην εκτίμηση της τοπογραφίας και του ανάγλυφου και να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τις κλίσεις των εδαφών (απότομες, επίπεδες επιφάνειες κλπ), (Jones και λοιποί 1988).

Η διαμόρφωση του εδάφους, η λιθολογία και η δομή του υποκείμενου υποστρώματος είναι τρεις κρίσιμες παράμετροι για να εκτιμήσουν τον κίνδυνο της διάβρωσης και των πιθανών κατολισθήσεων και καθίζησης εδάφους. Ο βαθμός των κλίσεων έχει επιπτώσεις στο βαθμό διάβρωσης. Όσο πιο απότομες είναι οι κλίσεις τόσο εντονότερη είναι η διαδικασία της διάβρωσης. Αυτό εξαρτάται από τη έκταση και τη κλίση των εδαφών, τη συχνότητα και την ένταση των βροχοπτώσεων, τη διαβρωτικότητα των υλικών επιφάνειας και των τύπων και της πυκνότητας της φυτικής κάλυψης (Ferrier και λοιποί 2002).

(6) Κλίσεις και έκθεση εδαφών

Οι ΨΤΔΑ μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην εκτίμηση των κλίσεων, της έκθεσης και το προσανατολισμού των εδαφών (πχ βόρειες εκθέσεις, νότιες εκθέσεις με μεγάλες κλίσεις κλπ.) μέσω των στερεοσκοπικών τους δυνατοτήτων.

Εδάφη ή πρανή με μεγάλη κλίση και έκθεση προς το βορά αναπτύσσουν πολλά προβλήματα καθίζησης και διάβρωσης σε περιοχές με δυνατούς ανέμους και πολλές βροχοπτώσεις. Επίσης η επιλογή σεναρίων αποκατάστασης που βασίζονται στη φύτευση τέτοιων περιοχών πρέπει να περιλαμβάνει τύπους φυτών ανθεκτικούς σε αυτές τις συνθήκες.

(7) Υδρογραφικό δίκτυο

Οι ΨΤΔΑ μέσω των στερεοσκοπικών τους δυνατοτήτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην αποτύπωση του υδρογραφικού δικτύου μιας περιοχής απεικονίζοντας το σχήμα και το έκταση, τη διάταξη (δενδροειδής, αναδενδράδος, ακτινωτή, παράλληλος, δακτυλιοειδής και ορθογώνια) και τη πυκνότητά του (το μέσο μήκος των υδατορρευμάτων τεχνητών ή φυσικών στην μονάδας επιφανείας εντός μιας λεκάνης), (Astaras και λοιποί 1990).

Η αποτύπωση του υδρογραφικού δικτύου στη μεταλλευτική δραστηριότητα είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας ως προς την επιλογή των θέσεων των εξωτερικών αποθέσεων (πιθανή παρεμπόδιση καναλιών στράγγισης) και την διάβρωση των εξωτερικών αποθέσεων λόγω της υδραυλικής κλίσης (Townshed and Hancock, 1981).

(8) Αποτύπωση φυσικής βλάστησης.

Οι ΨΤΔΑ μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην αποτύπωση και χαρτογράφηση της παρουσίας ή μη της φυσικής κάλυψης και της κατηγοριοποίησή της σε δάση και δασικές εκτάσεις, θαμνώνες φρύγανα, φυσική κάλυψη με κωνοφόρα, πλατύφυλλα, αειθαλή, φυλλοβόλα κλπ., (Kabata-Pendias 1992). Η ύπαρξη του συγκεκριμένου τύπου φυσικής βλάστησης πριν τη εκμετάλλευση καθοδηγεί την επιλογή του ίδιου τύπου βλάστησης κατά τη φάση της αποκατάστασης. Η επιτυχία της επαναφοράς της φυσικής κάλυψης του εδάφους στις προ εξόρυξη συνθήκες βλάστησης εξαρτάται από τα νέα χαρακτηριστικά του ανάγλυφου που θα προκύψουν μετά το πέρας της εκμετάλλευσης και που σχετίζονται με

τις νέες κλίσεις, εκθέσεις, εδαφική σύσταση και τη γενικότερη τοπογραφία.

(9) Αποτύπωση των χρήσεων γης.

Οι ΨΤΔΑ μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην αποτύπωση και χαρτογράφηση των χρήσεων γης όπως γεωργική γη, δασικές περιοχές (παραγωγικές και μη), βοσκότοπους, αστικές, βιομηχανικές περιοχές, τεχνητές επιφάνειες, χώρους αναψυχής, προστατευόμενες περιοχές (Ramsar), περιοχές ειδικού περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος (Natura), αρχαιολογικούς χώρους κλπ.

Η αποτύπωση, χαρτογράφηση και παρακολούθηση των χρήσεων γης αποτελεί μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους αποκατάστασης στις λατομικές και μεταλλευτικές υπαίθριες εκμεταλλεύσεις. Οι ΨΤΔΑ παρέχουν το κατάλληλο γεωγραφικό υπόβαθρο για τη παρακολούθηση των μεταβολών των χρήσεων γης πριν, κατά τη διάρκεια της εξόρυξης και μετά την αποκατάσταση εκμετάλλευσης και επιτρέπουν στους φορείς παρακολούθησης και εποπτείας να ελέγξουν αν η αποκατάσταση έχει γίνει με τα αρχικά σχέδια που υποβλήθηκαν στις αρμόδιες αρχές πριν την έναρξη του έργου (Howarth και Wickware., 1981).

Μετά την εξόρυξη και την αποκατάσταση η δυνατότητα χρήσης του εδάφους εξαρτάται συνήθως από την τοπογραφία του ανάγλυφου, το υδρογραφικό δίκτυο, τη βλάστηση και το αισθητικό αποτέλεσμα που έχει δημιουργηθεί.

(10) Αποτύπωση των επιφανειακών νερών.

Οι ΨΤΔΑ μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην αποτύπωση και χαρτογράφηση των επιφανειακών νερών τόσο μέσα στη εξόρυξη (τεχνητή λίμνη) όσο και στις γειτονικές περιοχές. Η αρνητική επίδραση (μόλυνση και ρύπανση από τα απόβλητα) των λατομικών και μεταλλευτικών δραστηριοτήτων στις γειτονικούς υδατικούς πόρους (επιφανειακά και υπόγεια ύδατα) μιας εκμετάλλευσης είναι πολύ σημαντικός παράγοντας για την έγκριση και έναρξη/ εφαρμογή της επένδυσης.

(11) Αποτύπωση των κοινωνικοοικονομικών δραστηριοτήτων.

Η γνώση των ανθρωπογενών υποδομών στη γειτονιά ενός μεταλλείου και οι αλλαγές τους στο χρόνο εξ αιτίας των μεταλλευτικών δραστηριοτήτων είναι ένα δείκτης

της αποτελεσματικότητας της αποκατάστασης. Οι υποδομές αυτές μπορεί να είναι οι αστικές και αγροτικές χρήσεις γης, το οδικό και σιδηροδρομικό δίκτυο, το δίκτυο επιφανειακών αγωγών μεταφοράς, η ύπαρξη αεροδρομίων ή λιμανιών (Mouat και λοιποί 1993). Η μεταβολή στην αστική ή αγροτική δόμηση, η μείωση της γεωργικής γης πχ από επέκταση των μεταλλευτικών δραστηριοτήτων, η αύξηση σε χιλιόμετρα του οδικού δικτύου είναι μερικά από τα χαρακτηριστικά που μπορούν να μετρηθούν με τη χρήση των ΨΔΤΑ.

8.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΙ ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.

Στη παρούσα διδακτορική διατριβή για την εξαγωγή σχετικών πληροφοριών που σχετίζονται με την αποκατάσταση των μεταλλείων της περιοχής μελέτης προτάθηκαν να χρησιμοποιηθούν μια σειρά από διαχρονικές και διαφορετικής χωρικής ικανότητας ΨΔΤΑ όπως LANDSAT TM, SPOT και KVR-1000, οι οποίες ήταν άμεσα διαθέσιμες από το Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών μειώνοντας έτσι σημαντικά το κόστος της μελέτης. Η τελική επιλογή έγινε με τη προϋπόθεση οι ημερομηνίες λήψεις αυτών να συμπίπτουν όσον το δυνατόν με τα παρακάτω στάδια εκμετάλλευσης και αποκατάστασης των μεταλλείων της ΛΑΡΚΟ στον Παγώντα και Ίσωμα στο Νομό Ευβοίας.

Πιο αναλυτικά και σύμφωνα με τη ΛΑΡΚΟ η εξέλιξη των μεταλλείων της στην Εύβοια ήταν η ακόλουθη (πίνακας 8.1):

Μεταλλείο στο Ίσωμα: Η μεταλλευτική δραστηριότητα ξεκίνησε το 1983 και συνεχίζεται μέχρι σήμερα. Το 1987 δεν σημειώθηκε καμιά δραστηριότητα στο μεταλλείο.

Μεταλλείο στο Σούρτζι: Η μεταλλευτική δραστηριότητα ξεκίνησε το 1969 και ολοκληρώθηκε το 1993. Κατά τη διάρκεια του 1981-1982 και 1985-1988 δεν σημειώθηκε καμιά δραστηριότητα στο μεταλλείο.

Μεταλλείο του Ανατολικού Παγώντα: Η μεταλλευτική δραστηριότητα ξεκίνησε το 1974 και συνεχίστηκε μέχρι το 1985

Μεταλλείο του Δυτικού Παγώντα: Η μεταλλευτική δραστηριότητα ξεκίνησε το 1970 και ολοκληρώθηκε το 1989. Κατά τη διάρκεια του 1981-1983 δεν σημειώθηκε καμιά δραστηριότητα στο μεταλλείο.

| Μεταλλευτική Δραστηριότητα | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | |
|----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|
| ΙΣΩΜΑ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ΣΟΥΡΤΖΙ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ΑΝΑΤΟΛΙΚΟΣ ΠΑΓΩΝΤΑΣ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ΔΥΤΙΚΟΣ ΠΑΓΩΝΤΑΣ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Πίνακας 8.1. Εξέλιξη των ορυχείων της ΛΑΡΚΟ στο Παγώντα, στο Σούρτζι και Ίσωμα Ευβοίας

Στη Εύβοια μεγάλες ποσότητες μεταλλεύματος και στείρων υλικών εξορύχτηκαν στις παρακάτω περιόδους:

1971-72 (Δυτικός Παγώντας και Σούρτζι),

1971-77 (Δυτικός Παγώντας),

1974-85 (Ανατολικός Παγώντας),

1990-91 (Σούρτζι και Ίσωμα).

Για κάθε μεταλλείο τουλάχιστον μια δορυφορική εικόνα θα πρέπει να είναι διαθέσιμη πριν την έναρξη εξόρυξης, τουλάχιστον δύο κατά τη διάρκεια της εκμετάλλευσης και τουλάχιστον μια μετά την αποκατάσταση. Έτσι για τα μεταλλεία της ΛΑΡΚΟ στην Εύβοια έπρεπε να είναι διαθέσιμη μια εικόνα το 1973, μια το 1981, μια το 1993 και μια μετά το 1996 ή εναλλακτικά μία εικόνα το 1982, μία το 1994 και μια μετά το 1996.

Τελικά επιλέχθηκαν τρεις πολυφασματικές δορυφορικές εικόνες LANDSAT με μηδενικό ποσοστό νεφοκάλυψης με ημερομηνίες λήψης 22 Μαΐου 1986 (εικόνα 8.1), 29 Ιουνίου 1991 (εικόνα 8.2), και 18 Απριλίου 1997 (εικόνα 8.3). Όλες οι εικόνες LANDSAT προέρχονταν από το ίδιο κωδικό κάλυψης (path 183/row 033) του παγκόσμιου κανάβου κάλυψης (World Reference System) του δορυφόρου LANDSAT. Η επιλογή της εποχής λήψης των εικόνων έγινε με γνώμονα να κρατηθεί όσο το δυνατό μικρότερη η επίδραση της γωνίας πρόσπτωσης των ακτινών του ήλιου και να ελαττωθούν τα φαινόμενα σκιερών επιφανειών από τις εναλλαγές του υψόμετρου του ανάγλυφου.

Η παγχρωματική εικόνα που χρησιμοποιήθηκε προέρχονταν από τα δεδομένα KVR-1000 (εικόνα 8.6), με ημερομηνία λήψης 17 Μαΐου 1992 του ρωσικού δορυφόρου COSMOS τα οποία παρείχαν να μεν ικανοποιητική χωρική ανάλυση (2 μέτρα ανά εικονοστοιχείο) όχι όμως και καλό ρυθμό και συστηματικό επισκεψιμότητας (μόνο μία εικόνα καλής ποιότητας διαθέσιμη σε μια 6-αετία).

Ένα στερεοζεύγος SPOT με ημερομηνίες λήψης 16 Ιανουαρίου (εικόνα 8.4), και 4 Φεβρουαρίου 1993 (εικόνα 8.5), αντίστοιχα χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή του ψηφιακού μοντέλου εδάφους.

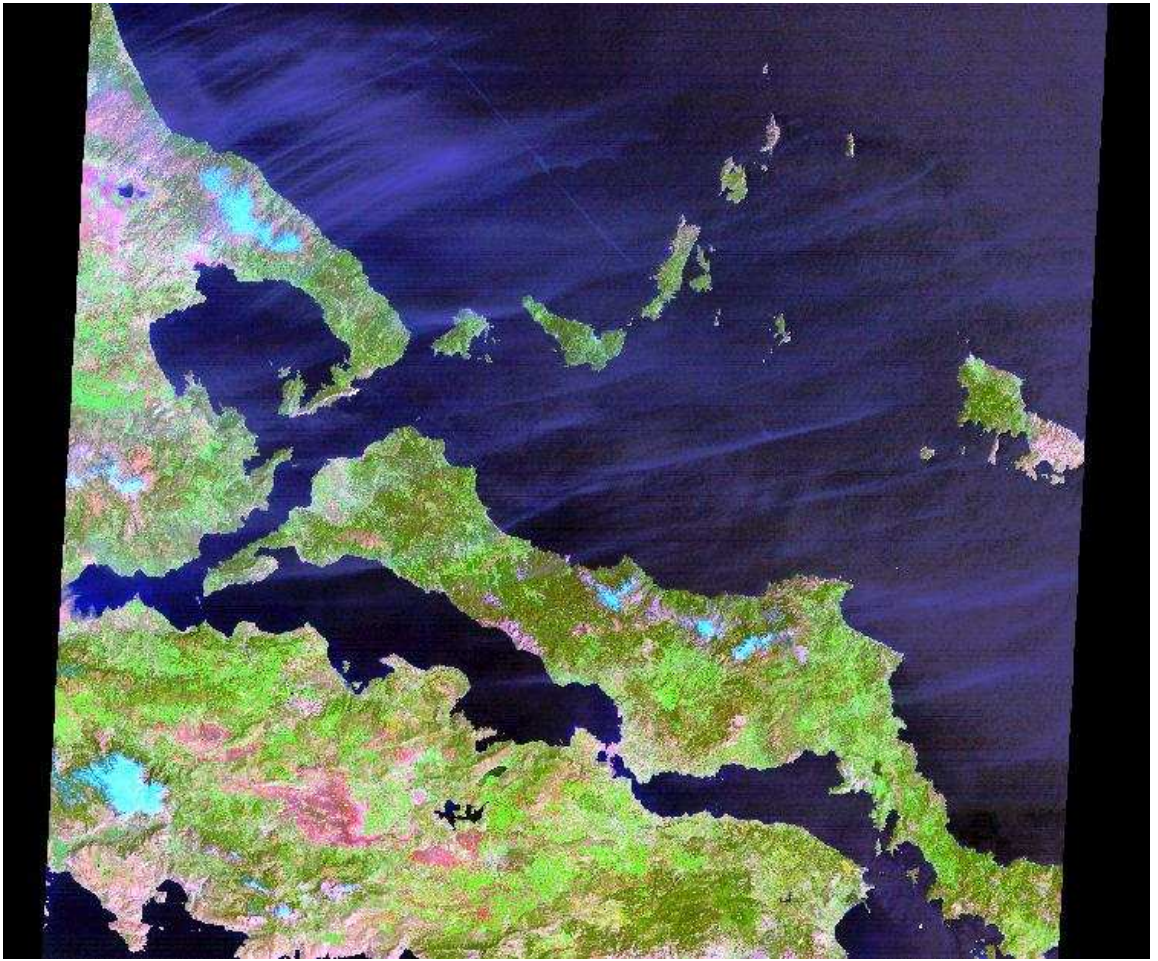
Επιπλέον χρησιμοποιήθηκαν και αναλογικά βοηθητικά δεδομένα όπως χάρτης χρήσεων γης της ΓΥΣ και γεωλογικός του ΙΓΜΕ κλίμακας 1/50.000 αντίστοιχα.



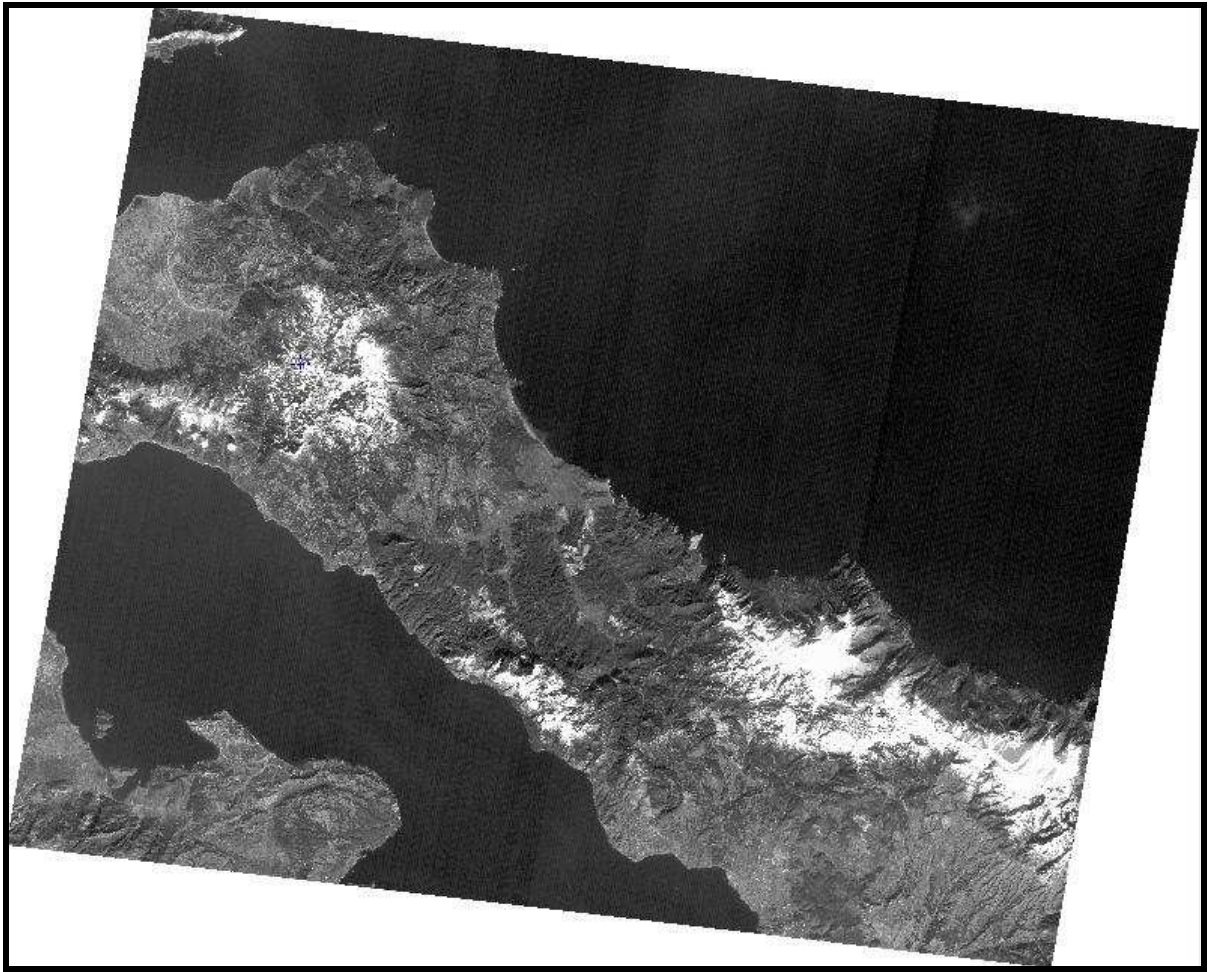
Εικόνα 8.1. Ψευδόχρωμη δορυφορική εικόνα Landsat TM της 22-5-1986. Κανάλια 7,4,1 (RGB)



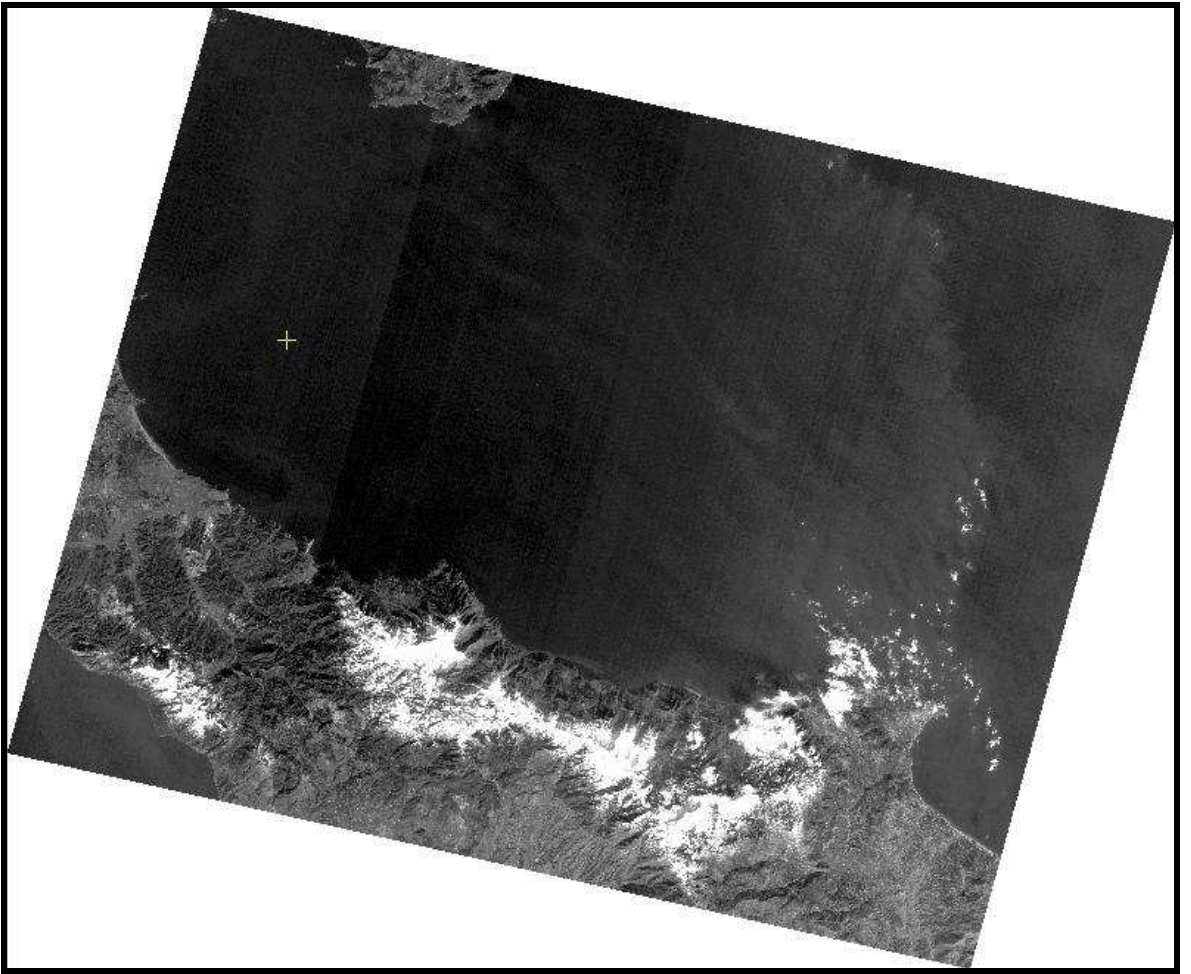
Εικόνα 8.2. Ψευδόχρωμη δορυφορική εικόνα Landsat TM της 29-6-1991. Κανάλια 7,4,1 (RGB)



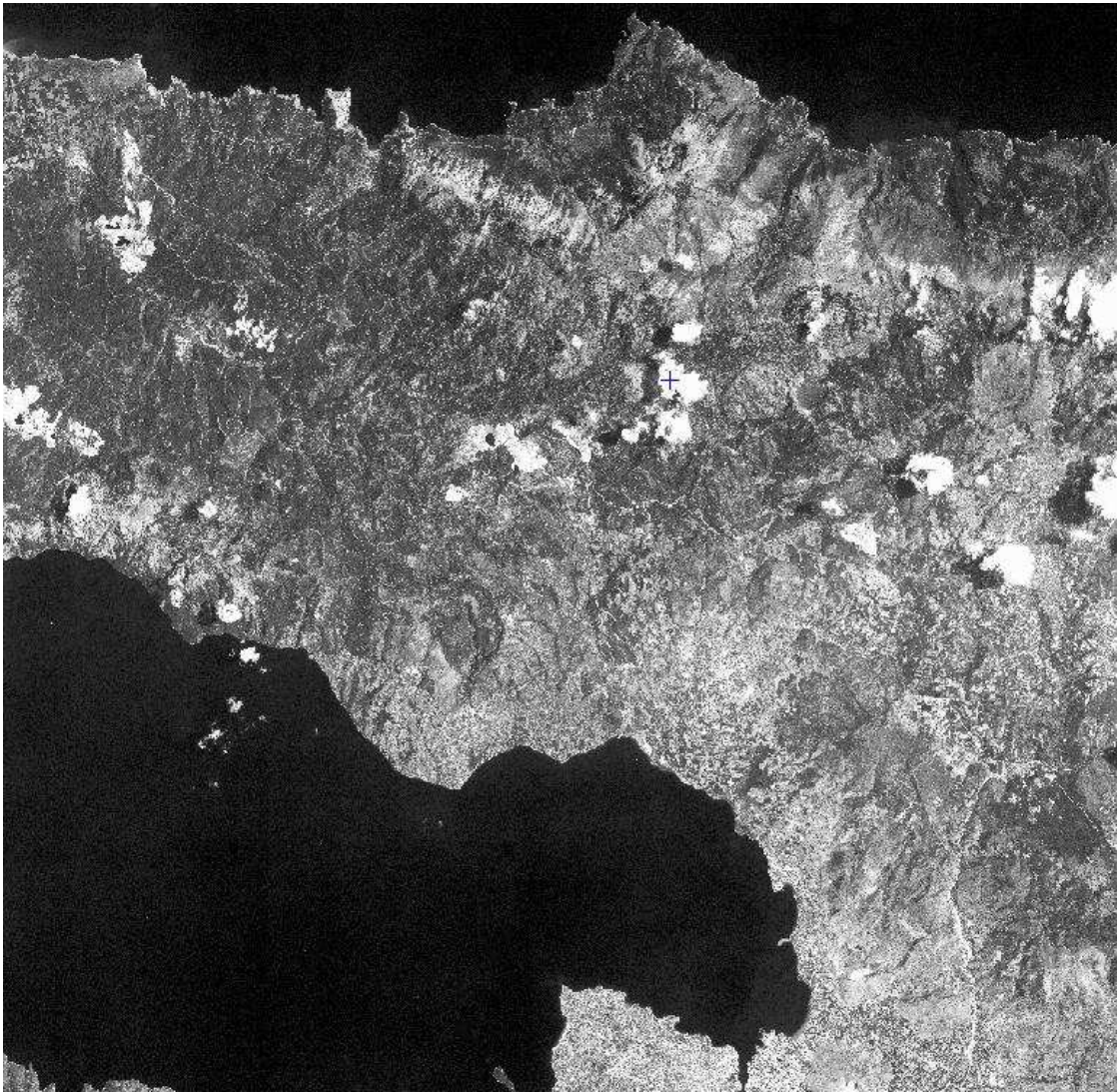
Εικόνα 8.3. Ψευδόχρωμη δορυφορική εικόνα Landsat TM της 18-4-1997. Κανάλια 7,4,1 (RGB)



Εικόνα 8.4. Παγχρωματική εικόνα SPOT/Τροχιά της 16-1-1993



Εικόνα. 8.5. Παγχρωματική εικόνα SPOT/ Τροχιά της 4-2-1993



Εικόνα 8.6. Παγχρωματική εικόνα KVR-1000 της 17-5-1992

8.3 ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Το πλεονέκτημα των ΨΔΤΑ είναι ότι τα δεδομένα αποκτούνται σε ψηφιακή μορφή και μπορούν σχεδόν αμέσως να επεξεργαστούν σε διάφορα διαθέσιμα συστήματα επεξεργασίας εικόνας και συστήματα γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών (GIS). Τα παραγόμενα προϊόντα περιλαμβάνουν χάρτες φυσικής κάλυψης και χρήσεις, θεματικούς χάρτες και χάρτες υποδομών των υπαίθριων εκμεταλλεύσεων σε δύο και τρεις διαστάσεις αναπαραστήνοντας την εκμετάλλευση διαχρονικά και από διαφορετική γωνία οπτικοποίησης.

Γίνεται η συλλογή των δεδομένων και προεπεξεργασία που περιλαμβάνει τη ατμοσφαιρική/ραδιομετρική και γεωμετρική διόρθωση σε ένα ενιαίο υπόβαθρο που δεν ήταν άλλο από το προβολικό σύστημα του Ελληνικού Γεωδαιτικού Συστήματος Αναφοράς ΕΓΣΑ'87.

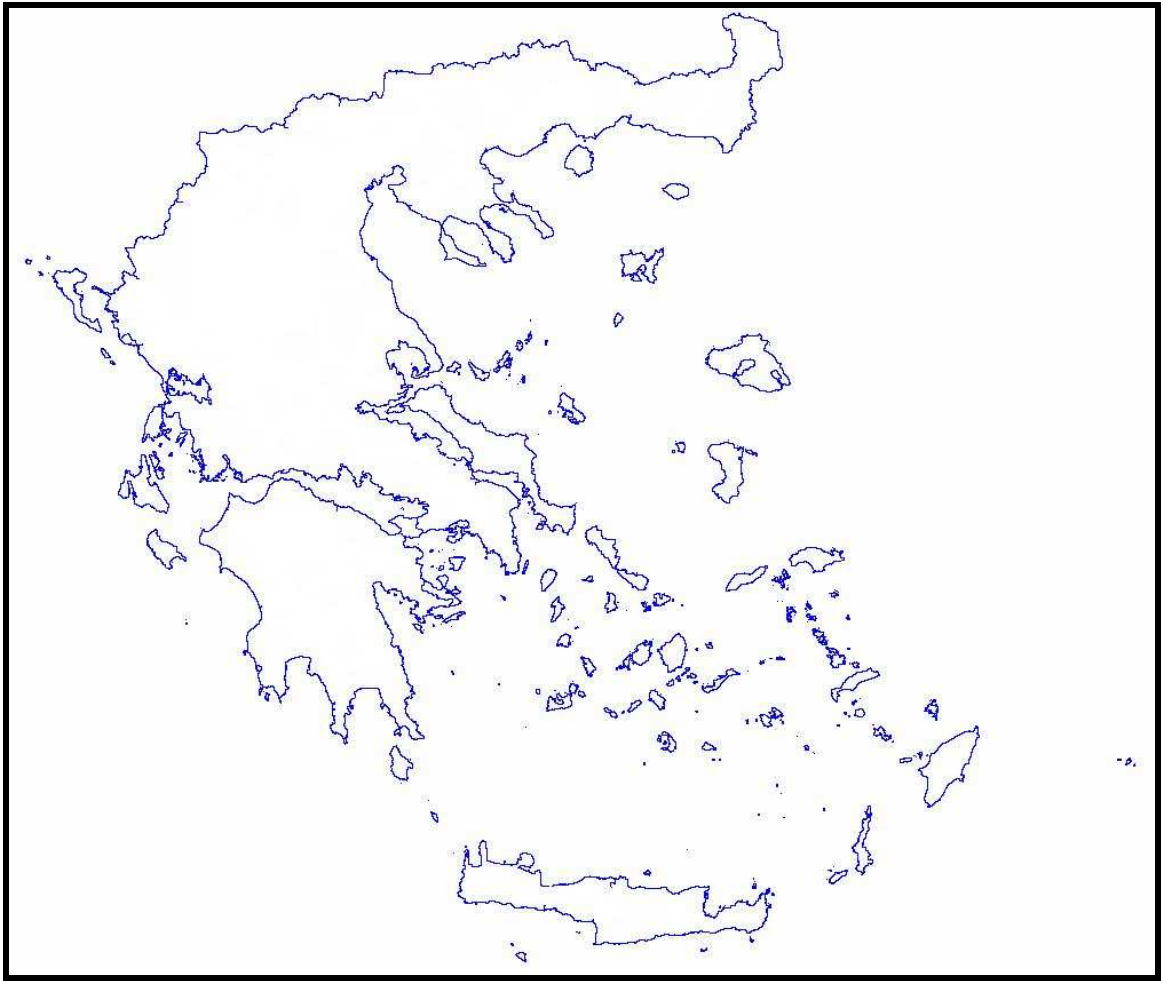
Το βασικό λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση των δορυφορικών δεδομένων ήταν το GEOMATICA, έκδοσης 10 (www.geomatica.com). Το GEOMATICA είναι ένα ευέλικτο λογισμικό αποτελούμενο από ένα πακέτο επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων και ένα πακέτο Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (Raster GIS) για τη διαχείριση των δορυφορικών εικόνων.

Η πλατφόρμα στην οποία έτρεξε το GEOMATICA ήταν ένας υπολογιστής Pentium IV στα 2800 MHz με 3200GB ram, RGB οθόνη που υποστήριζε 16.8 εκατομμύρια χρώματα, και 400 GB σκληρό δίσκο. Για την ανάκτηση και γεωμετρική διόρθωση των εικόνων χρησιμοποιήθηκε επιπλέον περιφερειακός εξοπλισμός που περιελάμβανε:

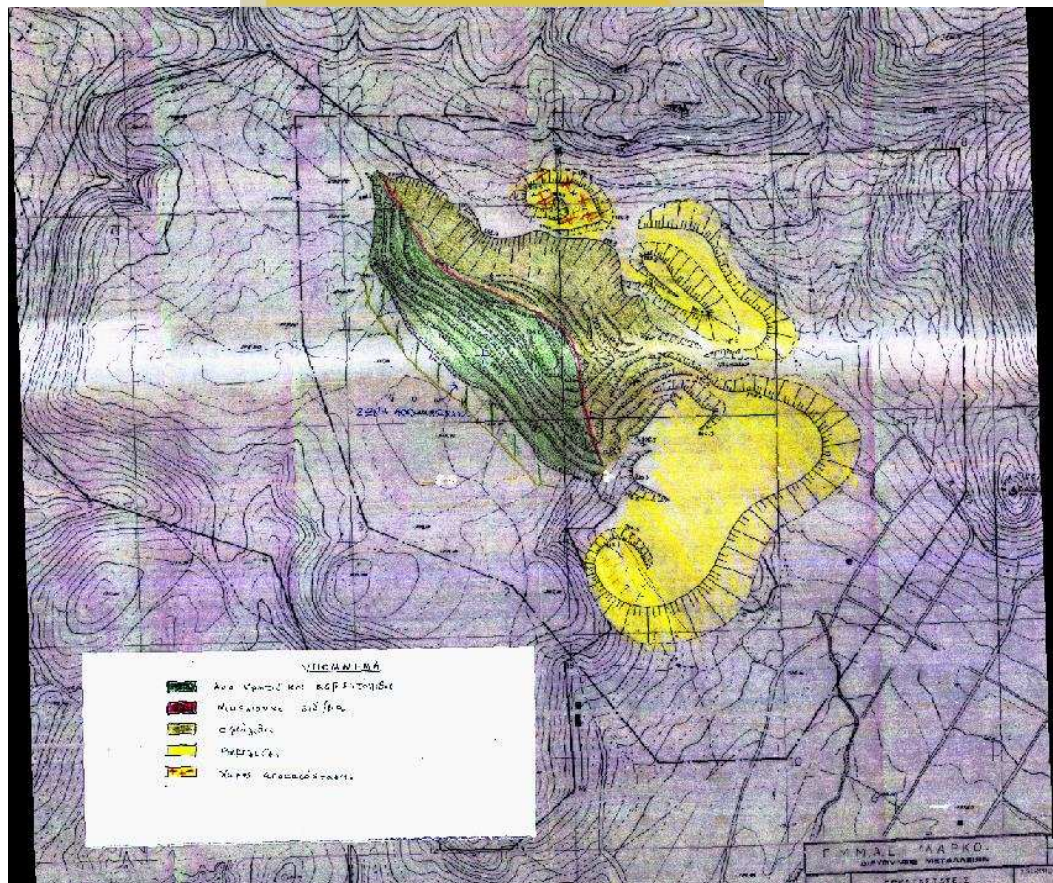
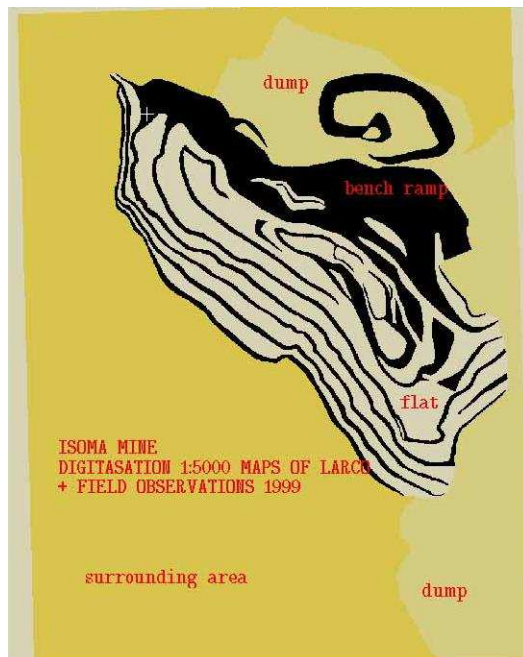
- Ψηφιοποιητής Calcomp 95985
- Σαρωτής HP τύπου τυμπάνου 1200 dpi

Τα επιπλέον υπόβαθρα ή δεδομένα αναφοράς που χρησιμοποιήθηκαν ήταν:

- Ψηφιακή ακτογραμμή της Ελλάδας και των γειτονικών χωρών (εικόνα 8.7).
- Χάρτης γενικής χρήσης της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ) (εικόνα 8.8).
- Σχεδιαγράμματα των εργασιών εκμετάλλευσης και αποκατάστασης των μεταλλείων από τη εταιρεία ΛΑΡΚΟ (εικόνα 8.9).



Εικόνα 8.7. Αρχείο ακτογραμμής Ελλάδας σε ΕΓΣΑ'87.



Εικόνα 8.9. Σχεδιαγράμματα εργασιών εκμετάλλευσης και αποκατάστασης των μεταλλείων της ΛΑΡΚΟ στο Ίσωμα.

8.3.1 Ατμοσφαιρική/Ραδιομετρική διόρθωση (βαθμονόμηση)

Οι ψηφιακές τιμές (Digital Numbers -DN) που κατεγράφησαν από τα κανάλια του αισθητήρα του θεματικού Χαρτογράφου (Thematic Mapper - TM) του δορυφόρου Landsat μετασηματίστηκαν σε τιμές ακτινοβολίας (reflectance) και μετέπειτα σε τιμές ανάκλασης (radiance). Αυτό επιτεύχθηκε χρησιμοποιώντας τους συντελεστές βαθμονόμησης των πινάκων του Robinove (Robinove 1981, EOSAT - LANDSAT technical notes 1986). Κατά την μέθοδο αυτή, το πρόγραμμα RADIANCE του GEOMATICA χρησιμοποιεί συγκεκριμένους συντελεστές κέρδους και αντιστάθμισης (gain+offset) από τους πίνακες του Robinove και δεν απαιτεί άλλα επικουρικά στοιχεία ή πληροφορίες. Έτσι οι τιμές φωτεινότητας για κάθε κανάλι του TM μετασηματίστηκαν πρώτα σε τιμές ακτινοβολίας ($\text{mW m}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$) χρησιμοποιώντας την εξίσωση 1 και μετέπειτα σε τιμές ανάκλασης χρησιμοποιώντας την εξίσωση 2:

$$\text{RAD}_i(x,y)=[\text{DN}_i(x,y)-\text{OFFSET}_i]/\text{GAIN}_i \quad \text{εξίσωση (1)}$$

$$\text{REF}_i(x,y)=\text{RAD}_i(x,y)/\text{S.E.I} \quad \text{εξίσωση (2)}$$

Όπου $\text{RAD}_i(x,y)$ = η ακτινοβολία στο pixel (x,y) του καναλιού i

$\text{DN}_i(x,y)$ = output digital number for band i at pixel (x,y).

GAIN_i = συντελεστής κέρδους για το κανάλι i

OFFSET_i = συντελεστής αντιστάθμισης για το κανάλι i

$\text{REF}_i(x,y)$ = η τιμή ανάκλασης στο pixel (x,y) του καναλιού i

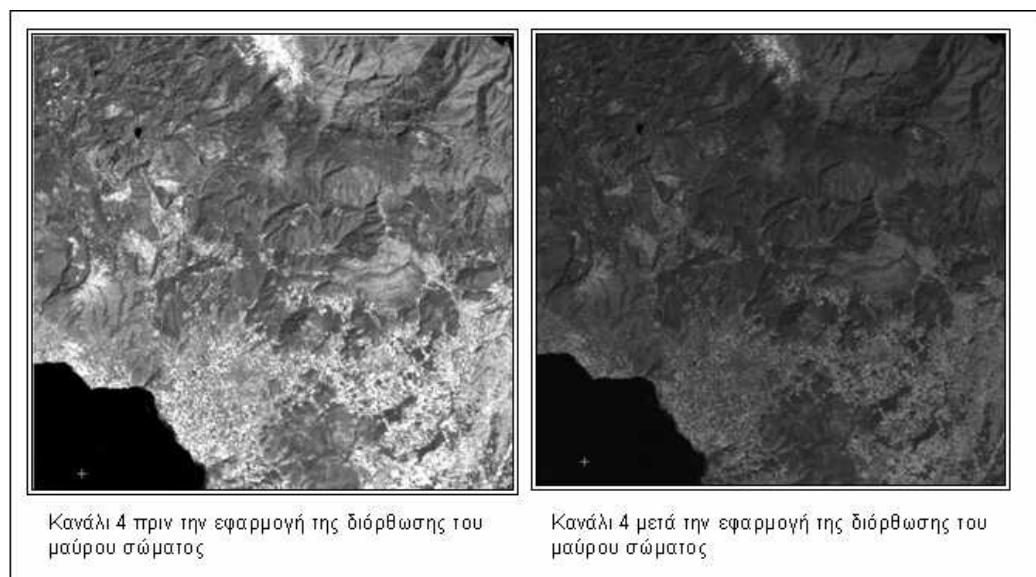
S.E.I = ηλιακή εξωατμοσφαιρική ακτινοβολία (solar exoatmospheric irradiance) ($\text{mW m}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$).

Τα αποτελέσματα των μετασηματισμών είναι εικόνες που οι τιμές των pixel τους είναι κυμαίνονται μεταξύ 0 και 1. Οι τιμές ανορθώθηκαν με μία Βελτίωση Αντίθεσης σε μία κλίμακα από 0 έως 255.

Η ραδιομετρική διόρθωση έγινε και για τα λάθη που οφείλονταν στον αισθητήρα, χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα DESTRIPE

Η ατμοσφαιρική διόρθωση έγινε με τη χρήση της μεθόδου της Διαφοράς Μαύρου

Σώματος (Dark Object Subtraction - DOS) η οποία ταίριαζε περισσότερο στα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, η εικόνα θα πρέπει να εμφανίζει εικονοστοιχεία με μηδενικές τιμές αλλά λόγω της επίδρασης της ατμόσφαιρας (σκέδαση) τα εικονοστοιχεία αυτά, αποκτούν μικρές τιμές που εξαρτώνται από τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες. Όσο πιο μη καθαρή είναι η ατμόσφαιρα τόσο περισσότερα εικονοστοιχεία υπάρχουν με μηδενικές τιμές. Μια απλή τεχνική είναι η αφαίρεση των επιπλέον τιμών ελέγχοντας το ιστόγραμμα σε κάθε κανάλι (Chavez, 1996). Μια γρήγορη προσέγγιση είναι να εντοπιστούν οι επιφάνειες του νερού στο κανάλι του κοντινού υπέρυθρου (TM 4) και να ελεγχθούν οι τιμές των εικονοστοιχείων τους. Θεωρητικά, οι τιμές αυτές θα πρέπει να είναι μηδενικές. Στα δορυφορικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές του επιφανειακού νερού για το κανάλι TM4 ήταν μεταξύ 8 και 15 και άρα η μεγαλύτερη από αυτές τιμή θα έπρεπε να αφαιρεθεί από όλες τις τιμές σε όλα τα κανάλια (εικόνα 8.10).



Εικόνα 8.10. Ατμοσφαιρική διόρθωση με τη εφαρμογή του μαύρου σώματος. Η διορθωμένη εικόνα στα δεξιά είναι οπτικά λιγότερο φωτεινή λόγω της αφαίρεσης των επιπλέον τιμών από τη σκέδαση της ατμόσφαιρας.

8.3.2 Γεωμετρική διόρθωση με χρήση σημείων επίγειου έλεγχου

Κατά τη σάρωση της εικόνας προκύπτουν ορισμένες παραμορφώσεις της οι οποίες καταλήγουν σε λανθασμένη αποτύπωση της γήινης επιφανείας. Αυτές διακρίνονται σε συστηματικές και τυχαίες.

8.3.2.1 Συστηματικές παραμορφώσεις

Αφορούν σε παραμορφώσεις που οφείλονται στα χαρακτηριστικά του τηλεσκοπίου του δορυφόρου, την στιγμιαία θέση του, το ύψος, την ταχύτητα, πιθανές παρεκκλίσεις της τροχιάς κλπ. διορθώνονται με την εφαρμογή συγκεκριμένων μαθηματικών μοντέλων από το ειδικό λογισμικό στο σταθμό λήψεως. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η παραμόρφωση που προκαλείται από την προς ανατολάς κίνηση της γης κατά την διάρκεια των σαρώσεων. Εξαιτίας αυτού κάθε σάρωση από Βορρά προς Νότο (κατερχόμενη) καταγράφει περιοχή της οποίας η αρχή είναι ελαφρά δυτικότερα από την προηγούμενη σάρωση.

8.3.2.2 Τυχαίες παραμορφώσεις (σφάλματα)

Αφορούν σε λάθη παραμένοντα μετά την διόρθωση των συστηματικών σφαλμάτων. Σε αντίθεση με τα προηγούμενα, τα οποία διορθώνονται με πληροφορίες που δίνει ο ίδιος ο αισθητήρας, εδώ η διόρθωση γίνεται με την χρήση επιγείων σημείων έλεγχου (Ground Control Points- GCPs) τα οποία προμηθεύει ο χρήστης. Η νέα εικόνα που σχηματίζεται ονομάζεται “διορθωμένη εικόνα”.

Η διαδικασία που ακολουθείται από το λογισμικό κατά την γεωμετρική διόρθωση χωρίζεται σε δύο στάδια:

Μετασχηματισμός των συντεταγμένων των pixels.

Στο στάδιο αυτό θα έπρεπε να δοθούν στο GEOMATICA οι συντεταγμένες των GCPs που έχουν εξαχθεί από τα υπόβαθρα αναφοράς, έτσι ώστε αυτό να δημιουργήσει ένα καινούριο κανάβο από “κενά” προς το παρόν (όσον αφορά την τιμή λαμπρότητας) pixels, με καινούργιες ωστόσο συντεταγμένες (διορθωμένη εικόνα). Κατά την μετατροπή των συντεταγμένων και την δημιουργία του καινούριου κανάβου, προκαλείται το σφάλμα διόρθωσης ή RMS error (μέσο τετραγωνικό σφάλμα) το οποίο οφείλεται στην προσπάθεια

επανατοποθέτησης των GCPs στην διορθωμένη εικόνα (χάρτη). Το RMS error υπολογίζεται σε pixel και εάν το συνολικό RMS υπερβαίνει το ένα pixel τότε απομακρύνονται τα GCPs που προκαλούν το μεγαλύτερο σφάλμα και υπολογίζονται ξανά οι συντεταγμένες της διορθωμένης εικόνας. Ανάλογα με τον αριθμό των GCPs που έχουν βρεθεί χρησιμοποιούνται τα πολώνυμα πρώτου (ελάχιστο 1 GCP) έως και πέμπτου (ελάχιστο 21 GCPs) βαθμού, με αυξανόμενη σε κάθε βαθμό ακρίβεια στον προσδιορισμό των νέων συντεταγμένων του διορθωμένου πίνακα (εικόνας). Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να τονιστεί η σημασία που έχει τα GCPs να διασκορπίζονται όσο το δυνατόν ομοιόμορφα στην εικόνα, διαφορετικά η χρήση πολυωνύμου τέταρτου ή πέμπτου βαθμού μπορεί να προκαλέσει μεγαλύτερο σφάλμα απ' ότι π.χ. το πολώνυμο πρώτου βαθμού στα σημεία της εικόνας που δεν υπάρχουν GCP.

Επαναδόμηση εικόνας (resampling)

Κατά την επαναδόμηση προσδιορίζονται από το πρόγραμμα οι νέες τιμές λαμπρότητας των pixel του διορθωμένου πίνακα (εικόνα) με βάση κάποιους πολυωνυμικούς μετασχηματισμούς που επιλέγονται από τον χρήστη. Στην εργασία αυτή επιλέχθηκε ο μετασχηματισμός Nearest Neighbor (εγγύς γειτονία). Κατά τον μετασχηματισμό αυτό η τιμή λαμπρότητας που επιλέγεται από το πρόγραμμα είναι η τιμή λαμπρότητας του κοντινότερου ως προς το εξεταζόμενο pixel. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται όταν μικρές διαφορές ραδιομετρίας πρέπει να διατηρηθούν στην διορθωμένη εικόνα. Ωστόσο, μπορεί η εικόνα να μετατοπιστεί ή και παραμορφωθεί χωρικά κατά μισό pixel και μπορεί τα pixel της εικόνας να έχουν οδοντωτή μορφή ή να σχηματίζουν μπλοκ, ειδικά εάν η στροφή της εικόνας και (ή) η αλλαγή κλίμακας είναι μεγάλη.

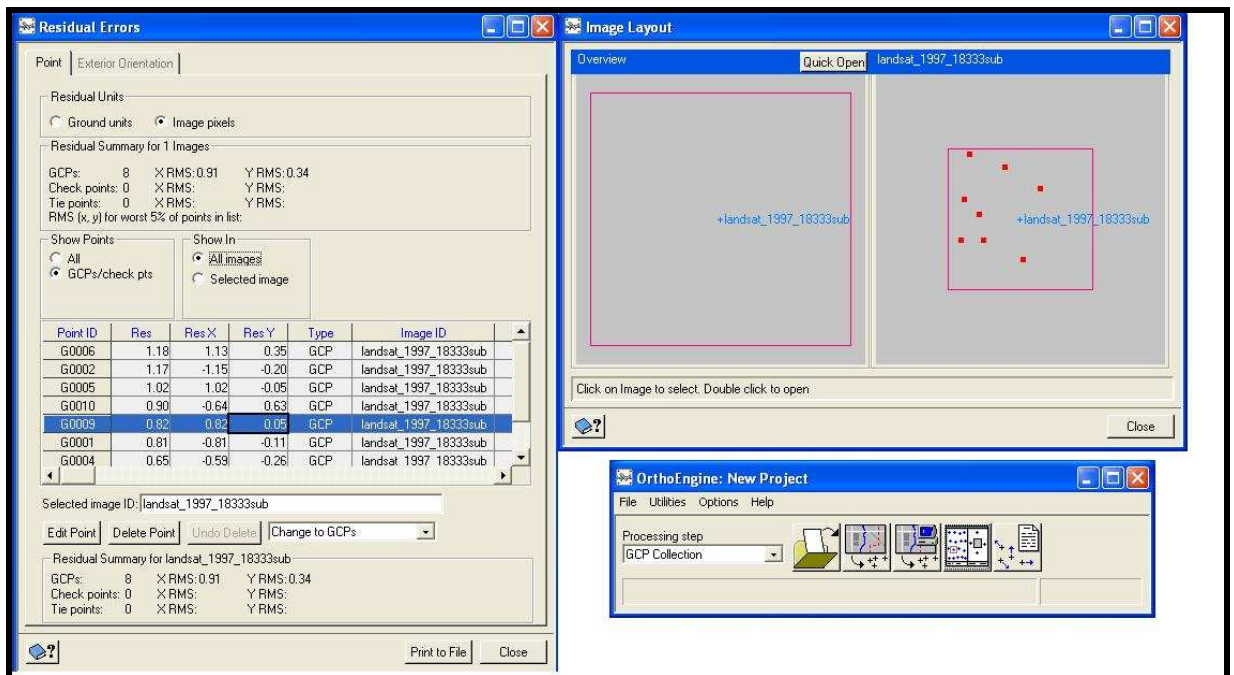
Η γεωμετρική διόρθωση περιελάμβανε την γεω-εγγραφή της εικόνας Landsat TM με ημερομηνία λήψης 1986 στο αρχείο ανυσματικής μορφής – vector, (γεωμετρικά διορθωμένο) με τη μέθοδο της κοντινότερης γειτνίασης (Nearest Neighbor) η οποία δεν αλλάζει τις τιμές των εικονοστοιχείων για την μετέπειτα εφαρμογή της εποπτευόμενης ή μη εποπτευόμενης ταξινόμησης. Το αρχείο αυτό ήταν η ακτογραμμή της Ελλάδος σε προβολή ΕΓΣΑ '87. Το αρχείο χρησιμοποιήθηκε ως αρχείο αναφοράς για την προβολή των δορυφορικών δεδομένων Landsat TM. Η διανυσματική μορφή της ακτογραμμής επιτρέπει

στα γεωμετρικά στοιχεία της γραμμής να περιγράφονται από τις συντεταγμένες των ακρότατων σημείων τους. Κατ' αυτή την έννοια τα γεωμετρικά στοιχεία της ακτογραμμής αποκτούν μια ταυτότητα που αφ' ενός μεν τα διακρίνει, αφ' ετέρου δε εξοικονομεί χώρο στην καταχώρησή τους.

Το πρόγραμμα OrthoEngine του GEOMATICA χρησιμοποιήθηκε κατά την εφαρμογή της γεωμετρικής διόρθωσης της 1^{ης} Landsat TM ως προς την ακτογραμμή με τη βοήθεια επίγειων σημείων ελέγχου (GCPs) και μετέπειτα της διόρθωσης των υπόλοιπων εικόνων Landsat του 1991 και 1997 ως προς την πρώτη μέσω προγραμμάτων διόρθωσης εικόνα σε εικόνα. Η διόρθωση έγινε με την χρήση 1ου βαθμού πολυνομιακής εξίσωσης για την αποφυγή περιττών παραμορφώσεων της εικόνας στις ημιορεινές – ορεινές περιοχές, καθώς δεν υπήρχε τρόπος να ελεγχθεί η χωρική ακρίβεια σε τέτοια σημεία. Με αυτή τη μέθοδο το σύστημα συντεταγμένων του δορυφόρου Landsat μέσω του χαρτογραφικού μετασχηματισμού μεταφέρθηκε στη χαρτογραφική προβολή UTM (εγκάρσια Μερκατορική προβολή με σύστημα αναφοράς το ΕΓΣΑ'87).

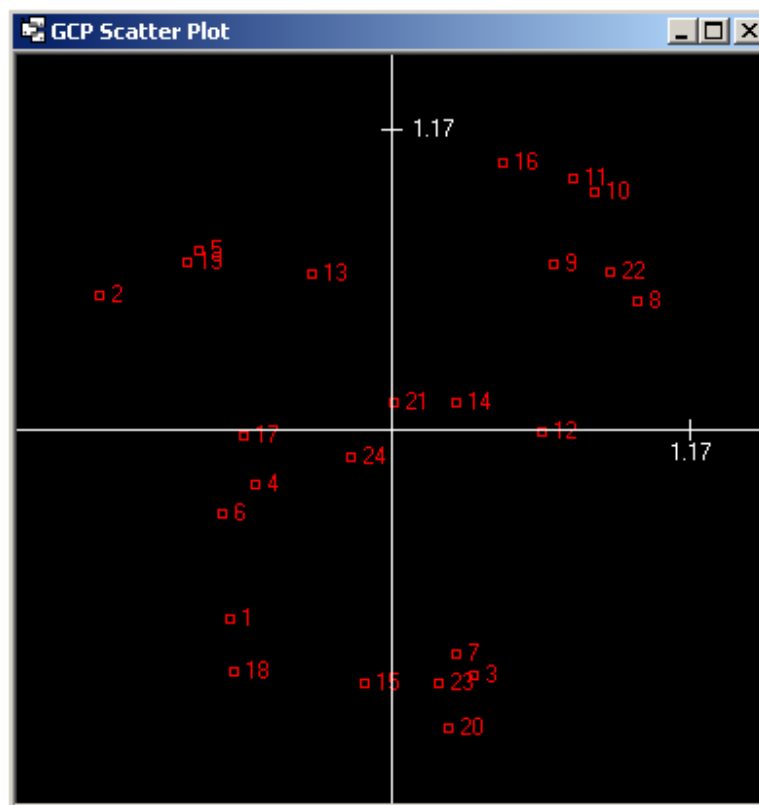
Τα σημεία ελέγχου διαλέχθηκαν ομοιόμορφα και κατά μήκος της ακτογραμμής. Για όλες τις εικόνες δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή ώστε η μέγιστη απόκλιση της εικόνας (RMS – Root Mean Square- Error) στους άξονες των X και Y να μην υπερβαίνει το 1 εικονοστοιχείο που αντιστοιχούσε σε μήκος 30 m. Τα σημεία επιλέχθηκαν ομοιόμορφα και καλά διασπαρμένα στις εικόνες με μέσο τετραγωνικό σφάλμα 0.62 στο X (άξονας Ανατολή – Δύση) και 1,12 στο Y (άξονας Βορράς – Νότος).

Στις υπόλοιπες εικόνες Landsat το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ήταν για την εικόνα του 1991 RMS X=0,62 και Y=0,46 και για την εικόνα του 1997 RMS X=0,91 RMS Y=0,34 Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζεται η «στροφή» της Landsat του 1997 (Image Fit Report) μετά την διόρθωση. Το συγκεκριμένο παράθυρο (εικόνα 8.11) βοηθά την εκτίμηση της καλής ή μη προσαρμογής του μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε. Η εικόνα αυτή απεικονίζει μια γραφική απεικόνιση του περιγράμματος της γεωαναφερόμενης εικόνας και τα σημεία επιγείου ελέγχου που χρησιμοποιήθηκαν για να υπολογιστούν οι συντελεστές του πολυωνύμου που πραγματοποιεί τον μετασχηματισμό (GCPs). Αυτή η προεπισκόπηση του πως η μη διορθωμένη εικόνα χαρτογραφείται στο συγκεκριμένο σύστημα προβολής (EGSA87) επιτρέπει μια οπτική απεικόνιση της γεω-εγγραφής πριν αυτή ολοκληρωθεί.



Εικόνα 8.11. Το παράθυρο επιλογής, παρουσίασης, στατιστικού ελέγχου και αποθήκευσης των σημείων επιγείου ελέγχου μετά την επιλογή τους. Στη συγκεκριμένη περίπτωση της όπως φαίνεται και από την παραπάνω εικόνα το RMSx είναι ίσο με 0.63 pixel και το RMSy ισούται με 0.76 του pixel οπότε το συνολικό RMS κυμαίνεται σε αποδεκτά επίπεδα. Η κατάταξη των σημείων έγινε με φθίνον σφάλμα. Στην ένθετη εικόνα δεξιά φαίνεται και το διάγραμμα «στροφής» με πολυώνυμο 1^{ου} βαθμού.

Στην εικόνα 8.12 παρουσιάζεται η διασπορά των επίγειων σημείων ελέγχου (GCPs Scatter plot) στο οριζόντιο επίπεδο. Ουσιαστικά στο παράθυρο αυτό παρουσιάζονται γραφικά τα σφάλματα στο X και στο Y για κάθε σημείο επιγείου ελέγχου πάνω σε ένα σταυρόνημα. Τα σφάλματα της προσαρμογής ενός μοντέλου σ' ένα σετ δεδομένων αφορούν τις διαφορές μεταξύ των παρατηρούμενων τιμών (GCPs) και των προβλεπόμενων με βάση το μοντέλο μετασχηματισμού. Υποθέτοντας ότι το μοντέλο προσαρμόζεται ικανοποιητικά στα δεδομένα τότε τα σφάλματα προσεγγίζουν τα τυχαία σφάλματα που πιστοποιούν στατιστικώς σημαντική σχέση μεταξύ της προβλεπόμενης και της παρατηρηθείσας τιμής. Επομένως στο συγκεκριμένο διάγραμμα όσο πιο τυχαιοποιημένη είναι η κατανομή των σημείων επιγείου ελέγχου γύρω από το σταυρόνημα τόσο καλύτερη προσαρμογή του γεωμετρικού μοντέλου έχει επιτευχθεί στα υπό χρήση δορυφορικά δεδομένα.



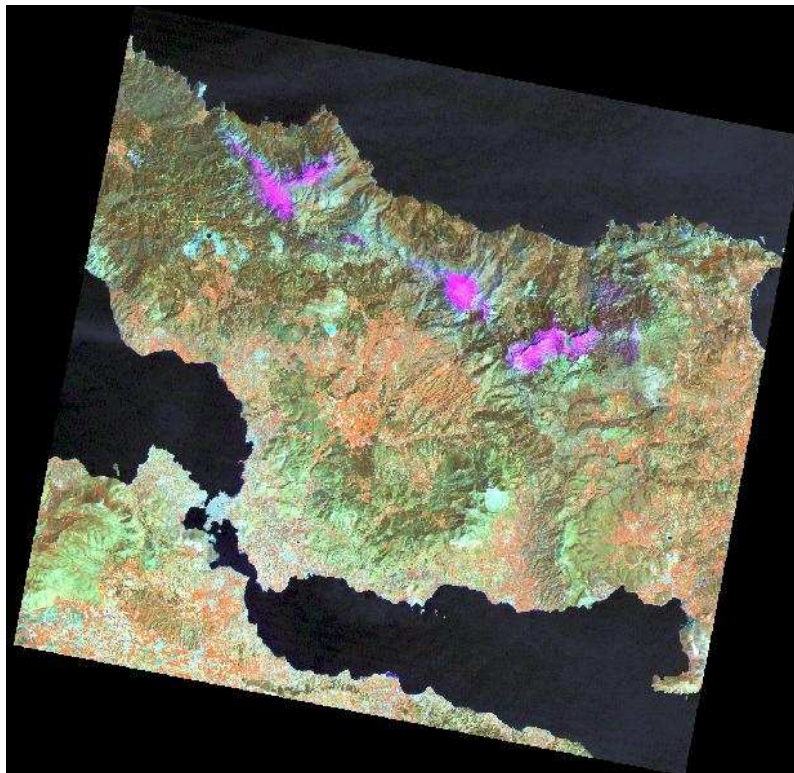
Εικόνα 8.12. Διάγραμμα διασποράς των σημείων επιγείου ελέγχου GCPs της γεωμετρικής διόρθωσης της εικόνας του Landsat 5. Η τιμή 1.17 αναφέρεται στο μέγιστο υπόλοιπο (residual) που παρουσιάστηκε σε κάποιο συγκεκριμένο σημείο κατά την διόρθωση. Πολύωνμο 1^{ου} Βαθμού.



Εικόνα 8.13. Διορθωμένη εικόνα Landsat του 1986. Ο ψευδόχρωμος χρωματισμός είναι αντίστοιχος του CORINE Land-cover, κανάλια 4,5,3 (RGB)

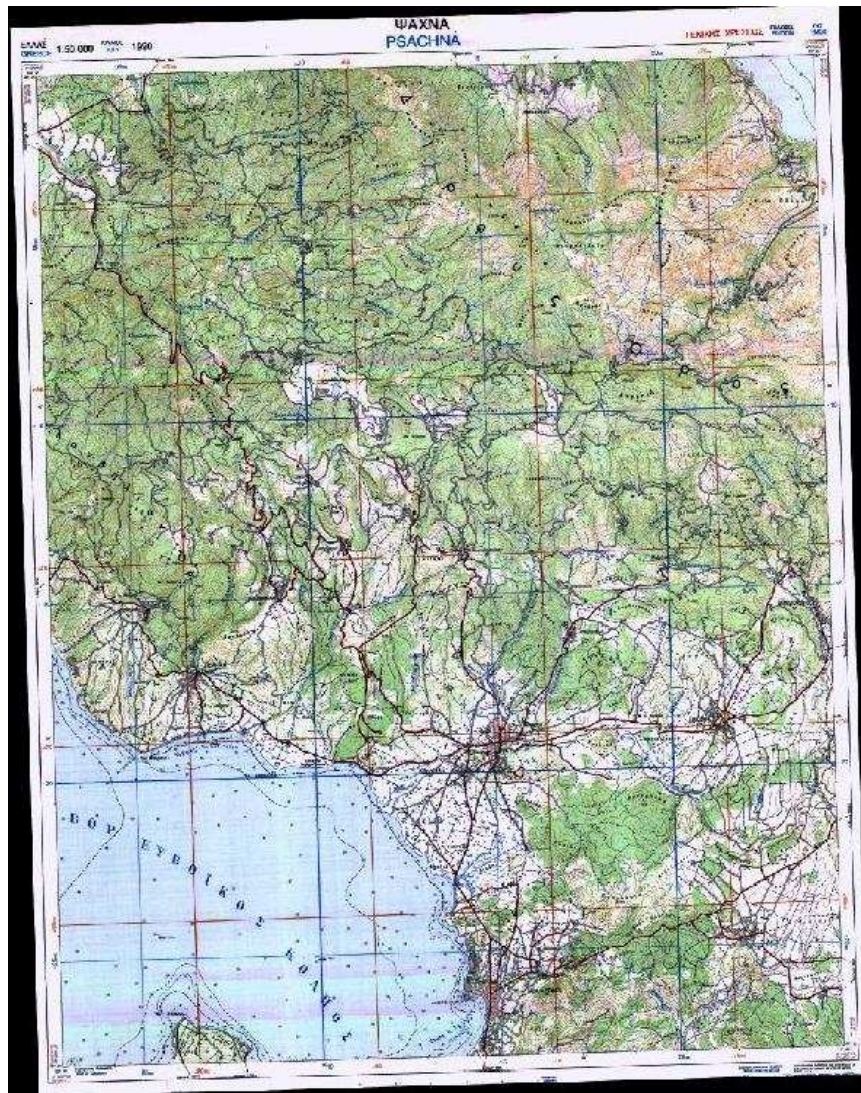


Εικόνα 8.14. Διορθωμένη εικόνα Landsat του 1991. Ο ψευδόχρωμος χρωματισμός είναι αντίστοιχος του CORINE Land-cover, κανάλια 4,5,3 (RGB)



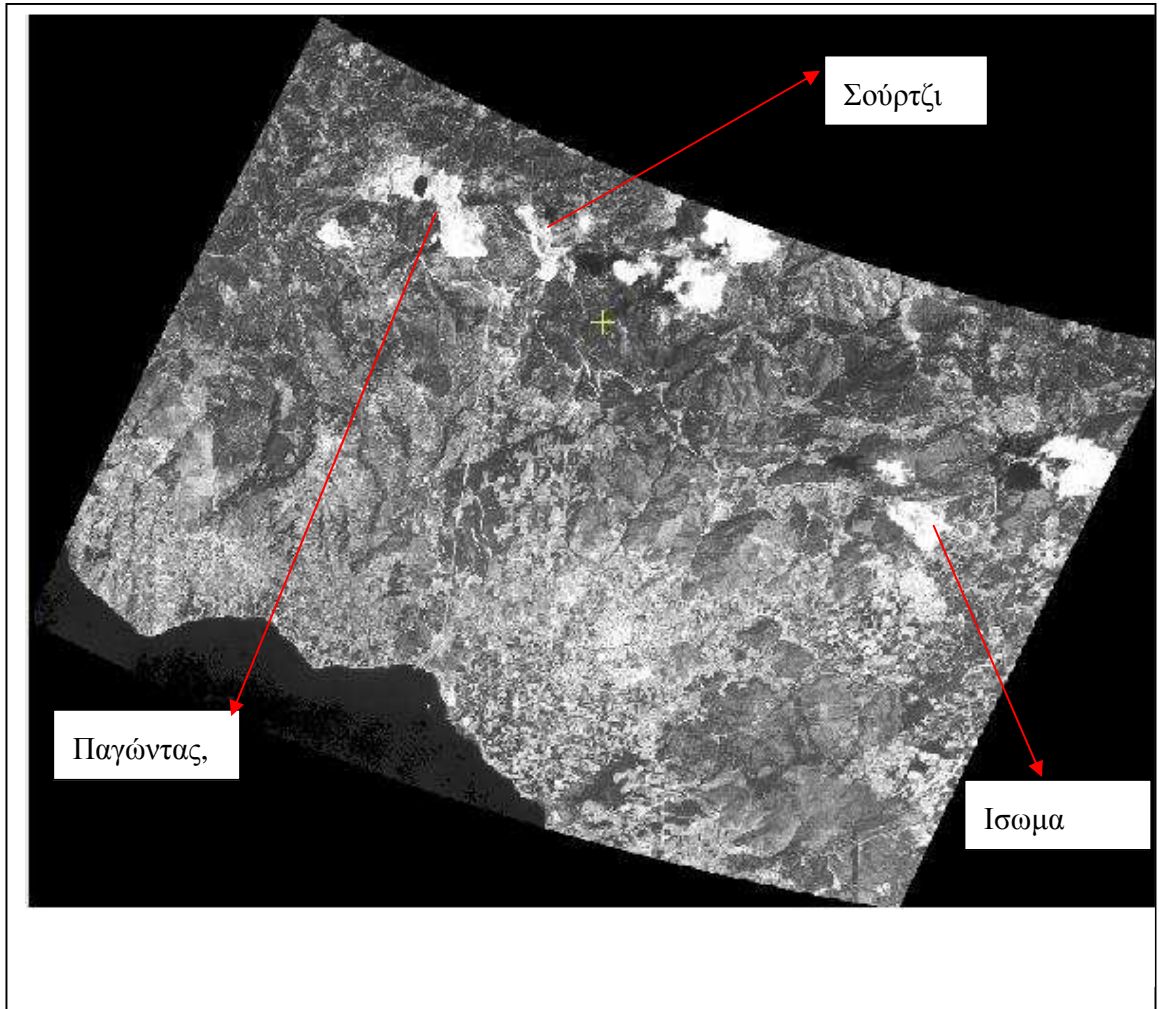
Εικόνα 8.15. Διορθωμένη εικόνα Landsat του 1997. Ο ψευδόχρωμος χρωματισμός είναι αντίστοιχος του CORINE Land-cover, κανάλια 4,5,3 (RGB)

Το φύλο χάρτη ΨΑΧΝΑ της ΓΥΣ κλίμακας 1/50.000 σαρώθηκε από σαρωτή (scanner) τύπου τύμπανου σε ανάλυση 1000 dpi. Σε συνέχεια το ψηφιοποιημένο αρχείο εισήχθη στο Geomatica ως εικόνα σε μορφή pixel/line και γεωαναφέρθηκε χρησιμοποιώντας τη κλίμακα, τις συντεταγμένες, το προβολικό σύστημα και το ελλειψοειδές του ΕΓΣΑ'87 (εικόνα 8.16).

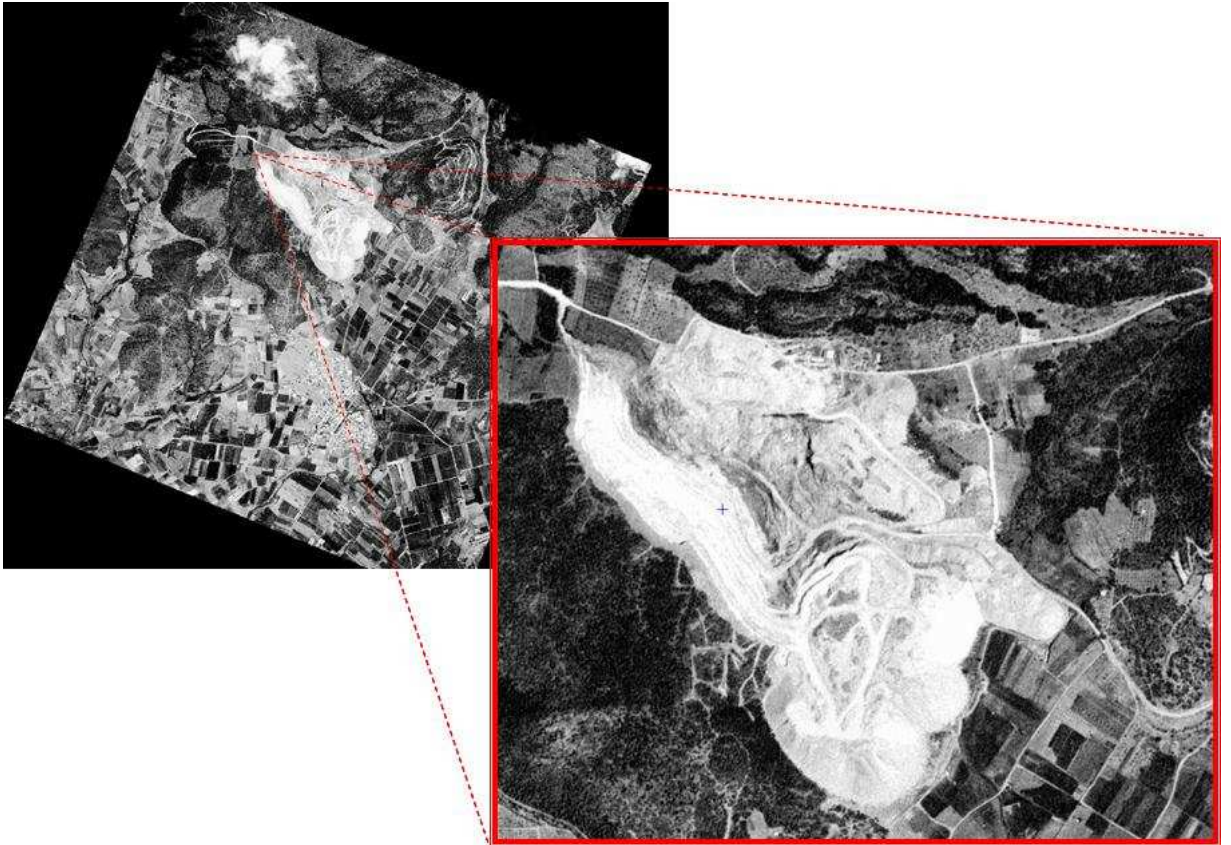


Εικόνα 8.16. Φύλο χάρτη ΨΑΧΝΑ της ΓΥΣ κλίμακας 1/50.000

Ο ψηφιοποιημένος χάρτης χρησιμοποιήθηκε για την διόρθωση της εικόνας KVR-1000 μιας και η ανάλυσή του ήταν κοντά στη ανάλυση της KVR. Δεύτερου βαθμού πολωνυμική εξίσωση χρησιμοποιήθηκε στο αλγόριθμο της κοντινότερης παρεμβολής. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ήταν 0,01 του pixel στο άξονα των X και 0,02 του pixel στον άξονα των Ψ.



Εικόνα.8.17. Διορθωμένη εικόνα KVR-1000



Εικόνα 8.18. Διορθωμένη εικόνα KVR-1000. Περιοχή μεταλλείου Ισώματος (λεπτομέρεια).

8.4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

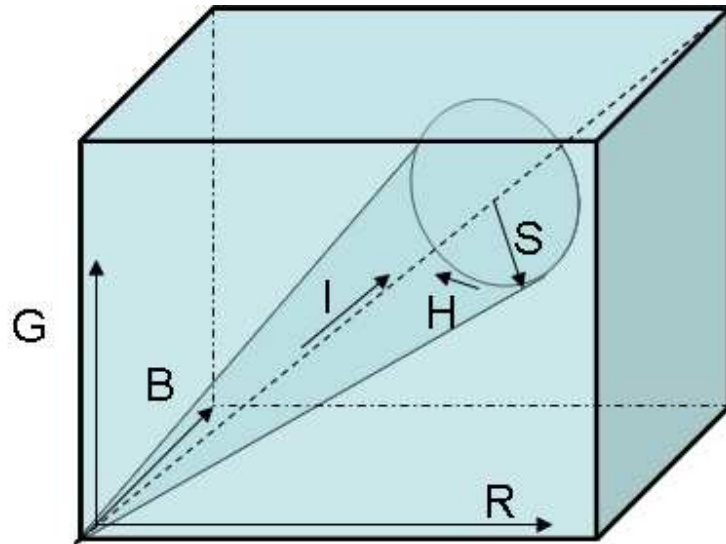
Το κεφάλαιο αυτό αναφέρεται στο στάδιο της διαχρονικής θεματικής καταγραφής των μεταλλείων της ΛΑΡΚΟ στον Παγώντα, Σούρτζι και Ίσωμα της Ευβοίας. Πιο συγκεκριμένα στο κεφάλαιο αυτό γίνεται με ακριβή προσέγγιση η χαρτογράφηση των μεταλλείων με τη χρήση της δορυφορικής τηλεπισκόπησης. Για τη χαρτογράφηση χρησιμοποιήθηκαν πολυφασματικές και μονοφασματικές δορυφορικές εικόνες από τους δορυφόρους Landsat και KVR-1000 αντίστοιχα.

Ακολούθησαν εργασίες πεδίου κατά τις οποίες ελήφθησαν φωτογραφικό υλικό και σημεία δειγματοληπτικού ελέγχου. Στη συνέχεια τα δεδομένα που πάρθηκαν, επεξεργάστηκαν στον Η/Υ στο εργαστήριο όπου με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού πραγματοποιήθηκε η ποσοτική και ποιοτική ανάλυση (θεματική ταξινόμηση).

8.4.1 Θεματική χαρτογράφηση - ταξινόμηση

Τεχνικές εποπτευόμενης ταξινόμησης εφαρμόστηκαν στις σκηνές LANDSAT TM μετά από διεξοδική εργασία πεδίου. Οι εκπαιδευόμενες περιοχές της εποπτευόμενης ταξινόμησης εντοπίστηκαν στην εικόνα του 1997 που ήταν πιο κοντά στη ημερομηνία διεξαγωγής της παρούσας ερευνητικής εργασίας. Παρόλη τη χρονική δυσκολία οι περιοχές αυτές εύκολα εντοπίστηκαν και στις προγενέστερες σκηνές γιατί ουσιαστικά δεν υπήρξε μεγάλη αλλαγή στη φυσική κάλυψη και τις χρήσεις γης. Η βασική πληροφορία για την απεικόνιση των μεταλλείων και τη συσχέτισή τους με τα δεδομένα Landsat ήταν η δορυφορική εικόνα KVR-1000.

Για καλύτερη αναγνώριση των επιφανειακών χαρακτηριστικών των μεταλλείων του Παγώντα και του Σουρτζίου, η μονοφασματική εικόνα KVR-1000 (1992) υψηλής χωρικής ανάλυσης (2μ) συγχωνεύτηκε με τη πολυφασματική εικόνα Landsat TM (1991) μέσης χωρικής ανάλυσης (30μ) μέσω του μετασχηματισμού RGB-HIS-RGB (σχήμα 8.1). Τρία κανάλια (3, 2, 1) της εικόνας Landsat μετασχηματίστηκαν από το τρισδιάστατο χώρο RGB στο χώρο HIS (Intensity-Hue-Saturation) και επανήλθαν στο χώρο RGB αντικαθιστώντας τη πληροφορία intensity (ένταση) με τη μονοφασματική εικόνα KVR (Kruse, 1984, Richards, 1986). Το αποτέλεσμα είναι μια έγχρωμη εικόνα που διατηρεί τα φασματικά χαρακτηριστικά του Landsat και τη χωρική διακριτική ικανότητα των 2μ της εικόνας KVR (εικόνα 8.19) (EOSAT Notes, 1995).



Σχήμα 8.1. Μετατροπή RGB σε HIS με βάση το κυλινδρικό μοντέλο μετασχηματισμού



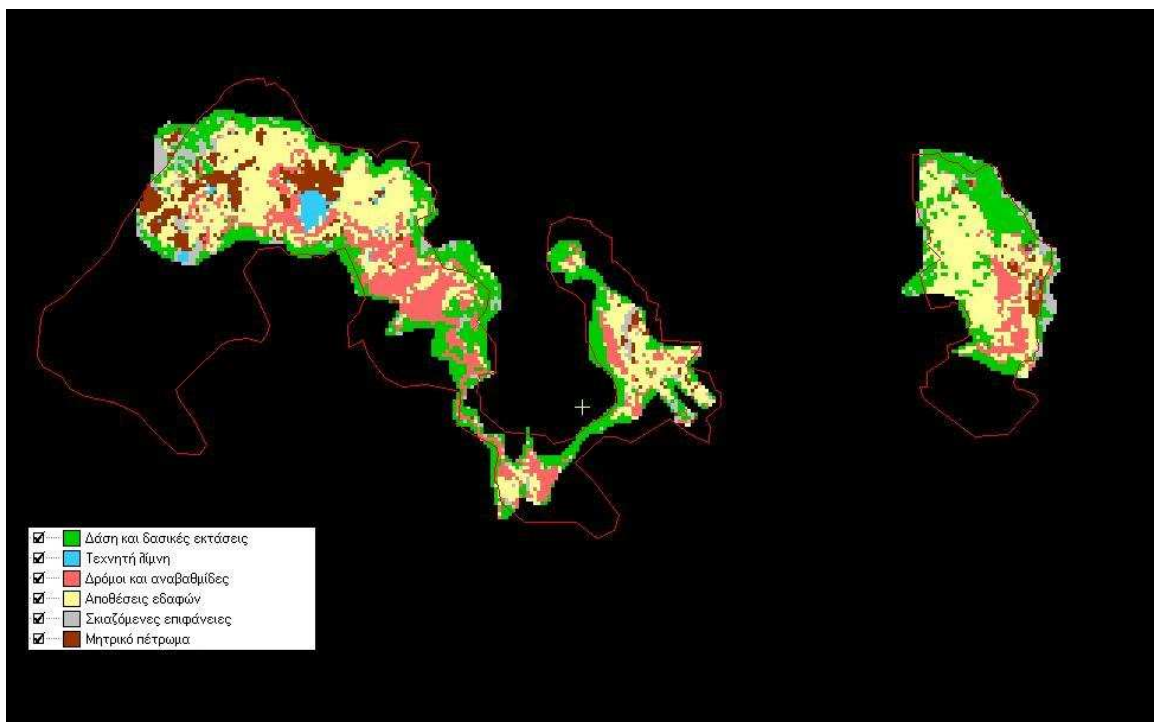
Εικόνα 8.19. Αναδομημένη εικόνα KVR-1000 μέσω του μετασχηματισμού RGB-HIS. Περιοχή μεταλλείου του Παγώντα

Οι κλάσεις που επιλέχθηκαν ήταν δάση και δασικές εκτάσεις, θαμνώνες και φρύγανα, τεχνητή λίμνη, μητρικό πέτρωμα, δρόμοι και αναβαθμίδες, επικαλύψεις εδαφών και σκιαζόμενες επιφάνειες,.

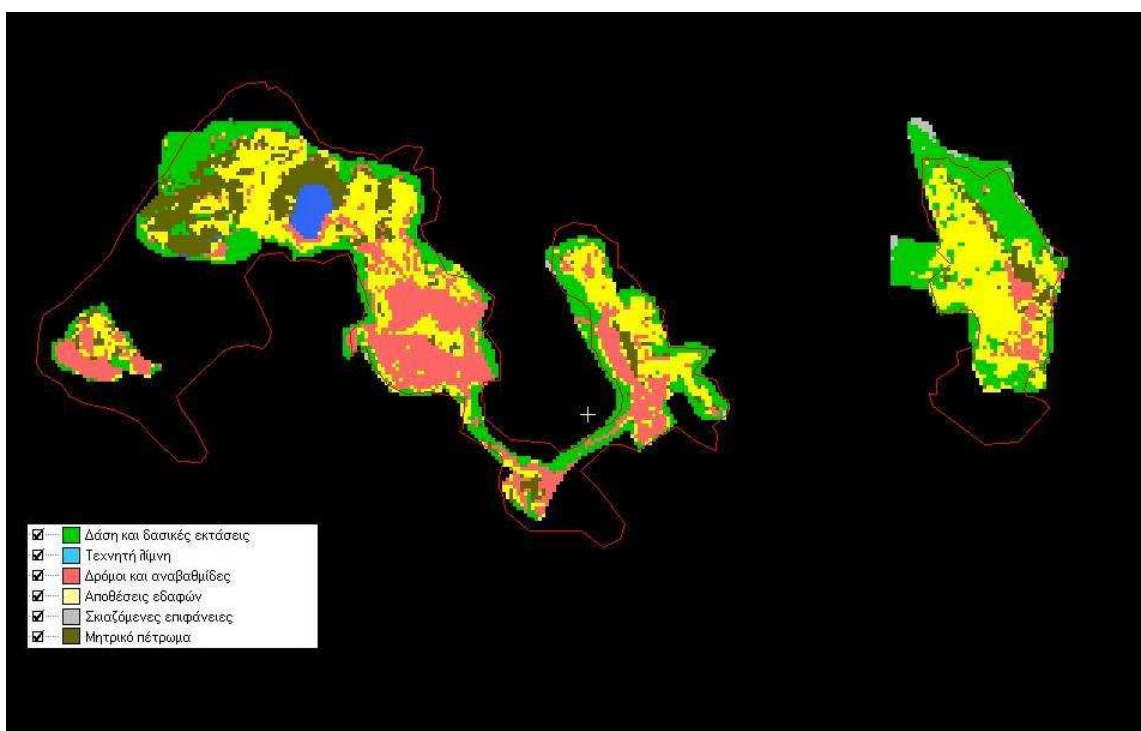
Η κλασική μέθοδος της Μέγιστης Πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood) που βασίζεται στη στατιστική ανάλυση των εικονοστοιχείων (Pixel by Pixel) αναπτύχθηκε και στις τρεις σκηνές Landsat χρησιμοποιώντας τις ίδιες κατηγορίες χρήσεων γης (εικόνες 8.20, 8.21 και 8.22, και πίνακες 8.2, 8.3 και 8.4).

Τα λάθη ταξινόμησης ήταν και αυτά μικρά εξαιτίας α) των παρόμοιων συνθηκών φυσικού φωτισμού μιας και οι εικόνες αποκτήθηκαν σχεδόν την ίδια περίπου εποχή, β) των μικρών ανθρωπογενών επεμβάσεων στις γειτονικές περιοχές των μεταλλείων και γ) της ραδιομετρικής σταθερότητας του αισθητήρα του Θεματικού χαρτογράφου του δορυφόρου LANDSAT-5 (Thome et al. 1997).

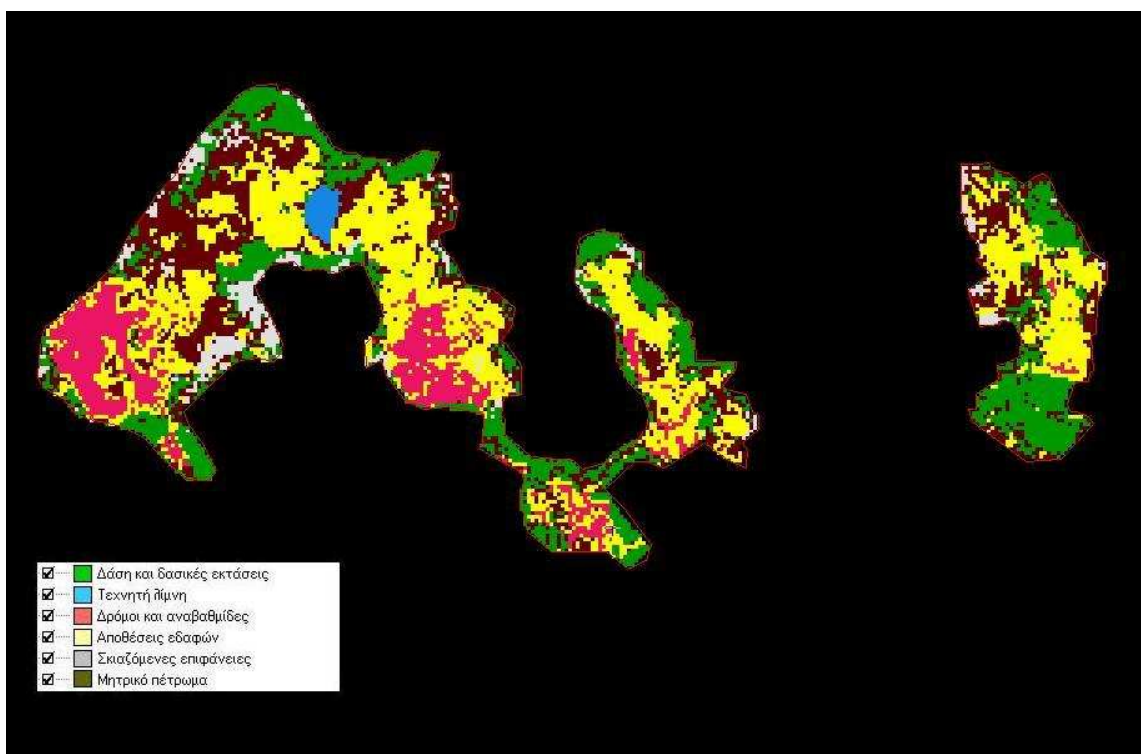
Τα δεδομένα KVR-1000 χρησιμοποιήθηκαν για να εξάγουν τα γραμμικά στοιχεία της περιοχής μελέτης όπως για παράδειγμα δρόμους, κτιριακές μονάδες μέσα στα όρια του μεταλλείου, θέση και διαστάσεις των αναβαθμίδων εξόρυξης κλπ. Όλα αυτά τα γραμμικά στοιχεία εισήχθησαν κατόπιν στο ΣΛΑ. Τα δεδομένα KVR-1000 βρέθηκε ότι αν και είναι ιδανικά για να χαρτογραφήσουν την δραστηριότητα σε μια υπαίθρια εκμετάλλευση σε μια χρονική στιγμή με μεγάλη ακρίβεια, εντούτοις δεν παρέχουν συστηματική κάλυψη για παρακολούθηση των λατομικών και μεταλλευτικών δραστηριοτήτων σε βάθος χρόνου.



Εικόνα 8.20. Θεματικός χάρτης των μεταλλείων Παγώντα και Σούρτζι μετά από εποπτευόμενη ταξινόμηση της εικόνας Landsat TM 1986



Εικόνα 8.21. Θεματικός χάρτης των μεταλλείων Παγώντα και Σούρτζι μετά από εποπτευόμενη ταξινόμηση της εικόνας Landsat TM 1991



Εικόνα 8.22. Θεματικός χάρτης των μεταλλείων Παγώντα και Σούρτζι μετά από εποπτευόμενη ταξινόμηση της εικόνας Landsat TM 1997

Μήτρα Λαθών (Confusion matrix)
Εποπτευόμενη ταξινόμηση δορυφορικής εικόνας Landsat TM
(1986) με χρήση του αλγόριθμου της μέγιστης πιθανοφάνειας

| Κατηγορίες | Κωδικός | Αριθμός Εικονοστοιχείων | Επιφάνεια σε μ2 | %Εικόνας |
|----------------------|---------|----------------------------|-----------------|----------|
| Δάση/δασ. εκτάσεις | 20 | 2055 | 1849500.00 | 30.15 |
| Τεχνητή λίμνη | 40 | 103 | 92700.00 | 1.51 |
| Δρόμοι & Αναβαθμίδες | 60 | 1221 | 1098900.00 | 17.91 |
| Επικαλύψεις εδαφών | 80 | 2430 | 2187000.00 | 35.65 |
| Σκιαζόμενες επιφ. | 100 | 496 | 446400.00 | 7.28 |
| Μητρικό πέτρωμα | 120 | 511 | 459900.00 | 7.50 |
| Image total | ***** | | 6134400.00 | 100.00 |

| Areas | | Percent Pixels Classified by Code | | | | | |
|-------|------|-----------------------------------|------|------|------|------|------|
| Code | Name | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 |
| 20 | 1698 | 91.2 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 8.6 | 0.0 |
| 40 | 74 | 0.0 | 71.6 | 0.0 | 0.0 | 6.8 | 21.6 |
| 60 | 475 | 0.0 | 0.0 | 85.5 | 14.5 | 0.0 | 0.0 |
| 80 | 2568 | 4.9 | 0.2 | 26.7 | 65.9 | 0.1 | 2.1 |
| 100 | 215 | 35.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 64.2 | 0.0 |
| 120 | 1786 | 17.0 | 2.5 | 7.1 | 37.3 | 11.5 | 24.6 |

Μέση ακρίβεια = 67.18%
 Συνολική ακρίβεια = 62.78%
 Kappa Coefficient = 0.50764 Standard Deviation = 0.00742
 Confidence Level :
 99% 0.50764 +/- 0.01913
 95% 0.50764 +/- 0.01454
 90% 0.50764 +/- 0.01220

Πίνακας 8.2. Απόσπασμα της μήτρας λαθών για τη εποπτευόμενη ταξινόμηση της εικόνας Landsat του 1986

Μήτρα Λαθών (Confusion matrix)
Εποπτευόμενη ταξινόμηση δορυφορικής εικόνας Landsat TM
(1991) με χρήση του αλγόριθμου της μέγιστης πιθανοφάνειας

| Κατηγορίες | Κωδικός | Αριθμός εικονοστοιχείων | επιφάνεια σε μ2 | %Εικόνας |
|------------------------|---------|----------------------------|-----------------|----------|
| Δάση/δασ. εκτάσεις | 20 | 2376 | 2138400.00 | 29.90 |
| Τεχνητή λίμνη | 40 | 135 | 121500.00 | 1.70 |
| Δρόμοι και Αναβαθμίδες | 60 | 1739 | 1565100.00 | 21.88 |
| Επικαλύψεις εδαφών | 80 | 2593 | 2333700.00 | 32.63 |
| Σκιαζόμενες επιφ. | 100 | 59 | 53100.00 | 0.74 |
| Μητρικό υλικό | 120 | 1045 | 940500.00 | 13.15 |
| Image total | ***** | | 7152300.00 | 100.00 |

| Areas | | Percent Pixels Classified by Code | | | | | |
|-------|------|-----------------------------------|------|------|------|-----|------|
| Code | Name | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 |
| 20 | 211 | 97.6 | 0.0 | 0.9 | 0.9 | 0.0 | 0.5 |
| 40 | 123 | 0.0 | 97.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.4 |
| 60 | 584 | 0.2 | 0.0 | 95.5 | 3.9 | 0.0 | 0.3 |
| 80 | 356 | 0.0 | 0.3 | 4.5 | 90.4 | 0.0 | 4.8 |
| 120 | 115 | 0.0 | 0.0 | 3.5 | 7.0 | 0.0 | 89.6 |

Μέση ακρίβεια = 94.15%
 Συνολική ακρίβεια = 94.24%
 Kappa Coefficient = 0.93101 Standard Deviation = 0.00991
 Confidence Level :
 99% 0.93101 +/- 0.02558
 95% 0.93101 +/- 0.01943
 90% 0.50764 +/- 0.01220

Πίνακας 8.3. Απόσπασμα της μήτρας λαθών για τη εποπτευόμενη ταξινόμηση της εικόνας Landsat του 1991

Μήτρα Λαθών (Confusion matrix)
Εποπτευόμενη ταξινόμηση δορυφορικής εικόνας Landsat TM
(1997) με χρήση του αλγόριθμου της μέγιστης πιθανοφάνειας

| Κατηγορίες | Κωδικός | Αριθμός Εικονοστοιχείων | Ειφάνεια σε μ2 | %Εικόνας |
|-------------------------|---------|----------------------------|----------------|----------|
| Δάση & δασικές εκτάσεις | 20 | 2545 | 2290500.00 | 24.02 |
| Τεχνητή λίμνη | 40 | 109 | 98100.00 | 1.03 |
| Δρόμοι και αναβαθμίδες | 60 | 1252 | 1126800.00 | 11.82 |
| Επικαλύψεις εδαφών | 80 | 3611 | 3249900.00 | 34.08 |
| Σκιαζόμενες επιφ. | 100 | 534 | 480600.00 | 5.04 |
| Μητρικό πέτρωμα | 120 | 2545 | 2290500.00 | 24.02 |
| Image total | ***** | | 9536400.00 | 100.00 |

| Areas | | Percent Pixels Classified by Code | | | | | |
|-------|------|-----------------------------------|------|------|------|------|------|
| Code | Name | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 |
| 20 | | 0.0 | 0.0 | 26.7 | 73.3 | 0.0 | 0.0 |
| 40 | | 0.0 | 98.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.1 |
| 60 | | 0.0 | 0.0 | 94.5 | 5.5 | 0.0 | 0.0 |
| 80 | | 0.3 | 0.0 | 5.7 | 93.2 | 0.0 | 0.8 |
| 100 | | 4.9 | 0.0 | 0.0 | 13.6 | 55.6 | 25.9 |
| 120 | | 0.8 | 0.0 | 0.0 | 2.5 | 0.0 | 96.6 |

Μέση ακρίβεια = 73.14%
 Συνολική ακρίβεια = 88.30%
 Kappa Coefficient = 0.83792 Standard Deviation = 0.01434
 Confidence Level :
 99% 0.83792 +/- 0.03701
 95% 0.83792 +/- 0.02811
 90% 0.83792 +/- 0.02359
 90% 0.50764 +/- 0.01220

Πίνακας 8.4. Απόσπασμα της μήτρας λαθών για τη εποπτευόμενη ταξινόμηση της εικόνας Landsat του 1997

Η ταξινόμηση στο μεταλλείο του Ισώματος έγινε με βάση τον αλγόριθμο K-Means της μη εποπτευόμενης μεθόδου με τρεις κυρίως κλάσεις : (1) δρόμοι και αναβαθμίδες, (2) έδαφος και αποθέσεις και (3) μητρικό πέτρωμα. Η επιλογή μόνο αυτών των δύο κλάσεων έγινε σκοπίμως για την επαλήθευση του μοντέλου λήψης αποφάσεων αποκατάστασης (κεφάλαιο 10).

8.4.2 Η μέθοδος ανίχνευσης μεταβολών

Εισαγωγή.

Ένα από τα πιο σημαντικά θέματα κατά τη διαδικασία της εξόρυξης, το οποίο κάθε μεταλλευτική εταιρεία θα έπρεπε να αντιμετωπίσει, είναι οι μεταβολές στις αποκατασταθείσες περιοχές, καθώς και στις περιοχές όπου δεν έχουν γίνει εξορύξεις (περιβάλλον) έξω από την περιοχή του ορυχείου και κατά τη διάρκεια των εργασιών εξόρυξης (Marino 1998). Οι χώρες της ΕΕ πρέπει να τηρούν τους περιβαλλοντικούς νόμους που υποχρεώνουν τις εταιρείες των ορυχείων να ανιχνεύουν τις επιπτώσεις των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στο περιβάλλον, δηλαδή των εκσκαφών, των μεταφορών, των κτιριακών κατασκευών, της υλοτομίας, κλπ. κατά το σχεδιασμό της επέκτασης των ορυχείων, και να προσπαθούν να πραγματοποιήσουν την καλύτερη δυνατή αποκατάσταση (Du 1998).

Επίσης, οι εταιρείες είναι υποχρεωμένες να δίνουν στις κυβερνήσεις νέους χάρτες κάθε χρόνο, οι οποίοι περιέχουν τις περιοχές στις οποίες έχουν γίνει εκσκαφές, και σχέδια για την αποκατάσταση αυτών των περιοχών. Σε αυτό το πλαίσιο, και σύμφωνα με τις ανάγκες της ερευνητικής διατριβής μια νέα μέθοδος ανίχνευσης μεταβολών εφαρμόστηκε στις εικόνες των ετών 1986, 1991 και 1997.

Τρεις διαχρονικοί χάρτες για κάθε κατηγορία χρήσεων γης δημιουργήθηκαν με το ακόλουθο συνδυασμό 1997-1986, 1997-1991 και 1991-1986. Στη περίπτωση μας η κατάσταση πριν την εξόρυξη είναι δάσος και γυμνό έδαφος. Η περιοχή που έχει αποκατασταθεί είναι δάσος και επιφανειακά νερά (τεχνητή λίμνη).

Εργασίες πεδίου 2006 έδειξαν ότι οι κατολίθωση των πρανών είναι ο κύριος λόγος των κατάρρευσης των αναβαθμίδων.

Η μέθοδος ανίχνευσης μεταβολών

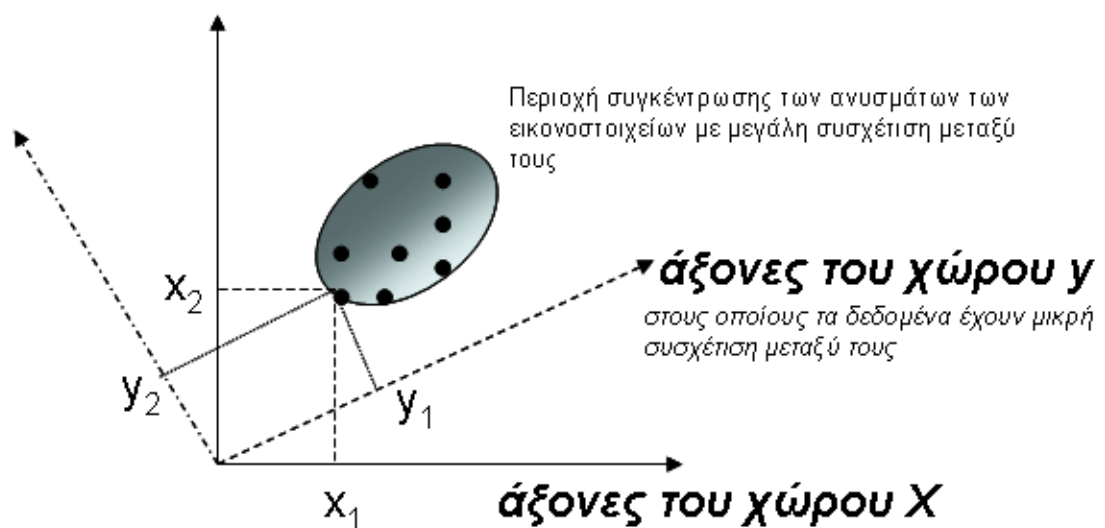
Η μέθοδος εφαρμόστηκε και δοκιμάστηκε στα προαναφερθέντα επιφανειακά ορυχεία σιδηρονικελίου. Το λογισμικό επεξεργασίας εικόνων Geomatica χρησιμοποιήθηκε για όλες τις μεθόδους. Διάφοροι μέθοδοι προτάθηκαν έτσι ώστε να επιλεγεί η πλέον κατάλληλος για την ανίχνευση των μεταβολών που παρατηρούνται ως αποτέλεσμα των διαδικασιών επιφανειακής εξόρυξης.

Αυτές οι μέθοδοι ήταν οι εξής:

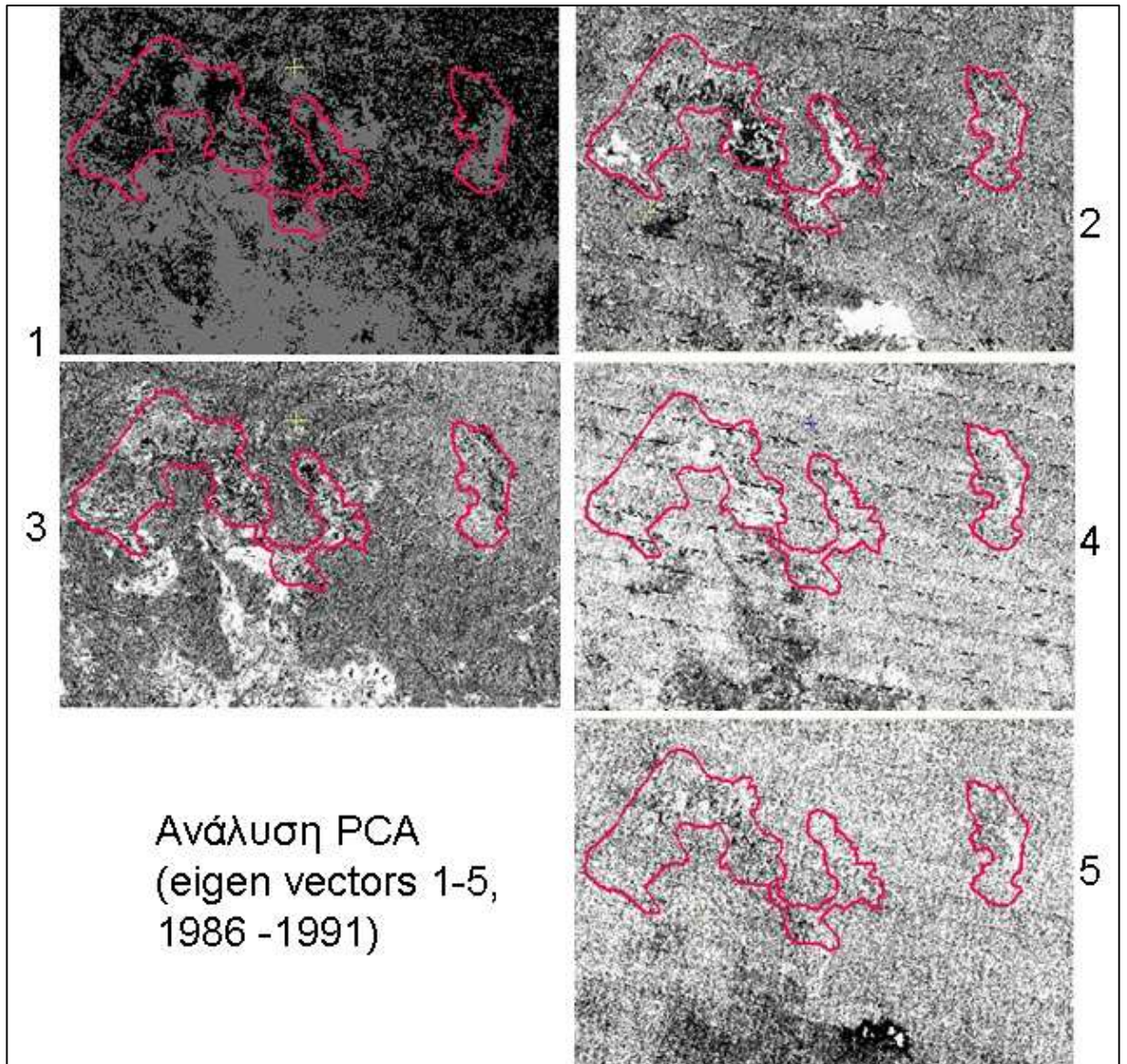
Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών (Principal Component Analysis – PCA) που εφαρμόζεται στο σύνολο των δεδομένων που θέλουμε να εντοπίσουμε τις αλλαγές μεταξύ τους. Η ανάλυση περιλαμβάνει τη δημιουργία ενός τροποποιημένου συστήματος αξόνων όπου οι τιμές των εικονοστοιχείων που προβάλλονται έχουν μικρή συσχέτιση μεταξύ τους (σχήμα 8.2) (Lu, 1988).

Στη περίπτωση μας τα 6 κανάλια της δορυφορικής εικόνας του 1986 και τα 6 κανάλια της δορυφορικής εικόνας του 1991 χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση PCA για το εντοπισμό των διαφορών στη περιοχή των μεταλλείων για τα έτη από 1986 έως 1991 (εικόνα 8.23). Τα 6 κανάλια της δορυφορικής εικόνας του 1991 και τα 6 κανάλια της δορυφορικής εικόνας του 1997 χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση PCA για το εντοπισμό των διαφορών στη περιοχή των μεταλλείων για τα έτη από 1991 έως 1997 (εικόνα 8.24). Η μέθοδος αυτή είχε καλά αποτελέσματα αλλά προϋποθέτει αναλυτική, επί τόπου, επιβεβαίωση (ανά κατηγορία) γιατί ενώ εντοπίζονται οι αλλαγές από τη μία δορυφορική εικόνα στην άλλη δεν είναι δυνατόν να εξαχθούν συμπεράσματα για το τύπο της αλλαγής (Fung, 1987). Η μέθοδος αυτή ήταν χρονοβόρα εξ αιτίας της λεπτομερούς επιβεβαίωσης στο πεδίο και συνεπώς απερρίφθη. Ακόμα, μπορεί να μη δώσει καλά αποτελέσματα σε άλλες περιοχές ενδιαφέροντος, εξ αιτίας διαφορετικών κλιματικών συνθηκών ή γεωλογίας.

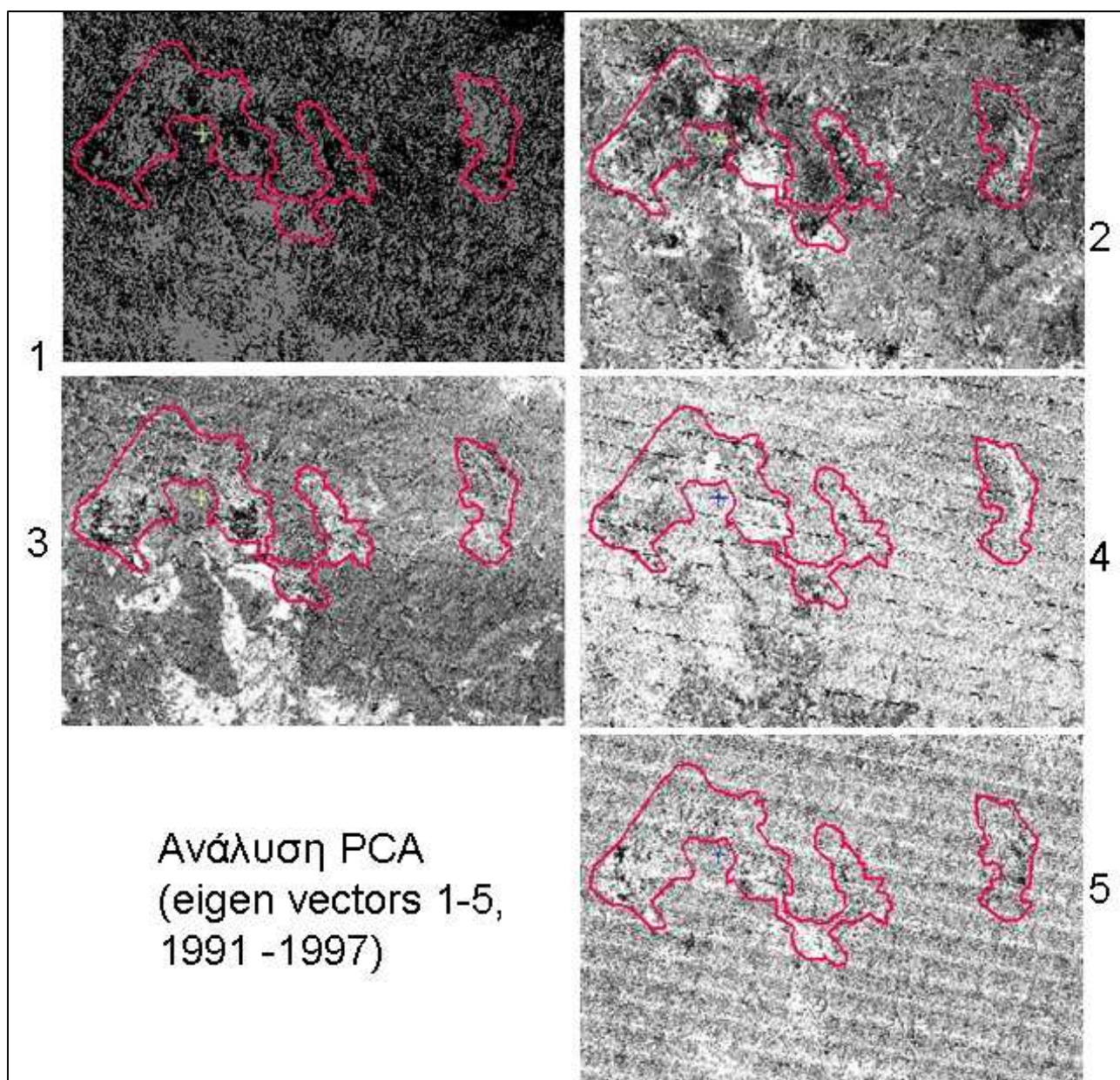
Απεικόνιση του τροποποιημένου συστήματος αξόνων στην ανάλυση των κύριων συνιστωσών (PCA) κατά τον οποίο τα ανύσματα των εικονοστοιχείων (pixels) έχουν δεν σχετίζονται μεταξύ τους



Σχήμα 8.2. Σχηματική απεικόνιση της ανάλυσης PCA.



Εικόνα 8.23. Απεικόνιση των νέων καναλιών (1-5) που δημιουργήθηκαν από την ανάλυση PCA χρησιμοποιώντας τις εικόνες Landsat TM 1986 και 1991. Διαφορές εντοπίζονται στα κανάλια 2 έως 5 ενώ το κανάλι 1 ουσιαστικά συγκεντρώνει όλη τη πληροφορία και από τις δύο εικόνες.



Εικόνα 8.24. Απεικόνιση των νέων καναλιών (1-5) που δημιουργήθηκαν από την ανάλυση PCA χρησιμοποιώντας τις εικόνες Landsat TM 1991 και 1997. Διαφορές εντοπίζονται στα κανάλια 2 έως 5 ενώ το κανάλι 1 ουσιαστικά συγκεντρώνει όλη τη πληροφορία και από τις δύο εικόνες.

Υπολογισμός του λόγου μεταξύ εικόνων και αλλαγή κλίμακας των κατηγοριοποιημένων εικόνων: Η μέθοδος αυτή δεν έδωσε καλά αποτελέσματα εξ αιτίας της αναγκαίας αλλαγής κλίμακας των εικόνων μετά τον υπολογισμό του λόγου. Το κύριο πρόβλημα ήταν ότι εξ αιτίας του υπολογισμού του λόγου οι κατηγορίες μπερδεύονται γιατί ο λόγος ίδιων κατηγοριών σε διαφορετικές ημερομηνίες έδινε το ίδιο αποτέλεσμα με τον λόγο άλλων κατηγοριών κατά τις ίδιες ημερομηνίες (Srygopoulos 1992). Έτσι, διαφορετικές κατηγορίες ενώνονται μεταξύ τους ως μια νέα κατηγορία μετά τον υπολογισμό των λόγων. Η αλλαγή κλίμακας των εικόνων μετά τον υπολογισμό των λόγων κρίθηκε ως αναγκαία, για να μετατραπούν οι δεκαδικές τιμές σε ακέραιους, το οποίο, σε μερικές περιπτώσεις, επιδείνωνε το πρόβλημα. Τέλος, και η μέθοδος αυτή απερρίφθη καθώς δεν ήταν εύκολο να εφαρμοστεί από έναν μη ειδικό και δεν έδινε καλά αποτελέσματα.

Η αφαίρεση εντός των κατηγοριών και μεταξύ διαφορετικών ημερομηνιών των κατηγοριοποιημένων εικόνων. Αυτή η μέθοδος απερρίφθη για τον ίδιο λόγο που εξηγήθηκε παραπάνω.

Η τελευταία μέθοδος που εφαρμόστηκε και δοκιμάστηκε ήταν η “μέθοδος ανίχνευσης των μεταβολών” (“μέθοδος πριν και μετά”) βασισμένη σε λογικές πράξεις εντός της ίδιας κατηγορίας και μεταξύ των διαφορετικών ημερομηνιών των κατηγοριοποιημένων εικόνων. Η μέθοδος εφαρμόστηκε και δοκιμάστηκε στις περιοχές επιφανειακής εξόρυξης καθώς τα διαθέσιμα δεδομένα (εικόνες) ήταν εικόνες Landsat 5 TM που είχαν καταγραφεί σε τρεις διαφορετικές ημερομηνίες: 1986, 1991 και 1997.

Οι θεματικοί χάρτες που δημιουργήθηκαν από την εποπτευόμενη ταξινόμηση (με τη μέθοδο της “μεγαλύτερης πιθανότητας” στην περιοχή των ορυχείων επιφανειακής εξόρυξης) των εικόνων 1986, 1991 και 1997 χρησιμοποιήθηκαν στην διαχρονική ανάλυση των αλλαγών χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της σύγκρισης θεματικών χαρτών ανά κατηγορία χρήσεως γης (post-classification comparison analysis). Οι τοποθεσίες που

χρησιμοποιήθηκαν για την “εκπαίδευση” του λογισμικού συνελέγησαν στο πεδίο και περιελάμβαναν τις ακόλουθες κατηγορίες:

- 1) δάση και δασικές εκτάσεις
- 2) τεχνητή λίμνη,
- 3) δρόμοι και αναβαθμίδες
- 4) επικαλύψεις εδαφών,
- 5) σκιαζόμενες επιφάνειες,
- 6) Μητρικό πέτρωμα

Από κάθε τοποθεσία και για κάθε ημερομηνία προέκυπτε μια νέα εικόνα, η οποία εμφάνιζε μόνο τα εικονοστοιχεία (pixels) που είχαν επιλεγεί από τη διαδικασία κατηγοριοποίησης. Οι εικόνες αυτές σχημάτιζαν τα δεδομένα εισόδου για το επόμενο βήμα, που ήταν η εφαρμογή της μεθόδου “ανίχνευσης μεταβολής” με χρήση λογικών πράξεων (Spyrgorouλος και Granger, 1993). Εφαρμόστηκαν λογικές πράξεις μεταξύ ιδίων κατηγοριών των διαφορετικών ημερομηνιών γιατί ήταν αναγκαίο να γνωρίζουμε αν και ποια κατηγορία επέφερε οιοσδήποτε μεταβολές (Gautam και Chennaiah, 1985). Η μέθοδος βρίσκει τα “κοινά” και τα “μη κοινά” εικονοστοιχεία μεταξύ εικόνων. Αν ένα εικονοστοιχείο ανήκει και στις δύο εικόνες, δηλαδή έχει τα ίδια χαρακτηριστικά, τότε είναι ένα “κοινό” εικονοστοιχείο και αυτό σημαίνει ότι τίποτα δεν έχει αλλάξει σε αυτό το εικονοστοιχείο κατά τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Αν ένα εικονοστοιχείο είναι “μη κοινό” τότε κάτι έχει αλλάξει σε αυτό το εικονοστοιχείο κατά την ίδια χρονική περίοδο (Switzer και Ingebritsen, 1986).

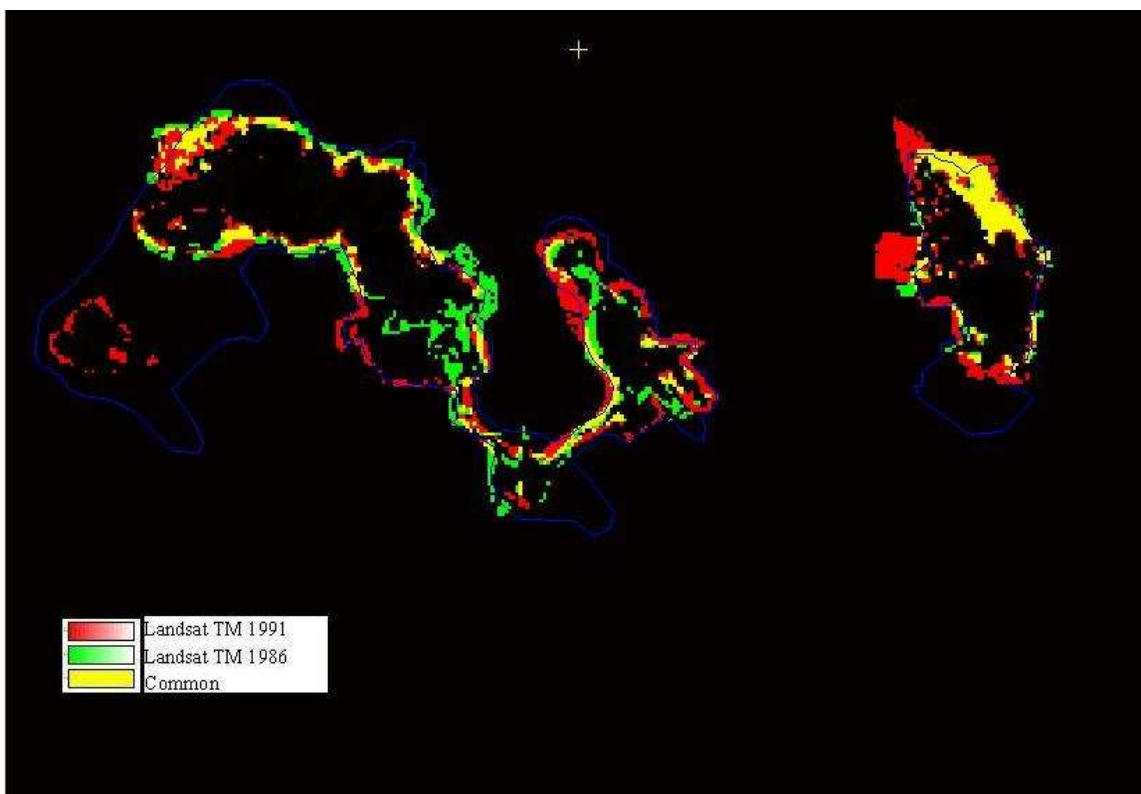
Οι λογικοί τελεστές που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι: AND, XOR και OR. Οι τελεστές αυτοί πρέπει να εφαρμοστούν με συγκεκριμένη σειρά, γιατί η εικόνα που προκύπτει από την προηγούμενη πράξη χρησιμοποιείται ως είσοδος για την επόμενη· για παράδειγμα, η εικόνα που προκύπτει από την εφαρμογή της πράξεως XOR χρησιμοποιείται ως εικόνα εισόδου στην πράξη OR. Πριν την εφαρμογή αυτής της μεθόδου, θα επιλεγεί μια κατηγορία, λ.χ. η κατηγορία “δάση και δασικές εκτάσεις”.

Η ακολουθία των βημάτων της μεθόδου παρατίθεται στη συνέχεια και εφαρμόζεται σε όλες τις κατηγορίες που αναφέρονται πιο πάνω:

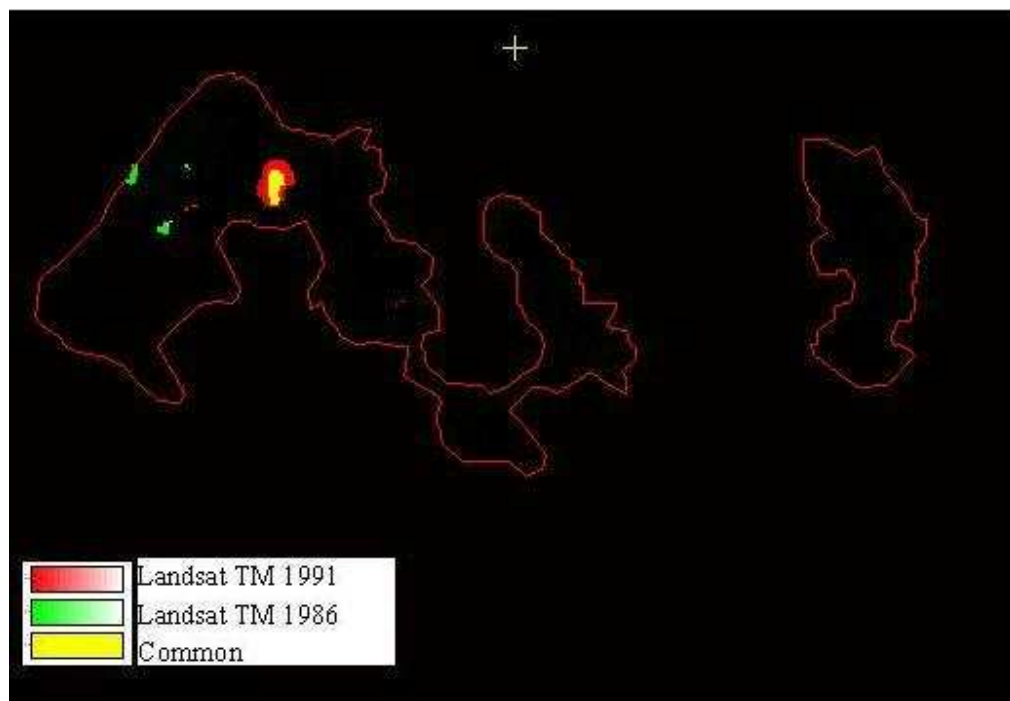
(i) Οι κατηγορίες μετατρέπονται σε ψηφιογραφικά αρχεία (bitmaps) καθώς τα προγράμματα επεξεργασίας του Geomatica εκτελούν πράξεις μόνο σε τέτοιου είδους αρχεία. Το πρώτο βήμα ξεκινά με την εφαρμογή του λογικού τελεστή XOR στα ψηφιογραφικά αρχεία της κατηγορίας δάσος και δασικές εκτάσεις του 1986 και του 1991. Το αποτέλεσμα είναι ένα νέο ψηφιογραφικό αρχείο το οποίο δείχνει τα εικονοστοιχεία που ανήκουν στα αρχεία του 1986 (πράσινο) και του 1991 (κόκκινο) και μόνον (τα “μη κοινά” εικονοστοιχεία της κατηγορίας “πυκνό δάσος”) και εξαιρεί τα “κοινά” εικονοστοιχεία. Έτσι, το νέο αρχείο δείχνει τις μεταβολές που έλαβαν χώρα στη κατηγορία αυτή στο διάστημα 1986 – 1991.

(ii) Για να πάρουμε τα “κοινά” εικονοστοιχεία των ψηφιογραφικών αρχείων πυκνού δάσους των ετών 1986 και 1991, εφαρμόζεται ο λογικός τελεστής AND στα αρχεία και το παραγόμενο ψηφιογραφικό αρχείο δείχνει τα εικονοστοιχεία που υπάρχουν και στα δύο αρχεία, δηλαδή τα εικονοστοιχεία που δεν μεταβλήθηκαν στο διάστημα 1986 – 1991. Τα δύο αυτά βήματα εφαρμόζονται διαδοχικά σε όλες τις κατηγορίες.

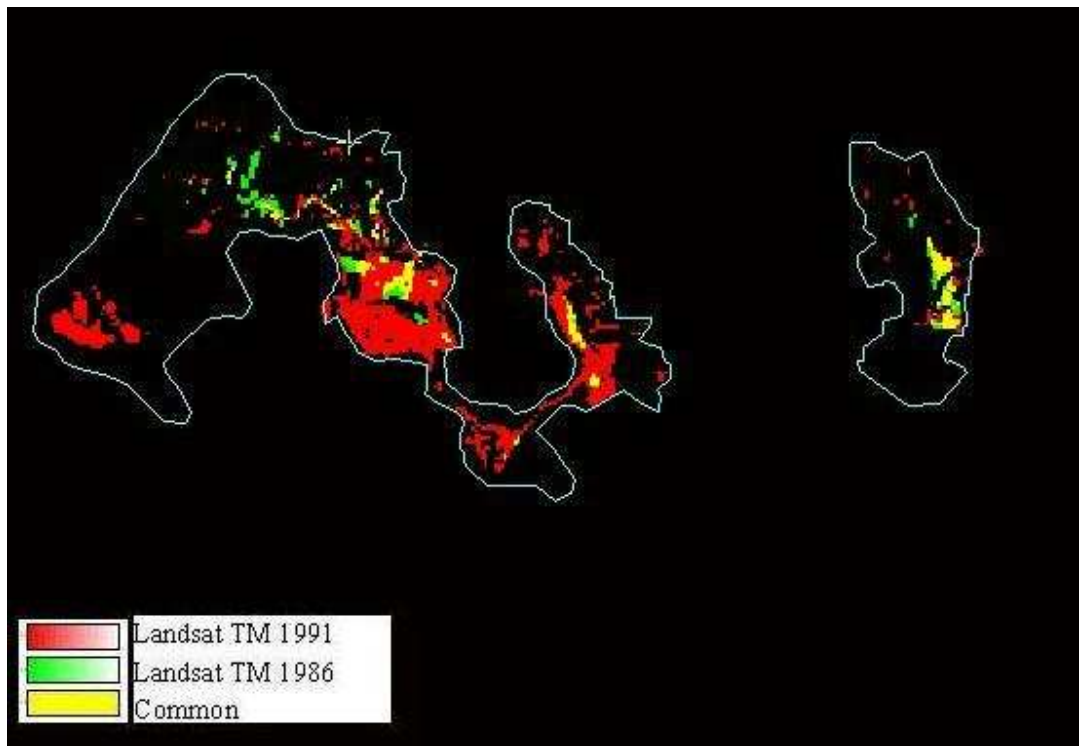
(iii) Για να κατασκευάσουμε το τελικό ψηφιογραφικό αρχείο ανίχνευσης των μεταβολών, εφαρμόζεται ο λογικός τελεστής OR σε όλα τα παραγόμενα αρχεία. Συνεπώς, το τελικό ψηφιογραφικό αρχείο (που μετατρέπεται σε εικόνα) είναι η εικόνα που δείχνει τις “μεταβολές” (πράσινο για το 1986, κόκκινο για το 1991) και την “απουσία μεταβολών” (κίτρινο) για όλες τις κατηγορίες μεταξύ των ετών 1986 – 1991. Η ίδια διαδικασία εφαρμόζεται στις εικόνες των ετών 1991 και 1997 (εικόνες 8.25 έως 8.36).



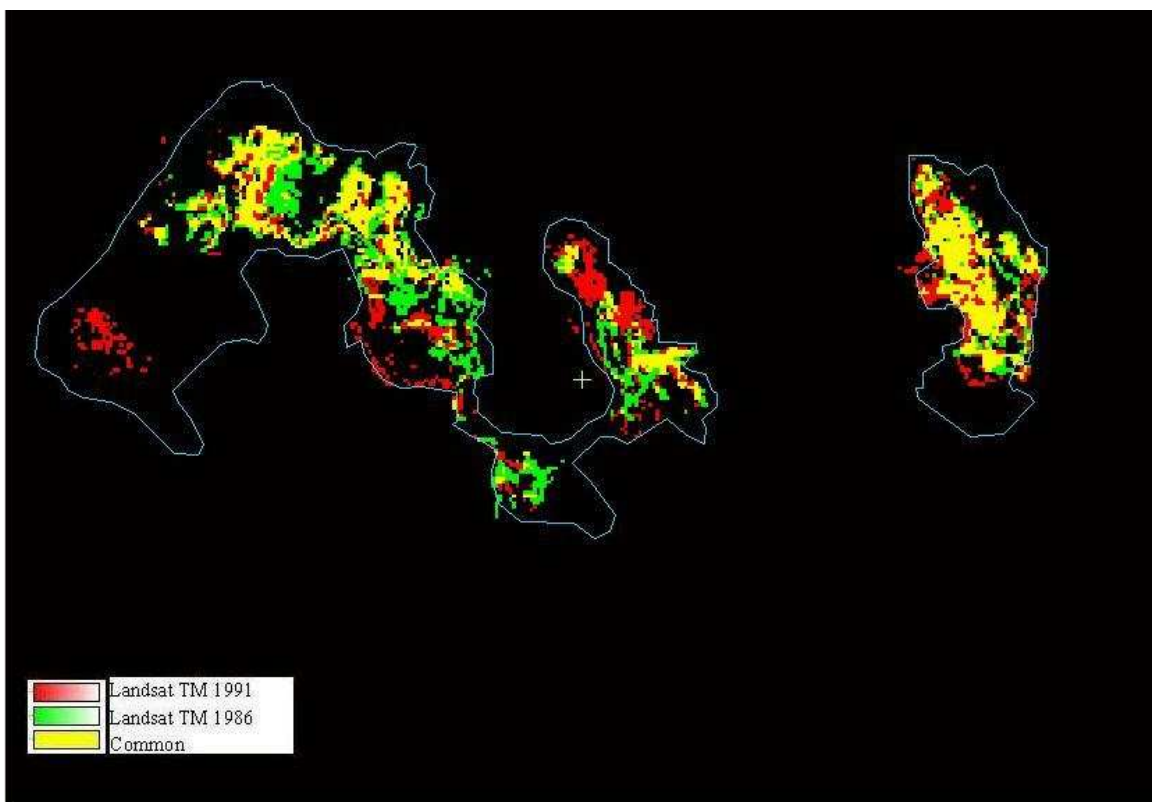
Εικόνα 8.25. Χάρτης αλλαγών των δασών και δασικών εκτάσεων 1986-1991



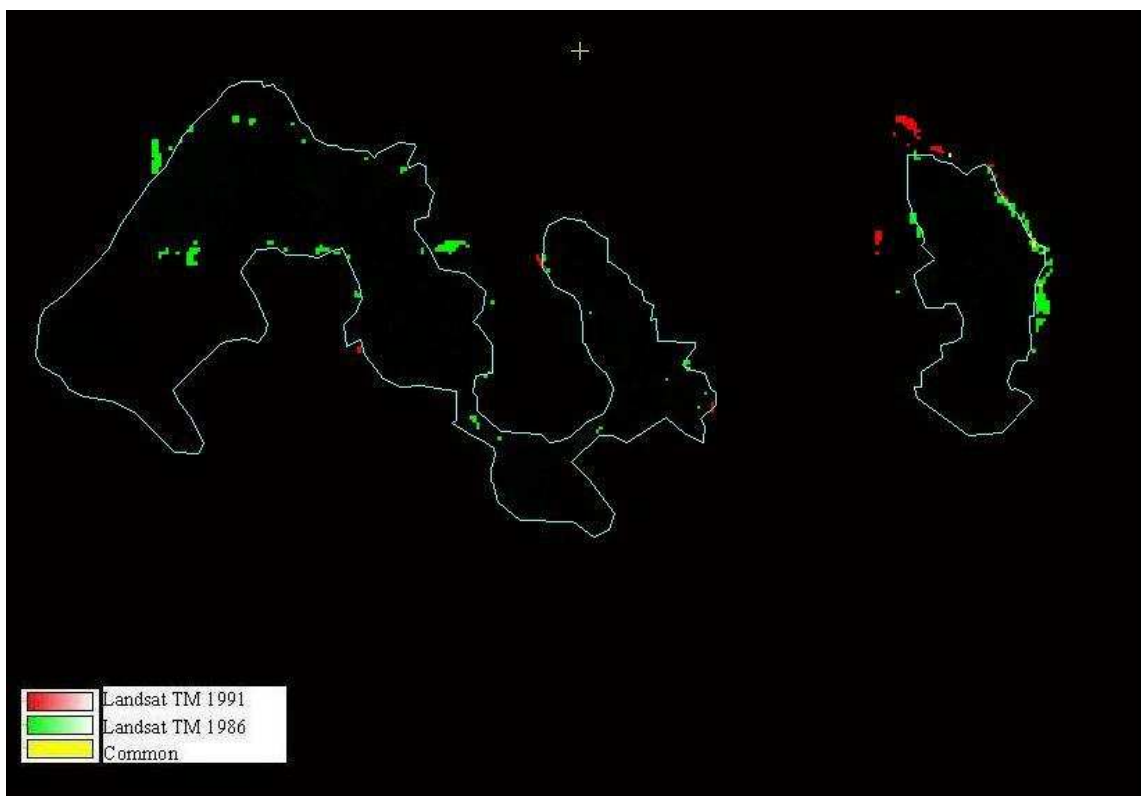
Εικόνα 8.26. Χάρτης αλλαγών της τεχνητής λίμνης 1986-1991



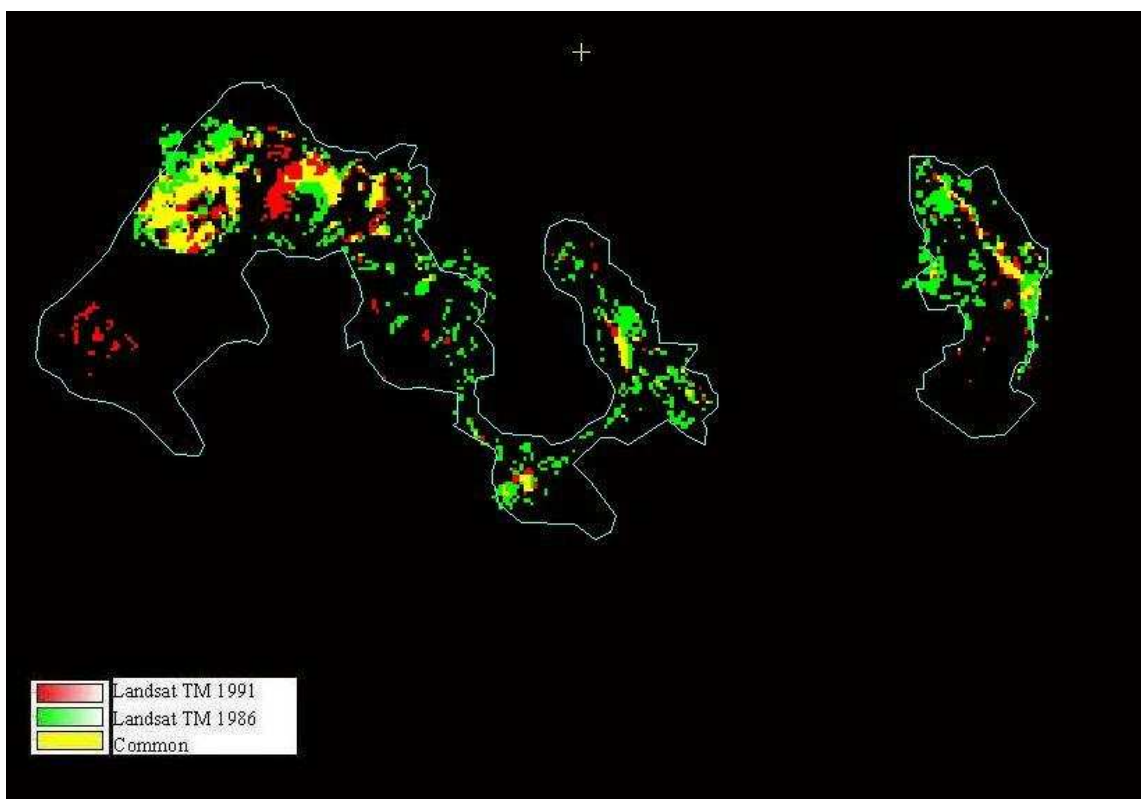
Εικόνα 8.27. Χάρτης αλλαγών των δρόμων και των αναβαθμίδων 1986-1991



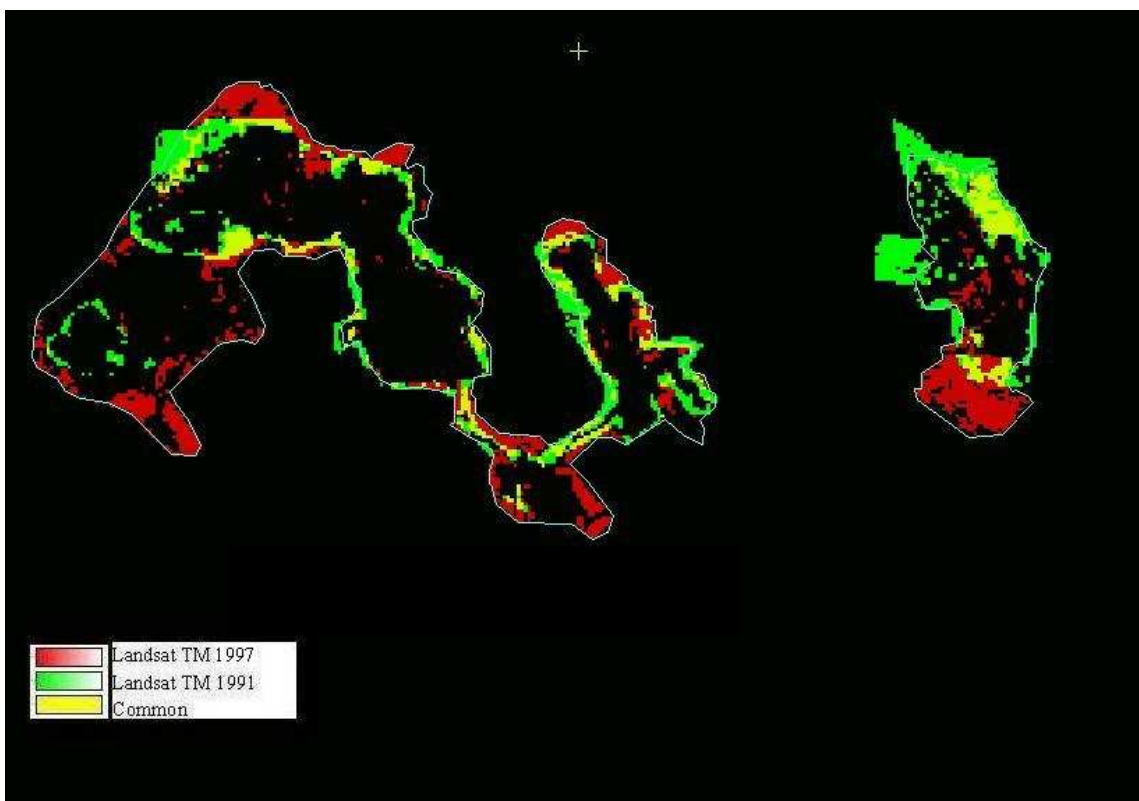
Εικόνα 8.28. Χάρτης αλλαγών των επικαλύψεων εδαφών 1986-1991



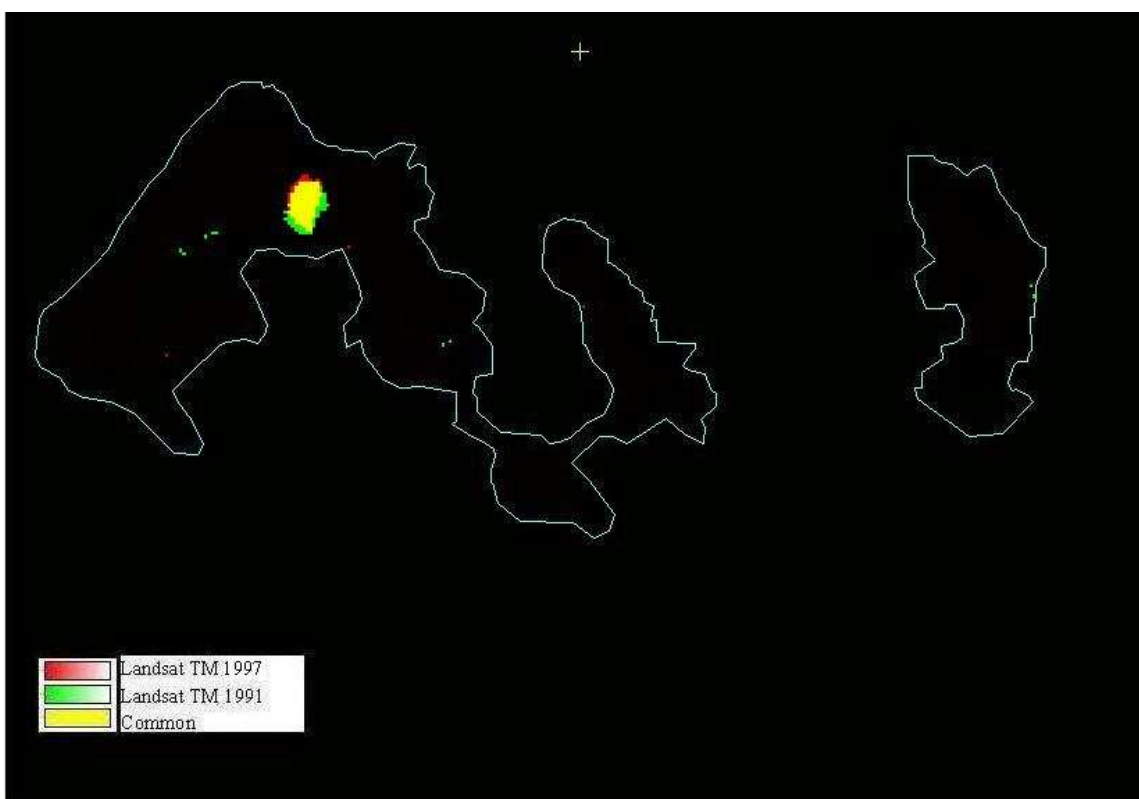
Εικόνα 8.29. Χάρτης αλλαγών των σκιαζόμενων επιφανειών 1986-1991



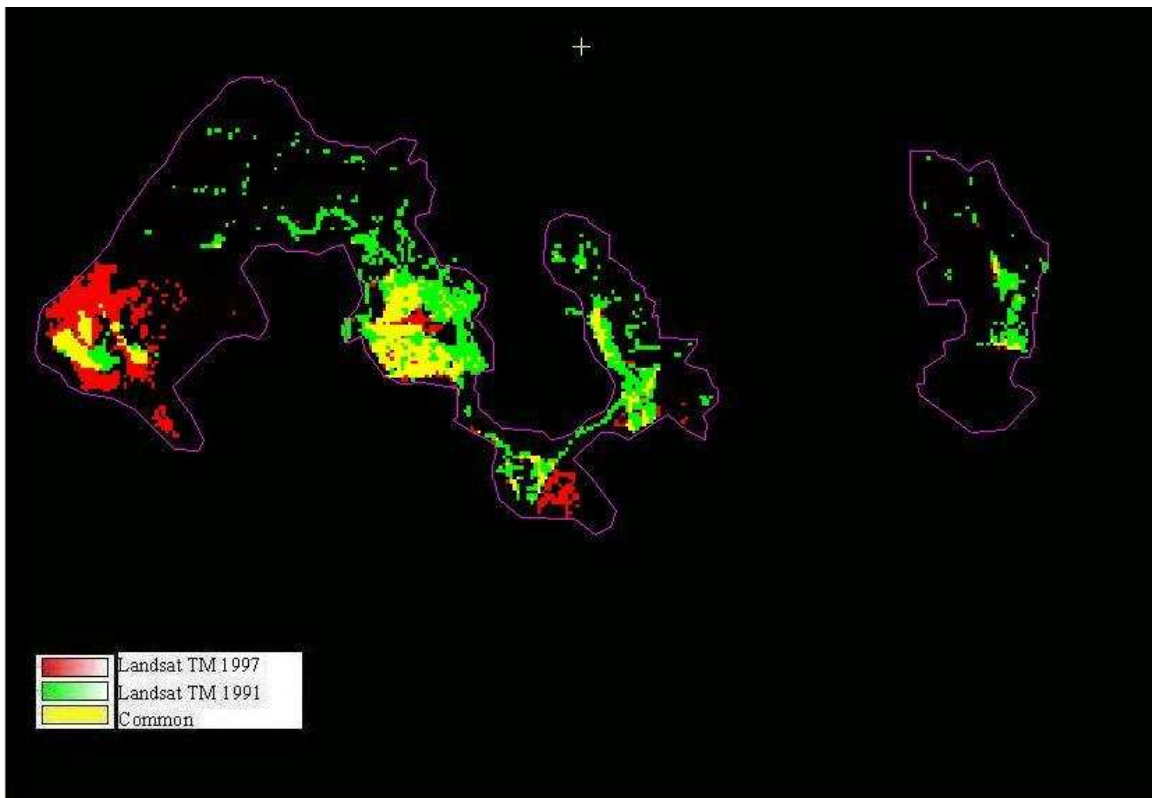
Εικόνα 8.30. Χάρτης αλλαγών του μητρικού υλικού 1986-1991



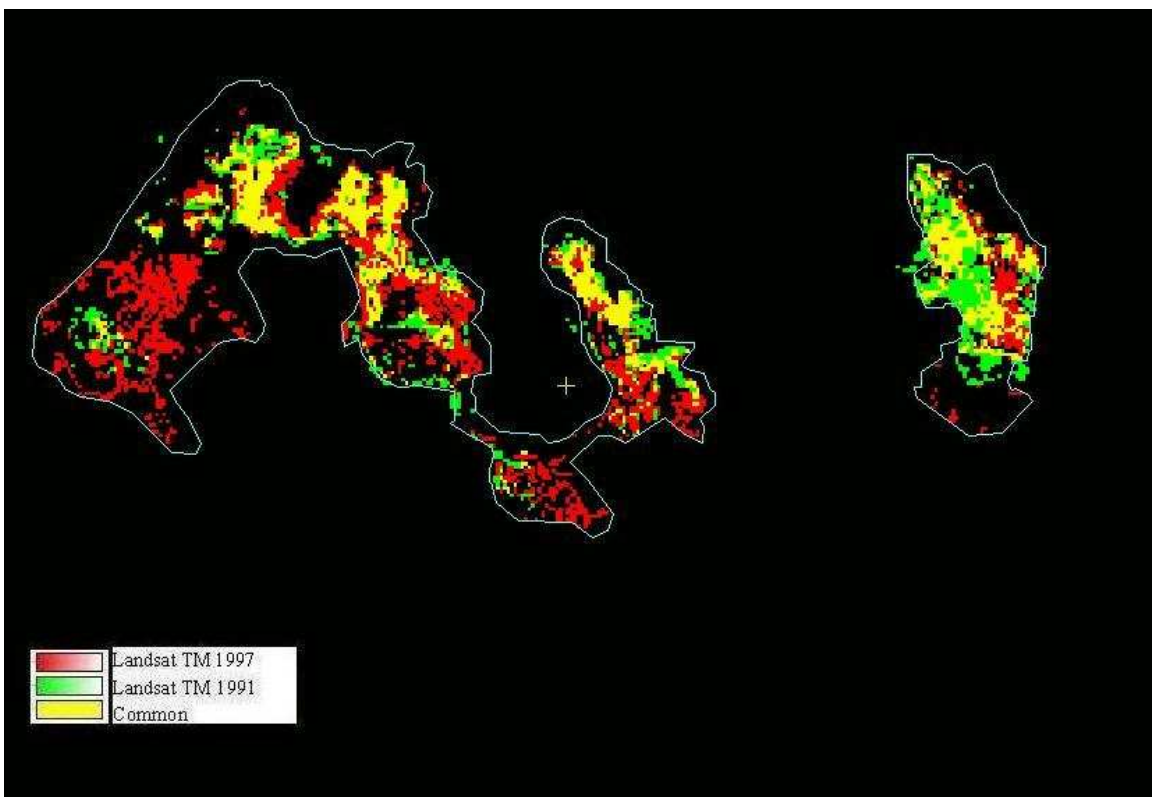
Εικόνα 8.31. Χάρτης αλλαγών των δασών και δασικών εκτάσεων 1991-1997



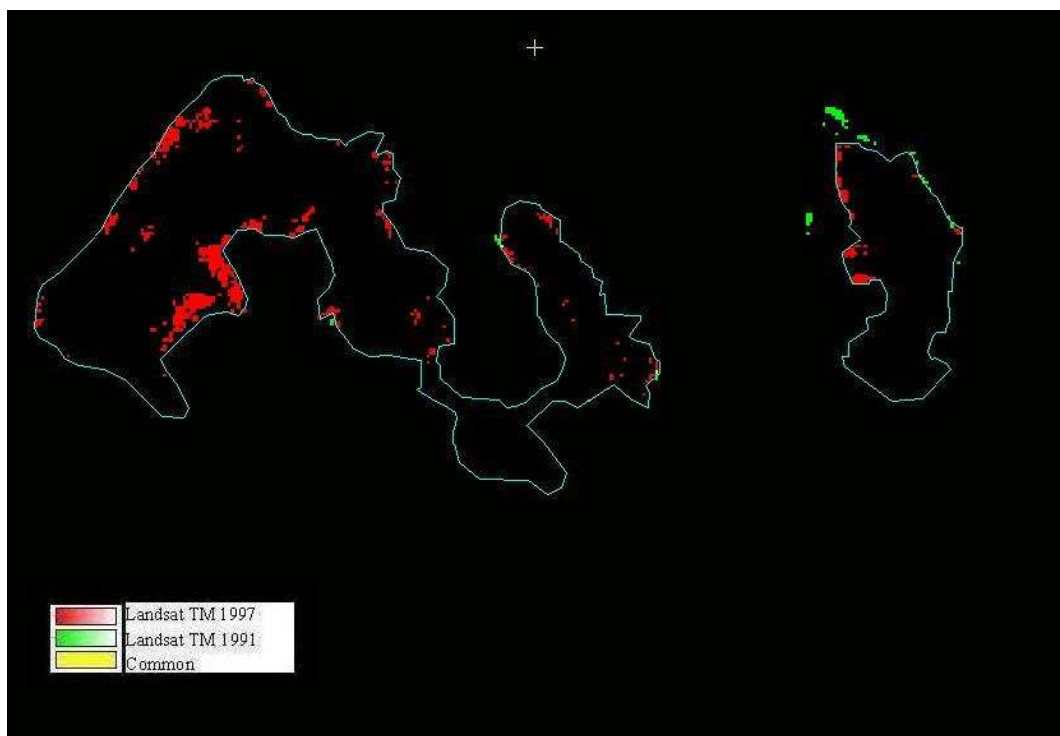
Εικόνα 8.32. Χάρτης αλλαγών της τεχνητής λίμνης 1991-1997



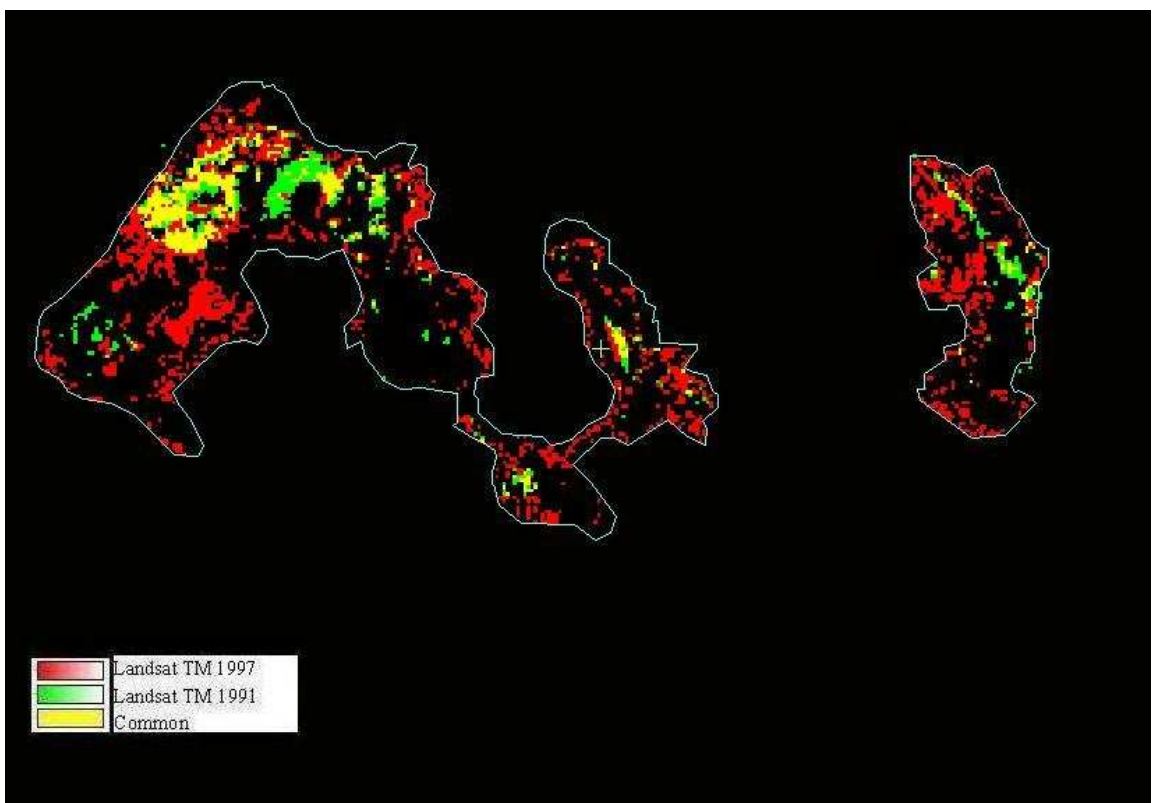
Εικόνα 8.33. Χάρτης αλλαγών των δρόμων και των αναβαθμίσεων 1991-1997



Εικόνα 8.34. Χάρτης αλλαγών των επικαλύψεων εδαφών 1991-1997



Εικόνα 8.35. Χάρτης αλλαγών των σκιαζόμενων επιφανειών 1991-1997



Εικόνα 8.36. Χάρτης αλλαγών του μητρικού υλικού 1991-1997

9. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΣΓΠ – ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ

9.1 ΓΕΝΙΚΑ

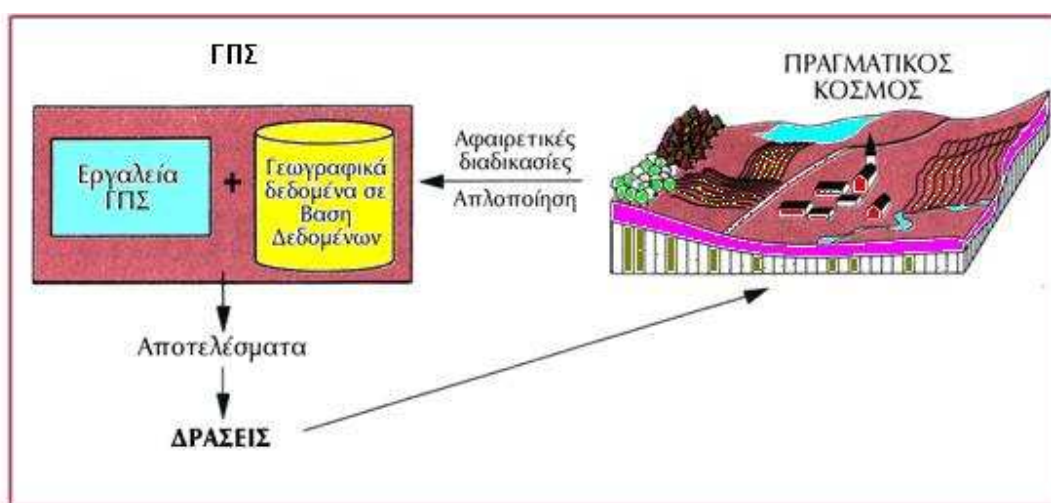
Στο κεφάλαιο 8 παρουσιάστηκε η καταγραφή των χρήσεων γης και η διαχρονική εξέλιξη των μεταλλευτικών δραστηριοτήτων στα μεταλλεία της ΛΑΡΚΟ στο Παγώντα και Σούρτζι στην Εύβοια. Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζονται η δημιουργία μιας δομημένης βάσης πληροφοριών η οποία ιεραρχείται κατάλληλα μέσα σ ένα ΣΓΠ. Η βάση αυτή είναι απαραίτητη για να εφαρμοστεί το μοντέλο λήψης αποφάσεων. Η ανάπτυξη του GIS των μεταλλείων της ΛΑΡΚΟ στο Παγώντα, Σούρτζι και Ίσωμα στην Εύβοια και της ευρύτερης περιοχής περιελάμβανε την επιλογή του κατάλληλου λογισμικού (software) διαχείρισης ετερογενών γεωγραφικών πληροφοριών και του αντίστοιχου ικανού εξοπλισμού (hardware), την εισαγωγή στο ενιαίο υπολογιστικό σύστημα των ανυσματικών δεδομένων σχετικά με τα διοικητικά όρια περιφερειών, νομών και δήμων, και του ψηφιακού θεματικού υποβάθρου και συσχέτισή του με τα διοικητικά όρια περιφερειών, νομών και δήμων και τέλος την δημιουργία και εισαγωγή στο ενιαίο υπολογιστικό σύστημα του ψηφιακού μοντέλου εδάφους και των πιθανών περιοχών που θα μπορούσαν να αποτελέσουν μικρές λεκάνες απορροής επιρρεπής σε πλημμυρικά φαινόμενα.

Η βάση δεδομένων είναι μια σειρά από γεω-εγγεγραμμένα επίπεδα (ψηφιακός χάρτης χρήσεων γης, ψηφιακός γεωλογικός χάρτης, ψηφιακή κατανομή κλίσεων κλπ) στο ίδιο σύστημα γεωγραφικής αναφοράς τα οποία επιτρέπουν την ταυτόχρονη επεξεργασία τους μέσα από τα εργαλεία χειρισμού ενός ΣΓΠ.

9.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗΣ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η εφαρμογή του μοντέλου λήψης αποφάσεων απαιτεί τη δημιουργία μιας ειδικής γεωγραφική βάσης δεδομένων σε ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ). Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν το GEOMATICA. Σε αυτό το ΣΓΠ προσαρμόστηκε το μοντέλο λήψης αποφάσεων για την αποκατάσταση των μεταλλευτικών δραστηριοτήτων το οποίο λειτουργεί πλήρως κατανεμημένα σε ένα κানাβο αρτεσιανών συντεταγμένων. Οι διαστάσεις του κάθε κελιού του κανάβου για την συγκεκριμένη εφαρμογή ήταν 5×5 μέτρα.

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 2 (παράγραφος 2.9), τα ΣΓΠ αποτελούν την ανάπτυξη μιας μοντέρνας τεχνολογίας στη χρήση των Ηλεκτρονικών Υπολογιστών (Η/Υ) όσον αφορά την ψηφιακή διασύνδεση των χωρικών δεδομένων και των βάσεων πληροφοριών που σχετίζονται με αυτά. Με τη χρήση των ΣΓΠ ο σύνθετος "πραγματικός κόσμος" μπορεί να "απλοποιηθεί", να "μεταφερθεί" στον Η/Υ και να "συντεθεί" εκ νέου με δομή που προσαρμόζεται στις προσωπικές ανάγκες του χρήστη (Σχήμα). Έτσι το ΣΓΠ αποτελεί το εργαλείο ανάλυσης και απλοποίησης σύνθετων δεδομένων που οδηγεί στη θεμελίωση μιας πυραμίδας λήψης αποφάσεων.



Σχήμα 9.1. Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών

Ο στόχος της ανάπτυξης του ΣΓΠ για την περιοχή των μεταλλείων της ΛΑΡΚΟ στο Παγώντα, Σούρτζι και Ίσωμα στην Εύβοια είναι η υποστήριξη λειτουργίας και η εφαρμογή του μοντέλου λήψης αποφάσεων αποκατάστασης.

9.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Το ΣΓΠ σχεδιάστηκε και δημιουργήθηκε με κατάλληλο τρόπο ώστε να είναι δυνατή η παροχή δεδομένων εισόδου για το μοντέλο λήψης αποφάσεων και να παρέχει τη δυνατότητα της χωρικής αποτύπωσης των δεδομένων εισόδου καθώς και των αποτελεσμάτων που θα εξαχθούν από το εν λόγω μοντέλο.

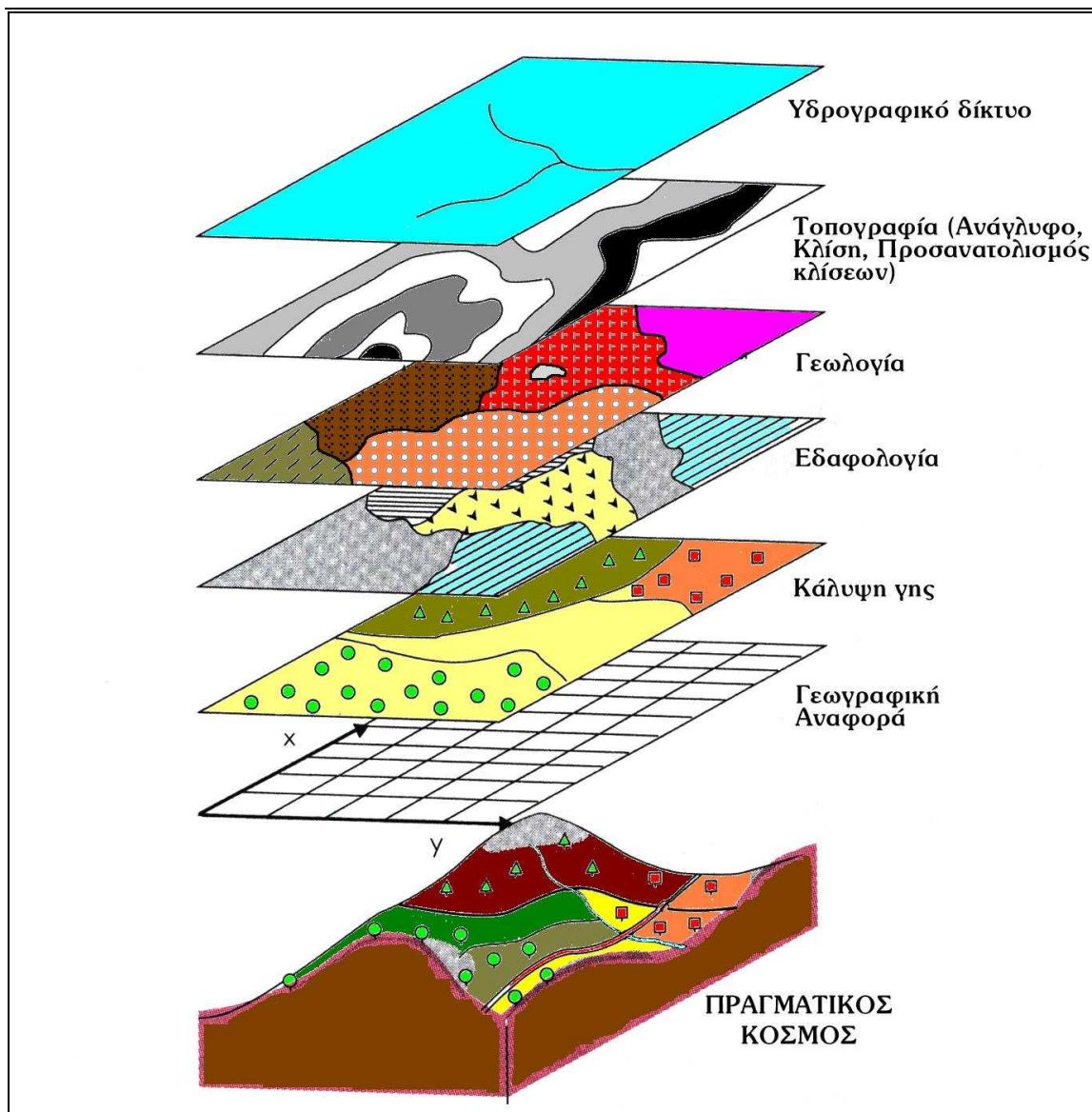
Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων τέθηκαν προδιαγραφές για το σύστημα που αφορούν στις απαιτήσεις ακρίβειας των πρωτογενών δεδομένων (χάρτες γενικής χρήσης,

γεωλογικά υπόβαθρα και δορυφορικές εικόνες με βάση την κλίμακα από την οποία προήλθαν) και στα χαρακτηριστικά τους (ευκρίνεια ψηφιοποιημένων χαρτών, λεπτομερειακή διανυσματοποίηση, εισαγωγή κατάλληλων περιγραφικών δεδομένων κ.λ.π.) καθώς και για τα επίπεδα πληροφoρίας που πρέπει να περιέχονται σε αυτή.

Σύμφωνα με τα παραπάνω η δομή του ΣΓΠ αποφασίστηκε να περιλαμβάνει εννιά (9) επίπεδα πληροφoρίας, τα οποία παρήχθησαν από πρωτογενείς χάρτες της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού, του ΙΓΜΕ και της Δασικής Υπηρεσίας του Υπουργείου Γεωργίας και είναι τα εξής (Σχήμα 9.2):

- Το ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου
- Το γεωλογικό ψηφιακό μοντέλο
- Το ψηφιακό μοντέλο της κάλυψης του εδάφους
- Το ψηφιακό μοντέλο του υδρογραφικού δικτύου
- Το ψηφιακό μοντέλο των κλίσεων
- Το ψηφιακό μοντέλο του προσανατολισμού των κλίσεων
- Όρια δήμων και κοινοτήτων
- Οδικό δίκτυο
- Κάλυψη CORINE Land-Cover 1990 (imagery 250m)

Στο τελικό αποτέλεσμα του ΣΓΠ επιλέχθηκε να γίνει αναγωγή όλων των επιπέδων πληροφoρίας στο ενιαίο Γεωγραφικό Σύστημα Αναφοράς ΕΓΣΑ87.



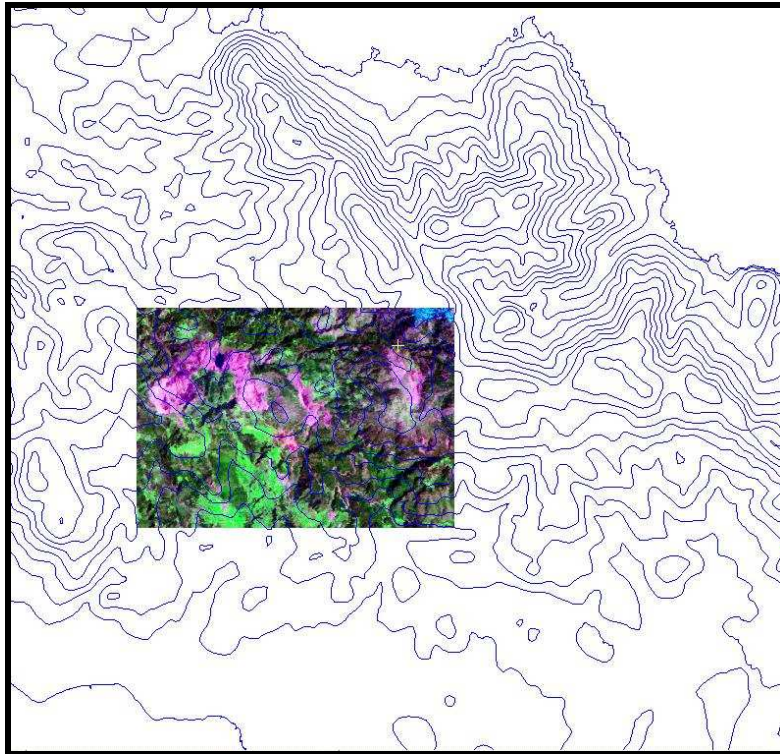
Σχήμα 9.2. Επίπεδα πληροφορίας Γεωγραφικού Πληροφοριακού Συστήματος

9.4 ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ (DIGITAL ELEVATION MODEL - DEM) ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΥΣ ΧΑΡΤΕΣ

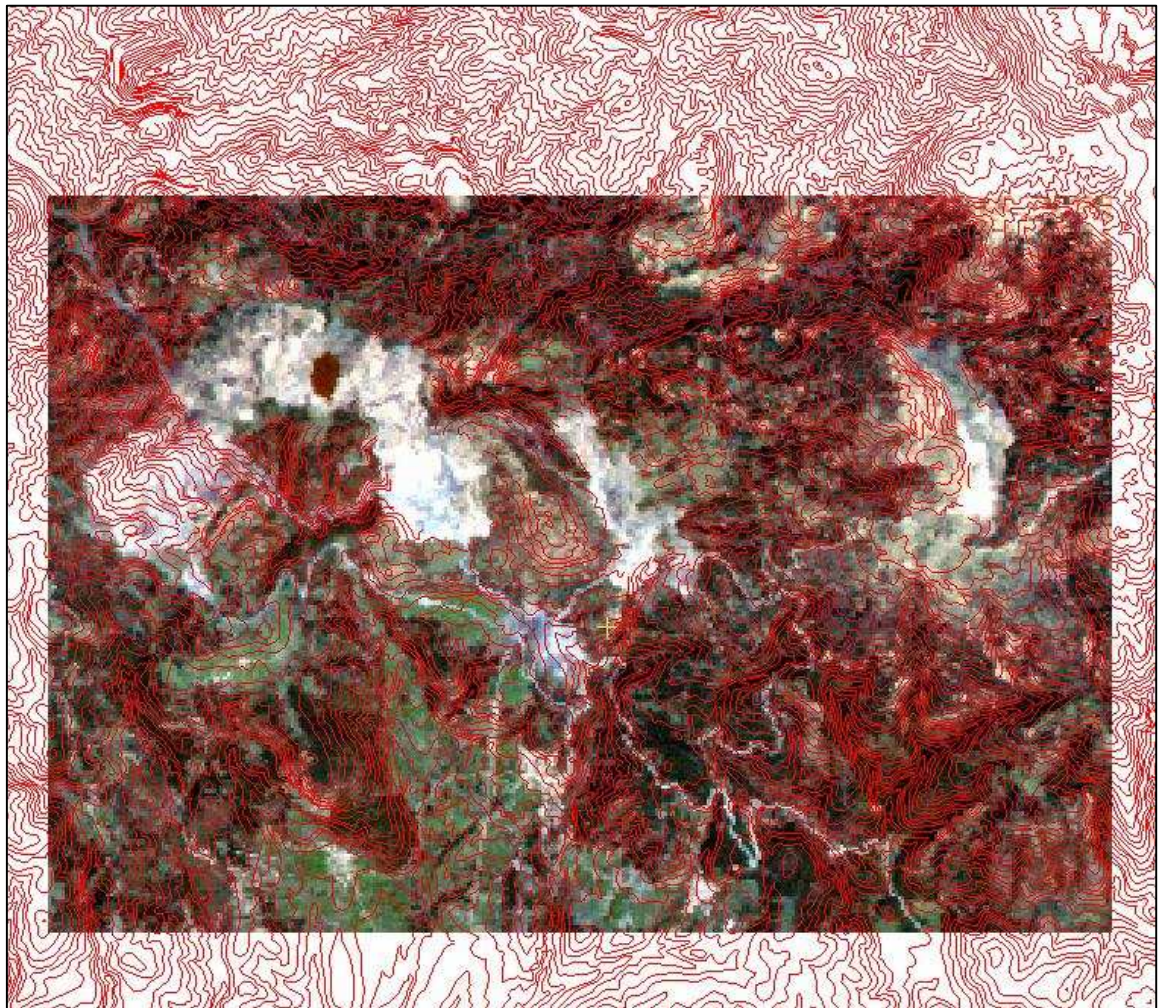
Το φύλλο χάρτη ΨΑΧΝΑ κλίμακας 1/50.000 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ) χρησιμοποιήθηκε σε τράπεζα ψηφιοποίησης Calcomp, (μεγέθους A0) για την εξαγωγή των ισοϋψών καμπυλών και την μετατροπή τους σε ανυσματική μορφή (vector). Τα δεδομένα επεξεργάστηκαν κατάλληλα στο Geomatica.

Ο χάρτης ψηφιοποιήθηκε σε ικανοποιητική ανάλυση ώστε να φαίνονται όσο γίνεται με μεγαλύτερη ευκρίνεια οι ισοϋψείς και το υδρογραφικό δίκτυο και κατόπιν διανυσματοποιήθηκαν. Για την διανυσματοποίηση χρησιμοποιήθηκαν οι ισοϋψείς ανά 20μ. Η τιμή των 10 μέτρων δημιουργήθηκε με επιπλέον ψηφιοποίηση ενδιάμεσων καμπυλών. Στην συνέχεια το ενιαίο ανυσματικό αρχείο μετετράπη από vector μορφή σε raster μορφή για την δημιουργία του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (Digital Elevation Model – DEM). Το υποπρόγραμμα GRDPOL χρησιμοποιήθηκε για την μετατροπή vector-to-raster. Κάθε ισοϋψή καμπύλη έλαβε τιμές από 0 έως 256 (8-bit). Με τιμή 0 θεωρήθηκε η θάλασσα (εικόνες 9.1 και 9.2).

Εν συνεχεία χρησιμοποιήθηκε το υποπρόγραμμα GRDINT το οποίο «γέμιζε» με τιμές το ενδιάμεσο χώρο μεταξύ των ισοϋψών καμπυλών λαμβάνοντα υπόψη για κάθε εικονοστοιχείο (pixel) τις τιμές των 8 γειτονικών τους pixels. Η μέθοδος αναδόμησης των pixel ήταν η cubic convolution. Το αποτέλεσμα ήταν το ενιαίο DEM με ανάλυση 10 μέτρων (εικόνες 9.3, 9.4 και 9.5).

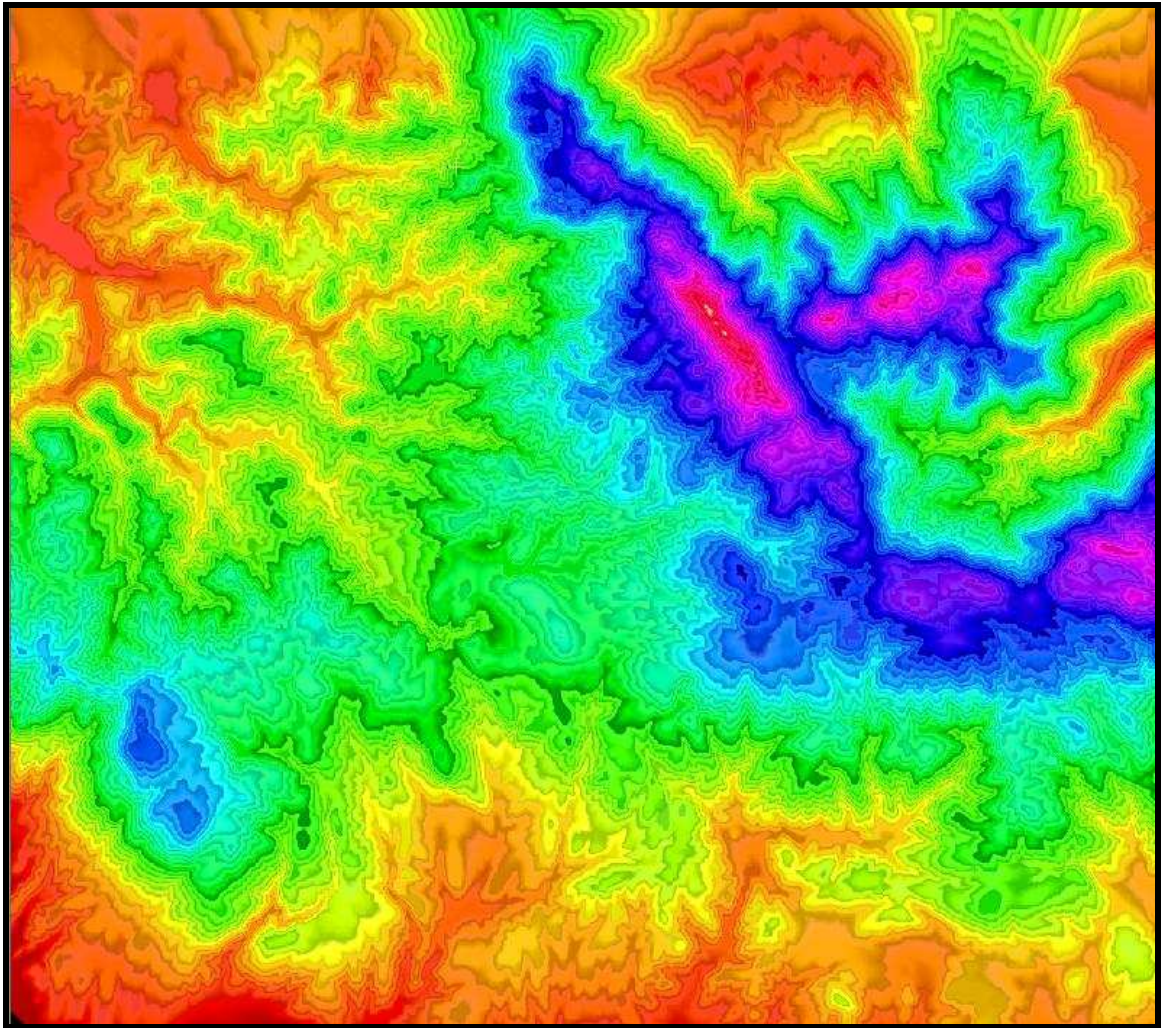


Εικόνα 9.1. Υπέρθεση των ψηφιοποιημένων ισοϋψών καμπυλών της περιοχής μελέτης των μεταλλείων Παγώντα και Σούρτζι επάνω στη δορυφορική εικόνα Landsat TM του 1997, 741(RGB)

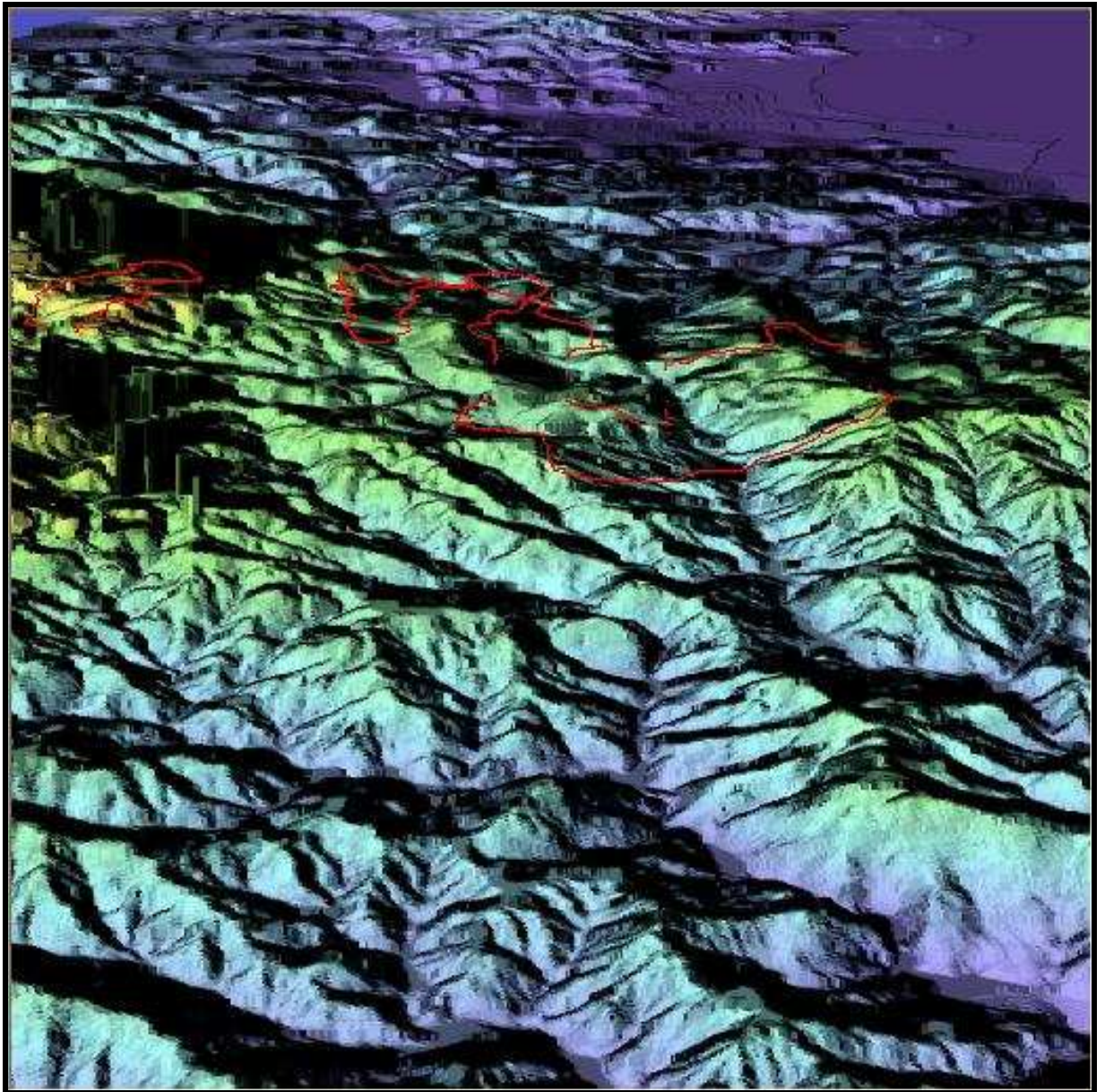


Εικόνα 9.2. Υπέρθηση των ψηφιοποιημένων ισοϋψών καμπυλών της περιοχής μελέτης των μεταλλείων Παγώντα και Σούρτζι επάνω στη δορυφορική εικόνα Landsat TM του 1997, 321(RGB) (λεπτομέρεια)

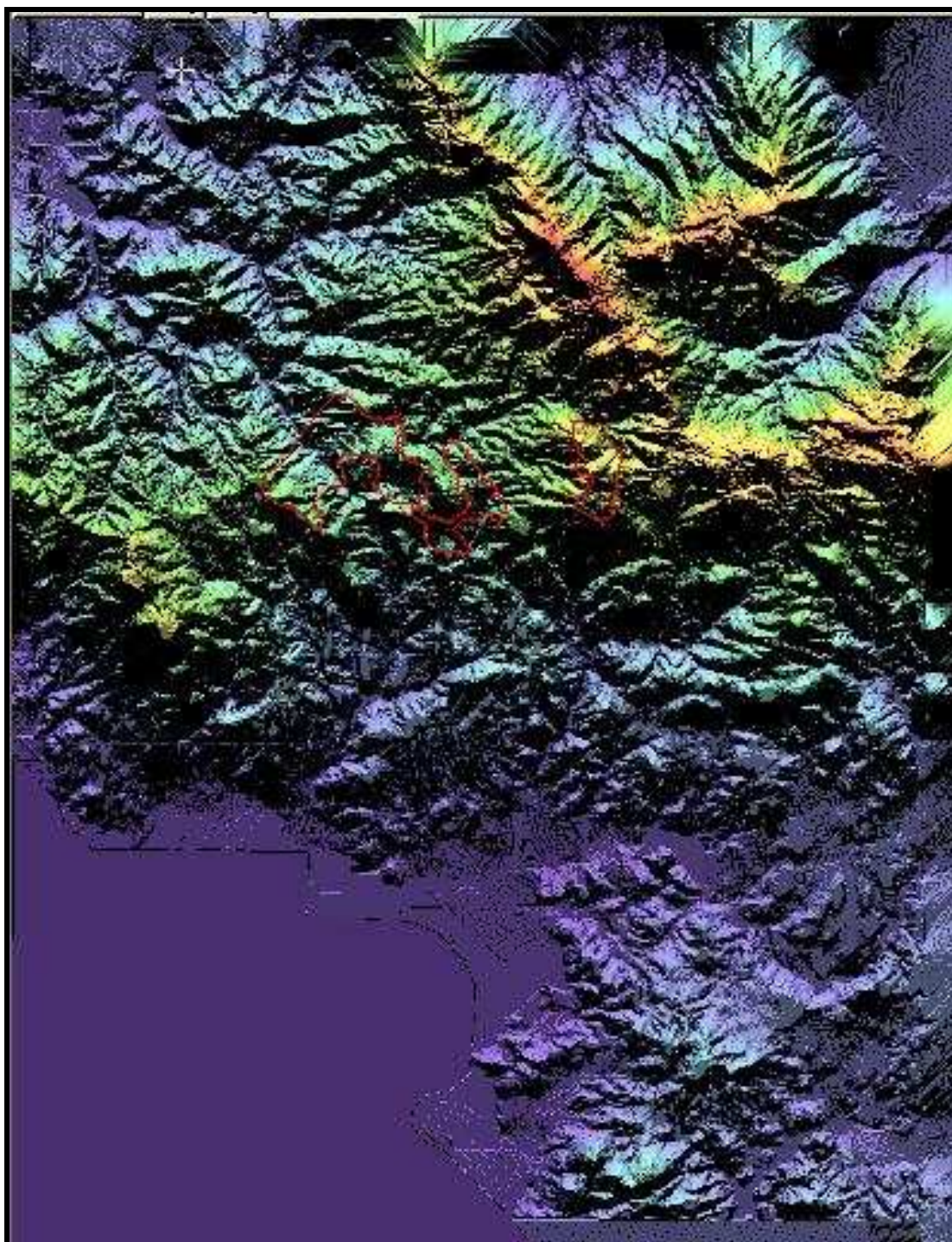
Το αποτέλεσμα ήταν το ενιαίο DEM με ανάλυση 30 μέτρων. Επιπλέον σημεία πάρθηκαν με το GPS από την ευρύτερη περιοχή των μεταλλείων για την βελτίωση της ανάλυσης του μοντέλου. Οι μετρήσεις-δειγματοληψίες έγιναν με το GPS 12XL Personal Navigator της GARMIN το οποίο διαθέτει ικανότητα να απεικονίσει ταυτόχρονα ως και 12 δορυφόρους καθώς και την ένδειξη ισχύος τους. Η χωρική ακρίβεια σε κάθε μέτρηση έφθανε συνήθως τα 5-8 μέτρα. (πρόκειται για την ένδειξη EPE της οθόνης). Είναι δυνατόν να παραμετροποιηθεί και να επιλεγεί η επιθυμητή μορφή για την αναγραφή της θέσης, είτε σε μοίρες, πρώτα, δεύτερα είτε σε δεκαδικές μοίρες είτε σε συντεταγμένες UTM, κ.α.. Για την παρούσα μελέτη επιλέχθηκε το ΕΓΣΑ'87.



Εικόνα 9.3. Ψηφιακό μοντέλο εδάφους της ευρύτερης περιοχής των μεταλλείων της ΛΑΡΚΟ. Η διαβάθμιση των χρωμάτων απεικονίζει με κίτρινο, πράσινο τα χαμηλά υψόμετρα κοντά στο ύψος της θάλασσας ενώ οι σκουρόχρωμες αποχρώσεις (μπλε και βαθύ μπλε) με αποκορύφωση το μοβ, τα μεγάλα υψόμετρα.



Εικόνα 9.4. Τρισδιάστατη αναπαράσταση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους της ευρύτερης περιοχής των μεταλλείων της ΛΑΡΚΟ με υπέρθεση το πολύγωνο οριοθέτησης των μεταλλείων του Παγώντα και Σούρτζ (προσανατολισμός βοράς → νότος).



Εικόνα 9.5. Δισδιάστατη ανάγλυφη αναπαράσταση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους της ευρύτερης περιοχής των μεταλλείων της ΛΑΡΚΟ με υπέρθεση το πολύγωνο οριοθέτησης των μεταλλείων του Παγώντα και Σούρτζι.

Η χρήση του **ψηφιακού μοντέλου εδάφους** παράγει τα ακόλουθα τέσσερα σύνολα στοιχείων / δεδομένων (Jenson και Domingue, 1988) που απαιτούνται για όλα τα επόμενα στάδια ανάλυσης των υπολεκανών/ υδροκριτών της ευρύτερης περιοχής μελέτης των μεταλλείων της ΛΑΡΚΟ στο Παγώντα, Σούρτζι και Ίσωμα στο Νομό Ευβοίας.

Δημιουργία ψηφιακού μοντέλου εδάφους απουσία κοιλοτήτων ('depressionless' digital elevation image).

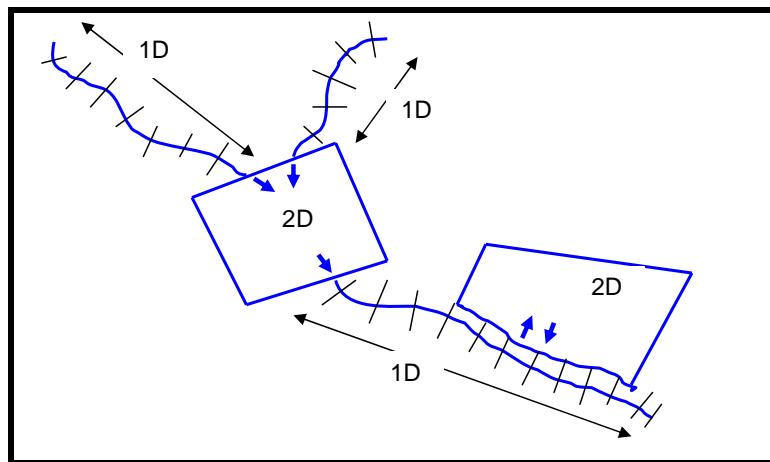
Τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους περιέχουν πάντα κρυφές κοιλοότητες οι οποίες επηρεάζουν ή εμποδίζουν την επιφανειακή ροή. Ο στόχος του πρώτου βήματος είναι να δημιουργηθεί μια ελεγχόμενη κατάσταση (conditioning phase) κάτω από την οποία όλα τα εικονοστοιχεία (pixels) που βρίσκονται στις κοιλοότητες του εδάφους να αποκτήσουν υψομετρικές τιμές οι οποίες είναι ίσες με τις μικρότερη τιμή που συναντάται στα pixels που βρίσκονται στα όρια του υδροκρίτη των κοιλοτήτων αυτών. Κάθε pixel αυτού του **ψηφιακού μοντέλου εδάφους** αποκτά μια ελαττωμένη η τιμή σε σχέση με το γειτονικό του pixel με αποτέλεσμα να δημιουργείται μία πορεία από pixels που συνεχώς ελαττώνεται η τιμή τους (ως προς το υψόμετρο) και τα οποία οδηγούν στην άκρη (έξοδο) του κάθε υδροκρίτη. Μια τυπική πορεία αποτελείται από τα pixels που είναι παρακαείμενα οριζόντια, κάθετα, ή διαγώνια στο raster (συνεκτικότητα οκτώ-τρόπων) και που μειώνεται σταθερά ως προς την τιμή τους.

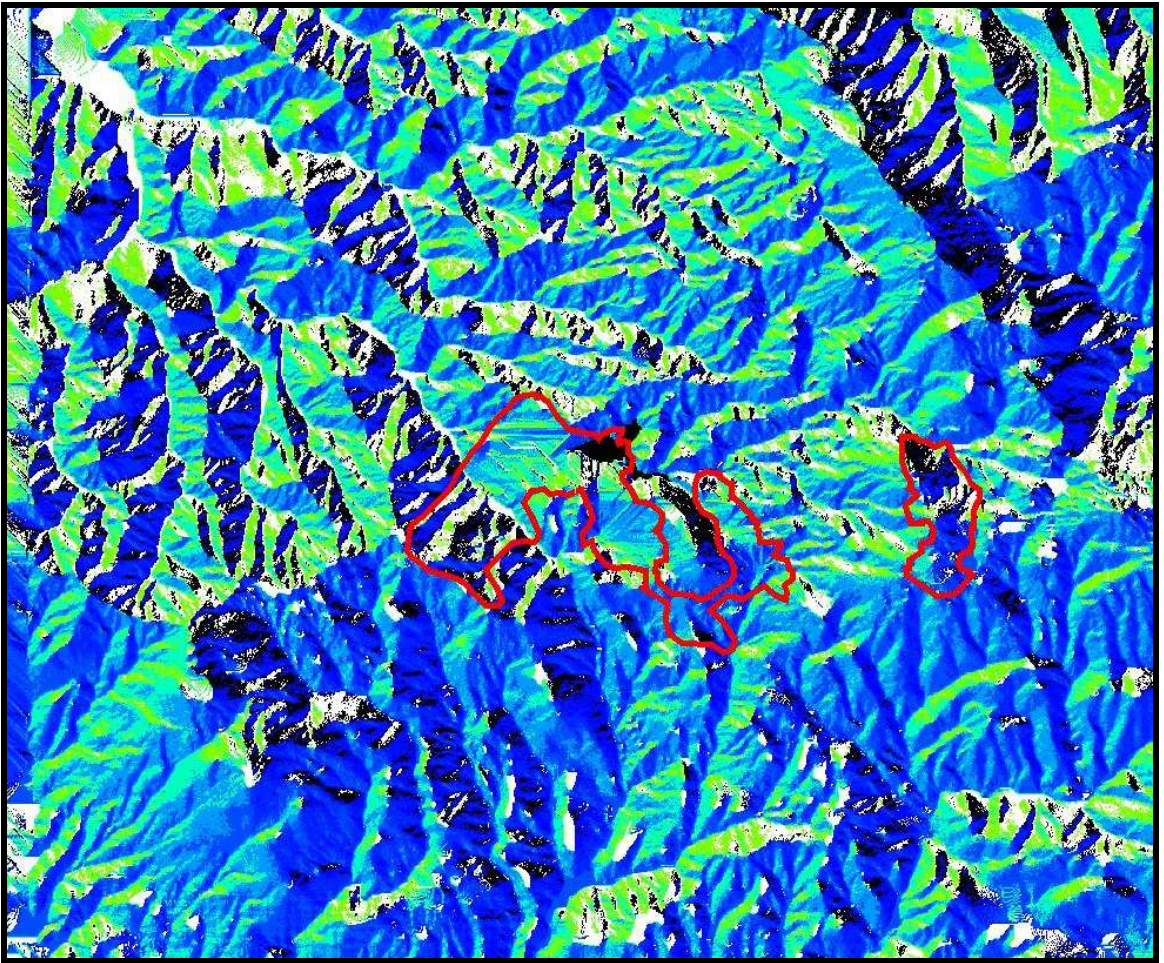
Δημιουργία ενός συνόλου στοιχείων που δείχνει την κατεύθυνση ροής για κάθε pixel

Αυτή η διαδικασία χτίζει το σύνολο στοιχείων κατεύθυνσης ροής. Η κατεύθυνση ροής για ένα pixel είναι η κατεύθυνση του νερού που θα ρεύσει από το κάθε pixel (εικόνα 9.6). Η κατεύθυνση ροής κωδικοποιείται για να αντιστοιχεί στον προσανατολισμό ενός από τα οκτώ pixels που περιβάλλουν το pixel (X) ως εξής:

| | | |
|----|----------|---|
| 64 | 128 | 1 |
| 32 | X | 2 |
| 16 | 8 | 4 |

Παραδείγματος χάριν, εάν το pixel **X** ρέει προς τα αριστερά του παραπάνω πίνακα, η κατεύθυνση ροής του θα κωδικοποιηθεί ως 32., Η κωδικοποίηση της κατεύθυνσης ροής γίνεται στη δύναμη του δύο, έτσι ώστε οι όροι του πίνακα γύρω από το pixel **X** αντιστοιχούν σε μοναδικές τιμές όταν οι δυνάμεις του δύο αθροίζονται.

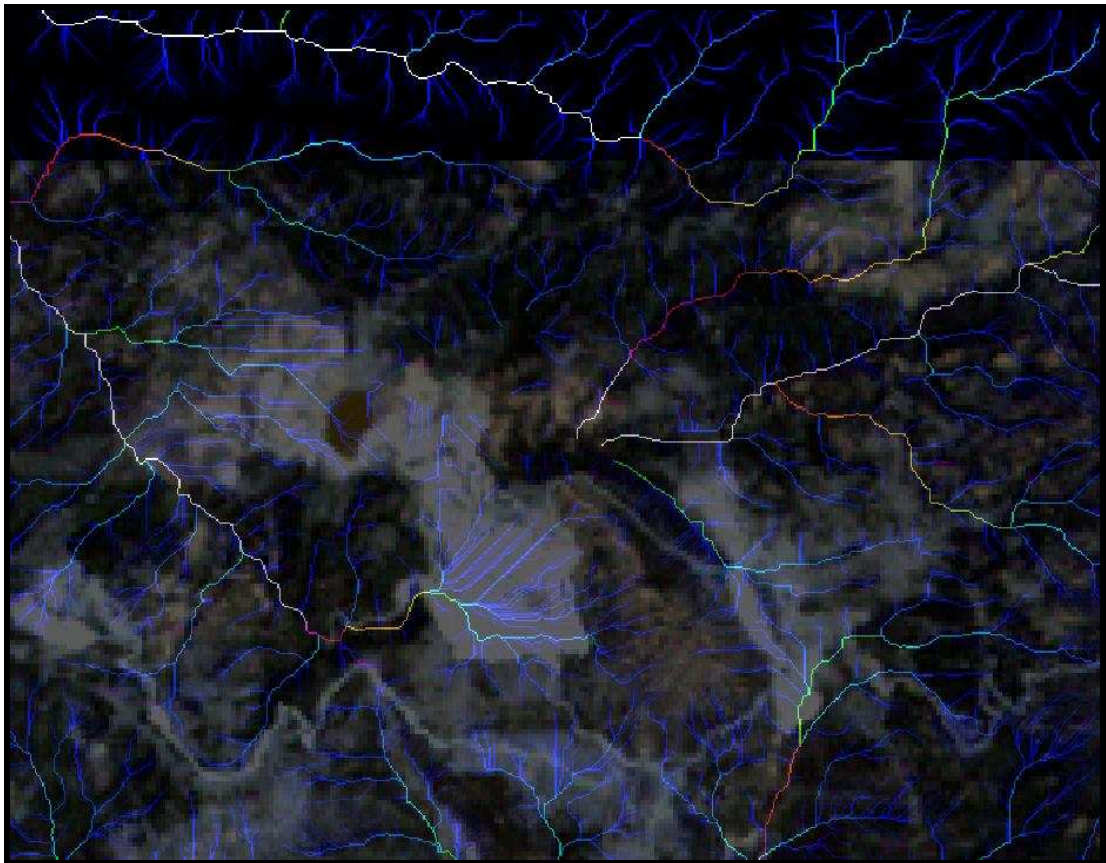




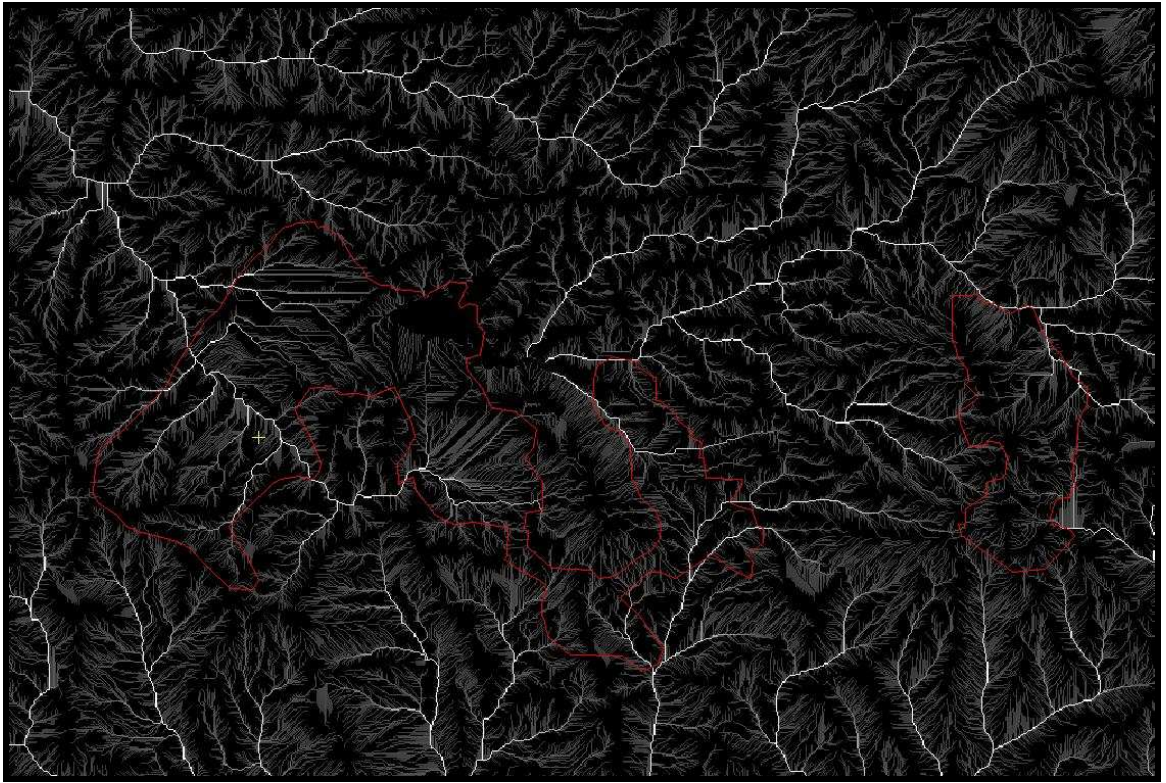
Εικόνα 9.6. Χάρτης δείκτης της κατεύθυνσης ροής (Flow direction map). Τα ανοιχτά χρώματα δείχνουν κοιλάτες συσσώρευσης νερού. Το κόκκινο πολύγωνο είναι οι θέσεις των μεταλλείων Παγώντας και Σούρτζι.

Δημιουργία ενός συνόλου στοιχείων συσσώρευσης ροής στο οποίο κάθε pixel λαμβάνει μια τιμή ίση με το συνολικό αριθμό των pixels που στραγγίζουν σε αυτό

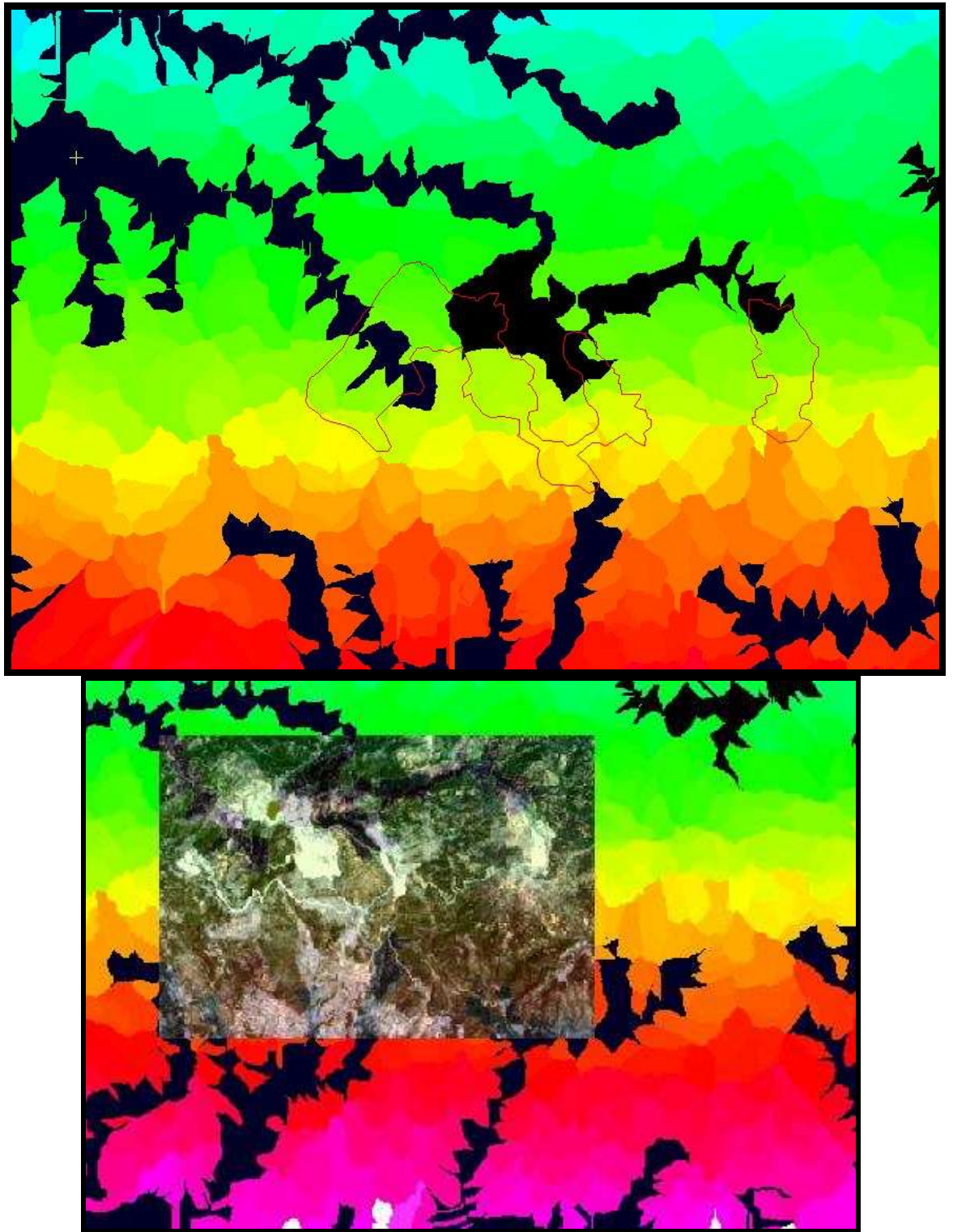
Αυτή η διαδικασία χρησιμοποιεί τα στοιχεία κατεύθυνσης ροής για να δημιουργήσει το σύνολο στοιχείων συσσώρευσης ροής, όπου σε κάθε pixel ορίζεται μια τιμή ίση με τον αριθμό pixels που ρέουν σε αυτό. Τα pixels που έχουν μια τιμή συσσώρευσης ροής μηδέν (πχ δεν ρέουν σ' αυτά άλλα pixels), γενικά αντιστοιχούν στα όρια των υδροκριτών. Επειδή όλα τα pixels σε ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους απουσία κοιλοτήτων έχουν μια πορεία προς στην άκρη του συνόλου των στοιχείων (σημείο εξόδου), το σχήμα που διαμορφώνεται από το σύνολο των pixels σκιαγραφεί ένα πλήρως συνδεδεμένο δίκτυο στράγγισης. Δεδομένου ότι η τιμή των κατώτατων ορίων των pixels αυξάνεται, η πυκνότητα του δικτύου στράγγισης μειώνεται προς την έξοδο της ροής (εικόνες 9.7, 9.8 και 9.9).



Εικόνα 9.7. Δίκτυο στράγγισης με συνδυασμό τη δορυφορική εικόνα Landsat TM



Εικόνα 9.8. Δίκτυο στράγγισης με υπέρθεση το πολύγωνο οριοθέτησης των μεταλλείων Παγώντα και Σούρτζι



Εικόνα 9.9. Ψηφιακή σύνθεση του χάρτη υπολεκανών της ευρύτερης περιοχής μελέτης των μεταλλείων Παγώντα και Σούρτζι και της δορυφορικής εικόνας Landsat TM.

Δημιουργία ενός συνόλου διαφορών Δ στο οποίο κάθε pixel είναι ίσο με την αύξηση στην αζία συσσώρευσης ροής στην κατεύθυνση ροής

Αυτή η διαδικασία παράγει σύνολο τιμών διαφοράς Δ. Η τιμή του δέλτα είναι το ποσό αύξησης στην τιμή συσσώρευσης της ροής στην κατεύθυνση ροής. Αυτό το σύνολο στοιχείων είναι χρήσιμο για την αυτόματη παραγωγή των υπολεκανών καθώς και τον εντοπισμό των σημείων που παρατηρούνται λιμνάζοντα ύδατα

9.5 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΛΙΣΕΩΝ

Το μοντέλο κλίσεων δημιουργήθηκε με βάση το ψηφιακό μοντέλο εδάφους. Για κάθε εικονοστοιχείο υπολογίστηκε η κλίση με βάση το ψηφιακό μοντέλο εδάφους. Η κλίση ενός pixel υπολογίζεται ως η κλίση ενός επιπέδου που ορίζεται από το άνωσμα που συνδέει το αριστερό και δεξί γειτονικό pixel και το άνωσμα που συνδέει το επάνω και κάτω γειτονικό pixel. Οι κλίσεις των εικονοστοιχείων παίρνουν τιμές από 0 έως 90 (εικόνα 9.10).

Για κάθε pixel $p = (px, py, pz)$ ορίζονται τα px , py ως οι τυχαίες τιμές στον άξονα x και y και pz η τιμή του υψομέτρου. Τα αμέσως γειτονικά Pixels του p είναι τα a , b , c , d όπου $a=(px, py-1, az)$, $b=(px-1, py, bz)$, κλπ....

. a .

b d c

. d .

Η γωνία κλίσης υπολογίζεται ως ακολούθως:

Ορίζονται δύο ανύσματα, $V1$ and $V2$, διαγώνια ως προς το pixel p :

$$V1 = (dx, 0, dzx) = (2 * PXSZ(1), 0, (bz - cz) * ELSZ) \quad (\text{από αριστερά προς τα δεξιά})$$

$$V2 = (0, dy, dzy) = (0, 2 * PXSZ(2), (az - dz) * ELSZ) \quad (\text{από πάνω προς τα κάτω})$$

όπου dzx και dzy είναι οι μεταβολές του υψομέτρου μεταξύ των pixels και dx και dy είναι η προβαλλόμενη απόσταση μεταξύ των pixels. Τα PXSZ (χωρική ανάλυση pixel σε μέτρα) και ELSZ (υψομετρική ανάλυση pixel σε μέτρα) είναι παράμετροι που μεταβάλλονται από το χρήστη.

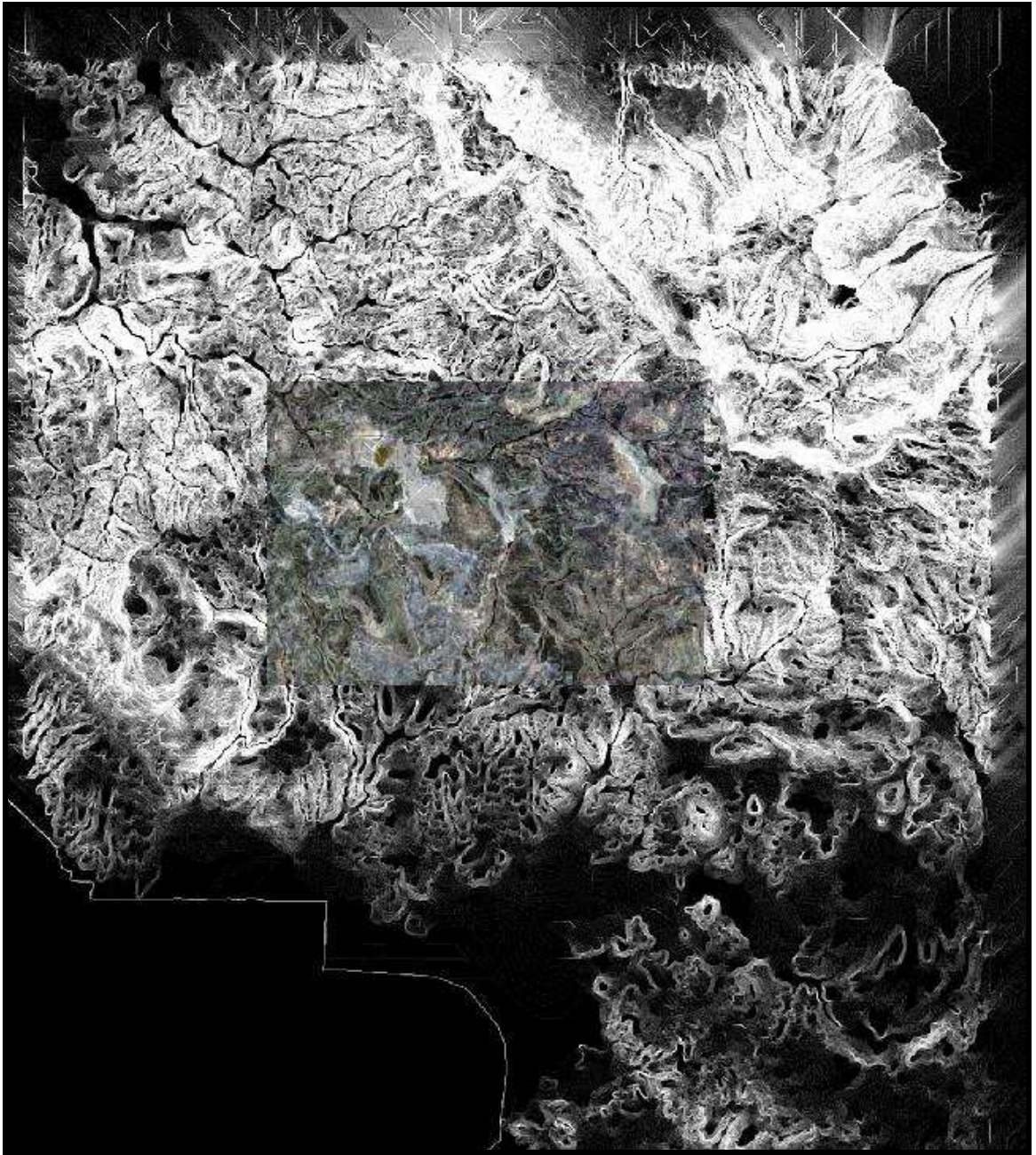
Το κοινό άνωσμα του επιπέδου που ορίζεται από τη διαγώνιο σύνδεση των δύο ανυσμάτων V1 και V2 βρίσκεται με τη παρακάτω εξίσωση:

$$N = V1 \times V2 = (-dy*dzx, -dx*dzy, dx*dy) = (nx, ny, nz).$$

Το συνημίτονο της γωνίας μεταξύ του τυπικού ανύσματος και του οριζόντιου επιπέδου υπολογίζεται ως: $\sin(\text{ang}) = nz/\sqrt{nx^{**2}+ny^{**2}+nz^{**2}}$

Η κλίση του επιπέδου = 90 – κλίση του κοινού ανύσματος, έτσι η κλίση για κάθε pixel υπολογίζεται ως :

$$\text{κλίση} = \arccos(nz / \sqrt{nx^{**2}+ny^{**2}+nz^{**2}})$$



Εικόνα 9.10. Μοντέλο κλίσεων της περιοχής μελέτης με υπέρθεση τη δορυφορική εικόνα Landsat TM 1991

9.6 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΚΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ

Η έκθεση ενός εικονοστοιχείου υπολογίζεται ως ο προσανατολισμός του επιπέδου που ορίζεται επιπέδου που ορίζεται από το άνυσμα που συνδέει το αριστερό και δεξί γειτονικό pixel και το άνυσμα που συνδέει το επάνω και κάτω γειτονικό pixel. Η γωνία μεταξύ του Βορρά (κορυφή της εικόνας) και της προβολής του κοινού ανύσματος αυτού του επιπέδου επάνω στο οριζόντιο επίπεδο. Οι τιμές είναι από 0 έως 360 μοίρες (εικόνα 9.11). Τα PXSZ (χωρική ανάλυση pixel σε μέτρα) και ELSZ (υψομετρική ανάλυση pixel σε μέτρα) είναι παράμετροι που μεταβάλλονται από το χρήστη.

Για κάθε pixel $p = (p_x, p_y, p_z)$ ορίζονται τα p_x , p_y ως η θέση του pixel στον άξονα X και Y και p_z η τιμή του υψομέτρου. Τα αμέσως γειτονικά pixels του p είναι τα a , b , c , και d , όπου $a=(p_x, p_y-1, a_z)$, $b=(p_x-1, p_y, b_z)$ και ούτω καθεξής.

. a .

b p c

. d .

Η γωνία έκθεσης υπολογίζεται ως ακολούθως:

1) καθορίζονται δύο ανύσματα, $V1$ και $V2$, διαγώνια ως προς το pixel p :

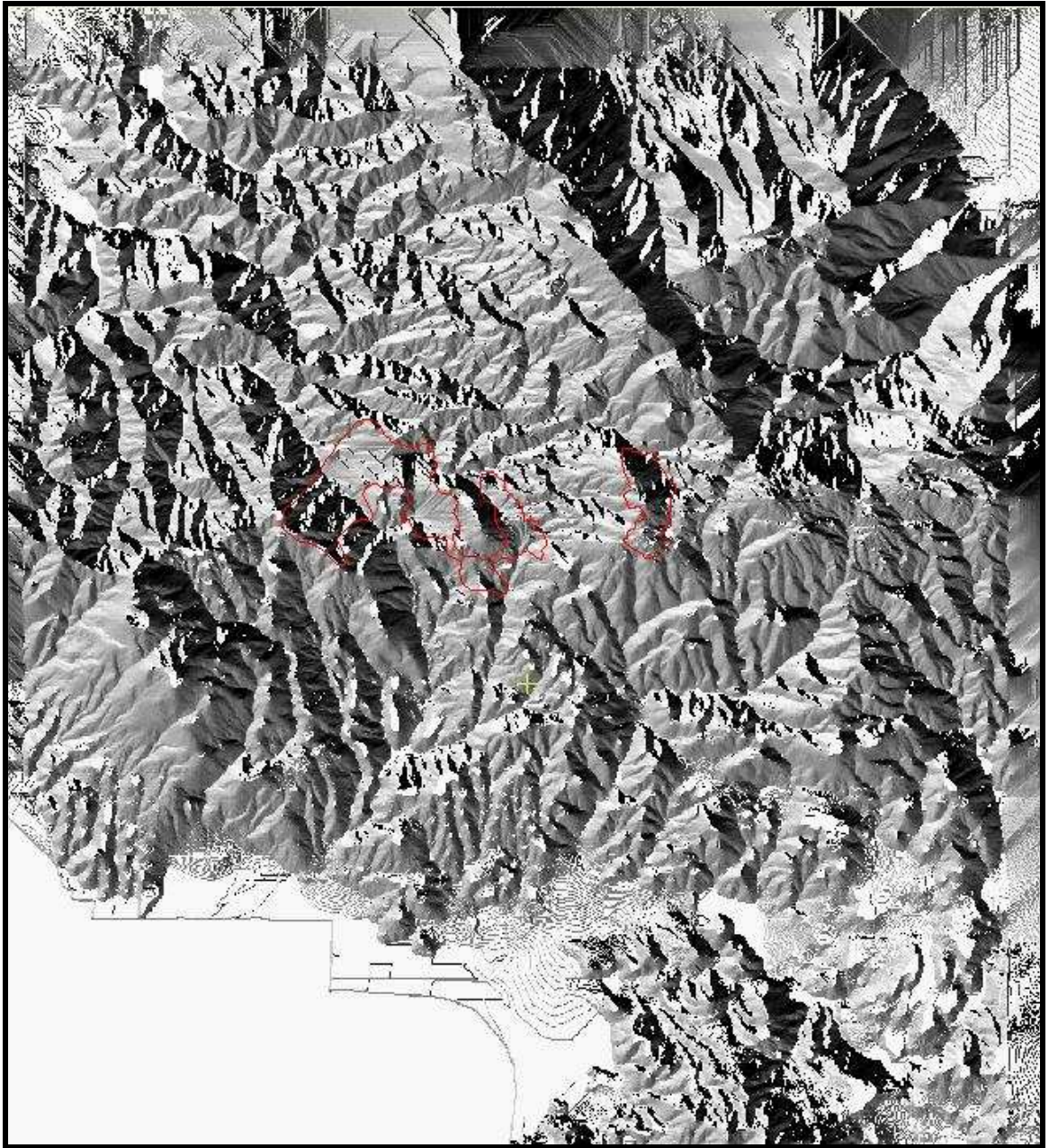
$$V1 = (dx, 0, dzx) = (2 * PXSZ(1), 0, (bz - cz) * ELSZ) \quad (\text{αριστερά προς τα δεξιά})$$

$$V2 = (0, dy, dzy) = (0, 2 * PXSZ(2), (az - dz) * ELSZ) \quad (\text{από πάνω προς τα κάτω})$$

όπου, dzx και dzy είναι οι μεταβολές στο υψόμετρο μεταξύ των pixels, και dx και dy είναι η προβαλλόμενες αποστάσεις μεταξύ των pixels.

2) καθορίζεται το κοινό άνυσμα του επιπέδου που ορίζεται από τη διαγώνια σύνδεση των δύο ανυσμάτων $V1$ και $V2$ βρίσκεται με τη παρακάτω εξίσωση:

$$N = V1 \times V2 = (-dy * dzx, -dx * dzy, dx * dy) = (n_x, n_y, n_z).$$

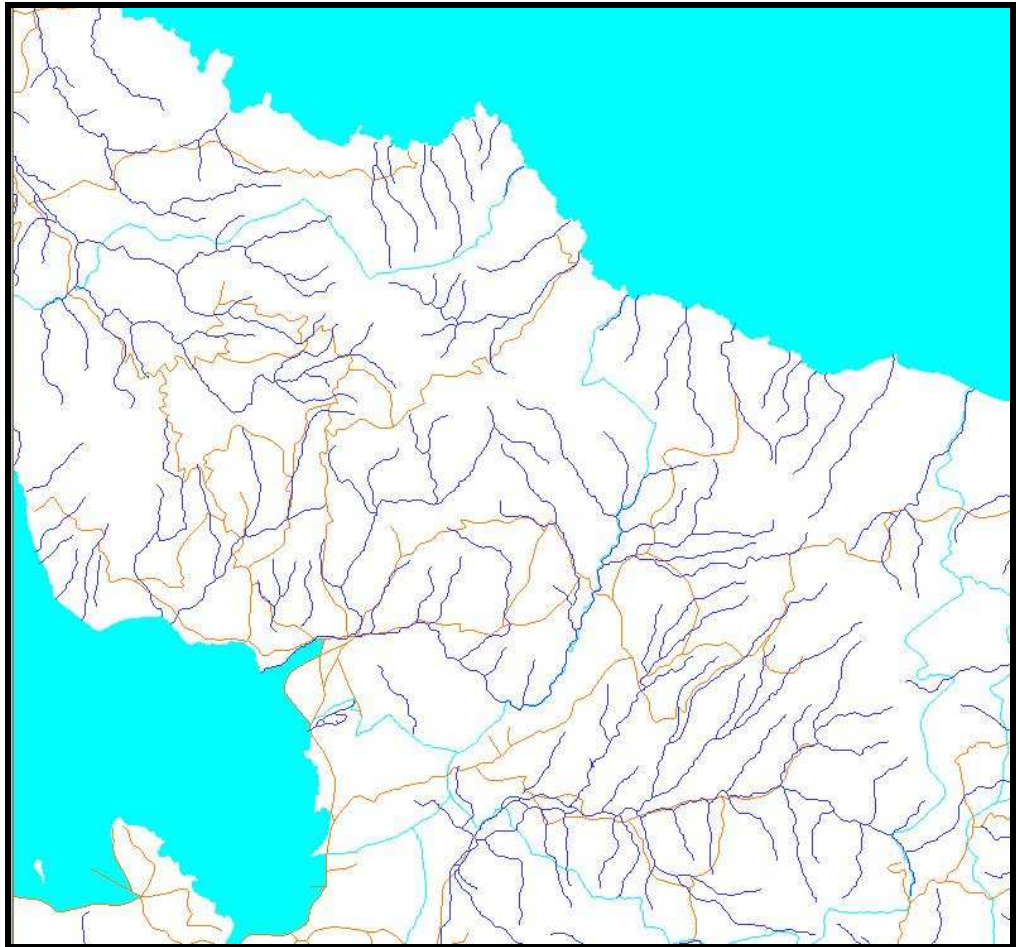


Εικόνα 9.11. Μοντέλο έκθεσης και προσανατολισμού της περιοχής μελέτης με υπέρθεση το πολύγωνο οριοθέτησης των μεταλλείων Παγώντας και Σούρτζι

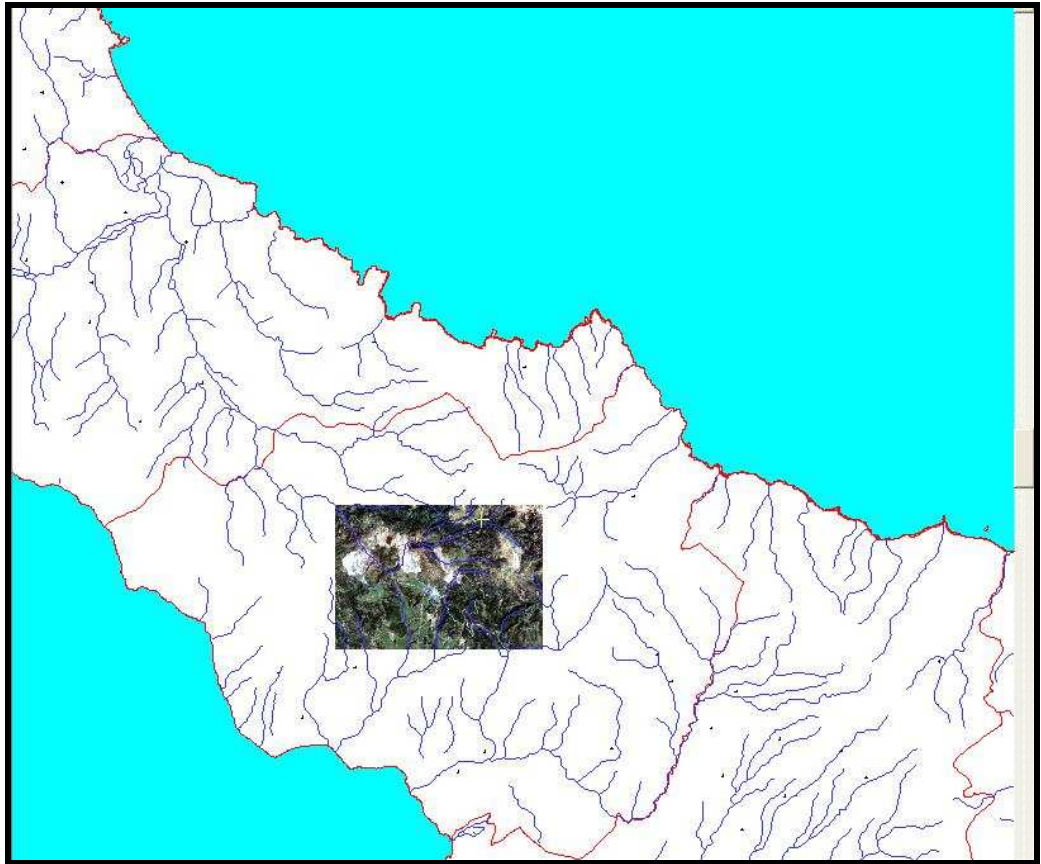
9.7 ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗΣ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Ο εμπλουτισμός της γεωγραφικής βάσης δεδομένων περιλάμβανε τη ψηφιοποίηση του οδικού δικτύου, τα όρια των δήμων και κοινοτήτων καθώς επίσης και χωρική κατανομή των πόλεων, τη ψηφιοποίηση χαρτών των εργασιών αποκατάστασης των μεταλλείων (εικόνες 9.12 έως 9.17).

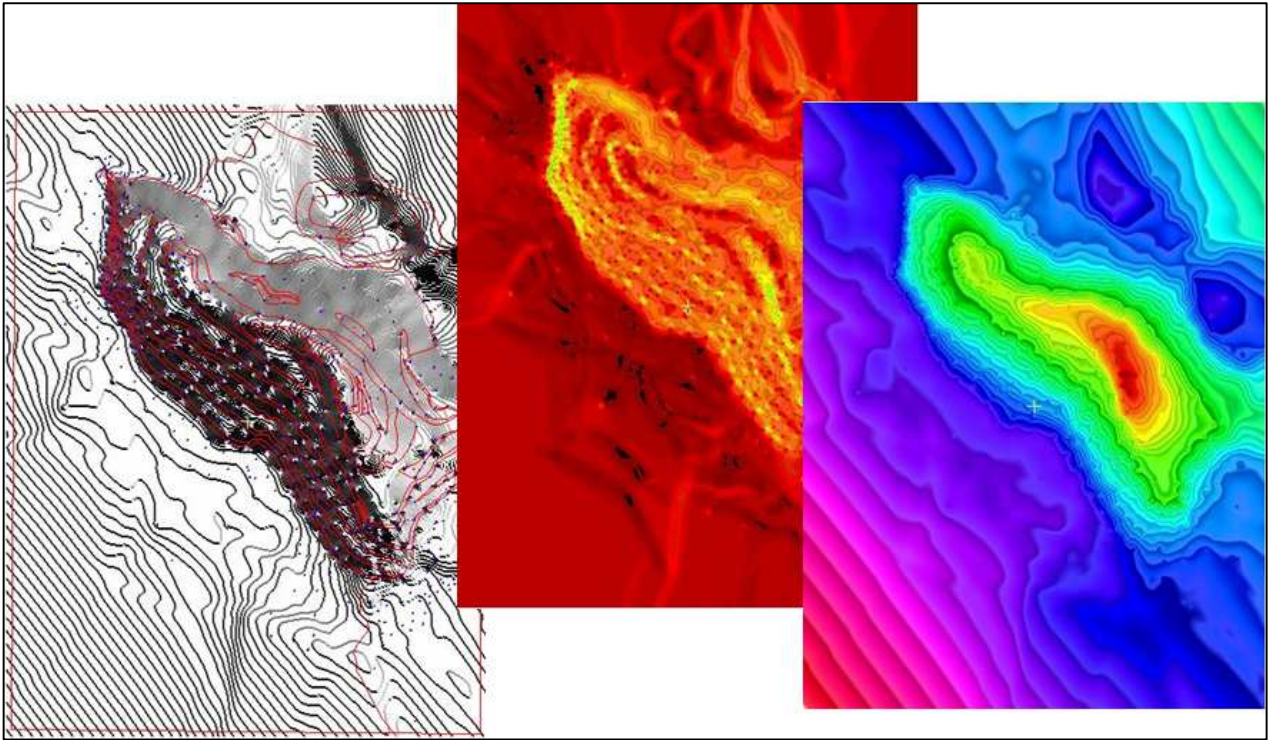
Σε αυτό το στάδιο εμπλουτίστηκε και η βάση δεδομένων για το μεταλλείο στο Ίσωμα το οποίο θα χρησιμεύσει για τη επαλήθευση του μοντέλου λήψης αποφάσεων αποκατάστασης το οποίο αναπτύχθηκε για τα μεταλλεία του Παγώντα και Σουρτζίου.



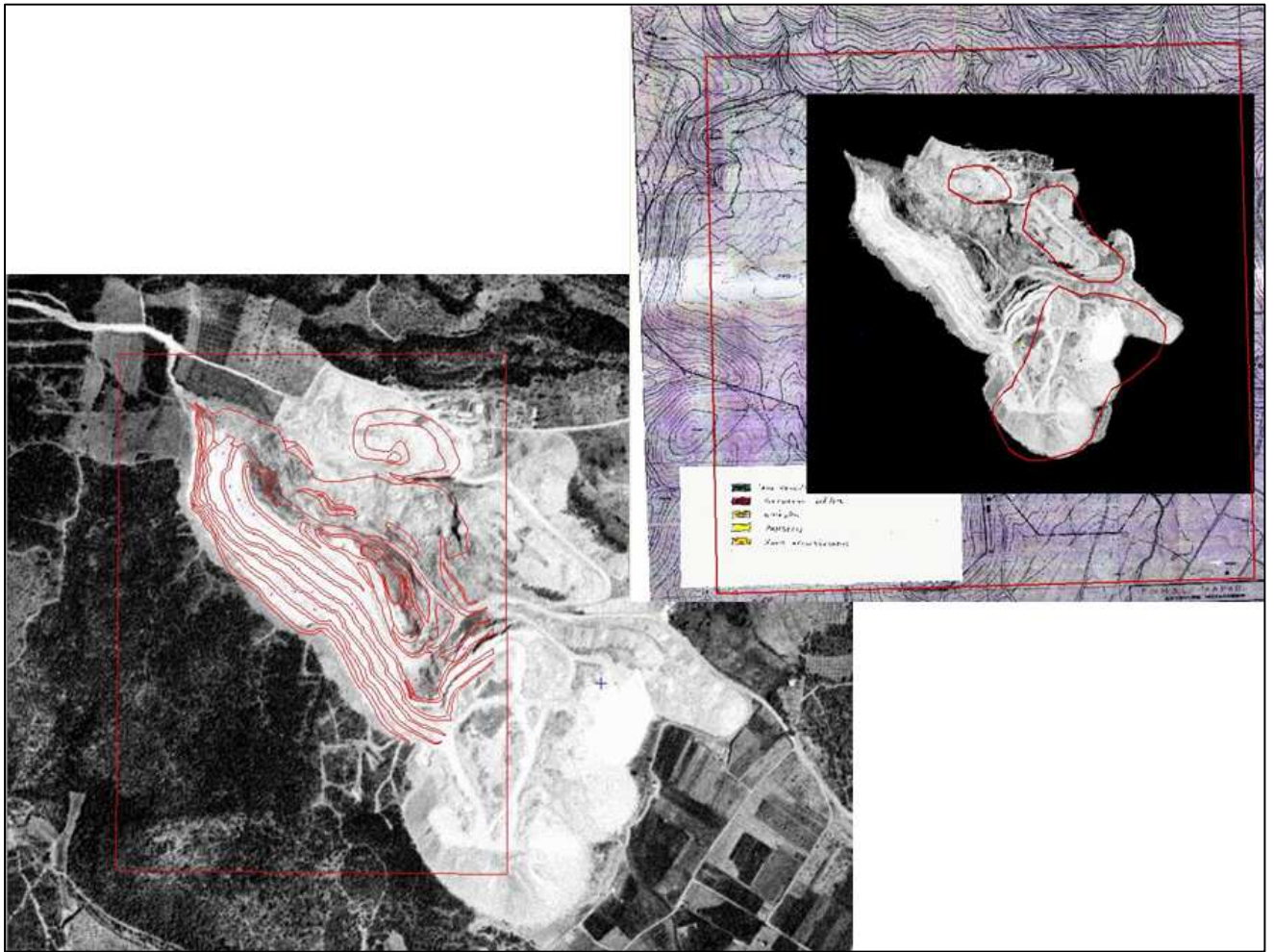
Εικόνα 9.12. Εμπλουτισμός της βάσης δεδομένων με τα όρια των δήμων (κυανό), το οδικό δίκτυο (καφέ) και το υδρογραφικό δίκτυο (μπλε)



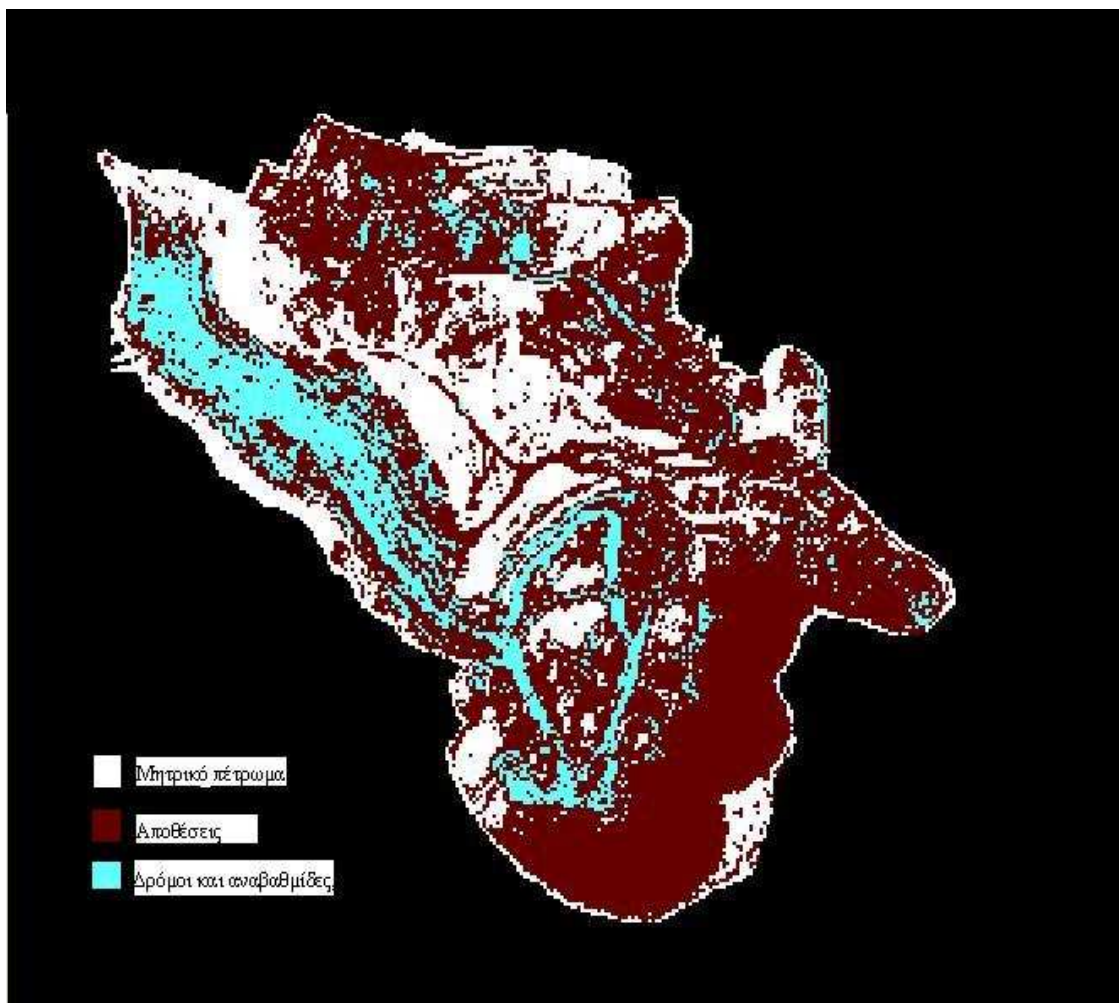
Εικόνα 9.13. Υπέρθεση του οδικού, του υδρογραφικού δικτύου και των ορίων των δήμων και κοινοτήτων της ευρύτερης περιοχής των μεταλλείων Παγώντα και Σούρτζι στη δορυφορική εικόνα Landsat TM του 1997.



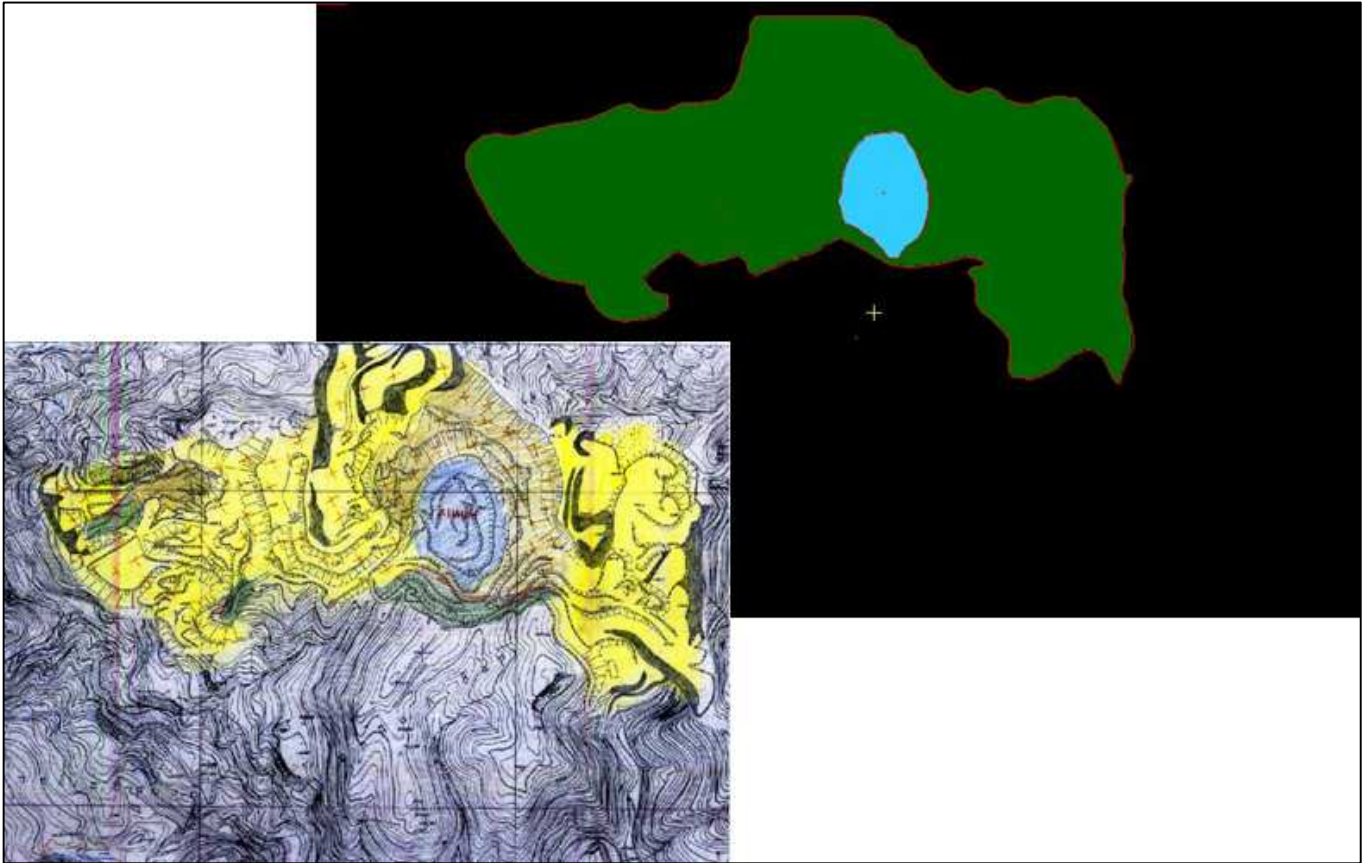
Εικόνα 9.14. Διαφορετικές απεικονίσεις του ψηφιακού μοντέλου εδάφους του μεταλλείου του Ισώματος.



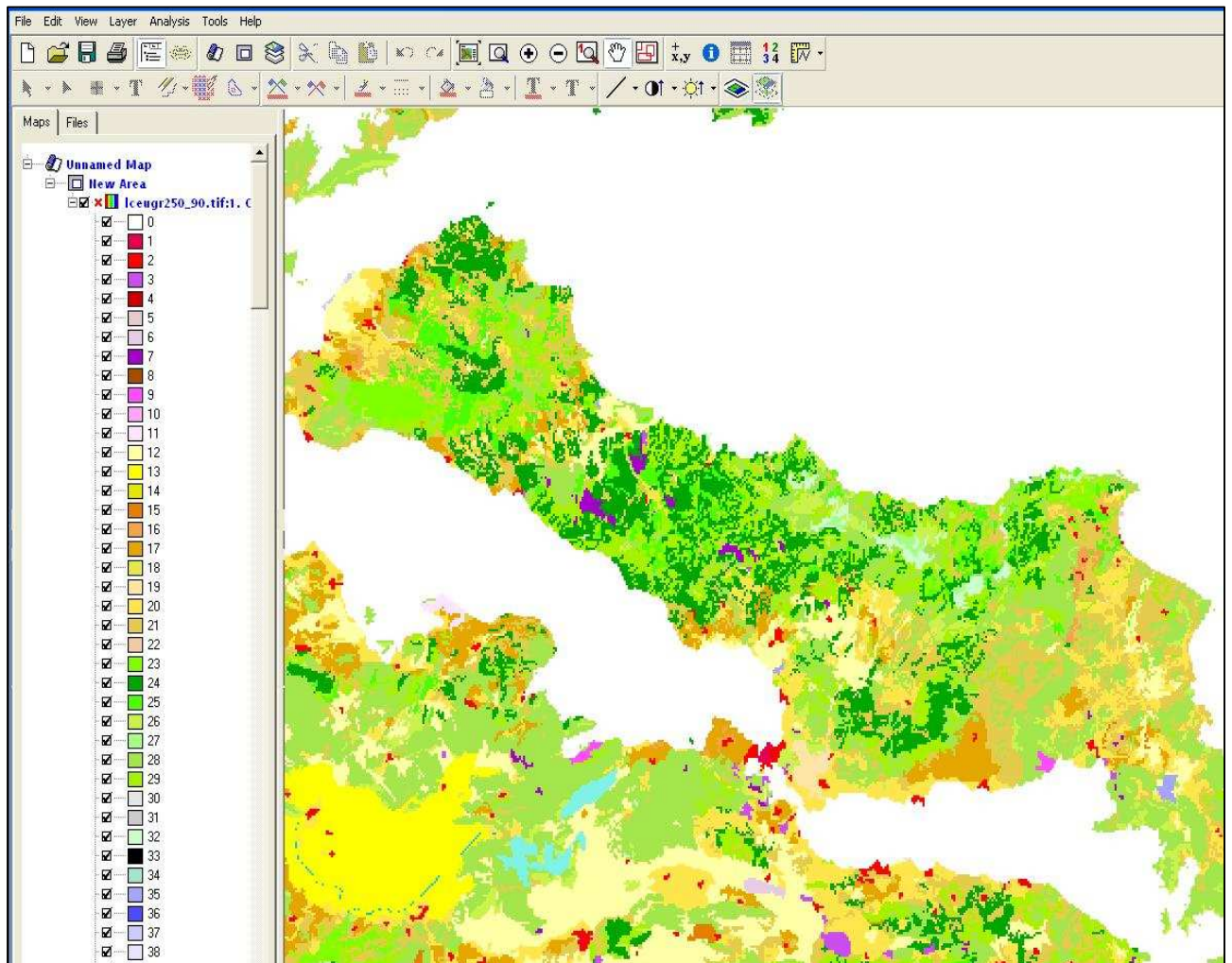
Εικόνα 9.15. Υπέρθεση αναβαθμίδων εξόρυξης και ζωνών αποκατάστασης στη δορυφορική εικόνα KVR-1000 στο μεταλλείο του Ισώματος.



Εικόνα 9.16. Μη εποπτευόμενη ταξινόμηση του μεταλλείου του Ισώματος.



Εικόνα 9.17. Ψηφιοποίηση του σχεδίου αποκατάστασης στο μεταλλείο του Παγώντα.



Εικόνα 9.18. Κάλυψη CORINE Land-Cover του 1990 (ανάλυση 250μ).

Attribute Manager: clc_legend.xls - 1 [VEC] clc2000_legend:clc2000_legend

Layer Edit View Record Field Tools Help

| Index | GRID_CODE | CLC_CODE | LABEL1 | LABEL2 | LABEL3 | RGB |
|-------|-----------|----------|--------------------|-------------------|------------------|-------------|
| 1 | 1 111 | 1 111 | Artificial surfaci | Urban fabric | Continuous urb | 230-000-077 |
| 2 | 2 112 | 2 112 | Artificial surfaci | Urban fabric | Discontinuous | 255-000-000 |
| 3 | 3 121 | 3 121 | Artificial surfaci | Industrial, com | Industrial or co | 204-077-242 |
| 4 | 4 122 | 4 122 | Artificial surfaci | Industrial, com | Road and rail r | 204-000-000 |
| 5 | 5 123 | 5 123 | Artificial surfaci | Industrial, com | Port areas | 230-204-204 |
| 6 | 6 124 | 6 124 | Artificial surfaci | Industrial, com | Airports | 230-204-230 |
| 7 | 7 131 | 7 131 | Artificial surfaci | Mine, dump an | Mineral extract | 166-000-204 |
| 8 | 8 132 | 8 132 | Artificial surfaci | Mine, dump an | Dump sites | 166-077-000 |
| 9 | 9 133 | 9 133 | Artificial surfaci | Mine, dump an | Construction si | 255-077-255 |
| 10 | 10 141 | 10 141 | Artificial surfaci | Artificial, non-a | Green urban ai | 255-166-255 |
| 11 | 11 142 | 11 142 | Artificial surfaci | Artificial, non-a | Sport and leisu | 255-230-255 |
| 12 | 12 211 | 12 211 | Agricultural are | Arable land | Non-irrigated a | 255-255-168 |
| 13 | 13 212 | 13 212 | Agricultural are | Arable land | Permanently irr | 255-255-000 |
| 14 | 14 213 | 14 213 | Agricultural are | Arable land | Rice fields | 230-230-000 |
| 15 | 15 221 | 15 221 | Agricultural are | Permanent cro | Vineyards | 230-128-000 |
| 16 | 16 222 | 16 222 | Agricultural are | Permanent cro | Fruit trees and | 242-166-077 |
| 17 | 17 223 | 17 223 | Agricultural are | Permanent cro | Olive groves | 230-166-000 |
| 18 | 18 231 | 18 231 | Agricultural are | Pastures | Pastures | 230-230-077 |
| 19 | 19 241 | 19 241 | Agricultural are | Heterogeneous | Annual crops a | 255-230-166 |
| 20 | 20 242 | 20 242 | Agricultural are | Heterogeneous | Complex cultiv. | 255-230-077 |
| 21 | 21 243 | 21 243 | Agricultural are | Heterogeneous | Land principall | 230-204-077 |
| 22 | 22 244 | 22 244 | Agricultural are | Heterogeneous | Agro-forestry ai | 242-204-166 |
| 23 | 23 311 | 23 311 | Forest and seni | Forests | Broad-leaved f | 128-255-000 |
| 24 | 24 312 | 24 312 | Forest and seni | Forests | Coniferous fore | 000-166-000 |
| 25 | 25 313 | 25 313 | Forest and seni | Forests | Mixed forest | 077-255-000 |
| 26 | 26 321 | 26 321 | Forest and seni | Scrub and/or h | Natural grassla | 204-242-077 |
| 27 | 27 322 | 27 322 | Forest and seni | Scrub and/or h | Moors and hea | 166-255-128 |
| 28 | 28 323 | 28 323 | Forest and seni | Scrub and/or h | Sclerophyllous | 166-230-077 |
| 29 | 29 324 | 29 324 | Forest and seni | Scrub and/or h | Transitional wc | 166-242-000 |
| 30 | 30 331 | 30 331 | Forest and seni | Open spaces v | Beaches, dune | 230-230-230 |
| 31 | 31 332 | 31 332 | Forest and seni | Open spaces v | Bare rocks | 204-204-204 |
| 32 | 32 333 | 32 333 | Forest and seni | Open spaces v | Sparsely veget | 204-255-204 |
| 33 | 33 334 | 33 334 | Forest and seni | Open spaces v | Burnt areas | 000-000-000 |
| 34 | 34 335 | 34 335 | Forest and seni | Open spaces v | Glaciers and p | 166-230-204 |
| 35 | 35 411 | 35 411 | Wetlands | Inland wetland | Inland marshes | 166-166-255 |
| 36 | 36 412 | 36 412 | Wetlands | Inland wetland | Peat bogs | 077-077-255 |
| 37 | 37 421 | 37 421 | Wetlands | Maritime wetlar | Salt marshes | 204-204-255 |
| 38 | 38 422 | 38 422 | Wetlands | Maritime wetlar | Salines | 230-230-255 |
| 39 | 39 423 | 39 423 | Wetlands | Maritime wetlar | Intertidal flats | 166-166-230 |
| 40 | 40 511 | 40 511 | Water bodies | Inland waters | Water courses | 000-204-242 |
| 41 | 41 512 | 41 512 | Water bodies | Inland waters | Water bodies | 128-242-230 |

Record 1 : Field 1 0 of 48 Records 0 of 7 Fields

Εικόνα 9.19. Κατηγοριοποίηση (κλάσεις) του CORINE Land-Cover του 1990.

9.8 ΠΑΡΑΓΩΓΗ DEM ΑΠΟ ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ SPOT

1) Υπόβαθρο – Χαρακτηριστικά δεδομένων

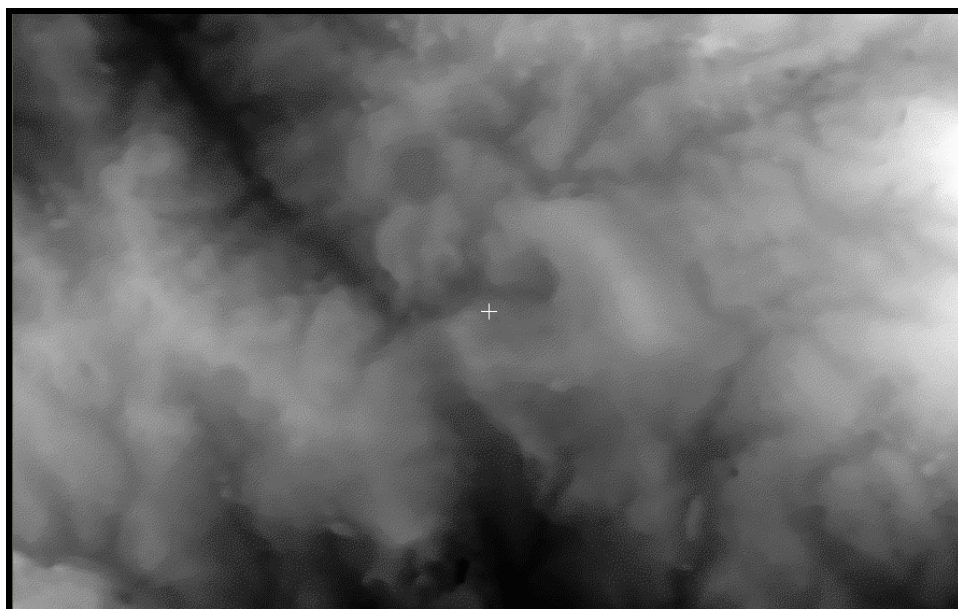
Η συστηματική δειγματοληψία υψομέτρων στη μορφή ενός Ψηφιακού Υψομετρικού Μοντέλου (Digital Elevation Model – DEM) μπορεί να υπολογιστεί από στερεοσκοπικά ζεύγη που προέρχονται από δορυφορικές λήψεις αν είναι γνωστά δύο πράγματα: η γεωμετρία (μοντέλο) της εικόνας και οι μετατοπίσεις X και Y μεταξύ αντίστοιχων εικονοστοιχείων στις δύο εικόνες (Xu και λοιποί, 2004).

Στοιχεία σχετικά με τη γεωμετρία της εικόνας μπορούν να ανακτηθούν από τα δεδομένα της εφημερίδος και τα τροχιακά δεδομένα που συμπεριλαμβάνονται στα ανεπεξέργαστα στοιχεία της εικόνας, σε συνδυασμό με τη μορφή και το μέγεθος της Γης. Ένα σύνολο σημείων γεωαναφοράς (Ground Control Points – GCP) που συλλέγονται συνήθως από τοπογραφικούς χάρτες της περιοχής ενδιαφέροντος χρησιμοποιείται επίσης για να προσανατολίσει τον δορυφόρο σε σχέση με το έδαφος και οι μετατοπίσεις X και Y υπολογίζονται με τεχνικές συσχέτισης περιοχής, όπου μικρές περιοχές εικονοστοιχείων σε κάθε εικόνα μετατοπίζονται στο χώρο της εικόνας μέχρι να συμπέσουν απόλυτα. Ο συσχετισμός μπορεί να επηρεαστεί από παράσιτα της σάρωσης (pushbroom noise) και από αλλαγές στην επιφάνεια μεταξύ των δύο λήψεων, όπως σύννεφα, σκιές, αλλαγές εδαφοκάλυψης κλπ.

Τα κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά των δεδομένων εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του ψηφιακού υψομετρικού μοντέλου DEM (εικόνα 9.20) παρατίθενται στον πίνακα 9.1 που ακολουθεί:

| | SPOT 1A 16/1/1993 | SPOT 1A 4/2/1993 |
|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Scene Identification | S2H1930116090905 | S2H2930204094347 |
| Scene centre latitude (deg) | 0.3881528D+02 | 0.3881528D+02 |
| Scene centre longitude (deg) | 0.2351472D+02 | 0.2383889D+02 |
| Angle of Incidence (deg) | R26.9 | L28.9 |
| HRV mirror stepping no. | 9 | 90 |
| Sensor | HRV PAN mode | HRV PAN mode |
| Scene Size | 60 x 60 km | 60 x 60 km |
| Resolution (nadir) | 10 m | 10 m |
| Scene Orientation Angle (deg) | 008.3 | 014.4 |
| Sun Angle (Azimuth) | 157.3 | 164.2 |
| Sun Angle (Elevation – deg) | 027.0 | 033.4 |
| Date Time | 16/01/1993 09h 09' 05'' | 04/02/1993 09h 43' 46'' |
| H0 (Sensor Height) | 0.8302972000000000D+06 | 0.8301308000000000D+06 |
| Angular Separation R-L look | 55.8 | |
| Base/Height ratio | 1.05936 | |

Πίνακας 9.1.



Εικόνα 9.20. Εικόνα περιοχής φωτεινότητας που δείχνει το μοντέλο (DEM) που εξήχθη από το στερεοσκοπικό ζεύγος SPOT PAN του 1993. Η αυξανόμενη φωτεινότητα δείχνει περιοχές με μεγαλύτερο υψόμετρο. Η μεγάλη σκούρα γκριζα κυκλική περιοχή στο κέντρο της εικόνας δείχνει τη θέση της λίμνης μέσα στο χώρο του ορυχείου.

2) Επεξεργασία Δεδομένων

Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε στην επεξεργασία του στερεοσκοπικού ζεύγους SPOT PAN είναι το Geomatica για Windows XP και η ταχύτητα επεξεργασίας ήταν μάλλον ικανοποιητική (η κύρια ενότητα υπολογισμού DEM διήρκησε μόλις 30 λεπτά. Η διαδικασία υπολογισμού ενός ψηφιακού υψομετρικού μοντέλου (DEM) από ένα ζεύγος στερεοσκοπικών εικόνων SPOT, περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

(i) Ανάγνωση CDSPOT – CD-ROM: Διαβάζει δεδομένα εικόνας SPOT από οπτικό μέσο σε μορφή SPOTIMAGE LGSOWG όταν απαιτείται ορθομετρική διόρθωση των δορυφορικών δεδομένων. Το πρόγραμμα CDSPOT παράγει αυτόματα ένα αρχείο PCIDSK, διαβάζει τα δεδομένα εικόνας των φασμάτων που έχουν ζητηθεί από το οπτικό μέσο, και φυλάσσει τις πληροφορίες για την τροχιά του δορυφόρου σε ένα ή δύο τμήματα.

(ii) Συλλογή GCP: 19 σημεία γεωαναφοράς (σημεία ελέγχου εδάφους - GCP) εισήχθησαν χειροκίνητα με χρήση του προγράμματος GCPWorks από βάση γεωγραφικών δεδομένων αναφοράς. Η προσθήκη περισσότερων σημείων δεν βελτίωσε δραστικά το σφάλμα RMS. Η εικόνα αναφοράς ήταν ένας χάρτης σε κλίμακα 1:50000, που είχε σαρωθεί και συσχετιστεί γεωγραφικά (Ψαχνά, 1990) από την Γεωγραφική Υπηρεσία του Ελληνικού Στρατού (εικόνα 9.21) όπου εμφανίζεται μέρος της περιοχής εξορύξεως). Το μέγεθος του εικονοστοιχείου ήταν 10 μέτρα και η προβολή ήταν το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ 1987). Τα σημεία γεωαναφοράς ήταν, κατά το δυνατόν, ομαλά κατανεμημένα στις εικόνες και σε διαφορετικά υψόμετρα (πίνακας 9.2). Δεν χρησιμοποιήθηκαν σημεία γεωαναφοράς σε περιοχές που ήταν καλυμμένες με χιόνι, και οι οποίες βρίσκονται συνήθως προς τα Ανατολικά, όμως αυτό δεν φάνηκε να επηρεάζει σημαντικά τα αποτελέσματα (βλ. εκτίμηση της ακριβείας, παρακάτω). Το πρόγραμμα GCPELEV της ενότητας EASI (Geomatica) χρησιμοποιήθηκε στην εξαγωγή των υψομέτρων για τα σημεία γεωαναφοράς, από ένα προκατασκευασμένο ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο (DEM) των 10 μέτρων. Το μοντέλο αυτό είχε κατασκευαστεί από την ψηφιοποίηση ενός χάρτη 1:50000 της ΓΥΣ, με ισοϋψείς καμπύλες ανά 20 μέτρα (Ψαχνά).

(iii) SMODEL – Υπολογισμός Δορυφορικού Μοντέλου: Υπολογίζει το μαθηματικό μοντέλο που απαιτείται για την ορθομετρική διόρθωση μιας δορυφορικής εικόνας ή για την εξαγωγή DEM από δύο στερεοσκοπικές εικόνες SPOT. Το μοντέλο παράγεται από την τροχιά του δορυφόρου και τα σχετικά δεδομένα (στάση, πρόνευση, λίκνιση, διατοιχισμό) καθώς και τα σημεία γεωαναφοράς (GCPs). Το βήμα αυτό και για τις δύο εικόνες είχε ως αποτέλεσμα σφάλμα RMS στους άξονες X και Y περίπου ενός εικονοστοιχείου, πολύ κοντά στα σφάλματα των GCP (πίνακες 9.2 και 9.3).

(iv) SEIPRO - (Satellite Eripolar Projection) : Δημιουργεί μια επιπολική προβολή μιας δορυφορικής εικόνας από ένα στερεοσκοπικά ζεύγος SPOT. Η εικόνα της επιπολικής προβολής χρησιμοποιείται ως μια από τις εικόνες εισόδου κατά την εξαγωγή ενός ψηφιακού υψομετρικού μοντέλου (DEM) από στερεοσκοπικά ζεύγη, με χρήση του προγράμματος SDEM. Η λήψη 16011993 επελέγη για επιπολική προβολή.



Εικόνα 9.21. Ένα υποσύνολο του γεωσυσχετισμένου χάρτη 1: 50,000 χρησιμοποιήθηκε για τη συλλογή των σημείων γεωαναφοράς. Ο χάρτης είχε παραχθεί από τη ΓΥΣ (1990) και η ονομαστική του ακρίβεια είναι 25 μέτρα XY και 10 μέτρα Z. Η άσπρη περιοχή είναι η επιφανειακή έκταση των ορυχείων της ΛΑΡΚΟ το 1990.

(v) SDEM – (Satellite DEM) : Εξάγει αυτόματα ένα ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο (DEM) από στερεοσκοπικό ζεύγος δορυφορικών εικόνων SPOT της ίδιας περιοχής και εγγράφει το αποτέλεσμα σε αρχείο 16 bit. Χρησιμοποιήθηκε διάστημα εξαγωγής (extraction interval) ίσο με 1 (κάθε εικονοστοιχείο), από το οποίο προέκυψε ένα ψηφιακό μοντέλο (DEM) σε κάρναβο 10 μέτρων. Επί πλέον, τέθηκαν οι τιμές 0 και 1350 για το ελάχιστο και το μέγιστο υψόμετρο της περιοχής που καλύπτουν οι εικόνες. Η λήψη 040293 ήταν η πρώτη δορυφορική εικόνα χωρίς διόρθωση (τμήμα μοντέλου 4) και η επιπολική προβολή 160193 ήταν η δεύτερη δορυφορική εικόνα (τμήμα μοντέλου 2). Οι επιλεγμένες τιμές αποτυχίας DEM (failed DEM) και υψομέτρου υποβάθρου (background elevation) ήταν -100 και -150, αντιστοίχως. Οι τιμές αποτυχίας εμφανίζονται μακριά από την περιοχή ενδιαφέροντος και κυρίως στη θαλάσσια περιοχή.

(vi) Το πρόγραμμα SDEMCPY χρησιμοποιείται επίσης για να μεταφέρει το παραγόμενο DEM σε γεωσυσχετισμένο αρχείο ΕΓΣΑ.

3) Πίνακας GCP

Όπως περιγράφεται πιο πάνω, η εξαγωγή του ψηφιακού υψομετρικού μοντέλου (DEM) από στερεοσκοπικό ζεύγος εικόνων SPOT απαιτεί ένα σύνολο σημείων αναφοράς και στις δύο εικόνες. Στους πίνακες που ακολουθούν, παρατίθενται όλα τα δεδομένα των σημείων γεωαναφοράς (GCP) και για τις δύο εικόνες. Τα ονόματα των αρχείων εικόνων (μορφή PCIDSK) είναι ενδεικτικά της ημερομηνίας κάθε εικόνας.

| GCP Id | Uncorrected X | Uncorrected Y | Georef (EGSA) X | Georef (EGSA) Y | Elevatio n |
|-------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------|
| 12 | 2798.18750000 | 5738.56250000 | 475009.08983000 | 4270452.75340000 | 119.00000 |
| 26 | 1693.18750000 | 4930.43750000 | 463749.09499000 | 4281703.03730000 | 427.46670 |
| 4 | 1740.53125000 | 5461.40625000 | 462781.76342000 | 4276470.56990000 | 316.79990 |
| 5 | 2301.31250000 | 5850.68750000 | 468601.71539000 | 4270963.54950000 | 39.155130 |
| 6 | 1898.40625000 | 5657.34375000 | 464218.39440000 | 4274095.36800000 | 133.95490 |
| 38 | 1149.12500000 | 4479.12500000 | 458657.03608000 | 4287676.15910000 | 107.95310 |
| 8 | 2012.09375000 | 5867.96875000 | 464971.82763000 | 4271713.78120000 | 136.94020 |
| 9 | 2025.93750000 | 5972.31250000 | 464844.12709000 | 4270663.45680000 | 80.000000 |
| 10 | 2188.28125000 | 5974.46875000 | 466871.37311000 | 4270114.35100000 | 22.972210 |
| 11 | 2534.87500000 | 5845.12500000 | 471490.94004000 | 4270254.81990000 | 39.000000 |
| 31 | 2277.62500000 | 5837.87500000 | 468349.50683000 | 4271145.52060000 | 47.000000 |
| 24 | 2039.03125000 | 5473.59375000 | 466395.68861000 | 4275410.66800000 | 263.48490 |
| 2 | 2833.93750000 | 5640.81250000 | 475721.02032000 | 4271295.56690000 | 137.00000 |
| 15 | 2829.56250000 | 5754.43750000 | 475363.45880000 | 4270206.93280000 | 119.00000 |
| 33 | 2757.18750000 | 5545.56250000 | 475044.20748000 | 4272448.05060000 | 176.20220 |
| 29 | 2454.37500000 | 5576.87500000 | 471219.57640000 | 4273089.73820000 | 183.00000 |
| 37 | 2916.37500000 | 5463.87500000 | 477215.11660000 | 4272713.02610000 | 238.63000 |
| 36 | 2889.12500000 | 5440.62500000 | 476946.94548000 | 4273025.88870000 | 261.26870 |
| 34 | 2985.62500000 | 5551.62000000 | 477847.23420000 | 4271659.50920000 | 139.82590 |

RMS Error (pixels) X: 0.78, Y: 0.79

Πίνακας 9.2. Αναφορά GCP για το αρχείο εικόνας sp040293.pix

| GCP Id | Uncorrected X | Uncorrected Y | Georef (EGSA) X | Georef (EGSA) Y | Elevation |
|---------------|----------------------|----------------------|------------------------|------------------------|------------------|
| 1 | 4027.43750000 | 5415.56250000 | 464847.31960000 | 4270663.45680000 | 80.000000 |
| 2 | 4016.43750000 | 5308.43750000 | 464975.02014000 | 4271713.78120000 | 136.760000 |
| 25 | 4493.65625000 | 4858.96875000 | 471640.98817000 | 4275251.04420000 | 221.926000 |
| 4 | 4959.12500000 | 5380.62500000 | 476059.42674000 | 4269316.23210000 | 119.000000 |
| 34 | 3242.25000000 | 3815.25000000 | 458666.61362000 | 4287672.96670000 | 108.380700 |
| 37 | 3579.87500000 | 4574.37500000 | 461415.36768000 | 4279653.46800000 | 515.230000 |
| 28 | 4174.12500000 | 4898.87500000 | 467784.43195000 | 4275417.05290000 | 319.883500 |
| 27 | 4469.37500000 | 5173.62500000 | 470651.30901000 | 4272211.80740000 | 123.197700 |
| 24 | 3839.37500000 | 5393.37500000 | 462634.90780000 | 4271218.94750000 | 36.000000 |
| 29 | 3782.37500000 | 4921.37500000 | 463021.20193000 | 4275918.27160000 | 292.844200 |
| 11 | 4337.62500000 | 5485.62500000 | 468387.81699000 | 4269412.00640000 | 20.762460 |
| 22 | 3990.40620000 | 5240.90625000 | 464809.00944000 | 4272416.12590000 | 158.605000 |
| 32 | 3467.25000000 | 4845.25000000 | 459586.05740000 | 4277204.83920000 | 721.883700 |
| 14 | 4327.12500000 | 5329.62500000 | 468598.52288000 | 4270966.74200000 | 39.522900 |
| 35 | 3737.46875000 | 4333.15625000 | 463749.09499000 | 4281703.03730000 | 427.466700 |
| 23 | 3903.37500000 | 5111.12500000 | 464017.26612000 | 4273846.35490000 | 152.600100 |
| 17 | 4895.62500000 | 5380.87500000 | 475299.60855000 | 4269431.16120000 | 106.465800 |
| 20 | 5047.40620000 | 5115.46875000 | 477693.99362000 | 4271752.09100000 | 173.843300 |
| 33 | 3453.12500000 | 4443.12500000 | 460045.77942000 | 4281173.08640000 | 287.295200 |

RMS Error (pixels) X: 0.70

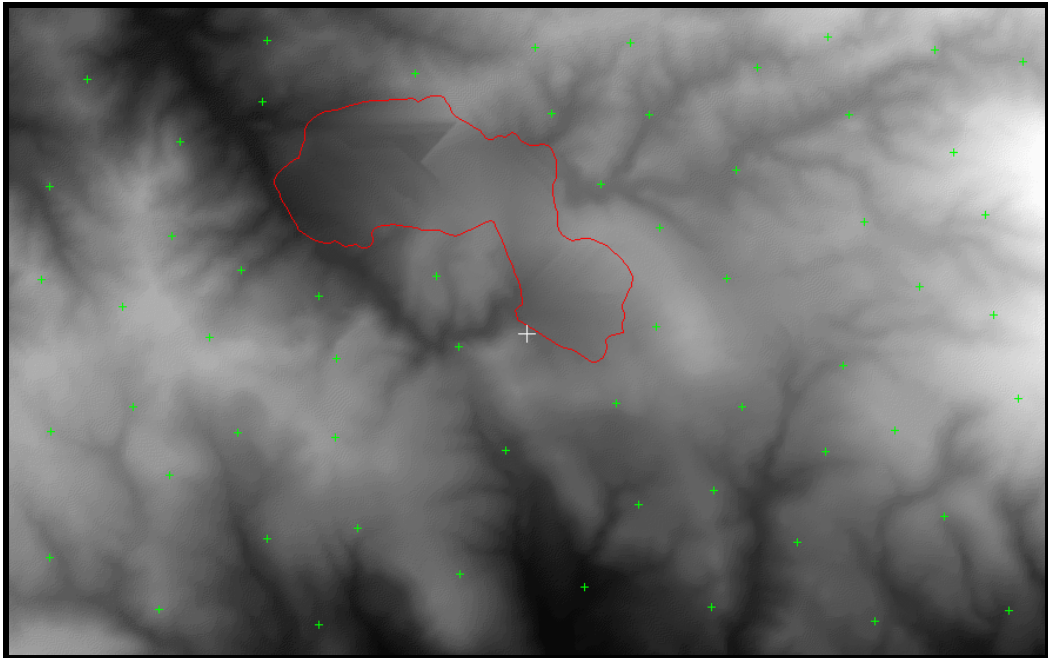
Y: 0.78

Πίνακας 9.3. Αναφορά GCP για το αρχείο εικόνας sp160193.pix

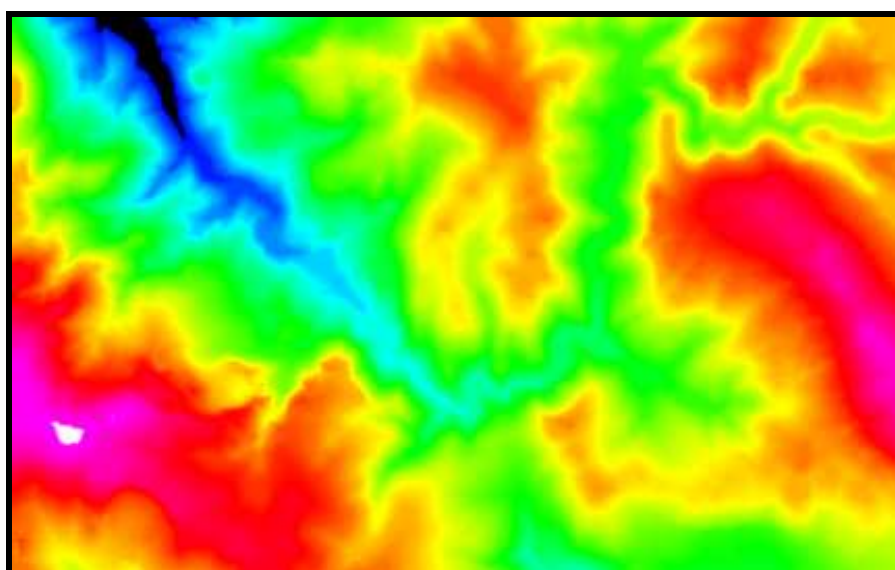
4) Εκτίμηση Ακρίβειας

Στον πίνακα 9.4 που ακολουθεί υπολογίζεται η ακρίβεια του ψηφιακού υψομετρικού μοντέλου (DEM) που υπολογίστηκε από τις εικόνες SPOT του 1993 στον κάθετο άξονα, με χρήση 60 σημείων ελέγχου. Τα υψόμετρα αναφοράς προέρχονται από το προκατασκευασμένο ψηφιακό μοντέλο των 10 μέτρων του 1990 (εικόνα 9.22). Τα δύο ψηφιακά μοντέλα (DEM) έχουν την ίδια χαρτογραφική προβολή με τα υπόλοιπα Ελληνικά

δεδομένα (προβολή UTM, ζώνη 34, διεθνές ελλειψοειδές 1909, Ευρωπαϊκό γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς 1950), έτσι ώστε η αναγνώριση των σημείων ελέγχου να είναι δυνατή με ακρίβεια μεγαλύτερη αυτής του εικονοστοιχείου.



Εικόνα 9.22. Οι θέσεις των υψομέτρων στο μοντέλο (DEM) αναφοράς της ΓΥΣ που χρησιμοποιήθηκαν στον υπολογισμό του σφάλματος RMS των υψομέτρων σε σύγκριση με το μοντέλο (DEM) που υπολογίστηκε από τις εικόνες SPOT. Το κόκκινο πολύγωνο απεικονίζει την έκταση του ορυχείου του Παγώντα το 1990.



Εικόνα 9.23. Χρωματικά κωδικοποιημένο ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο (DEM) της ίδιας περιοχής, του 1976.

| Id | UTM X | UTM Y | Ref DEM m | SPOT DEM m | Ref - SPOT DEM m | (Ref DEM – SPOT DEM) ² |
|----|----------|-----------|-----------|------------|------------------|-----------------------------------|
| 1 | 722526.9 | 4284299.7 | 412 | 396 | 16 | 256 |
| 2 | 723315.5 | 4283769.7 | 438 | 416 | 22 | 484 |
| 3 | 722205.3 | 4283395.5 | 435 | 417 | 18 | 324 |
| 4 | 723242.8 | 4282969.4 | 548 | 519 | 29 | 841 |
| 5 | 722132.7 | 4282605.6 | 598 | 563 | 35 | 1225 |
| 6 | 722817.5 | 4282377.0 | 633 | 624 | 9 | 81 |
| 7 | 723834.2 | 4282678.4 | 469 | 446 | 23 | 529 |
| 8 | 724487.8 | 4282460.1 | 430 | 410 | 20 | 400 |
| 9 | 723564.5 | 4282117.2 | 610 | 614 | -4 | 16 |
| 10 | 722910.8 | 4281524.7 | 563 | 561 | 2 | 4 |
| 11 | 722215.7 | 4281316.9 | 595 | 585 | 10 | 100 |
| 12 | 723222.1 | 4280942.7 | 573 | 558 | 15 | 225 |
| 13 | 722205.3 | 4280246.4 | 506 | 489 | 17 | 289 |
| 14 | 723128.7 | 4279799.5 | 506 | 479 | 27 | 729 |
| 15 | 724052.1 | 4280402.3 | 426 | 426 | 0 | 0 |
| 16 | 723803.1 | 4281306.5 | 517 | 510 | 7 | 49 |
| 17 | 724643.5 | 4281930.1 | 560 | 551 | 9 | 81 |
| 18 | 725494.2 | 4282636.8 | 499 | 484 | 15 | 225 |
| 19 | 725681.0 | 4282034.0 | 437 | 438 | -1 | 1 |
| 20 | 724633.1 | 4281264.9 | 582 | 570 | 12 | 144 |
| 21 | 724819.9 | 4280495.8 | 466 | 456 | 10 | 100 |
| 22 | 724487.8 | 4279674.7 | 317 | 309 | 8 | 64 |
| 23 | 726085.6 | 4281150.6 | 370 | 364 | 6 | 36 |
| 24 | 726749.6 | 4279996.9 | 239 | 226 | 13 | 169 |

| | | | | | | |
|----|----------|-----------|-----|-----|-----|------|
| 25 | 725691.4 | 4280100.9 | 454 | 434 | 20 | 400 |
| 26 | 727019.4 | 4281555.9 | 494 | 501 | -7 | 49 |
| 27 | 727216.5 | 4280693.3 | 411 | 408 | 3 | 9 |
| 28 | 727828.6 | 4279820.2 | 373 | 366 | 7 | 49 |
| 29 | 727849.4 | 4280818.0 | 452 | 452 | 0 | 0 |
| 30 | 728088.0 | 4281524.7 | 494 | 492 | 2 | 4 |
| 31 | 727361.8 | 4282200.3 | 571 | 569 | 2 | 4 |
| 32 | 728803.9 | 4281140.2 | 481 | 483 | -2 | 4 |
| 33 | 728565.3 | 4280371.1 | 427 | 433 | -6 | 36 |
| 34 | 729218.9 | 4279705.9 | 400 | 396 | 4 | 16 |
| 35 | 730360.2 | 4279789.1 | 349 | 362 | -13 | 169 |
| 36 | 729810.3 | 4280589.3 | 491 | 520 | -29 | 841 |
| 37 | 729395.3 | 4281327.3 | 615 | 621 | -6 | 36 |
| 38 | 730443.2 | 4281597.5 | 739 | 750 | -11 | 121 |
| 39 | 728949.2 | 4281878.1 | 539 | 563 | -24 | 576 |
| 40 | 730235.7 | 4282304.2 | 724 | 735 | -11 | 121 |
| 41 | 729602.8 | 4282543.3 | 640 | 649 | -9 | 81 |
| 42 | 727392.9 | 4283042.2 | 558 | 548 | 10 | 100 |
| 43 | 727963.5 | 4282616.0 | 539 | 541 | -2 | 4 |
| 44 | 728046.5 | 4283530.6 | 507 | 507 | 0 | 0 |
| 45 | 726894.9 | 4283416.3 | 498 | 486 | 12 | 144 |
| 46 | 727299.5 | 4283998.3 | 495 | 486 | 9 | 81 |
| 47 | 726469.5 | 4284008.7 | 499 | 480 | 19 | 361 |
| 48 | 726334.6 | 4284570.0 | 593 | 606 | -13 | 169 |
| 49 | 725307.5 | 4284351.7 | 520 | 507 | 13 | 169 |
| 50 | 724052.1 | 4284632.3 | 376 | 373 | 3 | 9 |
| 51 | 724010.6 | 4284112.7 | 315 | 300 | 15 | 225 |
| 52 | 728222.9 | 4284403.7 | 562 | 624 | -62 | 3844 |
| 53 | 729001.0 | 4283998.3 | 567 | 572 | -5 | 25 |
| 54 | 729135.9 | 4283094.1 | 626 | 631 | -5 | 25 |
| 55 | 730163.1 | 4283156.5 | 712 | 714 | -2 | 4 |
| 56 | 729893.3 | 4283686.5 | 732 | 738 | -6 | 36 |
| 57 | 730484.7 | 4284455.6 | 637 | 642 | -5 | 25 |
| 58 | 729727.3 | 4284549.2 | 638 | 617 | 21 | 441 |
| 59 | 728824.7 | 4284663.5 | 669 | 670 | -1 | 1 |
| 60 | 727143.9 | 4284611.5 | 597 | 615 | -18 | 324 |

RMS Error ($\sqrt{\sum(\text{ref-SPOT DEM})_2/n}$): 15.74 m

Πίνακας 9.4. Εκτίμηση ακριβείας του μοντέλου (DEM) που υπολογίστηκε από τις εικόνες SPOT

10. ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΟΡΥΧΕΙΩΝ

10.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η ερευνητική διατριβή εστιάζει στα περιβαλλοντικά προβλήματα εκτάσεων που έχουν χρησιμοποιηθεί για δραστηριότητες επιφανειακής εξόρυξης. Πιο συγκεκριμένα, η ερευνητική εργασία υποστηρίζει την αποκατάσταση των περιβαλλοντικών παραμέτρων ενός ανοικτού ορυχείου και των θέσεων απόθεσης στείρων υλικών κοντά στο ορυχείο. Σήμερα η νομοθεσία, εθνική και της ΕΕ, απαιτεί σχέδιο αποκατάστασης πριν ξεκινήσουν οι μεταλλευτικές δραστηριότητες. Το σχέδιο αυτό περιγράφει τα μέτρα που απαιτούνται για την αποκατάσταση της περιοχής εκμετάλλευσης (μετά το πέρας των εξορυκτικών δραστηριοτήτων) σε κατάσταση όσο το δυνατόν πλησιέστερη στις αρχικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτό περιλαμβάνει τους αρχικούς τύπους βλάστησης και το τοπίο.

Γεννιέται συνεπώς η ανάγκη μιας μεθοδολογίας για την ανάπτυξη ενός Συστήματος Υποστήριξης Λήψεως Αποφάσεων (Decision Support System – DSS) για εκτάσεις επιφανειακής εξόρυξης, το οποίο αντικατοπτρίζει και προσομοιώνει τα κύρια στάδια λήψεως αποφάσεων ενός ειδικού στα ορυχεία (μηχανικού ή/και διαχειριστή) κατά την εκπόνηση ενός σχεδίου αποκατάστασης. Αυτά τα χαρακτηριστικά στάδια βοηθούν («υποστηρίζουν») τον ειδικό στην προσπάθεια σύνθεσης των διαφόρων διαθέσιμων εναλλακτικών λύσεων για την αποκατάσταση της έκτασης επιφανειακής εξόρυξης, και διερεύνησης των περιβαλλοντικών και οικονομικών επιπτώσεων των διαφόρων μέτρων και εναλλακτικών λύσεων αποκατάστασης.

Επίσης, στα πλαίσια της ανάπτυξης ενός τέτοιου πιλοτικού συστήματος Υποστήριξης Λήψεως Αποφάσεων (DSS), η παρούσα διατριβή στοχεύει στο να επιδείξει με ποιον τρόπο μπορεί να χρησιμοποιηθεί η τεχνολογία τηλεπισκόπησης (Earth Observation – EO). Η τεχνολογία αυτή αναφέρεται σε δορυφορικά δεδομένα.

Για την ανάπτυξη του Συστήματος Υποστήριξης Λήψεως Αποφάσεων (DSS), επελέγησαν τα μεταλλεία της ΛΑΡΚΟ στον Παγώντα, Σούρτζι και Ισώματος στην Εύβοια ως τοποθεσίες ελέγχου. Η αφετηρία για το DSS και για τις δύο περιοχές είναι η κατάσταση αμέσως μετά το πέρας των εξορυκτικών δραστηριοτήτων.

10.2 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΣΛΑ

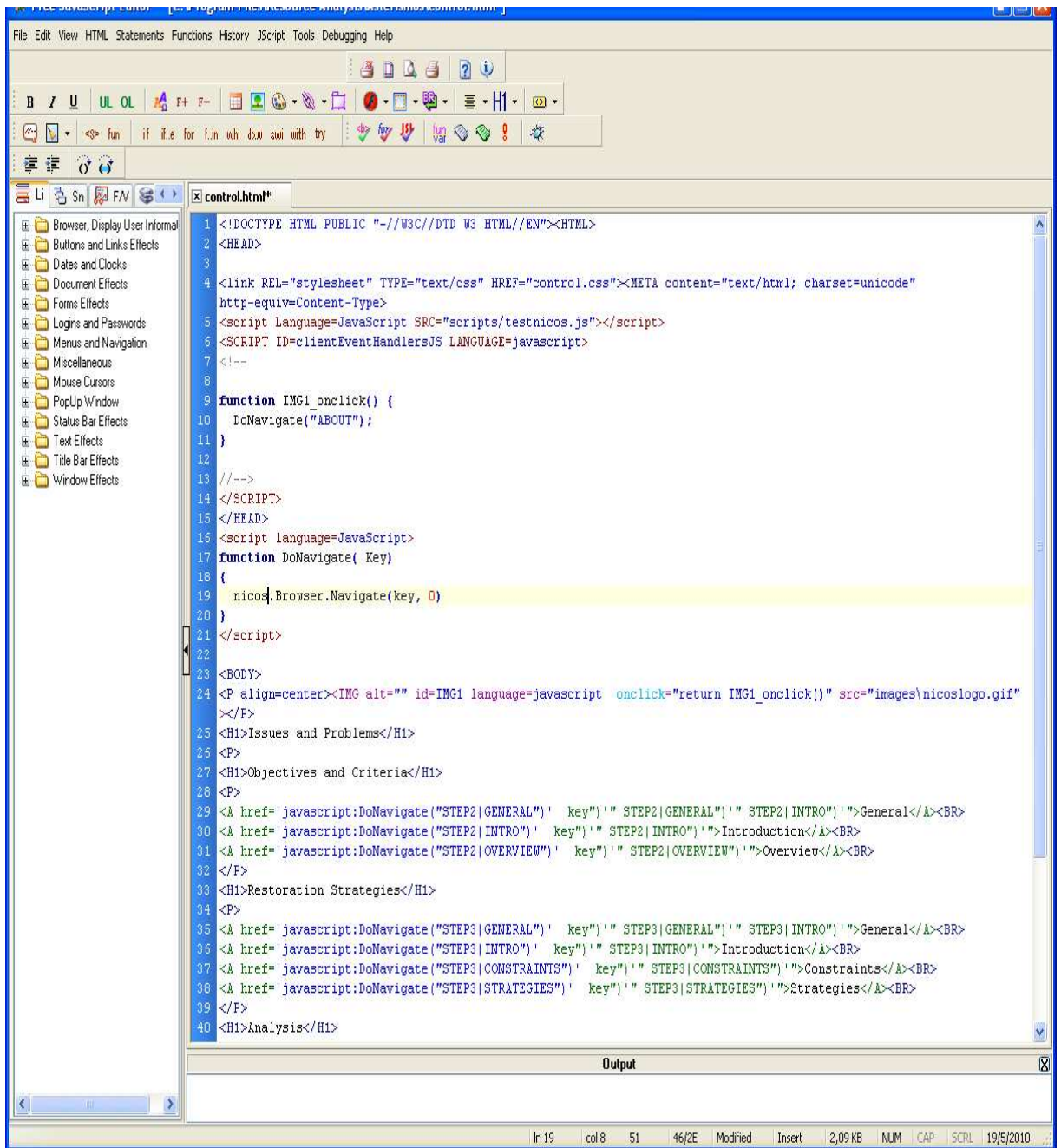
Το ΣΛΑ βασίστηκε σε ελεύθερο λογισμικό/λογισμικό ανοικτού κώδικα και πιο συγκεκριμένα σε freeware έκδοση του DAS v2.5 (Decision Analysis System, για την Ανάλυση Πολλαπλών Κριτηρίων) και MapObject Lite της ESRI (για να αποκτήσει το μοντέλο δυνατότητες GIS) σε πλατφόρμα windows 2000 και ο προγραμματισμός έγινε σε JavaScript/HTML πάλι σε freeware έκδοση (εικόνα 10.1). Το μοντέλο συνδέθηκε με τη βάση δεδομένων GIS του Geomatica (raster/vector) ανταλλάσσοντας δεδομένα σε XML μορφή.

Στα πλαίσια της παρούσας μελέτης η κύρια έμφαση δόθηκε στη χρήση FFA (Functional Flow Analysis – Ανάλυση Λειτουργικής Ροής) για τη συγκρότηση ενός συστήματος λήψεως αποφάσεων για την αποκατάσταση επιφανειακών ορυχείων. Το αναλυτικό αυτό σύστημα είναι ένα κανονιστικό πλαίσιο για την ανάλυση και τη διαμόρφωση θεμάτων ανάλυσης πολιτικής (Aerts 1999). Αποτελείται από 6 στάδια (σχήμα 10.1) τα οποία αντικατοπτρίζουν τον τρόπο σκέψεως ενός υπευθύνου για τη λήψη αποφάσεων, ο οποίος επεξεργάζεται μια απόφαση για να επιλέξει την «καλύτερη» εναλλακτική.

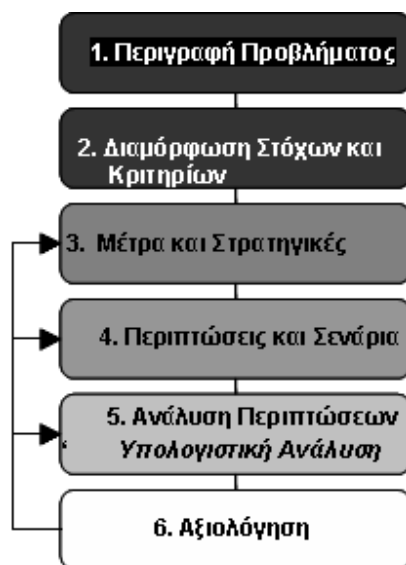
Στο πρώτο στάδιο, παρατίθενται στον υπεύθυνο για τη λήψη αποφάσεων ιστορικά στοιχεία σχετικά με τα θέματα και τα προβλήματα που τα συνοδεύουν. Στο δεύτερο στάδιο διαμορφώνονται οι κύριοι στόχοι και τα κριτήρια που είναι απαραίτητα για την εκτίμηση των πιθανών εναλλακτικών λύσεων.

Στο τρίτο στάδιο, ο υπεύθυνος για τη λήψη αποφάσεων μπορεί να επιλέξει μια σειρά μέτρων (διοικητικές επιλογές ή «ενέργειες») που διαμορφώνουν μια στρατηγική. Στο τέταρτο στάδιο, μια στρατηγική μπορεί να συνδυαστεί με εξωτερικούς παράγοντες, λ.χ. κλιματική αλλαγή ή οικονομική ανάπτυξη και έτσι δημιουργείται ένα σενάριο.

Μια στρατηγική σε συνδυασμό με ένα σενάριο είναι μια Περίπτωση. Στο πέμπτο στάδιο κάθε περίπτωση αναλύεται βαθμολογώντας την με τη χρήση των προκαθορισμένων κριτηρίων. Στο στάδιο αυτό μπορούν να εφαρμοστούν μοντέλα λήψεως αποφάσεων (λ.χ. τεχνικές βελτιστοποίησης) για να βρεθεί η βέλτιστη περίπτωση (De Vente και Aerts 2000). Στο τελευταίο στάδιο, όλες οι περιπτώσεις αξιολογούνται έναντι των κριτηρίων, σε έναν κοινό πίνακα.



Εικόνα 10.1. Προγραμματισμός του μοντέλου σε JAVA Script/HTML

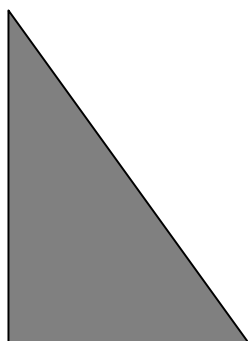


Σχήμα 10.1.

Η αποκατάσταση στα μεταλλεία της LARCO

Τα επίπεδα της εκμετάλλευσης στα μεταλλεία της ΛΑΡΚΟ έχουν τα εξής χαρακτηριστικά

A



B

Γ όπου το ύψος αναβαθμίδων $AB = 12\mu$ και το πλάτος $B\Gamma = 6-8\mu$

10.3 ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΧΩΡΩΝ ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΣΤΕΙΡΩΝ

Η κρίσιμη παράμετρος στη δημιουργία χώρων απόθεσης στείρων είναι η ευστάθεια των πρανών. Στα ορυχεία της ΛΑΡΚΟ το εναποτιθέμενο υλικό είναι ασβεστόλιθος, ο οποίος εκσκάπτεται για να αποκαλύψει το στρωματοειδές σημείο επαφής του σιδηρονικελίου με τους οφιολίθους που βρίσκονται από κάτω. Μόλις φτάσει η κλίση των πρανών του χώρου απόθεσης σε κρίσιμο σημείο (γωνία 45°), το έδαφος μετατρέπεται σε μια επίπεδη επιφάνεια (δημιουργία αναβαθμού). Ακολούθως, ο χώρος απόθεσης στείρων ισοπεδώνεται κάθε 6 μέτρα ύψους. Το πλάτος των πάγκων είναι επίσης γύρω στα 6 μέτρα. Η επιφάνεια του αναβαθμού καλύπτεται με έδαφος πάχους 40 εκατοστών και φυτεύεται με δένδρα. Μετά τη φύτευση, η αποκατεστημένη τοποθεσία συντηρείται (πότισμα, κλπ.) σε κανονικά διαστήματα.

| ΜΕΤΡΟ | ΚΟΣΤΟΣ σε €ανά στρέμμα (1/10 του εκταρίου) |
|--|---|
| Ισοπέδωση χώρου απόθεσης στείρων | 400 |
| Ισοπέδωση πρανών εκμετάλλευσης | 300 |
| Δημιουργία αναβαθμών στο χώρο απόθεσης στείρων | 2500 |
| Φύτευση Δένδρων | 100 |
| Συντήρηση Δένδρων (ετήσια) | 300 |
| Αγορά και μεταφορά δένδρων | 400 |

Πίνακας 10.1. Κόστος εργασιών αποκατάστασης (πηγή ΛΑΡΚΟ)

Ο σκοπός, αντικειμενικός στόχος και τα κριτήρια παρατίθενται σε ένα ιεραρχικό «δένδρο αποφάσεων» (σχήμα 10.7)

A. Τύποι χρήσεων γης

Για την τοποθεσία ελέγχου της ΛΑΡΚΟ υπάρχουν 4 διαθέσιμοι τύποι χρήσεων γης για την αποκατάσταση της περιοχής. Αυτοί οι τύποι χρήσεων γης είναι:

1. δάσος και δασικές εκτάσεις
2. βοσκοτόπια,
3. λίμνη,
4. γυμνό έδαφος

B. Μέτρα

Τα μέτρα για την αλλαγή των χαρακτηριστικών (κλίση, έδαφος, κλπ.) στην τοποθεσία της ΛΑΡΚΟ είναι:

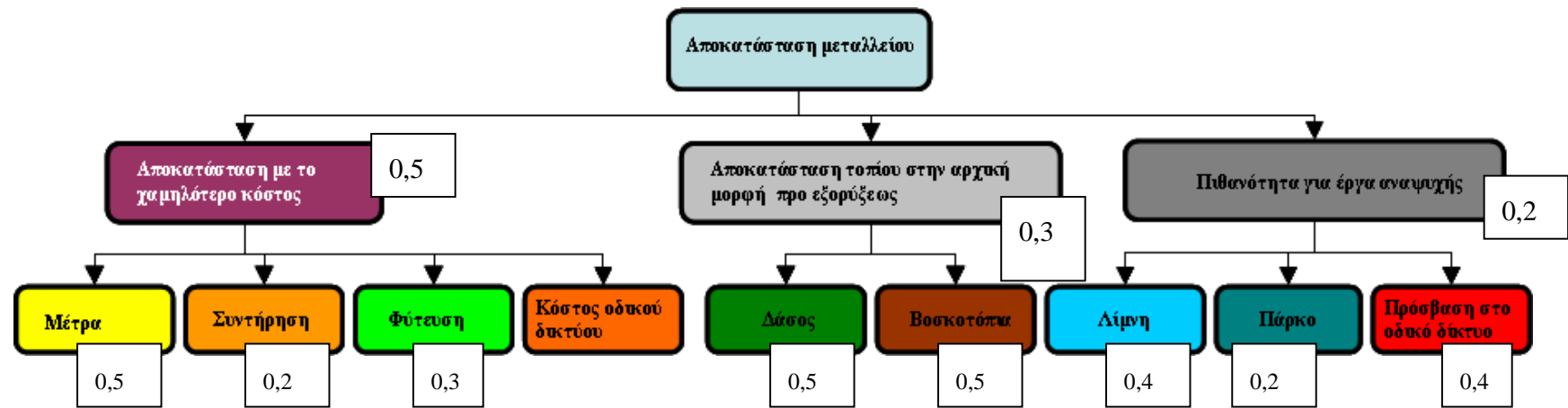
1. ισοπέδωση,
2. δημιουργία αναβαθμών.

Άλλα μέτρα για να βελτιώσουν την ποιότητα της αποκατεστημένης έκτασης σύμφωνα με τα προκαθορισμένα κριτήρια είναι:

1. η δημιουργία οδών πρόσβασης,
2. την ανακήρυξη της περιοχής ως Εθνικού Πάρκου,
3. βελτίωση των δραστηριοτήτων συντήρησης.

Γ. Στρατηγικές

Μια στρατηγική ορίζεται ως συνδυασμός διαφόρων μέτρων.



Σχήμα 10.2. Δένδρο αποφάσεων για την τοποθεσία των ορυχείων της ΛΑΡΚΟ. Οι αριθμοί απεικονίζουν τη βαθμολογία των κριτηρίων.

10.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΣΛΑ

Η διαμόρφωση των στόχων για την αποκατάσταση της περιοχής όπου γινόταν η επιφανειακή εξόρυξη σε μια περιοχή περιβαλλοντικά και οικονομικά βιώσιμη. βασίζεται σε τρεις βασικές αρχές (Ganas και λοιποί 2004):

- ο Αποκατάσταση με το μικρότερο κόστος
- ο Αποκατάσταση όσον το δυνατόν κοντά στην αρχική χρήση γης και
- ο Τη μέγιστη δυνατότητα για αναψυχή

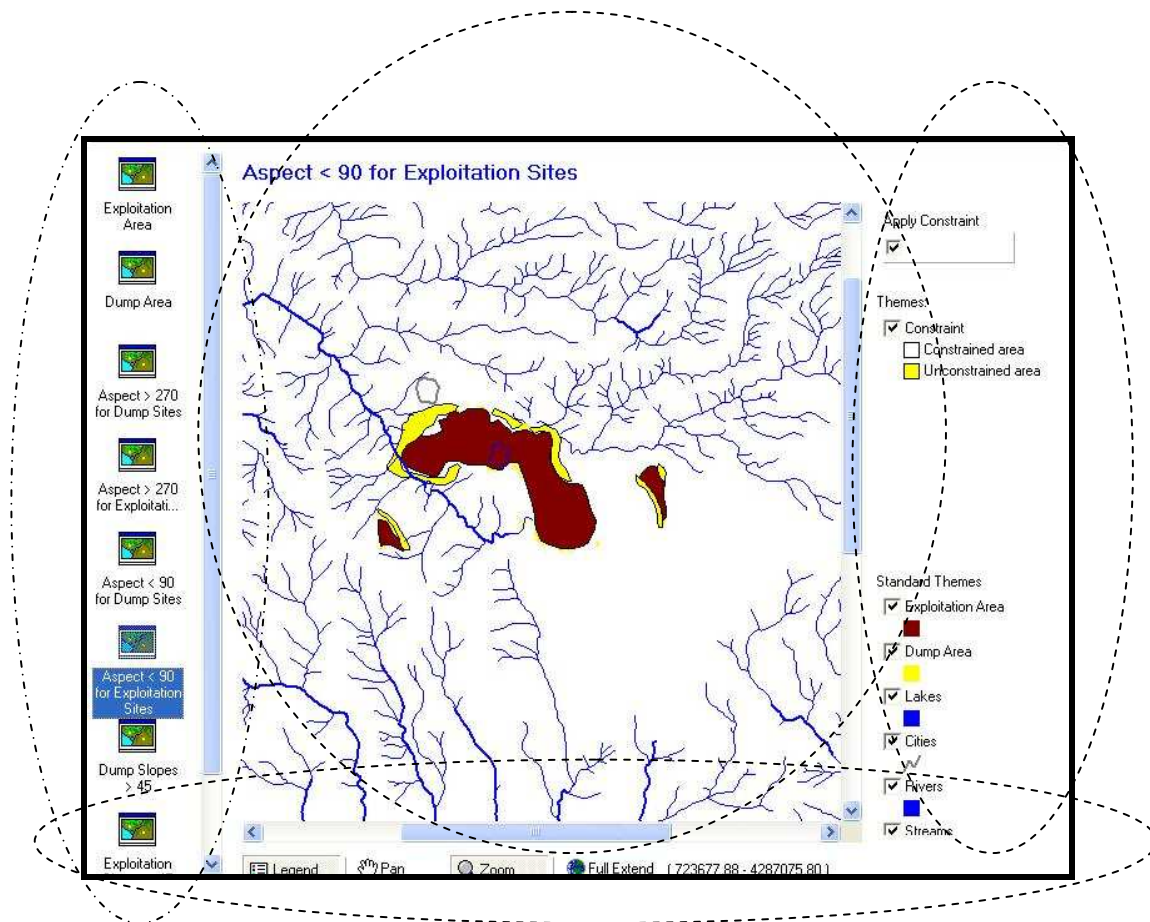
Μέσα από αυτούς τους στόχους διαμορφώνονται και τα παρακάτω κριτήρια με τα οποία μπορούμε να μετρήσουμε τα δυνητικά (ή εναλλακτικά) τα σχέδια αποκατάστασης για τα ορυχεία της ΛΑΡΚΟ:

- ο Κόστος [σε Ευρώ] ισοπέδωσης.
- ο [Εκτάρια] μιας συγκεκριμένης χρήσης γης σε σύγκριση με την προηγούμενη έκταση [σε εκτάρια] (συνθήκες προ-εξορύξεως) των χρήσεων γης
- ο Δυνατότητα ψυχαγωγίας, όπως εκφράζεται από την ύπαρξη
 - (α) υπόστασης εθνικού πάρκου για την περιοχή
 - (β) ενός καλού δρόμου για πρόσβαση στις γειτονικές πόλεις και χωριά, και
 - (γ) την παρουσία λίμνης [σε εκτάρια]

Το μοντέλο του ΣΛΑ βασίζεται σε Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (Geomatica) με ανάλυση εικονοστοιχείων $5\mu^2 \times 5\mu^2$ (raster GIS).

Η σελίδα του Συστήματος Υποστήριξης Λήψεως Αποφάσεων χωρίζεται σε τέσσερα κύρια μέρη (εικόνα 10.2):

1. Ένα κεντρικό παράθυρο απεικόνισης δεδομένων
2. Μία κατακόρυφη γραμμή εργαλείων ελέγχου του κεντρικού παραθύρου στο δεξί μέρος στο δεξί μέρος
3. Ένα πλαίσιο δεδομένων στα αριστερά
4. Μία γραμμή εργαλείων πλοήγησης στη βάση του κεντρικού παραθύρου.



Εικόνα 10.2. Τυπική απεικόνιση της κεντρικής σελίδας του ΣΛΑ. Οι ελλειψοειδείς κύκλοι απεικονίζουν τα τέσσερα βασικά λειτουργικά πεδία του μοντέλου με τα οποία ο χρήστης επικοινωνεί διαδραστικά με το σύστημα. Η εικόνα παρουσιάζει την επιλογή του περιορισμού με Προσανατολισμός < 90 μοίρες για τοποθεσίες εκμετάλλευσης (πρηνή που βλέπουν προς Βορρά). Το υπόβαθρο από το GIS είναι επίσης εμφανές.

Το Σύστημα Υποστήριξης Λήψεως Αποφάσεων ελέγχεται πατώντας το πλήκτρο του ποντικιού στα διάφορα αντικείμενα. Στο δεξί μέρος της οθόνης Επισκόπησης (Overview) ο χειριστής μπορεί να επιλέξει ποια χαρακτηριστικά θα πρέπει να παρουσιαστούν πάνω στο χάρτη. Το υπόμνημα είναι ορατό καθώς έχει προεπιλεγεί. Ο χειριστής μπορεί να επιλέξει το θέμα των *Χρήσεων γης (Land use)* ή/και ένα από τα

Τυποποιημένα θέματα (Standard themes) όπως Τοποθεσία απόθεσης αποβλήτων (Dump site), Περιοχή Εκμετάλλευσης (Mining area), Δρόμοι και Κτίρια, για προβολή πάνω στο χάρτη, πατώντας το αριστερό πλήκτρο του ποντικιού στο τετραγωνάκι αριστερά από την ονομασία του θέματος. Αν το τετραγωνάκι είναι κενό, το θέμα δεν εμφανίζεται.

Στον επόμενο πίνακα (10.2) εμφανίζονται όλοι οι αντικειμενικοί στόχοι και όλα τα κριτήρια. Στο δεξί μέρος του παραθύρου ο χειριστής έχει τη δυνατότητα να καθορίσει τη βαθμολογία επίδοσης των κριτηρίων. Το πεδίο τιμών είναι μεταξύ 1/9 και 9. Όταν καθοριστούν οι βαθμολογίες επιδόσεως των κριτηρίων, οι προτεραιότητες για κάθε κριτήριο υπολογίζονται με τη μέθοδο Ανάλυσης Πολλαπλών Κριτηρίων (Multi Criteria Analysis). Οι προτεραιότητες εμφανίζονται στο μέσον του παραθύρου με αριθμητική μορφή, καθώς και με τη μορφή ενός ραβδογράμματος (bar chart).

| Στόχοι και κριτήρια | Σειρά προτεραιότητας | Μικρότερο Κόστος | Φύτευση | Συντήρηση | Διάνοιξη οδικού δικτύου | Συνολικό κόστος μέτρου | Όσον δυνατόν κοντά στη αρχική Χρήση γης | Έκταση δάσους | Έκταση λιβαδιών | Μέγιστη δυναμική για αναμικτή | Έκταση λίμνης | Εθνικό πάρκο | Πρόσβαση οδικού δικτύου |
|---|----------------------|------------------|---------|-----------|-------------------------|------------------------|---|---------------|-----------------|-------------------------------|---------------|--------------|-------------------------|
| Στόχοι | | | | | | | | | | | | | |
| Μικρότερο Κόστος | 0.33 | | | | | | 1 | | | 1 | | | |
| Φύτευση | 0.25 | | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | |
| Συντήρηση | 0.25 | | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | |
| Διάνοιξη οδικού δικτύου | 0.25 | | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | |
| Συνολικό κόστος μέτρου | 0.25 | | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | |
| Όσον δυνατόν κοντά στη αρχική Χρήση γης | 0.33 | 1 | | | | | | | | 1 | | | |
| Έκταση δάσους | 0.50 | | | | | | | 1 | | | | | |
| Έκταση λιβαδιών | 0.50 | | | | | | | 1 | | | | | |
| Μέγιστη δυναμική για αναμικτή | 0.33 | 1 | | | | | | | | 1 | | | |
| Έκταση λίμνης | 0.33 | | | | | | | | | | 1 | 1 | |
| Εθνικό πάρκο | 0.33 | | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| Πρόσβαση οδικού δικτύου | 0.33 | | | | | | | | | | 1 | 1 | |

Πίνακας 10.2. Στόχοι, κριτήρια και η βαθμολόγησή τους (μεταλλεία Παγώντας και Σούρτζι).

Η εφαρμογή της Ανάλυσης των Πολλαπλών Κριτηρίων επιτρέπει στο να προσδιοριστούν (α) οι συντελεστές βαρύτητας για τα χαρακτηριστικά που προσδιορίζουν τη χρήση γης και (β) το καλύτερα εναλλακτικά σενάριο αποκατάστασης.

| Χαρακτηριστικά | Τύποι Χρήσεων Γης | | | |
|-----------------------------------|-------------------|------------|--------------|-------|
| | Δάσος | βοσκοτόπια | γυμνό έδαφος | λίμνη |
| Κλίσεις (slope) | Y | Y | Y | Y |
| Έκθεση (aspect) | Y | Y | Y | N |
| Γονιμότητα εδαφών, (soil quality) | Y | Y | Y | N |
| Υψόμετρο (elevation) | N | N | N | Y |

Y=ΝΑΙ, N= ΟΧΙ

Πίνακας 10.3. Σχέση των τύπων χρήσεων γης και των χαρακτηριστικών τους

Βάση του πίνακα 10.3 ο τύπος χρήσης γης “δάσος” εξαρτάται από τη κλίση κατά (0.3), έκθεση (0.2) και έδαφος (0.5)

Ο υπολογισμός της πιθανής χρήσης γης (Calculation of Potential LU map) περιλαμβάνει τη βαθμονόμηση των χαρακτηριστικών (από 0 έως 100) και τον υπολογισμό του δασικού χάρτη ως άθροισμα των γινομένων των συντελεστή βαρύτητας με τη τιμή που έχει το κάθε χαρακτηριστικό (που έχει υπολογιστεί μέσω τηλεπισκόπησης/GIS) :

$$\text{Potential forest map} = \text{SUM}(\text{weight} * \text{Feature})$$

$$\text{Παράδειγμα} : \text{Forest} = (0.3 * \text{slope}) + (0.2 * \text{aspect}) + (0.5 * \text{Soil})$$

Το μοντέλο μετά λαμβάνει υπόψη του τα «μέτρα» και διαμορφώνει τις στρατηγικές οι οποίες είναι ένα σύνολο από περιορισμούς, πιθανές χρήσεις γης και μέτρα (σχήμα 10.3).

Περιορισμοί: Το μοντέλο ζητά από τον χρήστη να εισάγει περιοχές με περιορισμούς. Αυτές είναι περιοχές που δεν θα συμπεριληφθούν στις εργασίες αποκατάστασης εξ αιτίας χαρακτηριστικών του αναγλύφου, όπως απότομες κλίσεις ή περιοχές που βρίσκονται εκτός της περιοχής εκμετάλλευσης.

Οι περιορισμοί είναι:

- C1 Προσανατολισμός > 270 μοίρες για τοποθεσίες απόθεσης στείρων (πρανή που βλέπουν προς Βορρά)
- C2 Προσανατολισμός > 270 μοίρες για τοποθεσίες εκμετάλλευσης (πρανή που βλέπουν προς Βορρά) (εικόνα 10.3)
- C3 Προσανατολισμός < 90 μοίρες για τοποθεσίες απόθεσης στείρων (πρανή που βλέπουν προς Βορρά)
- C4 Προσανατολισμός < 90 μοίρες για τοποθεσίες εκμετάλλευσης (πρανή που βλέπουν προς Βορρά)
- C5 Εκτός περιοχής εκμετάλλευσης (non-variable/fixed)
- C6 Εκτός περιοχής απόθεσης στείρων (non-variable/fixed)
- C7 Κλίση πρανών περιοχής απόθεσης στείρων > 45 μοίρες
- C8 Πρανή εκμετάλλευσης > 45 μοίρες
- C9 Περιοχές λιμνών

Πιθανή χρήση γης: Το μοντέλο αρχίζει με τον υπολογισμό της πιθανής χρήσης γης με βάση τα χαρακτηριστικά της περιοχής αμέσως μετά το πέρας της εκμετάλλευσης. Τα χαρακτηριστικά που καθορίζουν την πιθανή χρήση γης είναι:

1. κλίση
2. προσανατολισμός.

Η πιθανή χρήση γης συνοψίζεται σε μια βασική περίπτωση (ή βασική «στρατηγική»). Σε αυτή την περίπτωση θα εκτελεστεί ελάχιστος αριθμός μέτρων για να βελτιώσει τη δυνατή επέκταση των χρήσεων γης (εικόνα 10.4).

Μια στρατηγική καθορίζεται με τον προσδιορισμό της πιθανής χρήσης γης για τη αποκατάσταση (στην περίπτωση μας δάσος, βοσκοτόπια, λίμνη ή γυμνό έδαφος), τα χαρακτηριστικά που προσδιορίζουν τη χρήση γης (πχ τύποι εδαφών, κλίση και έκθεση) και τα μέτρα που μπορούν να μεταβάλουν τα χαρακτηριστικά της χρήσης γης και κατά προέκταση τη πιθανή χρήση γης.

Βασική Στρατηγική (μόνον για τοποθεσίες απόθεσης στείρων)

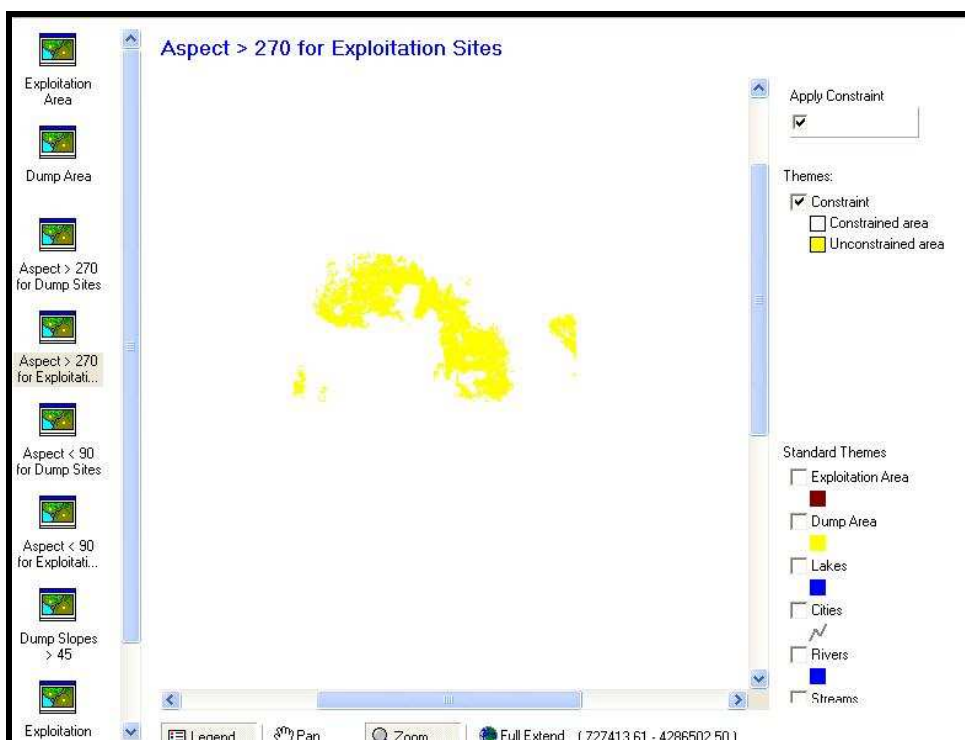
Κόστος μέτρου = Ισοπέδωση χώρου απόθεσης στείρων για κλίσεις < 45

$$\text{ΚΟΣΤΟΣ} = (\text{m}^2 * 1,0 \text{ €/m}^2)$$

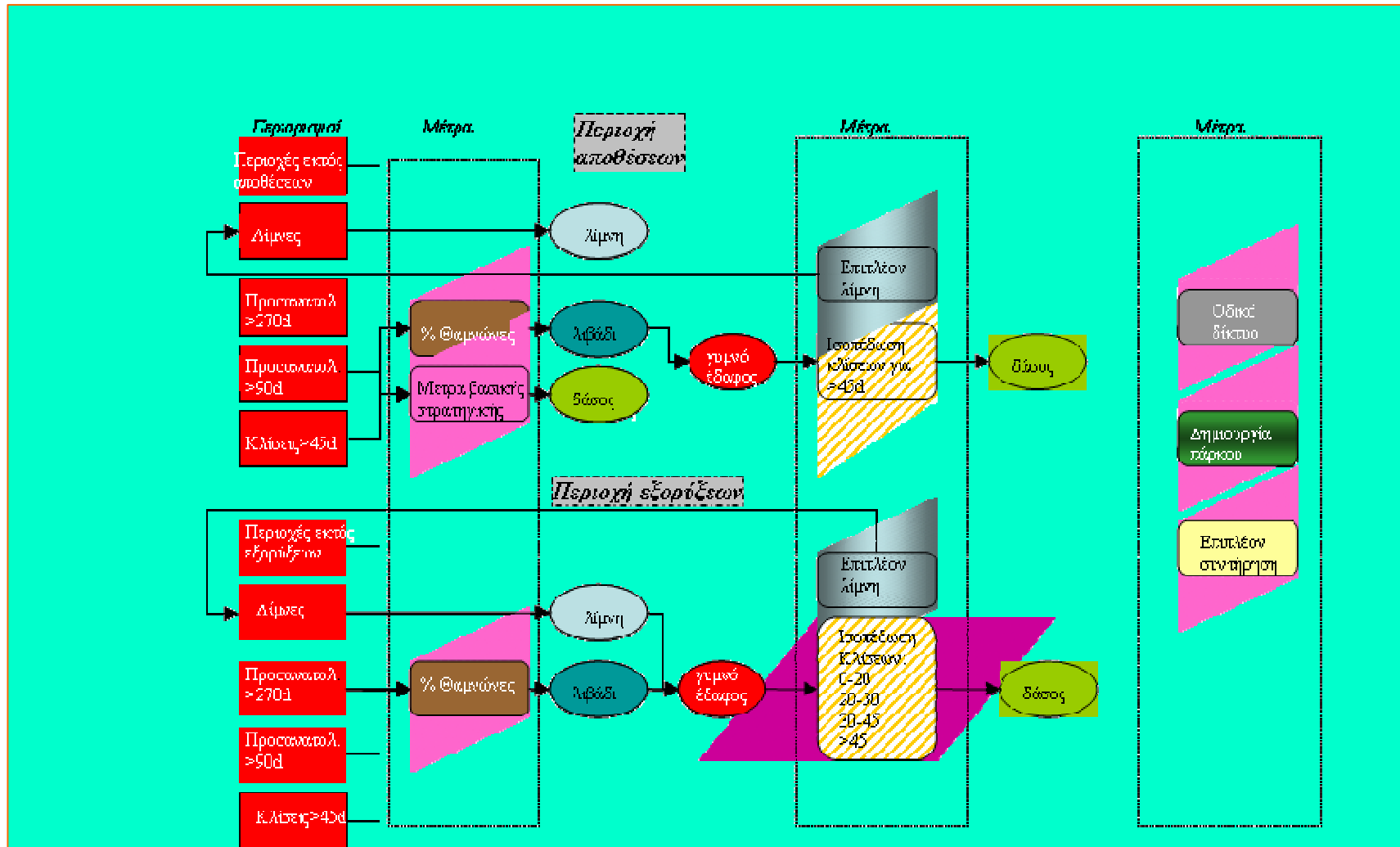
$$\text{Κόστος συντήρησης} = (5 \text{ έτη} * \text{m}^2 * 0,80 \text{ €/m}^2)$$

$$\text{Κόστος Αγοράς και Μεταφοράς} = (\text{m}^2 * 1,0 \text{ €/m}^2)$$

$$\text{Κόστος Φύτευσης} = (\text{m}^2 * 0,20 \text{ €/m}^2)$$



Εικόνα 10.3. Περιοχές με προσανατολισμό > 270 μοίρες για τοποθεσίες εκμετάλλευσης (πρανή που βλέπουν προς Βορρά). Μεταλλεία Παγώντας και Σούρτζι.



Σχήμα 10.3. Τα διάφορα στάδια ροής στο μοντέλο λήψης αποφάσεων για τις περιοχές των αποθέσεων και των εξορύξεων.

3. Μέτρα

Επί πλέον μέτρα για να αλλάξουν τα χαρακτηριστικά της περιοχής ΛΑΡΚΟ παρατίθενται κατωτέρω:

ΜΑ. Ισοπέδωση εκμετάλλευσης

ΜΑ.1. Πρανή εκμετάλλευσης 0-20

$$\text{ΚΟΣΤΟΣ} = (\text{m}^2 * 0,5 \text{ €/m}^2)$$

ΜΑ.2 Πρανή εκμετάλλευσης 20-30

$$\text{ΚΟΣΤΟΣ} = (\text{m}^2 * 0,5 \text{ €/m}^2)$$

ΜΑ.3 Πρανή εκμετάλλευσης 30-45

$$\text{ΚΟΣΤΟΣ} = (\text{m}^2 * 0,5 \text{ €/m}^2)$$

ΜΑ.4 Πρανή εκμετάλλευσης > 45 (μόνον αν ο περιορισμός ΔΕΝ εφαρμοστεί)

$$\text{ΚΟΣΤΟΣ} = (\text{m}^2 * 0,5 \text{ €/m}^2)$$

ΜΒ. Δημιουργία αναβαθμών στο χώρο απόθεσης στείρων

Δημιουργία αναβαθμών στο χώρο απόθεσης στείρων για πρανή > 45 μοίρες (μόνον αν ο περιορισμός ΔΕΝ εφαρμοστεί)

$$\text{ΚΟΣΤΟΣ} = (\text{m}^2 * 4,0 \text{ €/m}^2)$$

ΜΓ. Δημιουργία επί πλέον δυνατοτήτων Ψυχαγωγίας

ΜΓ1. Μία επί πλέον λίμνη ($\text{m}^2 * 0,5\text{€/m}^2$)

ΜΓ2. Δύο επί πλέον λίμνες ($\text{m}^2 * 0,5\text{€/m}^2$)

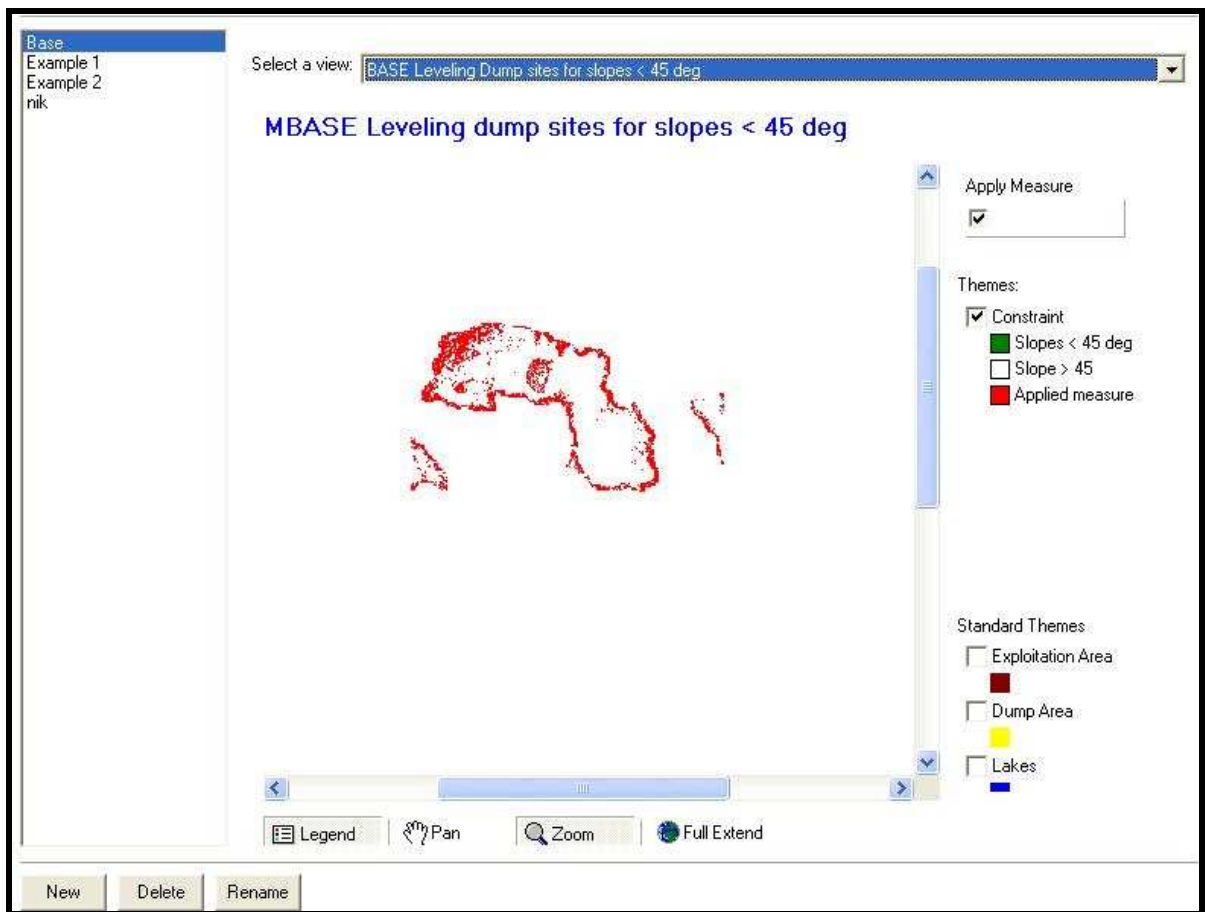
ΜΔ. Δημιουργία οδικής πρόσβασης

ΜΕ. Ανακήρυξη περιοχής ως Εθνικού Πάρκου

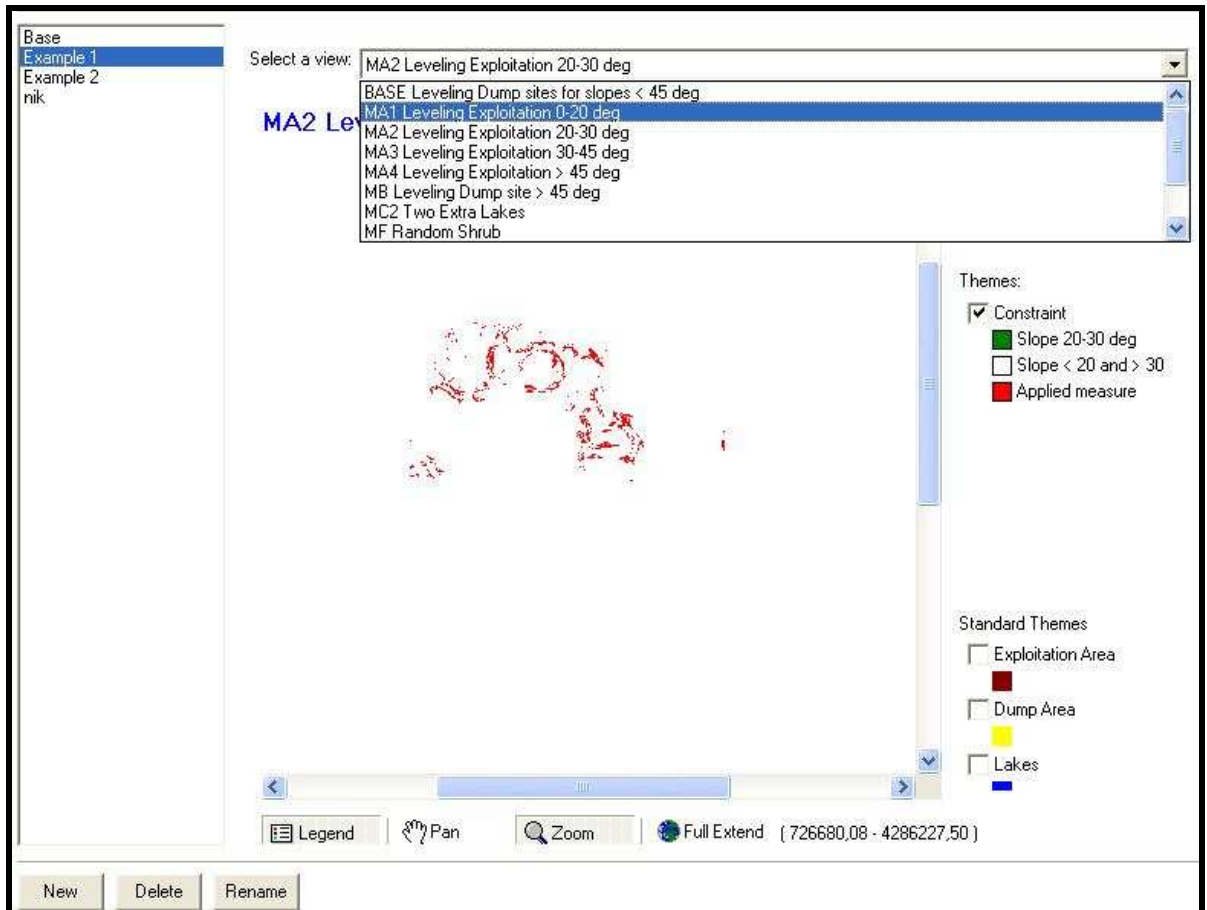
ΜΣΤ. % Λιβάδια (Τυχαία) (ΚΟΣΤΟΣ = $\text{m}^2 * 0,5\text{€/m}^2$)

ΜΖ. Κόστος συντήρησης (βάση = 5 έτη):

Κάθε πρόσθετος χρόνος = $0,5\text{€/m}^2$

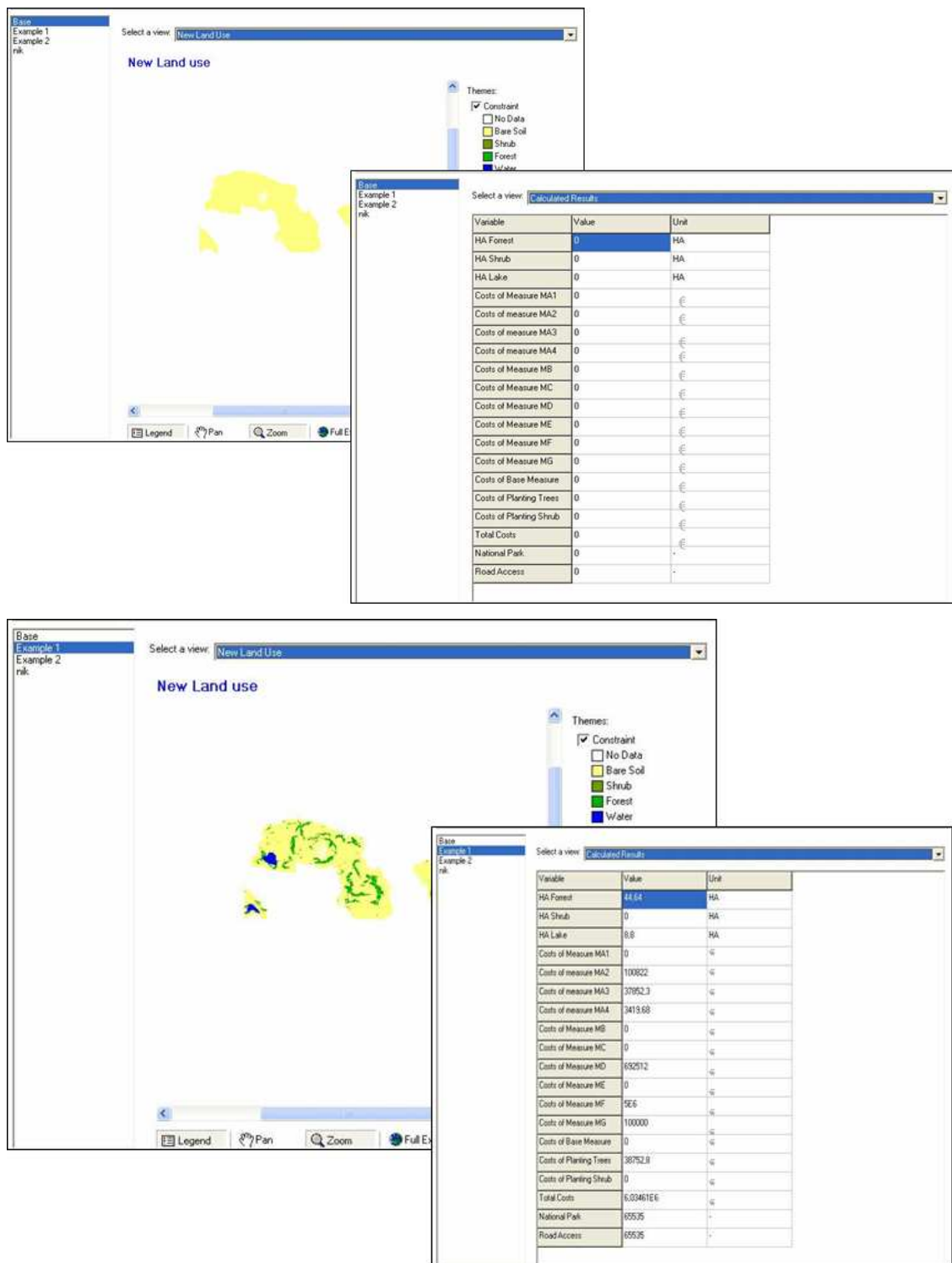


Εικόνα 10.4. Η «βασική στρατηγική» κατά την οποία εκτελείται ο ελάχιστος αριθμός μέτρων για να βελτιώσει τη δυνατή επέκταση των χρήσεων γης (μεταλλεία Παγώντας και Σούρτζι).



Εικόνα 10.5. Σενάριο 1^ο – συνδυασμός ενός αριθμού μέτρων (μεταλλεία Παγώντας και Σούρτζι).

Όλες οι στρατηγικές που επελέγησαν στο Στάδιο 3 υπολογίζονται στο Στάδιο 5 και βαθμολογούνται με τα προκαθορισμένα κριτήρια που διαμορφώθηκαν στο Στάδιο 2. Στο στάδιο αυτό λαμβάνει χώρα η Ανάλυση Πολλαπλών Κριτηρίων (Tsakiris και λοιποί, 2002) χρησιμοποιώντας διαφορετικούς βαθμούς εμπιστοσύνης των κριτηρίων και τα προκύπτοντα αποτελέσματα υπολογίζονται εκ νέου για κάθε σύνολο βαθμών εμπιστοσύνης (εικόνα 10.6).

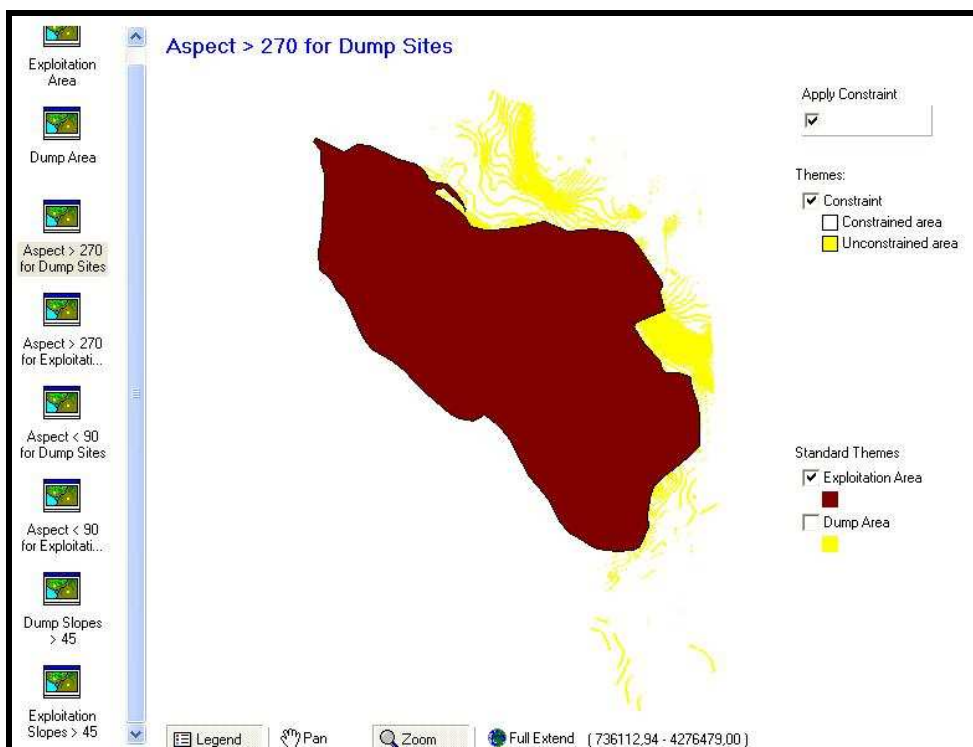


Εικόνα 10.6. Ανάλυση και βαθμολόγηση του βασικού σεναρίου (επάνω) και τυχαίου σεναρίου (κάτω). Μεταλλεία Παγώντας και Σούρτζι.

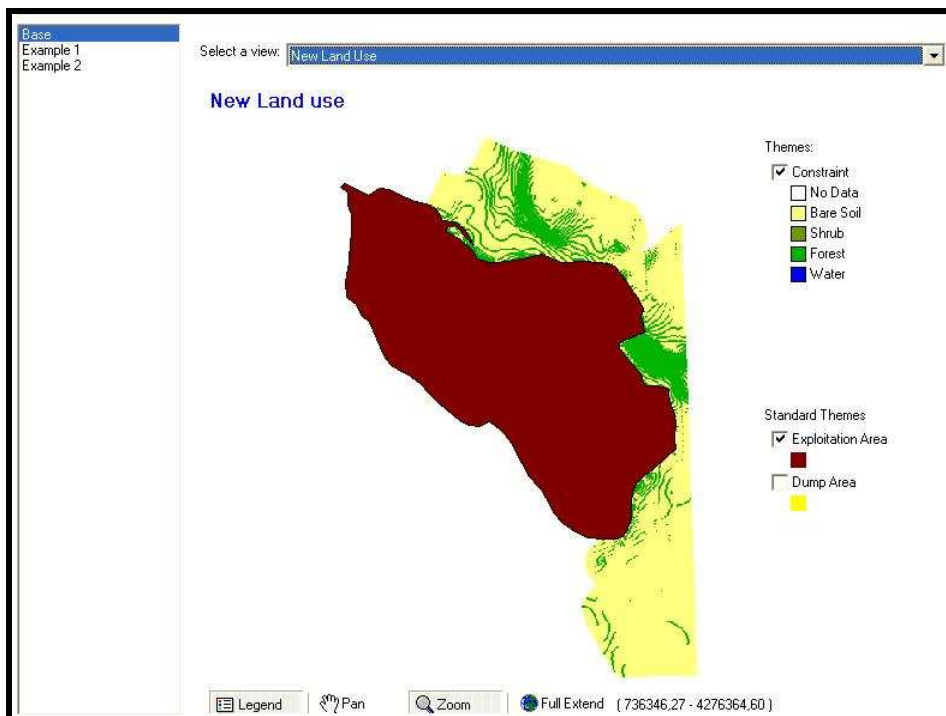
Στο Στάδιο 6 γίνεται η αξιολόγηση και όλες οι στρατηγικές που έχουν διαμορφωθεί θα παρατεθούν σε πίνακα έναντι των κριτηρίων. Όλες οι στρατηγικές που έχουν αναπτυχθεί απεικονίζονται σε έναν πίνακα με τα αντίστοιχα κριτήρια και συγκρίνονται με τη βασική στρατηγική. Στο αριστερό μέρος του πίνακα απεικονίζονται όλοι οι αντικειμενικοί στόχοι και κριτήρια. Η δεύτερη στήλη δείχνει τις προτεραιότητες που μπορεί να αλλαχθούν από το χειριστή. Με τη βοήθεια του αριστερού πλήκτρου του ποντικιού, ο χειριστής μπορεί να θέσει τις δικές του προτεραιότητες. Στις στήλες που ακολουθούν εμφανίζεται η βαθμολογία. Τα διάφορα χρώματα δείχνουν αν το αποτέλεσμα είναι καλό, μέτριο, ή κακό. Αν η στρατηγική είναι χειρότερη από τη βασική στρατηγική, με βάση κάποια κριτήρια, η αντίστοιχη κυψέλη του πίνακα θα έχει κόκκινο χρώμα. Αν η βαθμολογία είναι καλύτερη, το χρώμα θα είναι πράσινο. Αν δεν υπάρχει διαφορά, το χρώμα θα είναι κίτρινο (εικόνα 10.7).

| Αξιολόγηση | | | | | |
|---|----------------------|------|-----------|-----------|------|
| Στόχοι και κριτήρια | Σειρά προτεραιότητας | Base | Example 1 | Example 2 | nik |
| Στόχοι | | 0.42 | 0.64 | 0.5 | 0.43 |
| Μικρότερο Κόστος | 0.33 | 1 | 0.16 | 0.25 | 0.9 |
| Φύτευση | 0.25 | 1 | 0 | 1 | 0.73 |
| Συντήρηση | 0.25 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| Διάνοιξη οδικού δικτύου | 0.25 | 1 | 0.53 | 0 | 0.88 |
| Συνολικό κόστος μέτρου | 0.25 | 1 | 0.094 | 0 | 0.97 |
| Όσον δυνατόν κοντά στη αρχική Χρήση γης | 0.33 | 0.25 | 0.75 | 0.25 | 0.39 |
| Έκταση δάσους | 0.50 | 0 | 1 | 0 | 0.29 |
| Έκταση λιβαδιών | 0.50 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| Μέγιστη δυναμική για αναψυχή | 0.33 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| Έκταση λίμνης | 0.33 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| Εθνικό πάρκο | 0.33 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| Πρόσβαση οδικού δικτύου | 0.33 | 0 | 1 | 1 | 0 |

Εικόνα 10.7. Αξιολόγηση σεναρίων (μεταλλεία Παγώντας και Σούρτζι).



Εικόνα 10.8. Περιοχές με προσανατολισμό > 270 μοίρες για τοποθεσίες εκμετάλλευσης (πρανή που βλέπουν προς Βορρά). Μεταλλείο του Ισώματος.



Εικόνα 10.9. Η «βασική στρατηγική» κατά την οποία εκτελείται ο ελάχιστος αριθμός μέτρων για να βελτιώσει τη δυνατή επέκταση των χρήσεων γης (μεταλλείο Ισώματος).

Αξιολόγηση

| Στόχοι και κριτήρια | Σειρά προτεραιότητας | Base | Example 1 | Example 2 |
|---|----------------------|-------------|-------------|-------------|
| Στόχοι | | 0.47 | 0.55 | 0.44 |
| Μικρότερο Κόστος | 0,33 | 0,75 | 0,5 | 0,5 |
| Φύτευση | 0,25 | 0 | 0 | 1 |
| Συντήρηση | 0,25 | 1 | 1 | 0 |
| Διάνοιξη οδικού δικτύου | 0,25 | 1 | 0 | 1 |
| Συνολικό κόστος μέτρου | 0,25 | 1 | 0,99 | 0 |
| Όσον δυνατόν κοντά στη αρχική χρήση γης | 0,33 | 0,5 | 1 | 0 |
| Έκταση δάσους | 0,50 | 1 | 1 | 0 |
| Έκταση λιβαδιών | 0,50 | 0 | 1 | 0 |
| Μέγιστη δυναμική για αναμυχή | 0,33 | 0,17 | 0,17 | 0,83 |
| Έκταση λίμνης | 0,33 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| Εθνικό πάρκο | 0,33 | 0 | 0 | 1 |
| Πρόσβαση οδικού δικτύου | 0,33 | 0 | 0 | 1 |

Εικόνα 10.10. Αξιολόγηση σεναρίων (μεταλλεία Ισώματος).

11. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

11.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η έρευνα της εκτίμησης για την αξιόπιστη καταγραφή-παρακολούθηση της λατομικής και μεταλλευτικής δραστηριότητας στη χώρα μας με γρήγορο και οικονομικό τρόπο, είναι μια πολύ σημαντική πρόκληση τόσο για την τεχνολογία των ΣΓΠ και της δορυφορικής τηλεπισκόπησης, δηλαδή τη συλλογή δεδομένων για τη επιφάνεια της γης από τους δορυφόρους, όσο και για την βέλτιστη διαχείριση ευαίσθητων χρήσεων γης και τη γνώση τους κατά τον αστικό, βιομηχανικό και αγροτικό σχεδιασμό.

Καθώς οι δορυφόροι μεταδίδουν εικόνες σε τακτά χρονικά διαστήματα είναι δυνατή η παρακολούθηση των μεταβολών στο περιβάλλον όπως αυτές συμβαίνουν χρονικά. Ο συνδυασμός αυτής της πληροφορίας και των βάσεων δεδομένων (χρήσης γης, οδικό δίκτυο, βλάστηση κλπ.), των σύγχρονων ΣΓΠ, οδηγεί στη μείωση της ασάφειας που υπάρχει σε σχέση με τις επιπτώσεις της ανθρώπινης ανάπτυξης στο περιβάλλον και βοηθά «τα κέντρα αποφάσεων» στη χάραξη περιβαλλοντικής πολιτικής.

Η παρούσα έρευνα κατέδειξε και παρουσίασε τις πολλαπλές δυνατότητες χρήσεως και επιλογών των εξελιγμένων τεχνικών και μεθόδων της ψηφιακής επεξεργασίας δορυφορικών δεδομένων και των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών στην χαρτογράφηση και διαχρονική παρακολούθηση-καταγραφή και έλεγχο αποκατάστασης των μεταλλευτικών δραστηριοτήτων που δεν ξεπερνούν σε έκταση τα 10 τετραγωνικά χλμ. Η προσπάθεια για μια ολοκληρωμένη και πολυδιάστατη προσέγγιση για την διαχρονική επισκόπηση και καταγραφή των μεταλλείων της ΛΑΡΚΟ στο Παγώντα, Σούρτζι και Ίσωμα του Νομού Ευβοίας θεωρούμε, ότι πέτυχε το στόχο της παροχής ενός εργαλείου για την κατάστρωση διαχειριστικών σχεδίων δράσης και προγραμματισμού έργων αποκατάστασης.

Με την παρούσα έρευνα, διεφάνει, ότι με την χρήση των δορυφορικών δεδομένων μπορεί να διακριθεί η επιφάνεια και η έκταση των διαφόρων τύπων φυσικής κάλυψης, χρήσεων γης και πιο συγκεκριμένα των δραστηριοτήτων οι οποίες αναπτύσσονται σε υπαίθριες μεταλλευτικές εκμεταλλεύσεις. Η χρήση των πολυφασματικών διαχρονικών δεδομένων Landsat TM με διακριτική ικανότητα 28,5 μέτρων απέδειξε την ικανότητα τους να αποδώσουν οριακά την εξέλιξη των μεταλλείων σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές από το 1986 έως το 1997. Ο ρυθμός επισκεψιμότητας του ίδιου σημείου των δεδομένων

Landsat είναι πολύ συστηματικός, κάθε 16 ημέρες, και γι' αυτό το λόγο είναι υπέρ αρκετός για την παρακολούθηση της εξέλιξης των εργασιών εξόρυξης σε ένα μεταλλείο.

Τα διαχρονικά δορυφορικά δεδομένα Landsat TM, χρησιμοποιήθηκαν στην διαδικασία λήψης αποφάσεων γιατί παρέχουν αξιόπιστες πληροφορίες σχετικά με τις λατομικές και μεταλλευτικές δραστηριότητες στα διάφορα στάδια εξέλιξης της λειτουργίας των λατομείων/ορυχείων και την αποκατάστασή τους.

Οι τεχνικές εποπτευόμενης ταξινόμησης εφαρμόστηκαν στις σκηνές Landsat TM μετά από διεξοδική εργασία πεδίου. Οι εκπαιδευόμενες περιοχές της εποπτευόμενης ταξινόμησης εντοπίστηκαν στην εικόνα του 1997 που ήταν πιο κοντά στη ημερομηνία διεξαγωγής της παρούσας ερευνητικής εργασίας. Παρόλη τη χρονική δυσκολία οι περιοχές αυτές εύκολα εντοπίστηκαν και στις προγενέστερες σκηνές γιατί ουσιαστικά δεν υπήρξε μεγάλη αλλαγή στη φυσική κάλυψη και τις χρήσεις γης. Οι κλάσεις που επιλέχθηκαν ήταν δάση και δασικές εκτάσεις (λιβάδοπονικές περιοχές), δρόμοι και αναβαθμίδες, λίμνη, επικαλύψεις εδαφών, σκιαζόμενες επιφάνειες και μητρικό υλικό (γυμνό έδαφος). Η κλασική μέθοδος της Μέγιστης Πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood) που βασίζεται στη στατιστική ανάλυση των εικονοστοιχείων (Pixel by Pixel) αναπτύχθηκε με επιτυχία και στις τρεις σκηνές Landsat χρησιμοποιώντας τις ίδιες κατηγορίες χρήσεων γης.

Η ψηφιακή επεξεργασία περιελάμβανε τόσο χωρικά όσο και θεματικά λάθη. Τα χωρικά λάθη προέρχονται συνήθως από τη γεωμετρική διόρθωση των δεδομένων ως προς το χάρτη. Στη παρούσα διδακτορική διατριβή η μέθοδος της γεωμετρικής διόρθωσης που χρησιμοποιήθηκε ήταν από εικόνα (Landsat 1986) σε ανυσματικό αρχείο και χάρτη (ακτογραμμή και χάρτη 1/50.000 γενικής χρήσης της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού) και από εικόνα σε εικόνα (1991 σε 1997 και 1986 σε 1997). Σε κάθε γεωμετρική διόρθωση επιλέχθηκε η μέθοδος των Κοντινότερης Παρεμβολής (Nearest Neighbor) η οποία δεν αλλάζει τις τιμές των pixel (DN-digital number) που χρησιμοποιήθηκαν στην επακόλουθη ταξινόμηση.

Τα μικρά λάθη ταξινόμησης που υπήρξαν προέρχονταν εξαιτίας α) των διαφορετικών συνθηκών του φυσικού φωτισμού μιας και οι εικόνες αποκτήθηκαν περίπου την ίδια περίπου εποχή (Απρίλιος- Μάιος- Ιούνιος), β) των ανθρωπογενών επεμβάσεων στις περιοχές των ορυχείων και γ) της ραδιομετρικής σταθερότητας του αισθητήρα του Θεματικού χαρτογράφου του δορυφόρου Landsat-5.

Η εφαρμογή των τεχνικών ανίχνευσης αλλαγών σε διαχρονικές εικόνες που αποκτούνται από τα δορυφορικά συστήματα όπως Landsat TM, είναι χρήσιμη για τον οπτικό και ψηφιακό προσδιορισμό των αλλαγών στις χρήσεις γης του εδάφους. Τα κανάλια TM1, 2, 3, 4, 5 και 7 χρησιμοποιήθηκαν για να προσδιορίσουν τις αλλαγές που έλαβαν χώρα στα ορυχεία της ΛΑΡΚΟ στο Παγώντα και Σούρτζι του νομαρχιακού διαμερίσματος της Ευβοίας μεταξύ 1986 και 1997. Διαχρονικοί χάρτες δημιουργήθηκαν με τον ακόλουθο συνδυασμό 1997-1991 και 1991-1986. Στην περίπτωση μας η κατάσταση πριν την εξόρυξη είναι δάσος και γυμνό έδαφος. Η περιοχή που έχει αποκατασταθεί είναι δάσος και επιφανειακά νερά (τεχνητή λίμνη).

Εργασίες πεδίου 2006 έδειξαν ότι οι κατολίπηση των πρανών είναι ο κύριος λόγος των κατάρρευσης των αναβαθμίδων.

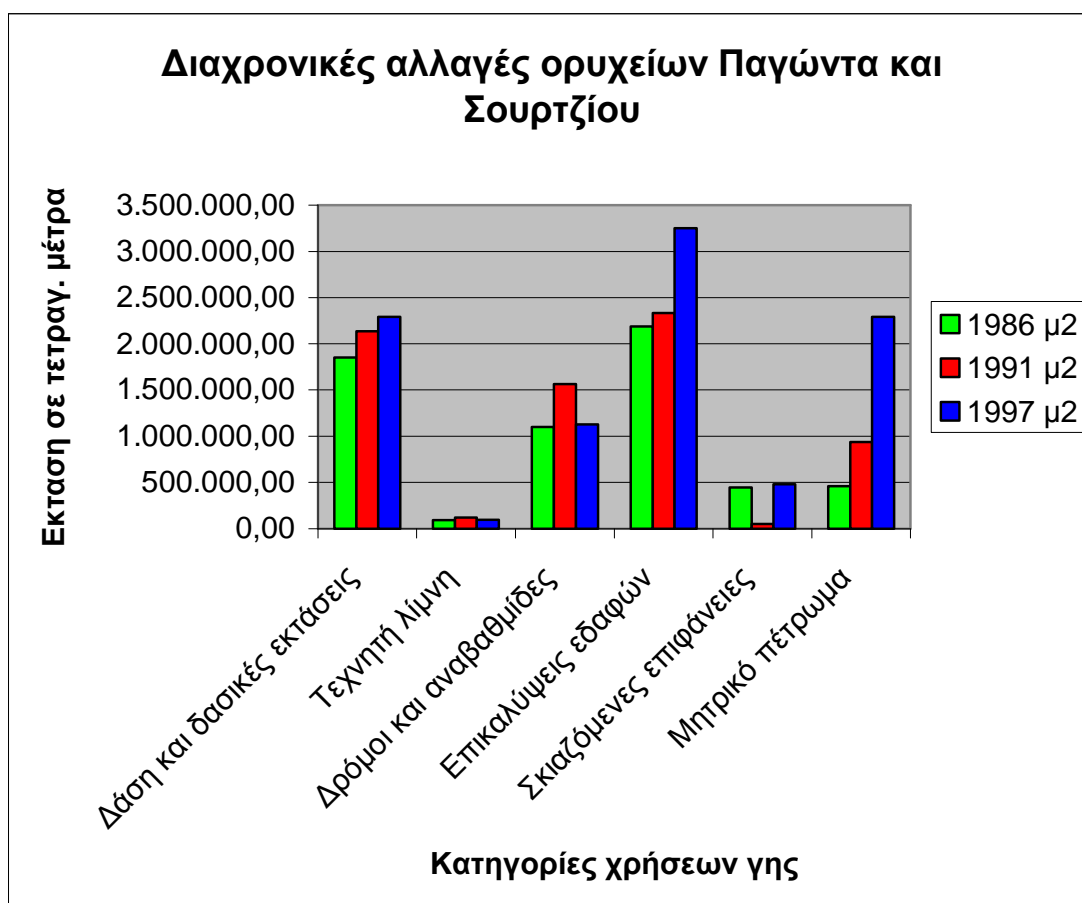
Τα ορυχεία του Παγώντα από 6,13 τετραγωνικά χιλιόμετρα το 1986 επεκτάθηκαν σε 7,15 το 1991 και σε 9,53 τετραγωνικά χιλιόμετρα το 1997 (πίνακας 11.1, σχήμα 11.1).

Μεταξύ του 1986 και του 1991 αυξήθηκαν οι δασικές εκτάσεις κατά 15% ως συνέπεια της μερικής αποκατάστασης που έγινε στο Παγώντα και Σούρτζι. Η τεχνητή λίμνη αυξήθηκε κατά το 1/3 ως αποτέλεσμα αποκατάστασης. Ως αποτέλεσμα της μεταλλευτικής δραστηριότητας αυτής είναι και η αύξηση στους δρόμους και τις αναβαθμίδες κατά 40%, των εδαφικών επικαλύψεων κατά 6% και της ανάδειξης του μητρικού πετρώματος κατά 100%. Η μείωση που έγινε στις σκιαζόμενες επιφάνειες κατά 12% συμπίπτει με την κατάρρευση των αναβαθμίδων στο ορυχείο του Παγώντα πριν το 1991.

Μεταξύ του 1991 και του 1997 παρατηρείται μικρότερη αύξηση κατά 7% των δασικών εκτάσεων ως συνέπεια της μερικής αποκατάστασης που έγινε στο Παγώντα και Σούρτζι. Η τεχνητή λίμνη μειώθηκε κατά 20% ως αποτέλεσμα της μεταλλευτικής δραστηριότητας. Ως αποτέλεσμα της δραστηριότητας αυτής είναι και η αύξηση των εδαφικών επικαλύψεων κατά 40%. Η αύξηση των σκιαζόμενων επιφανειών κατά 50% συμβαίνει λόγω της εκβάθυνσης του ορυχείου του Παγώντα και συνοδεύεται από επίσης αύξηση του μητρικού υλικού κατά 140%. Η μείωση των δρόμων και των αναβαθμίδων είναι κατά 28% και είναι λόγω της μερικής αποκατάστασης και ισοπέδωσης.

| Κατηγορίες χρήσεων γης | 1986 | 1991 | 1997 | Μεταβολή 86-91 | | Μεταβολή 91-97 | |
|------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------|---------|----------------|---------|
| | μ ² | μ ² | μ ² | μ ² | % | μ ² | % |
| Δάση και δασικές εκτάσεις | 1.849.500,00 | 2.138.400,00 | 2.290.500,00 | 288.900,00 | 115,62% | 152.100,00 | 107,11% |
| Τεχνητή λίμνη | 92.700,00 | 121.500,00 | 98.100,00 | 28.800,00 | 131,07% | -23.400,00 | 80,74% |
| Δρόμοι και αναβαθμίδες | 1.098.900,00 | 1.565.100,00 | 1.126.800,00 | 466.200,00 | 142,42% | -438.300,00 | 72,00% |
| Επικαλύψεις εδαφών | 2.187.000,00 | 2.333.700,00 | 3.249.900,00 | 2.187.000,00 | 106,71% | 916.200,00 | 139,26% |
| Σκιαζόμενες επιφάνειες | 446.400,00 | 53.100,00 | 480.600,00 | -393.300,00 | 11,90% | 427.500,00 | 51,10% |
| Μητρικό πέτρωμα | 459.900,00 | 940.500,00 | 2.290.500,00 | 480.600,00 | 204,50% | 1.350.000,00 | 243,54% |
| Συνολο | 6.134.400,00 | 7.152.300,00 | 9.536.400,00 | | | | |

Πίνακας 11.1. Αλλαγές χρήσεων γης στα ορυχεία Παγώντα και Σουρτζίου.



Σχήμα 11.1 Διαχρονικές αλλαγές στα ορυχεία του Παγώντα και Σουρτζίου. Σύγκριση δορυφορικών δεδομένων Landsat TM 1986, 1991 και 1997 μετά από τη δοκιμασία της εποπτευόμενης ταξινόμησης

Συγκεκριμένα τα ακόλουθα συμπεράσματα μπορούν να προέλθουν από αυτήν την μελέτη:

- Προκειμένου να μετρηθεί ακριβώς η διαφορά στις τιμές φωτεινότητας των εικονοστοιχείων μεταξύ των εικόνων των διαφορετικών ημερομηνιών, οι εικόνες πρέπει να καταχωρηθούν με μία χωρική ακρίβεια της τάξης του ενός εικονοστοιχείου και καλύτερη.
- Η κανονικοποίηση της ραδιομετρικής ανάλυσης των καναλιών επιδρά θετικά στην αποτελεσματικότητα της ανίχνευσης αλλαγών από εικόνα σε εικόνα
- Οι λόγοι των αντίστοιχων καναλιών στις ημερομηνίες 1986, 1991 και 1997 στη κόκκινη και κοντινή υπέρυθη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος των εικόνων LANDSAT TM, που αποκτήθηκαν κατά τις διαφορετικές ημερομηνίες, παρήγαγαν εικόνες με ικανοποιητικές αλλαγές αλλά μόνο για την οπτική ερμηνεία.
- Οι μέθοδοι της ανάλυσης των κύριων συνιστωσών απέδωσαν ακόμα καλύτερα αποτελέσματα ενισχύοντας και τις πιο μικρές αλλαγές. Οι νέες εικόνες (eigens) που δημιουργήθηκαν από τα ανεπεξέργαστα δεδομένα (μη ραδιομετρικά διορθωμένα) έδωσαν καλύτερα αποτελέσματα από τα επεξεργασμένα (ραδιομετρικά διορθωμένα). Όλες οι εικόνες που σχηματίστηκαν από το μετασχηματισμό των Κύριων Συνιστωσών βοήθησαν μόνο το οπτικό εντοπισμό των αλλαγών, χωρίς ο χρήστης να είναι ικανός να αιτιολογήσει το είδος της αλλαγής.
- Η σύγκριση των ψηφιακών δορυφορικών δεδομένων μετά από τη δοκιμασία της εποπτευόμενης ταξινόμησης αποδείχθηκε πιο αποτελεσματική στην εφαρμογή του εντοπισμού των διαχρονικών αλλαγών εξαιτίας του γεγονότος ότι οι περιοχές από κάθε κατηγορία χρήσεως γης μπορούν να υπολογιστούν ποσοτικά και ποιοτικά. Αυτή η μεθοδολογία οδήγησε στη σύνταξη των χαρτών αλλαγής χρήσεων γης, για κάθε μια από τις κατηγορίες χρήσης του εδάφους. Εντούτοις, υπήρξαν πολλοί περιορισμοί που είχαν επιπτώσεις στην ακρίβεια ταξινόμησης όπως ο κατακερματισμός των κλάσεων που επιλέχθηκαν και η ανάμιξή τους (μητρικό υλικό, επικαλύψεις εδαφών, αναβαθμίδες, αποκατάσταση αναβαθμίδων

και φυσική βλάστηση). Οι ανωτέρω περιορισμοί δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν από τον αλγόριθμο ταξινόμησης μέγιστης πιθανοφάνειας, ο οποίος δεν λαμβάνει υπόψη τις χρήσιμες πληροφορίες όπως η υφή, το σχήμα και τη γειτονιά των υφιστάμενων κατηγοριών χρήσεων γης. Αυτή η μέθοδος παρείχε τη χωρική κατανομή των χρήσεων γης για τα ορυχεία του Παγώντα και του Σουρτζίου από το 1986 έως το 1997. Να σημειωθεί ότι η πιθανή χρήση της αντικειμενοστραφούς (object-oriented) ανάλυσης, πιθανόν να αποτελεί μια καλύτερη προσέγγιση για τέτοιες μελέτες και μέγεθος ορυχείων, σε σχέση με την ανάλυση με βάση τα εικονοστοιχεία (per-pixel analysis).

- Η εξέλιξη των χρήσεων γης και της φυσικής κάλυψης του εδάφους στη περιοχή των ορυχείων του Παγώντα και Σούρτζι άλλαξαν ως συνέπεια της εντατικοποίησης των μεταλλευτικών δραστηριοτήτων, της κατάρρευσης των αναβαθμίδων και του μικρού βαθμού αποκατάστασης σε εκτάσεις μικρότερες από 100 στρέμματα.

Η χρήση των δορυφορικών δεδομένων KVR-1000 με διακριτική ικανότητα 2 μέτρων απέδειξε την ικανότητα των δεδομένων να αποδώσουν με σαφήνεια τη δραστηριότητα μέσα στα μεταλλεία όπως δρόμους, κτιριακές μονάδες μέσα στα όρια του μεταλλείου, θέση και διαστάσεις των αναβαθμίδων εξόρυξης, περιοχές αποκατάστασης, περιοχές εξωτερικών αποθέσεων στείρων και γεωμετρικές κατασκευές σε μια κλίμακα 1:10.000. Τα προβλήματα διάκρισης μεταξύ μη γραμμικών χαρακτηριστικών στο εσωτερικό του μεταλλείου όπως αποθέσεις στείρων, επικαλύψεις εδαφών και μητρικό υλικό, τα οποία βασίζονται στην φασματικές υπογραφές και όχι τόσο στην ανάμιξη και κατακερματισμό τους εντοπίστηκαν και μελετήθηκαν. Τα προβλήματα όμως αυτά δεν είναι αξεπέραστα και λύνονται με μία πιο πλήρη σειρά δορυφορικών δεδομένων με υψηλή διακριτική και διακριτική ικανότητα (1 μέτρο ή μισό μέτρο χρωματικά ανορθωμένων – pan sharpened). Στην έρευνα χρησιμοποιήθηκε μόνο μια λήψη KVR-1000 σχετικά κοντά στην εποχή της μεταλλευτικής δραστηριότητας (μόνο μία εικόνα καλής ποιότητας διαθέσιμη σε μια εξαετία). Σε αντίθεση με τις εικόνες Landsat, τα δεδομένα KVR-1000 δεν έχουν συστηματικό ρυθμό επισκεψιμότητας ενός σημείου της επιφάνειας της γης.

Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους που δημιουργήθηκε προήλθε από τα στερεοζεύγη SPOT με 10μ διακριτική ικανότητα. Οι ημερομηνίες λήψης για τα δεδομένα SPOT ήταν 16 Ιανουαρίου και 4 Φεβρουαρίου 1993 αντίστοιχα. Υψομετρικά σημεία αναφοράς πάρθηκαν

από ψηφιακό χαρτογραφικό μοντέλο τη Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ) ακρίβειας 10μ. Το ψηφιακό μοντέλο που δημιουργήθηκε ικανοποιούσε τις ανάγκες της ΛΑΡΚΟ για τις γειτονικές περιοχές όχι όμως και για τον εσωτερικό χώρο των ορυχείων κυρίως γιατί δεν μπορούσαν διακριθούν γήινα και ανθρωπογενή χαρακτηριστικά, πιθανώς λόγω των μικρών διαστάσεων του ορυχείου και του είδος της εξόρυξης. Το ίδιο μοντέλο μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή χαρτών κλίσεων, προσανατολισμού και με κάρναβο 10 μέτρων και συγκρίνεται σε ακρίβεια με το μοντέλο που προήλθε από την ψηφιοποίηση των ισοϋψών του χάρτη 1:50.000 της ΓΥΣ.

Το σύστημα λήψης αποφάσεων δεν ήταν δυνατόν να επιβεβαιωθεί και να ελεγχθεί με επίγειους ελέγχους γιατί και στα δύο ορυχεία, του Παγώντα και του Σουρτζίου το μεγαλύτερο μέρος των αναβαθμίδων στις περιοχές αποθέσεων καταστράφηκε λόγω της κατολίσθησης των πρανών πριν το 1991. Εντούτοις, στο τρίτο ενεργό ορυχείο του Ισώματος, η μελέτη έδειξε την αποτελεσματικότητα της χρήσης δορυφορικής τηλεπισκόπησης και των ΓΣΠ διαμέσου ενός συστήματος λήψης αποφάσεων.

Τα δορυφορικά δεδομένα ήταν αρκετά για να καταγράψουν τη περιβαλλοντική δομή του ορυχείου του Ισώματος και της ευρύτερης γειτονιάς του. Το σύστημα λήψης αποφάσεων ήταν επιτυχές στη διαμόρφωση της αποκατάστασης τοπίων με (α) την επιλογή των περιοχών απορρίψεων στις ίδιες θέσεις με εκείνες που χαρτογραφήθηκαν στην δορυφορική εικόνα υψηλής ανάλυσης KVR-1000 και (β) εφαρμόζοντας τα σωστά μέτρα όπως η δημιουργία αναβαθμίδων και η φύτευση δέντρων, τα οποία επιβεβαιώθηκαν με επίγειο έλεγχο.

Το κύριο πρόβλημα που καταγράφηκε ήταν η διαχρονική χαρτογράφηση της χρήσης γης και της τοπογραφίας στις χαρτογραφικές κλίμακες 1:5000 ή μεγαλύτερες (πχ. 1/3000, 1/2000 κλπ). Οι ειδικοί όπως γεωπόνοι-αρχιτέκτονες τοπίου, οι τοπογράφοι μηχανικοί, οι μηχανικοί περιβάλλοντος ή μηχανικοί υπαίθριων εκμεταλλεύσεων χρειάζονται πληροφοριακό υλικό για το ορυχείο σ' αυτές τις κλίμακες για να υλοποιήσουν τα σχέδια αποκατάστασης. Τα δορυφορικά δεδομένα Landsat TM που χρησιμοποιήθηκαν κάλυψαν οριακά και με πολύ δυσκολία μας παρείχαν αυτές τις πληροφορίες, εντούτοις, δείξαμε ότι με τη χρησιμοποίηση των δορυφορικών δεδομένων KVR-1000 θα μπορούσαμε να παρέχουμε μέρος αυτών των πληροφοριών για το έτος 1992. Κατά την άποψή μας ευκαίω θα ήταν, προκειμένου να επιτευχθεί μεγαλύτερη ακρίβεια στους υπολογισμούς, η ύπαρξη

τουλάχιστον τριών δορυφορικών λήψεων KVR-1000 στις αντίστοιχες με τις ημερομηνίες λήψεις των δεδομένων Landsat TM.

Η εμφάνιση των αισθητήρων IKONOS (1μ), QUICKBIRD (0,7μ), GEOEYE (0,5μ), WORLDVIEW-1 (0,5μ) και WORLDVIEW-2 (0,5μ) πρόκειται να καλύψει το κενό σε αυτόν τον τομέα με την παροχή της καλής ποιότητας θεματικών ορθοφωτοχαρτών. Θα είναι εφικτό να παραχθούν οι θεματικοί χάρτες με υψηλό επίπεδο ακρίβειας στην κατηγοριοποίηση των στοιχείων ενός ορυχείου και των γειτονικών χρήσεων γης, όπως για παράδειγμα εγκαταστάσεις, ταινιόδρομοι, αναβαθμίδες, αποκατεστημένες περιοχές, οδικό δίκτυο, αποθέσεις στείων γειτονικές αστικές και δασικές περιοχές κ.λ.π. Παράλληλα τα αναμενόμενα ψηφιακά μοντέλα που θα προκύψουν από τα στερεοζεύγη των δεδομένων αυτών, με την υψομετρική ακρίβεια κοντά στο ένα (1) μέτρο θα είναι ιδανικά για την τρισδιάστατη οπτικοποίηση και παρακολούθηση των ορυχείων. Το κόστος απόκτησης αυτών των δεδομένων (~25€ το τετραγωνικό χιλιόμετρο) βέβαια δεν συγκρίνεται με το κόστος απόκτησης των δεδομένων Landsat (~0,30€ το τετραγωνικό χιλιόμετρο).

Γενικά όσον αφορά τις περιοχές των ορυχείων οι βελτιώσεις που εισάγονται με την χρήση των ψηφιακών δορυφορικών δεδομένων σε αντιδιαστολή με τις παραδοσιακές μεθόδους (βασισμένες στις επίγειες έρευνες και αεροφωτογραφήσεις) καθιστούν απλούστερη την ανάλυση της αποκατάστασης (προγραμματισμός και έλεγχος).

Επιπλέον, η χρήση των πολυφασματικών ψηφιακών δορυφορικών δεδομένων μπορεί να παρέχει τις πολύ ενδιαφέρουσες πληροφορίες για τον έλεγχο της αποκατάστασης, ο οποίος τώρα λαμβάνεται μόνο από τις μεγάλες χρονοβόρες επίγειες έρευνες. Η μελέτη μας έδειξε ότι η ενσωμάτωση των ψηφιακών δορυφορικών δεδομένων σε ένα περιβάλλον GIS για ένα υπαίθριο ορυχείο είναι εύκολη, λόγω της ψηφιακής μορφής των δεδομένων, και διευκολύνει την παρουσίαση των αποτελεσμάτων σε δύο και τρεις διαστάσεις. Οι τρισδιάστατες απεικονίσεις της περιοχής των ορυχείων έχουν το πρόσθετο ενδιαφέρον επειδή διευκολύνουν την παρατήρηση των αποτελεσμάτων αποκατάστασης. Αυτή η πτυχή είναι πολύ σημαντική όχι μόνο για τους υπεύθυνους και υπόλογους της αποκατάστασης, αλλά και για τις τοπικές, διοικητικές αρχές και περιβαλλοντικές οργανώσεις. Το χαμηλό κόστος κατά 40% έως και 50% σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους (πίνακας 11.2), η δυνατότητα της συλλογής δεδομένων και η δημιουργία εργαλείων λήψης αποφάσεων μέσα από αυτά τα δεδομένα είναι σημαντικά πλεονεκτήματα που κάνουν τη μεθοδολογία αυτή

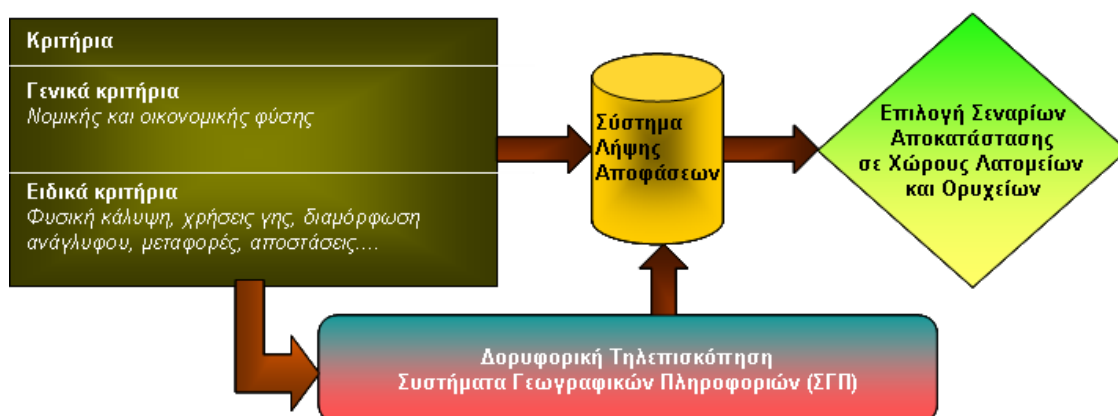
αποδεκτά σ' εύκρατα κλίματα, που λόγω της μεγάλης διάρκειας της ηλιοφάνειας επιτρέπει την ασφαλή παρακολούθηση σε σταθερά χρονικά διαστήματα. Το χαμηλό κόστος αλλά και η προσβασιμότητα σε δεδομένα μπορεί να αποτελέσουν θετικά κριτήρια για την ενσωμάτωση τέτοιων προϊόντων στις λειτουργικές δραστηριότητες των μεταλλευτικών επιχειρήσεων.

| Καθήκοντα | Παραδοσιακές μετρήσεις με ελέγχους αεροφωτογραφήσεις (ανά έργο) | μέθοδοι Νέα επίγειους μεθοδολογία και ΨΤΔΑ, GIS και συστημάτων λήψης αποφάσεων (ανά έργο) | προτεινόμενη με χρήση με χρήση |
|--|---|--|--|
| | Κόστος αεροφωτογράφισης για στερεοζεύγη για περιοχή 10 τετραγων. χλμ. : 15.000 € Επίγειες μετρήσεις: - | Κόστος στερεοσκοπικών δεδομένων για minimum περιοχή 50 τετραγωνικών χλμ. : 6.500 € | λήψης δεδομένων περιοχή 50 τετραγωνικών χλμ. : 6.500 € |
| 1. Επεξεργασία δεδομένων (ψηφιοποίηση φιλμ, ορθοφωτοχάρτη και λοιπών ραδιομετρική, γεωμετρική διόρθωση, ποιοτική και ποσοτική ανάλυση) | Κόστος παραγωγής φιλμ, ορθοφωτοχάρτη και λοιπών θεματικών χαρτών: δύο (2) ανθρωπομήνες | Επίγειες μετρήσεις: - Κόστος παραγωγής ορθοφωτοχάρτη και λοιπών θεματικών χαρτών : ένας (1) ανθρωπομήνας | |
| 2. Διαχρονική παρακολούθηση - έλεγχος αποκατάστασης | 0.5 ανθρωπομήνες | 0.5 ανθρωπομήνες | |
| TOTAL | 15.000 € | + 2.50 6500 € | + 1.50 ανθρωπομήνες ανθρωπομήνες |

Πίνακας 11.2. Σύγκριση κόστους μεταξύ συμβατικών μεθόδων παρακολούθησης και ελέγχου αποκατάστασης των λατομικών και μεταλλευτικών δραστηριοτήτων και της χρήσης δορυφορικής τηλεπισκόπησης και GIS (Πηγές : ΛΑΡΚΟ και Endesa).

11.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Αν θέλαμε να σκιαγραφήσουμε τη μεθοδολογία μας ως μια γενική προσέγγιση αντιμετώπισης παρόμοιων θεμάτων στον Ελλαδικό χώρο θα μπορούσαμε να προτείνουμε το σχέδιο-πλάνο που απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα 11.2.



Σχήμα 11.2.

Πιστεύουμε ότι τα δορυφορικά δεδομένα περιέχουν πολλά στοιχεία που μπορεί να χρησιμοποιηθούν σε ένα χάρτη με θεματικό υπόβαθρο, ανάλογα με τον τύπο του χάρτη (χάρτες χρήσεων γης, χάρτες διαχρονικής εξέλιξης χρήσεων γης και φυσικής κάλυψης). Μέχρι πολύ πρόσφατα η λεπτομέρεια των δορυφορικών εικόνων δεν μπορούσε να θεωρηθεί ιδανική για όλους τους τύπους χαρτών και για όλες τις κλίμακες ενώ μέχρι πρότινος η κλίμακα 1:5.000 θεωρείτο η ιδανικότερη και ήταν επιτευκτική με τη χρήση του αμερικανικού δορυφόρου IKONOS.

Τα νέα δορυφορικά τηλεπισκοπικά συστήματα με δυνατότητα χωρικής ανάλυσης της τάξης του μισού (0,5) μέτρου και πολυφασματική της τάξης των τριών (2) μέτρων, αυξάνουν κατακόρυφα τη λεπτομέρεια των δορυφορικών τους εικόνων και ταυτόχρονα τα καθιστούν ικανά να χρησιμοποιηθούν και για άλλους σκοπούς όπως την αναζήτηση θεματικών περιοχών (χαρτογράφηση βλάστησης, οικισμών, ικανοποίηση περιβαλλοντικής νομοθεσίας κλπ.) ή για την ενημέρωση χαρτών.

Κατά την διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας διατριβής διεφάνησαν και τα διάφορα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των χρησιμοποιούμενων δορυφόρων Landsat TM, KVR-1000 και SPOT καθώς και οι λατομικές και μεταλλευτικές απαιτήσεις όσον αφορά την χρήση αυτών. Η παρούσα μελέτη κατέδειξε γενικότερα τις δυνατότητες των δορυφορικών δεδομένων σε σχέση με τις απαιτήσεις των λατομικών και μεταλλευτικών δραστηριοτήτων (πίνακας 11.3).

| Απαιτήσεις Λατομικών και Μεταλλευτικών Δραστηριοτήτων | | | Αυτοτόπτες των Δορυφορικών Δεδομένων Ρυθμός επισκευσιμότητας και χωρική και φασματική ανάλυση | | | | | |
|---|--|---|--|--|--|---|---|---|
| | | | 1986-1998 | | | | (1999-2007) | |
| Φάση πριν την Εκμετάλλευσης- Εξόρυξη | Φάση Εκμετάλλευσης - Εξόρυξης | Φάση Αποκατάστασης | Κλίμακα δεδομένων του αισθητήρα | Επαναληψιμότητα (ημέρες) | Λιαθεσιμότητα δεδομένων | Ακρίβεια | Κλίμακα δεδομένων του αισθητήρα | Ακρίβεια |
| * Ανίχνευση νέων περιοχών μεταλλευμάτων *Γενική χαρτογράφηση της επιφάνειας και της γεωλογίας, κατολισθήσεις εδάφους | | | Landsat4/5 TM 741-TM6 LISS-3 543 JERS1 OPS 1: 100000 & 1: 50000 AIRBORNE (CASI/MIVIS/DAIS/AVIRIS) | 16 24 44 N/A | 1982 1996 1992 1996 | 30-120μ 25 μ 20 μ | Landsat-7 TM 1: 50000 ASTER SWIR/TIR 1: 50000 SPOT-5 PAN (1/10.000) | 15-60 μ 2-5 μ |
| * Μελέτη σκοπιμότητας + περιβαλλοντικών επιπτώσεων - οδικό δίκτυο - τοποθεσίες απόρριψης * Σύνθεση της περιβαλλοντικής βάσης για τη μικρότερη όχληση στο περιβάλλον => - εκτίμηση σεναρίου αποκατάστασης - λεπτομερή αποτύπωση χρήσεων γης - εκτίμηση παραγωγικότητας της γης * Δημιουργία/ Αναθεώρηση: - γεωλογικών χαρτών - χαρτών μεταλλευμάτων - εδαφολογικών χαρτών - δικτύου στράγγισης - υδρογεωλογικών χαρτών *DEMs + Χάρτη κλίσεων 100-m ανάλυση 30-m ανάλυση | | | SPOT PAN 1: 25000 IRS-1C PAN 1: 15000 KVR 1000 PAN KFA 3000 PAN DD-5 PAN 1:5000 Landsat-5 TM 741 LISS-3 (IRS-1C) JERS1-OPS SPOT XS 1: 100000 1: 50000 AIRBORNE (CASI/MIVIS/DAIS/AVIRIS) 1: 10000 SPOT 1A/1B IRS PAN JERS OPS-band4 ERS 1/2-amplitude RADARSAT InterfSAR | 26 5 Μη συστηματική 16 24 44 26 N/A 26 (3) 14(5) 44 35/3 24 various | 1986 1996 1984 1978 1982 1996 1992 1986 1996 1986 1996 1992 1991 1996 1991 | 10 μ 8 μ 2 μ 3 μ 2 μ 30 μ 25 μ 20 μ 20 μ 20 μ 10-20 μ | SPOT-5 PAN (2002) QuickBird (2001), <1:5000 OrbView-3 (2003) IKONOS-1 (1999) <1:5000 (ελεύκτη αποστολή πλάνου συλλογής-επισκευσιμότητα ανά 3 ημέρες) Landsat-7 SPOT-4/5 TerraSAR-X (2007) ENVISAT RADARSAT II | 2-5 μ 1 m 1 m 1 m 15-30μ 2-5μ 1μ (DEMs: ±1-3μ) 8-30μ (DEMs: ±1-3μ) |
| | Παρακολούθηση της εξέλιξης του λατομείου /ορυχείου επέκταση πρηνών . Παρακολούθηση των θέσεων των εξωτερικών αποθέσεων *συσσώρευση *κατάρρευση πρηνών *διαρροές Οπτικοποίηση της εκμετάλλευσης | | SPOT PAN 1: 25000 IRS-1C PAN 1: 15000 KVR 1000 PAN KFA 3000 PAN 1:5000 DEMs SPOT 1A/1B IRS PAN JERS OPS-band4 ERS 1/2-amplitude RADARSAT InterfSAR | 26 5 26 (3) 14(5) 44 35/3 24 various | 1986 1996 1984 1978 1986 1996 1992 1991 1996 1991 | 10 μ 8 μ 2 μ 3 μ 10 -20 μ | SPOT-5 QuickBird, <1:5000 OrbView-3 IKONOS-1 <1:5000 QuickBird, <1:5000 OrbView-3 IKONOS-1 <1:5000 | 2-5μ 1 μ 1 μ 1 μ (DEMs: ±1-3μ) |
| | | * Αποκατάσταση *Αναγκαία εδάφη για γεωργική γη *Εκτίμηση της : - αισθητικής ποιότητας - συμμόρφωσης με περιβαλλοντική νομοθεσία [μέσω διαχρονικών στοιχείων πχ DEM, φυσικής κάλυψης χρήσεων γης δεικτών βλάστησης] | Landsat-TM 741 SPOT PAN 1: 25000 IRS-1C PAN 1: 15000 KVR 1000 PAN KFA 3000 PAN 1:5000 DEMs SPOT 1A/1B IRS PAN JERS OPS-band4 ERS 1/2-amplitude RADARSAT InterfSAR | 16 26 5 26 (3) 14(5) 44 35/3 24 various | 1982 1986 1996 1984 1978 1986 1996 1992 1991 1996 1991 | 30 μ 10 μ 8 μ 2 μ 3 μ 10 -20 μ | QuickBird, <1:5000 OrbView-3 IKONOS-1 <1:5000 QuickBird, <1:5000 OrbView-3 IKONOS-1 <1:5000 RADARSAT TerraSAR-X | 1 μ 1 μ 1 μ (DEMs: ±1-3μ) (DEMs: ±1-3μ) |

Πίνακας 11.3.

Τέτοια δεδομένα σε συνδυασμό με συστήματα ΣΓΠ βοηθούν στη λήψη αποφάσεων για επεκτάσεις πόλεων, έργα πρασίνου, χαρτογράφησης καλλιεργειών, προστασία περιαστικού πρασίνου, ανοικοδομήσεις, διατηρητέες περιοχές και γενικά διαχείριση της χωρικής πληροφορίας στο αστικό, ημιαστικό και αγροτικό περιβάλλον.

Καταλήγοντας, πιστεύουμε ότι η βάση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε και δημιουργήθηκε για την περιοχή των ορυχείων της ΛΑΡΚΟ στο Παγώντα, Σούρτζι και Ίσωμα του Νομού Ευβοίας μπορεί να αποτελέσει ένα σημαντικό χαρτογραφικό – στατιστικό υπόβαθρο για μία πιο εμπειριστατωμένη εκτίμηση της αποκατάστασης των συγκεκριμένων ορυχείων όταν αυτά θα σταματήσουν οριστικά. Οι θεματικοί χάρτες που παρήχθησαν είναι άμεσα διαθέσιμοι για την υπέρθεση και ανάπτυξη σεναρίων πιθανής επέμβασης.

Όσον αφορά το κόστος μιας τέτοιας προσέγγισης-έρευνας, αυτό προφανώς είναι ευθέως ανάλογο με την ποιότητα και ποσότητα των δεδομένων και αντιστρόφως ανάλογο με την κλίμακα εργασίας. Δηλαδή όσο βελτιώνεται η κλίμακα εργασίας π.χ. από 1/50.000 σε 1/10.000 τόσο αυξάνεται το κόστος ανά τετραγωνικό χλμ. Όσο βελτιώνεται η ποιότητα των δεδομένων π.χ. πολυφασματικά δεδομένα με 1 μέτρο αντί παγχρωματικών δεδομένων με ένα μέτρο ή όσο αυξάνεται η ποσότητα των δεδομένων τόσο αυξάνεται το κόστος επεξεργασίας και η αξία κτήσης των δεδομένων.

Φυσικά θα πρέπει να αναφερθεί και η ανάγκη για υπολογιστικά συστήματα και λογισμικά εργαλεία τα οποία έχουν την δυνατότητα εύκολου χειρισμού των δεδομένων αυτών και γρήγορη εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων.

Η κτήση και ανάλυση των δορυφορικών δεδομένων έχει μία σημαντική οικονομική επιβάρυνση όμως τα οφέλη τα οποία προκύπτουν είναι μεγαλύτερα από το αρχικό κόστος της επένδυσης. Κρίνεται λοιπόν σκόπιμο και προτείνεται η άμεση δημιουργία καταλλήλων βάσεων δεδομένων (διαχρονικών δορυφορικών, χαρτογραφικών, μετεωρολογικών κλπ.) από τις οποίες μελλοντικοί ερευνητές ή Κρατικές Υπηρεσίες αξιοποιώντας τις καταλλήλως θα μπορούν να έχουν συνεχή και συστηματική εποπτεία και παρακολούθηση της αποκατάστασης υπαίθριων λατομικών και μεταλλευτικών εκμεταλλεύσεων και για την χρονική στιγμή που αυτό θα απαιτηθεί.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Aerts, J., Kriek, M., and Schepel, M., (1999). STREAM (Spatial Tools for River Basins and Environment and Analysis of Management Options): set up and requirements. *Physics and Chemistry of the Earth Part b—Hydrology, Oceans and Atmosphere*, 24, 591–595.
- Aronoff, S., (1989). *Geographic Information Systems: A Management Perspective*. WDL Publ, Ottawa, 294 pp.
- Astaras, Th., Lambrinos, N. and Soulakellis, N. (1990). A drainage system analysis evaluation of, and comparison between, Landsat-3 RBV, Landsat-5 TM and SPOT PA imageries covering the Central Macedonia district, Greece. *Int. J. Remote Sensing*, vol.11, no.9, 1549-1559.
- Barrett, E.C., and Curtis, L.F., (1982). *Introduction to Environmental Remote Sensing*. London:John Wiley and Sons, Halsted Press.
- Bockholts P., (1988). Seabel: Hazard identification & decision support system for emergency response of chemical spillages at sea. TNO report. TNO Division of technology for Society. Commission of the European Community DG-XI.
- Bonham-Carter, Graeme F., (1994). *Geographic Informations Systems for Geoscientists: Modelling with GIS*. *Computer Methods in the Geosciences*, Volume 13, published by Pergamon (Elsevier Science Ltd), pp. 120-125.
- Burrough, P.A., (1986). *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*. Oxford University Press, New York.
- Byrne, G.F., Crapper P.F., and Mayo, K.K. (1980). Monitoring Land-cover Change by Principal Components Analysis of Multitemporal Landsat data, *Remote Sens. Environ.* 10:175-184.
- Chavez, P.S. Jr., (1996). Image-based atmospheric corrections—revisited and revised. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 62(9): 1025-1036.
- Connors K., Graham D., (1995). Multi-seasonal LANDSAT TM Facilitates regional

- Geological Mapping. EO Magazine. Remote Sensing, GIS, GPS in Oil, Gaz and Mining. January edition.
- Corbley Kevin, (1994). Image analysis plays key role in mapping uranium mine clean-up. Remote Sensing, GIS, GPS in Oil, Gaz and Mining. April edition.
- Corbley Kevin, (1994). Canada applies new processing technology to old data in mineral exploration. EO Magazine. Remote Sensing, GIS, GPS in Oil, Gaz and Mining. May edition.
- Dekker Fons, (1993). What is the right Remote Sensing tool for oil exploration. EO Magazine. Remote Sensing, GIS, GPS in Oil, Gaz and Mining. January edition.
- De Vente, J., and Aerts, J. C. J. H., (2000). Environmental restoration of a surface mining area. The application of remote sensing and GIS in a management information system. In MIS 2000, GIS and Remote Sensing, MIS 2000 Conference, Lisbon, June 2000, edited by C. A. Brebbia and P. Pascolo (Southampton: WIT Press), pp. 393–402.
- DigitalGlobe, (2009). Quickbird and the new satellite birds WorldView-1 and WorldView-2. www.digitalglobe.com
- Driscoll, F.G., (1986). *Groundwater and Wells*. St. Paul, Minn.: Johnson Division, 2nd edition.
- Du, M.H., (1998). Staking a Claim to Mine Reclamation. Imaging notes September/October 1998, Vol 13. No 2.
- Elroi Daniel, (1995). Opportunities for implementing GIS Technologies in the Mining industry. The International Journal Integrating GeoTechnologies For Earth Solutions. EO Magazine. Remote Sensing, GIS, GPS in Oil, Gaz and Mining. January edition.
- EOSAT NOTES, (1995). Washington, DC - KVR-1000 and Landsat TM Merge. Volume 10, Number 3 - Fall/Winter 1995.
- Fabbri, A.G., (1992). *Remote sensing, geographic information systems and the environment: a review of interdisciplinary issues*. ITC journal, 2: 119-126.
- Ferrier, G., White, K., Griffiths, G., Bryant, R., and Stefouli, M., (2002). The mapping of

- hydrothermal alteration zones on the island of Lesbos, Greece using an integrated remote sensing dataset. *International Journal of Remote Sensing*, 23, 341–356.
- Foley, J.D., A. van Dam, S.K. Feiner and J.F. Hughes, (1990). *Computer Graphics: Principles and Practice* (second edition). Addison-Wesley Publishing Company
- Fung, T., (1990). An Assessment of TM Imagery for Land-cover Change Detection. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 28:681-684.
- Fung, T., and LeDrew, E., (1987). Application of Principal Components Analysis to Change Detection. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 53:1649-1658.
- Ganas, A., and Athanassiou, E., (2000). A comparative study on the production of satellite orthoimagery for geological remote sensing. *GeoCarto International*, 15, 51–59.
- Ganas, A., Aerts, J., Astaras, T., Ventes, J., Frogoudakis, E., Lambrinos, N., Riskakis, C., Oikonomides, D., Filippidis, A., Kassoli-Fournaraki, A., (2004). The use of earth observation and decision support systems in the restoration of open cast nickel mines in Evia, central Greece. *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 25, No 16. , 3261–3274.
- GEOMATICA, (2009). *Geomatica 10 Software Solutions*. Διαθέσιμο από <http://www.pcigeomatics.com>.
- Gomasasca, M.A., Zilioli E., Brivio P.A., Doria I., Moriondo A., Pagnoni F., Tomasoni R., (1992). *Waste-disposal sites identification and classification by means of Landsat TM imagery*. Proceedings 6th Australasian Remote Sensing_Conference, 2-6 November 1992, Wellington New Zealand. Volume 2, pp. 183-191.
- Gautam, N.C., and Chennaiah, G.Ch., (1985). Land-use and Land-cover Mapping and Change Detection in Tripura using Satellite Landsat Data. *Int. J. Remote Sensing* 6:517-528.
- GeoEye, (2009). IKONOS-2, Orbview series and the new Geoeeye satellite. www.geoye.com
- Guthrie, G.D. and Mossman, B.T., (1993). Health effects of mineral dusts. *Reviews Mineralogy*, vol.28, Mineralogical Society of America, Washington D.C., 584 pp.
- Harris, J.R., (1971). *Urban and Industrial Deconcentration in Developing Economies:An*

- Analytical Framework. *Regional and Urban Economics* 1:139-152.
- Howarth, P.J., and Wickware, G.M., (1981). Procedures for Change Detection using Landsat Digital data. *Int. J. Remote Sensing* 2:277-291.
- Hough Harold, (1993). Satellite imagery right medicine for mining problems. *EO Magazine. Remote Sensing, GIS, GPS in Oil, Gaz and Mining*. January edition.
- Hough Harold, (1993). Satellite imagery entices mining firms in Argentina. *EO Magazine. The International Journal Integrating GeoTechnologies For Earth Solutions*. October edition.
- Ingebritsen, S.E., and Lyon, R.J.P., (1985). Principal Components Analysis of Multitemporal image pairs. *Int. J. Remote Sensing* 6:687-696.
- Jim, C. Y., (2001). Ecological and landscape rehabilitation of a quarry site in Hong Kong. *Restoration Ecology*, 9, 85–94.
- Jambor, J.L. and Blowes, D.W., (1994). *Short Course Handbook on Environmental Geochemistry of Sulfide Mine-Wastes*. Mineralogical Association of Canada, Waterloo, Ontario, 438 pp.
- Jenson, S.K. and Domingue, J.O., (1988) "Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 54, No. 11, pp. 1593-1600
- Jones, A. R., Settle, J. J., and Wyatt, B. K., (1988). Use of digital terrain data in the interpretation of SPOT-1 HRV multispectral imagery. *Int. J. Remote Sensing*, 9(4), 669-682.
- Kabata-Pendias, A. and Pendias, H., (1992). *Trace Elements in Soils and Plants*. CRC Press, Boca Raton, Florida, 365 pp.
- Kalivas D.P., Kollias V.J., and Karantounias G., (2003). *A GIS for the Assessment of the Spatio-Temporal Changes of the Kotychi Lagoon. Western Peloponnese, Greece*. *Water Resources Management*, 00: 1-18.
- Kruse, F.A. and Raines, G.L., (1984). A Technique For Enhancing Digital Colour Images by Contrast Stretching in Munsell Colour Space. In *Proceedings of the International Symposium on Remote Sensing of Environment, 3rd Thematic*

- Conference, Environmental Research Institute of Michigan, Colorado Springs, Colorado, pp. 755-773.
- Landsat Applications. Surface mining. Environmental aspects of surface mining. EOSAT notes, Is. 2.
- Lillesand, T.M., and Kiefer, R.W., (1994). *Remote and Image Interpretation*. John Wiley and Sons, Inc. (third edition).
- Lo, C.P., (1986). *Applied Remote Sensing*. Longman Group U.K Ltd
- Llorens, J. F., Fernandez Turiel, J. L., Banninger, C., and Almer, A., (2000). A remote sensing based approach for the restoration of an open-cast coal mine site. In *Remote Sensing in the 21st Century: Economic and Environmental Applications*, edited by J. L. Casanova (Rotterdam: Balkema), pp. 491–496
- Lu, Jiaju., (1988). Development of Principal Components Analysis applied to multitemporal Landsat TM Data. *Int. J. Remote Sensing* 9:1895-1907.
- Maguire, D.J., (1991). *An overview and definition of GIS.. In* D.J. Maguire et al. (ed.) *Geographical information systems: Principles and applications*. Longman Scientific & Technical, London. p. 9-20.
- Marino, D.W., (1998). High-Resolution Imagery Proves its Mining Worth. *Imaging notes* September/October 1998, Vol 13. No 2.
- McLeod R.D. & Congalton R.G., (1998). A quantitative comparison of change detection algorithms for monitoring eelgrass from remotely sensed data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 64(3): 207-216
- Mouat, D. A., Mahin, G. G., and Lancaster, J., (1993). Remote Sensing Techniques in the Analysis of Change Detection. *Geocarto International*, 2, 39-50.
- Ninot, J. M., Herrero, P., Ferre, A., and Guardia, R., (2001). Effects of reclamation measures on plant colonization on lignite waste in the eastern Pyrenees, Spain. *Applied Vegetation Science*, 4, 29–34.
- Prelat Alfredo., (1993). *Sensing Success by Satellites*. Exploration & Production, Technology International 1993. Sedgwick Energy House Limited. Cornhill Publications Limited

- Richards, J.A., (1986). *Remote Sensing Digital Image Analysis. An Introduction*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Robinove, C.J., Chavez, Jr., Gehring, D., and Holmgren, R., (1981). *Arid Land Monitoring using Landsat Albedo Difference Images*. *Remote Sens. Environ.* 11:133-156.
- Slater, P.N., (1980). *Remote Sensing: Optics and Optical Systems*. Addison-Wesley: Reading, Mass.
- Sand, L.B. and Mumpton, F.A., (1978). *Natural Zeolites: Occurrence, properties, use*. Pergamon, Oxford, 546 pp
- Sengupta, M., (1993). *Environmental impacts of Mining: Monitoring, Restoration and Control*. Lewis Publ. Boca Raton, Florida, 494 pp.
- Shepard, J.R., (1964). A Concept of Change Detection. *Photogramm.Eng.Remote Sens.* 30:649.
- Spencer Clyde, (1995). Remote Sensing provides High-Tech clues for mineral exploration. *The International Journal Integrating GeoTechnologies For Earth Solutions*. EO Magazine. Remote Sensing, GIS, GPS in Oil, Gaz and Mining. January edition.
- Spyropoulos, N., Valmis, S., Ganas, A., Metaxas, G., (2010). Land reclamation of surface mining based in imagery intelligence and spatial decision support systems. *World Transactions on Engineering and Technology Education*. Vol. 8, No.1.
- Spyropoulos, N., Granger W.K, (1993). "Change Detection in Salamis Island, Greece, using Landsat TM Imagery (1987-1991)". *Earth Observation Magazine*. The International Journal Integrating Geotechnologies For Earth Solutions. Volume 2, number 6, June 1993.
- Spyropoulos, N., (1993). "Change Detection in Salamis Island, Greece, using Landsat MSS and TM Imagery (1972-1987)". *Geothetical Information Magazine*, Volume 7, Number 2.
- Switzer, P., and Ingebritsen, S.E., (1986). Ordering of Time-difference Data from Multispectral Imagery. *Remote Sens. Environ.* 20:85-94.

- Thome, K., Markham, B., Barker, J., Slater, P., and Biggar, S., (1997). Radiometric calibration of Landsat. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63, 853–858.
- Townshed, J. R. G., and Hancock, P. J., (1981). The role of remote sensing in mapping surficial deposits. In : *Terrain Analysis and Remote Sensing*, edited by R.G Townshed. George Allen and Unwin, London, 204-218.
- Tsakiris, G., Todorovic, V., Vzangelis, H., (2002). *Naias-A practical multi-criteria tool for strategic water system management*. 5th International Conference. Water resources Management in the Era of Transition. Athens, 4-8 September 2002.
- Vernet, J.P. (1991). *Heavy Metals in the Environment*. Elsevier, Amsterdam, 405 pp.
- Wadge G., et al., (1993). Mapping hydrous pathfinder minerals associated with gold mineralization. *Proceeding of the 25th International Symposium: Remote Sensing and Global Environmental Change*. Graz, Austria, 4-8 April 1993.
- Wagner Jo Mary, (1995). Back to the future with ERS-1-Reconstructing the Ice Age can help steer mining companies in the right direction. *The International Journal Integrating GeoTechnologies For Earth Solutions*. EO Magazine. Remote Sensing, GIS, GPS in Oil, Gaz and Mining. January edition.
- Xu, X., Aiken, C., Thurmond, J., NeuBert, B., (2004). Beyond Point Clouds The future of 3D Virtual Models. *Geoworld*. October 2004.
- Zavoianu, I., (1985). *Morphometry of drainage basins*. *Developments in water science*, 20. Elsevier, Amsterdam, 238 pp.
- Γήτας, Z.I., και Khaldoun, N.R, (2003). Συγκριτική μελέτη της χρήσης δορυφορικών εικόνων χαμηλής, μέσης-υψηλής διακριτικής ικανότητας στην χαρτογράφηση καμένων εκτάσεων, *Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα*, Τόμος 14.
- Επιτροπή Brundland, (1987). *Διεθνής Επιτροπή για την Ανάπτυξη και το Περιβάλλον (Our common future)*. The World Commission on Environment and Development –Brundland Commission.

- Καλύβας, Δ. Π., (2001). Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών στη Διαχείριση των Υδατικών Πόρων. Συμπόσιο “ΑΙΓΑΙΟ – ΝΕΡΟ – ΒΙΩΣΙΜΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ” (υπό την Αιγίδα του Υπουργείου Αιγαίου), Πάρος 6 και 7 Ιουλίου.
- Καλύβας, Δ., και Παπαευσταθίου, Ν., (1995). Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Πυρφόρος, τ. 20, Ιούλιος - Οκτώβριος, σελ. 26-31.
- Καλλέργης, Γ., (2000). *Διαχείριση η Σοφή χρήση των υπόγειων νερών; Προβλήματα αξιοποίησης των υπόγειων νερών με μακρόχρονη προοπτική.* Ηλεκτρονικό Ενημερωτικό Δελτίο της Ελληνικής Επιτροπής για τη Διαχείριση των Υδατικών Πόρων, Διαθέσιμο από <http://waterinfo.gr/eedyp/hydrothemata.html>.
- Κόλλια-Κουσούρη, Β., (2003). Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Σημειώσεις διδασκαλίας, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής.
- Παπαγεωργίου, Α., (2001). Τρόποι Προστασίας της Βιοποικιλότητας στα Δάση. Ευβοϊκή Δρυς. Προστασία και αξιοποίηση των δασών της Εύβοιας. Ημερίδα Σύλλογος Υπάλληλων Δασικής Υπηρεσίας Ν. Ευβοίας. Λίμνη Ευβοίας.
- Τρίγκας, Π., (2001). Χλωριδική Ποικιλότητα και Φυτογεωγραφία της νήσου Εύβοιας. Προστασία και αξιοποίηση των δασών της Εύβοιας. Ημερίδα Σύλλογος Υπάλληλων Δασικής Υπηρεσίας Ν. Ευβοίας. Λίμνη Ευβοίας.
- Robinson, A., Morrison, J., Muehrcke, P., Kimerling, A., Gurtill, S., (2002). Στοιχεία Χαρτογραφίας. Πανεπιστημιακές εκδόσεις ΕΜΠ.
- Χατζημπίρος, Κ., (2003). Περιβαλλοντική Τεχνολογία. ΕΜΠ.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Επιπλέον Φωτογραφικό Υλικό



Κύρια εξόρυξη του μεταλλίου του Ισώματος, Εύβοια (Πηγή: Λάρκο, Asterismos).



Μερική αποκατάσταση του μεταλλίου του Ισώματος, Εύβοια (Πηγή: Λάρκο, Asterismos).



Άποψη των μεταλλουργικών εγκαταστάσεων της Λάρυμνας (Πηγή: Λάρκο, Asterismos).



Λεπτομέρεια των μεταλλουργικών εγκαταστάσεων της Λάρυμνας (Πηγή: Λάρκο, Asterismos).



Άποψη των μεταλλείων του Παγώντα (Πηγή: Λάρκο, Asterismos).



Άποψη του ταινιόδρομου μεταφοράς μεταλλεύματος (Πηγή: Λάρκο, Asterismos).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

Πίνακες αναγωγής/ γεωμετρικής διόρθωσης

General project information

Filename : corr.prj
Description :

Image Landsat_1986_18333sub

Date Added : 02/13/2010
Date Updated : 02/13/2010

Uncorrected File : G:\landsat_TM_18333_1986\Landsat_1986_18333sub.pix
Channels : 1 2 3
Size : 1868 P x 1836 L

Orthorectified File : G:\landsat_TM_18333_1986\correct86.pix
Upper Left : 432540.000000 4305150.000000
Lower Right : 495030.000000 4243230.000000
Status : Ortho done

DEM File :
Channel : Not Defined
Background Elevation : Not Defined

Clip Area : Entire Image

Order : 1

X Coefficients : Values
Const : 1.2628266850096561e+004
X : 3.4514405027128339e-002
Y : -6.4838782314833544e-003
Y Coefficients : Values
Const : 1.5097097174134743e+005
X : -6.5580640446105771e-003
Y : -3.4396364048027754e-002

| GCP ID | Status | Image X (P) | Image Y (L) |
|--------|--------|----------------------|----------------------|
| G0002 | Active | 814.5924 +/- 0.1000 | 271.3475 +/- 0.1000 |
| G0003 | Active | 25.2928 +/- 0.1000 | 500.3571 +/- 0.1000 |
| G0004 | Active | 1803.5000 +/- 0.1000 | 500.2500 +/- 0.1000 |
| G0005 | Active | 88.3750 +/- 0.1000 | 1229.5625 +/- 0.1000 |
| G0006 | Active | 1733.6250 +/- 0.1000 | 1681.4375 +/- 0.1000 |
| G0007 | Active | 1466.4771 +/- 0.1000 | 1255.3832 +/- 0.1000 |
| G0008 | Active | 904.8583 +/- 0.1000 | 712.3216 +/- 0.1000 |

| GCP ID | Georef | Georef X | Georef Y |
|--------|--------|------------------------|-------------------------|
| G0002 | METRE | 464141.2500 +/- 1.0000 | 4292722.5000 +/- 1.0000 |
| G0003 | METRE | 440892.1305 +/- 1.0000 | 4290553.7801 +/- 1.0000 |
| G0004 | METRE | 490603.1250 +/- 1.0000 | 4281110.6250 +/- 1.0000 |
| G0005 | METRE | 438768.7500 +/- 1.0000 | 4269766.8750 +/- 1.0000 |
| G0006 | METRE | 482441.2500 +/- 1.0000 | 4248288.7500 +/- 1.0000 |
| G0007 | METRE | 477194.5748 +/- 1.0000 | 4261636.3620 +/- 1.0000 |
| G0008 | METRE | 464381.0468 +/- 1.0000 | 4279932.8500 +/- 1.0000 |

Residual Error Report

Residual units: Image pixels

Residual Summary for 1 Images

GCPs: 7 X RMS 0.62 Y RMS 1.12
Check points: 0 X RMS Y RMS
Tie points: 0 X RMS Y RMS

Listing: GCPs only All images

| Point ID | Res | Res X | Res Y | Type | Image ID | Image X | Image Y | Comp X | Comp Y |
|----------|------|-------|-------|------|-----------------------|---------|---------|--------|--------|
| G0002 | 1.73 | -0.26 | 1.71 | GCP | Landsat_1986_18333sub | 814.6 | 271.3 | 814.3 | 273.1 |
| G0004 | 1.44 | -0.56 | -1.32 | GCP | Landsat_1986_18333sub | 1803.5 | 500.3 | 1802.9 | 498.9 |
| G0007 | 1.32 | -0.05 | 1.32 | GCP | Landsat_1986_18333sub | 1466.5 | 1255.4 | 1466.4 | 1256.7 |
| G0008 | 1.14 | 0.68 | -0.92 | GCP | Landsat_1986_18333sub | 904.9 | 712.3 | 905.5 | 711.4 |
| G0005 | 1.05 | -0.91 | -0.52 | GCP | Landsat_1986_18333sub | 88.4 | 1229.6 | 87.5 | 1229.0 |
| G0003 | 0.71 | 0.68 | -0.23 | GCP | Landsat_1986_18333sub | 25.3 | 500.4 | 26.0 | 500.1 |
| G0006 | 0.43 | 0.43 | -0.03 | GCP | Landsat_1986_18333sub | 1733.6 | 1681.4 | 1734.1 | 1681.4 |

General project information

Filename : cor.prj
Description :

Image landsat_1991_18333sub

Date Added : 02/13/2010
Date Updated : 02/13/2010

Uncorrected File : G:\landsat_TM_18333_1991\landsat_1991_18333sub.pix
Channels : 1 2 3
Size : 1422 P x 1417 L

Orthorectified File : G:\landsat_TM_18333_1991\correct91.pix
Upper Left : 443070.000000 4293000.000000
Lower Right : 487590.000000 4248390.000000
Status : Ortho done

DEM File :
Channel : Not Defined
Background Elevation : Not Defined

Clip Area : Entire Image

Order : 1

X Coefficients : Values
Const : -1.0348469987869570e+004
X : 3.3350158199281832e-002
Y : -1.0467199911676469e-003
Y Coefficients : Values
Const : 1.4314203829237717e+005
X : -1.0749305523134400e-003
Y : -3.3236760680967391e-002

| GCP ID | Status | Image X (P) | Image Y (L) |
|--------|--------|----------------------|----------------------|
| G0001 | Active | 668.3750 +/- 0.1000 | 1154.3750 +/- 0.1000 |
| G0002 | Active | 84.5000 +/- 0.1000 | 953.5000 +/- 0.1000 |
| G0003 | Active | 972.5625 +/- 0.1000 | 12.3750 +/- 0.1000 |
| G0004 | Active | 803.5000 +/- 0.1000 | 445.5000 +/- 0.1000 |
| G0005 | Active | 1296.6250 +/- 0.1000 | 1188.1250 +/- 0.1000 |
| G0006 | Active | 66.3423 +/- 0.1000 | 306.3885 +/- 0.1000 |
| G0007 | Active | 1168.6295 +/- 0.1000 | 246.5688 +/- 0.1000 |
| G0008 | Active | 690.3509 +/- 0.1000 | 14.5102 +/- 0.1000 |
| G0009 | Active | 603.5687 +/- 0.1000 | 750.5543 +/- 0.1000 |

| GCP ID | Georef | Georef X | Georef Y |
|--------|---------------|------------------------|-------------------------|
| G0001 | UTM 35 S E000 | 463965.0000 +/- 1.0000 | 4257018.7500 +/- 1.0000 |
| G0002 | UTM 35 S E000 | 446651.2500 +/- 1.0000 | 4263618.7500 +/- 1.0000 |
| G0003 | UTM 35 S E000 | 474157.5000 +/- 1.0000 | 4291038.7500 +/- 1.0000 |
| G0004 | UTM 35 S E000 | 468671.2500 +/- 1.0000 | 4278172.5000 +/- 1.0000 |
| G0005 | UTM 35 S E000 | 482715.0000 +/- 1.0000 | 4255361.2500 +/- 1.0000 |
| G0006 | UTM 35 S E000 | 446715.0000 +/- 1.0000 | 4283049.3750 +/- 1.0000 |
| G0007 | UTM 35 S E000 | 479805.0000 +/- 1.0000 | 4283808.7500 +/- 1.0000 |
| G0008 | UTM 35 S E000 | 465645.0000 +/- 1.0000 | 4291248.7500 +/- 1.0000 |
| G0009 | UTM 35 S E000 | 462378.7500 +/- 1.0000 | 4269196.8750 +/- 1.0000 |

Residual Error Report

Residual Units: Image pixels

Residual Summary for 1 Images

GCPs: 9 X RMS 0.62 Y RMS 0.46
Check points: 0 X RMS Y RMS
Tie points: 0 X RMS Y RMS

Listing: GCPs only All images

| Point ID | Res | Res X | Res Y | Type | Image ID | Image X | Image Y | Comp X | Comp Y |
|----------|------|-------|-------|------|-----------------------|---------|---------|--------|--------|
| G0008 | 1.24 | -1.22 | -0.22 | GCP | landsat_1991_18333sub | 690.4 | 14.5 | 689.1 | 14.3 |
| G0005 | 0.88 | -0.65 | 0.60 | GCP | landsat_1991_18333sub | 1296.6 | 1188.1 | 1296.0 | 1188.7 |
| G0001 | 0.80 | 0.55 | -0.58 | GCP | landsat_1991_18333sub | 668.4 | 1154.4 | 668.9 | 1153.8 |
| G0006 | 0.78 | 0.05 | 0.78 | GCP | landsat_1991_18333sub | 66.3 | 306.4 | 66.4 | 307.2 |
| G0003 | 0.72 | 0.68 | -0.25 | GCP | landsat_1991_18333sub | 972.6 | 12.4 | 973.2 | 12.1 |
| G0007 | 0.57 | 0.52 | -0.21 | GCP | landsat_1991_18333sub | 1168.6 | 246.6 | 1169.2 | 246.4 |
| G0002 | 0.47 | 0.10 | -0.46 | GCP | landsat_1991_18333sub | 84.5 | 953.5 | 84.6 | 953.0 |
| G0009 | 0.34 | -0.29 | 0.18 | GCP | landsat_1991_18333sub | 603.6 | 750.6 | 603.3 | 750.7 |
| G0004 | 0.29 | 0.24 | 0.15 | GCP | landsat_1991_18333sub | 803.5 | 445.5 | 803.7 | 445.7 |

```

General project information

  Filename   : corr.prj
  Description :

Output mosaic

  Mosaic File   :
  Resolution    : 30.000 30.000 m
  Georeferencing : UTM 35 S E000
  Upper Left   : Not Defined
  Lower Right  : Not Defined

Image landsat_1997_18333sub

  Date Added   : 02/13/2010
  Date Updated : 02/13/2010

  Uncorrected File : G:\landsat_TM_18333_1997\landsat_1997_18333sub.pix
  Channels        : 1 2 3
  Size           : 1937 P x 1829 L

  Orthorectified File : G:\landsat_TM_18333_1997\correct97.pix
  Upper Left       : 447120.000000 4299480.000000
  Lower Right      : 514950.000000 4234380.000000
  Status           : Ortho done

  DEM File        :
  Channel         : Not Defined
  Background Elevation : Not Defined

  Clip Area      : Entire Image

  Order          : 1

  X Coefficients : Values
  Const          : 1.1882970189435704e+004
  X              : 3.2799607243328928e-002
  Y              : -6.2581755634493119e-003
  Y Coefficients : Values
  Const          : 1.4341463993696071e+005
  X              : -6.3427693149214559e-003
  Y              : -3.2681185796843794e-002

-----
GCP ID Status Image X (P)           Image Y (L)
-----
G0001 Active 460.5000 +/- 0.1000 1347.6250 +/- 0.1000
G0002 Active 581.6250 +/- 0.1000 171.3125 +/- 0.1000
G0003 Active 10.6250 +/- 0.1000 86.4688 +/- 0.1000
G0004 Active 1122.3750 +/- 0.1000 1512.4375 +/- 0.1000
G0005 Active 123.5000 +/- 0.1000 1404.3750 +/- 0.1000
G0006 Active 1185.2500 +/- 0.1000 393.3750 +/- 0.1000
G0009 Active 330.5000 +/- 0.1000 959.5000 +/- 0.1000
G0010 Active 51.2500 +/- 0.1000 773.2500 +/- 0.1000

-----
GCP ID Georef Georef X Georef Y
-----
G0001 UTM 35 S E000 463965.0000 +/- 1.0000 4257015.0000 +/- 1.0000
G0002 UTM 35 S E000 474138.7500 +/- 1.0000 4291036.8750 +/- 1.0000
G0003 UTM 35 S E000 457871.2500 +/- 1.0000 4296796.8750 +/- 1.0000
G0004 UTM 35 S E000 482503.1250 +/- 1.0000 4248378.7500 +/- 1.0000
G0005 UTM 35 S E000 453791.2500 +/- 1.0000 4257251.2500 +/- 1.0000
G0006 UTM 35 S E000 490698.7500 +/- 1.0000 4281011.2500 +/- 1.0000
G0009 UTM 35 S E000 462375.0000 +/- 1.0000 4269195.0000 +/- 1.0000
G0010 UTM 35 S E000 455167.5000 +/- 1.0000 4276275.0000 +/- 1.0000

```

```

Residual Error Report

Residual Units: Image pixels

Residual Summary for 1 Images
  GCPs: 8 X RMS 0.91 Y RMS 0.34
Check points: 0 X RMS Y RMS
Tie points: 0 X RMS Y RMS

Listing: GCPs only All images

Point ID Res Res X Res Y Type Image ID Image X Image Y Comp X Comp Y
-----
G0006 1.18 1.13 0.35 GCP landsat_1997_18333sub 1185.3 393.4 1186.4 393.7
G0002 1.17 -1.15 -0.20 GCP landsat_1997_18333sub 581.6 171.3 580.5 171.1
G0005 1.02 1.02 -0.05 GCP landsat_1997_18333sub 123.5 1404.4 124.5 1404.3
G0010 0.90 -0.64 0.63 GCP landsat_1997_18333sub 51.3 773.3 50.6 773.9
G0009 0.82 0.82 0.05 GCP landsat_1997_18333sub 330.5 959.5 331.3 959.5
G0001 0.81 -0.81 -0.11 GCP landsat_1997_18333sub 460.5 1347.6 459.7 1347.5
G0004 0.65 -0.59 -0.26 GCP landsat_1997_18333sub 1122.4 1512.4 1121.8 1512.2
G0003 0.48 0.23 -0.42 GCP landsat_1997_18333sub 10.6 86.5 10.9 86.1

```

General project information

Filename : newcor.prj
Description :

Output mosaic

Mosaic File :
Resolution : 2.000 2.000 m
Georeferencing : UTM 35 S D057
Upper Left : Not Defined
Lower Right : Not Defined

Image kvr_1000submore

Date Added : 02/13/2010
Date Updated : 02/13/2010

Uncorrected File : G:\KVR_1000_data\kvr_1000submore.pix
Channels : 1 1 1
Size : 8742 P x 6796 L

Orthorectified File : G:\KVR_1000_data\correctkvr.pix
Upper Left : 194886.000000 4289436.000000
Lower Right : 220082.000000 4269822.000000
Status : Ortho done

DEM File :
Channel : Not Defined
Background Elevation : Not Defined

Clip Area : Entire Image

Order : 2

X Coefficients : Values
Const : -1.4523882258544868e+007
X : 1.4430209237994183e+000
Y : 6.8923352049201601e+000
X * Y : -1.7822770400576002e-007
X**2 : -6.9296448799852829e-007
Y**2 : -8.2334167115439260e-007
Y Coefficients : Values
Const : 4.1173697310489632e+007
X : 1.3714004704450758e+001
Y : -1.9448050753157816e+001
X * Y : -3.5144321390122261e-006
X**2 : 2.8031762957340140e-006
Y**2 : 2.3048659246938676e-006

| GCP ID | Status | Image X (P) | Image Y (L) |
|--------|--------|----------------------|----------------------|
| G0001 | Active | 409.0000 +/- 0.1000 | 1403.0000 +/- 0.1000 |
| G0002 | Active | 4206.0000 +/- 0.1000 | 2932.0000 +/- 0.1000 |
| G0003 | Active | 8.0000 +/- 0.1000 | 5909.0000 +/- 0.1000 |
| G0004 | Active | 4046.0000 +/- 0.1000 | 584.0000 +/- 0.1000 |
| G0005 | Active | 7869.0000 +/- 0.1000 | 1659.0000 +/- 0.1000 |
| G0007 | Active | 3638.0000 +/- 0.1000 | 5534.5000 +/- 0.1000 |

| GCP ID | Georef | Georef X | Georef Y |
|--------|---------------|------------------------|-------------------------|
| G0001 | UTM 35 S D057 | 200707.8478 +/- 1.0000 | 4286158.4310 +/- 1.0000 |
| G0002 | UTM 35 S D057 | 207027.4075 +/- 1.0000 | 4279609.4374 +/- 1.0000 |
| G0003 | UTM 35 S D057 | 195716.6922 +/- 1.0000 | 4277804.5630 +/- 1.0000 |
| G0004 | UTM 35 S D057 | 208920.3716 +/- 1.0000 | 4284215.5925 +/- 1.0000 |
| G0005 | UTM 35 S D057 | 216455.1112 +/- 1.0000 | 4279525.7329 +/- 1.0000 |
| G0007 | UTM 35 S D057 | 203487.2595 +/- 1.0000 | 4275164.2268 +/- 1.0000 |

Residual Error Report

Residual Units: Image pixels

Residual Summary for 1 Images
GCPs: 6 X RMS 0.01 Y RMS 0.02
Check points: 0 X RMS Y RMS
Tie points: 0 X RMS Y RMS

Listing: GCPs only All images

| Point ID | Res | Res X | Res Y | Type | Image ID | Image X | Image Y | Comp X | Comp Y |
|----------|------|-------|-------|------|-----------------|---------|---------|--------|--------|
| G0002 | 0.03 | 0.01 | -0.03 | GCP | kvr_1000submore | 4206.0 | 2932.0 | 4206.0 | 2932.0 |
| G0007 | 0.02 | -0.01 | 0.02 | GCP | kvr_1000submore | 3638.0 | 5534.5 | 3638.0 | 5534.5 |
| G0004 | 0.01 | -0.01 | 0.01 | GCP | kvr_1000submore | 4046.0 | 584.0 | 4046.0 | 584.0 |
| G0003 | 0.00 | 0.00 | -0.00 | GCP | kvr_1000submore | 8.0 | 5909.0 | 8.0 | 5909.0 |
| G0001 | 0.00 | -0.00 | 0.00 | GCP | kvr_1000submore | 409.0 | 1403.0 | 409.0 | 1403.0 |
| G0005 | 0.00 | -0.00 | 0.00 | GCP | kvr_1000submore | 7869.0 | 1659.0 | 7869.0 | 1659.0 |

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

Πίνακες εποπτευόμενης ταξινόμησης

1 Landsat TM 1986
 MLR Maximum Likelihood Report V10.3 EASI/PACE 13:43 20Feb2010
 Subarea Reports using theme channel 15 and subarea channel 9:

15 [8U] MLC Signature Classify: Full 18Feb2010
 9 [8U] focus Minimum Distance Classification 19Feb2010

Totalization Report for Subarea code: 20

| Seg Name | Code | Pixels | Square Metres | %Subarea | %Image |
|----------------|------|--------|---------------|----------|--------|
| | 20 | 1549 | 1394100.00 | 91.22 | 22.73 |
| | 60 | 2 | 1800.00 | 0.12 | 0.03 |
| | 80 | 1 | 900.00 | 0.06 | 0.01 |
| | 100 | 146 | 131400.00 | 8.60 | 2.14 |
| Subarea totals | | 1698 | 1528200.00 | 100.00 | 24.91 |

Totalization Report for Subarea code: 40

| Seg Name | Code | Pixels | Square Metres | %Subarea | %Image |
|----------------|------|--------|---------------|----------|--------|
| | 40 | 53 | 47700.00 | 71.62 | 0.78 |
| | 100 | 5 | 4500.00 | 6.76 | 0.07 |
| | 120 | 16 | 14400.00 | 21.62 | 0.23 |
| Subarea totals | | 74 | 66600.00 | 100.00 | 1.09 |

Totalization Report for Subarea code: 60

| Seg Name | Code | Pixels | Square Metres | %Subarea | %Image |
|----------------|------|--------|---------------|----------|--------|
| | 60 | 406 | 365400.00 | 85.47 | 5.96 |
| | 80 | 69 | 62100.00 | 14.53 | 1.01 |
| Subarea totals | | 475 | 427500.00 | 100.00 | 6.97 |

Totalization Report for Subarea code: 80

| Seg Name | Code | Pixels | Square Metres | %Subarea | %Image |
|----------------|------|--------|---------------|----------|--------|
| | 20 | 126 | 113400.00 | 4.91 | 1.85 |
| | 40 | 6 | 5400.00 | 0.23 | 0.09 |
| | 60 | 686 | 617400.00 | 26.71 | 10.06 |
| | 80 | 1693 | 1523700.00 | 65.93 | 24.84 |
| | 100 | 2 | 1800.00 | 0.08 | 0.03 |
| | 120 | 55 | 49500.00 | 2.14 | 0.81 |
| Subarea totals | | 2568 | 2311200.00 | 100.00 | 37.68 |

Totalization Report for Subarea code: 100

| Seg Name | Code | Pixels | Square Metres | %Subarea | %Image |
|----------------|------|--------|---------------|----------|--------|
| | 20 | 77 | 69300.00 | 35.81 | 1.13 |
| | 100 | 138 | 124200.00 | 64.19 | 2.02 |
| Subarea totals | | 215 | 193500.00 | 100.00 | 3.15 |

Totalization Report for Subarea code: 120

| Seg Name | Code | Pixels | Square Metres | %Subarea | %Image |
|----------|------|--------|---------------|----------|--------|
| | 20 | 303 | 272700.00 | 16.97 | 4.45 |
| | 40 | 44 | 39600.00 | 2.46 | 0.65 |

| | | | | |
|----------------|------|------------|--------|-------|
| 60 | 127 | 114300.00 | 7.11 | 1.86 |
| 80 | 667 | 600300.00 | 37.35 | 9.79 |
| 100 | 205 | 184500.00 | 11.48 | 3.01 |
| 120 | 440 | 396000.00 | 24.64 | 6.46 |
| ----- | | | | |
| Subarea totals | 1786 | 1607400.00 | 100.00 | 26.20 |

15 [8U] MLC Signature Classify: Full 18Feb2010

Totalization Report for theme channel: 15

| Seg Name | Code | Pixels | Square Metres | %Image |
|-------------|-------|--------|---------------|--------|
| | 20 | 2055 | 1849500.00 | 30.15 |
| | 40 | 103 | 92700.00 | 1.51 |
| | 60 | 1221 | 1098900.00 | 17.91 |
| | 80 | 2430 | 2187000.00 | 35.65 |
| | 100 | 496 | 446400.00 | 7.28 |
| | 120 | 511 | 459900.00 | 7.50 |
| ----- | | | | |
| Image total | ***** | | 6134400.00 | 100.00 |

| Areas | | Percent Pixels Classified by Code | | | | | | |
|-------|------|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Code | Name | Pixels | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 |
| 20 | | 1698 | 91.2 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 8.6 | 0.0 |
| 40 | | 74 | 0.0 | 71.6 | 0.0 | 0.0 | 6.8 | 21.6 |
| 60 | | 475 | 0.0 | 0.0 | 85.5 | 14.5 | 0.0 | 0.0 |
| 80 | | 2568 | 4.9 | 0.2 | 26.7 | 65.9 | 0.1 | 2.1 |
| 100 | | 215 | 35.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 64.2 | 0.0 |
| 120 | | 1786 | 17.0 | 2.5 | 7.1 | 37.3 | 11.5 | 24.6 |

Average accuracy = 67.18%
Overall accuracy = 62.78%
Kappa Coefficient = 0.50764 Standard Deviation = 0.00742
Confidence Level :
99% 0.50764 +/- 0.01913
95% 0.50764 +/- 0.01454
90% 0.50764 +/- 0.01220

1 Landsat TM 1991
 MLR Maximum Likelihood Report V10.3 EASI/PACE 13:31 20Feb2010
 Subarea Reports using theme channel 15 and subarea channel 8:

15 [8U] MLC Signature Classify: Full 18Feb2010
 8 [8U] focus Subseted from 8 on G:\Asterismos_EO_Data\landsat_T17Feb2010

Totalization Report for Subarea code: 0

| Seg Name | Code | Pixels | Square Metres | %Subarea | %Image |
|----------------|------|--------|---------------|----------|--------|
| | 20 | 2169 | 1952100.00 | 33.07 | 27.29 |
| | 40 | 14 | 12600.00 | 0.21 | 0.18 |
| | 60 | 1159 | 1043100.00 | 17.67 | 14.58 |
| | 80 | 2238 | 2014200.00 | 34.13 | 28.16 |
| | 100 | 59 | 53100.00 | 0.90 | 0.74 |
| | 120 | 919 | 827100.00 | 14.01 | 11.56 |
| | | ----- | ----- | ----- | ----- |
| Subarea totals | | 6558 | 5902200.00 | 100.00 | 82.52 |

Totalization Report for Subarea code: 20

| Seg Name | Code | Pixels | Square Metres | %Subarea | %Image |
|----------------|------|--------|---------------|----------|--------|
| | 20 | 206 | 185400.00 | 97.63 | 2.59 |
| | 60 | 2 | 1800.00 | 0.95 | 0.03 |
| | 80 | 2 | 1800.00 | 0.95 | 0.03 |
| | 120 | 1 | 900.00 | 0.47 | 0.01 |
| | | ----- | ----- | ----- | ----- |
| Subarea totals | | 211 | 189900.00 | 100.00 | 2.66 |

Totalization Report for Subarea code: 40

| Seg Name | Code | Pixels | Square Metres | %Subarea | %Image |
|----------------|------|--------|---------------|----------|--------|
| | 40 | 120 | 108000.00 | 97.56 | 1.51 |
| | 120 | 3 | 2700.00 | 2.44 | 0.04 |
| | | ----- | ----- | ----- | ----- |
| Subarea totals | | 123 | 110700.00 | 100.00 | 1.55 |

Totalization Report for Subarea code: 60

| Seg Name | Code | Pixels | Square Metres | %Subarea | %Image |
|----------------|------|--------|---------------|----------|--------|
| | 20 | 1 | 900.00 | 0.17 | 0.01 |
| | 60 | 558 | 502200.00 | 95.55 | 7.02 |
| | 80 | 23 | 20700.00 | 3.94 | 0.29 |
| | 120 | 2 | 1800.00 | 0.34 | 0.03 |
| | | ----- | ----- | ----- | ----- |
| Subarea totals | | 584 | 525600.00 | 100.00 | 7.35 |

Totalization Report for Subarea code: 80

| Seg Name | Code | Pixels | Square Metres | %Subarea | %Image |
|----------------|------|--------|---------------|----------|--------|
| | 40 | 1 | 900.00 | 0.28 | 0.01 |
| | 60 | 16 | 14400.00 | 4.49 | 0.20 |
| | 80 | 322 | 289800.00 | 90.45 | 4.05 |
| | 120 | 17 | 15300.00 | 4.78 | 0.21 |
| | | ----- | ----- | ----- | ----- |
| Subarea totals | | 356 | 320400.00 | 100.00 | 4.48 |

Totalization Report for Subarea code: 120

| Seg Name | Code | Pixels | Square Metres | %Subarea | %Image |
|----------|------|--------|---------------|----------|--------|
|----------|------|--------|---------------|----------|--------|

| | | | | |
|----------------|-----|-----------|--------|-------|
| 60 | 4 | 3600.00 | 3.48 | 0.05 |
| 80 | 8 | 7200.00 | 6.96 | 0.10 |
| 120 | 103 | 92700.00 | 89.57 | 1.30 |
| ----- | | ----- | | ----- |
| Subarea totals | 115 | 103500.00 | 100.00 | 1.45 |

15 [8U] MLC Signature Classify: Full 18Feb2010

Totalization Report for theme channel: 15

| Seg Name | Code | Pixels | Square Metres | %Image |
|-------------|-------|--------|---------------|--------|
| | 20 | 2376 | 2138400.00 | 29.90 |
| | 40 | 135 | 121500.00 | 1.70 |
| | 60 | 1739 | 1565100.00 | 21.88 |
| | 80 | 2593 | 2333700.00 | 32.63 |
| | 100 | 59 | 53100.00 | 0.74 |
| | 120 | 1045 | 940500.00 | 13.15 |
| ----- | | ----- | | ----- |
| Image total | ***** | | 7152300.00 | 100.00 |

| Areas | | Percent Pixels Classified by Code | | | | | | |
|-------|------|-----------------------------------|------|------|------|-----|-----|-------|
| Code | Name | Pixels | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 |
| ----- | | ----- | | | | | | ----- |
| 20 | 211 | 97.6 | 0.0 | 0.9 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | 0.5 |
| 40 | 123 | 0.0 | 97.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.4 |
| 60 | 584 | 0.2 | 0.0 | 95.5 | 3.9 | 0.0 | 0.0 | 0.3 |
| 80 | 356 | 0.0 | 0.3 | 4.5 | 90.4 | 0.0 | 0.0 | 4.8 |
| 120 | 115 | 0.0 | 0.0 | 3.5 | 7.0 | 0.0 | 0.0 | 89.6 |

Average accuracy = 94.15%
Overall accuracy = 94.24%
Kappa Coefficient = 0.93101 Standard Deviation = 0.00991
Confidence Level :
99% 0.93101 +/- 0.02558
95% 0.93101 +/- 0.01943
90% 0.93101 +/- 0.01631

1 Landsat TM 1997
 MLR Maximum Likelihood Report V10.3 EASI/PACE 13:34 20Feb2010
 Subarea Reports using theme channel 15 and subarea channel 8:

15 [8U] MLC Signature Classify: Full 18Feb2010
 8 [8U] focus Subseted from 8 on G:\Asterismos_EO_Data\landsat_T17Feb2010

Totalization Report for Subarea code: 0

| Seg Name | Code | Pixels | Square Metres | %Subarea | %Image |
|----------------|------|--------|---------------|----------|--------|
| | 20 | 2539 | 2285100.00 | 26.29 | 23.96 |
| | 40 | 22 | 19800.00 | 0.23 | 0.21 |
| | 60 | 997 | 897300.00 | 10.33 | 9.41 |
| | 80 | 3203 | 2882700.00 | 33.17 | 30.23 |
| | 100 | 489 | 440100.00 | 5.06 | 4.61 |
| | 120 | 2406 | 2165400.00 | 24.92 | 22.71 |
| Subarea totals | | 9656 | 8690400.00 | 100.00 | 91.13 |

Totalization Report for Subarea code: 20

| Seg Name | Code | Pixels | Square Metres | %Subarea | %Image |
|----------------|------|--------|---------------|----------|--------|
| | 60 | 8 | 7200.00 | 26.67 | 0.08 |
| | 80 | 22 | 19800.00 | 73.33 | 0.21 |
| Subarea totals | | 30 | 27000.00 | 100.00 | 0.28 |

Totalization Report for Subarea code: 40

| Seg Name | Code | Pixels | Square Metres | %Subarea | %Image |
|----------------|------|--------|---------------|----------|--------|
| | 40 | 87 | 78300.00 | 98.86 | 0.82 |
| | 120 | 1 | 900.00 | 1.14 | 0.01 |
| Subarea totals | | 88 | 79200.00 | 100.00 | 0.83 |

Totalization Report for Subarea code: 60

| Seg Name | Code | Pixels | Square Metres | %Subarea | %Image |
|----------------|------|--------|---------------|----------|--------|
| | 60 | 225 | 202500.00 | 94.54 | 2.12 |
| | 80 | 13 | 11700.00 | 5.46 | 0.12 |
| Subarea totals | | 238 | 214200.00 | 100.00 | 2.25 |

Totalization Report for Subarea code: 80

| Seg Name | Code | Pixels | Square Metres | %Subarea | %Image |
|----------------|------|--------|---------------|----------|--------|
| | 20 | 1 | 900.00 | 0.26 | 0.01 |
| | 60 | 22 | 19800.00 | 5.71 | 0.21 |
| | 80 | 359 | 323100.00 | 93.25 | 3.39 |
| | 120 | 3 | 2700.00 | 0.78 | 0.03 |
| Subarea totals | | 385 | 346500.00 | 100.00 | 3.63 |

Totalization Report for Subarea code: 100

| Seg Name | Code | Pixels | Square Metres | %Subarea | %Image |
|----------|------|--------|---------------|----------|--------|
| | 20 | 4 | 3600.00 | 4.94 | 0.04 |
| | 80 | 11 | 9900.00 | 13.58 | 0.10 |
| | 100 | 45 | 40500.00 | 55.56 | 0.42 |
| | 120 | 21 | 18900.00 | 25.93 | 0.20 |

Subarea totals 81 72900.00 100.00 0.76

Totalization Report for Subarea code: 120

| Seg Name | Code | Pixels | Square Metres | %Subarea | %Image |
|----------------|------|--------|---------------|----------|--------|
| | 20 | 1 | 900.00 | 0.85 | 0.01 |
| | 80 | 3 | 2700.00 | 2.54 | 0.03 |
| | 120 | 114 | 102600.00 | 96.61 | 1.08 |
| | | ----- | ----- | ----- | ----- |
| Subarea totals | | 118 | 106200.00 | 100.00 | 1.11 |

15 [8U] MLC Signature Classify: Full 18Feb2010

Totalization Report for theme channel: 15

| Seg Name | Code | Pixels | Square Metres | %Image |
|-------------|-------|--------|---------------|--------|
| | 20 | 2545 | 2290500.00 | 24.02 |
| | 40 | 109 | 98100.00 | 1.03 |
| | 60 | 1252 | 1126800.00 | 11.82 |
| | 80 | 3611 | 3249900.00 | 34.08 |
| | 100 | 534 | 480600.00 | 5.04 |
| | 120 | 2545 | 2290500.00 | 24.02 |
| | | ----- | ----- | ----- |
| Image total | ***** | | 9536400.00 | 100.00 |

| Areas | | Percent Pixels Classified by Code | | | | | |
|-----------|--------|-----------------------------------|------|------|------|------|------|
| Code Name | Pixels | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 |
| 20 | 30 | 0.0 | 0.0 | 26.7 | 73.3 | 0.0 | 0.0 |
| 40 | 88 | 0.0 | 98.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.1 |
| 60 | 238 | 0.0 | 0.0 | 94.5 | 5.5 | 0.0 | 0.0 |
| 80 | 385 | 0.3 | 0.0 | 5.7 | 93.2 | 0.0 | 0.8 |
| 100 | 81 | 4.9 | 0.0 | 0.0 | 13.6 | 55.6 | 25.9 |
| 120 | 118 | 0.8 | 0.0 | 0.0 | 2.5 | 0.0 | 96.6 |

Average accuracy = 73.14%
 Overall accuracy = 88.30%
 Kappa Coefficient = 0.83792 Standard Deviation = 0.01434
 Confidence Level :
 99% 0.83792 +/- 0.03701
 95% 0.83792 +/- 0.02811
 90% 0.83792 +/- 0.02359

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV

Πίνακες των eigens

1 landsat TM 1986 to Landsat TM 1991
 PCA Principal Component Analysis V10.3 EASI/PACE 22:01 20Feb2010
 subSUBcorrect91old_PCA.pix [S 46BIC 328P 227L] 17Feb2010

Input Channels: 1 2 3 4 5 7 35 36 37 38 39 40
 Output Channels: 14 15 16 17 18
 Eigenchannels : 8 9 10 11 12

Sampling Bitmap: 3
 Sample size : 10596

| Channel | Mean | Deviation |
|---------|----------|-----------|
| 1 | 88.5752 | 17.3230 |
| 2 | 42.3512 | 12.6326 |
| 3 | 52.2575 | 21.2789 |
| 4 | 65.9790 | 14.2680 |
| 5 | 94.9253 | 32.5058 |
| 7 | 50.4035 | 22.6205 |
| 35 | 102.7526 | 15.4868 |
| 36 | 45.8766 | 11.2277 |
| 37 | 54.9883 | 21.7555 |
| 38 | 74.8921 | 13.7419 |
| 39 | 100.3430 | 33.8138 |
| 40 | 51.4129 | 24.8424 |

Covariance matrix for input channels:

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 7 | 35 | 36 |
|----|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|
| 1 | 300.09 | | | | | | | |
| 2 | 214.24 | 159.58 | | | | | | |
| 3 | 353.60 | 263.25 | 452.79 | | | | | |
| 4 | 113.64 | 93.66 | 162.41 | 203.58 | | | | |
| 5 | 491.35 | 370.07 | 637.90 | 304.25 | 1056.63 | | | |
| 7 | 362.15 | 269.50 | 463.51 | 173.53 | 712.88 | 511.69 | | |
| 35 | 152.40 | 100.91 | 164.29 | 10.46 | 234.59 | 187.40 | 239.84 | |
| 36 | 113.49 | 77.74 | 129.15 | 17.48 | 185.35 | 145.14 | 169.98 | 126.06 |
| 37 | 221.65 | 154.43 | 262.96 | 28.42 | 367.30 | 292.80 | 319.29 | 239.31 |
| 38 | 48.87 | 42.49 | 75.73 | 131.74 | 181.92 | 90.52 | 44.92 | 44.25 |
| 39 | 339.48 | 240.00 | 413.05 | 137.37 | 673.62 | 483.63 | 466.25 | 352.53 |
| 40 | 253.87 | 176.12 | 301.43 | 54.86 | 454.96 | 349.00 | 357.84 | 267.06 |

| | 37 | 38 | 39 | 40 |
|----|--------|--------|---------|--------|
| 37 | 473.30 | | | |
| 38 | 68.00 | 188.84 | | |
| 39 | 681.17 | 218.02 | 1143.37 | |
| 40 | 525.38 | 97.59 | 813.51 | 617.14 |

| Eigenchannel | Eigenvalue | Deviation | %Variance |
|--------------|------------|-----------|-----------|
| 1 | 3968.2996 | 62.9944 | 72.51% |
| 2 | 1019.6780 | 31.9324 | 18.63% |
| 3 | 300.2668 | 17.3282 | 5.49% |
| 4 | 71.0855 | 8.4312 | 1.30% |
| 5 | 40.4522 | 6.3602 | 0.74% |
| 6 | 28.9595 | 5.3814 | 0.53% |
| 7 | 21.1778 | 4.6019 | 0.39% |
| 8 | 7.9389 | 2.8176 | 0.15% |
| 9 | 7.0668 | 2.6583 | 0.13% |
| 10 | 4.3085 | 2.0757 | 0.08% |
| 11 | 2.5324 | 1.5913 | 0.05% |
| 12 | 1.1503 | 1.0725 | 0.02% |

Eigenvectors of covariance matrix (arranged by rows):

```

0.23430 0.17038 0.29101 0.10446 0.44989 0.32239 0.19914 0.15143
0.20245 0.17006 0.29283 0.23387 0.47115 0.28695 -0.23980 -0.16802
0.24776 0.14309 0.21288 -0.50071 -0.10917 0.14846 0.13182 0.05488
0.45283 0.29061 0.32767 0.27307 -0.51737 -0.18922 0.19409 0.14551
0.11759 0.05053 0.06513 -0.76631 0.02190 0.09956 -0.01773 -0.00664
0.04166 0.09691 0.34660 -0.00652 -0.32683 0.00856 -0.66072 -0.30522
0.48514 0.08398 -0.29017 0.04424 0.04300 -0.20227 0.28389 -0.07762
-0.10604 0.09308 0.27156 -0.06857 0.28681 -0.62159 -0.07494 0.08485
-0.40212 -0.12703 0.37894 0.09110 -0.28028 0.38414 0.39754 0.04166
-0.20573 -0.14298 0.47145 -0.07872 0.16132 -0.41321 0.26171 -0.07791
-0.41393 0.87335 -0.16357 -0.02558 -0.00402 -0.01141 0.04154 0.07520
0.01232 -0.10072 0.04422 0.00600 -0.00418 0.01311 -0.31057 0.89708

```

```

0.29643 0.09017 0.48345 0.34903
-0.31722 0.01961 -0.42041 -0.34902
0.17389 -0.66944 -0.29090 0.06895
0.15016 0.32132 -0.16542 -0.11439
-0.16555 0.54789 0.11779 -0.19985
-0.16847 -0.12908 0.36820 0.22690
-0.60902 -0.23764 0.33777 -0.02409
0.22563 -0.19008 0.28238 -0.50340
-0.26716 -0.13176 0.26421 -0.35473
-0.33349 0.10385 -0.25194 0.50196
-0.13771 -0.00083 -0.02501 0.10677
-0.28205 -0.04995 -0.01912 0.06242

```

Scaling Information:

| Eigen Channl | Output Channl | -----Unscaled----- | | Deviation Range | Midpoint | Scale Factor |
|--------------|---------------|--------------------|--------|-----------------|----------|--------------|
| | | Min | Max | | | |
| 8 | 14 | -16.115 | 21.401 | 3.00 | 127.000 | Infinity |
| 9 | 15 | -15.058 | 41.942 | all | 5.000 | 1.000 |
| 10 | 16 | -13.582 | 18.447 | all | 127.500 | 1.000 |
| 11 | 17 | -21.016 | 17.642 | all | 127.500 | 1.000 |
| 12 | 18 | -13.329 | 23.869 | all | 127.500 | 1.000 |

1 Landsat TM 1991 to Landsat TM 1997
 PCA Principal Component Analysis V10.3 EASI/PACE 21:55 20Feb2010
 subSUBcorrect9lold_PCA.pix [S 46BIC 328P 227L] 17Feb2010

Input Channels: 1 2 3 4 5 7 41 42 43 44 45 46
 Output Channels: 8 9 10 11 12
 Eigenchannels : 8 9 10 11 12

Sampling Bitmap: 3
 Sample size : 10596

| Channel | Mean | Deviation |
|---------|---------|-----------|
| 1 | 88.5752 | 17.3230 |
| 2 | 42.3512 | 12.6326 |
| 3 | 52.2575 | 21.2789 |
| 4 | 65.9790 | 14.2680 |
| 5 | 94.9253 | 32.5058 |
| 7 | 50.4035 | 22.6205 |
| 41 | 76.9106 | 12.0616 |
| 42 | 35.8146 | 8.7514 |
| 43 | 43.3076 | 14.6027 |
| 44 | 56.3424 | 12.4215 |
| 45 | 85.3482 | 25.4203 |
| 46 | 46.0505 | 16.6188 |

Covariance matrix for input channels:

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 7 | 41 | 42 |
|----|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|
| 1 | 300.09 | | | | | | | |
| 2 | 214.24 | 159.58 | | | | | | |
| 3 | 353.60 | 263.25 | 452.79 | | | | | |
| 4 | 113.64 | 93.66 | 162.41 | 203.58 | | | | |
| 5 | 491.35 | 370.07 | 637.90 | 304.25 | 1056.63 | | | |
| 7 | 362.15 | 269.50 | 463.51 | 173.53 | 712.88 | 511.69 | | |
| 41 | 130.71 | 94.77 | 153.64 | 61.92 | 220.70 | 160.03 | 145.48 | |
| 42 | 89.32 | 66.84 | 110.71 | 50.67 | 159.88 | 113.26 | 101.17 | 76.59 |
| 43 | 138.83 | 106.14 | 178.70 | 82.92 | 251.73 | 180.64 | 162.51 | 124.81 |
| 44 | 51.35 | 43.51 | 81.95 | 102.65 | 178.16 | 90.31 | 64.23 | 56.14 |
| 45 | 244.91 | 186.66 | 318.40 | 187.34 | 493.34 | 332.37 | 260.54 | 195.77 |
| 46 | 169.94 | 127.04 | 213.65 | 100.00 | 307.20 | 220.49 | 178.03 | 133.36 |

| | 43 | 44 | 45 | 46 |
|----|--------|--------|--------|--------|
| 43 | 213.24 | | | |
| 44 | 84.00 | 154.29 | | |
| 45 | 323.90 | 200.42 | 646.19 | |
| 46 | 223.92 | 97.83 | 402.83 | 276.19 |

| Eigenchannel | Eigenvalue | Deviation | %Variance |
|--------------|------------|-----------|-----------|
| 1 | 3128.1084 | 55.9295 | 74.54% |
| 2 | 641.9526 | 25.3368 | 15.30% |
| 3 | 216.0067 | 14.6972 | 5.15% |
| 4 | 67.6721 | 8.2263 | 1.61% |
| 5 | 51.5934 | 7.1829 | 1.23% |
| 6 | 47.3164 | 6.8787 | 1.13% |
| 7 | 19.1790 | 4.3794 | 0.46% |
| 8 | 8.9258 | 2.9876 | 0.21% |
| 9 | 7.3644 | 2.7138 | 0.18% |
| 10 | 4.5736 | 2.1386 | 0.11% |
| 11 | 2.5586 | 1.5995 | 0.06% |
| 12 | 1.0833 | 1.0408 | 0.03% |

Eigenvectors of covariance matrix (arranged by rows):

```

0.27964 0.20936 0.35701 0.16328 0.54953 0.38203 0.16432 0.12017
0.17487 0.12366 0.21709 0.00179 0.34918 0.26143 -0.23521 -0.18823
-0.28344 -0.15380 -0.19789 0.61477 0.27771 -0.10758 -0.19468 -0.09524
-0.17399 -0.15076 -0.13630 -0.75187 0.27298 0.17251 -0.07609 -0.04905
0.45221 0.26849 0.37978 -0.02976 -0.43990 -0.17480 -0.10936 -0.06027
-0.01746 -0.01000 0.03238 0.02538 -0.04165 0.04986 -0.41972 -0.33973
-0.45147 -0.03621 0.48770 -0.02528 -0.16425 0.16370 -0.53731 -0.00194
0.34954 0.04098 -0.30625 -0.04188 0.17620 -0.21637 -0.39059 0.01130
0.06362 0.17666 0.07292 -0.15121 0.36767 -0.66334 -0.23950 0.03737
-0.32527 -0.04908 0.47660 -0.05069 0.18698 -0.43935 0.36055 -0.02496
-0.37382 0.88390 -0.23897 -0.02130 -0.02990 0.06402 0.02168 0.04582
0.01450 0.06644 -0.03416 -0.01662 0.01234 -0.02389 0.23826 -0.90297

```

```

0.19410 0.11117 0.36072 0.23307
-0.32641 -0.18324 -0.58693 -0.37598
-0.17874 0.52481 0.08246 -0.17050
-0.16919 0.44127 0.14994 -0.06940
-0.21426 0.51764 0.09380 -0.12641
-0.48051 -0.38536 0.51926 0.23040
0.42470 0.08130 -0.11012 0.12155
0.08363 0.14311 -0.33934 0.63829
0.28450 -0.18105 0.22604 -0.37120
-0.36106 0.01623 -0.19241 0.36853
-0.08914 0.03209 -0.02775 0.06405
0.33437 0.07940 -0.03886 0.03833

```

Scaling Information:

| Eigen Channl | Output Channl | -----Unscaled----- | | Deviation Range | Midpoint | Scale Factor |
|-----------------|------------------|--------------------|--------|--------------------|----------|-----------------|
| | | Min | Max | | | |
| 8 | 8 | -51.511 | 15.483 | 3.00 | 127.000 | Infinity |
| 9 | 9 | -23.896 | 18.993 | all | 5.000 | 1.000 |
| 10 | 10 | -13.925 | 23.312 | all | 127.500 | 1.000 |
| 11 | 11 | -21.222 | 18.239 | all | 127.500 | 1.000 |
| 12 | 12 | -9.649 | 8.026 | all | 127.500 | 1.000 |