

## ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΚΕΝΩΝ ΣΤΙΣ ΕΙΚΟΝΕΣ LANDSAT ETM+ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΟΣ

Κωνσταντίνος Γ. Νικολακόπουλος<sup>1\*</sup>, Γεώργιος Αιμ. Σκιάνης<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> *Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ), Ολυμπιακό Χωριό, Είσοδος Γ', 13677 Αχαρναί, Τηλ.: 210 2413191, Email: knikolakopoulos@igme.gr*

<sup>2</sup> *Επίκουρος Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Τομέας Γεωγραφίας-Κλιματολογίας, Εργαστήριο Τηλεανίχνευσης. Πανεπιστημιούπολη, Ιλίσια, 157 84, Τηλ.: 210 7274378, Email: skianis@geol.uoa.gr*

### Περίληψη

Στις 31 Μαΐου 2003 το σύστημα Scan Line Corrector (SLC), που αντισταθμίζει την προς τα εμπρός κίνηση του δέκτη Landsat 7, παρουσίασε βλάβη. Όταν λειτουργεί σωστά το SLC επιτρέπει διαδοχικές προς τα εμπρός και πίσω σαρώσεις του Βελτιωμένου Θεματικού Χαρτογράφου (ETM+) και δημιουργεί μία ενιαία εικόνα. Χωρίς αυτή τη λειτουργία η επιφάνεια της γης καταγράφεται σε διαδοχικά ζιγκ-ζαγκ κατά μήκος της γραμμής πτήσης με αποτέλεσμα σε κάποια σημεία να έχουμε επικαλύψεις και σε κάποια σημεία να έχουμε κενά. Τα κενά αυτά αυξάνουν από το κέντρο της εικόνας προς τις άκρες. Εκτιμάται ότι 22% της κάθε σκηνής χάνεται εξαιτίας της δυσλειτουργίας του SLC. Το μέγιστο πλάτος των κενών στην άκρη της εικόνας αντιστοιχεί σε μία πλήρη γραμμή σάρωσης, ή περίπου 390 με 450 μέτρα. Η ακριβής τοποθεσία των γραμμών σάρωσης που λείπουν ποικίλει από σκηνή σε σκηνή.

Το ερώτημα που ανακύπτει, και που αποτελεί αντικείμενο της παρούσας εργασίας, είναι το κατά πόσον μπορούμε να αποκαταστήσουμε τα κενά έτσι ώστε οι εικόνες που έχουν ληφθεί μετά το 2003 να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για συγκριτικές μελέτες.

Αρχικά παρουσιάζονται κάποιες τεχνικές εξάλειψης του φαινομένου. Έπειτα παρουσιάζεται μία ολοκληρωμένη τεχνική για την αποκατάσταση της εικόνας. Στη συνέχεια παρουσιάζονται παραδείγματα αποκατάστασης των κενών σε διαφορετικές σκηνές. Τέλος γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων με εικόνες άλλων δεκτών για να αποδειχτεί η ορθότητα της αποκατάστασης της εικόνας.

## EVALUATION OF GAP-FILLED LANDSAT 7 ETM+ SLC-OFF IMAGERY

Konstantinos G. Nikolakopoulos<sup>1\*</sup>, George Aim. Skianis<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Geology & Mineral Exploration (IGME), Olympic Village Entrance C, 13677 Acharnae, Greece, knikolakopoulos@igme.gr*

<sup>2</sup>*Assist. Professor, University of Athens, Faculty of Geology and Geoenvironment, Department of Geography and Climatology, Remote Sensing Laboratory, Panepistimiopolis, Ilisia, 157 84 Athens, Greece. Tel. +30 210 7274378, Email: skianis@geol.uoa.gr*

### Abstract

On May 31, 2003, the Scan Line Corrector (SLC), which compensates for the forward motion of Landsat 7, failed. Subsequent efforts to recover the SLC were not successful, and the failure appears to be permanent. Without an operating SLC, the Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) line of sight now traces a zig-zag pattern along the satellite ground track. As a result, imaged area is duplicated, with width that increases toward the scene edge. An estimated 22 percent of any given scene is lost because of the SLC failure. The maximum width of the data gaps along the edge of the image would be equivalent to one full scan line, or approximately 390 to 450 meters. The precise location of the missing scan lines will vary from scene to scene. In this study a gap filling technique is evaluated. Two different Landsat 7 ETM+ images SLC off were restored and then compared to data from other sensors and the results are presented.

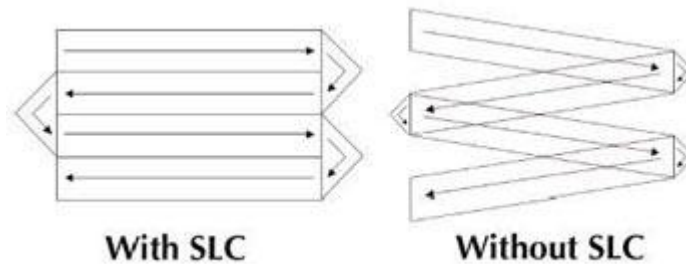
**Λέξεις Κλειδιά:** Landsat ETM+, SLC off, αποκατάσταση εικόνας, φίλτρα.

**Key Words:** Landsat ETM+, SLC off, image restoration, filter.

### Εισαγωγή

Ο Βελτιωμένος Θεματικός Χαρτογράφος (ETM+) του δορυφόρου Landsat 7 ήταν εφοδιασμένος με το σύστημα Scan Line Corrector (SLC), που αντισταθμίζει την προς τα εμπρός κίνηση του δορυφόρου. Όταν λειτουργεί σωστά το SLC επιτρέπει διαδοχικές προς τα εμπρός και πίσω σαρώσεις του ETM+ και δημιουργεί μία ενιαία εικόνα σχήμα 1. Χωρίς αυτή τη λειτουργία η επιφάνεια της γης καταγράφεται σε διαδοχικά ζιγκ-ζαγκ κατά μήκος της γραμμής πτήσης με αποτέλεσμα σε κάποια σημεία να έχουμε επικαλύψεις και σε κάποια σημεία να έχουμε κενά σχήμα 1.

Στις 31 Μαΐου 2003 το σύστημα SLC σταμάτησε να λειτουργεί με αποτέλεσμα οι εικόνες που λαμβάνει έκτοτε ο Βελτιωμένος Θεματικός Χαρτογράφος να παρουσιάζουν κενά. Τα κενά αυτά αυξάνουν από το κέντρο της εικόνας προς τις άκρες. Εκτιμάται ότι 22 τοις εκατό της κάθε σκηνής χάνεται εξαιτίας της δυσλειτουργίας του SLC. Το μέγιστο πλάτος των κενών στην άκρη της εικόνας θα είναι ισοδύναμη με μία πλήρη γραμμή σάρωσης, ή περίπου 390 με 450 μέτρα. Η ακριβής τοποθεσία των γραμμών σάρωσης που λείπουν ποικίλει από σκηνή σε σκηνή.

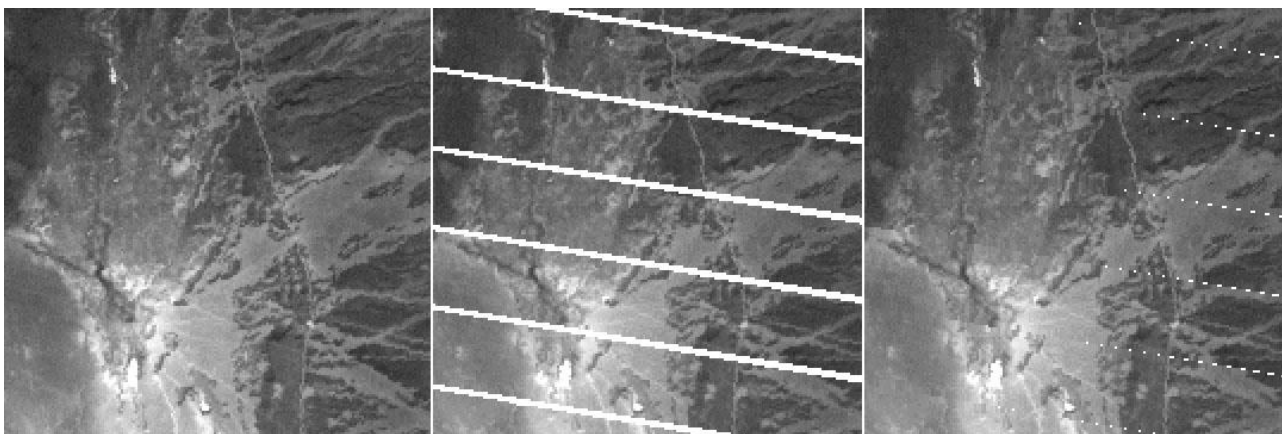


**Σχήμα 1.** Η δυσλειτουργία του συστήματος Scan Line Corrector (SLC). Αριστερά η συνεχής σάρωση της επιφάνειας της γης όταν το σύστημα λειτουργούσε και δεξιά οι επικαλύψεις και τα κενά που δημιουργούνται μετά τη βλάβη.

Από τη πρώτη στιγμή της βλάβης έγιναν προσπάθειες για την αποκατάσταση των κενών γραμμών με διάφορες μεθόδους USGS et al. (2003). Οι προσπάθειες αυτές επικεντρώθηκαν είτε στη γραμμική παρεμβολή (Νικολακόπουλος, 2002; Βαϊόπουλος κ.α., 2006) είτε στην αναδόμηση των εικονοστοιχείων της εικόνας.

Στην πρώτη περίπτωση και καθώς το εύρος των κενών γραμμών αυξάνεται από το κέντρο προς τα άκρα η αναδόμηση φαίνεται να λειτουργεί σχετικά καλά στο κέντρο της εικόνας (σχήμα 1) αλλά δεν έχει ουσιαστικό αποτέλεσμα στα άκρα της εικόνας (σχήμα 2). Στη δεύτερη περίπτωση η αναδόμηση δημιουργεί προβλήματα ειδικά στις περιοχές όπου έχουμε επικάλυψη των δεδομένων.

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται μία ολοκληρωμένη τεχνική για την εξάλειψη του φαινομένου και την αποκατάσταση των κενών στις εικόνες του ETM+. Παρουσιάζονται ακόμα παραδείγματα εφαρμογής της τεχνικής αυτής σε δύο διαφορετικές σκηνές του ETM+ και τα αποτελέσματα της αποκατάστασης συγκρίνονται με δεδομένα ίσης χωρικής διακριτικής ικανότητας από άλλους δέκτες με σκοπό να εκτιμηθεί η αξιοπιστία της μεθόδου.



Σχήμα 1. Από αριστερά προς τα δεξιά. Εικόνα από παλαιότερη λήψη όταν δούλευε το σύστημα SLC. Πρόκειται για περιοχή στο κέντρο της εικόνας. Η εικόνα μετά τη δυσλειτουργία του συστήματος. Στα δεξιά η εικόνα μετά τη γραμμική παρεμβολή (USGS et al., 2003).

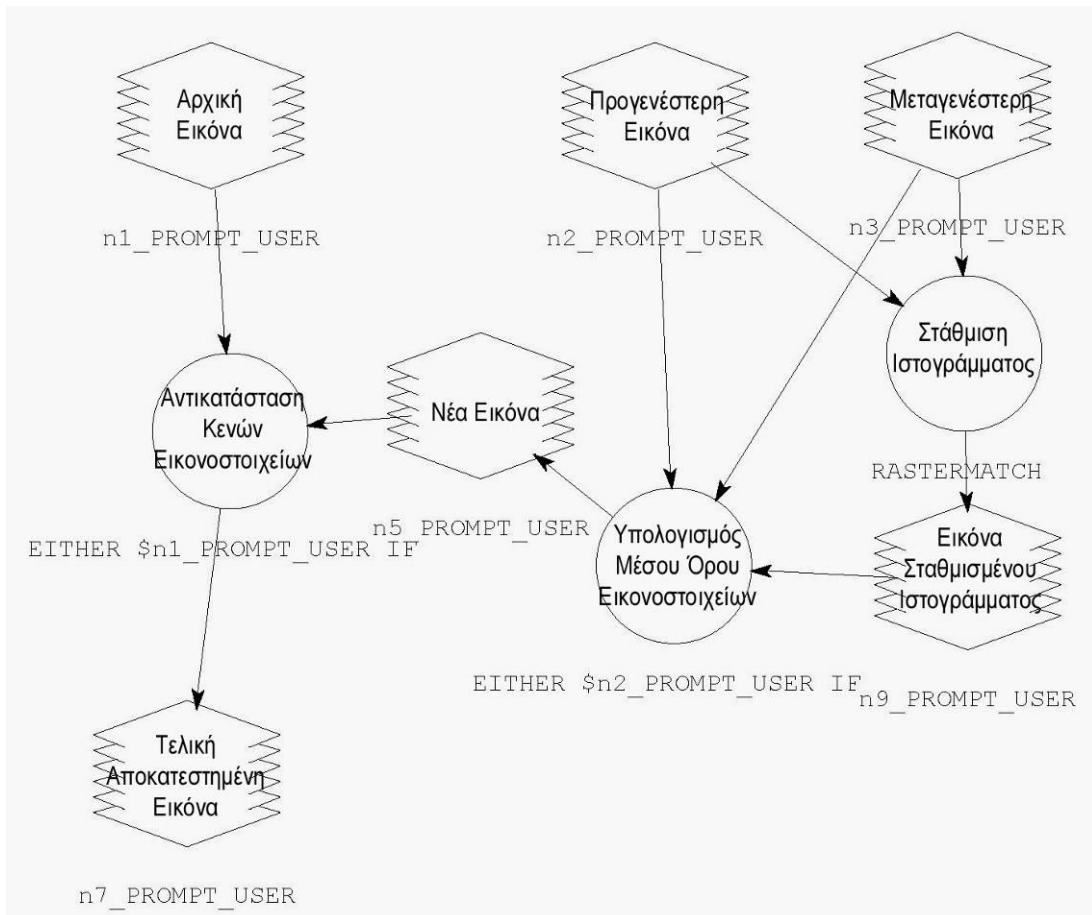


Σχήμα 2. Από αριστερά προς τα δεξιά. Εικόνα από παλαιότερη λήψη όταν δούλευε το σύστημα SLC. Πρόκειται για περιοχή στην άκρη της εικόνας. Η εικόνα μετά τη δυσλειτουργία του συστήματος. Στα δεξιά η εικόνα μετά τη γραμμική παρεμβολή (USGS et al., 2003).

### 1. Περιγραφή της μεθόδου αποκατάστασης.

Η προτεινόμενη τεχνική αποκατάστασης παρουσιάζεται σχηματικά στο ακόλουθο διάγραμμα ροής όπως δημιουργήθηκε και εκτελείται αυτόματα μέσα από την εφαρμογή modeler του λογισμικού ERDAS IMAGINE (σχήμα 3). Αρχικά επιλέγονται οι κοντινότερες χρονικά λήψεις της υπό διόρθωση εικόνας. Κατά προτίμηση επιλέγουμε μία εικόνα πριν και μία εικόνα μετά την ημερομηνία λήψης της υπό διόρθωση εικόνας. Οι εικόνες αυτές μπορούν να είναι του ίδιου του δέκτη και να παρουσιάζουν και αυτές κενές γραμμές. Η τεχνική βασίζεται στο γεγονός ότι η ακριβής τοποθεσία των γραμμών σάρωσης που λείπουν ποικίλει από σκηνή σε σκηνή.

Στη συνέχεια το ιστόγραμμα της προγενέστερης εικόνας σταθμίζεται προς αυτό της μεταγενέστερης και δημιουργείται μία νέα εικόνα σταθμισμένου ιστογράμματος. Η νέα αυτή εικόνα συνδυάζεται με τη μεταγενέστερη υπολογίζεται η μέση τιμή ανάκλασης των εικονοστοιχείων και δημιουργείται μία νέα εικόνα. Η εικόνα αυτή αντικαθιστά στην αρχική εικόνα τις κενές γραμμές και δημιουργείται η τελική αποκατεστημένη εικόνα.



Σχήμα 3. Διάγραμμα ροής της τεχνικής αποκατάστασης όπως δημιουργήθηκε και εκτελείται αυτόματα μέσα από την εφαρμογή modeler του λογισμικού ERDAS IMAGINE.

## 2. Δεδομένα και παραδείγματα αποκατάστασης

Δύο διαφορετικές εικόνες χρησιμοποιήθηκαν για να εκτιμηθεί το αποτέλεσμα της αποκατάστασης της εικόνας. Οι εικόνες αυτές επιλέχθηκαν με γνώμονα την ύπαρξη εικόνων από άλλους δέκτες με ίδια ημερομηνία λήψης και με ίση χωρική διακριτική ικανότητα έτσι ώστε να είναι δυνατή η εκτίμηση των αποτελεσμάτων.

Η πρώτη εικόνα με ημερομηνία λήψης 2/7/2004 καλύπτει το νότιο τμήμα της Αττικής και την Ανατολική Πελοπόννησο (184/034) ενώ η δεύτερη καλύπτει τη Δυτική Ελλάδα (185/033) με ημερομηνία λήψης 8/5/2008.

Για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν μία εικόνα Terra ASTER με ημερομηνία λήψης 2/7/2004 και χωρική διακριτική ικανότητα 15 μέτρων και μία εικόνα EO-1 ALI με ημερομηνία λήψης 8/5/2008 και χωρική διακριτική ικανότητα 30 μέτρων

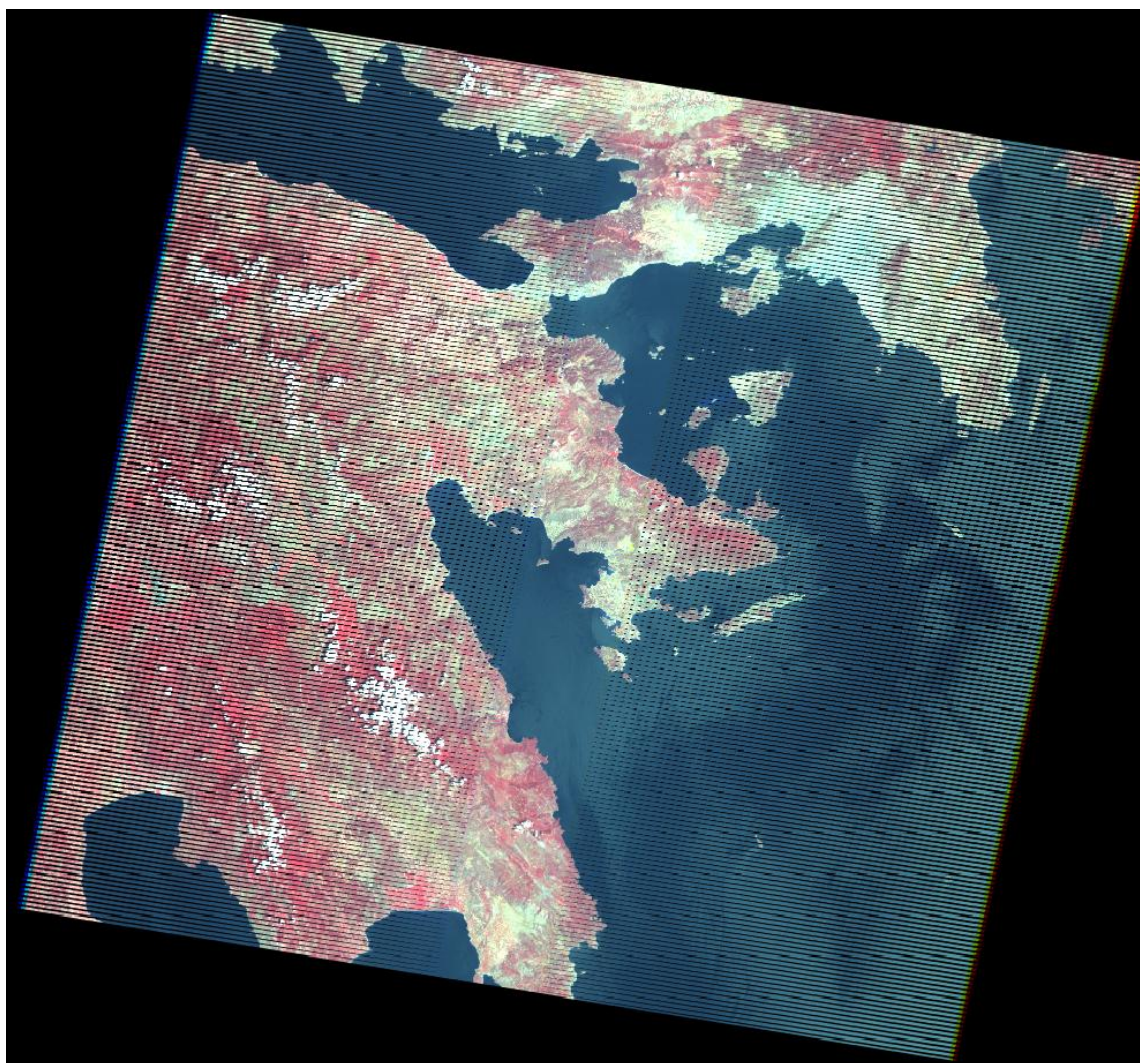
Στο σχήμα 4 παρουσιάζεται ολόκληρη η πρώτη εικόνα. Είναι εμφανής η ύπαρξη κενών μαύρων γραμμών το εύρος των οποίων αυξάνεται από το κέντρο της εικόνας προς τα άκρα. Στο σχήμα 5 παρουσιάζεται η ίδια εικόνα μετά την εφαρμογή της τεχνικής αποκατάστασης. Είναι πρόδηλη η διόρθωση του προβλήματος. Η τεχνική αποκατάστασης εφαρμόστηκε και στα παγχρωματικά δεδομένα και στη συνέχεια η αποκατεστημένη πολυφασματική εικόνα συγχωνεύθηκε με την διορθωμένη παγχρωματική για τη δημιουργία μίας νέας εικόνας με χωρική διακριτική ικανότητα 15 μέτρων που θα μπορούσε να συγκριθεί με την αντίστοιχη εικόνα Terra ASTER.

## 3. Σύγκριση με δεδομένα άλλων δεκτών

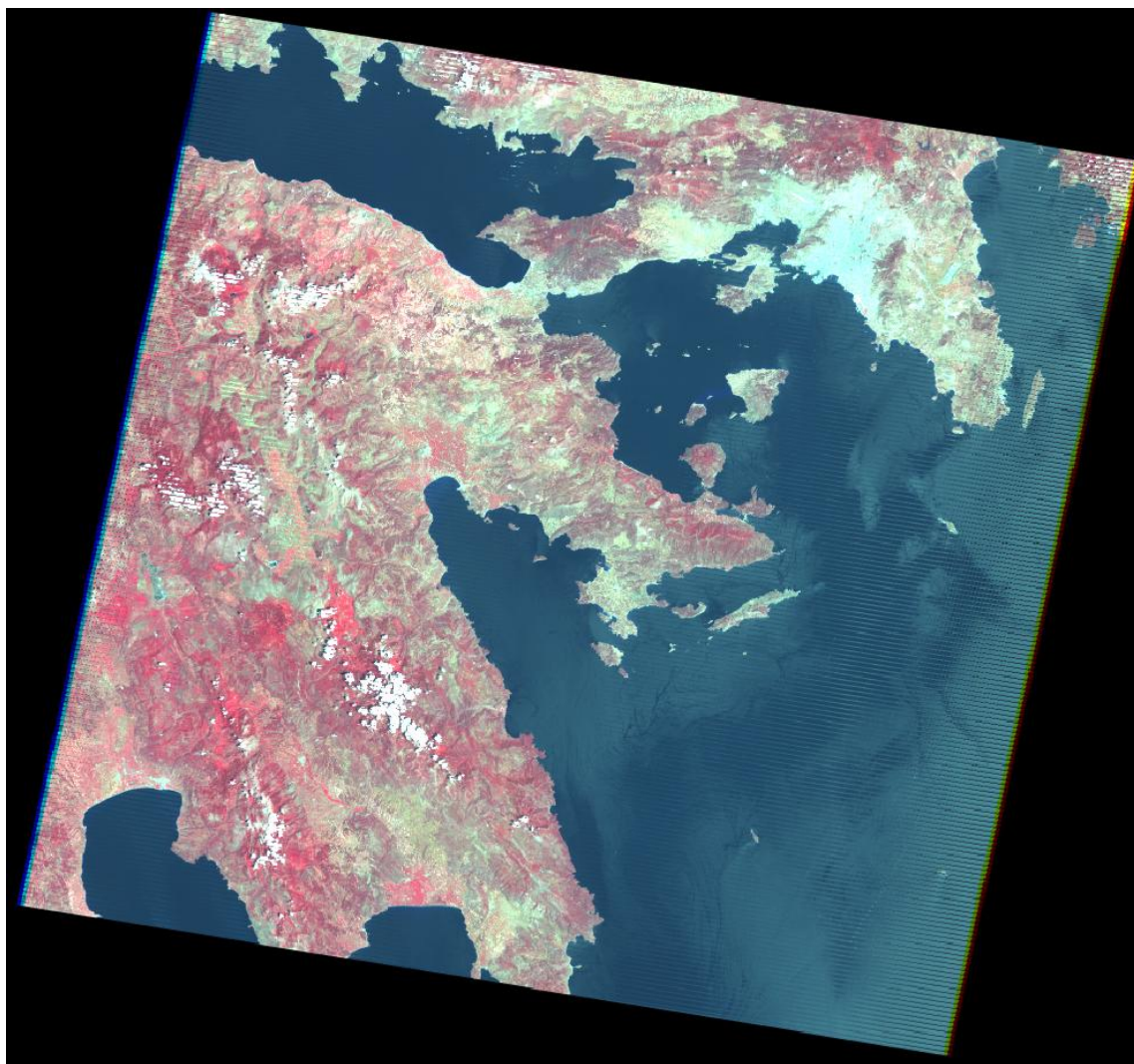
Στο σχήμα 6 παρουσιάζεται υπό κλίμακα 1/50.000 τμήμα των παραπάνω εικόνων και ειδικότερα η περιοχή των Θρακομακεδόνων. Από αριστερά προς τα δεξιά παρουσιάζεται η αρχική εικόνα με τα κενά, η αποκατεστημένη εικόνα και η αντίστοιχη εικόνα από το δέκτη Terra ASTER. Όπως μπορεί εύκολα να γίνει αντιληπτό υπάρχει πλήρης αποκατάσταση των κενών γραμμών και το τελικό αποτέλεσμα είναι πολύ καλό. Τόσο το οδικό δίκτυο όσο και οι αστικές η μη περιοχές

μπορούν άνετα να χαρτογραφηθούν και η εικόνα είναι εφάμιλλη με την εικόνα του δέκτη Terra ASTER.

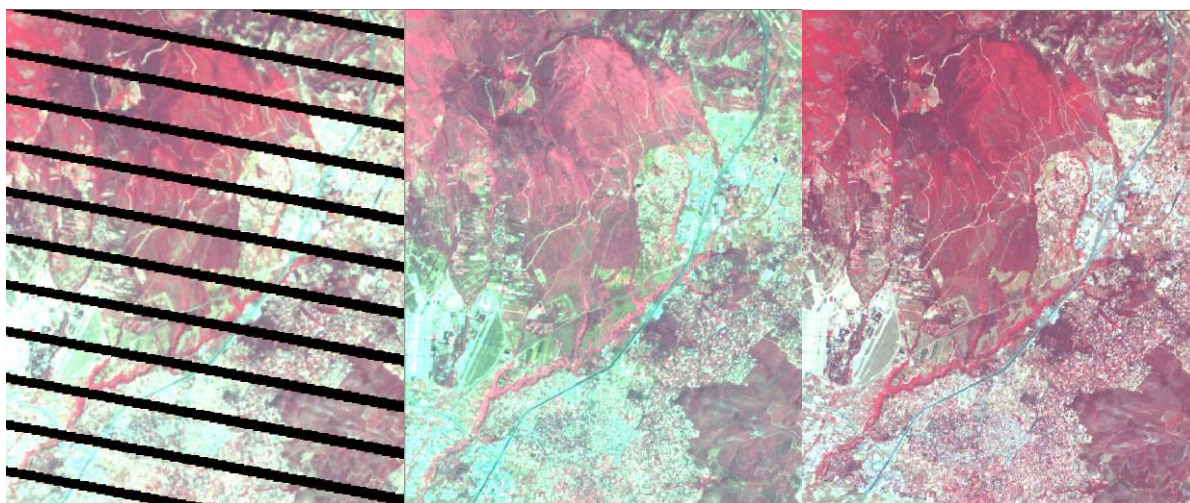
Στο σχήμα 7 παρουσιάζεται υπό κλίμακα 1/50.000 τμήμα της εικόνας της Δυτικής Ελλάδας (185/033). Ειδικότερα απεικονίζεται ένα τμήμα της νήσου Κεφαλονιάς. Από αριστερά προς τα δεξιά παρουσιάζεται η αρχική εικόνα με τα κενά, η αποκατεστημένη εικόνα και η αντίστοιχη εικόνα από το δέκτη EO-1 ALI. Όπως μπορεί εύκολα να γίνει αντιληπτό υπάρχει πλήρης αποκατάσταση των κενών γραμμών και το τελικό αποτέλεσμα είναι πολύ καλό. Τόσο το οδικό δίκτυο όσο και οι διάφορες ενότητες της φυτοκάλυψης μπορούν να αποτυπωθούν. Η ανάλυση της διορθωμένης εικόνας είναι αντίστοιχη με την ανάλυση της εικόνας ALI που έχει ληφθεί την ίδια μέρα με την ίδια χωρική διακριτική ικανότητα.



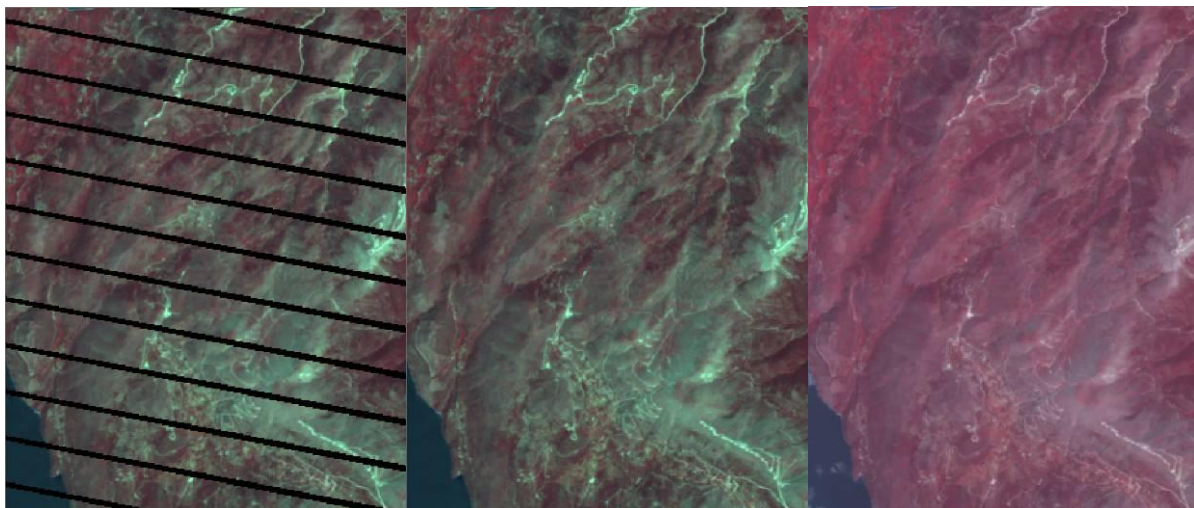
Σχήμα 4. Η εικόνα με ημερομηνία λήψης 2/7/2004 καλύπτει το νότιο τμήμα της Αττικής και την Ανατολική Πελοπόννησο (184/034). Είναι εμφανής η ύπαρξη κενών γραμμών που αυξάνεται από το κέντρο της εικόνας προς τα άκρα.



Σχήμα 5. Η εικόνα του σχήματος 4 μετά την εφαρμογή της τεχνικής αποκατάστασης.



Σχήμα 6. Τμήμα των παραπάνω εικόνων υπό κλίμακα 1/50.000. Από αριστερά προς τα δεξιά παρουσιάζεται η αρχική εικόνα με τα κενά, η αποκατεστημένη εικόνα και η αντίστοιχη εικόνα από το δέκτη Terra ASTER. Έχει γίνει πλήρης αποκατάσταση των κενών γραμμών και το τελικό αποτέλεσμα είναι πολύ καλό. Τόσο το οδικό δίκτυο όσο και η αστικές ή μη περιοχές μπορούν άνετα να χαρτογραφηθούν και η εικόνα είναι εφάμιλλη με την εικόνα του δέκτη Terra ASTER.



Σχήμα 7. Τμήμα των εικόνων 185/033 υπό κλίμακα 1/50.000. Από αριστερά προς τα δεξιά παρουσιάζεται η αρχική εικόνα με τα κενά, η αποκατεστημένη εικόνα και η αντίστοιχη εικόνα από το δέκτη EO-1 ALI. Έχει γίνει πλήρης αποκατάσταση των κενών γραμμών και το τελικό αποτέλεσμα είναι πολύ καλό.

#### 4. Συμπεράσματα

Από τον πειραματισμό με δύο διαφορετικές εικόνες του Βελτιωμένου Θεματικού Χαρτογράφου, και τη σύγκριση με δεδομένα άλλων δεκτών συνάγονται τα παρακάτω συμπεράσματα για την προτεινόμενη τεχνική αποκατάστασης κενών γραμμών:

Η τεχνική αποκαθιστά σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό τις κενές γραμμές. Σε κάθε περίπτωση δίνει καλύτερα αποτελέσματα από τις μέχρι τώρα προταθείσες τεχνικές αποκατάστασης.

Η τεχνική μπορεί να εφαρμοστεί σε όλες τις εικόνες του Βελτιωμένου Θεματικού Χαρτογράφου που παρουσιάζουν πρόβλημα αρκεί να υπάρχουν δύο άλλες εικόνες, μία με προγενέστερη ημερομηνία λήψης και μία με μεταγενέστερη του ίδιου δέκτη. Η διορθωμένη εικόνα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για χαρτογράφηση και γενικά σε μελέτες ανίχνευσης αλλαγών.

#### Βιβλιογραφία

- Βαϊόπουλος Δ., Σκιάνης Γ. και Νικολακόπουλος Κ., 2006: “Εργαστηριακές Ασκήσεις Ψηφιακής Επεξεργασίας Δεδομένων Τηλεανίχνευσης σε συνδυασμό με Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών”. 2η έκδοση βελτιωμένη και επαυξημένη. Εκδόσεις Πανεπιστημίου Αθηνών, σελ. 178, Αθήνα.
- Νικολακόπουλος Κ., 2002: “Χρήση Μεθόδων και Δεδομένων Τηλεανίχνευσης και Ανάπτυξη Ειδικών Ψηφιακών Τεχνικών Επεξεργασίας Εικόνας για τη Γεωμορφολογική και Γεωγραφική Μελέτη της Υδρογραφικής Λεκάνης του Αλφειού”, Διδακτορική Διατριβή, Βιβλιοθήκη τμήματος Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος.
- USGS, NASA, and the Landsat 7 Science Team, 2003: *Preliminary Assessment of the Value of Landsat 7 ETM+ Data following Scan Line Corrector Malfunction*, EROS Data Center, Sioux Falls, SD 57198, p. 86.