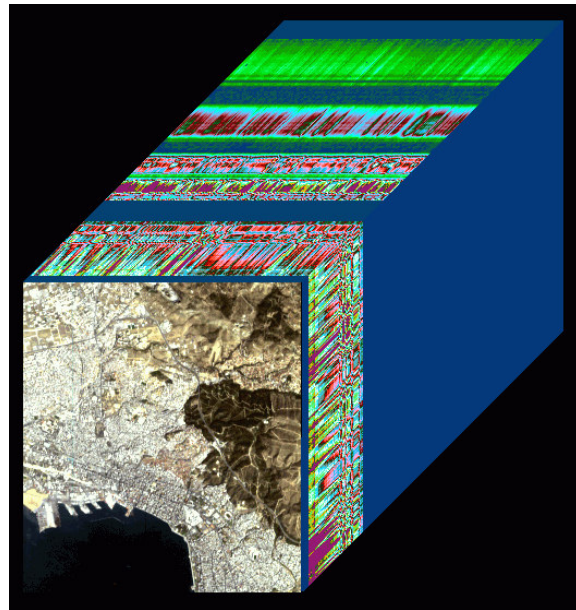


ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ
ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ GIS

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ:

**Αξιολόγηση τεχνικών ατμοσφαιρικής διόρθωσης υπερφασματικών
Hyperion εικόνων**



ΣΤΟΥΡΝΑΡΑ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ:
ΤΣΑΚΙΡΗ-ΣΤΡΑΤΗ ΜΑΡΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2007

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία με τίτλο: “Αξιολόγηση τεχνικών ατμοσφαιρικής διόρθωσης υπερφασματικών Hyperspectral εικόνων” εκπονήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Γεωπληροφορικής της κατεύθυνσης “Διαχείριση Φωτογραμμετρικής Παραγωγής και Τηλεπισκόπησης σε περιβάλλον Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ)” του τμήματος Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Η εργασία πραγματοποιήθηκε υπό την επίβλεψη της αναπληρώτριας καθηγήτριας κ. Μαρίας Τσακίρη-Στρατή την οποία ευχαριστώ θερμά για την καθοδήγησή της και τις πολύτιμες παρατηρήσεις της.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη

Abstract

1. Εισαγωγή	1
1.1. Υπερφασματικοί αισθητήρες και υπερφασματικά δεδομένα	3
1.2. Ραδιομετρικά σφάλματα	7
1.3. Ατμοσφαιρικά σφάλματα και ατμοσφαιρική διόρθωση	8
1.4. Ατμοσφαιρική διόρθωση υπερφασματικών δεδομένων	10
1.5. Οι φασματικές βιβλιοθήκες	17
1.5.1. Η μέθοδος SAM (Spectral Angle Mapper)	19
1.5.2. Η γραμμική μείξη (Linear Mixing)	20
1.6. Η μείωση της διάστασης των υπερφασματικών δεδομένων- Ο μετασχηματισμός MNF (Minimum Noise Fraction)	22
1.7. Σκοπός της εργασίας	23
1.8. Η δομή της εργασίας	24
2. Υπερφασματικά Δεδομένα, Ατμοσφαιρικά Σφάλματα και Ατμοσφαιρική Διόρθωση	26
2.1. Εισαγωγή	26
2.2. Υπερφασματικοί αισθητήρες και υπερφασματικά δεδομένα	26
2.2.1. Υπερφασματικοί αισθητήρες	26
2.2.2. Υπερφασματικά δεδομένα	29
2.2.3. Πλεονεκτήματα υπερφασματικών εικόνων	30
2.3. Τα Ατμοσφαιρικά Σφάλματα και το Μοντέλο της Ατμόσφαιρας	32
2.4. Ατμοσφαιρική Διόρθωση	47
3. Ατμοσφαιρική Διόρθωση της Υπερφασματικής Εικόνας HYPERION του δορυφόρου EO-1	50
3.1. Εισαγωγή	50
3.2. Τα Δεδομένα	50
3.3. Η Περιοχή Μελέτης	55
3.4. Ο Δορυφόρος EO-1	57

3.5. Ο Υπερφασματικός Αισθητήρας HYPERION	63
3.6. Η Προεπεξεργασία της Υπερφασματικής Εικόνας HYPERION	81
3.7. Η Μεθοδολογία της Ατμοσφαιρικής Διόρθωσης της Υπερφασματικής Εικόνας HYPERION	84
3.7.1. Το μοντέλο ατμοσφαιρικής διόρθωσης FLAASH	84
3.7.2. Ο αλγόριθμος IARR (Internal Average Relative Reflectance)	104
3.7.3. Ο αλγόριθμος Empirical Line	105
3.7.4. Οι αλγόριθμοι Flat Field και Modified Flat Field	107
4. Αποτελέσματα-Ανάλυση	109
4.1. Οπτικοποίηση της εικόνας Hyperion	109
4.2.1. Τα αποτελέσματα της ατμοσφαιρικής διόρθωσης της εικόνας Hyperion με τη χρήση του μοντέλου ατμοσφαιρικής διόρθωσης FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hyperspectral Hypercubes)	111
4.2.2. Τα αποτελέσματα της ατμοσφαιρικής διόρθωσης της εικόνας Hyperion με τη χρήση του αλγορίθμου IARR (Internal Average Relative Reflectance)	161
4.2.3. Τα αποτελέσματα της ατμοσφαιρικής διόρθωσης της εικόνας Hyperion με τη χρήση του αλγορίθμου Empirical Line	165
4.2.4. Τα αποτελέσματα της ατμοσφαιρικής διόρθωσης της εικόνας Hyperion με τη χρήση των αλγορίθμων Flat Field και Modified Flat Field	168
4.2.5. Σύγκριση αποτελεσμάτων	171
4.3. Εφαρμογή μετασχηματισμού MNF (MINIMUM NOISE FRACTION)	173
4.4. Ανάλυση της εικόνας Hyperion	178
4.4.1. Επιλογή “ENDMEMBERS”	178
4.4.2. Εφαρμογή της τεχνικής “Spectral Linear Unmixing”	181
4.4.3. Εφαρμογή ταξινόμησης μέσω του αλγορίθμου SAM (Spectral Angle Mapper)	182
5. Συμπεράσματα	190
Βιβλιογραφία	197
Παράρτημα	202

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας ήταν η αξιολόγηση τεχνικών ατμοσφαιρικής διόρθωσης υπερφασματικών Hyperion εικόνων. Επίσης μέσα στο πλαίσιο του αντικειμένου της εργασίας ήταν η παρουσίαση των υπερφασματικών εικόνων, του υπερφασματικού αισθητήρα και των εικόνων Hyperion, η παρουσίαση του δορυφόρου EO-1, στον οποίο είναι τοποθετημένος ο Hyperion, των ατμοσφαιρικών σφαλμάτων που περιέχουν τα τηλεπισκοπικά δεδομένα και τεχνικών ατμοσφαιρικής διόρθωσης υπερφασματικών δορυφορικών εικόνων. Στο πλαίσιο της εργασίας εφαρμόστηκαν επίσης τεχνικές μείωσης θορύβου και ταξινόμησης υπερφασματικών εικόνων. Ως δεδομένα χρησιμοποιήθηκε μια εικόνα Hyperion του δορυφόρου EO-1 χωρικής ανάλυσης 30m και φασματικής ανάλυσης 10nm που λήφθηκε τον Οκτώβριο του 2001. Η εικόνα αυτή είναι μια στενή λωρίδα 7,7 χιλιομέτρων που απεικονίζει βόρεια τμήμα της λίμνης Κερκίνης και καταλήγει νότια στην περιοχή του Κισσάβου στη Θεσσαλία. Στην περιοχή μελέτης περιλαμβάνεται η αστική περιοχή της Θεσσαλονίκης.

Για την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας Hyperion χρησιμοποιήθηκαν οι τεχνικές ατμοσφαιρικής διόρθωσης: FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes) (ENVI 4.3), IARR (Internal Average Relative Reflectance) (ENVI 4.3 και ERDAS IMAGINE 9.0), Empirical Line (ENVI 4.3 και ERDAS IMAGINE 9.0), Flat Field (ENVI 4.3) και Modified Flat Field (ERDAS IMAGINE 9.0).

Στο πλαίσιο της εργασίας έγινε παρουσίαση των αποτελεσμάτων όλων των τεχνικών ατμοσφαιρικής διόρθωσης της εικόνας Hyperion. Συγκρίθηκαν οι φασματικές υπογραφές κατηγοριών όπως π.χ. βλάστηση της εικόνας πριν και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωσή της. Επίσης, αυτές οι φασματικές υπογραφές συγκρίθηκαν με γνωστές φασματικές υπογραφές από τις φασματικές βιβλιοθήκες “Jasper Ridge Spectral Library for Green Vegetation, Dry Vegetation, and Rocks” και “JHU” (Johns Hopkins University) για την ταυτοποίησή τους. Στη συνέχεια, συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα όλων των τεχνικών ατμοσφαιρικής διόρθωσης και έγινε αξιολόγησή τους.

Για τη μείωση του θορύβου στην ατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα Hyperion χρησιμοποιήθηκε ο μετασχηματισμός “MNF-Minimum Noise Fraction”. Με την

εφαρμογή αυτής της τεχνικής χωρίζεται ο θόρυβος από τη χρήσιμη πληροφορία στα δεδομένα. Η χρήσιμη πληροφορία περιέχεται στους πρώτους διαύλους “MNF”, οι οποίοι χρησιμοποιούνται στην περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων.

Για την ταξινόμηση της ατμοσφαιρικά διορθωμένης εικόνας Hyperion χρησιμοποιήθηκε η τεχνική SAM (Spectral Angle Mapper). Η τεχνική αυτή εφαρμόστηκε στην ατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα πριν το μετασχηματισμό MNF και μετά. Η ακρίβεια της ταξινόμησης ήταν ικανοποιητική και στις δύο περιπτώσεις.

Για την επεξεργασία των εικόνων χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά ENVI 4.3 και ERDAS IMAGINE 9.0.

ABSTRACT

The subject of this diploma thesis was the evaluation of atmospheric correction methods of hyperspectral Hyperion data. The subject of the diploma thesis also involved the presentation of hyperspectral data, the Hyperion hyperspectral sensor and Hyperion data, the presentation of the EO-1 satellite, which carries the Hyperion sensor, the atmospheric errors of remote sensing data and atmospheric correction methods of hyperspectral satellite images. The subject of the diploma thesis involved the application of noise reduction and classification methods of hyperspectral images as well. The data used was a Hyperion image with a spatial resolution of 30m and a spectral resolution of 10nm, which was acquired on October 2001. This image is a narrow strip of 7.7 km covering the ground area from the lake Kerkini north to the extended region of mountain Kissavos in Thessalia south. The study area also includes the urban area of Thessaloniki.

The atmospheric correction methods applied were: FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes) (ENVI 4.3), IARR (Internal Average Relative Reflectance) (ENVI 4.3 and ERDAS IMAGINE 9.0), Empirical Line (ENVI 4.3 and ERDAS IMAGINE 9.0), Flat Field (ENVI 4.3) and Modified Flat Field (ERDAS IMAGINE 9.0).

The subject of the diploma thesis involved the presentation of the results of all the atmospheric correction methods applied to the Hyperion image. Spectral profiles of pixels from categories such as vegetation of the Hyperion image were compared before and after the atmospheric correction. These spectral profiles were also compared to known spectral profiles from the spectral libraries “Jasper Ridge Spectral Library for Green Vegetation, Dry Vegetation, and Rocks” and “JHU” (Johns Hopkins University) for identification of the image spectra. Then the results of all the atmospheric correction methods applied were compared and evaluated.

The “MNF” (Minimum Noise Fraction) transformation was applied to the atmospherically corrected Hyperion image for the reduction of noise. Through this transformation the noise in the hyperspectral data is separated from the useful information. The useful information is included in the first MNF bands, which are used for further processing.

The classification of the Hyperion image was performed with the use of the SAM (Spectral Angle Mapper) algorithm. This method was applied to the atmospherically corrected Hyperion image before and after the MNF transformation. The classification accuracy was satisfactory on both cases.

The software used was ENVI 4.3 and ERDAS IMAGINE 9.0.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα οπτικά τηλεπισκοπικά συστήματα απεικόνισης της γήινης επιφάνειας, τα οποία βρίσκονται ή σε αεροπλάνο ή σε δορυφόρο, καταγράφουν το αποτέλεσμα της αμοιβαίας επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας με την ατμόσφαιρα και τη γήινη επιφάνεια. Κατά την καταγραφή των δεδομένων υπεισέρχονται γεωμετρικές παραμορφώσεις και ραδιομετρικά σφάλματα, [1].

Οι γεωμετρικές παραμορφώσεις της εικόνας επηρεάζουν τη **γεωμετρία** της, δηλαδή την **προβολή**, την **κλίμακα** και τον **προσανατολισμό** της και οφείλονται στο δέκτη, στον προσανατολισμό του δορυφόρου και στη φύση της πραγματικής εικόνας του εδάφους, [1].

Τα ραδιομετρικά σφάλματα αναφέρονται στην τιμή έντασης κάθε ψηφίδας και μπορούν να οφείλονται σε κατασκευαστικές ατέλειες των συστημάτων σάρωσης, μεταβίβασης, καταγραφής και αναπαραγωγής των δεδομένων εικόνων, στη φύση της γήινης επιφάνειας καθώς και στις επιδράσεις της ατμόσφαιρας, [1].

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η παρουσίαση του υπερφασματικού αισθητήρα Hyperion και των εικόνων του, του δορυφόρου EO-1 στον οποίο είναι τοποθετημένος ο αισθητήρας Hyperion, τα ατμοσφαιρικά σφάλματα, τεχνικές ατμοσφαιρικής διόρθωσης υπερφασματικών δορυφορικών εικόνων και εκτίμηση αυτών μέσω εφαρμογής σε υπερφασματική εικόνα Hyperion.

Στα δορυφορικά δεδομένα, επειδή η ηλιακή ακτινοβολία η οποία καταγράφεται διατρέχει όλα τα στρώματα της ατμόσφαιρας, υφίσταται απορρόφηση και σκέδαση κυρίως στην ορατή και εγγύς υπέρυθρη περιοχές του φάσματος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η ακτινοβολία η οποία καταγράφεται από τον αισθητήρα να είναι το άθροισμα της ανακλώμενης ακτινοβολίας και της ατμοσφαιρικής ακτινοβολίας λόγω σκέδασης και απορρόφησης. Το προσθετικό αποτέλεσμα της ατμοσφαιρικής ακτινοβολίας λόγω σκέδασης και απορρόφησης στην ακτινοβολία που καταγράφεται από τον αισθητήρα πάνω στην εικόνα ονομάζεται ατμοσφαιρικό σφάλμα. Η ύπαρξη ατμοσφαιρικών σφαλμάτων στα δορυφορικά δεδομένα και ιδιαίτερα στα υπερφασματικά εμποδίζουν την πλήρη εκμετάλλευσή τους. Η διόρθωση ή μείωση των ατμοσφαιρικών σφαλμάτων στις εικόνες ονομάζεται ατμοσφαιρική διόρθωση και είναι ο

μετασχηματισμός της ακτινοβολίας στον αισθητήρα σε ανακλώμενη στο έδαφος ακτινοβολία, ([1],[2]).

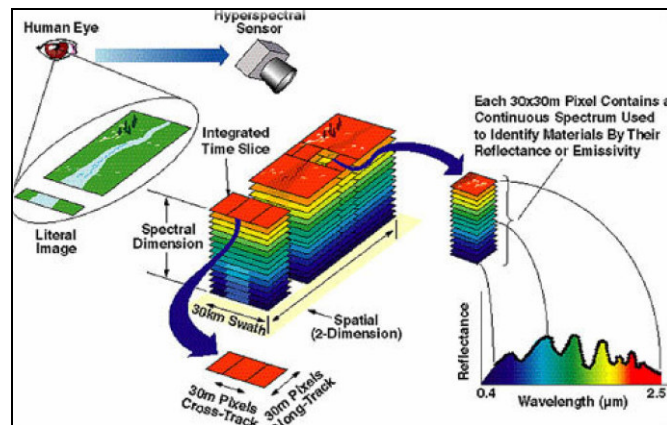
Στα υπερφασματικά δεδομένα λόγω της πολύ μεγάλης φασματικής ανάλυσής τους είναι απαραίτητη η ατμοσφαιρική διόρθωση κατά τη διαδικασία της προεπεξεργασίας τους. Με την απόκτηση των πρώτων υπερφασματικών εικόνων αναγνωρίστηκε η αναγκαιότητα ανάπτυξης τεχνικών ατμοσφαιρικής διόρθωσης, [2].

Στο πλαίσιο της εργασίας έγινε μία εφαρμογή ατμοσφαιρικής διόρθωσης σε υπερφασματική εικόνα Hyperion. Χρησιμοποιήθηκαν τα μοντέλα των λογισμικών ENVI 4.3 και ERDAS IMAGINE 9.0. Έγινε ανάλυση των αποτελεσμάτων, εκτίμηση και αξιολόγηση των τεχνικών που χρησιμοποιήθηκαν.

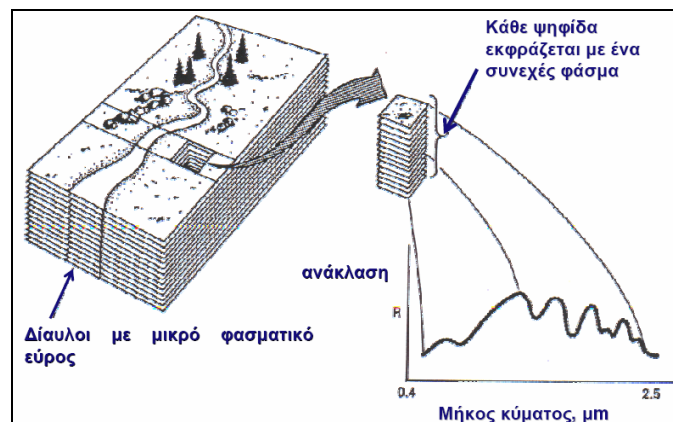
Χρησιμοποιήθηκαν οι αλγόριθμοι ατμοσφαιρικής διόρθωσης FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes) (ENVI 4.3), IARR (Internal Average Relative Reflectance) (ENVI 4.3 και ERDAS IMAGINE 9.0), Empirical Line (ENVI 4.3 και ERDAS IMAGINE 9.0), Flat Field (ENVI 4.3) και Modified Flat Field (ERDAS IMAGINE 9.0).

1.1. Υπερφασματικοί αισθητήρες και υπερφασματικά δεδομένα

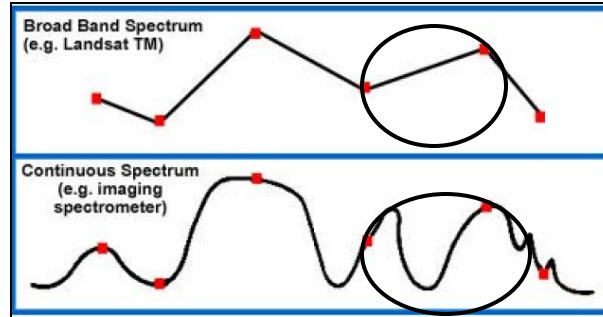
Τα υπερφασματικά συστήματα απεικόνισης καταγράφουν δεδομένα στην ορατή, εγγύς υπέρυθρη και μέση υπέρυθρη περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Συλλέγουν μεγάλο αριθμό συνεχόμενων και φασματικά στενών διαύλων, οι οποίοι καθιστούν δυνατή την κατασκευή ενός συνεχούς φάσματος αντανάκλασης για κάθε ψηφίδα της εικόνας (Εικ. 1.1-1.2). Ο σκοπός των συστημάτων αυτών είναι να επιτρέψει τη διάκριση μεταξύ των αντικειμένων της γήινης επιφάνειας, που διαγνωστικά έχουν χαρακτηριστικά απορρόφησης και ανάκλασης πάνω στους διαύλους πολύ στενού φάσματος, τα οποία χάνονται στους συμβατικούς διαύλους μεγάλου φασματικού εύρους (Εικ 1.3). Οι αισθητήρες αυτοί μπορεί να βρίσκονται σε αεροπλάνο ή δορυφόρο, [2].



Εικόνα.1.1. Υπερφασματικό σύστημα απεικόνισης. Παρουσιάζεται το συνεχές φάσμα μιας ψηφίδας των δεδομένων, [2]



Εικόνα 1.2. Παρουσιάζεται μια υπερφασματική εικόνα, στην οποία φαίνεται ο μεγάλος αριθμός των διαύλων της καθώς και το συνεχές φάσμα κάθε ψηφίδας της, [2].



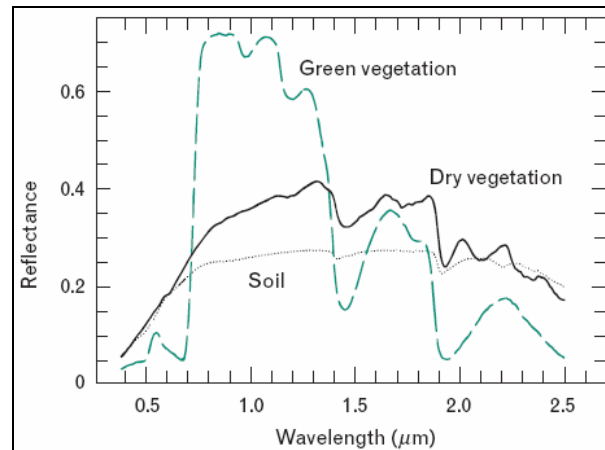
Εικόνα 1.3. Φασματική σύγκριση πολυφασματικών (πάνω) και υπερφασματικών δεδομένων (κάτω). Τα υπερφασματικά δεδομένα έχουν μεγαλύτερη λεπτομέρεια, η οποία χάνεται στα πολυφασματικά, [2]. Π.χ. η απορρόφηση στην περιοχή που περικλείεται στο πλαίσιο στα υπερφασματικά δεδομένα χάνεται στα πολυφασματικά δεδομένα.

Τα υπερφασματικά δεδομένα έχουν πολύ μεγάλη φασματική διακριτικότητα, λόγω του μικρού φασματικού εύρους των διαύλων τους, που είναι π.χ. 10-15nm, σε αντίθεση με τα πολυφασματικά, των οποίων η φασματική διακριτικότητα είναι πολύ μικρότερη (0,1 μ m=100nm). Η φασματική πληροφορία, που λαμβάνεται με τα υπερφασματικά δεδομένα, έχει μεγαλύτερη λεπτομέρεια σε σύγκριση με τη φασματική πληροφορία, που παρέχουν τα πολυφασματικά δεδομένα (Εικ. 1.3). Π.χ. στην Εικόνα 1.3 η απορρόφηση στην περιοχή που περικλείεται στο πλαίσιο στα υπερφασματικά δεδομένα χάνεται στα πολυφασματικά δεδομένα.

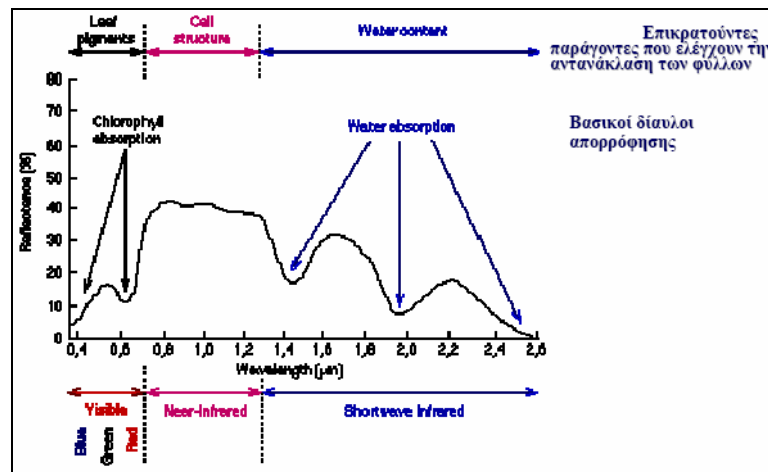
Η ανάκλαση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από ένα αντικείμενο μετρείται ως μία συνάρτηση του μήκους κύματος. Η φασματική αντανάκλαση κάθε αντικειμένου εκφράζεται σε ποσοστιαία αντανάκλαση. Είναι η ενέργεια που αντανακλάται από το αντικείμενο στο μήκος κύματος λ προς την ενέργεια που προσπίπτει στο αντικείμενο στο μήκος κύματος λ . Η γραφική παράσταση της φασματικής αντανάκλασης από ένα αντικείμενο στα διάφορα μήκη κύματος, περιγράφεται από μία καμπύλη, που ονομάζεται καμπύλη φασματικής αντανάκλασης του αντικειμένου. Η καμπύλη αυτή, επειδή είναι μοναδική για κάθε αντικείμενο, ονομάζεται και φασματική υπογραφή του αντικειμένου, [1]. Βάσει των φασματικών υπογραφών τους τα διάφορα αντικείμενα διακρίνονται μεταξύ τους.

Στην Εικόνα 1.4 παρουσιάζονται φασματικές υπογραφές από τις τρεις διαφορετικές κατηγορίες: πράσινη βλάστηση, ξηρή βλάστηση και ακάλυπτο έδαφος. Βάσει των διαφορετικών φασματικών υπογραφών τους οι κατηγορίες αυτές διακρίνονται μεταξύ

τους. Στην Εικόνα 1.5 παρουσιάζεται η φασματική υπογραφή της πράσινης βλάστησης, όπου παρουσιάζονται οι βασικοί διάυλοι απορρόφησης και οι επικρατούντες παράγοντες που ελέγχουν την αντανάκλαση των φύλλων. Οι παράγοντες αυτοί είναι η χρωστική των φύλλων, η δομή τους και η περιεχόμενη υγρασία.



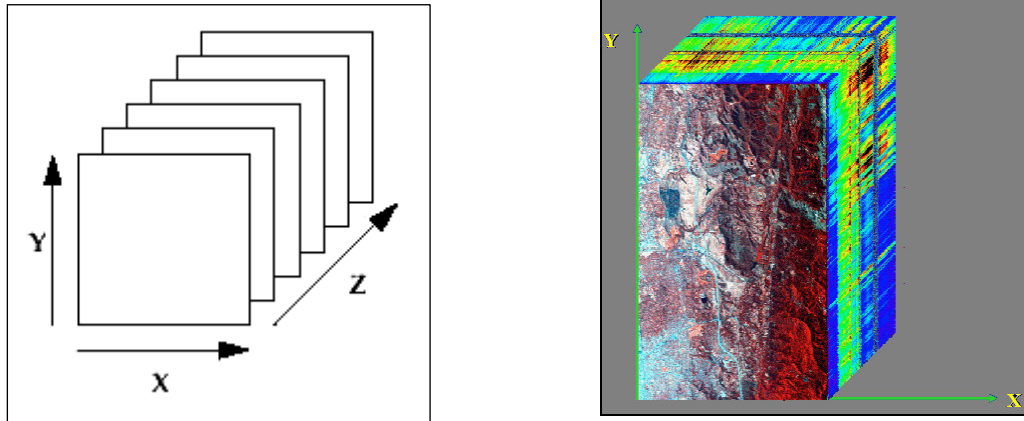
Εικόνα 1.4. Φασματικές υπογραφές από τις κατηγορίες πράσινη βλάστηση, ξηρή βλάστηση και ακάλυπτο έδαφος, [3].



Εικόνα 1.5. Χαρακτηριστικά τυπικής φασματικής απόκρισης της πράσινης βλάστησης, [2].

Τα υπερφασματικά δεδομένα απεικόνισης, για μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή, μπορούν να παρασταθούν με ένα κύβο του οποίου οι δύο διαστάσεις παριστάνουν τις χωρικές συντεταγμένες/θέσεις και η τρίτη το μήκος κύματος ή τη

φασματική περιοχή ή το φασματικό διάλυτο (Εικ 1.6), [2]. Παράδειγμα υπερφασματικού κύβου παρουσιάζεται στην Εικόνα 1.7, όπου φαίνονται και οι διαστάσεις του.



Εικόνες 1.6-1.7. Υπερφασματικός «κύβος» δεδομένων εικόνας (αριστερά). Ο άξονας X εκφράζει τις στήλες της εικόνας, ο άξονας Y τις γραμμές και ο άξονας Z το φασματικό διάλυτο, ή το μήκος κύματος, [2]. Στην Εικόνα 1.7 (δεξιά) παρουσιάζεται υπερφασματική εικόνα, που έχει παρασταθεί με έναν κύβο, [2].

Για την έγχρωμη εμφάνιση της υπερφασματικής εικόνας επιλέγονται τρεις διάλυτοι. Για την εμφάνιση της εικόνας στα φυσικά της χρώματα (true colour) επιλέγεται στο συνδυασμό διαλύτων RGB (Red-Green-Blue) της εικόνας ένας διάλυτος από την κόκκινη περιοχή της ορατής ακτινοβολίας (0,60-0,72 μm), ένας από την πράσινη (0,50-0,60 μm) και ένας από την μπλε (0,38-0,50 μm) αντίστοιχα. Για να φαίνεται η βλάστηση κόκκινη στην εικόνα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας διάλυτος από την εγγύς υπέρυθρη φασματική περιοχή, ένας από την πράσινη και ένας από την μπλε αντίστοιχα. Για την έγχρωμη εμφάνιση της υπερφασματικής εικόνας χρησιμοποιείται επίσης ένας διάλυτος από την εγγύς υπέρυθρη περιοχή, ένας από την κόκκινη και ένας από την πράσινη.

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε μία υπερφασματική εικόνα του δορυφόρου EO-1, που αποκτήθηκε στις 5 Οκτωβρίου του 2001. Η εικόνα αυτή λήφθηκε με τον αισθητήρα Hyperion του δορυφόρου EO-1. Οι διαλύοί της είναι 242. Η φασματική της ανάλυση είναι 10nm. Η χωρική της ανάλυση είναι 30 μέτρα. Οι διαστάσεις της είναι 7,7 \times 185km. Η περιοχή μελέτης, που απεικονίζεται στην εικόνα αυτή, ξεκινάει βόρεια από τη λίμνη Κερκίνη και φτάνει νότια μέχρι την περιοχή του Κισσάβου στη Θεσσαλία σε ζώνη 7,7km.

1.2. Ραδιομετρικά σφάλματα

Τα ραδιομετρικά σφάλματα αναφέρονται στην τιμή έντασης κάθε ψηφίδας και είναι: α) η μετάθεση και το κέρδος, β) η απώλεια γραμμής ή τμήματος γραμμής σάρωσης, γ) η λωριδοποίηση και δ) τα ατμοσφαιρικά σφάλματα της διάχυσης, της γωνίας του ήλιου και του ατμοσφαιρικού φωτισμού. Η ύπαρξη των ραδιομετρικών σφαλμάτων δημιουργεί προβλήματα στην ερμηνεία των εικόνων και στη στατιστική επεξεργασία, που βασίζεται στις τιμές των ψηφίδων, [1].

Αν το σύστημα που μετατρέπει το αναλογικό σε ψηφιακό σήμα κατά την καταγραφή της εικόνας έχει σφάλμα μετάθεσης ή κέρδους μπορεί να προκληθεί υποβάθμιση στα δεδομένα. Η μετάθεση είναι το φαινόμενο της δημιουργίας σήματος στην έξοδο όταν δεν υπάρχει σήμα στην είσοδο. Κέρδος του μετατροπέα AD (Analog to Digital/αναλογικό σε ψηφιακό σήμα) είναι ένας συντελεστής σήματος μεταξύ εισόδου και εξόδου. Για τη διόρθωσή τους χρησιμοποιείται η παραμετρική μέθοδος και η μέθοδος με τα αθροιστικά ιστογράμματα, [1].

Στην περίπτωση που υπάρχει πρόβλημα στο σύστημα του δέκτη μπορεί κάποιος ανιχνευτής (σύστημα ανίχνευσης του δορυφορικού συστήματος απεικόνισης) να έχει προσωρινή απώλεια του σήματος ή διαφορά στην ευαισθησία του. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια γραμμής ή τμήματος γραμμής σάρωσης στα δεδομένα. Οι μέθοδοι διόρθωσης βασίζονται στην αντικατάσταση της χαμένης γραμμής με την προηγούμενη ή επόμενη γραμμή σάρωσης ή την αντικατάστασή της με τη μέση τιμή της προηγούμενης και επόμενης γραμμής σάρωσης, [1].

Η μεταβολή της ευαισθησίας ενός ή περισσότερων ανιχνευτών ενός διαύλου έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία σφαλμάτων λωριδοποίησης πάνω στην εικόνα. Κατά τη λωριδοποίηση κάποια γραμμή/γραμμές σάρωσης στα δεδομένα είναι λαμπρότερη/λαμπρότερες ή σκοτεινότερη/σκοτεινότερες (αντίστοιχα για μεγαλύτερη ή μικρότερη τιμή της έντασης της ακτινοβολίας). Για τη διόρθωσή τους χρησιμοποιείται κυρίως η μέθοδος με τα αθροιστικά ιστογράμματα των ψηφίδων, [1].

Ένα πλήρες μοντέλο για τη διάχυση και την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα είναι πολύ σύνθετο. Η διάχυση των φωτονίων στο οπτικό πεδίο του δέκτη έχει ένα προσθετικό αποτέλεσμα στην τιμή της ψηφίδας. Η μεθοδολογία διόρθωσης των δεδομένων από διάχυση βασίζεται στην εκτίμηση της τιμής έντασης της

ψηφίδας λόγω διάχυσης, H . Αν στο διάυλο i κάποιο δείγμα ψηφίδα έχει τιμή έντασης $P_i=0$ ή έχει μαύρο χρώμα στην κλίμακα του γκρι, τότε σε κάθε άλλο διάυλο j η διάχυση H_j του διαύλου j υπολογίζεται από τη σχέση, [1]:

$$H_j = P_j - P_i = P_j \quad (1.2)$$

P_j , είναι η τιμή της ψηφίδας στο διάυλο j , που έχει τιμή μηδενική στο διάυλο i ($P_i = 0$)
 Η διορθωμένη τιμή P'_j κάθε ψηφίδας με αρχική τιμή στο διάυλο j , στα πρωτογενή παραμορφωμένα δεδομένα, δίνεται από τη σχέση:

$$P'_j = P_j - H_j \quad (1.3)$$

Η τιμή έντασης κάθε ψηφίδας της εικόνας επηρεάζεται από τη γωνία του ήλιου τη στιγμή της λήψης. Γωνία του ήλιου θεωρείται η γωνία που σχηματίζεται από τη διεύθυνση της ακτίνας του ήλιου και την κάθετη στο σημείο πτώσης της πάνω στην επιφάνεια της γης. Η μεθοδολογία διόρθωσης βασίζεται στην ύπαρξη διαχρονικών δεδομένων και εφαρμόζεται σε κάθε διάυλο ξεχωριστά, [1].

Η επίδραση του ατμοσφαιρικού φωτισμού είναι αποτέλεσμα των τοπικών ατμοσφαιρικών καταστάσεων και της γωνίας του ήλιου. Η μεθοδολογία διόρθωσης βασίζεται στην ύπαρξη διαχρονικών δεδομένων και χρησιμοποιεί δύο διαφορετικούς διαύλους, [1].

1.3. Ατμοσφαιρικά σφάλματα και ατμοσφαιρική διόρθωση

Η ηλιακή ακτινοβολία, που καταγράφεται από το δορυφορικό σύστημα απεικόνισης, υφίσταται κατά τη διαδρομή της μέσα από την ατμόσφαιρα διάχυση και απορρόφηση. Η διάχυση προκαλεί διασκόρπιση της ηλιακής ακτινοβολίας σε διάφορες κατευθύνσεις και οφείλεται σε σωματίδια της ατμόσφαιρας (π.χ. στη σκόνη, σε αέριους ρύπους). Η απορρόφηση έχει ως αποτέλεσμα την απορρόφηση μέρους της ηλιακής ακτινοβολίας και τη μετατροπή της σε άλλες μορφές ενέργειας. Προκαλείται π.χ. από τους υδρατμούς και το όζον, [4]. Το αποτέλεσμα είναι τα δορυφορικά δεδομένα να περιέχουν τα ατμοσφαιρικά σφάλματα της διάχυσης και της απορρόφησης. Το γεγονός αυτό δυσκολεύει την αξιοποίηση των δορυφορικών εικόνων.

Σκοπός της ατμοσφαιρικής διόρθωσης των δορυφορικών δεδομένων είναι η μείωση αυτών των ατμοσφαιρικών σφαλμάτων, που εισάγονται κατά τη λήψη των δεδομένων.

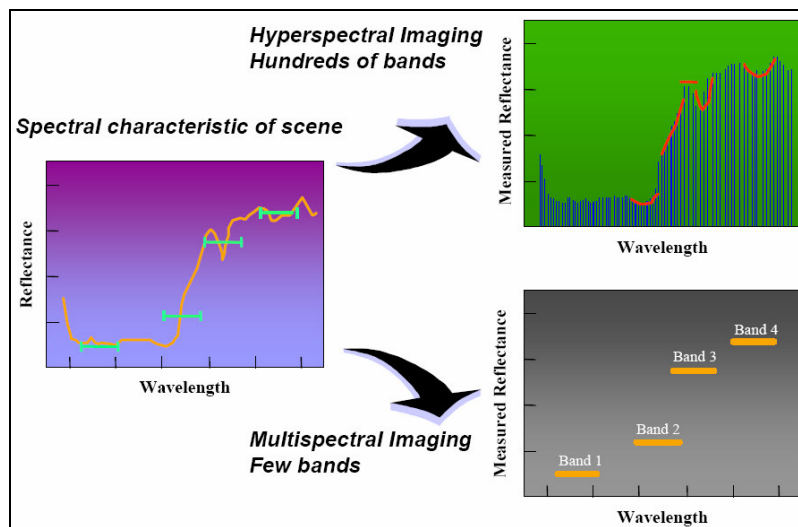
Υπάρχουν οι μέθοδοι ατμοσφαιρικής διόρθωσης “absolute” και “relative” (απόλυτες και σχετικές). Ο σκοπός των “absolute” μεθόδων είναι να μετατρέψει τις τιμές της τηλεπισκοπικής εικόνας σε τιμές αντανάκλασης από το έδαφος (scaled surface reflectance values). Οι “absolute” μέθοδοι επιχειρούν να υπολογίσουν τις ατμοσφαιρικές συνθήκες τη στιγμή της λήψης των εικόνων χρησιμοποιώντας δεδομένα όπως ο χρόνος λήψης των δεδομένων, το γεωγραφικό μήκος και πλάτος της περιοχής μελέτης. Παράλληλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και δεδομένα πεδίου από την περιοχή μελέτης. Οι “relative” μέθοδοι χρησιμοποιούν εικόνες που έχουν ληφθεί από διαφορετικές οπτικές γωνίες για το ίδιο αντικείμενο ή διαφορετικούς διαύλους. Επίσης χρησιμοποιούν εικόνες διαφορετικών ημερομηνιών για την ίδια περιοχή μελέτης. Ο σκοπός είναι με τον τρόπο αυτό να αποκτηθεί η απαραίτητη πληροφορία για την ατμοσφαιρική διόρθωση, [4].

Για την ατμοσφαιρική διόρθωση των δορυφορικών δεδομένων έχουν αναπτυχθεί ατμοσφαιρικά μοντέλα (atmospheric modeling) και εμπειρικές τεχνικές (empirical). Οι τεχνικές μοντελοποίησης της ατμόσφαιρας επιχειρούν να ποσοτικοποιήσουν την ακριβή σύσταση της ατμόσφαιρας τη στιγμή της λήψης των δεδομένων και στη συνέχεια να υπολογίσουν τις πιθανές επιδράσεις της ατμόσφαιρας, δηλαδή τα ατμοσφαιρικά σφάλματα, που προαναφέρθηκαν. Τα μοντέλα αυτά, που ονομάζονται “atmospheric transmission codes”, έχουν σημειώσει σημαντική επιτυχία. Πάνω σ’ αυτά τα μοντέλα έχουν αναπτυχθεί λογισμικά για την ατμοσφαιρική διόρθωση των δορυφορικών δεδομένων. Παραδείγματα αυτών είναι: το ATREM (ATmosphere REMoval program), το ATCOR (ATmospheric CORrection), το ACORN (Atmospheric CORrection Now) και το FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes). Οι εμπειρικές τεχνικές βασίζονται σε δεδομένα πεδίου. Αλγόριθμοι της κατηγορίας αυτής είναι: ο Empirical Line, ο Flat Field, ο Modified Flat Field καθώς και ο αλγόριθμος IARR (Internal Average Relative Reflectance). Ο αλγόριθμος IARR χρησιμοποιείται στην περίπτωση, όπου δεν υπάρχει καμία πληροφορία σχετικά με τα αντικείμενα της γήινης επιφάνειας, που απεικονίζονται στην εικόνα. Ταυτόχρονα η εικόνα θα πρέπει να περιλαμβάνει πολλές και διαφορετικές κατηγορίες, [5].

1.4. Ατμοσφαιρική διόρθωση υπερφασματικών δεδομένων

Στα πολυφασματικά δεδομένα, λόγω της μικρής φασματικής διακριτότητάς τους, τα ατμοσφαιρικά σφάλματα της διάχυσης και της απορρόφησης δε γίνονται ιδιαίτερα αισθητά. Γι' αυτό η ατμοσφαιρική διόρθωση, δηλαδή η μείωση των σφαλμάτων αυτών, δεν είναι πάντα αναγκαία σ' αυτά τα δεδομένα. Στην περίπτωση των υπερφασματικών δεδομένων όμως η ατμοσφαιρική διόρθωση είναι απαραίτητη και πιο σημαντική. Αυτό συμβαίνει, γιατί οι υπερφασματικές εικόνες, λόγω της μεγάλης φασματικής ανάλυσής τους, είναι πιο ευαίσθητες στα ατμοσφαιρικά σφάλματα από τις πολυφασματικές (Εικ 1.8).

Στην Εικόνα 1.8 παρουσιάζεται η διαφορά μεταξύ των πολυφασματικών και των υπερφασματικών δεδομένων. Τα φασματικά χαρακτηριστικά της εικόνας (αριστερά) δε φαίνονται με τους λίγους διαύλους μεγάλου φασματικού εύρους των πολυφασματικών δεδομένων (κάτω δεξιά). Αντίθετα φαίνονται με το μεγάλο αριθμό των συνεχόμενων και φασματικά μικρού εύρους διαύλων των υπερφασματικών δεδομένων (πάνω δεξιά). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα ατμοσφαιρικά σφάλματα να μη γίνονται αισθητά στις πολυφασματικές εικόνες όπως συμβαίνει στις υπερφασματικές, [6].



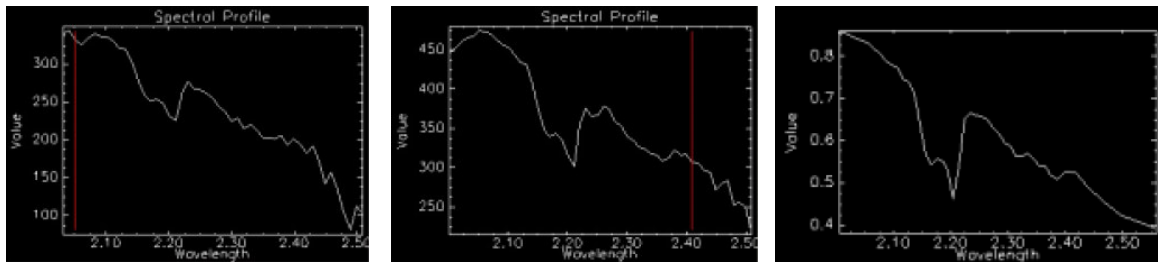
Εικόνα 1.8. Οι πολυφασματικές και οι υπερφασματικές εικόνες, [6].

Το πλεονέκτημα των υπερφασματικών εικόνων να παρέχουν περισσότερο λεπτομερή φασματική πληροφορία δίνει νέες δυνατότητες σε πολλές εφαρμογές, όπως π.χ. γεωλογικές, δασολογικές, αγροτικές κ.λ.π., ([7], [8]). Υπάρχει πλήθος εφαρμογών, στις

οποίες η ατμοσφαιρική διόρθωση των υπερφασματικών εικόνων θεωρείται απαραίτητη και αποτελεί βασικό τμήμα της επεξεργασίας τους. Παραδείγματα εφαρμογών παρουσιάζονται παρακάτω.

Η ατμοσφαιρική διόρθωση των υπερφασματικών δεδομένων είναι απαραίτητη στην ορυκτολογία, για να διευκολυνθεί η ακριβέστερη ερμηνεία των ορυκτών, που απεικονίζονται στις εικόνες αυτές.

Στη μελέτη [9] των Nash G. D. και Johnson G. W. τα υπερφασματικά δεδομένα Anivis διορθώθηκαν ατμοσφαιρικά, ώστε με τη χρήση των φασματικών υπογραφών τους να είναι δυνατή η αναγνώριση των ορυκτών της περιοχής μελέτης (Εικ. 1.9). Χρησιμοποιήθηκαν οι μέθοδοι ατμοσφαιρικής διόρθωσης IARR, ATREM και ACORN. Τα λογισμικά ATREM και ACORN έδωσαν καλύτερα αποτελέσματα. Στη συνέχεια βάσει των φασματικών υπογραφών έγινε λεπτομερή ορυκτολογική χαρτογράφηση της περιοχής μελέτης.

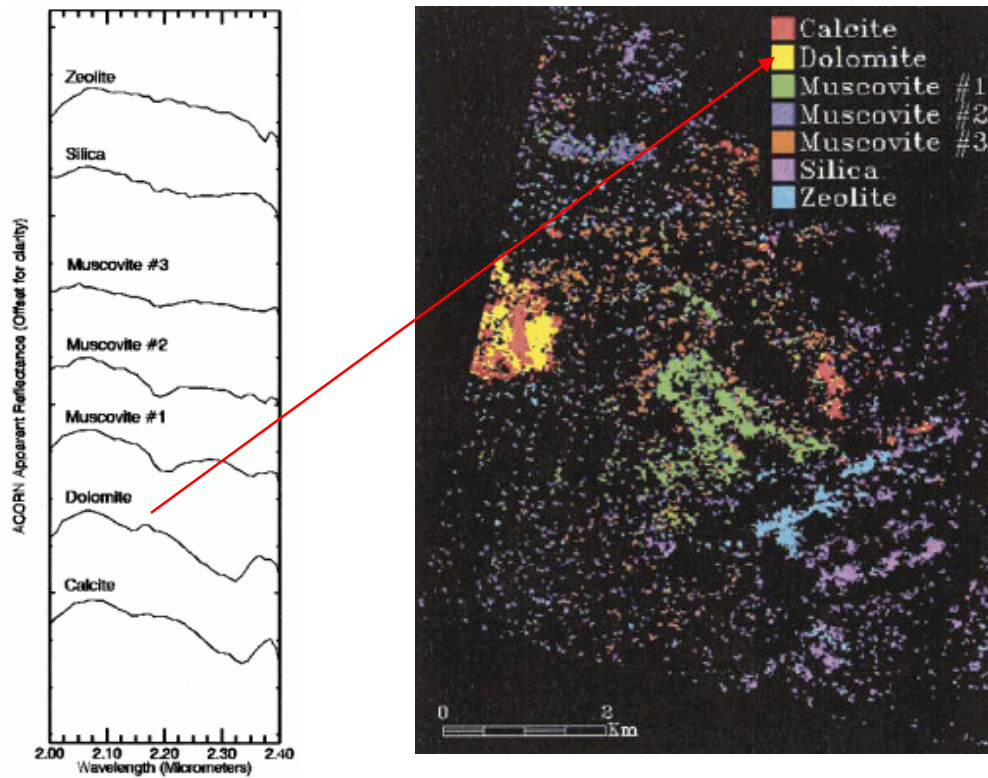


Εικόνα 1.9. Αριστερά παρουσιάζεται η φασματική υπογραφή του ορυκτού kaolinite, που προέκυψε με τη μέθοδο ATREM, στο κέντρο η φασματική υπογραφή του ίδιου ορυκτού που προέκυψε με τη μέθοδο ACORN και δεξιά η φασματική υπογραφή του ίδιου ορυκτού που έχει μετρηθεί εργαστηριακά, [9].

Επίσης, παράδειγμα γεωλογικής εφαρμογής με χρήση δεδομένων Hyperion αποτελεί η μελέτη [10] των Kruse F. A., Boardman J.W. και Huntington J. F.. Τα δεδομένα Hyperion αφού διορθώθηκαν ατμοσφαιρικά μέσω του λογισμικού ACORN, χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή θεματικού χάρτη (Εικ. 1.10). Η μείωση των ατμοσφαιρικών σφαλμάτων διευκόλυνε την ταυτοποίηση των ψηφίδων της εικόνας και τη χαρτογράφηση των ορυκτών της περιοχής μελέτης.

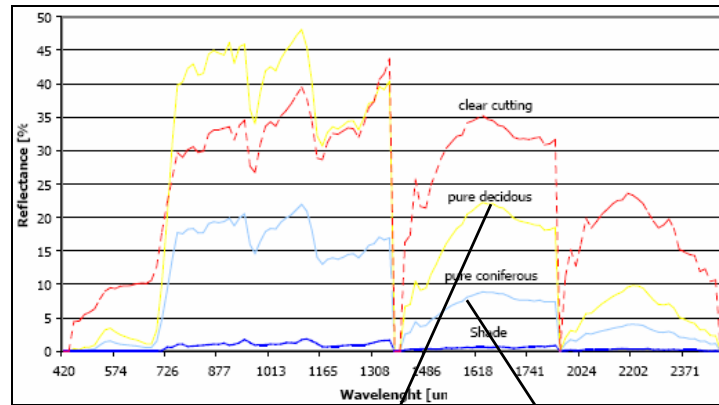
Στην Εικόνα 1.10 παρουσιάζονται ο θεματικός χάρτης των ορυκτών της περιοχής μελέτης (δεξιά) και οι αντίστοιχες φασματικές υπογραφές των ορυκτών από τα

ατμοσφαιρικά διορθωμένα δεδομένα (αριστερά). Το βέλος παρουσιάζει τη φασματική υπογραφή του ορυκτού “dolomite” και την αντίστοιχη κατηγορία στο θεματικό χάρτη (δεξιά).

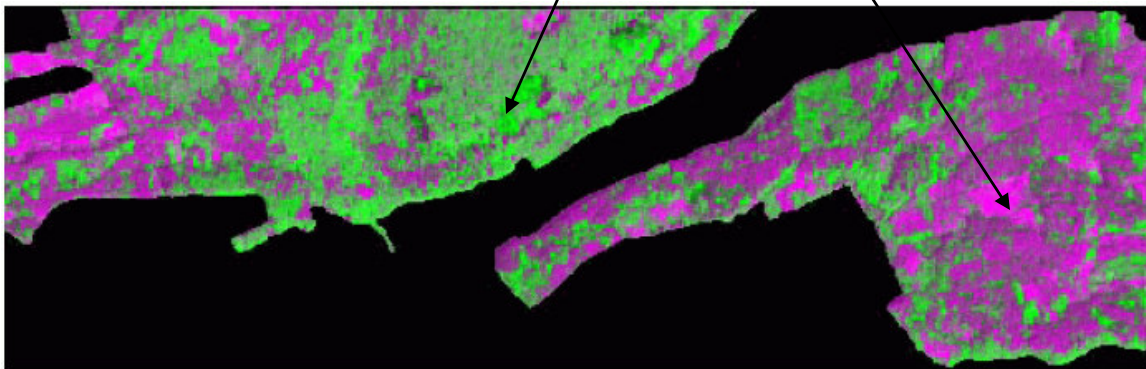


Εικόνα 1.10. Θεματικός χάρτης ορυκτών από δεδομένα Hyerion (δεξιά) και οι φασματικές υπογραφές των αντίστοιχων κατηγοριών των ορυκτών (αριστερά), [10].

Ως παράδειγμα στη δασολογία μπορεί να αναφερθεί η μελέτη [11] των Darvishsefat A. A., Kellenberger T. W. και Itten K. I., κατά την οποία χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα HyMap. Τα ατμοσφαιρικά διορθωμένα δεδομένα έδωσαν φασματικές υπογραφές, με τις οποίες έγινε διάκριση των διαφορετικών κατηγοριών βλάστησης της δασικής έκτασης, που μελετήθηκε. Στην Εικόνα 1.11 παρουσιάζονται οι φασματικές υπογραφές τεσσάρων διαφορετικών κατηγοριών της υπερφασματικής εικόνας, που χρησιμοποιήθηκαν στην ταξινόμηση της εικόνας. Με τα βέλη παρουσιάζονται οι κατηγορίες των φασματικών υπογραφών “pure coniferous” (κωνοφόρα), “pure deciduous” (φυλλοβόλα) και οι αντίστοιχες κατηγορίες στην ταξινομημένη εικόνα (Εικ. 1.12).



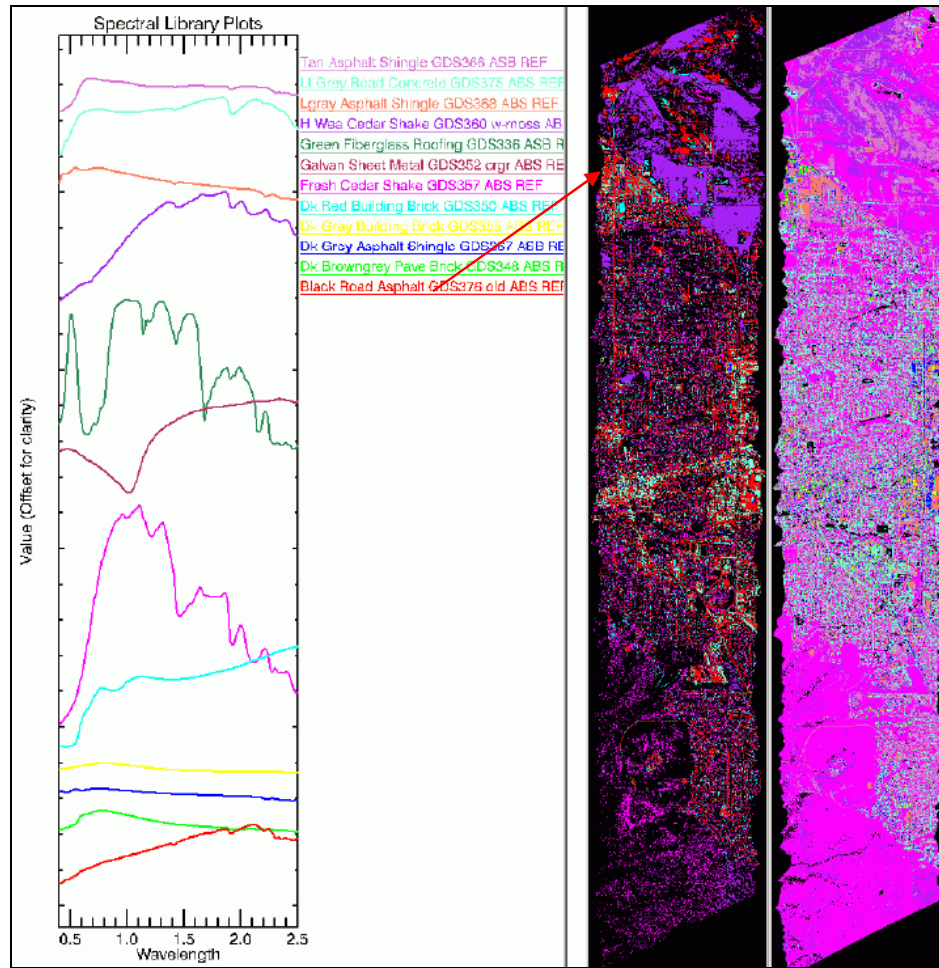
Εικόνα 1.11. Φασματικές υπογραφές τεσσάρων διαφορετικών κατηγοριών της συγκεκριμένης εφαρμογής, [11].



Εικόνα 1.12. Η ταξινομημένη εικόνα HyMap. Παρουσιάζονται οι κατηγορίες “pure coniferous” (με μωβ χρώμα) και “pure deciduous” (με πράσινο χρώμα), [11].

Παράδειγμα αστικής εφαρμογής αποτελεί η μελέτη [12] των Kruse F. A., Boardman J. W. και Livo K. E.. Τα δεδομένα Aviris αφού διορθώθηκαν ατμοσφαιρικά μέσω του λογισμικού ACORN ταξινομήθηκαν βάσει γνωστών φασματικών υπογραφών (Εικ. 1.13) της φασματικής βιβλιοθήκης “U.S. Geological Survey” (βλέπε παρακάτω κεφάλαιο 1.5.). Αυτές οι φασματικές υπογραφές ανήκαν σε κατηγορίες όπως π.χ. άσφαλτος και τσιμέντο. Για την ταξινόμηση της εικόνας Aviris χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος SAM (Spectral Angle Mapper) πρώτα στους διαύλους της ορατής και εγγύς υπέρυθρης φασματικής περιοχής της εικόνας και στη συνέχεια στους διαύλους της βραχείας υπέρυθρης περιοχής. Στην Εικόνα 1.13 παρουσιάζονται αντίστοιχα οι ταξινομημένες εικόνες. Το βέλος παρουσιάζει τη φασματική υπογραφή “Black Road Asphalt” και την αντίστοιχη κατηγορία στην ταξινομημένη εικόνα δεξιά.

Η ατμοσφαιρική διόρθωση των δεδομένων ήταν απαραίτητη, ώστε να είναι δυνατή η ταυτοποίηση των ψηφίδων και η ταξινόμηση τους στην αντίστοιχη κατηγορία.



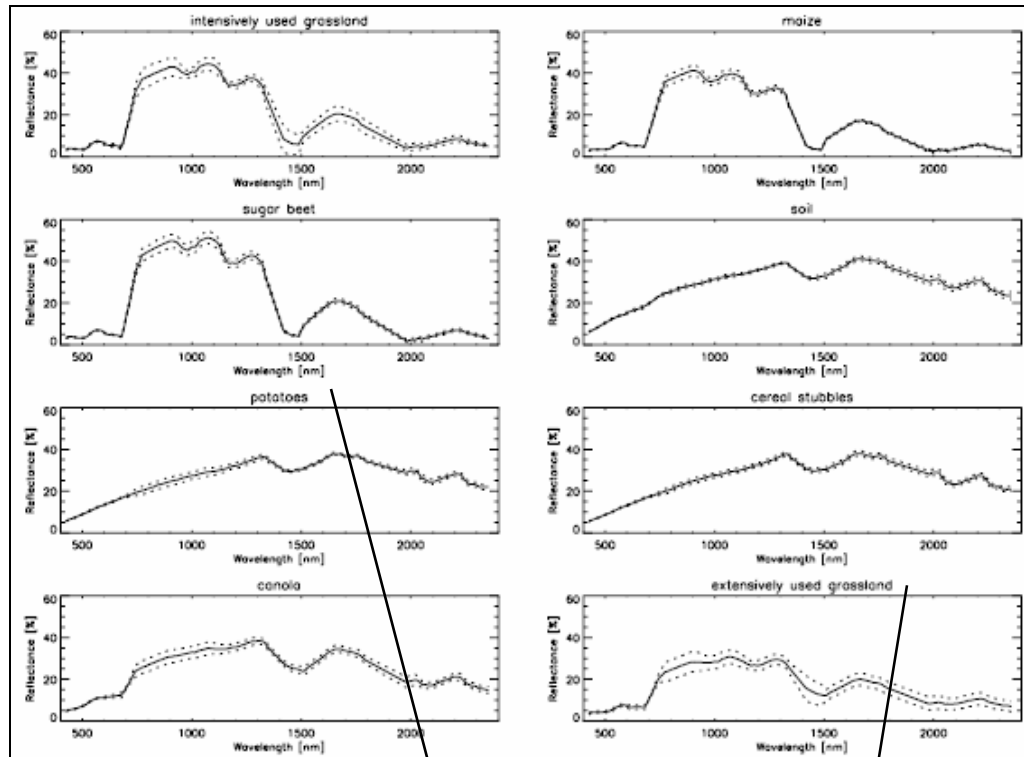
Εικόνα 1.13. Παρουσιάζονται οι φασματικές υπογραφές που χρησιμοποιήθηκαν στην ταξινόμηση της εικόνας Aviris (αριστερά). Για την ταξινόμηση χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος SAM (Spectral Angle Mapper), η οποία εφαρμόστηκε πρώτα στους διαύλους της ορατής και εγγύς υπέρυθρης φασματικής περιοχής της δορυφορικής εικόνας και στη συνέχεια στους διαύλους της βραχείας υπέρυθρης περιοχής της εικόνας. Η ταξινομημένη εικόνα των διαύλων της ορατής και εγγύς υπέρυθρης φασματικής περιοχής της εικόνας Aviris παρουσιάζεται πρώτη δεξιά και η ταξινομημένη εικόνα των διαύλων της βραχείας υπέρυθρης περιοχής παρουσιάζεται δεύτερη δεξιά, [12].

Χρήση υπερφασματικών δεδομένων για αγροτικές περιοχές έγινε στη μελέτη [13] των Eckert S. και Kneubuhler M.. Η δορυφορική εικόνα Hyperion αφού διορθώθηκε ατμοσφαιρικά μέσω του λογισμικού ATCOR, έδωσε φασματικές υπογραφές των

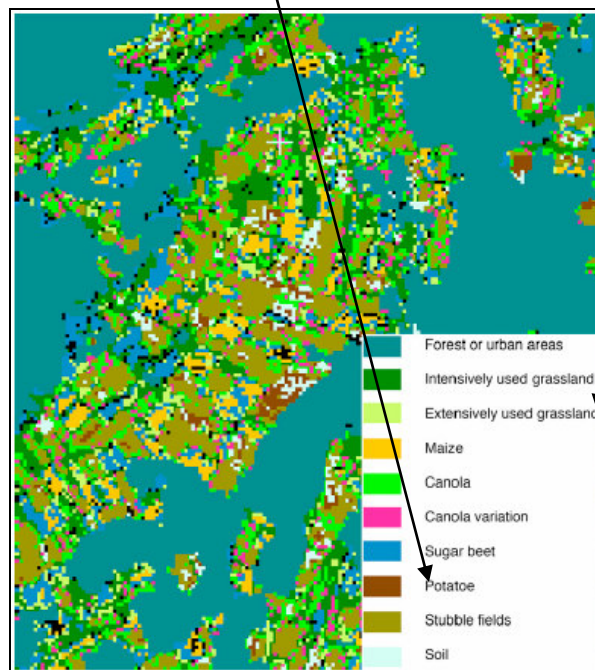
κατηγοριών αγροτικών καλλιεργειών της περιοχής μελέτης (Εικ. 1.14), βάσει των οποίων έγινε η ταξινόμηση της εικόνας (Εικ. 1.15).

Τα βέλη στις Εικόνες 1.19-1.20 παρουσιάζουν τις φασματικές υπογραφές των κατηγοριών “potatoes” και “extensively used grassland” και τις αντίστοιχες κατηγορίες αυτών στην ταξινομημένη εικόνα.

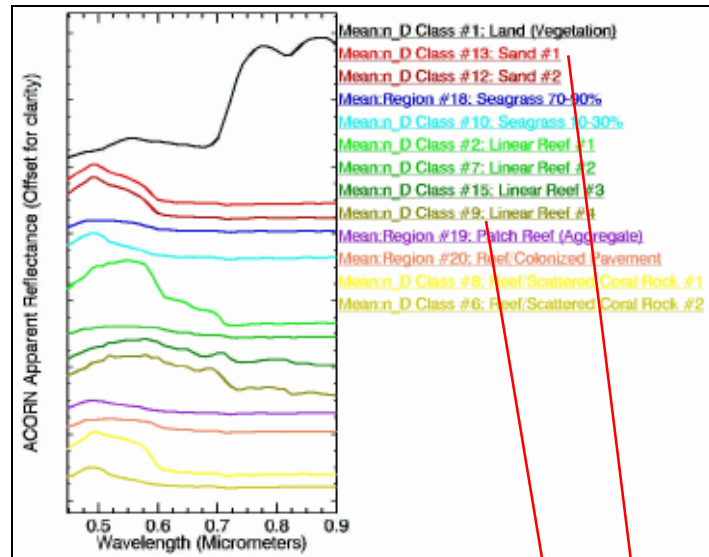
Επίσης με τη χρήση των υπερφασματικών εικόνων μπορεί να χαρτογραφηθεί ο βυθός ως προς τη σύνθεση του (π.χ. άμμος, αποικίες αλγών, ύφαλοι κ.λ.π.). Ένα παράδειγμα χαρτογράφησης του βυθού παρουσιάζεται στη μελέτη [14] του Kruse F. A.. Τα δεδομένα Hyperion αφού διορθώθηκαν ατμοσφαιρικά μέσω του λογισμικού ACORN έδωσαν φασματικές υπογραφές (Εικ. 1.16) βάσει των οποίων στη συνέχεια χαρτογραφήθηκε ο βυθός (Εικ. 1.17). Τα βέλη παρουσιάζουν τις φασματικές υπογραφές από τις κατηγορίες “Sand 1” (άμμος), “Linear Reef 4” (ύφαλοι) και τις αντίστοιχες κατηγορίες στο θεματικό χάρτη. Για την ταξινόμηση της εικόνας Hyperion χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος SAM (Spectral Angle Mapper).



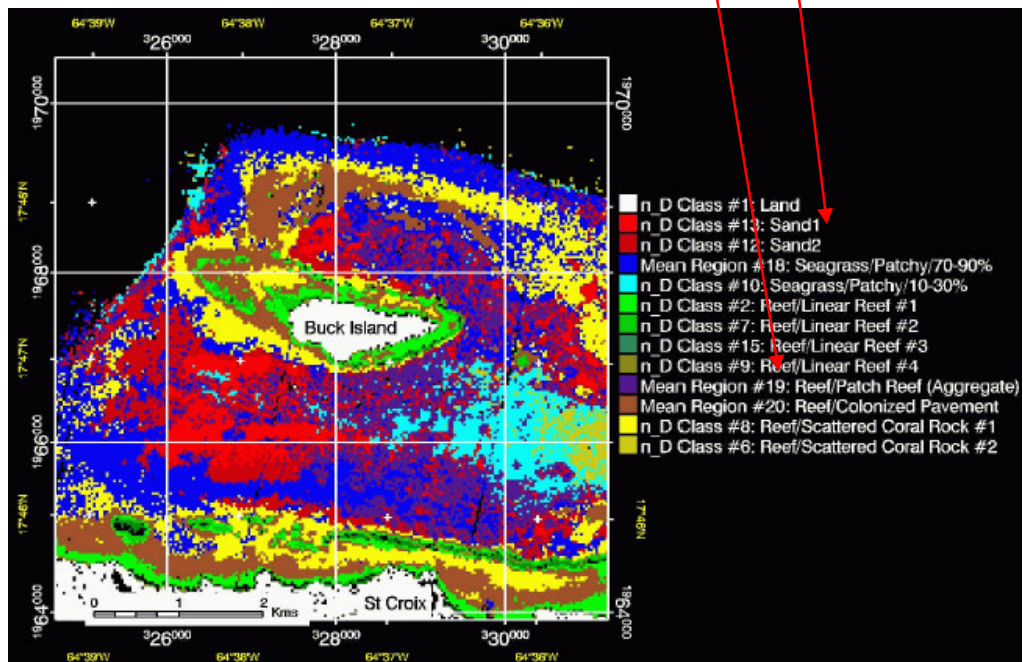
Εικόνα 1.14. Φασματικές υπογραφές των βασικότερων ειδών αγροτικών καλλιεργειών στην περιοχή μελέτης, που λήφθηκαν από τα ατμοσφαιρικά διαρθρωμένα δεδομένα Hyperion, [13].



Εικόνα 1.15. Η ταξινομημένη εικόνα Hyperion, στην οποία παρουσιάζονται τα κυριότερα είδη αγροτικών καλλιεργειών της περιοχής μελέτης. Η ταξινόμηση έγινε με τη μέθοδο SAM (Spectral Angle Mapper), [13].



Εικόνα 1.16. Παρουσιάζονται φασματικές υπογραφές οι οποίες λήφθηκαν από τα ατμοσφαιρικά διορθωμένα δεδομένα Hyperion και χρησιμοποιήθηκαν για την ταξινόμηση της εικόνας Hyperion, [14].



Εικόνα 1.17. Ο θεματικός χάρτης του βυθού ως προς τη σύνθεσή του, [14].

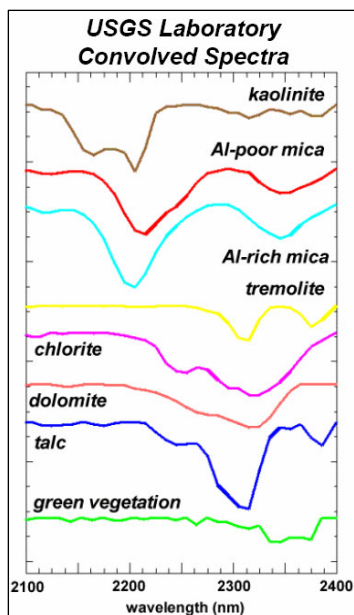
1.5. Οι φασματικές βιβλιοθήκες

Οι φασματικές βιβλιοθήκες είναι βάσεις δεδομένων, που περιλαμβάνουν φασματικές υπογραφές γνωστών κατηγοριών. Οι γνωστές φασματικές υπογραφές προέρχονται από

μετρήσεις των φασματικών αντανακλάσεων διαφόρων υλικών που γίνονται στο πεδίο με φορητό φασματόμετρο ή στο εργαστήριο και από τηλεπισκοπικές εικόνες. Οι φασματικές βιβλιοθήκες χρησιμοποιούνται ως αναφορές για την αναγνώριση κατηγοριών στις υπερφασματικές εικόνες, [2]. Οι φασματικές υπογραφές των φασματικών βιβλιοθηκών έχουν αποκτηθεί κυρίως στις Η.Π.Α. Παραδείγματα φασματικών βιβλιοθηκών είναι, [4]:

- η φασματική βιβλιοθήκη “Johns Hopkins University” (JHU) των Η.Π.Α. Περιλαμβάνει φασματικές υπογραφές για τις κατηγορίες: ορυκτά, πετρώματα, σεληνιακό ακάλυπτο έδαφος, γήινο ακάλυπτο έδαφος, μετεωρίτες, βλάστηση, χιόνι, πάγος κ.λ.π., [15].
- η εργαστηριακή φασματική βιβλιοθήκη “NASA Jet Propulsion Laboratory” (JPL) των Η.Π.Α. Περιλαμβάνει φασματικές υπογραφές ορυκτών, [16].
- η φασματική βιβλιοθήκη “U.S. Geological Survey” των Η.Π.Α.. Περιλαμβάνει φασματικές υπογραφές ορυκτών, πετρωμάτων, ακάλυπτου εδάφους, βλάστησης, μικροοργανισμών και άλλες, [17].

Υπάρχουν πολλά λογισμικά, που περιλαμβάνουν φασματικές βιβλιοθήκες, όπως για παράδειγμα το ERDAS, το ENVI, το PCI Geomatica. Στην Εικόνα 1.18 παρουσιάζονται παραδείγματα γνωστών φασματικών υπογραφών από ορυκτά.



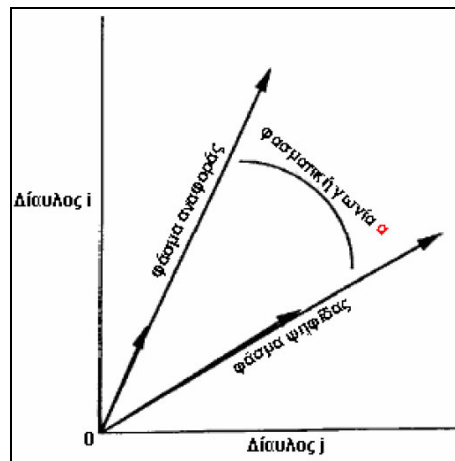
Εικόνα 1.18. Φασματικές υπογραφές ορυκτών από τη φασματική βιβλιοθήκη “U.S. Geological Survey”, που έχουν μετρηθεί εργαστηριακά, [18].

Τα υπερφασματικά δεδομένα πρέπει να έχουν διορθωθεί από ατμοσφαιρικές παραμορφώσεις, ώστε να είναι δυνατή η φασματική σύγκριση των ψηφίδων τους με γνωστά φάσματα, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα την αναγνώριση των ψηφίδων αυτών.

1.5.1. Η μέθοδος SAM (Spectral Angle Mapper)

Μια εφαρμογή των φασματικών βιβλιοθηκών είναι η μέθοδος SAM (Spectral Angle Mapper). Ο αλγόριθμος SAM (Spectral Angle Mapper) χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση των δορυφορικών εικόνων. Ο αλγόριθμος αυτός χρησιμοποιεί κάθε ατμοσφαιρικά διορθωμένη ψηφίδα σε n διαύλους και τη συγκρίνει με γνωστά φάσματα αναφοράς στις ίδιες n διαστάσεις. Τα φάσματα αναφοράς μπορεί να προέρχονται π.χ. από φασματικές βιβλιοθήκες, ([2], [4]).

Ο αλγόριθμος SAM μετράει τη γωνία (α) ανάμεσα στο φάσμα αναφοράς και το διάνυσμα της υπερφασματικής ψηφίδας στις n διαστάσεις. Στη συνέχεια τοποθετεί την ψηφίδα στη φασματική τάξη αναφοράς, για την οποία ο αλγόριθμος έδωσε τη μικρότερη γωνία, (Εικ. 1.19).



Εικόνα 1.19. Η φασματική γωνία α μεταξύ του φάσματος αναφοράς και του φάσματος της ψηφίδας, που ταξινομείται, [2].

Ο αλγόριθμος αυτός υπολογίζει την ομοιότητα ενός άγνωστου φάσματος t με ένα γνωστό φάσμα r χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση (1.1), όπου το n αντιστοιχεί στον αριθμό των διαύλων της υπερφασματικής εικόνας.

$$a = \cos^{-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^n t_i r_i}{\left(\sum_{i=1}^n t_i^2 \right)^{\frac{1}{2}} \left(\sum_{i=1}^n r_i^2 \right)^{\frac{1}{2}}} \right) \quad (1.1)$$

Όπου:

n είναι ο αριθμός των διαύλων της δορυφορικής εικόνας

t_i είναι το άγνωστο φάσμα

r_i είναι το φάσμα αναφοράς

Η φασματική υπογραφή της άγνωστης ψηφίδας και η φασματική υπογραφή αναφοράς συγκρίνονται μέσω της εφαπτομένης σε κάθε σημείο τους. Η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στις δύο εφαπτομένες σε κάθε σημείο των φασματικών υπογραφών είναι η γωνία α , [2].

Τα δεδομένα Hyperion μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εφαρμογή ταξινόμησης με τη μέθοδο SAM. Η διόρθωση των ατμοσφαιρικών σφαλμάτων που περιέχουν είναι αναγκαία, για να είναι εφικτή η ταυτοποίηση των φασμάτων τους.

1.5.2 Η γραμμική μείξη (Linear Mixing)

Σε πολλές εφαρμογές είναι χρήσιμο να αναγνωριστούν οι κυριότερες κατηγορίες που βρίσκονται σε μια υπερφασματική εικόνα όπως π.χ. η άσφαλτος, το τσιμέντο, η υγής βλάστηση κ.λ.π.

Οι περισσότερες ψηφίδες στις εικόνες των φυσικών συστημάτων, αποτελούνται από ένα συνδυασμό υλικών. Αυτές αναφέρονται ως ανάμικτες ή μη-αμιγείς ψηφίδες (mixed pixels). Μπορεί να θεωρηθεί ότι αυτή η ανάμιξη είναι γραμμικού τύπου (Linear Mixing) και έτσι η ανάμιξη κάθε ψηφίδας μπορεί να αναπαρασταθεί από τη σχέση (1.2), [19]:

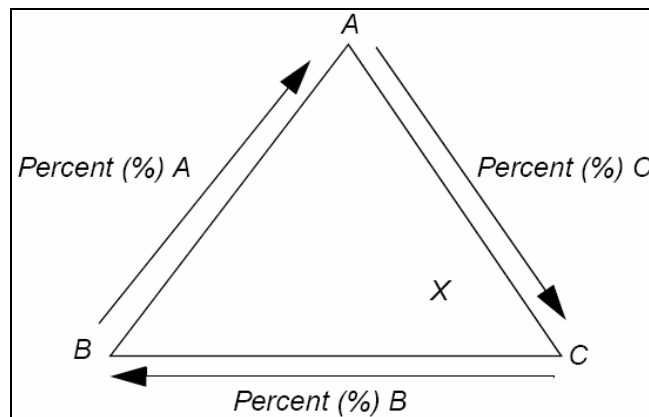
$$\Psi\eta\phi\acute{\iota}\delta\alpha = xA + yZ + zC \quad (1.2)$$

Όπου:

x, y, z είναι κλασματικές ποσότητες με άθροισμα τη μονάδα

A , Z , C είναι τρεις διαφορετικές κατηγορίες όπως π.χ. υγιές φύλλωμα, προσβεβλημένο από ασθένεια φύλλωμα και έδαφος

Στην Εικόνα 1.20 παρουσιάζεται ένα θεωρητικό σύστημα που αποτελείται από τρεις κατηγορίες A , B και C . Μια ψηφίδα του συστήματος που αντιπροσωπεύει μόνο την κατηγορία A τοποθετείται στην κορυφή A του τριγώνου. Μια ψηφίδα που αντιπροσωπεύει μόνο την κατηγορία B τοποθετείται στο σημείο B . Οποιαδήποτε ψηφίδα X που αντιπροσωπεύει μείξη των τριών κατηγοριών (Εικ. 1.20) τοποθετείται μέσα στο τρίγωνο της Εικόνας 1.20. Η θέση της ψηφίδας καθορίζεται από τα ποσοστά των τριών κατηγοριών τις οποίες αντιπροσωπεύει. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η ψηφίδα X αντιπροσωπεύει την κατηγορία A κατά 10%, τη B κατά 20% και την C κατά 70%, [5].



Εικόνα 1.20. Παρουσιάζεται ένα θεωρητικό σύστημα που αποτελείται από τρεις κατηγορίες A , B και C . Η ψηφίδα X που αντιπροσωπεύει την κατηγορία A κατά 10%, τη B κατά 20% και την C κατά 70% τοποθετείται μέσα στο τρίγωνο, [5].

Για τον προσδιορισμό των κατηγοριών τις οποίες αντιπροσωπεύει μια ψηφίδα και των αντίστοιχων ποσοστών των κατηγοριών αυτών μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα φάσματα μιας φασματικής βιβλιοθήκης (Spectral Unmixing). Τα φάσματα που περιλαμβάνει μια φασματική βιβλιοθήκη θεωρείται ότι αντιπροσωπεύουν «αμιγείς» κατηγορίες. Η διαδικασία “Spectral Unmixing” (φασματικός καθαρισμός) επιτυγχάνεται με την εφαρμογή της φασματικής βιβλιοθήκης των «αμιγών» κατηγοριών πάνω στην εικόνα με την εκτέλεση των κατάλληλων αλγορίθμων, [19]. Π.χ. στη σχέση (1.2) οι «αμιγείς» κατηγορίες εκφράζονται από τα A , Z , C ενώ τα ποσοστά των κατηγοριών αυτών σε μια ψηφίδα εκφράζονται από τα x , y , z .

1.6. Η μείωση της διάστασης των υπερφασματικών δεδομένων- Ο μετασχηματισμός MNF (Minimum Noise Fraction)

Το πλήθος των φασματικών διαύλων ονομάζεται «διάσταση των δεδομένων». Επειδή τα υπερφασματικά δεδομένα έχουν πολύ μεγάλη διάσταση, γι' αυτό απαιτείται η αποθήκευση και επεξεργασία πολλών ψηφίδων. Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι για τη μείωση της διάστασης των υπερφασματικών δεδομένων, ενώ συγχρόνως διατηρείται η πληροφορία, που περιέχουν, [4].

Τα υπερφασματικά δεδομένα περιέχουν πολύ μεγάλη ποσότητα πλεονάζουσας φασματικής πληροφορίας. Το γεγονός αυτό δικαιολογείται από το μικρό εύρος των διαύλων τους. Στατιστικές αναλύσεις έχουν δείξει ότι αρκετοί διάυλοι σχετίζονται μεταξύ τους σε υψηλό βαθμό. Γι' αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν στατιστικές μέθοδοι για, [4]:

- τη διαγραφή κάποιων από τους περιττούς διαύλους
- τον μετασχηματισμό των δεδομένων με τέτοιο τρόπο ώστε η πληροφορία, που περιέχουν, να διατηρείται, ενώ συγχρόνως μειώνεται η διάστασή τους

Παράλληλα με τα παραπάνω απομακρύνεται ένα μέρος του θορύβου των υπερφασματικών δεδομένων.

Ένας χρήσιμος αλγόριθμος για τη μείωση της διάστασης και του θορύβου των υπερφασματικών εικόνων είναι ο μετασχηματισμός Minimum Noise Fraction (MNF). Ο μετασχηματισμός αυτός χρησιμοποιείται για, [4]:

1. να προσδιοριστεί η τελική διάσταση των υπερφασματικών δεδομένων
2. να αναγνωριστεί και να απομονωθεί ο θόρυβος από τα δεδομένα
3. να μειωθούν οι υπολογιστικές απαιτήσεις της περαιτέρω επεξεργασίας των υπερφασματικών δεδομένων

Ο αλγόριθμος MNF συγκεντρώνει όλη τη χρήσιμη πληροφορία σε ένα μικρότερο αριθμό εικόνων (MNF εικόνες). Εφαρμόζει δύο διαδοχικούς μετασχηματισμούς στις κύριες συνιστώσες (principal component analyses). Ο πρώτος μετασχηματισμός οδηγεί

σε δεδομένα, στα οποία ο θόρυβος είναι ασυσχέτιστος από διάυλο σε διάυλο. Ο δεύτερος μετασχηματισμός χρησιμοποιεί τις κύριες συνιστώσες που προέρχονται από τον πρώτο μετασχηματισμό. Η νέα διάσταση των δεδομένων προσδιορίζεται μέσω των τελικών ιδιοτιμών του πίνακα συμμεταβλητότητας των δεδομένων και των αντίστοιχων εικόνων (MNF ιδιοεικόνες). Τα δεδομένα κατά τον μετασχηματισμό τους διαχωρίζονται σε δύο μέρη, ένα με μεγάλες ιδιοτιμές και τις αντίστοιχες εικόνες, που περιέχουν τη χρήσιμη πληροφορία, και ένα δεύτερο μέρος με ιδιοτιμές ίσες περίπου με τη μονάδα και τις αντίστοιχες εικόνες, που περιέχουν κυρίως θόρυβο, ([4], [20]). Τελικά ο δεύτερος μετασχηματισμός στις κύριες συνιστώσες οδηγεί στη δημιουργία [4]:

- α) MNF ιδιοεικόνων, που περιέχουν όλη τη χρήσιμη πληροφορία
- β) MNF ιδιοεικόνων, στις οποίες κυριαρχεί ο θόρυβος

Μ' αυτόν τον τρόπο ο θόρυβος διαχωρίζεται από τη χρήσιμη πληροφορία.

Στην Εικόνα 1.21 παρουσιάζονται εικόνες MNF των δεδομένων Hyperion από τη μελέτη [21] του Kruse F. A.. Παρατηρείται ότι οι αρχικές εικόνες MNF (αριστερά) περιέχουν τη χρήσιμη πληροφορία. Στη συνέχεια οι εικόνες MNF περιέχουν κυρίως θόρυβο.



Εικόνα 1.21. Εικόνες MNF των δεδομένων Hyperion (περιοχή μελέτης βόρεια Death Valley). Από αριστερά προς δεξιά παρουσιάζεται ο διάυλος MNF 1, MNF 5, MNF 8, MNF 10 και MNF 20. Παρατηρείται ότι οι αρχικοί διάυλοι MNF 1, MNF 5 περιέχουν τη χρήσιμη πληροφορία. Οι διάυλοι MNF 8, MNF 10 και MNF 20 περιέχουν κυρίως θόρυβο, [21].

1.7. Σκοπός της εργασίας

Σκοπός αυτής της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας είναι η παρουσίαση των υπερφασματικών δεδομένων, του ατμοσφαιρικού μοντέλου, όπου αναλύονται τα

ατμοσφαιρικά σφάλματα της διάχυσης και της απορρόφησης στα δορυφορικά δεδομένα, του αισθητήρα Hyperion του δορυφόρου EO-1. Επίσης σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι η παρουσίαση τεχνικών για τη μείωση των ατμοσφαιρικών σφαλμάτων της διάχυσης και της απορρόφησης σε υπερφασματικά δεδομένα Hyperion του δορυφόρου EO-1, η παρουσίαση της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε, των αποτελεσμάτων της εφαρμογής των τεχνικών ατμοσφαιρικής διόρθωσης, η ανάλυσή τους και η εξαγωγή συμπερασμάτων από την ανάλυση αυτή.

1.8. Η δομή της εργασίας

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται εισαγωγικά οι υπερφασματικοί αισθητήρες, οι υπερφασματικές εικόνες, τα δεδομένα της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας και η περιοχή μελέτης, τα ραδιομετρικά σφάλματα των δορυφορικών δεδομένων. Στη συνέχεια του πρώτου κεφαλαίου παρουσιάζεται εισαγωγικά η ατμοσφαιρική διόρθωση των δορυφορικών δεδομένων και μετά παρουσιάζονται περισσότερα για την ατμοσφαιρική διόρθωση των υπερφασματικών δεδομένων. Επίσης, παρουσιάζονται οι φασματικές βιβλιοθήκες, ο αλγόριθμος SAM (Spectral Angle Mapper), η γραμμική μείξη (Linear Mixing), ο μετασχηματισμός MNF (Minimum Noise Fraction), ο σκοπός της εργασίας αυτής και η δομή της.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση των υπερφασματικών αισθητήρων, των υπερφασματικών εικόνων και των πλεονεκτημάτων τους. Παράλληλα παρουσιάζονται με περισσότερη λεπτομέρεια τα ατμοσφαιρικά σφάλματα της διάχυσης και της απορρόφησης και παρουσιάζονται παραδείγματα τεχνικών ατμοσφαιρικής διόρθωσης των δορυφορικών δεδομένων.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η εικόνα Hyperion της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας καθώς και η περιοχή μελέτης αναλυτικότερα. Επίσης παρουσιάζεται ο δορυφόρος EO-1 και ο υπερφασματικός αισθητήρας του Hyperion, με τον οποίο λήφθηκαν τα δεδομένα. Παρουσιάζονται στοιχεία για την εκτόξευση του δορυφόρου EO-1, τα τεχνικά χαρακτηριστικά του. Στη συνέχεια παρουσιάζονται περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με τον αισθητήρα Hyperion και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του, τις δυνατότητές του, τα επίπεδα επεξεργασίας των δεδομένων του

κ.λ.π. Ακολουθεί η προεπεξεργασία των δεδομένων της παρούσας εργασίας και η μεθοδολογία, που εφαρμόστηκε, κατά την ατμοσφαιρική διόρθωσή τους.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας Hyperion, η ανάλυσή τους και στο πέμπτο κεφάλαιο τα συμπεράσματα από την ανάλυση αυτή.

2. ΥΠΕΡΦΑΣΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ, ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΔΙΟΡΘΩΣΗ

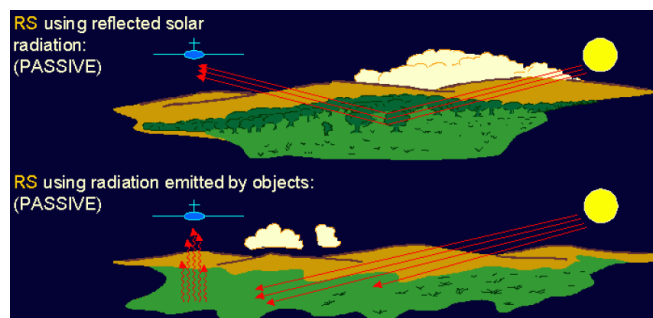
2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο πρώτο μέρος αυτού του κεφαλαίου παρουσιάζονται οι υπερφασματικοί αισθητήρες και οι υπερφασματικές εικόνες. Παρουσιάζονται παραδείγματα υπερφασματικών αισθητήρων και τα πλεονεκτήματα των υπερφασματικών εικόνων έναντι των πολυφασματικών. Στο δεύτερο μέρος παρουσιάζεται το μοντέλο της ατμόσφαιρας, όπου αναλύονται τα ατμοσφαιρικά σφάλματα της διάχυσης και της απορρόφησης στα δεδομένα. Τέλος, παρουσιάζονται μέθοδοι ατμοσφαιρικής διόρθωσης, που χρησιμοποιούνται σήμερα, καθώς και παραδείγματα εφαρμογής αυτών.

2.2. ΥΠΕΡΦΑΣΜΑΤΙΚΟΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΚΑΙ ΥΠΕΡΦΑΣΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

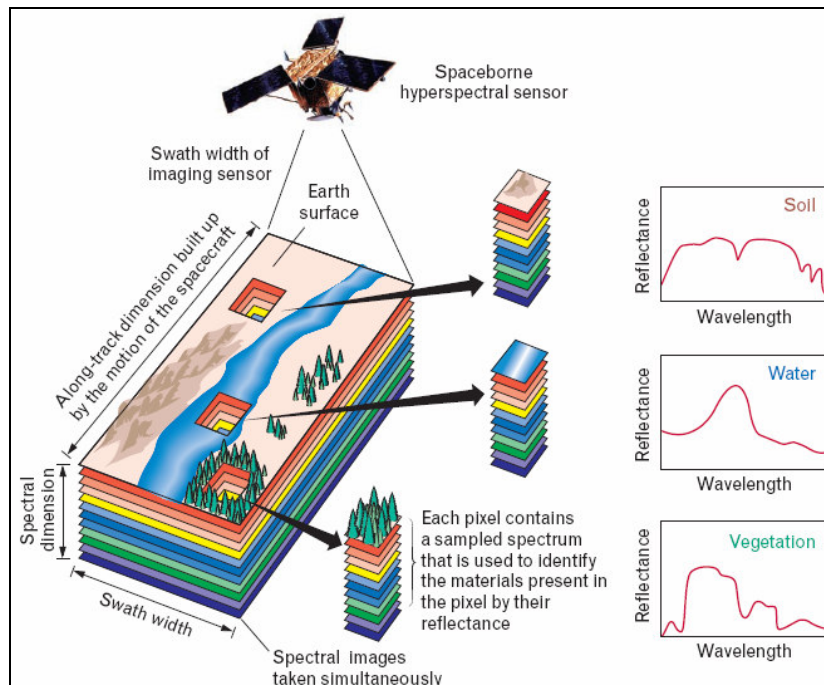
2.2.1. Υπερφασματικοί αισθητήρες

Οι υπερφασματικοί αισθητήρες απεικόνισης είναι παθητικά οπτικά συστήματα (Εικ. 2.1), που καταγράφουν την ορατή και υπέρυθη περιοχές της ηλιακής ακτινοβολίας, που ανακλάται ή εκπέμπεται από τη γήινη επιφάνεια, [2].



Εικόνα 2.1. Το παθητικό οπτικό σύστημα, [2].

Στην Εικόνα 2.2 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα συλλογής δεδομένων από έναν υπερφασματικό αισθητήρα. Κάθε ψηφίδα της δορυφορικής εικόνας εκφράζεται με ένα συνεχές φάσμα αντανάκλασης, γεγονός που επιτρέπει τη διάκριση μεταξύ διαφορετικών κατηγοριών της εικόνας αυτής. Στη συγκεκριμένη περίπτωση παρουσιάζονται οι φασματικές υπογραφές των κατηγοριών ακάλυπτο έδαφος, νερό και βλάστηση, [22].



Εικόνα 2.2. Η συλλογή δεδομένων από ένα υπερφασματικό σύστημα απεικόνισης, [22].

Οι υπερφασματικοί αισθητήρες απεικόνισης μπορεί να βρίσκονται σε αεροπλάνο ή δορυφόρο. Παραδείγματά τους δίνονται στον Πίνακα 2.1, όπου παρουσιάζονται η χωρική και φασματική τους ανάλυση, ο αριθμός των διαύλων τους, η φασματική τους περιοχή κ.ά..

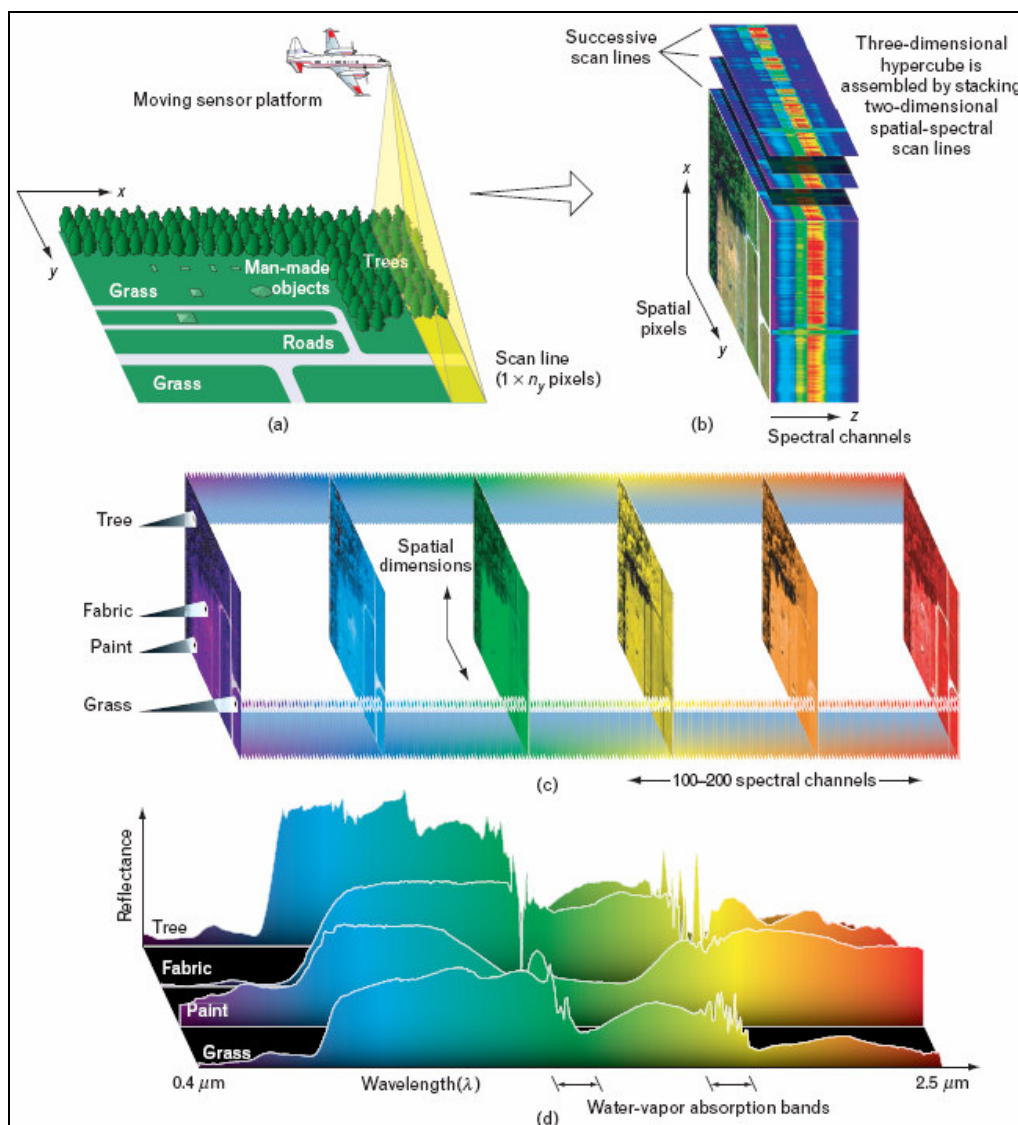
Πίνακας 2.1 . Παραδείγματα υπερφασματικών αισθητήρων, ([2], [7], [23], [24], [25], [26], [27], [28]).

Από αέρος Δορυφορικοί	Υπερφασματικός Αισθητήρας	Φορέας/Οργανισμός/ Χώρα	Χωρική Ανάλυση	Φασματική Ανάλυση	Αριθμός Διαύλων	Φασματική περιοχή
Από αέρος	AVIRIS (Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer)	“NASA Jet Propulsion Lab” Η.Π.Α.	20m ή 4m (εξαρτάται από το ύψος πτήσης)	10nm	224	400-2500nm
	HYDICE	“Naval Research Lab” Η.Π.Α.	0,75-3,75m (εξαρτάται από το ύψος πτήσης)	10nm	210	400-2500nm
	PROBE-1	“Earth Search Inc.” Η.Π.Α.	1-10m (εξαρτάται από το ύψος πτήσης)	15nm	128	400-2500nm
	CASI 550 (Compact Airborne Spectrographic Imager)	“ITRES Research Limited” ΚΑΝΑΔΑΣ	0.5-10m (εξαρτάται από το ύψος πτήσης)	2.2nm	288	400-1000nm
Δορυφορικοί	HYPERION του δορυφόρου EO-1	“NASA” Η.Π.Α.	30m	10nm	242	356-2577nm
	COIS (Coastal Ocean Imaging Spectrometer) του δορυφόρου NEMO (Naval EarthMap Observer)	“Space Technology Development Corp.” “Naval Research Laboratory” Η.Π.Α.	30m ή 60m	10nm	210	400-2500nm

2.2.2. Υπερφασματικά Δεδομένα

Τα υπερφασματικά δεδομένα, όπως προαναφέρθηκε, έχουν μεγάλο αριθμό συνεχόμενων διαύλων μικρού εύρους σε αντίθεση με τα πολυφασματικά.

Στην Εικόνα 2.3 παρουσιάζεται η διαδικασία συλλογής υπερφασματικών δεδομένων (a) και ο υπερφασματικός κύβος των δεδομένων αυτών (b). Η διάσταση z αντιπροσωπεύει τους φασματικούς διαύλους των δεδομένων. Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο υπερφασματικός κύβος πιο αναλυτικά (c) καθώς και το φάσμα διαφορετικών κατηγοριών της εικόνας (d), [22].



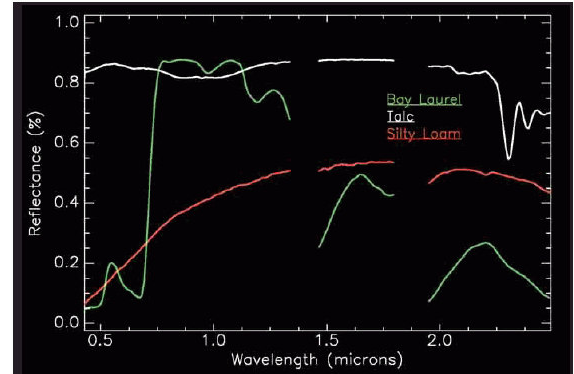
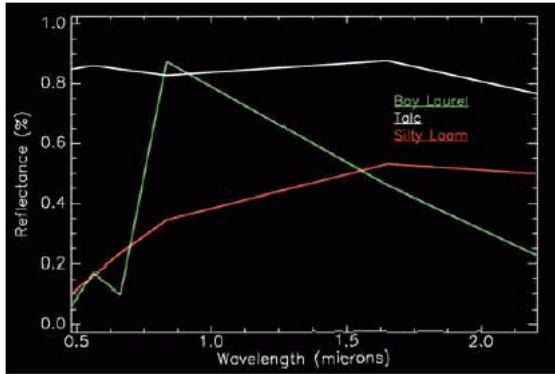
Εικόνα 2.3. Υπερφασματικά δεδομένα, [22].

2.2.3. Πλεονεκτήματα υπερφασματικών εικόνων

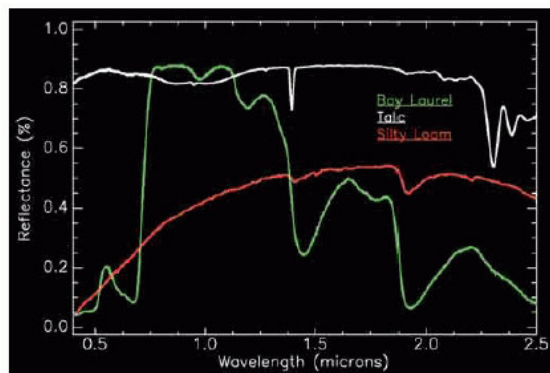
Τα πλεονεκτήματα των υπερφασματικών εικόνων έχουν άμεση σχέση με τη φασματική διακριτότητά τους.

Στην Εικόνα 2.4 παρουσιάζονται οι φασματικές υπογραφές τριών κατηγοριών (“bay laurel”, “talc”, “silty loam soil”) που προέρχονται από πολυφασματικά δεδομένα Landsat ενώ στην Εικόνα 2.5 παρουσιάζονται οι φασματικές υπογραφές των ίδιων κατηγοριών από υπερφασματικά δεδομένα Aviris. Οι φασματικές υπογραφές στην Εικόνα 2.5 μοιάζουν με τις φασματικές υπογραφές που μετρούνται με ένα φορητό φασματόμετρο (Εικ. 2.6). Αυτό οφείλεται στην υψηλή φασματική διακριτότητά τους. Τα κενά στις φασματικές υπογραφές των δεδομένων Aviris οφείλονται στο γεγονός ότι η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα στα αντίστοιχα μήκη κύματος είναι τόσο μεγάλη, ώστε δε φτάνει επαρκές σήμα από την επιφάνεια της γης στον τηλεπισκοπικό αισθητήρα, [7].

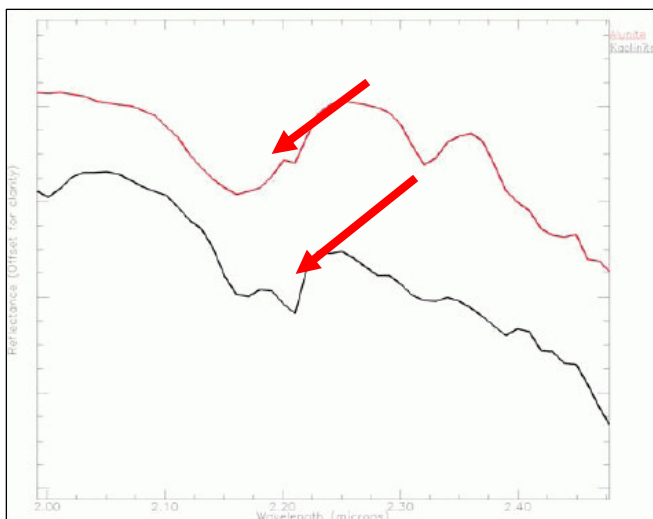
Η λεπτομέρεια των φασματικών υπογραφών των υπερφασματικών δεδομένων δίνει τη δυνατότητα απόκτησης περισσότερης χρήσιμης πληροφορίας για την αναγνώριση και διάκριση διαφορετικών κατηγοριών σε μια εικόνα, ακόμη και αν αυτές μοιάζουν φασματικά μεταξύ τους, (Εικ. 2.7). Στην Εικόνα 2.7 παρουσιάζονται οι φασματικές υπογραφές των ορυκτών kaolinite (κόκκινο) και alunite (μαύρο). Οι φασματικές υπογραφές και των δύο ορυκτών παρουσιάζουν απορρόφηση στην ίδια περιοχή του φάσματος (2,2μm), με τη διαφορά ότι η φασματική υπογραφή του ορυκτού kaolinite έχει διπλή πτώση ενώ του ορυκτού alunite έχει μονή. Η διαφορά αυτή δε θα ήταν εμφανής με μια πολυφασματική εικόνα (π.χ. Landsat ETM), που μετράει την περιοχή απορρόφησης με ένα μόνο διάυλο, [8].



Εικόνες 2.4-2.5. Στην Εικόνα 2.4 (αριστερά) παρουσιάζονται φασματικές υπογραφές τριών κατηγοριών (“bay laurel”, “talc”, “silty loam soil”). Προέρχονται από δεδομένα του πολυφασματικού αισθητήρα Landsat-7, [8]. Στην Εικόνα 2.5 (δεξιά) παρουσιάζονται οι φασματικές υπογραφές υπερφασματικών δεδομένων Aviris για τις ίδιες τρεις κατηγορίες της Εικόνας 2.4. Οι φασματικές υπογραφές είναι πιο λεπτομερείς από τις αντίστοιχες της Εικόνας 2.4, [7].



Εικόνα 2.6. Φασματικές υπογραφές, που έχουν μετρηθεί με φορητό φασματόμετρο, για τις ίδιες τρεις κατηγορίες των Εικόνων 2.4 και 2.5, [7].



Εικόνα 2.7. Η φασματική υπογραφή του ορυκτού Alunite (με κόκκινο) και Kaolinite (με μαύρο) από υπερφασματικά δεδομένα Aviris, [8].

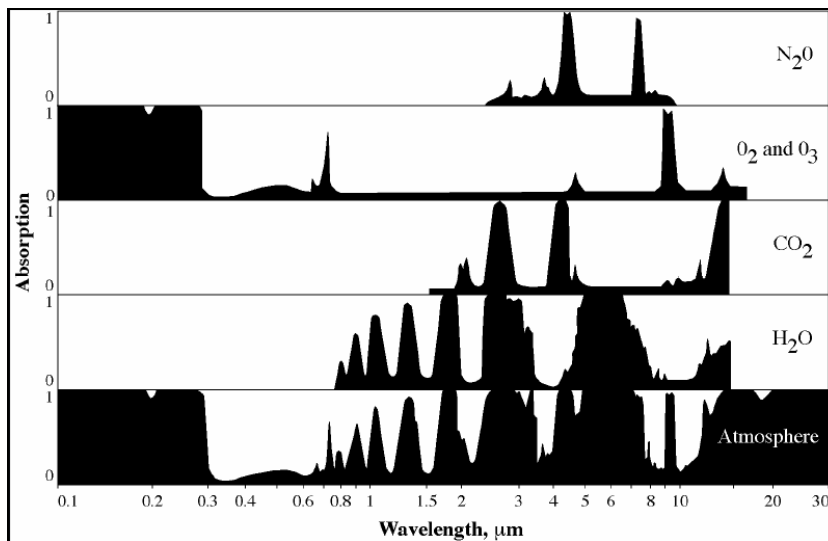
2.3. ΤΑ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΚΑΙ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ

Παρακάτω παρουσιάζεται το μοντέλο της ατμόσφαιρας, όπου αναλύονται τα ατμοσφαιρικά σφάλματα της διάχυσης και της απορρόφησης στα δεδομένα. Επίσης παρουσιάζονται τεχνικές ατμοσφαιρικής διόρθωσης και παραδείγματα εφαρμογής αυτών.

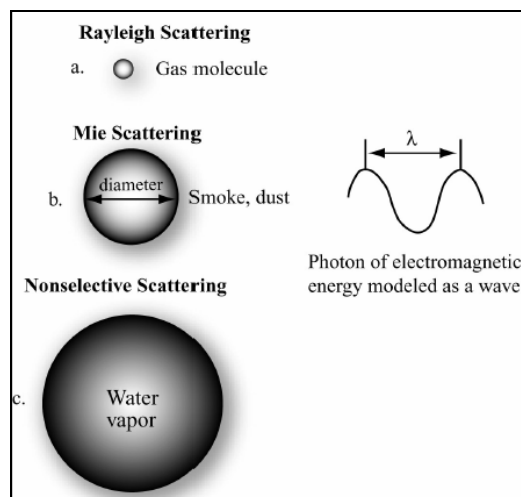
Η ατμόσφαιρα επηρεάζει τις τιμές των ψηφίδων των δορυφορικών εικόνων διαφορετικά στους διάφορους διαύλους. Αυτό συμβαίνει, γιατί η ατμόσφαιρα επηρεάζει την ηλιακή ακτινοβολία, που καταγράφεται από το δορυφορικό σύστημα απεικόνισης, διαφορετικά στα διάφορα μήκη κύματος. Η ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διάβασή της από την ατμόσφαιρα υφίσταται, ([2], [29]):

- Απορρόφηση κυρίως από το όζον, το διοξείδιο του άνθρακα και τους υδρατμούς. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ενέργειας, που προσπίπτει στη γήινη επιφάνεια και κατ' επέκταση τη μείωση της ακτινοβολίας, που αντανακλάται από τη γήινη επιφάνεια. Στην Εικόνα 2.8 παρουσιάζεται το διάγραμμα απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας από τα ατμοσφαιρικά αέρια στην περιοχή του φάσματος από 0,1 μm έως 30 μm .
- Σκέδαση (διάχυση) από τα αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα ή από τα μεγάλα μόρια των ατμοσφαιρικών αερίων. Το φαινόμενο αυτό διακρίνεται σε Rayleigh σκέδαση, σε “Mie” σκέδαση και σε “μη επιλεγμένη σκέδαση” (Εικ 2.9). Η Rayleigh σκέδαση προκαλείται από σωματίδια της ατμόσφαιρας, που έχουν πολύ μικρότερη διάμετρο από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας (όπως π.χ. μερικά μόρια των ατμοσφαιρικών αερίων του αζώτου και του οξυγόνου). Η “Mie” σκέδαση προκαλείται από μεγαλύτερα σωματίδια της ατμόσφαιρας όπως είναι π.χ. ο καπνός, η σκόνη, οι υδρατμοί. Τα σωματίδια σ' αυτήν την περίπτωση έχουν διάμετρο περίπου ίση με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που διαχέεται. Η “μη επιλεγμένη σκέδαση” προκαλείται από τα σωματίδια που είναι πολύ μεγαλύτερα από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που διαχέεται (π.χ. τα μεγαλύτερα υδατικά σταγονίδια, τα σωματίδια της αερομεταφερόμενης σκόνης).

Επειδή λόγω σκέδασης υπάρχει ακτινοβολία που είναι έξω από το οπτικό πεδίο του δέκτη κατευθείαν στο άνοιγμα του, στην εικόνα που καταγράφεται δημιουργείται μια μείωση των χωρικών λεπτομερειών. Επιπλέον, η σκέδαση τείνει να εμφανίζει τα σκοτεινά αντικείμενα φωτεινότερα και τα φωτεινά αντικείμενα σκοτεινότερα, με αποτέλεσμα τη μείωση των τονικών αντιθέσεων που καταγράφονται από το δέκτη.

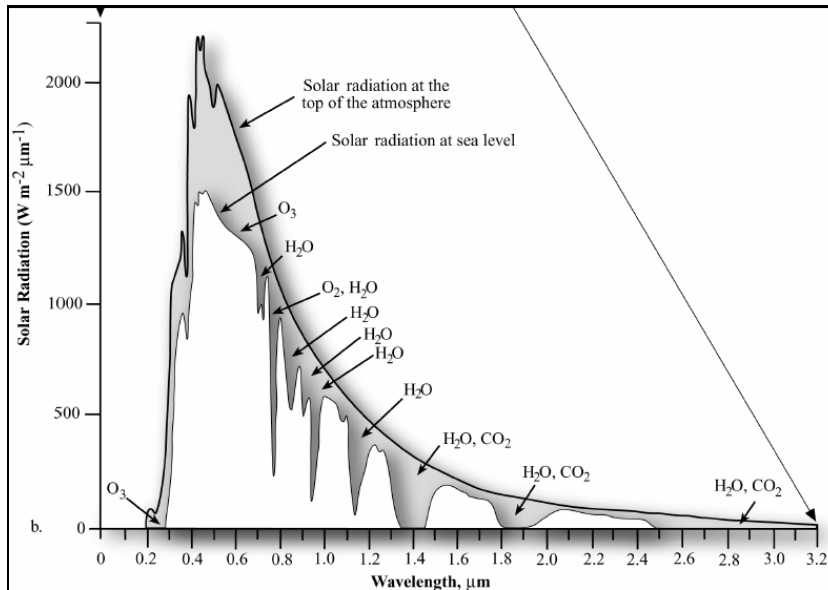


Εικόνα 2.8. Η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από τα διάφορα ατμοσφαιρικά αέρια, [2].



Εικόνα 2.9. Είδη σκεδάσεως, [2].

Στην Εικόνα 2.10 παρουσιάζεται η μείωση του ποσού της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στη γήινη επιφάνεια λόγω των συνδυασμένων επιδράσεων της ατμοσφαιρικής απορρόφησης, σκέδασης και ανάκλασης.



Εικόνα 2.10. Παρουσιάζεται το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που θα προσέπιπτε στη γήινη επιφάνεια αν δεν υπήρχε ατμόσφαιρα και το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στη γήινη επιφάνεια. Οι συνδυασμένες επιδράσεις της ατμοσφαιρικής απορρόφησης, σκέδασης και ανάκλασης μειώνουν το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στη γήινη επιφάνεια στο επίπεδο της θάλασσας, [2].

Τα παραπάνω έχουν ως αποτέλεσμα την εισαγωγή των ατμοσφαιρικών σφαλμάτων της απορρόφησης και της σκέδασης στα δεδομένα. Η ολική ακτινοβολία που καταγράφεται από το δορυφορικό σύστημα απεικόνισης μπορεί να συσχετιστεί με την αντανάκλαση των αντικειμένων της γήινης επιφάνειας και την ακτινοβολία, που δέχονται τα αντικείμενα αυτά (συνάρτηση 2.1).

Στην Εικόνα 2.11 παρουσιάζονται οι ατμοσφαιρικές επιδράσεις της σκέδασης και της απορρόφησης. Η συνάρτηση (2.1) περιγράφει μαθηματικά τη σχέση τους, [30].

$$L_{tot} = \frac{\rho ET}{\pi} + Lp \quad (2.1)$$

Όπου:

L_{tot} = η ολική ηλιακή ακτινοβολία, που καταγράφεται από το δορυφορικό σύστημα απεικόνισης

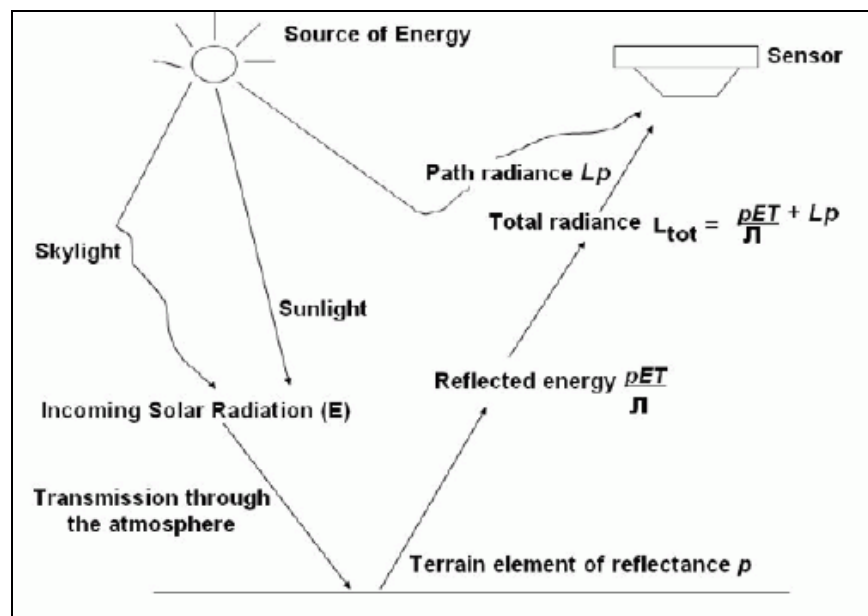
ρ = η αντανάκλαση του αντικειμένου της γήινης επιφάνειας

E = η ηλιακή ακτινοβολία που έρχεται

T = η μετάδοση της ατμόσφαιρας

Lp = η επιπρόσθετη ακτινοβολία από την ατμόσφαιρα και από τα αντικείμενα της γήινης επιφάνειας

Οι παραπάνω παράγοντες εξαρτώνται από το μήκος κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας. Η ακτινοβολία, που δέχονται τα αντικείμενα της γήινης επιφάνειας, εξαρτάται από τις εποχιακές αλλαγές στη γωνία του ήλιου και τη μεταβλητή απόσταση ανάμεσα στη γη και τον ήλιο. Το μέγεθος της απορρόφησης και της διάχυσης της ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτάται από τις συγκεντρώσεις και το μέγεθος των σωματιδίων της ατμόσφαιρας. Γι' αυτό ποικίλει ανάλογα με την τοποθεσία και το χρόνο, [30].



Εικόνα 2.11. Παρουσιάζονται οι ατμοσφαιρικές επιδράσεις της διάχυσης και της απορρόφησης, που επηρεάζουν την καταγραφή της ηλιακής ακτινοβολίας από τα δορυφορικά συστήματα απεικόνισης. Η ηλιακή ακτινοβολία E , που δέχονται τα αντικείμενα της γήινης επιφάνειας, προέρχεται από: α) την ακτινοβολία, που έρχεται κατευθείαν από τον ήλιο (sunlight) και β) την ακτινοβολία, που διαχέεται μέσα στην ατμόσφαιρα (skylight), [30]. Η ολική ηλιακή ακτινοβολία, που καταγράφεται από το δορυφορικό σύστημα απεικόνισης, περιγράφεται από τη συνάρτηση (2.1).

Το μοντέλο της ατμόσφαιρας, στο οποίο αναλύονται οι ατμοσφαιρικές επιδράσεις στην ηλιακή ακτινοβολία (διάχυση και απορρόφηση), μπορεί να παρουσιαστεί πιο αναλυτικά (Εικ. 2.12.-2.20). Με την υπόθεση ότι δεν υπάρχει καθόλου ατμόσφαιρα, και υπό τις προϋποθέσεις ότι οι ηλιακές ακτίνες προσπίπτουν κάθετα στη γήινη επιφάνεια και ότι η γήινη επιφάνεια είναι οριζόντια, η ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της Γης είναι E_0 , [29].

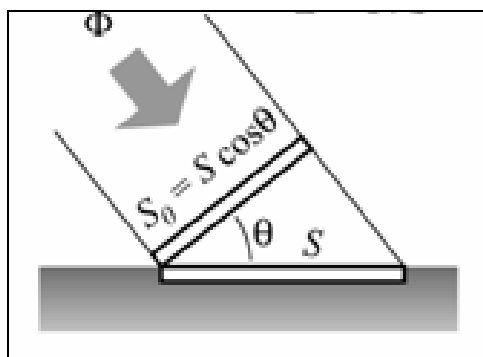
Στην πραγματικότητα η ηλιακή ακτινοβολία φτάνει στη γήινη επιφάνεια με κλίση, που καθορίζεται από τη ζενίθια γωνία του ήλιου θ και γι' αυτό μειώνεται από E_0 σε $E_0 \cos\theta$. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ίδια ροή ενέργειας Φ , που προσέπιπτε στην επιφάνεια S_0 κάθετα στη διεύθυνση του ήλιου, διανέμεται στην επιφάνεια S , που είναι μεγαλύτερη (Εικ. 2.12). Η ακτινοβολία, που φτάνει στη γήινη επιφάνεια, είναι, [29]:

$$E = \Phi / S \quad (2.2)$$

$$\text{Όπου } S = S_0 / \cos\theta \quad (2.3)$$

και τελικά είναι:

$$E = (\Phi / S_0) \cos\theta = E_0 \cos\theta \quad (2.4)$$



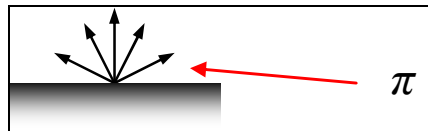
Εικόνα 2.12. Παρουσιάζεται η φωτεινή ροή (Φ) προς τη γήινη επιφάνεια. Λόγω της κλίσης υπό την οποία προσπίπτουν οι ηλιακές ακτίνες διανέμονται σε μεγαλύτερη επιφάνεια (S) απ' ότι αν προσέπιπταν κάθετα (S_0), [29].

Η ακτινοβολία, που αντανακλάται, εξαρτάται από την αντανακλαστικότητα $\rho(\lambda)$ του κάθε αντικειμένου της γήινης επιφάνειας. Το λ συμβολίζει το αντίστοιχο μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Η ακτινοβολία αυτή συμβολίζεται με E_r .

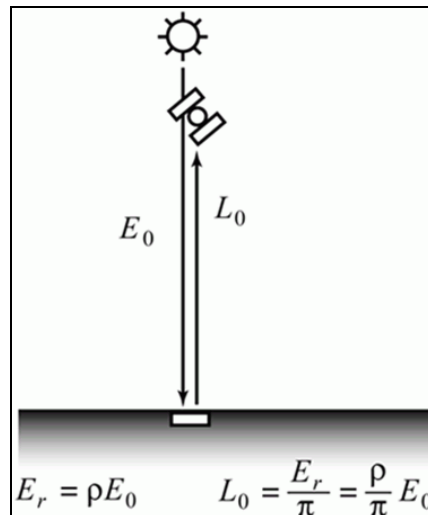
Η γήινη επιφάνεια μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι καλή προσέγγιση μιας επιφάνειας “Lambertian”. Αυτό σημαίνει ότι η προσπίπτουσα ακτινοβολία αντανακλάται σε όλες τις διευθύνσεις του επιπέδου με συνολική γωνία π . Στην Εικόνα 2.13 παρουσιάζεται το αντίστοιχο σχήμα για την αντανακλαστικότητα της γήινης επιφάνειας προς όλες τις διευθύνσεις καθώς και για τη γωνία π . Ο αισθητήρας καταγράφει την ποσότητα, [29]:

$$L_0 = \frac{E_r}{\pi} = \frac{\rho}{\pi} E_0 \quad (2.5)$$

Το αντίστοιχο σχήμα παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.14.



Εικόνα 2.13. Η αντανάκλαση μιας επιφάνειας προς όλες τις διευθύνσεις. Η γήινη επιφάνεια μπορεί να θεωρηθεί προσεγγιστικά ότι αντανακλά την ηλιακή ακτινοβολία προς όλες τις διευθύνσεις. Η γωνία π αποτελεί τη γωνία του χώρου, στον οποίο η ακτινοβολία αυτή διαχέεται, [29].



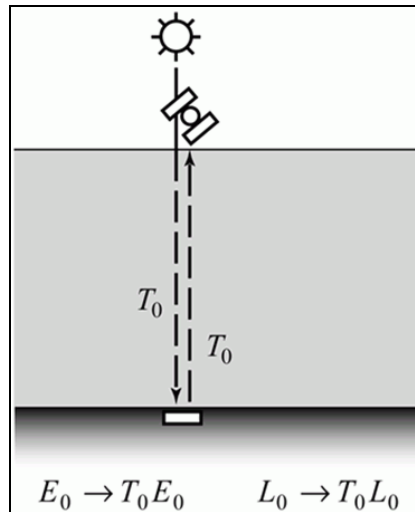
Εικόνα 2.14. Η ποσότητα, που καταγράφει ο τηλεπισκοπικός αισθητήρας (L_0), στην περίπτωση που δεν υπάρχει ατμόσφαιρα και η θέση του ήλιου και του αισθητήρα ως προς την περιοχή μελέτης είναι όπως παρουσιάζεται στο σχήμα, [29].

Η ατμόσφαιρα όμως επηρεάζει την ακτινοβολία. Μια πρώτη μορφή ατμοσφαιρικής επίδρασης είναι η απορρόφησή της. Το αποτέλεσμα είναι να μη φτάνει στη γήινη επιφάνεια όλη η ακτινοβολία E_0 αλλά μόνο ένα τμήμα της T_0E_0 (Εικ 2.15). Η ακτινοβολία, που αντανακλάται, θα είναι, [29]:

$$E_r = \rho T_0 E_0 \quad (2.6)$$

Στη συνέχεια κατά τη διαδρομή της προς το δορυφορικό αισθητήρα, όπου καταγράφεται, μειώνεται πάλι κατά ένα παράγοντα T_0 , λόγω της απορρόφησης της ατμόσφαιρας. Δηλαδή μειώνεται από L_0 σε T_0L_0 (Εικ 2.15). Τελικά η ακτινοβολία, που καταγράφει ο αισθητήρας, είναι η, [29]:

$$L_s = T_0 \frac{E_r}{\pi} = T_0 \frac{\rho T_0 E_0}{\pi} \quad (2.7)$$

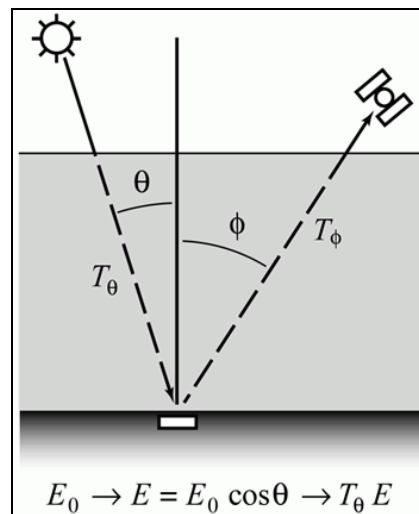


Εικόνα 2.15. Η ακτινοβολία, που φτάνει στη γήινη επιφάνεια T_0E_0 και η ακτινοβολία, που καταγράφει ο δορυφορικός αισθητήρας T_0L_0 , [29].

Αν ληφθεί υπόψη και η κλίση, με την οποία η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στην επιφάνεια της Γης, τότε η εξασθένησή της είναι μεγαλύτερη. Αυτό συμβαίνει, γιατί τότε η διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερη. Ο παράγοντας μείωσής της σ' αυτήν την περίπτωση συμβολίζεται με T_θ (Εικ. 2.16). Ταυτόχρονα λόγω της κλίσης μειώνεται κατά τον παράγοντα $\cos\theta$, όπου θ είναι η ζενίθια γωνία του ήλιου. Τελικά η

ακτινοβολία, που φτάνει στη γήινη επιφάνεια, είναι $T_{\theta}E_0\cos\theta$ αντί για T_0E_0 (Εικ. 2.16). Η επίδραση της ατμόσφαιρας στην ακτινοβολία είναι ανάλογη και στη διαδρομή της προς τον αισθητήρα. Δηλαδή αν η ζενίθια γωνία του αισθητήρα είναι ϕ , τότε η εξασθένιση της ακτινοβολίας θα είναι μεγαλύτερη. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι η διαδρομή της θα είναι μακρύτερη. Για τους παραπάνω λόγους η ακτινοβολία, που καταγράφεται από τον αισθητήρα, μειώνεται από $L_s=T_0\frac{\rho T_0E_0}{\pi}$ (2.7) σε, [29]:

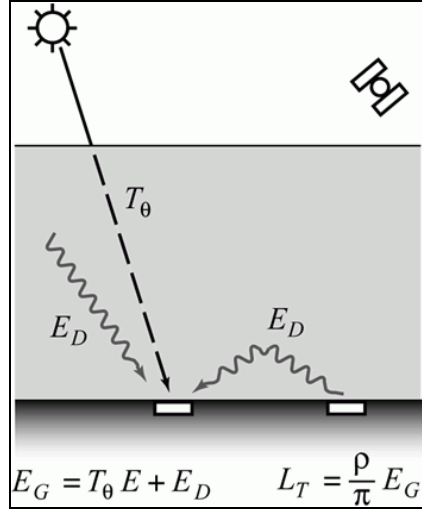
$$L_T=T_{\phi}\frac{\rho T_{\theta}E_0\cos\theta}{\pi} \quad (2.8)$$



Εικόνα 2.16. Η ακτινοβολία, που φτάνει στη γήινη επιφάνεια $T_{\theta}E_0\cos\theta$. Στη συνέχεια κατά τη διαδρομή της προς τον αισθητήρα υπεισέρχεται ο παράγοντας T_{ϕ} , που οφείλεται στην απορρόφηση της ατμόσφαιρας. Ο παράγοντας αυτός τη μειώνει, [29].

Η δεύτερη επίδραση της ατμόσφαιρας είναι η διάχυση της ακτινοβολίας, που προέρχεται κατευθείαν από τον ήλιο ή την αντανάκλασή της από τη γήινη επιφάνεια (Εικ. 2.17). Το αποτέλεσμα είναι η επιπλέον διάχυτη ακτινοβολία E_D , που φτάνει στην περιοχή μελέτης. Η συνολική ακτινοβολία, που φτάνει στην περιοχή μελέτης, είναι η, [29]:

$$E_G=T_{\theta}E_0\cos\theta+E_D \quad (2.9)$$



Εικόνα 2.17. Η συνολική ακτινοβολία E_G , που φτάνει στην περιοχή μελέτης, περιέχει και την επιπλέον διάχυτη ακτινοβολία της ατμόσφαιρας E_D , που φτάνει στη γήινη επιφάνεια, όπως φαίνεται στο σχήμα, [29].

Η ακτινοβολία, που αντανακλάται, είναι η:

$$E_r = \rho E_G \quad (2.10)$$

ενώ εκείνη, που καταγράφεται από τον δορυφορικό αισθητήρα, είναι η:

$$L_T = T_\varphi \frac{\rho E_G}{\pi} = T_\varphi \frac{\rho(T_\theta E_0 \cos\theta + E_D)}{\pi} \quad (2.11)$$

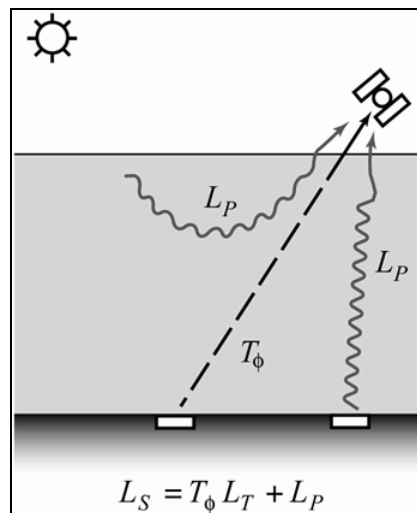
Επειδή λαμβάνεται υπόψη και η ζενίθια γωνία του αισθητήρα φ , γι' αυτό υπάρχει ο παράγοντας T_φ . Στην Εικόνα 2.17 η ακτινοβολία L_T , που καταγράφει ο δορυφορικός αισθητήρας, δεν συμπεριλαμβάνει τον παράγοντα T_φ , που οφείλεται στη ζενίθια γωνία φ του αισθητήρα. Ο παράγοντας αυτός προστίθεται στη συνέχεια στην Εικόνα 2.18 ($T_\varphi L_T$). Ταυτόχρονα η διάχυτη ακτινοβολία, που υπάρχει στην ατμόσφαιρα, έχει ως αποτέλεσμα την καταγραφή μιας επιπλέον ποσότητας L_p από τον τηλεπισκοπικό αισθητήρα. Στην Εικόνα 2.18 παρουσιάζεται ο αισθητήρας και η επιπλέον ακτινοβολία L_p , που

καταγράφεται. Τελικά η ακτινοβολία, που καταγράφεται συνολικά από τον αισθητήρα, είναι η:

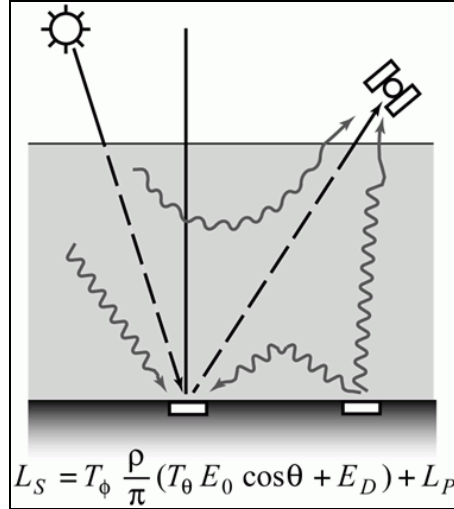
$$L_S = L_T + L_P = T_\phi \frac{\rho(T_\theta E_0 \cos\theta + E_D)}{\pi} + L_P \quad (2.12)$$

Στην Εικόνα 2.19 δίνεται το ανάλογο σχήμα για τις διαδρομές που ακολουθεί η ηλιακή ακτινοβολία μέχρι να καταγραφεί από τον αισθητήρα και ο αντίστοιχος τύπος, [29].

Σε όλα τα παραπάνω μεγέθη έχουν χρησιμοποιηθεί οι μέσοι όροι για κάθε φασματικό διάυλο. Επίσης στην περίπτωση που η επιφάνεια, στην οποία προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία, δεν είναι οριζόντια ο παράγοντας $\cos\theta$ πρέπει να αντικατασταθεί με τον παράγοντα $\cos\omega$. Η γωνία ω είναι η γωνία ανάμεσα στη διεύθυνση του ήλιου και στη διεύθυνση, που είναι κάθετη στην επιφάνεια του μη οριζόντιου εδάφους, [29].



Εικόνα 2.18. Ο αισθητήρας και η επιπλέον ακτινοβολία L_P , που καταγράφεται. Η ποσότητα αυτή (L_P) οφείλεται στη διάχυτη ακτινοβολία, που υπάρχει στην ατμόσφαιρα, όπως φαίνεται στο σχήμα, [29].



Εικόνα 2.19. Η τελική ακτινοβολία L_S που καταγράφεται από τον αισθητήρα. Παρουσιάζονται ακόμη οι διαδρομές που ακολουθεί η ηλιακή ακτινοβολία μέχρι να καταγραφεί, [29].

Με την υπόθεση ότι δεν υπάρχει ατμόσφαιρα η τιμή της κάθε ψηφίδας είναι, [29]:

$$x_0 = kL_0 + C_0 \quad (2.13)$$

όπου k και C_0 είναι σταθερές (σε ιδανικές συνθήκες) παράμετροι, που σχετίζονται με τη λειτουργία του αισθητήρα. Λόγω των επιδράσεων της ατμόσφαιρας η τιμή της κάθε ψηφίδας είναι:

$$x = kL_s + C_0 \quad (2.14)$$

αντί για x_0 .

Η σχέση μεταξύ των L_0 και L_s είναι, [20]:

$$L_s = T_\phi \left(T_\theta + \frac{E_D}{E_0 \cos\theta} \right) L_0 + L_P \quad (2.15)$$

$$\text{για } L_0 = \frac{\rho}{\pi} E_0 \cos\theta \quad (2.16)$$

$$\text{και } L_s = T_\phi \frac{(T_\theta E_0 \cos\theta + E_D)}{\pi} + L_P \quad (2.12)$$

όπου:

L_s = η ακτινοβολία, που καταγράφεται από το δορυφορικό σύστημα απεικόνισης. Οι ακτίνες λαμβάνεται ότι προσπίπτουν στη γήινη επιφάνεια με κλίση.

L_0 = η ακτινοβολία, που καταγράφεται από το δορυφορικό σύστημα απεικόνισης, με την υπόθεση ότι δεν υπάρχει καθόλου ατμόσφαιρα. Οι ακτίνες λαμβάνεται ότι προσπίπτουν στη γήινη επιφάνεια με κλίση.

L_P = η διάχυτη ακτινοβολία της ατμόσφαιρας, που καταγράφεται από το δορυφορικό σύστημα απεικόνισης και δεν εισάγει καμία χρήσιμη πληροφορία.

θ = η ζενίθια γωνία του ήλιου, που καθορίζει την κλίση των ακτίνων ως προς τη γήινη επιφάνεια.

φ = η ζενίθια γωνία του αισθητήρα

ρ = η αντανάκλαστικότητα των αντικειμένων της γήινης επιφάνειας

T_θ = παράγοντας μείωσης της ακτινοβολίας κατά τη διαδρομή της από τον δορυφορικό αισθητήρα στη γήινη επιφάνεια λόγω της απορρόφησης της ατμόσφαιρας

T_φ = παράγοντας μείωσης της ακτινοβολίας κατά τη διαδρομή της από τη γήινη επιφάνεια στον αισθητήρα λόγω της απορρόφησης της ατμόσφαιρας

$E_0 \cos \theta$ = η ακτινοβολία, που φτάνει στη γήινη επιφάνεια υπό κλίση με την υπόθεση ότι δεν υπάρχει καθόλου ατμόσφαιρα.

E_D = η επιπλέον διάχυτη ακτινοβολία E_D , που προσπίπτει στη γήινη επιφάνεια και προέρχεται κατευθείαν από τον ήλιο ή την αντανάκλασή της από τη γήινη επιφάνεια.

Αντίστοιχα η σχέση μεταξύ των τιμών των ψηφίδων x_0 και x είναι, [29]:

$$x_0 = \frac{x - kL_P - C_0}{T_\varphi \left(T_\theta + \frac{E_D}{E_0 \cos \theta} \right)} + C_0 \quad (2.17)$$

Η τιμή x_0 της ψηφίδας αφορά την περίπτωση, όπου υποθετικά δεν υπάρχει ατμόσφαιρα, ενώ x είναι η πραγματική τιμή της ψηφίδας. Όπως προαναφέρθηκε k και C_0 είναι σταθερές παράμετροι (σε ιδανικές συνθήκες), που σχετίζονται με τη λειτουργία του αισθητήρα. Στην περίπτωση, που οι παράμετροι k και C_0 δε διατηρούνται σταθερές, υπολογίζονται μέσω της βαθμονόμησης του αισθητήρα.

Σε ιδανικές συνθήκες η ηλιακή ακτινοβολία, που καταγράφεται από τον δορυφορικό αισθητήρα, εξαρτάται μόνο από την ακτινοβολία, που προέρχεται από την περιοχή μελέτης. Στην πραγματικότητα όμως, όπως προαναφέρθηκε, εισέρχεται επιπλέον ηλιακή ακτινοβολία στο οπτικό πεδίο του αισθητήρα. Η ακτινοβολία αυτή εισάγει θόρυβο στα δεδομένα.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι διαδρομές της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα (Εικ. 2.20), [4]:

Διαδρομή 1, (Εικ. 2.20). Σ' αυτήν τη διαδρομή η ηλιακή ακτινοβολία προέρχεται από μία συγκεκριμένη ζενίθια γωνία του ήλιου θ_0 και η ποσότητα της ακτινοβολίας, που φτάνει στο έδαφος, είναι συνάρτηση της ατμοσφαιρικής μετάδοσής της στη γωνία αυτή (θ_0). Η ατμοσφαιρική μετάδοση της ηλιακής ακτινοβολίας συμβολίζεται στην Εικόνα 2.20 με T_{θ_0} . Αν όλη η ακτινοβολία φτάσει στο έδαφος τότε το T_{θ_0} ισοδυναμεί με ένα. Αν δε φτάσει καθόλου ακτινοβολία στο έδαφος τότε ισοδυναμεί με μηδέν.

Διαδρομή 2, (Εικ. 2.20). Περιλαμβάνει την ηλιακή ακτινοβολία, που διαχέεται στην ατμόσφαιρα και δε φτάνει ποτέ στη γήινη επιφάνεια. Αυτό συμβαίνει λόγω της διάχυσής της μέσα στην ατμόσφαιρα. Η ακτινοβολία αυτού του είδους συχνά διαχέεται απευθείας στο οπτικό πεδίο του αισθητήρα. Το γεγονός αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να εισέρχεται στο οπτικό πεδίο του αισθητήρα ανεπιθύμητη ακτινοβολία, που εισάγει σφάλματα όταν καταγράφεται. Γι' αυτό, όπου είναι δυνατό, γίνεται προσπάθεια να ελαχιστοποιηθούν οι επιδράσεις της.

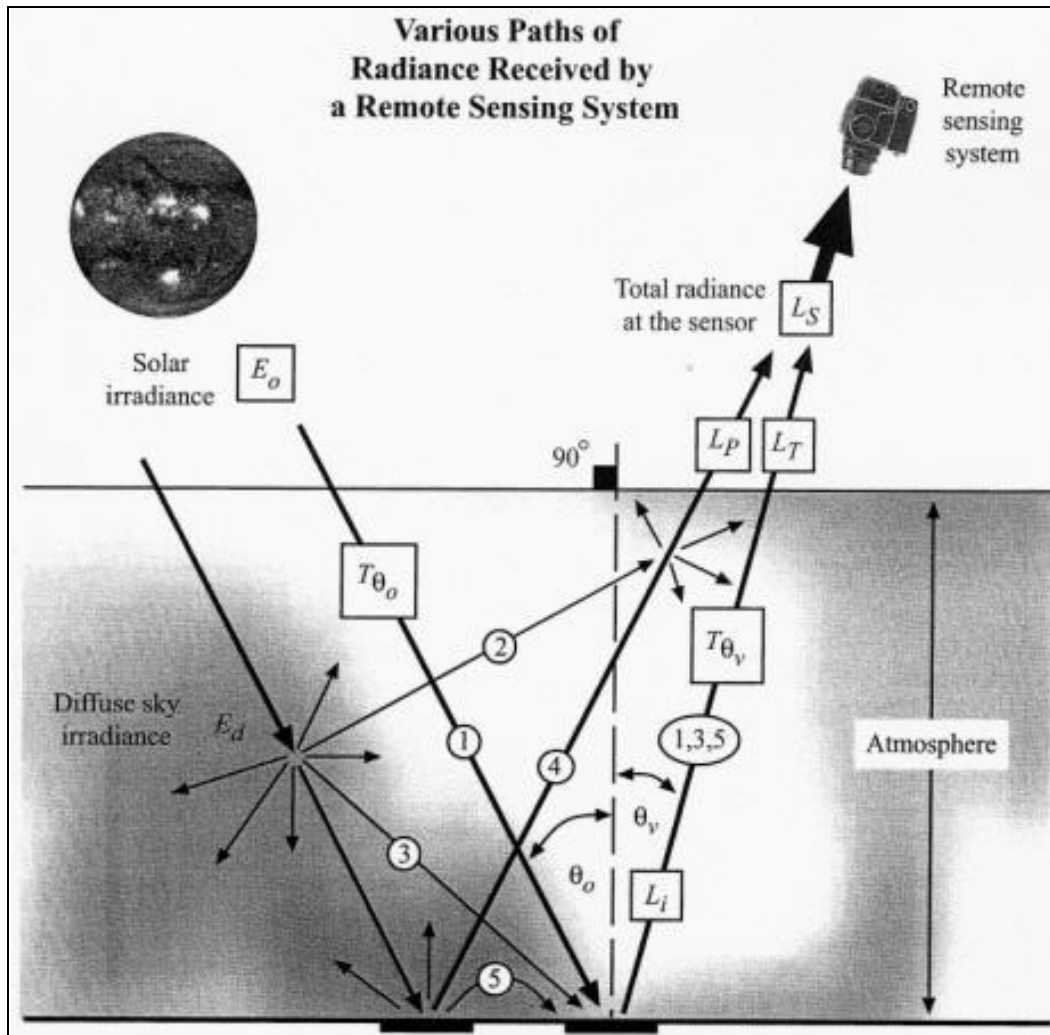
Διαδρομή 3, (Εικ. 2.20). Περιλαμβάνει την ηλιακή ακτινοβολία, που έχει υποστεί διάχυση και πιθανόν κατά ένα ποσοστό απορρόφηση και επανεκπομπή, πριν προσπέσει στην περιοχή μελέτης. Γι' αυτό μπορεί να διαφέρει από την ηλιακή ακτινοβολία, που φτάνει στη γήινη επιφάνεια από τη διαδρομή 1.

Διαδρομή 4, (Εικ. 2.20). Η ηλιακή ακτινοβολία δεν προέρχεται πραγματικά από την περιοχή μελέτης αλλά από τις γειτονικές περιοχές της, γι' αυτό οι επιδράσεις της είναι επιθυμητό να ελαχιστοποιηθούν. Είναι η ακτινοβολία, που αντανακλάται ή διαχέεται από

γειτονικές περιοχές στη γήινη επιφάνεια, προς το οπτικό πεδίο του αισθητήρα. Οι περιοχές αυτές μπορεί να καλύπτονται π.χ. από χιόνι, τσιμέντο, έδαφος, νερό και βλάστηση.

Διαδρομή 5, (Εικ. 2.20). Περιλαμβάνει την ηλιακή ακτινοβολία που αντανακλάται ή διαχέεται από περιοχές της γήινης επιφάνειας γύρω από την περιοχή μελέτης και η οποία στη συνέχεια προσπίπτει στην περιοχή μελέτης.

Από την ηλιακή ακτινοβολία, που δέχεται η γήινη επιφάνεια, μόνο ένα μέρος της αντανακλάται προς το σύστημα του δορυφορικού αισθητήρα. Η συνολική ακτινοβολία, που φεύγει από την περιοχή μελέτης της γήινης επιφάνειας προς το σύστημα του αισθητήρα, ακολουθεί τις διαδρομές 1, 3 και 5. Στην Εικόνα 2.20 συμβολίζεται με “ L_T ”. Οι διαδρομές 1, 3 και 5 περιέχουν τη χρήσιμη φασματική πληροφορία σχετικά με την περιοχή μελέτης. Εκτός όμως από την ακτινοβολία “ L_T ” καταγράφεται από το δορυφορικό σύστημα απεικόνισης και η ακτινοβολία που διαχέεται μέσα στην ατμόσφαιρα καθώς και η ακτινοβολία, που προέρχεται από περιοχές της γήινης επιφάνειας γύρω από την περιοχή μελέτης. Δηλαδή η ακτινοβολία των διαδρομών 2 και 4, που στην Εικόνα 2.20 συμβολίζεται με “ L_P ”. Η ακτινοβολία αυτή δεν περιέχει πληροφορία σχετικά με την περιοχή μελέτης. Εισάγει ραδιομετρικό θόρυβο στις δορυφορικές εικόνες, δυσκολεύει την ερμηνεία τους και την απόκτηση φασματικής πληροφορίας από αυτές με ακρίβεια. Η συνολική ακτινοβολία, που καταγράφει ο αισθητήρας, συμβολίζεται στην Εικόνα 2.20 με “ L_S ”, [4].



Εικόνα 2.20. Παρουσιάζονται οι διαδρομές της ηλιακής ακτινοβολίας μέχρι να καταγραφεί από το δορυφορικό σύστημα απεικόνισης. Οι διαδρομές 1, 3 και 5 (L_T) περιέχουν πολύτιμη φασματική πληροφορία σχετικά με την περιοχή μελέτης. Αντίθετα οι διαδρομές 2 και 4 περιλαμβάνουν την ηλιακή ακτινοβολία, που έχει υποστεί διάχυση μέσα στην ατμόσφαιρα (L_P) ή την ακτινοβολία, από περιοχές της γήινης επιφάνειας γύρω από την περιοχή μελέτης. Η συνολική ακτινοβολία, που καταγράφει ο αισθητήρας, συμβολίζεται με " L_S ", [4].

2.4. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΔΙΟΡΘΩΣΗ

Σκοπός της ατμοσφαιρικής διόρθωσης των δορυφορικών δεδομένων είναι η μείωση των ατμοσφαιρικών σφαλμάτων λόγω διάχυσης και απορρόφησης, που εισάγονται κατά τη λήψη των δεδομένων.

Η ηλιακή ακτινοβολία που καταγράφεται από το δορυφορικό σύστημα απεικόνισης, διαφέρει από την ανακλώμενη ακτινοβολία επάνω στη γήινη επιφάνεια λόγω των ατμοσφαιρικών επιδράσεων, οι οποίες είναι η απορρόφηση και η σκέδαση. Η ατμοσφαιρική διόρθωση είναι η μείωση των επιδράσεων αυτών και ο μετασχηματισμός της ακτινοβολίας στο δορυφορικό αισθητήρα σε ανακλωμενη στο έδαφος ακτινοβολία.

Για την ατμοσφαιρική διόρθωση των δορυφορικών δεδομένων έχουν αναπτυχθεί ατμοσφαιρικά μοντέλα (atmospheric modeling) και εμπειρικές τεχνικές (empirical), [5].

Η ατμοσφαιρική διόρθωση μέσω μοντελοποίησης της ατμόσφαιρας επιχειρεί να ποσοτικοποιήσει την ακριβή σύσταση της ατμόσφαιρας τη στιγμή της λήψης των δεδομένων και στη συνέχεια να υπολογίσει τις πιθανές επιδράσεις της ατμόσφαιρας. Τα μοντέλα αυτά ονομάζονται “atmospheric transmission codes”. Πάνω σ’ αυτούς τους κώδικες έχει βασιστεί ένα πλήθος αλγορίθμων ατμοσφαιρικής διόρθωσης, [5].

Το λογισμικό ATREM (ATmosphere REMoval program) αναπτύχθηκε από την CSES (Center for the Study of Earth from Space) στο Πανεπιστήμιο του Κολοράντο για τα υπερφασματικά δεδομένα AVIRIS. Χρησιμοποιεί ένα μοντέλο για την ατμόσφαιρα και τα σωματίδια της (aerosol model), που καθορίζεται από το χρήστη. Η ποσότητα των σταγονιδίων νερού της ατμόσφαιρας υπολογίζεται σε επίπεδο ψηφίδας από τα υπερφασματικά δεδομένα με τη χρήση των διαύλων στα 0,94μm και 1,14μm, διότι σ’ αυτά τα μήκη κύματος παρουσιάζεται απορρόφηση νερού. Οι τιμές, που προκύπτουν, χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για τη μοντελοποίηση των επιδράσεων της απορρόφησης των σταγονιδίων του νερού σε όλο το φάσμα από τα 400-2500nm, ([4], [5]).

Το λογισμικό ATCOR (ATmospheric CORrection) αναπτύχθηκε από την DLR (German Space Agency) σε συνεργασία με την ERDAS στη Γερμανία. Χρησιμοποιεί τον κώδικα MODTRAN4 (MOderate resolution TRANsmittance code), που προβλέπει τις διαδρομές της ηλιακής ακτινοβολίας και τη μετάδοσή της μέσα από την ατμόσφαιρα, για να υπολογίσει τις συναρτήσεις ατμοσφαιρικής διόρθωσης. Οι συναρτήσεις ατμοσφαιρικής διόρθωσης, που εξαρτώνται από παράγοντες όπως η γωνία σάρωσης,

αφορούν π.χ. την άμεση και διάχυτη ροή της ηλιακής ακτινοβολίας, τη διαδρομή της κ.λ.π., ([4], [5]).

Το MODTRAN4 (MOderate resolution TRANsmittance code) είναι ένα μοντέλο μεταφοράς της ηλιακής ακτινοβολίας (RTM-Radiative Transfer Model) που αναπτύχθηκε από την Spectral Sciences Inc. και το Air Force Research Laboratory/Space Vehicles Division (AFRL/VS) στις Η.Π.Α.. Το μοντέλο αυτό βασίζεται στο LOWTRAN7 (LOW Resolution Atmospheric TRANsmission Code). Και τα δύο μοντέλα υπολογίζουν την ατμοσφαιρική μετάδοση και τη σκέδαση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η μοριακή απορρόφηση υπολογίζεται με βάση τη φασματική βάση δεδομένων HITRAN (HIgh Resolution Transmission Molecular Absorption Database), [31].

Το λογισμικό ACORN (Atmospheric CORection Now) αναπτύχθηκε από την ImSpec, LLC στις Η.Π.Α. με τη χρήση του MODTRAN4. Χρησιμοποιεί τον κώδικα MODTRAN4 για τη μοντελοποίηση της ατμοσφαιρικής απορρόφησης καθώς και για τις επιδράσεις του φαινομένου της σκέδασης. Η ποσότητα των σταγονιδίων νερού της ατμόσφαιρας υπολογίζεται σε επίπεδο ψηφίδας. Παράλληλα ο χρήστης μπορεί να εισάγει μια τιμή ορατότητας για την εικόνα ή να επιλέξει να υπολογιστεί η τιμή ορατότητας από τα ίδια τα δεδομένα. Η τιμή αυτή προσδιορίζει την καθαρότητα της εικόνας όσον αφορά τις ατμοσφαιρικές συνθήκες (π.χ. ύπαρξη ομίχλης). Το ACORN μπορεί να χρησιμοποιηθεί και με πολυφασματικά δεδομένα, ([4], [5], [32]).

Το FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes) αναπτύχθηκε από την Spectral Sciences, Inc με την υποστήριξη του εργαστηρίου Air Force των Η.Π.Α.. Διορθώνει τις εικόνες από τα σφάλματα, που προκαλούν τα σταγονίδια του νερού της ατμόσφαιρας, το οξυγόνο, το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο, το όζον και τη σκέδαση με τη χρήση του κώδικα MODTRAN4. Παράλληλα δίνει μια εικόνα για την υγρασία του αέρα, ένα χάρτη για τα σύννεφα και μια τιμή ορατότητας για τα υπερφασματικά δεδομένα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στα πολυφασματικά δεδομένα, ([4], [5], [20]).

Οι παραπάνω αλγόριθμοι είναι διαθέσιμοι στην αγορά ως μεμονωμένα λογισμικά. Επειδή υπάρχει αστάθεια και αβεβαιότητα στις συνθήκες λήψης των τηλεπισκοπικών

εικόνων, η ατμοσφαιρική διόρθωση με τη χρήση μοντέλων δε μπορεί ποτέ να είναι τέλεια, [5].

Οι εμπειρικές τεχνικές ατμοσφαιρικής διόρθωσης (empirical) βασίζονται σε δεδομένα πεδίου. Οι αλγόριθμοι αυτοί βασίζονται στη χρήση ενός ή περισσότερων φασματικών σημείων ελέγχου. Φασματικό σημείο ελέγχου είναι μία ψηφίδα αναγνωρίσιμη στην εικόνα, για την οποία ο χρήστης έχει τη φασματική υπογραφή της, ανεπηρέαστη από ατμοσφαιρικά σφάλματα, σε μια φασματική βιβλιοθήκη. Ο καλύτερος τρόπος για την απόκτηση φασματικών σημείων ελέγχου αυτού του είδους είναι η συλλογή τους στο πεδίο με ένα φορητό φασματόμετρο. Εναλλακτικά ο χρήστης του λογισμικού μπορεί να έχει μια φασματική βιβλιοθήκη, από την οποία μπορεί να επιλεγθεί μια προσεγγιστική φασματική υπογραφή, αν η κατηγορία της ψηφίδας είναι γνωστή. Όταν τα φασματικά σημεία ελέγχου έχουν αναγνωριστεί στην εικόνα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να διορθωθεί ολόκληρη η εικόνα, [5].

Τα προβλήματα, που προκύπτουν από αυτές τις μεθόδους, είναι πολλά. Οι ψηφίδες των υπερφασματικών εικόνων είναι συνήθως σχετικά μεγάλες, π.χ. 10-30m. Στην κλίμακα αυτή είναι δύσκολο να βρεθούν καθαρές ψηφίδες, δηλαδή ψηφίδες που να ανήκουν σε μία μόνο κατηγορία, [5].

Παράλληλα γίνεται η υπόθεση ότι η κατηγορία, από την οποία λαμβάνεται η φασματική υπογραφή είναι ακριβώς ίδια με την κατηγορία, που απεικονίζεται στην ψηφίδα της εικόνας. Οι αντίστοιχες κατηγορίες, που βρίσκονται στη φύση, παρουσιάζουν εξαιρετική ποικιλία. Αυτό μπορεί να περιορίσει σε πολύ μεγάλο βαθμό την καταλληλότητα των φασματικών βιβλιοθηκών για εφαρμογές ατμοσφαιρικής διόρθωσης. Ταυτόχρονα όμως συμβάλλει στην ανάπτυξη εξειδικευμένων βιβλιοθηκών, όπως η SPECMIN από την Spectral International, Inc, [5].

Από τη στιγμή που θα καθοριστούν τα φασματικά σημεία ελέγχου εφαρμόζονται οι εμπειρικές τεχνικές ατμοσφαιρικής διόρθωσης. Αλγόριθμοι της κατηγορίας αυτής είναι: ο Empirical Line, ο Flat Field και ο Modified Flat Field. Υπάρχει, επίσης, ο αλγόριθμος IARR (Internal Average Relative Reflectance), ο οποίος εφαρμόζεται σε περιπτώσεις, όπου δεν υπάρχει καμία πληροφορία σχετικά με τα αντικείμενα της γήινης επιφάνειας, που απεικονίζονται στην εικόνα. Η εφαρμογή του βασίζεται στην υπόθεση, ότι η τηλεπισκοπική εικόνα περιλαμβάνει πολλές και διαφορετικές κατηγορίες, [5].

3. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΗΣ ΥΠΕΡΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ HYPERION ΤΟΥ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥ EO-1

3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα υπερφασματικά δεδομένα Hyperion του δορυφόρου EO-1 που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, η περιοχή μελέτης, ο δορυφόρος EO-1, ο αισθητήρας του Hyperion, με τον οποίο λήφθηκαν τα δεδομένα. Παρουσιάζονται στοιχεία όπως τα τεχνικά χαρακτηριστικά της τροχιάς του δορυφόρου, τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα και τα επίπεδα επεξεργασίας, που έχουν τα αρχικά δεδομένα Hyperion από τα κέντρα διάθεσης και λήψης. Παρουσιάζεται η απαραίτητη προεπεξεργασία των δεδομένων της εργασίας αυτής και στη συνέχεια ακολουθεί η μεθοδολογία, που χρησιμοποιήθηκε, για την εφαρμογή της ατμοσφαιρικής διόρθωσης.

3.2. ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία στο πλαίσιο της εφαρμογής χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα μία εικόνα του δορυφόρου EO-1 (Πίνακας 3.1). Η δορυφορική εικόνα αποκτήθηκε στις 5 Οκτωβρίου του 2001 από τον αισθητήρα Hyperion του EO-1. Η εικόνα αυτή είναι μια στενή λωρίδα, στην οποία απεικονίζεται από Βορρά προς Νότο τμήμα της λίμνης Κερκίνης, η πόλη της Θεσσαλονίκης, τμήμα της ευρύτερης περιοχής της, τμήμα θάλασσας από το Θερμαϊκό κόλπο μέχρι την περιοχή του Κισσάβου στη Θεσσαλία καθώς και τμήμα του νομού Λάρισας. Οι διαστάσεις της εικόνας είναι 7,7×185km.

Τα δορυφορικά δεδομένα είναι:

- **Μια υπερφασματική εικόνα Hyperion**, χωρικής διακριτότητας 30 μέτρων, λήψης 5/10/2001, (Εικ. 3.1-3.2).

Οι γεωγραφικές συντεταγμένες του κέντρου της εικόνας είναι:

- α) Γεωγραφικό πλάτος = 40,633 μοίρες

β) Γεωγραφικό μήκος = 22,950 μοίρες

Πίνακας 3.1. Τα δορυφορικά δεδομένα της μεταπτυχιακής εργασίας

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΑΣ	
1 ΕΙΚΟΝΑ ΤΟΥ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥ EO-1	Υπερφασματική εικόνα του αισθητήρα Hyperion Χωρικής ανάλυσης 30 μέτρων

Η ιδιαιτερότητα των δεδομένων της συγκεκριμένης μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας έγκειται στο μεγάλο αριθμό φασματικών διαύλων, που είναι 242, και στο μικρό φασματικό τους εύρος, που είναι περίπου 10 nm ο καθένας (Πίνακας 3.2). Η μεγάλη φασματική ανάλυση των εικόνων Hyperion αποτελεί πολύ σημαντικό πλεονέκτημα, γιατί οι εικόνες παρέχουν περισσότερη φασματική πληροφορία και με μεγαλύτερη ακρίβεια σε αντίθεση με πολλές άλλες δορυφορικές εικόνες, παγχρωματικές και πολυφασματικές, που έχουν μικρή φασματική ανάλυση. Το γεγονός αυτό βοηθάει στην ακριβέστερη αναγνώριση των αντικειμένων, που απεικονίζονται στην κάθε εικόνα και κατά συνέπεια στην καλύτερη κατανόησή της.

Πίνακας 3.2. Τα βασικά χαρακτηριστικά των δορυφορικών δεδομένων, [27]

ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ	ΧΩΡΙΚΗ ΔΙΑΚΡΙΤΟΤΗΤΑ	ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ / ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΚΡΙΤΟΤΗΤΑ /
HYPERION	30 m σε κάθε διάυλο	Φασματική περιοχή των 242 διαύλων: 356-2577nm Φασματική διακριτότητα 10nm περίπου

Από τους 242 διαύλους οι διάυλοι: 1-7 (φασματική περιοχή 356-417nm), 58-70 (φασματική περιοχή 936nm-1058nm), 71-76 (φασματική περιοχή 852nm-902nm) και 225-242 (φασματική περιοχή 2406-2577nm) δεν είναι βαθμονομημένοι (Πίνακας 3.3),

[33]. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στην απώλεια σήματος του δορυφορικού αισθητήρα στην αντίστοιχη φασματική περιοχή. Οι διάλυλοι αυτοί δεν περιέχουν πληροφορία και συνήθως αφαιρούνται κατά την επεξεργασία των δεδομένων.

Στον Πίνακα 3.3 παρουσιάζονται οι διάλυλοι που έχουν βαθμονομηθεί και η φασματική περιοχή τους. Στον Πίνακα 1 του παραρτήματος δίνεται αναλυτικά το κέντρο της φασματικής περιοχής και το φασματικό εύρος του κάθε διαλύλου, η χωρική διακριτότητά του και το αν είναι βαθμονομημένος.

Οι εικόνες Hyperion, όπως αποστέλονται από τα κέντρα λήψης και διάθεσης, χαρακτηρίζονται από το επίπεδο επεξεργασίας τους. Το επίπεδο αυτό προσδιορίζει το είδος της επεξεργασίας, που υφίστανται οι εικόνες, πριν τις παραλάβει ο χρήστης. Τα δεδομένα της παρούσας εργασίας βρίσκονται σε επίπεδο επεξεργασίας 1R (radiometrically corrected). Η κύρια επεξεργασία των δεδομένων στο επίπεδο 1R είναι η ραδιομετρική βαθμονόμηση και οι διορθώσεις του θορύβου, που υπάρχουν στα πρωταρχικά δεδομένα, που λαμβάνονται από το δορυφορικό αισθητήρα. Τα δεδομένα στο επίπεδο 1R παρέχονται σε τιμές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας επί του αισθητήρα, [34]. Οι τιμές αυτές είναι σε $W / m^2 Sr \mu m$ ($Watt / m^2 \times Steradian \times \mu m$), δηλαδή σε φασματική ακτινοβολία ανά μονάδα μέτρησης μήκους κύματος (εδώ ανά μm).

Επίσης τα δεδομένα βρίσκονται σε τύπο HDF (Hierarchical Data Format) και είναι αποθηκευμένα ως ακέραιοι 16-bit (τύπος: signed integer). Σ' αυτά περιλαμβάνεται ακόμη ένα αρχείο σε format ENVI ("header file").

Πίνακας 3.3. Οι δίαυλοι των δεδομένων Hyperion, [33].

Οι δίαυλοι, που δεν έχουν βαθμονομηθεί, δεν περιέχουν πληροφορία.

	Δίαυλος / Band	Φασματική περιοχή (nm) / Wavelength	Κατάσταση / Status
VNIR δίαυλοι	1-7	356-417 nm	μη βαθμονομημένοι/δεν περιέχουν πληροφορία
	8-55	426-895 nm	βαθμονομημένοι/περιέχουν πληροφορία
	56-57	913-926 nm	βαθμονομημένοι/περιέχουν πληροφορία (επικάλυψη με SWIR 77-78)
	58-70	936-1058 nm	μη βαθμονομημένοι/δεν περιέχουν πληροφορία
SWIR δίαυλοι	71-76	852-902 nm	μη βαθμονομημένοι/δεν περιέχουν πληροφορία
	77-78	912-923 nm	βαθμονομημένοι/περιέχουν πληροφορία (επικάλυψη με VNIR 56-57)
	79-224	933-2396 nm	βαθμονομημένοι/περιέχουν πληροφορία
	225-242	2406-2577 nm	μη βαθμονομημένοι/δεν περιέχουν πληροφορία

Συνολικά 198 βαθμονομημένοι δίαυλοι (με πληροφορία) και 44 μη βαθμονομημένοι (χωρίς πληροφορία).



Εικόνα 3.2. Παρουσιάζεται η περιοχή της Εικόνας 3.1, που περικλείεται στο πλαίσιο. Είναι η περιοχή του Κισσάβου στη Θεσσαλία. Η χρωματική εμφάνιση της εικόνας προέκυψε από το συνδυασμό των διαύλων: R=25, G=20, B=11.

Εικόνα 3.1. Η υπερφασματική εικόνα Hyperion. Η χρωματική εμφάνιση της εικόνας προέκυψε από το συνδυασμό των διαύλων: R=25, G=20, B=11.

3.3. Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η περιοχή μελέτης της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας εκτείνεται από τη λίμνη Κερκίνη μέχρι την ευρύτερη περιοχή της Λάρισας. Περιλαμβάνει τμήμα της λίμνης Κερκίνης, την πόλη της Θεσσαλονίκης, περιοχές βόρεια της Θεσσαλονίκης, την περιοχή του Κισσάβου στη Θεσσαλία καθώς και τμήμα της ευρύτερης περιοχής της πόλης της Λάρισας. Περιλαμβάνει επίσης τμήμα της θάλασσας από το Θερμαϊκό κόλπο έως την περιοχή του Κισσάβου. Οι περιοχές βόρεια της Θεσσαλονίκης ανήκουν στους νομούς Θεσσαλονίκης, Κιλίκης και Σερρών, (Εικ. 3.3).



Εικόνα 3.3. Χάρτης της Ελλάδας, στον οποίο η περιοχή μελέτης περιλαμβάνεται στο μαύρο πλαίσιο, [35].

Στην περιοχή μελέτης υπάρχουν περιοχές ημιορεινές (βόρεια της Θεσσαλονίκης προς τη λίμνη Κερκίνη), ορεινές (όρος Κίτσαβος) και αγροτικές (βόρεια της Θεσσαλονίκης και ευρύτερη περιοχή Λάρισας). Η μόνη αστική περιοχή είναι η πόλη της Θεσσαλονίκης.

Η Θεσσαλονίκη είναι η δεύτερη μεγαλύτερη πόλη της Ελλάδας, πρωτεύουσα της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας, του Νομού Θεσσαλονίκης και κύρια πόλη της Μακεδονίας. Βρίσκεται στο βορειότερο σημείο του Θερμαϊκού κόλπου και εφάπτεται με τον Κέδρηνο λόφο (δάσος Σείχ Σου), που απεικονίζεται στην υπερφασματική εικόνα Hyperion. Η πόλη της Θεσσαλονίκης αντιμετωπίζει σήμερα προβλήματα ατμοσφαιρικής

ρύπανσης και κυκλοφορίας. Ταυτόχρονα το κέντρο της πόλης είναι πυκνοκατοικημένο και το πράσινο εντός της αστικής περιοχής ελάχιστο, [35].

Η Κερκίνη βρίσκεται στην πεδινή και ημιορεινή περιοχή του νομού Σερρών, όπου υπάρχουν σημαντικοί υδροβιότοποι με διεθνή σημασία. Η λίμνη Κερκίνη αποτελεί τον σημαντικότερο και πιο γνωστό υδροβιότοπο της περιοχής αυτής. Δημιουργήθηκε με την τεχνητή ανθρώπινη παρέμβαση στον Στρυμόνα ποταμό και είναι ένα έργο, που έχει μεγάλη ωφέλεια για τη γεωργία και παράλληλα είναι υδροβιότοπος για χιλιάδες ζώα και πουλιά. Η Κερκίνη προστατεύεται από τη σύμβαση Ραμσάρ. Παράλληλα αποτελεί περιοχή του Ευρωπαϊκού Δικτύου «Φύση 2000». Η σύμβαση Ραμσάρ υπογράφηκε στις 2 Φεβρουαρίου 1971 στην περσική πόλη Ραμσάρ και αφορά την προστασία υγροτόπων διεθνούς σημασίας. Από τις σημαντικότερες απειλές για τη λίμνη είναι η ρύπανση του Στρυμόνα, η ανύψωση αναχωμάτων που συντελεί στην ελάττωση των ειδών των ψαριών, η παράνομη υλοτόμηση, η παράνομη αλιεία και το παράνομο κυνήγι, ([36], [37]).

Το όρος Κίσαβος ή Όσσα είναι ένας ορεινός όγκος της Θεσσαλίας, μέγιστου ύψους 1.978 μέτρων. Αναπτύσσεται παράλληλα προς τις ακτές του Αιγαίου και χωρίζεται από τον Κάτω Όλυμπο με την κοιλάδα των Τεμπών. Νότια συνδέεται με το Πήλιο μέσω του Μαυροβουνίου, αφού παρεμβληθεί η κοιλάδα της Αγιάς. Πιστεύεται ότι το όρος Όσσα αποτελούσε μια ενότητα με το γειτονικό όρος Όλυπος. Επειδή οι δύο πλευρές των βουνών αντιστοιχούν ακριβώς μεταξύ τους, οι ειδικοί εκτιμούν ότι το ρήγμα είναι έργο της διάβρωσης από τον ποταμό Πηνειό, ([38], [39]).

3.4. Ο ΔΟΡΥΦΟΡΟΣ EO-1

Ο δορυφόρος EO-1 της NASA (National Aeronautics and Space Administration), ο οποίος ανήκει στους “Light” δορυφόρους, εκτοξεύτηκε στις 21 Νοεμβρίου του 2000 από την Αεροναυτική Βάση Vandenberg των ΗΠΑ, (Εικ. 3.4). Ο δορυφόρος EO-1 έφερε τρεις αισθητήρες: τον αισθητήρα ALI (Advanced Land Imager), τον Hyperion και τον LAC (Linear Etalon Imaging Spectrometer Array/LEISA Atmospheric Corrector). Ο αρχικός σκοπός του αισθητήρα ALI ήταν η δοκιμή και ο έλεγχος της αξιοπιστίας νέων τεχνολογιών, με τις οποίες θα μπορούσε να επιτευχθεί σημαντική μείωση κόστους και βελτίωση στη λειτουργία μελλοντικών αποστολών του δορυφόρου Landsat. Ο αρχικός στόχος του αισθητήρα Hyperion ήταν να παρέχει ένα υπερφασματικό σύστημα παρατήρησης της γήινης επιφάνειας. Ο αισθητήρας Hyperion υποστήριζε ακόμη τη λεπτομερή αξιολόγηση των δύο άλλων αισθητήρων ALI και LAC καθώς και συγκρίσεις με το δορυφόρο Landsat 7 ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus). Ο σκοπός του αισθητήρα LAC ήταν η δοκιμή ενός ατμοσφαιρικού διορθωτή για τα ατμοσφαιρικά σφάλματα που περιέχουν οι δορυφορικές εικόνες κυρίως λόγω της απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας από τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας. Η δοκιμή αυτή γινόταν για να βελτιωθεί η ακρίβεια των εκτιμήσεων των αντανάκλασεων των αντικειμένων της γήινης επιφάνειας στις δορυφορικές εικόνες. Η αρχική αποστολή του δορυφόρου EO-1 ολοκληρώθηκε στις 20 Νοεμβρίου του 2001. Η αποστολή αυτή ήταν ιδιαίτερα πετυχημένη και ο δορυφόρος έμεινε σε πλήρη λειτουργία με τρεις αισθητήρες, [40].

Καθώς η αρχική αποστολή του EO-1 πλησίαζε στο τέλος της, υπήρξε μεγάλο ενδιαφέρον από πολλές επιστημονικές κοινότητες για την απόκτηση υπερφασματικών δεδομένων από τον αισθητήρα Hyperion και πολυφασματικών από τον αισθητήρα ALI. Εκτιμώντας παράγοντες όπως, [40]:

- α) η σημαντική λειτουργία των αισθητήρων του δορυφόρου
- β) η εξαιρετική αξία των δεδομένων
- γ) το υψηλό επίπεδο ενδιαφέροντος των χρηστών
- δ) η προθυμία που υπήρχε για χρηματοδότηση της περαιτέρω λειτουργίας του δορυφόρου EO-1

η NASA και η USGS (U.S. Geological Survey-Κέντρο Γεωλογικών Ερευνών των Η.Π.Α.) συμφώνησαν το Δεκέμβριο του 2001 τη συνέχιση της αποστολής του δορυφόρου EO-1.



Εικόνα 3.4. Ο δορυφόρος EO-1 κατά τη λήψη εικόνων της γήινης επιφάνειας, [41].

Η USGS είναι υπεύθυνη για διαδικασίες όπως ο προγραμματισμός των λήψεων, η λήψη των δεδομένων, η τοποθέτηση των δεδομένων σε καταλόγους, η διατήρηση των αρχείων όπως και η διανομή των προϊόντων. Η NASA διαχειρίζεται την αποστολή και τη λειτουργία του δορυφόρου EO-1. Ακόμη συντονίζει τη συλλογή των δεδομένων στο δίκτυο των επίγειων σταθμών και ρυθμίζει περιοδικά την τροχιά του δορυφόρου, έτσι ώστε να συνεχίζει να ακολουθεί την τροχιά του δορυφόρου Landsat 7 με διαφορά ενός λεπτού. Η NASA θα είναι ακόμη υπεύθυνη για την απομάκρυνση του δορυφόρου EO-1 από την τροχιά του και τη λειτουργία του κατά το στάδιο ολοκλήρωσης της αποστολής του, [40].

Ο Hyperion είναι ο πρώτος πολιτικός δορυφορικός υπερφασματικός αισθητήρας, που προσφέρει δεδομένα σχετικά χαμηλού κόστους. Παράλληλα προσφέρει δυνατότητα χρονικής κάλυψης διάφορων περιοχών της γήινης επιφάνειας, η οποία θα ήταν πολύ δύσκολο να υπάρξει με τη χρήση των εναέριων υπερφασματικών αισθητήρων. Ο αισθητήρας ALI προσφέρει πολυφασματικά δεδομένα, που είναι συγκρίσιμα με εκείνα του αισθητήρα ETM+ του δορυφόρου Landsat 7. Συγχρόνως όμως ο αισθητήρας ALI παρουσιάζει βελτιωμένη φασματική κάλυψη όπως και αυξημένη χωρική ανάλυση για τον παγχρωματικό του διάυλο, [40]. Τεχνικά χαρακτηριστικά των τριών αισθητήρων παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.4.

Πίνακας 3.4. Τεχνικά χαρακτηριστικά των αισθητήρων ALI, HYPERION και LAC του EO-1 και του ETM+ του LANDSAT 7, [42].

Τεχνικά Χαρακτηριστικά	Δορυφόρος Landsat 7 ETM+	Δορυφόρος EO-1		
		Αισθητήρας ALI	Αισθητήρας HYPERION	Αισθητήρας LAC
Φασματική περιοχή	0,4-2,4 μm	0,4-2,4 μm	0,356-2,577μm	0,9-1,6 μm
Χωρική ανάλυση	30m	30m	30m	250m
Πλάτος κάλυψης περιοχής	185km	37km	7,7km	185km
Φασματική ανάλυση	Μεταβλητή	Μεταβλητή	10nm	3-9nm
Φασματική κάλυψη	Διακριτή	Διακριτή	Συνεχής	Συνεχής
Χωρική ανάλυση παγχρωματικού διαύλου	15m	10m	-	-
Αριθμός φασματικών διαύλων	7	10	242	256

Ο Hyperion έχει συνολικά 198 βαθμονομημένους διαύλους (με πληροφορία).

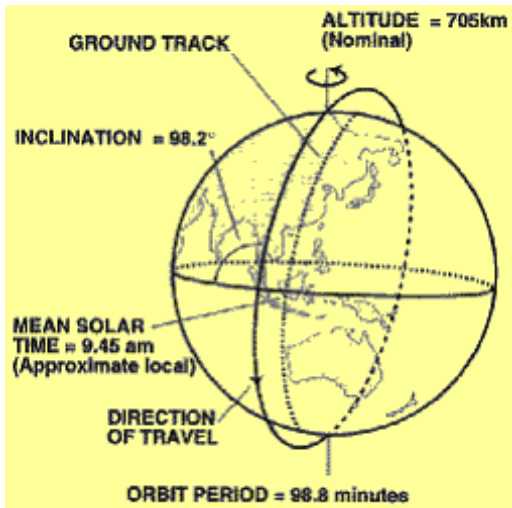
Ο δορυφόρος EO-1 είναι κατασκευασμένος από αλουμίνιο. Το βάρος του είναι 370kg. Οι διαστάσεις του όγκου του ως εξαγωνικό πρίσμα είναι 1,25m κατά μήκος στις επίπεδες επιφάνειες και 0,73m κατά ύψος. Ο EO-1 χρησιμοποιεί ένα προωθητικό σύστημα υδραζίνης για τη διόρθωση σφαλμάτων, τη διατήρηση της τροχιάς, το φορμάρισμα της λειτουργίας του καθώς και για μελλοντικές διαδικασίες, που αφορούν την τοποθέτηση του δορυφόρου εκτός τροχιάς. Διαθέτει ακόμη ένα αυτόνομο σύστημα, με το οποίο διατηρεί την τροχιά του σε κοντινή απόσταση πίσω από τον Landsat 7. Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει ένα δέκτη GPS για τον προσδιορισμό της θέσης επί του δορυφόρου καθώς επίσης και λογισμικό για τη βαθμονόμηση των αισθητήρων. Η δυνατότητα αποθήκευσης δεδομένων είναι: α) 1Gb για τα απαραίτητα δεδομένα λειτουργίας και β) 40Gb για τα δεδομένα συλλογής. Για την αποθήκευση τους χρησιμοποιείται ο επεξεργαστής καταγραφής WARP (Wideband Advanced Recorder Processor), [43].

Ο EO-1 είναι μικρού βάρους δορυφόρος (Lightsat). Οι δορυφόροι Lightsats έχουν μικρότερο κόστος, π.χ. το πρόγραμμα Lightsat στοιχίζει 20 εκατομμύρια δολάρια ενώ το SPOT 100-150 εκατομμύρια δολάρια, [2].

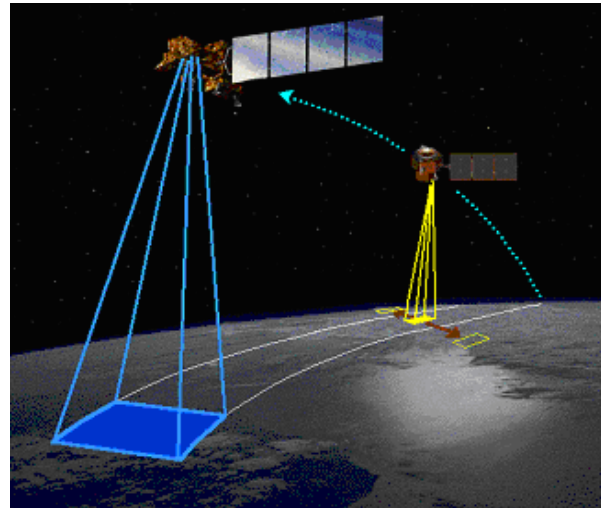
Ο EO-1 ακολουθεί μία επαναληπτική, κυκλική, ηλιοσύγχρονη, σχεδόν πολική τροχιά με ύψος 705km στον Ισημερινό (Εικ. 3.5). Κινείται από το Βορρά προς το Νότο κατά την καθοδική διεύθυνση της τροχιά του, διατηρώντας ένα μέσο χρόνο ημερήσιας διεύλευσης από τον Ισημερινό ανάμεσα στις 10πμ με 10.15πμ. Η ταχύτητά του είναι 7.5km/sec με κλίση τροχιάς 98,2 μοίρες και περίοδο τροχιάς 98,9 λεπτά. Η ταχύτητά του στο σημείο ναδίρ είναι 6,74km/sec. Ο EO-1 ολοκληρώνει λίγο περισσότερο από 14 τροχιές ανά ημέρα και έχει κύκλο επανεπίσκεψης 16 ημερών (Πίνακας 3.5). Επίσης, η τροχιά του ακολουθεί το παγκόσμιο σύστημα αναφοράς WRS-2 (World Reference System-2) (Εικ.3.7), [44]. Το σύστημα αναφοράς WRS-2 ορίστηκε αρχικά για τους δορυφόρους Landsat 4 και 5 και διατηρήθηκε το ίδιο για τον δορυφόρο Landsat 7. Περιλαμβάνει συντεταγμένες “path” που αντιστοιχούν στην τροχιά του δορυφόρου και συντεταγμένες “row” που αντιστοιχούν στο κέντρο της εικόνας, που λαμβάνεται, [45].

Ο δορυφόρος EO-1 διαγράφει την ίδια τροχιά με τον Landsat 7, ακολουθώντας τον με διαφορά ενός λεπτού (+/- 5 δευτερόλεπτα), (Εικ. 3.6). Η τροχιά αυτή είναι πολύ χρήσιμη για την πραγματοποίηση συγκρίσεων σχετικά με την απόδοση των αισθητήρων

μεταξύ των δύο δορυφόρων. Επειδή ο EO-1 είναι πολύ μικρότερος και ελαφρύτερος από τον Landsat 7, είναι απαραίτητο να γίνονται περιοδικές αναφλέξεις, ώστε να διατηρηθεί η μεταξύ τους απόσταση, εμποδίζοντας έτσι τον EO-1 να ξεπεράσει τον Landsat 7, [44].



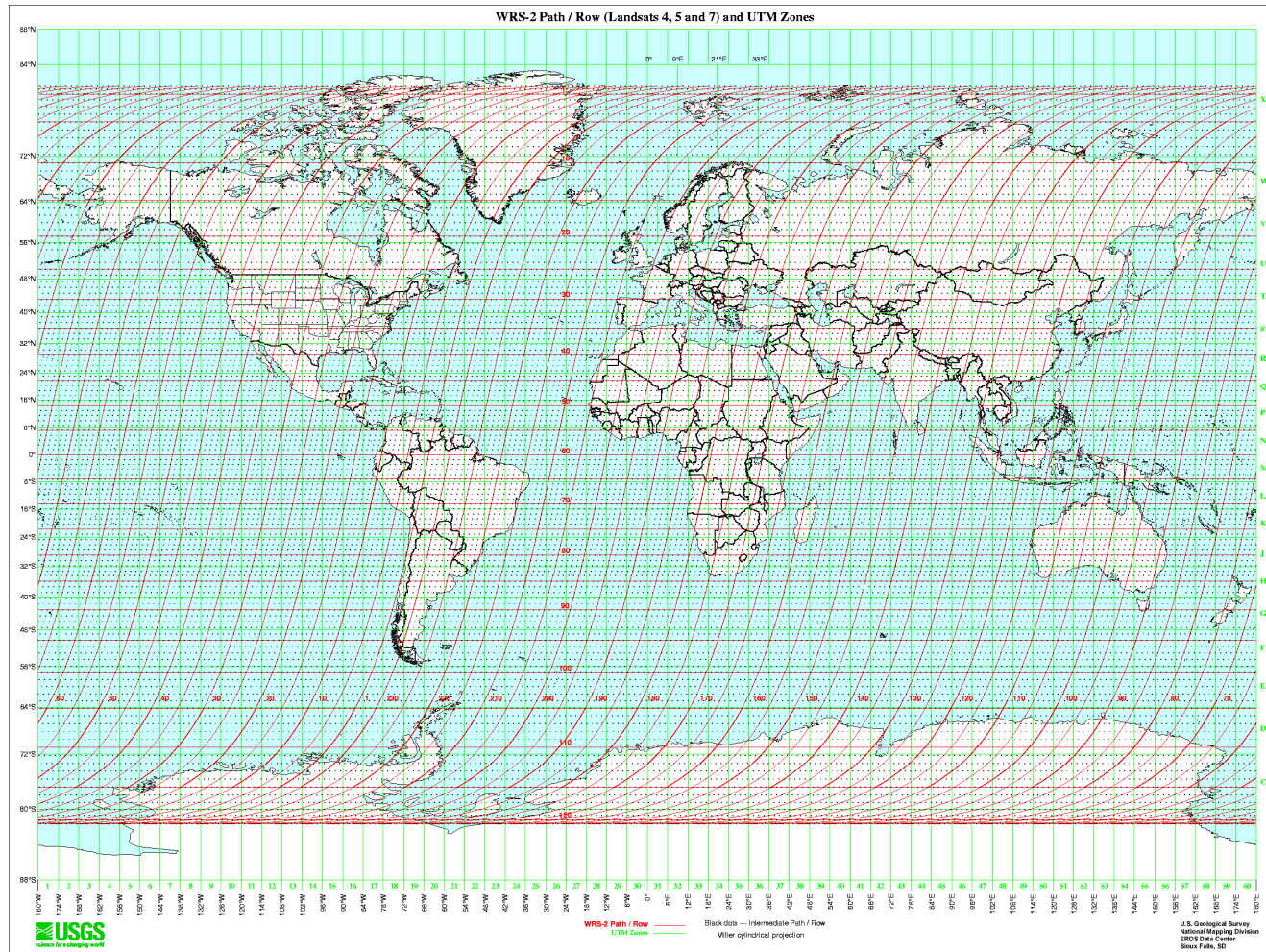
Εικόνα 3.5. Η τροχιά του δορυφόρου EO-1, [44].



Εικόνα 3.6. Ο δορυφόρος EO-1 ακολουθεί τον δορυφόρο Landsat 7 με διαφορά ενός λεπτού, [44].

Πίνακας 3.5. Τεχνικά χαρακτηριστικά του δορυφόρου EO-1, [44].

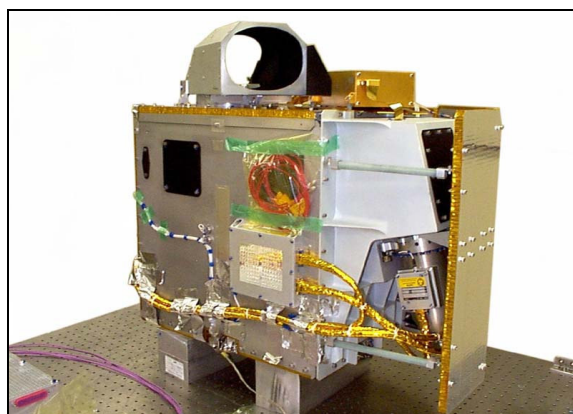
Τεχνικά Χαρακτηριστικά	Δορυφόρος EO-1
Τύπος τροχιάς	Κυκλική, ηλιοσύγχρονη, σχεδόν πολική
Ύψος	705 km
Κλίση	98.2 μοίρες
Περίοδος	99 min
Ταχύτητα	7.5 km/sec και 6.74 km/sec στο ναδίρ
Αριθμός τροχιών ανά ημέρα	Λίγο πάνω από 14 τροχιές ανά ημέρα
Συχνότητα επανεπίσκεψης	16 ημέρες



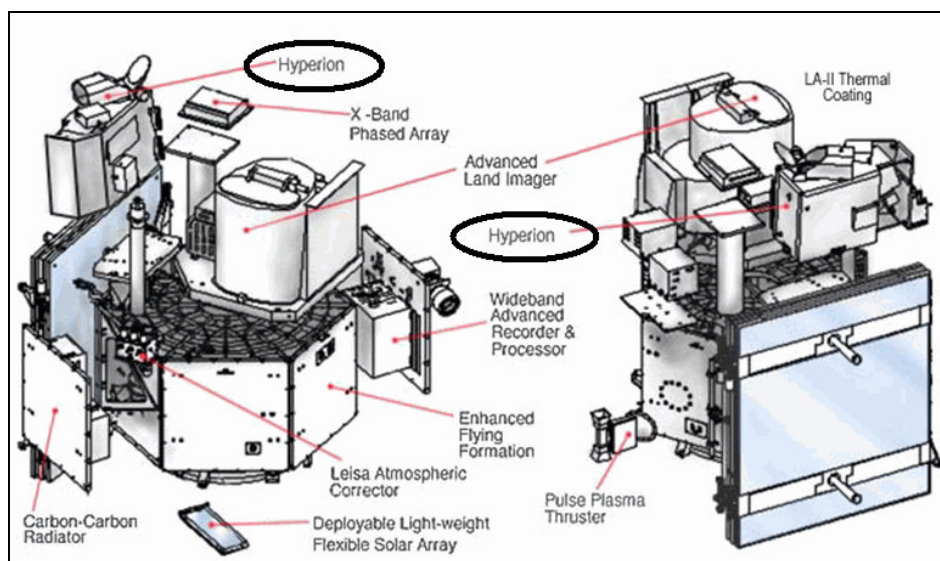
Εικόνα 3.7. Το παγκόσμιο σύστημα αναφοράς WRS-2 (World Reference System-2). Οι κόκκινες γραμμές αποτελούν τις διαδρομές ναδύρ (δηλαδή αυτές, κατά τις οποίες ο δορυφόρος περνά κατακόρυφα πάνω από το στόχο). Οι μαύρες κουκίδες είναι ενδιάμεσες διαδρομές. Οι πράσινες γραμμές δείχνουν τις ζώνες UTM, [46].

3.5. Ο ΥΠΕΡΦΑΣΜΑΤΙΚΟΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ HYPERION

Ο αισθητήρας Hyperion (Εικ. 3.8) συλλέγει υπερφασματικά δεδομένα σε 242 διαύλους στο συνεχές φάσμα από 0,356μm έως 2,577μm με χωρική ανάλυση 30m και μεγάλη ραδιομετρική ακρίβεια. Βρίσκεται στο δορυφόρο EO-1 (Εικ. 3.4), που εκτοξεύτηκε από την Αεροναυτική Βάση Vandenberg στις 21 Νοεμβρίου του 2000, ([27], [47]). Στην Εικόνα 3.9 παρουσιάζεται η θέση του αισθητήρα Hyperion στο σύστημα του δορυφόρου EO-1.

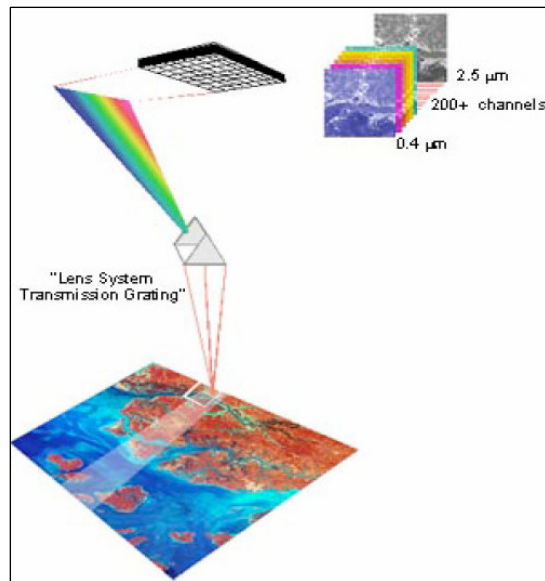


Εικόνα 3.8. Ο αισθητήρας Hyperion, [48].

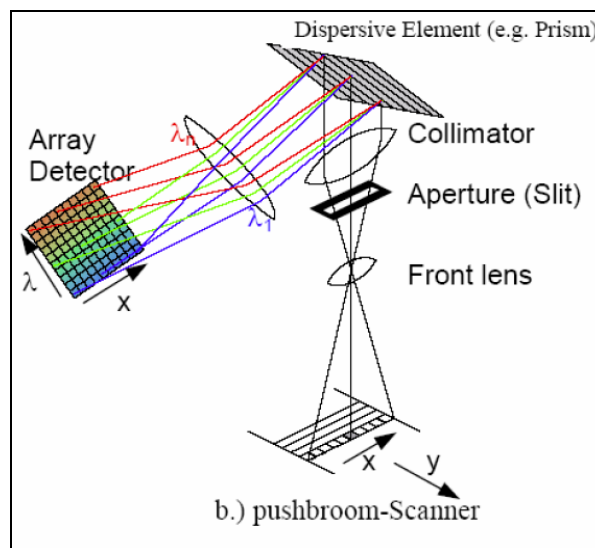


Εικόνα 3.9. Η θέση του αισθητήρα Hyperion στο σύστημα του δορυφόρου EO-1, [49].

Ο αισθητήρας Hyperion είναι σαρωτής σάρωθρο (“pushbroom scanner”) (Εικ. 3.10). Στην Εικόνα 3.11 παρουσιάζεται το σχηματικό διάγραμμα “pushbroom”. Η περιοχή μελέτης της γήινης επιφάνειας, για την οποία συλλέγονται δεδομένα, σαρώνεται γραμμή γραμμή κάθετα στη διεύθυνση κίνησης του δορυφορικού συστήματος απεικόνισης, [1]. Στην Εικόνα 3.10 παρουσιάζεται η λήψη μιας υπερφασματικής εικόνας.

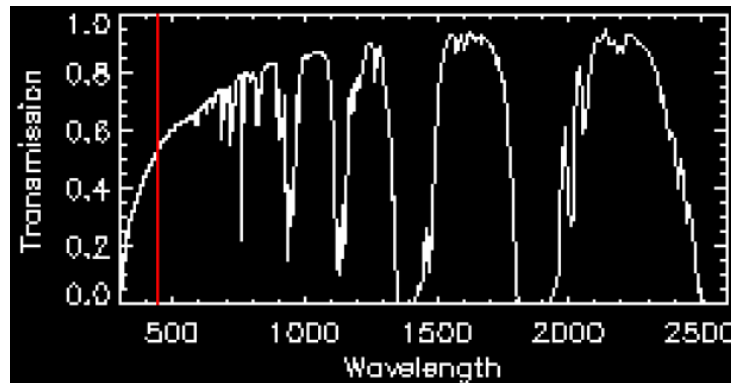


Εικόνα 3.10. Ο αισθητήρας Hyperion είναι σαρωτής “pushbroom”. Παρουσιάζεται η λήψη μιας υπερφασματικής εικόνας, [50].

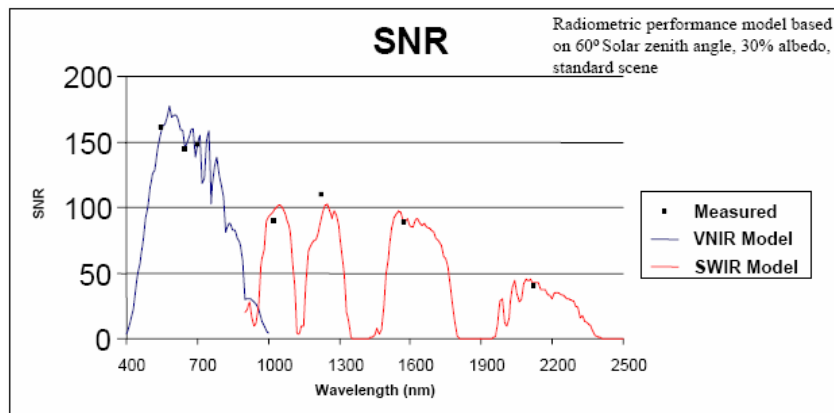


Εικόνα 3.11. Σχηματικό διάγραμμα pushbroom, [51].

Στις Εικόνες 3.12-3.13 παρουσιάζεται η φασματική ευαισθησία του αισθητήρα Hyperion και το διάγραμμα του λόγου του σήματος προς το θόρυβο (SNR-Signal to Noise Ratio) αντίστοιχα. Ο λόγος SNR εκφράζει την αναλογία της ισχύς του ηλεκτρομαγνητικού σήματος που καταγράφεται από το τηλεπισκοπικό σύστημα απεικόνισης προς την ισχύ του θορύβου, [52]. Στον Πίνακα 3.6 παρουσιάζεται ο λόγος του σήματος προς το θόρυβο για τον αισθητήρα Hyperion σε συγκεκριμένα μήκη κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.



Εικόνα 3.12. Η φασματική ευαισθησία του αισθητήρα Hyperion, [53].



Εικόνα 3.13. Ο λόγος του σήματος προς το θόρυβο για τον αισθητήρα Hyperion, [6].

Πίνακας 3.6. Ο λόγος του σήματος προς το θόρυβο για τον αισθητήρα Hyperion σε συγκεκριμένα μήκη κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, [6].

Hyperion Measured SNR						
550 nm	650 nm	700 nm	1025 nm	1225 nm	1575 nm	2125 nm
161	144	147	90	110	89	40

Οι υπερφασματικές εικόνες, λόγω της μεγάλης φασματικής διακριτότητάς τους, έχουν ευρύ πεδίο εφαρμογών σε κλάδους όπως στη γεωλογία, στη μεταλλειολογία, στη γεωργία και στην περιβαλλοντική διαχείριση. Η ταξινόμηση των εδαφικών εκτάσεων μέσω των υπερφασματικών δεδομένων Hyperion δίνει τη δυνατότητα για την εξερεύνηση ορυκτών από απόσταση με μεγαλύτερη ακρίβεια καθώς και καλύτερες προβλέψεις της ετήσιας σοδειάς, ([47], [54]). Στον Πίνακα 3.7 παρουσιάζονται παραδείγματα εφαρμογών των δεδομένων Hyperion και οι αντίστοιχες φασματικές περιοχές.

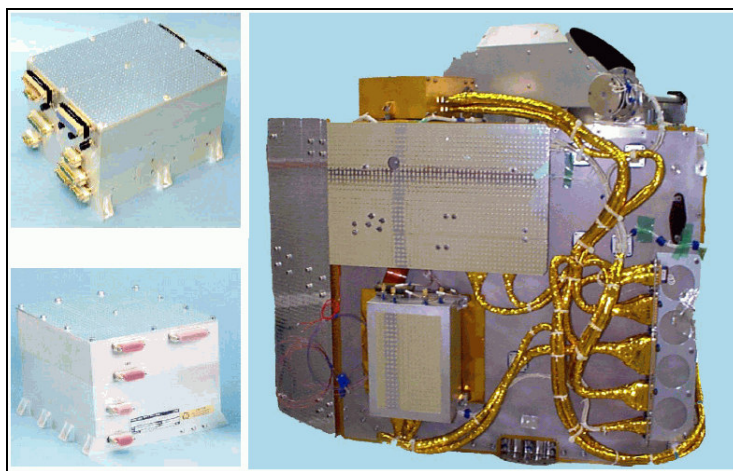
Πίνακας 3.7. Παρουσιάζονται οι φασματικές περιοχές Hyperion και οι αντίστοιχες εφαρμογές τους.

Διάυλοι	Φασματική περιοχή	Εφαρμογή
34-36	691-711nm (φασματική περιοχή VNIR)	Χαρτογράφηση του βυθού
42-52 52-57, 79-88 91-107	770nm-870nm 870nm-1020nm 1050nm-1210nm	Υγρασία της ατμόσφαιρας
8-57	426nm-895nm (φασματική περιοχή VNIR)	Αγροτικές καλλιέργειες Διαχωρισμός των διαφορετικών ειδών αγροτικών καλλιεργειών και χαρτογράφησή τους
195-220	2100nm-2355nm (φασματική περιοχή SWIR)	Γεωλογία/Ορυκτολογία Λεπτομερής χαρτογράφηση των ορυκτών Περιβαλλοντική Διαχείριση Ορυκτολογική χαρτογράφηση και ανάλυση

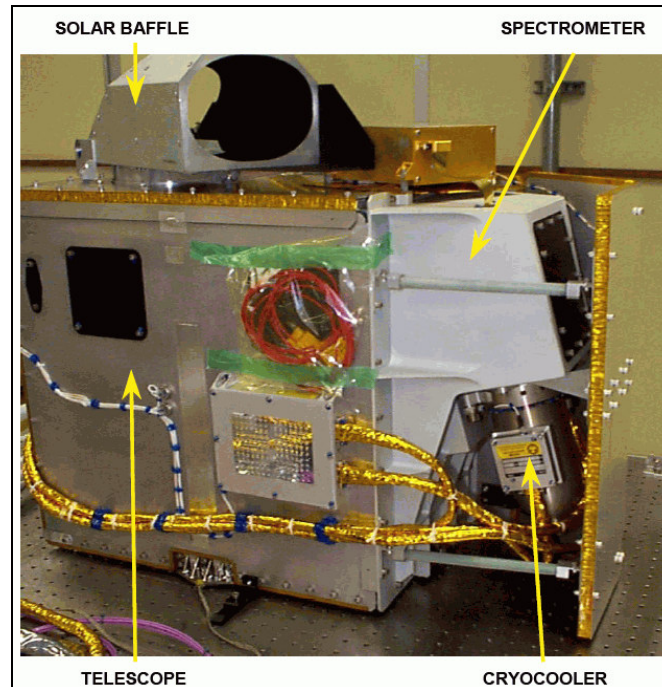
Ο υπερφασματικός αισθητήρας Hyperion αποτελείται από τις τρεις παρακάτω μονάδες (Εικ. 3.14), [55]:

1. HEA (Hyperion Electronics Assembly)
2. CEA (Cryocooler Electronics Assembly)
3. HSA (Hyperion Sensor Assembly)

Η μονάδα HEA περιλαμβάνει το σύστημα σύνδεσης και ελέγχου των ηλεκτρονικών. Η μονάδα CEA ελέγχει τη λειτουργία του συστήματος “cryocooler”, που λειτουργεί με σκοπό τη ψύχρανση του εστιακού επιπέδου του φασματόμετρου SWIR. Η μονάδα HSA (Εικ. 3.15) περιλαμβάνει τα οπτικά συστήματα, το σύστημα “cryocooler”, ένα σύστημα βαθμονόμησης καθώς και υψηλής ταχύτητας ηλεκτρονικά για το εστιακό επίπεδο των φασματόμετρων, ([47], [55]).



Εικόνα 3.14. Οι τρεις μονάδες, από τις οποίες αποτελείται ο αισθητήρας Hyperion. Η μονάδα HEA (πάνω αριστερά), η μονάδα CEA (κάτω αριστερά) και η μονάδα HSA (δεξιά), [55].



Εικόνα 3.15. Η μονάδα HSA. Περιλαμβάνει τα φασματόμετρα, το τηλεσκόπιο και το σύστημα “cryocooler”, [55].

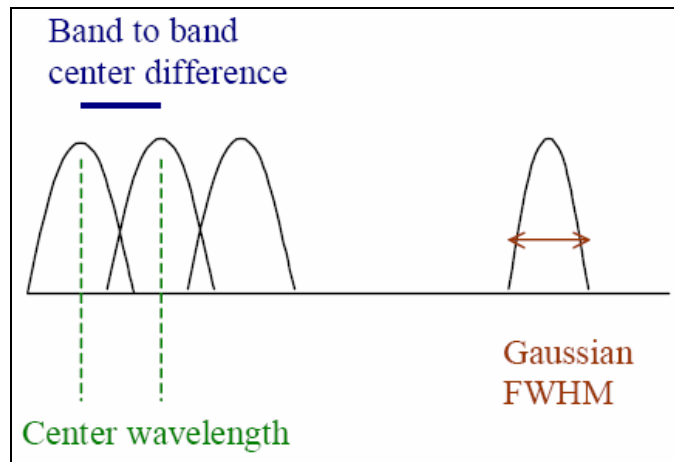
Τα δεδομένα του Hyperion συλλέγονται σε διάστημα 10nm (κατά μέσο όρο) στο συνεχές φάσμα από 356nm έως 2577nm από δύο φασματόμετρα: Ένα στην ορατή και εγγύς υπέρυθρη περιοχή VNIR (Visual Near Infrared) και ένα στη βραχεία υπέρυθρη περιοχή SWIR (Shortwave Infrared). Υπάρχει μια περιοχή φασματικής επικάλυψης ανάμεσα στα δύο φασματόμετρα από τα 852nm μέχρι τα 1058nm. Η χρήση δύο φασματόμετρων συμβάλλει στη βελτίωση του λόγου του σήματος προς το θόρυβο SNR (Signal-to-Noise Ratio), ([27], [47]).

Ο αισθητήρας Hyperion έχει 242 διαύλους, εκ των οποίων οι διάυλοι 1-7 (356-417nm), 58-70 (936nm-1058nm), 71-76 (852nm-902nm) και 225-242 (2406-2577nm) δεν έχουν βαθμονομηθεί. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στην απώλεια σήματος στα αντίστοιχα μήκη κύματος. Τα δεδομένα των διαύλων 1-70 έχουν συλλεγεί από το φασματόμετρο VNIR και τα δεδομένα των διαύλων 71-242 έχουν συλλεγεί από το φασματόμετρο SWIR (Πίνακας 3.3). Η εικόνα έχει συνολικά 198 βαθμονομημένους διαύλους, που καλύπτουν το φάσμα από 427nm έως 2395nm. Λόγω της επικάλυψης μεταξύ των δύο φασματόμετρων στους διαύλους 56-57 και 77-78 αντίστοιχα (φασματική

περιοχή από 912nm περίπου έως 923nm), η εικόνα έχει 196 φασματικά ασυσχέτιστους διαύλους, ([27], [33]).

Ενώ ο μέσος όρος του φασματικού εύρους κάθε διαύλου είναι 10nm, το πραγματικό εύρος ποικίλει από διάυλο σε διάυλο. Το φασματικό εύρος κάθε διαύλου του Hyperion βασίζεται στην τιμή FWHM (Full-Width Half-Max). Η τιμή αυτή προσδιορίζεται από τη φασματική καμπύλη του σήματος του αισθητήρα και είναι η οριζόντια απόσταση μεταξύ των δύο σημείων της καμπύλης του σήματος, που έχουν τιμή το μισό της μέγιστης (Εικ. 3.16). Το κέντρο της φασματικής περιοχής (Εικ. 3.16) και το φασματικό εύρος κάθε διαύλου περιλαμβάνονται στα αρχικά δεδομένα, ([20], [27]). Επίσης, παρουσιάζονται στον Πίνακα 1 του παραρτήματος και υπάρχουν στην ιστοσελίδα [56].

Στον Πίνακα 3.8 παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα Hyperion.

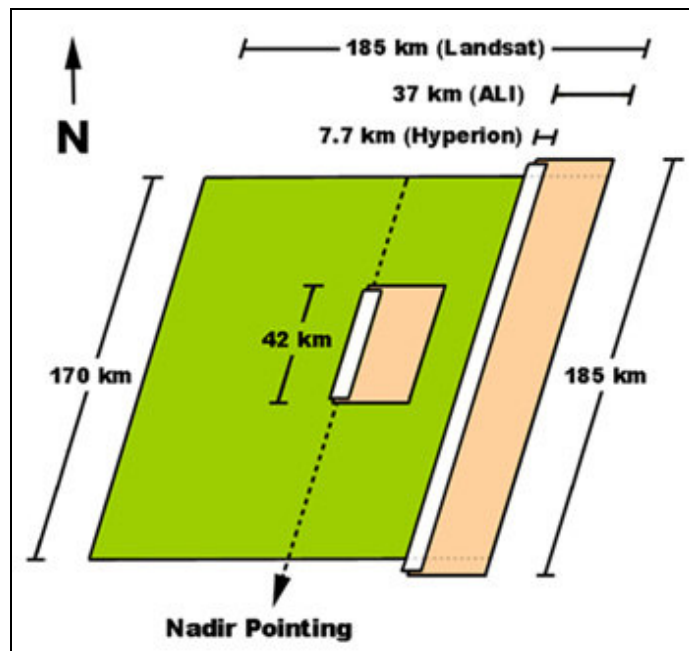


Εικόνα 3.16. Το κέντρο της φασματικής περιοχής κάθε διαύλου και η τιμή FWHM, [57].

Πίνακας 3.8. Τεχνικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα Hyperion, ([44], [55], [58]).

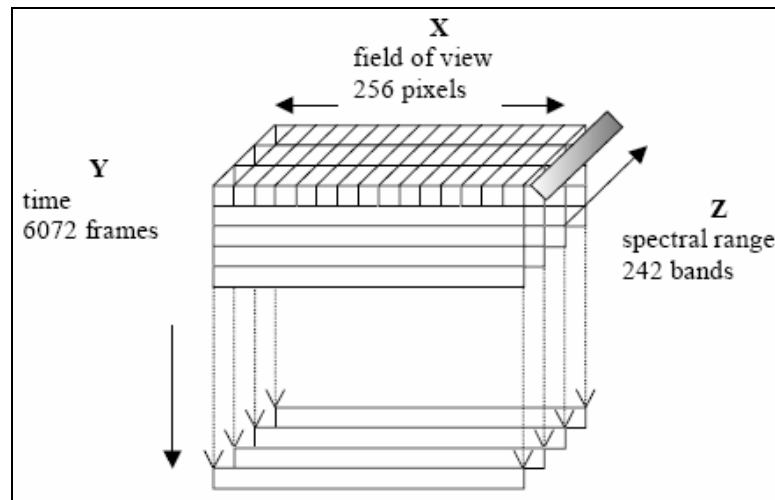
Τεχνικά Χαρακτηριστικά	Αισθητήρας Hyperion
Μέγεθος (μήκος × πλάτος × ύψος, σε cm)	39 cm × 75 cm × 66 cm
Βάρος	49 Kg
Μέση ισχύ	51 W
Άνοιγμα τηλεσκοπίου	12 cm
Στιγμιαίο οπτικό πεδίο (IFOV)	0.043 mrad
Κατά πλάτος οπτικό πεδίο (Crosstrack FOV)	0.63 μοίρες
Ραδιομετρική ανάλυση	12 bits
Χωρική ανάλυση	30 m
Φασματική ανάλυση	10 nm
Φασματική περιοχή	356-2577 nm
Αριθμός φασματικών διαύλων	242
Φασματική κάλυψη	συνεχής
Πλάτος κάλυψης περιοχής	7.7 km
Ονομαστικό μέγεθος εικόνας	7.7 km × 42 km ή 7.7 km × 185 km
Συχνότητα επανεπίσκεψης	16 ημέρες
Τρόπος λειτουργίας	pushbroom

Κάθε υπερφασματική εικόνα του αισθητήρα Hyperion συλλέγεται ως μια στενή λωρίδα με διαστάσεις 7.7km×42km ή 7.7×185km (Εικ. 3.17). Το πλάτος της εικόνας στη διεύθυνση του άξονα των X είναι 7.7km ενώ το μήκος κατά τον άξονα των Y 42km ή 185km ανάλογα με τις διαστάσεις, που έχουν καθοριστεί κατά τον προγραμματισμό της λήψης της εικόνας. Μια κανονική υπερφασματική εικόνα Hyperion καλύπτει 42km κατά μήκος, γεγονός που αντιστοιχεί σε περίπου 6 δευτερόλεπτα λήψης δεδομένων. Μια εκτεταμένη εικόνα, καλύπτει 185km κατά μήκος, που αντιστοιχεί σε 25 περίπου δευτερόλεπτα λήψης δεδομένων, [44].



Εικόνα 3.17. Η συλλογή των εικόνων Hyperion γίνεται σε στενή λωρίδα 7.7km×42km ή 7.7km×185km, [44].

Τα υπερφασματικά δεδομένα Hyperion, για μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή, μπορούν να παρασταθούν με έναν κύβο, στον οποίο ο άξονας X εκφράζει τις στήλες της εικόνας, ο άξονας Y τις γραμμές και ο άξονας Z το φασματικό διάυλο ή το μήκος κύματος. Στην Εικόνα 3.18 παρουσιάζεται σχήμα του υπερφασματικού κύβου εικόνας Hyperion.

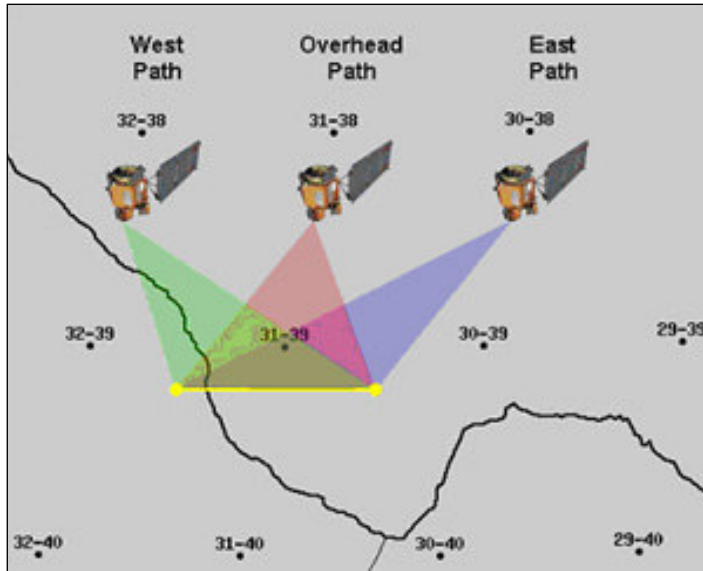


Εικόνα 3.18. Υπερφασματικός «κύβος» δεδομένων εικόνας Hyperion, [57].

Η τροχιά του δορυφόρου EO-1, όπως προαναφέρθηκε, ακολουθεί το παγκόσμιο σύστημα αναφοράς WRS-2 (World Reference System-2) (Εικ. 3.7), με συχνότητα επανεπίσκεψης 16 ημερών για περιοχές μέσα στην τρέχουσα διαδρομή (διαδρομή ναδίρ). Παρόλα αυτά ο αισθητήρας Hyperion μπορεί να σκοπεύσει πλάγια, επιτρέποντας έτσι τη λήψη εικόνων σε στόχους, που βρίσκονται έξω από την τρέχουσα διαδρομή του δορυφόρου. Ο Hyperion μπορεί να προγραμματιστεί για την πλάγια λήψη εικόνων μέχρι μίας γειτονικής διαδρομής (δυτικά ή ανατολικά) από εκείνη, που διανύει ο δορυφόρος, σύμφωνα με το σύστημα WRS-2, (Εικ. 3.19), [44].

Ο Hyperion επιτρέπει τον προγραμματισμό λήψεων για τρεις διαδρομές της τροχιάς του δορυφόρου EO-1. Οι διαδρομές αυτές είναι, [44]:

1. διαδρομή ναδίρ, κατά την οποία ο δορυφόρος περνάει κατακόρυφα πάνω από το στόχο (μία φορά στις 16 ημέρες)
2. δυτική διαδρομή, κατά την οποία ο αισθητήρας σκοπεύει ανατολικά (7 ημέρες μετά το πέρασμα του δορυφόρου από τη διαδρομή ναδίρ)
3. ανατολική διαδρομή, κατά την οποία ο αισθητήρας σκοπεύει δυτικά (9 ημέρες μετά το πέρασμα του δορυφόρου κατακόρυφα πάνω από το στόχο)



Εικόνα 3.19. Παράδειγμα ενδεχόμενων διαδρομών του δορυφόρου EO-1 για τη λήψη εικόνων Hyperion, [44].

Σχεδόν όλες οι εικόνες του αισθητήρα Hyperion, λαμβάνονται με μια μικρή μη μηδενική γωνία. Αυτό συμβαίνει, γιατί στις περισσότερες περιπτώσεις η περιοχή μελέτης, για την οποία λαμβάνονται δεδομένα δε βρίσκεται ακριβώς κατά μήκος της διαδρομής ναδίρ του δορυφόρου. Οι πραγματικά ναδιρικές λήψεις δεδομένων Hyperion είναι πολύ σπάνιες και αποτελούν λιγότερο του 1%, [44].

Η πολύ μικρή αυτή γωνία (“look angle”), με την οποία γίνονται οι λήψεις των εικόνων, εξαρτάται από, [44]:

- τη θέση της εικόνας στο παγκόσμιο σύστημα αναφοράς WRS-2
- το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής, που απεικονίζεται στην εικόνα

Γενικά το εύρος των ενδεχόμενων γωνιών λήψης εικόνων Hyperion είναι μικρότερο κοντά στις πολικές περιοχές και αυξάνεται με τη μείωση του γεωγραφικού πλάτους.

Θα πρέπει να αποφεύγονται μη ναδιρικές δορυφορικές λήψεις, που απέχουν περισσότερο από μία γειτονική διαδρομή από τη διαδρομή ναδίρ, γιατί οι λήψεις αυτές έχουν αρνητική επίδραση στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της εικόνας. Αυτό ισχύει ειδικά για περιοχές με μικρό γεωγραφικό πλάτος (π.χ. κοντά στον Ισημερινό), [44].

Οι αρχικές εικόνες Hyperion από τα κέντρα λήψης και διάθεσης (USGS-U.S. Geological Survey-Κέντρο Γεωλογικών Ερευνών των Η.Π.Α.) χαρακτηρίζονται από το επίπεδο επεξεργασίας τους. Το επίπεδο αυτό προσδιορίζει το είδος της επεξεργασίας, που υφίστανται οι εικόνες, πριν τις παραλάβει ο χρήστης. Τα επίπεδα αυτά είναι:

Επίπεδα επεξεργασίας των δεδομένων Hyperion

- **Επίπεδο 0**
- **Επίπεδο 1R**
- **Επίπεδο 1Gst**

Το επίπεδο 0 των υπερφασματικών δεδομένων Hyperion

Στο επίπεδο 0 ανήκουν τα πρωταρχικά δεδομένα, που λαμβάνονται από τον αισθητήρα Hyperion (raw data). Στα δεδομένα αυτά δεν έχει εφαρμοστεί καμία επεξεργασία, [34].

Το επίπεδο 1R (radiometrically corrected) των υπερφασματικών δεδομένων Hyperion

Η κύρια επεξεργασία των δεδομένων Hyperion στο επίπεδο 1R είναι η ραδιομετρική βαθμονόμηση και οι διορθώσεις του θορύβου, που υπάρχει στα πρωταρχικά δεδομένα, που λαμβάνονται από τον αισθητήρα, [34].

Αρχικά όλα τα δεδομένα του επιπέδου 1 παράγονταν από την Thompson Ramo Woolridge (TRW) και βασίζονταν σε αλγόριθμους, που είχαν αναπτυχθεί σε συνεργασία με την επιστημονική ομάδα ελέγχου του δορυφόρου EO-1. Πάνω σ'αυτούς τους αλγόριθμους βασίστηκε η NASA (National Aeronautics and Space Administration) και ανέπτυξε τον κώδικα επεξεργασίας του επιπέδου 1R των δεδομένων. Ο κώδικας αυτός χρησιμοποιείται και δίνει τα δεδομένα Hyperion (USGS-U.S. Geological Survey-Κέντρο Γεωλογικών Ερευνών των Η.Π.Α.), που διατίθενται από το Δεκέμβριο του 2001, [34].

Οι παρακάτω αλγόριθμοι περιγράφουν την επεξεργασία των δεδομένων Hyperion επιπέδου 1R. Δίνονται ακόμη οι διαφορές ανάμεσα στα παλιότερα δεδομένα Hyperion (TRW) και τα νεότερα (USGS).

Αλγόριθμοι του επιπέδου 1R

Τα δεδομένα εισαγωγής στην επεξεργασία επιπέδου 1R αποτελούνται από δύο φακέλους βαθμονόμησης [dark (pre-image and post-image) calibration files], ένα φάκελο με παραμέτρους βαθμονόμησης (CPF-Calibration Parameter File), ένα φάκελο με παραμέτρους διόρθωσης, τη δορυφορική εικόνα, καθώς και πληροφορίες τηλεμετρίας, [34].

Αρχικές διορθώσεις (μόνο για την περιοχή SWIR του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος)

Το πρώτο βήμα στην επεξεργασία του επιπέδου 1R είναι να γίνει η διόρθωση του θορύβου, που είναι γνωστό ότι επηρεάζει τη βραχεία υπέρυθρη περιοχή του φάσματος (SWIR). Η διόρθωση αυτή εφαρμόζεται στην εικόνα καθώς και στους δύο φακέλους βαθμονόμησης.

Εφαρμογή βαθμονόμησης

Μετά την εφαρμογή των παραπάνω διαδικασιών η ραδιομετρική βαθμονόμηση περιλαμβάνει τον πολλαπλασιασμό των τιμών των ψηφίδων της εικόνας με συντελεστές, που ονομάζονται “gains”, για την απόκτηση μιας ραδιομετρικά διορθωμένης εικόνας. Οι τιμές, με τις οποίες πολλαπλασιάζεται η εικόνα, είναι αποθηκευμένες στο φάκελο των παραμέτρων βαθμονόμησης (CPF).

Επαναπροσδιορισμός της κλίμακας για την τελική εικόνα

Στη ραδιομετρικά διορθωμένη εικόνα εφαρμόζονται δύο διαφορετικοί παράγοντες κλίμακας για να σχηματιστούν οι ψηφιακές τιμές (DN) των τελικών δεδομένων. Οι παράγοντες κλίμακας αφορούν: 1) την ορατή και εγγύς υπέρυθρη περιοχή του φάσματος (VNIR) και 2) τη βραχεία υπέρυθρη περιοχή (SWIR).

- Για τους βαθμονομημένους διαύλους στην ορατή και εγγύς υπέρυθρη περιοχή (VNIR), οι τιμές των ψηφίδων της εικόνας πολλαπλασιάζονται με 40
- Για τους βαθμονομημένους διαύλους στη βραχεία περιοχή (SWIR), οι τιμές των ψηφίδων της εικόνας πολλαπλασιάζονται με 80

Δημιουργία αρχείου “flag mask”

Δημιουργείται το αρχείο “flag mask”, που δείχνει την κατάσταση των ανιχνευτών (σύστημα ανίχνευσης του δορυφόρου). Οι τιμές των ψηφίδων, που χρησιμοποιούνται, είναι οι εξής:

0 = Κανονικά δεδομένα, “normal data”

1 = “saturated pixel”

2 = Ανιχνευτές εκτός λειτουργίας που δίνουν μηδενικές τιμές, “dead detector”

3 = Ανιχνευτές εκτός λειτουργίας που καταχωρούν μια σταθερή τιμή, “flat detector”

4 = ψηφίδα, της οποίας η τιμή υπερβαίνει το πεδίο βαθμονόμησης (“fill value”)

Ευθυγράμμιση μεταξύ των περιοχών VNIR και SWIR

Κατά τη διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων στο επίπεδο 1R εφαρμόζεται μια τελική γεωμετρική διόρθωση. Η διόρθωση αυτή περιλαμβάνει τη μετακίνηση των διαύλων της βραχείας υπέρυθρης περιοχής, ώστε να βρίσκονται σε ευθυγραμμία με τους διαύλους της ορατής και εγγύς υπέρυθρης περιοχής. Εφαρμόζεται ως εξής:

- Στη διεύθυνση X, όλες οι ψηφίδες της βραχείας υπέρυθρης περιοχής μετακινούνται κατά -1. Η ψηφίδα #1 (στη στήλη 1) απομακρύνεται και η ψηφίδα #256 (στήλη 256) αντικαθίσταται με 0.
- Στη διεύθυνση Y, οι ψηφίδες #129-256 μετακινούνται κατά +1 ψηφίδα. Η γραμμή 1 για τις ψηφίδες #129-256 αντικαθίσταται με μηδενικές τιμές (0) και η τελική γραμμή για τις ψηφίδες #129-256 απομακρύνεται. Οι ψηφίδες #0-128 δε μετακινούνται κατά τη διεύθυνση Y.

Προετοιμασία των τελικών δεδομένων

Το τελικό βήμα στην επεξεργασία των δεδομένων είναι η απόδοσή τους σε τύπο HDF, η πρόσθεση του κέντρου της φασματικής περιοχής (spectral center wavelengths-CWL) και του φασματικού εύρους κάθε διαύλου, το οποίο βασίζεται στις τιμές FWHM (Full-Width-Half-Max) (Εικ. 3.16). Η τιμή FWHM (Full-Width Half-Max) προσδιορίζεται από τη φασματική καμπύλη του σήματος του αισθητήρα. Είναι η οριζόντια απόσταση μεταξύ των δύο σημείων της καμπύλης του σήματος,

που έχουν τιμή το μισό της μέγιστης. Σ' αυτό το στάδιο παράγεται επίσης ένα αρχείο σε format ENVI, που ονομάζεται "header file".

Τα τελικά δεδομένα επιπέδου 1R παρέχονται σε τιμές ακτινοβολίας επί του αισθητήρα με μονάδες μέτρησης $W / (m^2 \times Sr \times \mu m)$ {Watt / ($m^2 \times Steradian \times \mu m$)}, δηλαδή σε φασματική ακτινοβολία ανά μm . Τα δεδομένα αποθηκεύονται ως ακέραιοι 16-bit (τύπος: signed integer). Στα δεδομένα του επιπέδου 1R θα χρειαστεί να επαναπροσδιοριστεί η κλίμακα από το χρήστη για να ληφθούν οι αρχικές τιμές ακτινοβολίας:

$$VNIR L = DN / 40$$

$$SWIR L = DN / 80$$

Τα δεδομένα Hyperion αποτελούνται από 242 διαύλους, εκ των οποίων οι 198 είναι βαθμονομημένοι και είναι οργανωμένα σε format BIL (Band-Interleaved-by-Line). Στα δεδομένα αυτά εκτός από την εικόνα περιλαμβάνεται και το φασματικό εύρος των διαύλων, το κέντρο της φασματικής περιοχής κάθε διαύλου, οι συντελεστές "gain" και το αρχείο "flag mask". Επιπλέον περιλαμβάνεται ένα αρχείο σε format ENVI ("header file"), που περιέχει πληροφορίες για την εικόνα, [33].

Πιο συγκεκριμένα τα δεδομένα Hyperion για το επίπεδο 1R είναι τα, [33]:

1. entityID.MET
2. entityID.L1R
3. entityID.hdr

Στο αρχείο "entityID.L1R" υπάρχουν πέντε διαφορετικά δεδομένα. Π.χ.:

(256x242x2905): entityID.L1R	εικόνα (διάυλοι 1-242)
(256x242): Spectral Center Wavelengths	κέντρο της φασματικής περιοχής του κάθε διαύλου σε nm (διάυλοι 1-242)
(256x242): Spectral Bandwidths	φασματικό εύρος (nm) του κάθε διαύλου (διάυλοι 1-242)

(256x242): Gain Coefficients	συντελεστές “gain”, που χρησιμοποιήθηκαν στη ραδιομετρική βαθμονόμηση
(256x242x2905): Flag Mask	δείχνει τους αδρανείς ή αναξιόπιστους ανιχνευτές του δορυφορικού αισθητήρα απεικόνισης

όπου στο συγκεκριμένο παράδειγμα:

256 = ο αριθμός των στηλών

242 = ο αριθμός των διαύλων

2905 = ο αριθμός των γραμμών στο φάκελο

Διαφορές ανάμεσα στα δεδομένα TRW και USGS για το επίπεδο επεξεργασίας 1R

Τα νεότερα δεδομένα Hyperion (USGS-U.S. Geological Survey-Κέντρο Γεωλογικών Ερευνών των Η.Π.Α.) παράγονται από ένα σύστημα επεξεργασίας, που αρχικά είχε αναπτυχθεί από την TRW (Thompson Ramo Woolridge). Ο αρχικός κώδικας επεξεργασίας TRW (επίπεδο_1B) μεταφέρθηκε στη USGS (U.S. Geological Survey) για την παραγωγή των δεδομένων Hyperion USGS. Κατά τη μεταφορά αυτή μεγάλο μέρος του αρχικού κώδικα TRW παρέμεινε το ίδιο. Έγιναν μόνο μερικές τροποποιήσεις για την παραγωγή των νεότερων δεδομένων Hyperion (USGS), [33].

Ως μέρος της μετάβασης από τα παλαιότερα στα νεότερα δεδομένα Hyperion δημιουργήθηκε ένα νέο format για τα δεδομένα αυτά. Το format αυτό είναι το “Hierarchical Data Format” (HDF). Τα δεδομένα του επιπέδου 1R, που είναι οι εικόνες, το κέντρο της φασματικής περιοχής και το φασματικό εύρος κάθε διαύλου, οι συντελεστές “gain” και ο φάκελος “flag mask” αποτελούν ένα αρχείο. Τα παλαιότερα δεδομένα Hyperion (TRW) αποτελούνταν από δορυφορικές εικόνες μαζί με ξεχωριστά αρχεία, που περιείχαν συμπληρωματικές πληροφορίες, [33].

Συγκρίσεις ανάμεσα στα νεότερα δεδομένα Hyperion (USGS) και τα παλαιότερα (TRW) έχουν δείξει ότι τα πρώτα είναι σχεδόν ισοδύναμα με τα δεύτερα. Έχει βρεθεί επίσης, ότι για τους περισσότερους διαύλους οι ραδιομετρικές διαφορές, που υπάρχουν, είναι λιγότερες από 1%. Παρόλα αυτά υπάρχουν κάποιες συγκεκριμένες διαφορές ανάμεσα στα νεότερα δεδομένα (USGS) και τα παλαιότερα (TRW), [33]:

1. Στα νεότερα δεδομένα (USGS) οι ανιχνευτές (τμήμα ανίχνευσης του δορυφορικού αισθητήρα απεικόνισης), που δε λειτούργησαν κατά τη λήψη της εικόνας, δε διορθώνονται, ούτε χρησιμοποιείται παρεμβολή για την αντικατάσταση των τιμών τους. Γι' αυτό στις στήλες των εικόνων, όπου υπάρχουν ανιχνευτές “εκτός λειτουργίας”, είναι ορατές κάθετες λωρίδες.
2. Μπορεί να υπάρχουν ραδιομετρικές διαφορές ανάμεσα στα νεότερα δεδομένα Hyperion (USGS) και τα παλαιότερα (TRW), γιατί στα πρώτα δεν εφαρμόστηκε παρεμβολή για τους ανιχνευτές, που ήταν “εκτός λειτουργίας”.
3. Υπάρχει μια επιπλέον γραμμή σάρωσης στα νεότερα δεδομένα (USGS). Η γραμμή αυτή έχει τοποθετηθεί για να διευκολύνει τη μετακίνηση των διαύλων της βραχείας υπέρυθρης περιοχής (SWIR) κατά το στάδιο επεξεργασίας επιπέδου 1R.

Το επίπεδο 1Gst (Systematic Terrain-Corrected) των υπερφασματικών δεδομένων Hyperion

Η USGS (U.S. Geological Survey) σε συνεργασία με τη NASA (National Aeronautics and Space Administration) έχει δώσει σε κυκλοφορία νέα δεδομένα του αισθητήρα Hyperion, τα οποία είναι συστηματικά διορθωμένα για το ανάγλυφο του εδάφους (επίπεδο 1Gst, Systematic Terrain-Corrected). Αυτό το νέο επίπεδο επεξεργασίας των δεδομένων παρέχει υψηλή ποιότητα και βελτιωμένη γεωμετρική ακρίβεια. Τα δεδομένα του επιπέδου L1R (radiometrically corrected) είναι μόνο ραδιομετρικά διορθωμένα, [59].

Το νέο επίπεδο 1Gst των υπερφασματικών δεδομένων Hyperion περιλαμβάνει αυτοματοποιημένη διόρθωση λόγω αναγλύφου. Η διόρθωση αυτή βασίζεται στο υψομετρικό μοντέλο του εδάφους (DEM-Digital Elevation Model). Περιλαμβάνεται ακόμη ραδιομετρική βαθμονόμηση και γεωμετρική διόρθωση των δεδομένων με τη χρήση των αστρονομικών δορυφορικών εφημερίδων, [59].

Για τα περισσότερα δεδομένα Hyperion, τα υψομετρικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται στη γεωμετρική διόρθωση είναι τα SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Τα δεδομένα SRTM είναι υψομετρικά δεδομένα που συλλέγονται με σύστημα ραντάρ και χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία DEM. Για εικόνες που παρουσιάζουν

μεγάλο κενό μεταξύ τους, όσον αναφορά την κάλυψη από τα υψομετρικά δεδομένα SRTM, χρησιμοποιείται το GTOPO30 (Global 30-Arc Second Elevation Data Set). Το GTOPO30 είναι ένα παγκόσμιο ψηφιακό DEM. Τα νέα δεδομένα L1Gst δεν περιλαμβάνουν τη χρήση επίγειων σημείων ελέγχου (GCPs), ([59], [60], [61]).

Οι υπερφασματικές εικόνες επιπέδου L1Gst βρίσκονται σε προβολή UTM (Universal Transverse Mercator) και σε datum WGS84. Κατά την επεξεργασία τους έχει εφαρμοστεί επαναδειγματοληψία με τη μέθοδο “cubic convolution”, [59].

Για τα αρχεία δεδομένων Hyperion 1R ακολουθείται συγκεκριμένος τρόπος ονομασίας. Το όνομά τους περιέχει κωδικοποιημένες πληροφορίες σχετικά π.χ. με το δορυφόρο, τον αισθητήρα κ.λ.π. Ο τύπος κωδικοποίησης είναι ο εξής, [33]:

EO1SPPPRRRYYYYYDDDXXXML_GGG_VV

Όπου:

EO1 = Δορυφόρος

S = Αισθητήρας, με τον οποίο έγινε η λήψη των δεδομένων (H=Hyperion ή A=ALI)

PPP = Συν/νη (“path”) του δορυφόρου στο παγκόσμιο σύστημα αναφοράς WRS (Εικόνα 3.7) τη στιγμή λήψης της εικόνας

RRR = Συν/νη (“row”) του δορυφόρου στο παγκόσμιο σύστημα αναφοράς WRS (Εικόνα 3.7) τη στιγμή λήψης της εικόνας

YYYY = Έτος λήψης των δεδομένων

DDD = Ιουλιανή ημέρα λήψης των δεδομένων

X = Hyperion (0=μη ενεργοποιημένος, 1=ενεργοποιημένος)

X = ALI (0=μη ενεργοποιημένος, 1=ενεργοποιημένος)

X = AC (0=μη ενεργοποιημένος, 1=ενεργοποιημένος)

M = Τρόπος σκόπευσης (P=ο αισθητήρας σκόπευε στα πλαίσια της τρέχουσας διαδρομής του, δηλαδή κατακόρυφα, για τη λήψη της εικόνας ή K=σκόπευε ανατολικά/δυτικά της τρέχουσας διαδρομής του)

L = Μήκος εικόνας (F=ολόκληρη εικόνα, P=τμήμα εικόνας)

GGG = Επίγειος σταθμός λήψης των δεδομένων

VV = Αριθμός έκδοσης

3.6. Η ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ ΥΠΕΡΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ HYPERION

Μετά την προεπεξεργασία τα υπερφασματικά δεδομένα μετατρέπονται στην κατάλληλη μορφή, για να εφαρμοστούν σ' αυτά οι τεχνικές ατμοσφαιρικής διόρθωσης. Στην παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκαν 4 τεχνικές ατμοσφαιρικής διόρθωσης: α) FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes) (ENVI 4.3), β) IARR (Internal Average Relative Reflectance) (ENVI 4.3 και ERDAS IMAGINE 9.0), γ) Empirical Line (ENVI 4.3 και ERDAS IMAGINE 9.0) και δ) Flat Field (ENVI 4.3) και Modified Flat Field (ERDAS IMAGINE 9.0) για τη μείωση των ατμοσφαιρικών σφαλμάτων λόγω διάχυσης και απορρόφησης, που περιέχουν. Χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά ENVI 4.3 και ERDAS IMAGINE 9.0. Για την εφαρμογή των τεχνικών IARR, Empirical Line, Flat Field και Modified Flat Field δεν απαιτείται προεπεξεργασία.

Για να εφαρμοστεί το μοντέλο ατμοσφαιρικής διόρθωσης FLAASH πρέπει τα δεδομένα εικόνας, [20]:

- να είναι ραδιομετρικά βαθμονομημένα
- να είναι σε μορφή ENVI Standard
- ο τύπος τους να είναι floating-point, 4-byte signed integer, 2-byte signed integer ή 2-byte unsigned integer
- να βρίσκονται σε format BIL (Band Interleaved by Line) ή BIP (Band Interleaved by Pixel)
- οι μονάδες μέτρησής τους να είναι $\mu\text{W}/(\text{cm}^2 \text{ sr nm})$ { $\mu\text{Watt}/(\text{cm}^2 \times \text{Steradian} \times \text{nm})$ }, δηλαδή φασματική ακτινοβολία ανά μονάδα μέτρησης μήκους κύματος (εδώ ανά nm).
- να διαθέτουν στον φάκελο "header file", που περιλαμβάνεται στα δεδομένα, το κέντρο της φασματικής περιοχής κάθε διαύλου (Εικ. 3.16) και το φασματικό εύρος του βάσει της τιμής FWHM (Full Width Half Maximum) (Εικ. 3.16). Η τιμή FWHM για κάθε δίαυλο προσδιορίζεται από τη φασματική καμπύλη του σήματος του αισθητήρα Hyperion. Είναι η οριζόντια απόσταση

μεταξύ των δύο σημείων της καμπύλης του σήματος, που έχουν τιμή το μισό της μέγιστης.

Τα αρχικά δεδομένα Hyperion χαρακτηρίζονται από το επίπεδο επεξεργασίας τους. Το επίπεδο αυτό προσδιορίζει το είδος της επεξεργασίας, που υφίστανται οι αρχικές εικόνες, πριν τις παραλάβει ο χρήστης. Τα δεδομένα της παρούσας διπλωματικής εργασίας βρίσκονται στο επίπεδο 1R, που σημαίνει ότι είναι ραδιομετρικά βαθμονομημένα και διορθωμένα για τον θόρυβο, που υπάρχει στο στάδιο λήψης τους από το δορυφορικό αισθητήρα. Ο τύπος των δεδομένων είναι 16-bit signed integer και πληρεί τις απαιτήσεις του FLAASH. Τα δεδομένα βρίσκονται σε μορφή HDF (Hierarchical Data Format). Οι τιμές τους είναι σε $W / (m^2 \times Sr \times \mu m)$ {Watt / ($m^2 \times Steradian \times \mu m$)}, δηλαδή σε φασματική ακτινοβολία ανά μm . Στα δεδομένα περιλαμβάνεται το αρχείο “header file”, που περιέχει τις απαραίτητες πληροφορίες για την εφαρμογή του μοντέλου ατμοσφαιρικής διόρθωσης FLAASH στην υπερφασματική εικόνα της συγκεκριμένης εργασίας.

Κατά την εισαγωγή της εικόνας στο λογισμικό ENVI 4.3 τα διαθέσιμα format είναι τα: BIL (Band Interleaved by Line), BIP (Band Interleaved by Pixel) ή BSQ (Band Sequential Format). Στο format BIL αποθηκεύεται η πρώτη γραμμή του πρώτου διαύλου, στη συνέχεια η πρώτη γραμμή του δεύτερου διαύλου κ.λ.π. Στο format BIP αποθηκεύεται το πρώτο pixel για όλους τους διαύλους σε διαδοχική σειρά, στη συνέχεια το δεύτερο pixel για όλους τους διαύλους και ούτω καθεξής. Υπάρχει και το format BSQ στο οποίο ο κάθε διάυλος αποθηκεύεται ξεχωριστά. Η εικόνα κατά την προεπεξεργασία της εισήχθη στο λογισμικό σε format BIL.

Μέσω της προεπεξεργασίας έγινε μετατροπή των δεδομένων σύμφωνα με τις απαιτήσεις του λογισμικού FLAASH. Γι’ αυτό τα δεδομένα μετατράπηκαν από HDF (Hierarchical Data Format) σε μορφή ENVI Standard μέσω της επιλογής “Save File As ENVI Standard” και αποθηκεύτηκαν σε format BIL.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.3 αφαιρέθηκαν οι διάυλοι 1-7, 58-70, 71-76 (φασματική περιοχή VNIR-Visual Near Infrared) και 225-242 (φασματική περιοχή SWIR- Shortwave Infrared), που δεν περιέχουν καμία πληροφορία. Επίσης αφαιρέθηκαν οι διάυλοι 77-78 λόγω φασματικής επικάλυψης με τους διαύλους 56-57. Οι διάυλοι που παρέμειναν είναι

συνολικά 196, από τους οποίους οι 50 ανήκουν στη φασματική περιοχή VNIR (διάυλοι 8-57) και οι 146 στην περιοχή SWIR (διάυλοι 79-224).

Οι μονάδες μέτρησης των τιμών των δεδομένων εικόνας {Watt/(m² x Steradian x μm)}, που αφορούν τη φασματική ακτινοβολία ανά μονάδα μέτρησης μήκους κύματος, είναι μικρότερες κατά τον παράγοντα 10 από εκείνες, που απαιτεί το FLAASH {μWatt/(cm² x Steradian x nm)}. Γ' αυτό μετατράπηκαν από Watt/(m² x Steradian x μm) σε μWatt/(cm² x Steradian x nm) με τη χρήση του αρχείου "scale factors", που είναι τύπου ASCII και ζητείται κατά την εφαρμογή της ατμοσφαιρικής διόρθωσης στα δεδομένα εικόνας. Οι τιμές των ψηφίδων της εικόνας διαιρέθηκαν με τις τιμές, που υπάρχουν στο αρχείο αυτό.

Στην υπερφασματική εικόνα της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας ήταν απαραίτητο να επαναπροσδιοριστεί η κλίμακα, με σκοπό να ληφθούν οι αρχικές τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας, που καταγράφηκαν από το δορυφορικό σύστημα απεικόνισης. Για να γίνει αυτό οι τιμές των διαύλων VNIR (Visual Near Infrared) πρέπει να διαιρεθούν με το 40 και οι τιμές των διαύλων SWIR (Shortwave Infrared) με το 80. Δηλαδή:

$$\text{VNIR } L = \text{DN} / 40$$

$$\text{SWIR } L = \text{DN} / 80$$

Τελικά για να μετατραπούν τα δεδομένα από Watt/(m² x Steradian x μm) σε μWatt/(cm² x Steradian x nm), οι τιμές των των διαύλων VNIR διαιρέθηκαν με το 400 και των διαύλων SWIR με το 800.

Οι τιμές στο αρχείο "scale factors" για τη μετατροπή των μονάδων των δεδομένων πρέπει να βρίσκονται σε στήλη. Κάθε γραμμή αντιστοιχεί σε ένα διάυλο, π.χ. η πρώτη τιμή αντιστοιχεί στον πρώτο διάυλο κ.λ.π. Στο αρχείο, που δημιουργήθηκε, οι 50 πρώτες γραμμές αντιστοιχούν στη φασματική περιοχή VNIR και συμπληρώθηκαν με το νούμερο 400. Οι επόμενες 146 γραμμές, που αντιστοιχούν στη φασματική περιοχή SWIR, συμπληρώθηκαν με το νούμερο 800.

Για την εφαρμογή της διαδικασίας "Wavelength Recalibration" κατά την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας Hyperion το λογισμικό FLAASH απαιτεί όλους

τους διαύλους της εικόνας. Γι' αυτό χρησιμοποιήθηκε η εικόνα πριν την αφαίρεση των διαύλων, που δεν περιέχουν καμία πληροφορία ή συμπίπτουν φασματικά με άλλους. Για την εφαρμογή της δημιουργήθηκε ένα επιπλέον αρχείο "scale factors", που έχει συνολικά 242 γραμμές, όσοι οι αρχικοί δίαυλοι των δεδομένων εικόνας. Οι 70 πρώτες γραμμές, που αντιστοιχούν στους διαύλους VNIR, συμπληρώθηκαν με το 400 και οι υπόλοιπες 172 γραμμές, που αντιστοιχούν στους διαύλους SWIR, με το 800.

3.7. Η ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΔΙΟΡΘΩΣΗΣ ΤΗΣ ΥΠΕΡΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ HYPERION

Παρακάτω παρουσιάζεται η μεθοδολογία, που ακολουθήθηκε, για την ατμοσφαιρική διόρθωση των υπερφασματικών δεδομένων HYPERION, δηλαδή για τη μείωση των ατμοσφαιρικών σφαλμάτων της διάχυσης και της απορρόφησης, που περιέχουν.

Αρχικά παρουσιάζεται το μοντέλο ατμοσφαιρικής διόρθωσης FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes) και στη συνέχεια οι αλγόριθμοι ατμοσφαιρικής διόρθωσης IARR (Internal Average Relative Reflectance), Empirical Line, Flat Field και Modified Flat Field. Το μοντέλο FLAASH και ο αλγόριθμος Flat Field υπάρχουν στο λογισμικό ENVI 4.3. Ο αλγόριθμος Modified Flat Field υπάρχει στο λογισμικό ERDAS IMAGINE 9.0 και οι αλγόριθμοι IARR και Empirical Line υπάρχουν και στα δύο λογισμικά.

3.7.1. Το μοντέλο ατμοσφαιρικής διόρθωσης FLAASH

Για την ατμοσφαιρική διόρθωση των τηλεπισκοπικών δεδομένων αναπτύχθηκαν μοντέλα που επιχειρούν να ποσοτικοποιήσουν την ακριβή σύσταση της ατμόσφαιρας τη στιγμή της λήψης των δεδομένων και στη συνέχεια να υπολογίσουν τις πιθανές επιδράσεις της ατμόσφαιρας στα δεδομένα. Τα μοντέλα αυτά ονομάζονται "atmospheric transmission codes". Οι κώδικες αυτοί αποδείχθηκαν αρκετά ακριβείς στην πρόβλεψη των αποτελεσμάτων, που είχαν οι ατμοσφαιρικές επιδράσεις επάνω στις υπερφασματικές εικόνες. Πάνω σ' αυτούς τους κώδικες έχει βασιστεί ένας αριθμός αλγορίθμων

ατμοσφαιρικής διόρθωσης τηλεπισκοπικών δεδομένων μεταξύ των οποίων είναι και το FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes), [5].

Το λογισμικό FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes) αναπτύχθηκε από την Spectral Sciences, Inc. σε συνεργασία με το U.S. Air Force Research Laboratory (AFRL) και το προσωπικό του Spectral Information Technology Application Center (SITAC) στις Η.Π.Α.. Το λογισμικό αυτό έχει τη δυνατότητα, [62]:

- να εφαρμόζεται τόσο σε υπερφασματικά όσο και σε πολυφασματικά δεδομένα
- να διορθώνει τις εικόνες οποιουδήποτε υπερφασματικού αισθητήρα, που καταγράφει την ορατή, την εγγύς υπέρυθρη και τη βραχεία υπέρυθρη περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος μέχρι τα 3μm, από τα ατμοσφαιρικά σφάλματα που περιέχουν λόγω της απορρόφησης και της σκέδασης στην ατμόσφαιρα

Παράλληλα παράγει μια εικόνα για τα σύννεφα (cloud map) που απεικονίζονται στα τηλεπισκοπικά δεδομένα και μια εικόνα για την υγρασία της ατμόσφαιρας στην περιοχή μελέτης τη στιγμή λήψης των δεδομένων (column water vapor image). Επίσης, διορθώνει τα δεδομένα είτε η λήψη τους είναι ναδιρική είτε υπό κλίση, [62].

Ο αλγόριθμος του FLAASH χρησιμοποιεί κατά την εφαρμογή του το μοντέλο MODTRAN (MOderate resolution TRANsmittance code). Το MODTRAN είναι ένα από τα μοντέλα “atmospheric transmission codes” που προαναφέρθηκαν και υπολογίζει την πολλαπλή σκέδαση της ηλιακής ακτινοβολίας τη στιγμή της λήψης των δεδομένων. Είναι ένα ατμοσφαιρικό μοντέλο μεταφοράς της ηλιακής ακτινοβολίας. Προβλέπει τις διαδρομές της ηλιακής ακτινοβολίας και τη μετάδοσή της μέσα από την ατμόσφαιρα. Για κάθε εικόνα υπολογίζεται μια μοναδική λύση γι’ αυτό το μοντέλο. Το MODTRAN αναπτύχθηκε από το Εργαστήριο Έρευνας “Air Force” στις Η.Π.Α., [62].

Το FLAASH αξιοποιεί την πληροφορία των υπερφασματικών εικόνων με το να υπολογίζει μια ξεχωριστή λύση για κάθε ψηφίδα. Παράλληλα ελαχιστοποιεί το θόρυβο, που υπάρχει στα αποτελέσματα άλλων αλγορίθμων. Αυτό το πετυχαίνει με την τεχνική

“spectral polishing” (φασματική ομαλοποίηση). Επίσης, εφαρμόζει βαθμονόμηση στους διαύλους των υπερφασματικών εικόνων ως τμήμα της ατμοσφαιρικής διόρθωσης, [62].

Ο αλγόριθμος του FLAASH χρησιμοποιεί τη συνάρτηση (3.1) για τη φασματική ακτινοβολία που καταγράφεται από το δορυφορικό αισθητήρα για κάθε ψηφίδα. Οι επιφάνειες, στις οποίες εφαρμόζεται, λαμβάνονται ως επιφάνειες “Lambertian” ή ισοδύναμές τους. Δηλαδή θεωρείται ότι τα αντικείμενα της γήινης επιφάνειας αντανακλούν την ακτινοβολία ίσα προς όλες τις διευθύνσεις. Η συνάρτηση αυτή είναι η εξής, [20]:

$$L = \left(\frac{A\rho}{1-\rho_e S} \right) + \left(\frac{B\rho_e}{1-\rho_e S} \right) + L_a \quad (3.1)$$

Όπου:

L είναι η ακτινοβολία που καταγράφεται από το δορυφορικό αισθητήρα για κάθε ψηφίδα

ρ είναι η αντανάκλαση επιφάνειας της ψηφίδας

ρ_e είναι μια μέση αντανάκλαση της επιφάνειας της ψηφίδας και της γύρω περιοχής της

S είναι η σφαιρική αντανάκλαστικότητα της ατμόσφαιρας

L_a είναι η ακτινοβολία, που διαχέεται από την ατμόσφαιρα

A και B είναι συντελεστές, που εξαρτώνται από ατμοσφαιρικές και γεωμετρικές συνθήκες

Κάθε μία από αυτές τις μεταβλητές εξαρτάται από το φασματικό διάυλο. Ο πρώτος όρος (ρ) στη συνάρτηση (3.1) αντιστοιχεί στην ηλιακή ακτινοβολία, που αντανακλάται από τη γήινη επιφάνεια και μεταφέρεται απευθείας στον αισθητήρα. Ο δεύτερος όρος (ρ_e) αντιστοιχεί στην ακτινοβολία από την επιφάνεια, που στη συνέχεια διαχέεται από την ατμόσφαιρα μέσα στον αισθητήρα. Η διάκριση ανάμεσα στις ακτινοβολίες ρ και ρ_e γίνεται για τις επιδράσεις από τη γειτνίαση των ψηφίδων, δηλαδή για τη χωρική ανάμειξη της ηλιακής ακτινοβολίας ανάμεσα στις κοντινές ψηφίδες (adjacency effect). Η ανάμειξη αυτή προκαλείται από τη διάχυση της ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα. Για να

μην εφαρμοστεί η διόρθωση των επιδράσεων από τη γεινίαση των ψηφίδων, τίθεται $\rho = \rho_e$, [20].

Οι τιμές των A, B, S και L_a καθορίζονται από το MODTRAN4, που χρησιμοποιεί τη γωνία του ήλιου, τη γωνία οπτικού πεδίου του αισθητήρα και το μέσο υψόμετρο της επιφάνειας της περιοχής μελέτης, που απεικονίζεται στη δορυφορική εικόνα. Παράλληλα το MODTRAN4 χρησιμοποιεί υποθετικά ένα μοντέλο για την ατμόσφαιρα, έναν τύπο μείγματος ατμοσφαιρικών αερίων και σωματιδίων και ένα πεδίο ορατότητας για την κάθε εικόνα, [20].

Τα μοντέλα πρόβλεψης των διαδρομών της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα (π.χ. MODTRAN4) χρησιμοποιούνται από λογισμικά ατμοσφαιρικής διόρθωσης όπως είναι το FLAASH για την απομάκρυνση της διάχυτης ακτινοβολίας “ L_p ” (Κεφ. 2.3, Εικ. 2.21-2.23). Τα μοντέλα αυτά προβλέπουν τις διαδρομές της ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα για συγκεκριμένη μέρα και περιοχή μελέτης. Η πληροφορία σχετικά με τις διαδρομές της ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα χρησιμοποιείται για να απομακρύνει την ακτινοβολία “ L_p ”, που καταγράφηκε από το δορυφορικό σύστημα απεικόνισης χωρίς να περιέχει πληροφορία σχετικά με την περιοχή μελέτης. Επειδή η ακτινοβολία αυτή εισάγει σφάλμα στη διαδικασία συλλογής των δεδομένων, δυσκολεύει την ερμηνεία των εικόνων και την απόκτηση φασματικής πληροφορίας με ακρίβεια, πρέπει να απομακρυνθεί, [4].

Οι τιμές των A, B, S και L_a εξαρτώνται από την ποσότητα των σταγονιδίων νερού, που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα. Η ποσότητα αυτή γενικά δεν είναι γνωστή και μπορεί να ποικίλει στην έκταση της δορυφορικής εικόνας. Για τον προσδιορισμό της άγνωστης και μεταβλητής “water vapor column”, που αφορά την υγρασία της ατμόσφαιρας, χρησιμοποιείται το μοντέλο MODTRAN4, [20].

Αφού έχει προσδιοριστεί η υγρασία της ατμόσφαιρας όπως ήταν τη στιγμή της λήψης της εικόνας, μέσω της συνάρτησης (3.1) υπολογίζεται η αντανάκλαση της γήινης επιφάνειας. Αυτό συμβαίνει για κάθε ψηφίδα όλων των διαύλων του αισθητήρα. Η μέθοδος επίλυσης περιλαμβάνει τον υπολογισμό μιας «κατά μέσο όρο» εικόνας ακτινοβολίας L_e , από την οποία προσδιορίζεται η μέση χωρική αντανάκλαση ρ_e . Γίνεται χρήση της προσεγγιστικής συνάρτησης (3.2), [20]:

$$L_e \approx \left(\frac{(A+B)\rho_e}{1-\rho_e S} \right) + L_a \quad (3.2)$$

Ο υπολογισμός των μέσων όρων των παραπάνω ποσοτήτων πραγματοποιείται με τη χρήση της συνάρτησης σημειακής πηγής. Το μοντέλο του Flaash περιλαμβάνει μία μέθοδο για τον προσδιορισμό των ατμοσφαιρικών αερίων και σωματιδίων όπως ήταν τη στιγμή της λήψης των δεδομένων από επιλεγμένες σκουρόχρωμες ψηφίδες της εικόνας (Kaufman et al.-1997), [20].

Για την απομάκρυνση των ατμοσφαιρικών επιδράσεων της διάχυσης και της απορρόφησης από τα δεδομένα, θα πρέπει να είναι γνωστές ιδιότητες όπως η υγρασία της ατμόσφαιρας και το μείγμα αερίων και σωματιδίων της ατμόσφαιρας. Επειδή άμεσες μετρήσεις αυτών των ποσοτήτων σπάνια είναι διαθέσιμες, υπάρχουν τεχνικές που τις εξάγουν από τα ίδια τα δεδομένα. Αυτό συμβαίνει επειδή οι εικόνες περιέχουν πληροφορία όχι μόνο από τη γήινη επιφάνεια αλλά και από την ατμόσφαιρα, [20].

Το μοντέλο ατμοσφαιρικής διόρθωσης FLAASH εφαρμόζεται μέσω του “Basic Tools, Preprocessing, Calibration Utilities, FLAASH” ή του “Spectral, FLAASH” στο ENVI 4.3 (παράρτημα Εικ. 11-12).

Η εφαρμογή ατμοσφαιρικής διόρθωσης με τη χρήση του μοντέλου FLAASH προϋποθέτει την εισαγωγή συγκεκριμένων παραμέτρων οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω, [24]:

Απαραίτητες παράμετροι για τη χρήση του FLAASH

- Εισαγωγή πληροφορίας σχετική με τα υπερφασματικά δεδομένα και τον τηλεπισκοπικό αισθητήρα όπως π.χ. οι συντεταγμένες του κέντρου της εικόνας, το μέσο υψόμετρο της περιοχής μελέτης που απεικονίζεται στην εικόνα, ο τύπος του τηλεπισκοπικού αισθητήρα, το ύψος του δορυφόρου κ.λ.π., (Εικ. 3.20-(1))
- Επιλογή ατμοσφαιρικού μοντέλου (Εικ. 3.20-(2))
- Ο προσδιορισμός της υγρασίας της ατμόσφαιρας (Water Retrieval) (Εικ. 3.20-(3))

- Επιλογή μοντέλου για το μείγμα των αερίων και σωματιδίων της ατμόσφαιρας (Aerosol Model) (Εικ. 3.20-(4))
- Επιλογή για τον προσδιορισμό του μείγματος των ατμοσφαιρικών αερίων και σωματιδίων (Aerosol Retrieval) (Εικ. 3.20-(5))
- Αρχική τιμή ορατότητας της εικόνας (Εικ. 3.20-(6))

Στην Εικόνα 3.20 παρουσιάζεται το παράθυρο διαλόγου του μοντέλου ατμοσφαιρικής διόρθωσης FLAASH για τις παραπάνω παραμέτρους, στο οποίο έχουν γίνει οι εισαγωγές σύμφωνα με τα δεδομένα της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας. Π.χ. έχουν εισαχθεί οι συν/νες του κέντρου της εικόνας, ο τύπος του αισθητήρα, η ημερομηνία και η ώρα λήψης της εικόνας, ένα μέσο προσεγγιστικό υψόμετρο για την περιοχή μελέτης της εικόνας, το ατμοσφαιρικό μοντέλο κ.λ.π.

FLAASH Atmospheric Correction Model Input Parameters

Input Radiance Image: E:\epex_PS\dedomena_E01_110\110_196_BIL

Output Reflectance File: E:\epex_PS\200m\rural\app_reflectance_rural_K-T

Output Directory for FLAASH Files: E:\epex_PS\200m\rural\

Rootname for FLAASH Files: app_refl_196_rural_K-T flaash_

Scene Center Location: DD <-> DMS

Sensor Type: HYPERION

Flight Date: Oct 5 2001

Lat: 40.63300000

Sensor Altitude (km): 705.000

Ground Elevation (km): 0.200

Pixel Size (m): 30.000

Lon: 22.95000000

Flight Time GMT (HH:MM:SS): 8:59:3

Atmospheric Model: Mid-Latitude Summer (2)

Aerosol Model: Rural (4)

Spectral Polishing: Yes (1)

Water Retrieval: Yes (3)

Aerosol Retrieval: 2-Band (K-T) (5)

Width (number of bands): 9

Water Absorption Feature: 1135 nm

Initial Visibility (km): 40.00 (6)

Wavelength Recalibration: No

Apply Cancel Help

Hyperspectral Settings... Advanced Settings... Save... Restore...

Εικόνα 3.20. Το παράθυρο διαλόγου του μοντέλου ατμοσφαιρικής διόρθωσης FLAASH για την εισαγωγή των παραμέτρων του όπως ο τύπος του αισθητήρα, το ατμοσφαιρικό μοντέλο κ.ά.

Εισαγωγή πληροφορίας σχετική με τα υπερφασματικά δεδομένα και τον αισθητήρα

Απαιτείται η εισαγωγή των συντεταγμένων του κέντρου της εικόνας, του μέσου υψομέτρου της περιοχής μελέτης που απεικονίζεται στην εικόνα, του τύπου του τηλεπισκοπικού αισθητήρα, του ύψους του δορυφόρου, της ημερομηνίας και του χρόνου λήψης της δορυφορικής εικόνας. Με τη χρήση των παραπάνω δεδομένων το FLAASH προσδιορίζει τη θέση του ήλιου και τη διαδρομή του φωτός μέσα από την ατμόσφαιρα στο έδαφος και πίσω στον αισθητήρα, [20].

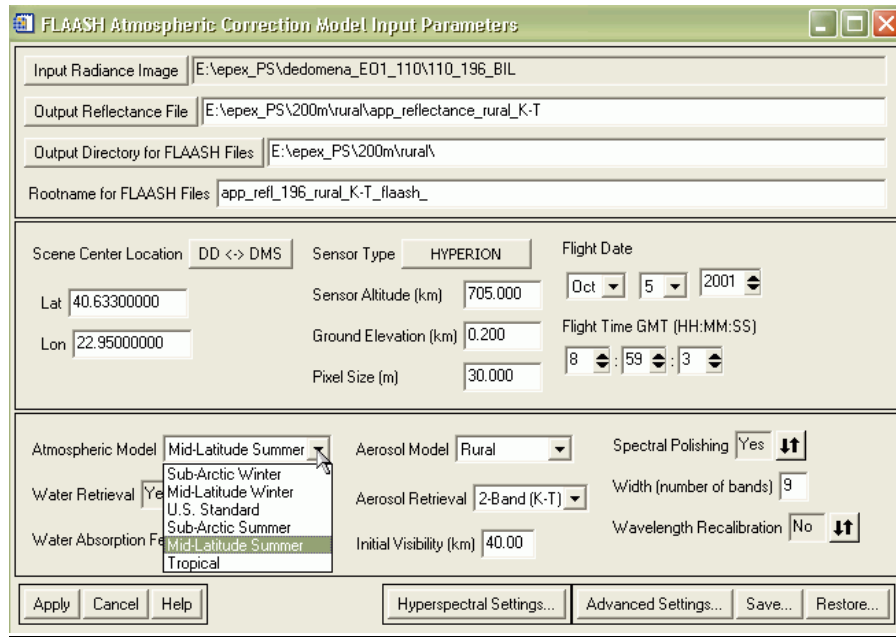
Στο πεδίο για την εισαγωγή των συντεταγμένων της εικόνας χρησιμοποιούνται αρνητικές τιμές για το Δυτικό και Νότιο ημισφαίριο. Το μέγεθος της ψηφίδας συμπληρώνεται στο αντίστοιχο πεδίο, ανάλογα με τη χωρική ανάλυση της εικόνας, που χρησιμοποιείται κάθε φορά, [20].

Επιλογή του ατμοσφαιρικού μοντέλου

Τα ατμοσφαιρικά μοντέλα που μπορούν να επιλεγθούν (Εικ. 3.21) παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.9 και χρησιμοποιούνται από το MODTRAN (MODerate resolution TRANsmittance code). Για καλύτερα αποτελέσματα η επιλογή του ατμοσφαιρικού μοντέλου πρέπει να γίνει βάσει της υγρασίας της ατμόσφαιρας, όταν αυτή είναι γνωστή. Η επιλογή μπορεί να γίνει επίσης βάσει της γνωστής ή αναμενόμενης θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας κοντά στη γήινη επιφάνεια. Όταν κανένα από τα παραπάνω δεν είναι εφικτό, τότε επιλέγεται βάσει της εποχής του χρόνου σε συνδυασμό με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής μελέτης, [20].

Πίνακας 3.9. Τα ατμοσφαιρικά μοντέλα MODTRAN, [20]

Τα Ατμοσφαιρικά Μοντέλα
Sub-Arctic Winter (SAW)
Mid-Latitude Winter (MLW)
U.S. Standard (US)
Sub-Arctic Summer (SAS)
Mid-Latitude Summer (MLS)
Tropical (T)



Εικόνα 3.21. Το παράθυρο διαλόγου του μοντέλου ατμοσφαιρικής διόρθωσης FLAASH για την εισαγωγή των παραμέτρων του. Παρουσιάζονται τα ατμοσφαιρικά μοντέλα που μπορούν να επιλεγθούν. Στη συγκεκριμένη περίπτωση έχει επιλεγθεί το μοντέλο Mid-Latitude Summer (MLS) σύμφωνα με την ημερομηνία λήψης των δεδομένων εικόνας σε συνδυασμό με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής μελέτης.

Επιλογή για τον προσδιορισμό της υγρασίας της ατμόσφαιρας (Water Retrieval)

Για την επίλυση των εξισώσεων για τον προσδιορισμό της αντανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας από το έδαφος χρειάζεται να οριστεί η μάζα των σταγονιδίων νερού, που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα, για κάθε ψηφίδα της εικόνας. Το FLAASH περιλαμβάνει μία μέθοδο για τον υπολογισμό της υγρασίας της ατμόσφαιρας για κάθε ψηφίδα. Η τεχνική αυτή δίνει πιο ακριβή αποτελέσματα από τη χρήση μιας σταθερής τιμής υγρασίας για όλη την έκταση της εικόνας. Για να χρησιμοποιηθεί αυτή η μέθοδος η εικόνα πρέπει να έχει διαύλους, που εκτείνονται στα παρακάτω φασματικά διαστήματα, [20]:

- 1050-1210nm (για το χαρακτηριστικό απορρόφησης νερού στην περιοχή 1135nm του φάσματος)
- 870-1020nm (για το χαρακτηριστικό απορρόφησης νερού στην περιοχή 940nm του φάσματος)

- 770-870nm (για το χαρακτηριστικό απορρόφησης νερού στην περιοχή 820nm του φάσματος)

Η φασματική ανάλυση, που απαιτείται, είναι 15nm ή καλύτερη.

Για την εφαρμογή της μεθόδου προτείνεται να χρησιμοποιηθεί το χαρακτηριστικό απορρόφησης νερού στην περιοχή 1135nm του φάσματος. Αν επιλεγθεί η χρήση της περιοχής 1135nm ή 940nm του φάσματος και το χαρακτηριστικό αυτό είναι κορεσμένο εξαιτίας μιας πολύ υγρής ατμόσφαιρας, τότε αυτόματα χρησιμοποιείται από το λογισμικό η περιοχή 820nm του φάσματος, αν οι αντίστοιχοι διάυλοι είναι διαθέσιμοι. Στην αντίθετη περίπτωση, όπου δε θα γίνει εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου, χρησιμοποιείται μια σταθερή ποσότητα σταγονιδίων σε όλη την έκταση της εικόνας. Η ποσότητα αυτή καθορίζεται σύμφωνα με το ατμοσφαιρικό μοντέλο, που έχει επιλεγθεί (Πίνακας 3.10), [20].

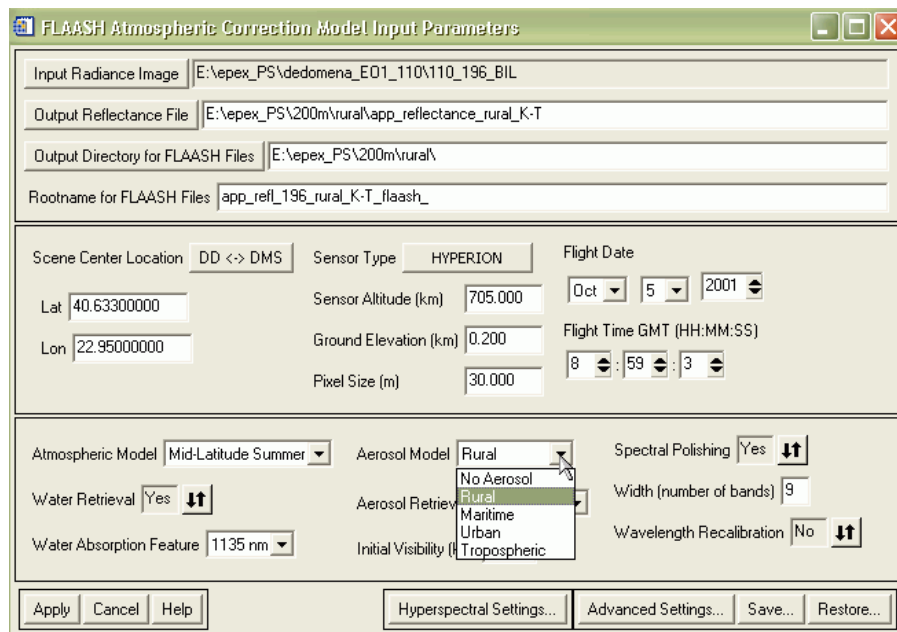
Η χρήση του χαρακτηριστικού απορρόφησης νερού στην περιοχή 1135 nm του φάσματος είναι ίσως προτιμότερη και για έναν άλλο λόγο. Για τον υπολογισμό της υγρασίας για κάθε ψηφίδα, χρησιμοποιείται συνήθως το χαρακτηριστικό απορρόφησης νερού στην περιοχή 940nm του φάσματος. Στην περίπτωση του Hyperion όμως, το χαρακτηριστικό αυτό βρίσκεται στην περιοχή μετάβασης από το ένα φασματόμετρο στο άλλο (από το φασματόμετρο της ορατής και εγγύς υπέρυθρης περιοχής στο φασματόμετρο της βραχείας υπέρυθρης περιοχής). Ο λόγος του σήματος προς το θόρυβο δεν είναι αρκετά υψηλός σ' αυτή την περιοχή για να γίνει ένας ακριβής υπολογισμός της υγρασίας της ατμόσφαιρας. Ως αποτέλεσμα είναι προτιμότερο να χρησιμοποιηθεί το χαρακτηριστικό της περιοχής 1135nm του φάσματος, [63].

Επιλογή μοντέλου για το μείγμα των αερίων και των σωματιδίων της ατμόσφαιρας (Aerosol Model)

Για την επιλογή του μοντέλου σχετικά με τα αέρια και τα σωματίδια της ατμόσφαιρας λαμβάνεται υπόψη το είδος της περιοχής, που απεικονίζεται στην εικόνα. Το μοντέλο αυτό σχετίζεται με το μοντέλο MODTRAN. Τα μοντέλα για το μείγμα των αερίων και σωματιδίων της ατμόσφαιρας που μπορούν να επιλεγθούν (Εικ. 3.22) και η περιοχή εφαρμογής τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.10, [20]:

Πίνακας 3.10. Τα μοντέλα MODTRAN για το μείγμα των αερίων και των σωματιδίων της ατμόσφαιρας και η περιοχή εφαρμογής τους, [20].

Μοντέλο μείγματος αερίων και σωματιδίων της ατμόσφαιρας (Aerosol)	Περιοχή εφαρμογής μοντέλου
Αγροτικό (Rural)	Χρησιμοποιείται σε περιοχές, που δεν επηρεάζονται ισχυρά από αστικές ή βιομηχανικές πηγές.
Αστικό (Urban)	Χρησιμοποιείται σε πυκνοκατοικημένες, αστικές ή βιομηχανικές περιοχές.
Θαλάσσιο (Maritime)	Χρησιμοποιείται σε περιοχές πάνω από τους ωκεανούς ή τις ηπείρους, που βρίσκονται υπό την επίδραση ανέμου, που προέρχεται από τη θάλασσα.
Τροποσφαιρικό (Tropospheric)	Χρησιμοποιείται σε ηπειρωτικές περιοχές με καθαρές ατμοσφαιρικές συνθήκες (ορατότητα μεγαλύτερη από 40km).



Εικόνα 3.22. Παρουσιάζεται η επιλογή μοντέλου για το μείγμα των αερίων και των σωματιδίων της ατμόσφαιρας (Aerosol Model) στο παράθυρο διαλόγου του μοντέλου ατμοσφαιρικής διόρθωσης FLAASH. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή έχει επιλεγθεί το αγροτικό μοντέλο (Rural).

Επιλογή για τον προσδιορισμό του μείγματος των ατμοσφαιρικών αερίων και σωματιδίων (Aerosol Retrieval)

Το FLAASH περιλαμβάνει μια μέθοδο για τον προσδιορισμό του μείγματος ατμοσφαιρικών αερίων και σωματιδίων καθώς και για τον προσδιορισμό μιας μέσης ορατότητας για όλη την εικόνα. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται “2-Band (K-T)” και βασίζεται στα αποτελέσματα της μελέτης των Kaufman et al. (1997). Χρησιμοποιεί την αντανάκλαση των σκοτεινόχρωμων ψηφίδων και διαύλους στις περιοχές 660nm και 2100nm του φάσματος.

Σε περίπτωση που δε χρησιμοποιηθεί αυτή η μέθοδος, χρησιμοποιείται η τιμή της «αρχικής ορατότητας» (βλέπε παρακάτω). Επίσης, αν κατά την εφαρμογή της μεθόδου “2-Band (K-T)” δε βρεθούν κατάλληλες σκουρόχρωμες ψηφίδες, τότε χρησιμοποιείται η τιμή, που έχει εισαχθεί ως «αρχική ορατότητα» (“Initial Visibility”), [20].

Αρχική τιμή ορατότητας της εικόνας

Ως τιμή αρχικής ορατότητας (“Initial Visibility”) εισάγεται μια εκτίμηση της ορατότητας της εικόνας σε km. Η τιμή της εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.11.

Η ορατότητα, V , σχετίζεται με το συντελεστή, β , μέσω της εξίσωσης $V=3.912/\beta$. Ο συντελεστής, β , ορίζεται από το οριζόντιο οπτικό βάθος ανά km. Μια άλλη σχετική έννοια είναι το οπτικό βάθος (AOD-Aerosol Optical Depth), το οποίο μετρείται κατακόρυφα από το έδαφος προς το διάστημα. Για τη μετατροπή του AOD σε β , διαιρείται το AOD με το κατάλληλο πάχος του στρώματος των αερίων της ατμόσφαιρας (“Aerosol”), που τυπικά είναι 2km, αλλά ποικίλλει με την ορατότητα, το υψόμετρο και άλλους παράγοντες.

Χρειάζεται να δηλωθεί μία αρχική τιμή ορατότητας, ακόμα και στην περίπτωση που χρησιμοποιείται η μέθοδος 2-Band (K-T), γιατί το FLAASH χρησιμοποιεί την αρχική τιμή ορατότητας όταν δε μπορεί να εφαρμοστεί η μέθοδος 2-Band (K-T).

Πίνακας 3.11. Τιμές ορατότητας της εικόνας σύμφωνα με τις καιρικές συνθήκες, [20].

Καιρικές συνθήκες	Ορατότητα εικόνας
Αίθριος καιρός	40-100 km
Μέτρια ομίχλη	20-30 km
Πυκνή ομίχλη	15 km ή λιγότερο

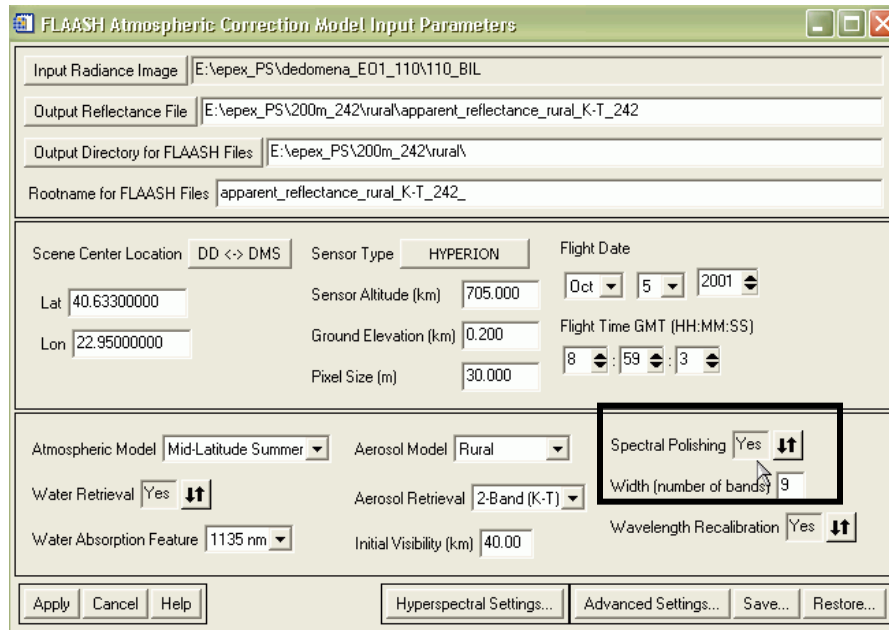
Με το FLAASH μπορούν ακόμη να εφαρμοστούν οι τεχνικές “spectral polishing” και η επαναβαθμονόμηση των διαύλων της δορυφορικής εικόνας. Οι επεξεργασίες αυτές είναι πολύ σημαντικές, γιατί μειώνουν το φασματικό θόρυβο και συμβάλλουν στην καλύτερη ακρίβεια της ατμοσφαιρικής διόρθωσης, [20].

Η τεχνική “Spectral polishing”

Ο όρος “polishing” (ομαλοποίηση) χρησιμοποιήθηκε από τον Boardman (1998) για μια μέθοδο που περιορίζει το φασματικό θόρυβο στα υπερφασματικά δεδομένα. Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται μόνο τα ίδια τα δεδομένα.

Ο αρχικός αλγόριθμος του Boardman, που ομαλοποιεί τα δεδομένα υπάρχει στο ENVI. Ο χρήστης έχει πρόσβαση σ’ αυτόν τον αλγόριθμο μέσω της επιλογής Spectral, EFFORT Polishing από το κεντρικό μενού του ENVI. Ο αλγόριθμος “spectral polishing” (φασματική ομαλοποίηση) του FLAASH (Εικ. 3.23) δίνει αντίστοιχα αποτελέσματα με τη χρήση λιγότερων αρχικών δεδομένων. Το “spectral polishing” πραγματοποιείται με τη χρήση “n” γειτονικών διαύλων (όπου “n” ορίζεται ως το πλάτος του “spectral polishing”- “polishing width”), [20].

Μεγαλύτερος αριθμός διαύλων (width of polishing) έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη φασματική ομαλοποίηση. Για τυπικούς υπερφασματικούς αισθητήρες με φασματική ανάλυση 10nm, όπως ο Hyperion, προτείνεται η χρήση πλάτους 9 διαύλων. Η χρήση πλάτους 2 διαύλων δίνει ελάχιστη φασματική ομαλοποίηση, αλλά απομακρύνει φασματικές ανισορροπίες μεταξύ των διαύλων. Τα πλάτη του “spectral polishing” που έχουν τιμή μονό αριθμό είναι υπολογιστικά λίγο πιο αποτελεσματικά, [20].



Εικόνα 3.23. Παρουσιάζεται το παράθυρο διαλόγου του μοντέλου ατμοσφαιρικής διόρθωσης FLAASH στο οποίο έχει επιλεγθεί η εφαρμογή της τεχνικής “Spectral Polishing” με πλάτος 9 διαύλων.

Επαναβαθμονόμηση των διαύλων της εικόνας (Wavelength Recalibration)

Ακόμη και μικρά σφάλματα στη θέση του κέντρου της φασματικής περιοχής κάθε διαύλου μπορεί να εισάγει σημαντικά σφάλματα στη διαδικασία προσδιορισμού της υγρασίας της ατμόσφαιρας. Το γεγονός αυτό μειώνει την ολική ακρίβεια του FLAASH. Για τη μείωση σφαλμάτων αυτού του είδους, το FLAASH περιλαμβάνει μια μέθοδο για την αναγνώριση και τη διόρθωση των σφαλμάτων βαθμονόμησης των διαύλων.

Με την εφαρμογή αυτής της μεθόδου γίνεται αυτόματα βαθμονόμηση των διαύλων των δεδομένων πριν από τη διαδικασία προσδιορισμού της υγρασίας της ατμόσφαιρας. Στην αντίθετη περίπτωση χρησιμοποιούνται οι αρχικοί διάυλοι.

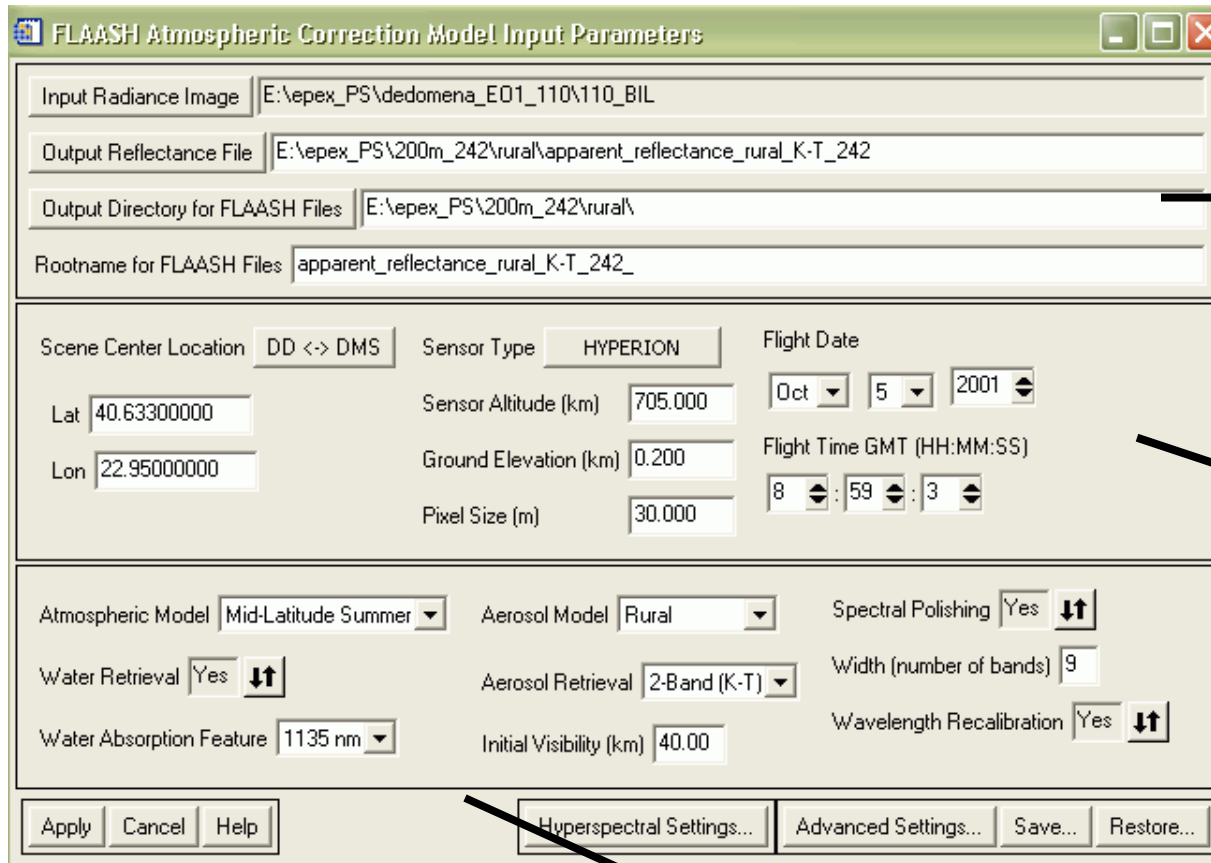
Τα δεδομένα HYPERION όπως και τα δεδομένα άλλων αισθητήρων (AVIRIS, HYDICE, HYMAP, CASI και AISA) υποστηρίζονται αυτόματα για επαναβαθμονόμηση των διαύλων τους από το FLAASH. Όλοι οι υπόλοιποι υπερφασματικοί αισθητήρες απαιτούν ειδικό αρχείο (“spectrograph definition file”). Τα δεδομένα, που προκύπτουν από την ατμοσφαιρική διόρθωση (“reflectance data”), περιέχουν το νέο προσδιορισμένο κέντρο της φασματικής περιοχής του κάθε διαύλου, [20].

Στην Εικόνα 3.24 παρουσιάζεται το παράθυρο διαλόγου του FLAASH για τις παραπάνω παραμέτρους, στο οποίο έχουν γίνει οι εισαγωγές σύμφωνα με τα δεδομένα εικόνας της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας. Π.χ. έχουν δοθεί οι συν/νες του κέντρου των δεδομένων εικόνας, ο τύπος του αισθητήρα, η ημερομηνία και η ώρα λήψης των δεδομένων εικόνας, ένα μέσο προσεγγιστικό υψόμετρο για την περιοχή μελέτης της εικόνας, το ατμοσφαιρικό μοντέλο κ.λ.π.. Έχει επιλεγθεί να εφαρμοστεί η διαδικασία “spectral polishing” καθώς και η επαναβαθμονόμηση των διαύλων των δεδομένων εικόνας.

Επιλογή του αρχείου “Spectrograph Definition”

Το αρχείο “Spectrograph Definition” χρειάζεται για τη βαθμονόμηση των διαύλων των υπερφασματικών εικόνων. Το αρχείο αυτό είναι τύπου “ASCII txt” και περιέχει μία γραμμή για κάθε φασματόμετρο του τηλεπισκοπικού αισθητήρα. Επιλέγεται από το χρήστη στην περίπτωση που τα δεδομένα προέρχονται από τηλεπισκοπικό αισθητήρα, που δεν υποστηρίζεται από το FLAASH. Δηλαδή στην περίπτωση που το λογισμικό δεν περιέχει ενσωματωμένο το αντίστοιχο αρχείο, [20].

Για τα δεδομένα του HYPERION, AVIRIS, HYDICE, HYMAP, CASI και AISA το FLAASH έχει ενσωματωμένα τα αντίστοιχα αρχεία και δε χρειάζεται να εισαχθεί το αρχείο “spectrograph definition” από το χρήστη, (Εικ. 3.25), [20].



Εισαγωγή της εικόνας, που θα διορθωθεί ατμοσφαιρικά, του ονόματος της τελικής εικόνας, της διεύθυνσης και του ονόματος των τελικών αρχείων.

Εισαγωγή των συν/νων του κέντρου της εικόνας, του τύπου του αισθητήρα, του ύψους του δορυφόρου, του μέσου υψομέτρου της περιοχής μελέτης, του μεγέθους της ψηφίδας της εικόνας, της ημερομηνίας λήψης της και της ώρας λήψης της.

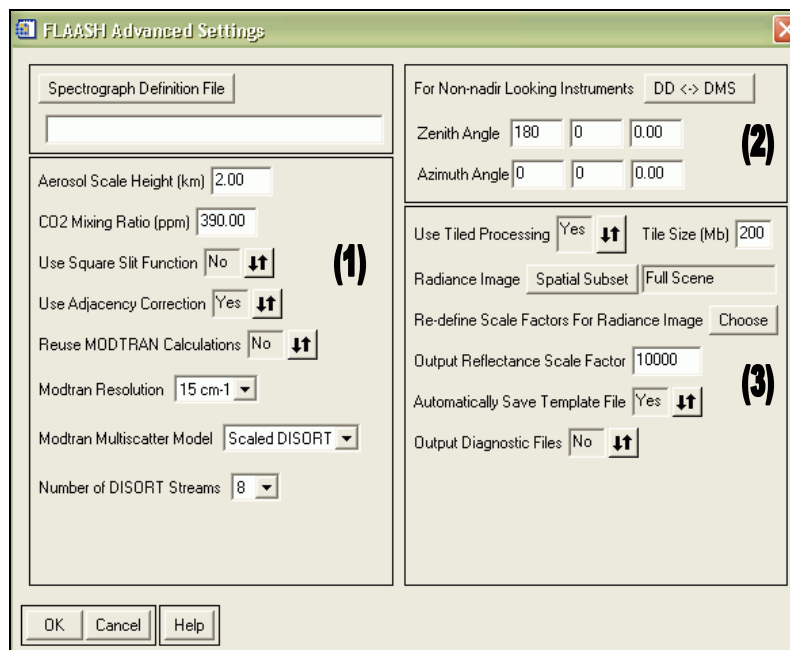
Εικόνα 3.24. Το παράθυρο διαλόγου του FLAASH.

Εισαγωγές για το ατμοσφαιρικό μοντέλο, το μοντέλο για το μείγμα των αερίων και των σωματιδίων της ατμόσφαιρας, την αρχική τιμή ορατότητας της εικόνας, το “spectral polishing”, την επαναβαθμονόμηση των διαύλων της εικόνας.

Το λογισμικό FLAASH δίνει τη δυνατότητα επιπλέον ρυθμίσεων για τη βελτίωση των αποτελεσμάτων (Εικ 3.24). Οι ρυθμίσεις αυτές χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- α) παράμετροι για το μοντέλο MODTRAN κ.ά. (Εικ. 3.25-(1))
- β) παράμετροι σχετικά με τη γεωμετρία του οπτικού πεδίου του αισθητήρα (Εικ. 3.25-(2))
- γ) παράμετροι, που αφορούν την επεξεργασία του FLAASH (Εικ. 3.25-(3))

Μέσω αυτών των ρυθμίσεων καθορίζεται η διόρθωση για τη χωρική ανάμειξη της ηλιακής ακτινοβολίας, που οφείλεται στις γειτονικές ψηφίδες. Η διόρθωση αυτή είναι πολύ σημαντική για τη σωστότερη απόδοση της ακτινοβολίας στις ψηφίδες, γιατί έτσι απομακρύνονται σφάλματα, που έχουν καταγραφεί στα δεδομένα. Τα σφάλματα αυτά προέρχονται από την καταγραφή ηλιακής ακτινοβολίας σε μία ψηφίδα, που δεν αφορά την ίδια την ψηφίδα αλλά τις γειτονικές της.



Εικόνα 3.25. Το παράθυρο διαλόγου του FLAASH για την εισαγωγή: α) των παραμέτρων μοντελοποίησης, β) των παραμέτρων που αφορούν τη γεωμετρία του οπτικού πεδίου του αισθητήρα καθώς και γ) των παραμέτρων που αφορούν την επεξεργασία του FLAASH. Από αυτό το παράθυρο γίνεται επίσης η επιλογή του φακέλου “Spectrograph Definition” στην περίπτωση, που ο τύπος των δεδομένων δεν υποστηρίζεται αυτόματα από το λογισμικό.

Παράμετροι για το μοντέλο MODTRAN κ.ά.

Οι παράμετροι αυτές είναι οι, [20]:

1. Το ύψος του αέρα (aerosol scale height) σε km. Οι τυπικές τιμές είναι 1 με 2 km. Αυτή η παράμετρος χρησιμοποιείται μόνο για τον υπολογισμό της έκτασης του φαινομένου χωρικής ανάμειξης της ηλιακής ακτινοβολίας ανάμεσα στις γειτονικές ψηφίδες.
2. Ο λόγος ανάμειξης του CO₂ στο πεδίο σε ppm (parts per million). Προτεινόμενη τιμή είναι τα 370ppm, που αντιστοιχούν στο έτος 2001. Για καλύτερα αποτελέσματα προτείνεται να προστεθούν ακόμη 20ppm.
3. Η χρήση της συνάρτησης “Square Slit”. Η συνάρτηση αυτή χρησιμοποιείται στην περίπτωση, που οι εικόνες προέρχονται από τον υπολογισμό γειτονικών διαύλων (π.χ. LASH).
4. Η διόρθωση για το φαινόμενο ανάμειξης της ηλιακής ακτινοβολίας, που συμβαίνει ανάμεσα στις γειτονικές ψηφίδες. Σε αντίθεση με τα περισσότερα μοντέλα ατμοσφαιρικής διόρθωσης, το μοντέλο του FLAASH λαμβάνει υπόψη τόσο την ηλιακή ακτινοβολία, που αντανακλάται από το έδαφος και μεταφέρεται κατευθείαν στο οπτικό πεδίο του αισθητήρα όσο και εκείνη που στη συνέχεια διαχέεται μέσα στην ατμόσφαιρα και μετά φθάνει στον αισθητήρα. Η διάκριση ανάμεσα στις δύο παραπάνω περιπτώσεις αφορά το φαινόμενο της χωρικής ανάμειξης της ηλιακής ακτινοβολίας ανάμεσα στις γειτονικές ψηφίδες (adjacency effect). Το φαινόμενο αυτό προκαλείται από τη διάχυση της συγκεκριμένης ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα. Η πιο ακριβής ανάκτηση της αντανάκλασης στο έδαφος συμβαίνει, όταν εφαρμόζεται η παραπάνω διόρθωση.
5. Η επαναλαμβανόμενη χρήση παλαιότερων υπολογισμών MODTRAN. Μ’ αυτή την επιλογή καθορίζεται το αν θα χρησιμοποιηθούν παλιότεροι υπολογισμοί MODTRAN (εάν υπάρχουν) ή όχι στην ατμοσφαιρική διόρθωση μιας εικόνας. Η διαδικασία αυτή είναι χρήσιμη στην περίπτωση πολλαπλών εικόνων, οι οποίες έχουν ληφθεί κάτω από ακριβώς ίδιες συνθήκες (π.χ. ίδιες συνθήκες φωτισμού, γεωμετρίας του οπτικού πεδίου, ορατότητας).
Μετά από κάθε ατμοσφαιρική διόρθωση μέσω του FLAASH, οι υπολογισμοί MODTRAN αποθηκεύονται σ’ ένα φάκελο, που ονομάζεται “acc_modroot.fla”.

Ένα αντίγραφο του φακέλου αποθηκεύεται στο “output directory”, που δηλώνεται για την ατμοσφαιρική διόρθωση, και ένα σ’ ένα προσωρινό “directory” του λογισμικού ENVI. Το “output directory” είναι η διεύθυνση, στην οποία αποθηκεύονται οι φάκελοι, που προκύπτουν από την ατμοσφαιρική διόρθωση.

6. Η ανάλυση MODTRAN, που θα χρησιμοποιηθεί. Δυνατές τιμές είναι οι: 15cm^{-1} , 5cm^{-1} και 1cm^{-1} . Η ανάλυση αυτή ελέγχει την εξισορρόπηση της ταχύτητας έναντι της ακρίβειας για τους υπολογισμούς MODTRAN4. Χαμηλότερη ανάλυση αποδίδει αναλογικά καλύτερη ταχύτητα, αλλά μικρότερη ακρίβεια. Προτείνεται η ανάλυση των 5cm^{-1} . Η ανάλυση των 15cm^{-1} δίνει παρόμοια αποτελέσματα, όταν χρησιμοποιείται η τεχνική “spectral polishing”.
7. Ο αλγόριθμος για την πολλαπλή σκέδαση της ηλιακής ακτινοβολίας, που χρησιμοποιείται από το MODTRAN4. Το FLAASH διαθέτει τρεις επιλογές μοντέλων πολλαπλής σκέδασης της ακτινοβολίας. Τα μοντέλα αυτά είναι: 1) Isaacs, 2) Scaled DISORT και 3) DISORT.

Το μοντέλο DISORT δίνει τις πιο ακριβείς διορθώσεις στα μικρά μήκη κύματος του φάσματος (μικρότερα από 1000nm). Παρόλα αυτά είναι πολύ χρονοβόρο υπολογιστικά. Η μέθοδος Isaacs είναι γρήγορη αλλά υπεραπλουστευμένη. Η μέθοδος Scaled DISORT δίνει παραπλήσια ακρίβεια με το μοντέλο DISORT διατηρώντας παράλληλα την ίδια σχεδόν ταχύτητα, που έχει το μοντέλο Isaacs.

8. Ο αριθμός των “streams”, που χρειάζεται να καθοριστεί, αν χρησιμοποιηθεί το μοντέλο “DISORT” ή “Scaled DISORT”: 2, 4, 8 ή 16. Ο αριθμός αυτός σχετίζεται με τον αριθμό των διευθύνσεων σκέδασης της ακτινοβολίας, που λαμβάνονται υπόψη από το μοντέλο. Υπολογισμοί με δύο ή τέσσερα “streams” δεν προτείνονται, καθώς αυξάνουν δραματικά το χρόνο των υπολογισμών (έναντι του μοντέλου Isaacs) με λίγη ή καμία βελτίωση. Με την αύξηση του αριθμού των “streams” για το μοντέλο “Scaled DISORT” συνήθως δεν αυξάνεται σημαντικά ο χρόνος της επεξεργασίας.

Η χρήση του μοντέλου “DISORT” αυξάνει το χρόνο επεξεργασίας του FLAASH και είναι πολύ σπάνια αναγκαίο για ακριβείς ατμοσφαιρικές διορθώσεις. Το μέγεθος της πολλαπλής σκέδασης της ακτινοβολίας σε οποιαδήποτε εικόνα

εξαρτάται από την ποσότητα της ομίχλης, που υπάρχει στην εικόνα. Ακόμη, η σκέδαση της ακτινοβολίας επιδρά περισσότερο στα μικρά μήκη κύματος (ορατή περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος), ενώ στα μεγαλύτερα μήκη κύματος (εγγύς υπέρυθρη περιοχή) επιδρά ελάχιστα. Το μοντέλο “DISORT” θα πρέπει να χρησιμοποιείται στις πιο δύσκολες περιπτώσεις, όταν η ομίχλη είναι πολύ δυνατή και η διόρθωση στα μικρά μήκη κύματος είναι κρίσιμη. Ο χρόνος των υπολογισμών ποικίλει από σύστημα σε σύστημα, αλλά οι τυπικές σχετικές τιμές του είναι:

Isaacs: DISORT-2: DISORT-4: DISORT-8: DISORT-16 = 1: 22: 24: 30: 60

Η παραπάνω σχέση δείχνει π.χ. ότι η εφαρμογή του μοντέλου DISORT με 8 “streams” συνήθως απαιτεί περίπου 30 φορές περισσότερο χρόνο από τη χρήση του μοντέλου Isaacs. Επιπλέον, ένας συνδυασμός του μοντέλου DISORT (με οποιοδήποτε αριθμό “streams”) με ανάλυση MODTRAN των 1cm^{-1} είναι εξαιρετικά επιβαρυνόμενη υπολογιστικά.

Παράμετροι για τη γεωμετρία του οπτικού πεδίου του αισθητήρα

Για τις περιπτώσεις, που οι αισθητήρες χρησιμοποιούν οπτική γεωμετρία χωρίς να περιλαμβάνουν το ναδίρ, πρέπει να καθοριστεί η ζενίθια και η αζιμούθια γωνία. Η ζενίθια γωνία ορίζεται ως η γωνία ανάμεσα στην οπτική γραμμή και στο ζενίθ (180 μοίρες για αισθητήρες, που χρησιμοποιούν οπτική γεωμετρία συμπεριλαμβάνοντας το ναδίρ). Οι ζενίθιες γωνίες πρέπει να είναι θετικές και μεταξύ των 90 και 180 μοιρών. Η αζιμούθια γωνία ορίζεται ως η γωνία ανάμεσα στην οπτική γραμμή και το Βορρά.

Το FLAASH δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να συμπληρώσει τα αντίστοιχα πεδία σε βαθμούς/λεπτά/δευτερόλεπτα ή δεκαδικούς βαθμούς μέσω της επιλογής: “DD <-> DMS”, [20].

Παράμετροι για την επεξεργασία του FLAASH

Οι παράμετροι για την επεξεργασία είναι οι (Εικ 3.24), [20]:

1. Καθορίζεται το αν η επεξεργασία της εικόνας θα γίνει κατά τμήματα. Το FLAASH επεξεργάζεται τα δεδομένα εισαγωγής σε κομμάτια. Στη συνέχεια ενώνει ξανά τα κομμάτια, αφού έχει τελειώσει η επεξεργασία τους, για να παραχθεί το τελικό αποτέλεσμα. Η επιλογή για την επεξεργασία των δεδομένων κατά τμήματα δίνει στο FLAASH τη δυνατότητα να εφαρμόζεται σε εικόνες οποιουδήποτε μεγέθους, ανεξάρτητα από τη διαθέσιμη μνήμη του συστήματος. Αν επιλεγθεί να γίνει η επεξεργασία της εικόνας κατά τμήματα, εισάγεται παράλληλα η τιμή για το μέγεθος του τμήματος. Συνήθως η τιμή αυτή είναι τα 100MB. Το μέγεθος του τμήματος θα πρέπει να έχει τέτοια τιμή, ώστε να μη μένει το υπόλοιπο σύστημα του υπολογιστή χωρίς την απαραίτητη μνήμη για τις βασικές λειτουργίες.
2. Επεξεργασία ολόκληρης της εικόνας ή τμήματός της. Δίνεται η δυνατότητα από το FLAASH να επαναπροσδιοριστεί το τμήμα της αρχικής εικόνας, που θα χρησιμοποιηθεί στην επεξεργασία.
3. Επαναπροσδιορισμός των παραγόντων κλίμακας (scale factors), που επιλέχθηκαν κατά τη διάρκεια της εισαγωγής της αρχικής εικόνας στο FLAASH. Δίνεται η δυνατότητα να επαναπροσδιοριστούν οι παράγοντες κλίμακας.
Οι παράγοντες αυτοί ζητούνται από το λογισμικό κατά την εφαρμογή της ατμοσφαιρικής διόρθωσης στα δεδομένα και χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή των δεδομένων στις κατάλληλες μονάδες. Περισσότερες λεπτομέρειες δόθηκαν στο Κεφάλαιο 3.6, που αφορά την προεπεξεργασία των δεδομένων.
4. Η τιμή, που θα χρησιμοποιηθεί ως κλίμακα, για να μετατραπεί η τελική εικόνα της επεξεργασίας από “floating point” σε “2-byte integer”. Εισάγεται στο πεδίο “Output Reflectance Scale Factor”. Η τιμή, που προτείνεται είναι 10,000. Η τιμή αυτή αποθηκεύεται ως ο χαρακτηριστικός παράγοντας κλίμακας στον φάκελο “header” ή αλλιώς “hdr” της τελικής εικόνας.
5. Αυτόματη αποθήκευση των παραμέτρων του FLAASH σε έναν φάκελο. Προσδιορίζεται μέσω της επιλογής “Automatically Save Template” το αν θα γίνει αυτόματη αποθήκευση των παραμέτρων του FLAASH σε ένα αρχείο ή όχι. Το

αρχείο αυτό αποθηκεύεται στην ίδια διεύθυνση, που αποθηκεύονται και τα υπόλοιπα αρχεία, που προκύπτουν από την ατμοσφαιρική διόρθωση της αρχικής εικόνας.

6. Δημιουργία ενδιάμεσων αρχείων κατά την επεξεργασία της ατμοσφαιρικής διόρθωσης. Με την επιλογή “Output Diagnostics File” καθορίζεται το αν θα δημιουργηθούν ενδιάμεσα αρχεία κατά την επεξεργασία.

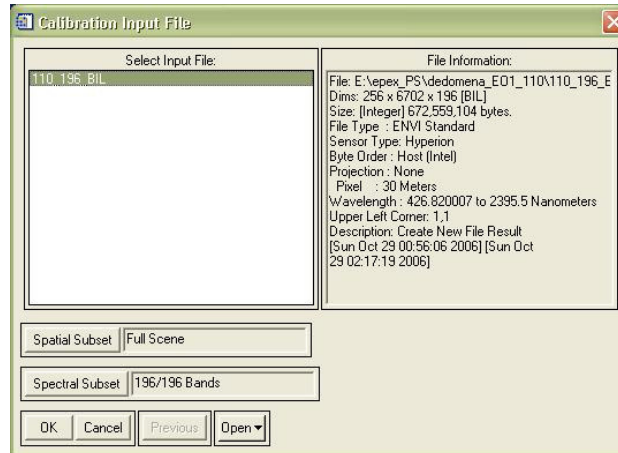
3.7.2. Ο αλγόριθμος IARR (Internal Average Relative Reflectance)

Ο αλγόριθμος IARR είναι διαθέσιμος τόσο στο ENVI 4.3 όσο και στο ERDAS IMAGINE 9.0. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται για να μετατρέψει τις αρχικές τιμές των ψηφίδων της εικόνας σε σχετική αντανάκλαση στο έδαφος. Υπολογίζεται ο μέσος όρος των φασμάτων των ψηφίδων της εικόνας και στη συνέχεια το φάσμα κάθε ψηφίδας διαιρείται με το μέσο όρο που υπολογίστηκε. Είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική σε εικόνες για τις οποίες, ([5], [20]):

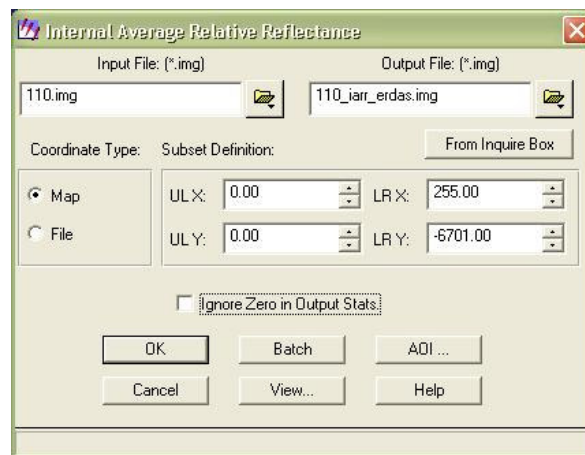
1. δεν υπάρχουν επίγειες φασματικές μετρήσεις και
2. οι πληροφορίες για την κάλυψη της περιοχής μελέτης είναι πολύ λίγες.

Ο αλγόριθμος IARR εφαρμόζεται μέσω του “Basic Tools, Preprocessing, Calibration Utilities, IAR Reflectance” στο ENVI 4.3 (παράρτημα Εικ.13) και μέσω του “Interpreter, Basic Hyperspectral Tools, IAR Reflectance” στο ERDAS IMAGINE 9.0 (παράρτημα Εικ.14).

Παρουσιάζονται τα παράθυρα για την εφαρμογή του αλγορίθμου IARR στο ENVI 4.3 (Εικ. 3.26) και στο ERDAS IMAGINE 9.0 (Εικ. 3.27).



Εικόνα 3.26. Το παράθυρο για την εφαρμογή του αλγορίθμου IARR στο ENVI 4.3.

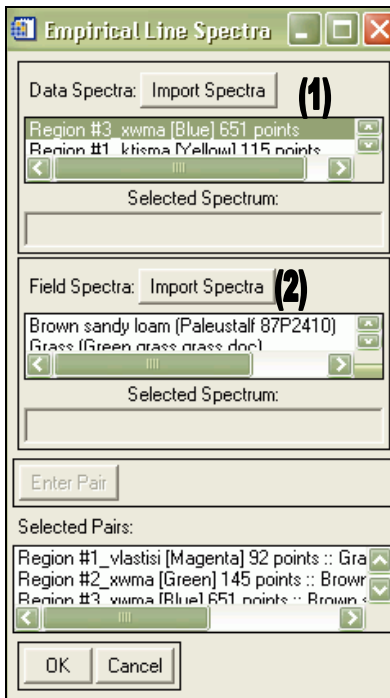


Εικόνα 3.27. Το παράθυρο για την εφαρμογή του αλγορίθμου IARR στο ERDAS IMAGINE 9.0.

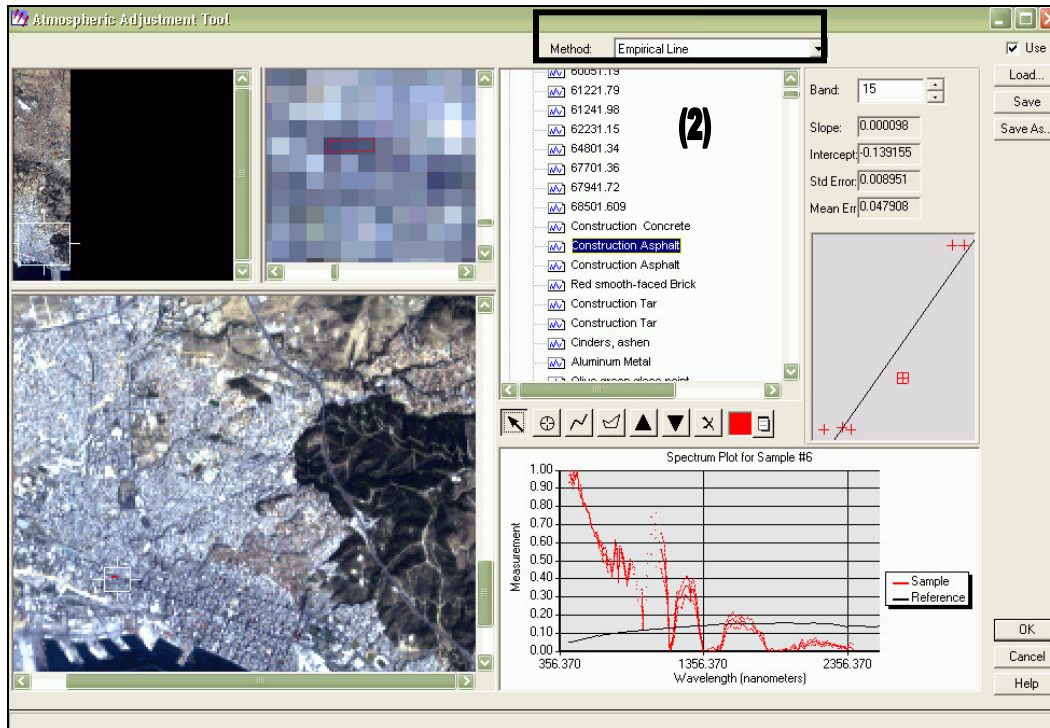
3.7.3. Ο αλγόριθμος Empirical Line

Κατά την εφαρμογή του αλγορίθμου Empirical Line επιλέγονται δύο ή περισσότερες περιοχές στην εικόνα των οποίων η κατηγορία (π.χ. ακάλυπτο έδαφος) είναι γνωστή και υπάρχει το φάσμα της κατηγορίας τους στη φασματική βιβλιοθήκη. Γίνεται αντιστοίχιση του μέσου όρου των φασμάτων των ψηφίδων κάθε περιοχής που επιλέχθηκε (Εικ. 3.28–(1)) με το αντίστοιχο φάσμα της φασματικής βιβλιοθήκης (Εικ. 3.28–(2), 3.29–(2)). Μέσω παλινδρόμησης προσαρμόζονται οι τιμές των αρχικών δεδομένων εικόνας στις τιμές αντανάκλασης στο έδαφος σύμφωνα με τα φάσματα της φασματικής βιβλιοθήκης που χρησιμοποιήθηκαν, [5].

Ο αλγόριθμος Empirical Line εφαρμόζεται μέσω του “Basic Tools, Preprocessing, Calibration Utilities, Empirical Line” στο ENVI 4.3 (παράρτημα Εικ.13) και μέσω του “Interpreter, Advanced Hyperspectral Tools, Spectral Analysis Workstation” στο ERDAS IMAGINE 9.0 (παράρτημα Εικ. 15-16). Παρακάτω παρουσιάζονται τα παράθυρα για την εφαρμογή του αλγορίθμου αυτού στο ENVI 4.3 και στο ERDAS IMAGINE 9.0 με τα δεδομένα εικόνας Hyperion (Εικ. 3.28-3.29).



Εικόνα 3.28. Το παράθυρο για την εφαρμογή του αλγορίθμου Empirical Line στο ENVI 4.3.



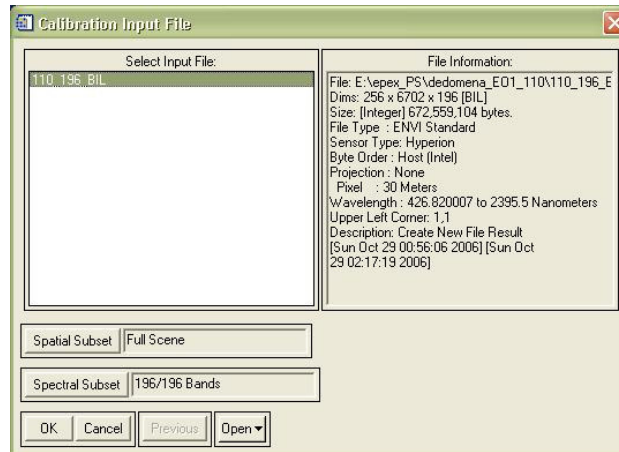
Εικόνα 3.29. Το παράθυρο για την εφαρμογή του αλγορίθμου Empirical Line στο ERDAS IMAGINE 9.0.

3.7.4. Οι αλγόριθμοι Flat Field και Modified Flat Field

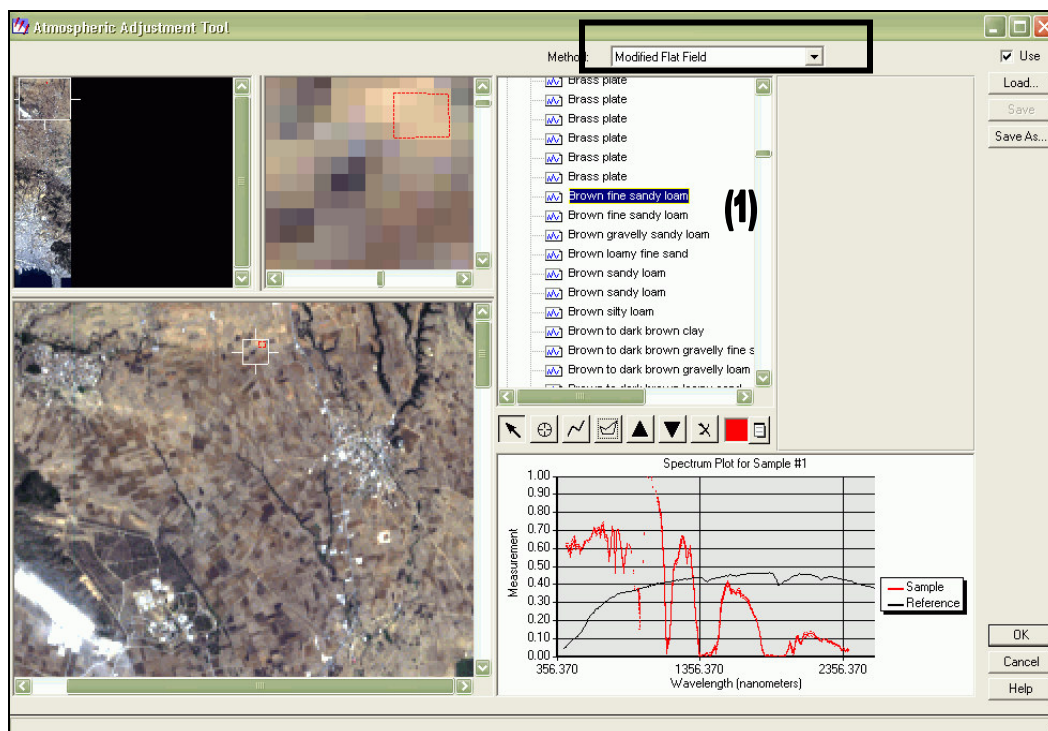
Ο αλγόριθμος αυτός έχει πολλές παραλλαγές. Όπως είχε αρχικά αναπτυχθεί απαιτεί την επιλογή μιας περιοχής στην εικόνα, που είναι φασματικά ενιαία. Στην πράξη μια φασματικά ενιαία περιοχή είναι πολύ δύσκολο ή αδύνατο να εντοπιστεί στις περισσότερες εικόνες. Από τις ψηφίδες της περιοχής, που επιλέγεται, υπολογίζεται ο μέσος όρος των φασμάτων. Στη συνέχεια το φάσμα κάθε ψηφίδας της εικόνας διαιρείται με το φασματικό μέσο όρο, που υπολογίστηκε, για να προκύψει η σχετική αντανάκλαση στο έδαφος. Κατά την εφαρμογή του αλγορίθμου Modified Flat Field η κατηγορία της περιοχής που επιλέγεται πρέπει να είναι γνωστή και να υπάρχει η φασματική υπογραφή της στη φασματική βιβλιοθήκη (Εικ. 3.31–(1)). Στη συνέχεια γίνεται αντιστοίχιση μεταξύ των δύο, ([5], [20]).

Ο αλγόριθμος Flat Field εφαρμόζεται μέσω του “Basic Tools, Preprocessing, Calibration Utilities, Flat Field” στο ENVI 4.3 (παράρτημα Εικ. 13) και ο αλγόριθμος Modified Flat Field εφαρμόζεται μέσω του “Interpreter, Advanced Hyperspectral Tools, Spectral Analysis Workstation” στο ERDAS IMAGINE 9.0 (παράρτημα Εικ. 15-16).

Παρακάτω παρουσιάζονται τα παράθυρα για την εφαρμογή του αλγορίθμου Flat Field στο ENVI 4.3 (Εικ. 3.30) και του Modified Flat Field στο ERDAS IMAGINE 9.0 (Εικ. 3.31) με τα δεδομένα εικόνας Hyperion.



Εικόνα 3.30. Το παράθυρο για την εφαρμογή του αλγορίθμου Flat Field στο ENVI 4.3.



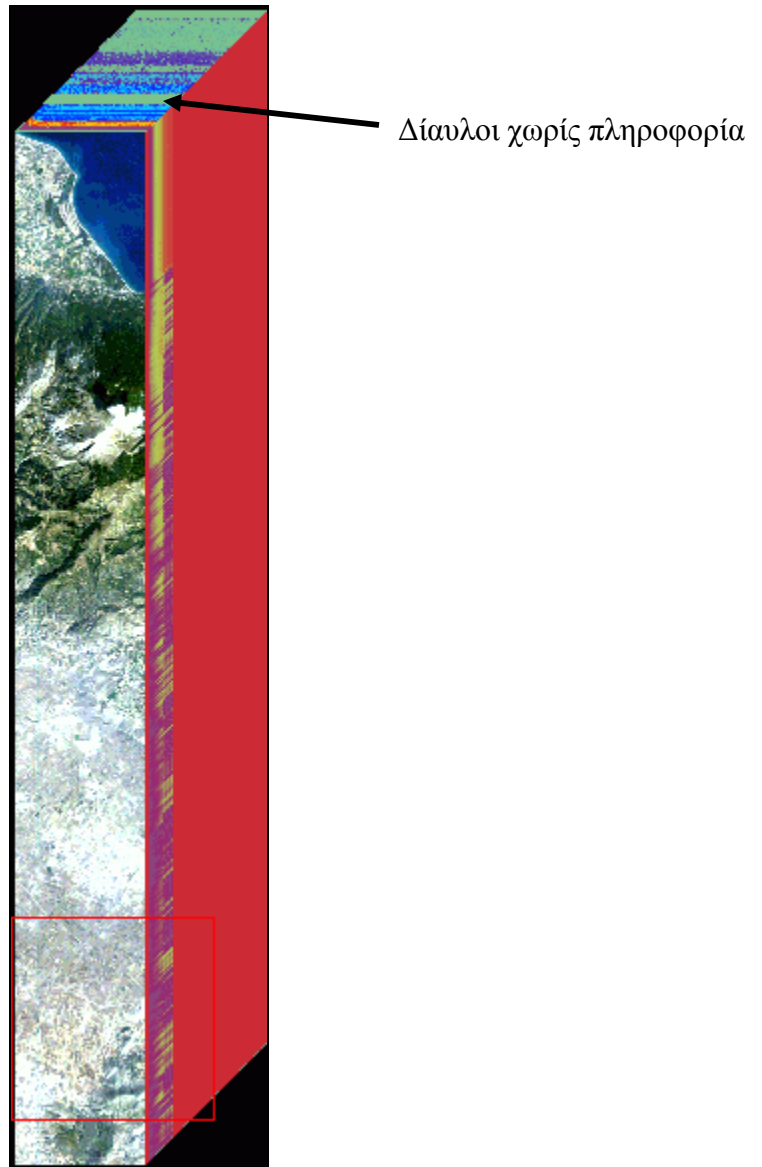
Εικόνα 3.31. Το παράθυρο για την εφαρμογή του αλγορίθμου Modified Flat Field στο ERDAS IMAGINE 9.0.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΑΝΑΛΥΣΗ

Σ' αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται αρχικά η εικόνα Hyperion που έχει παρασταθεί με έναν κύβο. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή των τεχνικών ατμοσφαιρικής διόρθωσης στα δεδομένα εικόνας, που γίνεται για τη μείωση των ατμοσφαιρικών σφαλμάτων της διάχυσης και της απορρόφησης. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ατμοσφαιρικής διόρθωσης της εικόνας Hyperion μέσω του ατμοσφαιρικού μοντέλου διόρθωσης FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes), του αλγορίθμου IARR (Internal Average Relative Reflectance), του Empirical Line, του Flat Field και του Modified Flat Field. Γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων και ανάλυση της ατμοσφαιρικά διορθωμένης εικόνας Hyperion.

4.1. ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ HYPERION

Οι δυσκολίες που παρουσιάστηκαν κατά την επεξεργασία των δεδομένων εικόνας της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας, οφείλονται στο μεγάλο αριθμό των διαύλων τους και στο μικρό φασματικό εύρος αυτών. Στην Εικόνα 4.1 παρουσιάζεται τμήμα των δεδομένων αυτών που έχουν παρασταθεί με έναν κύβο μέσω του “Build 3D Cube” στο ENVI 4.3 (παράρτημα Εικ. 17). Οι δύο διαστάσεις δίνουν τις χωρικές συντεταγμένες/θέσεις (στήλες, γραμμές της εικόνας) και η τρίτη διάσταση δίνει το μήκος κύματος ή την περιοχή του φάσματος ή το φασματικό διάλυο.



Εικόνα 4.1. Τμήμα της εικόνας Hyperion, που έχει παρασταθεί με έναν κύβο.

4.2.1. ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΔΙΟΡΘΩΣΗΣ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ HYPERION ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΔΙΟΡΘΩΣΗΣ FLAASH (FAST LINE-OF-SIGHT ATMOSPHERIC ANALYSIS OF HYPERSPECTRAL HYPERCUBES)

Η εικόνα Hyperion διορθώθηκε ατμοσφαιρικά ολόκληρη με τη χρήση του αγροτικού μοντέλου (Rural) για το μείγμα των ατμοσφαιρικών αερίων και σωματιδίων. Συγκρίθηκαν φασματικές υπογραφές ψηφίδων κατηγοριών της εικόνας όπως π.χ. ακαλυπτο έδαφος πριν και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση και φασματικές υπογραφές από φασματικές βιβλιοθήκες. Για τη βελτίωση της ατμοσφαιρικής διόρθωσης εφαρμόστηκε η αρχική τιμή ορατότητας της εικόνας και οι τεχνικές “Spectral Polishing” και “Wavelength Recalibration”. Επίσης, επειδή το αποτέλεσμα από την οπτικοποίηση της ατμοσφαιρικά διορθωμένης εικόνας δεν ήταν καλό, τμήματα της εικόνας διορθώθηκαν ατμοσφαιρικά ξεχωριστά ανάλογα με το είδος κάλυψης της περιοχής μελέτης (π.χ. περιοχή αγροτικών καλλιεργειών, αστική περιοχή κ.λ.π.), που απεικονίζεται σ’ αυτά.

Εισαγωγή παραμέτρων

Χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα εικόνας Hyperion μετά την αφαίρεση των διαύλων που δεν περιέχουν καμία πληροφορία και των διαύλων 77-78 λόγω φασματικής επικάλυψης με τους διαύλους 56-57 σύμφωνα με τον Πίνακα 3.3.

Οι παράμετροι, που χρησιμοποιήθηκαν αρχικά στο μοντέλο του Flaash για τη μείωση των ατμοσφαιρικών σφαλμάτων της διάχυσης και της απορρόφησης από την εικόνα Hyperion είναι οι (Εικ. 3.20):

- Συν/νες κέντρου της εικόνας $\varphi=40,633$ και $\lambda=22,950$, ως τύπος αισθητήρα τον Hyperion, ύψος του δορυφόρου EO-1 705km, μέσο υψόμετρο της περιοχής μελέτης που απεικονίζεται στην εικόνα 0,200km, μέγεθος ψηφίδας 30m, ημερομηνία λήψης της εικόνας 5 Οκτωβρίου 2001, ώρα λήψης 8:59:3

Το μέσο υψόμετρο της περιοχής μελέτης, που απεικονίζεται στη δορυφορική εικόνα, λαμβάνεται προσεγγιστικά από ισουψείς τοπογραφικών χαρτών κλίμακας 1:50000 (Γ.Υ.Σ.), που παρουσιάζονται στο παράρτημα. Οι συν/νες του κέντρου της εικόνας, η ημερομηνία και η ώρα λήψης υπάρχουν σε ξεχωριστό αρχείο που παραλαμβάνει ο χρήστης μαζί με την εικόνα.

- Το ατμοσφαιρικό μοντέλο MLS (Mid-Latitude Summer), λόγω της ημερομηνίας λήψης των δεδομένων εικόνας σε συνδυασμό με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής μελέτης
- Η χρήση του χαρακτηριστικού απορρόφησης νερού στα 1135nm για τον προσδιορισμό της υγρασίας της ατμόσφαιρας (Water Retrieval)
- Το αγροτικό μοντέλο για το μείγμα των αερίων και των σωματιδίων της ατμόσφαιρας (Aerosol Model-Rural)
- Η μέθοδος “2-Band (K-T)” για τον προσδιορισμό του μείγματος των ατμοσφαιρικών αερίων και σωματιδίων (Aerosol Retrieval)
- Αρχική τιμή ορατότητας της εικόνας 40km, γιατί η περιοχή μελέτης απεικονίζεται στην εικόνα χωρίς ομίχλη
- Εφαρμογή της τεχνικής “Spectral polishing” (φασματική ομαλοποίηση) με χρήση 9 διαύλων
- Το ύψος του αέρα (aerosol scale height) 2km
- Ο λόγος ανάμειξης του CO₂ στην περιοχή μελέτης λαμβάνεται 390ppm (parts per million)
- Ανάλυση MODTRAN 15cm⁻¹
- Ο αλγόριθμος Scaled DISORT, που χρησιμοποιείται από το MODTRAN4
- Αριθμός των ακτίνων φωτός (streams), που χρειάζεται να καθοριστεί, για τη χρήση του μοντέλου “Scaled DISORT” 8
- Ζενίθια γωνία 180 μοίρες και αζιμούθια γωνία 0 μοίρες, γιατί η λήψη των δεδομένων είναι ναδιρική
- Μέγεθος τμήματος της εικόνας που χρησιμοποιείται για την επεξεργασία της τα 100Mb
- Τιμή που χρησιμοποιείται ως κλίμακα για τη μετατροπή της τελικής εικόνας από “floating point” σε “2-byte integer” ίση με 10,000

Δεν εφαρμόστηκε επαναβαθμονόμηση των διαύλων της εικόνας Hyperion, για την οποία χρησιμοποιούνται όλοι οι δίαυλοι της εικόνας. Εφαρμόστηκε διόρθωση για το φαινόμενο της ανάμειξης της ακτινοβολίας μεταξύ των γειτονικών ψηφίδων των δεδομένων.

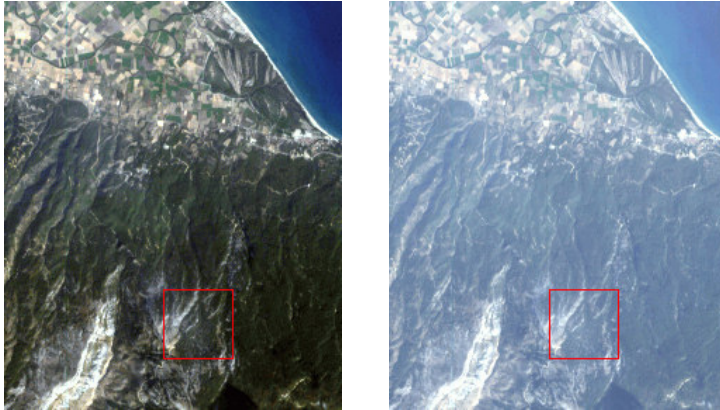
Παρακάτω παρουσιάζονται φασματικές υπογραφές ψηφίδων βλάστησης, ακάλυπτου εδάφους, κτιρίου και δρόμου της υπερφασματικής εικόνας Hyperion πριν και μετά τη μείωση των ατμοσφαιρικών σφαλμάτων της διάχυσης και απορρόφησης, που περιέχουν (π.χ. για την ψηφίδα βλάστησης Εικ. 4.6-4.7). Φασματική υπογραφή μιας ψηφίδας είναι η γραφική παράσταση της φασματικής αντανάκλασης της ψηφίδας αυτής από τη γήινη επιφάνεια στα διάφορα μήκη κύματος του φάσματος.

Φασματική υπογραφή ψηφίδας βλάστησης

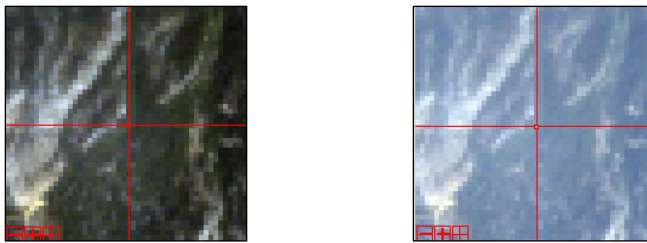
Στις Εικόνες 4.6-4.8 παρουσιάζεται η φασματική υπογραφή ψηφίδας βλάστησης ορεινής περιοχής πριν και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας Hyperion καθώς και η φασματική υπογραφή πράσινης βλάστησης (Chamise green) από τη φασματική βιβλιοθήκη “Jasper Ridge Spectral Library for Green Vegetation, Dry Vegetation, and Rocks” (veg_2grn.sli) του ENVI 4.3. Στον άξονα x των διαγραμμάτων παρουσιάζεται το μήκος κύματος των διαύλων της εικόνας σε nm. Στον άξονα y , για την εικόνα πριν την ατμοσφαιρική διόρθωσή της, παρουσιάζονται οι τιμές των αρχικών δεδομένων που βρίσκονται σε μονάδες $W / (m^2 \times Sr \times \mu m)$ {Watt / ($m^2 \times Steradian \times \mu m$)}, δηλαδή σε φασματική ακτινοβολία ανά μm . Στον άξονα y για την ατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα παρουσιάζεται η % αντανάκλαση πολλαπλασιασμένη με 10000. Στις Εικόνες 4.2-4.5 παρουσιάζεται η ψηφίδα των δεδομένων για την οποία δημιουργείται η φασματική υπογραφή των Εικόνων 4.6-4.7.

Από τη σύγκριση της φασματικής υπογραφής της ψηφίδας αυτής μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας Hyperion (Εικ. 4.7) και της φασματικής υπογραφής πράσινης βλάστησης της φασματικής βιβλιοθήκης (Εικ. 4.8) προκύπτει, ότι η φασματική υπογραφή της Εικόνας 4.7 αντιστοιχεί σε βλάστηση. Αντίθετα με τη φασματική υπογραφή της ψηφίδας πριν την ατμοσφαιρική διόρθωση (Εικ. 4.6) δε μπορεί να γίνει ταυτοποίηση.

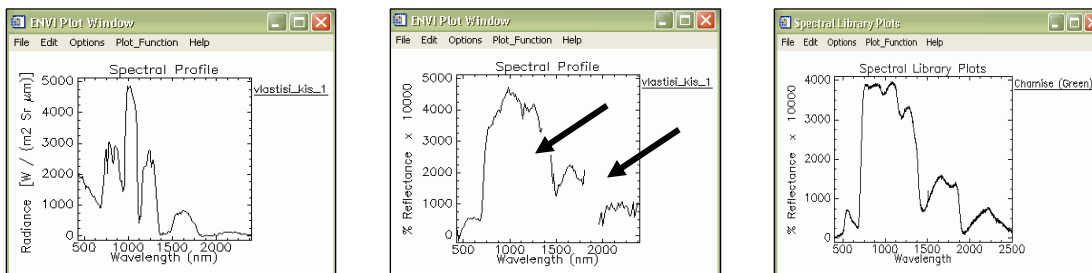
Τα κενά, που παρουσιάζονται στη φασματική υπογραφή της ψηφίδας μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας (τονίζονται με βέλη) (Εικ. 4.7), οφείλονται στην απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας.



Εικόνες 4.2-4.3. Ορεινή περιοχή της εικόνας Hyperion πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) την ατμοσφαιρική διόρθωσή της μέσω του ατμοσφαιρικού μοντέλου διόρθωσης Flaash.



Εικόνες 4.4-4.5. Παρουσιάζεται η περιοχή του κόκκινου πλαισίου των Εικόνων 4.2-4.3 αντίστοιχα.



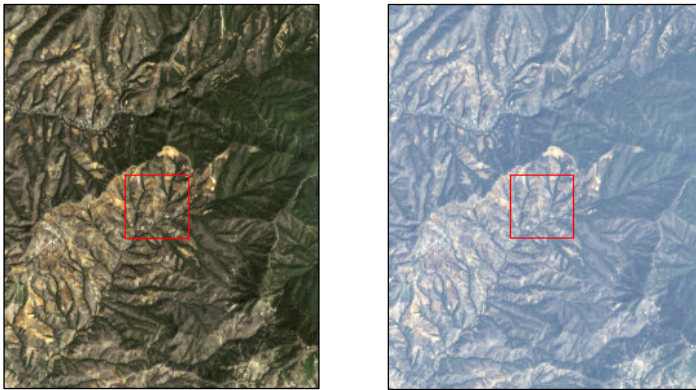
Εικόνες 4.6-4.8. Η φασματική υπογραφή της ψηφίδας που βρίσκεται στο κέντρο του κόκκινου πλαισίου των Εικόνων 4.2-4.3 πριν την ατμοσφαιρική διόρθωση (αριστερά) και μετά (κέντρο) και η φασματική υπογραφή της πράσινης βλάστησης (chamise) (δεξιά) από τη φασματική βιβλιοθήκη “Jasper Ridge Spectral Library for Green Vegetation, Dry Vegetation, and Rocks” (veg_2grn.sli), που περιλαμβάνεται στο λογισμικό ENVI 4.3.

Φασματική υπογραφή ψηφίδας ακάλυπτου εδάφους

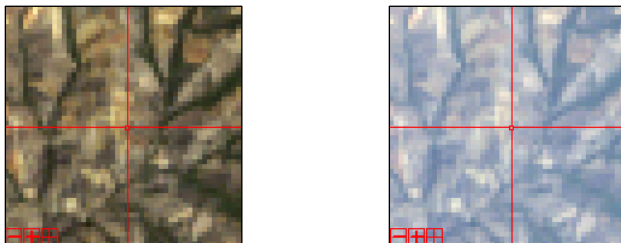
Στις Εικόνες 4.13-4.15 παρουσιάζεται η φασματική υπογραφή ψηφίδας ακάλυπτου εδάφους ημιορεινής περιοχής πριν και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας Hyperion καθώς και η φασματική υπογραφή ακάλυπτου εδάφους “Very dark grayish brown loam” από τη φασματική βιβλιοθήκη “JHU” (Johns Hopkins University). Η ψηφίδα των δεδομένων, για την οποία δημιουργείται η φασματική υπογραφή που παρουσιάζεται στις Εικόνες 4.13-4.14, βρίσκεται στο κέντρο του κόκκινου πλαισίου των Εικόνων 4.9-4.10.

Από τη σύγκριση της φασματικής υπογραφής της ψηφίδας αυτής μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας Hyperion (Εικ. 4.14) και της φασματικής υπογραφής ακάλυπτου εδάφους της φασματικής βιβλιοθήκης (Εικ. 4.15) προκύπτει, ότι η φασματική υπογραφή της Εικόνας 4.14 αντιστοιχεί σε ακάλυπτο έδαφος. Αντίθετα με τη φασματική υπογραφή της ψηφίδας πριν την ατμοσφαιρική διόρθωση (Εικ. 4.13) δε μπορεί να γίνει ταυτοποίηση.

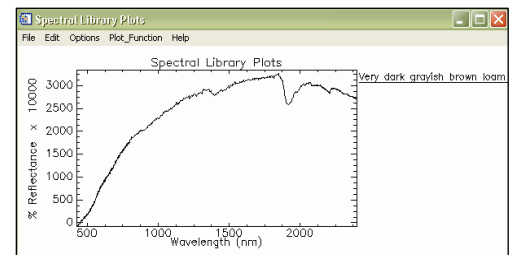
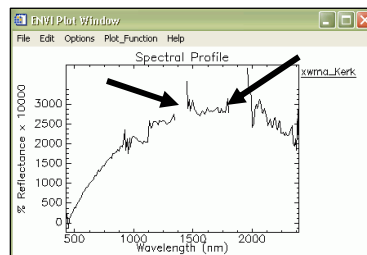
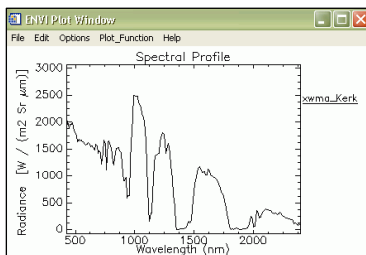
Τα κενά που παρουσιάζονται στη φασματική υπογραφή της ψηφίδας μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση των δεδομένων Hyperion (τονίζονται με βέλη) οφείλονται στην απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας.



Εικόνες 4.9-4.10. Περιοχή της εικόνας Hygerion πριν (αριστερά) και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωσή της (δεξιά).



Εικόνες 4.11-4.12. Παρουσιάζεται η περιοχή του κόκκινου πλαισίου των Εικόνων 4.9-4.10 αντίστοιχα.



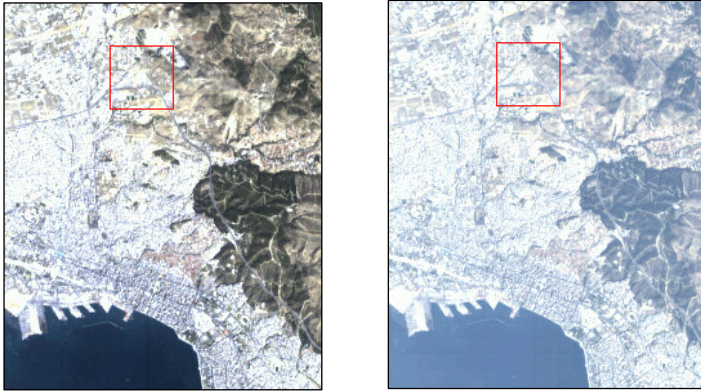
Εικόνες 4.13-4.15. Η φασματική υπογραφή της ψηφίδας ακάλυπτου εδάφους που βρίσκεται στο κέντρο του κόκκινου πλαισίου των Εικόνων 4.9-4.10 πριν την ατμοσφαιρική διόρθωση (αριστερά) και μετά (στο κέντρο) και η φασματική υπογραφή ακάλυπτου εδάφους “Very dark grayish brown loam” (δεξιά) από τη φασματική βιβλιοθήκη “JHU” (Johns Hopkins University), που περιλαμβάνεται στο ENVI 4.3.

Φασματικές υπογραφές ψηφίδων κτιρίου και δρόμου

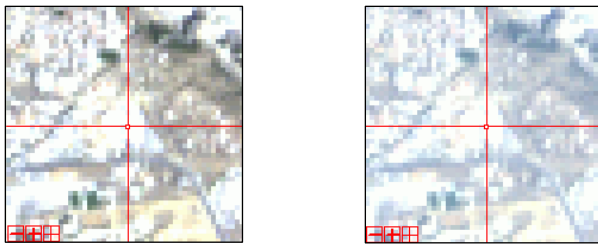
Στις Εικόνες 4.20-4.22, 4.27-4.29 παρουσιάζονται οι φασματικές υπογραφές ψηφίδων αστικής περιοχής πριν και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας Hyperion καθώς και οι φασματικές υπογραφές “Construction Concrete” και “Construction Asphalt” από τη φασματική βιβλιοθήκη “JHU” (Johns Hopkins University). Οι ψηφίδες αυτές αντιστοιχούν σε κτίριο και δρόμο. Οι ψηφίδες των δεδομένων, για τις οποίες δημιουργούνται οι φασματικές υπογραφές που παρουσιάζονται στις Εικόνες 4.20-4.21 και 4.27-4.28, βρίσκονται στο κέντρο του κόκκινου πλαισίου των Εικόνων 4.16-4.17 και 4.23-4.24 αντίστοιχα.

Από τη σύγκριση της φασματικής υπογραφής της ψηφίδας κτιρίου μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας Hyperion (Εικ. 4.21) και της φασματικής υπογραφής “Construction Concrete” της φασματικής βιβλιοθήκης (Εικ. 4.22) προκύπτει, ότι η φασματική υπογραφή που παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.21 πιθανόν να αντιστοιχεί σε κτίριο. Επίσης, από τη σύγκριση της φασματικής υπογραφής της ψηφίδας δρόμου της ατμοσφαιρικά διορθωμένης εικόνας Hyperion (Εικ. 4.28) και της φασματικής υπογραφής “Construction Asphalt” της φασματικής βιβλιοθήκης (Εικ. 4.29) προκύπτει, ότι η φασματική υπογραφή που παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.28 πιθανόν να αντιστοιχεί σε άσφαλο.

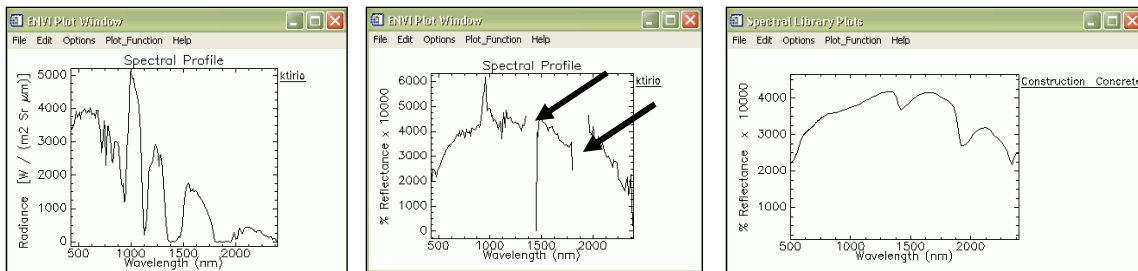
Τα κενά που παρουσιάζονται στις φασματικές υπογραφές των ψηφίδων κτιρίου και δρόμου μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας Hyperion (τονίζονται με βέλη), οφείλονται στην απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας.



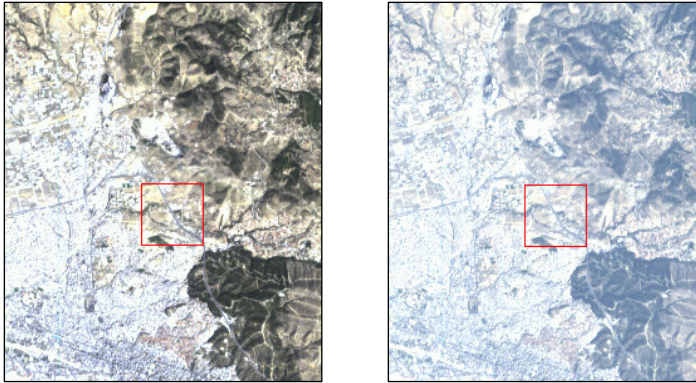
Εικόνες 4.16-4.17. Αστική περιοχή της εικόνας Hyperion πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) την ατμοσφαιρική διόρθωσή της μέσω του μοντέλου ατμοσφαιρικής διόρθωσης Flaash.



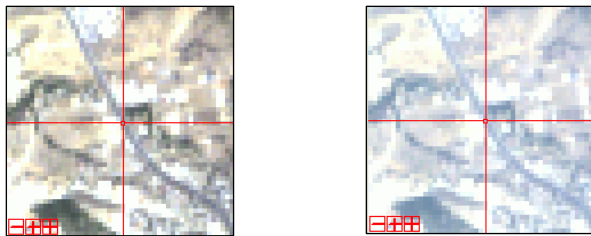
Εικόνες 4.18-4.19. Παρουσιάζεται η περιοχή του κόκκινου πλαισίου των Εικόνων 4.16-4.17 αντίστοιχα.



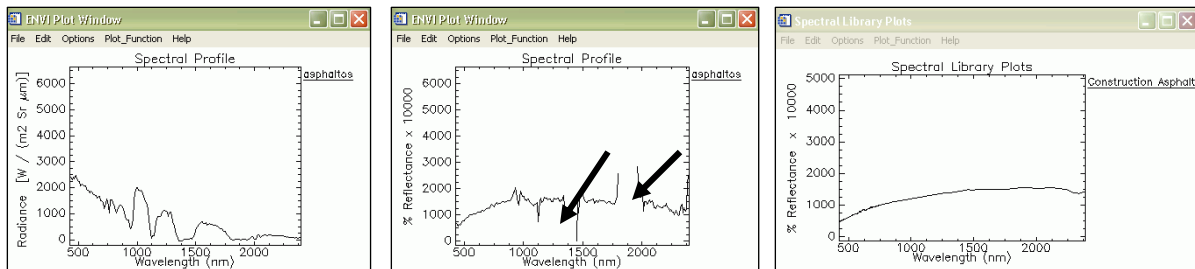
Εικόνες 4.20-4.22. Η φασματική υπογραφή της ψηφίδας που βρίσκεται στο κέντρο του κόκκινου πλαισίου των Εικόνων 4.16-4.17 πριν την ατμοσφαιρική διόρθωσή της δορυφορικής εικόνας (αριστερά) και μετά (κέντρο) και η φασματική υπογραφή “Construction Concrete” από τη φασματική βιβλιοθήκη “JHU” (Johns Hopkins University) (δεξιά). Η ψηφίδα αντιστοιχεί σε κτίριο.



Εικόνες 4.23-4.24. Αστική περιοχή της εικόνας Hyperion πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) την ατμοσφαιρική διόρθωσή της.



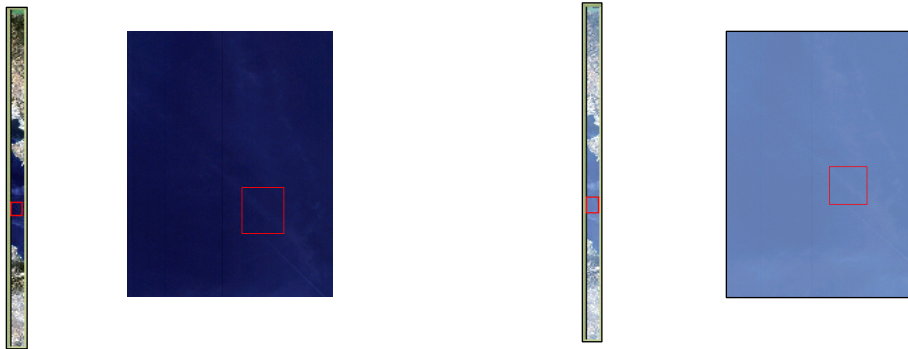
Εικόνες 4.25-4.26. Παρουσιάζεται η περιοχή του κόκκινου πλαισίου των Εικόνων 4.23-4.24 αντίστοιχα.



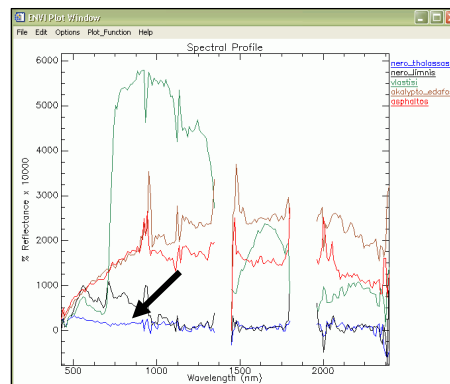
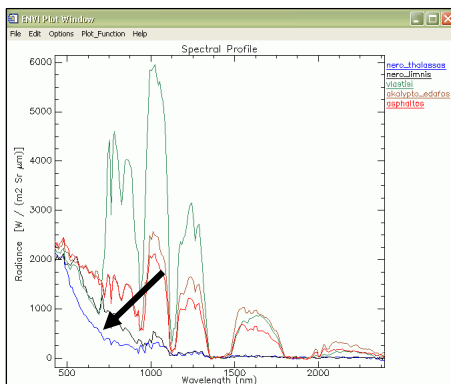
Εικόνες 4.27-4.29. Η φασματική υπογραφή της ψηφίδας που βρίσκεται στο κέντρο του κόκκινου πλαισίου των Εικόνων 4.23-4.24 πριν την ατμοσφαιρική διόρθωση (αριστερά) και μετά (κέντρο) και η φασματική υπογραφή “Construction Asphalt” (δεξιά) από τη φασματική βιβλιοθήκη “JHU” (Johns Hopkins University). Η ψηφίδα αντιστοιχεί σε άσφαλτο.

Φασματικές υπογραφές ψηφίδων θάλασσας, λίμνης, βλάστησης, ακάλυπτου εδάφους και ασφάλτου πριν και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας Hyperion

Στις Εικόνες 4.34-4.35, 4.38-4.39, 4.42-4.43, 4.46-4.47, 4.50-4.51 παρουσιάζονται οι φασματικές υπογραφές των κατηγοριών: α) νερό θάλασσας, β) νερό λίμνης, γ) βλάστηση, δ) ακάλυπτο έδαφος, ε) άσφαλτος της υπερφασματικής εικόνας Hyperion πριν και μετά τη μείωση των ατμοσφαιρικών σφαλμάτων της διάχυσης και της απορρόφησης. Στις Εικόνες 4.30-4.33, 4.36-4.37, 4.40-4.41, 4.44-4.45, 4.48-4.49 παρουσιάζονται οι ψηφίδες για τις οποίες δημιουργούνται οι φασματικές υπογραφές.



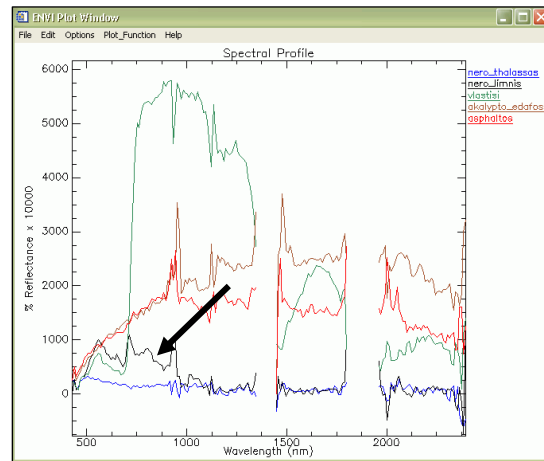
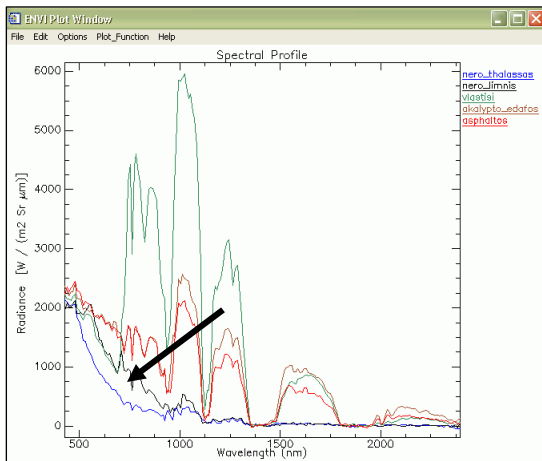
Εικόνες 4.30-4.33. Η πρώτη και η τρίτη εικόνα παρουσιάζουν ολόκληρη την εικόνα Hyperion πριν και μετά από την ατμοσφαιρική διόρθωσή της. Η δεύτερη και η τέταρτη εικόνα παρουσιάζουν την περιοχή του κόκκινου πλαισίου της πρώτης και της τρίτης αντίστοιχα.



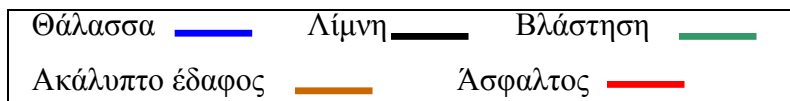
Εικόνες 4.34-4.35. Η φασματική υπογραφή ψηφίδας θάλασσας (με μπλε χρώμα/τονίζεται με το βέλος) πριν από την ατμοσφαιρική διόρθωση (αριστερά) και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση (δεξιά) της εικόνας Hyperion. Η ψηφίδα βρίσκεται στο κέντρο των κόκκινων πλαισίων των Εικόνων 4.31 και 4.33.



Εικόνες 4.36-4.37. Περιοχή της εικόνας Hyverion πριν (αριστερά) και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωσή της (δεξιά).

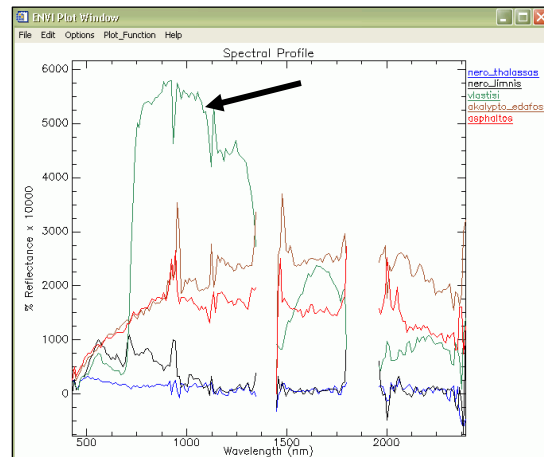
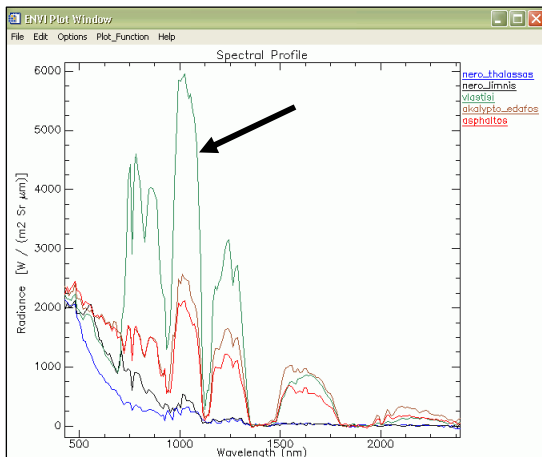


Εικόνες 4.38-4.39. Η φασματική υπογραφή της ψηφίδας λίμνης (με μαύρο χρώμα/τονίζεται με βέλος) που βρίσκεται στην τομή των δύο κόκκινων γραμμών των Εικόνων 4.36-4.37 πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) την ατμοσφαιρική διόρθωση των δεδομένων εικόνας.

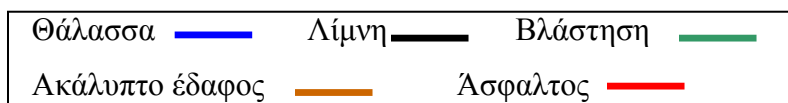




Εικόνες 4.40-4.41. Περιοχή της εικόνας Hydreion πριν (αριστερά) και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωσή της (δεξιά).

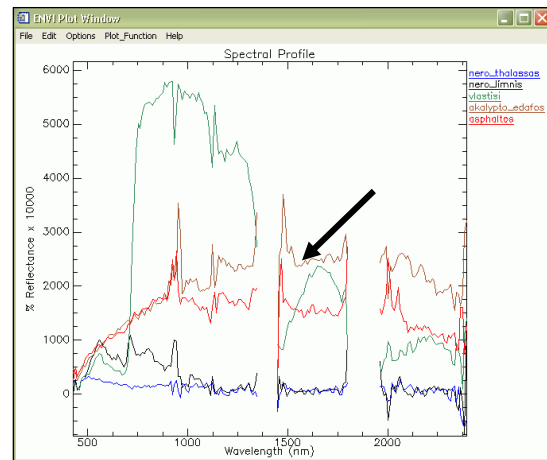
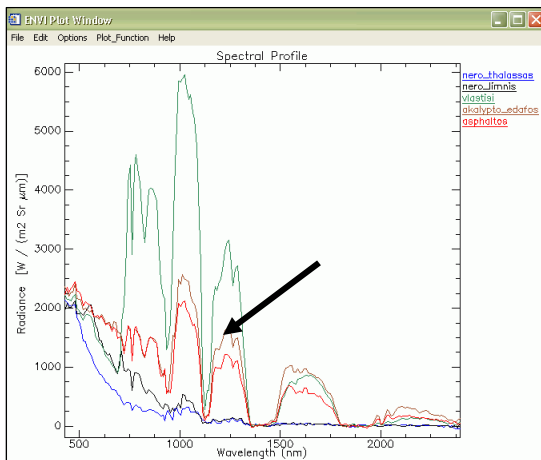


Εικόνες 4.42-4.43. Η φασματική υπογραφή της ψηφίδας βλάστησης (με πράσινο χρώμα/τονίζεται με το βέλος) που βρίσκεται στο κέντρο του κόκκινου πλαισίου των Εικόνων 4.40-4.41. Πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) την ατμοσφαιρική διόρθωση των δεδομένων εικόνας.

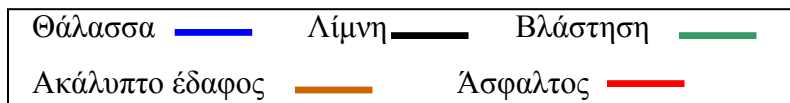




Εικόνες 4.44-4.45. Περιοχή της εικόνας Hydreion πριν (αριστερά) και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωσή της (δεξιά).

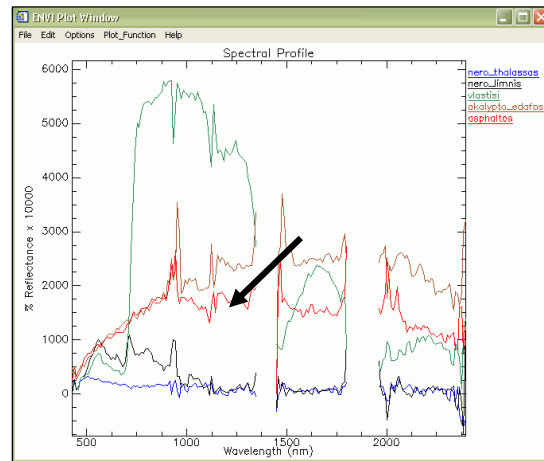
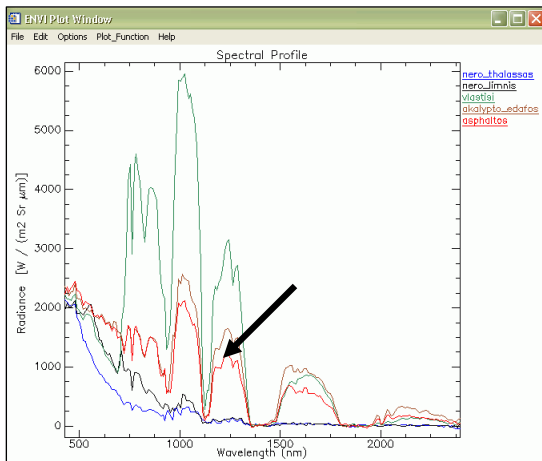


Εικόνες 4.46-4.47. Η φασματική υπογραφή της ψηφίδας ακάλυπτου εδάφους (με καφέ χρώμα/τονίζεται με βέλος) που βρίσκεται στο κέντρο του κόκκινου πλαισίου των Εικόνων 4.44-4.45 πριν την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας Hydreion (αριστερά) και μετά (δεξιά).

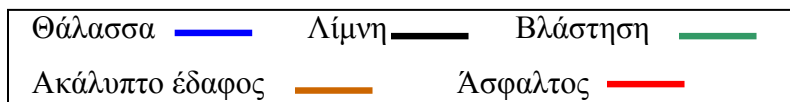




Εικόνες 4.48-4.49. Αστική περιοχή της αρχικής εικόνας Hyregion (αριστερά) και της ατμοσφαιρικά διορθωμένης (δεξιά).

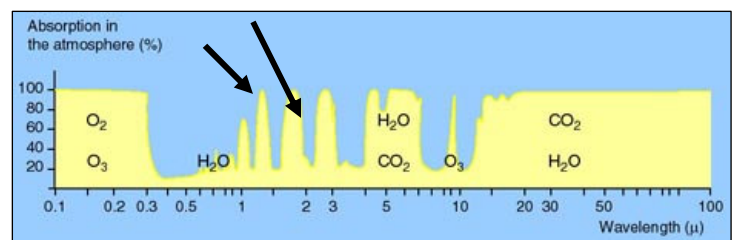
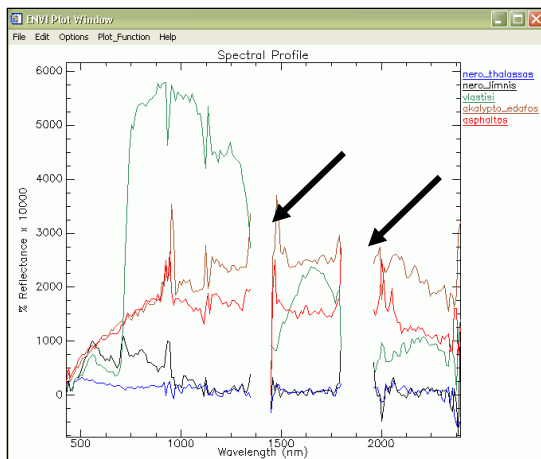


Εικόνες 4.50-4.51. Η φασματική υπογραφή της ψηφίδας ασφάλτου (με κόκκινο χρώμα/τονίζεται με βέλος) που βρίσκεται στο κέντρο του κόκκινου πλαισίου των Εικόνων 4.48-4.49 πριν την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας Hyregion (αριστερά) και μετά (δεξιά).



Παρατηρείται, ότι σε όλες τις περιπτώσεις φασματικών υπογραφών ψηφίδων της εικόνας Hyperion μετά την εφαρμογή του μοντέλου ατμοσφαιρικής διόρθωσης Flaash (π.χ. Εικ. 4.7, Εικ. 4.14), που γίνεται για την απομάκρυνση των ατμοσφαιρικών σφαλμάτων της διάχυσης και της απορρόφησης, οι περιοχές 1350-1450nm και 1810-1950nm περίπου του φάσματος, δεν περιέχουν τιμές. Αυτό συμβαίνει, γιατί στις συγκεκριμένες φασματικές περιοχές το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας απορροφάται από τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην υπάρχει ενέργεια, που να μπορεί να καταγραφεί από το δορυφορικό αισθητήρα, [4].

Στην Εικόνα 4.52 με τα βέλη τονίζονται οι περιοχές του φάσματος, στις οποίες η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας. Στην Εικόνα 4.53 με τα βέλη τονίζονται οι περιοχές απορρόφησης, που αντιστοιχούν περίπου στις φασματικές περιοχές απορρόφησης που παρουσιάζονται στην Εικόνα 4.52.



Εικόνες 4.52-4.53. Δεξιά παρουσιάζονται οι περιοχές απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα και τα πιο σημαντικά αέρια της ατμόσφαιρας, που την προκαλούν, [64]. Με τα βέλη τονίζονται οι περιοχές απορρόφησης, που αντιστοιχούν περίπου στις φασματικές περιοχές απορρόφησης που παρουσιάζονται στην αριστερή εικόνα.

Η εφαρμογή του αγροτικού (Rural), του αστικού (Urban) και του θαλάσσιου (Maritime) μοντέλου για το μείγμα των ατμοσφαιρικών αερίων και σωματιδίων

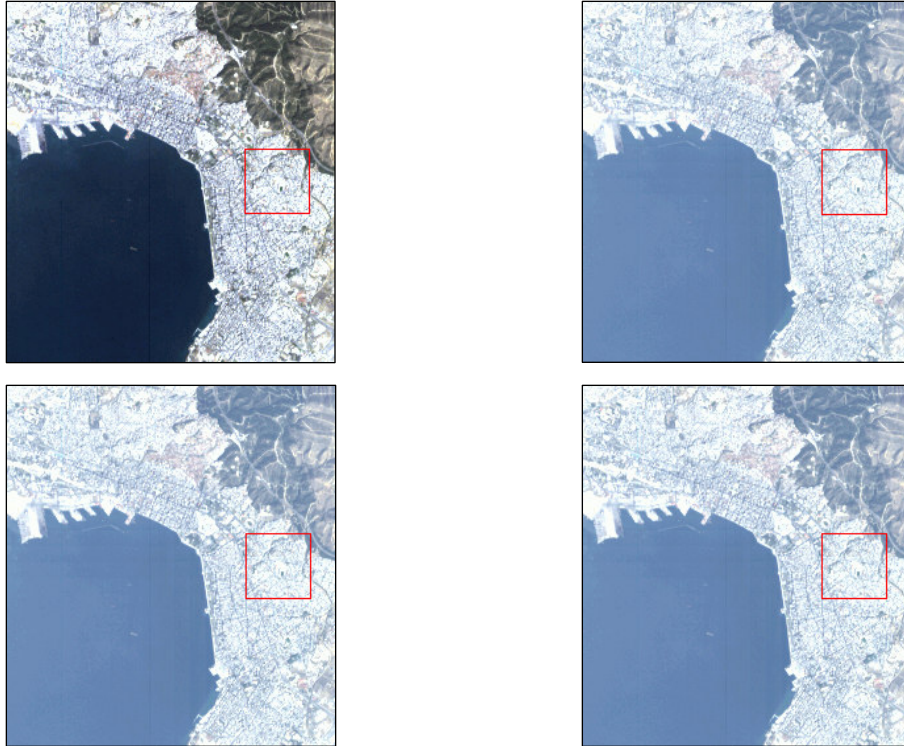
Αφού η εικόνα Hyperion διορθώθηκε ατμοσφαιρικά με τη χρήση του αγροτικού (Rural), του αστικού (Urban) και του θαλάσσιου μοντέλου (Maritime), στη συνέχεια συγκρίθηκαν οι φασματικές υπογραφές ψηφίδων αστικής, ορεινής και θαλάσσιας περιοχής, που προέρχονται από τις τρεις ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες (Εικ. 4.59-4.61). Κατά την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας και στις τρεις περιπτώσεις οι υπόλοιπες παράμετροι του αλγορίθμου Flaash παρέμειναν ίδιες.

Παρατηρήθηκε, ότι οι φασματικές υπογραφές (Εικ. 4.59-4.61, 4.67-4.69, 4.79-4.81) έχουν σε όλες τις περιπτώσεις την ίδια μορφή. Οι ψηφίδες της εικόνας Hyperion που διορθώθηκε ατμοσφαιρικά με τη χρήση του αστικού μοντέλου παρουσιάζουν λίγο μεγαλύτερες τιμές.

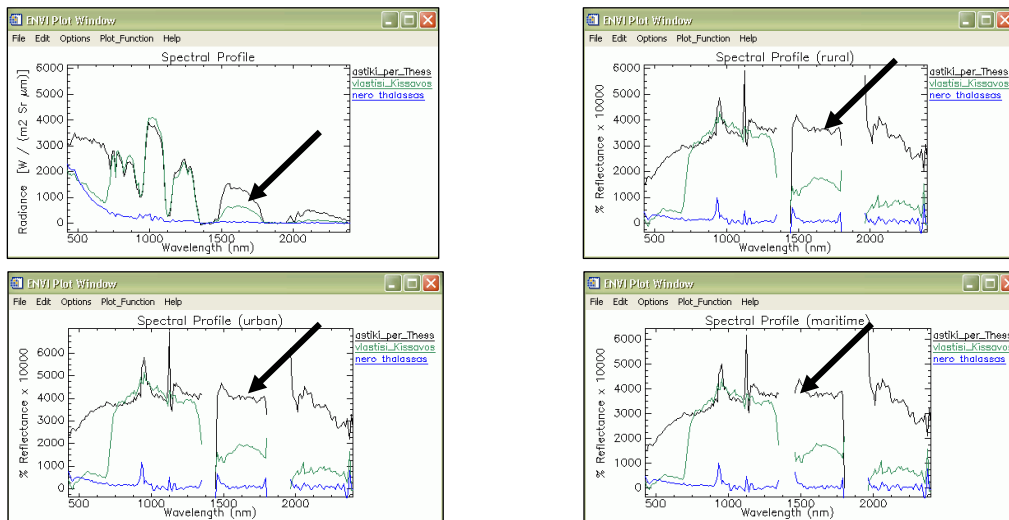
Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ατμοσφαιρικής διόρθωσης της εικόνας Hyperion για την ορατότητα της εικόνας και την περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε υδρατμούς.

Πίνακας 4.1. Αποτελέσματα της ατμοσφαιρικής διόρθωσης της εικόνας Hyperion με τη χρήση της μεθόδου “2-Band (K-T)”.

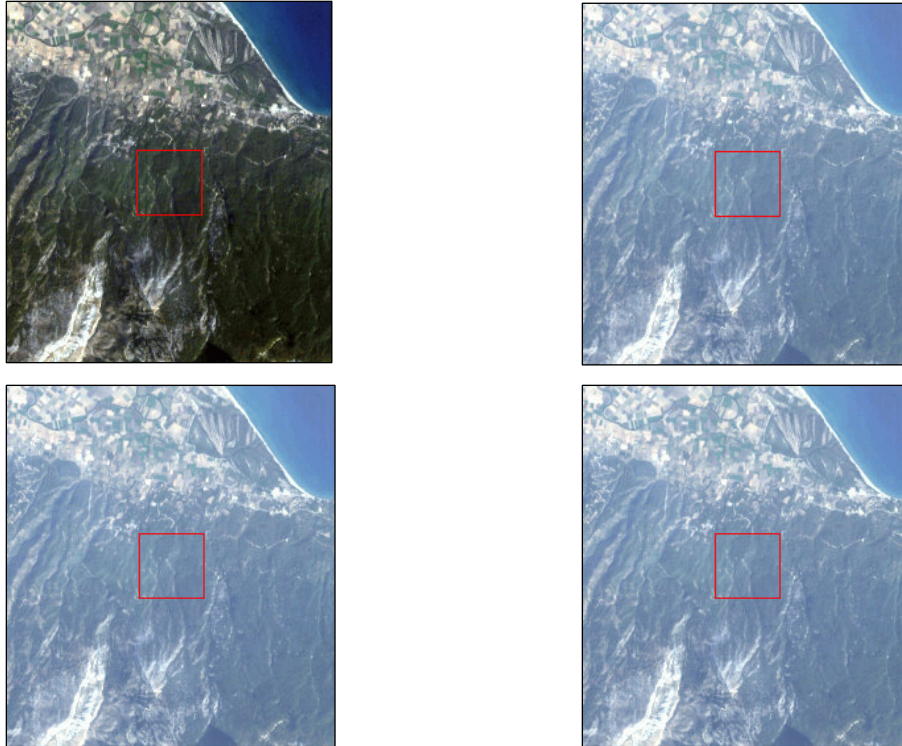
Μοντέλο μείγματος αερίων και σωματιδίων της ατμόσφαιρας (Aerosol Model)	Ορατότητα της εικόνας (km) Visibility	Περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε υδρατμούς (cm) Average Water Amount
Αγροτικό (Rural)	25,4513	2,2677
Αστικό (Urban)	15,6244	2,2400
Θαλάσσιο (Maritime)	24,0867	2,1431



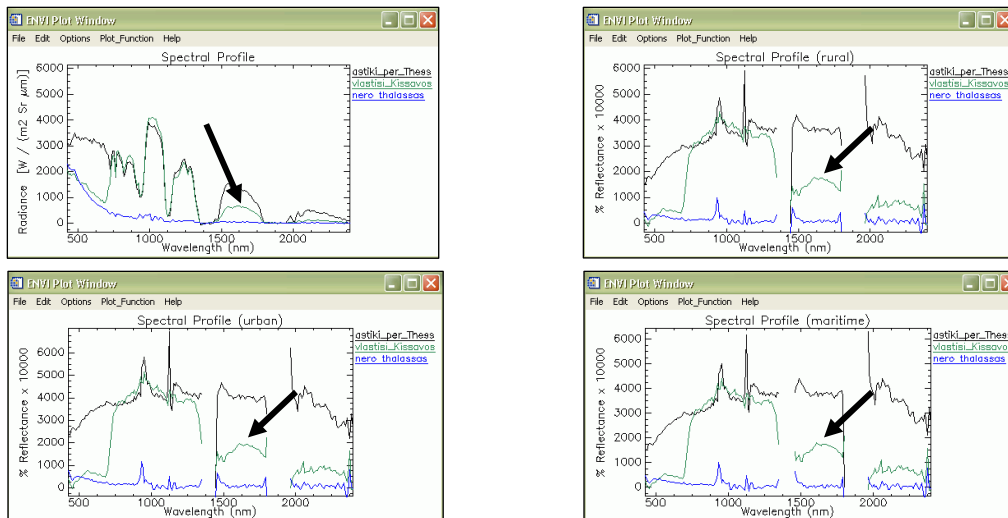
Εικόνες 4.54-4.57. Η αρχική εικόνα Hyperion (αριστερά), η εικόνα μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση με τη χρήση του αγροτικού μοντέλου (rural) (επάνω δεξιά), του αστικού μοντέλου (urban) (κάτω αριστερά), του θαλάσσιου μοντέλου (maritime) (κάτω δεξιά).



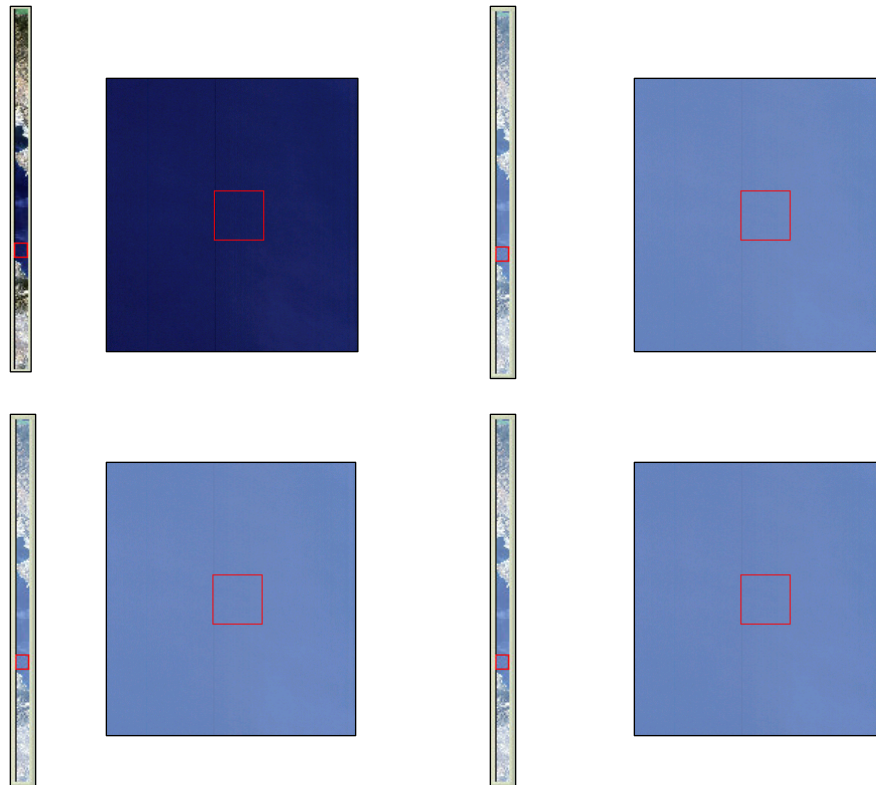
Εικόνες 4.58-4.61. Παρουσιάζεται η φασματική υπογραφή ψηφίδας κτιρίου (με μαύρο χρώμα/τονίζεται με βέλος) πριν την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας (επάνω αριστερά), μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση με τη χρήση του αγροτικού μοντέλου (rural) (επάνω δεξιά), με τη χρήση του αστικού μοντέλου (urban) (κάτω αριστερά) και του θαλάσσιου μοντέλου (maritime) (κάτω δεξιά). Η ψηφίδα βρίσκεται στο κέντρο του κόκκινου πλαισίου των Εικόνων 4.54-4.57.



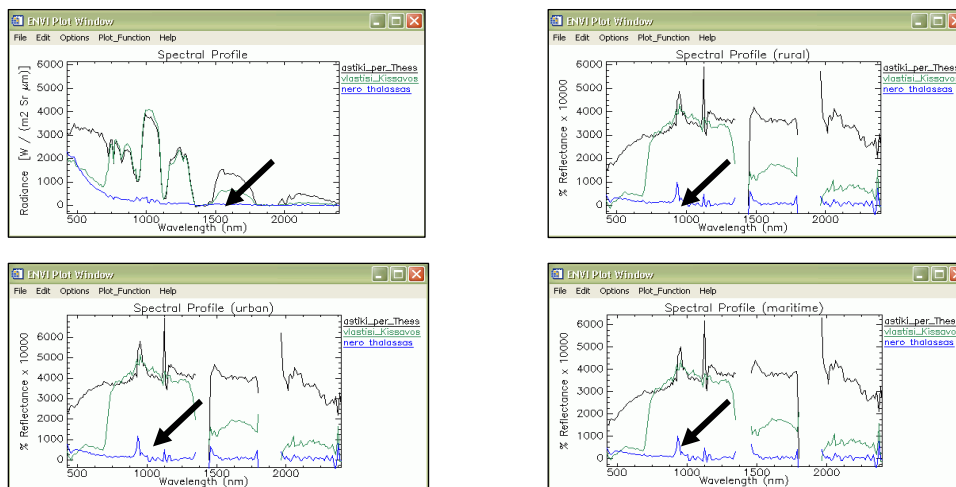
Εικόνες 4.62-4.65. Η αρχική εικόνα Hydruntion (αριστερά), η εικόνα μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση με τη χρήση του αγροτικού μοντέλου (rural) (επάνω δεξιά), του αστικού μοντέλου (urban) (κάτω αριστερά), του θαλάσσιου μοντέλου (maritime) (κάτω δεξιά).



Εικόνες 4.66-4.69. Παρουσιάζεται η φασματική υπογραφή ψηφίδα βλάστησης (με πράσινο χρώμα/τονίζεται με βέλος) πριν την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας Hydruntion (επάνω αριστερά), μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση με τη χρήση του αγροτικού μοντέλου (rural) (επάνω δεξιά), με τη χρήση του αστικού μοντέλου (urban) (κάτω αριστερά) και του θαλάσσιου μοντέλου (maritime) (κάτω δεξιά). Η ψηφίδα βρίσκεται στο κέντρο του κόκκινου πλαισίου των Εικόνων 4.62-4.65.



Εικόνες 4.70-4.77. Η πρώτη και η τρίτη εικόνα (πάνω) παρουσιάζουν ολόκληρη την εικόνα Hyperion πριν και μετά από την ατμοσφαιρική διόρθωσή της με τη χρήση του αγροτικού μοντέλου. Η δεύτερη και η τέταρτη εικόνα (επάνω) παρουσιάζουν την περιοχή του κόκκινου πλαισίου της πρώτης και της τρίτης αντίστοιχα. Κάτω παρουσιάζεται η ατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα με τη χρήση του αστικού (κάτω αριστερά) και του θαλάσσιου μοντέλου (κάτω δεξιά).



Εικόνες 4.78-4.81. Η φασματική υπογραφή ψηφίδας θάλασσας (με μπλε χρώμα/τονίζεται με βέλος) πριν την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας Hyperion (επάνω αριστερά), μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση με τη χρήση του αγροτικού μοντέλου (rural) (επάνω δεξιά), με τη χρήση του αστικού μοντέλου (urban) (κάτω αριστερά) και του θαλάσσιου μοντέλου (maritime) (κάτω δεξιά). Η ψηφίδα βρίσκεται στο κέντρο του κόκκινου πλαισίου των Εικόνων 4.71, 4.73, 4.75 και 4.77.

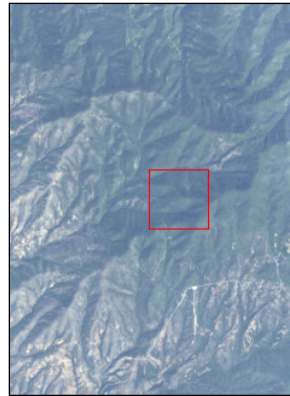
Βελτίωση της ατμοσφαιρικής διόρθωσης της εικόνας Hyperion

Οι φασματικές υπογραφές ορισμένων ψηφίδων βλάστησης παρουσιάζουν αρνητικές τιμές στα μικρά μήκη κύματος του φάσματος (Εικ. 4.85). Αρνητικές τιμές παρουσιάζονται και στις φασματικές υπογραφές ορισμένων ψηφίδων θάλασσας και λίμνης (Εικ. 4.91, 4.95). Οι αρνητικές τιμές δεν έχουν φυσικό νόημα, γιατί η φασματική υπογραφή εκφράζει την εκατοστιαία αντανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας από τα αντικείμενα της γήινης επιφάνειας στα διάφορα μήκη κύματος του φάσματος.

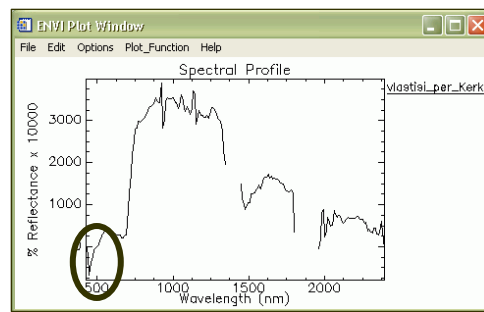
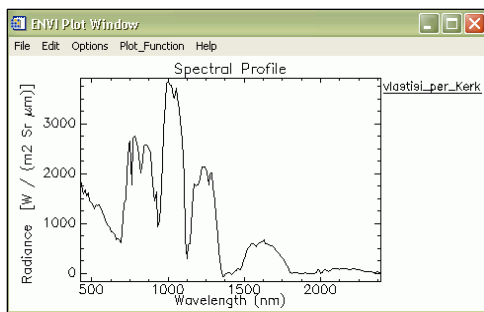
Το αποτέλεσμα για την οπτικοποίηση της εικόνας δεν ήταν καλό. Δηλαδή η ατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα έχει χαμηλότερο contrast από την αρχική με αποτέλεσμα να δυσκολεύει η διάκριση των χαρακτηριστικών της (Εικ. 4.96-4.101).

Για τη βελτίωση της ατμοσφαιρικής διόρθωσης της εικόνας Hyperion δοκιμάστηκε η χρήση της αρχικής τιμής ορατότητας της εικόνας για το μείγμα των ατμοσφαιρικών αερίων και σωματιδίων αντί για τη μέθοδο “2-Band (K-T)”. Επίσης, η επαναβαθμονόμηση των διαύλων της εικόνας και η τεχνική “spectral polishing” (φασματική ομαλοποίηση). Επίσης, δοκιμάστηκε η ατμοσφαιρική διόρθωση ξεχωριστών τμημάτων της εικόνας Hyperion με τη χρήση του αγροτικού, του αστικού και του θαλάσσιου μοντέλου ανάλογα με το είδος της περιοχής που περιλαμβάνουν τα τμήματα αυτά (ορεινή, ημιορεινή, αστική, θάλασσα ή περιοχή αγροτικών καλλιεργειών).

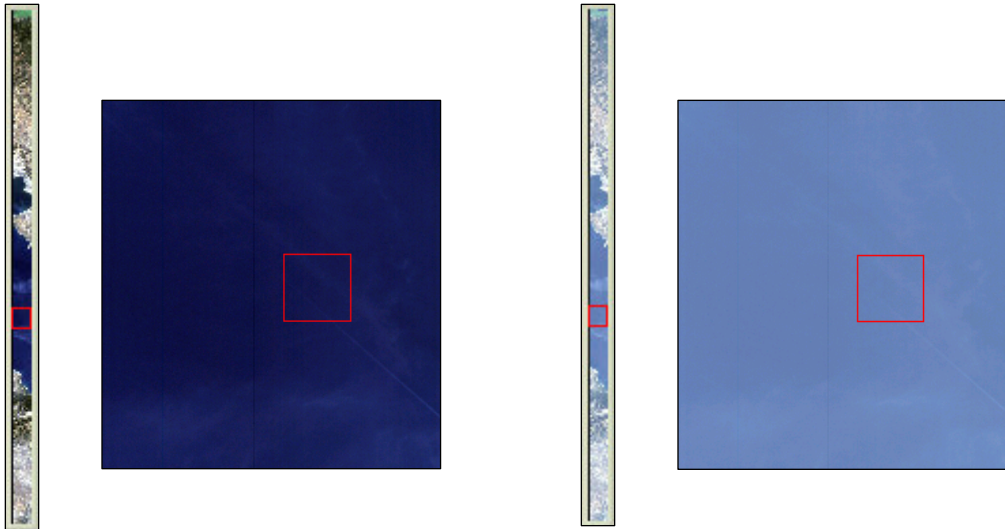
Οι αρνητικές τιμές στις φασματικές υπογραφές σημειώνονται με το πλαίσιο στην Εικόνα 4.85 και τα μικρά βέλη στις Εικόνες 4.91 και 4.95. Στις Εικόνες 4.82-4.83 παρουσιάζεται η ψηφίδα της εικόνας Hyperion, για την οποία δημιουργείται η φασματική υπογραφή των Εικόνων 4.84-4.85. Αντίστοιχα στις Εικόνες 4.86-4.89 παρουσιάζεται η ψηφίδα της εικόνας Hyperion, για την οποία δημιουργείται η φασματική υπογραφή που παρουσιάζεται στις Εικόνες 4.90-4.91.



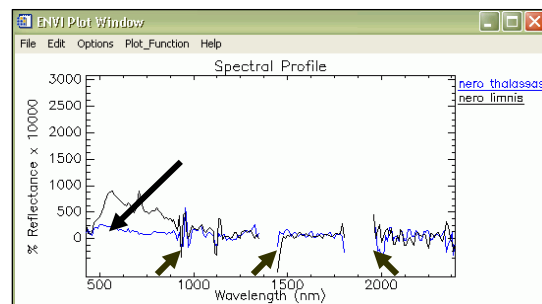
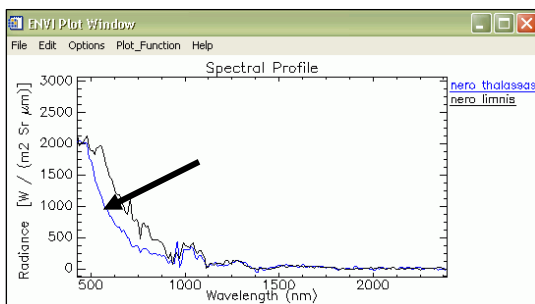
Εικόνες 4.82-4.83. Ημιορεινή περιοχή της εικόνας Hyperion πριν (αριστερή εικόνα) και μετά (δεξιά εικόνα) την ατμοσφαιρική διόρθωσή της.



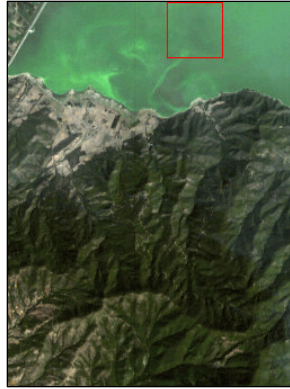
Εικόνα 4.84-4.85. Η φασματική υπογραφή ψηφίδας βλάστησης πριν την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας Hyperion (αριστερά) και μετά (δεξιά). Η ψηφίδα αυτή βρίσκεται στο κέντρο του κόκκινου πλαισίου των Εικόνων 4.82-4.83. Παρατηρείται, ότι παρουσιάζονται αρνητικές τιμές στη φασματική υπογραφή της ψηφίδας μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας Hyperion (τονίζονται με το πλαίσιο).



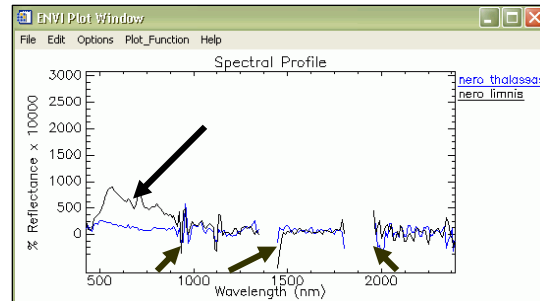
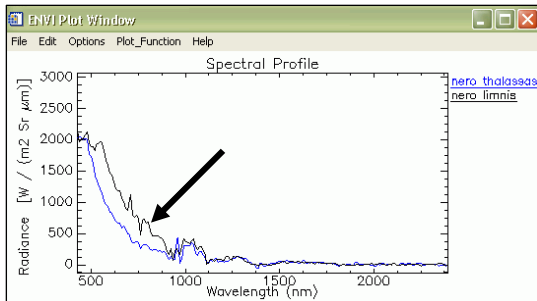
Εικόνες 4.86-4.89. Η πρώτη και η τρίτη εικόνα παρουσιάζουν ολόκληρη την εικόνα Hydrion πριν και μετά από την ατμοσφαιρική διόρθωσή της. Η δεύτερη και η τέταρτη εικόνα παρουσιάζουν την περιοχή του κόκκινου πλαισίου της πρώτης και της τρίτης αντίστοιχα.



Εικόνες 4.90-4.91. Η φασματική υπογραφή ψηφίδας θάλασσας (με μπλε χρώμα/τονίζεται με το μεγαλύτερο βέλος) πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας Hydrion. Παρατηρείται, ότι παρουσιάζονται αρνητικές τιμές (τονίζονται με μικρά βέλη-δεξιά). Η ψηφίδα αυτή βρίσκεται στο κέντρο του κόκκινου πλαισίου των Εικόνων 4.87, 4.89.



Εικόνες 4.92-4.93. Περιοχή της εικόνας Hyperion πριν (αριστερή εικόνα) και μετά (δεξιά εικόνα) την ατμοσφαιρική διόρθωσή της.



Εικόνες 4.94-4.95. Παρουσιάζεται η φασματική υπογραφή ψηφίδας λίμνης (με μαύρο χρώμα/τονίζεται με το μεγαλύτερο βέλος) πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας Hyperion. Παρατηρείται, ότι παρουσιάζονται αρνητικές τιμές (τονίζονται με μικρά βέλη-δεξιά). Η ψηφίδα αυτή βρίσκεται στο κέντρο του κόκκινου πλαισίου των Εικόνων 4.92-4.93.



Εικόνες 4.96-4.97. Ημιορεινή περιοχή της εικόνας Hydrion πριν την ατμοσφαιρική διόρθωσή της μέσω του μοντέλου ατμοσφαιρικής διόρθωσης Flaash (αριστερή εικόνα) και μετά (δεξιά εικόνα). Έγινε χρήση του αγροτικού μοντέλου (Aerosol Model-Rural) για το μείγμα των ατμοσφαιρικών αερίων και σωματιδίων. Παρατηρείται, ότι η εικόνα μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση έχει χαμηλότερο contrast. Η χρωματική εμφάνιση της εικόνας προέκυψε από το συνδυασμό διαύλων: R=20 (620,15nm), G=15 (569,27nm), B=7 (487,87nm).



Εικόνες 4.98-4.99. Αστική περιοχή της εικόνας Hydrion πριν την ατμοσφαιρική διόρθωσή της (αριστερή εικόνα) και μετά (δεξιά εικόνα). Έγινε χρήση του αστικού μοντέλου (Aerosol Model-Urban) για το μείγμα των ατμοσφαιρικών αερίων και σωματιδίων. Παρατηρείται, ότι η εικόνα μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση έχει χαμηλότερο contrast. Η χρωματική εμφάνιση της εικόνας προέκυψε από το συνδυασμό διαύλων: R=20 (620,15nm), G=15 (569,27nm), B=7 (487,87nm).



Εικόνες 4.100-4.101. Περιοχή της εικόνας Hyperion πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) την ατμοσφαιρική διόρθωσή της μέσω του μοντέλου ατμοσφαιρικής διόρθωσης Flaash. Έγινε χρήση του θαλάσσιου μοντέλου (Aerosol Model-Maritime) για το μείγμα των ατμοσφαιρικών αερίων και σωματιδίων. Παρατηρείται, ότι η εικόνα μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση έχει χαμηλότερο contrast. Η χρωματική εμφάνιση της εικόνας προέκυψε από το συνδυασμό διαύλων: R=20 (620,15nm), G=15 (569,27nm), B=7 (487,87nm).

- **Εφαρμογή της αρχικής τιμής ορατότητας της εικόνας Hyperion**

Για την απομάκρυνση των αρνητικών τιμών που παρατηρήθηκαν στις φασματικές υπογραφές ορισμένων ψηφίδων της εικόνας Hyperion δοκιμάστηκε η χρήση της αρχικής τιμής ορατότητας της εικόνας για το μείγμα των ατμοσφαιρικών αερίων και σωματιδίων αντί για τη μέθοδο “2-Band (K-T)”. Το μοντέλο για το μείγμα των αερίων και των σωματιδίων της ατμόσφαιρας ήταν το αγροτικό (Rural) ενώ οι υπόλοιπες παράμετροι του Flaash παρέμειναν ίδιες.

Στον Πίνακα 4.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ατμοσφαιρικής διόρθωσης της εικόνας Hyperion.

Στις Εικόνες 4.105-4.107, 4.111-4.113 παρουσιάζονται οι φασματικές υπογραφές ψηφίδων βλάστησης της εικόνας Hyperion πριν και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωσή της με τη χρήση της μεθόδου “2-Band (K-T)” (Εικ. 4.106, 4.112) και με τη χρήση της αρχικής τιμής ορατότητας της εικόνας (Εικ. 4.107, 4.113).

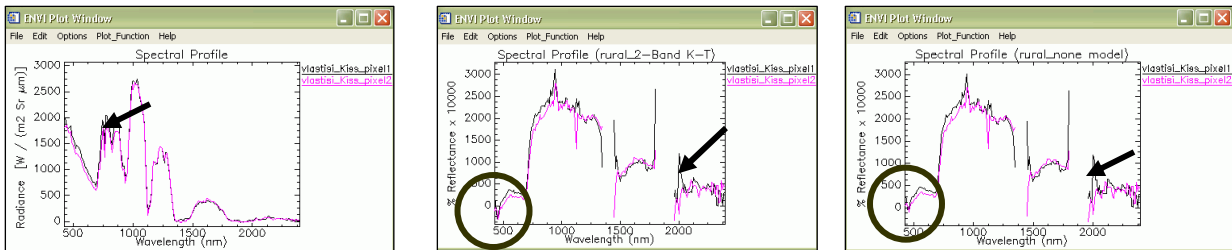
Πίνακας 4.2. Αποτελέσματα της ατμοσφαιρικής διόρθωσης της εικόνας Hyperion με τη χρήση της αρχικής τιμής ορατότητας της εικόνας.

Μοντέλο μείγματος αερίων και σωματιδίων της ατμόσφαιρας (Aerosol Model)	Ορατότητα της εικόνας (km) Visibility	Περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε υδρατμούς (cm) Average Water Amount
Αγροτικό (Rural)	40	2,2749

Παρατηρήθηκε, ότι με τη χρήση της αρχικής τιμής ορατότητας της εικόνας κατά την ατμοσφαιρική διόρθωση οι αρνητικές τιμές που παρουσιάζονται στις φασματικές υπογραφές ορισμένων ψηφίδων μειώθηκαν ή εξαλείφθηκαν (τονίζονται με τα πλαίσια). Στις Εικόνες 4.102-4.104, 4.108-4.110 παρουσιάζονται οι ψηφίδες για τις οποίες δημιουργήθηκαν οι φασματικές υπογραφές των Εικόνων 4.105-4.107, 4.111-4.113.



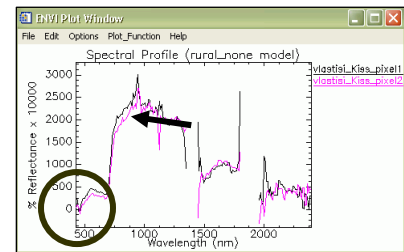
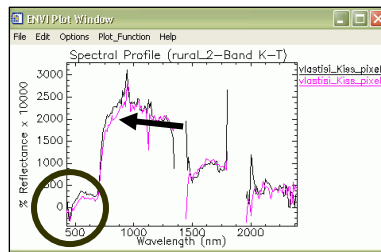
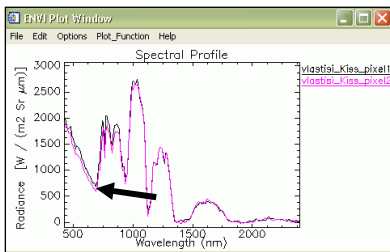
Εικόνες 4.102-4.104. Ορεινή περιοχή της εικόνας Hyperion πριν (αριστερά) και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση με τη χρήση της μεθόδου “2-Band (K-T)” (κέντρο) και της αρχικής τιμής ορατότητας της εικόνας (δεξιά).



Εικόνες 4.105-4.107. Η φασματική υπογραφή ψηφίδας βλάστησης (με μαύρο χρώμα-ψηφίδα 1/τονίζεται με βέλος). Πριν την ατμοσφαιρική διόρθωση των δεδομένων εικόνας (αριστερά) και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωσή τους με τη χρήση της μεθόδου “2-Band (K-T)” (κέντρο) και της αρχικής τιμής ορατότητας της εικόνας (none model) (δεξιά). Η ψηφίδα για την οποία δημιουργήθηκε η φασματική υπογραφή βρίσκεται στο κέντρο του κόκκινου πλαισίου των Εικόνων 4.102-4.104.



Εικόνες 4.108-4.110. Ορεινή περιοχή της εικόνας Hyperion πριν (αριστερά) και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση με τη χρήση της μεθόδου “2-Band (K-T)” (κέντρο) και της αρχικής τιμής ορατότητας της εικόνας (δεξιά).



Εικόνες 4.111-4.113. Η φασματική υπογραφή ψηφίδας βλάστησης (με ροζ χρώμα-ψηφίδα 2/τονίζεται με βέλος). Πριν την ατμοσφαιρική διόρθωση των δεδομένων εικόνας (αριστερά) και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωσή τους με τη χρήση της μεθόδου “2-Band (K-T)” (κέντρο) και της αρχικής τιμής ορατότητας της εικόνας (none model) (δεξιά). Η ψηφίδα βρίσκεται στο κέντρο του κόκκινου πλαισίου των Εικόνων 4.108-4.110.

- **Εφαρμογή της τεχνικής επαναβαθμονόμησης των διαύλων της εικόνας Hyperion (“Wavelength Recalibration”)**

Ακόμη και μικρά σφάλματα στη θέση του κέντρου της φασματικής περιοχής κάθε διαύλου της εικόνας Hyperion μπορεί να εισάγει σημαντικά σφάλματα κατά την ατμοσφαιρική διόρθωσή της, [20]. Για το λόγο αυτό εφαρμόστηκε επαναβαθμονόμηση των διαύλων της εικόνας. Κατά την εφαρμογή της τεχνικής αυτής χρησιμοποιήθηκε η εικόνα Hyperion με όλους τους αρχικούς διαύλους (242 δίαυλοι).

Μετά την επαναβαθμονόμηση των διαύλων της εικόνας Hyperion υπήρξε μετατόπιση του κέντρου της φασματικής περιοχής κάθε διαύλου κατά 1,32-1,62nm στους πρώτους 70 διαύλους (φασματική περιοχή VNIR) και κατά (-13,54)-(-16,71)nm στους 71-242 διαύλους (φασματική περιοχή SWIR). Αφού αφαιρέθηκαν οι δίαυλοι που δεν περιέχουν πληροφορία σύμφωνα με τον Πίνακα 3.3 και οι δίαυλοι που συμπίπτουν φασματικά μεταξύ τους μετά την επαναβαθμονόμηση, η εικόνα Hyperion έχει συνολικά 194 διαύλους.

Για την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας Hyperion χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος 2Band K-T για τον προσδιορισμό του μείγματος των ατμοσφαιρικών αερίων και σωματιδίων, το αγροτικό μοντέλο για το μείγμα των ατμοσφαιρικών αερίων και σωματιδίων (Rural) και τμήμα επεξεργασίας εικόνας 200Mb (Tile Size). Οι υπόλοιπες παράμετροι παρέμειναν ίδιες. Το τμήμα επεξεργασίας εικόνας αυξήθηκε, γιατί με τμήμα 100Mb δημιουργήθηκε πρόβλημα κατά την επεξεργασία. Στις φασματικές υπογραφές ορισμένων ψηφίδων της εικόνας υπήρξαν αρνητικές τιμές. Για τη μείωση των αρνητικών τιμών εφαρμόστηκε στη συνέχεια ατμοσφαιρική διόρθωση με τη χρήση της αρχικής τιμής ορατότητας της εικόνας. Παρατηρήθηκε ότι υπήρξε μείωση των αρνητικών τιμών.

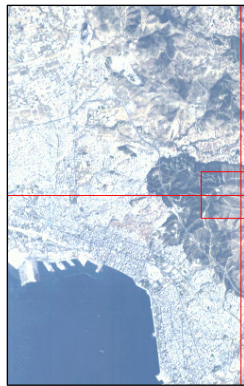
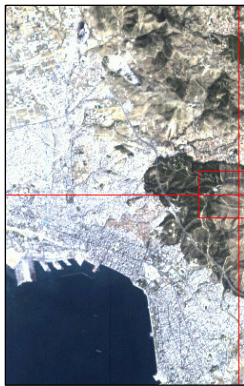
Στον Πίνακα 4.3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ατμοσφαιρικής διόρθωσης της εικόνας Hyperion.

Παρακάτω στις Εικόνες 4.117-4.119, 4.123-4.125 παρουσιάζονται οι φασματικές υπογραφές ψηφίδων ακάλυπτου εδάφους και βλάστησης από την αρχική εικόνα Hyperion, μετά την ατμοσφαιρική διόρθωσή της κατά την οποία δεν εφαρμόστηκε επαναβαθμονόμηση των διαύλων της (Εικ. 4.118, 4.124) και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωσή της κατά την οποία εφαρμόστηκε επαναβαθμονόμηση των διαύλων της (Εικ.

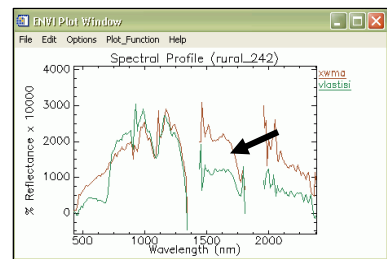
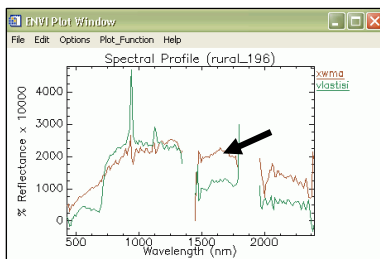
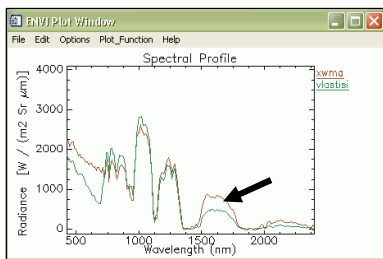
4.119, 4.125). Στις Εικόνες 4.114-4.116, 4.120-4.122 παρουσιάζονται οι ψηφίδες για τις οποίες δημιουργούνται οι φασματικές υπογραφές.

Πίνακας 4.3. Αποτελέσματα της ατμοσφαιρικής διόρθωσης της εικόνας Hyperion.

Χρήση “2 Band K-T” ή Αρχικής τιμής ορατότητας της εικόνας Hyperion	Μοντέλο μείγματος αερίων και σωματιδίων της ατμόσφαιρας (Aerosol Model)	Ορατότητα της εικόνας Hyperion (km) Visibility Value	Περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε υδρατμούς (cm) Average Water Amount
2 Band K-T	Αγροτικό (Rural)	21,7835	1,4836
Αρχική τιμή ορατότητας της εικόνας Hyperion	Αγροτικό (Rural)	40	1,5320



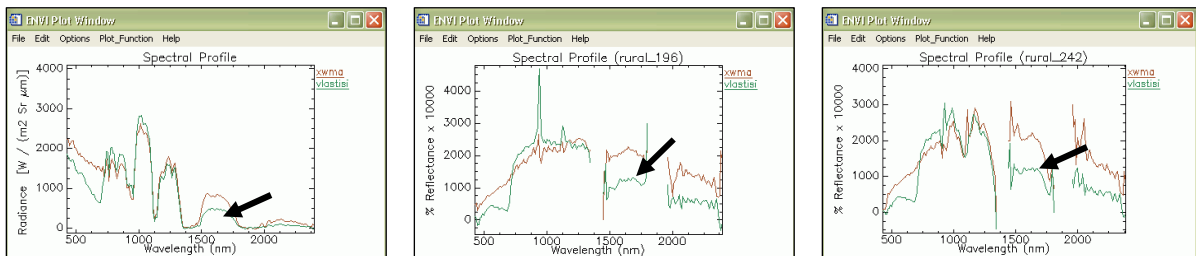
Εικόνες 4.114-4.116. Η αρχική εικόνα Hyperion (αριστερά) και η ατμοσφαιρικά διορθωμένη (κέντρο και δεξιά). Η ατμοσφαιρική διόρθωση εφαρμόστηκε με επαναβαθμονόμηση των διαύλων της εικόνας (δεξιά) και χωρίς (κέντρο).



Εικόνες 4.117-4.119. Η φασματική υπογραφή ψηφίδας ακάλυπτου εδάφους (με καφέ χρώμα/τονίζεται με βέλος) πριν την ατμοσφαιρική διόρθωση των δεδομένων εικόνας (αριστερά) και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση με εφαρμογή επαναβαθμονόμησης των διαύλων (δεξιά) και χωρίς (κέντρο). Η τομή των κόκκινων γραμμών των Εικόνων 4.114-4.116 δείχνει την ψηφίδα αυτή.



Εικόνες 4.120-4.122. Η εικόνα Hyperion πριν (αριστερά) και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωσή της (κέντρο και δεξιά). Η ατμοσφαιρική διόρθωση εφαρμόστηκε με επαναβαθμονόμηση των διαύλων της εικόνας (δεξιά) και χωρίς (κέντρο).



Εικόνες 4.123-4.125. Η φασματική υπογραφή ψηφίδας βλάστησης (με πράσινο χρώμα/τονίζεται με βέλος) πριν την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας Hyperion (αριστερά) και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση με εφαρμογή επαναβαθμονόμησης των διαύλων (δεξιά) και χωρίς (κέντρο). Η ψηφίδα βρίσκεται στο κέντρο του κόκκινου πλαισίου των Εικόνων 4.120-4.122.

Αφού η εικόνα Hyperion διορθώθηκε ατμοσφαιρικά με τη χρήση του αγροτικού (Rural) και του αστικού (Urban) μοντέλου στη συνέχεια συγκρίθηκαν οι φασματικές υπογραφές ψηφίδων αστικής και ημιορεινής περιοχής που προκύπτουν από τις δύο ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες (Εικ. 4.126-4.137). Οι υπόλοιπες παράμετροι κατά την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας παρέμειναν ίδιες. Χρησιμοποιήθηκε η αρχική τιμή ορατότητας της εικόνας. Παρατηρήθηκε, ότι με τη χρήση του αστικού και του αγροτικού μοντέλου για το μείγμα των αερίων και των σωματιδίων της ατμόσφαιρας οι φασματικές υπογραφές των ψηφίδων είναι παρόμοιες.

Στον Πίνακα 4.4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ατμοσφαιρικών διορθώσεων της εικόνας Hyperion.

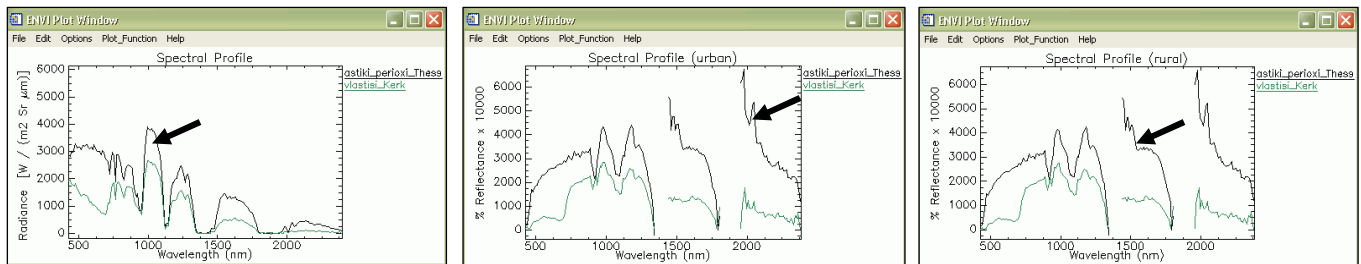
Πίνακας 4.4. Αποτελέσματα της ατμοσφαιρικής διόρθωσης της εικόνας Hyperion με τη χρήση αρχικής τιμής ορατότητας της εικόνας Hyperion.

Μοντέλο μείγματος αερίων και σωματιδίων της ατμόσφαιρας (Aerosol Model)	Ορατότητα της εικόνας (km) Visibility	Περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε υδρατμούς (cm) Average Water Amount
Αγροτικό (Rural)	40	1,5320
Αστικό (Urban)	40	1,5369

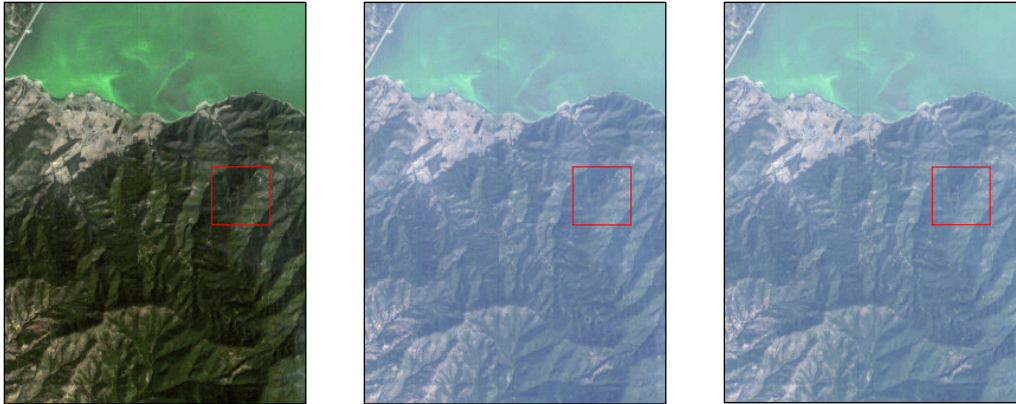
Στις Εικόνες 4.129-4.131, 4.135-4.137 παρουσιάζονται οι φασματικές υπογραφές ψηφίδων βλάστησης και αστικής περιοχής πριν και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας Hyperion. Κατά την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας χρησιμοποιήθηκε το αγροτικό και το αστικό μοντέλο για το μείγμα των αερίων και των σωματιδίων της ατμόσφαιρας. Στις Εικόνες 4.126-4.128, 4.132-4.134 παρουσιάζονται οι ψηφίδες για τις οποίες δημιουργήθηκαν οι φασματικές υπογραφές.



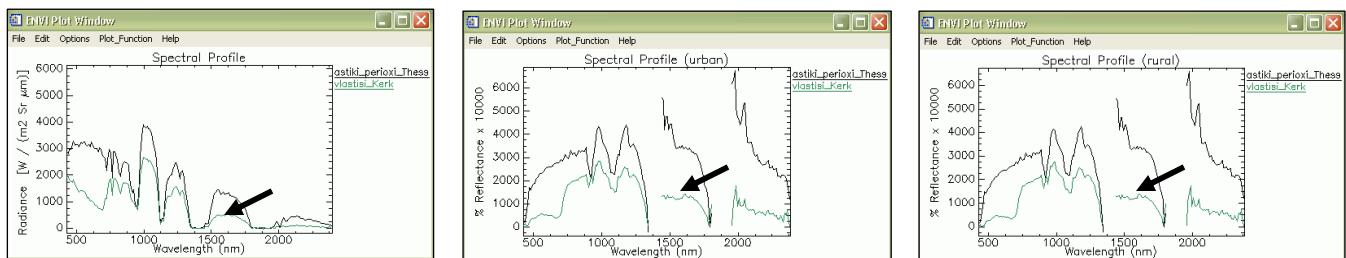
Εικόνες 4.126-4.128. Αστική περιοχή της εικόνας Hyregion πριν (αριστερά) και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωσή της (κέντρο και δεξιά). Κατά την εφαρμογή της ατμοσφαιρικής διόρθωσης χρησιμοποιήθηκε το αστικό μοντέλο (urban) (στο κέντρο) και το αγροτικό (rural) (δεξιά).



Εικόνες 4.129-4.131. Η φασματική υπογραφή ψηφίδας κτιρίου (με μαύρο χρώμα/τονίζεται με βέλος) πριν την ατμοσφαιρική διόρθωση των δεδομένων εικόνας (αριστερά) και μετά (κέντρο και δεξιά). Η φασματική υπογραφή στο κέντρο αντιστοιχεί στην εφαρμογή του αστικού μοντέλου (urban) και δεξιά στην εφαρμογή του αγροτικού (rural). Η ψηφίδα για την οποία δημιουργήθηκε η φασματική υπογραφή βρίσκεται στο κέντρο του κόκκινου πλαισίου των Εικόνων 4.126-4.128.



Εικόνες 4.132-4.134. Περιοχή της εικόνας Hyperion πριν (αριστερά) και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωσή της (κέντρο και δεξιά). Κατά την εφαρμογή της ατμοσφαιρικής διόρθωσης χρησιμοποιήθηκε το αστικό μοντέλο (urban) (κέντρο) και το αγροτικό (rural) (δεξιά).



Εικόνες 4.135-4.137. Η φασματική υπογραφή ψηφίδας βλάστησης (με πράσινο χρώμα/τονίζεται με βέλος) πριν την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας Hyperion (αριστερά) και μετά (κέντρο και δεξιά). Η φασματική υπογραφή στο κέντρο αντιστοιχεί στην εφαρμογή του αστικού μοντέλου (urban) και δεξιά στην εφαρμογή του αγροτικού (rural). Η ψηφίδα αυτή βρίσκεται στο κέντρο του κόκκινου πλαισίου των Εικόνων 4.132-4.134.

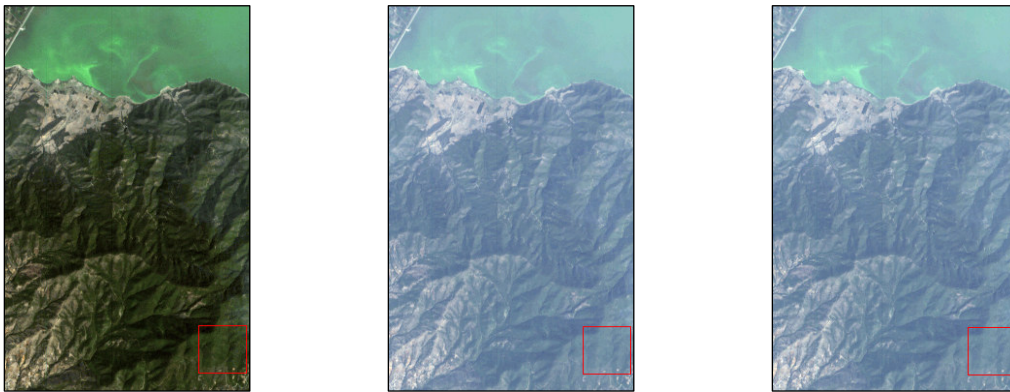
- **Εφαρμογή της τεχνικής “Spectral Polishing”**

Εφαρμόστηκε η τεχνική “spectral polishing” (φασματική ομαλοποίηση) για τη μείωση του φασματικού θορύβου. Παρουσιάζονται οι φασματικές υπογραφές ψηφίδας βλάστησης (Εικ. 4.141-4.143, 4.153-4.155, 4.162-4.164, 4.168-4.170) και ακάλυπτου εδάφους (Εικ. 4.147-4.149) πριν την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας Hyperion, μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση κατά την οποία δεν εφαρμόστηκε “spectral polishing” και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας Hyperion κατά την οποία εφαρμόστηκε “spectral polishing”. Επίσης παρουσιάζεται η φασματική υπογραφή

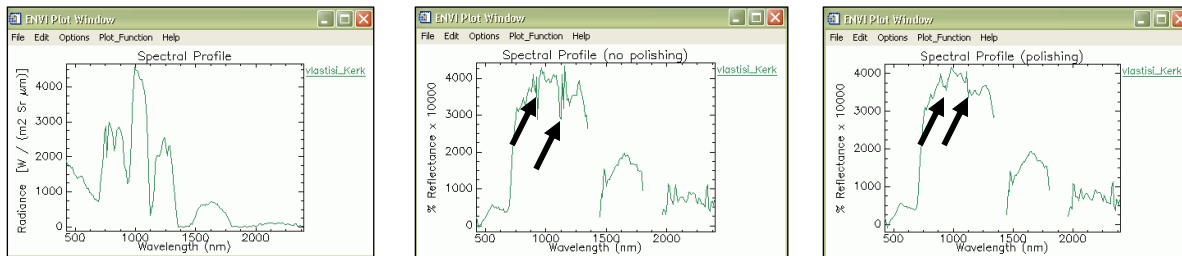
ψηφίδας βλάστησης (Εικ. 4.156-4.158, 4.171-4.173) στη φασματική περιοχή 650nm-850nm, που είναι χαρακτηριστική για τη χλωροφύλλη (chlorophyll edge redgion), πριν και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας Hyperion χωρίς την εφαρμογή “spectral polishing” και με την εφαρμογή “spectral polishing”.

Παρατηρήθηκε ότι με την εφαρμογή της τεχνικής “spectral polishing” μειώνεται ο φασματικός θόρυβος.

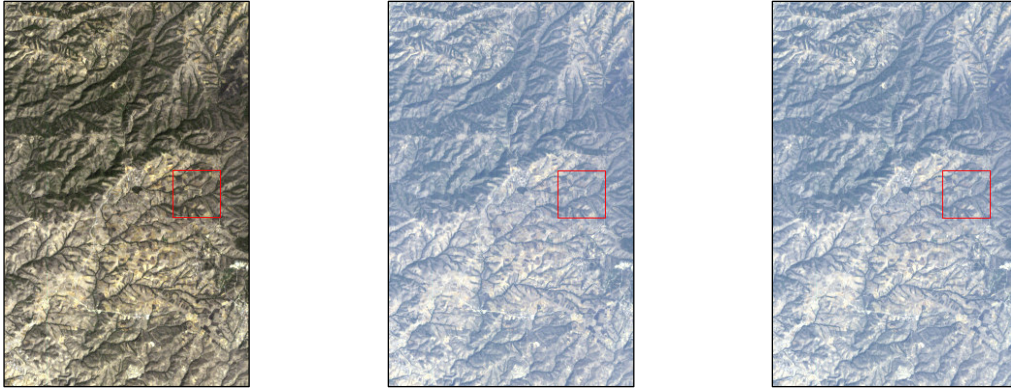
Κατά την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας Hyperion που παρουσιάζεται στις Εικόνες 4.138, 4.144 και 4.150 δεν εφαρμόστηκε επαναβαθμονόμηση των διαύλων της. Αντίθετα κατά την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας Hyperion που παρουσιάζεται στις Εικόνες 4.159 και 4.165 εφαρμόστηκε επαναβαθμονόμηση των διαύλων της.



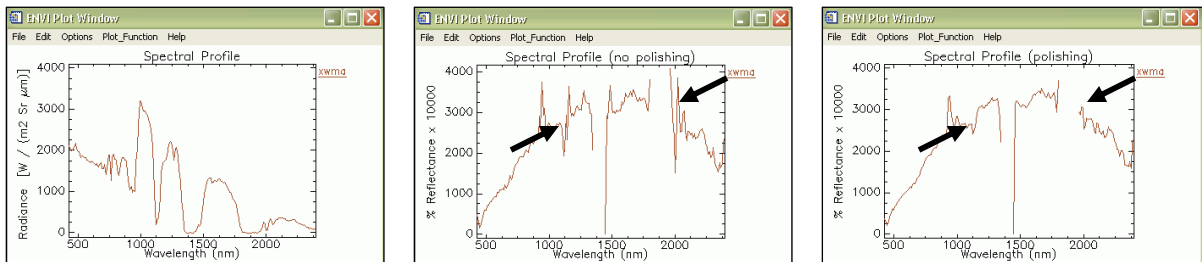
Εικόνες 4.138-4.140. Περιοχή της αρχικής εικόνας Hyperion (αριστερά) και της ατμοσφαιρικά διορθωμένης (κέντρο/χωρίς εφαρμογή “spectral polishing” και δεξιά/με εφαρμογή “spectral polishing”).



Εικόνες 4.141-4.143. Η φασματική υπογραφή ψηφίδας βλάστησης στα αρχικά δεδομένα εικόνας και στα δεδομένα εικόνας μετά την ατμοσφαιρική διόρθωσή τους χωρίς τη χρήση “spectral polishing” (κέντρο) και με τη χρήση “spectral polishing” (δεξιά). Η ψηφίδα βρίσκεται στο κέντρο του κόκκινου πλαισίου των Εικόνων 4.138-4.140.



Εικόνες 4.144-4.146. Ημιορεινή περιοχή της αρχικής εικόνας Hygieion (αριστερά) και της ατμοσφαιρικά διορθωμένης (κέντρο/χωρίς τη χρήση “spectral polishing” και δεξιά/με τη χρήση “spectral polishing”).

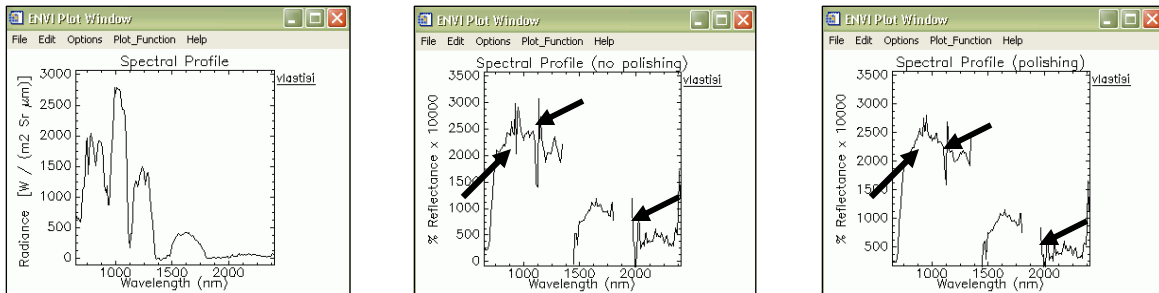


Εικόνες 4.147-4.149. Η φασματική υπογραφή ψηφίδα ακάλυπτου εδάφους στα αρχικά δεδομένα εικόνας και στα δεδομένα εικόνας μετά την ατμοσφαιρική διόρθωσή τους χωρίς τη χρήση “spectral polishing” (κέντρο) και με τη χρήση “spectral polishing” (δεξιά). Η ψηφίδα βρίσκεται στο κέντρο του κόκκινου πλαισίου των Εικόνων 4.144-4.146.

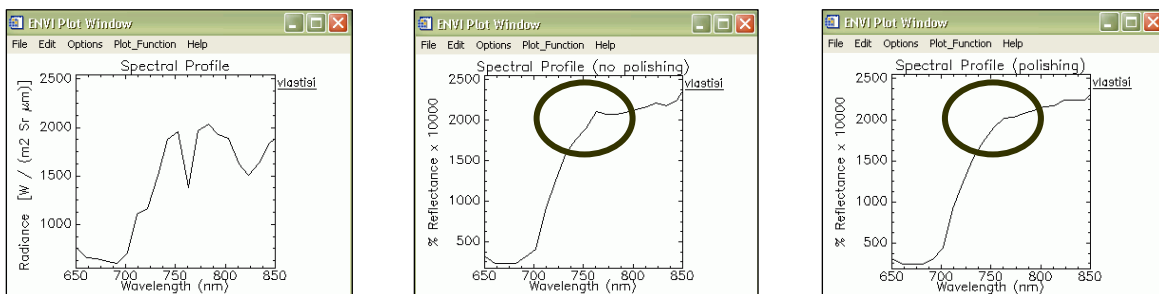
Στις Εικόνες 4.156-4.158 παρουσιάζονται τμήματα των φασματικών υπογραφών των Εικόνων 4.153-4.155 στη φασματική περιοχή 650nm-850nm. Η περιοχή αυτή είναι χαρακτηριστική για τη χλωροφύλλη. Παρατηρήθηκε ότι με τη χρήση της τεχνικής “spectral polishing” το τεχνούργημα (θόρυβος) της φασματικής υπογραφής στην Εικόνα 4.157 (μέσα στο πλαίσιο) μειώνεται.



Εικόνες 4.150-4.152. Περιοχή της εικόνας Hyperion πριν (αριστερά) και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωσή της (κέντρο/χωρίς τη χρήση “spectral polishing” και δεξιά/με τη χρήση “spectral polishing”).



Εικόνες 4.153-4.155. Η φασματική υπογραφή ψηφίδια βλάστησης της εικόνας Hyperion πριν (αριστερά) και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωσή της χωρίς την εφαρμογή “spectral polishing” (κέντρο) και με την εφαρμογή “spectral polishing” (δεξιά). Η ψηφίδα βρίσκεται στο κέντρο του κόκκινου πλαισίου των Εικόνων 4.150-4.152.

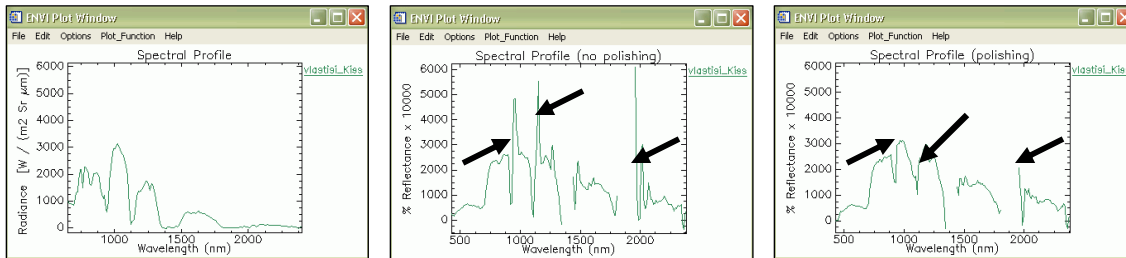


Εικόνες 4.156-4.158. Η περιοχή ανάμεσα στα 650nm-850nm της παραπάνω φασματικής υπογραφής αντίστοιχα (αριστερά-κέντρο-δεξιά). Η περιοχή αυτή είναι χαρακτηριστική για τη χλωροφύλλη (chlorophyll edge region).

Στις Εικόνες 4.171-4.173 παρουσιάζονται τμήματα των φασματικών υπογραφών των Εικόνων 4.168-4.170 στη φασματική περιοχή 650nm-850nm. Η περιοχή αυτή είναι χαρακτηριστική για τη χλωροφύλλη. Παρατηρήθηκε ότι με τη χρήση του “spectral polishing” το τεχνούργημα (θόρυβος) της φασματικής υπογραφής στην Εικόνα 4.172 (μέσα στο πλαίσιο) μειώνεται.



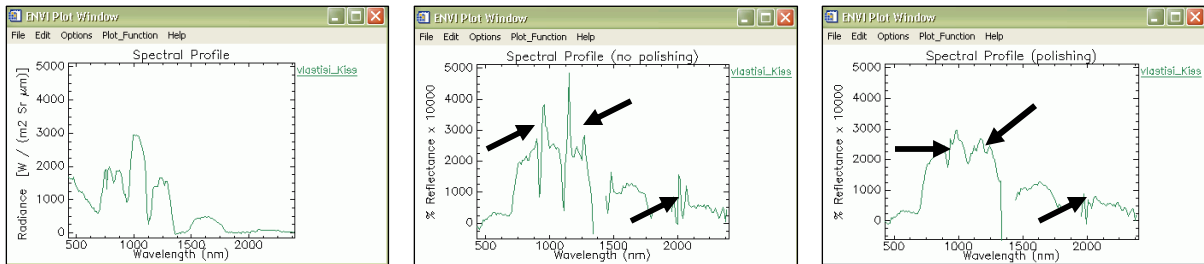
Εικόνες 4.159-4.161. Περιοχή της εικόνας Hyperion πριν (αριστερά) και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωσή της (κέντρο/χωρίς την εφαρμογή “spectral polishing” και δεξιά/με την εφαρμογή “spectral polishing”).



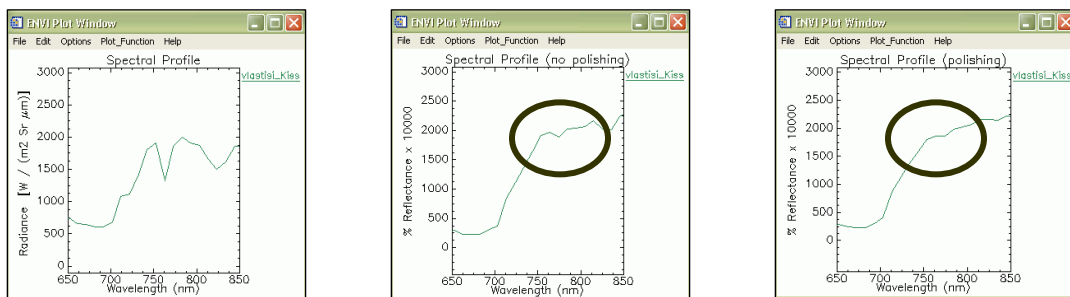
Εικόνες 4.162-4.164. Η φασματική υπογραφή ψηφίδας βλάστησης στα αρχικά δεδομένα εικόνας και στα δεδομένα εικόνας μετά την ατμοσφαιρική διόρθωσή τους χωρίς την εφαρμογή “spectral polishing” (κέντρο) και με την εφαρμογή “spectral polishing” (δεξιά). Η ψηφίδα βρίσκεται στο κέντρο του κόκκινου πλαισίου των Εικόνων 4.159-4.161.



Εικόνες 4.165-4.167. Περιοχή της εικόνας Hyperion πριν (αριστερά) και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωσή της (κέντρο/χωρίς την εφαρμογή “spectral polishing” και δεξιά/με την εφαρμογή “spectral polishing”).



Εικόνες 4.168-4.170. Η φασματική υπογραφή ψηφίδα βλάστησης στα αρχικά δεδομένα εικόνας (αριστερά) και στα δεδομένα εικόνας μετά την ατμοσφαιρική διόρθωσή τους χωρίς την εφαρμογή “spectral polishing” (κέντρο) και με την εφαρμογή “spectral polishing” (δεξιά). Η ψηφίδα βρίσκεται στο κέντρο του κόκκινου πλαισίου των Εικόνων 4.165-4.167.



Εικόνες 4.171-4.173. Η περιοχή ανάμεσα στα 650nm-850nm της παραπάνω φασματικής υπογραφής αντίστοιχα (αριστερά-κέντρο-δεξιά). Η περιοχή αυτή είναι χαρακτηριστική για τη χλωροφύλλη (chlorophyll edge region).

- **Εφαρμογή ατμοσφαιρικής διόρθωσης σε τμήματα της εικόνας Hyperion**

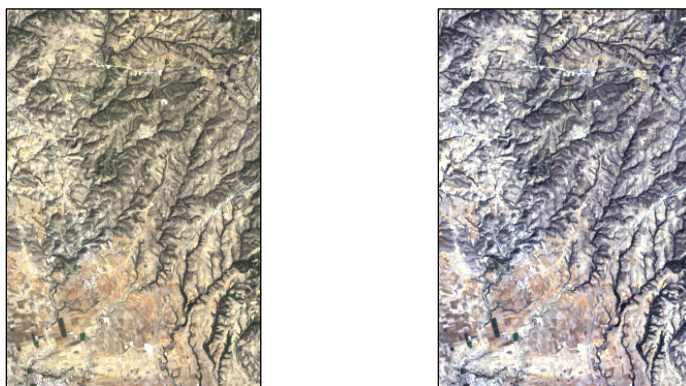
Επειδή στην εικόνα Hyperion απεικονίζονται περιοχές διαφορετικής κάλυψης (αστική, ορεινή, ημιορεινή, θαλάσσια περιοχή, περιοχή αγροτικών καλλιεργειών) και το αποτέλεσμα για την οπτικοποίηση της ατμοσφαιρικά διορθωμένης εικόνας δεν ήταν καλό, δοκιμάστηκε η ατμοσφαιρική διόρθωση σε τμήματα της εικόνας Hyperion.

Σε αρκετές διαδικασίες επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων μέσω του λογισμικού ENVI 4.3 υπάρχει η δυνατότητα χρήσης “μάσκας” (mask). Η “μάσκα” είναι μια εικόνα με τιμές ψηφίδων 0 ή 1. Όταν η “μάσκα” χρησιμοποιείται σε μια διαδικασία επεξεργασίας, η επεξεργασία αυτή εφαρμόζεται μόνο στις περιοχές της δορυφορικής εικόνας, για τις οποίες η “μάσκα” έχει τιμή 1. Ελέγχθηκε η δυνατότητα εφαρμογής του αλγορίθμου FLAASH στην εικόνα Hyperion με τη χρήση “μάσκας” για την αποφυγή εφαρμογής της ατμοσφαιρικής διόρθωσης στην περιοχή της θάλασσας και σύγκριση των αποτελεσμάτων με τα αποτελέσματα, που έδωσε η εφαρμογή του ίδιου αλγορίθμου σε ολόκληρη τη δορυφορική εικόνα. Όμως η δυνατότητα χρήσης μάσκας δεν είναι διαθέσιμη στην επεξεργασία της ατμοσφαιρικής διόρθωσης μέσω του FLAASH.

Για το λόγο αυτό η εικόνα Hyperion κόπηκε μέσω της επιλογής “Spatial Subset” σε τέσσερα μικρότερα τμήματα και δοκιμάστηκε ξεχωριστά η ατμοσφαιρική διόρθωσή τους. Στα δύο τμήματα στα οποία απεικονίζεται ορεινή, ημιορεινή περιοχή και περιοχή αγροτικών καλλιεργειών εφαρμόστηκε το αγροτικό μοντέλο. Στο τμήμα στο οποίο απεικονίζεται αστική περιοχή εφαρμόστηκε το αστικό μοντέλο και στο τμήμα στο οποίο απεικονίζεται κυρίως θάλασσα το θαλάσσιο μοντέλο.

Τα τμήματα αυτά αφού διορθώθηκαν ατμοσφαιρικά με τη χρήση της μεθόδου “2 Band K-T” και της αρχικής τιμής ορατότητας της εικόνας Hyperion, συγκρίθηκαν βάσει των φασματικών υπογραφών των ψηφίδων τους. Παρατηρήθηκε ότι οι φασματικές υπογραφές ορισμένων ψηφίδων βλάστησης, λίμνης και θάλασσας των τμημάτων που διορθώθηκαν ατμοσφαιρικά με τη χρήση της μεθόδου “2 Band K-T” παρουσιάζουν αρνητικές τιμές, οι οποίες μειώνονται ή εξαλείφονται με τη χρήση της αρχικής τιμής ορατότητας της εικόνας. Σε όλες τις περιπτώσεις εφαρμόστηκε επαναβαθμονόμηση των διαύλων της εικόνας και “spectral polishing”.

Τα αποτελέσματα για την οπτικοποίηση των τμημάτων αυτών παρουσιάζονται στις Εικόνες 4.174-4.177. Το contrast των τμημάτων της εικόνας Hyperion που διορθώθηκαν ατμοσφαιρικά ξεχωριστά είναι υψηλότερο από το contrast της εικόνας που διορθώθηκε ατμοσφαιρικά ολόκληρη. Αυτό διευκολύνει την ερμηνεία των χαρακτηριστικών της εικόνας Hyperion.



Εικόνες 4.174-4.175. Περιοχή της εικόνας Hyperion πριν την ατμοσφαιρική διόρθωσή της (αριστερή εικόνα) και μετά (δεξιά εικόνα). Η χρωματική εμφάνιση της αριστερής εικόνας προέκυψε από το συνδυασμό διαύλων: R=27 (620,15nm), G=22 (569,27nm), B=14 (487,87nm) και της δεξιάς από το συνδυασμό των διαύλων R=27 (621,506nm), G=22 (570,738nm), B=14 (489,488nm).



Εικόνες 4.176-4.177. Αστική περιοχή της αρχικής εικόνας Hyperion (αριστερά) και της ατμοσφαιρικά διορθωμένης (δεξιά). Η χρωματική εμφάνιση της αριστερής εικόνας προέκυψε από το συνδυασμό διαύλων: R=27 (620,15nm), G=22 (569,27nm), B=14 (487,87nm) και της δεξιάς από το συνδυασμό των διαύλων R=27 (621,506nm), G=22 (570,738nm), B=14 (489,488nm).

Αφού τα ατμοσφαιρικά διορθωμένα τμήματα ενώθηκαν με την εφαρμογή μωσαϊκού, οι τονικές αντιθέσεις της τελικής εικόνας μειώθηκαν δυσκολεύοντας την ερμηνεία της. Μετά από δοκιμές κατά την εφαρμογή του μωσαϊκού μεταξύ των διαφορετικών ατμοσφαιρικά διορθωμένων τμημάτων της δορυφορικής εικόνας προέκυψε ότι η θαλάσσια περιοχή επηρεάζει το συνολικό αποτέλεσμα. Η οπτικοποίηση της τελικής εικόνας δεν είναι το ίδιο καλή με τη συμμετοχή του τμήματος στο οποίο απεικονίζεται κυρίως θαλάσσια περιοχή.

Οι φασματικές υπογραφές των ψηφίδων της εικόνας Hyperion μετά την ατμοσφαιρική διόρθωσή της κατά τμήματα και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση ολόκληρης της εικόνας είναι παρόμοιες. Παράδειγμα παρουσιάζεται στις Εικόνες 4.178-4.183.

Από τη σύγκριση της φασματικής υπογραφής ψηφίδας ακάλυπτου εδάφους μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση των ξεχωριστών τμημάτων της εικόνας (Εικ. 4.183) και ολόκληρης της εικόνας (Εικ. 4.182) προκύπτει ότι είναι παρόμοια στις δύο περιπτώσεις.

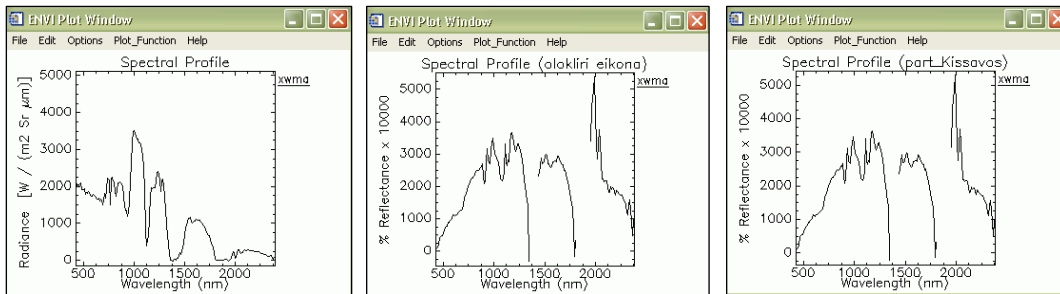
Για τους παραπάνω λόγους χρησιμοποιήθηκαν στην περαιτέρω επεξεργασία της εικόνας τα τμήματα που διορθώθηκαν ατμοσφαιρικά ξεχωριστά με τη χρήση της αρχικής τιμής ορατότητας της εικόνας Hyperion και περιλαμβάνουν ορεινή, ημιορεινή, αστική περιοχή και περιοχή αγροτικών καλλιεργειών.

Τα αποτελέσματα από την ατμοσφαιρική διόρθωση των ξεχωριστών τμημάτων της εικόνας για τον προσδιορισμό της μέσης ορατότητας της εικόνας και της υγρασίας της ατμόσφαιρας παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.5.

Σε όλες τις περιπτώσεις μετά την επαναβαθμονόμηση των διαύλων της εικόνας κατά την ατμοσφαιρική διόρθωσή της υπήρξε μετατόπιση του κέντρου της φασματικής περιοχής κάθε διαύλου κατά 1,32-1,62nm στους πρώτους 70 διαύλους (φασματική περιοχή VNIR) και κατά (-13,54)-(-16,71)nm στους 71-242 διαύλους (φασματική περιοχή SWIR).



Εικόνες 4.178-4.180. Περιοχή της εικόνας Hydreion πριν (αριστερά), μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση ολόκληρης της εικόνας (κέντρο) και των ξεχωριστών τμημάτων της (δεξιά).



Εικόνες 4.181-4.183. Η φασματική υπογραφή ψηφίδας ακάλυπτου εδάφους στην αρχική εικόνα (αριστερά), μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση ολόκληρης της εικόνας (κέντρο) και των ξεχωριστών τμημάτων της (δεξιά). Η ψηφίδα αυτή βρίσκεται στο κέντρο του κόκκινου πλαισίου των Εικόνων 4.178-4.180.

Πίνακας 4.5. Αποτελέσματα της ατμοσφαιρικής διόρθωσης των ξεχωριστών τμημάτων της εικόνας Hyperion.

Χρήση “2 Band K-T” ή Αρχικής τιμής ορατότητας της εικόνας Hyperion	Είδος περιοχής	Μοντέλο μείγματος αερίων και σωματιδίων της ατμόσφαιρας (Aerosol Model)	Ορατότητα της εικόνας Hyperion (km) Visibility Value	Περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε υδρατμούς (cm) Average Water Amount
2 Band K-T	Ημιορεινή/Αγροτικές καλλιέργειες	Αγροτικό (Rural)	25,2217	1,4868
2 Band K-T	Ορεινή/Αγροτικές καλλιέργειες	Αγροτικό (Rural)	21,9082	1,4100
2 Band K-T	Αστική περιοχή	Αστικό (Urban)	11,8980	1,6137
2 Band K-T	Κυρίως θαλάσσια περιοχή	Θαλάσσιο (Maritime)	14,2511	1,2158
Αρχική τιμή ορατότητας	Ημιορεινή/Αγροτικές καλλιέργειες	Αγροτικό (Rural)	40	1,5248
Αρχική τιμή ορατότητας	Ορεινή/Αγροτικές καλλιέργειες	Αγροτικό (Rural)	40	1,4590
Αρχική τιμή ορατότητας	Αστική περιοχή	Αστικό (Urban)	40	1,7511
Αρχική τιμή ορατότητας	Κυρίως θαλάσσια περιοχή	Θαλάσσιο (Maritime)	40	1,5139

Επίσης, δοκιμάστηκε η αποκοπή της αστικής περιοχής της εικόνας Hyperion στο ERDAS IMAGINE 9.0 και στη συνέχεια η ατμοσφαιρική διόρθωσή της στο ENVI 4.3 μέσω του FLAASH. Η αποκοπή της αστικής περιοχής έγινε στο ERDAS IMAGINE 9.0, γιατί υπάρχει η δυνατότητα αποκοπής μόνο της αστικής περιοχής χωρίς να περιλαμβάνεται π.χ. και η θαλάσσια περιοχή. Μ’ αυτόν τον τρόπο όμως δεν ήταν δυνατή η σύγκριση των ψηφίδων της τελικής εικόνας (Εικ. 4.184) με τις αντίστοιχες στην αρχική υπερφασματική εικόνα ή στις άλλες ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες Hyperion.



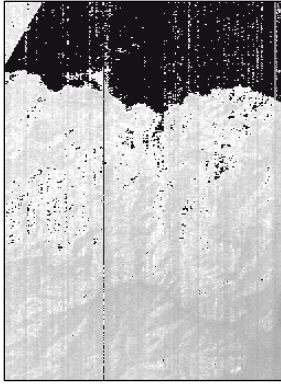
Εικόνα 4.184. Αστική περιοχή της εικόνας Hyperion. Η χρωματική εμφάνιση της εικόνας προέκυψε από το συνδυασμό διαύλων: R=30 (651,995nm), G=23 (580,89nm), B=14 (489,488nm).

- **Εικόνες “Water Vapor”**

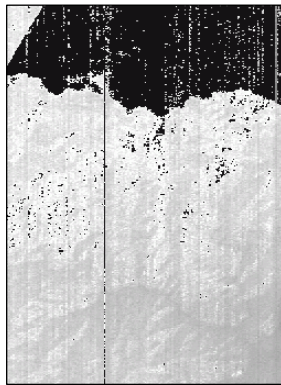
Το μοντέλο ατμοσφαιρικής διόρθωσης FLAASH δίνει μαζί με την ατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα και μια εικόνα για την υγρασία της ατμόσφαιρας στην περιοχή μελέτης τη στιγμή της λήψης των δεδομένων. Η εικόνα αυτή ονομάζεται “water vapor” και οι τιμές της είναι σε (atm x cm). Στις Εικόνες 4.185-4.201 παρουσιάζονται τμήματα από τις εικόνες “water vapor” καθώς και η μέση τιμή τους (μ) και η τυπική απόκλιση (σ).

Στις Εικόνες 4.185-4.187 παρουσιάζονται τμήματα των εικόνων “water vapor” που έδωσε το FLAASH μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση ολόκληρης της εικόνας Hyperion με το αγροτικό (rural), το αστικό (urban), το θαλάσσιο μοντέλο (maritime) και τη μέθοδο “2-Band K-T”. Δεν εφαρμόστηκε επαναβαθμονόμηση των διαύλων της εικόνας.

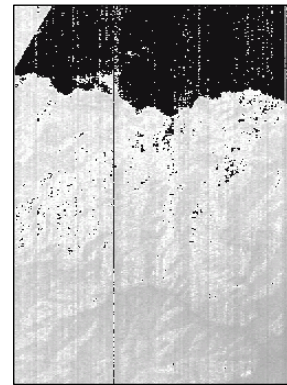
Στη συνέχεια στις Εικόνες 4.188-4.190 παρουσιάζονται τμήματα των εικόνων “water vapor” που έδωσε το FLAASH μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση ολόκληρης της εικόνας Hyperion με το αγροτικό (rural), το αστικό (urban), το θαλάσσιο μοντέλο (maritime) και την αρχική τιμή ορατότητας της εικόνας. Δεν εφαρμόστηκε επαναβαθμονόμηση των διαύλων της εικόνας.



$\mu=1209,222$ $\sigma=2652,552$

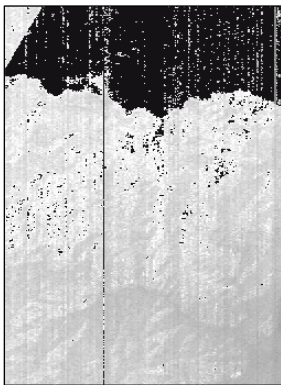


$\mu=1194,040$ $\sigma=2622,310$

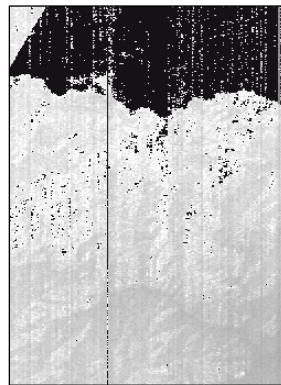


$\mu=1061,747$ $\sigma=2553,400$

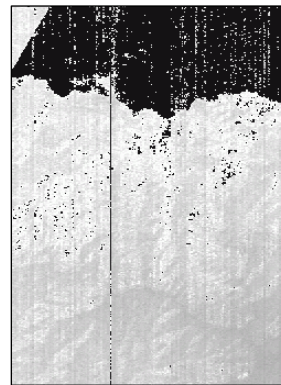
Εικόνες 4.185-4.187. Περιοχή των εικόνων “water vapor” μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας Hyperion με την εφαρμογή του αγροτικού (rural) (αριστερά), του αστικού (urban) (κέντρο), του θαλάσσιου μοντέλου (maritime) (δεξιά) και της μεθόδου “2-Band K-T”. Δεν εφαρμόστηκε επαναβαθμονόμηση των διαύλων της εικόνας.



$\mu=1346,945$ $\sigma=2598,142$



$\mu=1399,369$ $\sigma=2570,592$

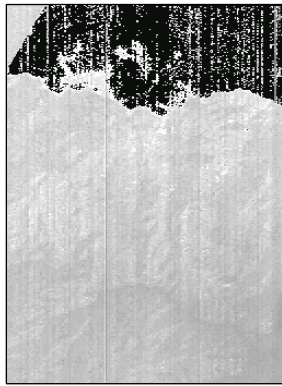


$\mu=1234,257$ $\sigma=2557,072$

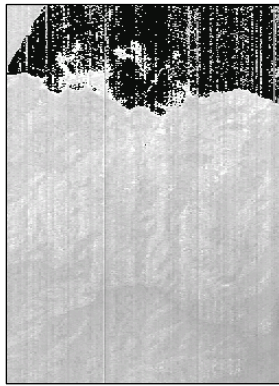
Εικόνες 4.188-4.190. Περιοχή των εικόνων “water vapor” μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας Hyperion με την εφαρμογή του αγροτικού (rural) (αριστερά), του αστικού (urban) (κέντρο), του θαλάσσιου μοντέλου (maritime) (δεξιά) και της αρχικής τιμής ορατότητας της εικόνας. Δεν εφαρμόστηκε επαναβαθμονόμηση των διαύλων της εικόνας.

Στις Εικόνες 4.191-4.193 παρουσιάζονται τμήματα των εικόνων “water vapor” που έδωσε το FLAASH μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση ολόκληρης της εικόνας Hyperion

με το αγροτικό (rural), το αστικό (urban), το θαλάσσιο μοντέλο (maritime) και τη μέθοδο “2-Band K-T”. Επίσης εφαρμόστηκε επαναβαθμονόμηση των διαύλων της.



$\mu=915,619$ $\sigma=1728,510$



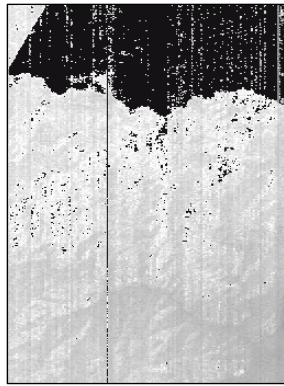
$\mu=988,949$ $\sigma=1697,435$



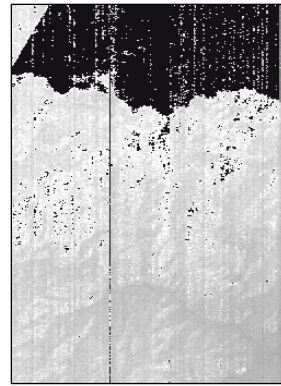
$\mu=780,385$ $\sigma=1683,934$

Εικόνες 4.191-4.193. Περιοχή των εικόνων “water vapor” μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας Hyperion με την εφαρμογή του αγροτικού (rural) (αριστερά), του αστικού (urban) (κέντρο), του θαλάσσιου μοντέλου (maritime) (δεξιά) και της μεθόδου “2-Band K-T”. Εφαρμόστηκε επαναβαθμονόμηση των διαύλων της εικόνας.

Παρακάτω παρουσιάζονται τμήματα των εικόνων “water vapor” που έδωσε το FLAASH μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση ολόκληρης της εικόνας Hyperion με το αγροτικό (rural) μοντέλο, την αρχική τιμή ορατότητας της εικόνας, το “spectral polishing” (Εικ. 4.194) και χωρίς “spectral polishing” (Εικ. 4.195). Δεν εφαρμόστηκε επαναβαθμονόμηση των διαύλων της εικόνας. Στη συνέχεια δίνονται ανάλογες εικόνες που προέρχονται από την ατμοσφαιρική διόρθωση ολόκληρης της εικόνας Hyperion κατά την οποία εφαρμόστηκε επαναβαθμονόμηση των διαύλων της (Εικ. 4.196-4.197).

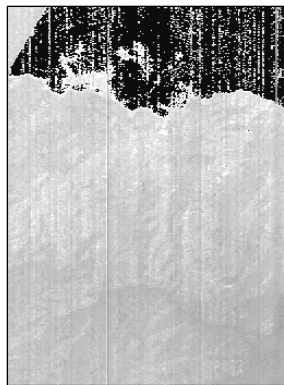


$\mu=1346,945$ $\sigma=2598,142$

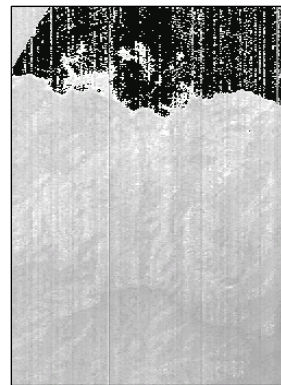


$\mu=1346,945$ $\sigma=2598,142$

Εικόνες 4.194-4.195. Περιοχή των εικόνων “water vapor” μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας Hyperion με την εφαρμογή του αγροτικού μοντέλου (tural), της αρχικής τιμής ορατότητας της εικόνας Hyperion, της τεχνικής “spectral polishing” (αριστερά) και χωρίς “spectral polishing” (δεξιά). Δεν εφαρμόστηκε επαναβαθμονόμηση των διαύλων της εικόνας.



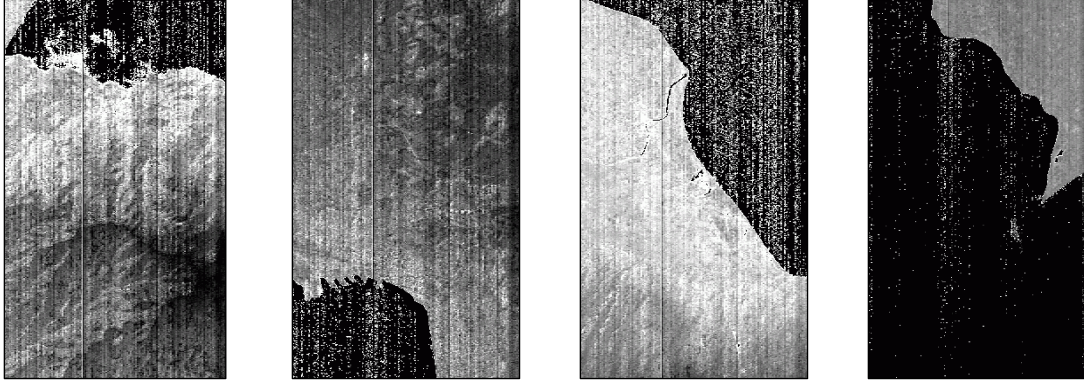
$\mu=915,619$ $\sigma=1728,510$



$\mu=915,619$ $\sigma=1728,510$

Εικόνες 4.196-4.197. Περιοχή των εικόνων “water vapor” μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας Hyperion με την εφαρμογή του αγροτικού μοντέλου (tural), της αρχικής τιμής ορατότητας της εικόνας Hyperion, της τεχνικής “spectral polishing” (αριστερά) και χωρίς “spectral polishing” (δεξιά). Εφαρμόστηκε επαναβαθμονόμηση των διαύλων της εικόνας.

Οι Εικόνες 4.198-4.201 παρουσιάζουν τμήματα των εικόνων “water vapor” που προκύπτουν μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση των ξεχωριστών τμημάτων της εικόνας Hyperion. Εφαρμόστηκε “spectral polishing”, η αρχική τιμή ορατότητας της εικόνας Hyperion και επαναβαθμονόμηση των διαύλων των δεδομένων εικόνας.



$\mu=1660,725$ $\sigma=869,720$ $\mu=1150,472$ $\sigma=1884,939$ $\mu=1660,725$ $\sigma=869,720$ $\mu=-603,528$ $\sigma=1854,519$

Εικόνες 4.198-4.201. Περιοχή των εικόνων “water vapor” που έδωσε το FLAASH μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση των ξεχωριστών τμημάτων της εικόνας Hyperion με την εφαρμογή του αγροτικού μοντέλου (rural) (πρώτη και τρίτη από αριστερά), με την εφαρμογή του αστικού μοντέλου (urban) (δεύτερη από αριστερά) και του θαλάσσιου μοντέλου (maritime) (δεξιά/με μαύρο χρώμα η θάλασσα).

Στις εικόνες “water vapor” που προέκυψαν από την ατμοσφαιρική διόρθωση των τμημάτων της εικόνας Hyperion που περιλαμβάνουν ορεινή, ημιορεινή, αστική περιοχή και περιοχή αγροτικών καλλιεργειών διακρίνονται τα χαρακτηριστικά της εικόνας Hyperion καλύτερα.

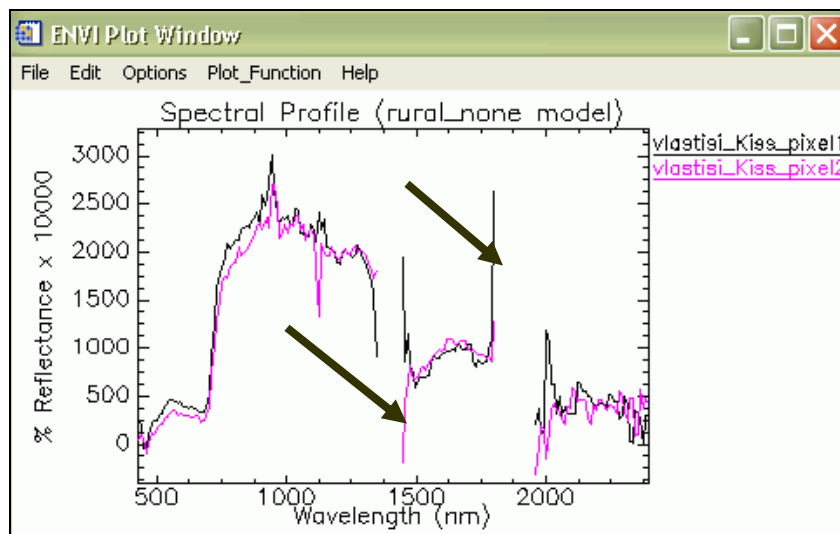
• Παρατηρήσεις

Μια γενικότερη παρατήρηση στα αποτελέσματα της ατμοσφαιρικής διόρθωσης μέσω του FLAASH είναι, ότι οι φασματικές υπογραφές ορισμένων ψηφίδων εμφανίζουν απότομη μείωση ή αύξηση τιμών στις περιοχές 1350nm, 1430nm, 1810nm και 1940nm του φάσματος (Εικ. 4.202-4.203). Αυτό συμβαίνει πιθανόν επειδή τα συγκεκριμένα μήκη κύματος βρίσκονται κοντά στις φασματικές περιοχές απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας και ο λόγος του σήματος προς το θόρυβο είναι μικρός, [63]. Το γεγονός αυτό ίσως να εισάγει σφάλματα στα τμήματα των φασματικών υπογραφών, που βρίσκονται κοντά στις περιοχές αυτές.

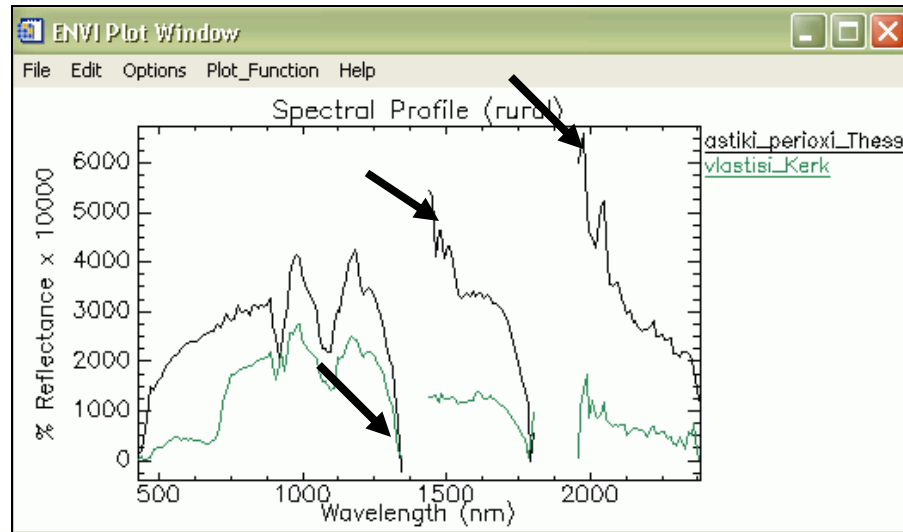
Ο λόγος του σήματος προς το θόρυβο (SNR-Signal to Noise Ratio) εκφράζει την αναλογία της ισχύς του ηλεκτρομαγνητικού σήματος που καταγράφεται από το τηλεπισκοπικό σύστημα απεικόνισης προς την ισχύ του θορύβου, [52].

Επίσης, η μορφή των φασματικών υπογραφών των ψηφίδων της εικόνας Hyperion πιθανόν να επηρεάζεται από το θόρυβο. Ίσως με μεγαλύτερο λόγο σήματος προς θόρυβο, δηλαδή με ισχυρότερο σήμα, αυτές οι φασματικές υπογραφές να ήταν πιο ακριβείς και να διεκόλυναν περισσότερο την αναγνώριση και διάκριση των κατηγοριών της εικόνας. Για παράδειγμα υπερφασματικά δεδομένα με μεγαλύτερο λόγο σήματος προς θόρυβο (π.χ. δεδομένα Aviris), δίνουν φασματική πληροφορία με λιγότερο θόρυβο, μεγαλύτερη ακρίβεια και λεπτομέρεια, ([10], [65], [66]).

Η βαθμονόμηση του αισθητήρα είναι πολύ σημαντικός παράγοντας για την απόδοση της φασματικής πληροφορίας των υπερφασματικών δεδομένων, [67]. Τα ραδιομετρικά σφάλματα, που εισάγονται κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης, έχουν ως αποτέλεσμα επιπλέον σφάλματα στην απόδοση της πληροφορίας αυτής, [63]. Πιθανόν τα δεδομένα της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας να περιέχουν σφάλματα, που οφείλονται στη βαθμονόμηση του δορυφορικού αισθητήρα, γεγονός που επηρεάζει αρνητικά την απόδοση της φασματικής πληροφορίας τους.



Εικόνα 4.202. Φασματικές υπογραφές ψηφίδων βλάστησης της ατμοσφαιρικά διορθωμένης εικόνας Hyperion μέσω του αλγορίθμου FIAASH. Τα βέλη τονίζουν περιοχές του φάσματος, στις οποίες πιθανόν ο μικρός λόγος του σήματος προς το θόρυβο να εισάγει σφάλματα.



Εικόνα 4.203. Φασματικές υπογραφές ψηφίδων βλάστησης και αστικής περιοχής της ατμοσφαιρικά διορθωμένης εικόνας Hyperion μέσω του αλγορίθμου FLAASH. Με τα βέλη τονίζονται περιοχές του φάσματος, στις οποίες πιθανόν ο μικρός λόγος του σήματος προς το θόρυβο να εισάγει σφάλματα.

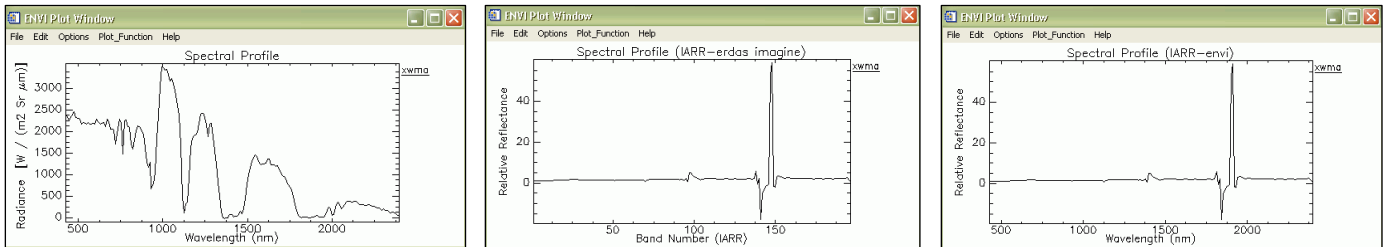
4.2.2. ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΔΙΟΡΘΩΣΗΣ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ HYPERION ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ IARR (INTERNAL AVERAGE RELATIVE REFLECTANCE)

Η εφαρμογή του αλγορίθμου IARR (Internal Average Relative Reflectance) τόσο μέσω του ERDAS IMAGINE 9.0 όσο και μέσω του ENVI 4.3 δεν έδωσε καλά αποτελέσματα. Παραδείγματα παρουσιάζονται στις Εικόνες 4.204-4.224. Από τις φασματικές υπογραφές των ψηφίδων μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας Hyperion δεν προκύπτει σε ποια κατηγορία της εικόνας ανήκουν οι ψηφίδες αυτές. Η εφαρμογή του αλγορίθμου IARR σε ξεχωριστά τμήματα της υπερφασματικής εικόνας Hyperion δεν έδωσε καλύτερα αποτελέσματα.

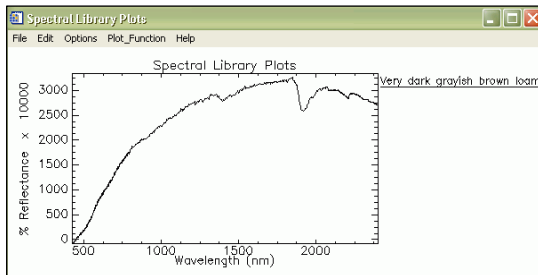
Φασματική υπογραφή ψηφίδας ακάλυπτου εδάφους



Εικόνες 4.204-4.206. Περιοχή της εικόνας Hyperion πριν (αριστερά) και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση με τον αλγόριθμο IARR (ERDAS IMAGINE 9.0) (κέντρο) και στο ENVI 4.3 (δεξιά).

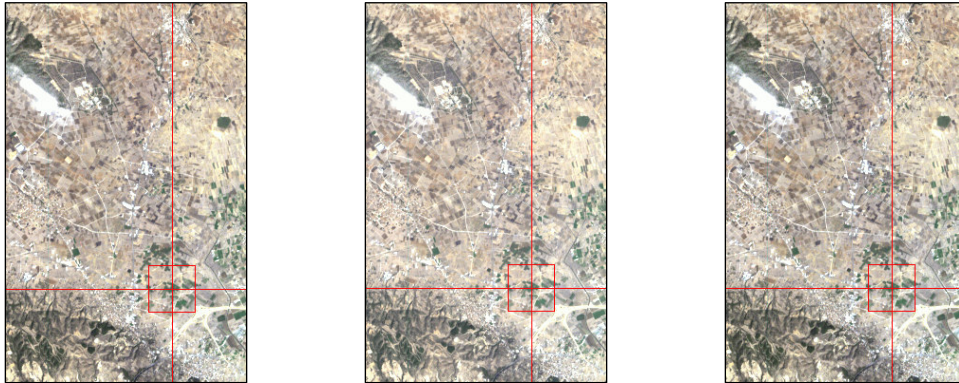


Εικόνες 4.207-4.209. Η φασματική υπογραφή ψηφίδας ακάλυπτου εδάφους στα δεδομένα εικόνας πριν (αριστερά) και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωσή τους με τον αλγόριθμο IARR (ERDAS IMAGINE 9.0) (κέντρο) και στο ENVI 4.3 (δεξιά). Η ψηφίδα βρίσκεται στο κέντρο του κόκκινου πλαισίου των Εικόνων 4.204-4.206.

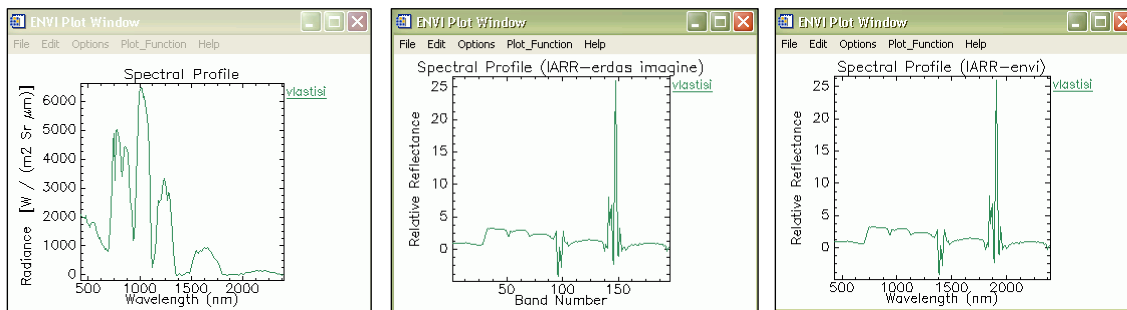


Εικόνα 4.210. Η φασματική υπογραφή ακάλυπτου εδάφους “Very dark grayish brown loam” από τη φασματική βιβλιοθήκη “JHU” (Johns Hopkins University).

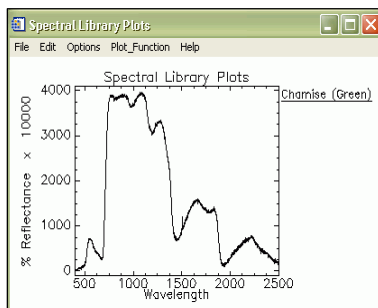
Φασματική υπογραφή ψηφίδας βλάστησης



Εικόνες 4.211-4.213. Περιοχή της εικόνας Hydreion πριν (αριστερά) και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση με τον αλγόριθμο IARR (ERDAS IMAGINE 9.0) (κέντρο) και στο ENVI 4.3 (δεξιά).



Εικόνες 4.214-4.216. Η φασματική υπογραφή ψηφίδας βλάστησης στα δεδομένα εικόνας πριν (αριστερά) και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωσή τους με τον αλγόριθμο IARR (ERDAS IMAGINE 9.0) (κέντρο) και στο ENVI 4.3 (δεξιά). Η ψηφίδα βρίσκεται στο κέντρο του κόκκινου πλαισίου των Εικόνων 4.211-4.213.

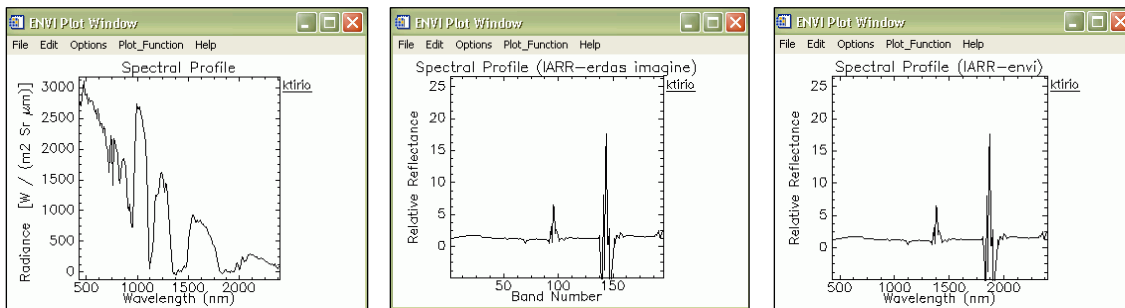


Εικόνα 4.217. Η φασματική υπογραφή της πράσινης βλάστησης (chamise) από τη φασματική βιβλιοθήκη “Jasper Ridge Spectral Library for Green Vegetation, Dry Vegetation, and Rocks” (veg_2grn.sli).

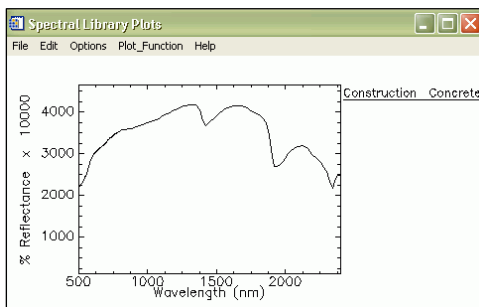
Φασματική υπογραφή ψηφίδας κτιρίου



Εικόνες 4.218-4.220. Περιοχή της εικόνας Hygeion πριν (αριστερά) και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση με τον αλγόριθμο IARR (ERDAS IMAGINE 9.0) (κέντρο) και στο ENVI 4.3 (δεξιά).



Εικόνες 4.221-4.223. Η φασματική υπογραφή ψηφίδας κτιρίου πριν (αριστερά) και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας Hygeion με τον αλγόριθμο IARR (ERDAS IMAGINE 9.0) (κέντρο) και στο ENVI 4.3 (δεξιά). Η τομή των κόκκινων γραμμών των Εικόνων 4.218-4.220 δείχνει την ψηφίδα αυτή.



Εικόνα 4.224. Η φασματική υπογραφή “Construction Concrete” από τη φασματική βιβλιοθήκη “JHU” (Johns Hopkins University).

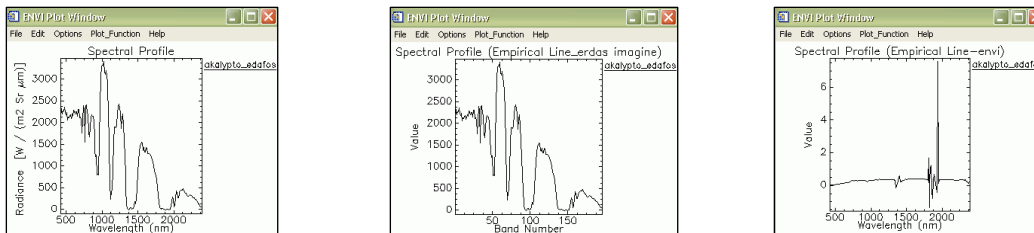
4.2.3. ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΔΙΟΡΘΩΣΗΣ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ HYPERION ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ EMPIRICAL LINE

Η εφαρμογή του αλγορίθμου Empirical Line τόσο μέσω του ERDAS IMAGINE 9.0 όσο και μέσω του ENVI 4.3 δεν έδωσε καλά αποτελέσματα. Παραδείγματα φασματικών υπογραφών ψηφίδων ακάλυπτου εδάφους, βλάστησης και κτιρίου καθώς και αντίστοιχων φασματικών υπογραφών από τις φασματικές βιβλιοθήκες “JHU” (Johns Hopkins University) και “Jasper Ridge Spectral Library for Green Vegetation, Dry Vegetation, and Rocks” (veg_2grn.sli) παρουσιάζονται στις Εικόνες 4.225-4.245.

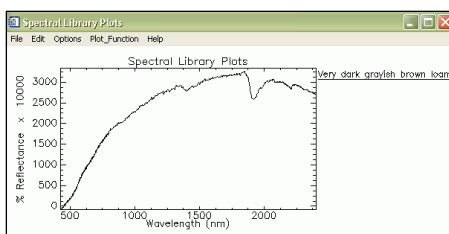
Φασματική υπογραφή ψηφίδας ακάλυπτου εδάφους



Εικόνες 4.225-4.227. Περιοχή της εικόνας Hyperion πριν (αριστερά) και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση με τον αλγόριθμο Empirical Line (ERDAS IMAGINE 9.0) (κέντρο) και στο ENVI 4.3 (δεξιά).

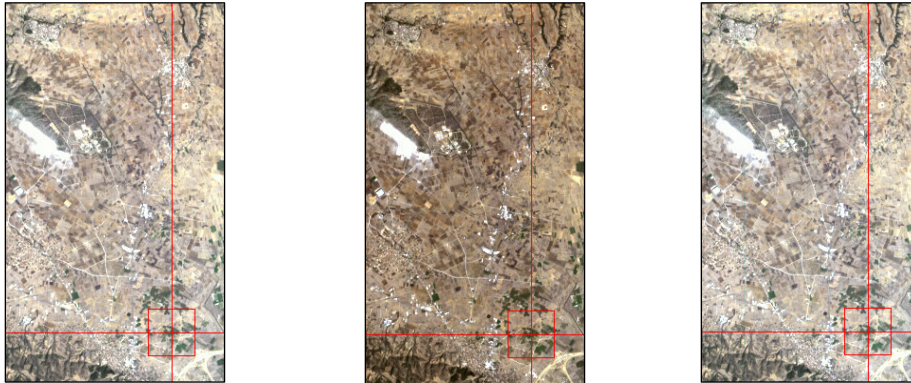


Εικόνες 4.228-4.230. Η φασματική υπογραφή ψηφίδας ακάλυπτου εδάφους στα δεδομένα εικόνας Hyperion πριν (αριστερά) και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωσή τους με τον αλγόριθμο Empirical Line (ERDAS IMAGINE 9.0) (κέντρο) και στο ENVI 4.3 (δεξιά). Η τομή των κόκκινων γραμμών των Εικόνων 4.225-4.227 δείχνει την ψηφίδα αυτή.

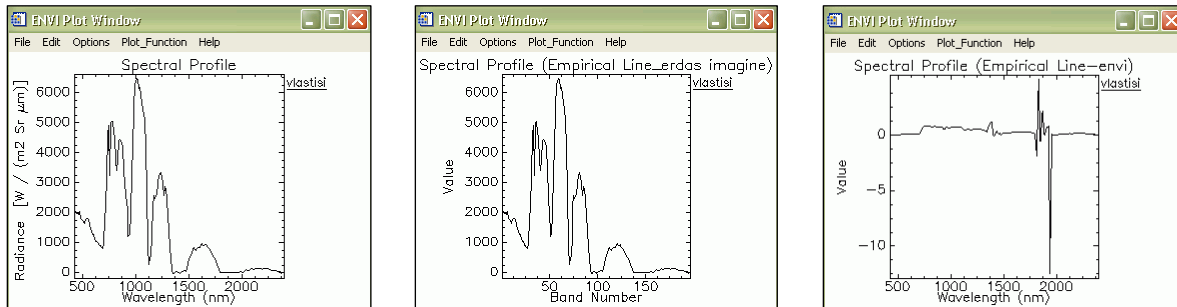


Εικόνα 4.231. Η φασματική υπογραφή ακάλυπτου εδάφους “Very dark grayish brown loam” από τη φασματική βιβλιοθήκη “JHU” (Johns Hopkins University).

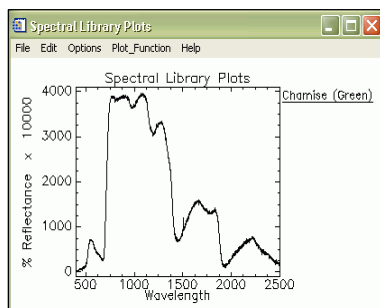
Φασματική υπογραφή ψηφίδας βλάστησης



Εικόνες 4.232-4.234. Περιοχή της εικόνας Hyperiion πριν (αριστερά) και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση με τον αλγόριθμο Empirical Line (ERDAS IMAGINE 9.0) (κέντρο) και στο ENVI 4.3 (δεξιά).

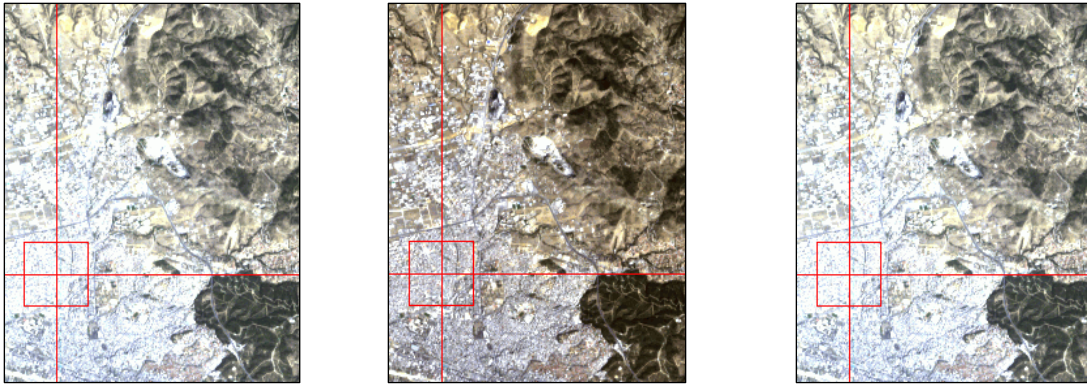


Εικόνες 4.235-4.237. Η φασματική υπογραφή ψηφίδας βλάστησης στα δεδομένα εικόνας πριν (αριστερά) και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωσή τους με τον αλγόριθμο Empirical Line (ERDAS IMAGINE 9.0) (κέντρο) και στο ENVI 4.3 (δεξιά). Η τομή των κόκκινων γραμμών των Εικόνων 4.232-4.234 δείχνει την ψηφίδα αυτή.

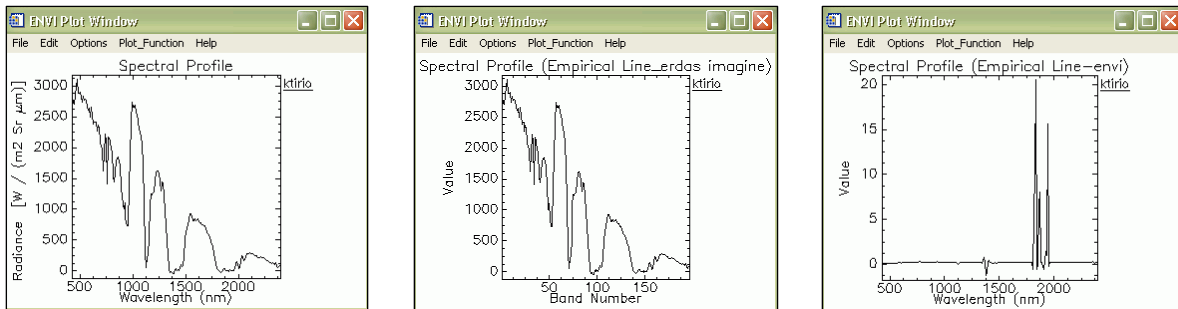


Εικόνα 4.238. Η φασματική υπογραφή της πράσινης βλάστησης (chamise) από τη φασματική βιβλιοθήκη “Jasper Ridge Spectral Library for Green Vegetation, Dry Vegetation, and Rocks” (veg_2grn.sli).

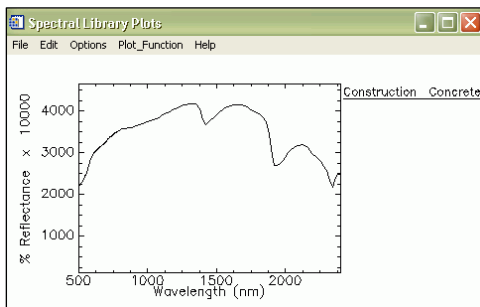
Φασματική υπογραφή ψηφίδας κτιρίου



Εικόνες 4.239-4.241. Περιοχή της εικόνας Hyperion πριν (αριστερά) και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση με τον αλγόριθμο Empirical Line (ERDAS IMAGINE 9.0) (κέντρο) και στο ENVI 4.3 (δεξιά).



Εικόνες 4.242-4.244. Η φασματική υπογραφή ψηφίδας κτιρίου πριν (αριστερά) και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας Hyperion με τον αλγόριθμο Empirical Line (ERDAS IMAGINE 9.0) (κέντρο) και στο ENVI 4.3 (δεξιά). Η τομή των κόκκινων γραμμών των Εικόνων 4.239-4.241 δείχνει την ψηφίδα αυτή.

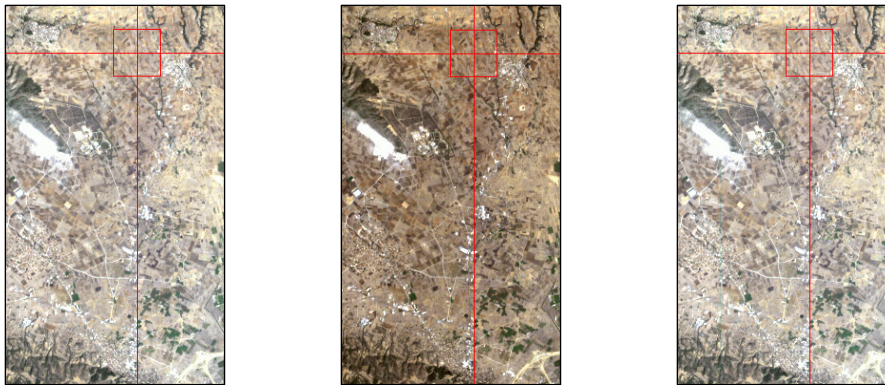


Εικόνα 4.245. Η φασματική υπογραφή “Construction Concrete” από τη φασματική βιβλιοθήκη “JHU” (Johns Hopkins University).

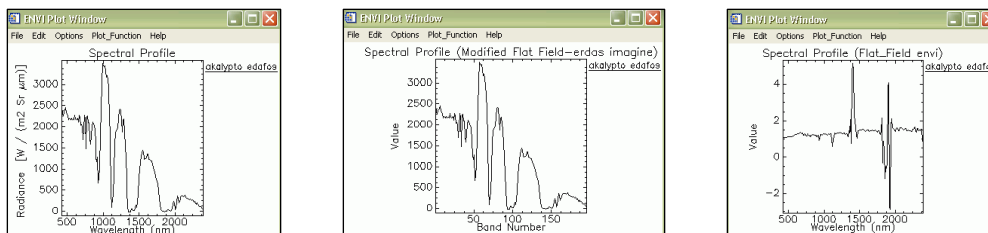
4.2.4. ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΔΙΟΡΘΩΣΗΣ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ HYPERION ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ FLAT FIELD ΚΑΙ MODIFIED FLAT FIELD

Η εφαρμογή του αλγορίθμου Modified Flat Field μέσω του ERDAS IMAGINE 9.0 και του Flat Field μέσω του ENVI 4.3 δεν έδωσε καλά αποτελέσματα. Παραδείγματα φασματικών υπογραφών ψηφίδων ακάλυπτου εδάφους, βλάστησης και κτιρίου καθώς και αντίστοιχων φασματικών υπογραφών από τις φασματικές βιβλιοθήκες “JHU” (Johns Hopkins University) και “Jasper Ridge Spectral Library for Green Vegetation, Dry Vegetation, and Rocks” (veg_2grn.sli) παρουσιάζονται στις Εικόνες 4.246-4.266.

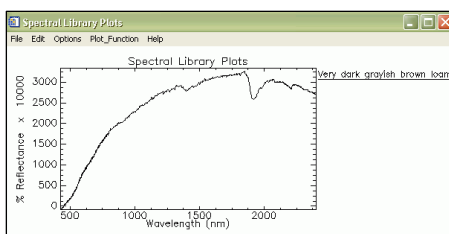
Φασματική υπογραφή ψηφίδας ακάλυπτου εδάφους



Εικόνες 4.246-4.248. Περιοχή της εικόνας Hyperion πριν (αριστερά) και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση με τον αλγόριθμο Modified Flat Field (ERDAS IMAGINE 9.0) (κέντρο) και Flat Field (ENVI 4.3) (δεξιά).

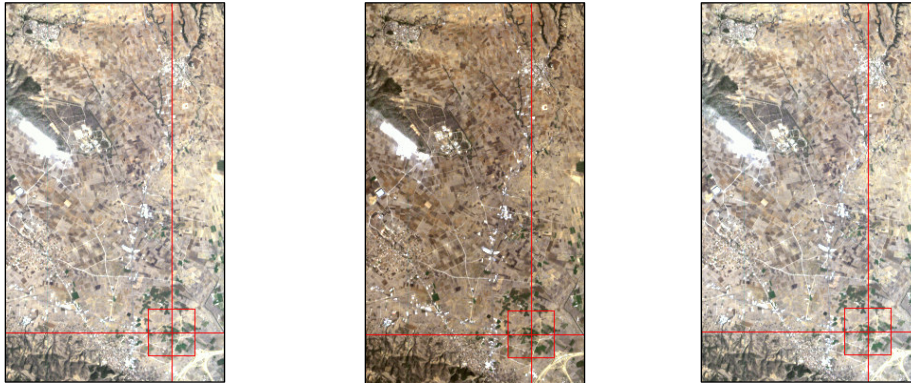


Εικόνες 4.249-4.251. Η φασματική υπογραφή ψηφίδας ακάλυπτου εδάφους στα δεδομένα εικόνας Hyperion πριν (αριστερά) και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωσή τους με τον αλγόριθμο Modified Flat Field (ERDAS IMAGINE 9.0) (κέντρο) και Flat Field (ENVI 4.3) (δεξιά). Η τομή των κόκκινων γραμμών των Εικόνων 4.246-4.248 δείχνει την ψηφίδα αυτή.

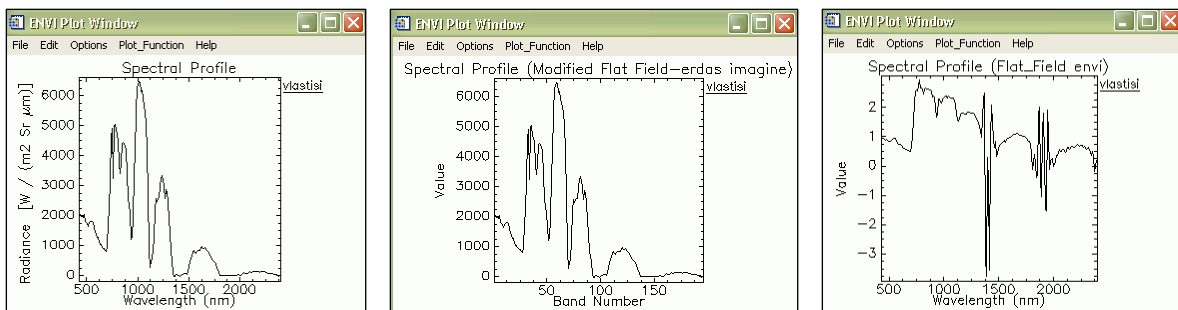


Εικόνα 4.252. Η φασματική υπογραφή ακάλυπτου εδάφους “Very dark grayish brown loam” από τη φασματική βιβλιοθήκη “JHU” (Johns Hopkins University).

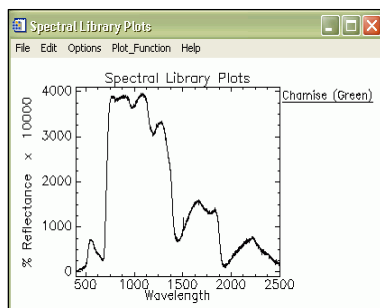
Φασματική υπογραφή ψηφίδας βλάστησης



Εικόνες 4.253-4.255. Περιοχή της εικόνας Hyperion πριν (αριστερά) και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση με τον αλγόριθμο Modified Flat Field (ERDAS IMAGINE 9.0) (κέντρο) και Flat Field (ENVI 4.3) (δεξιά).

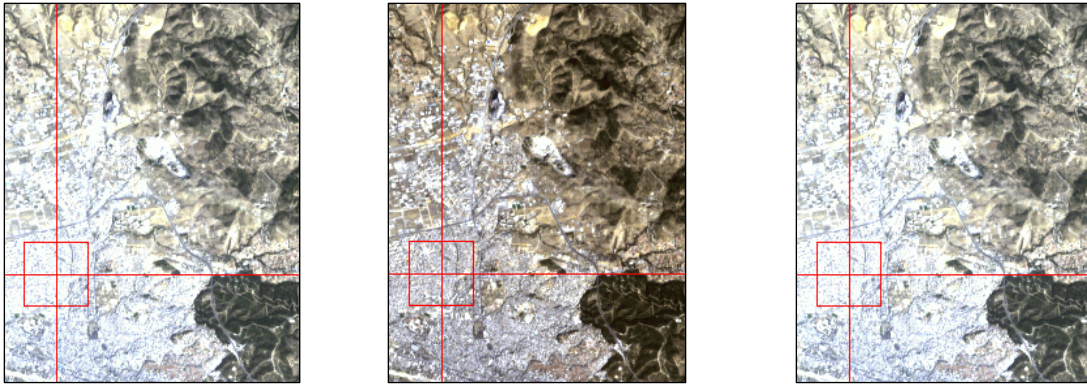


Εικόνες 4.256-4.258. Η φασματική υπογραφή ψηφίδας βλάστησης πριν (αριστερά) και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας Hyperion με τον αλγόριθμο Modified Flat Field (ERDAS IMAGINE 9.0) (κέντρο) και Flat Field (ENVI 4.3) (δεξιά). Η τομή των κόκκινων γραμμών των Εικόνων 4.253-4.255 δείχνει την ψηφίδα αυτή.

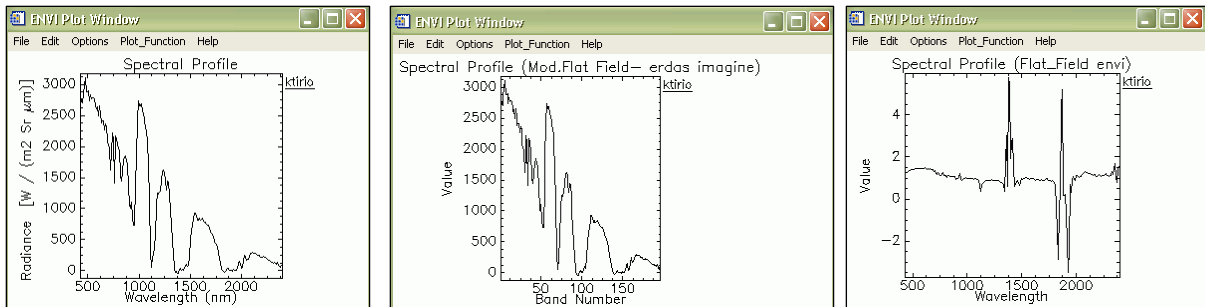


Εικόνα 4.259. Η φασματική υπογραφή της πράσινης βλάστησης (chamise) από τη φασματική βιβλιοθήκη “Jasper Ridge Spectral Library for Green Vegetation, Dry Vegetation, and Rocks” (veg_2grn.sli).

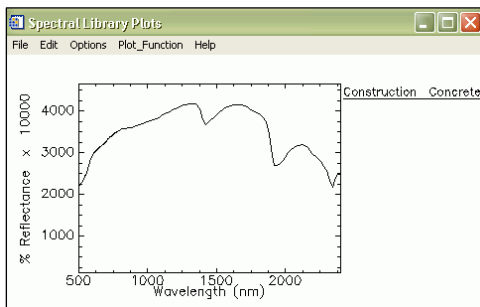
Φασματική υπογραφή ψηφίδας κτιρίου



Εικόνες 4.260-4.262. Περιοχή της εικόνας Hyperion πριν (αριστερά) και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση με τον αλγόριθμο Modified Flat Field (ERDAS IMAGINE 9.0) (κέντρο) και Flat Field (ENVI 4.3) (δεξιά).



Εικόνες 4.263-4.265. Η φασματική υπογραφή ψηφίδας κτιρίου στα δεδομένα εικόνας Hyperion πριν (αριστερά) και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωσή τους με τον αλγόριθμο Modified Flat Field (ERDAS IMAGINE 9.0) (κέντρο) και Flat Field (ENVI 4.3) (δεξιά). Η τομή των κόκκινων γραμμών των Εικόνων 4.260-4.262 δείχνει την ψηφίδα αυτή.



Εικόνα 4.266. Η φασματική υπογραφή “Construction Concrete” από τη φασματική βιβλιοθήκη “JHU” (Johns Hopkins University).

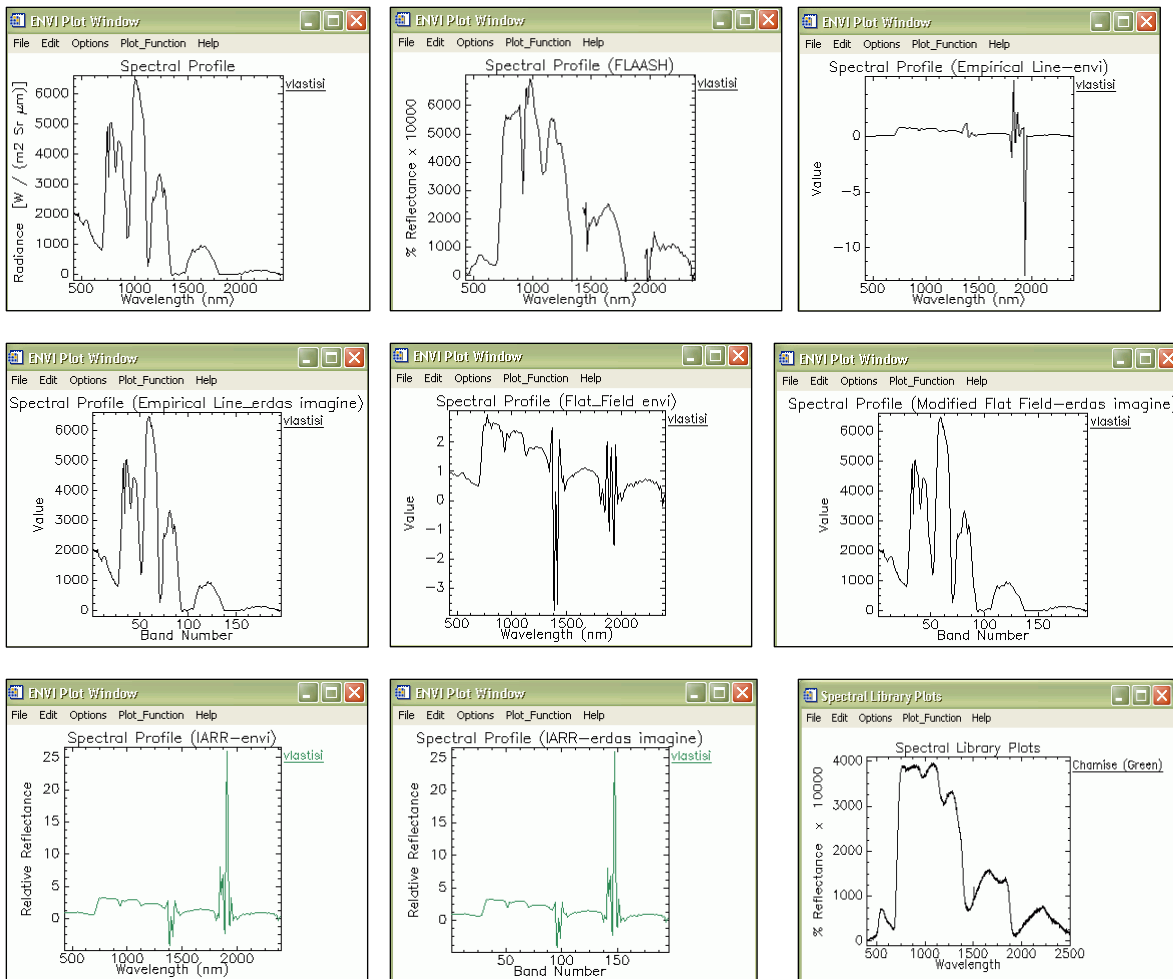
4.2.5. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων της ατμοσφαιρικής διόρθωσης με την εφαρμογή του μοντέλου ατμοσφαιρικής διόρθωσης FLAASH και των αλγορίθμων IARR, Empirical Line, Modified Flat Field και Flat Field στα λογισμικά ENVI 4.3 και ERDAS IMAGINE 9.0 βάσει των φασματικών υπογραφών ψηφίδων τους, παρατηρήθηκε ότι το μοντέλο ατμοσφαιρικής διόρθωσης FLAASH έδωσε πιο αξιόλογα αποτελέσματα. Παρακάτω παρουσιάζεται ένα παράδειγμα φασματικής υπογραφής ψηφίδας βλάστησης (Εικ. 4.267-4.275) πριν την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας Hyperion και μετά για όλες τις περιπτώσεις. Παρουσιάζεται η ψηφίδα για την οποία δημιουργήθηκαν οι φασματικές υπογραφές από τα αντίστοιχα ατμοσφαιρικά διορθωμένα δεδομένα εικόνας. Για την περίπτωση του FLAASH η φασματική υπογραφή της ψηφίδας που παρουσιάζεται προέρχεται από την εικόνα που διορθώθηκε ατμοσφαιρικά κατά τμήματα. Επίσης παρουσιάζεται η φασματική υπογραφή της πράσινης βλάστησης (chamise) από τη φασματική βιβλιοθήκη “Jasper Ridge Spectral Library for Green Vegetation, Dry Vegetation, and Rocks” (veg_2grn.sli) (Εικ. 4.276).

Φασματική υπογραφή ψηφίδας βλάστησης



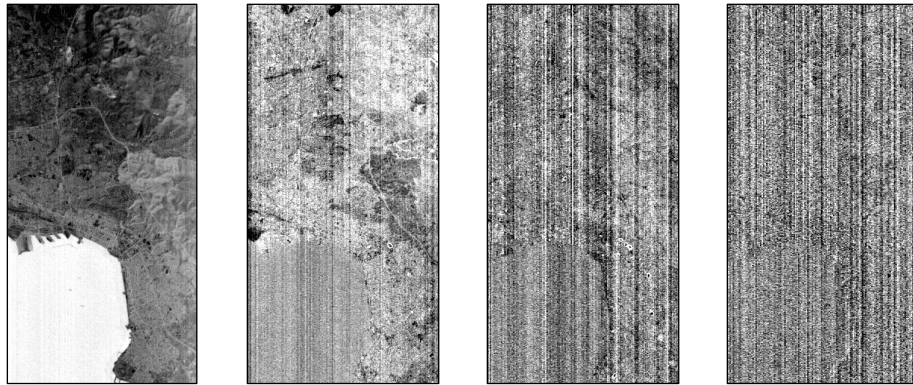
Εικόνες 4.267-4.276. Η ψηφίδα που βρίσκεται στο κέντρο του κόκκινου πλαισίου (αριστερά) δείχνει την ψηφίδα για την οποία δημιουργήθηκαν οι φασματικές υπογραφές που παρουσιάζονται στις Εικόνες 4.267-4.275. Κάθε φασματική υπογραφή που παρουσιάζεται στις Εικόνες 4.268-4.275 δημιουργήθηκε γι' αυτήν την ψηφίδα από την αντίστοιχη εικόνα Hyperion. Δηλαδή η πρώτη αριστερά δημιουργήθηκε για την ψηφίδα αυτή στην αρχική εικόνα, η δεύτερη για την ίδια ψηφίδα μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας με το FLAASH κ.λ.π. [(τρίτη εικόνα/Empirical Line (envi), τέταρτη/Empirical Line (erdas imagine), πέμπτη/Flat Field (envi), έκτη/Modified Flat Field (erdas imagine), έβδομη/IARR (envi), όγδοη/ IARR (erdas imagine)]. Τέλος παρουσιάζεται η φασματική υπογραφή της πράσινης βλάστησης (chamise) από τη φασματική βιβλιοθήκη “Jasper Ridge Spectral Library for Green Vegetation, Dry Vegetation, and Rocks” (veg_2grn.sli).



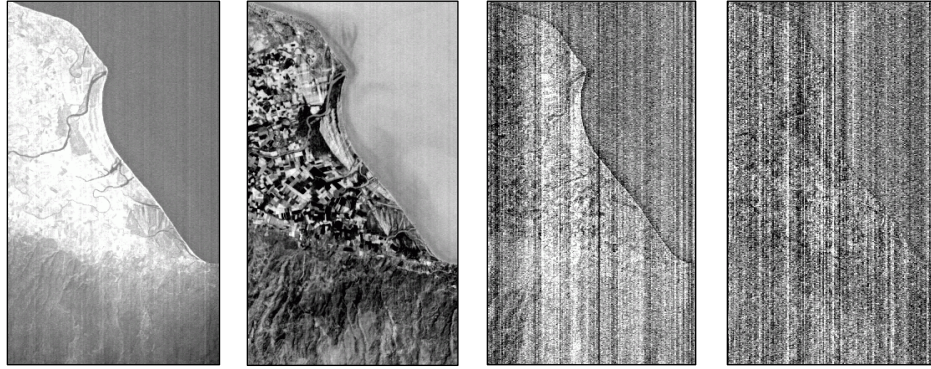
4.3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ MNF (MINIMUM NOISE FRACTION)

Ο μετασχηματισμός MNF (Minimum Noise Fraction) εφαρμόστηκε στα τρία ατμοσφαιρικά διορθωμένα τμήματα της εικόνας Hyperion που περιλαμβάνουν αστική, ορεινή, ημιορεινή περιοχή και περιοχές αγροτικών καλλιεργειών για το διαχωρισμό της χρήσιμης πληροφορίας από το θόρυβο και τη μείωση των υπολογιστικών απαιτήσεων της περαιτέρω επεξεργασίας τους. Εφαρμόστηκε μέσω του “Spectral, MNF Rotation, Forward MNF, Estimate Noise Statistics from Data” στο ENVI 4.3 (παράρτημα Εικ. 18).

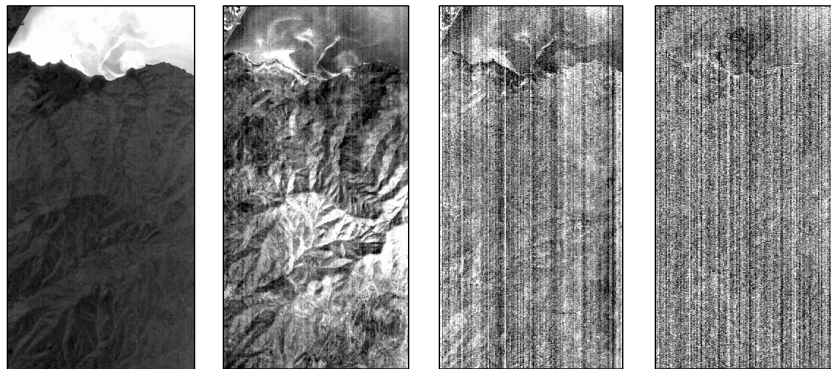
Μετά τον μετασχηματισμό MNF η χρήσιμη πληροφορία συγκεντρώνεται στους πρώτους διαύλους των δεδομένων εικόνας. Στις Εικόνες 4.277-4.288 παρουσιάζονται παραδείγματα από τους διαύλους “MNF” που προέκυψαν. Επίσης παρουσιάζονται τμήματα των διαύλων των δεδομένων εικόνας Hyperion πριν και μετά την εφαρμογή του μετασχηματισμού MNF (Εικ. 4.289-4.290, 4.292-4.293).



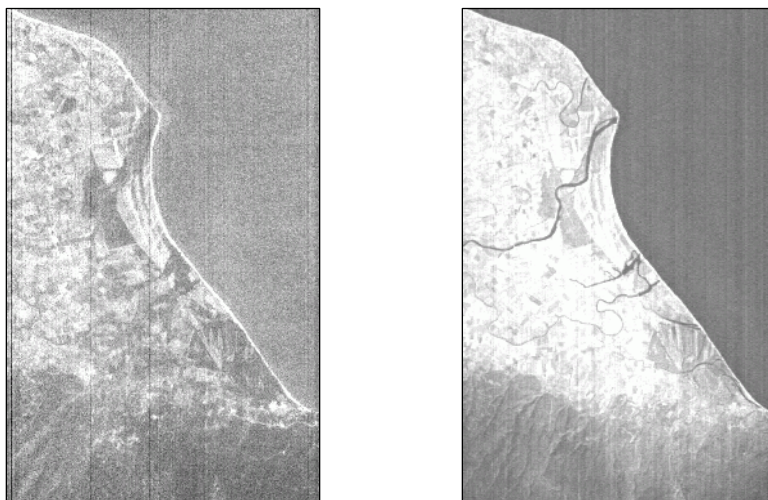
Εικόνες 4.277-4.280. Οι δίαυλοι MNF 1, 5, 21 και 40 αντίστοιχα για την αστική περιοχή της εικόνας Hyperion. Όσο αυξάνεται ο αριθμός του διαύλου μειώνεται η πληροφορία του.



Εικόνες 4.281-4.284. Οι διάλυτοι MNF 1, 5, 21 και 40 αντίστοιχα για την ορεινή περιοχή της εικόνας Hyperiion. Όσο αυξάνεται ο αριθμός του διαλύου μειώνεται η πληροφορία του.



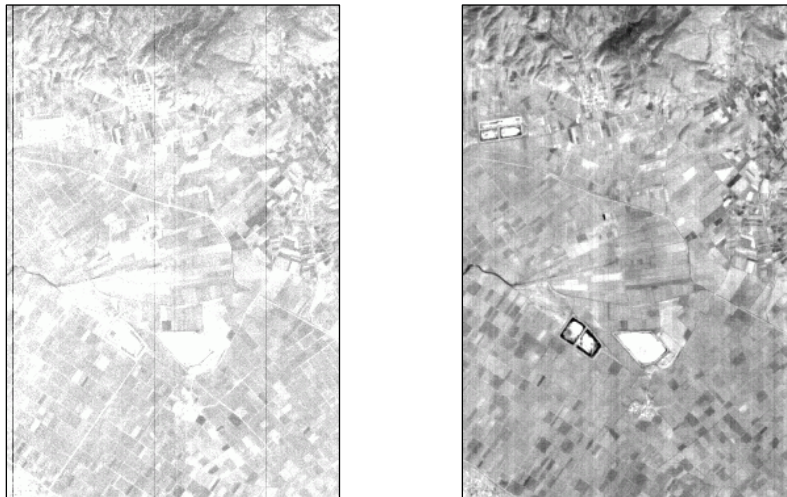
Εικόνες 4.285-4.288. Οι διάλυτοι MNF 1, 5, 21 και 40 αντίστοιχα για την ημιορεινή περιοχή της εικόνας Hyperiion. Όσο αυξάνεται ο αριθμός του διαλύου μειώνεται η πληροφορία του.



Εικόνες 4.289-4.290. Παρουσιάζεται τμήμα της εικόνας Hyperiion πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) την εφαρμογή του μετασχηματισμού MNF (αριστερά διάλυτος 8 της ατμοσφαιρικά διορθωμένης εικόνας, δεξιά διάλυτος MNF1).



Εικόνα 4.291. Τμήμα της εικόνας Hyperion μετά το μετασχηματισμό MNF. Η χρωματική εμφάνιση της εικόνας προέκυψε από το συνδυασμό διαύλων: R=MNF5, G=MNF3, B=MNF1.

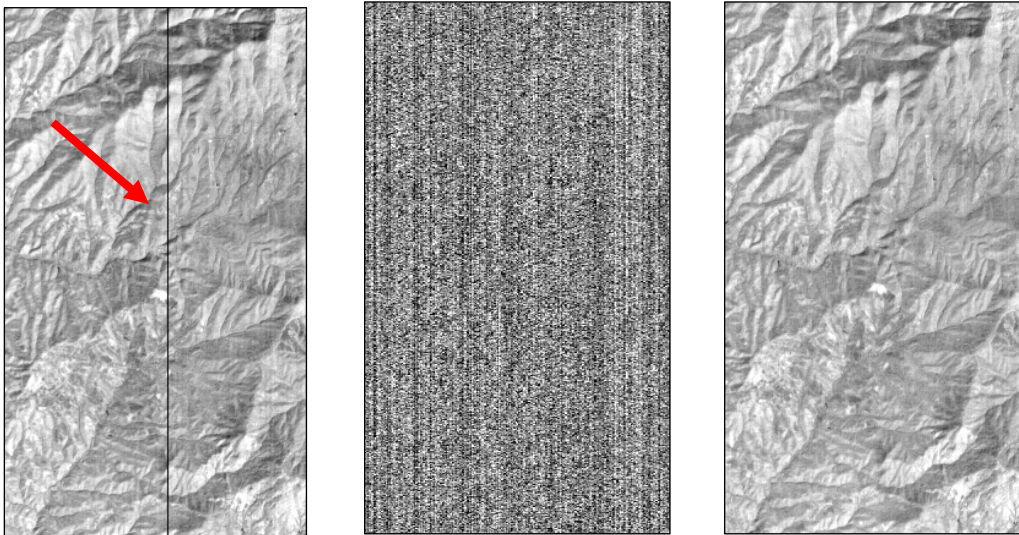


Εικόνες 4.292-4.293. Παρουσιάζεται τμήμα της εικόνας Hyperion πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) την εφαρμογή του μετασχηματισμού MNF (αριστερά διάυλος 10 της ατμοσφαιρικά διορθωμένης εικόνας, δεξιά διάυλος MNF3).

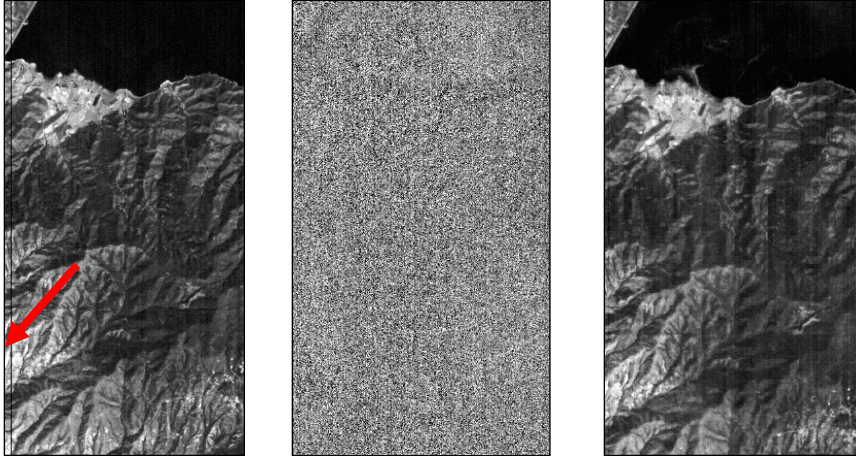
Από τη σύγκριση των Εικόνων 4.289-4.290 και 4.292-4.293 προκύπτει, ότι ο μετασχηματισμός MNF μείωσε το θόρυβο της ατμοσφαιρικά διορθωμένης εικόνας Hyperion.

Επίσης, εφαρμόστηκε ο αντίστροφος μετασχηματισμός MNF στους διαύλους MNF με τη χρήσιμη πληροφορία για το τμήμα της εικόνας Hyperion, στο οποίο απεικονίζεται ημιορεινή περιοχή και περιοχή με αγροτικές καλλιέργειες. Ο αντίστροφος μετασχηματισμός MNF μετατρέπει την εικόνα MNF στις αρχικές διαστάσεις της εικόνας Hyperion, δηλαδή στον αρχικό αριθμό διαύλων της. Από τη σύγκριση της εικόνας αυτής πριν το μετασχηματισμό MNF και μετά από τον αντίστροφο μετασχηματισμό MNF προκύπτει, ότι υπάρχει μείωση του θορύβου της εικόνας στους αντίστοιχους διαύλους (Εικ. 4.294-4.299). Στον Πίνακα 4.6 παρουσιάζονται οι “bad columns” της εικόνας Hyperion πριν από το μετασχηματισμό MNF και οι αντίστοιχοι δίαυλοι. Οι “bad columns” οφείλονται σε ανιχνευτές του δορυφορικού συστήματος απεικόνισης (σύστημα ανίχνευσης του δορυφόρου) που δε λειτούργησαν καλά κατά τη συλλογή των δεδομένων εικόνας. Στις Εικόνες 4.294-4.299 παρουσιάζονται παραδείγματα απομάκρυνσης των “bad columns” με τη χρήση του αντίστροφου μετασχηματισμού MNF.

Ο αντίστροφος μετασχηματισμός MNF εφαρμόστηκε μέσω του “Spectral, MNF Rotation, Inverse MNF Rotation” (παράρτημα Εικ. 19).



Εικόνες 4.294-4.296. Παρουσιάζεται τμήμα του διαύλου 116 της εικόνας Hyperion πριν το μετασχηματισμό MNF (αριστερά), μετά το μετασχηματισμό MNF (κέντρο) και μετά τον αντίστροφο μετασχηματισμό MNF (δεξιά). Η γραμμή που τονίζεται με το βέλος δεν υπάρχει στην εικόνα μετά τον αντίστροφο μετασχηματισμό MNF (δεξιά).



Εικόνες 4.297-4.299. Παρουσιάζεται τμήμα του διαύλου 200 της εικόνας Hyperion πριν το μετασχηματισμό MNF (αριστερά), μετά το μετασχηματισμό MNF (κέντρο) και μετά τον αντίστροφο μετασχηματισμό MNF (δεξιά). Η γραμμή που τονίζεται με το βέλος δεν υπάρχει στην εικόνα μετά τον αντίστροφο μετασχηματισμό MNF (δεξιά).

Πίνακας 4.6. Οι “Bad Columns” της εικόνας Hyperion πριν το μετασχηματισμό MNF και οι αντίστοιχοι δίαυλοι.

Δίαυλος (Band)	Bad Column
8	6, 68, 114, 238
9	6, 68, 114, 222
10-11	6, 114, 199
12-20	114
27-28	47, 114
55	13, 17, 20
94	92
99	91
116	137
119	239
190	112
191-192	245
200-201	7
203	114

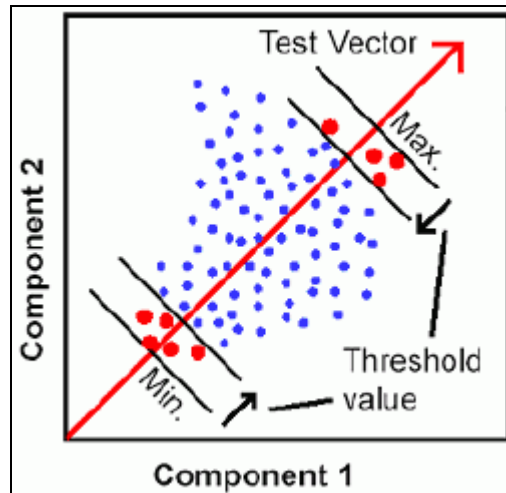
4.4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ HYPERION

Παρακάτω παρουσιάζεται η ανάλυση της εικόνας Hyperion. Πρώτα παρουσιάζεται ο προσδιορισμός των φασματικών υπογραφών των κατηγοριών της εικόνας Hyperion. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η εφαρμογή της τεχνικής “Spectral Unmixing” για τον προσδιορισμό των ποσοστών των κατηγοριών της εικόνας που αντιπροσωπεύει κάθε ψηφίδα της εικόνας. Επίσης, παρουσιάζεται η ταξινόμηση των δεδομένων εικόνας Hyperion μέσω του αλγορίθμου SAM (Spectral Angle Mapper).

4.4.1. Επιλογή “ENDMEMBERS”

Για τον προσδιορισμό των φασματικών υπογραφών των κατηγοριών της εικόνας Hyperion χρησιμοποιήθηκαν οι τεχνικές “PPI” (Pixel Purity Index/Δείκτης καθαρότητας ψηφίδων) και “n-D Visualizer” στο λογισμικό ENVI 4.3.

Η τεχνική PPI (Pixel Purity Index/Δείκτης καθαρότητας ψηφίδων) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη γρήγορη ανίχνευση σχετικά «αμιγών» φασμάτων της εικόνας για τη χρήση τους ως φασματικών οριακών ψηφίδων (endmembers) π.χ. στη λειτουργία του γραμμικού φασματικού καθαρισμού (Linear Spectral Unmixing). Όταν τα φάσματα μιας εικόνας σχεδιάζονται σαν σημεία στον χώρο n-διαστάσεων, τα φάσματα των οριακών ψηφίδων θα πρέπει να βρίσκονται στα ακρότατα παραπλεύρως των περιθωρίων του νέφους των δεδομένων. Ο δείκτης PPI δημιουργεί ένα μεγάλο αριθμό τυχαία προσανατολισμένων δοκιμαστικών διανυσμάτων που απορρέουν από την αρχή του χώρου συντεταγμένων. Τα φασματικά σημεία προβάλλονται πάνω σε κάθε δοκιμαστικό διάνυσμα και φάσμα μέσα στο εύρος των ελάχιστων και μέγιστων τιμών προβολής που θεωρούνται ως οριακές. Καθώς ελέγχονται οι διευθύνσεις, η διαδικασία αθροίζει τις φορές που μια ψηφίδα στην εικόνα βρέθηκε να έχει οριακές τιμές. Οι ψηφίδες με υψηλές τιμές στην εξαγόμενη εικόνα PPI, θα πρέπει να αντιστοιχούν κυρίως στις θέσεις των ακρότατων φασμάτων στην εικόνα (Εικ. 4.300), [19]. Κατά την εφαρμογή της τεχνικής αυτής χρησιμοποιήθηκαν οι δίαυλοι MNF που περιέχουν τη χρήσιμη πληροφορία για τα τμήματα της εικόνας Hyperion, στα οποία απεικονίζεται ορεινή, ημιορεινή αστική περιοχή και περιοχή αγροτικών καλλιεργιών. Εφαρμόστηκε μέσω του “Spectral, Pixel Purity Index, New Output Band” (παράρτημα Εικ. 20).



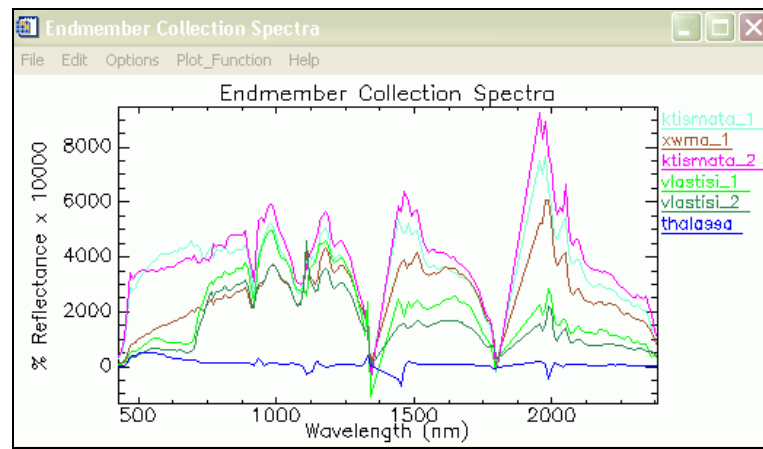
Εικόνα 4.300. Παρουσιάζεται μια διδιάστατη προσέγγιση για το πώς ο δείκτης PPI αναγνωρίζει πιθανά «ακρότατα» φάσματα στην εικόνα, [19].

Όπως προαναφέρθηκε τα φάσματα μιας εικόνας μπορούν να θεωρηθούν σαν σημεία στο χώρο n -διαστάσεων, όπου n είναι ο αριθμός των διαύλων της εικόνας. Οι συντεταγμένες των σημείων αυτών στον χώρο n -διαστάσεων αποτελούνται από “ n ” τιμές, οι οποίες είναι οι τιμές αντανάκλασης στο έδαφος σε κάθε διάυλο για μια ψηφίδα της εικόνας. Η κατανομή αυτών των σημείων στον χώρο n -διαστάσεων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό των φασματικών υπογραφών των κατηγοριών της εικόνας. Το “ n -D Visualizer” είναι μια τεχνική οπτικοποίησης των σημείων αυτών και προσδιορισμού των φασματικών υπογραφών των κατηγοριών της εικόνας. Όπου n είναι ο αριθμός των διαύλων που χρησιμοποιούνται κάθε φορά για την οπτικοποίηση των ψηφίδων, [20]. Τα φάσματα των οριακών ψηφίδων βρίσκονται στα όρια του νέφους των δεδομένων (οριακές ψηφίδες/endmembers) και χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή της φασματικής υπογραφής κάθε κατηγορίας/τάξης της εικόνας Hyperion. Στο “ n -D Visualizer” χρησιμοποιούνται οι διάυλοι MNF με τη χρήσιμη πληροφορία. Με τη χρήση της εικόνας PPI επιλέγονται για οπτικοποίηση μόνο τα φάσματα των οριακών ψηφίδων.

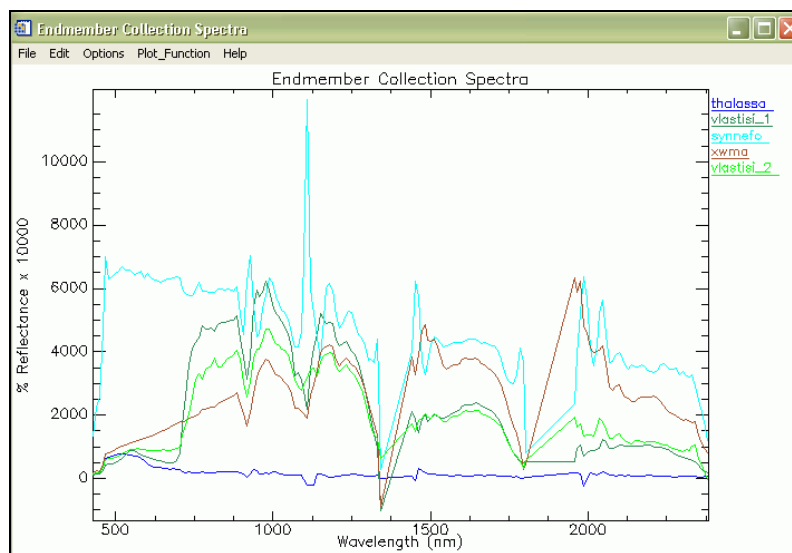
Κάθε σύνολο οριακών ψηφίδων εξήχθη στην ατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα. Στη συνέχεια υπολογίστηκε ο μέσος όρος των φασματικών υπογραφών των ψηφίδων κάθε συνόλου από το κάθε ατμοσφαιρικά διορθωμένο τμήμα της εικόνας Hyperion. Ο μέσος όρος που υπολογίστηκε αποτελεί τη φασματική υπογραφή της κατηγορίας. Η παραπάνω διαδικασία εφαρμόστηκε τρεις φορές για τα τρία τμήματα της εικόνας Hyperion στα

οποία απεικονίζεται ορεινή, ημιορεινή, αστική περιοχή και περιοχή αγροτικών καλλιεργειών. Η τεχνική “n-D Visualizer” εφαρμόστηκε μέσω του “Spectral, n-Dimensional Visualizer, Visualize with New Data” (παράρτημα Εικ. 21).

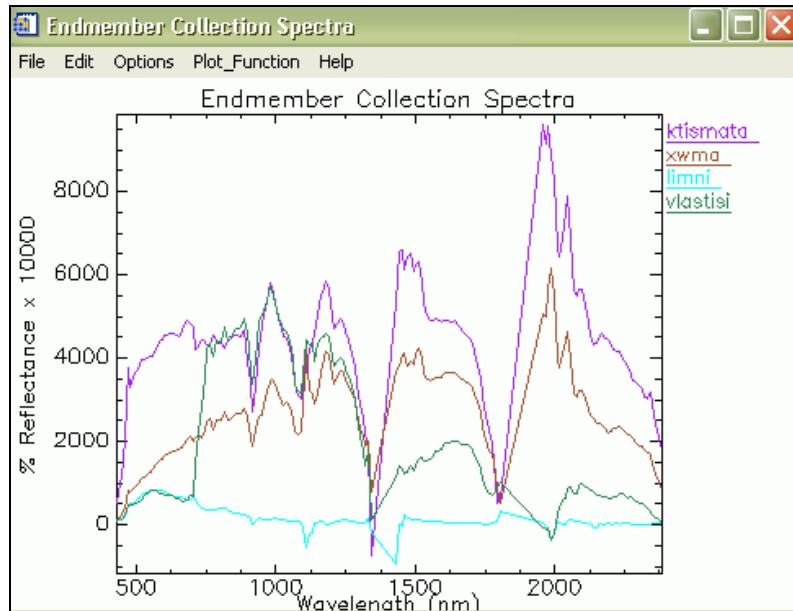
Οι φασματικές υπογραφές των κατηγοριών που προσδιορίστηκαν από την εφαρμογή της διαδικασίας αυτής στα τμήματα της εικόνας Hyperion παρουσιάζονται στις Εικόνες 4.301-4.303.



Εικόνα 4.301. Οι φασματικές υπογραφές των κατηγοριών που προσδιορίστηκαν για την αστική περιοχή της εικόνας Hyperion.



Εικόνα 4.302. Οι φασματικές υπογραφές των κατηγοριών που προσδιορίστηκαν για την ορεινή περιοχή και την περιοχή αγροτικών καλλιεργειών της εικόνας Hyperion.

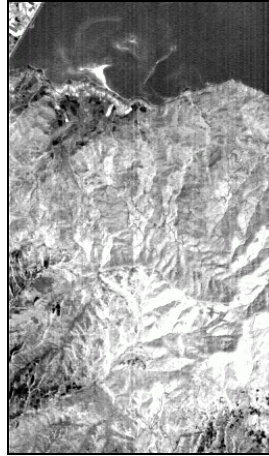


Εικόνα 4.303. Οι φασματικές υπογραφές των κατηγοριών που προσδιορίστηκαν για την ημιορεινή περιοχή και την περιοχή αγροτικών καλλιεργειών της εικόνας Hyperion.

4.4.2. Εφαρμογή της τεχνικής “Spectral Linear Unmixing”

Το “Spectral Linear Unmixing” (φασματικός καθαρισμός) είναι μια πολύ γνωστή τεχνική επεξεργασίας υπερφασματικών εικόνων. Χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό ανάμικτων ψηφίδων (mixed pixels) με σκοπό τον καθορισμό των κλασμάτων (fractions) ή της αφθονίας (abundance) κάθε φασματικής οριακής ψηφίδας (endmember) που συνδυάζονται ώστε να εξαχθεί η φασματική υπογραφή κάθε ανάμικτης ψηφίδας, [19]. Για κάθε κατηγορία παράγεται μια εικόνα με τιμές ψηφίδων τις τιμές των κλασμάτων που έχουν υπολογιστεί. Οι υψηλές τιμές των κλασμάτων αποδίδονται με φωτεινούς τόνους στις εικόνες.

Η τεχνική αυτή εφαρμόστηκε τρεις φορές στα τρία ατμοσφαιρικά διορθωμένα τμήματα της εικόνας Hyperion που περιλαμβάνουν ορεινή, ημιορεινή, αστική περιοχή και περιοχή αγροτικών καλλιεργειών μέσω του “Spectral, Mapping Methods, Linear Spectral Unmixing” στο ENVI 4.3 (παράρτημα Εικ. 22). Παρακάτω παρουσιάζεται ένα παράδειγμα από τα αποτελέσματα για την ημιορεινή περιοχή (Εικ 4.304). Παρουσιάζεται τμήμα της εικόνας που δημιουργήθηκε για την κατηγορία «βλάστηση».

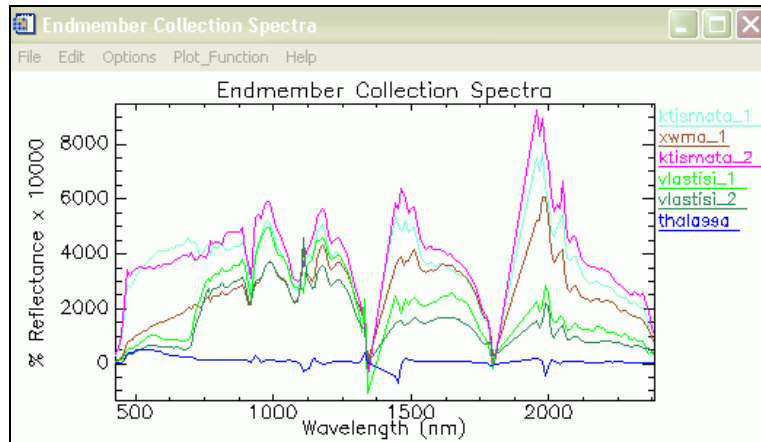


Εικόνα 4.304. Τμήμα από την εικόνα που προέκυψε μετά την εφαρμογή του αλγορίθμου “Spectral Linear Unmixing” για την κατηγορία της βλάστησης. Οι μεγάλες τιμές των κλασμάτων που προσδιορίστηκαν και αντιστοιχούν στις τιμές των ψηφίδων αποδίδονται με φωτεινούς τόνους.

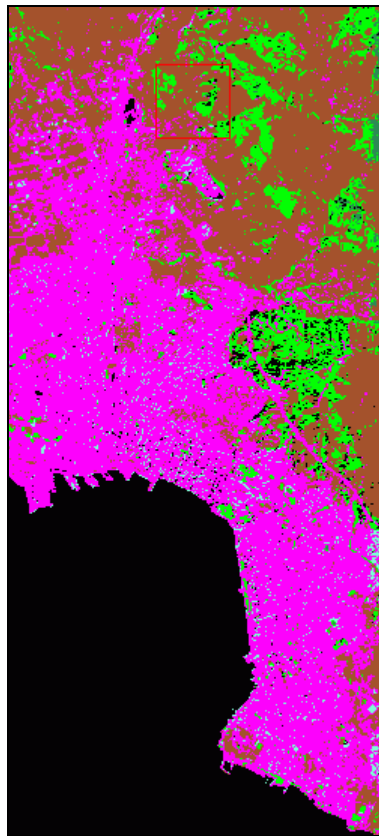
4.4.3. Εφαρμογή ταξινόμησης μέσω του αλγορίθμου SAM “Spectral Angle Mapper”

Στην ταξινόμηση μέσω του αλγορίθμου SAM (Spectral Angle Mapper) χρησιμοποιήθηκαν τα ατμοσφαιρικά διορθωμένα τμήματα της εικόνας Hyperion που περιλαμβάνουν ορεινή, ημιορεινή, αστική περιοχή και περιοχή αγροτικών καλλιεργειών. Οι φασματικές υπογραφές των κατηγοριών που προσδιορίστηκαν (endmembers) για κάθε τμήμα της εικόνας Hyperion χρησιμοποιήθηκαν ως φάσματα αναφοράς κατά την εφαρμογή του αλγορίθμου SAM στο αντίστοιχο τμήμα. Η γωνία που χρησιμοποιήθηκε στη μέθοδο SAM ήταν 0,30 rad. Μετά την ταξινόμηση των δεδομένων εικόνας οι ψηφίδες που μένουν αταξινομητες έχουν μαύρο χρώμα. Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης παρουσιάζονται στις Εικόνες 4.306, 4.308-4.310, 4.312-4.313. Επίσης, παρουσιάζονται οι φασματικές υπογραφές αναφοράς (π.χ. Εικ. 4.305) για κάθε ταξινομημένη εικόνα, οι οποίες έχουν το ίδιο χρώμα με την αντίστοιχη κατηγορία στην ταξινομημένη εικόνα.







Η ταξινόμηση αυτή έγινε μέσω του “Spectral, Mapping Methods, Spectral Angle Mapper” στο ENVI 4.3 (παράρτημα Εικ. 23).

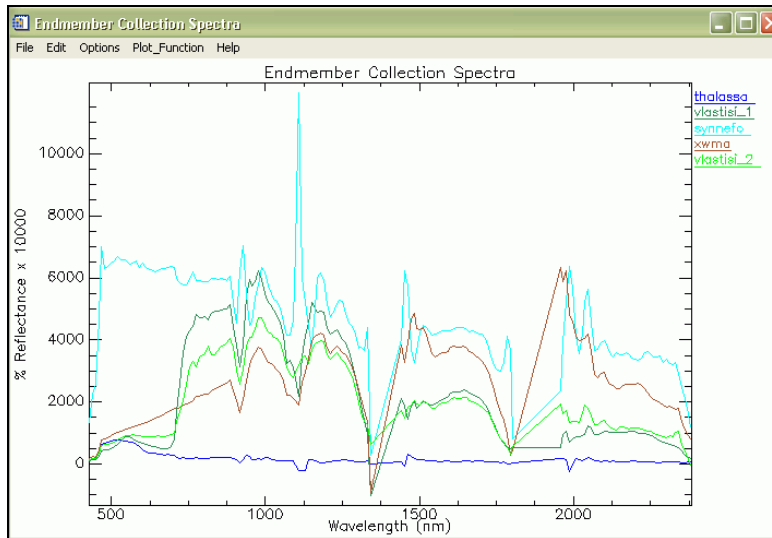


Εικόνα 4.305. Οι φασματικές υπογραφές των κατηγοριών που προδιορίστηκαν για την αστική περιοχή της εικόνας Hyperion.

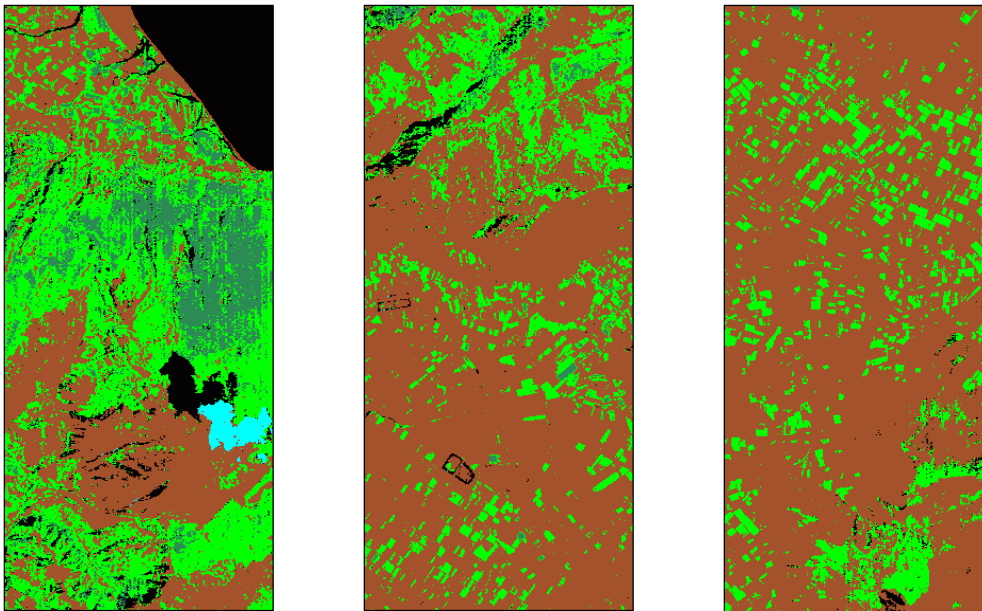


Εικόνα 4.306. Η ταξινομημένη εικόνα στην οποία απεικονίζεται αστική περιοχή. Τα χρώματα αντιστοιχούν στις κατηγορίες των εικόνων 4.305. Κτίσματα (magenta/σιελ), ακάλυπτο έδαφος (καφέ), βλάστηση (πράσινο), αταξινόμητες ψηφίδες (μαύρο).

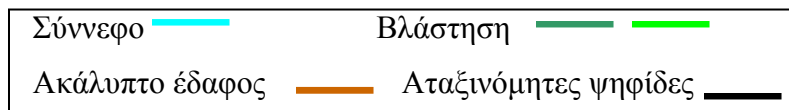
Κτίσματα			Βλάστηση		
Ακάλυπτο έδαφος			Αταξινόμητες ψηφίδες		

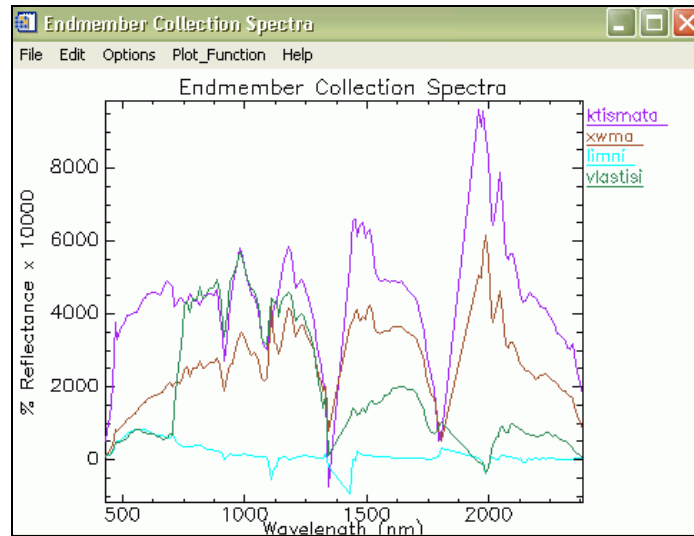


Εικόνα 4.307. Οι φασματικές υπογραφές των κατηγοριών που προδιορίστηκαν για ορεινή περιοχή και περιοχή αγροτικών καλλιεργειών της εικόνας Hyperion.

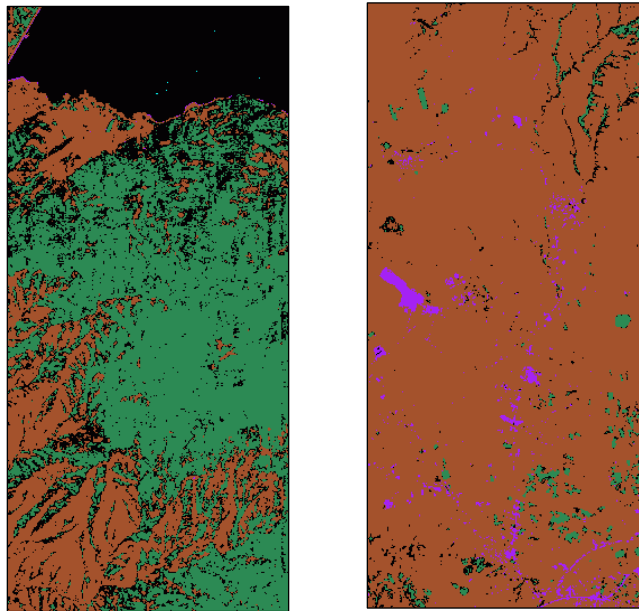


Εικόνες 4.308-4.310. Τμήματα της ταξινομημένης εικόνας με τη μέθοδο SAM στην οποία απεικονίζεται ορεινή περιοχή (αριστερά) και περιοχή αγροτικών καλλιεργειών (κέντρο και δεξιά). Τα χρώματα αντιστοιχούν στις κατηγορίες της εικόνας 4.307. Ακάλυπτο έδαφος (καφέ), βλάστηση (πράσινο), σύννεφο (σιελ), αταξινόμητες ψηφίδες (μαύρο).









Εικόνα 4.311. Οι φασματικές υπογραφές των κατηγοριών που προδιορίστηκαν για ημιορεινή περιοχή και περιοχή αγροτικών καλλιεργειών της εικόνας Hyperion.

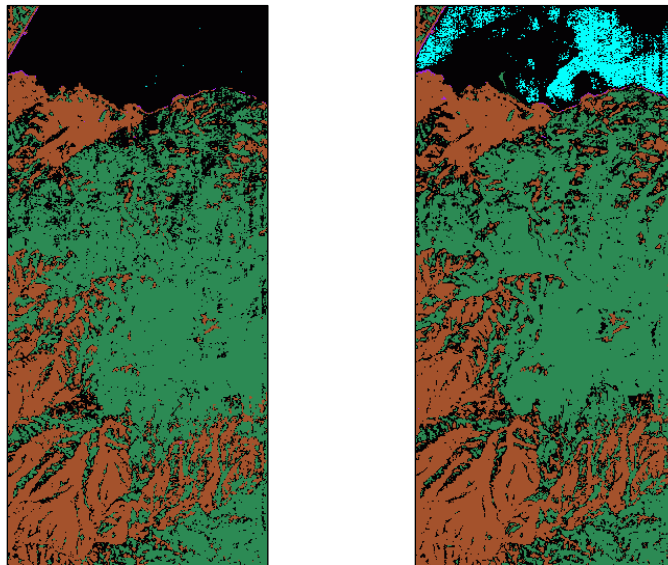


Εικόνα 4.312-4.313. Τμήματα της ταξινομημένης εικόνας με τη μέθοδο SAM στην οποία απεικονίζεται ημιορεινή περιοχή (αριστερά) και περιοχή αγροτικών καλλιεργειών (δεξιά). Τα χρώματα αντιστοιχούν στις κατηγορίες της εικόνας 4.311. Ακάλυπτο έδαφος (καφέ), βλάστηση (πράσινο), κτίσματα (μωβ), αταξινόμητες ψηφίδες (μαύρο).

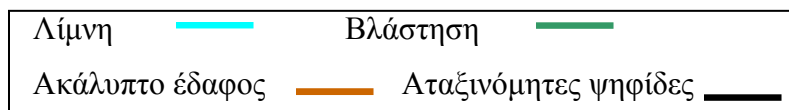
Κτίσματα		Βλάστηση	
Ακάλυπτο έδαφος		Αταξινόμητες ψηφίδες	

Επίσης, δοκιμάστηκε η εφαρμογή του αλγορίθμου SAM στα δεδομένα MNF με τη χρήσιμη πληροφορία για τη βελτίωση της ταξινόμησης. Εφαρμόστηκε αρχικά ο αντίστροφος μετασχηματισμός MNF στους διαύλους MNF με τη χρήσιμη πληροφορία για το τμήμα της εικόνας Hyperion, στο οποίο απεικονίζεται ημιορεινή περιοχή και περιοχή με αγροτικές καλλιέργειες. Ο αντίστροφος μετασχηματισμός MNF μετατρέπει την εικόνα MNF στις αρχικές διαστάσεις της εικόνας Hyperion, δηλαδή στον αρχικό αριθμό διαύλων της (Κεφ. 4.3). Στην εικόνα που προέκυψε εφαρμόστηκε ταξινόμηση. Στη συνέχεια η ταξινομημένη εικόνα συγκρίθηκε με την ταξινομημένη εικόνα που προήλθε από την ταξινόμηση της ατμοσφαιρικά διορθωμένης εικόνας Hyperion (Εικ. 4.314-4.315). Από τη σύγκριση των Εικόνων 4.314-4.315 προκύπτει, ότι η εφαρμογή της ταξινόμησης στους διαύλους MNF έδωσε καλύτερα αποτελέσματα για την περιοχή της λίμνης.

Για την εκτίμηση της ακρίβειας των δύο ταξινομήσεων λήφθηκαν δείγματα ελέγχου από την εικόνα Hyperion μέσω του ROI (Region-Of-Interest) Tool στο λογισμικό ENVI 4.3 (παράρτημα Εικ. 24). Οι ακρίβειες υπολογίστηκαν μέσω του “Classification, Post Classification, Confusion Matrix” (παράρτημα Εικ. 25) στο λογισμικό ENVI 4.3. Στον Πίνακα 4.7 παρουσιάζονται οι ακρίβειες των δύο ταξινομήσεων.



Εικόνες 4.314-4.315. Τμήμα της εικόνας που προέκυψε από την εφαρμογή της ταξινόμησης με τη μέθοδο SAM στην ατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα με MNF (δεξιά) και χωρίς MNF (αριστερά).



Πίνακας 4.7. Ακρίβειες ταξινόμησης

Είδος Ταξινόμησης	Ολική Ακρίβεια %	Συντελεστής K
SAM στους διαύλους MNF με τη χρήσιμη πληροφορία	86,3485	0,8063
SAM στην ατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα χωρίς MNF	82,4638	0,7502

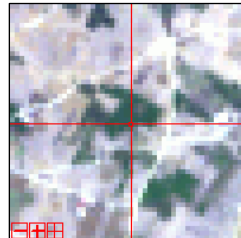
Ο στατιστικός συντελεστής K είναι ένα μέτρο συμφωνίας και αν προσεγγίζει τη μονάδα τότε υπάρχει άριστη συμφωνία μεταξύ ταξινόμησης και δεδομένων αναφοράς. Αν προσεγγίζει το μηδέν δεν υπάρχει συμφωνία.

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της ατμοσφαιρικής διόρθωσης της εικόνας Hyperion επιλέχθηκαν φασματικές υπογραφές από τα “endmembers” των δεδομένων και έγινε σύγκρισή τους με γνωστές φασματικές υπογραφές από φασματικές βιβλιοθήκες μέσω του “Spectral Analyst” του ENVI 4.3 (παράρτημα Εικ. 4.316-4.323). Τα αποτελέσματα από τη σύγκριση παρουσιάζουν το ποσοστό ομοιότητας ανάμεσα στην άγνωστη και τις γνωστές φασματικές υπογραφές. Το “Spectral Analyst” χρησιμοποιήθηκε μέσω του “Spectral, Spectral Analyst” (παράρτημα Εικ. 26).

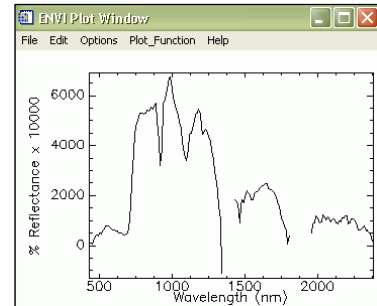
Στις Εικόνες 4.316-4.319 τα αποτελέσματα μέσω του “Spectral Analyst” παρουσιάζουν την ομοιότητα που υπάρχει ανάμεσα στις άγνωστες υπογραφές (που προέρχονται από την κατηγορία της βλάστησης και των κτισμάτων) και τις αντίστοιχες γνωστές φασματικές υπογραφές από φασματικές βιβλιοθήκες. Χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος SAM και γωνία 0,7854 rad.



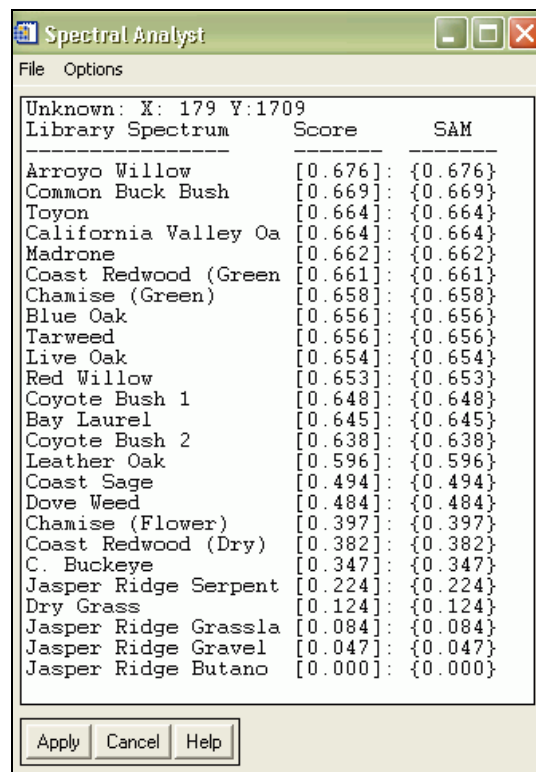
(α)



(β)



(γ)

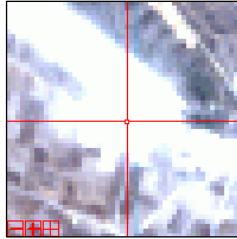


(δ)

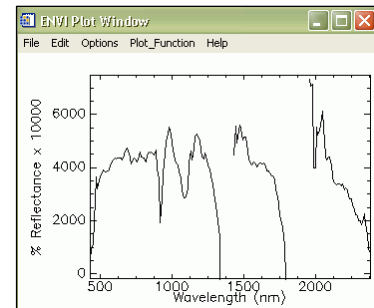
Εικόνες 4.316-4.319. Αστική περιοχή της ατμοσφαιρικά διορθωμένης εικόνας Hyperion (α) και η περιοχή του κόκκινου πλαισίου (β). Για την ψηφίδα που βρίσκεται στην τομή των δύο κόκκινων γραμμών δημιουργείται η φασματική υπογραφή (γ). Η σύγκριση αυτής της φασματικής υπογραφής με τη φασματική βιβλιοθήκη “Jasper Ridge Spectral Library for Green Vegetation, Dry Vegetation, and Rocks” (veg_2grn.sli) μέσω του “Spectral Analyst” έδωσε τα αποτελέσματα (δ).



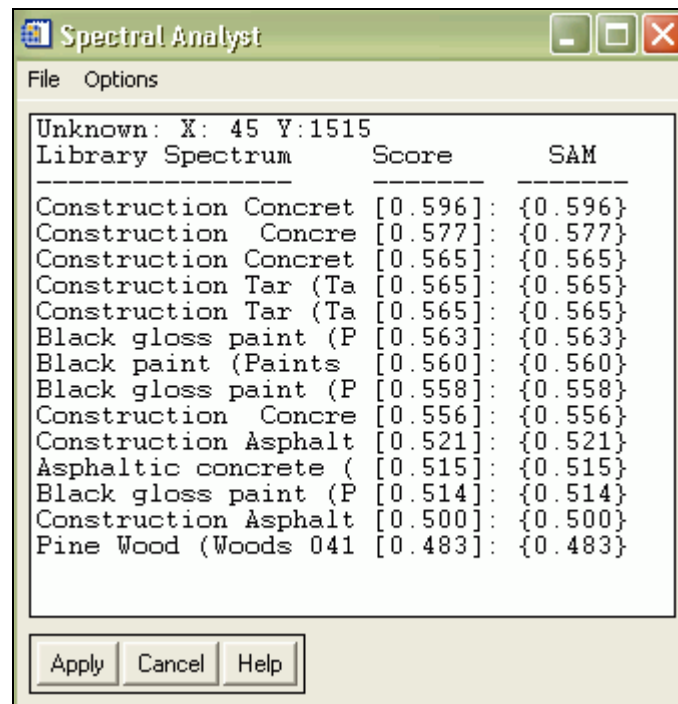
(α)



(β)



(γ)



(δ)

Εικόνες 4.320-4.323. Περιοχή της ατμοσφαιρικά διορθωμένης εικόνας Hyperion (α) και η περιοχή του κόκκινου πλαισίου (β). Για την ψηφίδα που βρίσκεται στην τομή των δύο κόκκινων γραμμών δημιουργείται η φασματική υπογραφή (γ). Η σύγκριση αυτής της φασματικής υπογραφής με τη φασματική βιβλιοθήκη “JHU” (Johns Hopkins University) μέσω του “Spectral Analyst” έδωσε τα αποτελέσματα (δ).

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο πλαίσιο αυτής της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας εφαρμόστηκαν τεχνικές μείωσης ατμοσφαιρικών σφαλμάτων υπερφασματικών εικόνων. Επίσης, εφαρμόστηκαν τεχνικές μείωσης θορύβου και ταξινόμησης υπερφασματικών εικόνων. Για να θεωρηθεί ένας αλγόριθμος ατμοσφαιρικής διόρθωσης επιτυχής, θα πρέπει η εφαρμογή του σε εικόνες με περιοχές διαφορετικής κάλυψης να έχει καλά αποτελέσματα. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από την εφαρμογή των αλγορίθμων ατμοσφαιρικής διόρθωσης (Κεφάλαιο 4) σε υπερφασματική Hyperion εικόνα στην οποία απεικονίζονται περιοχές με διαφορετικές καλύψεις (θάλασσα, λίμνη, ημιορεινή περιοχή, ορεινή περιοχή, καλλιεργημένη περιοχή).

Για την ατμοσφαιρική διόρθωση χρησιμοποιήθηκαν οι τεχνικές FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes), IARR (Internal Average Relative Reflectance), Empirical Line, Flat Field και Modified Flat Field. Οι τεχνικές FLAASH, Flat Field εφαρμόστηκαν μέσω του λογισμικού ENVI 4.3, η τεχνική Modified Flat Field μέσω του λογισμικού ERDAS IMAGINE 9.0 και οι τεχνικές IARR (Internal Average Relative Reflectance), Empirical Line μέσω και των δύο λογισμικών.

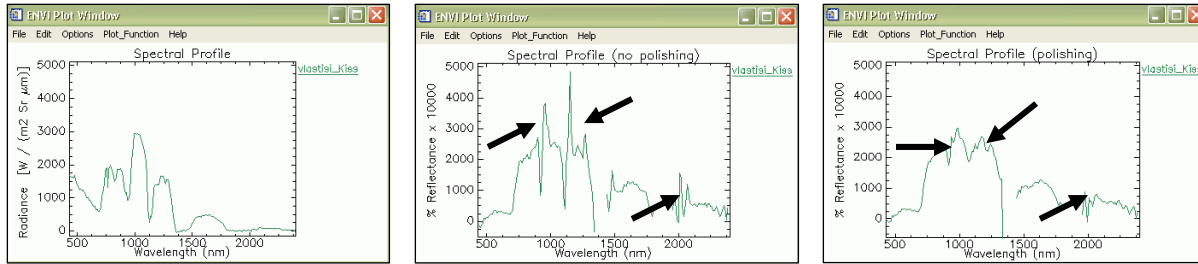
Για την εφαρμογή της τεχνικής FLAASH απαραίτητη προϋπόθεση ήταν η μετατροπή των δεδομένων εικόνας σε μονάδες μέτρησης φασματικής ακτινοβολίας $\mu\text{W}/(\text{cm}^2 \text{ sr nm})$ $\{\mu\text{Watt}/(\text{cm}^2 \times \text{Steradian} \times \text{nm})\}$. Κατά την εφαρμογή της σε όλη την εικόνα με τη χρήση του ίδιου μοντέλου για το μείγμα των ατμοσφαιρικών αερίων και σωματιδίων, το αποτέλεσμα για την οπτικοποίηση της εικόνας δεν ήταν καλό, δηλαδή οι τονικές αντιθέσεις στην ατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα είναι μικρότερες από την αρχική με αποτέλεσμα να δυσκολεύει η διάκριση των χαρακτηριστικών της (Εικ. 4.96-4.101). Για το λόγο αυτό η εικόνα χωρίστηκε σε τρεις βασικές κατηγορίες σύμφωνα με τα μοντέλα για το μείγμα των ατμοσφαιρικών αερίων και σωματιδίων: αγροτικό (rural), αστικό (urban) και θαλάσσιο (maritime). Από τη εφαρμογή του αλγορίθμου με τη χρήση του αντίστοιχου μοντέλου σε κάθε περιοχή το αποτέλεσμα ήταν καλύτερο, δηλαδή οι τονικές αντιθέσεις στην ατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα Hyperion ήταν μεγαλύτερες (Εικ. 4.174-4.177). Αυτό διευκόλυνε την ερμηνεία των χαρακτηριστικών της εικόνας. Η απόδοση της φασματικής πληροφορίας ήταν καλή και στις δύο περιπτώσεις, δηλαδή

μπορούσε να γίνει ταυτοποίηση των φασμάτων της ατμοσφαιρικά διορθωμένης εικόνας (π.χ. Εικ. 4.2-4.15, 4.164). Δεν παρατηρήθηκαν διαφορές στις φασματικές υπογραφές των ψηφίδων της ατμοσφαιρικά διορθωμένης εικόνας Hyperion στις δύο περιπτώσεις (4.178-4.183) (Πίνακας 5.1).

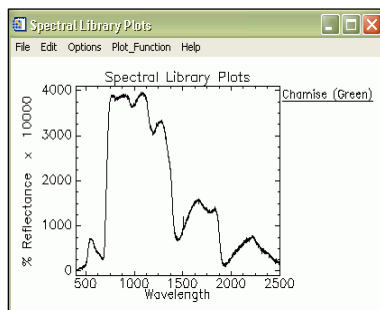
Πίνακας 5.1 Αποτελέσματα της ατμοσφαιρικής διόρθωσης της εικόνας Hyperion με τη χρήση του FLAASH

Τεχνική Ατμοσφαιρικής Διόρθωσης	Αποτελέσματα
FLAASH σε όλη την εικόνα Hyperion/Χρήση του ίδιου μοντέλου για το μείγμα των ατμοσφαιρικών αερίων και σωματιδίων	<ul style="list-style-type: none"> • Το αποτέλεσμα από την οπτικοποίηση της εικόνας δε διευκόλυνε τη διάκριση των χαρακτηριστικών της εικόνας • Το αποτέλεσμα για την απόδοση της φασματικής πληροφορίας ήταν καλό, δηλαδή μπορούσε να γίνει ταυτοποίηση των φασμάτων της εικόνας
FLAASH σε τμήματα της εικόνας Hyperion/Χρήση του αντίστοιχου μοντέλου για το μείγμα των ατμοσφαιρικών αερίων και σωματιδίων	<ul style="list-style-type: none"> • Το αποτέλεσμα από την οπτικοποίηση της εικόνας διευκόλυνε τη διάκριση των χαρακτηριστικών της εικόνας • Το αποτέλεσμα για την απόδοση της φασματικής πληροφορίας ήταν καλό, δηλαδή μπορούσε να γίνει ταυτοποίηση των φασμάτων της εικόνας

Για τη βελτίωση της ατμοσφαιρικής διόρθωσης της εικόνας Hyperion εφαρμόστηκαν οι τεχνικές “Wavelength Recalibration” (επαναβαθμονόμηση των διαύλων της εικόνας) και “spectral polishing” (φασματική ομαλοποίηση). Κατά την εφαρμογή της τεχνικής “Wavelength Recalibration” τα κέντρα της φασματικής περιοχής των 70 πρώτων διαύλων μετατοπίστηκαν κατά 1,32-1,62nm (φασματική περιοχή VNIR) και των διαύλων 71-242 κατά (-13,54)-(-16,71)nm (φασματική περιοχή SWIR). Παράδειγμα μείωσης του φασματικού θορύβου μέσω του “spectral polishing” παρουσιάζεται στις εικόνες 5.1-5.3. Στην Εικόνα 5.4 παρουσιάζεται η φασματική υπογραφή της πράσινης βλάστησης (chamise) από τη φασματική βιβλιοθήκη “Jasper Ridge Spectral Library for Green Vegetation, Dry Vegetation, and Rocks”.



Εικόνες 5.1-5.3. Η φασματική υπογραφή ψηφίδα βλάστησης στην αρχική εικόνα Hyperion (αριστερά) και στην εικόνα Hyperion μετά την ατμοσφαιρική διόρθωσή της χωρίς την εφαρμογή “spectral polishing” (κέντρο) και με την εφαρμογή “spectral polishing” (δεξιά). Παρατηρείται η μείωση του φασματικού θορύβου.



Εικόνα 5.4. Η φασματική υπογραφή της πράσινης βλάστησης (chamise) από τη φασματική βιβλιοθήκη “Jasper Ridge Spectral Library for Green Vegetation, Dry Vegetation, and Rocks” (veg_2grn.sli).

Για την εφαρμογή της τεχνικής IARR δεν ήταν απαραίτητη η προεπεξεργασία. Κατά την εφαρμογή της τεχνικής αυτής, το αποτέλεσμα για την οπτικοποίηση της εικόνας ήταν καλό, δηλαδή η ατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα είχε καλές τονικές αντιθέσεις που διευκόλυναν την ερμηνεία των χαρακτηριστικών της εικόνας. Αντίθετα το αποτέλεσμα για την απόδοση της φασματικής πληροφορίας της εικόνας δεν ήταν καλό, δηλαδή δε μπορούσε να γίνει ταυτοποίηση των φασματικών υπογραφών των ψηφίδων της εικόνας (Εικ. 4.204-4.224).

Για την εφαρμογή της τεχνικής Empirical Line δεν ήταν απαραίτητη η προεπεξεργασία. Κατά την εφαρμογή της τεχνικής αυτής, το αποτέλεσμα για την οπτικοποίηση της εικόνας ήταν καλό, δηλαδή η ατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα είχε καλό contrast. Το αποτέλεσμα για την απόδοση της φασματικής πληροφορίας δεν ήταν καλό, δηλαδή δε μπορούσε να γίνει ταυτοποίηση των φασματικών υπογραφών των ψηφίδων της εικόνας (Εικ. 4.225-4.245).

Για την εφαρμογή των τεχνικών Flat Field και Modified Flat Field δεν ήταν απαραίτητη η προεπεξεργασία. Κατά την εφαρμογή των τεχνικών αυτών, το αποτέλεσμα

για τη οπτικοποίηση της εικόνας ήταν καλό. Αντίθετα το αποτέλεσμα για την απόδοση της φασματικής πληροφορίας δεν ήταν καλό, δηλαδή δε μπορούσε να γίνει ταυτοποίηση των φασματικών υπογραφών των ψηφίδων της εικόνας (Εικ. 4.246-4.266).

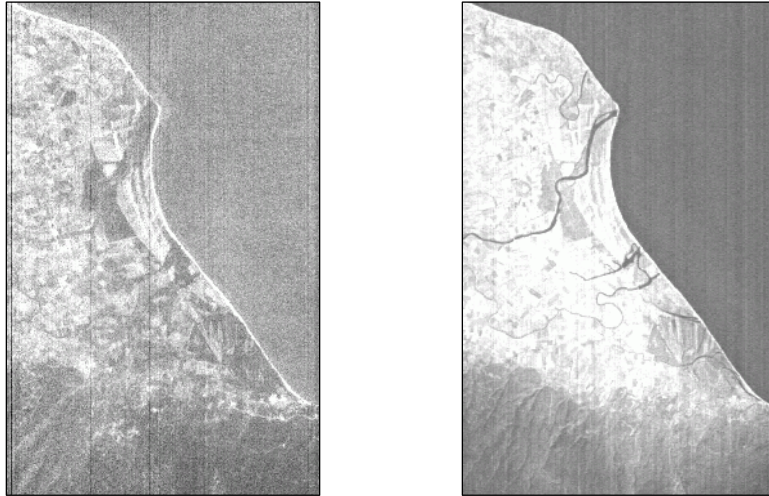
Η σύγκριση των αποτελεσμάτων όλων των τεχνικών ατμοσφαιρικής διόρθωσης οδήγησε στο συμπέρασμα ότι το FLAASH έδωσε πιο αξιόλογα αποτελέσματα (Εικ. 4.267-4.276). Η ταυτοποίηση των φασμάτων της εικόνας σ' αυτήν την περίπτωση ήταν ικανοποιητική (π.χ. Εικ. 4.2-4.15, 4.267-4.276, 4.316-4.323). Για το λόγο αυτό στην περαιτέρω επεξεργασία της εικόνας χρησιμοποιήθηκαν τα τμήματα της εικόνας Hyperion, που διορθώθηκαν ατμοσφαιρικά ξεχωριστά με τη χρήση του αντίστοιχου μοντέλου για το μείγμα των ατμοσφαιρικών αερίων και σωματιδίων και περιλαμβάνουν ορεινή, ημιορεινή, αστική περιοχή και περιοχή αγροτικών καλλιεργειών.

Στον Πίνακα 5.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ατμοσφαιρικής διόρθωσης της εικόνας Hyperion με τη χρήση των τεχνικών FLAASH, IARR, Empirical Line, Flat Field και Modified Flat Field.

Πίνακας 5.2. Αποτελέσματα της ατμοσφαιρικής διόρθωσης της εικόνας Hyperion με τη χρήση των τεχνικών FLAASH, IARR, Empirical Line, Flat Field και Modified Flat Field.

Τεχνική Ατμοσφαιρικής Διόρθωσης	Αποτελέσματα
FLAASH σε όλη την εικόνα Hyperion/Χρήση του ίδιου μοντέλου για το μείγμα των ατμοσφαιρικών αερίων και σωματιδίων	<ul style="list-style-type: none"> • Το αποτέλεσμα από την οπτικοποίηση της εικόνας δε διευκόλυνε τη διάκριση των χαρακτηριστικών της εικόνας • Το αποτέλεσμα για την απόδοση της φασματικής πληροφορίας ήταν καλό, δηλαδή μπορούσε να γίνει ταυτοποίηση των φασμάτων της εικόνας
FLAASH σε τμήματα της εικόνας Hyperion/Χρήση του αντίστοιχου μοντέλου για το μείγμα των ατμοσφαιρικών αερίων και σωματιδίων	<ul style="list-style-type: none"> • Το αποτέλεσμα από την οπτικοποίηση της εικόνας διευκόλυνε τη διάκριση των χαρακτηριστικών της εικόνας • Το αποτέλεσμα για την απόδοση της φασματικής πληροφορίας ήταν καλό, δηλαδή μπορούσε να γίνει ταυτοποίηση των φασμάτων της εικόνας
IARR στην εικόνα Hyperion	<ul style="list-style-type: none"> • Το αποτέλεσμα από την οπτικοποίηση της εικόνας διευκόλυνε τη διάκριση των χαρακτηριστικών της εικόνας • Το αποτέλεσμα για την απόδοση της φασματικής πληροφορίας δεν ήταν καλό, δηλαδή δε μπορούσε να γίνει ταυτοποίηση των φασμάτων της εικόνας
Empirical Line στην εικόνα Hyperion	<ul style="list-style-type: none"> • Το αποτέλεσμα από την οπτικοποίηση της εικόνας διευκόλυνε τη διάκριση των χαρακτηριστικών της εικόνας • Το αποτέλεσμα για την απόδοση της φασματικής πληροφορίας δεν ήταν καλό, δηλαδή δε μπορούσε να γίνει ταυτοποίηση των φασμάτων της εικόνας
Flat Field/Modified Flat Field στην εικόνα Hyperion	<ul style="list-style-type: none"> • Το αποτέλεσμα από την οπτικοποίηση της εικόνας διευκόλυνε τη διάκριση των χαρακτηριστικών της εικόνας • Το αποτέλεσμα για την απόδοση της φασματικής πληροφορίας δεν ήταν καλό, δηλαδή δε μπορούσε να γίνει ταυτοποίηση των φασμάτων της εικόνας

Για τη μείωση του θορύβου της υπερφασματικής εικόνας Hyperion χρησιμοποιήθηκε η τεχνική MNF (Minimum Noise Fraction). Η τεχνική αυτή εφαρμόστηκε μόνο στα τμήματα της εικόνας Hyperion που διορθώθηκαν ατμοσφαιρικά ξεχωριστά με τη χρήση του αντίστοιχου μοντέλου για το μείγμα των ατμοσφαιρικών αερίων και σωματιδίων και τη χρήση του λογισμικού FLAASH. Παράδειγμα μείωσης του θορύβου παρουσιάζεται στις Εικόνες 5.5-5.6.



Εικόνες 5.5-5.6. Παρουσιάζεται τμήμα της εικόνας Hyperion πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) την εφαρμογή του μετασχηματισμού MNF (αριστερά διάυλος 8 της ατμοσφαιρικά διορθωμένης εικόνας, δεξιά διάυλος MNF1). Παρατηρείται η μείωση του θορύβου.

Για την ταξινόμηση της εικόνας Hyperion χρησιμοποιήθηκε η τεχνική SAM (Spectral Angle Mapper). Η τεχνική αυτή εφαρμόστηκε στα τμήματα της εικόνας Hyperion που διορθώθηκαν ατμοσφαιρικά ξεχωριστά (ορεινή, ημιορεινή, αστική περιοχή και περιοχή αγροτικών καλλιεργειών) με τη χρήση του αντίστοιχου μοντέλου για το μείγμα των ατμοσφαιρικών αερίων και σωματιδίων και τη χρήση του λογισμικού FLAASH. Εφαρμόστηκε και σε διορθωμένη με MNF εικόνα και χωρίς MNF. Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης στα δεδομένα MNF είχε μεγαλύτερη ακρίβεια, γιατί στα δεδομένα αυτά έχει περιοριστεί ο θόρυβος (Πίνακας 5.3).

Πίνακας 5.3. Ακρίβειες ταξινόμησης

Είδος Ταξινόμησης	Ολική Ακρίβεια %	Συντελεστής Κ
SAM στην ατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα με MNF	86,3485	0,8063
SAM στην ατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα χωρίς MNF	82,4638	0,7502

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Τσακίρη-Στρατή Μ., 2004, Τηλεπισκόπηση-Πανεπιστημιακές παραδόσεις για τους φοιτητές του 6^{ου} εξαμήνου, Α.Π.Θ.
- [2] Τσακίρη-Στρατή Μ., 2006, Υπερφασματικά Τηλεπισκόπηση- Παραδόσεις για το μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών, Α.Π.Θ
- [3] Manolakis D., Marden D., Shaw G. A. 2003, “Hyperspectral Image Processing for Automatic Target Detection Applications”, Lincoln Laboratory Journal, Volume 14, Number 1
- [4] Jensen J. R., 2005, “Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective”, Pearson Education
- [5] ERDAS User’s Guide, December 2005, ERDAS IMAGINE version 9.0
- [6] Pearlman J., Segal C., Clancy P., Nelson N., Jarecke P., Ono M., Beiso D., Liao L., Yokohama K., Carman S., Browne B., Ong L., Ungar S., “ The EO-1 Hyperion Imaging Spectrometer IEEE Aerospace Conference”,
http://eo1.gsfc.nasa.gov/new/validationReport/Technology/TRW_EO1%20Papers_Presentations/10.pdf, 7-2007
- [7] Shippert P., “Spotlight on Hyperspectral”,
<http://www.storm.uni.edu/rs/2002/aars/hyperspectral-wp.pdf>, 6-2006
- [8] Shippert P., 2004, “Why use Hyperspectral Imagery?”,
<http://www.asprs.org/publications/pers/2004journal/april/highlight.pdf>, 6-2006
- [9] Nash G. D., Johnson G. W., 2002, “Soil Mineralogy Anomaly Detection in Dixie Valley, Nevada Using Hyperspectral Data”, Twenty-Seventh Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University,
http://www5.egi.utah.edu/Stanford_2002.pdf, 3-2007
- [10] Kruse F. A., Boardman J.W., Huntington J. F., “Comparison of Airborne Hyperspectral Data and EO-1 Hyperion for Mineral Mapping”, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 41, No. 6. June 2003,
[http://www.hgimaging.com/FAK_Pubs.htm#Kruse, F. A., Richardson, L.L., and Ambrosia, V. G., 1997, 3-2007](http://www.hgimaging.com/FAK_Pubs.htm#Kruse,F.A.,Richardson,L.L.,andAmbrosia,V.G.,1997,3-2007)

-
- [11] Darvishsefat A. A., Kellenberger T. W., Itten K. I., 2002, "Application of Hyperspectral Data for Forest Stand Mapping", Symposium on Geospatial Theory, Proceedings and Applications, Ottawa,
<http://www.isprs.org/commission4/proceedings02/pdfpapers/357.pdf>, 3-2007
- [12] Kruse F. A., Boardman J. W., Livo K. E., "USING HYPERSPECTRAL DATA FOR URBAN BASELINE STUDIES, BOULDER, COLORADO",
http://www.hgimaging.com/PDF/Kruse-JPL2004_Boulder_Urban.pdf, 9-2007
- [13] Eckert S., Kneubuhler M, "APPLICATION OF HYPERION DATA TO AGRICULTURAL LAND CLASSIFICATION AND VEGETATION PROPERTIES ESTIMATION IN SWITZERLAND",
<http://www.isprs.org/istanbul2004/comm7/papers/170.pdf>, 11-2006
- [14] Kruse F. A., "PRELIMINARY RESULTS-HYPERSPECTRAL MAPPING OF CORAL REEF SYSTEMS USING EO-1 HYPERION, BUCK ISLAND, U.S. VIRGIN ISLANDS", 12th JPL Airborne Geoscience Workshop, 2003, Pasadena, California
[http://www.hgimaging.com/FAK_Pubs.htm#Kruse, F. A., Richardson, L.L., and Ambrosia, V. G., 1997, 3-2007](http://www.hgimaging.com/FAK_Pubs.htm#Kruse,F.A.,Richardson,L.L.,andAmbrosia,V.G.,1997,3-2007)
- [15] http://speclib.jpl.nasa.gov/documents/jhu_desc.htm, 10-2007
- [16] http://speclib.jpl.nasa.gov/documents/jpl_desc.htm#2.1 Sample Origin, 10-2007
- [17] <http://pubs.usgs.gov/of/2003/ofr-03-395/ofr-03-395.html>, 10-2007
- [18] Barry P. "SWIR Example: Mineral Identification (Cuprite, NV)
<http://eo1.gsfc.nasa.gov/miscPages/ALIworkshop.html>, 7-2007
- [19] Παρμενόπουλος Κ., 2003, «Διαδικασία Γραμμικού Φασματικού Καθαρισμού (Spectral Unmixing or Spectral Mixture Analysis) στην Υπερφασματική Τηλεπισκόπηση», Α.Π.Θ.
- [20] ENVI User's Guide, 2006, ENVI version 4.3
- [21] Kruse F. A., 2003, "Mineral Mapping with AVIRIS and EO-1 Hyperion", 12th JPL Airborne Geoscience Workshop, Pasadena, California
- [22] Shaw G. A., Burke H., 2003, "Spectral Imaging for Remote Sensing", Lincoln Laboratory Journal, Volume 14, Number 1
- [23] <http://aviris.jpl.nasa.gov/html/aviris.newdata.html>, 10-2007
-

-
- [24] http://www.maps.cs.cmu.edu/APGD/apgd-hydice/apgd_hydice.System1.page01.html, 10-2007
- [25] <http://www.earthsearch.com/index.php?sp=10>, 10-2007
- [26] http://www.itres.com/CASI_550, 10-2007
- [27] http://eo1.usgs.gov/userGuide/index.php?page=hyp_prop, 3-2007
http://eo1.usgs.gov/userGuide/hyp_prop.html, 11-2006
- [28] <http://www.globalsecurity.org/space/systems/nemo.htm>, 10-2007
- [29] Dermanis A., Biagi L., 2002, "TOPICS ON REMOTE SENSING", CEA Editions, Milano
- [30] Kumar U., 2006, Thesis for the degree of Master of Science: "Comparative Evaluation of the Algorithms for Land Cover Mapping using Hyperspectral Data", International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands & Indian Institute of Remote Sensing, National Remote Sensing Agency (NRSA), Department of Space, Govt. of India, Dehradun, India
- [31] Keller J., 2005, "MODTRAN4 (MODerate resolution TRANsmittance code), Paul Scherrer Institut (PSI), Switzerland
- [32] <http://www.imspec.com/page4.html>, 4-2007
- [33] http://eo1.usgs.gov/userGuide/index.php?page=hyp_prod, 3-2007
http://eo1.usgs.gov/userGuide/hyp_prod.html, 11-2006
- [34] http://eo1.usgs.gov/userGuide/index.php?page=hyp_process, 3-2007
http://eo1.usgs.gov/userGuide/hyp_process.html, 10-2006
- [35] <http://el.wikipedia.org/wiki/Θεσσαλονίκη>, 3-2007
- [36] <http://el.wikipedia.org/wiki/Κερκίνη>, 3-2007
- [37] http://el.wikipedia.org/wiki/Σύμβαση_Ραμσάρ, 3-2007
- [38] <http://geogr.eduportal.gr/grinfo/mountains.htm>, 2-2007
- [39] <http://el.wikipedia.org/wiki/Ολυμπος>, 3-2007
- [40] <http://eo1.usgs.gov/userGuide/index.php?page=program>, 3-2007
<http://eo1.usgs.gov/userGuide/program.html>, 11-2006
- [41] <http://eo1.gsfc.nasa.gov/images/eo1Poster5.jpg>, 2-2007
- [42] <http://eo1.gsfc.nasa.gov/miscPages/ALIworkshop.html>, 7-2007
- [43] <http://eo1.usgs.gov/userGuide/index.php?page=spacecraft>, 3-2007

- <http://eo1.usgs.gov/userGuide/spacecraft.html>, 11-2006
- [44] http://eo1.usgs.gov/userGuide/index.php?page=orbit_data, 3-2007
http://eo1.usgs.gov/userGuide/orbit_data.html, 11-2006
- [45] http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook_htmls/chapter5/chapter5.html#section5.3, 7-2007
- [46] http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook_htmls/chapter5/htmls/wrs_graphic.html, 1-2007
- [47] <http://eo1.usgs.gov/hyperion.php>, 6-2006
- [48] <http://eo1.gsfc.nasa.gov/images/pageSpecific/hypfotos/RtViewLg.JPG>, 2-2007
- [49] <http://eo1.gsfc.nasa.gov/Technology/eo1Technology.html#Instruments>, 2- 2007
- [50] Quansah J. E., 2004, “HYPERION The first Space Based Hyperspectral Imager”, www.lars.purdue.edu/seminar/presentations/2004_Dec1/3_Joseph_Hyperion.pdf.
- [51] Bachman M., Holzwarth S., Richter R., Habermeyer M., Borg E., Müllewr A., 2006, “Image and Sensor Fusion for Airborne Hyperspectral Sensors”, DIN-Workshop Fusion, Berlin
- [52] http://en.wikipedia.org/wiki/Signal-to-noise_ratio#Image_processing_and_interferometry
- [53] <http://eo1.gsfc.nasa.gov/overview/VisitorCenterShow.pdf>
- [54] <http://eo1.usgs.gov/samples.php>, 10-2006
- [55] Pearlman Jay S., 2003, “Hyperion Validation Report”, pp 2-6,
<http://eo1.gsfc.nasa.gov/new/validationReport/index.html>, 6-2006
- [56] http://eo1.usgs.gov/Hyperion_Spectral_Coverage.htm, 3-2007
- [57] http://eo1.gsfc.nasa.gov/new/validationReport/Technology/TRW_EO1%20Papers_Presentations/21.pdf, 7-2007
- [58] Barry P. S., Pearlman Jay S., 2001, “The EO-1 Mission: Hyperion data”,
<http://www.fas.org/irp/imint/hyperion.pdf>, 6-2006
- [59] http://eo1.usgs.gov/Hyp_Sys_Terrain_press_release.php, 1-2007
- [60] <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/dataproduct.htm>, 7-2007
- [61] <http://edc.usgs.gov/products/elevation/gtopo30/gtopo30.html>, 7-2007
- [62] http://www.creaso.com/english/12_swvis/22_flash/main.htm, 4-2007

- [63] Goetz A. F. H., Kindel B., Ferri M., Gutman E., “RELATIVE PERFORMANCE OF HATCH AND THREE OTHER TECHNIQUES FOR ATMOSPHERIC CORRECTION OF HYPERION AND AVIRIS DATA”,
http://aster.colorado.edu/pages/papers/Goetz_AVIRIS_2003_web.pdf, 2-2007
- [64] <http://www.castle.geographie.uni-kiel.de/r-kiel2/s212p050.htm>, 1-2007
- [65] Crowley J., “Comparison of Airborne and Spaceborne Sensors for Remote Sensing Analysis of Potential Debris Flow Source Areas on Mount Shasta, California”,
http://eo1.gsfc.nasa.gov/new/validationReport/Technology/Documents/Tech.Val.Report/Science_Summary_Crowley_02b.pdf, 3-2007
- [66] Asner G., “Analysis of EO-1 Hyperion Imagery for Desertification Research Applications in Argentina”,
http://eo1.gsfc.nasa.gov/new/validationReport/Technology/Documents/Tech.Val.Report/Science_Summary_Asner_Argentina2.pdf, 3-2007
- [67] Secker J., Staenz K., Gauthier R. P., Budkewitsch, 2000, “Vicarious Calibration of Airborne Hyperspectral Sensors in Operational Environments”, Remote Sensing of Environment

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Η εικόνα Hyperion της εργασίας

Εικόνα 2. Η περιοχή της Εικόνας 1, που περικλείεται στο πλαίσιο.
Είναι η αστική περιοχή της Θεσσαλονίκης.

Εικόνα 1. Η εικόνα Hyperion της παρούσας μεταπτυχιακής
διπλωματικής εργασίας. Η χρωματική εμφάνιση της εικόνας
πρόέκυψε από το συνδυασμό των διαύλων: R=25, G=20, B=11.



Εικόνα 4. Παρουσιάζεται η περιοχή της Εικόνας 3, που περικλείεται στο πλαίσιο. Στην περιοχή αυτή υπάρχουν αγροτικές καλλιέργειες.

Εικόνα 3. Η εικόνα Hyperion της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας. Η χρωματική εμφάνιση της εικόνας προέκυψε από το συνδυασμό των διαύλων: R=25, G=20, B=11.



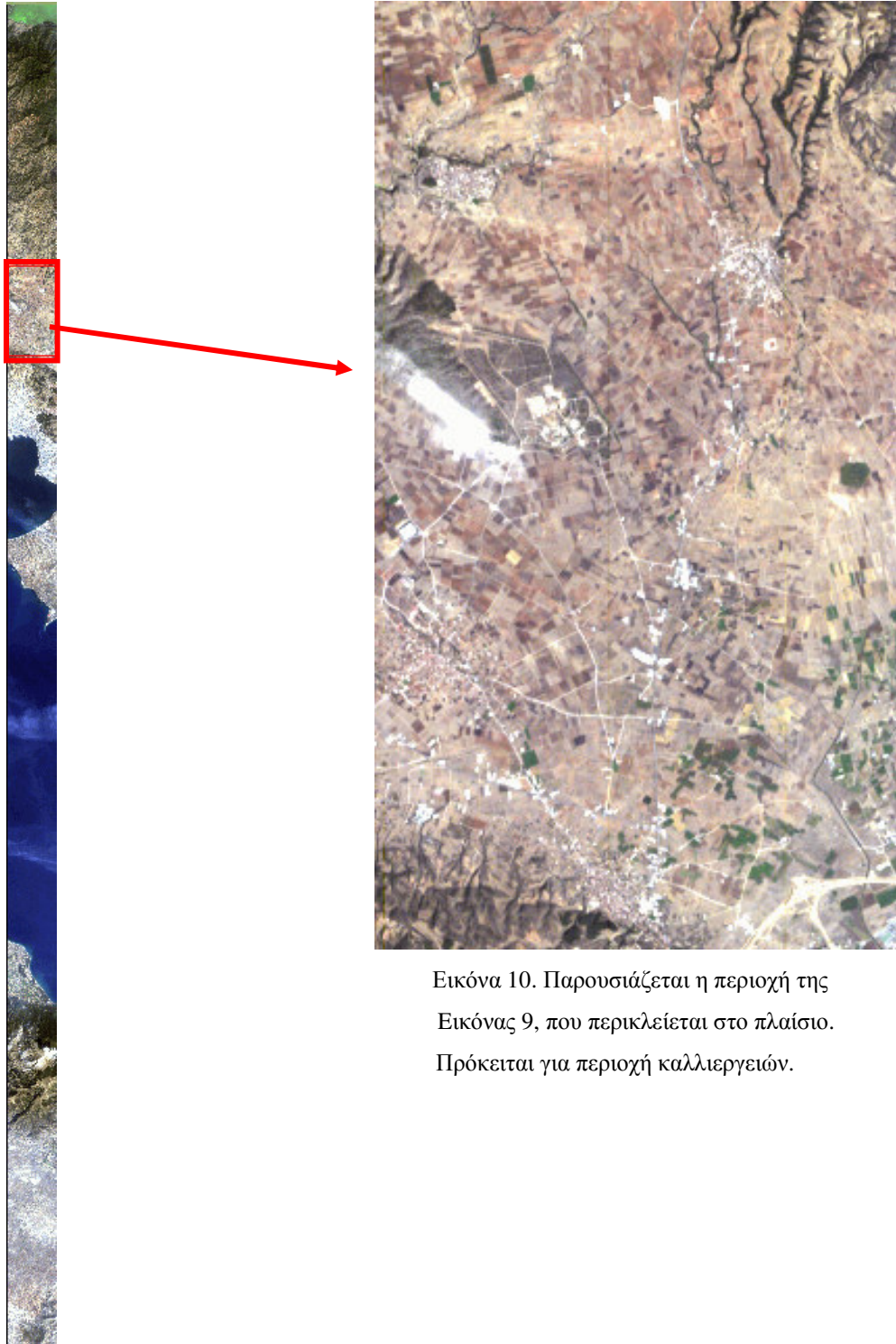
Εικόνα 6. Η περιοχή που περικλείεται στο πλαίσιο της Εικόνας 5. Στο πάνω μέρος βρίσκεται η λίμνη Κερκίνη και παρακάτω ημορεινή περιοχή.

Εικόνα 5. Η υπερφασματική εικόνα Hyperion Η χρωματική εμφάνιση της εικόνας προέκυψε από το συνδυασμό των διαύλων: R=25, G=20, B=11.



Εικόνα 8. Η ημιορεινή περιοχή της Εικόνας 7, που περικλείεται στο πλαίσιο.

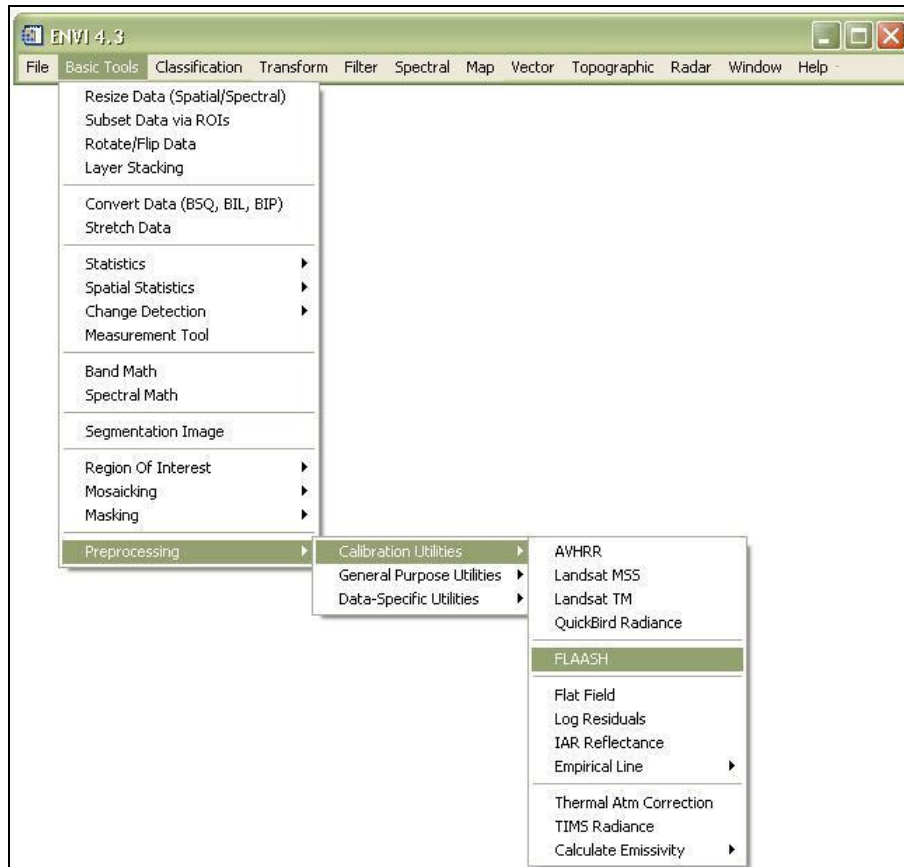
Εικόνα 7. Η υπερφασματική εικόνα Hyregion.
Η χρωματική εμφάνιση της εικόνας προέκυψε από το συνδυασμό των διαύλων: R=25, G=20, B=11.



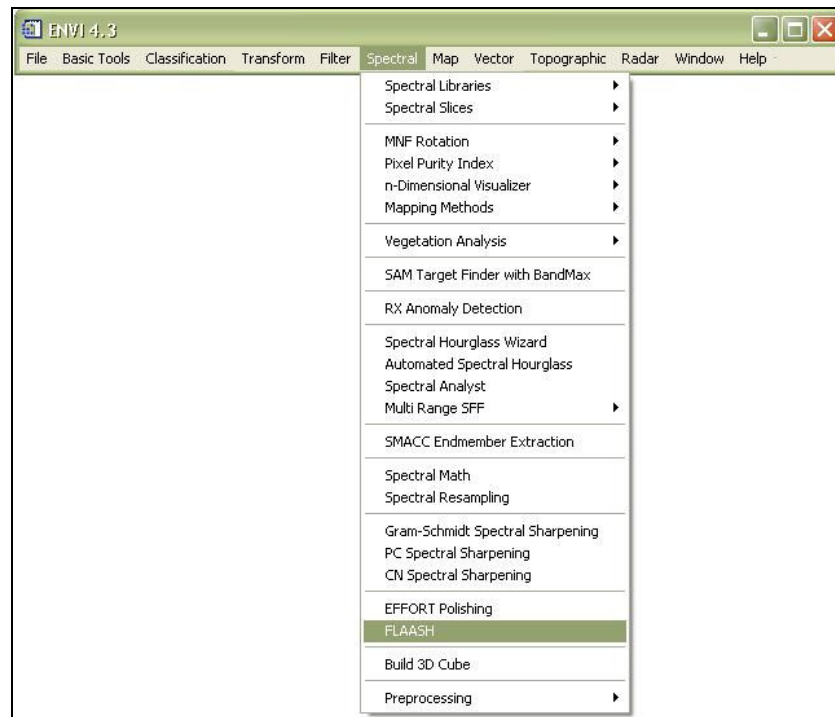
Εικόνα 10. Παρουσιάζεται η περιοχή της Εικόνας 9, που περικλείεται στο πλαίσιο. Πρόκειται για περιοχή καλλιεργειών.

Εικόνα 9. Η υπερφασματική εικόνα Hyperion.
Η χρωματική εμφάνιση της εικόνας προέκυψε από το συνδυασμό των διαύλων: R=25, G=20, B=11.

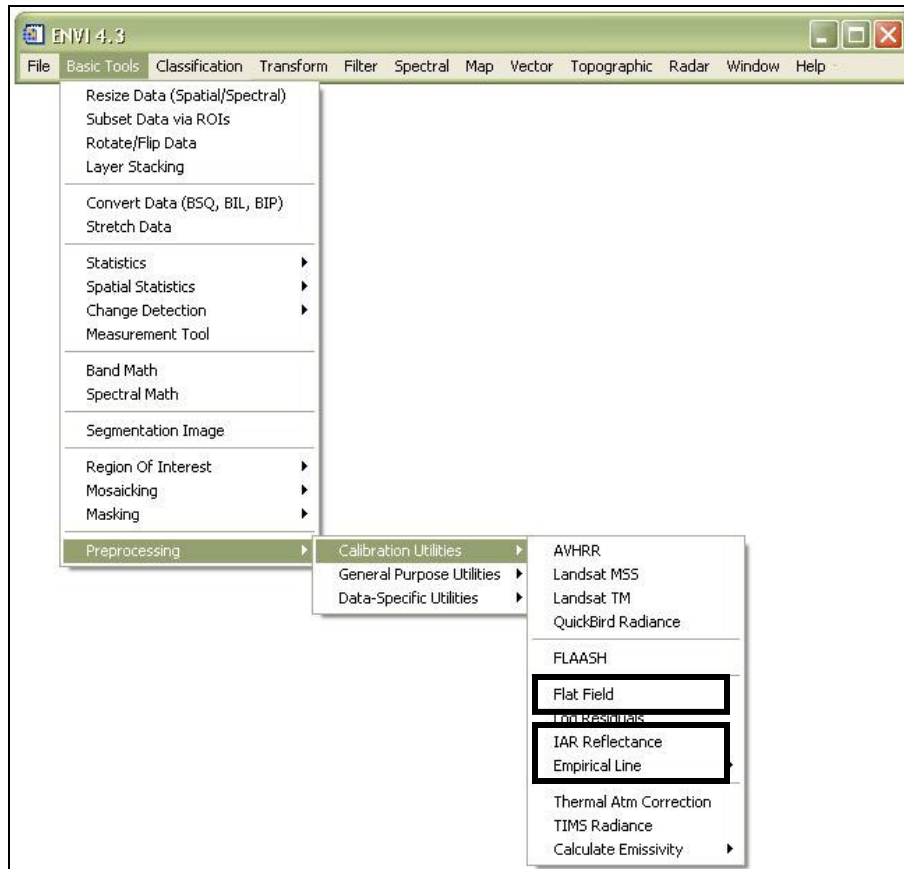
Η επιλογή των τεχνικών ατμοσφαιρικής διόρθωσης FLAASH, IARR, Empirical Line, Flat Field, Modified Flat Field στα λογισμικά ENVI 4.3 και ERDAS IMAGINE 9.0.



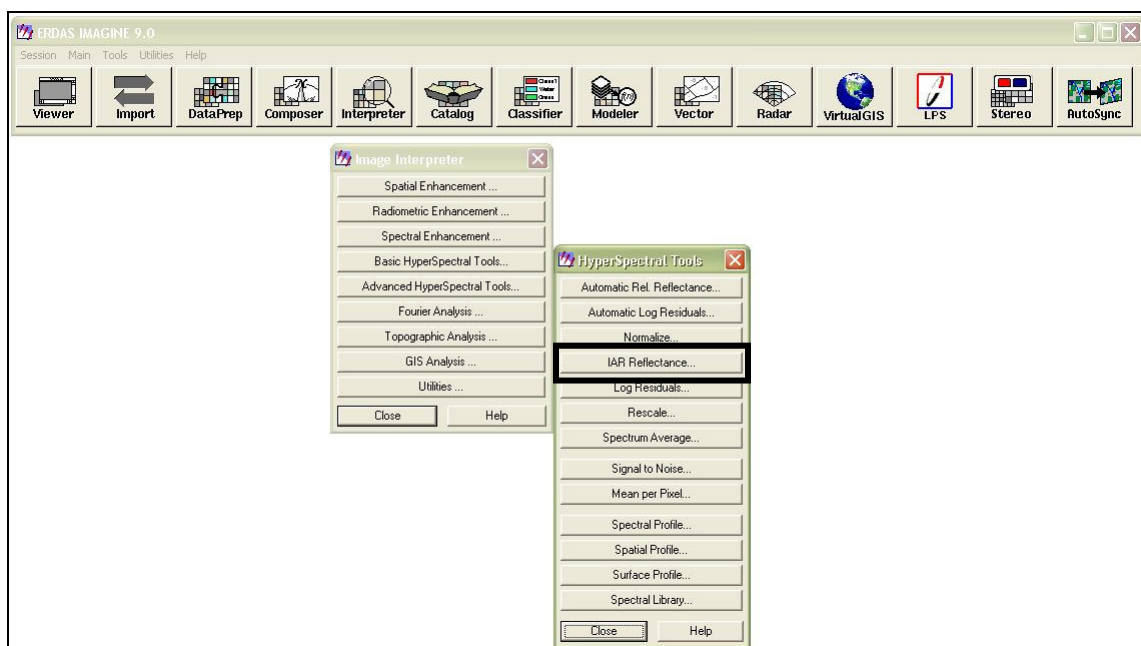
Εικόνα 11. Η επιλογή του μοντέλου ατμοσφαιρικής διόρθωσης FLAASH στο λογισμικό ENVI 4.3.



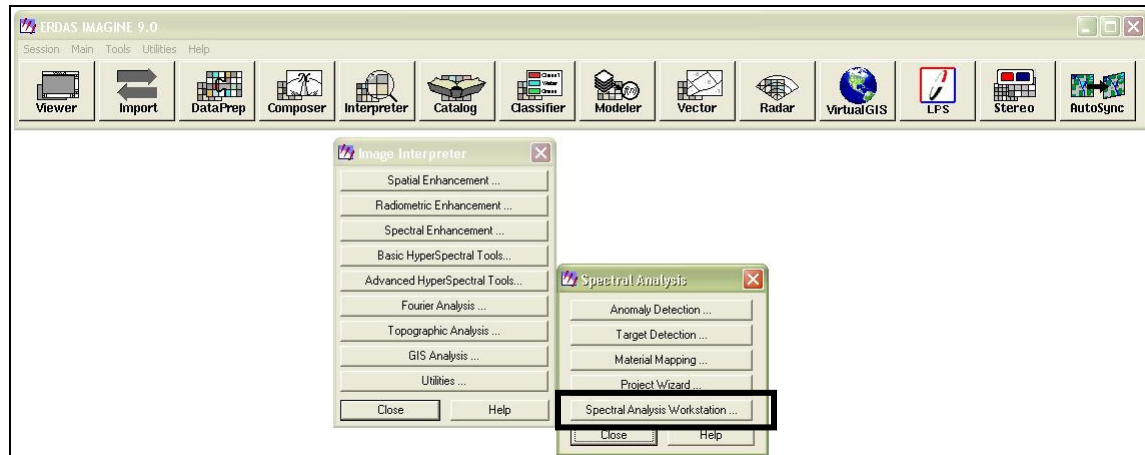
Εικόνα 12. Η επιλογή του μοντέλου ατμοσφαιρικής διόρθωσης FLAASH στο λογισμικό ENVI 4.3.



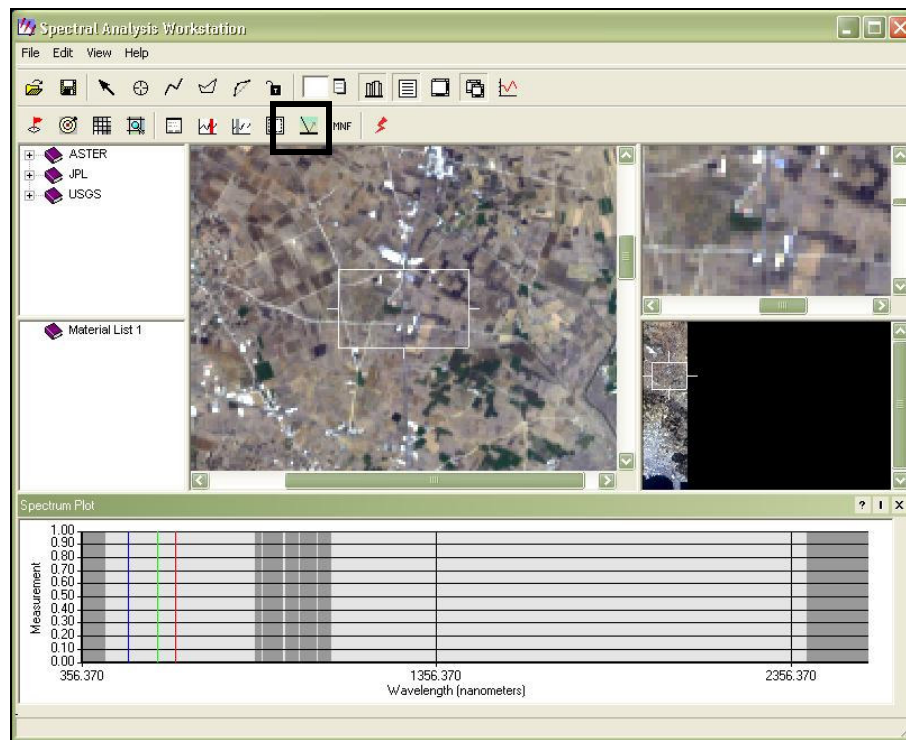
Εικόνα 13. Η επιλογή των αλγορίθμων ατμοσφαιρικής διόρθωσης Flat Field, IAR Reflectance, Empirical Line στο λογισμικό ENVI 4.3.



Εικόνα 14. Η επιλογή του αλγορίθμου IAR Reflectance στο λογισμικό ERDAS IMAGINE 9.0.

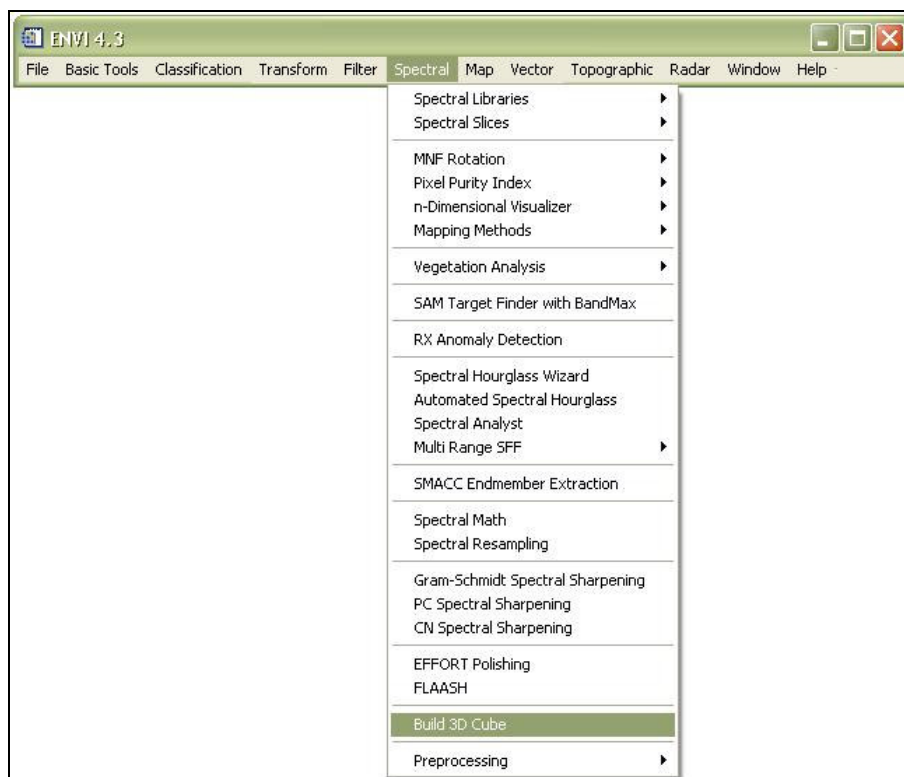


Εικόνα 15. Η επιλογή των αλγορίθμων ατμοσφαιρικής διόρθωσης Modified Flat Field, Empirical Line μέσω του “Interpreter, Advanced Hyperspectral Tools, Spectral Analysis Workstation” στο λογισμικό ERDAS IMAGINE 9.0.



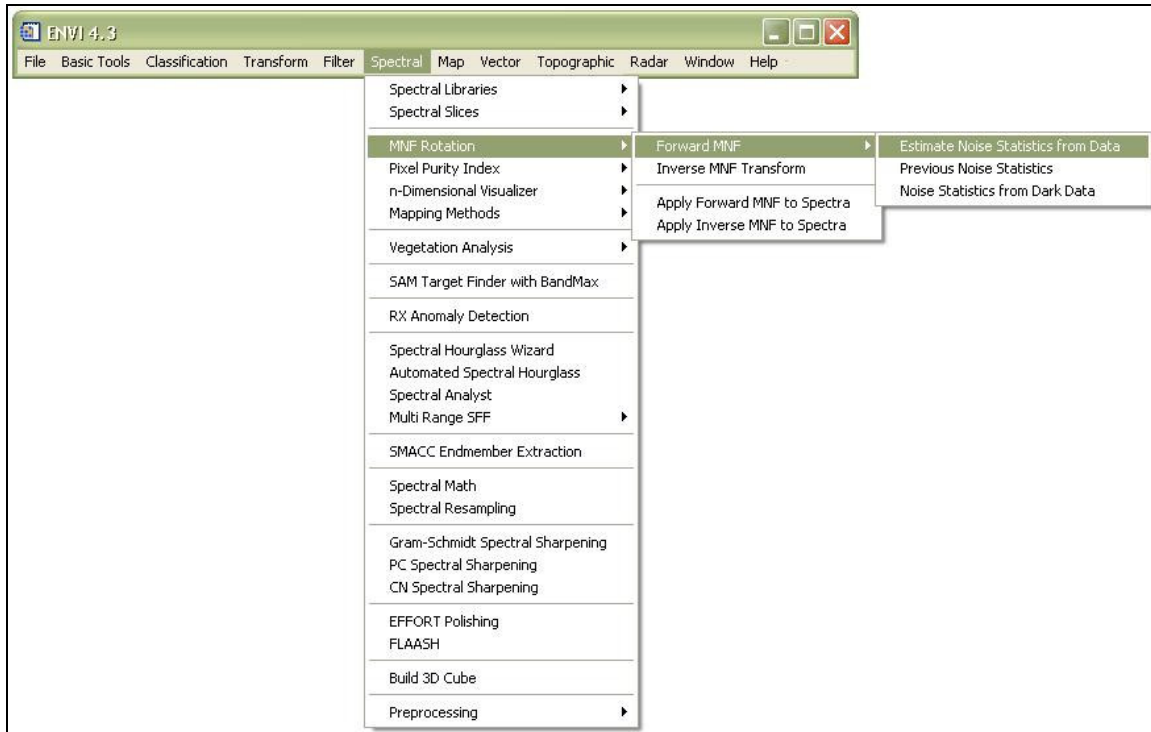
Εικόνα 16. Το παράθυρο Spectral Analysis Workstation στο λογισμικό ERDAS IMAGINE 9.0. Με το πλαίσιο τονίζεται η επιλογή για την ατμοσφαιρική διόρθωση, η οποία γίνεται με τη χρήση των αλγορίθμων Modified Flat Field και Empirical Line.

Η επιλογή “Build 3D Cube” στο λογισμικό ENVI 4.3.

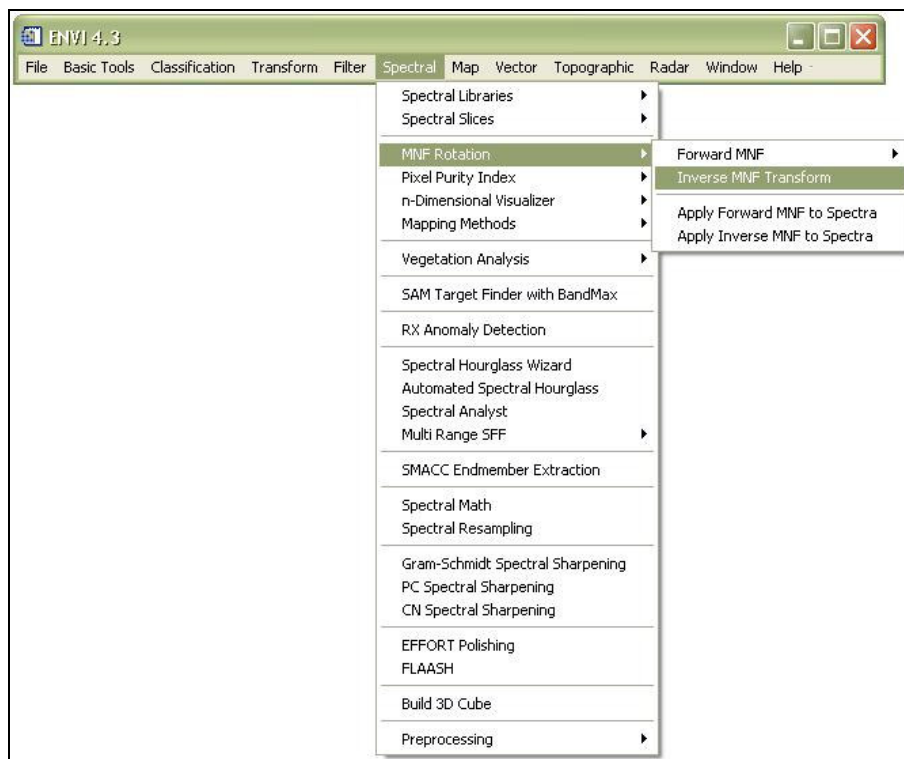


Εικόνα 17. Η επιλογή Build 3D Cube στο λογισμικό ENVI 4.3.

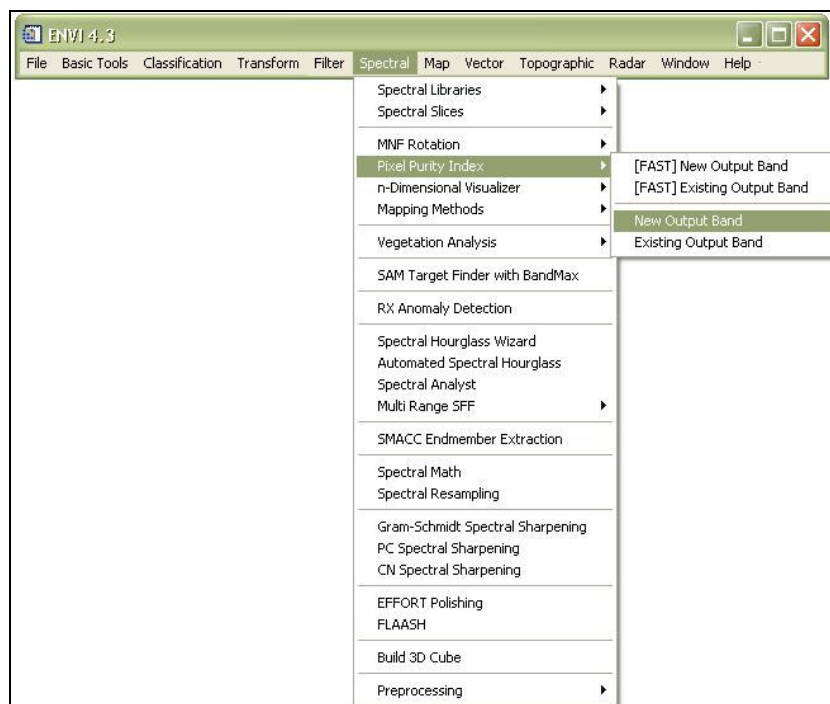
Η επιλογή των MNF (Minimum Noise Fraction), Inverse MNF, PPI, n-D Visualizer, Linear Spectral Unmixing, SAM (Spectral Angle Mapper), ROI Tool, Post Classification, Spectral Analyst στο λογισμικό ENVI 4.3.



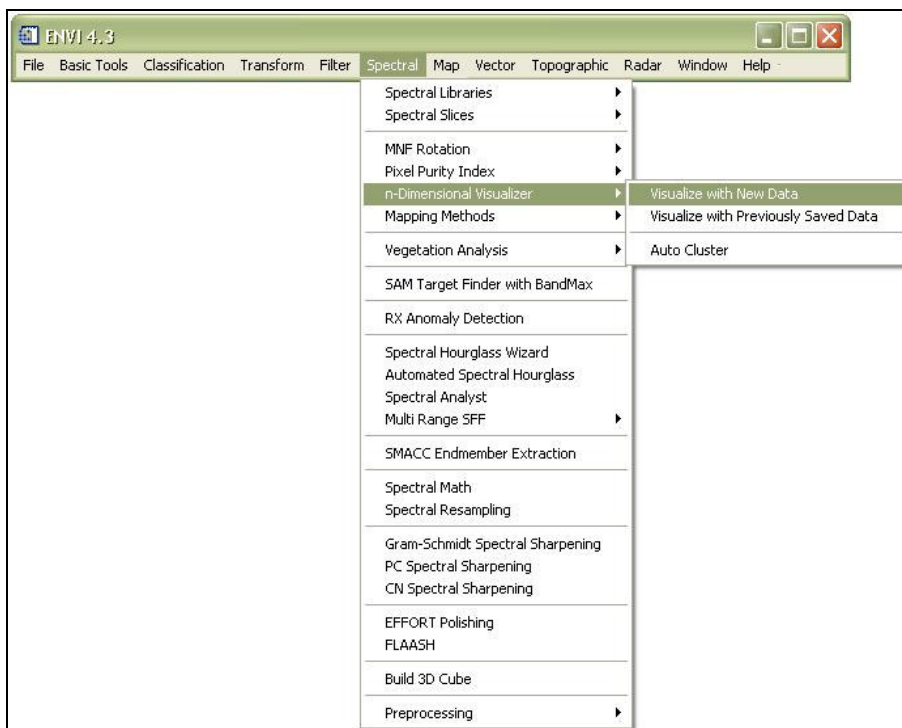
Εικόνα 18. Η επιλογή του μετασχηματισμού Minimum Noise Fraction (MNF) στο λογισμικό ENVI 4.3.



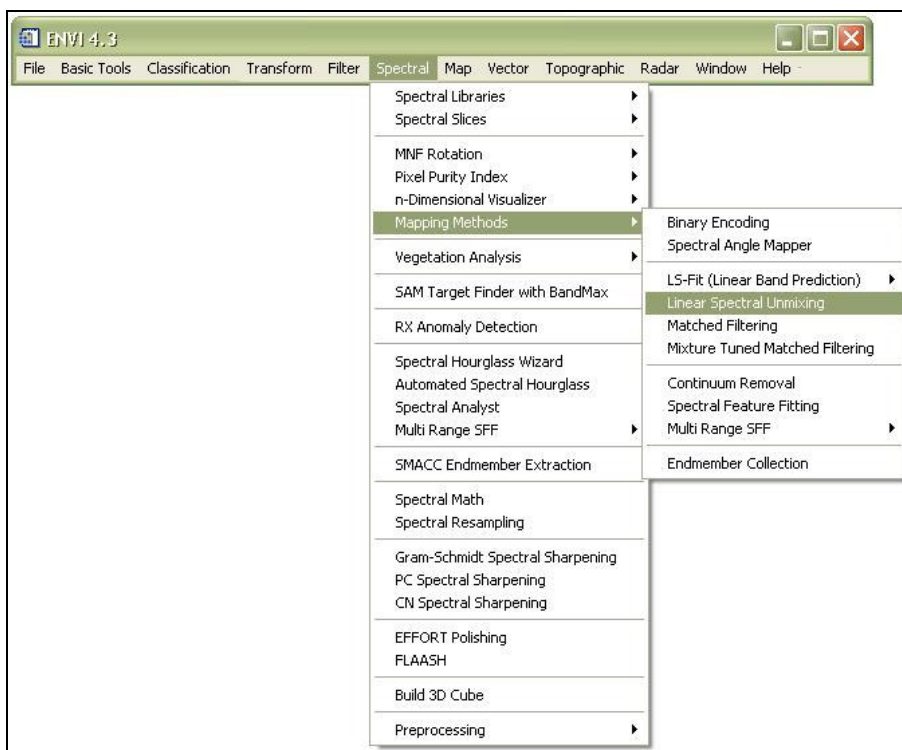
Εικόνα 19. Η επιλογή του αντίστροφου μετασχηματισμού Minimum Noise Fraction (MNF) στο λογισμικό ENVI 4.3.



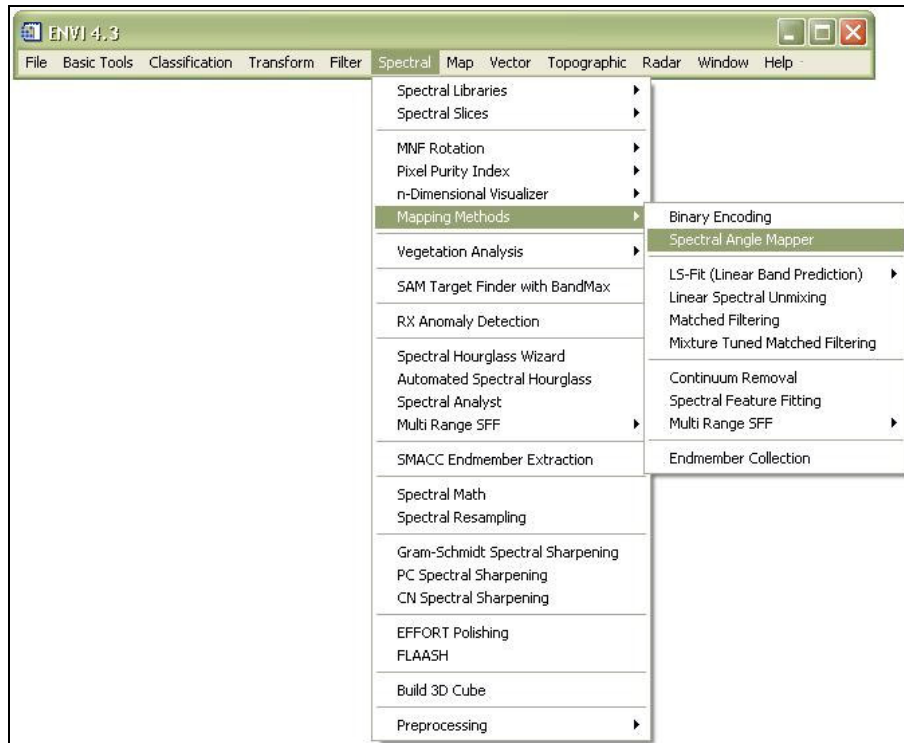
Εικόνα 20. Η επιλογή του δείκτη PPI (Pixel Purity Index) στο λογισμικό ENVI 4.3.



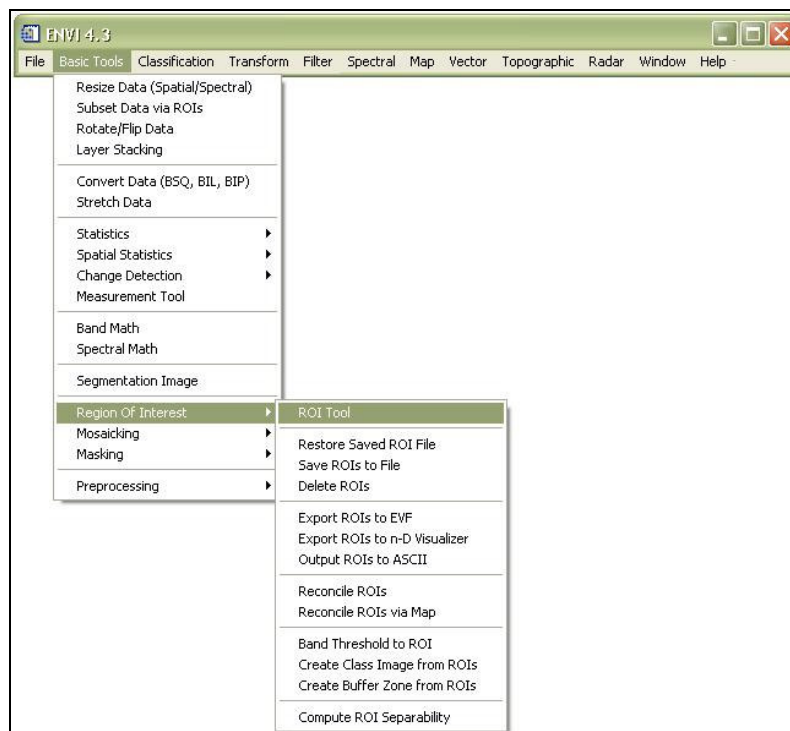
Εικόνα 21. Η επιλογή n-Dimensional Visualizer στο λογισμικό ENVI 4.3.



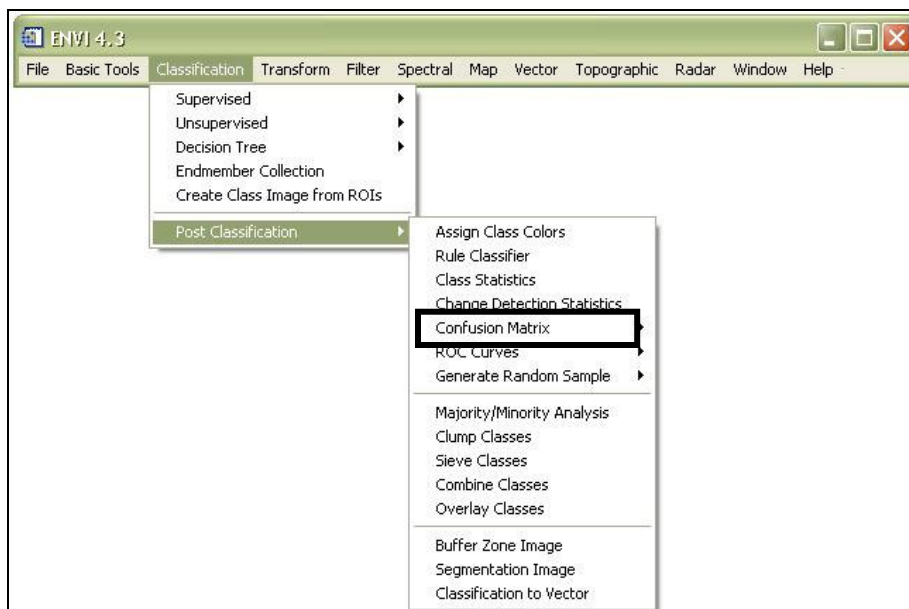
Εικόνα 22. Η επιλογή Linear Spectral Unmixing στο λογισμικό ENVI 4.3.



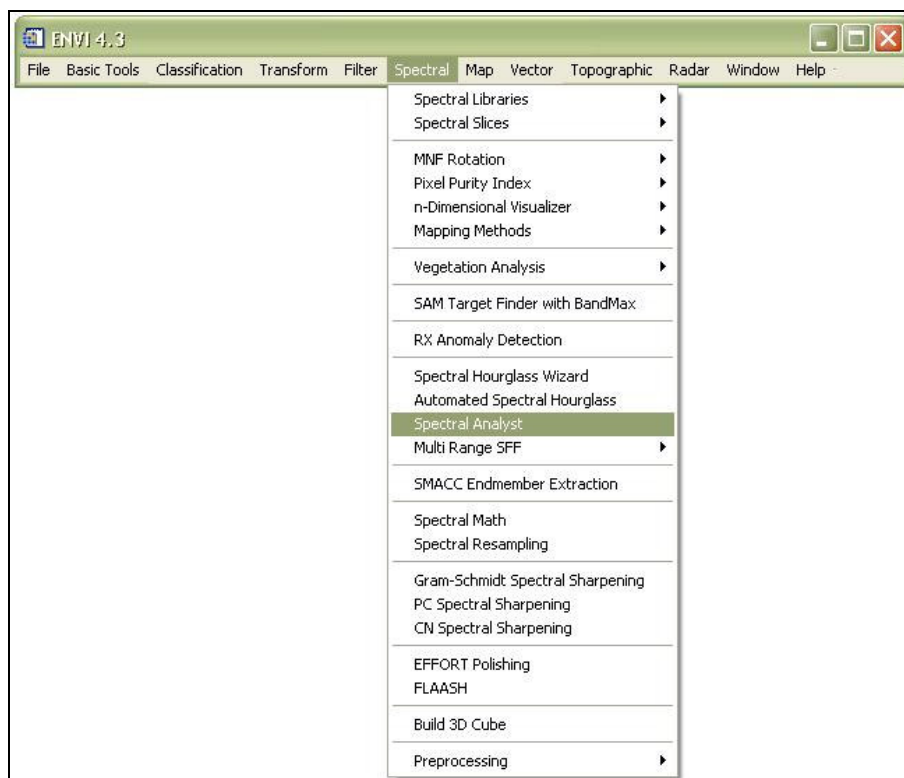
Εικόνα 23. Η επιλογή Spectral Angle Mapper (SAM) στο λογισμικό ENVI 4.3.



Εικόνα 24. Η επιλογή του ROI (Region of Interest) Tool στο λογισμικό ENVI 4.3.



Εικόνα 25. Η επιλογή “Post Classification, Confusion matrix” στο λογισμικό ENVI 4.3.



Εικόνα 26. Η επιλογή του Spectral Analyst στο λογισμικό ENVI 4.3.

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά του Hyperion, [57]

HYPERION Spectral Coverage						
ALI Band Comparison		Hyperion Band	Average Wavelength (nm)	Full Width at Half the Maximum FWHM (nm)	Spatial Resolution (m)	Not Calibrated (X)
MS	Pan (nm) 480 - 690 (X)					
		B1	355,5900	11,3871	30	X
		B2	365,7600	11,3871	30	X
		B3	375,9400	11,3871	30	X
		B4	386,1100	11,3871	30	X
		B5	396,2900	11,3871	30	X
		B6	406,4600	11,3871	30	X
		B7	416,6400	11,3871	30	X
		B8	426,8200	11,3871	30	
MS-1		B9	436,9900	11,3871	30	
MS-1		B10	447,1700	11,3871	30	
MS-1'		B11	457,3400	11,3871	30	
MS-1'		B12	467,5200	11,3871	30	
MS-1'		B13	477,6900	11,3871	30	
MS-1'	X	B14	487,8700	11,3784	30	
MS-1'	X	B15	498,0400	11,3538	30	
MS-1'	X	B16	508,2200	11,3133	30	
	X	B17	518,3900	11,2580	30	
MS-2	X	B18	528,5700	11,1907	30	
MS-2	X	B19	538,7400	11,1119	30	
MS-2	X	B20	548,9200	11,0245	30	
MS-2	X	B21	559,0900	10,9321	30	
MS-2	X	B22	569,2700	10,8368	30	
MS-2	X	B23	579,4500	10,7407	30	
MS-2	X	B24	589,6200	10,6482	30	
MS-2	X	B25	599,8000	10,5607	30	
	X	B26	609,9700	10,4823	30	
	X	B27	620,1500	10,4147	30	
MS-3	X	B28	630,3200	10,3595	30	
MS-3	X	B29	640,5000	10,3188	30	
MS-3	X	B30	650,6700	10,2942	30	
MS-3	X	B31	660,8500	10,2856	30	
MS-3	X	B32	671,0200	10,2980	30	
MS-3	X	B33	681,2000	10,3349	30	
		B34	691,3700	10,3909	30	
		B35	701,5500	10,4592	30	
		B36	711,7200	10,5322	30	

	B37	721,9000	10,6004	30	
	B38	732,0700	10,6562	30	
	B39	742,2500	10,6933	30	
	B40	752,4300	10,7058	30	
	B41	762,6000	10,7276	30	
MS-4	B42	772,7800	10,7907	30	
MS-4	B43	782,9500	10,8833	30	
MS-4	B44	793,1300	10,9938	30	
MS-4	B45	803,3000	11,1044	30	
	B46	813,4800	11,1980	30	
	B47	823,6500	11,2600	30	
	B48	833,8300	11,2824	30	
MS-4'	B49	844,0000	11,2822	30	
MS-4'	B71	851,9200	11,0457	30	X
MS-4'	B50	854,1800	11,2816	30	
MS-4'	B72	862,0100	11,0457	30	X
MS-4'	B51	864,3500	11,2809	30	
MS-4'	B73	872,1000	11,0457	30	X
MS-4'	B52	874,5300	11,2797	30	
MS-4'	B74	882,1900	11,0457	30	X
MS-4'	B53	884,7000	11,2782	30	
	B75	892,2800	11,0457	30	X
	B54	894,8800	11,2771	30	
	B76	902,3600	11,0457	30	X
	B55	905,0500	11,2765	30	
	B77	912,4500	11,0457	30	
	B56	915,2300	11,2756	30	
	B78	922,5400	11,0457	30	
	B57	925,4100	11,2754	30	
	B79	932,6400	11,0457	30	
	B58	935,5800	11,2754	30	X
	B80	942,7300	11,0457	30	
	B59	945,7600	11,2754	30	X
	B81	952,8200	11,0457	30	
	B60	955,9300	11,2754	30	X
	B82	962,9100	11,0457	30	
	B61	966,1100	11,2754	30	X
	B83	972,9900	11,0457	30	
	B62	976,2800	11,2754	30	X
	B84	983,0800	11,0457	30	
	B63	986,4600	11,2754	30	X
	B85	993,1700	11,0457	30	
	B64	996,6300	11,2754	30	X
	B86	1003,3000	11,0457	30	
	B65	1006,8100	11,2754	30	X
	B87	1013,3000	11,0457	30	
	B66	1016,9800	11,2754	30	X
	B88	1023,4000	11,0451	30	

	B67	1027,1600	11,2754	30	X
	B89	1033,4900	11,0423	30	
	B68	1037,3300	11,2754	30	X
	B90	1043,5900	11,0372	30	
	B69	1047,5100	11,2754	30	X
	B91	1053,6900	11,0302	30	
	B70	1057,6800	11,2754	30	X
	B92	1063,7900	11,0218	30	
	B93	1073,8900	11,0122	30	
	B94	1083,9900	11,0013	30	
	B95	1094,0900	10,9871	30	
	B96	1104,1900	10,9732	30	
	B97	1114,1900	10,9572	30	
	B98	1124,2800	10,9418	30	
	B99	1134,3800	10,9248	30	
	B100	1144,4800	10,9065	30	
	B101	1154,5800	10,8884	30	
	B102	1164,6800	10,8696	30	
	B103	1174,7700	10,8513	30	
	B104	1184,8700	10,8335	30	
	B105	1194,9700	10,8154	30	
MS-5'	B106	1205,0700	10,7979	30	
MS-5'	B107	1215,1700	10,7822	30	
MS-5'	B108	1225,1700	10,7663	30	
MS-5'	B109	1235,2700	10,7520	30	
MS-5'	B110	1245,3600	10,7385	30	
MS-5'	B111	1255,4600	10,7270	30	
MS-5'	B112	1265,5600	10,7174	30	
MS-5'	B113	1275,6600	10,7091	30	
MS-5'	B114	1285,7600	10,7022	30	
MS-5'	B115	1295,8600	10,6970	30	
	B116	1305,9600	10,6946	30	
	B117	1316,0500	10,6937	30	
	B118	1326,0500	10,6949	30	
	B119	1336,1500	10,6996	30	
	B120	1346,2500	10,7058	30	
	B121	1356,3500	10,7163	30	
	B122	1366,4500	10,7283	30	
	B123	1376,5500	10,7437	30	
	B124	1386,6500	10,7612	30	
	B125	1396,7400	10,7807	30	
	B126	1406,8400	10,8034	30	
	B127	1416,9400	10,8267	30	
	B128	1426,9400	10,8534	30	
	B129	1437,0400	10,8818	30	
	B130	1447,1400	10,9110	30	
	B131	1457,2300	10,9422	30	
	B132	1467,3300	10,9743	30	

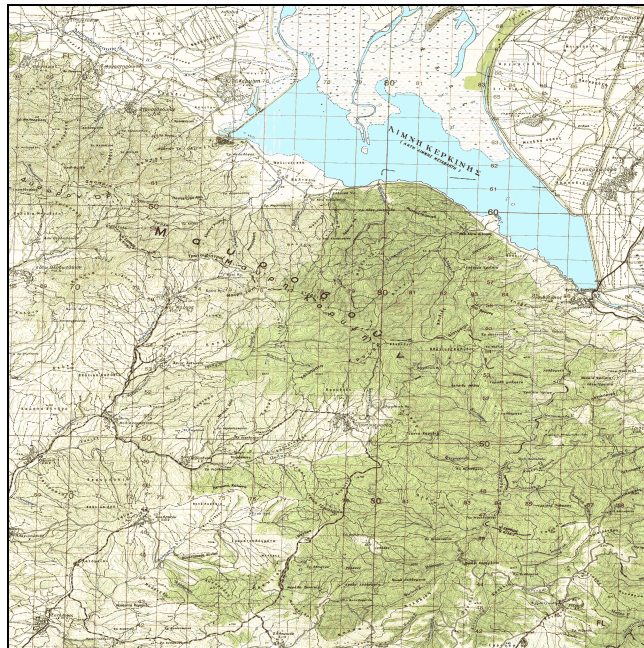
	B133	1477,4300	11,0074	30	
	B134	1487,5300	11,0414	30	
	B135	1497,6300	11,0759	30	
	B136	1507,7300	11,1108	30	
	B137	1517,8300	11,1461	30	
	B138	1527,9200	11,1811	30	
	B139	1537,9200	11,2156	30	
	B140	1548,0200	11,2496	30	
MS-5	B141	1558,1200	11,2826	30	
MS-5	B142	1568,2200	11,3146	30	
MS-5	B143	1578,3200	11,3460	30	
MS-5	B144	1588,4200	11,3753	30	
MS-5	B145	1598,5100	11,4037	30	
MS-5	B146	1608,6100	11,4302	30	
MS-5	B147	1618,7100	11,4538	30	
MS-5	B148	1628,8100	11,4760	30	
MS-5	B149	1638,8100	11,4958	30	
MS-5	B150	1648,9000	11,5133	30	
MS-5	B151	1659,0000	11,5286	30	
MS-5	B152	1669,1000	11,5404	30	
MS-5	B153	1679,2000	11,5505	30	
MS-5	B154	1689,3000	11,5580	30	
MS-5	B155	1699,4000	11,5621	30	
MS-5	B156	1709,5000	11,5634	30	
MS-5	B157	1719,6000	11,5617	30	
MS-5	B158	1729,7000	11,5563	30	
MS-5	B159	1739,7000	11,5477	30	
MS-5	B160	1749,7900	11,5346	30	
	B161	1759,8900	11,5193	30	
	B162	1769,9900	11,5002	30	
	B163	1780,0900	11,4789	30	
	B164	1790,1900	11,4548	30	
	B165	1800,2900	11,4279	30	
	B166	1810,3800	11,3994	30	
	B167	1820,4800	11,3688	30	
	B168	1830,5800	11,3366	30	
	B169	1840,5800	11,3036	30	
	B170	1850,6800	11,2696	30	
	B171	1860,7800	11,2363	30	
	B172	1870,8700	11,2007	30	
	B173	1880,9800	11,1666	30	
	B174	1891,0700	11,1333	30	
	B175	1901,1700	11,1018	30	
	B176	1911,2700	11,0714	30	
	B177	1921,3700	11,0424	30	
	B178	1931,4700	11,0155	30	
	B179	1941,5700	10,9912	30	
	B180	1951,5700	10,9698	30	

		B181	1961,6600	10,9508	30	
		B182	1971,7600	10,9355	30	
		B183	1981,8600	10,9230	30	
		B184	1991,9600	10,9139	30	
		B185	2002,0600	10,9083	30	
		B186	2012,1500	10,9069	30	
		B187	2022,2500	10,9057	30	
		B188	2032,3500	10,9013	30	
		B189	2042,4500	10,8951	30	
		B190	2052,4500	10,8854	30	
		B191	2062,5500	10,8740	30	
		B192	2072,6500	10,8591	30	
MS-7		B193	2082,7500	10,8429	30	
MS-7		B194	2092,8400	10,8242	30	
MS-7		B195	2102,9400	10,8039	30	
MS-7		B196	2113,0400	10,7820	30	
MS-7		B197	2123,1400	10,7592	30	
MS-7		B198	2133,2400	10,7342	30	
MS-7		B199	2143,3400	10,7092	30	
MS-7		B200	2153,3400	10,6834	30	
MS-7		B201	2163,4300	10,6572	30	
MS-7		B202	2173,5300	10,6312	30	
MS-7		B203	2183,6300	10,6052	30	
MS-7		B204	2193,7300	10,5803	30	
MS-7		B205	2203,8300	10,5560	30	
MS-7		B206	2213,9300	10,5328	30	
MS-7		B207	2224,0300	10,5101	30	
MS-7		B208	2234,1200	10,4904	30	
MS-7		B209	2244,2200	10,4722	30	
MS-7		B210	2254,2200	10,4552	30	
MS-7		B211	2264,3200	10,4408	30	
MS-7		B212	2274,4200	10,4285	30	
MS-7		B213	2284,5200	10,4197	30	
MS-7		B214	2294,6100	10,4129	30	
MS-7		B215	2304,7100	10,4088	30	
MS-7		B216	2314,8100	10,4077	30	
MS-7		B217	2324,9100	10,4077	30	
MS-7		B218	2335,0100	10,4077	30	
MS-7		B219	2345,1100	10,4077	30	
		B220	2355,2100	10,4077	30	
		B221	2365,2000	10,4077	30	
		B222	2375,3000	10,4077	30	
		B223	2385,4000	10,4077	30	
		B224	2395,5000	10,4077	30	
		B225	2405,6000	10,4077	30	X
		B226	2415,7000	10,4077	30	X
		B227	2425,8000	10,4077	30	X
		B228	2435,8900	10,4077	30	X

		B229	2445,9900	10,4077	30	X
		B230	2456,0900	10,4077	30	X
		B231	2466,0900	10,4077	30	X
		B232	2476,1900	10,4077	30	X
		B233	2486,2900	10,4077	30	X
		B234	2496,3900	10,4077	30	X
		B235	2506,4800	10,4077	30	X
		B236	2516,5900	10,4077	30	X
		B237	2526,6800	10,4077	30	X
		B238	2536,7800	10,4077	30	X
		B239	2546,8800	10,4077	30	X
		B240	2556,9800	10,4077	30	X
		B241	2566,9800	10,4077	30	X
		B242	2577,0800	10,4077	30	X

Οι τοπογραφικοί χάρτες κλίμακας 1:50000 (Γ.Υ.Σ.)

Οι τοπογραφικοί χάρτες κλίμακας 1:50000 (Γ.Υ.Σ./Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού), από τους οποίους λήφθηκαν οι ισοϋψείς για τον υπολογισμό του προσεγγιστικού υψομέτρου της περιοχής μελέτης της εικόνας.



Εικόνα 27. Το φύλλο χάρτη κλίμακας 1:50000 «Κερκίνη» της Γ.Υ.Σ.



Εικόνα 28. Το φύλλο χάρτη κλίμακας 1:50000 «Κιλκίς» της Γ.Υ.Σ.



Εικόνα 29. Το φύλλο χάρτη κλίμακας 1:50000 «Λαχανάς» της Γ.Υ.Σ.



Εικόνα 30. Το φύλλο χάρτη κλίμακας 1:50000 «Θεσσαλονίκη» της Γ.Υ.Σ.