ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Τμήμα Γεωγραφίας

Διαχρονική ανάλυση του Ηφαιστείου της Αίτνας με τη χρήση Υπερφασματικών δεδομένων Hyperion

Πτυχιακή εργασία της

Καραγιαννοπούλου Αικατερίνης

Αθήνα, Οκτώβριος 2015

Περιεχόμενα

Πρόλογος

Περίληψη

Abstract

- 1. Υπερφασματική απεικόνιση
 - 1.1: Εισαγωγή
 - 1.2: Τεχνολογίες για την απόκτηση υπερφασματικών δεδομένων
 - 1.2.α: Χωρική Σάρωση
 - 1.2.β: Φασματική Σάρωση
 - 1.2.γ: Non-scanning ή Στιγμιαία Υπερφασματική Απεικόνιση
 - ► 1.2.δ: Spatiospectral scanning
- 2. Υπερφασματικό όργανο Earth Observing (EO-1) και ο δορυφόρος Hyperion
 - 2.1: Υπερφασματικό όργανο ΕΟ-1
 - 2.2: Δυνατότητες και Αδυναμίες του ΕΟ-1
 - 2.3: Το δορυφορικό όργανο Hyperion
 - 2.4: Απεικόνιση των γενικών χαρακτηριστικών του Hyperion
 - 2.5: Η δομή των δεδομένων του υπερφασματικού κύβου
 - 2.6: Συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων του Hyperion
- 3. Γενικά χαρακτηριστικά της Περιοχής μελέτης
 - 3.1: Γενικά χαρακτηριστικά των ηφαιστείων
 - 3.2: Σύνθεση ηφαιστείων
 - 3.3: Τύποι ηφαιστείων
 - 3.4: Αίτνα
 - 3.5: Τα είδη βλάστησης της Αίτνας και το υψόμετρο που εντοπίζονται
 - 3.6: Γεωλογική σύνθεση της Αίτνας
 - 3.7: Τα είδη των λαβών της Αίτνας
 - Λάβα Α-Α
 - Λάβα Pahoehoe
 - 3.8: Ορυκτολογική σύσταση των ροών λάβας του ηφαιστείου
 - 3.9: Οι σημαντικότερες εκρήξεις της Αίτνας
- 4. Τα Δεδομένα
- 5. Προεπεξεργασία των δεδομένων Hyperion
 - 5.1: Στάδια επεξεργασίας δεδομένων Preprocessing
 - 5.2: Ατμοσφαιρική διόρθωση των εικόνων αρχείων Hyperion
 - 5.3: Παράγοντες ατμοσφαιρικών σφαλμάτων και ατμοσφαιρική διόρθωση
 5.4: Παράμετροι για την υλοποίηση της ατμοσφαιρικής διόρθωσης Fast Line-of-Sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes (FLAASH)
 - 5.5: Ατμοσφαιρική διόρθωση των εικόνων Hyperion
 5.6: Ατμοσφαιρικές δοκιμές για την εικόνα Hyperion του 2009
 - 5.6.1: Πρώτη δοκιμή

- 5.6.2: Ατμοσφαιρική διόρθωση χωρίς τη χρήση της τεχνικής "Spectral Polishing" Φασματική Ομαλοποίηση
- 5.6.3: Δεύτερη δοκιμή
- 5.6.4: Τρίτη δοκιμή
- 5.7: Ατμοσφαιρικές δοκιμές για την εικόνα Hyperion του 2012
- 5.7.1: Τέταρτη δοκιμή
- 5.7.2: Ατμοσφαιρική διόρθωση χωρίς τη χρήση της τεχνικής "Spectral Polishing" Φασματική Ομαλοποίηση
- 5.7.3: Πέμπτη δοκιμή
- 5.7.4: Έκτη δοκιμή
- 5.8: Αιτιολόγηση για την επιλογή του ατμοσφαιρικού μοντέλου για τις εικόνες 2009 και 2012
- 5.9: Οι εικόνες "Water Vapor" και "Cloud Mask"
- 6. Κύρια Επεξεργασία
 - 6.1: Μείωση φασματικών καναλιών
 - 6.2: Μείωση των διαστάσεων των υπερφασματικών δεδομένων
 - 6.3: Εφαρμογή του μετασχηματισμού MNF-Minimum or Maximum Noise Fraction
 - 6.4: Εφαρμογή του μετασχηματισμού PCA- Principal Components Analysis
- 7. Εξαγωγή θεματικής πληροφορίας για τις δύο εικόνες Hyperion
 - 7.1: Αναφορά στις βιβλιογραφικές αναφορές που μας δίνουν αξιοπιστία
 - 7.2: Θεωρητική ερμηνεία της μη ελεγχόμενης ταξινόμησης
 - 7.2.1: Ο αλγόριθμος της ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Techniques)
 - 7.3: Εκδοχές της εφαρμογής της ταξινόμησης ISODATA
 - 7.3.1: Εφαρμογή της ταξινόμησης ISODATA για τις ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες 2009 και 2012
 - 7.3.2: Εφαρμογή της ταξινόμησης ISODATA για τις PC's των εικόνων 2009 και 2012
 - 7.3.3: Εφαρμογή της ταξινόμησης ISODATA με τη χρήση του αντίστροφου μετασχηματισμού "Inverse PCA" για τις εικόνες 2009 και 2012.
 - 7.3.4: Εφαρμογή της ταξινόμησης ISODATA για τις ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες 2009 και 2012 με τη χρήση του αντίστροφου μετασχηματισμού Inverse Minimum Noise Fraction-MNF
 - 7.4: Θεωρητική ερμηνεία της ελεγχόμενης ταξινόμησης
 - 7.4.1: Ο αλγόριθμος Spectral Angle Mapper (SAM)
 - 7.5: Εφαρμογή του αλγορίθμου SAM για τις ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες 2009 και 2012

- 7.5.1: Αποτύπωση των ορυκτών στην περιοχή μελέτης για τις εικόνες 2009 και 2012
- 7.5.2: Εξαγωγή θεματικού χάρτη με το σύνολο των ορυκτών για τις ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες 2009 και 2012
- 7.6: Εισαγωγή στους Δείκτες Βλάστησης
- 7.7: Θεωρητική ερμηνεία του NDVI
- 7.8: Εφαρμογή του NDVI και για ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες 2009 και 2012
- 8. Συζήτηση
- 9. Συμπεράσματα
- 10. Βιβλιογραφικές Αναφορές και Ιστότοποι
- 11. Παράρτημα

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία έγινε στα πλαίσια του προγράμματος των προπτυχιακών σπουδών του τμήματος Γεωγραφίας του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου και αφορά τη διαχρονική μελέτη του ηφαιστείου της Αίτνας με τη χρήση υπερφασματικών δεδομένων Hyperion. Το ενδιαφέρον αυτής της εργασίας ήταν, η εξέταση των διαφορών που ενδεχομένως συνέβησαν στη χρονική διάρκεια τριών ετών (2009-2012), τόσο στην αποτύπωση των ροών λάβας όσο και στη γενικότερη κάλυψη γης της περιοχής.

Η επιλογή του συγκεκριμένου θέματος έγινε από τον καθηγητή Pierre Briole (ENS, Paris). Ωστόσο, επιθυμώ να ευχαριστήσω τον Ισσαάκ Παρχαρίδη, επίκουρο καθηγητή του Χαροκοπείου πανεπιστημίου, ο οποίος μου έδωσε την ευκαιρία να χειριστώ ένα τέτοιο θέμα, ενώ επίσης μου μετέδωσε πολύτιμες γνώσεις, οι οποίες βοήθησαν τόσο στην ενίσχυση του γνωστικού μου υποβάθρου όσο και στην επιλογή του τομέα που επιθυμώ να ασχοληθώ μελλοντικά.

Επιπλέον, θέλω να εκφράσω τη βαθύτατή μου ευγνωμοσύνη στην Δρ. Όλγα Συκιώτη, η οποία υπήρξε καθοδηγήτριά μου καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας, ενώ παράλληλα οι γνώσεις και οι υποδείξεις της αποτέλεσαν σημαντικοί παράγοντες για την ολοκλήρωση του θέματος.

Τέλος, ιδιαίτερες ευχαριστίες αποδίδονται στο οικογενειακό και φιλικό μου περιβάλλον, το οποίο στήριξε και συνεχίζει να στηρίζει τους στόχους και τις επιλογές μου καθώς και στους ανθρώπους που γενικότερα προσέφεραν τη βοήθειά τους κατά τη διάρκεια αυτής της έρευνας.

Αθήνα, Οκτώβριος 2015

Καραγιαννοπούλου Αικατερίνη

Περίληψη

Η παρούσα εργασία έχει στόχο την διερεύνηση της διαχρονικής παρακολούθησης του ηφαιστείου της Αίτνας με την αξιοποίηση του υπερφασματικού αισθητήρα Hyperion (NASA/EO-1).

Το ηφαίστειο της Αίτνας βρίσκεται στο νησί Σικελία (Νότια Ιταλία). Η Αίτνα υπάγεται στην κατηγορία των σύνθετων ηφαιστείων-στρωματοηφαιστείων και χαρακτηρίζεται ως ένα από τα πιο ενεργά ηφαίστεια παγκοσμίως, το οποίο δίνει εκρήξεις με έκχυση μεγάλων ποσοτήτων μαγματικού υλικού κάθε χρόνο. Για την υλοποίηση αυτής της έρευνας χρησιμοποιήθηκαν δύο εικόνες Hyperion (προϊόν L1T), οι οποίες περιλαμβάνουν τους κεντρικούς κρατήρες του ηφαιστείου. Οι ημερομηνίες της λήψης αυτών είναι 8/10/2009 και 14/7/2012 ενώ συνδέονται με εκρήξεις με έκχυση ροών λάβας, από τους κεντρικούς κρατήρες (Voragine, Bocca Nuova και North East crater). Η επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού ENVI ενώ για την εξαγωγή θεματικών χαρτών αξιοποιήθηκαν τα λογισμικά ArcGIS και ArcScene. Επίσης, χρησιμοποιήθηκε το περιβάλλον Google Earth ως βοηθητικό λογισμικό για την οπτικοποίηση και τον έλεγχο των αποτελεσμάτων.

Εφαρμόστηκε μια σειρά τεχνικών προεπεξεργασίας των δεδομένων όπως ατμοσφαιρική διόρθωση, μείωση των φασματικών καναλιών που περιείχαν θόρυβο και μετασχηματισμοί Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών και Minimum Noise Fraction. Για την κύρια επεξεργασία και την εξαγωγή των θεματικών αποτελεσμάτων εφαρμόστηκαν οι μέθοδοι ταξινόμησης ISODATA, SAM και ο Δείκτης Βλάστησης NDVI. Με τη μέθοδο ταξινόμησης ISODATA διαφοροποιήθηκαν δύο ροές λάβας, όπου η μία χρονολογείται το 1983 και η άλλη το 2001. Μεταξύ των εικόνων 2009 και 2012 φαίνεται να υπάρχουν αρκετές διαφοροποιήσεις, στην οριοθέτηση των ροών λάβας τόσο στο κέντρο του ηφαιστείου όσο και στις πλαγιές του. Παραδείγματος χάρη, η εικόνα του 2012 δείχνει, στις πλαγιές του ηφαιστείου, ότι η έκταση των ροών λάβας να έχει μεγαλώσει (περισσότερο στο βόρειο τμήμα), ενώ σε μερικές περιπτώσεις καλύπτουν τμήματα της βλάστησης που υπήρχαν στην εικόνα του 2009. Επίσης, υπάρχει μία διαφοροποίηση στις ροές λάβας που βρίσκονται στο νότιο τμήμα του ηφαιστείου. Συγκεκριμένα, στην εικόνα του 2009 ταξινομούνται σε διαφορετικές κλάσεις ενώ στην εικόνα του 2012 ανήκουν στην ίδια. Επιπλέον, εξετάζοντας τα αποτελέσματα αυτής της μεθόδου με τον δείκτη βλάστησης NDVI, φαίνεται ότι υπάρχει εντονότερη παρουσία της βλάστησης στην εικόνα του 2009 απ' ότι στην εικόνα του 2012, το οποίο κατά πάσα πιθανότητα οφείλεται στον διαφορετικό μήνα και εποχή των δύο ημερομηνιών λήψης (εποχικότητα βλάστησης). Οι αλλαγές στον οικιστικό ιστό δεν μπορούν να αναδειχθούν διότι στις περισσότερες εφαρμογές ο αστικός ιστός συγχέεται με το γυμνό έδαφος. Με την ταξινόμηση SAM φαίνεται ότι οι περισσότερες διαφορές στην παρουσία των ορυκτών ανάμεσα στα δύο έτη ενδεχομένως να εντοπίζονται στο κέντρο του ηφαιστείου παρά στην πλαγιές του.

Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή των σταδίων επεξεργασίας των δεδομένων και των τεχνικών ISODATA και NDVI κρίνονται ικανοποιητικά αφού συνάδουν με τις βιβλιογραφικές αναφορές. Ωστόσο, χρειάζονται περαιτέρω δοκιμές με την τεχνική SAM λόγω έλλειψης βιβλιογραφικών αναφορών σχετικά με την παρουσία συγκεκριμένων ορυκτών.

Λέξεις κλειδιά: Υπερφασματική απεικόνιση, Αίτνα, Hyperion, ASTER GDEM, εκρήξεις, ροές λάβας, Ατμοσφαιρική διόρθωση, θόρυβος, Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών, Minimum Noise Fraction, ISODATA, Spectral Angle Mapper, NDVI, ENVI, ArcGIS, ArcScene.

Abstract

The main purpose of this study is the possibility of temporal monitoring of the volcano Etna using the Hyperspectral sensor Hyperion (NASA/EO-1).

Mt. Etna is on Sicily Island (South Italy). Etna falls into the category of composite volcanoes-stratovolcanoes and it is one of the most active volcanoes in the world, which gives eruptions with continuous injections of large amounts of magma.

This research is conducted by using two Hyperion images (product L1T), which include the main craters of the volcano. Their acquisition dates are 8/10/2009 and 14/7/2012 and they are related with eruptions and lava flows from their central craters (Voragine, Bocca Nuova and North East crater). The data processing was performed using ENVI software, while the thematic maps were exported by ArcGIS and ArcScene softwares. Also, Google Earth was used as auxiliary software for visualizing and checking the results.

We implemented a series of technical pre-processing of data including atmospheric correction, noise reduction, Principal Component Analysis and Minimum Noise Fraction transformations. For the main processing and export of thematic results the classification methods of ISODATA, SAM and Vegetation Index NDVI Extraction were applied.

With the ISODATA classification two lava flows were differentiated, one probably dated in 1983 and the other in 2001. Between the images of 2009 and 2012 seems to exist several variations in the delimitation of lava flows both in the center of the volcano and on its slopes. For example, the 2012 image shows, at the volcano slopes, that the extent of lava flows seem to have spatially expanded (more in the north part), while in some cases, they cover vegetated parts that existed in the 2009 image. Moreover, there is a difference between two lava which are located in the northern part of the volcano. More specifically, in the 2009 image they are classified into different classes while in the 2012 image they are included in the same class. Furthermore, the comparison of the above observations with the NDVI map, show that the vegetation cover is more spatially extended in the 2009 image than in the 2012 image. This is probably due to the different season in the acquisition dates (vegetation seasonality). Changes in the urban areas cannot be detected due to their confusion with bare soil areas. On the other hand, the SAM clustering results show that most differences in the presence of minerals between the two dates seem to exist in the center of the volcano rather than on the slopes.

The results from the application of data and technical ISODATA and NDVI processing steps are considered satisfactory and consistent with the bibliography. However, due to the lack of detailed bibliography on the volcano's mineralogy, further testing using the SAM method is required in order to obtain reliable results.

Key words: Hyperspectral imaging, Etna, Hyperion, ASTER GDEM, eruptions, lava flows, atmospheric correction, noise, Principal Component Analysis, Minimum Noise Fraction, ISODATA, Spectral Angle Mapper, NDVI, ENVI, ArcGIS, ArcScene

1. Υπερφασματική απεικόνιση

1.1: Εισαγωγή στην Υπερφασματική απεικόνιση

Οι οπτικοί αισθητήρες ταξινομούνται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες, τους ορατή δίαυλος, περιογή Παγγρωματικούς (ένας του φάσματος), τους Πολυφασματικούς (δεκάδες δίαυλοι, πολλές περιοχές του οπτικού φάσματος) και τους Υπερφασματικούς (εκατοντάδες δίαυλοι, πολλές και πολύ μικρές περιογές του οπτικού φάσματος). Οι υπερφασματικοί αισθητήρες (εικ. 1), συλλέγουν και επεξεργάζονται δεδομένα ταυτόχρονα σε δεκάδες ή εκατοντάδες στήλες των φασματικών ζωνών. Αυτές οι συνεχείς μετρήσεις καθιστούν δυνατή την παραγωγή ενός συνεχούς φάσματος για κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας. Αυτά τα φάσματα, τα οποία συνθέτουν μία εικόνα μπορούν να συγκριθούν με τα αντίστοιχα φάσματα ανάκλασης του εργαστηρίου, προκειμένου να αναγνωριστούν ενδεχομένως τα υλικά από τα οποία αποτελείται μία επιφάνεια (όπως για παράδειγμα είδη βλάστησης, ορυκτά και μεταλλεύματα), (Chang, 2003, Grahn & Geladi, 2007).



Εικόνα 1: Πηγή (Smith, 2012)



Εικόνα 2: Υπερφασματικός 3D κύβος

Στους υπερφασματικούς οπτικούς αισθητήρες συλλέγονται οι πληροφορίες ως ένα σύνολο από «εικόνες». Συνολικά, τα συστήματα αυτά συλλέγουν περισσότερα από 200 φασματικά κανάλια και έτσι είναι δυνατή η κατασκευή ενός συνεχούς φάσματος ανάκλασης για κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας. Κάθε εικόνα αντιπροσωπεύει ένα στενό εύρος του μήκους κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Αυτές οι εικόνες σχεδιάζουν έναν τρισδιάστατο (x, y, λ) υπερφασματικό κύβο (εικ. 2), όπου το x και το y αντιπροσωπεύουν τις

δύο χωρικές διαστάσεις της και το λ αντιπροσωπεύει τη φασματική διάσταση, η οποία περιλαμβάνει μία σειρά από μήκη κύματος, (http://www.microscopyu.com).

Υπάρχουν τέσσερις τεχνικές για την καταγραφή των δεδομένων υπερφασματικών κύβων, η χωρική σάρωση, η φασματική σάρωση, η στιγμιαία απεικόνιση και η χωρο-φασματική σάρωση. Οι υπερφασματικοί κύβοι παράγονται από τα όργανα καταγραφής, όπως ο Visible/Infrared Spectrometer (AVIRIS) ή από δορυφόρους όπως ο EO-1, με αισθητήρα τον Hyperion, (Schurmer, 2003). Η ακρίβεια αυτών των αισθητήρων υπολογίζεται συνήθως με τη φασματική ανάλυση. Για παράδειγμα, εάν ο σαρωτής ανιχνεύει έναν μεγάλο αριθμό συχνοτήτων φασματικών καναλιών είναι εφικτό να προσδιοριστούν τα αντικείμενα μόνο σε μία μικρή ποσότητα εικονοστοιχείων. Ωστόσο, η χωρική ανάλυση είναι ένας παράγοντας, από τον οποίον εξαρτάται η ακρίβεια των δεδομένων. Για παράδειγμα, αν οι διαστάσεις των εικονοστοιγείων είναι μεγάλες τότε θα υπάργουν πολλά αντικείμενα στο ίδιο εικονοστοιχείο και κατά συνέπεια θα είναι δύσκολο να εντοπιστούν τα αναζητούμενα δεδομένα. Αντίθετα, αν οι ψηφίδες είναι πολύ μικρές τότε η ενέργεια που καταναλώνεται από το κάθε ένα είναι μικρή σε αναλογία με το θόρυβο (signal-tonoise ratio SNR) και μειώνει την αξιοπιστία της πληροφορίας. Η απόκτηση και η επεξεργασία των υπερφασματικών εικόνων αναφέρεται επίσης και φασματική απεικόνιση ή με αναφορά των υπερφασματικό κύβο, 3D φασματική απεικόνιση.

Τα υπερφασματικά όργανα παρατήρησης, όπως αναφέρθηκε είναι ένα καινούριο μοντέλο παρατήρησης της επιφάνειας της γης. Βασίζεται στο προγενέστερο Hyperspectral Imaging Instrument (IMG). Η συγκεκριμένη φασματική απεικόνιση χωρίζει το φάσμα σε πολλά άλλα κανάλια. Κατ' επέκταση αυτή η διαίρεση των εικόνων σε ζώνες μπορεί να επεκταθεί πέρα από την ορατή.

Ο αισθητήρας Hyperion παρέχει ένα σύστημα απεικόνισης υπερφασματικής ανάλυσης, το οποίο μπορεί να χωριστεί μέχρι και σε 242 φασματικές ζώνες (0,4-2,5 μm) με 30 μέτρα χωρική διακριτική ικανότητα. Το όργανο μπορεί να απεικονίσει (7,5-7,7) x (100-120) km έκτασης ανά εικόνα και παρέχει λεπτομερή φασματική

χαρτογράφηση και στα 220 κανάλια με υψηλή ραδιομετρική ακρίβεια. Τα εξαρτήματα του οργάνου είναι τα ακόλουθα :

Σύστημα οπτικού (fore-optics) σχεδιασμού το οποίο βασίζεται στο κορεάτικο Muli-Purpose Satellite (KOMPSAT). Οπτικο-ηλεκτρική κάμερα (EOC) αποστολής. Το τηλεσκόπιο παρέχει δύο χωριστές εικόνες φασματόμετρου οι οποίες βελτιώνουν το θόρυβο (SNR), (πηγή: USGS).

1.2: Τεχνολογίες απόκτησης Υπερφασματικών δεδομένων

Υπάρχουν τέσσερις βασικές τεχνικές για την απόκτηση των δεδομένων τριών διαστάσεων (x, y, λ). Η επιλογή της τεχνικής εξαρτάται από τη συγκεκριμένη εφαρμογή και κάθε τεχνική έχει μεταβλητά μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα.

1.2.α: Χωρική Σάρωση

Στη χωρική σάρωση και οι δύο διαστάσεις (2D) του αισθητήρα αντιπροσωπεύουν μία πλήρη φασματική σχισμή συσκευές υπερφασματικής (x, λ). Οı απεικόνισης (Hyperspectral imaging, HSI) για τη χωρική ανάλυση λαμβάνουν δεδομένα με την προβολή μίας λωρίδας της επιφάνειας επί τη συνολική επιφάνεια ή με το διαχωρισμό της εικόνας σε διαύλους με ένα πρίσμα ή με ένα πλέγμα. Αυτά τα συστήματα έχουν το μειονέκτημα της ανάλυσης της εικόνας ανά σειρές (όπως ένας σαρωτής τύπου pushbroom). Με αυτό το σύστημα, τα δεδομένα συλλέγονται με την κίνηση του



Εικόνα 3: Απεικόνιση της γραμμικής σάρωσης σε έναν υπερφασματικό κύβο

δορυφόρου. Αυτό απαιτεί ακριβείς πληροφορίες για τη θέση του οπτικού δορυφορικού μέσου σε σχέση με την εικόνα που καταγράφεται. Παρ' όλα αυτά τα συστήματα γραμμικής σάρωσης είναι ιδιαίτερα συχνά στον τομέα της τηλεπισκόπισης. Επίσης αυτού του τύπου σάρωση χρησιμοποιεί υλικά που διακινούνται με έναν ιμάντα μεταφοράς, (Lu & Fei, 2013).

1.2.β: Φασματική Σάρωση

Στην φασματική σάρωση κάθε αισθητήρας δύο διαστάσεων (2D) αντιπροσωπεύει το μονογρωματικό («μονόχρωμα»), στο χωρικό χάρτη (χ, y) της εικόνας. Οι συσκευές HSI της φασματικής σάρωσης βασίζονται συνήθως σε οπτικά φίλτρα διέλευσης (είτε σε ρυθμιζόμενα είτε σε σταθερά). Η εικόνα έχει φασματικά σαρωθεί με την ανταλλαγή των δύο μεθόδων φίλτρων, ενώ ο δορυφόρος υπερφασματικό κύβο



Εικόνα 4: Απεικόνιση της Φασματικής σάρωσης σε έναν

θα πρέπει να είναι στάσιμος. Σε αυτά τα συστήματα σάρωσης του μήκους κύματος, οι φασματικές παραμορφώσεις δημιουργούνται λόγο της κίνησης της εικόνας, δυσχεραίνοντας τη φασματική συσχέτιση/ απεικόνιση. Παρ' όλα αυτά υπάρχει το πλεονέκτημα ότι είναι σε θέση να επιλέξουν τα φασματικά κανάλια και πάντα απεικονίζονται και οι δύο χωρικές διαστάσεις της εικόνας.

1.2.γ: Non-scanning ή Στιγμιαία Υπερφασματική απεικόνιση

Σε μία τέτοιου τύπου σάρωση ένα ενιαίο σήμα εξόδου του δισδιάστατου αισθητήρα περιέχει όλα τα χωρικά (x, y) και φασματικά (λ) δεδομένα. Οι συσκευές HSI non-scanning δίνουν έναν πλήρη τρισδιάστατο υπερφασματικό κύβο (Datacube) χωρίς σάρωση. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα αυτών των συστημάτων απεικόνισης είναι το

snap-shot, δηλαδή τα στιγμιότυπα σάρωσης, τα οποία Εικόνα 5: Απεικόνιση της δίνουν υψηλότερη απόδοση φωτός και μικρότερο χρόνο απόκτησης των δεδομένων. Μερικά από τα συστήματα τα οποία έχουν σχεδιαστεί, περιλαμβάνουν υπολογιστικούς



στιγμιαίας ή non-scanning υπερφασματικής σάρωσης σε έναν υπερφασματικό κύβο

φασματικούς τοπογραφικούς απεικονιστές (CTIS), απεικονιστές οπτικής αναδιαμόρφωσης φασματομετρίας (FRIS), ενσωματωμένο πεδίο φασματομετρίας με συστοιχίες ομάδων φακών (IFS-L), ενσωματωμένο πεδίο φασματομετρίας με κάτοπτρα που τεμαγίζουν την εικόνα (IFS-S), απεικονιστές αναπαραγωγής εικόνας φασματομετρίας (IRIS), φίλτρο δημιουργίας στιβάδας στην φασματική αποσύνθεση (FSSD) κ.λπ. ,(Hagen, 2012). Ωστόσο, οι υπολογιστικές δαπάνες και η κατασκευή του είναι ιδιαίτερα υψηλές.

1.2. δ : Spatiospectral scanning

Σε αυτό το είδος σάρωσης, κάθε 2D αισθητήρας εξόδου αντιπροσωπεύει ένα κωδικοποιημένο μήκος κύματος (χρώματα του ουράνιου τόξου, $\lambda = \lambda(y)$), (εικ. 8). Η τεχνική αυτή θεσπίστηκε το 2014 και αποτελείται από μία κάμερα σε μηδενική απόσταση πίσω από μία φασματομετρική σχισμή

(σχισμή + στοιχείο διασποράς), (Grusche, 2014). Για προγωρημένα φασματογωρικά συστήματα σάρωσης μπορεί να επιτευχθεί με την τοποθέτηση ενός στοιχείου διασποράς πριν από ένα χωρικό σύστημα σάρωσης.





Επιπλέον, η σάρωση μπορεί να επιτευχθεί με τη μετακίνηση ολόκληρου του συστήματος σε σχέση με την εικόνα, μετακινώντας μόνο την κάμερα ή την σχισμή. Η φασματοχωρική σάρωση ενώνει μερικά πλεονεκτήματα της χωρική και της φασματικής σάρωσης περιορίζοντας έτσι μερικά από τα πλεονεκτήματά της, (Grusche, 2014).

1.3: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της υπερφασματικής απεικόνισης

Το κύριο πλεονέκτημα για την υπερφασματική απεικόνιση είναι ότι, υπάρχει η δυνατότητα απόκτησης ολόκληρου του συνεχές φάσματος ενώ αυτά τα δεδομένα μπορούν να τεθούν υπό επεξεργασία. Επίσης, μπορούν να υπάρχουν ωφέλεια από τις χωρικές σχέσεις μεταξύ των διαφόρων φασματικών καναλιών, επιτρέποντας πιο περίτεχνα φασματικά και χωρικά μοντέλα και πιο με μεγαλύτερη ακρίβεια ταξινόμησης της εικόνας, (*Picon et al.*, 2009).

Τα πρωτογενή μειονεκτήματα είναι το κόστος και η πολυπλοκότητα. Οι γρήγοροι υπολογιστές, οι ευαίσθητοι ανιχνευτές και η μεγάλη ικανότητα αποθήκευσης δεδομένων είναι οι βασικές απαιτήσεις για την ανάλυση των υπερφασματικών δεδομένων. Ιδιαίτερα η ικανότητα αποθήκευσης δεδομένων είναι αναγκαία και αυτό δημιουργείται λόγο των υπερφασματικών κύβων, οι οποίοι είναι πολυδιάστατα σύνολα δεδομένων και υπερβαίνουν τα εκατοντάδες megabytes. Επίσης ένα από τα εμπόδια που οι ερευνητές είχαν να αντιμετωπίσουν είναι η εξεύρεση τρόπων για να προγραμματίσουν τους υπερφασματικούς δορυφόρους για να απομονώσουν μόνο τα χρήσιμα δεδομένα, το οποίο ήταν δύσκολο και δαπανηρό, (Schurmer, 2003). Μία σχετικά νέα τεχνική για ένα ολοκληρωμένο και δυναμικό αποτέλεσμα απεικόνισης δεν έχει ακόμη υλοποιηθεί.

2. Ο δορυφόρος Earth Observing 1 (EO-1) και ο υπερφασματικός δέκτης Hyperion

2.1: Ο δορυφόρος Earth Observing 1 (EO-1)

Ο δορυφόρος Earth Observing 1 (EO-1) που εκτοξεύθηκε στις 21 Νοεμβρίου 2000, από την αεροπορική βάση του Vandenberg με αποστολή ενός έτους. Ο δορυφόρος EO-1 αποτελεί μέρος του Προγράμματος της Νέας Χιλιετίας της NASA (NMP), το οποίο έχει ως στόχο τρεις αποστολές. Πρώτον, να προωθήσει προηγμένες τεχνολογίες το οποίο θα επαληθευόταν στο πρώτο έτος



Εικόνα 7: Απεικόνιση του δορυφόρου ΕΟ-1, (πηγή: NASA)

της αποστολής. Δεύτερον, οι αποστολές πραγματοποιήθηκαν για την επαλήθευση των καινούριων τεχνολογιών κατά την πτήση, για να παρέχουν χρήσιμες εικόνες και επιστημονικά δεδομένα και για να μειωθεί το κόστος, ενώ αντίθετα να βελτιωθεί η ποιότητα των οργάνων και των διαστημοπλοίων και των μελλοντικών διαστημικών αποστολών, (NASA).

Οι πρωτογενείς διαδηλώσεις είναι προσανατολισμένες σε τεχνολογίες της τηλεπισκόπισης έτσι ώστε να χρησιμοποιηθούν για τον καθορισμό των μελλοντικών αποστολών του LDCM, αλλά πάνω απ' όλα για τη βελτίωση της κάλυψης γης και την καλύτερη κατανόηση του πλανήτη. Κατά τη διάρκεια της αποστολής επιστημονικές κοινότητες εξέφρασαν υψηλό ενδιαφέρον για τη συνεχή απόκτηση δεδομένων εικόνας από τον EO-1. Με βάση το ενδιαφέρον των χρηστών, επιτεύχθηκε συμφωνία μεταξύ της NASA και των United States Geological Survey για να επιτραπεί η συνέχιση του προγράμματος EO-1 ως μια εκτεταμένη αποστολή για τη συλλογή και τη διανομή δεδομένων. Τα συστήματα, τα οποία αποτελούν το EO-1 είναι ο Hyperion, ο ALI (Advanced Land Imager) και το LAC (atmospheric corrector). Οι τρεις πρώτοι μήνες της αποστολής επικεντρώθηκαν στην ενεργοποίηση του οργάνου καθώς και στην απόδοσή του. Όσον αφορά το δορυφόρο Hyperion, πρωταρχικός στόχος ήταν να είναι ένα μεγάλου βαθμού υπερφασματικό όργανο με υψηλή ποιότητα βαθμονόμησης, βασισμένα στον τρόπο σχεδιασμού του αλλά και στο επιλεγμένο υλικό.

Το σκάφος του δορυφόρου EO-1 είναι κατασκευασμένο από αλουμίνιο με συνολικό βάρος ίσο με 370 kg. Έχει τη δυνατότητα προσθήκης επιπλέον ωφέλιμου φορτίου που μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 20 kg. Οι ογκομετρικές διαστάσεις του (ως εξαγωνικό πρίσμα) είναι 1,25m κατά μήκος των επίπεδων επιφανειών και 0,73 m στο ύψος. Επιπλέον, ο EO-1 χρησιμοποιεί ένα αυτόνομο σύστημα διαμόρφωσης πτήσης (AFF), ώστε να διατηρεί την τροχιά του κοντά και πίσω από αυτή του Landsat-7. Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει ένα δέκτη GPS για την πλοήγηση και το συγχρονισμό του σκάφους, καθώς και ένα ευέλικτο λογισμικό που επιτρέπει την περιστροφή αντικειμένων για την βαθμονόμηση των οργάνων του δορυφόρου.

Οι δυνατότητες αποθήκευσης δεδομένων του ΕΟ-1 επιτρέπουν την αποθήκευση μέχρι και 1Gb, για εσωτερικά δεδομένα του δορυφόρου και μέχρι 45Gb, για καταγραφή επιστημονικών δεδομένων παρατήρησης (WARP: Wideband Advanced Recorder Processor). Οι βασικές λειτουργίες αποτελούνται από 5-7 εδαφικούς σταθμούς, από τους οποίους μεταδίδονται δεδομένα ανά ημέρα τόσο σε S και σε X-band. Τα επιστημονικά δεδομένα μεταδίδονται με ταχύτητα 105 Mb/sec μέσω της 'X-band' με ποσοστό 120 Gbits ανά ημέρα, (Ιστοσελίδα USGS). Επίσης, τα δεδομένα των αντιγράφων ασφαλείας μεταδίδονται μέσω της S-band με ταχύτητα μέχρι 2 Mb/sec.

Το δορυφορικό όργανο Earth Observing 1 ακολουθεί μία επαναληπτική ηλιοσύγχρονη σχεδόν πολική τροχιά¹ και βρίσκεται σε ύψος 705km και διέρχεται ένα λεπτό πίσω από το δορυφόρο Landsat7. Επιπλέον, η ώρα κατά την οποία διαβαίνει από τον ισημερινό με πορεία από το βορρά προς το νότο είναι στις 10.00 έως 10.15 π.μ. Η κλίσης της τροχιάς είναι 98,2 μοίρες και η τροχιακή περίοδό του είναι 98,9 λεπτά. Η ταχύτητα του EO-1 στο ναδίρ είναι 6,75 km/sec. Ο EO-1 ολοκληρώνει περίπου 14 τροχιές την ημέρα, με κύκλο επανεπίσκεψης 16 ημερών. Το σημαντικό επίτευγμα αυτής της αποστολής είναι ότι ακολουθεί την ίδια πορεία με τον Landsat 7 TM με διαφορά περίπου 1 λεπτό (+/-5 δευτερόλεπτα). Αυτό είναι το σημαντικότερο

¹ <u>Πλάγιας ή σχεδόν πολικής τροχιάς (oblique- orbiting or near-polar orbit satellites</u>) των οποίων η απόκλιση της τροχιάς είναι διαφορετική των 90°. Οι περισσότεροι δορυφόροι που βρίσκονται σε τροχιά ανήκουν σε αυτή την κατηγορία.

Οι δορυφόροι πλάγιας τροχιάς είναι δυνατόν να κινούνται σε ανατολική κατεύθυνση, δηλ. να περιστρέφονται στην ίδια κατεύθυνση , με αυτή της γης, οπότε η τροχιά τους ονομάζεται πρόδρομη (prograde orbit), είτε να κινούνται σε δυτική κατεύθυνση οπότε λέγεται ότι βρίσκονται σε ανάδρομη τροχιά (retrograde orbit). Επειδή η γη δεν αποτελεί μια τέλεια σφαίρα, ασκεί μία γυροσκοπική επίδραση στους δορυφόρους πλάγιας τροχιάς τέτοια ώστε όσοι βρίσκονται σε πρόδρομη τροχιά να οπισθοδρομούν δηλ. η τροχιά τους να στρέφεται σταδιακά προς τα δυτικά, ενώ αντίθετα οι δορυφόροι ανάδρομης τροχιάς να εμπροσθοδρομούν δηλ. η τροχιά τους να στρέφεται σταδιακά προς τα ανατολικά.

Το φαινόμενο της εμπροσθοδρόμησης της ανάδρομης τροχιάς μπορεί να συνδυαστεί με την κίνησή της γύρω από τον ήλιο για τη δημιουργία μιας ιδιαίτερης τροχιάς στην οποία η γωνία μεταξύ του επιπέδου της τροχιάς του δορυφόρου και της διεύθυνσης του άξονα της γης-ήλιου είναι πάντα σταθερή. Στην περίπτωση αυτή ο δορυφόρος περνά πάνω από την κάθε περιοχή πάντοτε την ίδια τοπική ηλιακή ώρα. Σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα (δύο φορές την ημέρα για τους μετεωρολογικούς δορυφόρους και μία φορά ανά αρκετές μέρες για τους πλουτοπαραγωγικούς δορυφόρους). Η ειδική αυτή τροχιά ονομάζεται ηλιοσύγχρονη (sun-synchronous) και έχει το πλεονέκτημα ότι οι λήψεις που γίνονται την ίδια εποχή έχουν τις ίδιες συνθήκες φωτισμού δηλ. την ίδια ηλιακή γωνία σε όλες τις περιοχές που βρίσκονται στην ίδια παράλληλο.

Μία πολύ χρήσιμη ηλιοσύγχρονη τροχιά είναι αυτή με απόκλιση 99.1° και ύψος 1100 km. Η τροχιά αυτή ολοκληρώνεται κάθε 100 λεπτά της ώρας, το οποίο σημαίνει ότι κατά τη διάρκεια ενός 24ώρου πραγματοποιούνται 14.5 τροχιές, οι οποίες σε συνδυασμό με το μεγάλο στιγμιαίο πεδίο κατόπτευσης καλύπτουν πλήρως γεωγραφικά το σύνολο της επιφάνειας της γης, ακόμη και στις ισημερινές τροχιές, (Barrett, 1999).

όλων διότι επιτρέπεται η σύγκριση δεδομένων μεταξύ των δύο δορυφορικών οπτικών μέσων. Αξιοσημείωτο αυτής της λεπτομέρειας είναι οι συνεχής διορθώσεις που είναι απαραίτητες να γίνονται στην πορεία του EO-1, διότι είναι πιο ελαφρύς από τον Landsat έτσι ώστε να διατηρείται αυτή η χρονική απόσταση μεταξύ τους.



Εικόνα 8: Ο σχηματισμός των δορυφόρων. Αυτό το σχήμα δείχνει την επικάλυψη και τις διαστάσεις της επίγειας κάλυψης για τον Landsat 7 και οι άλλες τρεις για τον Hyperion, τον ALI και τον Atmospheric Corrector. Σημειώνεται ότι έχουν διαφορά στις τροχιές περίπου ένα λεπτό

Τα δεδομένα τα οποία λαμβάνονται από τον δορυφόρο υπάγονται στο παγκόσμιο σύστημα αναφοράς WRS-2. Οι συντεταγμένες των σκηνών που παράγονται από το συγκεκριμένο όργανο χωρίζονται σε "path" και "row". Οι πρώτες αναφέρουν την τροχιά του δορυφόρου και οι δεύτερες στο κέντρο των επίγειων εικόνων που καταγράφονται από τον αισθητήρα. Το σημαντικότερο όλων στα χαρακτηριστικά του ΕΟ-1 είναι ότι έχει τη δυνατότητα εκτός από την κατακόρυφη καταγραφή δεδομένων να λαμβάνει δεδομένα και με πλάγια λήψη, επιτρέποντας έτσι την απόκτηση εικόνων εκτός από την τρέχουσα διαδρομή του δορυφόρου. Ειδικότερα, είναι τρία τα είδη λήψεων που χαρακτηρίζουν τον δορυφόρο. Πρώτη είναι η κατακόρυφη λήψη, η οποία λαμβάνει χώρα μία φορά ανά 16 μέρες και το εύρος της γωνίας λήψης είναι +/- 5,975 μοίρες. Δεύτερη είναι η δυτική λήψη, η οποία υλοποιείται 7 μέρες μετά από το κατακόρυφο πέρασμα με το εύρος της γωνίας λήψης να είναι από 5,975 έως 17,433 μοίρες και τέλος η τρίτη λήψη είναι η ανατολική, η οποία δημιουργείται μετά από 9 μέρες από την κατακόρυφη λήψη με το εύρος της να είναι από -17,433 έως -5,975 μοίρες. Χαρακτηριστικά στην ακόλουθη φωτογραφία απεικονίζονται οι τρεις διαφορετικές λήψης της ίδιας σκηνής.



Εικόνα 9: Οι διαφορετικές λήψεις μίας συγκεκριμένης σκηνής από τον δορυφόρο ΕΟ-1, (πηγή USGS)

2.2: Δυνατότητες και Αδυναμίες του ΕΟ-1

Η υπερφασματική απεικόνιση έχει ευρείες εφαρμογές στην εξόρυξη, στη γεωλογία, στη δασοκομία, στη γεωργία και στη διαχείριση του περιβάλλοντος. Η λεπτομερής ταξινόμηση των στοιχείων της γης μέσω του Hyperion επιτρέπει πιο ακριβή μεταλλευτική έρευνα από απόσταση, καλύτερες προβλέψεις των καλλιεργειών καθώς και καλύτερη περιορισμένη χαρτογράφηση.

Το εστιακό επίπεδο παρέχει ανιχνευτές με ξεχωριστό μικροκυματικό, ορατό και κοντινό υπέρυθρο, οι οποίοι βασίζονται στο πρόγραμμα LEWIS² EBZ. Το όργανο ψύξης (cryocooler) κατασκευάζεται με ίδιο τρόπο, με αυτά της αποστολής LEWIS EBZ για την ψύξη του εστιακού επιπέδου SWIR, (πηγή: USGS).

² LEWIS: Είναι ένα μέρος του προγράμματος της NASA, το οποίο ερευνά μακροχρόνια την επιφάνεια της γης, τους ωκεανούς, τον αέρα και την ζωή ολόκληρου του συστήματος. Κατασκευάστηκε από TRW Space & Electronics Group, Redondo Beach, CA. Ο δορυφόρος 890 λιβρών απογειώθηκε στις 23 Αυγούστου του 1997 από την αεροπορική βάση του Vangenburg, CA. Στις 26 Αυγούστου έδειξε ότι το διαστημικό γύριζε περίπου με δύο στροφές ανά λεπτό. Η περιστροφή οδήγησε τους ηλιακούς συλλέκτες να μην μπορούν να συλλάβουν αρκετό ηλιακό φώς έτσι ώστε να επαναφορτίζονται οι μπαταρίες του και έτσι στις 28 Σεπτεμβρίου, ο δορυφόρος κατέληξε σαν μπάλα φωτιάς, καθώς εισέρχονταν στην ατμόσφαιρα. Το EDC DAAC διένειμε τα δεδομένα του.

Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα συνεχής απόκτησης δεδομένων για μία περιοχή μελέτης με μέσο όρο 18 εικόνων ανά ημέρα. Η καταγραφή των δεδομένων αποθηκεύεται σε μορφή "Warp", η οποία έχει όριο τα 45Gbyte τα οποία αντιστοιχούν σε 4 με 5 εικόνες. Οι αισθητήρες του δορυφόρου δεν έχουν τη δυνατότητα να καταγράψουν και να αποφορτίσουν δεδομένα ταυτόχρονα και γι' αυτό το λόγο η αποφόρτιση προγραμματίζεται το βράδυ, εκτός από κάποιες εξαιρέσεις που μπορεί να γίνει και κατά τη διάρκεια λήψης δεδομένων, (πηγή: USGS).

2.3: Το δορυφορικό όργανο Hyperion

To όργανο Hyperion σχεδιάστηκε από το TRW Inc. (now Northrop Grumman Space Technology) με ισχυρή υποστήριξη σημαντικούς από οργανισμούς για το συγκεκριμένο υποσύστημα του δορυφόρου ΕΟ-1. Το συγκεκριμένο όργανο περιέχει ραδιομετρικά βαθμονομημένα φασματικά δεδομένα. Τα δεδομένα αυτά δημιουργήθηκαν έτσι ώστε να στηρίζουν την υπερφασματική τεχνολογία και τις αποστολές για την παρατήρηση της γης. Ο τρόπος, με



Εικόνα 10: Απεικόνιση του οργάνου Hyperion, (πηγή: NASA)

τον οποίον γίνεται η καταγραφή της γης είναι τύπου "pushbroom", ενώ επίσης ο Hyperion είναι ένα φασματόμετρο απεικόνισης. Τα όργανα (VNIR & SWIR) καταγράφουν με την μέθοδο pushbroom και λαμβάνουν δεδομένα της εκάστοτε σκηνής «γραμμή παρά γραμμή», (line by line). Μία στενή χωρική γραμμή που απεικονίζεται σε έναν συγκεκριμένο χρόνο χωρίζεται σε φασματικές συνιστώσες πριν φτάσει στη συστοιχία των αισθητήρων. Στη 2D διάταξη των αισθητήρων, η μία διάσταση χρησιμοποιείται για το φασματικό διαχωρισμό και η άλλη για τη χωρική κατεύθυνση. Η δεύτερη διάσταση επίσης προκύπτει από τη σάρωση της επιφάνειας καθώς κινείται το δορυφορικό μέσο. Το αποτέλεσμα μπορεί να θεωρηθεί ως μία 2D εικόνα για κάθε φασματικό κανάλι ή αντίστοιχα κάθε εικονοστοιχείο περιέχει ένα πλήρη φάσμα, (πηγή ιστοσελίδα: http://www.hyspex.no).

Κάθε εικόνα περιέχει στοιχεία πλάτους 7,65 km (cross track) και 185 km μήκους (along track). Επίσης, κάθε εικονοστοιχείο περιέχει 30x30(m) χωρική ανάλυση. Εφόσον, ο Hyperion παρέχει το σύστημα pushbroom τότε ολόκληρη η έκταση των 7,65km λαμβάνεται σε ένα ενιαίο πλαίσιο. Τη ανάλυση των 30m από τη διεύθυνση της τροχιάς του μήκους που λαμβάνεται, βασίζεται στον αριθμό των σκηνών (frame rate), στην ταχύτητά του αλλά και στην τροχιά του, η οποία βρίσκεται στα 705km. Συνεχίζοντας, αυτή η λεπτή εικόνα της γης αναμεταδίδεται σε δύο εστιακά επίπεδα,

δύο ξεχωριστών φασματόμετρων. Ένα διχρωματικό φίλτρο, το οποίο αντανακλά τη φασματική περιοχή από τα 356 έως τα 1000nm και αυτό είναι το φασματόμετρο VNIR. Το δεύτερο φασματόμετρο είναι το SWIR και μεταδίδει την περιοχή από 900 έως 2577nm, του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Επίσης, προσφέρει λεπτομερής φασματική χαρτογράφηση σε 220 φασματικά κανάλια με υψηλή ραδιομετρική ακρίβεια. Επιπλέον, αποτελείται από τρεις φυσικές μονάδες:

- Το Συγκρότημα Αισθητήρων του Hyperion (Hyperion Sensor Assembly), το οποίο περιλαμβάνει ένα υποσύστημα για το τηλεσκόπιο, μία εσωτερική βαθμονόμηση, δύο φασματόμετρα και ένα σύστημα ψύξης.
- 2) Το Συγκρότημα Ηλεκτρονικών του Hyperion (Hyperion Electronics Assembly), το οποίο παίρνει εικόνες από τη γη βασισμένο στο στιγμιαίο εστιακό πεδίο λήψης (IFOV). Αυτό είναι 0,624° πλάτος, δηλαδή 7,65km πλάτους από το υψόμετρο των 705km (που είναι και η τροχιά του), με ακτίνα 42,55m (30 μέτρα) στη διεύθυνση ταχύτητας του δορυφόρου. Αυτή η εστιακή εικόνα αναμεταδίδεται σε δύο φασματικά επίπεδα. Σε ένα διαχρωματικό φίλτρο του συστήματος που αντανακλά στη φασματική περιοχή από 400 έως 1000nm, δηλαδή στην περιοχή του VNIR και στην περιοχή από 900 έως 2500nm, στο φασματόμετρο SWIR.
- Το Συγκρότημα Ηλεκτρονικής Ψύξης (Cryocooler Electronics Assembly), το οποίο περιέχει τις ηλεκτρονικές εγκαταστάσεις διασύνδεσης του οργάνου και του ελέγχου του μηχανήματος CEA.

Αξιοσημείωτο αυτού του αισθητήρα είναι ότι ανάμεσα στα δύο φασματόμετρα (του VNIR και του SWIR) υπάρχει μία περιοχή, στην οποία γίνεται επικάλυψη των δύο φασματόμετρων, μεταξύ των 852 με 1058nm. και αυτό έχει ως συνέπεια να δημιουργείται «θόρυβος» στα δεδομένα και μη παροχή πληροφοριών για το πεδίο, στο οποίο γίνεται η λήψη. Χαρακτηριστικό είναι ότι δεν είναι όλα τα φασματικά κανάλια βαθμονομημένα. Από τα 242 μόνο τα 220 είναι. Αυτό οφείλεται κυρίως στη χαμηλή ευαισθησία των ανιχνευτών και αυτό δημιουργείται σε όλες τις εικόνες, γι' αυτό και είναι «άκρως» σημαντική η προεπεξεργασία των εικόνων έτσι ώστε να αφαιρεθεί αυτός ο θόρυβος. Άρα, από τα συνολικά φασματικά κανάλια αυτά που μπορούν να τεθούν υπό επεξεργασία είναι 196 εκ των οποίων τα φασματικά κανάλια από το 8 έως το 57 (497- 925nm) αντιστοιχούν στο VNIR και από το 77 έως το 224 (912- 2395nm) αντιστοιχούν στο μέσο και μακρινό υπέρυθρο. Τα υπόλοιπα έχουν παγιώσει την ονομασία τους ως «κακά κανάλια» ή «bad bands». Η μορφή αρχείου με την οποία παρουσιάζεται το σύνολο των αρχείο των εικόνων είναι HDF (Hierarchical Data Format) και οι τιμές των εικονοστοιχείων σε τιμές ακτινοβολίας (W/m² SRμm) σε κλίμακα 16-bit.

Hyperion		
Εταιρία κατασκευής	NASA	
Πλατφόρμα	EO-1	
Γωνία κλήσης	98,2	
Επίπεδα αρχείων	1R,1G,1T	
Αριθμός καναλιών	242*	
Χωρική ανάλυση (m)	30	
Μέγεθος Εικόνας	7,5 (7,7) x 100 (120)	
Χρόνος Επανεπίσκεψης (ημέρες)	16	
Τροχιά (km)	705	
Κλίμακα απεικόνισης αρχείων (bits)	16	
Φασματική ανάλυση	10nm	
Χρόνος διέλευσης από τον Ισημερινό με	10.00-10.15 a.m.	
κατεύθυνση από το Βορρά προς το Νότο		
Εύρος φάσματος (nm)	355,59-2577,08	
Μάζα (kg)	370	
Ημερομηνία εκτόξευσης	21/11/2000	
Τύπος αρχείου	HDF	
Περίοδος τροχιάς	98,9min	

2.4: Απεικόνιση των γενικών χαρακτηριστικών του Hyperion

* HYPERION: 220 βαθμονομημένα κανάλια

2.5: Η δομή των δεδομένων του υπερφασματικού κύβου

Μία τυπική εικόνα του Hyperion έχει διαστάσεις 256x6925x242. Ο πρώτος αριθμός αντιπροσωπεύει τον αριθμό των εικονοστοιχείων που διαρκούν στο στιγμιαίο πεδίο λήψης (field of view- IFOV). Η διάρκεια του IFOV προσδιορίζει το swath width. Αυτές οι διαστάσεις των δεδομένων λαμβάνονται για στιγμιότυπο. Ο συνολικών αριθμός των στιγμιότυπων ορίζει τη δεύτερη διάσταση του υπερφασματικού κύβου και την έκταση του πλάτους. Το στιγμιαίο πεδίο λήψης για κάθε ψηφίδα και ο ρυθμός των λήψεων είναι 223.4 Hz, ενώ κυρίως καθορίζει τις διαστάσεις της επιφάνειας που απεικονίζεται. Κάθε εικονοστοιχείο από κάθε εικόνα έχει χωρική ανάλυση 30m από την πραγματική επιφάνεια. Το swath width για κάθε εστιακό επίπεδο αποτελείται από 256 ψηφίδες και αντιστοιχεί σε 7,7km. Για κάθε θέση του εικονοστοιχείου, τα δεδομένα περιέχουν 242 φασματικά κανάλια. Τα φασματικά κανάλια από το 1-70 συλλέγουν πληροφορίες για την περιοχή του VNIR και από το 71-242 συλλέγονται πληροφορίες για την περιοχή του SWIR. Λόγω του γαμηλού σήματος από κάποια κανάλια και για να μειωθεί η επικάλυψη στην περιογή των δύο φασματικών περιοχών κάποιες φασματικές ζώνες δεν βαθμονομούνται. Τα μη βαθμονομημένα κανάλια μηδενίζονται αλλά δεν αποβάλλονται από το αρχείο έτσι ώστε τα τελικά δεδομένα να είναι στο ίδιο μέγεθος με τα αρχικά.

2.6: Συλλογή και Επεξεργασία των δεδομένων του Hyperion

Επιπλέον, υπάρχουν τρεις τύποι δεδομένων του Hyperion, τα .L1, .L1_A and .L1_ B, έτσι ώστε το header file και τα αρχικά αρχεία θα πρέπει να αναθεωρηθούν για να προσδιοριστούν τα δεδομένα που θα αναλυθούν.

- Original level 1: Τα αρχεία είναι un-signed integer. Τα δεδομένα παρουσιάζονται ως βαθμονομημένες ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες (W/m2-sr-um) επί το συντελεστή 100, ενώ ωστόσο το ίδιο αντιστοιχεί και στο VNIR και SWIR. Αυτά τα βαθμονομημένα αρχεία είναι η αναβάθμισή του σε L1.
- Revision A: Τα δεδομένα είναι μορφής signed integer. Ο διαβαθμισμένος παράγοντας (scale factor) έχει μετατραπεί σε βαθμονομημένη ακτινοβολία (W/m2-sr-um). Αν ο παράγοντας αυτός είναι 40 τότε αντιστοιχεί στα φασματικά κανάλια του VNIR και αν είναι 80 τότε αντιστοιχεί σε αυτά του SWIR. Για την απόκτηση των δεδομένων σε μονάδες (mW/cm2-sr-um), τα δεδομένα θα πρέπει να πολλαπλασιαστούν με 0,1. Η μετατροπή αυτή στα ήδη βαθμονομημένα αρχεία είναι του ζπαράγοντες που χρησιμοποιούνται στα κανάλια VNIR και SWIR.
- Revision B: Οι συνιστώσες των δεδομένων του VNIR και SWIR έχουν χωρικά επαναταξινομηθεί (co-registration) στις δύο διευθύνσεις (cross-track και along-track). Επίσης, ένα επιπρόσθετο metadata αρχείο, το οποίο είναι ένα αρχείο κειμένου με επιπλέον .aln.log δείχνει την πηγή του αρχείου, την ονομασία του αρχείου εξόδου για την τελική του αναγραφή σε L1_B προϊόντα δεδομένων, (*Barry, 2001*).

Αναλυτικότερα, τα διαθέσιμα επίπεδα επεξεργασίας εικόνων αυτού του δορυφόρου είναι τα ακόλουθα:

- Επίπεδο επεξεργασίας 0: Σε αυτό το επίπεδο, τα δεδομένα είναι αυτά, τα οποία λαμβάνονται απευθείας από τον δορυφόρο και αποκαλούνται και ως «raw data» και δεν χρήζονται καμιάς επεξεργασίας.
- Επίπεδο επεξεργασίας L1_R: Τα δεδομένα αυτά είναι ραδιομετρικά και όχι γεωμετρικά διορθωμένα και δημιουργούνται από το EPGS (EO-1 Product Generation System). Προκύπτουν με μία ραδιομετρική βαθμονόμηση των αρχικών δεδομένων και το σημαντικό όλων είναι ότι χρησιμοποιήθηκαν για την αποστολή του EO-1 αλλά αρχικά παράγονταν από την TRW (Thompson Ramo Woolridge) και βασίζονταν σε αλγόριθμους. Το τελικό προϊόν του Level 1 είναι ένα σύνολο από 5 αρχεία HDF (ραδιομετρικά διορθωμένη εικόνα, κέντρα φασματικής περιοχής διαύλων, φασματικό εύρος διαύλων, συντελεστές κέρδους, και 'flag mask') μαζί με ένα αρχείο (header file) σε format λογισμικού ENVI. Τα δεδομένα είναι οργανωμένα σε format BIL (Band Interleaved –by- line).

Επίπεδο επεξεργασίας L1_Gst: Στο προκείμενο επίπεδο L1_Gst (Systematic Terrain Corrected) τα δεδομένα δεν είναι μόνο ραδιομετρικά διορθωμένα αλλά είναι και συστηματικά διορθωμένα που προέρχεται από πρόσφατα δεδομένα του δορυφόρου που έχουν εφαρμοστεί χρησιμοποιώντας ένα Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (Digital Elevation Modem) για τοπογραφική ακρίβεια. Οι εικόνες L1_Gst παρέχονται σε μορφή αρχείου GeoTIFF.

Επίπεδο επεξεργασίας L1_T: Οι εικόνες τέτοιου επιπέδου έχουν ραδιομετρική και γεωμετρική διόρθωση ενσωματώνοντας εδαφικά σημεία ελέγχου (Ground Control Points), τα οποία έχουν εφαρμοστεί σε ένα DEM 90 μέτρων για τοπογραφική ακρίβεια. Η γεωδαιτική ακρίβεια του προϊόντος εξαρτάται από την ακρίβεια των GCP's και η απόκλιση είναι το πολύ δύο pixel. Οι σκηνές που δεν έχουν επαρκή έλεγχο του εδάφους θα υποβληθούν σε επεξεργασία με τον καλύτερο τρόπο διόρθωσης L1_Gst. Οι εικόνες επιπέδου L1_T είναι σε μορφή αρχείου GeoTIFF, (Πηγή: USGS).

3. Περιοχή μελέτης

3.1: Γενικά χαρακτηριστικά των ηφαιστείων

Τα ηφαίστεια χαρακτηρίζονται ως ηφαιστειακοί πόροι, δηλαδή ως ένα άνοιγμα της γης από το οποίο εξέρχεται ηφαιστειακό υλικό. Κάθε ηφαίστειο διαθέτει ένα κεντρικό πόρο, πάνω στον οποίον υπάρχει πάντα ο κεντρικός κρατήρας ή αλλιώς κρατήρας κορυφής. Το σχήμα του ηφαιστείου είναι πάντα κωνικό και δομείται από τη συσσώρευση λάβας και πυροκλαστικού υλικού. Το επόμενο τμήμα του ηφαιστείου είναι ο κεντρικός αγωγός, ο οποίος συνδέεται με τον μαγματικό θάλαμο, στον οποίον αποταμιεύεται όλο το ηφαιστειακό υλικό. Οι πλαγιές του ηφαιστείου είναι συνήθως ασταθείς περιέχουν κατακόρυφα ρήγματα που επικοινωνούν με τον κύριο θάλαμο σε μικρότερο βάθος. Αυτά τα ηφαιστειακά ρήγματα δημιουργούν συχνά πλευρικές εκρήξεις καθώς το μάγμα εκχύνεται περιοδικά στις πλευρές του ηφαιστείου. Συνέπεια των εκρήξεων αυτών είναι, η δημιουργία παρασιτικών κώνων ενώ οι ρηγματώσεις είναι δημιουργοί ατμίδων ή φουμαρόλων, επειδή αποτελούν την έξοδο διαφυγής ηφαιστειακών αερίων.

Γενικά οι ατμίδες αποτελούν φαινόμενα που συνήθως παρατηρούνται κατά την περίοδο ηρεμίας ενός ηφαιστείου που η ζωτικότητά του δεν έχει σταματήσει τελείως. Η ατμιδική φάση χαρακτηρίζει ως επί το πλείστον το τέλος της εκρηκτικής φάσης ενός ηφαιστείου ή την περίοδο ηρεμίας του και μπορεί να διαρκέσει για μεγάλο χρονικό διάστημα. Κατά την ατμιδική φάση διάφορα αέρια και ατμοί με ποικίλλουσα θερμοκρασία ελκύονται, είτε από κρατήρες των ηφαιστείων είτε από ρωγμές του εδάφους ηφαιστειογενών περιοχών. Με βάση το είδος των αερίων που εκλύονται διακρίνονται οι ακόλουθες κατηγορίες ατμίδων:

- 1) Φουμαρόλες (Fumarolae): Τα αέρια των ατμίδων αυτών είναι κατά κύριο λόγο αλογονούχα, έχουν χρώμα συνήθως λευκό και δίνουν την εντύπωση ότι αναπηδούν λευκοί καπνοί. Ειδικότερα, τα αέρια αυτά συνίστανται από άνυδρα χλωριούχα άλατα, όπως χλωριούχο νάτριο, κάλιο, σίδηρο, χαλκό και μαγγάνιο καθώς και ίχνη φθοριούχων αλάτων. Ανάλογα με την περιεκτικότητά τους τα άλατα αυτά σχηματίζουν κατά την έξοδό τους διάφορα χρώματα (επανθήματα). Η θερμοκρασία τους ξεπερνά τους 500°C. Σε μικρότερες θερμοκρασίες, γύρω στους 100 °C, περιέχουν υδρατμούς και χλωριούχο αμμώνιο.
- Μοφέττες ή Ανθρακωνιές (Mofettae): Από τις ατμίδες αυτές εκλύεται μεγάλο ποσοστό διοξειδίου του άνθρακα και μικρότερο υδρόθειο. Το υδρόθειο οξειδωμένο στον αέρα με το οξυγόνο δημιουργεί θείο κατά την αντίδραση 2H₂S + O₂ → 2H₂O + 2S (ατελής καύση σε περιορισμένο αέρα).
- 3) Σολφατάρες ή Θειωνιές (Solfarae): Από τα εκλυόμενα αέρια επικρατεί σε ποσοστό το υδρόθειο και σε μικρότερο ποσοστό το διοξείδιο του άνθρακα. Η θερμοκρασία τους κυμαίνεται από 10 °C-100 °C, (Πηγή: <u>http://www.geo.auth.gr</u>).

3.2: Σύνθεση των Ηφαιστείων

Σε αυτή την ενότητα παρατίθενται τα μέρη των ηφαιστείων καθώς και μία συνοπτική αναφορά αυτών.



Εικόνα 11: πηγή: http://www.geo.auth.gr

Μαγματικός θάλαμος: Είναι ο θάλαμος που βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια της γης με λιωμένα πετρώματα, τα οποία προέρχονται από το εσωτερικό του φλοιού της γης.

Υπόβαθρο: Συνθέτει το τμήμα του φλοιού της γης από στερεοποιημένα πετρώματα. Σχηματίζει ένα συνεχές θεμέλιο με το μεγαλύτερο μέρος να καλύπτεται από επιφανειακά ιζήματα, έδαφος και βλάστηση.

Κεντρικός αγωγός: Είναι το σημείο του φλοιού της γης, στο οποίο καυτό μάγμα φτάνει στην επιφάνεια. Το σχήμα του ηφαιστειακού κώνου συσσωρεύεται με τέφρα, πέτρες και λάβα και εκτινάσσεται κατά τη διάρκεια της έκρηξης πριν να πέσει πίσω στην γη γύρω από τον κρατήρα, (Krock, 2002, <u>http://www.pbs.org/wgbh/nova/earth/volcano-parts.html</u>).

Παρείσακτη κοίτη: Κοίτη που κυριεύεται από πυριγενή πετρώματα και παράλληλα τοποθετείται κάποιος βράχος που προκάλεσε τον εγκλεισμό της. Η πιο κοινή διεύθυνσή τους είναι η οριζόντια αν και έχει παρουσιαστεί και κατακόρυφος προσανατολισμός. Η παρείσακτη κοίτη μπορεί να είναι ένα κλάσμα της ίντσας σε εκατοντάδες πόδια πάχους έως και εκατοντάδες χιλιόμετρα μακριά. Επίσης, στις παρείσακτες κοίτες εντοπίζονται ορυκτολογικές συνθέσεις όλων των ειδών και είναι οι πιο γνωστές διότι περιέχουν πληροφορίες για τις συνθήκες κρυσταλλοποίησης του μάγματος. Επιπλέον, μπορούν να διαιρεθούν με βάση τον αριθμό των εισβολών, από τους οποίους έχουν σχηματιστεί η ποικιλομορφία των ειδών των πετρωμάτων που περιέχουν. Μία απλή κοίτη δημιουργείται από μία κατηγορία αλλά μία πολλαπλή αποτελείται από παραπάνω από δύο κατηγορίες και μία σύνθετη συντίθεται από παρά πάνω από δύο ειδών πετρώματος, τα οποία τοποθετήθηκαν κατά τη διάρκεια περισσοτέρων από ένα παρεμβατικό επεισόδιο, (Krock, 2002, http://www.pbs.org/wgbh/nova/earth/volcano-parts.html).

Φλέβα τροφοδοσίας: Είναι ένας κάθετος αγωγός κάτω από ένα ηφαίστειο μέσω του οποίου το μάγμα περνάει και γεμίζει με στερεοποιημένο μάγμα ηφαιστειακά λατυποπαγή και θραύσματα παλαιότερων πετρωμάτων.

Παλαιότερα στρώματα τέφρας: Αποτελούν τα στρώματα που διαμορφώνουν το ηφαίστειο με την πάροδο του χρόνου από στάχτη και λάβα.

Πλευρά του ηφαιστείου: Είναι το μέρος του ηφαιστείου, το οποίο εκτίνεται από την κορυφή έως την βάση του και απ' όπου η έκρηξη αναδύεται.

Παλαιότερα ρεύματα λάβας: Ηφαιστειακό στρώμα από πέτρωμα το οποίο σχηματίζεται όταν η λάβα ψύχεται.

Κεντρικός πόρος: Ο κεντρικός πόρος ενός ηφαιστείου αποτελείται από έναν αγωγό, ο οποίος είναι γεμάτος με υποηφαιστειακούς βράχους. Η ηφαιστειακή λάβα διέρχεται μέσα από τον κεντρικό πόρο όταν βγαίνει από τον μαγματικό θάλαμο κατά την ηφαιστειακή έκρηξη.

Παρασιτικός κώνος: Δημιουργείται από τους πλευρικούς αγωγούς σε μεγάλα ηφαίστεια, (*Cain, 2009*).

Ρεύματα λάβας: Είναι τα πετρώματα που εξαπολύονται από ένα ηφαίστειο κατά τη διάρκεια μίας έκρηξης. Όταν βγαίνουν στην επιφάνεια μπορούν να έχουν θερμοκρασία πάνω από 700°C. Έπειτα, ρέουν στις πλαγίες του εκρηξιγενούς σημείου μέχρι να κρυώσουν και να στερεοποιηθούν.

Πλευρικός αγωγός: Σε μεγάλα ηφαίστεια το μάγμα φτάνει στην επιφάνεια από διάφορους κώνους, όχι μόνο από τον κεντρικό κρατήρα. Αυτό μπορεί να δημιουργήσει επιπλέον κώνους, έκρηξη λάβας και δημιουργία καταστροφής.

Κεντρικός κρατήρας: Το κεντρικό σημείο του ηφαιστειακού σχηματισμού, απ' όπου εξέρχονται τα ηφαιστειακά αναβλύσματα, σε υγρή, στερεή ή αέρια μορφή. Οι κρατήρες δεν είναι πάντοτε όμοιοι μεταξύ τους.

- κωνοειδείς: Ο κώνος του ηφαιστείου ανυψώνεται από τα αποθέματα της λάβας και στην κορυφή κλείνει απότομα προς το εσωτερικό, για να συνδεθεί με τον πόρο.
- b) Χοανοειδείς: Ο κώνος του ηφαιστείου ανυψώνεται από τα αποθέματα της λάβας, στο εσωτερικό όμως σχηματίζει μία χοάνη, η βάση της οποίας συγκοινωνεί με τον ηφαιστειακό πόρο.
- c) Καλδέρα (λέβητας): Ο τύπος αυτός έχει μεγάλες διαστάσεις και συναντάται στα σύνθετα ηφαίστεια. Σχηματίζεται συνήθως μετά από έντονη διάβρωση

του προϋπάρχοντα κρατήρα ή μετά από έκρηξη και διάλυση των κεντρικών σημείων (λεβητοειδής θαλάσσια λεκάνη της Σαντορίνης).

d) Maare: Είναι είδος χοανοειδούς μορφής. Το εσωτερικό της χοάνης έχει τέτοια κατασκευή, ώστε να συγκεντρώνει τα νερά της βροχής και να σχηματίζει λίμνη. Π.χ. εκρηξιγενές κοίλωμα στο Άιφελ της Γαλλίας.

Σύννεφο στάχτης: Η ηφαιστειακή στάχτη περιέχει κομμάτια κονιοποιημένων πετρωμάτων και γυαλιού, τα οποία δημιουργούνται κατά τη διάρκεια μίας ηφαιστειακής έκρηξης. Αυτά τα θραύσματα είναι επίσης μικρά και ζεστά, σε θερμοκρασία που να μπορούν να μεταφέρονται στον αέρα για πολλά χιλιόμετρα.

Πυροκλαστική ροή: Οι πυροκλαστικές ροές λάβας είναι μία γρήγορη κινούμενη ροή από καυτά αέρια και πέτρες, τα οποία ταξιδεύουν την πλαγιά του ηφαιστείου και φτάνουν σε ταχύτητα τα 700km/h. Τα αέρια μπορούν να φτάσουν θερμοκρασίες πάνω από 1000 °C και είναι μία από τις πιο επικίνδυνες ηφαιστειακές εκρήξεις.

Ηφαιστειακές βόμβες: Είναι κομμάτια λάβας, τα οποία ανατινάζονται στον αέρα και στερεοποιούνται πριν φτάσουν στο έδαφος. Μερικές βόμβες μπορεί να είναι εξαιρετικά μεγάλες, με διάμετρο 5-6m και μπορούν να εκτοξευθούν 500m πάνω από τον ηφαιστειακό κώνο, (<u>http://www.geo.auth.gr</u> & Krock, 2002, <u>http://www.pbs.org/wgbh/nova/earth/volcano-parts.html</u>).).

3.3: Τύποι ηφαιστείων και κρατήρων

Τα ηφαίστεια ταξινομούνται ανάλογα με τη δραστηριότητά τους και χωρίζονται σε ήρεμα και εκρηκτικά. Η ήρεμη δραστηριότητα περιλαμβάνει ομαλή έκχυση λάβας και συνήθως βασαλτικής σύστασης. Η εκρηκτική δραστηριότητα έχει ως βασικό στοιχείο της την παραγωγή πυροκλαστικών υλικών που περιλαμβάνουν τέφρα, βόμβες και βολίδες. Γενικά, η απότομη ελευθέρωση πιέσεων που περιορίζονται για πολύ καιρό κατακερματίζει τα μαγματικά υλικά και εκτοξεύει τεμάχια σε μεγάλες αποστάσεις. Ένα ηφαίστειο μπορεί να εμφανίσει και τις δύο δραστηριότητες κατά τη διάρκεια μίας έκρηξης. Μία πιο ακριβής μέθοδος ταξινόμησης των ηφαιστείων βασίζεται στο σχήμα τους, το οποίο είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με το είδος του εκρηξιγενούς υλικού που εξέρχεται από αυτά αλλά και αυτό συνδέεται με τον τύπο εκρηκτικότητας του κάθε ηφαιστείου.

• Ασπιδωτά ηφαίστεια – Shield Volcanoes

Το όνομά τους προέρχεται από την χαμηλή κλίση σχηματισμού, η οποία μοιάζει μία ασπίδες πολεμιστών. Το χαμηλό πεπλατυσμένο σχήμα των ηφαιστείων αυτού του τύπου προέρχεται από τις μεγάλες εκχύσεις λεπτόρρευστου βασάλτη, ο οποίος εξαπλώνεται σε μεγάλες ποσότητες από την κορυφή ή από πλευρικές σχισμές του ηφαιστείου. Χαρακτηριστικό του βασάλτη είναι η ανασταλτική του ιδιότητα να δημιουργεί ηφαιστειακούς κώνους και πλαγιές πάνω από 7°. Τυπικό παράδειγμα ασπιδωτού ηφαιστείου είναι η Χαβάη γι' αυτό το λόγω χρησιμοποιείται συχνά ο όρος

Χαβαϊκού τύπου αντί για ασπιδωτού. Αν και αυτού του τύπου τα ηφαίστεια δεν είναι τόσο δραματικά οπτικά όσο τα στρωματοηφαίστεια συχνά έχουν μεγαλύτερη εκρηκτική δραστηριότητα. Για παράδειγμα τα ωκεάνια ασπιδωτά ηφαίστεια της Χαβάης μπορούν να εξαπλώσουν το έδαφός της, έως και 8000m ενώ γύρω από τη βάση έως και 12.000m, (πηγή: Smithsonian Institute, http://volcano.si.edu/learn_galleries).

• Στρωματοηφαίστεια-Σύνθετα ηφαίστεια - Stratovolcanoes

Ένα σύνθετο ηφαίστειο, είναι ο πιο συνήθης τύπος ηφαιστείου και εναλλάσσεται μεταξύ των εκρηκτικών εκπομπών πυροκλαστικών υλικών και σχετικά ήρεμων εκχύσεων λάβας. Ως αποτέλεσμα αυτού δημιουργείται ένας ηφαιστειακός κώνος, ο οποίος αποτελείται από εναλλασσόμενα στρώματα υλικών (για αυτό τον λόγο ονομάζονται και σύνθετα ηφαίστεια). Τέτοιου είδους ηφαιστειακή δράση δημιουργεί τέλειους συμμετρικούς κώνους. Επίσης, η εναλλαγή της δραστηριότητάς του προκαλείται όταν, τελειώνει η ήρεμη δραστηριότητά του σχηματίζοντας ένα «πώμα» στερεοποιημένης λάβας μέσα στον αγωγό του ηφαιστείου, επιτρέποντας τη σταδιακή αύξηση της πίεσης και προκαλώντας τις ιδανικές συνθήκες για μία βίαιη έκρηξη πυροκλαστικών υλικών. Αυτού του είδους τα ηφαίστεια δίνουν τις μεγαλύτερες καταστροφές κατά τη διάρκεια της έκρηξής τους, (Stewart & Head, 2001).

• Κώνος Σκωριών – Cinder Cone Volcano:

Είναι ο συνηθέστερος τύπος ηφαιστείου. Επίσης είναι ο μικρότερος σε ύψος συνήθως κάτω από 300m. Βρίσκεται είτε ως ξεχωριστό ηφαίστειο είτε σε πεδία βασαλτικών λαβών ή ως παρασιτικός κώνος στις πλευρές ασπιδωτών ηφαιστείων και στρωματοηφαιστείων. Οι κώνοι σκωριών αποτελούνται κυρίως από βασαλτική τέφρα που εκτοξεύεται από το ηφαίστειο. Εμφανίζουν απότομες πλευρές, έως 35°, μολονότι στους παλαιότερους και πιο διαβρωμένους κώνους οι πλευρές είναι πιο ομαλές, από 15-20 μοίρες. Αντίθετα, από τους άλλους δύο τύπους ηφαιστείων, έχουν ευθείες πλευρές και πολύ μεγάλους κρατήρες σε σχέση με το μικρό μέγεθός τους. Είναι συνήθως συμμετρικοί, αν και πολλοί κώνοι σκωριών έχουν ασύμμετρο σχήμα που οφείλεται στη τέφρα που συγκεντρώνεται στη μία πλευρά του κώνου λόγω του πνέοντος ανέμου. Αποτέλεσμα αυτού είναι ο κώνος να έχει επίμηκες σχήμα ή και σε κάποια από τις πλευρές του να διογκώνεται ή να διαρρηγνύεται λόγω της διείσδυσης βασαλτικής λάβας. Συχνά το εσωτερικό τους έχει κόκκινο χρώμα λόγω της οξείδωσης, (*Poldervaart,1971*).

• Καλδέρες – Calderas

Οι καλδέρες είναι μεγάλες ηφαιστειακές κοιλότητες που δημιουργούνται από την κατάρρευση της κεντρικής κορυφής ή πλαγιάς του ηφαιστείου, σε μεταγενέστερους θαλάμους που έχουν εκκενωθεί από τις πολύ μεγάλες εκρήξεις ή τη συλλογή μεγάλου όγκου ροών λάβας. Η καλδέρα έχει συνήθως 100km σε πλάτος πολλές από αυτές περιέχουν μέσα πολλές λίμνες. Οι καλδέρες μπορεί να έχουν απλή δομή, η οποία

δημιουργείται κατά τη διάρκεια μίας μεγάλης έκρηξης ενός στρωματοηφαιστείου ή ενός συμπλέγματος πολλών ηφαιστείων, όπως το Crater Lake στο Όρεγκον. Άλλες δημιουργούνται από την ένωση πολλών καταρρεύσεων, όπως η μαζική 30 x 100 km καλδέρα Toba στη Σουμάτρα, η οποία σχηματίστηκε κατά τη διάρκεια τεσσάρων εκρήξεων, οι οποίες χρονολογούνται στην εποχή του Πλειστόκαινου. Ο προκείμενος όρος επίσης χρησιμοποιείται και στη μορφολογία για να περιγράψει τις ηφαιστειακές κοιλότητες που σχηματίζονται από φαινόμενα διάβρωσης και ηφαιστειακών κατολισθήσεων, (<u>http://volcano.si.edu/learn_galleries</u>).

3.4: Αίτνα

Στο ηφαίστειο της Αίτνας αποδίδεται ο όρος του ενεργού ηπειρωτικού ηφαιστείου, γνωστό για την εκρηκτικότητά του, από την εποχή του Ολόκαινου (700.000-500,000 χρόνια π.Χ., B.P., Romano, 1982). Χωροθετείται στις ανατολικές ακτές της Σικελίας (Ιταλία), κοντά στις επαρχίες της Κατάνια και της Messina με συντεταγμένες 37°45.3'N 14°59.7'E, (WGS '84). Είναι το ψηλότερο ενεργό ηφαίστειο στην Ευρωπαϊκή ήπειρο με υψόμετρο 3.329m (10,922ft), το οποίο δημιουργήθηκε με την έκρηξη του 1994, με διάμετρο βάσης 1.200 km^2 (47 km N-S x 38 km E-W) και βασική περίμετρο 140km ,(Murray, 1990). Η ηφαιστειακή δομή του, ωστόσο ξεκινάει υπογείως με κλίση από τα βορειοδυτικά (περίπου 1000 μέτρα υψόμετρο) μέγρι τα Νοτιοανατολικά όπου βρίσκεται κάτω από το επίπεδο της θάλασσας, (Bousquet & Lanzafame, 2004). Ενώ ο όγκος των ηφαιστειακών προϊόντων πιθανότητα δεν υπερβαίνει τα 350km³. Στην εικόνα 12 δείχνεται το ηφαίστειο της Αίτνας, το που χωροθετείται στην Σικελία. Επιπλέον, στην εικόνα 13 απεικονίζεται το ανάγλυφο του ηφαιστείου χρησιμοποιώντας ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους ASTER GDEM, τα γαρακτηριστικά του οποίου παρατίθενται στην ενότητα 4. Επίσης, αποτυπώνεται και στις δύο εικόνες το υδρογραφικό, το οδικό δίκτυο, ο οικιστικός ιστός, η περιοχή της Valle del Bove καθώς και οι κεντρικοί κρατήρες του ηφαιστείου.



Εικόνα 12: Απεικόνιση του ηφαιστείου της Αίτνας, του οδικού δικτύου, του υδρογραφικού, των κύριων πόλεων των κρατήρων και της περιοχής Valle Del Bove (λογισμικό επεξεργασίας ArcGIS 10.3)



Εικόνα 13: Αποτύπωση του ανάγλυφου της Αίτνας με τη χρήση του Ψηφιακού Μοντέλου Ανάγλυφου ASTER GDEM 30m, καθώς και του οδικού δικτύου, του υδρογραφικού δικτύου, του οικιστικού ιστού, της περιοχής Valle del Bove και των κεντρικών κρατήρων, (λογισμικό ArcScene 10.3)

Παρουσίαση του ηφαιστείου της Αίτνας με τη χρήση

Μεταβαίνοντας στο γεωλογικό υπόβαθρο της Αίτνας παρατηρείται ότι βρίσκεται, πάνω από το περιθώριο των συγκλινουσών τεκτονικών πλακών, της Αφρικάνικης και της Ευρασιατικής. Συντίθεται από τη μετατόπιση των τεκτονικών πλακών, στην οποία η Αφρικάνικη κινείται πάνω από την Ευρασιατική. Γι' αυτό το λόγο η Ευρασιατική λιώνει και υποχωρεί. Αυτή η διεργασία είναι ο κύριος παράγοντας της δημιουργίας του μάγματος, το οποίο ανυψώνεται, εκρήγνει λάβα και σκόνη με τα οποία δημιουργείται το ηφαίστειο. Ειδικότερα, στοιχεία έχουν δείξει ότι τις δυο τελευταίες δεκαετίες ο εκρηκτικός ρυθμός της Αίτνας ήταν 1m/s, (Coltelli et al., 1998). Επιπλέον, το ηφαίστειο βρίσκεται δίπλα στο όριο των δύο σημαντικότερων δομικών μονάδων αυτής της περιοχής, (Lentini, 1982) και στο ηπειρωτικό άκρο της Ιόνιας λεκάνης, η οποία προήλθε από την τυρρηνική φλοιό και το Hyblean Foreland, που συνθέτουν το μικρό παραμορφωμένο βορειότερο τμήμα της αφρικάνικης πλάκας. Κυρίως, αποτελείται από παχιές ανθρακικές πετρώδεις αλληλουχίες από την ηλικία του Τριάσιου μέχρι του Πλειστόκαινου.

Το ηφαίστειο της Αίτνας αποτελείται από πέντε κρατήρες οι οποίοι είναι οι εξής: ο NEC (North-East crater), ο οποίος δημιουργήθηκε το 1911, ο Voragine το 1945, ο οποίος είναι ο κεντρικός κρατήρας, ο Bocca Nova, που δημιουργήθηκε το 1968 και ο SEC (South-East crater), ο οποίος δημιουργήθηκε το 1971 και ο NSEC (New South East Crater) με έτος δημιουργίας το 2009 ενώ βρίσκεται στην τοποθεσία της Valle del Bove, (Neri et al., 2011).

3.5: Τα είδη βλάστησης της Αίτνας και το υψόμετρο που εντοπίζονται

Το ηφαίστειο της Αίτνας εκτός από το επιστημονικό ενδιαφέρον που έχει, λόγο της ενεργητικότητάς του σχεδόν ετησίως, παρουσιάζει και μία μεγάλη ποικιλία σε είδη βλάστησης, τα οποία οριοθετούνται ανάλογα με το υψόμετρο που εμφανίζονται (εικ. 14). Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται τα κύρια είδη βλάστησης του ηφαιστείου.



Εικόνα 14: Κατηγοριοποίηση των ειδών βλάστησης με κριτήριο το υψόμετρο, (Puglisi, 2012)

Είδη Βλάστησης	Χαρακτηριστικά των ειδών
Stereocaulon vesuvianum	Ποώδες, καλύπτει μεγάλες περιοχές της
	λάβα με ασημί γκρι χρώμα
Rumex scutatus	Ποώδες, φωλιάζει σε βραχώδεις
	χαράδρες και τον Ιούνιο παίρνει ερυθρές
	αποχρώσεις
Genista aetnensis	Δενδρώδης, τυπικό χαρακτηριστικό στο
	τοπίο της Αίτνας. Αποτελεί την
	πρωταρχική βλάστηση του ηφαιστείου,
	κατάλληλο για τον αποικισμό νέων
	υποστρωμάτων λάβας. Χωροθετείται
	κυρίως στην Σαρδηνία και στην Κορσική.
Λειχήνες και βρύα πάνω σε βράχους	Ποώδη κοινότητες επί το πλείστον από
	την κατηγορία Tuberarietea guttatae και
	σε ορισμένα σημεία από το Stellaria
	media
Κατηγορία Therophyte	Ρηχό έδαφος που κυριαρχείται από
	νανοειδή φυτά
	και πολυετή
Spartium junceum, Pistacia	Σε χαμηλότερα υψόμετρα, θάμνοι
terebinthus	
Genista aetnensis	Βρισκεται σε μεγαλυτερα υψομετρα
Quercus ilex, Quercetea ilicis	Σκληροφυλλικη βλαστηση ειδη ζυλειας,
	ανηκει στο ειδος Quercus pubescens
Concernation	θερμοφυλλά φυλλοβολά όρυων
Crassulaceae	Θαμνωσες, ανήκει στο γενος Sedum
Estate assuments	Νιτροφυλλά είση, ευρεως διάδεδομενά σε
Ferula communis	παλαιότερες λαρές
Centranthus ruber Senecia ambiguus	Avnkowy oto sídoc phanerophyte
Scronhularia canina Helichrysum	συνκεκοιμένα είναι πολυετή ποώδη που
italicum , Euphorbia characias	βοίσκονται σε ονκόλιθους λάβας
Dagala	Απιμουργούνται όταν η ροή λάβας από
	μία έκοηξη δεν καλύπτει όλο το έδαφος
	και δημιουργούνται κάποιες επικαλύψεις
	διαφόρων ειδών
Pinus laricio	Δασική βλάστηση του Poiret
	πευκοδάσους. Δάση καστανιάς, τα οποία
	αρχικά είχαν εισαχθεί από τον άνθρωπο,
	ilex belt είναι οι δύο δασικές εκτάσεις μη
	χλωριδικού τύπου αλλά είναι σαφώς
	καθορισμένες.

Πίνακας 1: Τα είδη βλάστησης της Αίτνας, (Puglisi, 2012).

Astragaletum siculi	Ποώδες, τυπικό είδος φυτού στα μεγάλα
	ύψη του ηφαιστείου

3.6: Γεωλογική σύνθεση της Αίτνας

Το ηφαίστειο της Αίτνας κατατάσσεται στην κατηγορία των σύνθετων ηφαιστείων ή στα στρωματοηφαίστεια και στον τύπο Strombolian. Συνήθως, τα ηφαίστεια τέτοιου είδους έχουν ένα πολυεπίπεδο ή στρωματοποιημένο σχηματισμό με εναλλασσόμενες ροές λάβας, τέφρα, πυροκλαστικές ροές, ηφαιστειακούς χείμαρρους λάσπης (lahars) και/ή ροές συντριμμιών. Τα σύνθετα ηφαίστεια περιέχουν περισσότερο διοξείδιο του πυριτίου (SiO₂) και το μάγμα είναι περισσότερο παχύρευστο. Συγκεκριμένα, ανάλογα με τη σύσταση του μάγματος διαφοροποιούνται και τα χαρακτηριστικά του ηφαιστείου. Δηλαδή, αν το μάγμα έχει περιεκτικότητα σε οξείδιο του πυριτίου μεγαλύτερη από 65% (SiO₂ > 65%) τότε χαρακτηρίζεται ως όξινο και όταν φτάνει στην επιφάνεια, η θερμοκρασία του ανέρχεται στους 900°C, ενώ αντίστοιχα προκαλείται έκρηξη όταν το μάγμα υπερβαίνει τον σχηματισμό του. Αντίθετα, όταν το SiO₂< 50% τότε το μάγμα ονομάζεται βασαλτικό, είναι λιγότερο εκρηκτικό και έχει θερμοκρασία 1.200°C. Ένα άλλο φαινόμενο το οποίο εντοπίζεται στο συγκεκριμένο ηφαίστειο είναι η περιοδική έκλυση αερίων από τις πλαγιές που συχνά δημιουργούν την πιθανότητα καταστροφής του. Επιπλέον, βασικά γαρακτηριστικά του είναι τα επίπεδα από πυροκλαστικό³ υλικό, η λάβα γύρο από τον κρατήρα και η κλίση του ηφαιστειακού κώνου του, η οποία είναι μεγαλύτερη από 40° .

Αξιοσημείωτο φαινόμενο είναι ότι, οι επιφάνειες των ενεργών περιοχών υποβάλλονται σε ταχείες αλλαγές λόγω της εναπόθεσης των νέων ροών λάβας και πυροκλαστικών πετρωμάτων (σκωρίας, λιθαρίων, στάχτης⁴ και τέφρας, (Behncke et al., 2004, 2006) που δημιουργούν νέες επιφάνειες και υποβαθμίζουν τις παλιές, (Thouret, 1999). Σύμφωνα με τους Stretch & Viles (2002) οι ροές λάβας επηρεάζονται από τις καιρικές συνθήκες και η βλάστηση αυξάνεται ταχύτερα απ' ό,τι σε άλλες περιοχές της επιφάνειας. Απόρροια λοιπόν αυτού, είναι ότι σε λίγα χρόνια οι πρόσφατες ροές λάβας θα αρχίσουν να διαβρώνονται και να καλύπτονται από βλάστηση, ενώ λόγω αυτού θα θεωρούνται παλαιωμένες. Άρα, παρατηρείται η συνεχόμενη επικάλυψη των παλιών λαβών από νέες ροές και πεδία τέφρας.

Συνεχίζοντας, γίνεται αναφορά στις ροές λάβας και στην ορυκτολογική σύσταση της Αίτνας. Κυρίαρχο είδος εκροής λάβας είναι η βασαλτική. Γενικότερα, η βασαλτική λάβα δεν ρέει τόσο εύκολα είναι λιγότερο εκρηκτική και η θερμοκρασία

³ Πυροκλαστικά Υλικά: Βρίσκονται σε μορφή στάχτης, έχει μέγεθος <2mm. Αποτελείται κυρίως από πολύ λεπτούς κόκκους, υαλώδη κρύσταλλα (shards), αλλά και από θρυμματισμένους κρυστάλλους και λιθικά ορυκτά.

⁴ Δείγματα στάχτης αποτελούνται από διάφανο ανοιχτό καφέ, φυσαλιδώδη υαλώδη κλαστικά (sideromelane), μαύρο crypto ή μικρο-κρυσταλική, θολούς κόκκους (tachylite) και αναλυτικά πλαγιόκλαστα, κλινοπυροξενούς και ολιβίνη κρυστάλλων, τα οποία σχηματίζουν την κοινή φαινοκρυσταλλική συνάθροιση, (Coltelli et al., 1998).

της ανέρχεται στους 1200°C. Κύριο χημικό στοιχείο της βασαλτικής λάβας είναι το διοξείδιο του πυριτίου (SiO₂) με περιεκτικότητα 45-55% wt. Επίσης, έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε σίδηρο (Fe), μαγνήσιο (Mg), ασβέστιο (Ca) και χαμηλή σε κάλιο (K) και νάτριο (Na). Ο τύπος μάγματος της Αίτνας εμφανίζεται με λιγότερη περιεκτικότητα σε TiO₂, από αυτή του Χαβαϊκού τύπου αλλά με περισσότερη περιεκτικότητα σε οξείδιο του ασβεστίου (CaO) και οξείδιο του αργιλίου (Al₂O₃), (Tanguy, 1966, 1978 Tanguy and Clocchiatti, 1984).

3.7: Τα είδη των λαβών της Αίτνας

• 3.7.α: Λάβα Α-Α

Η λάβα της Αίτνας χαρακτηρίζεται ως μία ιδιόμορφη περίπτωση διότι εμφανίζεται με δύο μορφές, είτε ως Α-Α είτε ως Pahoehoe. Η ονοματοδοσία της λάβας Α-Α προέρχεται από τη νήσο Χαβάη, για τις ροές λάβας που έχουν μία τραχύ χαλκώδη επιφάνεια, η οποία αποτελείται από θραύσματα ογκολίθων, τα οποία ονομάζονται clinkers. Η απίστευτα ακανθώδης επιφάνεια μίας στερεοποιημένης Α-Α ροής κάνει τη διέλευση της περιοχής δύσκολη και αργή. Στην πραγματικότητα, η επιφάνεια clinkery καλύπτει ένα τεράστιο πυκνό πυρήνα, ο οποίος είναι το πιο ενεργό τμήμα της ροής. Ως πολτώδες λάβα στον πυρήνα ταξιδεύει στο κατερχόμενο τμήμα και τα clinker μεταφέρονται κατά μήκος της επιφάνειας του ηφαιστείου. Ωστόσο, στην αιχμή της ροής του συγκεκριμένου είδους λάβας, προκαλείται ψύξη με αποτέλεσμα την πτώση θραυσμάτων από το απόκρημνο μέτωπο και την επικάλυψή τους από την προωθούμενη ροή.

• 3.7.β: Λάβα Pahoehoe

Αποδόθηκε ο όρος αυτός ξανά από την Χαβάη και χαρακτηρίζει μία βασαλτική λάβα, η οποία είναι ομαλή με διαδοχικά αναχώματα και με διαγραμμισμένη επιφάνεια. Η ροή λάβας τύπου Pahoehoe προβάλλεται συνήθως ως μία σειρά από «μικρούς λοβούς και ποδιών» που συνεχώς ξεσπάει από έναν ψυχρό φλοιό. Η υφή της επιφάνειάς της ποικίλει σε μεγάλο βαθμό, εμφανίζοντας πολλά παράξενα σχήματα και για αυτόν τον λόγο συχνά αναφέρεται ως «γλυπτική λάβα», (U.S Geological Survey, 2008).

3.8: Ορυκτολογική σύσταση των ροών λάβας της Αίτνας

Σύμφωνα με τους Kamenetsky & Clocchiatti (1996), τα ηφαιστειακά πετρώματα της Αίτνας αποτελούν μία σύνθεση χρονικής ακολουθίας αρχίζοντας με 0,5-0,7 Μα χαμηλής περιεκτικότητας σε οξείδιο του καλίου K_2O και σε P_2O_5 (θολεΐτες) ενώ επιπλέον αποτελούνται από πυριγενή πετρώματα (SiO) (undensaturated) και βασαλτικά εμπλουτισμένα με K_2O . Επίσης, ορισμένα πετρώματα παρουσιάζουν μία διαφοροποιημένη σειρά από χαβαΐτες, τα οποία αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος της νεότερης σύστασης του ηφαιστείου, (*Tanguy*, 1978 & 1980, Romano, 1982, Chester et al., 1985). Αξιοσημείωτη είναι, η προέλευση του αλκαλικού μάγματος στις κυρίαρχες λάβες, το οποίο αναβλήθηκε τα τελευταία 200.000 χρόνια και κατά πόσο αυτές οι λάβες προέρχονται από μία ξεχωριστή πηγή του μανδύα, ή εναλλακτικά αν προκύπτει από τα στάδια της polybaric⁵ αποσύνθεσης της λιωμένης θολεΐτικής λάβας, στα νεότερα χρόνια. Επιπλέον, υπάρχει μία συστηματική συνάθροιση πετρωμάτων τύπου φαινοκρυστάλλων και μαγματικών (με μορφή κρυστάλλου, ρευστού και «λιωμένου»), τα οποία είναι εγκλεισμένα από τους πιο πρωτόγονους (από άποψη του περιεχομένου τους σε MgO) βασάλτες. Οι τελευταίοι ανήκουν σε ομάδες διαφορετικής ηλικίας και σε διαφορετικές γεωχημικές συγγένειες (θολεΐτηςμεταβατικός-αλκαλικός), (*Tanguy*, 1978).

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της έρευνας είναι νοτιοανατολική περιοχή κοντά στο Castello και το Aci Trezza, στην οποία εμφανίζεται η σύνθεση από υποθαλάσσια pillow lavas⁶ και υαλοκλαστίτες. Αντίθετα, στη νοτιοδυτική περιοχή του Adrano σχηματίζονται υπό χερσαίες συνθήκες. Οι βορειοδυτικές ροές λάβας μήκους 5-7km² έχουν μορφολογία pahoehoe, ενώ τα πετρώματα είναι μαζικά και ασθενώς πορφυριτικά με φαινοκρυσταλική ολιβίνη (5-10%), πλαγιοκλαστικά (0-2%) και κλινοπυρόξενα, οι Ti-μαγνητίτες και ο ιλμενίτης συνθέτουν την δολεριτική⁷ επιφάνεια.

Τέλος, σύμφωνα με τους Tanguy et al. (1996) η κύρια ορυκτολογική σύσταση των λαβών της Αίτνας αποτελείται από 8 διαφορετικές κατηγορίες πετρωμάτων, οι οποίες παρουσιάζονται στον πίνακα 1.

Πίνακας 2: Οι κατηγορίες των κύριων πετρωμάτων του ηφαιστείου της Αίτνας

1.	Θολεΐτες με ολιβίνη
2.	Θολεΐτες με πιζονίτη

⁵ Όταν δημιουργείται τήξη τύπου polybaric petrogenesis σε έναν βασάλτη σημαίνει ότι τα υγρά συστατικά του σταδιακά διαχωρίζονται από τα κατάλοιπα σε ένα ευρύ φάσμα πιέσεων και στη συνέχεια αναμειγνύονται και προχωράνε μέσα από στο μανδύα χωρίς να υπάρχει εξισορρόπηση με τα υπόλοιπα ορυκτά του μανδύα. Το μοντέλο αυτό αναπτύχθηκε για την καλύτερη προσέγγιση της πετρογένεσης του βασάλτη καθώς και την μοντελοποίηση και τα πειράματα, (Asimov et. al., 2004).

⁶ Pillow lavas: Είναι το είδος των λαβών που περιέχει χαρακτηριστικές δομές σχήματος «μαξιλαριού», ο οποίος αποδίδεται στην εξώθηση λάβας κάτω από το νερό. Οι pillow lavas χαρακτηρίζονται ως πέτρωμα από παχιές ακολουθίες συνεχόμενων μαξιλαριών με σχήμα μάζας, με διάμετρο μέχρι ενός μέτρου. Σχηματίζουν το δεύτερο ανώτερο τμήμα του ωκεάνιου φλοιού. Οι Pillow lavas συνήθως είναι βασαλτικής σύνθεσης αλλά μπορεί να σχηματίζονται και με κοματίτες, πικρίτες, μπονινίτες (συναντώνται σπάνια), βασαλτικοί ανδεσίτες, ανδαασίτες ακόμα και με δακίτες ("McCarthy, T. & Rubidge, B. 2008).

⁷Δολορίτης: Χαρακτηρίζεται από μεσαίου μεγέθους κόκκους πορφυριτικών πετρωμάτων, τα οποία κυριαρχούνται από φαινοκρυστάλλους ολιβίνης και αυγίτη σε μία λεπτομάζα από πλαγιόκλαστα, αυγίτη, ολιβίνη και γυαλί, (*Matt Genge*, 2013).
- 3. Μεταβατικός πιζονίτης
- 4. Πορφυρικός αλκαλικός βασάλτης
- 5. Πορφυρικός τραχειβασάλτης
- 6. Πορφυρικός και αφανιτικός τραχειανδεσίτης
- 7. Αφανιτικός τραχείτης
- 8. Αφυρικός βασάλτης και τραχειτικός βασάλτης

3.9: Οι σημαντικότερες εκρήξεις της Αίτνας

Η εκρηκτική δραστηριότητα του ηφαιστείου της Αίτνας καταγράφεται από Προ Χριστού. Συγκεκριμένα οι μεγαλύτερες καταστροφές χωροθετούνται στην Κατάνια, ενώ υπήρξαν μεγάλες απώλειες πληθυσμών (1815) και ολέθριες επιπτώσεις στον φυσικό και τεχνικό πλούτο των παραλιακών περιοχών της Ιταλίας, (περίπτωση έκρηξης το 1669, 1693 κ.λπ.). Αναλυτικότερα, στον πίνακα 3 καταγράφονται τα σημαντικότερα γεγονότα, τα οποία διαδραματίστηκαν κατά την διάρκεια των τελευταίων 20 χρόνων.

Πίνακας 3: Καταγραφή των εκρήξεων της Αίτνας των τελευταίων 20 χρόνων (πηγή: <u>www.volcanolive.com/etna2.html</u>, Smithsonian Institute, <u>http://volcano.si.edu</u>, Sezione di Catania-Observatorio Etneo - INGV)

Χρονολογία	Περιοχή ή/και Κρατήρας	Σχολιασμοί
1910	Monte Castello μέχρι το Montagnuola	Σχηματίσθηκαν πάνω από 20 κρατήρες, οι οποίοι εκτίναξαν λάβα, πυρακτωμένα λιθάρια (incandescent lapili), βόμβες, μαζί με σύννεφα που περιείχαν ατμό και στάχτη Σχηματισμός ρεύματος πλάτους 1.500m, το οποίο κινούταν με 0.018 km/h Οι ροές λάβας κατέστρεψαν μεγάλο μέρος του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος των πόλεων
1928	Serra delle Concazze (άνοιγμα αεραγωγού)	Η πόλη Mascali ως επί των πλείστον. Αυτή ήταν η πιο καταστροφική έκρηξη του ηφαιστείου της Αίτνας και από αυτή του 1669
1940	Ταορμίνα & Κατάνια	Η Cisterna Regina καταστράφηκε. Η έκρηξη του 1910 διήρκεσε 29 ημέρες.
1947	Βορειοανατολικός κρατήρας	Μια συνεχής κατάθεση λιθαριών και ηφαιστειακών κάλυψε την περιοχή Giarre
1960	Voragine	Δασικές πυρκαγιές δημιουργήθηκαν από πυρακτωμένα πυροκλαστικά πετρώματα μέχρι και 7km από τα 1,700-1,800m. Η περιοχή που πλήχθηκε περισσότερο ήταν η

		Linguaglossa-Fiumefreddo,
1979	Νοτιοανατολικός	Η έκρηξη παρήγαγε στάχτη στην Κατάνια και
	κρατήρας	στις Συρακούσες προκαλώντας το κλείσιμο
		του αεροδρομίου της Κατάνια.
1981	Βορειοανατολική	Ήπια στρωματοηφαιστειακή δραστηριότητα
	ρωγμή του	
	ηφαιστείου	
1983	Από σχισμή του	Για 131 ημέρες η έκρηξη χαρακτηρίζεται από
	ηφαιστείου	επικαλυπτόμενες ροές.
		Ανθρώπινη εκτροπή της λάβας με την δύο
		εμποδίων στο Piano της περιοχής Vetore
		Διάσωση της ζώνης του πευκοδάσους la Serra
		Nava
1986	Βορειοανατολικός	Υδροηφαιστειακή έκρηξη ύψους 10-13km,
1000	κρατήρας	τέφρα και νέφος 80km
1990	Νοτιοανατολικός	Λιθάρια και στάχτη στη ΒΔ πλευρά
	κρατήρας	stefano di Camastra μένοι τη Barcellona
		Pozzo di Gotto.
1992	Zafferana	Εκτροπή ροής λάβας
		Κατασκευή φράγματος πλάτους 234m και
		ύψους 21m
		Το ενεργό μέτωπο της λάβας σταμάτησε μόλις
		850m έξω από τη Zafferana
1991-1993	Σχισμή στην	Η πιο ογκώδης έκρηξη στην πλευρά της
	ανατολική πλευρά	Αίτνας κατά τους τελευταίους τρεις αιώνες.
	του νοτιοανατολικού	Η μακρά διάρκεια και ο χαμηλός ρυθμός
	κρατήρα	διάχυσης την κατέστησε λιγότερο επικίνδυνη
		απ' ότι άλλες πρόσφατες εκρήξεις, όπως το
		1981 και το 1989
1995	Βορειοανατολικός	Η έκρηξη διατάραξε τις πτήσεις προς
	κρατήρας	Κατάνια, επηρέασε την οδική κυκλοφορία και
1000	·	κατέστρεψε τη βλάστηση
1998	Voragine	Εκρήξεις ύψους 9 χιλιομέτρων
		Ηφαιστειακά λιθάρια και τέφρα έπεσαν νότια-
		νοτιοανατολικά στην Κατάνια, τις
1000		Συρακούσες, τη Zafferana και την Κατάνια
1999	voragine & Bocca	Ηπια ηφαιστειακη δραστηριοτητα
	Inuova	Αιθαρία και τεφρα επεσαν στην ανατολική
2001 2002	Nomon	πλευρα μεχρι την ακτη Giarre
2001-2002	ινοτιοανατολικος	2ημαντικές ζημιές σε τουριστικές
	κρατηρας	εγκαταστασεις
		Αρκετες ημερες απειλουσε την πολη Nicolosi

		Δημιουργήθηκαν 7 εκρηκτικές ενεργές σχισμές, πέντε στην ανατολική πλευρά μεταξύ των 3.050 και 2.100m και δύο στην βορειοανατολική πλευρά μεταξύ 3.080 και 2.600m
2002-2003	Νότια σχισμή	Μία από τις πιο έντονες εκρήξεις τα τελευταία 150 χρόνια Η τέφρα έπεσε τόσο μακριά ως το ελληνικό νησί της Κεφαλονιάς Έντονη σεισμικότητα και άνοιγμα ρωγμών στις νότιες και νοτιοανατολικές πλαγιές του ηφαιστείου
2004-2005	Valle del Bove	Κατά τη διάρκεια των ροών λάβας, δεν υπήρχαν εκρήξεις στην κορυφή
2006	Σχισμή στην ανατολική πλευρά του νοτιοανατολικού κρατήρα	Ροή λάβας που εξαπλώθηκε 3km ανατολικά από τη Valle del Bove.
2008	Νοτιανατολικός κρατήρας	Δύο σχισμές μεταξύ 3.050 και 2.650 m στην άνω πλευρά ανατολικά της Αίτνα. Οι σχισμές εξήγαγαν ροές λάβας 5km στην περιοχή Valle del Bove.
2009	Νοτιοανατολικός κρατήρας	Σεισμός μεγέθους 4.4 Richter στη ΝΔ πλευρά και σε βάθος 10 km
2010	Νοτιοανατολικός κρατήρας	Η έκρηξη μεγένθυνε τον κρατήρα από 10m έως 50m Σειρά σεισμών στην Pernicana Ζημιές στις πόλεις Ragabo, Mareneve, Linguaglossa, Piano Provenzana Ragabo κατακόρυφη μετατόπιση εδάφους 20cm
2011	ΒΑ κρατήρας & ΝΑ κρατήρας	Σεισμική δραστηριότητα Εκρηκτική δραστηριότητα τύπου strombolian, στον ΝΑ κρατήρα Μερική κατάρρευση στο εσωτερικό του κώνου (ΝΑ κρατήρας)
2013	Εκρήξεις σε 3 κρατήρες	Πέντε αιφνίδιες εκρήξεις στον NSEC Μαγματική δραστηριότητα του Voragine μετά από το 1999 Εκρήξεις Strombolian και μικρές εκτοξεύσεις λάβας στον κρατήρα Bocca Nuova
2014	Νέο Νοτιοανατολικό κρατήρα (NSEC)	Ροές λάβας κατευθύνθηκαν προς την Valle del Bove και BA του Monte Simone
2015		Εκπομπές τέφρας

4. Τα Δεδομένα

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλυθούν τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την παρούσα εργασία.

4.1: Υπερφασματικά δεδομένα του αισθητήρα Hyperion

Η αναζήτηση και η λήψη των εικόνων του δέκτη Hyperion έγινε από την σελίδα αναζήτησης του GLOVIS της USGS (US.Geological Survey). Το περιβάλλον της σελίδας παρουσιάζεται στο παράρτημα.

Η επιλογή των εικόνων έγινε με βάση τα παρακάτω κριτήρια.

- 1. Η εικόνα να περιλαμβάνει τον κεντρικό κρατήρα που ηφαιστείου
- 2. Το ποσοστό νεφοκάλυψης (cloud coverage) να είναι μικρότερο από 10% και να μην καλύπτει τον κεντρικό κρατήρα του ηφαιστείου.
- 3. Η γωνία λήψης (look angle) της εικόνας από τον δορυφόρο να είναι μικρότερη από 10⁰ κι αν υπάρχει νεφοκάλυψη αυτή να μην εντοπίζεται στην περιοχή του κεντρικού κρατήρα. Συγκεκριμένα, η καλύτερη γωνία λήψης είναι μεταξύ -5° και +5, για την όσο περισσότερο δυνατή αποφυγή της γεωμετρικής παραμόρφωσης της εικόνας.
- 4. Το επίπεδο επεξεργασίας των δεδομένων της εικόνας να είναι Level 1Τ για να εξασφαλιστεί ότι έχουν γίνει οι απαραίτητες ραδιομετρικές και γεωμετρικές διορθώσεις στην εικόνα.
- 5. Η ύπαρξη καταγεγραμμένης έκρηξης με συνοδευόμενη έκχυση λάβας κοντά στους κεντρικούς κρατήρες του ηφαιστείου.

Ειδικότερα, στο κεφάλαιο 3 έγινε η καταγραφή των ημερομηνιών των εκρήξεων της τελευταίας εικοσαετίας. Όμως, τα περάσματα του δορυφόρου Hyperion με σημείο αναφοράς το κέντρο της Αίτνας καλύπτουν μόνο τους τρεις από τους πέντε κρατήρες (North East, Bocca Nuova, Voragine) ενώ επίσης δεν περιέχουν την περιοχή της Valle Del Bove. Άρα, η καταγραφή των εκρήξεων γίνεται μόνο γι' αυτούς του κρατήρες και συγκεκριμένα από το 2000 (έτος εκτόξευσης του δορυφόρου) έως και σήμερα. Αξιοσημείωτο είναι, ότι από το 2000 και μετά παρατηρήθηκε πώς οι περισσότερες εκρήξεις καταγράφηκαν στους κρατήρες South East και New South East καθώς και στην περιοχή της Valle Del Bove (πλευρικές εκρήξεις). Αυτό κατέστησε πιο δύσκολη την εύρεση των επιζητούμενων προϋποθέσεων. Αναλυτικότερα, με βάση τις προϋποθέσεις αυτές δημιουργήθηκε ο πίνακας 4 ο οποίος περιέχει τις διαθέσιμες εικόνες και τις ημερομηνίες των καταγεγραμμένων εκρήξεων. Με βάση αυτόν, επιλέχθηκαν δύο εικόνες με ημερομηνίες λήψης 8/1082009 και 14/7/2012. Οι πίνακες 5 και 6 απεικονίζουν τα χαρακτηριστικά τους, οι 7 και 8 τα κριτήρια επιλογής τους και οι εικόνες.

Πίνακας 4: Καταγραφή των διαθέσιμων εικόνων λήψης και των ημερομηνιών των εκρήξεων στο ηφαίστειο της Αίτνας με έκχυση λάβας

Χρονολογίες	Ημερομηνίες	λήψης	Εκρήξεις	του	ηφαιστείου	με
-------------	-------------	-------	----------	-----	------------	----

	εικόνων	έκχυση λάβας
2000		1-7/11/2000
		29/10-5/11/2000
2002		17-23/7/2002
		30/10-5-11/2002
		6-12/11/2002
		20-26/11/2002
2003	26/6/2003	
	19/7/2003	
	26/7/2003	
	11/8/2003	
2005	29/10/2005	2-8/2/2005
2007	9/7/2007	4-10/4/2007
		11-17/4/2007
		29/8-4/9/2007
2009	8/10/2009	7-13/1/2009
		18-24/3/2009
		27/5-2/6/2009
2010	6/9/2010	
2011	30/6/2011	29/12-4/1/2011
		12-18/1/2011
		6-12/4/2011
		13-19/7/2011
		5-11/10/2011
2012	26/6/2012	29/2-6/3/2012
	14/7/2012	14-20/3/2012
		11-17/7/2012
		15-21/8/2012
		10-16/10/2012
2013	17/5/2013	30/1-5/2/2013
		6-12/2/2013
2015		7-13/10/2015

Πίνακας 5: Τα χαρακτηριστικά της εικόνας του 2009

Scene Name	EO1H1880342009281110PF	
Date of acquisition	8/10/2009	
Spatial Resolution	30m	
Spectral Resolution	10nm	
VNIR calibrated bands	8-55 (426-895 nm)	
SWIR calibrated bands	77-224 (912-2396 nm)	

Site Latitude	37.72946667
Site Longitude	14.95670556
HYP Start Time	09:19:58
HYP Stop Time	09:24:17
Processing Level	1T

Πίνακας 6: Τα χαρακτηριστικά της εικόνας του 2012

Scene Name	EO1H1880342012196110PF	
Date of acquisition	14/7/2012	
Spatial Resolution	30m	
Spectral Resolution	10nm	
VNIR calibrated bands	8-55 (426-895 nm)	
SWIR calibrated bands	77-224 (912-2396 nm)	
Site Latitude	37.72954178	
Site Longitude	14.98737907	
HYP Start Time	09:14:24	
HYP Stop Time	09:18:43	
Processing Level	1T	

Πίνακας 7: Τα κριτήρια επιλογής της εικόνας του 2009

Προϋποθέσεις Επιλογής του αρχείου της εικόνας 2009		
Look Angle	-5,4479	
Cloud Coverage	0-9 %	
Eruptions from the summit craters	 7 -13 Ιανουαρίου 2009 (BN) 18 -24 Μαρτίου 2009 (NC, NW BN vent) 27 Μαΐου-2 Ιουνίου 2009 	

Πίνακας 8: Τα κριτήρια επιλογής της εικόνας του 2012

Προϋποθέσεις Επιλογής του αρχείου της εικόνας 2012			
Look Angle	-1,2394		
Cloud Coverage	0-9 %		
	11 -17 Ιουλίου 2012 (BC crater)		
	15 -21 Αυγούστου 2012 (BC crater)		
Eruptions from the summit craters	10 -16 Οκτωβρίου 2012 (BC crater)		
	29 Φεβρουαρίου-6 Μαρτίου 2012		
	(NE crater)		
	14 -20 Μαρτίου 2012		

Με βάση τις παραπάνω πληροφορίες παρατηρούμε ότι η εικόνα του 2009 έχει ληφθεί περίπου τέσσερις μήνες μετά από την τελευταία έκρηξη του ηφαιστείου ενώ παρατηρούνται και άλλες δύο εκρήξεις την ίδια χρονιά. Αντίθετα, σε προηγούμενα έτη, το πλήθος των εκρήξεων ήταν μία το πολύ δύο εκρήξεις. Έτσι δίνεται η δυνατότητα να μελετηθεί μία πρόσφατη φυσική καταστροφή, να γίνει αποτύπωση νέων ροών λάβας καθώς και σύγκριση των λαβών με παλαιότερες, οι οποίες έχουν καλυφθεί με βλάστηση. Η εικόνα του 2012 έχει ληφθεί κατά τη διάρκεια της πρώτης έκρηξης, όπως βλέπουμε στον πίνακα 8. Αυτό δίνει τη δυνατότητα να εντοπισθούν και να χαρτογραφηθούν νέες λάβες. Επίσης, είναι εξίσου σημαντική η δυνατότητα που δίνεται στην αποτύπωση των διαφορών στο διάστημα τριών ετών (2009-2012).



Εικόνα 15: Το τμήμα του εικόνα του 2012 (ψευδέχρωμη σύνθεση R:45 G:27 B:15). Απεικόνιση μέσα από το google earth με ποσοστό διαφάνειας περίπου 60%)



Εικόνα 16: Η περιοχή μελέτης που καλύπτει η εικόνα του 2012 (ψευδέχρωμη σύνθεση R:45 G:27 B:15). Απεικόνιση μέσα από το google earth με ποσοστό διαφάνειας περίπου 60%)

Και τα δύο περάσματα έχουν κατεύθυνση ΒΔ-ΝΑ με μικρό εύρος, περίπου 8km, τα οποία καλύπτουν τμήμα του ηφαιστείου καθώς και ένα μικρό τμήμα του οικιστικού ιστού, των καλλιεργειών και ελάχιστο τμήμα της θάλασσας. Στην εικόνα του 2009 απεικονίζονται οι πολλές μικρές περιοχές εκ των οποίων οι κυριότερες είναι οι Francoforte, Scordia, Paterno, Belpasso, Ragalna, Segreta, Passopisciaro, Malvagna και Roccella Valdemone. Η δεύτερη εικόνα δεν περιέχει την περιοχή Francoforte αλλά εκτείνεται στα βόρια μέχρι τον κόλπο του Πάτι.

Η περιοχή μελέτης παρουσιάζει μεγάλο επιστημονικό ενδιαφέρον λόγω της συνεχούς ενεργής δράσης του ηφαιστείου. Αυτό έχει επιπτώσεις τόσο σε γεωμορφολογικό επίπεδο όσο και στη διαμόρφωση πολιτικών διαχείρισης τέτοιου είδους φυσικής καταστροφής, η οποία πολλές φορές έχει πλήξει μεγάλες εκτάσεις καλλιεργειών αλλά και οικιστικό ιστό, προκαλώντας μέχρι και ανθρώπινες απώλειες.

4.2: Ψηφιακό μοντέλο εδάφους

Για την οπτικοποίηση σε 3D μορφή, των αποτελεσμάτων των επόμενων κεφαλαίων εκτός από την εξαγωγή θεματικών χαρτών χρησιμοποιήθηκε και ένα Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους ASTER GDEM 30m. Το παρόν προϊόν δημιουργήθηκε από τους METI και NASA και διατίθεται στην ιστοσελίδα http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/. Στον πίνακα 9 αναφέρονται τα γαρακτηριστικά του ASTER GDEM ενώ στην εικόνα απεικονίζεται το ψηφιακό μοντέλο εδάφους της Αίτνας, το οποίο δημιουργήθηκε στο λογισμικό ArcScene 10.3.

Πίνακας 9: Χαρακτηριστικά του ASTER GDEM 30m (πηγή: <u>http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp</u>)

Tile size	3601 x 3601 (1°-by-1°)	
Γεωγραφικές συντεταγμένες Γεωγραφικό μήκος και πλάτος		
Μορφή αρχείου	GeoTIFF, 16bits, 1m/DN,	
	Γεωδαιτικό σύστημα συντεταγμένων	
	WGS84/EGM94 γεωειδές	
Συγκεκριμένες ψηφιακές τιμές	-9999 για εικονοστοιχεία χωρίς	
	πληροφορία και 0 για εικονοστοιχεία	
	υδάτινων περιβαλλόντων	
Κάλυψη	Βόρεια 830-Νότια 83°, 22.600 tilew για	
	την πρώτη έκδοση	
Ακρίβεια DEM (stdev.)	7~14m	



Εικόνα 17: Το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους ASTER GDEM 30m, της περιοχής της Αίτνας, (λογισμικό επεξεργασίας ArcScene 10.3)

4.3: Χάρτες και έρευνες αναφοράς

Για την παρούσα εργασία δημιουργήθηκαν κάποια στάδια επεξεργασίας, τα οποία είχαν ως στόχο τη βελτίωση της πληροφορίας των εικόνων. Έπειτα, εφαρμόστηκαν τεχνικές ταξινόμησης, ο δείκτης βλάστησης και η εξαγωγή θεματικών χαρτών. Οι τεχνικές αυτές είχαν στόχο την προσπάθεια οριοθέτησης των ροών λάβας, των τμημάτων κάλυψης γης, την απεικόνιση των ορυκτών που υπάρχουν στο κεντρικό τμήμα του ηφαιστείου και την μελέτη των πιθανών αλλαγών στη διάρκεια των τριών χρόνων. Ωστόσο, για τον έλεγχο της ορθότητας των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν διάφορες έρευνες αλλά και χάρτες.

Αρχικά, για τον έλεγχο της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων των ατμοσφαιρικών δοκιμών χρησιμοποιήθηκαν, οι φασματικές ταυτότητες κάποιων συγκεκριμένων εικονοστοιχείων έτσι ώστε να μπορούν να συγκριθούν με τα αποτελέσματα των ερευνών των Amici et al (2014) και των Spinetti et al (2009). Οι εικόνες 18 και 19 παρουσιάζουν τα σημεία του ηφαιστείου, στα οποία δείχνονται οι φασματικές υπογραφές μετά από την ατμοσφαιρική διόρθωση.



Εικόνα 18: Φασματικές υπογραφές του άρθρου Amici et al (2014), για το ηφαίστειο της Αίτνας



Εικόνα 19: (a) Η εικόνα Hyperion του ηφαιστείου της Αίτνας, η οποία έχει ληφθεί στις 19 Ιουλίου του 2003. Οι τοποθεσίες των εδαφικών σημείων, που έχουν τοποθετηθεί εντός του πεδίου της εικόνας και υποδεικνύονται με τους αριθμούς τους. (b) Τα διαγράμματα που δείχνουν μία σύγκριση μεταξύ των επίγειων φασματικών υπογραφών των επιλεγμένων τοποθεσιών (μπλε γραμμές) και τα αντίστοιχα φασματικά δείγματα της ίδια θέσης, τα οποία εξάγονται από τον Hyperion (μωβ γραμμές). (c) Η θεματική εικόνα που προέρχεται από τον Hyperion δείχνει την διανομή της τέφρας σε κόκκινο χρώμα, η οποία έχει τοποθετηθεί πάνω σε μία εικόνα ανάγλυφου της περιοχής που προέρχεται από το DEM, το οποίο προήλθε από τον Tarquini.

Για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων καθώς και για την επιλογή του αριθμού των κλάσεων στη μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση ISODATA, χρησιμοποιήθηκαν οι βιβλιογραφικές αναφορές Spinetti et al. (2009), των Amici et al. (2014) και των Allard et al. (2006) που παρέχουν θεματικούς χάρτες με κύριο στοιχείο τις ροές λάβας, έτσι ώστε να γίνει μία προσπάθεια απομόνωσης κάποιων ροών ακόμα και με την αυτόματη ταξινόμηση. Στις εικόνες 20-22 παρατίθενται οι θεματικοί χάρτες των ερευνών αυτών.



Εικόνα 20: a) Χάρτης χρονολόγησης ροών λάβας της Αίτνας και διανομής των διαφόρων ηφαιστειακών ιζημάτων του ηφαιστείου, καθώς οι επιτόπιες μετρήσεις. b) Η περιοχή του ηφαιστείου της Αίτνας στην οποία χωροθετούνται οι κεντρικοί κρατήρες Bocca Nuova (BN), Voragine (VO), Southeast crater (SEC), Northeast crater (NEC) και η περιοχή Belvedere. Οι ηφαιστειακοί κώνοι που σχηματίστηκαν από την έκρηξη του 2001 και του 2002-2003, σε αυτή την περιοχή, (Spinetti et al., 2009).



Εικόνα 21: Δείγματα χρονολόγησης ροών λάβας του ηφαιστείου της Αίτνας. Οι γαλάζιοι κύκλοι υποδεικνύουν τις θέσεις των φασματικών μετρήσεων, (Amici et al., 2014).



Εικόνα 22: Ο χάρτης δείχνει τους κεντρικούς κρατήρες (a) και τις ροές λάβας (b) από τις εκρήξεις του ηφαιστείου της Αίτνας από το 1995 έως το 2005, και οι τοποθεσίες του κεντρικών κρατήρων, (Allard et al., 2006)

Ενώ συνεχίζοντας παρουσιάζονται κάποιοι γεωλογικοί χάρτες (εικ. 23 και 25), στους οποίους αποτυπώνονται οι ροές λάβας καθώς και σε ορισμένους, η χρονολόγησή τους. Οι παρόντες χάρτες θα αποτελέσουν μία επιπλέον πηγή επαλήθευσης των αποτελεσμάτων των ταξινομήσεων καθώς και μία πρώτη προσπάθεια διαφοροποίησης χρονικά των ροών λάβας. Εικόνα 23: Πηγή: Αριστερά: Crisci et al, 2010 Δεξιά: C. D. Negro et al, (2013)











5. Προεπεξεργασία των δεδομένων Hyperion

5.1: Στάδια επεξεργασίας δεδομένων - Preprocessing

Εφόσον το επίπεδο επεξεργασίας των δεδομένων είναι 1Τ σημαίνει ότι είναι ραδιομετρικά και γεωμετρικά διορθωμένα με τη μέγιστη απόκλιση να 'φτάνει' τα δύο εικονοστοιχεία, δηλαδή περίπου τα 60m. Όλη η μέθοδος επεξεργασίας εκπονήθηκε στο λογισμικό ENVI στις εκδόσεις του 4.7 και 5.1. Στο παρακάτω σχήμα (εικ. 26) παρουσιάζεται η αλυσίδα των βημάτων προ-επεξεργασίας.



Εισαγωγή του αρχείου MTL.txt, το οποίο περιέχει, τα μήκη κύματος, FWHM, gains, offsets και την πληροφορίας για τα φασματικά κανάλια χωρίς πληροφορία από τα συνολικά 242.

Μετατροπή μορφής αρχείου από BSQ σε BIL και δημιουργία των συντελεστών κλίμακας (Scale Factors) για τις προϋποθέσεις λειτουργίας του FLAASH (242 bands)

Ατμοσφαιρική διόρθωση (μετατροπή τιμών ακτινοβόλησης σε τιμές ανακλαστικότητας για τα 242 φασματικά κανάλια)

Μείωση φασματικών καναλιών σε 153

Μείωση διαστάσεων του φασματικού θορύβου

Εικόνα 26: Preprocessing Data Chain - Αλυσίδα Προεπεξεργασίας Δεδομένων

Παίρνοντας τα αρχικά δεδομένα θα πρέπει να ακολουθηθεί μία ορισμένη διαδικασία, η οποία έχει ως στόχο την μετατροπή αυτών σύμφωνα με τις απαιτήσεις τόσο του λογισμικού αλλά και ειδικά της ατμοσφαιρικής διόρθωσης (FLAASH). Επίσης, ανάλογα με την έκδοση του λογισμικού υπάρχει μία διαφορά στον τρόπο εισαγωγής των δεδομένων. Δηλαδή, αν γίνει χρήση της νεότερης έκδοσης δεν χρειάζεται καμία μετατροπή της αρχικής μορφής του αρχείου των δεδομένων, διότι το πρόγραμμα αναγνωρίζει την μορφή MTL, η οποία έχει όλες τις πληροφορίες της εικόνας (wavelength, FWHM, gain, offsets και τις 242 φασματικά κανάλια). Στην περίπτωση που θα χρησιμοποιηθεί η παλιότερη έκδοση του λογισμικού, θα πρέπει να εισαχθούν όλα τα κανάλια ξεχωριστά και με την εφαρμογή Layer Stacking να μετατραπούν σε ένα ενιαίο αρχείο μορφής ENVI.standard.

Αυτό όμως, δεν αποτελεί κάποιο πρόβλημα για την παρούσα έρευνα διότι, τα αρχικά στάδια της προεπεξεργασίας των δεδομένων θα εφαρμοστούν στην καινούρια έκδοση του ENVI και ειδικότερα αυτόματα με την εφαρμογή Hyperion Tool 2.0. Το συγκεκριμένο εργαλείο έχει τη δυνατότητα εφαρμογής ορισμένων λειτουργιών με μόνη προϋπόθεση την επιλογή του σωστού τύπου επιπέδου επεξεργασίας δεδομένων. Στην εικόνα 27 γίνεται η παρουσίαση του περιβάλλοντος του εργαλείου, ενώ παρατηρούνται οι διάφορες επιλογές επεξεργασίας ανάλογα με τα δεδομένα που εισάγονται.

🚹 Hyperion Tools	Hyperion Tools	
This toolkit is specifically designed to work with Level 1 and Level 1G/1T HDF or Geo TIFF files. The default ou new ENVI format file containing all bands (just click App Optional processing choices vary by input format.	R HDF tput is a My). This toolkit is specifically des and Level 1G/1T HDF or Ge new ENVI format file contain Optional processing choices	igned to work with Level 1R HDF to TIFF files. The default output is a ing all bands (just click Apply). vary by input format.
C Level 1R C Level 1G/1T	C Level 1R C Level 1G/	<u>11</u>
Input HDF	Input MTL	
Output Path	Output Path	
Attempt Georeferencing	Cutput ENVI Mask Imag	je
Coutput ENVI Mask Image	Convert BSQ Output to	BIP Interleave Factors
Cutput FLAASH Scale Factors		Annie Cancel
Interpolate Data to Common Wavelength Set Delete Interpolation Input File		- Caroa
Apply	Cancel	

Εικόνα 27: Παρουσίαση περιβάλλοντος του Hyperion Tool 2.0

5.2: Ατμοσφαιρική διόρθωση των εικόνων αρχείων Hyperion

Βασική προϋπόθεση για την εφαρμογή της ατμοσφαιρικής διόρθωσης είναι ο επαναπροσδιορισμός της κλίμακας των τιμών των φασματικών καναλιών και ο υπολογισμός της ανακλαστικότητας. Ειδικότερα, πρέπει να σημειωθεί ότι δεν χρειάζεται να μετατραπούν οι ψηφιακές τιμές⁸ της εικόνας σε τιμές ακτινοβόλησης, διότι όπως έχει προαναφερθεί τα δεδομένα είναι ήδη ραδιομετρικά διορθωμένα.

⁸ Ψηφιακή Τιμή (Digital Number-DN): Είναι ο γενικός όρος, ο οποίος χρησιμοποιείται για τα εικονοστοιχεία. Συνήθως χρησιμοποιείται για να περιγράψει τις τιμές των ψηφίδων, οι οποίες δεν έχουν ακόμα βαθμονομηθεί σε φυσικές μονάδες μέτρησης.

Δηλαδή, με τη χρήση των πολλαπλασιαστικών παραγόντων (scale factors), έχουν διαιρεθεί οι τιμές των φασματικών καναλιών του αισθητήρα, που περιέχει το τμήμα του φάσματος του ορατού μέχρι το κοντινό υπέρυθρο (VNIR), με το 40 και οι τιμές των φασματικών καναλιών του αισθητήρα, που περιέχει το τμήμα του φάσματος από το μέσο υπέρυθρο μέχρι και το μικροκυματικό (SWIR), με το 80.

Για την ατμοσφαιρική διόρθωση, χρειάζεται η μετατροπή των αρχικών μονάδων από Watt / (m² x Steradian x μm) σε μWatt/ (cm²x Steradian x nm). Οι πρώτες μονάδες αντιστοιχούν στις τιμές ακτινοβόλησης (radiance)⁹ και οι δεύτερες στις μονάδες ανακλαστικότητας (reflectance)¹⁰. Η μετατροπή αυτή είναι μία διαδικασία που απαιτείται από το λογισμικό FLAASH. Συγκεκριμένα, οι τιμές των φασματικών καναλιών που ανήκουν στο VNIR θα πρέπει να πολλαπλασιαστούν επί 0,10 και να γίνουν 400 και οι τιμές των φασματικών καναλιών που ανήκουν στο SWIR επίσης θα πολλαπλασιαστούν επί 0,10 και θα γίνουν 800. Αυτοί οι αριθμοί αντιστοιχούν για όλα τα φασματικά κανάλια της εικόνας.

Για τη συγκεκριμένη εφαρμογή ή δημιουργούμε ένα ASCII όπου οι πρώτοι 70 αριθμοί θα είχαν την τιμή 400 και οι υπόλοιποι θα είχαν την τιμή 800, ή όπως και τελικά έγινε μέσο του Hyperion Tool, με το οποίο γίνεται η αυτόματη δημιουργία ενός τέτοιου αρχείου για όλο το dataset και για τις δύο εικόνες.

Έπειτα, για την ευκολότερη διαχείριση του όγκου των δεδομένων (το κάθε αρχικό dataset έχει μέγεθος 1,5 GByte), η κάθε εικόνα περιορίστηκε χωρικά σε μικρότερη περιοχή (επιλογή Resize στο ENVI). Η περιοχή "κόπηκε" με κοινές συντεταγμένες και όχι με την εναλλακτική εφαρμογή της εντολής ROI-Region Of Interest. Ο καθορισμός αυτής της επιλογής έγινε διότι οι δύο εικόνες έχουν ληφθεί με

L_{λ} = Gain * Pixel value + Offset

$\rho_{\lambda} = \pi L_{\lambda} d^2 / ESUN_{\lambda} \sin\theta$

 $\begin{array}{l} L_{\lambda} : \mbox{Timm} \ a \mbox{tinoboliag} \ se \ month on \ set{formula} Watt / (m^2 \ x \ Steradian \ x \ mm) \\ d: \ H \ a \ month otheration \ gamma \ formula \ formula \ set{formula} \ formula \ set{formula} \ set{formul$

⁹ Ακτινοβόληση (Radiance): Είναι η ροή ή ισχύς ακτινοβολίας που διαδίδεται ανά μονάδα στερεάς γωνίας και ανά μονάδα επιφανείας. Για να δημιουργηθεί η μετατροπή των τιμών της εικόνας από ψηφιακές σε τιμές ακτινοβολίας θα πρέπει να έχουν εφαρμοστεί οι τιμές των gain και offsets. Αυτές οι τιμές λαμβάνονται από τον πάροχο των δεδομένων χρησιμοποιώντας αυτόν τον τύπο:

Επίσης προϋπόθεση αυτής της μετατροπής είναι οι μονάδες των gain & offsets σε Watt / (m² x Steradian x μm), έτσι ώστε οι τιμές ακτινοβολίας να έχουν τις σωστές μονάδες μέτρησης

¹⁰ Ανακλαστικότητα (Reflectance): Ανακλαστικότητα ονομάζεται το ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που ανακλάται από μία επιφάνεια ως προς την προσπίπτουσα ακτινοβολία. Μερικά υλικά μπορούν να προσδιορίζονται από τα φάσματα ανάκλασής τους (δηλαδή της φασματικές τους υπογραφές). Άρα είναι κοινά αποδεχτή η διόρθωση της εικόνας σε (η ανακλαστικότητα δεν έχει μονάδες), ως πρώτο βήμα προς τον εντοπισμό ή την αναγνώριση των χαρακτηριστικών σε μία εικόνα. Οι τιμές της ανάκλασης στο ύψος της ατμόσφαιρας κυμαίνονται από 0 έως 1.0. Αυτή η επιλογή είναι εφικτή, εάν η εικόνα έχει τα gain & offsets, την ηλιακή ακτινοβολία, το υψόμετρο του ήλιου και τον χρόνο απόκτηση των δεδομένων. Έτσι, η ανάκλαση υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τα ακόλουθα μεγέθη:

μικρή διαφορά γωνίας λήψης στην κατακόρυφη λήψη του δορυφόρου. Εάν γινόταν η εφαρμογή της δεύτερης μεθόδου η περικοπή των εικόνων θα γινόταν με βάση τις επιλεγμένες κολώνες και γραμμές τους. Αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα την διαφορετική χωρική έκτασή τους και κατά συνέπεια τη μη δυνατότητα σύγκρισής τους. Συνεπώς, οι δύο εικόνες επαναπροσδιορίστηκαν με τις ακόλουθες συντεταγμένες.



Εικόνα 28: Μείωση των αρχικών διαστάσεων των εικόνων με σύστημα συντεταγμένων WGS' 84 UTM 33N με την εντολή Resize



Εικόνα 29: Μείωση των αρχικών διαστάσεων των δύο εικόνων (2009, 2012) με προκαθορισμένες συντεταγμένες

Ακολούθως, θα πρέπει γίνει αναφορά στην πρώτη δυσκολία για την εφαρμογή της ατμοσφαιρικής διόρθωσης. Κανονικά, η διαδικασία η οποία θα πρέπει να ακολουθείται είναι δημιουργία μάσκας των φασματικών καναλιών που δεν έχουν πληροφορία μέσω της εντολής edit ENVI header. Η εντολή αυτή έχει στόχο την αφαίρεση των φασματικών καναλιών, τα οποία δεν περιέχουν καμία πληροφορία, δίνοντας έτσι το τελικό προϊόν επεξεργασίας. Όμως, περικόπτοντας αυτά τα κανάλια και εφαρμόζοντας την ατμοσφαιρική διόρθωση, παρουσιάζονταν πρόβλημα συσχέτισης του αριθμού των φασματικών καναλιών που περιέχουν πληροφορία με τον αριθμό των τιμών που δημιουργήθηκε στο αρχείο ASCII. Συγκεκριμένα, αυτό το αρχείο δημιουργήθηκε για το αρχικό αρχείο των εικόνων, δηλαδή για τα 242 φασματικά κανάλια.

Αυτός ο παράγοντας οδήγησε στο συμπέρασμα της εισαγωγής όλων των φασματικών καναλιών και για τις δύο εικόνες. Επιπλέον, αυτό σημαίνει ότι η εφαρμογή αυτής της εντολής συνιστάται να εκτελείται μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση με κύριο σκοπό τη μείωση του θορύβου του αρχικού αρχείου.



5.3: Παράγοντες ατμοσφαιρικών σφαλμάτων και ατμοσφαιρική διόρθωση

Η ηλιακή ακτινοβολία εξασθενεί στην ατμόσφαιρα μέσω τριών μηχανισμών, την απορρόφηση, την ανάκλαση και τη σκέδαση-διάχυση.

Η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι η μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμότητα από τα μόρια των ατμοσφαιρικών αερίων, τα οποία συνήθως είναι

οι υδρατμοί, το διοξείδιο του άνθρακα και το όζον, (Olsen, 2014). Οι χαρακτηριστικές απορροφήσεις των υδρατμών στη μικροκυματική περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος βρίσκονται συνήθως στα 1,4 έως 1,9 μm. Σε αυτή την περιοχή όλη η ενέργεια απορροφάται και κανένα δεδομένο δεν μπορεί να ληφθεί από την επιφάνεια του εδάφους. Υπάρχουν όμως τα ατμοσφαιρικά παράθυρα που βρίσκονται κοντά στα 2,5, 4,4 μm και μεταξύ των 5 έως 8 μm μετά από τα 14 μm, στα οποία η ηλιακή ακτινοβολία περνάει την ατμόσφαιρα.

Το ποσοστό απορρόφησης της ακτινοβολίας εξαρτάται από το μήκος κύματος και την ενέργεια. Γενικά, η ακτινοβολία με την περισσότερη ενέργεια (μικρά μήκη κύματος) θα απορροφηθεί γρήγορα από άτομα ή μόρια που θα γίνουν ιόντα και θα διασπαστούν. Αντίθετα, η ακτινοβολία με μικρότερα ενέργεια (μεγάλα μήκη κύματος) θα διεισδύσει βαθύτερα, μέχρι να βρει αέρια σε αρκετή συγκέντρωση ικανά να την απορροφήσουν. Η σκέδαση-διάχυση (scattering-diffusion) είναι το φαινόμενο, κατά το οποίο όταν προσπίπτει η ακτινοβολία σε ένα σώμα, κατευθύνεται στη συνέχεια προς όλες τις κατευθύνσεις ομοιόμορφα ή ανομοιόμορφα. Ανάκλαση (reflection) ονομάζεται το φαινόμενο κατά το οποίο ένα τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας επιστρέφει πίσω στο διάστημα μετά από σύγκρουση με σωματίδια

μεγαλύτερα από 0,7μm. Η ακτινοβολία μετά τη σκέδαση ονομάζεται διάχυτη και η σκέδαση μπορεί να πραγματοποιηθεί από μόρια ή μικρά σωματίδια, είναι επιλεκτική και εξαρτάται από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας.

Γενικότερα, ο σκοπός της ατμοσφαιρικής διόρθωσης των δεδομένων, είναι η μείωση των ατμοσφαιρικών σφαλμάτων που εισάγονται κατά τη λήψη των δεδομένων, (Datt., 2003). Ειδικότερα, επιδιώκει την αφαίρεση της ατμοσφαιρικής κολώνας από τη φασματική ταυτότητα των αντικειμένων σε όλη την έκταση της εικόνας έτσι ώστε να μπορούν να αποδοθούν οι τιμές της ανακλαστικότητας όσο το δυνατόν πιο κοντά στις αληθινές τιμές των αντικειμένων που βρίσκονται στην περιοχή μελέτης.

Για να αντισταθμιστούν οι ατμοσφαιρικές επιδράσεις, πρέπει να είναι γνωστές ορισμένες ιδιότητες της ατμόσφαιρας της περιοχής μελέτης, όπως για παράδειγμα η ποσότητα των υδρατμών, η κατανομή των αερολυμάτων και η ορατότητα της ατμόσφαιρας. Επειδή, οι μετρήσεις αυτών είναι σπάνιες για κάθε περιοχή μελέτης, υπάρχουν τεχνικές που αναγνωρίζουν τα φασματικά αποτυπώματα της ακτινοβολίας. Αυτές οι ιδιότητες χρησιμοποιούνται για να αναδείξουν μόνο τα ατμοσφαιρικά μοντέλα, τα οποία αποδίδουν μία εκτίμηση της πραγματικής ανάκλασης της επιφάνειας. Επιπλέον, η ατμοσφαιρική διόρθωση αυτού του τύπου μπορεί να εφαρμοστεί σε κάθε εικονοστοιχείο, γιατί κάθε εικονοστοιχείο σε μία υπερφασματική εικόνα περιέχει μία ανεξάρτητη μέτρηση της απορρόφησης των υδρατμών στις ατμοσφαιρικές ζώνες.



Eικόνα 31: MODTRAN Plot displaying atmospheric transmission bands, (Olsen, 2014).

Γενικά, είναι απαραίτητο να εφαρμόζεται ατμοσφαιρική η διόρθωση όταν τα δορυφορικά δεδομένα πρέπει να συγκριθούν με άλλα δεδομένα είτε είναι από διαφορετικούς αισθητήρες, (διαφορετικές χρονολογίες ή/και με διαφορετική εποχικότητα) είτε από δεδομένα μετρημένα στο πεδίο. Υπάρχουν πολλές εφαρμογές (FLAASH, ATCOR, ACORN, HATCH & MOSART), or opties έχουν την ικανότητα ατμοσφαιρικής

διόρθωσης αλλά όλες βασίζονται σε εκδόσεις του μοντέλου μετάδοσης της ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα (radioactive transfer model) MODTRAN εκτός από την HATCH που έχει τον δικό της αλγόριθμο μετατροπής. Για τη συγκεκριμένη έρευνα χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes). Ο αλγόριθμος ο οποίος χρησιμοποιείται είναι ο εξής

$$L = A\rho / (1 - \rho_e S) + B\rho_e / (1 - \rho_e S) + L^* a$$

Όπου οι παράγοντες A,B, S και L* a καθορίζονται από το MODTRAN-4. Αυτό το μοντέλο αναπτύχθηκε από το Spectral Sciences, Inc. μαζί με το Εργαστήριο Ερευνών της Πολεμικής Αεροπορίας των ΗΠΑ, το οποίο αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι στην ανάπτυξη των σύγχρονων ατμοσφαιρικών μοντέλων και έχει εργαστεί εκτενέστερα για το MODTRAN από την αρχή του 1989 (<u>http://www.spectral.com</u> & http://modtran5.com).

5.4: Παράμετροι για την υλοποίηση της ατμοσφαιρικής διόρθωσης Fast Line-of-Sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes (FLAASH)

Οι παράμετροι εισαγωγής για την εφαρμογή του μοντέλου ατμοσφαιρικής διόρθωσης FLAASH στο λογισμικό ENVI περιλαμβάνουν τα παρακάτω βήματα.

• Εισαγωγή των δεδομένων τις εικόνας και τρόποι αποθήκευσης.

Στο πεδίο Input Radiance Image, εισάγονται τα δεδομένα της εικόνας με τη δυνατότητα επεξεργασίας ολόκληρης της έκτασής της αλλά και τμημάτων της που ο χρήστης έχει ορίσει. Σε αυτή την περίπτωση εφόσον έχει περικοπεί η εικόνα προγενέστερα δεν χρειάζεται καμία αλλαγή στην προκαθορισμένη επιλογή. Τοποθετώντας την εικόνα, το σύστημα ζητά αυτόματα να καθοριστούν οι πολλαπλασιαστικοί παράγοντες (scale factors), οι οποίοι πρέπει να συμφωνούν με το μοντέλο FLAASH. Δίνει δύο επιλογές: Την εισαγωγή ενός ASCII αρχείου που έχει δημιουργήσει ο χρήστης με τους νέους πολλαπλασιαστικούς παράγοντες ανά κανάλι και την επιλογή ορισμού ενός ενιαίου συντελεστή για όλα τα φασματικά κανάλια. Σε αυτή την περίπτωση επιλέχθηκε η πρώτη επιλογή. Το επόμενο στάδιο (Output Reflectance File) αφορά τον ορισμό του αρχείου path της διορθωμένης εικόνας ανακλαστικότητας που θα παραχθεί. Στο πεδίο "Output Directory for FLAASH Files" γίνεται η επιλογή του path για την αποθήκευση όλων των αρχείων που θα παραχθούν κατά την εφαρμογή του μοντέλου της ατμοσφαιρικής διόρθωσης: column water vapor, cloud map, journal file, template file. To template file είναι το αρχείο, στο οποίο βρίσκονται όλοι οι παράμετροι που έχει τοποθετήσει ο χρήστης για την διαδικασία της ατμοσφαιρικής διόρθωσης. Τελικό πεδίο αποτελεί το "Rootname for FLAASH Files" στο οποίο ο χρήσης δίνει το όνομα της επιλογής του για όλη τη διαδικασία.

Εισαγωγή των πληροφοριών που αφορούν τον αισθητήρα και την περιοχή μελέτης.

Σε αυτό το στάδιο απαιτούνται πληροφορίες τόσο για τον αισθητήρα όσο και για την εικόνα που επεξεργάζεται. Αυτές οι πληροφορίες αφορούν τις συντεταγμένες του κέντρου της εικόνας, το μέσο υψόμετρο της περιοχής μελέτης, τον τύπο του αισθητήρα, το ύψος της τροχιάς του δορυφόρου, τη χωρική διακριτική ικανότητα του δορυφόρου και τέλος την ημερομηνία και την ώρα λήψης της εικόνας. Όσον αφορά το κέντρο της εικόνας ορίζεται αυτόματα μόλις εισαχθεί το αρχείο το οποίο

δημιουργήθηκε από το Hyperion Tool, διότι όπως έχει προαναφερθεί μία από τις ιδιότητες είναι να βρίσκει το κέντρο της εικόνας για όλα τα φασματικά κανάλια. Επιπλέον, η επιλογή του δορυφόρου είναι μία εύκολη διαδικασία εάν υπάρχει ως προκαθορισμένη επιλογή. Εάν όμως δεν ορίζεται από το λογισμικό τότε θα πρέπει ο χρήστης να μεταβεί στην επιλογή Hyperspectral Settings, έτσι ώστε να ορίσει κάποιες πληροφορίες για κάθε φασματικό κανάλι που έχει. Με την εισαγωγή των παραπάνω στοιχείων προσδιορίζεται αυτόματα η θέση του ήλιου κατά τη στιγμή λήψης της εικόνας καθώς και η διαδρομή του φωτός μέσα από την ατμόσφαιρα μέχρι το έδαφος και πάλι πίσω μέχρι τον αισθητήρα.

Επιλογή των περαιτέρω ρυθμίσεων του μοντέλου της ατμοσφαιρικής διόρθωσης

Η πρώτη παράμετρος της ατμοσφαιρικής διόρθωσης είναι η επιλογή του ατμοσφαιρικού μοντέλου (Atmospheric Model). Να σημειωθεί εδώ ότι χρησιμοποιήθηκε το ίδιο μοντέλο και για τις δύο εικόνες. Υπάρχουν έξι ξεχωριστές επιλογές ατμοσφαιρικών μοντέλων MODTRAN και η επιλογή τους εξαρτάται από την περιεκτικότητα υδρατμών στην ατμόσφαιρα, ή τη μέση θερμοκρασία της ατμόσφαιρας κοντά στη γήινη επιφάνεια. Τα έξι ατμοσφαιρικά μοντέλα MODTRAN, καθώς και η περιεκτικότητα υδρατμών και η θερμοκρασία που αντιστοιχεί στο κάθε μοντέλο, παρουσιάζονται στον Πίνακα 10, (ENVI User's guide, 2006).

Model	Water Vapor	Water Vapor	Surface Air
Atmosphere	(std atm-cm)	(g/cm^2)	Temperature
Sub-Arctic Winter	518	0.42	-16°C (3°F)
(SAW)			
Mid-Latitude	1060	0.86	-1°C (30°F)
Winter (MLW)			
U.S. Standard	1762	1.42	15°C (59°F)
(US)			
Sub-Arctic	2589	2.08	14°C (57°F)
Summer (SAS)			
Mid-Latitude	3636	2.92	21°C (70°F)
Summer (MLS)			
Tropical	5119	4.11	27°C (80°F)

Πίνακας 10: Περιεκτικότητα υδρατμών της ατμόσφαιρας και θερμοκρασία στην γήινη επιφάνεια για τα διάφορα MODTRAN ατμοσφαιρικά μοντέλα (ENVI User guide).

Αν δεν υπάρχει καμία διαθέσιμη πληροφορία ούτε για την απορρόφηση της ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα ούτε και για τη μέση θερμοκρασία της περιοχής μελέτης τότε εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής καθώς και ο μήνας που έγινε η λήψη της εικόνας. Οι αντίστοιχες επιλογές παρουσιάζονται στον Πίνακα 11.

Latitude (°N)	Jan	March	May	July	Sept	Nov
80	SAW	SAW	SAW	MLW	MLW	SAW
70	SAW	SAW	MLW	MLW	MLW	SAW
60	MLW	MLW	MLW	SAS	SAS	MLW
50	MLW	MLW	SAS	SAS	SAS	SAS
40	SAS	SAS	SAS	MLS	MLS	SAS
30	MLS	MLS	MLS	Т	Т	MLS
20	Т	Т	Т	Т	Т	Т
10	Т	Т	Т	Т	Т	Т
0	Т	Т	Т	Т	Т	Т
-10	Т	Т	Т	Т	Т	Т
-20	Т	Т	Т	MLS	MLS	Т
-30	MLS	MLS	MLS	MLS	MLS	MLS
-40	SAS	SAS	SAS	SAS	SAS	SAS
-50	SAS	SAS	SAS	MLW	MLW	SAS
-60	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW
-70	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW
-80	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW

Πίνακας 11: Πίνακας επιλογής των ατμοσφαιρικών μοντέλων του αλγόριθμου MODTRAN με βάση την εποχικότητα και το γεωγραφικό πλάτος, (ENVI User guide).

Ο επόμενος παράγοντας, αφορά τον καθορισμό της συγκέντρωσης των υδρατμών στην ατμόσφαιρα, για κάθε εικονοστοιχείο. Το μοντέλο έχει κάποιες συγκεκριμένες μεθόδους υπολογισμού αυτής της ποσότητας για κάθε εικονοστοιχείο και δίνει ακριβέστερα αποτελέσματα στην ευρύτερη διαδικασία της διόρθωσης. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα να γίνει χρήση μίας ενιαίας τιμής υγρασίας για όλη την εικόνα. Για την εφαρμογή της μεθόδου Water Retrieval είναι αναγκαίο να υπάρχει τουλάχιστον ένα από τα παρακάτω φασματικά διαστήματα με φασματική ανάλυση 15nm ή και μεγαλύτερη. Οι επιλογές που δίνει το μοντέλο FLAASH είναι οι εξής:

- 1050-1210 nm: Αφορά την απορρόφηση του νερού για την περιοχή του φάσματος των 1135 nm
- 870-1020 nm: Αφορά την απορρόφηση του νερού για την περιοχή του φάσματος των 940 nm
- 770-870 nm: Αφορά την απορρόφηση του νερού για την περιοχή του φάσματος των 820 nm.

Αυτή η επιλογή είναι απαραίτητη όταν γίνεται χρήση υπερφασματικών δεδομένων αλλά είναι προαιρετική για τα πολυφασματικά συστήματα. Αυτό

συμβαίνει γιατί οι περισσότεροι πολυφασματικοί αισθητήρες δεν καλύπτουν καμία από τις παρακάτω επιλογές.

Με την επιλογή της πρώτης μεθόδου στο πεδίο 'Water Absorption Feature' γίνεται η επιλογή ενός εκ των τριών φασματικών περιοχών που αναφέρθηκαν παραπάνω. Γενικά, προτείνεται η χρήση των 1135 nm. Αν όμως και η πρώτη επιλογή και η δεύτερη αντιστοιχούν σε μία πολύ υγρή ατμόσφαιρα, αυτό σημαίνει ότι η ατμόσφαιρα είναι κορεσμένη και θα επιλεχθεί αυτόματα από το σύστημα η σωστή παράμετρος. Όταν όμως δεν γίνει η επιλογή καμιάς από τις τρεις περιοχές ορίζεται μία ενιαία τιμή του ύψους των υδρατμών για όλο το φάσμα, (ENVI User's Guide, 2006).

Το επόμενο πεδίο αναφέρεται στο μοντέλο μείγματος αερίων και σωματιδίων της ατμόσφαιρας (Aerosol Model). Παρατίθενται τέσσερα μοντέλα MODTRAN, τα οποία αναφέρονται σε περιοχές με διαφορετικά χαρακτηριστικά περιοχών. Άρα, για την επιλογή ενός θα πρέπει να ληφθεί υπόψη το περιβάλλον, στο οποίο εντάσσεται η περιοχή μελέτης. Στον Πίνακα 12 παρουσιάζονται τα τέσσερα διαφορετικά μοντέλα.

Μοντέλο Μείγματος Αερίων και Σωματιδίων της Ατμόσφαιρας (Aerosol Model)	Χαρακτηριστικά των Μοντέλων
Rural (αγροτικό)	Χρησιμοποιείται σε περιοχές οι οποίες δεν επηρεάζονται ισχυρά από αστικές και βιομηχανικές πηγές
Urban (αστικό)	Χρησιμοποιείται σε πυκνοκατοικημένες, αστικές ή βιομηχανικές περιοχές.
Maritime (θαλάσσιο)	Χρησιμοποιείται σε περιοχές πάνω από τους ωκεανούς αλλά και σε ηπειρωτικές περιοχές οι οποίες επηρεάζονται από τους ανέμους που προέρχονται από την θάλασσα
Tropospheric (τροποσφαιρικό)	Χρησιμοποιείται σε ηπειρωτικές περιοχές με καθαρές ατμοσφαιρικές συνθήκες (ορατότητα μεγαλύτερη από 40 km).

Πίνακας 12: Τα μοντέλα μείγματος αερίων και τα Χαρακτηριστικά τους

Η επιλογή είναι προαιρετική και εξαρτάται από τις συνθήκες και τη σύσταση της ατμόσφαιρας. Για παράδειγμα αν η ορατότητα είναι πολύ μεγάλη, (μεγαλύτερη από 40km) τότε δεν συνιστάται η χρήση του Aerosol Model. Γι' αυτό ως προκαθορισμένη επιλογή είναι τα 40km. Ωστόσο, εάν ο χρήστης επιθυμεί να αυξήσει την ορατότητα της ατμόσφαιρας τότε δεν θα πρέπει να επιλέξει κανένα μοντέλο μείγματος αερίων και σωματιδίων ατμόσφαιρας.

Το λογισμικό της ατμοσφαιρικής διόρθωσης FLAASH περιλαμβάνει εκτός από τα μοντέλα αερίων και μία μέθοδο για την ανάκτηση του μείγματος των ατμοσφαιρικών αερίων και σωματιδίων και την εκτίμηση μιας μέσης ορατότητας για όλη την εικόνα, χρησιμοποιώντας την ανάκλαση των σκοτεινόχρωμων εικονοστοιχείων και τα φασματικά κανάλια στις περιοχές 660 nm και 2100 nm με την εντολή Aerosol Retrieval (*Matthew et al.*, 2000).

Αυτή η μέθοδος ονομάζεται '2-Band (Kaufman-Tanre, K-T)' και δημιουργήθηκε από την μελέτη του Kaufman, (*Kaufman et al., 1997*). Αν κατά την εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου δεν βρεθούν τα απαραίτητα θολά εικονοστοιχεία τότε χρησιμοποιείται η αρχική τιμή της ορατότητας, της οποίας γίνεται αναφορά παρακάτω. Το ίδιο γίνεται και όταν δεν επιλεγεί καθόλου η μέθοδος. Επίσης, υπάρχει ακόμα μία επιλογή το 2-Band Over Water, το οποίο χρησιμοποιείται στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Η επόμενη επιλογή Initial Visibility, αφορά την εκτιμώμενη αρχική τιμή ορατότητας των δεδομένων σε χιλιόμετρα. Η τιμή αυτή εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες. Ωστόσο, όσον αφορά το ηφαίστειο της Αίτνας, είναι πιθανή μια μικρή τιμή ορατότητας της ατμόσφαιρας λόγω του νέφους και της στάχτης από τον κρατήρα του ηφαιστείου, παράγοντες που επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα τοπικά. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι τιμές αρχικής ορατότητας με βάση τις καιρικές συνθήκες.

Weather Condition	Scene Visibility
Clear	40 to 100 km
Moderate Haze	20 to 30 km
Thick Haze	15 km or less

Πίνακας 13: Τιμές αρχικής ορατότητας εικόνας βάσει των καιρικών συνθηκών (ENVI User guide).

Η επόμενη κατηγορία αφορά τη φασματική Spectral Polishing. Αυτή η διαδικασία χρησιμοποιήθηκε από τον Boardman (1998). Αφορά την εφαρμογή γραμμικής εξομάλυνσης, η οποία περιορίζει τον φασματικό θόρυβο στα υπερφασματικά δεδομένα, χρησιμοποιώντας αποκλειστικά μόνο τα ίδια τα δεδομένα. Οι βασικές παραδοχές που υπάρχουν είναι οι εξής:

- Τα δεδομένα που προκαλούν ανωμαλίες μπορούν να αφαιρεθούν με την εφαρμογή ενός ενιαίου γραμμικού μετασχηματισμού (δηλαδή ένα φασματικό κανάλι εξαρτώμενο από τις τιμές των gain και των offsets) στο φάσμα.
- Η φασματική ομαλοποίηση μπορεί να γίνει από 'n' γειτονικά σημεία, τα οποία ορίζει ο χρήστης, με την επιλογή των καναλιών.

Τα εικονοστοιχεία αναφοράς επιλέγονται για τους παρακάτω τρόπους:

- Για κάθε εικονοστοιχείο, υπολογίζεται η φασματική εξομάλυνση
- Η διαφορά μεταξύ του ομαλοποιημένου φάσματος και αρχικού υπολογίζεται για κάθε μήκος κύματος.
- Το RMS της διαφοράς του μήκους κύματος μεταξύ των δύο υπολογίζεται, με τη διαίρεση της μέσης ανακλαστικότητας όλων των μηκών κύματος για ένα εικονοστοιχείο.
- Τα εικονοστοιχεία με χαμηλότερο από 10% των διαφορών του RMS επιλέγονται μεταξύ αυτών που παρουσιάζουν απουσία νεφών και βλάστησης.
- Οι κανονικοποιημένες διαφορές του RMS για τα επιλεγμένα εικονοστοιχεία τοποθετούνται σε ένα ιστόγραμμα και αυτά που βρίσκονται στο κατώτερο σημείο του ιστογράμματος επιλέγονται να είναι τα pixels αναφοράς για τον υπολογισμό των gain & offsets.
- Στα πολύ σκοτεινά εικονοστοιχεία, όπως για παράδειγμα αυτά που απεικονίζουν το νερό, δεν υφίστανται φασματική ομαλοποίηση.

Για υπερφασματικούς αισθητήρες με φασματική ανάλυση ίση με 10nm προτείνεται η χρήση πλάτους 9 φασματικών ζωνών. Η χρήση περιττού αριθμού φασματικών καναλιών (για παράδειγμα 5-11) στο πλάτος της φασματικής ομαλοποίησης είναι υπολογιστικά πιο αποτελεσματική. Αντίθετα, η τιμή 2 παρέχει ελάχιστη ομαλοποίηση αλλά απομακρύνει περιττές ανισορροπίες των φασματικών καναλιών.

Στο πεδίο Wavelength Recalibration γίνεται επιλογή ή όχι της επαναβαθμονόμησης των διαύλων της εικόνας. Στην περίπτωση που η διαδικασία εφαρμόζεται, το λογισμικό FLAASH απαιτεί όλους τους διαύλους της εικόνας. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται η αρχική εικόνα (πριν την αφαίρεση των διαύλων) και με την επαναβαθμονόμηση δημιουργείται ένα πρόσθετο αρχείο το οποίο συνοψίζει όλα τα αποτελέσματα. Το αρχείο αυτό αποθηκεύεται επονομαζόμενο rootname + wl recalibration.txt.

5.5: Ατμοσφαιρική διόρθωση των εικόνων Hyperion

Σε αυτή την εργασία εφαρμόστηκε η ατμοσφαιρική διόρθωση και στις δύο δορυφορικές εικόνες με την εφαρμογή του μοντέλου FLAASH. Πριν όμως από την εφαρμογή της μεθόδου θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί το ENVI header file, διότι μετά τη χρήση του Hyperion Tool 2.0 τα φασματικά κανάλια, τα οποία ορίζονται προς χρήση από το σύστημα ανέρχονταν στα 213. Άρα πρέπει να επαναπροσδιοριστεί ο αριθμός των διαύλων στα 242. Για τον έλεγχο των ατμοσφαιρικών δοκιμών που διεξήχθηκαν και για τις δύο εικόνες χρησιμοποιήθηκαν δύο παράγοντες. Ο πρώτος αφορούσε τον έλεγχο των φασματικών υπογραφών από συγκεκριμένα εικονοστοιχεία ως προς το εύρος των τιμών τους και ο δεύτερος αφορούσε τη σύγκριση των αποτελεσμάτων με την ενδεικτική βιβλιογραφία. Για αυτή τη μέθοδο εφαρμόστηκαν διάφοροι συνδυασμοί εισαγωγής παραμέτρων και για τις δύο εικόνες. Αρχικά, έγινε η χρήση του ατμοσφαιρικού μοντέλου Mid-Latitude Summer διότι πληρούσε τις σωστές προϋποθέσεις και για τις δύο εικόνες. Πρώτον, προσδιορίσθηκε το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής, το οποίο είναι 33N (UTM). Δεύτερον, σύμφωνα με τον ιστότοπο Weather 2, (<u>http://www.myweather2.com</u>), μελετήθηκαν οι θερμοκρασίες που λαμβάνουν χώρα, για τους δύο μήνες που αντιστοιχούν στις ημερομηνίες λήψης των εικόνων και παρουσιάζονται στον Πίνακα 14.

	Κατά τη διάρκεια της ημέρας	Κατά τη διάρκεια της νύχτας	Η Υψηλότερη	Η Χαμηλότερη
Ιούλιος	32°C/ 90°F	19°C/ 66°F	45°C/ 114°F	12°C/ 54°F
Οκτώβριος	25°C/ 77°F	15°C/ 59°F	39°C/ 101°F	5°C/41°F

Πίνακας 14: Παρουσίαση τω	ν θερμοκρασιών	του ηφαιστείου τι	ης Αίτνας για τον	Ιούλιο και τον Οκτώβριο
---------------------------	----------------	-------------------	-------------------	-------------------------

Με βάση τον πίνακα 10 παρατηρείται ότι η θερμοκρασία που αντιστοιχεί στο μοντέλο είναι στους 21°C (70°F). Αντίστοιχα οι θερμοκρασίες που καταγράφηκαν στον πίνακα 14 για αυτούς τους μήνες, αντιστοιχούν περισσότερο στο μοντέλο Mid-Latitude Summer. Ωστόσο, πρέπει να προστεθεί ότι το μοντέλο αυτό μπορεί να συσχετιστεί περισσότερο με τον μήνα Οκτώβρη και λιγότερο με τον μήνα Ιούλη. Πιθανόν, για τον Ιούλιο μήνα να μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και το μοντέλο Tropical άλλα συνδυάζοντας και το πρώτο κριτήριο αποφασίστηκε η χρήση του Mid-Latitude Summer.

Δεύτερον, έγινε ο έλεγχος και των δύο επιλογών για τον καθορισμό της μάζας των υδρατμών που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα, αλλά η επιλογή της τοποθέτηση μίας ενιαίας τιμής . Επίσης, έγινε η χρήση του Water Absorption Feature με μοναδική επιλογή τα 1135 nm, στο οποίο υπάρχει μεγάλη ποσότητα υδρατμών. Έγινε εξέταση των αποτελεσμάτων μέσω της χρήσης της αρχικής τιμής ορατότητας, της χρήσης της μεθόδου 2 band K-T, της επιλογής 2-Band Over Water αλλά και την εφαρμογή της τεχνικής φασματικής ομαλοποίησης. Αυτό που δεν χρησιμοποιήθηκε σε κανένα από τα πειράματα που διεξήχθηκαν είναι η επαναβαθμονόμηση των διαύλων (Wavelength Recalibration). Αφού αναγνωρίστηκαν οι ιδανικότερες παράμετροι εισαγωγής, η εικόνα διορθώθηκε ατμοσφαιρικά με τη χρήση τόσο του αγροτικού μοντέλου (Rural) όσο και του θαλάσσιου (Maritime). Παρατηρώντας την περιοχή μελέτης, εξάγονται οι εξής διαπιστώσεις. Πρώτον, κυρίαρχο στοιχείο της περιοχής είναι οι καλλιέργειες και οι διάφοροι τύποι βλάστησης, ενώ υπάρχει και μία παρουσία μικρών αστικών συγκεντρώσεων, που όμως δεν επηρεάζουν το περιβάλλον της περιοχής. Δεύτερον, η χωροθέτηση του ηφαιστείου εδράζεται στο νησί της Σικελίας και ειδικότερα κοντά στο παράκτιο περιβάλλον του. Τρίτον, σε όλα τα πειράματα, τα οποία διεξήχθησαν, δεν χρησιμοποιήθηκε αστικό μοντέλο διότι με βάση τα προαναφερθέντα συνιστάται να χρησιμοποιείται μόνο σε περιοχές μελέτης με έντονο αστικό περιβάλλον, όπως για παράδειγμα οι μεγάλες πόλεις (Αθήνα).

Τέλος, η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων θα αποδειχθεί με τους εξής τρόπους. Ο πρώτος είναι η σύγκριση των ατμοσφαιρικών διορθώσεων με παράγοντα την φασματική ομαλοποίηση και ο δεύτερος αφορά τη σύγκρισή τους με τα μοντέλα του Aerosol retrieval και την αρχικής ορατότητας (40km). Παρακάτω παρουσιάζονται τα τρία πειράματα της ατμοσφαιρικής διόρθωσης για την εικόνα του 2009.

5.6: Ατμοσφαιρικές δοκιμές για την εικόνα Hyperion του 2009

5.6.1: Πρώτη δοκιμή: Ατμοσφαιρική διόρθωση για την εικόνα του 2009 με τη χρήση του θαλάσσιου μοντέλου "Maritime", με τη μέθοδο 2-band K-T, με την αρχική τιμή ορατότητας της ατμόσφαιρας 40 km και με την επιλογή της φασματικής ομαλοποίησης με 9 κανάλια (Width)

Για την πρώτη επιλογή της ατμοσφαιρικής διόρθωσης με τη χρήση των παραπάνω παραγόντων χρησιμοποιηθήκαν οι εξής παράμετροι:

- Scene Center Location
 - Scene Center Latitude: 37.72946667
 - Scene Center Longitude: 14.95670556
- Sensor Type: Hyperion
- Sensor Altitude (km): 705
- Ground Elevation (km): 1,5 (διότι το ύψος της Αίτνας είναι περίπου 3 km)
- Pixel size (m): 29.970 (αυτή είναι η πραγματική τιμή της χωρικής διακριτικής ικανότητας του Hyperion, ενώ παντού ενδείκνυται ο αριθμός 30)
- Flight Date: 2009/10/8
- Fight Time GMT (HH:MM:SS): 09: 19: 58
- Atmospheric Model: Sub-Mid Latitude Summer
- Water Retrieval: yes
- Water Absorption Feature (nm): 1135
- Aerosol Model: Maritime
- Aerosol Retrieval: 2-Band K-T
- Initial Visibility (km): 40
- Spectral Polishing: yes
- Width (number of bands): 9
- Wavelength Recalibration: Νο (Αν και χρησιμοποιούνται όλοι οι δίαυλοι της εικόνας δεν υπάρχει κάποια επιρροή στην εφαρμογή της ατμοσφαιρικής διόρθωσης με την μη ή την εφαρμογή αυτή της εντολής. Αποτρεπτικό είναι όταν έχει γίνει ήδη η μείωση των διαύλων του αρχικού dataset πριν την ατμοσφαιρική διόρθωση.)
- Aerosol Scale Height (km): 1.5
- CO2 Mixing Ration: 390 ppm

- Use Square Slit Function: No
- Use Adjacency Correction: yes
- Reuse Modtran Calculations: No
- Modtran Resolution: 5 cm-1
- Modtran Multiscatter Model: Scaled Disort
- Number of DISORT streams: 8
- Ζενίθεια και Αζιμούθια γωνία: γωνία: 180 μοίρες, 0 μοίρες (δεν αλλάζουμε ποτέ αυτή την επιλογή όταν αναφερόμαστε σε συστήματα που έχουν μόνο κατακόρυφη λήψη δεδομένων, όπως είναι και ο αισθητήρας Hyperion)
- Use Tile Processing: No

Τα tiles είναι μία μορφή αποθήκευσης αρχείων, κατά την οποία τα δεδομένα επεξεργάζονται τμηματικά, με στόχο τη μείωση του όγκου. Το λογισμικό FLAASH έχει ως προκαθορισμένη επιλογή τα 100 Mb, ο οποίος είναι ο ελάχιστος όγκος που μπορεί να έχει το κάθε τμήμα (δηλαδή το κάθε tile). Με αυτή την επιλογή διασφαλίζεται ότι το μεγαλύτερο τμήμα της εικόνας, που χρησιμοποιείται από την μνήμη δεν θα ξεπερνά αυτό το μέγεθος. Γενικά, αυτή η διαδικασία, θα έπρεπε να διευκολύνει το χρήστη, διότι δεν εξαντλεί τη μνήμη του υπολογιστή και επιτρέπει να υπάρχει διαθέσιμη μνήμη για τις υπόλοιπες βασικές λειτουργίες του. Όμως αυτή η επιλογή δεν προτείνεται για αυτή την εφαρμογή διότι είτε δημιουργεί σφάλματα σε όλη τη διαδικασία της ατμοσφαιρικής διόρθωσης (συγκεκριμένα στο 58%) είτε ολοκληρώνει τη διαδικασία αλλά καταστρέφει τα φασματικά κανάλια των δεδομένων. Στο παράρτημα παρατίθενται ο τρόπος με τον οποίον καταστρέφονται οι εικόνες.

• Output Reflectance Scale Factor: 10000

Σε αυτό το μοντέλο, θα εφαρμοστεί η ατμοσφαιρική διόρθωση για τα αρχικά δεδομένα με τη χρήση του θαλάσσιου μοντέλου. Οι διαφορετικοί συνδυασμοί που θα δημιουργηθούν είναι μεθόδου 2-Band K-T, της αρχικής τιμής ορατότητας των 40 km και η σύγκριση της χρήσης ή όχι της φασματική ομαλοποίησης. Όλες οι υπόλοιπες παράμετροι παραμένουν αμετάβλητες. Οι διαφορές στα αποτελέσματα των δύο διορθώσεων στις τιμές ορατότητας (visibility) και στην περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε υδρατμούς (average water amount) παρουσιάζονται στον πίνακα 15.

Παράμετροι Εισαγωγ	ής	Visibility (km)	Average Water Amount (cm)
2-Band K-T		25,7309	1,2064
Αρχική Τ Ορατότητας	Γιμή	40.0000	1.1886

Πίνακας 15: Αποτελέσματα των δύο εφαρμογών ατμοσφαιρικών διορθώσεων

Για τον έλεγχο της αξιοπιστίας των ατμοσφαιρικών διορθώσεων χρησιμοποιούνται οι έρευνες των Amici et al (2014) και των Spinetti et al (2009). Ακολουθεί η σύγκριση των φασματικών υπογραφών επιλεγμένων εικονοστοιχείων με την φασματική υπογραφή των εικονοστοιχείων που έχουν αποκτηθεί από τις βιβλιογραφικές αναφορές (εικ. 18 και 19).

Παρακάτω παρουσιάζονται οι φασματικές υπογραφές των εικονοστοιχείων που αντιστοιχούν στις τοποθεσίες των δειγμάτων της βιβλιογραφίας. Οι φασματικές υπογραφές που θα απεικονισθούν δεν περιέχουν όλα τα φασματικά κανάλια της εικόνας αλλά μόνο αυτά που έχουν πληροφορία και αυτή η διαδικασία θα αναλυθεί στο κεφάλαιο 6. Στην εικόνα επιλέχθηκαν εικονοστοιχεία με συγκεκριμένες κολώνες και γραμμές (με την εφαρμογή Pixel Locator), τα οποία αντιστοιχούν στο άρθρο των Spinetti et. al (2009). Στον πίνακα 16 παρουσιάζονται τα εικονοστοιχεία τα οποία επιλέχθηκαν.

	Γραμμές (Sample)	Κολώνες (Lines)
1	651	1109
3	621	1221
7	591	1334
10	495	1167

Πίνακας 16: Τα εικονοστοιχεία που επιλέχθηκαν για την καλύτερη σύγκριση των αποτελεσμάτων

11/ 18		,	A / A	~ ~	. ,		^ /
Πινακας Γ/:	΄ Ι α εικονοστο	17510 7701) 57	τιλεγθηκαν '	νια την καλι)τε οη σι)γι	κοιση των α	νωτελεσματων
110,0000 1,0	10.0000000		i molo i nov				

	Γραμμές (Sample)	Κολώνες (Lines)
1	651	1109
3	621	1221
7	591	1334
10	495	1167

Οι αριθμοί στην αριστερή κολώνα του πίνακα δεν είναι στην σειρά διότι έγινε χρήση των ίδιων αριθμών που υπάρχουν και στην εικόνα 19. Πρώτον, παρουσιάζονται οι φασματικές υπογραφές των εικονοστοιχείων στην πρωτογενή μηατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα. Δεύτερον παρουσιάζονται οι φασματικές υπογραφές των ίδιων εικονοστοιχείων στην εικόνα που διορθώθηκε ατμοσφαιρικά με χρήση του θαλάσσιου μοντέλου.





Εικόνα 32: Φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου 1 με γραμμή 651 και κολώνα 1109 από τη μη ατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα



Εικόνα 33: Φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου 3 με γραμμή 621 και κολώνα 1221 από τη μη ατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα



Εικόνα 34: Αριστερά: Φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου 7 με γραμμή 495 και κολώνα 1167 από τη μη ατμοσφαιρικά διορθωμένη, Δεξιά: Φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου 10 με γραμμή 591 και κολώνα 1334 από τη μη ατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα





35: Φασματική υπογραφή Εικόνα του εικονοστοιχείου 1 με γραμμή 651 και κολώνα 1109



Εικόνα 36: Εικόνα 35: Φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου 3 με γραμμή 621 και κολώνα 1221



Εικόνα 36: Αριστερά: Φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου 7 με γραμμή 495 και κολώνα 1167, Δεξιά: Φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου 10 με γραμμή 591 και κολώνα 1334

Μετά την απεικόνιση των φασματικών υπογραφών από τα αρχικά δεδομένα μεταβαίνουμε στην παρουσίαση της ατμοσφαιρικά διορθωμένης εικόνας. Αρχικά θα δειχθεί η διορθωμένη εικόνα με τη χρήση της μεθόδου 2-band K-T και έπειτα η εικόνα που διορθώθηκε ατμοσφαιρικά χωρίς την χρήση της μεθόδου 2-band K-T λαμβάνοντας ως αρχική τιμή ορατότητας τα 40 km. Επίσης, εφαρμόστηκε και για τις δύο μεθόδους η τεχνική φασματικής ομαλοποίησης (Spectral Polishing). Όπως, έχει ήδη αναφερθεί αυτή η τεχνική ομαλοποιεί το θόρυβο χρησιμοποιώντας μόνο τα ίδια τα δεδομένα της εικόνας. Για την εφαρμογή αυτής της τεχνικής οι παράμετροι που διαφοροποιήθηκαν είναι οι εξής:

- Spectral Polishing: Yes
- Width (number of bands): 9

Μετά από κάθε μοντέλο θα παρατίθεται ένας πίνακας στον οποίο θα αποτυπώνονται οι αρνητικές τιμές (αν υπάρχουν), οι μέγιστες τιμές καθώς σε ποια μήκη κύματος βρίσκονται για να αποδειχθεί εάν αυτό το μοντέλο παράγει σωστά αποτελέσματα.

	Αρνητική τιμή	Μήκος Κύματος της Αρν. Τιμής	Μέγιστη Τιμή	Μήκος Κύματος της Μεγ. Τιμής
1	-134	457,37 nm	628	1124.28nm
3	-50	457.37 nm	2140	1124 nm
7			1220	1265.56 nm
10			1062	1477.43 nm

Πίνακας 18: Αποτύπωση των τιμών των φασματικών υπογραφών των εικονοστοιχείων για τα αντίστοιχα μήκη κύματος με τη χρήση της μεθόδου 2-band K-T

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν οι φασματικές υπογραφές των εικονοστοιχείων με τη χρήση του θαλάσσιου μοντέλου και της αρχικής τιμής ορατότητας των 40km.





Εικόνα 37: Φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου 1 με γραμμή 651 και κολώνα 1109



Εικόνα 38: Φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου 3 με γραμμή 621 και κολώνα 1221



Εικόνα 39: Αριστερά: Φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου 7 με γραμμή 495 και κολώνα 1167 από τη μη ατμοσφαιρικά διορθωμένη, Δεξιά: Φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου 10 με γραμμή 591 και κολώνα 1334 από τη μη ατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα
	Αρνητική τιμή	Μήκος Κύματος της Αρν. Τιμής	Μέγιστη Τιμή	Μήκος Κύματος της Μεγ. Τιμής
1	-61	457.34 nm	611	1123.53 nm
3			2090	1123.53 nm
7			1225	1264.84 nm
10			1075	1466.58 nm

Πίνακας 19: Αποτύπωση των τιμών των φασματικών υπογραφών των εικονοστοιχείων για τα αντίστοιχα μη κύματος με τη χρήση της αρχικής τιμής ορατότητας των 40 km.

Σε αυτή τη δοκιμή παρατηρείται ότι μόνο το πρώτο εικονοστοιχείο εξακολουθεί να έχει αρνητική τιμή στη φασματική υπογραφή και σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος. Αυτό βρίσκεται στα 457,34 nm (κανάλι 11) και ανήκει στο μπλε του ορατού. Άρα καθίσταται αδύνατο να αφαιρεθεί από τα συνολικά φασματικά κανάλια που έχουν πληροφορία. Επίσης, ένας λόγος για τον οποίον αυτό το κανάλι δεν μπορεί να αφαιρεθεί είναι ότι παρέχει πληροφορία και η τιμή του θορύβου (signal to noise ratio) βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα. Αν, γίνει σύγκριση των δύο μεθόδων με βάση το πρώτο εικονοστοιχείο θα δειχθεί ότι η αρνητική τιμή του μειώνεται κατά 71 μονάδες.

Υλοποιώντας την ατμοσφαιρική διόρθωση και για τις δύο περιπτώσεις γίνεται αντιληπτό ότι μπορούν οι παραγόμενες φασματικές υπογραφές να συσχετιστούν με αυτές τις βιβλιογραφίας. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εισαγωγή διαφορετικών παραμέτρων δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές στις φασματικές υπογραφές. Οι μόνες διαφορές που εντοπίζονται είναι στο εύρος των τιμών που έχουν, ενώ παρατηρείται ότι στη δεύτερη δοκιμή με τη χρήση της αρχικής τιμής ορατότητας να είναι πιο ομαλοποιημένες οι τιμές. Επιπλέον για όλες τις εφαρμογές της ατμοσφαιρικής διόρθωσης χρησιμοποιήθηκε το 'Aerosol Retrieval'. Κανονικά, παρατηρώντας τα φασματικά κανάλια που υπάρχουν πλέον στην εικόνα θα έπρεπε να επιλεγεί το πεδίο "none" αλλά εφόσον η ατμοσφαιρική διόρθωση έγινε για όλα τα φασματικά κανάλια, ήταν εφικτή η χρήση της προεπιλεγμένης επιλογής, των 1135nm. Το γεγονός αυτό οφείλεται σε φασματικές περιογές που απορροφάνε το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας από τους υδρατμούς στην ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα να μην καταγράφεται ενέργεια από το δορυφορικό σύστημα. Η μεγάλη απορρόφηση της ακτινοβολίας σε αυτές τις περιοχές, είναι ορατή σε όλες τι φασματικές υπογραφές που παρουσιάστηκαν.

5.6.2: Ατμοσφαιρική διόρθωση χωρίς τη χρήση της τεχνικής "Spectral Polishing" – Φασματική Ομαλοποίηση

Στη συνέχεια δοκιμάστηκε η μη χρήση της τεχνικής της φασματικής ομαλοποίησης. Στόχος αυτής της διαδικασίας είναι η σύγκριση των διαφορών που εμφανίζονται στα αποτελέσματα των διαφορετικών παραμέτρων και για τις δύο τεχνικές της ατμοσφαιρικής διόρθωσης.



Εικόνα 40: Φασματικές υπογραφές για το πρώτο εικονοστοιχείο με γραμμή 651 και κολώνα 1109. Αριστερά είναι με την εφαρμογή της φασματικής ομαλοποίησης και δεξιά χωρίς την εφαρμογή της τεχνικής Spectral Polishing με τη μέθοδο 2-band K-T



Εικόνα 41: Φασματικές υπογραφές για το τρίτο εικονοστοιχείο με γραμμή 621 και κολώνα 1221. Αριστερά είναι με την εφαρμογή της φασματικής ομαλοποίησης και δεξιά χωρίς την εφαρμογή της τεχνικής Spectral Polishing με τη μέθοδο 2-band K-T



Εικόνα 42: Φασματικές υπογραφές για το δέκατο εικονοστοιχείο με γραμμή 495 και κολώνα 1167. Αριστερά είναι με την εφαρμογή της φασματικής ομαλοποίησης και δεξιά χωρίς την εφαρμογή της τεχνικής Spectral Polishing με τη μέθοδο 2-band K-T



Εικόνα 43: Φασματικές υπογραφές για το έβδομο εικονοστοιχείο με γραμμή 591 και κολώνα 1334. Αριστερά είναι με την εφαρμογή της φασματικής ομαλοποίησης και δεξιά χωρίς την εφαρμογή της τεχνικής Spectral Polishing με τη μέθοδο 2-band K-T

Εκτός από τις φασματικές υπογραφές των επιλεγμένων εικονοστοιχείων, για τη σύγκριση των δύο μεθόδων, παρακάτω στον πίνακα 20 απεικονίζονται οι μέγιστες και οι αρνητικές τιμές που έχουν οι φασματικές υπογραφές χωρίς τη μέθοδο της φασματικής ομαλοποίησης. Έτσι θα εντοπιστούν οι διαφορές που προκύπτουν με την μη εφαρμογή της φασματικής ομαλοποίησης για τη μέθοδο 2-band K-T.

Πίνακας 20: Αποτύπωση των τιμών των φασματικών υπογραφών, της δεξιάς στήλης, των εικονοστοιχείων για τα αντίστοιχα μήκη κύματος με τη χρήση της μεθόδου 2-band K-T και χωρίς τη χρήση της Φασματικής ομαλοποίηση.

	Αρνητική Τιμή	Μήκος κύματος Αρν. Τιμής	Μέγιστη Τιμή	Μήκος κύματος Μέγ. Τιμής
1	-178	457.34 nm	592	1124.28 nm
3	-53	447.17 nm	2017	1124.28 nm
7	-60	457.34 nm	1272	1265.56 nm
10			1253	1477.43 nm

Σε αυτό το σημείο παρουσιάζεται ότι οι αρνητικές τιμές που εμφανίζονται στις φασματικές υπογραφές των εικονοστοιχείων και για συγκεκριμένα μήκη κύματος έχουν μεγαλύτερα ποσά. Αυτό όμως το φαινόμενο δεν εντοπίζεται και στις μέγιστες τιμές. Το επόμενο στάδιο εμφανίζει τη σύγκριση των φασματικών υπογραφών με τη χρήση της αρχικής ορατότητας.



Εικόνα 44: Φασματικές υπογραφές για το πρώτο εικονοστοιχείο με γραμμή 651 και κολώνα 1109. Αριστερά είναι με την εφαρμογή της φασματικής ομαλοποίησης και δεξιά χωρίς την εφαρμογή της τεχνικής Spectral Polishing με τη χρήση της αρχικής τιμής ορατότητας 40km



Εικόνα 45: Φασματικές υπογραφές για το τρίτο εικονοστοιχείο με γραμμή 621 και κολώνα 1221. Αριστερά είναι με την εφαρμογή της φασματικής ομαλοποίησης και δεξιά χωρίς την εφαρμογή της τεχνικής Spectral Polishing με τη χρήση της αρχικής τιμής ορατότητας 40km



Εικόνα 46: Φασματικές υπογραφές για το δέκατο εικονοστοιχείο με γραμμή 495 και κολώνα 1167. Αριστερά είναι με την εφαρμογή της φασματικής ομαλοποίησης και δεξιά χωρίς την εφαρμογή της τεχνικής Spectral Polishing με τη χρήση της αρχικής τιμής ορατότητας 40km



Εικόνα 47: Φασματικές υπογραφές για το έβδομο εικονοστοιχείο με γραμμή 591 και κολώνα 1334. Αριστερά είναι με την εφαρμογή της φασματικής ομαλοποίησης και δεξιά χωρίς την εφαρμογή της τεχνικής Spectral Polishing με τη χρήση της αρχικής τιμής ορατότητας 40km

Πίνακας 21: Αποτύπωση των τιμών των φασματικών υπογραφών, της δεξιάς στήλης, των εικονοστοιχείων για τα αντίστοιχα μήκη κύματος με τη χρήση της αρχικής ορατότητας και χωρίς τη μέθοδο της φασματικής ομαλοποίησης.

	Αρνητική Τιμή	Μήκος κύματος Αρν. Τιμής	Μέγιστη τιμή	Μήκος κύματος Μεγ. Τιμής
1	-79	457,34 nm	580	1124.28 nm
3			1940	1124.28 nm
7	-14	447.17 nm	1277	1265.56 nm
10			1223	1477.43 nm

Το ίδιο φαινόμενο εντοπίζεται και σε αυτή τη μέθοδο ατμοσφαιρικής διόρθωσης. Συγκεκριμένα, η φασματική υπογραφή του έβδομου εικονοστοιχείου παρουσιάζει αρνητική τιμή στα 447,17nm ενώ στην αντίστοιχη ατμοσφαιρική διόρθωση, με τη χρήση της αρχικής ορατότητας και της φασματικής ομαλοποίησης, δεν παρουσιάζεται καμία αρνητική τιμή. Επιπλέον, παρατηρείται ότι όλες οι μέγιστες τιμές αριθμητικά είναι πιο "οξυμένες".

Γενικότερα, από τις εικόνες 44 έως και 47, οι οποίες παρουσιάζουν τις διαφορές των φασματικών υπογραφών και με τις δύο μεθόδους αλλά και με την χρήση ή μη της φασματικής ομαλοποίησης, γίνεται αντιληπτό ότι όταν η εικόνα διορθώνεται ατμοσφαιρικά με τη χρήση της τεχνικής Spectral Polishing, παρατηρείται σημαντική μείωση του φασματικού θορύβου σε όλες τις φασματικές υπογραφές των δειγμάτων. Η τεχνική της φασματικής ομαλοποίησης θα χρησιμοποιηθεί σε όλες τις εφαρμογές ατμοσφαιρικής διόρθωσης που θα ακολουθήσουν.

5.6.3: Δεύτερη δοκιμή: Ατμοσφαιρική διόρθωση για την εικόνα του 2009 με τη χρήση του αγροτικού μοντέλου "Rural" με ορατότητα ατμόσφαιρας 40 km, της μεθόδου 2-Band Over Water και με την επιλογή της φασματικής ομαλοποίησης με 9 κανάλια (Width).

Το δεύτερο πείραμα αφορά τη χρήση του αγροτικού μοντέλου (rural) μείγματος αερίων και σωματιδίων της ατμόσφαιρας (Aerosol Model). Επίσης εφαρμόζονται η μέθοδος προσδιορισμού του μείγματος 2-band Over water καθώς και η αρχική τιμή ορατότητας. Οι παράμετροι που θα χρησιμοποιηθούν για τη διεκπεραίωση αυτής της δοκιμής είναι οι ακόλουθοι.

- Scene Center Location
 - Scene Center Latitude: 37.72946667
 - Scene Center Longitude: 14.95670556
- Sensor Type: Hyperion
- Sensor Altitude (km): 705
- Ground Elevation (km): 1,5 (διότι το ύψος της Αίτνας είναι περίπου 3 km)
- Pixel size (m): 29.970 (αυτή είναι η πραγματική τιμή της χωρικής διακριτικής ικανότητας του Hyperion, ενώ παντού ενδείκνυται ο αριθμός 30)
- Flight Date: 2009/10/8
- Fight Time GMT (HH:MM:SS): 09: 19: 58
- Atmospheric Model: Sub-Mid Latitude Summer
- Water Retrieval: yes
- Water Absorption Feature nm: 1135
- Aerosol Model: Rural
- Aerosol Retrieval: 2-Band Over Water
- Initial Visibility (km): 40
- Spectral Polishing: yes
- Width (number of bands): 9
- Wavelength Recalibration: No
- Aerosol Scale Height (km): 1.5
- CO2 Mixing Ration: 390 ppm
- Use Square Slit Function: No
- Use Adjacency Correction: yes
- Reuse Modtran Calculations: No
- Modtran Resolution: 5 cm-1
- Modtran Multiscatter Model: Scaled Disort
- Number of DISORT streams: 8
- Ζενίθεια και Αζιμούθια γωνία: 180 μοίρες, 0 μοίρες (δεν αλλάζουμε ποτέ αυτή την επιλογή όταν αναφερόμαστε σε συστήματα που έχουν μόνο κατακόρυφη λήψη δεδομένων, όπως είναι και ο αισθητήρας Hyperion)
- Use Tile Processing: No
- Output Reflectance Scale Factor: 10000

Ο πίνακας 22 παρουσιάζει την περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε υδρατμούς και την ορατότητα.

Πίνακας 22: Αποτελέσματα των δύο εφαρμογών ατμοσφαιρικών διορθώσεων

Παράμετροι Εισαγωγής	Visibility (km)	Average Water Amount (cm)
2-Band Over Water	300.0003	1.2669
Αρχική Τιμή Ορατότητας	40.0000	1.2150

Έπειτα, θα παρουσιαστεί ο θεματικός χάρτης που δημιουργήθηκε για την εικόνα του 2009. Η συγκεκριμένη έχει διορθωθεί ατμοσφαιρικά με τη χρήση του αγροτικού μοντέλου, της μεθόδου 2-band Over water και χρησιμοποιώντας την φασματική ομαλοποίηση.

Επίσης, σε αυτόν τον χάρτη θα τοποθετηθούν κάποια σημεία, τα οποία δείχνουν τα εικονοστοιχεία που επιλέχθηκαν ως δείγματα, για να αποδειχθεί η ορθότητα ή όχι της ατμοσφαιρικής διόρθωσης με τη χρήση αυτών των παραμέτρων. Σε αυτή τη δοκιμή δεν θα συγκρίνουμε τις διαφορές χρήσης ή μη της φασματικής ομαλοποίησης διότι αποφασίστηκε προγενέστερα ότι θα χρησιμοποιηθεί για όλα τα μοντέλα.





Εικόνα 48: Φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου 1 με γραμμή 651 και κολώνα 1109



Εικόνα 49: Φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου 3 με γραμμή 621 και κολώνα 1221



Εικόνα 50: Αριστερά: Φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου 7 με γραμμή 495 και κολώνα 1167, Δεξιά: Φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου 10 με γραμμή 591 και κολώνα 1334

Σε αυτή τη δοκιμή παρατηρείται μία έντονη διαφορά σε σύγκριση με την προηγούμενη. Καμία από τις φασματικές υπογραφές δεν έχει αρνητική τιμή ούτε κοντά στο μηδέν, στα δύο τμήματα του μήκους κύματος που ανήκουν στο μπλε του ορατού (447,17 και 457,34). Ακόλουθα, παρουσιάζεται ο πίνακας 23 που δείχνει τις τιμές των φασματικών υπογραφών. Αλλά σε αυτόν τον πίνακα θα τοποθετηθούν εκτός από τις μέγιστες τιμές, οι τιμές που ανήκουν στο μήκος κύματος 457,34 nm, το οποίο στην πρώτη δοκιμή εμφάνιζε τις περισσότερες αρνητικές τιμές.

Πίνακας 23: Αποτύπωση των τιμών των φασματικών υπογραφών των εικονοστοιχείων για τα αντίστοιχα μήκη κύματος με τη χρήση της μεθόδου 2-band Over Water

	Τιμές στο μήκος κύματος 457,34 nm	Μέγιστη τιμή	Μήκος κύματος Μεγ. Τιμής
1	47	600	1124.28 nm
3	153	1955	1124.28 nm
7	123	1181	1255.46 nm
10	204	1035	1477.43 nm

Με τα στοιχεία του πίνακα 23 επαληθεύεται ο προγενέστερος ισχυρισμός. Επίσης, παρατηρείται ότι μετά την εφαρμογή της ατμοσφαιρικής διόρθωσης οι φασματικές υπογραφές μπορούν εύκολα να ταυτοποιηθούν με τα αντίστοιχα δείγματα του άρθρου. Συγκεκριμένα, υπάρχουν αρκετές ομοιότητες σε όλο το εύρος της φασματικής υπογραφής. Έτσι είναι εφικτό να αναγνωριστεί ότι το πρώτο εικονοστοιχείο αντιστοιχεί σε τέφρα, το τρίτο σε λάβα που χρονολογείται το 2002, το έβδομο επίσης σε λάβας αλλά του 1610 και το δέκατο σε άσφαλτο.

Αλλά, σε αυτό που διαφέρουν είναι ότι οι φασματικές υπογραφές της βιβλιογραφίας είναι πιο ομαλές, δηλαδή δεν περιέχουν σημεία στα οποία οι τιμές αυξάνονται ή μειώνονται απότομα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα της πρώτης φασματικής υπογραφής, είναι ότι η τιμή που εμφανίζεται στα 1124,28 nm είναι 600, ενώ στο αντίστοιχο μήκος κύματος, της βιβλιογραφίας, η τιμή ανέρχεται μόλις στα 400 nm. Άρα πιθανόν, οι Spinetti et. Al. να έχουν χρησιμοποιήσει περισσότερα κανάλια στην φασματική ομαλοποίηση, ή άλλες τεχνικές ομαλοποίησης των τιμών των εικονοστοιχείων. Το ίδιο φαινόμενο συμβαίνει και στις άλλες φασματικές υπογραφές.

Η επόμενη εφαρμογή αφορά την ατμοσφαιρική διόρθωση με τη χρήση του αγροτικού μοντέλου αλλά με τη χρήση της αρχικής τιμής ορατότητας των 40km.





Εικόνα 51: Φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου 1 με γραμμή 651 και κολώνα 1109



Εικόνα 52: : Φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου 3 με γραμμή 621 και κολώνα 1221



Εικόνα 53: Αριστερά: Φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου 7 με γραμμή 495 και κολώνα 1167, Δεξιά: Φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου 10 με γραμμή 591 και κολώνα 1334

Ακόλουθα, αναλύονται όλες οι φασματικές υπογραφές, ως προς τις μέγιστες και τις ελάχιστες τιμές τους και σε ποια τμήματα του φάσματος εντοπίζονται. Επίσης, θα αναλυθούν οι διαφορές που υπάρχουν σε σχέση με το προηγούμενο πείραμα της ατμοσφαιρικής διόρθωσης. Ωστόσο, αυτή η δοκιμή θα συγκριθεί τόσο με τη χρήση της μεθόδου 2-band Over Water όσο και με την επόμενη δοκιμή της ατμοσφαιρικής διόρθωσης, στην οποία θα γίνει χρήση της μεθόδου 2-band K-T με το αγροτικό μοντέλο μείγματος αερίων.

	A 7	M/		N//
	Αρνητικη	Μηκος	Μεγιστη Γιμη	Μηκος
	Τιμή	Κύματος Αρν.		Κύματος Μέγ.
		Τιμής		Τιμής
1	-80	457,34 nm	612	1124.28 nm
	-17	1917.76 nm		
3			2086	1124.28 nm
7	-16	447.17 nm	1243	1265.56 nm
10			1057	1477.43 nm

Πίνακας 24: Καταγραφή των αποτελεσμάτων της ατμοσφαιρικής διόρθωσης

Εφαρμόζοντας την ατμοσφαιρική διόρθωση με αυτούς τους παραμέτρους παρατηρείται ότι δεν δημιουργήθηκαν θετικά αποτελέσματα. Εμφανίσθηκαν πάλι αρνητικές τιμές σχεδόν σε όλα τα φάσματα αλλά σε μικρότερες τιμές, σε σύγκριση με τη χρήση της μεθόδου 2-band K-T.

Συγκρίνοντας τις δύο εκδοχές του δεύτερου πειραματισμού της ατμοσφαιρικής διόρθωσης καταλήγουμε ότι η χρήση της μεθόδου 2-band over water είναι η μοναδική που δεν έχει εμφανίσει αρνητικές τιμές στις φασματικές υπογραφές. Άρα την καθιστά ως την καλύτερη ατμοσφαιρική διόρθωση που έχει εφαρμοστεί ως τώρα για την εικόνα του 2009. Αυτό πιθανολογικά να σημαίνει ότι η χωροθέτηση του ηφαιστείου κοντά στην παράκτια ζώνη της Σικελίας να επηρεάζει πάρα πολύ την ποσότητα του μείγματος των αερίων καθώς και την ορατότητα της ατμόσφαιρας. Επίσης, πρέπει να τονιστεί ότι είναι η μοναδική μέθοδος, στην οποία η τιμή της ορατότητας είναι κατά πολύ μεγαλύτερη (300 km) από την αρχική τιμή. Ενώ στην πρώτη δοκιμή ατμοσφαιρικής διόρθωσης η τιμή της ανέρχονταν μόλις 25,73 km.

Στο τελευταίο πείραμα για την εικόνα του 2009 χρησιμοποιείται πάλι το αγροτικό μοντέλο καθώς και οι συνθήκες του προηγούμενου πειράματος. Η διαφορετική παράμετρος που χρησιμοποιείται είναι το 2-band K-T. Ο ισχυρισμός αυτός στηρίζεται στην εκδοχή του μικρού επηρεασμού του θαλάσσιου περιβάλλοντος του ηφαιστείου. Οι παράμετροι που τέθηκαν για την υλοποίηση της προκείμενης ατμοσφαιρικής διόρθωσης είναι η εξής:

5.6.4: Τρίτη δοκιμή: Ατμοσφαιρική διόρθωση για την εικόνα του 2009 με τη χρήση του αγροτικού μοντέλου "Rural" με ορατότητα ατμόσφαιρας 40 km, της μεθόδου 2-Band K-T και με την επιλογή της φασματικής ομαλοποίησης με 9 κανάλια (Width).

- Scene Center Location
 - Scene Center Latitude: 37.72946667

- Scene Center Longitude: 14.95670556
- Sensor Type: Hyperion
- Sensor Altitude (km): 705
- Ground Elevation (km): 1,5 (διότι το ύψος της Αίτνας είναι περίπου 3 km)
- Pixel size (m): 29.970 (αυτή είναι η πραγματική τιμή της χωρικής διακριτικής ικανότητας του Hyperion, ενώ παντού ενδείκνυται ο αριθμός 30)
- Flight Date: 2009/10/8
- Fight Time GMT (HH:MM:SS): 09: 19: 58
- Atmospheric Model: Sub-Mid Latitude Summer
- Water Retrieval: yes
- Water Absorption Feature nm: 1135
- Aerosol Model: Rural
- Aerosol Retrieval: 2-Band K-T
- Initial Visibility (km): 40
- Spectral Polishing: yes
- Width (number of bands): 9
- Wavelength Recalibration: No
- Aerosol Scale Height (km): 1.5
- CO2 Mixing Ration: 390 ppm
- Use Square Slit Function: No
- Use Adjacency Correction: yes
- Reuse Modtran Calculations: No
- Modtran Resolution: 5 cm-1
- Modtran Multiscatter Model: Scaled Disort
- Number of DISORT streams: 8
- Ζενίθεια και Αζιμούθια γωνία: γωνία: 180 μοίρες, 0 μοίρες (δεν αλλάζουμε ποτέ αυτή την επιλογή όταν αναφερόμαστε σε συστήματα που έχουν μόνο κατακόρυφη λήψη δεδομένων, όπως είναι και ο αισθητήρας Hyperion)
- Use Tile Processing: No
- Output Reflectance Scale Factor: 10000

Στη συνέχεια, παρατίθενται οι διαφορές των ατμοσφαιρικών διορθώσεων με τη χρήση της μεθόδου 2-band K-T και της αρχικής τιμής ορατότητας που εφαρμόστηκε στο προηγούμενο μοντέλο. Οι διαφορές αυτές αφορούν τις τιμές ορατότητας (visibility) και της περιεκτικότητας της ατμόσφαιρας σε υδρατμούς (average water amount) και παρουσιάζονται στον πίνακα 25.

Πίνακας 25: Αποτελέσματα των δύο εφαρμογών ατμοσφαιρικών διορθώσεων (μέθοδος 2-band K-T και αρχική τιμή ορατότητας)

Παράμετροι Εισαγωγής	Visibility (km)	Average water Amount (cm)
Μέθοδος 2-band K-T	28,0831	1,2489







Εικόνα 54: Φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου 1 με γραμμή 651 και κολώνα 1109



Εικόνα 55: Φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου 3 με γραμμή 621 και κολώνα 1221



Εικόνα 56: Αριστερά: Φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου 7 με γραμμή 495 και κολώνα, Δεξιά: Φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου 10 με γραμμή 591 και κολώνα 1334

Ακολούθως παρατίθενται ο πίνακας 26, ο οποίος απεικονίζει τις αρνητικές τιμές που υπάρχουν, αλλά και σε ποια εικονοστοιχεία. Επίσης, παρουσιάζει τις μέγιστες τιμές έτσι ώστε να μπορεί να γίνει ευκολότερη η σύγκριση της μεθόδου 2band K-T με την αρχική τιμή ορατότητας αλλά και με τα προγενέστερα μοντέλα.

	Αρνητική Τιμή	Μήκος κύματος Αρν. Τιμής	Μέγιστη Τιμή	Μήκος κύματος Μέγ. Τιμής
1	-179	457.34 nm	627	1124.28 nm
3	-26	457.34 nm	2086	1124.28 nm
7	-56	457.34 nm	1247	1265.56 nm
10			1064	1477.43 nm

Πίνακας 26: Καταγραφή των αποτελεσμάτων της ατμοσφαιρικής διόρθωσης με τη χρήση του αγροτικού μοντέλου και της μεθόδου 2-band K-T

Σε αυτή την περίπτωση μελετούνται οι φασματικές υπογραφές από τα ίδια εικονοστοιχεία έτσι ώστε να υπάρχει η καλύτερη σύγκριση με τις προηγούμενες ατμοσφαιρικές δοκιμές. Ειδικότερα, το συγκεκριμένο μοντέλο ατμοσφαιρικής διόρθωσης αποδίδει τα πιο ακατάλληλα αποτελέσματα φασματικών υπογραφών για τη συνέχιση της προκείμενης έρευνας.

Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται αρνητικές τιμές στα δείγματα 1 (γραμμή 651, κολώνα 1109), 3 (γραμμή 621, κολώνα 1221) και 7 (γραμμή 495, κολώνα 1167). Οι τιμές αυτές κυμαίνονται από -179 έως -56 και βρίσκονται στο μήκος κύματος των 457,34 nm. Η σύγκριση των τιμών με τις τιμές των προηγούμενων πειραμάτων αποδίδουν το συμπέρασμα του συσχετισμού των τιμών των φασματικών υπογραφών με τις τιμές της ατμοσφαιρικής διόρθωσης του θαλάσσιου μοντέλου χωρίς φασματική ομαλοποίηση. Επίσης, πιθανολογικά μπορεί να θεωρηθεί ότι, αν γινόταν εφαρμογή του αγροτικού μοντέλου με τη μέθοδο 2-band K-T χωρίς τη φασματική ομαλοποίηση, οι τιμές των φασματικών υπογραφών στο ίδιο μήκος κύματος θα ήταν πιο ακραίες. Επιπλέον, παρατηρείται ότι υπάρχει μεγάλη διαφορά στις φασματικές υπογραφές, στα 1950 nm και έπειτα μεταξύ των δειγμάτων αυτήν της έρευνας με τις φασματικές υπογραφία.

5.7: Ατμοσφαιρικές δοκιμές για την εικόνα Hyperion του 2012

5.7.1: Τέταρτη δοκιμή: Ατμοσφαιρική διόρθωση για την εικόνα του 2012 με τη χρήση του θαλάσσιου μοντέλου "Maritime" με τη χρήση της μεθόδου 2-band K-T, της αρχικής ορατότητας ατμόσφαιρας στα 40 km και με την επιλογή της φασματικής ομαλοποίησης με 9 κανάλια (Width)

Για την ατμοσφαιρική διόρθωση της τμηματικής εικόνας Hyperion του 2012 με το λογισμικό FLAASH χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιες δοκιμές με αυτές της εικόνας 2009. Δηλαδή, εφαρμόστηκε αρχικά το θαλάσσιο μοντέλο Maritime (ορίζεται στο πεδίο 'Aerosol Model'). Με διάφορους συνδυασμούς παραμέτρων εισαγωγής, εξετάστηκαν τα αποτελέσματα που επιφέρει στα προϊόντα της διόρθωσης, η χρήση της μεθόδου 2-band K-T, της αρχικής τιμής ορατότητας και η τεχνική της φασματικής ομαλοποίησης.

Η πρώτη εφαρμογή ατμοσφαιρικής διόρθωσης, θα υλοποιηθεί με τη χρήση του θαλάσσιου μοντέλου και οι παράμετροι εισαγωγής που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι παρακάτω:

- Scene Center Location
 - Scene Center Latitude: 37.72946667
 - Scene Center Longitude: 14.95670556
- Sensor Type: Hyperion
- Sensor Altitude (km): 705
- Ground Elevation (km): 1,5 (διότι το ύψος της Αίτνας είναι περίπου 3 km)
- Pixel size (m): 29.970 (αυτή είναι η πραγματική τιμή της χωρικής διακριτικής ικανότητας του Hyperion, ενώ παντού ενδείκνυται ο αριθμός 30)
- Flight Date: 2012/7/14
- Fight Time GMT (HH:MM:SS): 09:14:24
- Atmospheric Model: Sub-Mid Latitude Summer
- Water Retrieval: yes
- Water Absorption Feature nm: 1135
- Aerosol Model: Maritime
- Aerosol Retrieval: 2-Band K-T
- Initial Visibility (km): 40
- **Spectral Polishing:** yes
- Width (number of bands): 9
- Wavelength Recalibration: No
- Aerosol Scale Height (km): 1.5
- CO2 Mixing Ration: 390 ppm
- Use Square Slit Function: No
- Use Adjacency Correction: yes
- Reuse Modtran Calculations: No
- Modtran Resolution: 5 cm-1
- Modtran Multiscatter Model: Scaled Disort
- Number of DISORT streams: 8
- Ζενίθεια και Αζιμούθια γωνία: γωνία: 180 μοίρες, 0 μοίρες (δεν αλλάζουμε ποτέ αυτή την επιλογή όταν αναφερόμαστε σε συστήματα που έχουν μόνο κατακόρυφη λήψη δεδομένων, όπως είναι και ο αισθητήρας Hyperion)
- Use Tile Processing: No
- Output Reflectance Scale Factor: 10000

Εκτός από την εφαρμογή αυτών των παραμέτρων θα υλοποιηθεί και η ατμοσφαιρική διόρθωση με τη χρήση της αρχικής τιμής ορατότητας, έτσι ώστε να δειχθούν οι διαφορές που προκύπτουν από τις δύο αυτές τεχνικές. Στον πίνακα 27 παρουσιάζονται οι τιμές ορατότητας (visibility) και της περιεκτικότητας της ατμόσφαιρας σε υδρατμούς (average water amount).

Παράμετροι Εισαγωγής	Visibility (km)	Average (cm)	water	Amount
Μέθοδος 2-band K-T	27,5066	1,1635		
Αρχική τιμή ορατότητας	40	1,1769		

Πίνακας 27: Αποτελέσματα των ατμοσφαιρικών διορθώσεων γα την εικόνα 2012

Για τον έλεγχο της ορθότητας της ατμοσφαιρικής διόρθωσης χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια δείγματα που εφαρμόστηκαν για την εικόνα 2009 και συμπίπτουν με την αντίστοιχη βιβλιογραφία των Spinetti et. al. Όμως δεν ήταν εφικτό να χρησιμοποιηθούν τα ίδια εικονοστοιχεία διότι ενώ έχουν κοπεί με γεωμετρικές συντεταγμένες δεν έχουν, οι δύο εικόνες, τις ίδιες εικονοσυντεταγμένες. Όποτε, για να βρεθούν τα εικονοστοιχεία τα οποία αντιστοιχούν με τα δείγματα της εικόνας 2009 αλλά και της βιβλιογραφίας, εφαρμόστηκε η εντολή 'Geographic Link'. Με αυτή την εντολή συγχρονίζονται γεωγραφικά όλες οι εικόνες που χρησιμοποιούνται. Άρα ο χρήστης αλλάζοντας το κέντρο της τοποθεσίας μίας εικόνας μπορεί ταυτόχρονα να αλλάξει και το κέντρο της άλλης. Έτσι, συγχρονίζοντας τις δύο εικόνες 2009 και 2012 βρέθηκαν οι σωστές κολώνες και γραμμές των δειγμάτων και παρατίθενται στον πίνακα 28.

	Γραμμές (Sample)	Κολώνες (Lines)
1	470	1949
3	440	2061
7	314	2007
10	410	2174

Πίνακας 28: Τα εικονοστοιχεία που επιλέχθηκαν για την καλύτερη σύγκριση των αποτελεσμάτων

Αρχικά, παρουσιάζεται ο θεματικός χάρτης με την πρωτογενή εικόνα, η οποία έχει τις αρχικές τιμές ακτινοβόλησης για τα 153 εναπομείναντα φασματικά κανάλια. Επιπλέον, παρουσιάζονται, ο θεματικός χάρτης της ατμοσφαιρικά διορθωμένης εικόνας με τη χρήση της μεθόδου 2-band K-T, της αρχικής τιμής ορατότητας, καθώς και οι φασματικές υπογραφές των εικονοστοιχείων που παράχθηκαν από τα δείγματα. Κάθε θεματικός χάρτης παρουσιάζεται από την επιλογή 'RGB Color', του λογισμικού ENVI, στο οποίο ως R(Red) τοποθετείται το φασματικό κανάλι 45, ως G(Green) το φασματικό κανάλι 27 και ως B(Blue) το φασματικό κανάλι 15. Ο συνδυασμός των τριών αυτών καναλιών δημιουργούν μία ψευδέχρωμη εικόνα.





Εικόνα 57: Φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου 1 με γραμμή 470 και κολώνα 1949 της πρωτογενούς εικόνας



Εικόνα 58: Φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου 3 με γραμμή 440 και κολώνα 2061 της πρωτογενούς εικόνας





Εικόνα 59: Αριστερά: Φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου 7 με γραμμή 314 και κολώνα 2007 της πρωτογενούς εικόνας, Δεξιά: Φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου 10 με γραμμή 410 και κολώνα 2174 της πρωτογενούς εικόνας

Παρατηρώντας αυτές φασματικές υπογραφές της αρχικής εικόνας προκύπτει το συμπέρασμα της μη συσχέτισης αυτών με υπογραφές που παρουσιάζονται στα δείγματα της βιβλιογραφίας (εικ. 19). Άρα, γίνεται αποδεκτή η εφαρμογή της ατμοσφαιρικής διόρθωσης έτσι ώστε η εικόνα να αντιπροσωπεύει τις πραγματικές φασματικές υπογραφές των αντικειμένων. Παρακάτω, θα δειχθεί η πρώτη εφαρμογή της ατμοσφαιρικής διόρθωσης για την εικόνα 2012 με τη χρήση του θαλάσσιου μοντέλου, της μεθόδου 2-band K-T.





Εικόνα 60: Φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου 1 με γραμμή 470 και κολώνα 1949, με τη χρήση της μεθόδου 2-band K-T



Εικόνα 61: Φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου 3 με γραμμή 440 και κολώνα 2061, με τη χρήση της μεθόδου 2-band K-T



Εικόνα 62: Αριστερά: Φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου 7 με γραμμή 314 και κολώνα 2007 με τη χρήση της μεθόδου 2-band K-T, Δεξιά: Φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου 10 με γραμμή 410 και κολώνα 2174, με τη χρήση της μεθόδου 2-band K-T

Έπειτα από την παρουσίαση των φασματικών υπογραφών της ατμοσφαιρικά διορθωμένης εικόνας παρατίθεται ο πίνακας 29 στον οποίον παρουσιάζονται οι ελάχιστες τιμές στο συγκεκριμένο μήκος κύματος 457,34 nm και αντίστοιχα οι μέγιστες τιμές και τα μήκη κύματος στις οποίες εμφανίζονται.

Πίνακας 29: Παρουσίαση ελάχιστων και μέγιστων τιμών των φασματικών υπογραφών στην ατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα 2012

Ελάχιστη τιμή στα 457,34 nm	Μέγιστη Τιμή	Μήκος κύματος Μεγ. Τιμής (nm)
--------------------------------	--------------	-------------------------------------

1	94	675	2153,34
3	29	1811	1043,59
7	71	1299	1255,46
10	82	1146	1598,51

Με βάση τις τιμές του πίνακα 29 παρατηρείται ότι δεν υπάρχει καμία αρνητική τιμή και στα τέσσερα δείγματα ενώ αυτό σημαίνει ότι η προκείμενη ατμοσφαιρική διόρθωση ήταν επιτυχής. Αυτό το αποτέλεσμα, στηρίζεται ακόμα περισσότερο εάν συγκριθεί με τη χρήση των ίδιων παραμέτρων και την εξαγωγή τα ν φασματικών υπογραφών για την εικόνα 2009. Άρα η εικόνα του 2012 παρουσιάζει ενδεχομένως λιγότερο θόρυβο απ' ότι η εικόνα του 2009.

Ο επόμενος πειραματισμός αφορά, τη χρήση των ίδιων παραμέτρων και δειγμάτων με τη μόνη διαφορά στη χρήση της αρχικής τιμής ορατότητας στα 40 km. Οι ακόλουθες, εικόνες παρουσιάζουν την ατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα καθώς και τις φασματικές υπογραφές των εικονοστοιχείων που πηγάζουν από τη διαδικασία της εφαρμογής.





Εικόνα 63: Φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου 1 με γραμμή 470 και κολώνα 1949, με τη χρήση της αρχικής τιμής ορατότητας των 40 km



Εικόνα 64: Φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου 3 με γραμμή 440 και κολώνα 2061, με τη χρήση της αρχικής τιμής ορατότητας των 40 km



Εικόνα 65: Αριστερά: Φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου 7 με γραμμή 314 και κολώνα 2007, με τη χρήση της αρχικής τιμής ορατότητας των 40 km, Δεξιά: Φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου 10 με γραμμή 410 και κολώνα 2174 με τη χρήση της αρχικής τιμής ορατότητας των 40 km

Χρησιμοποιώντας την αρχική τιμή ορατότητας των 40 km παρατηρείται ότι δεν εμφανίζονται αρνητικές τιμές και τα φάσματα που δημιουργούνται είναι ικανοποιητικά. Αναλυτικότερα, στον πίνακα 30 καταγράφονται οι ελάχιστες και οι μέγιστες τιμές των εικονοστοιχείων για να μπορεί να υλοποιηθεί η καλύτερη σύγκριση με την προηγούμενη μέθοδο.

	Ελάχιστη τιμή στο μήκος κύματος των 457,34 nm	Μέγιστη Τιμή	Μήκος κύματος της Μεγ. Τιμής (nm)
1	137	679	2153.34
3	76	1785	1043.59
7	114	1322	1265.59
10	128	1157	1598.51

Πίνακας 30: Οι παραγόμενες ελάχιστες και μέγιστες τιμές των εικονοστοιχείων με τη χρήση της αρχικής τιμής ορατότητας των 40 km

Συγκρίνοντας τις φασματικές υπογραφές και των δύο μεθόδων, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι μπορεί να γίνει ταυτοποίηση των φασμάτων και να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι τα επιλεγόμενα εικονοστοιχεία αντιστοιχούν στην τέφρα (πρώτο εικονοστοιχείο), στις δύο ειδών λάβες που χρονολογούνται το 2002 και το 1610 (εικονοστοιχεία τρίτο και έβδομο) και στην άσφαλτο (εικονοστοιχείο δέκατο).

Επιπλέον, τα αποτελέσματα των διαφορετικών παραμέτρων εισαγωγής που δοκιμάστηκαν (διόρθωση με τη χρήση της μεθόδου 2-band K-T και διόρθωση με την αρχική τιμή ορατότητας) δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές οπτικά. Όμως, αν γίνει ένας εκτενέστερος έλεγχος, με βάση τους πίνακες 29 και 30 εντοπίζεται ότι η μόνη αξιόλογη διαφορά μεταξύ των φασματικών υπογραφών βρίσκεται στο εύρος των ελάχιστων και μέγιστων τιμών. Δηλαδή, με τη χρήση της πρώτης μεθόδου παρατηρούνται οι ελάχιστες τιμές να είναι πιο κοντά στο μηδέν απ' ότι με τη χρήση της δεύτερης μεθόδου. Επίσης, παρατηρείται ότι οι μέγιστες τιμές και των τεσσάρων εικονοστοιχείων εμφανίζονται στα ίδια τμήματα του φάσματος. Αν συγκρίνουμε τα παραγόμενα αποτελέσματα των ατμοσφαιρικών διορθώσεων για τις εικόνες 2009 και 2012 θα εντοπιστούν αισθητές διαφορές. Αναλυτικότερα, παρατηρούνται μεγάλες αρνητικές τιμές στην εικόνα του 2009 ενώ αντίστοιχα κάτι τέτοιο δεν εμφανίζεται στην εικόνα του 2012. Οι αρνητικές τιμές όμως, όπως προαναφέρθηκε δεν έχουν φυσική υπόσταση διότι οι τιμές τις ανακλαστικότητας εκφράζουν την εκατοστιαία ανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας των αντικειμένων της γήινης επιφάνειας. Επιπλέον, οι μέγιστες τιμές στις φασματικές υπογραφές της εικόνας 2009 εμφανίζονται σε διαφορετικά μήκη κύματος σε σύγκριση με τις φασματικές υπογραφές της εικόνας 2012. Αυτό πιθανολογικά, πηγάζει από την αλλαγή στις ατμοσφαιρικές συνθήκες που μπορεί να έγινε κατά τη διάρκεια τριών χρόνων, από τη διαφορετική εποχή λήψης των εικόνων και από την αλλαγή της κάλυψης γης των δύο εικόνων.

Επιπλέον, για την ατμοσφαιρική διόρθωση της τμηματικής εικόνας Hyperion του 2012, παρατηρείται και εδώ ότι, όλες οι φασματικές υπογραφές σε περιέχουν τιμές στις φασματικές περιοχές 1350-1450 nm και 1800-1950nm. Αυτό το φαινόμενο, δημιουργείται για τον ίδιο λόγο που αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 5.4.1. Δηλαδή, λόγο ότι σε αυτές τις φασματικές περιοχές απορροφάται το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας από τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας, δεν καταγράφεται ενέργεια από τον δορυφορικό αισθητήρα, άρα κατ' επέκταση αυτού είναι τα φασματικά κανάλια αυτής της περιοχής να παρουσιάζουν θόρυβο ή καμία πληροφορία και να αφαιρούνται κατά την επεξεργασία των δεδομένων της εικόνας.

5.7.2: Ατμοσφαιρική διόρθωση χωρίς τη χρήση της τεχνικής "Spectral Polishing" – Φασματική Ομαλοποίηση

Όπως έχει ήδη αναφερθεί για την εικόνα του 2009 η τεχνική της φασματικής ομαλοποίησης εφαρμόζεται για τον περιορισμό του φασματικού θορύβου στα υπερφασματικά δεδομένα, χρησιμοποιώντας αποκλειστικά τα ίδια του τα δεδομένα. Στις ατμοσφαιρικές διορθώσεις που εφαρμόστηκαν στις δύο παραπάνω ενότητες, η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται. Σε αυτή την ενότητα δείχνονται οι διαφορές στις φασματικές υπογραφές που δημιουργούνται από τη χρήση ή τη μη χρήση της τεχνικής της φασματικής ομαλοποίησης.



Εικόνα 66: Αριστερά: Η φασματική υπογραφή του επιλεγμένου εικονοστοιχείου της τέφρας, στην εικόνα που διορθώθηκε ατμοσφαιρικά με την εφαρμογή της μεθόδου 2-band K-T και την τεχνική 'Spectral

Polishing' Δεξιά: Η φασματική υπογραφή του ίδιου εικονοστοιχείου της εικόνας, που διορθώθηκε ατμοσφαιρικά χωρίς τη χρήση της τεχνικής 'Spectral Polishing'



Εικόνα 67: Αριστερά: Η φασματική υπογραφή του επιλεγμένου εικονοστοιχείου της χρονολογημένης λάβας του 2002, στην εικόνα που διορθώθηκε ατμοσφαιρικά με τη χρήση της μεθόδου 2-band K-T και την τεχνικής 'Spectral Polishing' Δεξιά: Η φασματική υπογραφή του ίδιου εικονοστοιχείου της εικόνας, που διορθώθηκε ατμοσφαιρικά χωρίς τη χρήση της τεχνικής 'Spectral Polishing'.



Εικόνα 68: Αριστερά: Η φασματική υπογραφή του επιλεγμένου εικονοστοιχείου της χρονολογημένης λάβας του 1610, στην εικόνα που διορθώθηκε ατμοσφαιρικά με τη χρήση της μεθόδου 2-band K-T και την τεχνικής 'Spectral Polishing' Δεξιά: Η φασματική υπογραφή του ίδιου εικονοστοιχείου της εικόνας, που διορθώθηκε ατμοσφαιρικά χωρίς τη χρήση της τεχνικής 'Spectral Polishing'



Εικόνα 69: Αριστερά: Η φασματική υπογραφή του επιλεγμένου εικονοστοιχείου της ασφάλτου, στην εικόνα που διορθώθηκε ατμοσφαιρικά με τη χρήση της μεθόδου 2-band K-T και την τεχνικής 'Spectral Polishing'. Δεξιά: Η φασματική υπογραφή του ίδιου εικονοστοιχείου της εικόνας, που διορθώθηκε ατμοσφαιρικά χωρίς τη χρήση της τεχνικής 'Spectral Polishing'.

Στις εικόνες 66-69 παρουσιάστηκαν οι φασματικές υπογραφές που προκύπτουν, από την εναλλαγή μίας και μόνο παραμέτρου, της φασματικής ομαλοποίησης. Αναλυτικότερα, προβάλλεται ο πίνακας, στον οποίον αναγράφονται οι ελάχιστες και οι μέγιστες τιμές που προκύπτουν από την ατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα του 2012 με τη μέθοδο 2-band K-T και χωρίς την εφαρμογή της τεχνικής.

Πίνακας 31: Οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές των φασματικών υπογραφών χωρίς τη χρήση της τεχνικής
'Spectral Polishing' με τη χρήση της μεθόδου 2-band K-T

	Ελάχιστη τιμή στο μήκος	Μέγιστη τιμή	Μήκος κύματος
	κύματος 457,34 nm		Μεγ. Τιμής
1	118	697	2062.55 nm
3	37	1804	844 nm
7	89	1338	1265.56 nm
10	103	1153	1578.32 nm

Από τις εικόνες 66-69 γίνεται αντιληπτό ότι όταν η εικόνα διορθώνεται ατμοσφαιρικά με τη χρήση της φασματικής ομαλοποίησης, παρατηρείται σημαντική μείωση του φασματικού θορύβου στις φασματικές υπογραφές των εικονοστοιχείων που αντιπροσωπεύουν τα δείγματα επαλήθευσης των αποτελεσμάτων. Για την εικόνα του 2012 εντοπίζονται λιγότερες μεταβολές του φάσματος οπτικά εκτός από την εικόνα 60 στην οποία φαίνεται μία έντονη απαλοιφή του θορύβου περίπου στα 1000 nm. Επίσης, στον πίνακα 27 οι ελάχιστες τιμές βρίσκονται σε 'ψηλότερα επίπεδα' απ' ότι στην αρχική μέθοδο με τη χρήση της τεχνικής. Αντιθέτως, οι μέγιστες τιμές δεν εμφανίζονται στα ίδια μήκη κύματος με αυτές του πίνακα 25 αλλά, κυμαίνονται σε ομαλότερα επίπεδα. Αυτό, οδηγεί στο συμπέρασμα, ότι η εικόνα του 2012 ενδεχομένως να μην είχε μεγάλο ποσοστό θορύβου έτσι ώστε να εμφανίσει η τεχνική της ομαλοποίησης έντονες διαφορές.

Παρακάτω, θα δειχθούν και οι διαφορές που προέκυψαν από τη χρήση η μη της τεχνικής 'Spectral Polishing' για την αρχική τιμή ορατότητας των 40 km, με τη χρήση του θαλάσσιου μοντέλου μείγματος αερίων της ατμόσφαιρας.



Εικόνα 70: Αριστερά: Η φασματική υπογραφή του επιλεγμένου εικονοστοιχείου της τέφρας, στην εικόνα που διορθώθηκε ατμοσφαιρικά με την εφαρμογή της τεχνικής 'Spectral Polishing' για την αρχική τιμή ορατότητας των 40 km. Δεξιά: Η φασματική υπογραφή του ίδιου εικονοστοιχείου για την ατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα χωρίς την εφαρμογή της τεχνικής 'Spectral Polishing' για την αρχική τιμή ορατότητας των 40 km.



Εικόνα 71: Αριστερά: Η φασματική υπογραφή του επιλεγμένου εικονοστοιχείου λάβας χρονολογημένη το 2002, στην εικόνα που διορθώθηκε ατμοσφαιρικά με την εφαρμογή της τεχνικής 'Spectral Polishing' για την αρχική τιμή ορατότητας των 40 km. Δεξιά: Η φασματική υπογραφή του ίδιου εικονοστοιχείου για την ατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα χωρίς την εφαρμογή της τεχνικής 'Spectral Polishing' για την εφαρμογή της τεχνικής 'Spectral Polishing' για την εφαρμογή της τεχνικής του του διορθωμένη εικόνα χωρίς την εφαρμογή της τεχνικής 'Spectral Polishing' για την αρχική τιμή ορατότητας των 40 km.



Εικόνα 72: Αριστερά: Η φασματική υπογραφή του επιλεγμένου εικονοστοιχείου λάβας χρονολογημένη το 1610, στην εικόνα που διορθώθηκε ατμοσφαιρικά με την εφαρμογή της τεχνικής 'Spectral Polishing' για την αρχική τιμή ορατότητας των 40 km. Δεξιά: Η φασματική υπογραφή του ίδιου εικονοστοιχείου για την ατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα χωρίς την εφαρμογή της τεχνικής 'Spectral Polishing' για την αρχική τιμή ορατότητας των 40 km.



Εικόνα 73: Αριστερά: Η φασματική υπογραφή του επιλεγμένου εικονοστοιχείου της ασφάλτου, στην εικόνα που διορθώθηκε ατμοσφαιρικά με την εφαρμογή της τεχνικής 'Spectral Polishing' για την αρχική τιμή ορατότητας των 40 km. Δεξιά: Η φασματική υπογραφή του ίδιου εικονοστοιχείου για την ατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα χωρίς την εφαρμογή της τεχνικής 'Spectral Polishing' για την αρχική τιμή ορατότητας των 40 km.

Και σε αυτή την περίπτωση εκτός από τις φασματικές υπογραφές που αναδεικνύουν τις διαφορές που προκύπτουν από τη χρήση της φασματικής ομαλοποίησης, ακολουθεί ο πίνακας 32, ο οποίος θα δώσει ένα συνολικό αποτέλεσμα στην αξιολόγηση αυτής της τεχνικής.

	Ελάχιστη τιμή στο μήκος κύματος 457,34 nm	Μέγιστη Τιμή	Μήκος κύματος Μέγ. Τιμής
1	171	695	2062.55 nm
3	95	1834	854.18 nm
7	142	1347	1265.56 nm
10	160	1150	1608.61 nm

Πίνακας 32: Οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές των φασματικών υπογραφών, της ατμοσφαιρικά διορθωμένης εικόνας με τη χρήση της αρχικής τιμής ορατότητας και χωρίς την τεχνική 'Spectral Polishing'

Συγκρίνοντας, τις εικόνες 70 μέχρι 73 καθώς και τον πίνακα 32, παρατηρούνται μερικές διαφορές στις φασματικές υπογραφές των εικονοστοιχείων. Αξιόλογη διαφορά είναι ότι στον παραπάνω πίνακα φαίνεται οι μέγιστες τιμές να βρίσκονται σε μεγαλύτερα επίπεδα, αλλά στα ίδια μήκη κύματος σε σχέση με αυτές που προέκυψαν από την ατμοσφαιρική διόρθωση με τη χρήση της προκείμενης τεχνικής. Επίσης, εντοπίζεται ότι στο τμήμα του φάσματος από τα 2000 nm έως και τα 2500 nm, υπάρχουν πιο έντονες αυξομειώσεις των τιμών. Επιπλέον, στο εικονοστοιχείο 10 (γραμμή: 410, κολώνα: 2174) παρατηρείται μια κατακόρυφη πτώση της τιμής της φασματικής υπογραφής περίπου στα 1100 nm, στην ατμοσφαιρική διόρθωση χωρίς τη χρήσης της φασματικής ομαλοποίησης. Ενώ αντίστοιχα όταν εφαρμόζεται η τεχνική αυτή η καμπύλη είναι πολύ πιο ομαλοποιημένη και η τιμή στα 1100 nm είναι πιο υψηλή.

Άρα, γίνεται αντιληπτό ότι με τη χρήση της τεχνικής της φασματικής ομαλοποίησης δημιουργείται σημαντική μείωση του θορύβου στις φασματικές υπογραφές των εικονοστοιχείων που χρησιμοποιούνται ως δείγματα. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η προκείμενη τεχνική θα εφαρμοστεί για όλες τις ατμοσφαιρικές διορθώσεις που θα ακολουθήσουν. Επιπλέον, μπορούσε να υπάρξει το ενδεχόμενο χρήσης περισσότερων καναλιών και σίγουρα αυτό θα οδηγούσε σε πιο ομαλοποιημένες φασματικές υπογραφές. Όμως, με τη χρήση περισσότερων καναλιών θα χάνονταν περισσότερη πληροφορία δεδομένο το οποίο δεν θα ήταν αποδοτικό για την παρούσα έρευνα.

5.7.3: Πέμπτη δοκιμή: Ατμοσφαιρική διόρθωση για την εικόνα του 2012 με τη χρήση του αγροτικού μοντέλου "Rural" με την αρχική τιμή ορατότητας της ατμόσφαιρας στα 40 km, της μεθόδου 2-Band Over Water και με την επιλογή της φασματικής ομαλοποίησης με 9 κανάλια (Width).

Σε αυτή τη δοκιμή γίνεται χρήση του αγροτικού μοντέλου (rural) μείγματος αερίων και σωματιδίων της ατμόσφαιρας (Aerosol Model). Επίσης εφαρμόζονται η μέθοδος προσδιορισμού του μείγματος 2-band Over water καθώς και η αρχική τιμή ορατότητας. Οι παράμετροι που θα χρησιμοποιηθούν για τη διεκπεραίωση αυτής της δοκιμής είναι οι ακόλουθοι.

- Scene Center Location
 - Scene Center Latitude: 37.72946667
 - > Scene Center Longitude: 14.95670556
- Sensor Type: Hyperion
- Sensor Altitude (km): 705
- Ground Elevation (km): 1,5 (διότι το ύψος της Αίτνας είναι περίπου 3 km)
- Pixel size (m): 29.970 (αυτή είναι η πραγματική τιμή της χωρικής διακριτικής ικανότητας του Hyperion, ενώ παντού ενδείκνυται ο αριθμός 30)
- Flight Date: 2012/07/14
- Fight Time GMT (HH:MM:SS): 09: 14: 24
- Atmospheric Model: Sub-Mid Latitude Summer
- Water Retrieval: yes
- Water Absorption Feature nm: 1135
- Aerosol Model: Rural
- Aerosol Retrieval: 2-Band Over Water
- Initial Visibility (km): 40
- Spectral Polishing: yes
- Width (number of bands): 9
- Wavelength Recalibration: No
- Aerosol Scale Height (km): 1.5
- CO2 Mixing Ration: 390 ppm
- Use Square Slit Function: No
- Use Adjacency Correction: yes
- Reuse Modtran Calculations: No
- Modtran Resolution: 5 cm-1
- Modtran Multiscatter Model: Scaled Disort
- Number of DISORT streams: 8
- Ζενίθεια και Αζιμούθια γωνία: 180 μοίρες, 0 μοίρες (δεν αλλάζουμε ποτέ αυτή την επιλογή όταν αναφερόμαστε σε συστήματα που έχουν μόνο κατακόρυφη λήψη δεδομένων, όπως είναι και ο αισθητήρας Hyperion)
- Use Tile Processing: No
- Output Reflectance Scale Factor: 10000

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει την περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε υδρατμούς και την ορατότητα της ατμόσφαιρας σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ατμοσφαιρικής διόρθωσης, του λογισμικού FLAASH.

Πίνακας 33: Τα αποτελέσματα της ατμοσφαιρικής διόρθωσης για την εικόνα του 2012

Παράμετροι Εισαγωγής	Visibility (km)	Average water Amount (cm)	
Μέθοδος 2-band	40	1.1987	

Over Water			
Αρχική ορατότητας	τιμή	40	1.1969

Μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση με τη χρήση του αγροτικού μοντέλου αερίων της ατμόσφαιρας, παρατηρείται στον πίνακα 33 ότι είτε με τη χρήση της μεθόδου 2band Over water είτε με τη χρήση της αρχικής τιμής ορατότητας, η τιμή της ορατότητας είναι η ίδια ενώ και η περιεκτικότητα των υδρατμών αλλάζει ελάχιστα. Κάτι τέτοιο είναι πρωτοφανές σε σχέση με την εφαρμογή των ατμοσφαιρικών διορθώσεων και των δύο εικόνων, διότι είτε οι τιμές ήταν μικρότερες είτε πολύ μεγαλύτερες σε σχέση με την εφαρμογή της αρχικής τιμής ορατότητας. Αυτό ενδεχομένως, μπορεί να οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι και οι διαφορές των τιμών στις φασματικές υπογραφές να είναι ελάχιστες.

Στις επόμενες εικόνες παρουσιάζονται ο θεματικός χάρτης που προκύπτει από την ατμοσφαιρική διόρθωση με τη χρήση και των δύο μεθόδων, οι φασματικές υπογραφές τους καθώς και οι πίνακες ελαχίστων και μέγιστων τιμών.









Εικόνα 75: Φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου 3 με γραμμή 440 και κολώνα 2061 με τη χρήση της μεθόδου 2-band Over water



Εικόνα 76: Αριστερά: Φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου 7 με γραμμή 314 και κολώνα 2007 με τη χρήση της μεθόδου 2-band Over water, Δεξιά: Φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου10 με γραμμή 410 και κολώνα 2174 με τη χρήση της μεθόδου 2-band Over water

Στις εικόνες 74 έως 76 παρατηρούνται οι παραγόμενες φασματικές υπογραφές της ατμοσφαιρικά διορθωμένης εικόνας του 2012. Για να ερμηνευτούν καλύτερα τα αποτελέσματα χρησιμοποιείται ο πίνακας 34, ο οποίος απεικονίζει τις ελάχιστες και τις μέγιστες τιμές, των φασματικών υπογραφών που προκύπτουν από τα τέσσερα εικονοστοιχεία.

	Ελάχιστη τιμή στο μήκος κύματος 457,35 nm	Μέγιστη Τιμή	Μήκος κύματος Μεγ. Τιμής
1	90	655	2294.61 nm
3	75	1786	1043.59 nm
7	113	1347	1265.56 nm
10	127	1179	1598.51 nm

Πίνακας 34: Πίνακας 30: Οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές των εικονοστοιχείων με τη μέθοδο 2-band Over water και τη χρήση του αγροτικού μοντέλου

Με τη χρήση αυτών των παραμέτρων εισαγωγής, για την ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας 2012, παρατηρείται η απουσία των αρνητικών τιμών σε όλα τα εικονοστοιχεία, που επιλέχθηκαν για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων. Ειδικότερα, το εύρος των ελαχίστων τιμών κυμαίνεται από 90 μέχρι 127 και αφορά τα 457,34 nm. Όσο για τις μέγιστες τιμές παρατηρείται μία μικρή αύξηση αλλά εντοπίζονται στα ίδια μήκη κύματος σε σύγκριση με την δοκιμή 5 της ατμοσφαιρικής διόρθωσης.

Επίσης, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι υπάρχει δυνατότητα ταυτοποίησης των φασματικών υπογραφών με τα δείγματα της βιβλιογραφίας. Η μόνη αξιόλογη διαφορά που υπάρχει είναι στο τρίτο εικονοστοιχείο (γραμμή: 440, κολώνα: 2061), στο οποίο παρατηρούνται από τα 350 nm έως και τα 970 nm τελείως διαφορετικές τιμές. Έτσι, συνάγεται το συμπέρασμα ότι, είναι πολύ δύσκολη η ταύτιση του τρίτου εικονοστοιχείου με αυτό που συνιστάται από τη βιβλιογραφία, και χαρακτηρίζεται ως λάβα χρονολογημένη το 2002. Συνεπώς, ενδεχομένως αυτό το φαινόμενο να οφείλεται στη μη κατάλληλη επιλογή του εικονοστοιχείου, από την ατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα, για να ταυτοποιηθεί με τη φασματική υπογραφή του άρθρου. Στις επόμενες εικόνες θα δειχθεί η ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας 2012 με τη χρήση του αγροτικού μοντέλου μείγματος αερίων της ατμόσφαιρας και την αρχική τιμή ορατότητας. Η προκείμενη δοκιμή ατμοσφαιρικής διόρθωσης θα συγκριθεί εκτός από την ατμοσφαιρική διόρθωση με τη χρήση της μεθόδου 2-band Over water και με την επόμενη δοκιμή στην οποία θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος 2-band K-T.





Εικόνα 77: Φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου 1 με γραμμή 470 και κολώνα 1949, με τη χρήση της αρχικής τιμής ορατότητας (40 km)



1500 Wavelengt

1000

Εικόνα 78: Φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου 3 με γραμμή 440 και κολώνα 2061, με τη χρήση της αρχικής τιμής ορατότητας (40 km)

2000



Εικόνα 79: Αριστερά: Φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου 7 με γραμμή 314 και κολώνα 2007, με τη χρήση της αρχικής τιμής ορατότητας (40 km), Δεξιά: Φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου 10 με γραμμή 410 και κολώνα 2174, με τη χρήση της αρχικής τιμής ορατότητας (40 km)

Εκτός από την παραγόμενη ατμοσφαιρική εικόνα με τη χρήση των παραμέτρων που αναφέρθηκαν προγενέστερα, παρατίθενται οι τέσσερις φασματικές υπογραφές, οι οποίες αντιστοιχούν σε αυτές του σχετικού άρθρου των Spinetti et.al. Χρησιμοποιούνται, κατά το πλείστον τα ίδια εικονοστοιχεία για τον έλεγχο της αξιοπιστίας και αποτελεσματικότητας της παραπάνω εφαρμογής της ατμοσφαιρικής διόρθωσης. Επιπλέον, ο πίνακας 35 δημιουργήθηκε με στόχο τον ποιοτικότερο και πιο έγκυρο έλεγχο των αποτελεσμάτων.

	Ελάχιστη τιμή στο μήκος κύματος 457,34 nm	Μέγιστη Τιμή	Μήκος κύματος Μεγ. Τιμής
1	-22	685	2355.21 nm
3	75	1786	1043.21 nm
7	113	1347	1265.56 nm
10	127	1152	1608.61 nm

Πίνακας 35: Οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές που προκύπτουν από την ατμοσφαιρική διόρθωση με τη χρήση της αρχικής τιμής ορατότητας των 40 km

Με την αλλαγή της μεθόδου υπολογισμού της ποσότητας του μείγματος αερίων της ατμόσφαιρας και τη χρήση της αρχικής τιμής ορατότητας των 40 km, για την εφαρμογή της ατμοσφαιρικής διόρθωσης της εικόνας 2012, παρατηρείται η εμφάνιση αρνητικής τιμής στο -22 στο πρώτο εικονοστοιχείο. Αυτό το φαινόμενο εντοπίζεται πρώτη φορά στην ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας 2012 αλλά δεν συνεχίζει για τα υπόλοιπα εικονοστοιχεία. Στις μέγιστες τιμές καθώς και στο μήκος κύματος που εμφανίζονται παρατηρούνται ελάχιστες και μη αξιόλογες διαφορές σε σχέση με την προηγούμενη ατμοσφαιρική διόρθωση.

Επιπλέον, και σε αυτή την διόρθωση οι φασματικές υπογραφές ταυτίζονται με αυτές τις βιβλιογραφίας και γι' αυτό είναι εφικτή η συσχέτισή τους με τα αντίστοιχα αντικείμενα (λάβα και άσφαλτο). Η μόνη φασματική υπογραφή που διαφέρει είναι η πρώτη οπότε εξάγεται το ίδιο συμπέρασμα με την προηγούμενη ατμοσφαιρική διόρθωση.

Τα αποτελέσματα των διαφορετικών παραμέτρων εισαγωγής που δοκιμάστηκαν (διόρθωση με τη χρήση της μεθόδου 2-band over water και διόρθωση με τη χρήση της αρχικής τιμής ορατότητας) δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές οπτικά. Η μόνη αξιόλογη διαφορά είναι η αρνητική τιμή του πρώτου εικονοστοιχείου. Εφόσον, όμως έχει ήδη αναφερθεί ότι οι αρνητικές τιμές δεν έχουν φυσική υπόσταση τότε τη χρήση της αρχικής τιμής ορατότητας κρίνεται ακατάλληλη ως επιλογή παραμέτρου για την υλοποίηση της ατμοσφαιρικής διόρθωσης και την εξαγωγή έγκυρων αποτελεσμάτων.

5.7.4: Έκτη δοκιμή: Ατμοσφαιρική διόρθωση για την εικόνα του 2009 με τη χρήση του αγροτικού μοντέλου "Rural" με ορατότητα ατμόσφαιρας 40 km, της μεθόδου 2-Band K-T και με την επιλογή της φασματικής ομαλοποίησης με 9 κανάλια (Width).

Ο τελευταίος πειραματισμός αφορά τη χρήση του αγροτικού μοντέλου μείγματος αερίων της ατμόσφαιρας και της μεθόδου 2-band K-T. Οι παράμετροι

εφαρμογής της ατμοσφαιρικής διόρθωσης και τα αποτελέσματά της (θεματικός χάρτης της ατμοσφαιρικά διορθωμένης εικόνας, οι εξαγόμενες φασματικές υπογραφές και ο αναλυτικότερος πίνακας) εμφανίζονται στην υποενότητα 5.7.4.

- Scene Center Location
 - Scene Center Latitude: 37.72946667
 - Scene Center Longitude: 14.95670556
- Sensor Type: Hyperion
- Sensor Altitude (km): 705
- Ground Elevation (km): 1,5 (διότι το ύψος της Αίτνας είναι περίπου 3 km)
- Pixel size (m): 29.970 (αυτή είναι η πραγματική τιμή της χωρικής διακριτικής ικανότητας του Hyperion, ενώ παντού ενδείκνυται ο αριθμός 30)
- Flight Date: 2012/07/14
- Fight Time GMT (HH:MM:SS): 09: 14: 24
- Atmospheric Model: Sub-Mid Latitude Summer
- Water Retrieval: yes
- Water Absorption Feature nm: 1135
- Aerosol Model: Rural
- Aerosol Retrieval: 2-Band K-T
- Initial Visibility (km): 40
- Spectral Polishing: yes
- Width (number of bands): 9
- Wavelength Recalibration: No
- Aerosol Scale Height (km): 1.5
- **CO2 Mixing Ration:** 390 ppm
- Use Square Slit Function: No
- Use Adjacency Correction: yes
- Reuse Modtran Calculations: No
- Modtran Resolution: 5 cm-1
- Modtran Multiscatter Model: Scaled Disort
- Number of DISORT streams: 8
- Ζενίθεια και Αζιμούθια γωνία: 180 μοίρες, 0 μοίρες (δεν αλλάζουμε ποτέ αυτή την επιλογή όταν αναφερόμαστε σε συστήματα που έχουν μόνο κατακόρυφη λήψη δεδομένων, όπως είναι και ο αισθητήρας Hyperion)
- Use Tile Processing: No
- Output Reflectance Scale Factor: 10000

Μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση με τη χρήση του αγροτικού μοντέλου αερίων της ατμόσφαιρας και τη μέθοδο 2-band K-T, η περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε υδρατμούς (average water amount) που υπολογίστηκε από το FLAASH ήταν ίση με 1,1898 cm και η ορατότητα (visibility) ανέρχεται στα 25,3696 km. Για την σύγκριση των αποτελεσμάτων με των προηγούμενων μεθόδων δημιουργήθηκε ένας θεματικός χάρτης της ατμοσφαιρικά διορθωμένης εικόνας, στον οποίον σημειώθηκαν τα εικονοστοιχεία τα οποία θέτονται ως δείγματα και αντιστοιχούν με τα δείγματα της βιβλιογραφίας. Σε αυτά τα σημεία προβάλλονται οι φασματικές υπογραφές των εικονοστοιχείων ενώ τέλος παρουσιάζεται ένας αναλυτικός πίνακας με τις ελάχιστες και μέγιστες τιμές των φασμάτων καθώς και σε πιο μήκος κύματος εντοπίζονται.





Εικόνα 80: Φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου 1 με γραμμή 470 και κολώνα 1949, με τη χρήση της μεθόδου 2-band K-T







Εικόνα 82: Αριστερά: Φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου 7 με γραμμή 314 και κολώνα 2007, με τη χρήση της μεθόδου 2-band K-T, Δεξιά: Φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου 10 με γραμμή 410 και κολώνα 2174, με τη χρήση της μεθόδου 2-band K-T

Στις εικόνες 80 έως και 82 παρουσιάζονται οι φασματικές υπογραφές που δημιουργήθηκαν από την ατμοσφαιρική διόρθωση, με τη χρήση του αγροτικού μοντέλου και της μεθόδου 2-band K-T. Κύριος στόχος της εφαρμογής αυτών των παραμέτρων ήταν η σύγκριση των αποτελεσμάτων με τις προηγούμενες ατμοσφαιρικές διορθώσεις. Επίσης, ήταν ο έλεγχος της καταλληλότητας αυτής της μεθόδου και η απάντηση στο ερώτημα για το αν η ατμόσφαιρα του ηφαιστείου της Αίτνας μεταβλήθηκε στο διάστημα των τριών χρόνων, ενώ ενδεχομένως μπορεί να μην επηρεάζεται πλέον από της αέριες μάζες που μεταφέρονται από τη θάλασσα προς το ηφαίστειο. Ωστόσο, για την αναλυτικότερη περιγραφή των αποτελεσμάτων χρησιμοποιείται ο πίνακας 36.

	Ελάχιστη τιμή	Μήκος κύματος Ελαχ. Τιμής	Μέγιστη τιμή	Μήκος κύματος Μεγ. Τιμής
1	78	457.34 nm	685	2153.34 nm
3	11	457.34 nm	1819	1043.59 nm
7	-1	447.17 nm	1351	1265.56 nm
10	65	457.34 nm	1180	1598.51 nm

Πίνακας 36: Οι ελάχιστες και οι μέγιστες τιμές των φασματικών υπογραφών από την ατμοσφαιρικής διόρθωση της εικόνας 2012 με τη χρήση της μεθόδου 2-band K-T και του αγροτικού μοντέλου

Συγκρίνοντας τις φασματικές υπογραφές μπορεί να γίνει εύκολα αντιληπτό ότι μετά την εφαρμογή της ατμοσφαιρικής διόρθωσης, είναι εφικτή η ταυτοποίηση των φασμάτων με τα αντίστοιχα δείγματα της βιβλιογραφίας.

Τα αποτελέσματα των διαφορετικών παραμέτρων εισαγωγής, έδειξαν ότι παρουσιάζονται σημαντικές διαφορές σε σύγκριση με τις άλλες ατμοσφαιρικές διορθώσεις. Ειδικότερα, εντοπίζεται στο έβδομο εικονοστοιχείο, αρνητική τιμή της τάξης του -1. Αξιόλογο επίσης είναι ότι η αρνητική τιμή καταγράφεται στα 447,17 nm, ενώ όλες οι ελάχιστες τιμές των φασματικών υπογραφών και για τις δύο εικόνες καταγράφονται στα 457,34 nm. Επιπλέον, σε σύγκριση με την ατμοσφαιρική διόρθωση με τη χρήση της αρχικής τιμής ορατότητας, παρατηρείται ότι εμφανίζονται αρνητικές τιμές και στις δύο μεθόδους αλλά σε διαφορετικά εικονοστοιχεία.

Αν συγκρίνουμε όμως τη χρήση αυτών των παραμέτρων για τις δύο εικόνες θα διαπιστωθεί ότι υπάρχουν εντονότερες διαφορές στις τιμές των φασμάτων. Στον πίνακα 36 καταγράφονται οι τιμές των φασματικών υπογραφών για την εικόνα του 2009. Συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι τα τρία από τα τέσσερα δείγματα εικονοστοιχείων έχουν αρνητικές τιμές στο μήκος κύματος των 457.34 nm, ενώ οι τιμές τους αγγίζουν μέχρι και το -179. Αντιθέτως, στην ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας 2012 παρατηρείται μία ελάχιστη αρνητική τιμή μόλις μία μονάδα κάτω από το μηδέν και μόνο σε ένα εικονοστοιχείο. Αυτό καθιστά, την εφαρμογή αυτών των παραμέτρων για την εικόνα του 2009 ολοκληρωτικά λανθασμένη. Επίσης, πρέπει να προστεθεί ότι για την εικόνα του 2009 αυτή η ατμοσφαιρική διόρθωση ήταν η χειρότερη δοκιμή, διότι εμφάνισε τις πιο ακραίες αρνητικές τιμές. Ενώ, και για την εικόνα του 2012 η πιο ακατάλληλη ήταν η χρήση του αγροτικού μοντέλου με τη μέθοδο της αρχικής τιμής ορατότητας των 40 km, διότι εμφάνισε στο τρίτο εικονοστοιχείο, αρνητική τιμή της τάξης του -22, για το μήκος κύματος των 457,34 nm.

Άρα αυτό σημαίνει ότι και οι δύο μέθοδοι εμφανίζουν μη φυσικά αποτελέσματα καθιστώντας, αυτές τις φασματικές διορθώσεις μη κατάλληλες για την περαιτέρω επεξεργασία της εικόνας.

5.8: Αιτιολόγηση για την επιλογή του ατμοσφαιρικού μοντέλου για τις εικόνες 2009 και 2012

2009 2012 Για τις υπερφασματικές εικόνες Hyperion του και διορθώσεις. πραγματοποιήθηκαν συνολικά τρεις διαφορετικές ατμοσφαιρικές Αναλυτικότερα, στην πρώτη δοκιμή εφαρμόστηκε το θαλάσσιο μοντέλο μείγματος αερίων της ατμόσφαιρας. Σημειώνεται ότι με τη χρήση του θαλάσσιου μοντέλου ως μία σταθερή παράμετρο έγιναν πολλές ατμοσφαιρικές διορθώσεις με την εναλλαγή των μεθόδων εύρεσης της ποσότητας των αερίων της ατμόσφαιρας (2-band K-T, αρχική τιμή ορατότητας των 40km) και της φασματικής ομαλοποίησης (διαφορές στην επιλογή της χρήσης ή όχι της προκείμενης μεθόδου). Αυτή η διαδικασία πραγματοποιήθηκε κυρίως για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των τεχνικών της ατμοσφαιρικής διόρθωσης, έτσι ώστε να επιλεγεί η καταλληλότερη. Επίσης, όλες οι εφαρμογές έγιναν στην τμηματική εικόνα του Hyperion με τις συντεταγμένες που αναφέρονται στην εικόνα 28.

Στην δεύτερη περίπτωση έγινε χρήση του αγροτικού μοντέλου. Αυτό δικαιολογείται λόγω της πυκνής βλάστησης που υπάρχει μέχρι τα μεσαία υψομετρικά στρώματα του ηφαιστείου, των καλλιεργειών και του μικρού οικιστικού ιστού που υπάρχει σε όλη την έκταση της εικόνας. Επιπλέον, εφαρμόστηκαν με γνώμονα αυτή την παράμετρο οι μέθοδοι 2-band Over Water και η αρχική τιμή ορατότητας των 40km για τον ίδιο ακριβώς λόγο που αναφέρθηκε προγενέστερα. Σε αυτό το μοντέλο δεν υλοποιήθηκε η σύγκριση της φασματικής ομαλοποίησης , διότι τα αποτελέσματα του πρώτου μοντέλου απόδειξαν ότι είναι απαραίτητη η χρήση της φασματικής ομαλοποίησης για όλες τις ατμοσφαιρικές δοκιμές.

Η τρίτη δοκιμή της ατμοσφαιρικής διόρθωσης έγινε με τη χρήση του αγροτικού μοντέλου και της μεθόδου 2-band K-T. Υπόθεση αυτής της επιλογής ήταν ότι ενδεχομένως το παράκτιο περιβάλλον του νησιού να μην επηρέαζε αισθητά τις ατμοσφαιρικές συνθήκες του ηφαιστείου της Αίτνας. Επιπλέον συγκρίθηκε με την εφαρμογή της μεθόδου της αρχικής τιμής ορατότητας με κύρια παράμετρο το αγροτικό μοντέλο και για τα ίδια εικονοστοιχεία.

Αρχική επιδίωξη που κατορθώθηκε ήταν, οι φασματικές υπογραφές όλων των ατμοσφαιρικών εφαρμογών που πραγματοποιήθηκαν, να συνάδουν με αυτές της έρευνας των Amici et al, (2014) έτσι ώστε να υπάρχει η καλύτερη δυνατή σύγκριση. Έτσι, σε όλες τις περιπτώσεις των δοκιμών υπάρχει ταύτιση των φασματικών

υπογραφών με την τέφρα, τη λάβα του 2002 και 1610 και την άσφαλτο. Πρέπει να σημειωθεί όμως ότι παρατηρούνται μερικές διαφορές στη φασματική υπογραφή της τέφρας αλλά και της λάβας που χρονολογείται το 1610 και αυτό πιθανολογικά δηλώνει ότι δεν χρησιμοποιήθηκε το καλύτερο δείγμα εικονοστοιχείου για αυτές τις ατμοσφαιρικές διορθώσεις, με δεδομένη τη γεωγραφική θέση της περιοχής. Ενώ στις αρχικές εικόνες Hyperion, η ταυτοποίηση των φασμάτων δεν είναι εφικτή.

Επίσης, όπως προαναφέρθηκε, οι φασματικές περιοχές μεταξύ των 1350-1450 nm και 1800-1950 nm δεν περιέχουν τιμές σε όλες τις εφαρμογές των ατμοσφαιρικών διορθώσεων. Αυτό δημιουργείται λόγο της αφαίρεσης των φασματικών καναλιών που δεν περιείχαν πληροφορία, μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση, και έχει ως αποτέλεσμα τη μη δυνατή καταγραφή της ενέργειας από τον αισθητήρα σε αυτές φασματικές περιοχές.

Όσων αφορά τα τρία μοντέλα ατμοσφαιρικών διορθώσεων που εμφανίζονται σε αυτή την ενότητα παρατηρείται ότι δεν υπάρχουν έντονες διαφορές που να αλλοιώνουν τα χαρακτηριστικά των φασματικών υπογραφών. Αυτές οι διαφορές οφείλονται κυρίως στα διαφορετικά επίπεδα φασματικού θορύβου. Επιπλέον, παραδοχή αποτελεί ότι η εικόνα του 2009 παρουσιάζει περισσότερο θόρυβο σε σχέση με την εικόνα του 2012. Αναλυτικότερα, για την πρώτη εικόνα εντοπίζεται, στο πρώτο και στο τρίτο μοντέλο να υπάρχουν αρνητικές τιμές στο μήκος κύματος των 457,34 nm και στο δεύτερο παρουσιάζονται θετικές τιμές. Αντίθετα, στη δεύτερη εικόνα τείνει αυτό το φαινόμενο να υποχωρεί, με την εμφάνιση αρνητικών τιμών, μόνο σε δύο μεθόδους (διόρθωση με τη χρήση του αγροτικού μοντέλου και των μεθόδων 2-band K-T και της αρχικής τιμής ορατότητας), ενώ το εύρος των τιμών είναι κατά πολύ μικρότερο (-22 στο πρώτο εικονοστοιχείο, -1 στο τρίτο εικονοστοιχείο).

Γενικότερα παρατηρείται ότι όλες οι ατμοσφαιρικές δοκιμές που εφαρμόστηκαν είγαν τις ίδιες παραμέτρους εκτός από τα μοντέλα, τις μεθόδους μείγματος αερίων και τη φασματική ομαλοποίηση. Ειδικότερα, η εμφάνιση των αποτελεσμάτων κρίθηκε ικανοποιητική διότι οι φασματικές υπογραφές μπορούσαν να συγκριθούν με αυτές τις βιβλιογραφικής αναφοράς. Αντιθέτως, όμως για την εικόνα του 2009 μόνο η δεύτερη ατμοσφαιρική διόρθωση με τη χρήση του αγροτικού μοντέλου, της μεθόδου 2-band Over water και με την εφαρμογή της φασματικής ομαλοποίησης έδωσε τα πιο επαρκή αποτελέσματα και ως εκ τούτου κρίθηκε η καταλληλότερη για τη συνέχιση αυτής της έρευνας και την εξαγωγή ενός θεματικού χάρτη. Τέλος, όσον αφορά τις ατμοσφαιρικές διορθώσεις της εικόνας 2012, εντοπίστηκαν λιγότερα σφάλματα, αλλά επιλέχθηκε και εδώ το δεύτερο μοντέλο διότι απέδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα ορατότητας, μέσου όρου ποσότητας υδρατμών ατμόσφαιρας και πιο ομαλοποιημένες φασματικές υπογραφές της των εικονοστοιχείων.

5.8: Οι εικόνες "Water Vapor" και "Cloud Mask"

Όταν εφαρμόζεται η ατμοσφαιρική διόρθωση στο λογισμικό FLAASH, δημιουργούνται, εκτός από την εικόνα με τις τιμές ανακλαστικότητας, δύο βοηθητικές. Αυτές είναι οι "Water Vapor" και "Cloud Mask". Στόχος της δημιουργίας της πρώτης εικόνας είναι η απόδοση της υγρασίας της ατμόσφαιρας που υπάρχει στην περιοχή μελέτη κατά τη χρονική διάρκεια λήψης της εικόνας από τον αισθητήρα.

Η δημιουργία της εικόνας "Cloud Mask" αποτελεί μία εικόνα ταξινόμησης που χρησιμοποιείται όταν το FLAASH επιχειρεί να εκτιμήσει την ποσότητα της εξίσωσης ρε (η εξίσωση αναφέρεται στην ενότητα 5.3. Η ποσότητα αυτή καθορίζει το μέγεθος επιρροής των γειτονικών εικονοστοιχείων. Ο πίνακας 37 παρουσιάζει την κατηγοριοποίηση των νεφών που δημιουργείται κατά τη δημιουργία της εικόνας "Cloud Mask".

Πίνακας 37: Οι κλάσεις τις εικόνας Cloud Mask

Επιλεγόμενες κλάσεις

Χωρίς σύννεφα

Μεγάλου υψομέτρου σύννεφα (Σωρείτες και Θύσανοι)

Αδιαφανή σύννεφα

Αδιαφανή και μεγάλου υψομέτρου σύννεφα

Λανθασμένη ποσότητα υγρασίας νεφών

Λανθασμένη ποσότητα υγρασίας νεφών και Μεγάλου υψομέτρου σύννεφα

Λανθασμένη ποσότητα υγρασίας νεφών και Αδιαφανή σύννεφα

Λανθασμένη ποσότητα υγρασίας νεφών και η εμφάνιση και των δύο τύπων νεφών

Για την εικόνα του 2009 εμφανίζονται τρεις κλάσεις. Η πρώτη εμφανίζει τα εικονοστοιχεία με χωρίς σύννεφα (μαύρο), η δεύτερη με τα μεγάλου υψομέτρου σύννεφα (μπλε) και η τρίτη με τη λανθασμένη ποσότητα υγρασίας των νεφών (κόκκινο). Στις εικόνες 83 παρουσιάζονται θεματικοί χάρτες των τιμών της ανακλαστικότητας της εικόνας, ο "Water Vapor" και η εικόνα "Cloud Map" που παράγονται από την ατμοσφαιρική διόρθωση της τμηματικής εικόνας.



Εικόνα 83: Αριστερά: Εικόνα ατμοσφαιρικά διορθωμένη με τη χρήση του αγροτικού μοντέλου, της μεθόδου 2-band Over water και με φασματική ομαλοποίηση.

Κέντρο: Εικόνα "Water Vapor" που παράγεται με τη χρήση του αγροτικού μοντέλου, της μεθόδου 2-band Over water και με φασματική ομαλοποίηση.

Δεξιά: Εικόνα "Cloud Mask" που παράγεται με τη χρήση του αγροτικού μοντέλου, της μεθόδου 2-band Over water και με φασματική ομαλοποίηση.
6: Κύρια επεξεργασία

6.1: Μείωση φασματικών καναλιών

Σύμφωνα με την ενότητα 5.3 αλλά και την έρευνα των Pervez et al, (2015) τα αρχικά δεδομένα μίας εικόνας Hyperion περιέχουν 242 φασματικά κανάλια. Όμως, τα 44 από αυτά δεν είναι βαθμονομημένα (uncalibrated) σε όλα τα επίπεδα επεξεργασίας και ως εκ τούτου λαμβάνουν μηδενικές τιμές. Άρα, βασιζόμενοι στην προηγούμενη ενότητα (ατμοσφαιρική διόρθωση), θα πρέπει να ακολουθηθεί μία οπτική εκτίμηση των φασματικών καναλιών με στόχο τη μείωση αυτών που παρουσιάζουν θόρυβο (residual noise), (Jensen, 2005). Στον πίνακα 38 παρουσιάζονται κατά ομάδες τα μη βαθμονομημένα φασματικά κανάλια του Hyperion, ενώ στο παράρτημα παρατίθενται αναλυτικότερα.

Φασματικά κανάλια	Μήκος κύματος (nm)
1-7	355.59 - 416.64
58-76	935.58 - 902.36
225-242	2405.6 - 2577.08

Πίνακας 38: Τα 44 μη βαθμονομημένα φασματικά κανάλια του αισθητήρα Hyperion

Άρα, απομένουν 198 φασματικά κανάλια, τα οποία χρησιμοποιούνται για την περαιτέρω επεξεργασία της εικόνας. Επιπλέον, υπάρχουν ορισμένα κανάλια, τα οποία ενώ είναι βαθμονομημένα συνεχίσουν να έχουν υψηλές τιμές θορύβου. Συγκεκριμένα, τα φασματικά κανάλια 77 (912.45 nm) και 78 (922.54 nm) αφαιρούνται διότι έχουν πολύ χαμηλό σήμα λόγω του θορύβου (low Signal-to-noise Ratio), άρα χάνουν μεγάλο ποσοστό της πληροφορίας, (*Datt, 2003*). Υπάρχουν επίσης, μέρη του μήκους κύματος, στα οποία υπάρχει μεγάλη απορρόφηση της ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα. Ο πίνακας 39, παρουσιάζει τα φασματικά κανάλια και τα μήκη κύματος που δέχονται αυτή την επίδραση της ατμόσφαιρας. Ενώ φυσικά, λόγο αυτού του προβλήματος δεν παρέχεται χρήσιμη πληροφορία άρα αυτά τα φασματικά κανάλια πρέπει να αφαιρεθούν, (*Beck, 2003*).

Φασματικά κανάλια	Μήκος κύματος (nm)
120-132	1346,25 - 1467,33
165-182	1800,29 – 1971,76
185-187	2002,06 - 2022,25

Πίνακας 39: Τα φασματικά κανάλια στα οποία υπάρχει μεγάλη επίδραση της ατμόσφαιρας

Επίσης αφαιρέθηκαν δύο ακόμη φασματικά κανάλια μέσω της οπτικής εκτίμησης των αποτελεσμάτων της ατμοσφαιρικής διόρθωσης. Τα εν λόγω κανάλια δεν παρείχαν πληροφορία ενώ σημαντικότερα εμφάνιζαν αρνητικές τιμές στις περισσότερες φασματικές υπογραφές των εικονοστοιχείων σε όλες τις ατμοσφαιρικές

διορθώσεις. Τα κανάλια που απομακρύνθηκαν είναι το 189 (2042,45 nm) και το 190 (2052,45 nm).

Τελικά, από τα 242 φασματικά κανάλια χρησιμοποιήθηκαν τα 153 για την περαιτέρω επεξεργασία της εικόνας. Αυτά μαζί με το μήκος κύματος, στο οποίο ανήκουν παρουσιάζονται στον πίνακα 40 και εκτενέστερα στο παράρτημα.

Φασματικά κανάλια	Μήκος κύματος (nm)
8-57	426,82 - 925,41
79	932,64
83-119	972,99 - 1336,15
133-164	1477,43 - 1790,19
183-184	1981,86 - 1991,96
188	2032,35
191-220	2062,55 - 2355,21

Πίνακας 40: Οι ομάδες με τα φασματικά κανάλια που θα χρησιμοποιηθούν για την εκτενέστερη μελέτη

Επιπλέον, παρατηρείται ότι ο αισθητήρας Hyperion έχει δύο δέκτες, όπου ο ένας λαμβάνει δεδομένα για το VNIR και ο δεύτερος για το SWIR. Άρα, όταν τα δεδομένα των δύο δεκτών συνδέονται παρουσιάζεται μία επικάλυψη σε κάποια φασματικά κανάλια. Αυτό οδηγεί σε μη ομαλή συνέχεια του φάσματος, σε σχέση με τα φασματικά κανάλια, ενώ επίσης λόγο της επικάλυψης παρουσιάζεται θόρυβος. Κάνοντας τη μείωση των φασματικών καναλιών και κρατώντας τελικά αυτά που παρατίθενται στον πίνακα 40 αλλά και στο παράρτημα, παρατηρείται ότι πλέον το φάσμα εξελίσσεται ομαλά ανάλογα με τα μήκη κύματος που αντιστοιχούν στα εναπομείναντα κανάλια.

6.2: Μείωση των διαστάσεων των υπερφασματικών δεδομένων

Όπως παρατηρήθηκε και στα προηγούμενα κεφάλαια, τα δεδομένα του αισθητήρα Hyperion πολύ συχνά εμφανίζουν μία σημαντική επικάλυψη της περιεχόμενης πληροφορίας από τα γειτονικά φασματικά κανάλια. Γενικότερα, ο θόρυβος είναι πολύ κοινό φαινόμενο στις υπερφασματικές εικόνες. Αυτό συμβαίνει διότι προκαλούνται παρεμβολές στην αναγνώριση των αντικειμένων που καταγράφει, (Green et al, 1988). Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται πλεονασμός και οφείλεται στο μικρό εύρος των φασματικών καναλιών. Ενώ επίσης, σε συνδυασμό με τη δομή του αισθητήρα προκαλούν φασματικό θόρυβο.

Η πληροφορία που περιέχεται σε ένα φασματικό κανάλι μπορεί να περιέχεται πλήρης και εν μέρει σε όλα τα υπόλοιπα φασματικά κανάλια. Με τη σύγκριση των φασματικών διαύλων ανά δύο μπορεί να εξεταστεί η συσχέτιση μεταξύ τους. Ενώ, ο μεγάλος βαθμός συσχέτισης αποδίδεται αντίστοιχα με υπεράριθμη πληροφορία. Αυτή η πληροφορία απομακρύνεται με την εφαρμογή του μετασχηματισμού της ανάλυσης των κυρίων συνιστωσών (Principal Component Analysis – PCA), (Burgers et al, 2009).

Ως διάσταση, γενικότερα αναφέρεται το πλήθος των φασματικών καναλιών που καταγράφεται από τον αισθητήρα. Όσο μεγαλύτερο είναι το ποσό αυτών, τόσα περισσότερα είναι τα εικονοστοιχεία που πρέπει να αποθηκευτούν και να επεξεργαστούν στα διάφορα συστήματα επεξεργασίας εικόνων. Για τη μείωση των διαστάσεων των υπερφασματικών εικόνων έχουν αναπτυχθεί πολλές τεχνικές. Οι τεχνικές αυτές πρώτον, οδηγούν στον εντοπισμό και στη διαγραφή της επαναλαμβανόμενης πληροφορίας και δεύτερον, ταυτόχρονα διατηρούν την αρχική πληροφορία που περιέχουν τα δεδομένα, (Jensen, 2005).

6.3: Εφαρμογή του μετασχηματισμού MNF-Minimum or Maximum Noise Fraction

Το 1988, οι Green et. al. (Green et al., 1988) παρουσίασαν για πρώτη φορά τον μετασχηματισμό MNF. Αυτός ο μετασχηματισμός έχει την ιδιότητα να παράγει νέα στοιχεία από την ποιότητα της εικόνας και να παρέχει καλύτερα φασματικά χαρακτηριστικά σε κύριες συνιστώσες, ανεξαιρέτως με το πώς διανέμεται ο φασματικός θόρυβος. Χρησιμοποιώντας την εξής θεωρία (James et. al., 1990) παρουσιάζεται μία ρύθμιση του θορύβου από τη μετατροπή των κυρίων συνιστωσών (NAPC).

Ο μετασχηματισμός MNF χρησιμοποιείται για:

- Τον προσδιορισμό των αληθινών διαστάσεων των υπερφασματικών εικόνων.
- Τον εντοπισμό και την απομόνωση του θορύβου.
- Τη συρρίκνωση των χρήσιμων πληροφοριών σε ένα πολύ μικρότερο σετ εικόνων συνιστωσών (MNF εικόνες).

Ειδικότερα:

- Η πρώτη εναλλαγή χρησιμοποιεί τις κύριες συνιστώσες από τον πίνακα διακύμανσης του θορύβου για να γίνει ανασυσχετισμός και αναπροσαρμογή της κλίμακας, στα δεδομένα του θορύβου (μία διαδικασία γνωστή ως noise whitening). Το αποτέλεσμα είναι ο μετασχηματισμός των δεδομένων, στα οποία ο θόρυβος απεικονίζεται με βάση τη μονάδα της διακύμανσης και όχι της συσχέτισης από ζώνη σε ζώνη.
- Η δεύτερη εναλλαγή χρησιμοποιεί τις παραγόμενες κυρίες συνιστώσες, οι οποίες έχουν τα χαρακτηριστικά της πρώτης διαδικασίας. Έτσι λοιπόν, καθορίζονται οι τελικές ιδιοτιμές, ενώ επίσης διαχωρίζονται τα δεδομένα σε δύο μέρη. Το πρώτο, αφορά τις εικόνες συνιστώσες, στις οποίες παρατηρείται ότι περιέχουν το μεγαλύτερο ποσοστό της πληροφορίας και το δεύτερο, το οποίο κυριαρχείται από εικόνες που εμφανίζουν μόνο θόρυβο.

Χρησιμοποιώντας μόνο τις αρχικές εικόνες συνιστώσες και απομονώνοντας το θόρυβο από τα δεδομένα, βελτιώνεται το αποτέλεσμα της φασματικής επεξεργασίας.

Τόσο οι ιδιοτιμές όσο και οι εικόνες MNF (eigenimages) χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της διάστασης των δεδομένων. Οι ιδιοτιμές για τις φασματικές ζώνες που περιέχουν πληροφορίες θα είναι μεγαλύτερες από αυτές που περιέχουν μόνο θόρυβο. Δεδομένου ότι η διακύμανση του θορύβου έχει υποστεί τη διαδικασία noise whitening, κανονικοποιείτε σε ένα μέγεθος του 1.0. Άρα ο διαχωρισμός μεταξύ του σήματος και του θορύβου πρέπει να κυμαίνεται για τις ιδιοτιμές κοντά στο 1.0. Οι εικόνες που περιέχουν πληροφορία (signal images) θα πρέπει να είναι χωρικά συνεκτικές, ενώ αυτές που περιέχουν θόρυβο δεν θα περιέχουν σημαντικές χωρικές πληροφορίες, (Boardman, 1994).

Ο μετασχηματισμός MNF εφαρμόστηκε στις τμηματικές εικόνες του 2009 και 2012, στις οποίες έχουν μειωθεί τα φασματικά κανάλια στα 153, ενώ επίσης είναι ατμοσφαιρικά διορθωμένες με τη χρήση του αγροτικού μοντέλου και της μεθόδου 2band Over Water. Για την εφαρμογή αυτού του μετασχηματισμού ορίστηκε ο αριθμός των εικόνων συνιστωσών που θα παραχθεί, ο οποίος ανέρχεται στις 153. Εδώ πρέπει να προστεθεί ότι όταν χρησιμοποιείται η διαδικασία MNF, ο αριθμός των συνιστωσών που θα παραχθεί πρέπει να είναι μικρότερος ή ίσος με τον αριθμό των αρχικών φασματικών καναλιών της εικόνας. Χαρακτηριστικά, στις εικόνες 84 και 85, παρουσιάζεται πόσο μειώνεται η πληροφορία στο πέρασμα των συνιστωσών.



Εικόνα 84: Οι εικόνες συνιστώσες MNF1, MNF4, MNF7, MNF30 (από τα αριστερά στα δεξιά) που προκύπτουν από την εφαρμογή του μετασχηματισμού Minimum Noise Fraction στην τμηματική εικόνα 2009



Εικόνα 85: Οι εικόνες συνιστώσες MNF1, MNF4, MNF7, MNF30 (από τα αριστερά στα δεξιά) που προκύπτουν από την εφαρμογή του μετασχηματισμού Minimum Noise Fraction στην τμηματική εικόνα 2012

Όταν εφαρμόζεται ο μετασχηματισμός MNF, εκτός από την παραγωγή των εικόνων συνιστωσών (eigenimages) δημιουργείται και ένα διάγραμμα, το οποίο δείχνει τις τιμές των ιδιοτιμών (eigenvalues) των εικόνων MNF. Όσες εικόνες συνιστώσες έχουν τιμές eigenvalues μεγαλύτερες από 1 περιέχουν πληροφορία, ενώ όσες έχουν τιμές περίπου με 1 περιέχουν θόρυβο. Στην εικόνα 86 παρουσιάζονται τα διαγράμματα ιδιοτιμών για τις εικόνες 2009 και 2012.



Εικόνα 86: Τα διαγράμματα ιδιοτιμών των εικόνων συνιστωσών (MNF) για τις εικόνες 2009 και 2012 (από τα αριστερά στα δεξιά) για τις αντίστοιχες ατμοσφαιρικά διορθωμένες τμηματικές εικόνες

Από την παραγωγή των εικόνων συνιστωσών MNF (eigenimages MNF) καθώς και των διαγραμμάτων των ιδιοτιμών παρατηρείται ότι όλη η χρήσιμη πληροφορία συγκεντρώνεται στις πρώτες 8 εικόνες συνιστώσες. Επιβεβαίωση αυτού είναι ότι η εικόνα συνιστώσα 30 περιέχει μεγάλο ποσοστό θορύβου και αυτό αποδεικνύεται και με τα διαγράμματα ιδιοτιμών, στα οποία παρατηρείται ότι στην τιμή 30 (στον 'x' άξονα) η τιμή της ιδιοτιμής βρίσκεται κοντά στο 1.

Όμως υπάρχει αισθητή διαφορά μεταξύ των εικόνων 2009 και 2012. Αν εξεταστούν οι διαδοχικές eigenimages MNF (εικόνες 84 και 85) θα προκύψει το συμπέρασμα ότι η εικόνα 2009 έχει περισσότερο θόρυβο από την εικόνα του 2012. Αναλυτικότερα, η πιο αισθητή διαφορά φαίνεται να υπάρχει στις MNF7. Για την εικόνα του 2009 εντοπίζεται αρκετός θόρυβος, ο οποίος αρχίζει να αλλοιώνει τα χαρακτηριστικά του κρατήρα καθώς και την ευρύτερη περιοχή. Αντιθέτως, στην εικόνα 2012 περιέχεται μεγάλο ποσοστό της πληροφορίας ενώ παράλληλα δεν αλλοιώνεται η τοπογραφία της εικόνας. Αυτό παρουσιάζεται και στα δύο διαγράμματα των ιδιοτιμών. Στο αριστερό διάγραμμα της εικόνας 2009 παρατηρείται η καμπύλη να κλείνει πιο απότομα και οι τιμές να τείνουν προς το 1. Επιπλέον, αξιόλογη διαφορά υπάρχει στην πρώτη εικόνα συνιστώσα και για τις δύο εικόνες. Βασιζόμενοι στον τρόπο με τον οποίον λειτουργεί ο μετασχηματισμός MNF είναι γνωστό ότι η περισσότερη πληροφορία υπάρχει στην πρώτη εικόνα συνιστώσα. Άρα σύμφωνα με την παραπάνω παραδοχή θα έπρεπε η πρώτη ειgenimage MNF και των δύο εικόνων να μην περιέχει την καθόλου θόρυβο αλλά να απεικονίζεται ξεκάθαρα η θεματική πληροφορία. Απεναντίας, και για τις δύο ημερομηνίες παρουσιάζεται αρκετός θόρυβος ενώ στις άκρες των εικόνων παρουσιάζονται φωτεινά εικονοστοιχεία, από τα οποία ενισχύεται η απώλεια πληροφορίας.

Χρησιμοποιώντας τον μετασχηματισμό MNF μειώνεται ο θόρυβος που υπάρχει στα εικονοστοιχεία. Έτσι, κρατώντας τις εικόνες συνιστώσες που περιέχουν τη χρήσιμη πληροφορία, μπορεί να γίνει η αντίστροφη διαδικασία "Inverse MNF" με στόχο τη μείωση του θορύβου στα αρχικά κανάλια, (*Dattet al, 2003*). Στην προκειμένη περίπτωση η αντίστροφη διαδικασία μετασχηματισμού έγινε λαμβάνοντας για την εικόνα του 2009 τις εικόνες συνιστώσες 1,4,5,6 και 8 ενώ αντίστοιχα για την εικόνα του 2012 τις 1,4,5,6,7 και 8, οι οποίες παρατίθενται στο παράρτημα.

Ο αντίστροφος μετασχηματισμός MNF, επαναφέρει τις εικόνες συνιστώσες στις αρχικές διαστάσεις της εικόνας Hyperion, δηλαδή στον αρχικό αριθμό των φασματικών καναλιών που έχει ορίσει ο χρήστης. Επίσης, υπάρχει μείωση του θορύβου της εικόνας στα αντίστοιχα φασματικά κανάλια λόγω της απομόνωσης της χρήσιμης πληροφορίας.

Εκτός από τον αντίστροφο μετασχηματισμό MNF ('Inverse MNF) δημιουργήθηκε ένα αρχείο, με τη εφαρμογή Layer Stacking, με τις συνιστώσες MNF που περιέχουν τη χρήσιμη πληροφορία. Σκοπός αυτής της διαδικασίας ήταν η σύνθεση δύο ψευδέχρωμων εικόνων, για τις εικόνες 2009 και 2012 έτσι ώστε να δειχθεί, ποια συνιστώσα επιδρά περισσότερο στην εξαγωγή πληροφορίας και παρουσιάζεται στην εικόνα 87.



Εικόνα 87: Δημιουργία ψευδέχρωμων εικόνων από την σύνθεση των εικόνων συνιστωσών (R:5 G:4 B:1) για τις εικόνες 2009 και 2012



Εικόνα 88: Οι χρωματικοί συνδυασμοί που παράγονται από τα τρία βασικά χρώματα (R:κόκκινο ,G:πράσινο , B:μπλε), (<u>http://www.crisp.nus.edu.sg</u>)

Εμφανίζοντας μία σύνθετη έγχρωμη εικόνα, χρησιμοποιούνται τα τρία βασικά χρώματα (κόκκινο, πράσινο και μπλε). Όταν αυτά τα χρώματα συνδυάζονται σε διάφορες αναλογίες παράγουν διαφορετικά χρώματα του ορατού φάσματος. Οπότε, συνδέοντας κάθε συνιστώσα σε ένα ξεχωριστό πρωτεύον χρώμα έχει ως αποτέλεσμα μία έγχρωμη σύνθετη εικόνα. Στην εικόνα 88 παρουσιάζονται όλα τα χρώματα που μπορούν να παραχθούν με τον συνδυασμό των τριών βασικών χρωμάτων.

Αντίστοιχα λοιπόν, παρατηρείται ότι υπάρχει αισθητή διαφορά ανάμεσα στις σύνθετες εικόνες των δύο χρονολογιών. Ειδικότερα, στους πίνακες 41 και 42 αποδίδονται τα χρώματα τα οποία κυριαρχούν στις δύο εικόνες, αλλά και το πού χωροθετούνται βάση της οπτικής εκτίμησης.

Πίνακας 41: Κατηγοριοποίηση τω	ν τμημάτων	της κάλυψης	γης της εικόνας	ς 2009 με βάo	ση τα χρώματο	α που
τα αντιπροσωπεύει						

Χρώματα	Μέρη της εικόνας στα οποία αντιστοιχούν τα χρώματα
Πράσινο	Κεντρικός κρατήρας, σε κάποιες ροές λάβας
Ροζ	Στις ράχες του ηφαιστείου, παλαιωμένες λάβες
Μπλε	Παλαιωμένες λάβες που έχουν καλυφθεί από πυκνή βλάστηση
	και ηφαιστειακοί κώνοι
Κυανό	Οικιστικός ιστός και καλλιέργειες

Άρα βασιζόμενοι στον πίνακα 41 εξάγεται το συμπέρασμα ότι η πληροφορία για το κέντρο του ηφαιστείου καθώς και για ορισμένες ροές λάβας δίνεται από την τέταρτη εικόνα συνιστώσα. Οι πλαγιές του ηφαιστείου, στις οποίες χωροθετούνται οι παλαιωμένες λάβες, αποτυπώνονται με το ροζ χρώμα άρα αποδίδονται από τον συνδυασμό της πρώτης και της πέμπτης εικόνας συνιστώσας. Στα σημεία που χωροθετείται η πυκνή βλάστηση, η οποία έχει καλύψει τμήμα των παλαιωμένων λαβών, και οι ηφαιστειακοί κώνοι, επικρατεί το μπλε χρώμα άρα η πληροφορία εξάγεται από την πρώτη εικόνα συνιστώσα. Εν τέλει, το κυανό χρώμα αποδίδεται στο νότιο τμήμα του ηφαιστείου, στο οποίο χωροθετούνται ο οικιστικός ιστός και οι καλλιέργειες, ενώ είναι αποτέλεσμα της σύνθεσης της πρώτης και της τέταρτης εικόνας συνιστώσας. Στον πίνακα 42 παραθέτονται τα αντίστοιχα στοιχεία και για την εικόνα του 2012.

Χρώματα	Μέρη της εικόνας στα οποία αντιστοιχούν τα χρώματα
Μοβ	Κεντρικός κρατήρας, ορισμένες ροές λάβας
Πράσινο	Ράχες του ηφαιστείου που καλύπτονται από παλαιωμένες λάβες και βλάστηση
Κυανό	Πυκνή βλάστηση, μέρη του οικιστικού στα δεξιά άκρα της εικόνας
Ροζ	Παλαιωμένες λάβες, δομημένος χώρος
Κίτρινο	Γυμνό έδαφος, αραιή βλάστηση

Πίνακας 42: Κατηγοριοποίηση των τμημάτων της κάλυψης γης της εικόνας 2012 με βάση τα χρώματα που τα αντιπροσωπεύει

Σε αυτή την περίπτωση παρατηρείται μία διαφορετική κατανομή των χρωματικών συνθέσεων στην κάλυψη γης της εικόνας. Συγκεκριμένα, εντοπίζεται η απουσία του έντονου μπλε χρώματος που υπήρχε στην εικόνα 2009 ενώ εμφανίζεται το μωβ. Αυτό σημαίνει ότι ο κεντρικός κρατήρας και μερικές ενδεγομένως πρόσφατες λάβες συνθέτονται από τις εικόνες συνιστώσες 1(περισσότερο) και 5. Αντίθετα, στη χρωματική σύνθεση του 2009 παρουσιάζεται η τέταρτη εικόνα συνιστώσα να αποδίδει τη μεγαλύτερη πληροφορία γι' αυτό το τμήμα του ηφαιστείου. Επιπροσθέτως, το πράσινο χρώμα αντιπροσωπεύει τις ράχες του ηφαιστείου καθώς και την πυκνή βλάστηση. Η πληροφορία για το προκείμενο τμήμα της εικόνας πηγάζει από την τέταρτη εικόνα συνιστώσα. Αντίστοιχα και εδώ παρατηρείται διαφορετική χρωματική απεικόνιση στην εικόνα 2009. Εδώ τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά παρουσιάζονται με ροζ χρώμα (εικόνες συνιστώσες 5 και 1). Αξιόλογη διαφορά υπάργει στην απόδοση του κυανού χρώματος. Ειδικότερα, εντοπίζεται η ελάχιστη παρουσία του στη σύνθεση της εικόνας 2012 ενώ στην εικόνα2009 παρατηρείται έντονα η χωροθέτησή του στον οικιστικό ιστό. Για την εικόνα του 2012 το κυανό εντοπίζεται στις περιοχές παλαιών λαβών που καλύπτονται από έντονη βλάστηση. Σημαντικό είναι το σημείο με συντεταγμένες περίπου (37°40'N, 14°55'E) το οποίο απεικονίζεται με κυανό χρώμα (παρουσία των εικόνων συνιστωσών 1 και 4) στην εικόνα 2012 ενώ στην εικόνα 2009 παρουσιάζεται μπλε (παρουσία της εικόνας συνιστώσας 1). Επιπλέον, το κυανό χρώμα εμφανίζεται στο δεξιό τμήμα της περιοχής και ειδικότερα στις άκρες, το οποίο πιθανολογικά να σημαίνει ότι αντιπροσωπεύει κομμάτι του θορύβου που υπάρχει στις εικόνες συνιστώσες 4 και 1. Το ροζ χρώμα, το οποίο αποδίδεται από τη σύνθεση της πέμπτης και της πρώτης εικόνας συνιστώσας χωροθετείται σε ροές λάβες στις πλαγιές του ηφαιστείου καθώς και σε γυμνό έδαφος. Εδώ, παρατηρείται ομοιότητα με την σύνθεση της εικόνας 2009. Αυτό δικαιολογείται ότι τα συγκεκριμένα τμήματα της κάλυψης γης προκύπτουν από τις εικόνες συνιστώσες 5 και 1. Τέλος, εμφανίζεται και το κίτρινο χρώμα (σύνθεση των εικόνων συνιστωσών 5 και 4) στην εικόνα του 2012 αλλά σε λίγες περιοχές στις οποίες κυριαρχούν το γυμνό έδαφος και η αραιή βλάστηση. Αντίστοιχα αυτά τα χαρακτηριστικά στην εικόνα 2009 εμφανίζονται με έντονο ροζ.

6.4: Εφαρμογή του μετασχηματισμού PCA- Principal Components Analysis

Η ανάλυση των κυρίων συνιστωσών (principal component analysis ή PCA) είναι μία μαθηματική μέθοδος, η οποία έχει ως στόχο τη 'συμπίεση' των διανυσμάτων σε μικρότερο αριθμό διαστάσεων (Jolliffe, 2002 & Raiko et al., 2008). Για την επίτευξη αυτού του μετασχηματισμού, 'εκμεταλλεύεται' τις συσχετίσεις ανάμεσα στις μεταβλητές των διανυσμάτων που πρόκειται να συμπιεστούν. Όσο μεγαλύτερη συσχέτιση υπάρχει μεταξύ των μεταβλητών των αρχικών εικόνων, τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η μείωση της επαναλαμβανόμενης πληροφορίας.

Έστω ότι οι αρχικές εικόνες είναι 'n' διαστάσεων και έχουν μορφή (x₁,...,x_n). Η ανάλυση των κυρίων συνιστωσών μεταφέρει τα αρχικά διανύσματα σε έναν άλλον χώρο, ο οποίος έχει και αυτός 'n' διαστάσεις και είναι ο χώρος των κυρίων συνιστωσών. Ο μετασχηματισμός αυτός μετατρέπει τις αρχικές εικόνες σε εικόνες συνιστώσες (PC₁,...,PC_n). Οι κύριες συνιστώσες είναι ασυσχέτιστες μεταξύ τους και έχουν υπολογιστεί με τέτοιον τρόπο, ώστε το μεγαλύτερο ποσοστό της χρήσιμης πληροφορίας να αντιπροσωπεύεται από όσο το δυνατόν λιγότερες εικόνες συνιστώσες PCs, (*Jolliffe, 2002*). Πιο συγκεκριμένα, οι εικόνες συνιστώσες συνηθίζεται να διατάσσονται κατά φθίνουσα σειρά. Επιπλέον, η πρώτη PC1 εκφράζει το μεγαλύτερο ποσοστό της πληροφορίας, το οποίο μπορεί να φτάσει και στο 99% καθώς και τις υψηλότερες τιμές ιδιοτιμών, (*Pervez, 2015*). Όλες μαζί οι PCs συνολικά εκφράζουν το 100% της ασυσχέτιστης πληροφορία των αρχικών δεδομένων.

Ο λόγος για τον οποίον οι εικόνες συνιστώσες κατασκευάζονται με αυτή με τη λογική της φθίνουσας σειράς είναι ότι αν ένας μόνο μικρός αριθμός από τις εικόνες συνιστώσες αρκεί για να καλυφθεί ένα μεγάλο ποσοστό της πληροφορίας των αρχικών δεδομένων, τότε τα αρχικά δεδομένα 'n' μπορούν να συμπιεστούν σε εικόνες συνιστώσες, με μικρό σφάλμα. Επίσης, η κάθε εικόνα συνιστώσα ορίζεται ως ένας γραμμικός συνδυασμός των μεταβλητών $(x_1,...,x_n)$ των αρχικών δεδομένων. Δηλαδή, η i-στη εικόνα συνιστώσα PCi έχει τη μορφή: PCi= $\alpha_1 x_1 + ... + \alpha_n x_n$.

Ο μετασχηματισμός της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών εφαρμόστηκε για τις εικόνες 2009 και 2012. Για αυτή τη διαδικασία ορίστηκε να δημιουργηθούν 30 εικόνες συνιστώσες σε αντίθεση με τον μετασχηματισμό MNF, στον οποίον ορίστηκε να δημιουργηθούν 153. Στις εικόνες 89 και 90 θα δειχθεί ο τρόπος με τον οποίον δημιουργούνται οι εικόνες συνιστώσες καθώς και η συσσώρευση της χρήσιμης πληροφορίας στις αρχικές.



Εικόνα 89: Οι εικόνες συνιστώσες PC1, PC3, PC5, PC9 (από τα αριστερά στα δεξιά) που προκύπτουν από την εφαρμογή του μετασχηματισμού Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών (Principal Component Analysis) στην τμηματική εικόνα 2009



Εικόνα 90: Οι εικόνες συνιστώσες PC1, PC3, PC5, PC9 (από τα αριστερά στα δεξιά) που προκύπτουν από την εφαρμογή του μετασχηματισμού Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών (Principal Component Analysis) στην τμηματική εικόνα 2012

Με την εφαρμογή του μετασγηματισμού της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών (Principal Component Analysis) παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό πληροφορίας εντοπίζεται στην πρώτη εικόνα συνιστώσα (PC1) και για τις δύο εικόνες. Αναλυτικότερα δεν υπάρχει κανένα ίχνος θορύβου ούτε παραμόρφωσης των δεδομένων. Αυτό το αποτέλεσμα έρχεται σε αντίθεση με τα αποτελέσματα του μετασχηματισμού MNF, διότι από την πρώτη εικόνα συνιστώσα είναι εμφανή η ύπαρξη θορύβου και η αλλοίωση των χαρακτηριστικών της εικόνας. Στην τρίτη εικόνα συνιστώσα (eigenimage PC) εντοπίζεται και εδώ η απουσία θορύβου ενώ χαρακτηριστικό της είναι και για τις δύο εικόνες ότι, διαγράφεται καλύτερα το ανάγλυφο και η τοπογραφία του ηφαιστείου της Αίτνας. Εδώ, εντοπίζεται μία αισθητή διαφορά στην ποσότητα της πληροφορίας που υπάρχει στις εικόνες συνιστώσες 5 και για τις δύο εικόνες. Ειδικότερα, στην εφαρμογή του μετασχηματισμού για την εικόνα 2009 φαίνεται ότι υπάρχει μεγάλο ποσοστό πληροφορίας μέχρι και την πέμπτη εικόνα συνιστώσα. Βέβαια, υπάρχουν αισθητά σημάδια ύπαρξης θορύβου, αλλά αναγνωρίζεται ο κρατήρας και στοιχεία της πυκνής βλάστησης που υπάρχουν στις ράχες του ηφαιστείου. Αντίθετα, στην αντίστοιχη εικόνα συνιστώσα για την εικόνα 2012 αρχίζει να διαγράφεται ο θόρυβος. Ενώ τέλος,

το τελευταίο δείγμα των PCs καλύπτεται από θόρυβο αλλοιώνοντας κάθε χρήσιμη πληροφορία για τον κρατήρα, για τον οικιστικό ιστό και τις καλλιέργειες.

Με τη δημιουργία των εικόνων συνιστωσών PC (eigenimages PC) καθώς και με το διάγραμμα των ιδιοτιμών που παρατίθεται στην εικόνα 90 παρατηρείται, το σημείο που συγκεντρώνεται το μεγαλύτερο ποσοστό της χρήσιμης πληροφορίας. Άρα βασιζόμενοι στην οπτική εκτίμηση των εικόνων συνιστωσών αλλά και στο διάγραμμα, εκτιμάται ο αριθμός των PCs που θα χρησιμοποιηθούν για την αντίστροφη διαδικασία.



Εικόνα 91: Τα διαγράμματα ιδιοτιμών των εικόνων συνιστωσών PCA για τις εικόνες 2009 και 2012 (από τα αριστερά στα δεξιά) για τις αντίστοιχες ατμοσφαιρικά διορθωμένες τμηματικές εικόνες

Στην εικόνα 91 παρατηρείται ότι η καμπύλη των ιδιοτιμών είναι ακόμα μικρότερη από αυτή που είχε σχηματιστεί μετά από τον μετασχηματισμό Minimum Noise Fraction. Αλλά, αξιοσημείωτο είναι ότι είναι ίδια και για τις δύο εικόνες, φαινόμενο το οποίο δεν είχε εμφανιστεί προγενέστερα. Άρα, με την ανάλυση κυρίων συνιστωσών δεν μπορεί να αποδειχθεί ποια από τις δύο εικόνες έχει περισσότερο θόρυβο. Παρόλα αυτά εντοπίζεται ότι λιγότερες από 10 εικόνες συνιστώσες περιέχουν το μεγαλύτερο ποσοστό χρήσιμης πληροφορίας γι' αυτό οι τιμές των ιδιοτιμών είναι μεγαλύτερες από το 1.

Γενικά, ο θόρυβος μπορεί να μειωθεί από τα αρχικά φασματικά κανάλια με τη διαδικασία του μετασχηματισμού Inverse PCA. Αυτό γίνεται με τη χρήση των εικόνων συνιστωσών που περιέχουν το μεγαλύτερο ποσοστό της χρήσιμης πληροφορίας. Στην προκείμενη περίπτωση για την εικόνα του 2009 θα χρησιμοποιηθούν οι PCs 1 έως 5 και για αντίστοιχα για την εικόνα του 2012 οι PCs 1 έως 5 και η έβδομη. Στο παράρτημα παρατίθενται οι επιλεχθείσες εικόνες συνιστώσες.

Ο αντίστροφος μετασχηματισμός της ανάλυσης των κυρίων συνιστωσών, επαναφέρει τις εικόνες συνιστώσες στις αρχικές διαστάσεις της εικόνας Hyperion. Δηλαδή, στα αρχικά φασματικά κανάλια της αλλά χωρίς να έχει την επαναλαμβανόμενη πληροφορία. Επιπλέον, μετά τον αντίστροφο μετασχηματισμό υπάρχει αισθητή μείωση του θορύβου της εικόνας στα αντίστοιχα φασματικά κανάλια.

Και σε αυτή την περίπτωση έγινε η σύνθεση ενός ενιαίου αρχείου των εικόνων συνιστωσών που περιέχουν την χρήσιμη πληροφορία, για τις χρονολογίες 2009 και 2012. Στόχος αυτής της εφαρμογής ήταν να δειχθεί το πώς επιδρά κάθε συνιστώσα στα τμήματα κάλυψης γης των εικόνων. Στην εικόνα 92 παρατίθενται οι χρωματικές συνθέσεις των εικόνων συνιστωσών για τις δύο χρονολογίες.



Εικόνα 92: Δημιουργία ψευδέχρωμων εικόνων από την σύνθεση των εικόνων συνιστωσών (R:5 G:4 B:1) για τις εικόνες 2009 και 2012

Χρησιμοποιώντας την εικόνα 92, παρατηρείται ότι για τις χρωματικές συνθέσεις των δύο εικόνων (2009, 2012) δεν υπάρχουν αισθητές διαφορές. Η μόνη αξιόλογη διαφορά υπάρχει στο νότιο τμήμα της εικόνας. Στην χρωματική σύνθεση για την εικόνα του 2009 εντοπίζεται η ύπαρξη του ροζ και ελάχιστα του κυανού και του μπλε, ενώ για την εικόνα 2012 εμφανίζεται το αντίθετο. Στον πίνακα 43 αποδίδονται τα χρώματα τα οποία υπάρχουν και για τις δύο εικόνες αλλά και τα είδη της κάλυψης γης της περιοχής μελέτης που καταλαμβάνουν.

Πίνακας 43: Κατηγοριοποίηση των τμημάτων της κάλυψης γης των εικόνων 2009 και 2012 με βάση τα χρώματα που τις αντιπροσωπεύει

Χρώματα	Μέρη της εικόνας στα οποία αντιστοιχούν τα χρώματα
Κίτρινο	Κεντρικός κρατήρας, κάποιες κύριες ροές λάβας
Πράσινο	Λίγες κεντρικές λάβες στις ράχες του ηφαιστείου
Ροζ	Παλαιωμένες λάβες που καλύπτονται από βλάστηση και καλλιέργειες στην εικόνα του 2009
Κυανό	Δομημένος χώρος, γυμνό έδαφος
Μπλε	Καλλιέργειες

Βασιζόμενοι στον πίνακα 43 αλλά και στις εικόνες οι οποίες προκύπτουν από την χρωματική σύνθεση των κυριών συνιστωσών 3.2,1 παρατηρείται ότι η πληροφορία για το κέντρο του ηφαιστείου προέρχεται από τη σύνθεση των PC3 και PC2. Έτσι εξάγεται το κίτρινο χρώμα και για τις δύο εικόνες. Δεύτερον, υπάρχει μία μικρή παρουσία πράσινου, εκεί που τελειώνει το κίτρινο χρώμα και αποδίδεται σε κεντρικές λάβες, οι οποίες εκτείνονται εκτός των ορίων του κεντρικού κρατήρα. Η παρουσία αυτού του χρώματος είναι λόγο της δεύτερης εικόνας συνιστώσας. Το ροζ είναι ένα χρώμα το οποίο δημιουργείται από τη σύνθεση του κόκκινου και του μπλε. Στη συγκεκριμένη περίπτωση το κόκκινο αντιστοιχεί στην εικόνα συνιστώσα και το μπλε στην πρώτη. Άρα οι παλαιωμένες λάβες που καλύπτονται από πυκνή βλάστηση απεικονίζονται από τις PC3 και PC1. Οι σύνθεση αυτών των δύο εντοπίζεται, όπως ειπώθηκε και προγενέστερα, στις καλλιέργειες που εμφανίζονται στο νότια τμήμα της περιοχής. Οι καλλιέργειες αποτυπώνονται με την πληροφορία των εικόνων συνιστωσών 3 και 1 για την εικόνα του 2012. Ειδικότερα, εντοπίζονται με μπλε (PC1) και με κυανό (σύνθεση PC1 και PC2). Το τέταρτο χρώμα που εμφανίζεται και στις δύο εικόνες είναι το κυανό, το οποίο αποτελείται από τις εικόνες συνιστώσες 2 και 1. Αυτό το χώμα παρουσιάζεται στο δομημένο χώρο και το γυμνό έδαφος, το οποίο κάποιες φορές είναι παλαιωμένες λάβες. Τέλος, το μπλε χρώμα εμφανίζεται στις ράχες του ηφαιστείου της Αίτνας και χωροθετείται στην πυκνή βλάστηση, η οποία εμφανίζεται σε χαμηλότερο υψόμετρο αλλά και σε μερικές καλλιέργειες.

7: Εξαγωγή θεματικής πληροφορίας

Γενικά, υπάρχουν πολλές μέθοδοι, με τις οποίες μπορεί να γίνει η εξαγωγή ενός θεματικού χάρτη. Σε αυτή την εργασία θα γίνει η εφαρμογή δύο ειδών ταξινόμησης, της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique yAy) και της επιβλεπόμενης SAM (Spectral Angle Mapper). Ενώ τέλος, θα δειχθεί και ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (Normalized Difference Vegetation Index-NDVI).

7.1: Θεωρητική ερμηνεία γενικά της μη ελεγχόμενης ταξινόμησης

Η μη ελεγχόμενη ταξινόμηση (Unsupervised) είναι μία μέθοδος, η οποία εξετάζει ένα μεγάλο αριθμό από άγνωστα εικονοστοιχεία και τα κατατάσσει σε έναν αριθμό θεματικών κλάσεων, ο οποίος βασίζεται σε φυσικές κατηγοριοποιήσεις που παρουσιάζουν οι τιμές των εικονοστοιχείων της εικόνας. Σε αντίθεση με τις ελεγχόμενες ταξινομήσεις, η αυτόματη δεν απαιτεί να καθοριστούν κάποιοι παράμετροι για τα δεδομένα επεξεργασίας. Βασική επιδίωξη είναι ότι οι τιμές μέσα για μία συγκεκριμένη κλάση θα πρέπει να έχουν παρόμοιες τιμές ανακλαστικότητας, ενώ τα δεδομένα σε διαφορετικές κατηγορίες θα πρέπει να διαχωρίζονται συγκριτικά καλά.

Οι τάξεις που προκύπτουν από μία μη ελεγχόμενη ταξινόμηση, είναι η ταξινόμηση των φασματικών υπογραφών, η οποία βασίζεται στις φασματικές ιδιότητες των αντικειμένων που υπάρχουν στην εικόνα. Η ταξινόμηση των φασματικών υπογραφών δεν είναι αρχικά γνωστή, διότι δεν υπάρχουν φάσματα αναφοράς. Άρα πρέπει να γίνει σύγκριση μεταξύ των δεδομένων που έχουν ταξινομηθεί και αυτών που υπάρχουν σε βιβλιογραφικές αναφορές. Έτσι, θα είναι εφικτή η αναγνώριση και η κατηγοριοποίηση των αντικειμένων.

Γενικότερα, η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση χρησιμοποιείται ευρύτατα στους τομείς χαρτογράφησης, διότι είναι εξαιρετικά γρήγορη και απαιτεί λιγότερες παραμέτρους για τις φυσικές ιδιότητες των αντικειμένων που χωροθετούνται σε μία εικόνα, (Ding & Marchionini, 1997).

7.1.1: Ο αλγόριθμος της ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique)

Η διαδικασία μίας μη ελεγχόμενης ταξινόμησης χωρίζεται σε τρία στάδια. Στο πρώτο δημιουργούνται κάποιες αρχικές κλάσεις. Στο δεύτερο ταξινομούνται οι κλάσεις με βάση τα γειτονικά εικονοστοιχεία. Ενώ τέλος στο τρίτο, οι νέες κλάσεις που δημιουργούνται υπολογίζονται βασισμένες σε όλα τα εικονοστοιχεία που έχουν ταξινομηθεί σε μία κλάση. Το δεύτερο και το τρίτο βήμα επαναλαμβάνονται όσες φορές οριστεί από τον χρήστη. Αυτή η διαδικασία σταματάει όταν οι αλλαγές των

κλάσεων κατά τη διάρκεια των επαναλήψεων είναι ελάχιστες. Η μεταβολή μπορεί να οριστεί να διάφορους τρόπους. Είτε μετρώντας τη μέση τιμή της απόστασης μεταξύ των εικονοστοιχείων, τα οποία έχουν μεταβληθεί κατά τη διάρκεια των επαναλήψεων είτε από το ποσοστό των εικονοστοιχείων που έχουν αλλάξει μεταξύ των επαναλήψεις, (Korgaonkar et. al., 2012).

Ειδικότερα, ο αλγόριθμος ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique) έχει κάποιες παραπάνω βελτιώσεις, σύμφωνα με τις οποίες χωρίζει ή διασπά τις συστάδες, (Jensen, 1996). Οι κλάσεις ενοποιούνται, αν ο αριθμός των εικονοστοιχείων είναι μικρότερος από ένα ορισμένο από το χρήστη όριο, ή αν τα κέντρα δύο κλάσεων είναι πιο κοντά πάλι από ένα συγκεκριμένο όριο. Αντίθετα, κάποιες κλάσεις ενδέχεται να διασπαστούν αν η τυπική απόκλιση της κλάσης υπερβαίνει ένα προκαθορισμένο όριο και/ή ο αριθμός των εικονοστοιχείων είναι διπλάσιος από το όριο του ελάχιστου αριθμού των εικονοστοιχείου που πρέπει να βρίσκονται σε μία συστάδα.

Ο αλγόριθμος ISODATA είναι παρόμοιος με τον αλγόριθμο k-means, αλλά υπάρχει μία διακριτή διαφορά μεταξύ τους. Έστω, ορίζονται 'n' επαναλήψεις για τη διαδικασία της ταξινόμησης και της τελικής δημιουργίας κλάσεων. Ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων που μπορεί να εκτελεστεί είναι 'n'φορές. Στον αλγόριθμο ISODATA δεν είναι απαραίτητη η διεξαγωγή όλων των επαναλήψεων για την παραγωγή του αποτελέσματος, αλλά πρέπει να προκύψουν οι κλάσεις με το μικρότερο σφάλμα. Αντίθετα, με τη μη ελεγχόμενη ταξινόμηση k-means, παρατηρείται ότι αν δεν έχουν καταταγεί όλα τα εικονοστοιχεία σε μία κλάση μετά από τις 'n' επαναλήψεις, τότε δεν ολοκληρώνεται η ταξινόμηση. Το κύριο κριτήριο που πρέπει να πληρείται κατά την ενοποίηση ή το διαχωρισμό των τάξεων είναι ότι το ολικό τετραγωνικό σφάλμα (MSE) πρέπει να μειώνεται.

Επίσης, χαρακτηριστικό είναι ότι είναι πολύ «ευαίσθητος» στις αρχικές τιμές. Για δύο ταξινομήσεις με διαφορετικές αρχικές τιμές, το αποτέλεσμα που προκύπτει θα είναι διαφορετική ταξινόμηση ανάλογα με το μικρότερο MSE. Ωστόσο, τυχαίνει η διαφορά του MSE να είναι πολύ μικρή, ενώ δημιουργούνται διαφορετικές κλάσεις. Συχνά δεν είναι σαφές αν αυτός ο τρόπος διαχωρισμού οδηγεί πάντα στην καλύτερη ταξινόμηση (Korgaonkar et al, 2012).

7.2: Εκδοχές της εφαρμογή της ταξινόμησης ISODATA

Σε αυτή την περίπτωση εφαρμόστηκε η μη ελεγχόμενη ταξινόμηση για τις ατμοσφαιρικά διορθωμένες τμηματικές εικόνες 2009 και 2012. Ο αλγόριθμος αυτός εφαρμόστηκε επιπλέον, μετά τη μείωση των διαστάσεων και του θορύβου με τις τεχνικές PCA και MNF, αλλά και με την αντίστροφη διαδικασία του μετασχηματισμού PCA. Στην εικόνα 93 παρατίθενται όλοι οι τρόποι, με τους οποίους εφαρμόστηκε η ταξινόμηση ISODATA.



Εικόνα 93: Οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν για την εφαρμογή της μη ελεγχόμενης ταξινόμησης ISODATA για τις εικόνες 2009 και 2012

Η μεθοδολογία εφαρμόστηκε και στις δύο εικόνες αλλά με τη χρήση διαφορετικών κλάσεων. Για να είναι αξιόπιστη η επιλογή του αριθμού των κλάσεων, χρησιμοποιήθηκαν δύο τρόποι εγκυρότητας των παραγόμενων αποτελεσμάτων. Ο πρώτος ήταν οι βιβλιογραφικές αναφορές που διατυπώθηκαν στο κεφάλαιο 4. Ο δεύτερος ήταν η σύγκριση των αποτελεσμάτων με το google earth. Αυτό έγινε με την εντολή SPEAR, του λογισμικού ENVI 4.7. Με αυτή την εφαρμογή, ήταν δυνατή η μετατροπή της ταξινομημένης εικόνας σε αρχείο kml, έτσι ώστε να είναι εφικτή η χαρτογραφική επίθεσής της πάνω στην περιοχή μελέτης, στο λογισμικό google earth. Έτσι, μπορούσε να ελεγχθεί, το πόσο οι παραγόμενες κλάσεις αντιστοιχούν στα υπάρχουσα τμήματα κάλυψης γης. Στην εικόνα του 2009 ορίστηκαν 15 κλάσεις ενώ αντίστοιχα, στην εικόνα του 2012 ορίστηκαν 17, διότι αποδείχθηκε ότι οι 15 δεν έδιναν ακριβή αποτελέσματα. Παραδείγματος χάρη, δεν γινόταν σαφής διαχωρισμός των τμημάτων της κάλυψης γης, όπως οι καλλιέργειες με το γυμνό έδαφος, οι διαφορετικές ροές λάβας κ.λπ. Στον πίνακα 44 παρατίθενται όλοι οι παράμετροι για την εφαρμογή της ISODATA.

ISODATA classes	15 (2009), 17 (2012)
Maximum Iterations	100
Threshold	100
Minimum Pixel in class	1000
Maximum class Stdv	1000
Minimum class Distance	5000
Maximum # Merge Pairs	3

Πίνακας 44: Παράμετροι εισαγωγής της μη ελεγχόμενης ταξινόμησης ISODATA για τις εικόνες 2009 και 2012

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, αρχικά πρέπει να οριστεί από το χρήστη ο αριθμός κλάσεων. Το λογισμικό ENVI δίνει μία προεπιλογή, με το εύρος των κλάσεων να κυμαίνεται από 5 έως 10 κλάσεις. Η εφαρμογή αυτής της παραμέτρου έχει στόχο την ενοποίηση ή τον διαχωρισμό των αρχικών κλάσεων. Ενδεχόμενο αυτής της επιλογής είναι η μη δημιουργία όλων των κλάσεων που έχει ορίσει ο χρήστης. Δεύτερον, εισάγεται ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων (iterations) και η μεταβολή του εύρους (threshold), ενώ το ποσοστό που μπορεί να δεχθεί είναι 0-100%. Ο ελάχιστος αριθμός εικονοστοιχείων που θα έχει οριστεί να υπάρχουν σε κάθε συστάδα ανέρχεται στα 1000. Αν μία κλάση έχει λιγότερα εικονοστοιχεία από αυτά που ορίζεται τότε διαγράφεται και τα εικονοστοιχεία συγχωνεύονται στις γειτονικές κλάσεις. Επιπλέον, χρησιμοποιείται μία μέγιστη τιμή τυπικής απόκλισης (σε αυτή την περίπτωση σε τιμές ανακλαστικότητας), έτσι ώστε αν αυτό το όριο ξεπεραστεί να διαχωριστεί μία κλάση σε δύο. Επίσης, ορίζεται η απόσταση (σε τιμές ανακλαστικότητας) μεταξύ των μέσων των κλάσεων και τον μέγιστο αριθμό των ενοποιημένων κλάσεων που μπορούν να υλοποιηθούν. Αν η απόσταση είναι μικρότερο από το όριο που έχει τεθεί τότε, το λογισμικό ENVI συγχωνεύει τις κλάσεις. Ο μέγιστος αριθμός των κλάσεων μπορούν να ενοποιηθούν εξαρτάται από την παράμετρο συγχώνευσης συστάδων (merge pairs). Άρα, εφόσον οι εικόνες πλέον είναι ατμοσφαιρικά διορθωμένες και οι τιμές έχουν μετατραπεί σε τιμές ανακλαστικότητας, τότε οι παραπάνω παράμετροι υπολογίζονται με τις τιμές ανακλαστικότητας των εικονοστοιχείων.

7.2.1: Εφαρμογή της ταξινόμησης ISODATA για τις ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες 2009 και 2012

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται οι δύο θεματικοί χάρτες που προκύπτουν από την μη ελεγχόμενη ταξινόμηση ISODATA. Τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιούνται είναι ατμοσφαιρικά διορθωμένα. Ο λόγος που εφαρμόζεται ο αλγόριθμος ISODATA σε αυτά τα δεδομένα και όχι στα αρχικά (τιμές ανακλαστικότητας) είναι ότι, οι τιμές των δεδομένων καθώς και οι φασματικές υπογραφές, συσχετίζονται με τις πραγματικές συνθήκες της εικόνας που λαμβάνεται μία δεδομένη χρονική στιγμή. Όποτε, οι κλάσεις που δημιουργούνται θα αντιστοιχούν κατά ένα πολύ μεγάλο ποσοστό στην πραγματική κάλυψη γης της περιοχής μελέτης. Στην εικόνα 96 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα ως προς το πόσο αναλυτική και πιο έγκυρη γίνεται μία ταξινόμηση όταν τα δεδομένα είναι ατμοσφαιρικά διορθωμένα.



Εικόνα 94: Η εφαρμογή της ατμοσφαιρικής διόρθωσης FLAASH διαχωρίζει τις γειτνιάσεις των εικονοστοιχείων και αυξάνει των αριθμό των κλάσεων. Αριστερά: Ταξινόμηση δεδομένα έχουν τιμές ακτινοβόλησης σε που κέντρο: Ταξινόμηση δεδομένα έχουν Στο που τιμές ανακλαστικότητας σε Δεξιά: Ταξινόμηση σε δεδομένα που έχουν τιμές ανακλαστικότητας και με τη μη ύπαρξη κάποιου ποσοστού απορρόφησης της ακτινοβολίας από τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας, (Mahalingam, 2014).

Στην εικόνα 95 παρουσιάζονται οι δύο θεματικοί χάρτες, οι οποίοι παράχθηκαν από το λογισμικό ArcGIS 10.3. Αυτοί οι χάρτες προκύπτουν από την ταξινόμηση ISODATA για τις εικόνες 2009 και 2012. Ενώ, με το λογισμικό ArcScene 10.3 γίνεται η χαρτογραφική επίθεση αυτών των θεματικών επιπέδων, στο ψηφιακό μοντέλο εδάφους της Αίτνας (εικ. 96 και 97). Επιπλέον, θα αποδειχθεί αν αυτού είδους η ταξινόμηση εξήγαγε των αριθμό των κλάσεων που ορίστηκαν κατά την εφαρμογή της αλλά και ποιες διαφορές εντοπίζονται στην αποτύπωση των συστάδων σε σχέση με την κάλυψη γης της περιοχής μελέτη.

Εικόνα 95: Χαρτογράφηση της κάλυψης γης του ηφαιστείου της Αίτνας με τη μέθοδο ταξινόμησης ΙSODATA για τις ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες 2009 και 2012





Εικόνα 96: Χαρτογραφική επίθεση του θεματικού χάρτης ταξινόμησης ISODATA σε Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους ASTER GDEM 30m, για την ατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα 2009



Εικόνα 97: Χαρτογραφική επίθεση του θεματικού χάρτης ταξινόμησης ISODATA σε Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους ASTER GDEM 30m, για την ατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα 2012

Έγινε μία πρώτη προσέγγιση της αποτύπωσης της κάλυψης γης καθώς και κάποιων ροών λάβας που εμφανίζονται αισθητά και στις δύο εικόνες. Εφαρμόστηκε η ίδια χρωματική παλέτα για την πιο εύκολη σύγκριση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης. Χρησιμοποιήθηκε διαφορετικός αριθμός συστάδων για την κάθε εικόνα. Συγκεκριμένα, όπως δείχνεται και στους χάρτες για την εικόνα του 2009 ορίστηκαν 15 κλάσεις και 17 για την εικόνα του 2012. Ορισμός αυτών των αριθμών για τις δύο εικόνες, δεν ήταν η ύπαρξη δύο ακόμα κλάσεων κατά τη διάρκεια των τριών ετών, αλλά ο καλύτερος διαχωρισμός των τμημάτων κάλυψης της περιοχής, σε σύγκριση με το τι υπάρχει στην πραγματικότητα. Παρατηρείται και στις δύο εικόνες ότι δεν αποτυπώνονται όλες οι κλάσεις που ορίστηκαν. Αξιοσημείωτη είναι η ταξινόμηση της εικόνας 2012, στην οποία από τις 17 κλάσεις αποτυπώνονται μόνο οι 8. Πιο ακριβή αποτελέσματα παράγονται από την ταξινόμηση της εικόνας 2009, στην οποία δεν εμφανίζονται 2 κλάσεις από το συνολικό αριθμό. Αναλυτικότερα, διαχωρίζονται με περισσότερη ευκρίνεια τα τμήματα του δομημένου χώρου, γυμνού εδάφους (γκρι γρώμα) και των καλλιεργειών (πράσινο γρώμα), ιδιαίτερα στο βόρειο τμήμα του ηφαιστείου. Αντίθετα, στην εικόνα του 2012 παρουσιάζεται μία συγχώνευση αυτών των τριών ειδών, χαρακτηρίζοντας αυτά ως δομημένος χώρος και γυμνό έδαφος. Βέβαια, υπάρχουν μεμονωμένες μικρές περιοχές βλάστησης (με πράσινο χρώμα) στα δύο άκρα της εικόνας, στα οποία όμως υπάρχει η παρουσία παλαιωμένων ροών λάβας, οι οποίες άλλοτε έχουν καλυφθεί με βλάστηση και άλλοτε παραμένουν ως αυλακώσεις ροών. Άρα, εδώ εμφανίζεται μία ακόμη λανθασμένη αποτύπωση της κάλυψης γης. Οι παλαιωμένες ροές χωρίς την παρουσία της βλάστησης θα έπρεπε να απεικονίζονται με άλλον χρωματισμό, φαινόμενο που παρατηρείται στην εικόνα του 2009. Αυτό δείχνει ότι είτε ο αριθμός των τάξεων δεν είναι ακριβής, δηλαδή χρειάζονται κι άλλες δοκιμές ή δείχνει την αδυναμία της συγκεκριμένης ταξινόμησης να οριοθετήσει και να αποτυπώσει σωστά χωρικά τις διαφορετικές τάξεις ως προς τα φυσικά αντικείμενα της εικόνας. Αυτό δείχνει ότι είτε ο αριθμός των τάξεων δεν είναι ακριβής, δηλαδή χρειάζονται κι άλλες δοκιμές ή δείχνει την αδυναμία της συγκεκριμένης ταξινόμησης να οριοθετήσει και να αποτυπώσει σωστά χωρικά τις διαφορετικές τάξεις ως προς τα φυσικά αντικείμενα της εικόνας. Συγκεκριμένα, απεικονίζονται με σκούρο καφέ χρώμα και χωροθετούνται στις πλαγιές του ηφαιστείου.

Υπάρχει μία ομοιότητα στην αποτύπωση του κίτρινου χρώματος, το οποίο αποδίδει τις ροές λάβας του 1983. Η χρονική αποτύπωση αυτής της κλάσης αναφέρεται από τους Amici et al. (2014). Αυτή η βιβλιογραφική αναφορά χρησιμοποιείται και για τις άλλες κλάσεις που αποδίδονται σε χρονικές αποτυπώσεις των ροών λάβας. Μία ακόμη κλάση, η οποία χρονολογείται στην ίδια περίοδο είναι η ένατη (σκούρο καφέ χρώμα), η οποία εμφανίζεται σε κύριες ροές λάβας που χωροθετούνται στα νότια και στα βόρεια του ηφαιστείου αλλά εμφανίζεται μόνο στην εικόνα 2009. Επίσης, στην εικόνα 2012 απεικονίζεται με την ένατη κλάση. Αλλά δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι η ίδια με της εικόνας του 2009, διότι η ίδια καλύπτει και άλλα τμήματα του ηφαιστείου, όπως παλαιωμένες ροές λάβας που καλύπτονται από

περιοχής. Μεταβαίνοντας στο κέντρο του ηφαιστείου αποτυπώνονται οι περισσότερες κλάσεις, οι οποίες αποδίδονται με γρωματικές απογρώσεις του καφέ και στις δύο εικόνες. Στους κεντρικούς κρατήρες εμφανίζονται τρεις διαφορετικές αποχρώσεις λαβών, οι οποίες πιθανόν να είναι και οι πιο πρόσφατες αλλά δεν υπάρχει κάποια βιβλιογραφική αναφορά έτσι ώστε να είναι εφικτή η γρονική τους οριοθέτηση. Επιπλέον, εμφανίζεται μία ροή λάβας, η οποία παραμένει αμετάβλητη στο πέρασμα των τριών χρόνων και χρονολογείται το 2001, (Amici et al, 2014). Αυτή η ροή βρίσκεται νοτιοανατολικά του ηφαιστείου (37°39'0"N, 14°59'30"E) και αντιστοιχεί στο πορτοκαλί χρώμα και για τις δύο εικόνες. Τέλος, μόνο στην εικόνα του 2009 εμφανίζεται μία ξεχωριστή κλάση, η οποία αποδίδεται στα δυτικά του ηφαιστείου (37°45'0"-37°45'30"N, 14°57'30"-14°58'30"E), απεικονίζεται με ανοιγτό καφέ και χρονολογείται μεταξύ του 2001 και 2003. Αυτή η διάκριση δεν είναι εφικτή στην εικόνα του 2012. Μπορεί να εμφανίζεται με την ίδια χρωματική σύνθεση αλλά συνεγίζει να υπάρχει σε ένα μεγάλο μέρος του κέντρου του ηφαιστείου για το οποίο δεν υπάρχει κάποια πληροφορία συγκεκριμένης χρονολόγησης, οπότε θα ήταν αβάσιμη η ύπαρξη αυτής της κλάσης. Γι' αυτό το λόγο χαρακτηρίζεται ως πρόσφατη ροή λάβας.

7.2.2: Εφαρμογή της ταξινόμησης ISODATA για τις PC's των εικόνων 2009 και 2012

Για αυτή τη μέθοδο δημιουργήθηκε ένα ενιαίο αρχείο με την εφαρμογή Layer Stacking. Σε αυτό το αρχείο απομονώθηκαν οι συνιστώσες του μετασχηματισμού της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών, οι οποίες είχαν το μεγαλύτερο ποσοστό χρήσιμης πληροφορίας και εμφάνιζαν το λιγότερο θόρυβο. Συγκεκριμένα, για την εικόνα του 2009 χρησιμοποιήθηκαν οι πέντε πρώτες εικόνες συνιστώσες και για την εικόνα του 2012 πάλι οι πέντε πρώτες και η έβδομη. Στην εικόνα 98 παρουσιάζονται οι δύο θεματικοί χάρτες που παράχθηκαν με τη χρήση της μη ελεγχόμενης ταξινόμησης ISODATA για τις δύο χρονολογίες. Επίσης, απεικονίζεται η χαρτογραφική επίθεσής τους πάνω στο ΨΜΕ της περιοχής (εικ. 99 και 100). Στη συνέχεια θα γίνει σύγκριση τόσο μεταξύ των δύο ετών για τις διαφορές που προκύπτουν στο διάστημα των τριών ετών όσο και μεταξύ των προηγούμενων αποτελεσμάτων. **Kal 2012** Εικόνα 98: Χαρτογράφηση της κάλυψης γης του ηφαιστείου της Αίτνας με τη μέθοδο ταξινόμησης ISODATA με τη χρήση των PC's των εικόνων 2009





Εικόνα 99: Χαρτογραφική επίθεση του θεματικού χάρτης ταξινόμησης ISODATA σε Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους ASTER GDEM 30m, για την εικόνα 2009, με τη χρήση των συνιστωσών που περιέχουν την χρήσιμη πληροφορία από τον μετασχηματισμό PCA.



Εικόνα 100: Χαρτογραφική επίθεση του θεματικού χάρτης ταξινόμησης ISODATA σε Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους ASTER GDEM 30m, για την εικόνα 2012, με τη χρήση των συνιστωσών που περιέχουν την χρήσιμη πληροφορία από τον μετασχηματισμό PCA. Για την κατασκευή των θεματικών χαρτών χρησιμοποιήθηκε η ίδια παλέτα χρωμάτων με σκοπό την πιο εύκολη σύγκριση των αποτελεσμάτων ταξινόμησης. Και σε αυτή τη μέθοδο παρατηρείται ότι δεν παράχθηκαν όλες οι κλάσεις, οι οποίες είχαν οριστεί κατά την εφαρμογή της ταξινόμησης. Αξιοσημείωτο είναι ότι τα αποτελέσματα της ISODATA για την εικόνα του 2012 έδειχναν ότι είχαν δημιουργηθεί 15 συστάδες. Όμως, όταν οι εικόνα εισήχθη στο λογισμικό ArcGIS, τότε αυτόματα μειώθηκαν στις 8. Έτσι, εξάγεται το συμπέρασμα ότι στις υπόλοιπες κλάσεις ταξινομούνταν μηδέν εικονοστοιχεία και ως εκ τούτου απεικονίζονται μόνο τις 8, οι οποίες εντοπίζονται και στον χάρτη.

Επιπλέον, αν συγκριθεί με το θεματικό χάρτη της ατμοσφαιρικά διορθωμένης εικόνας για την ίδια χρονιά, φαίνεται ότι δεν υπάρχει διαφορά στη χαρτογράφηση της κάλυψης γης με τις αντίστοιχες κλάσεις, ενώ συνεπάγεται ότι ισχύουν οι ίδιες διαπιστώσεις με την υποενότητα 7.2.1.

Οι ίδιες προϋποθέσεις ισχύουν και για την εικόνα του 2009. Με τη χρήση των συνιστωσών που περιέχουν τη χρήσιμη πληροφορία, παρατηρείται ότι ο αριθμός των κλάσεων που δημιουργείται ανέρχεται στις δεκατρείς. Αναλυτικότερα, με στις αποχρώσεις του πράσινου (κλάσεις 5,6,7) αποτυπώνονται τα τμήματα του ηφαιστείου, τα οποία καλύπτονται με βλάστηση (καλλιέργειες και παλαιωμένες λάβες με βλάστηση). Οι πορφυρές απογρώσεις (κλάσεις 2,3,4,9,11,12,13) και το κίτρινο (κλάση 10) αντιστοιχούν σε ροές λάβας κυρίως πρόσφατες, οι οποίες είτε χαρακτηρίζονται από καθολική απουσία βλάστησης είτε από μερική ποώδη. Συγκρίνοντας τους θεματικούς χάρτες που παράχθηκαν με την ατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα και με το αρχείο των συνιστωσών της χρονολογίας 2009, παρουσιάζονται κάποιες σημαντικές διαφορές στην χωροθέτηση των κλάσεων. Για παράδειγμα, ο κίτρινος χρωματισμός στην πρώτη ταξινόμηση αντιστοιχεί στις λάβες, οι οποίες χρονολογούνται το 1983 και οριοθετούνται στις πλαγιές του ηφαιστείου της Αίτνας. Αντίθετα, το ίδιο χρώμα στη δεύτερη μέθοδο αντιστοιχεί στη συστάδα των πρόσφατων ροών λάβας, αλλά χωρίς να υπάρχει κάποια βιβλιογραφική αναφορά για τη χρονολόγηση της κλάσης. Επίσης, η ενδέκατη κλάση έχει ακριβώς την αντίστροφη οριοθέτηση με την δέκατη (κίτρινο χρώμα). Άρα αποδεικνύεται ότι με την αλλαγή των δεδομένων, με τα οποία γίνεται η ταξινόμηση, αλλάζει και η χωρική οριοθέτηση των κλάσεων στην περιοχή μελέτης. Τέλος, υπάρχει μία ακόμη διαφορά στην χαρτογράφηση της ροής που είχε αναφερθεί και στην ενότητα 7.2.1 με συντεταγμένες 37°39'0''N, 14°59'30''E. Στο προηγούμενο κεφάλαιο η ροή αυτή απεικονίζεται κυρίως με την δέκατη τρίτη κλάση και χρονολογείται περίπου το 2001. Αυτή η κλάση όμως συνεχίζει να υπάρχει και στο κέντρο του ηφαιστείου. Αντίθετα, σε αυτή την ενότητα η συγκεκριμένη ροή φαίνεται να αποτυπώνεται από ένα σύνολο τριών κλάσεων (10,11,12). Οι συγκεκριμένες κλάσεις όμως έχει δειχθεί ότι πιθανόν χρονολογούνται είτε το 1983, είτε δεν υπάρχει κάποια πηγή ταυτοποίησης με κάποια γρονολογία. Ειδικότερα, η δωδέκατη κλάση αντιστοιχεί σε ροή λάβας, η οποία χωροθετείται στα δυτικά του ηφαιστείου $(37^{\circ}45'0''-37^{\circ}45'30''N, 14^{\circ}57'30''-$ 14°58'30"E), οπότε δεν υπάρχει κάποια λογική ερμηνεία της ύπαρξης και στην συγκεκριμένη ροή λάβας. Έτσι, εξάγεται το συμπέρασμα ότι, πρώτον σε αυτό το σημείο παράχθηκε ένα λανθασμένο αποτέλεσμα, το οποίο ενδεχομένως να αποδίδεται στη μη ελεγχόμενη διεξαγωγή της ταξινόμησης και δεύτερον στη μη δυνατότητα διαφοροποίησης χρονικά της τελευταίας συστάδας.

7.2.3: Εφαρμογή της ταξινόμησης ISODATA με τη χρήση του αντίστροφου μετασχηματισμού "Inverse PCA" για τις εικόνες 2009 και 2012.

Στην ενότητα 6.4 αναφέρθηκε ότι η χρήση του αντίστροφου μετασχηματισμού της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών ("Inverse" Principal Component Analysis-PCA) εφαρμόζεται για να επανέρθουν οι συνιστώσες στις αρχικές τους διαστάσεις, χωρίς την παρουσία της επαναλαμβανόμενης πληροφορίας και του φασματικού θορύβου. Άρα, χρησιμοποιώντας αυτά τα δεδομένα για την εφαρμογή της μη ελεγχόμενης ταξινόμησης ISODATA, πιθανόν να παραχθούν πιο έγκυρα αποτελέσματα. Στην εικόνα 101 παρουσιάζονται οι δύο θεματικοί χάρτες, για τις χρονολογίες 2009 και 2012 και στις εικόνες 102 και 103 απεικονίζεται η προβολή τους πάνω στο ΨΜΕ (ASTER GDEM 30m) της Αίτνας.

μετασχηματισμό PCA των εικόνων 2009 και 2012 Εικόνα 101: Χαρτογράφηση της κάλυψης γης του ηφαιστείου της Αίτνας με τη μέθοδο ταξινόμησης ΙSODATA με τη χρήση δεδομένων που προέκυψαν μετά τον αντίστροφο





Εικόνα 102: Χαρτογραφική επίθεση του θεματικού χάρτης ταξινόμησης ISODATA σε Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους ASTER GDEM 30m, για την εικόνα 2009, με τη χρήση του αντίστροφου μετασχηματισμού "Inverse PCA".



Εικόνα 103: Χαρτογραφική επίθεση του θεματικού χάρτης ταξινόμησης ISODATA σε Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους ASTER GDEM 30m, για την εικόνα 2012, με τη χρήση του αντίστροφου μετασχηματισμού "Inverse PCA". Σε αυτή την ενότητα σημειώνονται σημαντικές αλλαγές, στον αριθμό των κλάσεων αλλά και στο πώς οριοθετούνται στη χαρτογράφηση της κάλυψης γης της περιοχής. Αρχική διαπίστωση είναι ότι, η ταξινόμηση στην εικόνα του 2012 παρήγαγε μεγαλύτερο αριθμό συστάδων από την ταξινόμηση της εικόνας του 2009, ενώ πάντα συνέβαινε το αντίθετο.

Αρχικά, η ταξινόμηση της εικόνας 2009 δεν παρουσιάζει καμία διαφορά με τις προηγούμενες μεθόδους. Αυτό συμπεραίνεται από τον ίδιο αριθμό κλάσεων αλλά και από τη μη παρουσία κάποιας αξιοσημείωτης αλλαγής στην οριοθέτηση των κλάσεων σε σχέση με την περιοχή μελέτης. Έτσι, συνεπάγεται ότι θα ισχύουν οι διαπιστώσεις της ταξινόμησης της εικόνας 2009 με τις αντίστοιχες των ενοτήτων 7.2.1 και 7.2.2.

Επιπροσθέτως, διαπιστώνεται ότι στην ταξινόμηση της εικόνας 2012 έχουν δημιουργηθεί επτά επιπλέον κλάσεις σε σύγκριση με τις προηγούμενες εφαρμογές. Οι περισσότερες από αυτές παρουσιάζουν πρόσφατες ροές λάβας που εντοπίζονται στο κέντρο του ηφαιστείου και περιμετρικά από τους κεντρικούς κρατήρες (Βορειοανατολικός, Voragine και Bocca Nuova). Μόνο η δέκατη κλάση οριοθετεί διαφορετικό είδος κάλυψης γης της περιοχής. Συγκεκριμένα, για πρώτη φορά παρουσιάζεται ο διαγωρισμός του γυμνού εδάφους από του οικιστικού. Σε όλες τις μεθόδους (εικόνες 95, 98) απεικονίζονταν με μία ενιαία κλάση με γκρι χρώμα. Σε αυτή την περίπτωση (εικόνα 101), ο οικιστικός ιστός εμφανίζεται με καφέ χρώμα και το γυμνό έδαφος παραμένει με τον ίδιο χρωματισμό. Επίσης, σημαντικό είναι ότι η ένατη κλάση εμφανίζει μείωση στην κάλυψη γης της περιοχής και αυτό αποδίδεται στην πιο ακριβή αποτύπωση της έκτασης των καλλιεργειών περιμετρικά από το δομημένο περιβάλλον και τον οικιστικό ιστό. Συνεχίζοντας, παρατηρείται κάποιο μικρό σφάλμα στην αποτύπωση της ενδέκατης κλάσης (κίτρινο χρώμα), η οποία κατά το πλείστον έχει αποδειχθεί ότι αντιστοιχεί σε ροές λάβας που χρονολογούνται το 1983. Όμως, εντοπίζεται η παρουσία αυτής της κλάσης και στο νότιο τμήμα του ηφαιστείου και συγκεκριμένα στην περιοχή που βρίσκεται ο οικιστικός ιστός, το οποίο δεν αποδίδεται σε κάποια φυσιολογική παραδογή. Παράδειγμα αυτού του φαινομένου είναι ένα κομμάτι του οδικού δικτύου με συντεταγμένες 37°34'30"-37°33'30"E, 14°55'0"-14°56'0"E. Αυτό αποτυπώνεται με κίτρινο γρώμα ενώ αποδεγτό θα ήταν να αντιστοιχεί στη δέκατη κλάση (καφέ χρώμα), όπως εντοπίζεται και σε άλλα τμήματα του ηφαιστείου.

Παράλληλα, στις ταξινομήσεις των εικόνων 2009 και 2012, υπάρχει μεγάλο ποσοστό ομοιότητας στην αποτύπωση της ροής λάβας με συντεταγμένες 37°39'0"N, 14°59'30"E που χρονολογείται το 2001. Η συγκεκριμένη παρουσιάζεται με την τέταρτη κλάση. Μολαταύτα, έχουν κάποια ψήγματα ύπαρξης κι άλλων κλάσεων, οι οποίες κατατάσσονται στις πρόσφατες ροές λάβες. Άρα, κατά μεγάλη πιθανότητα, οι κλάσεις μπορεί να έχουν σωστή φυσική οριοθέτηση πάνω στην εικόνα για την συγκεκριμένη περιοχή λόγω της χρονολόγησής τους σε ίδιες ή παραπλήσιες χρονικές περιόδους στη συγκεκριμένη περιοχή. Ωστόσο, υπάρχει μία αισθητή διαφορά ανάμεσα σε αυτές τις ταξινομήσεις, η οποία όμως δεν οδηγεί σε σφάλμα της ταξινόμησης. Υπάρχουν δύο κύριες ροές λάβας που βρίσκονται στο νότιο, νοτιοδυτικό τμήμα του ηφαιστείου με συντεταγμένες 37°41'0"- 37°40'0"N, 14°56'30"-14°58'15"E, οι οποίες ταξινομούνται σε διαφορετικές κλάσεις στις δύο εικόνες. Ειδικότερα, στην εικόνα του 2009 παρουσιάζονται με την ένατη κλάση (καφέ χρώμα) ενώ αντίθετα στην εικόνα του 2012 απεικονίζονται με την ενδέκατη κλάση (κίτρινο χρώμα). Έχει όμως διαπιστωθεί τόσο από τις προηγούμενες εφαρμογές όσο και από την βιβλιογραφία ότι αυτές οι δύο κλάσεις χρονολογούνται την ίδια χρονική περίοδο, συγκεκριμένα το 1983. Άρα η διαφορετική τους ταξινόμηση οφείλεται καθαρά στον μεγάλο αριθμό των κλάσεων και στην μη ελεγχόμενη διαδικασία της ταξινόμησης. Ενδεχομένως, αν η ταξινόμηση γινόταν αποκλειστικά μόνο για τις ροές λάβας και δεν παρεμβάλλονταν από άλλα χαρακτηριστικά της περιοχής τότε θα υπήρχαν μεγάλες πιθανότητες να ανήκουν στην ίδια συστάδα.

7.2.4: Εφαρμογή της ταξινόμησης ISODATA με τη χρήση του αντίστροφου μετασχηματισμού "Inverse MNF" για τις εικόνες 2009 και 2012.

Στην τελευταία εφαρμογή της αυτόματης ταξινόμησης ISODATA θα χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα των εικόνων 2009 και 2012, τα οποία παράχθηκαν μετά από τον αντίστροφο μετασχηματισμό Minimum Noise Fraction (MNF). Αυτός ο μετασχηματισμός δημιουργείται με στόχο τη μείωση των διαστάσεων των δεδομένων (αφαίρεση επαλαμβανόμενης πληροφορίας) και του θορύβου. Βασίζεται στην τεχνική της Ανάλυσης των Κυρίων Συνιστωσών και καθίσταται σημαντική η χρήση του στα υπερφασματικά δεδομένα. Σκοπός της εφαρμογής και αυτής της τεχνικής είναι να δειχθεί τελικά ποια μέθοδος εξάγει τα καλύτερα, πιο αναλυτικά και πιο έγκυρα αποτελέσματα για την παρούσα έρευνα. Στην εικόνα 104 παρατίθενται οι παραγόμενοι θεματικοί χάρτες των δύο εικόνων έπειτα από την εφαρμογή αυτών των τεχνικών και στις εικόνες 105 και 106 προβάλλονται οι ίδιοι χάρτες στο ΨΜΕ της περιοχής.

Εικόνα 104: Χαρτογράφηση της κάλυψης γης του ηφαιστείου της Αίτνας με τη μέθοδο ταξινόμησης ISODATA με τη χρήση δεδομένων που προέκυψαν μετά τον αντίστροφο μετασχηματισμό MNF των εικόνων 2009 και 2012





Εικόνα 105: Χαρτογραφική επίθεση του θεματικού χάρτης ταξινόμησης ISODATA σε Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους ASTER GDEM 30m, για την εικόνα 2009, με τη χρήση του αντίστροφου μετασχηματισμού "Inverse MNF".



Εικόνα 106: Χαρτογραφική επίθεση του θεματικού χάρτης ταξινόμησης ISODATA σε Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους ASTER GDEM 30m, για την εικόνα 2012, με τη χρήση του αντίστροφου μετασχηματισμού "Inverse MNF". Στην τελευταία εφαρμογή της ταξινόμησης και για τις δύο εικόνες παρατηρείται ότι δεν δημιουργήθηκαν όλες οι κλάσεις που είχαν οριστεί. Συγκεκριμένα, παράχθηκε ο ίδιος αριθμός με τις ενότητες 7.2.1 και 7.2.2. Επίσης, χρησιμοποιήθηκε η ίδια παλέτα χρωμάτων για την καλύτερη σύγκριση των δύο εξαγόμενων θεματικών χαρτών αλλά και των τεσσάρων εφαρμογών ταξινόμησης. Σημαντικό είναι ότι παρατηρούνται μεγάλες αλλαγές τόσο στις κλάσεις που δημιουργήθηκαν όσο και στην εντοπισμό τους σε όλη την έκταση του ηφαιστείου.

Αρχικά, η πιο αξιοσημείωτη πληροφορία που μπορεί να εξαχθεί είναι ότι σε αυτή τη μέθοδο παρατηρείται έντονα η παρουσία θορύβου. Αυτό το φαινόμενο παρουσιάζεται ιδιαίτερα στον θεματικό χάρτη της εικόνας 2009, ενώ παρατηρείται κυρίως στον κρατήρα αλλά και στα άκρα της εικόνας. Κατά συνέπεια, μεγάλο ποσοστό της πληροφορίας δεν μπορεί να απεικονισθεί σωστά ή ακόμα ενδεχομένως θα υπάργει μεγάλο ποσοστό εικονοστοιγείων τα οποία ταξινομούνται σε λανθασμένες κλάσεις. Παράδειγμα εμφάνισης του θορύβου είναι ο θεματικός χάρτης της εικόνας 2009, στον οποίον εμφανίζεται η πέμπτη κλάση (πράσινο χρώμα) σε όλη τη δεξιά έκταση της εικόνας. Η ύπαρξη της συγκεκριμένης κλάσης στο συγκεκριμένο τμήμα της περιοχής δεν έχει κάποια φυσιολογική ερμηνεία. Πιο συγκεκριμένα, η έκτη κλάση στις εικόνες 95, 98 και 101 αντιστοιγούσε σε παλαιωμένες λάβες που έγουν καλυφθεί από πυκνή βλάστηση. Σε αυτή την δοκιμή παρατηρείται ότι η συγκεκριμένη κλάση εκτείνεται σε περιοχές, οι οποίες δεν χαρακτηρίζονται από την παρουσία ούτε παλαιωμένων ροών λάβας ούτε και πυκνής βλάστησης, διότι ένα μεγάλο κομμάτι της παρατηρείται σε πολύ μικρό υψόμετρο του ηφαιστείου. Σε αυτά τα τμήματα της περιοχής, η συγκεκριμένη κλάση μπορεί να χαρακτηριστεί ως θόρυβος επονομαζόμενος ως «Εκτίμηση της καμπυλότητας της γραμμής και διόρθωση της καμπυλότητας αυτής- Line curvature estimation and correction (spectral smile)¹¹». Επίσης, ένα άλλο είδος θορύβου εμφανίζεται στο κέντρο του ηφαιστείου και αποτυπώνεται αρχικά με την τέταρτη κλάση. Συνήθως, με αυτή την κλάση χαρακτηρίζονται οι πρόσφατες ροές λάβας στο κέντρο του ηφαίστειου. Αντίθετα, σε αυτή την περίπτωση, η κλάση αυτή εμφανίζεται με τη μορφή λωρίδων, η οποία αντιστοιχεί σε μία άλλη γνωστή μορφή θορύβου, η οποία αποτελεί κύριο γαρακτηριστικό, στα δεδομένα του Hyperion, και ονομάζεται λωριδοποίηση $(striping)^{12}$. Το ίδιο ισχύει και στο κέντρο του ηφαιστείου, όπου εμφανίζεται η πέμπτη

¹¹ Line curvature estimation and correction (spectral smile): Η γραμμή καμπυλότητας (spectral smile) είναι μία φασματική παραμόρφωση, η οποία παρουσιάζεται συνήθως σε αισθητήρες τύπου pushbroom. Προκαλείται από μία κατά μήκος μετατόπιση του κέντρου του μήκους κύματος, το οποίο οφείλεται στην αλλαγή της γωνίας διασποράς από την θέση του πεδίου, (Goodenough et al, 2003 & Neville et al, 2003). Για την περιοχή του VNIR η μετατόπιση κυμαίνεται μεταξύ 2,6-3,5nm και για την περιοχή του SWIR λιγότερο από 1nm, (Goodenough et al, 2003).

¹² Striping (λωριδοποίηση): Σε έναν αισθητήρα τύπου pushbroom, το striping είναι ένα φαινόμενο που γίνεται αντιληπτό από την εμφάνιση στηλών με κάθετη κατεύθυνση, σχεδόν σε όλα τα φασματικά κανάλια του Hyperion. Είναι αποτέλεσμα της μεταβολής της ευαισθησίας ενός ή περισσοτέρων ανιχνευτών ενός φασματικού καναλιού. Κατά το striping μία ή περισσότερες γραμμές σάρωσης στα δεδομένα παρουσιάζουν φωτεινότερες ή σκοτεινότερες από τη μεγαλύτερη ή μικρότερη τιμή έντασης της ψηφίδας. Μία ιδανική μέθοδος αφαίρεσης του striping (Destriping) είναι να μπορεί να αφαιρέσει

κλάση και αποτυπώνεται με τη μορφή λωρίδων. Ένα ακόμα σφάλμα της ταξινόμησης παρατηρείται στην ένατη κλάση (κίτρινο χρώμα). Αυτή η κλάση αντιστοιχεί είτε σε πρόσφατες ροές λάβας είτε σε χρονολογημένες ροές λάβας του 1983, οι οποίες παρατηρούνται στις πλαγιές του ηφαιστείου και σε κύριες ροές στο νότιο τμήμα του. Στη συγκεκριμένη περίπτωση κλάση παρατηρείται όχι μόνο να καλύπτει αυτές τις ροές, αλλά να εκτείνεται και στην ευρύτερη περιοχή του ηφαιστείου καταλαμβάνοντας τμήματα του οικιστικού ιστού.

Οσον αφορά την ταξινόμηση των υπολοίπων κλάσεων παρατηρούνται κατά τόπους σωστές κατά τόπους λανθασμένες οριοθετήσεις. Αρχικά, οι παλαιωμένες λάβες που καλύπτονται με βλάστηση οριοθετούνται σωστά. Ειδικότερα, η περιοχή με συντεταγμένες 37°42'30"-37°41'30"N, 14°56'30"-14°58'0"E, ταξινομείται στην έβδομη κλάση, η οποία αντιστοιχεί στην προαναφερθείσα περιγραφή και αντιστοιχεί τόσο με την κάλυψη γης της περιοχής όσο και με την χαρτογράφηση των προηγούμενων μεθόδων. Αντίθετα όμως, στην εικόνα του 2012 παρατηρείται σχεδόν πλήρης η απουσία βλάστησης τόσο σε αυτή την περιοχή όσο και στην ευρύτερη περιοχή μελέτης, που δεν ισχύει. Δεύτερον, υπάρχει μία έντονη παρουσία της συστάδας που απεικονίζει το γυμνό έδαφος και το δομημένο περιβάλλον (πολύ περισσότερο στην εικόνα του 2012). Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι αρκετή πληροφορία δεν μπόρεσε να ταξινομηθεί σε διαφορετικές κλάσεις και ενδεχομένως να παραχθούν περισσότερες. Λόγω αυτού του φαινομένου, η πληροφορία αυτή χάνεται και δεν δημιουργούνται δύο έγκυροι θεματικοί χάρτες, από τους οποίους θα μπορούσαν να εξαχθούν ορθές διαπιστώσεις.

Τέλος οι κλάσεις 2,3,11,12 και 13, που αντιστοιχούν σε πρόσφατες ροές λάβας κυρίως στο κέντρο του ηφαιστείου, αποτυπώνονται κατά το πλείστον ορθά και στους δύο χάρτες. Ωστόσο, παρατηρούνται διαφορές ανάμεσα στις δύο χρονολογίες. Έχει διαπιστωθεί όμως ότι υπάρχει μεγάλη πιθανότητα αυτές οι δύο κλάσεις να χρονολογούνται την ίδια περίοδο. Σε αυτή την περίπτωση όμως, δεν μπορούμε να υποθέσουμε ή να καταλήξουμε στην ηλικία των λαβών αυτών, διότι στην δεύτερη εικόνα η έβδομη συστάδα καλύπτει και δομημένο έδαφος.

Συμπερασματικά, η εφαρμογή αυτής της μεθόδου ταξινόμησης με δεδομένα που παράχθηκαν από τον αντίστροφο μετασχηματισμό MNF, παράγει ανακριβή αποτελέσματα τα οποία δε μπορούν να χρησιμοποιηθούν για περαιτέρω έρευνα.

Καταλήγοντας με βάση της παραπάνω δοκιμές, η επιβλεπόμενη ταξινόμηση που αποτύπωσε θεματικά σε μεγαλύτερο βαθμό την πραγματικότητα, ήταν αυτή που εφαρμόστηκε στις ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες με τη χρήση του αντίστροφου μετασχηματισμού της Ανάλυσης των Κυρίων Συνιστωσών (Inverse PCA).

τις λωρίδες χωρίς να μεταβληθούν οι τιμές των εικονοστοιχείων με αποτέλεσμα να χαθεί μέρος της αρχικής πληροφορίας, (*Jarecke et al, 2000 & Kerola et al, 2009*).
7.3: Θεωρητική ερμηνεία της ελεγχόμενης ταξινόμησης

Όταν ταξινομείται μία εικόνα, είτε πολυφασματική είτε υπερφασματική, ουσιαστικά είναι η διαδικασία κατηγοριοποίησης των εικονοστοιχείων (οι μονάδες μπορεί να είναι από ψηφιακές τιμές έως τιμές ανακλαστικότητας) σε κλάσεις. Είναι πιθανόν να συγκεντρωθούν ομάδες από πανομοιότυπα εικονοστοιχεία, από τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται, σε συστάδες που ταιριάζουν με τις κατηγορίες που έχει ορίσει ο χρήστης. Αυτή η διαδικασία εφαρμόζεται με τη σύγκριση όλων των εικονοστοιχείων με αυτά που έχουν οριστεί ως γνωστά, (Weng, 2007). Η διαδικασία της ταξινόμησης χρησιμοποιείται ευρέως και σε άλλους κλάδους εκτός από της τηλεπισκόπισης.

Η επιβλεπόμενη ταξινόμηση μπορεί να οριστεί ανεπίσημα ως η διαδικασία, η οποία χρησιμοποιεί δείγματα αναφοράς (δηλαδή εικονοστοιχεία, τα οποία είτε είναι γνωστά είτε έχουν ήδη καταχωρηθεί σε κλάσεις) για να ταξινομηθούν τα εικονοστοιχεία τα οποία είναι άγνωστα (δηλαδή τα εικονοστοιχεία τα οποία δεν έχουν ακόμη ταξινομηθεί), (Campbell & Wynne, 2011). Ένας αλγόριθμος της επιβλεπόμενης ταξινόμησης απαιτεί ένα δείγμα αναφοράς για κάθε κλάση, δηλαδή μία συλλογή από εικονοστοιχεία, τα οποία είναι δεδομένο ότι θα ταξινομούνται σε κάποια από τις κατηγορίες που έχουν οριστεί. Άρα μία τέτοιου είδους ταξινόμηση βασίζεται στον τρόπο με τον οποίον θα κατηγοριοποιήσει τα εικονοστοιχεία στις αντίστοιχες κλάσεις που έχουν οριστεί από τον χρήστη, (Reddy, 2008). Για παράδειγμα, οι περιοχές που ταξινομούνται θα πρέπει να χαρακτηρίζονται από τις αντίστοιχες φασματικές ιδιότητες των κατηγοριών που αντιπροσωπεύουν και φυσικά πρέπει να είναι ομοιογενείς με την κλάση από την οποία κατηγοριοποιούνται. Δηλαδή, τα τμήματα μίας εικόνας που ορίζονται ως περιοχές περιλαμβάνουν την πληροφορία που επικρατεί για την κάλυψη γης της περιοχής. Ειδικότερα, τα συγκεκριμένα χρησιμοποιούνται για να καθοδηγήσουν τον αλγόριθμο της ταξινόμησης και να ορίσουν τις υπόλοιπες τιμές σε κάποιες κατηγορίες, (Akoso, 2013). Γι' αυτό και το χαρακτηριστικό μίας επιβλεπόμενης ταξινόμησης είναι ότι ο γρήστης πρέπει να ορίσει τα δείγματα αναφοράς για να μπορεί εφαρμοστεί ο αλγόριθμος, ενώ αυτή είναι η βασική διαφορά με μία μη ελεγχόμενη ταξινόμηση.

7.3.1: Ο αλγόριθμος Spectral Angle Mapper (SAM)

Ο αλγόριθμος SAM (Spectral Angle Mapper) βασίζεται στην ιδανική υπόθεση ότι κάθε εικονοστοιχείο μίας εικόνας θα αντιπροσωπεύει έναν ορισμένο τύπο κάλυψης γης και μπορεί να ταξινομείται μόνο σε αυτόν τον τύπο. Ο αλγόριθμος βασίζεται στον υπολογισμό της φασματικής ομοιότητας μεταξύ δύο φασμάτων. Η φασματική ομοιότητα μπορεί να αποκτηθεί με την εξέταση κάθε φάσματος ως διάνυσμα σε έναν n-διάστατο χώρο, όπου "n" είναι ο αριθμός των φασματικών καναλιών, (Kruse et al., 1993). Ο αλγόριθμος SAM καθορίζει τη φασματική ομοιότητα μεταξύ δύο φασμάτων, υπολογίζοντας τη γωνία μεταξύ των δύο φασμάτων, χαρακτηρίζοντας το καθένα σαν διάνυσμα σε έναν χώρο που έχει τις ίδιες διαστάσεις με τον αριθμό των φασματικών καναλιών. Η ταξινόμηση πραγματοποιείται συγκρίνοντας τις φασματικές γωνίες ανάμεσα στη φασματική υπογραφή του εικονοστοιχείου και τα φάσματα αναφοράς από τις φασματικές βιβλιοθήκες ή από τα δεδομένα εκπαίδευσης (training data), (*Rashmi et al., 2014*). Στη δεύτερη περίπτωση ένα μέσο διάνυσμα υπολογίζεται για κάθε κλάση και όλα τα διανύσματα των εικονοστοιχείων ταξινομούνται με βάση τη μικρότερη γωνία που σχηματίζουν με κάθε διάνυσμα της τάξης. Μπορεί να οριστεί ένα ενιαίο μέγιστο όριο γωνίας σε όλες τις κλάσεις, ώστε κάθε εικονοστοιχείο το οποίο ξεπερνά αυτή τη γωνία, να μην ταξινομείται.

Παράλληλα όμως εμφανίζει κάποιες αδυναμίες διότι δεν μπορεί να κάνει διάκριση ανάμεσα σε θετικές ή αρνητικές συσχετίσεις επειδή λαμβάνει υπόψη μόνο τις απόλυτες τιμές. Ο Spectral Correlation Mapper (SCM) δημιουργήθηκε για να διορθώσει την αδυναμία του SAM. Κανονικοποιεί τις τιμές των διανυσμάτων των φασματικών υπογραφών πριν υπολογίσει τις φασματικές γωνίες, (Carvalho & Meneses, 2000). Για την καλύτερη κατανόηση του αλγόριθμου SAM θεωρείται ένα φάσμα αναφοράς και ένα άγνωστο φάσμα από τα δεδομένα δύο φασματικών καναλιών. Τα δύο υλικά αναπαριστώνται στο δισδιάστατο χώρο από ένα σημείο για μία γνωστή τιμή ανακλαστικότητας ή ακτινοβόλησης (ανάλογα τι δεδομένα χρησιμοποιεί ο χρήστης) ή σαν ένα διάνυσμα για όλες τις δυνατές τιμές. Σε αυτήν την εργασία γίνεται αναφορά στις τιμές ανακλαστικότητας διότι οι εικόνες είναι ατμοσφαιρικά διορθωμένες.

Επειδή η μέθοδος χρησιμοποιεί μόνο την κατεύθυνση και όχι το μήκος των διανυσμάτων, δεν επηρεάζεται από τις διαφορετικές τιμές ανακλαστικότητας και τις αντιμετωπίζει όλες με τον ίδιο τρόπο. Τα εικονοστοιχεία με μικρότερες τιμές ανακλαστικότητας, βρίσκονται στην αρχή των αξόνων, ενώ το μήκος των διανυσμάτων δεν επηρεάζει τη μεταξύ τους γωνία. Ο αλγόριθμος της ελεγχόμενης ταξινόμησης SAM γενικεύει τη γεωμετρική αναπαράσταση στο η-διάστατο χώρο και προσδιορίζει την ομοιότητα ενός άγνωστου φάσματος t με το φάσμα αναφοράς r εφαρμόζοντας τις παρακάτω εξισώσεις:

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{\stackrel{\flat}{t} \bullet \stackrel{\flat}{r}}{\left| \left| \stackrel{\flat}{t} \right| \right| \bullet \left| \left| \stackrel{\flat}{r} \right| \right|} \right)$$

Η εξίσωση μπορεί να μετασχηματιστεί και στην παρακάτω μορφή.

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^{nb} t_i r_i}{\left(\sum_{i=1}^{nb} t_i^2\right)^{\frac{1}{2}} \left(\sum_{i=1}^{nb} r_i^2\right)^{\frac{1}{2}}} \right)$$

Στην δεύτερη εξίσωση εκτός από τα διανύσματα του άγνωστου φάσματος και του φάσματος αναφοράς υπάρχει και η μεταβλητή nb, η οποία αντιστοιχεί στον αριθμό των φασματικών καναλιών. Στην εικόνα 107 θα δειχθεί και η λογική στο nδιάστατο χώρο του αλγορίθμου Spectral Angle Mapper.



Εικόνα 107: Η λογική του αλγόριθμου Spectral Angle Mapper (SAM), (Kruse et al.,1993).

7.4: Εφαρμογή του αλγορίθμου SAM για τις ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες 2009 και 2012

Για την εφαρμογή του αλγορίθμου χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ENVI classic. Όλες οι εφαρμογές που έχουν γίνει για τις εικόνες 2009 και 2012, από τα στάδια προεπεξεργασίας μέχρι και την εξαγωγή θεματικού γάρτη με την ταξινόμηση ISODATA, έχουν ως δεδομένα τις εικόνες, οι οποίες έχουν περιοριστεί χωρικά σύμφωνα με τις συντεταγμένες που παρατίθενται στην ενότητα 5.2. Για αυτή τη ταξινόμηση τα δεδομένα περιορίστηκαν χωρικά περισσότερο ακόμη χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Subset. Στόχος αυτής της διαδικασίας ήταν η απομόνωση όσο το δυνατόν περισσότερο, του κέντρου του ηφαιστείου καθώς και των κύριων ροών λάβας, έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί μία πρώτη προσέγγιση γαρτογράφησης των ορυκτών, τα οποία προήλθαν από πιθανές εκρήξεις του ηφαιστείου της Αίτνας με έκχυση λάβας. Στις εικόνες 108 και 109 καταγράφονται οι συντεταγμένες των μειωμένων χωρικά εικόνων και αποτυπώνεται το παραγόμενο αποτέλεσμα σε ψευδέχρωμη σύνθεση, R:45 (874.53nm), G:27 (620.15nm), B:15 (498.04nm).



Εικόνα 108: Οι μειωμένες συντεταγμένες των εικόνων 2009 και 2012 με την εντολή subset, σε σύστημα συντεταγμένων WGS'84 UTM 33N



Εικόνα 109: Μείωση των διαστάσεων της ενότητας 5.5 των δύο εικόνων (2009, 2012) με προκαθορισμένες συντεταγμένες

Υπάρχουν δύο τρόποι με τους οποίους γίνεται η διαδικασία αυτή. Είτε με την εφαρμογή της εντολής της ταξινόμησης είτε με την επιλογή Spectral Hourglass Wizard. Αυτή η επιλογή μπορεί να καθοδηγήσει τον χρήστη, στην εύρεση και τη χαρτογράφηση των φασμάτων αναφοράς (endmembers), τα οποία υπάρχουν στα υπερφασματικά και πολυφασματικά δεδομένα. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται μόνο τα εικονοστοιχεία, των οποίων η φασματική υπογραφή αντιστοιχεί μόνο σε ένα φυσικό στοιχείο. Αυτά χρησιμοποιούνται ως αναφορά για να καταγράψει τον αριθμό των εικονοστοιχείων τα οποία έχουν την ίδια ή παρόμοια φασματική υπογραφή. Η εικόνα 110 παρουσιάζει το σύνολο των διαδικασιών που μπορούν να διεξαχθούν με αυτήν την εφαρμογή.



Operational Hyperspectral Processing

Για τη υλοποίηση της ταξινόμησης SAM ακολουθήθηκαν όλα τα προβλεπόμενα στάδια επεξεργασίας εκτός από τη μέθοδο ταξινόμησης MTMF (Mixed Tuned Matched Filtering). Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 7.3.1 για να εφαρμοστεί ο αλγόριθμος SAM θα πρέπει ο χρήστης να ορίσει τα φάσματα αναφοράς. Στην παρούσα έρευνα χρησιμοποιήθηκε η φασματική βιβλιοθήκη της USGS, η οποία είναι ενσωματωμένη στο λογισμικό ENVI. Πρόκειται για μία εκτενή ψηφιακή βιβλιοθήκη που περιέχει φασματικές υπογραφές ορυκτών και άλλων φυσικών και τεχνητών στοιχείων, οι οποίες έχουν μετρηθεί εργαστηριακά. Η επιλογή των ορυκτών που θα χρησιμοποιηθούν για την παρούσα μελέτη έγινε με βάση τις έρευνες που διεξήχθηκαν από τους Kamenetsky et al. (1996), Tanguy & Clocchiatti (1984), Perugini et al. (2003), Tanguy et al. (1996), Clocchiatti et al. (2004) καθώς και από τον ιστότοπο mindat.org (http://www.mindat.org). Όλες οι παραπάνω έρευνες εξέτασαν την πετρολογία, την ορυκτολογία και την ηφαιστειακή του δραστηριότητα της Αίτνας, είτε στους κεντρικούς κρατήρες είτε στις κλιτύες του ηφαιστείου. Στον πίνακα 45 παρατίθενται τα ορυκτά που επιλέγθηκαν καθώς και η γημική τους σύσταση.

Αγγλική	Ελληνική	Χημική σύσταση		
ονομασία	ονομασία			
Ammonioalunite	Αμμωνιοαλουνίτης	$NH_4Al_3(SO_4)_2(OH)_6$		
Alunite	Αλουνίτης	$KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$		
Augite	Αυγίτης	(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al) ₂ O ₆		
Cuprite	Κυπρίτης	Cu ₂ O		
Diopside	Διοψίδιος	MgCaSi ₂ O ₆		
Dolomite	Δολομίτης	CaMg(CO ₃) ₂		
Epsomite	Εψομίτης	MgSO ₄ 7 H ₂ O		
Ferrihydrite	Φερριυδρίτης	$(\text{Fe}^{3+})_2\text{O}_3 \ 0.5\text{H}_2\text{O}$		
Goethite	Γκαιτίτης	Fe ³⁺ O(OH)		
Gypsum	Γύψος	CaSO ₄ .2H ₂ O		
H ₂ O-ice	Πάγος-Χιόνι	H ₂ O		
Hematite	Αιματίτης	Fe ₂ O ₃		
Hypersthene	Υπερσθενής	(Mg,Fe)SiO ₃		
Illite	Ιλλίτης	(KH ₃ O)(Al,Mg,Fe) ₂ (Si,Al) ₄ O ₁₀ [(OH) ₂ ,H2O		
]		
Jarosite	Γιαροσίτης	$KFe^{3+}_{3}(OH)_{6}(SO_{4})_{2}$		
Kaolinite	Καολίνης	$Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$		
Maghemite	Μαγκαιμίτης	$(Fe_2O_3, \gamma - Fe_2O_3)$		
Magnetite	Μαγνητίτης	$Fe^{2+}Fe^{3+}_{2}O_{4}$		
Microcline	Μικροκλινής	KAlSi ₃ O ₈		
Montmorillonite	Μοντμοριλλονίτης	$(Na,Ca_{)0.33}(Al,Mg)_2(Si_4O_{10})(OH)_2 \bullet nH_2O$		
Muscovite	Μοσχοβίτης	KAl2(AlSi3)O10(OH)2		
Nontronite	Νοντρονίτης	(Fe,Al)(Si,Al)2O ₅ (OH)x H2O		

Πίνακας 45: Τα ορυκτά που επιλέχθηκαν για την εφαρμογή της ελεγχόμενης ταξινόμησης Spectral Angle Mapper

Oligoclase	Ολιγόκλαστο	An ₁₀₋₃₀
Orthoclase	Ορθόκλαστο	KAlSi ₃ O ₈
Pyroxene	Πυρόξενος	Ca(Mg,Fe)Si ₂ O ₆
Quartz	Χαλαζίας	SiO ₂
Olivine	Ολιβίνης	(Mg, Fe) ₂ SiO ₄
Ammonium_Chl	Αμμωνιοχλωρίτης	NH ₄ Cl
oride		
Tephroite	Τέφρα	Mn_2SiO_2
Ammonio-Illite	Αμμωνιοϊλλίτης	(NH ₄)(KH ₃ O)(Al,Mg,Fe) ₂ (Si,Al) ₄ O ₁₀ [(OH) ₂ ,H2O]
Ammonio-	Αμμωνιογιαροσίτη	(NH_4) KFe ³⁺ ₃ $(OH)_6(SO_4)_2$
jarosite	ς	
Magnetite	Ένυδρος	MgCO ₃ .H ₂ O
Hydroma	Μαγνησίτης	
Jarosite	Γιαροσίτης	KFe_{3}^{+3} (SO ₄) ₂ (OH) ₆

Συνεπώς το πρώτο βήμα της διαδικασίας μετά από την εισαγωγή των ατμοσφαιρικά διορθωμένων εικόνων είναι η δημιουργία των MNF συνιστωσών για τον περιορισμό του θορύβου. Σε αυτή την εφαρμογή δεν ορίστηκε η δημιουργία τόσων εικόνων συνιστωσών όσων και των φασματικών καναλιών των δεδομένων. Συγκεκριμένα, δημιουργήθηκαν μόνο 12, διότι βασιζόμενοι στην εικόνα 86, στην οποία παρουσιάζονται τα διαγράμματα ιδιοτιμών των εικόνων συνιστωσών, παρατηρήθηκε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό της χρήσιμης πληροφορίας υπάρχει στις πρώτες 10 έως 15 συνιστώσες.

Η επόμενη επιλογή είναι ο καθορισμός των στοιγείων, τα οποία θα αποτελέσουν τα φάσματα αναφοράς για την εφαρμογή της ταξινόμησης και τον καθορισμό τον κλάσεων. Όπως προαναφέρθηκε ως φάσματα αναφοράς θα χρησιμοποιηθούν τα υπάρχοντα της βιβλιοθήκης USGS, οπότε δεν χρειάζεται να συλλεγθούν δείγματα από τα δεδομένα εισαγωγής. Συνεχίζοντας, στο στάδιο της συλλογής στοιχείων (endmembers) επιλέγουμε τα ορυκτά, τα οποία αναφέρθηκαν στον πίνακα 45. Επιπλέον, δίνεται η επιλογή της χρήσης τριών διαφορετικών μεθόδων χαρτογράφησης. Στην παρούσα έρευνα χρησιμοποιήθηκε μόνο ο αλγόριθμος SAM. Σε αυτό το στάδιο της εφαρμογής μία ακόμη παράμετρος που ορίστηκε είναι το μέγιστο όριο της γωνία μεταξύ του άγνωστου στοιχείου και του στοιχείου αναφοράς. Ως προεπιλογή τίθενται οι 0.10 rads. Για εφαρμογή της ταξινόμησης των προκείμενων δεδομένων (εικόνες 2009 και 2012) ορίστηκε το μέγιστο όριο της γωνίας να είναι μέχρι 0.30 rads. Εκτός, από την παραγόμενη ταξινομημένη εικόνα, δημιουργείται και ένα ακόμη αρχείο, επονομαζόμενο ως rules, το οποίο αντιστοιχεί στην αποτύπωση κάθε ορυκτού σε ξεχωριστή εικόνα, για την περιοχή μελέτης. Για την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων δημιουργείται εικόνα με εύρος τιμών από 0 έως 255 (αποχρώσεις του γκρι). Σε κάθε εικόνα τα φωτεινότερα

εικονοστοιχεία αντιπροσωπεύουν τη μικρή πιθανότητα της παρουσίας ενός ορυκτού ενώ όσο μεταβαίνουν σε "σκοτεινότερες" αποχρώσεις αυξάνεται η παρουσία –ή πιθανότητα παρουσίας.

7.4.1: Αποτύπωση των ορυκτών στην περιοχή μελέτης για τις εικόνες 2009 και 2012

Εκτός από την δημιουργία ενός θεματικού χάρτη, ο οποίος θα προκύπτει από την ταξινόμηση SAM, παρουσιάζεται η χωρική κατανομή ορισμένων ορυκτών του πίνακα 51 στην περιοχή μελέτης. Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιαστεί μία σειρά θεματικών χαρτών για τις χρονολογίες 2009 και 2012. Οι θεματικοί χάρτες δημιουργήθηκαν με τη χρήση του λογισμικού ENVI classic. Στόχος αυτής της ενότητας είναι, όπως ειπώθηκε είναι η αποτύπωση των ορυκτών αλλά κυρίως η σύγκρισή τους σε σχέση με τις δύο χρονολογίες έτσι ώστε να εντοπιστούν ενδεχόμενες αλλαγές κατά τη διάρκεια των τριών ετών. Ο πίνακας 46 παρουσιάζει τα εννέα ορυκτά που επιλέχθησαν για αυτή την εφαρμογή.

Πίνακας 46: Τα ορυκτά, τα οποία θα αποτυπωθούν σε θεματικούς χάρτες, στους οποίους θα δειχθεί το ποσοστό παρουσίας τους στην περιοχή μελέτης για τις εικόνες 2009 και 2012

Μικροκλινής
Μαγνητίτης
Μοντμοριλλονίτης
Αιματίτης
Αλουνίτης
Υπερσθενής
Γκαιτίτης
Πυρόξενος
Ολιβίνης

Όλα τα παραπάνω ορυκτά παράγονται από την έκχυση λάβας κατά τη διάρκεια της ενεργοποίησης του ηφαιστείου της Αίτνας. Για παράδειγμα, ο γκαιτίτης, ένυδρο ορυκτό οξείδιο του σιδήρου, χαρακτηρίζεται ως ορυκτό εξαλλοίωσης¹³. Στις επόμενες εικόνες θα παρατεθούν κατά σειρά οι θεματικοί χάρτες των δύο χρονολογιών για τα προκείμενα ορυκτά. Το τρόπος με τον οποίον θα συγκριθούν οι δύο εικόνες για το κάθε ορυκτό, σχετίζεται τόσο με την οπτική εκτίμηση των εικόνων (φωτεινότητα εικονοστοιχείων) όσο και με το εύρος των τιμών των εικονοστοιχείων

¹³ Ορυκτό εξαλλοίωσης ή οξείδωσης: Σχηματίζονται όταν κάποιοι παράγοντες όπως το οξυγόνο ή άλλα αέρια του αέρα, η υγρασία, τα υπόγεια ή επιφανειακά ύδατα ή η θερμότητα του περιβάλλοντος επιδράσουν στα πρωτογενή ορυκτά και τα αλλοιώσουν (εξαλλοίωση ή οξείδωση). Τα ορυκτά αυτά ονομάζονται και δευτερογενή.

σε ορισμένες περιοχές όπως το κέντρο του ηφαιστείου, οι παλαιωμένες ροές λάβας που έχουν καλυφθεί από πυκνή βλάστηση, οι πρόσφατες ροές λάβας στο νότιο τμήμα της Αίτνας και το γυμνό έδαφος.



Εικόνα 111: Χάρτης φασματικής γωνίας του μικροκλινή για τις εικόνες 2009 και 2012

Εκτός από την προβολή των θεματικών χαρτών για την καλύτερη εκτίμηση των αποτελεσμάτων, στον πίνακας 47, στον οποίον απεικονίζονται οι διακυμάνσεις των τιμών στα τμήματα κάλυψης γης της περιοχής που αναφέρθηκαν προγενέστερα.

Πίνακας	47:	Καταγραφή	των	τιμών	της	φασματικής	γωνίας	του	μικροκλινή	σε	ορισμένα	τμήματα	που
χαρακτη	ρίζοι	υν την περιοχ	ή μελ	ιέτης									

	2009	2012
Κέντρο του ηφαιστείου	0,22-0,30	0,19-0,28
Ροή λάβας (37°40'30"N,	0,16-0,23	0,14-0,18
15°00'30"Е)		
Ροή λάβας (37°40'30"N,	0,21-0,23	0,22-0,28
14°55'30"E)		
Παλαιωμένες ροές λάβας	0,54-0,66	0,47-0,65
που καλύπτονται από		
πυκνή βλάστηση		
Γυμνό έδαφος	0,35-0,48	0,22-0,35

Στην εικόνα 111 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για το ορυκτό μικροκλινής (αλκαλιούχος άστριος ο οποίος βρίσκεται σε όξινα πλουτωνικά πετρώματα όπως οι γρανίτες αλλά κυρίως σε φλεβικά όπως οι πηγματίτες και οι υδροθερμικές φλέβες). Παρατηρούνται κάποιες διαφορές στην παρουσία του μικροκλινή. Συγκεκριμένα, η πιο αισθητή οπτικά εντοπίζεται στο κέντρο του ηφαιστείου, στην περιοχή των κεντρικών κρατήρων και στην περιοχή που εντοπίζονται οι πρόσφατες ροές λάβας.

Στην εικόνα του 2009 οι τιμές των εικονοστοιχείων φαίνονται πολύ φωτεινότερες σε αντίθεση με το αντίστοιχο τμήμα του ηφαιστείου στην εικόνα του 2012. Ωστόσο, στην εικόνα 2009 οι τιμές των εικονοστοιγείων κυμαίνονται από 0.22 έως 0,30, ενώ αντίστοιχα στην εικόνα του 2012 από 0,19 έως 0,28. Κατά συνέπεια, οι τιμές στην συγκεκριμένη περιοχή της Αίτνας διαφέρουν κατά 0,02. Η δεύτερη διαφορά εντοπίζεται σε πρόσφατες ροές λάβας, η οποίες παρατηρούνται στο νότιο, νοτιοανατολικό τμήμα του ηφαιστείου με συντεταγμένες 37°40'30"N, 14°55'30"E και 37°40'30"N, 15°00'30"E. Με μία πρώτη οπτική εκτίμηση φαίνεται ότι και στις δύο εικόνες τα εικονοστοιχεία παρουσιάζουν ανοιχτούν τόνους του γκρι. Ωστόσο, αν εξεταστεί το εύρος των πραγματικών τιμών, θα αποδειχθεί ότι οι διαφορές είναι και εδώ μικρές. Για παράδειγμα, για την πρώτη ροή στην εικόνα του 2009, η διακύμανση των τιμών είναι 0,21-0,23 ενώ στην εικόνα του 2012 0,22-0,28, ενώ στην δεύτερη οι τιμές κυμαίνονται από 0,16 έως 0,23 (2009) και από 0,14 έως 0,22 (2012). Άρα και σε αυτή την περίπτωση η διαφορά είναι αμελητέα στο 0,02 rad γωρίς να αναδεικνύεται κάποια από τις δύο εικόνες με λιγότερη ή περισσότερη παρουσία του μικροκλινή. Επίσης, είναι σημαντικό να παρατηρηθεί ότι και στις δύο περιπτώσεις η φασματική γωνία είναι μικρότερη του ορίου (threshold) που τέθηκε. Αυτό σημαίνει ότι ορυκτό μικροκλινής έχει μεγάλη πιθανότητα να υπάρχει στις περιοχές αυτές.

Αντίθετα με τις παραπάνω παρατηρήσεις, οι πιο έντονες διαφορές, οι οποίες δεν είναι ορατές, παρουσιάζονται στις παλαιωμένες ροές λάβας, οι οποίες καλύπτονται από πυκνή βλάστηση. Συγκεκριμένα, ένα χαρακτηριστικό σημείο ύπαρξης τέτοιας περίπτωσης βρίσκεται στα δυτικά της Αίτνας με συντεταγμένες 37°42'30"-37°41'30"N, 14°56'30"-14°58'0"E. Γι' αυτή την περιοχή στην εικόνα του 2009 οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 0,54-0,62 ενώ στην εικόνα του 2012 κυμαίνονται από 0,47 έως 0,65. Η δεύτερη κατηγορία που παρουσιάζει έντονες διαφορές αφορά το γυμνό πέτρωμα, στο οποίο χαρακτηριστικά οι τιμές στην εικόνα του 2009 κυμαίνονται από 0,22 έως 0,35 ενώ στην εικόνα του 2012 από 0,35 έως 0,48. Σε αυτές τις περιοχές, η γωνία μεταξύ των φασμάτων των εικονοστοιχείων και του φάσματος αναφοράς είναι μεγαλύτερη από 0,30. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει μικρότερη πιθανότητα παρουσίας του μικροκλινή, στην περιοχή που οριοθετούνται οι παλαιωμένες ροές λάβας που καλύπτονται από βλάστηση και για τις δύο εικόνες. Πιθανόν, η παρουσία του μικροκλινή σε αυτή την περιοχή μελέτης να μην μπορεί να δειχθεί, διότι οι παλαιωμένες ροές λάβας καλύπτονται από πυκνή βλάστηση και συνεπώς οι φασματικές υπογραφές της περιοχής θα ταιριάζουν με τις βλάστησης και όχι με του ορυκτού. Ωστόσο, στο γυμνό έδαφος φαίνεται να υπάρχει μεγαλύτερη παρουσία του ορυκτού στην εικόνα του 2012 διότι οι τιμές που προκύπτουν είναι



μέσα στα όρια της γωνίας 0,30, ενώ στην εικόνα του 2009 ισχύει το αντίθετο διότι οι τιμές οι μεγαλύτερες.

Εικόνα 112: Χάρτης της φασματικής γωνίας του μαγνητίτη για τις εικόνες 2009 και 2012

Το επόμενο ορυκτό που χαρτογραφείται στην εικόνα 112 είναι ο μαγνητίτης για τις εικόνες 2009 και 2012. Ο μαγνητίτης είναι ορυκτό του σιδήρου και εμφανίζεται συνήθως σε πυριγενή πετρώματα (κυρίως βασικά) και μεταμορφωμένα πετρώματα. Συναντάται με πυρόξενους, αμφιβόλους, βιοτίτη, αστρίους, χαλαζία, επίδοτο, σιδηροπυρίτη κ.ά. Είναι το βασικότερο μετάλλευμα σιδήρου.

Αρχικά, η οπτική παρατήρηση δείχνει να εμφανίζεται στις ίδιες περιοχές με τον μικροκλινή (εικ. 111). Αν εξεταστεί το εύρος των τιμών του μαγνητίτη τότε θα προκύψουν αισθητές χρονολογικές διαφορές. Οι διαφορές παρουσιάζονται στον πίνακα 48.

Πίνακας	48:	Καταγραφή	των	τιμών	της	φασματικής	γωνίας	του	μαγνητίτη	σε	ορισμένα	τμήματα	που
χαρακτηι	οίζοι	ον την περιοχ	ή μελ	.έτης									

	2009	2012
Κέντρο του ηφαιστείου	0,19-0,37	0,19-0,39
Ροή λάβας (37°40'30"N,	0,19-0,24	0,21-0,24

15°00'30"Е)		
Ροή λάβας (37°40'30"N, 14°55'30"E)	0,24-0,29	0,29-0,34
Παλαιωμένες ροές λάβας που καλύπτονται από πυκνή βλάστηση	0,46-0,53	0,48-0,59
Γυμνό έδαφος	0,38-0,44	0,32-0,55

Η πρώτη περιοχή που εξετάζεται είναι το κέντρο του ηφαιστείου, ενώ παρατηρείται στις δύο χρονολογίες να υπάρχουν σχεδόν όμοιες τιμές. Δηλαδή, το εύρος των τιμών για την εικόνα του 2009 να είναι από 0,19 έως 0,37 και αντίστοιχα για την εικόνα του 2012 από 0,19 έως 0,39. Άρα, φαίνεται να υπάρχει μόνο μία ελάχιστη διαφορά στην μέγιστή τους τιμή.

Οι επόμενες δύο περιοχές που εξετάζονται είναι δύο ροές λάβας νότια και νοτιανατολικά του ηφαιστείου, ενώ στο κεφάλαιο 7.2 έχει δειχθεί ότι ανήκουν σε διαφορετική χρονολογία. Αναλυτικότερα, η πρώτη ροή λάβας με συντεταγμένες 37°40'30"N, 15°00'30"E παρουσιάζει τις τιμές 0,19-0,24 (2009) και 0,21-0,24, ενώ η δεύτερη με συντεταγμένες (37°40'30"N, 14°55'30"E) 0,24-0,29 (2009) και 0,29-0,34 (2012). Με βάση τα παραπάνω φαίνεται ότι και για τις δύο χρονολογίες υπάρχει μεγάλη παρουσία του μαγνητίτη και στις τρεις περιοχές.

Όμως, επειδή οι τιμές για την εικόνα του 2009 είναι μικρότερες, άρα ταιριάζουν περισσότερο με το φάσμα αναφοράς του μαγνητίτη, απ' ότι στην εικόνα του 2012. Επίσης, παρατηρείται ότι υπάρχουν διαφορετικές τιμές ανάμεσα στις δύο ροές λάβας. Ειδικότερα, η πρώτη ροή έχει μικρότερες τιμές και στις δύο χρονολογίες από τη δεύτερη. Συμπεραίνεται ότι πιθανότητα υπάρχει μεγαλύτερη παρουσία του ορυκτού στην εικόνα του 2009. Αυτό, το συμπέρασμα πιθανών να δίνει μία ακόμη ένδειξη, ότι αυτές οι ροές δημιουργήθηκαν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές.

Η επόμενη περιοχή του ηφαιστείου που θα εξεταστεί αφορά τις παλαιωμένες ροές λάβας, οι οποίες έχουν καλυφθεί με πυκνή βλάστηση. Εδώ, εντοπίζονται οι τιμές να είναι πιο αυξημένες σε σχέση με τις προηγούμενες κατηγορίες, ενώ αυτό εμφανίζεται και στους χάρτες (παρουσία φωτεινών εικονοστοιχείων). Οι τιμές κυμαίνονται από 0,46 έως 0,53 (εικόνα 2009) και από 0,48 έως 0,59 (εικόνα 2012), ενώ φαίνεται η διαφορά τους να κυμαίνεται από 0,02-0,06. Στη συνέχεια, τα ποσοστά του μαγνητίτη στην τελευταία περιοχή μελέτης του πίνακα 48, είναι από 0,38 έως 0,44 για την εικόνα του 2009 και αντίστοιχα στην εικόνα του 2012 από 0,32 έως 0,55. Στην εικόνα 103 παρατηρείται τα εικονοστοιχεία αυτών των περιοχών να έχουν εντονότερες διαφορές, στην φωτεινότητα των εικονοστοιχείων και ως εκ τούτου να θεωρείται ότι υπάρχει εντονότερη παρουσία του ορυκτού στην εικόνας του 2012 απ' ότι στου 2009. Όμως, με γενικότερο συμπέρασμα δείχνεται ότι οι τιμές και των δύο χρονολογιών είναι πάνω από το 0,30, άρα η παρουσία του μαγνητίτη είναι μικρότερη,



ενώ μπορεί να ειπωθεί, συγκρίνοντας τις τιμές ότι μεγαλύτερη παρουσία υπάρχει στην εικόνα του 2009.

Εικόνα 113: Χάρτης φασματικής γωνίας του αλουνίτη για τις εικόνες 2009 και 2012

Στην εικόνα 113 αποτυπώνεται ο αλουνίτης για τις δύο χρονολογίες. Ο αλουνίτης είναι ένα πλούσιο σε αργίλιο, θειικό ορυκτό. Ο αλουνίτης εμφανίζεται συνήθως σε λεπτόκοκκα εξαλλοιωμένα ηφαιστειακά, υποαβυσσικά πετρώματα και υποηφαιστειακά πετρώματα από υδροθερμική ή ατμιδική δράση.

Φαίνεται η έντονη διαφορά στην παρουσία του σε σχέση με τα προηγούμενα δύο ορυκτά. Εμφανίζονται πιο φωτεινά εικονοστοιχεία τόσο στο κέντρο του ηφαιστείου όσο και στις ροές λάβας. Αντίθετα, οι παλαιωμένες λάβες εμφανίζονται με σκούρα εικονοστοιχεία (κυρίως στα βορειοδυτικά του ηφαιστείου). Πιθανόν, αυτό το ορυκτό να μην έχει μεγάλη παρουσία σε όλη την περιοχή μελέτης. Στον πίνακα 49 παρατίθενται οι τιμές των περιοχών που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση των θεματικών χαρτών.

Πίνακας 49: Καταγραφή των τιμών της φασματικής γωνίας του αλουνίτη σε ορισμένα τμήματα που χαρακτηρίζουν την περιοχή μελέτης

2009	2012

Κέντρο του ηφαιστείου 0,33-0,62 0,36-0,65 Ροή λάβας (37°40'30"Ν, 0,36-0,44 0,45-0,55	
Ροή λάβας (37°40'30"Ν, 0,36-0,44 0,45-0,55	
15°00'30"E)	
Ροή λάβας (37°40'30"N, 0,41-0,45 0,50-0,53 14°55'30"E)	
Παλαιωμένες ροές λάβας 0,33-0,38 0,33-0,39 που καλύπτονται από πυκνή βλάστηση	
Γυμνό έδαφος 0,34-0,37 0,45-0,65 (37°39'15"N, 14°55'15"E) 0 0 0	

Παρατηρώντας τις τιμές που προκύπτουν από τα δεδομένα Rule (εικόνα 113), συμπεραίνεται ότι η παραπάνω παρατήρηση επαληθεύεται. Συγκεκριμένα, στο κέντρο της Αίτνας οι τιμές κυμαίνονται από 0,33-0,62 στην εικόνα 2009 και 0,36-0,65 στην εικόνα 2012. Ιδιαίτερα υψηλές τιμές σε σύγκριση με τα προηγούμενα δύο ορυκτά. Επιπλέον, υπάρχει η διαφορά ανάμεσα στις δύο χρονολογίες της τάξης του 0,03. Η εμφάνιση υψηλών τιμών συνεχίζεται στις ροές λάβας και εντονότερα στην πρώτη του πίνακα 49 με συντεταγμένες $37^{\circ}40'30''N$, $14^{\circ}55'30''E$ (περιοχή 2) και στο έτος 2012. Στην περιοχή 2 το εύρος των τιμών είναι 0,36-0,44 για την εικόνα 2009 και 0,45-0,55 στην εικόνα 2012 και στην περιοχή 3 κυμαίνονται από 0,41-0,45 για την πρώτη εικόνα και 0,50-0,53 για τη δεύτερη. Συγκρίνοντας τις παραπάνω τιμές παρατηρείται, πρώτον ότι η φασματική τους γωνία είναι μεγαλύτερη από 0,30 (όριο της γωνίας μεταξύ του φάσματος αναφοράς και των υπόλοιπων φασμάτων) άρα η περιοχή δεν χαρακτηρίζεται από την έντονη παρουσία του ορυκτού και δεύτερον υπάρχει διαφορά στις τιμές κατά τη διάρκεια των τριών ετών. Αυτό δείχνει ότι πιθανόν κατά τη διάρκεια των τριών ετών εναποτέθηκε νέα λάβα διαφορετικής σύστασης. Στην περιοχή 4 οι τιμές της γωνίας είναι χαμηλότερες αλλά δεν παρουσιάζονται κάτω από το ανώτατο όριο της γωνίας που έχει οριστεί (0,30). Επιπλέον, δεν προβάλλεται καμία διαφορά μεταξύ των δύο χρονολογιών.

Τέλος, αξιοσημείωτη διαφορά παρατηρείται στο τμήμα του γυμνού εδάφους και συγκεκριμένα στο νοτιοδυτικό τμήμα του ηφαιστείου με συντεταγμένες (37°39'15"N, 14°55'15"E), (περιοχή 5). Αναλυτικότερα, στον θεματικό χάρτη του 2009 η συγκεκριμένη περιοχή απεικονίζεται με γκρίζα εικονοστοιχεία και με τιμές 0,34-0,37 ενώ αντίστοιχα στον χάρτη του 2012 απεικονίζεται με αρκετά φωτεινότερα εικονοστοιχεία ενώ οι τιμές του κυμαίνονται από 0,45 έως 0,65. Εντοπίζοντας τη συγκεκριμένη περιοχή στο google earth αποδείχθηκε ότι πρόκειται για ένα κομμάτι γυμνού εδάφους, στο οποίο δεν παρατηρείται κάποιος οικιστικός ιστός, αλλά φαίνεται σαν παλαιωμένη λάβα. Οπότε πιθανόν να αποδίδεται σε κάποια ροή λάβας του 2009 που εκτείνονταν μέχρι τη συγκεκριμένη περιοχή και ένα από τα ορυκτά από τα οποία αποτελούνταν να ήταν ο αλουνίτης, ενώ μετά από τρία χρόνια να καλύφθηκε από άλλη ροή με διαφορετική ορυκτολογική σύσταση.



Εικόνα 114: Χάρτης φασματικής γωνίας του μοντμοριλλονίτη για τις εικόνες 2009 και 2012

Η παρουσία του μοντμοριλλονίτη αποτυπώνεται στην εικόνα. Ο μοντμοριλλόνίτης είναι αργιλικό ορυκτό, με μεγάλη ειδική επιφάνεια και ικανότητα να συγκρατεί νερό. Πρόκειται για δευτερογενές αργιλπυριτικό ορυκτό το οποίο δημιουργείται από την υδροθερμική εξαλλοίωση των ηφαιστειακών τόφφων, της ηφαιστειακής τέφρας και του μπεντονίτη. Ειδικότερα με μία πρώτη οπτική εκτίμηση φαίνεται να υπάρχει μεγαλύτερη χωρική παρουσία του ορυκτού στην εικόνα του 2012 απ' ότι στην εικόνα του 2009. Επιπλέον, δείχνεται ότι πιθανόν οι τιμές στις υπόλοιπες περιοχές που εξετάζονται να είναι παρόμοιες με αυτές των πρώτων δύο ορυκτών. Ο πίνακας 50 αποδεικνύει το παραπάνω συμπέρασμα.

Πίνακας 50: Καταγραφή των	τιμών φασματικής γωνίας του μοντμα	οριλλονίτη σε ορισμένα τμήματα που
χαρακτηρίζουν την περιοχή μ	ελέτης	

	2009	2012
Κέντρο του ηφαιστείου	0,18-0,42	0,17-0,27
Ροή λάβας (37°40'30"N, 15°00'30"E)	0,14-0,24	0,11-0,17
Ροή λάβας (37°40'30"N, 14°55'30"E)	0,13-0,17	0,13-0,17

Παλαιωμένες ροές λάβας	0,50-0,59	0,54-0,60
που καλύπτονται από		
πυκνή βλάστηση		
Γυμνό έδαφος	0,27-0,41	0,16-0,50

Παρατηρώντας τον πίνακα 50 το πρώτο στοιχείο που πρέπει να σχολιαστεί είναι ότι γενικότερα οι τιμές του ορυκτού κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα οπότε η ευρύτερη περιοχή του ηφαιστείου χαρακτηρίζεται από την παρουσία του μοντμοριλλονίτη και στα δύο έτη. Εξαίρεση αυτής της διαπίστωσης είναι οι παλαιωμένες ροές λάβας που έχουν καλυφθεί από πυκνή βλάστηση (περιοχή 4).

Στην πρώτη περιοχή οι τιμές των φασματικών γωνιών να είναι μέσα στο όριο που έχει οριστεί (ενότητα 7.4) και για τις δύο εικόνες. Άρα διαπιστώνεται ότι και στα δύο έτη οι τιμές των φασματικών γωνιών του ορυκτού είναι μικρές, στο κέντρο του ηφαιστείου. Ωστόσο, εντοπίζεται να είναι μεγαλύτερη η παρουσία του ορυκτού στην εικόνα του 2012 (τιμές 0,17-0,27) απ' ότι στην εικόνα του 2009 (τιμές 0,18-0,42). Αυτό, επιβεβαιώνεται διότι, οι τιμές της εικόνας 2012 είναι μέσα στο όριο (threshold) της τιμής της γωνίας που είχε οριστεί, ενώ στην εικόνα του 2009 η μέγιστη τιμή φαίνεται να ξεπερνάει το όριο.

Στη δεύτερη περιοχή με συντεταγμένες 37°40'30"N, 15°00'30"E οι τιμές κυμαίνονται από 0,14 έως 0,24 (2009) και από 0,11 έως 0,17 (2012). Ενώ για τη δεύτερη ροή (περιοχή 3) με συντεταγμένες (37°40'30"N, 14°55'30"E) το εύρος των τιμών είναι 0,13-0,17 (εικόνα 2009) και 0,13-0,17 (εικόνα 2012). Αρχικά, φαίνεται ότι οι τιμές του μοντμοριλλονίτη στην περιοχή αυτή είναι πολύ μικρότερες από αυτές των υπολοίπων περιοχών. Επίσης, στην πρώτη ροή υπάρχει μία μικρή διαφορά της τάξης του 0.03-0.05, όμως αυτό δεν αναιρεί την έντονη χωρική παρουσία του. Αξιοσημείωτο όμως είναι, ότι η δεύτερη ροή εμφανίζει ομοιότητα τιμών, και παράλληλα εμφανίζει τη χαμηλότερη τιμή φασματικής γωνίας. Άρα σημαίνει ότι υπάρχει πιθανότητα η παρουσία αυτού του ορυκτού για αυτή την περιοχή να παρέμεινε αναλλοίωτη μεταξύ στη διάρκεια των τριών ετών. Αλλά, αυτό δεν είναι ανασταλτικός παράγοντας για την επαλήθευση της διαφοράς της παρουσίας του ορυκτού μεταξύ των δύο χρονολογιών διότι μπορεί να αποτελεί μόνο μία εξαίρεση στο γενικό σύνολο των περιοχών που εξετάζονται. Οπότε εξετάζοντας τα υπόλοιπα

Κατόπιν, εξετάζεται η περιοχή 4 που αφορά τις παλαιωμένες ροές λάβας με πυκνή βλάστηση. Εδώ παρατηρείται η παρουσία του μοντμοριλλονίτη να είναι χαμηλή διότι για την εικόνα 2009 οι τιμές είναι 0,50-0,59 και για την εικόνα του 2012 0,54-0,60.Τέλος, παρατίθενται το εύρος των τιμών που εμφανίζεται στο γυμνό έδαφος (περιοχή 5) και φαίνεται ότι έχει τη μεγαλύτερη διακύμανση τιμών, οι οποίες αρχίζουν από το 0,27 (2009) και 0,16 (2012) και μπορούν να φτάσουν ως 0,41 (2009) και 0,50 (2012). Οι μικρότερες τιμές και ειδικότερα της εικόνας 2012, εμφανίζονται κυρίως στην περιοχή με συντεταγμένες 37°39'15"N, 14°55'15"E, άρα φαίνεται ότι σε αυτό το σημείο είναι ισχυρότερη η παρουσία του ορυκτού. Άρα, εφόσον στην εικόνα του 2009 η φασματική γωνία είναι υψηλότερη, τότε πιθανόν κάποια ροή λάβας μεταξύ των τριών ετών, να ενίσχυσε την παρουσία του μοντμοριλλονίτη. Αυτό ισχύει και για την ευρύτερη περιοχή του γυμνού εδάφους στο νότιο τμήμα της Αίτνας.



Εικόνα 115: Χάρτης φασματική γωνίας του αιματίτη για τις εικόνες 2009 και 2012

Στην εικόνα 115 παρατίθενται οι θεματικοί χάρτες, οι οποίοι απεικονίζουν την παρουσία του αιματίτη, από τα εξαγόμενα δεδομένα Rule, για τα έτη 2009 και 2012. Ο αιματίτης είναι φυσικό οξείδιο του τρισθενή σιδήρου, το οποίο μαζί τα άλλα δύο οξείδια του σιδήρου, γκαιτίτη και γιαροσίτη, αποτελεούν προϊόντα οξειδωτικού τύπου εξαλλοίωσης των αποθέσεων υδροθερμικών σουλφίδιων γύρω από τις ηφαιστειακές ατμίδες.

Παρατηρείται διαφορά στους δύο χάρτες με βάση της τιμές φωτεινότητας των εικονοστοιχείων. Συγκεκριμένα τα εικονοστοιχεία της δεύτερης εικόνας είναι πιο σκούρα απ' ότι στην πρώτη εικόνα, οπότε αναμένεται στην εικόνα του 2012 να εμφανίζεται εντονότερα ο αιματίτης απ' ότι στην εικόνα 2009. Επίσης, εντοπίζεται η χαρακτηριστική διαφορά στο νοτιοδυτικό κομμάτι της περιοχής (37°39'15"),

14°55'15"E), στο οποίο στην πρώτη εικόνα εμφανίζεται με φωτεινά εικονοστοιχεία ενώ στη δεύτερη με πολύ σκούρες αποχρώσεις του γκρι. Άρα η παρουσία του αιματίτη είναι εντονότερη στην εικόνα του 2012. Ο πίνακας 51 χρησιμοποιείται για την περαιτέρω ανάλυση των αποτελεσμάτων.

	2009	2012
Κέντρο του ηφαιστείου	0,28-0,57	0,26-0,56
Ροή λάβας (37°40'30"N, 15°00'30"E)	0,27-0,60	0,26-0,30
Ροή λάβας (37°40'30"N, 14°55'30"E)	0,31-0,36	0,25-0,30
Παλαιωμένες ροές λάβας που καλύπτονται από πυκνή βλάστηση	0,69-0,80	0,76-0,82
Γυμνό έδαφος	0,49-0,61	0,20-0,26

Πίνακας 51: Καταγραφή των τιμών της φασματικής γωνίας για το ορυκτό αιματίτη σε ορισμένα τμήματα που χαρακτηρίζουν την περιοχή μελέτης

Παρατηρώντας τις τιμές του πίνακα 51 και για τα δύο έτη δείχνεται ότι σχεδόν όλες οι περιοχές ανάλυσης γαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές και κυρίως με μεγάλή διακύμανση. Αναλυτικότερα, στην περιοχή 1, για την εικόνα του 2009 οι τιμές κυμαίνονται από 0,28 έως 0,57 ενώ για την εικόνα του 2012 από 0,26 έως 0,56. Οι ελάχιστες τιμές οριοθετούνται στο κέντρο του ηφαιστείου (περιοχή κεντρικών κρατήρων), ενώ οι μέγιστες εμφανίζονται περιμετρικά της περιοχής. Επίσης, παρατηρείται ότι και στις δύο εικόνες οι περισσότερες τιμές της φασματικής γωνίας των εικονοστοιχείων είναι μεγαλύτερες από το όριο 0,30 rad που έχει τεθεί. Άρα, η παρουσία του ορυκτού είναι μικρή και εντοπίζεται μου στο κέντρο του ηφαιστείου. Η δεύτερη περιοχή αφορά τη ροή λάβας, η οποία πρόσφατης ηλικίας (κεφάλαιο 8) με συντεταγμένες 37°40'30"N, 15°00'30"E. Εκτενέστερα, στον πρώτο θεματικό γάρτη εμφανίζονται οι τιμές 0,27-0,60 και στο δεύτερο 0,26-0,30. Κατά συνέπεια στην εικόνα του 2012 η συγκεκριμένη ροή έχει μεγαλύτερη παρουσία του ορυκτού, διότι οι φασματικές γωνίες φτάνουν μέγρι το μέγιστο. Η δεύτερη ροή λάβας, βρίσκεται στο νοτιοδυτικό τμήμα του ηφαιστείου με συντεταγμένες $(37^{\circ}40'30''N, 14^{\circ}55'30''E)$. Για την εικόνα του 2009 οι τιμές που εμφανίζονται είναι από 0,31 έως 0,36 και για την εικόνα του 2012 από 0,25 έως 0,30. Άρα φαίνεται ότι και σε αυτή την περίπτωση η μεγαλύτερη παρουσία του ορυκτού είναι στη δεύτερη εικόνα.

Στην περιοχή 4 αρχικά χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη φωτεινών εικονοστοιχείων, τα οποία αποδίδουν μικρή πιθανότητα παρουσίας του αιματίτη. Συγκεκριμένα εντοπίζεται μικρή διαφορά ανάμεσα στις εικόνες, διότι φαίνεται η εικόνα του 2012 να έχει μεγαλύτερες τιμές από την εικόνα του 2009. Αναλυτικότερα, η πρώτη εικόνα έχει τιμές από 0,69 έως 0,80 ενώ η δεύτερη από 0,72 ως 0,80. Άρα, παρατηρείται ότι και οι τιμές της φασματικής γωνίας και των δύο εικόνων είναι πολύ

μεγαλύτερες από το όριο που τέθηκε, οπότε υπάρχει μικρή πιθανότητα ύπαρξης του Αιματίτη για την συγκεκριμένη περιοχή. Τέλος, στην περιοχή 5 υπάρχει μία έντονη διαφορά στο σημείο που αναφέρθηκε και στο προηγούμενο ορυκτό. Ειδικότερα, για την εικόνα του 2009, τα εικονοστοιχεία είναι πιο φωτεινά και οι τιμές κυμαίνονται από 0,49 έως 0,61 ενώ αντίστοιχα στην εικόνα του 2012 οι τιμές κυμαίνονται από 0,20 έως 0,26. Άρα, υπάρχει μεγάλη απόκλιση μεταξύ των δύο ετών και στην εικόνα του 2012 η παρουσία του αιματίτη έχει περισσότερες πιθανότητες εμφάνισης.



Εικόνα 116: Χάρτης φασματικής γωνίας του υπερσθενή για τις εικόνες 2009 και 2012

Η εικόνα 116 παρουσιάζει τον χάρτη φασματικής γωνίας για το ορυκτό υπερσθενή για το 2009 και το 2012. Ο υπερσθενής είναι πυριτικό ορυκτό πλούσιο σε σίδηρο και μαγνήσιο. Ανήκει στην ευρύτερη κατηγορία ορυκτών που ονομάζονται πυρόξενοι, στην υποκατηγορία των ορθοπυρόξενων. Είναι διαδεδομένος σε βασικά και υπερβασικά τόσο ηφαιστειακά όσο και στα πλουτωνικά πετρώματα καθώς και σε μερικά πετρώματα υψηλού βαθμού μεταμόρφωσης.

Όπως φαίνεται στην εικόνα 116 παρατηρείται ότι δεν υπάρχουν αισθητές διαφορές ανάμεσα στις δύο χρονολογίες. Οπτικά εκτίμηση εντοπίζεται κυρίως σε τμήματα μικρής έως ανύπαρκτης κάλυψης γης της Αίτνας, όπως το κέντρο του ηφαιστείου και οι πρόσφατες ροές λάβας. Στον πίνακα 52 δημιουργήθηκε

παρουσιάζονται οι τιμές των φασματικών γωνιών που εμφανίζονται στις περιοχές ανάλυσης.

	2009	2012
Κέντρο του ηφαιστείου	0,41-0,49	0,40-0,49
Ροή λάβας (37°40'30"N, 15°00'30"E)	0,41-0,45	0,40-0,45
Ροή λάβας (37°40'30"N, 14°55'30"E)	0,46-0,50	0,44-0,47
Παλαιωμένες ροές λάβας που καλύπτονται από πυκνή βλάστηση	0,66-0,78	0,58-0,70
Γυμνό έδαφος	0,48-0,52	0,48-0,63

Πίνακας 52: Καταγραφή των τιμών φασματικής γωνίας του υπερσθενή σε ορισμένα τμήματα που χαρακτηρίζουν την περιοχή μελέτης

Στον παραπάνω πίνακα φαίνεται μεγάλη ομοιότητα στις τιμές των πρώτων δύο περιοχών τόσο μεταξύ τους όσο και στις δύο χρονολογίες. Το εύρος των τιμών των φασματικών γωνιών κυμαίνεται από 0,40 έως 0,49 (η πιο ακραία τιμή στην δεύτερη περιοχή). Άρα, και οι δύο περιοχές χαρακτηρίζονται από την ίδια πιθανότητα παρουσίας του ορυκτού, η οποία δεν έχει μεταβληθεί κατά τη διάρκεια των τριών ετών. Συνεχίζοντας, η περιοχή 3 που αντιστοιχεί σε μία πρόσφατη ροή λάβας με συντεταγμένες 37°40'30"N, 14°55'30"Ε παρουσιάζει μία μικρή διαφορά ανάμεσα στις δύο χρονολογίες. Ειδικότερα, απεικονίζεται με φωτεινότερα εικονοστοιχεία αλλά, με βάση τον πίνακα 52 δεν διαφέρουν κατά πολύ οι τιμές της γωνίας του υπερσθενή σε σύγκριση με αυτές των άλλων περιοχών. Γενικότερα και οι τρεις περιοχές εμφανίζουν μεγαλύτερες από το όριο της γωνίας, οπότε η παρουσία του ορυκτού θα είναι μικρότερη. Επιπλέον, συγκρίνοντας τα δύο έτη η διαφορά 0,02-0,03 στη φασματική γωνία υποδεικνύει σχεδόν την ίδια παρουσία στις δύο εικόνες.

Το επόμενο τμήμα της περιοχής που θα αναλυθεί είναι οι παλαιωμένες ροές λάβας που καλύπτονται με πυκνή βλάστηση, στο οποίο αρχική υπόθεση είναι η ύπαρξη μικρού ποσοστού του υπερσθενή. Ειδικότερα, για την πρώτη εικόνα οι τιμές κυμαίνονται από 0,66 έως 0,78 και στην δεύτερη από 0,58 έως 0,70. Άρα, τα αριθμητικά αποτελέσματα συνάδουν με την οπτική εκτίμηση, διότι οι τιμές της φασματικής γωνίας είναι κατά πολύ μεγαλύτερες από τη γωνία αναφοράς (0,30). Επιπλέον, παρατηρείται ότι οι τιμές βρίσκονται σε παρόμοιο επίπεδο με τις τιμές του αιματίτη και είναι κατά πολύ υψηλότερες από τα υπόλοιπα ορυκτά. Πιθανών, σε μία χαρτογράφηση όλων των ορυκτών η παρουσία του υπερσθενή αλλά και του αιματίτη να είναι περιορισμένη, διότι οι τιμές των φασματικών γωνιών είναι υψηλότερες από το όριο 0,30 rad το οποίο τέθηκε. Στη συνέχεια, η περιοχή 5 χαρακτηρίζεται από τιμές 0,48-0,52 για το έτος 2009 και 0,48-0,63 για το έτος 2012. Με βάση τις παραπάνω τιμές δείχνεται ότι και σε αυτή την περίπτωση θα είναι η μικρή η

παρουσία του ορυκτού. Τέλος δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά στις τιμές των τόσο του ορυκτού στην περιοχή του γυμνού εδάφους με συντεταγμένες 37°39'15"N, 14°55'15"E. Αυτό σημαίνει ότι πρώτον με βάση τις τιμές ισχύουν οι ίδιες διαπιστώσεις με τις υπόλοιπες περιοχές και δεύτερον ότι δεν μεταβλήθηκαν οι συνθήκες παρουσίας του υπερσθενή κατά τη διάρκεια των τριών ετών.



Εικόνα 117: Χάρτης φασματικής γωνίας του γκαιτίτη για τις εικόνες 2009 και 2012

Στην εικόνα 117 παρουσιάζονται οι χάρτες φασματικής γωνίας του ορυκτού γκαιτίτη για τα δύο έτη 2009, 2012.

Ο γκαιτίτης αποτελεί ένυδρο οξείδιο του σιδήρου, εξαιρετικά διαδεδομένο, προερχόμενο από την αποσάθρωση σχεδόν όλων των σιδηρούχων πρωτογενών ορυκτών σε συνθήκες ύπαρξης σχετικά υψηλών συγκεντρώσεων οξυγόνου. Σχηματίζεται, επίσης, και ως ίζημα προερχόμενο από ύδατα εμπλουτισμένα σε διαλυτές ενώσεις σιδήρου, όταν αυτά ευρεθούν σε συνθήκες οξείδωσης. Ανευρίσκεται και σε υδροθερμικές φλέβες

Με μία πρώτη εκτίμηση της των εξαγόμενων θεματικών χαρτών που παρατίθενται στην εικόνα 117, φαίνεται η παρουσίας του γκαιτίτη στις περιοχές των πρόσφατων ροών λάβας που χωροθετούνται νότιο, νοτιοανατολικά της Αίτνας και στην περιοχή του γυμνού εδάφους με συντεταγμένες 37°39'15"N, 14°55'15"E. Σε αυτή την περιοχή εμφανίζεται έντονη αντίθεση στις αποχρώσεις του γκρι (τιμές φωτεινότητας), άρα μεγάλη απόκλιση στο εύρος των τιμών των δύο εικόνων. Ο πίνακας 53 παρουσιάζει τη διακύμανση των τιμών της φασματικής γωνίας σε διαφορετικές περιοχές για τα δύο έτη.

	2009	2012
Κέντρο του ηφαιστείου	0,35-0,60	0,29-0,55
Ροή λάβας (37°40'30"N, 15°00'30"E)	0,34-0,49	0,27-0,38
Ροή λάβας (37°40'30"N, 14°55'30"E)	0,29-0,34	0,21-0,25
Παλαιωμένες ροές λάβας που καλύπτονται από πυκνή βλάστηση	0,65-0,83	0,71-0,83
Γυμνό έδαφος	0,50-0,60	0,12-0,23

Πίνακας 53: Καταγραφή των τιμών της φασματικής γωνίας του γκαιτίτη σε ορισμένα τμήματα που χαρακτηρίζουν την περιοχή μελέτης

Εστιάζοντας στα δεδομένα του πίνακα 53 παρατηρείται ότι μόνο στην εικόνα του 2012 οι τιμές των φασματικών γωνιών είναι μέσα στο όριο της γωνίας που τέθηκε. Αντίθετα, στην εικόνα του 2009, στις περιοχές 2 και 5 οι τιμές ξεπερνούν το όριο. Επίσης, οι τιμές στην περιοχή 1 είναι 0,35-0,60 (εικόνα 2009) και 0,29-0,55 (εικόνα 2012), ενώ στις ροές λάβας (δεύτερο και τρίτο δείγμα) είναι 0,34-0,49 και 0,29-0,34 (2009) και 0,27-0,38 και 0,21-0,25 (2012). Η διαφορά μεταξύ των δύο ετών είναι περίπου 0,10. Η διαφορά μεταξύ των ροών λάβας είναι 0,07 rad (4 μοίρες) και αυτό συμπίπτει μη την αποτύπωση των εικονοστοιχείων της περιοχή με την ίδια απόχρωση του γκρι, διότι η διαφορά είναι πολύ μικρή.

Έπειτα, στην περιοχή 4 παρατηρούνται οι τιμές να βρίσκονται σε υψηλά επίπεδα. Συγκεκριμένα, η παρουσία του γκαιτίτη για την εικόνα του 2009 έχει τιμές 0,65-0,83 ενώ αντίστοιχα για του 2012 0,71-0,83. Άρα, δείχνεται ότι υπάρχουν μικρότερες πιθανότητες να εντοπίζεται το ορυκτό στη συγκεκριμένη περιοχή, διότι οι γωνίες και για τις δύο χρονολογίες είναι πολύ μεγαλύτερες από τον αριθμό που ορίστηκε. Τέλος, έντονη διαφορά σημειώνεται στην περιοχή που αναφέρθηκε και σε άλλα ορυκτά, η οποία ανήκει στο γυμνό έδαφος. Ειδικότερα, εντοπίζεται η διαφορά στις δύο χρονολογίες να φτάνει το 0,40 μεγαλύτερη από κάθε άλλη απεικόνιση της παρουσίας των ορυκτών, για τη συγκεκριμένη περιοχή. Άρα συμπεραίνεται ότι υπήρχε νέα έκχυση λάβας κατά τη διάρκεια των τριών ετών και πιθανόν να περιείχε αυτό το ορυκτό. Σε μία γενικότερη εκτίμηση, παρατηρείται ότι η παρουσία του γκαιτίτη αυξάνεται με το πέρασμα της τριετίας με εξαίρεση την περιοχή 4.



Εικόνα 118: Χάρτης φασματικής γωνίας του πυρόξενου για τις εικόνες 2009 και 2012

Στην εικόνα 118 παρουσιάζεται ο χάρτης τιμών της φασματικής γωνίας (rule image) για τον πυρόξενο για τα δύο έτη 2009-2012.

Πυρόξενοι ονομάζεται σημαντική ομάδα πετρογενετικών πυριτικών ορυκτών με διάφορες συστάσεις μεταξύ των οποίων κυριαρχούν οι πλούσεις σε ασβέστιο, μαγνήσιο και σίδηρο ποικιλίες και τα οποία έιναι τα κύρια ορυκτά πολλών εκρηξιγενών και μεταμορφωμένων πετρωμάτων.

Στους θεματικούς χάρτες (εικ. 118) υπάρχει μία γενική παρατήρηση ότι οι τιμές σε όλη την έκταση των εικόνων είναι αυξημένες (φωτεινά εικονοστοιχεία), με εξαίρεση κάποιες μικρές περιοχές στο κέντρο, ανατολικά και νοτιοανατολικά του ηφαιστείου. Ο πίνακας 54 παρουσιάζει το εύρος των τιμών των φασματικών γωνιών για συγκεκριμένες περιοχές, για τις δύο εικόνες.

Πίνακας 54: Καταγραφή των τιμών της φασματικής γωνίας του πυρόξενου σε ορισμένα τμήματα που χαρακτηρίζουν την περιοχή μελέτης

	2009	2012
Κέντρο του ηφαιστείου	0,51-0,73	0,43-0,65
Ροή λάβας (37°40'30"N, 15°00'30"E)	0,52-0,63	0,48-0,54

Ροή λάβας (37°40'30"N, 14°55'30"E)	0,58-0,60	0,52-0,56
Παλαιωμένες ροές λάβας που καλύπτονται από πυκνή βλάστηση	0,95-1,00	0,98-1,00
Γυμνό έδαφος	0,75-0,90	0,47-0,67

Παρατηρώντας τις τιμές του πίνακα 54 δείχνεται ότι η αρχική παρατήρηση επαληθεύεται. Πιο συγκεκριμένα, το ποσοστό παρουσίας του πυρόξενου σε όλη την περιοχή αρχίζει από 0,43 και αγγίζει και την τιμή 1,0.

Στο κέντρο του ηφαιστείου εμφανίζονται οι τιμές 0,51-0,73 (εικόνα 2009) και 0,43-0,65 (εικόνα 2012). Οι μικρότερες τιμές παρατηρούνται κυρίως στο κέντρο, στο σημείο που βρίσκονται οι κεντρικοί κρατήρες ενώ οι υψηλότερες στην περίμετρο της περιοχής. Τα ίδια επίπεδα τιμών κυμαίνονται και στην περιοχή 2, η οποία είναι μία από τις κυριότερες ροές λάβας του ηφαιστείου της Αίτνας. Η τρίτη περιοχή παρουσιάζει επίσης υψηλές φασματικές γωνίες του ορυκτού. Συγκεκριμένα, για τη εικόνα του 2009 οι τιμές είναι 0,58-0,60 και για την εικόνα του 2012, 0,52-0,56. Η διαφορά στις τιμές των γωνιών είναι περίπου 0,04.

Η περιοχή 4 αναφέρεται στις παλαιωμένες ροές λάβας με πυκνή βλάστηση, στις οποίες υπάρχουν σημεία, τα οποία έχουν τιμές φασματικών γωνιών έως και 1,0. Αυτό υποδεικνύει ότι ο πυρόξενος είναι από τα ορυκτά, το οποίο έχει ελάχιστη παρουσία και στις δύο χρονολογίες. Τέλος εντοπίζεται και σε αυτούς τους θεματικούς χάρτες, το σημείο με συντεταγμένες 37°39'15"N, 14°55'15"E, στο οποίο υπάρχει έντονη διαφορά και στις αποχρώσεις του γκρι αλλά και στο εύρος των τιμών. Ειδικότερα, στην εικόνα του 2009 οι τιμές κυμαίνονται από 0,75 έως 0,90 ενώ στην εικόνα του 2012 από 0,47 έως 0,67 με μία διαφορά της τάξεως του 0,30.



Mapping Olivine GDS70.b GSB 115um on the

Mapping Olivine GDS70.b GSB 115um on the

Εικόνα 119: Χάρτης φασματικής γωνίας του ολιβίνη για τις εικόνες 2009 και 2012

Στην εικόνα 119 παρουσιάζονται οι θεματικοί χάρτες των ετών 2009 και 2012, οι οποίοι απεικονίζουν με τις διαβαθμίσεις του γκρι (255 χρωματισμοί, 8-bits), την διακύμανση της φασματικής γωνίας του ολιβίνη στην περιοχή μελέτης. Ο ολιβίνης είναι η γενική ονομασία ομάδας πυριτικών ορυκτών με ισόμορφη παράμιξη σε σίδηρο και μαγνήσιο. Αποτελεί κυρίαρχο συστατικό των βασικών και των υπερβασικών πυριγενών πετρωμάτων όπως ο βασάλτης. Συνδέεται με ορυκτά της ομάδας του πυροξένου. Με μία πρώτη οπτική εκτίμηση παρατηρείται, όπως είναι αναμενόμενο η εμφάνιση αυτού του ορυκτού να συμπίπτει με του πυρόξενου.

Πίνακας 55: Καταγραφή των τιμών της φασματικής γωνίας του ολιβίνη σε ορισμένα τμήματα που χαρακτηρίζουν την περιοχή μελέτης

	2009	2012
Κέντρο του ηφαιστείου	0,36-0,72	0,37-0,54
Ροή λάβας (37°40'30"N, 15°00'30"E)	0,45-0,55	0,42-0,49
Ροή λάβας (37°40'30"N, 14°55'30"E)	0,53-0,63	0,48-0,51
Παλαιωμένες ροές λάβας που καλύπτονται από πυκνή βλάστηση	0,89-0,97	0,97-1,00

Γυμνό έδαφος	0,64-0,81	0,44-0,60	

Στην περιοχή 1 οι τιμές της φασματικής γωνίας κυμαίνονται από 0,36-0,72 για την εικόνα του 2009 και 0,37-0,54 για την εικόνα του 2012. Αξιοσημείωτο είναι το μεγάλο εύρος τιμών που παρουσιάζεται στην πρώτη εικόνα, το οποίο δεν συμφωνεί με τις χρωματικές διαβαθμίσεις του γκρι που αποτυπώνονται για το συγκεκριμένο τμήμα της περιοχής μελέτης. Οι μεγαλύτερες τιμές (0,50-0,72) παρατηρούνται περιμετρικά του κέντρου ενώ οι χαμηλότερες (>0,50) στο κέντρο του . Επίσης, φαίνεται ότι και στις δύο χρονολογίες ότι οι τιμές των γωνιών είναι μεγαλύτερες από τη γωνία αναφοράς που ορίσθηκε (0,30rad) και ως εκ τούτο το ορυκτό θα έχει μικρότερες πιθανότητες εμφάνισης σε αυτή την περιοχή. Στις περιοχές 2 και 3, ο ολιβίνης παρουσιάζει ένα εύρος τιμών από 0,40 έως 0,60. Η μεγαλύτερη τιμή εμφανίζεται στη δεύτερη ροή και συγκεκριμένα στην εικόνα του 2009. Άρα φαίνεται ότι και στις δύο εικόνες δεν εμφανίζεται ο ολιβίνης με μεγάλη πιθανότητα αλλά στην εικόνα του 2012 είναι μεγαλύτερο το ενδεχόμενο της παρουσίας του.

Συνεχίζοντας, αναλύεται η περιοχή 4 του πίνακα 55, στην οποία υπάρχουν ιδιαίτερα υψηλές οι τιμές και στις δύο εικόνες 0,89-0,97 (2009) και 0,97-1,00 (2012). Για αυτή την περιοχή είναι μικρή η πιθανότητα παρουσίας του ορυκτού λόγω της μεγάλης απόκλισης των τιμών από την τιμή που τέθηκε ως όριο γωνίας για την παρουσία των ορυκτών. Στην τελευταία περιοχή παρατηρείται μία έντονη διαφορά στις τιμές των δύο ημερομηνιών. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι η εν λόγω περιοχή με συντεταγμένες 37°39'15"N, 14°55'15"Ε διαφέρει από το υπόλοιπο σύνολο του γυμνού εδάφους καθώς παρουσιάζει έντονες ποσοτικές διαφορές μεταξύ των δύο χρονολογιών. Ωστόσο, αν και φαίνεται τα εικονοστοιχεία να είναι «σκούρα» στην εικόνα του 2012 και οι δύο εικόνες παρουσιάζουν εκεί μεγάλες φασματικές γωνίες.

7.4.2: Εξαγωγή θεματικού χάρτη με το σύνολο των ορυκτών για τις ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες 2009 και 2012

Σε αυτή την ενότητα, εφαρμόζεται ο αλγόριθμος Spectral Angle Mapper, για τις ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες 2009 και 2012, με το λογισμικό ENVI. Η συγκεκριμένη διαδικασία αποτελεί μία πρώτη προσέγγιση χαρτογράφησης των ορυκτών που υπάρχουν στο ηφαίστειο της Αίτνας, καθώς και τις αλλαγές που ενδεχομένως δημιουργήθηκαν στη διάρκεια των τριών ετών.

Η κατασκευή των θεματικών χαρτών έγινε στο λογισμικό ArcGIS 10.3, όμως αντιμετωπίσθηκαν τεχνικές δυσκολίες. Συγκεκριμένα, ενώ ήταν εφικτή η μετάβαση των εικόνων, δεν ήταν πραγματοποιήσιμη η μεταφορά των ονομάτων των οριοθετημένων κλάσεων, αλλά μόνο η ύπαρξή τους ως ξεγωριστά στοιχεία. Έτσι, έγινε ο έλεγχος των κλάσεων, για τις δύο εικόνες και στα δύο λογισμικά έτσι ώστε να καταγραφούν τα ορυκτά, που αντιστοιχούσαν στις συστάδες που εμφάνιζε το λογισμικό ArcGIS με αριθμητική ονομασία. Αυτή η διαδικασία της αναγνώρισης και καταγραφής, έγινε με την εντολή Cursor Locator/Value (λογισμικό ENVI), με το οποίο αναγνωρίζονταν τα ορυκτά που υπήργαν σε κάθε κλάση και με τις εντολές Identify και Select (στο attribute, λογισμικό ArcGIS) για την αντιστοιχία και την καταγραφή των κλάσεων. Επιπλέον, πρέπει να προστεθεί ότι οι απεικονιζόμενες τάξεις, δεν αποτελούν το σύνολο των αρχικών που παράχθηκαν, αλλά αυτών που αντιπροσωπεύουν τα διαφορετικά ορυκτά που υπάρχουν στο ηφαίστειο. Ειδικότερα, ως ορυκτά επιλέχτηκαν, αυτά που παρουσιάζονται στον πίνακα 45. Όμως, κάθε ένα από αυτά έγει πολλά διαφορετικά μεγέθη κόκκων. Άρα, για τις τελικές κλάσεις έγινε η συγχώνευση των τάξεων που αποτελούνταν από το ίδιο ορυκτό αλλά είχαν διαφορετική κοκκομετρία, για να γίνει μία γενικότερη ορυκτολογική χαρτογράφηση. Στην εικόνα 120 θα δειχθούν οι παραγόμενοι θεματικοί χάρτες σε σύστημα γεωγραφικών συντεταγμένων WGS' 84, UTM 33N. Επιπλέον, στις εικόνες 121 και 122 απεικονίζεται η προβολή των θεματικών χαρτών της εικόνας 120 στο Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους ASTER GDEM 30m.

εικόνες 2009 και 2012 Εικόνα 120: Χαρτογράφηση των ορυκτών του ηφαιστείου της Αίτνας με τη χρήση του Αλγορίθμου Spectral Angle Mapper για τις ατμοσφαιρικά διορθωμένες





Εικόνα 121: Χαρτογραφική επίθεση, σε Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους ASTER GDEM 30m, των πιθανών ορυκτών στο ηφαίστειο της Αίτνας με τη χρήση της επιβλεπόμενης ταξινόμησης SAM, για την εικόνα 2009.



Εικόνα 122: Χαρτογραφική επίθεση, σε Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους ASTER GDEM 30m, των πιθανών ορυκτών στο ηφαίστειο της Αίτνας με τη χρήση της επιβλεπόμενης ταξινόμησης SAM, για την εικόνα 2012.

Ο αλγόριθμος SAM εφαρμόστηκε για τις χρονολογίες 2009 και 2012. Για να είναι υλοποιήσιμη η σύγκριση των δύο παραγόμενων θεματικών χαρτών, εφαρμόστηκε η ίδια χρωματική παλέτα στα ορυκτά που εντοπίστηκαν κοινά και στις δύο ταξινομήσεις. Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι, ενώ υπάρχουν στις ράχες του ηφαιστείου πολλές παλιές ροές λάβας, οι οποίες καλύπτονται με πυκνή βλάστηση, δεν αποτυπώθηκαν στο συνολικό αποτέλεσμα των ταξινομήσεων. Ενδεχομένως, αυτό να είναι αποτέλεσμα της απόκλισης της φασματικής υπογραφής των εικονοστοιχείων, από τα ορυκτά που ορίστηκαν ως φάσματα αναφοράς για τη διεξαγωγή του αλγορίθμου. Αυτό γίνεται αισθητό και στην ενότητα 7.4.1, διότι σε όλα τα ορυκτά που εξετάσθηκαν φαίνεται οι τιμές των φασματικών γωνιών να είναι πάνω από 0,30 (περιοχή 4). Οπότε, πιθανόν σε αυτές τις περιοχές να υπερισχύει η φασματική υπογραφή της βλάστησης και όχι των ορυκτών. Η αναγνώριση και χαρτογράφηση των ορυκτών αυτών των περιοχών θα ήταν δυνατή με παλαιότερες εικόνες με μικρότερη ανάπτυξη της βλάστησης.

Επιπλέον, εντοπίζονται εικονοστοιχεία στην εικόνα του 2009, τα οποία δεν ταξινομήθηκαν σε κανένα από τα ορυκτά που ορίστηκαν για τη δημιουργία των κλάσεων στον αλγόριθμο SAM. Αυτό παρατηρείται και στην εικόνα του 2012, αλλά στην πρώτη, τα αταξινόμητα εικονοστοιχεία εντοπίζονται στο κέντρο του ηφαιστείου, το οποίο δεν έχει κάποια φυσική εξήγηση, διότι αυτή η περιοχή καλύπτεται μόνο από στερεοποιημένες ροές λάβας και τέφρα. Κάποιες πιθανές αιτίες εμφάνισης αυτού του αποτελέσματος είναι:

- Δεν ανήκουν σε κανένα από τα φάσματα αναφοράς
- Μπορεί να υπάρχουν παραπάνω από ένα ορυκτό
- Απουσία σχηματισμένων κρυστάλλων ορυκτών

και εξαιτίας αυτού ο αλγόριθμος SAM δεν έχει τη δυνατότητα της ταξινόμησης σε κάποια από τις προτεινόμενες συστάδες. Άλλη εξήγηση θα μπορούσε να αφορά την τιμή της φασματικής γωνίας που τέθηκε ως όριο για την ταξινόμηση (0,30). Πιθανόν οι τιμές των γωνιών σε αυτά τα εικονοστοιχεία, για αυτά τα ορυκτά που ορίστηκαν να ήταν μεγαλύτερες από το όριο που τέθηκε.

Τέλος, παρατηρείται ότι, ο αριθμός των κλάσεων για την εικόνα του 2009 ανέρχεται στις 25, ενώ η εικόνα του 2012 έχει μία επιπλέον. Αυτό δεν σημαίνει ότι η δεύτερη εικόνα εμφανίζει ένα ακόμη ορυκτό γιατί παρατηρώντας την εικόνα 120, διαπιστώνεται ότι υπάρχουν αρκετές εναλλαγές στα ορυκτά που εντοπίζονται στην περιοχή μελέτης.

Συγκεκριμένα, ως προς την οριοθέτηση των κλάσεων παρατηρούνται αρκετές διαφορές αλλά και ομοιότητες μεταξύ των δύο εικόνων. Η πιο αισθητή εμφανίζεται σχεδόν σε όλη την έκταση του κέντρου του ηφαιστείου μέχρι τις ροές λάβας. Στην εικόνα του 2009 εντοπίζεται η παρουσία του αμμωνιοαλουνίτη ενώ αντίθετα στην εικόνα του 2012 φαίνεται να υπάρχει ο αμμωνιογιαροσίτης και ο αλουνίτης. Παράλληλα, φαίνεται ότι τα ορυκτά νοντρονίτης και μοντμοριλλονίτης να οριοθετούνται παρόμοια στις δύο εικόνες. Όσον αφορά τις πρόσφατες ροές λάβας στις ράχες του ηφαιστείου παρατηρείται ότι και στις δύο χρονολογίες εντοπίζεται ο νοντρονίτης, με μεγαλύτερη έκταση στην εικόνα του 2009. Ο μοντμοριλλονίτης εμφανίζεται στο κέντρο της Αίτνας κυρίως στην εικόνα του 2012. Επιπροσθέτως, στο κέντρο του ηφαιστείου παρατηρείται μία ακόμα διαφορά της ταξινόμησης των δύο εικόνων, η οποία σχετίζεται με την περισσότερη εμφάνιση του εψομίτη και του γκαιτίτη στην εικόνα του 2012. Συγκεκριμένα, αυτά τα ορυκτά εμφανίζονται μόνο στο κέντρο του ηφαιστείου για την εικόνα του 2009 ενώ αντίθετα στη δεύτερη εικόνα εκτείνονται στο κέντρο, ανατολικά και νοτιοδυτικά αυτού.

Επεκτείνοντας την ανάλυση των δύο θεματικών χαρτών, θα χρησιμοποιηθούν συγκεκριμένες περιοχές του ηφαιστείου της Αίτνας, για να δειχθεί από ποια ορυκτά αποτελούνται και να σημειωθούν τυχών διαφορές μεταξύ των δύο ετών. Για αυτή τη μελέτη δημιουργήθηκε ο πίνακας 56, στον οποίον παρατίθενται οι συντεταγμένες των δειγμάτων καθώς και τα ορυκτά που παρατηρήθηκαν σε αυτή με βάση τις δύο χρονολογίες.

Περιοχές	Συντεταγμένες	2009	2012
1	37°46'0"-37°47'0"N, 15°1'30"-15°2'30"E	Αμμωνιοαλουνίτης	Αιματίτης
2	37°39'30"N, 14°56'30"E,	Νοντρονίτης	Γιαροσίτης + Ιλλίτης
3	37°39'0"-37°41'0"N, 15°0'E	Μοντμοριλλονίτης + Ιλλίτης Μοντμοριλλονίτης Χαλαζίας Αμμωνιοαλουνίτης	Μοντμοριλλονίτης + Ιλλίτης Νοντρονίτης Γιαροσίτης Αιματίτης
4	37°41'0"-37°39'30"N, 14°58'14°58'30"E	Νοντρονίτης	Νοντρονίτης
5	37°45'30"-37°44'30"N, 14°59'30"-15°0'30"E	Μικροκλινής Αμμωνιοϊλλίτης Γκαιτίτης Αιματίτης Αλουνίτης Νοντρονίτης Χαλαζίας	Μικροκλινής Γκαιτίτης Αιματίτης Χαλαζίας Νοντρονίτης Αλουνίτης Ιλλίτης

Πίνακας 56: Καταγραφή των ορυκτών σε ορισμένα δείγματα του ηφαιστείου της Αίτνας για τις εικόνες 2009 και 2012

Παρατηρώντας τον πίνακα 56 εξάγεται το συμπέρασμα ότι υπάρχουν πολλές ομοιότητες στις περιοχές στην πάροδο των τριών ετών αλλά μόνο στη δεύτερη

εμφανίζεται το ίδιο ορυκτό. Αντίστοιχα, πολλές ομοιότητες εμφανίζει και η περιοχή 5, η οποία αντιπροσωπεύει το κέντρο του ηφαιστείου και συγκεκριμένα, την περιοχή στους κεντρικούς κρατήρες. Ειδικότερα, στην περιοχή αυτή εμφανίζονται επτά διαφορετικά ορυκτά, από τα οποία μόνο σε ένα υπάρχει διαφορά ανάμεσα στις δύο χρονολογίες. Τέλος, οι περιοχές 1 και 2, στις ράχες του ηφαιστείου φαίνεται να έχουν τελείως διαφορετική ορυκτολογική σύσταση.

Εφαρμόζοντας τον αλγόριθμο Spectral Angle Mapper κατασκευάστηκαν δύο ορυκτολογικοί χάρτες, οι οποίοι παρουσιάζουν μία πρώτη προσέγγιση της κατανομής των ορυκτών στην περιοχή του ηφαιστείου της Αίτνας. Είναι όμως απαραίτητη η περαιτέρω έρευνα για τον έλεγχο της εγκυρότητας των αποτελεσμάτων.

7.5: Εισαγωγή στους Δείκτες Βλάστησης

Στο τελευταίο κεφάλαιο της παρούσας έρευνας εφαρμόζεται ο πιο γνωστός και ευρέος χρήσης δείκτης βλάστησης για τις ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες 2009 και 2012. Η εφαρμογή του δείκτη καθώς και η εξαγωγή των θεματικών χαρτών πραγματοποιήθηκε μέσω του λογισμικού ENVI.

Τα τελευταία 20 χρόνια μέσα από πολλές επιστημονικές μελέτες, έγινε μία προσπάθεια παρακολούθησης των σημαντικών διακυμάνσεων της βλάστησης και της κατανόηση του τρόπου που επηρεάζουν το περιβάλλον. Χρησιμοποιήθηκαν αισθητήρες υψηλής ανάλυσης όπως ο NOAA (AVHRR), έγιναν οι πρώτες μελέτες με κύριο θέμα την ανάλυση του μήκους κύματος και την ένταση του ορατού και του εγγύς υπέρυθρου, (http://earthobservatory.nasa.gov). Έτσι, οι εμπειρογνώμονες της τηλεπισκόπισης αντιλήφθηκαν ότι οι συνδυασμοί των μετρούμενων ιδιοτήτων ανάκλασης σε δύο ή περισσότερα μήκη κύματος αποκαλύπτουν βασικά χαρακτηριστικά της βλάστησης, ενώ είναι γνωστοί ως δείκτες βλάστησης (Vegetation Indices). Υπάρχουν περισσότεροι από 150 δείκτες, ενώ πολλοί από αυτούς έχουν δημιουργηθεί από συγκεκριμένους αισθητήρες για να παρέχουν καινούριες πληροφορίες. Το λογισμικό ΕΝVΙ διαθέτει 27 από αυτούς, οι οποίοι επιλέχθησαν με βάση της αξιοπιστία τους και τη δυνατότητα της εφαρμογής τους.

- Broadband Greenness
- Narrowband Greenness
- Light Use Efficiency
- Canopy Nitrogen
- Dry or Senescent Carbon
- Leaf Pigment
- Canopy Water Content

Για την υλοποίηση της συγκεκριμένης διαδικασίας χρησιμοποιήθηκαν οι εικόνες, οι οποίες μειώθηκαν χωρικά σύμφωνα με την ενότητα 5.2. Γενικά, υπάρχουν πολλές τεχνικές ανάλυσης και ανάδειξης της βλάστησης των υπερφασματικών δεδομένων, αλλά σε αυτή την περίπτωση θα γίνει η χρήση μόνο του Κανονικοποιημένου Δείκτη Βλάστησης (Normalized Difference Vegetation Index). Στόχος της εφαρμογής αυτού του δείκτη είναι, η ανάδειξη των τμημάτων της περιοχής που καλύπτονται με βλάστηση, τις ενδεχόμενες διαχρονικές αλλαγές καθώς μία εναλλακτική μέθοδο καταγραφής της κάλυψης γης του ηφαιστείου της Αίτνας.

7.6: Θεωρητική ερμηνεία του NDVI

Ο Κανονικοποιημένος Δείκτης Βλάστησης (Normalized Difference Vegetation Index-NDVI) είναι ο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος δείκτης βλάστησης. Η δημιουργία του αποδίδεται στον Rouse et al. (1973) ενώ η σύλληψη της ιδέας υλοποίησης αυτού ανήκει στον Krigler et al (1969). Ο δείκτης NDVI χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της πυκνότητας της βλάστησης σε μία περιοχή και υπολογίζεται από τον τύπο,

NDVI = ρ **NIR** - ρ **R**/ ρ **NIR** + ρ **R**.

Οι τιμές που υπολογίζονται από τον δείκτη NDVI σχετίζονται με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης των φυτών. Η βλάστηση παρουσιάζει μικρή ανακλαστικότητα στο κανάλι του κόκκινου ορατού λόγω της απορρόφησης της ακτινοβολίας από τη χλωροφύλλη. Αντίθετα, έχει υψηλή ανακλαστικότητα στο κανάλι τους εγγύς υπερύθρου, λόγω της κυτταρικής δομής των φύλων. Ο λόγος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του δείκτη δίνει τις τιμές από -1 έως και 1. Όταν ο δείκτης είναι ίσος με το 1, τότε σημαίνει ότι η βλάστηση είναι πλούσια και υγιής. Η πυκνή και υγιής βλάστηση αντιστοιχεί σε θετικές τιμές, ενώ τα σύννεφα και το χιόνι χαρακτηρίζονται από αρνητικές τιμές του δείκτη. Οι τυπικές τιμές βλάστησης κυμαίνονται από 0,2 μέχρι 1. Τα υγιή φυτά, τα οποία βρίσκονται σε πολύ καλή κατάσταση δίνουν τιμές από 0,6, (Wang et al., 2004, Jarocinska et al., 2009). Όταν οι τιμές του δείκτη είναι στο μηδέν ή πολύ κοντά σε αυτό τότε αποδίδει το χαρακτηριστικό της καθολικής απουσίας της βλάστησης. Για παράδειγμα το νερό, το οποίο έχει υψηλή ανακλαστικότητα και στα δύο φασματικά κανάλια, αναπόφευκτα θα πάρει τιμές κοντά στο 0 και ελαφρώς αρνητικές. Τα εδάφη ανακλούν περισσότερη ακτινοβολίας του εγγύς υπέρυθρο, παρά στο κόκκινο του ορατού και γι' αυτό έχουν συνήθως θετικές τιμές.

7.7: Εφαρμογή του NDVI και για ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες 2009 και 2012

Στην ενότητα αυτή γίνεται η παρουσίαση των δύο εξαγόμενων θεματικών χαρτών, οι οποίοι δημιουργήθηκαν στο λογισμικό ENVI. Αυτοί οι χάρτες παρουσιάζουν τις τιμές του Κανονικοποιημένου Δείκτη Βλάστησης (NDVI), ο οποίος υπολογίστηκε από την εφαρμογή Vegetation Index Calculator. Σε αυτή την εφαρμογή παρατίθενται και οι 25 δείκτες βλάστησης που διαθέτει το λογισμικό για τα πολυφασματικά και υπερφασματικά οπτικά δεδομένα. Ειδικότερα, η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων στηρίζεται στην παραδοχή ότι, τα σκοτεινότερα εικονοστοιχεία αντιπροσωπεύουν τις μικρότερες τιμές (κοντά στο 0) ενώ αντίθετα τα φωτεινότερα χαρακτηρίζουν την παρουσία της υγιούς βλάστησης (0.6-1.0) της περιοχής μελέτης. Στην εικόνα 123 παρατίθενται οι δύο θεματικοί χάρτες σε διαβάθμιση των αποχρώσεων του γκρι (0-255).



Εικόνα 123: Αποτύπωση του Κανονικοποιημένου Δείκτη Βλάστησης για τις ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες 2009 και 2012

Παρατηρώντας τους δύο θεματικούς χάρτες είναι ορατές οι διαφορές στην αποτύπωση του δείκτη βλάστησης για τις δύο εικόνες. Συγκεκριμένα, η εικόνα του 2009 εμφανίζει φωτεινότερα εικονοστοιχεία σε όλη την έκταση του ηφαιστείου της Αίτνας, σε αντίθεση με την εικόνα του 2012. Ωστόσο, εντοπίζεται σχεδόν καθολική ομοιότητα στο κέντρο του ηφαιστείου και στην κύρια ροή λάβας, η οποία χωροθετείται στα νοτιοανατολικά του ηφαιστείου (37°40'30"N, 15°00'30"E). Με τη χρήση του πίνακα 57 γίνεται σύγκριση των δύο χρονολογιών, ελέγχοντας συγκεκριμένα κύρια τμήματα του ηφαιστείου, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν και στην ενότητα 7.4.1. Ενώ με τα εξαγόμενα αποτελέσματα θα ελεγχθεί η ισχύ των παραπάνω παρατηρήσεων και θα δημιουργηθεί ένα γενικότερο συμπέρασμα.

	2009	2012
Κέντρο του ηφαιστείου	No data	No data
	0.005-0.11	0.001-0.04
Ροή λάβας (37°40'30"N,	No data	No data
15°00'30"E)	0.0-0.65	0.0-0.03
Ροή λάβας (37°40'30"N,	0.12-0.20	0.05-0.16
14°55'30"E)		
Παλαιωμένες ροές λάβας	0.57-0.70	0.58-0.75
πυκνή βλάστηση		
Γυμνό έδαφος	0.34-0.66	0.15-0.6
Γυμνό έδαφος (37°39'15"N, 14°55'15"E)	0.01-0.08	0.02-0.09

Πίνακας 57: Καταγραφή των τιμών του δείκτη βλάστησης NDVI για συγκεκριμένα τμήματα της περιοχής, για τις εικόνες 2009 και 2012

Η πρώτη αξιόλογη παρατήρηση που εντοπίζεται στον πίνακα 57 αφορά τις πρώτες δύο περιοχές, στις οποίες ένα μεγάλο ποσοστό εικονοστοιχείων δεν εμφανίζει τιμή και για στις δύο χρονολογίες. Αυτό το αποτέλεσμα ενδεχομένως αποδίδεται σε σφάλμα του δείκτη βλάστησης. Στην περιοχή 1 παρατηρείται σχεδόν σε όλη την έκταση του ηφαιστείου εκτός από μία στενή περίμετρο κατά την οποία γίνεται η μετάβαση από το κέντρο της Αίτνας προς της ράχες της. Στο δεύτερο δείγμα εμφανίζεται επίσης, σε όλη την έκταση της συγκεκριμένης ροής λάβας εκτός από την εξωτερική περίμετρο και το νοτιότερο κομμάτι της. Συνεχίζοντας, στην περιοχή 1 εκτός από τη μη εμφάνιση πληροφορίας παρατηρείται μία διαφορά των τιμών της τάξης του 0,004-0,07 συγκρίνοντας τις δύο χρονολογίες, ενώ στην περιοχή 2 η διαφορά αγγίζει το 0,62. Αυτά τα χαρακτηριστικά επαληθεύουν την αρχική παρατήρηση και αναδεικνύουν μεγαλύτερες τιμές στην εικόνα του 2009. Σε αυτό το σημείο όμως δεν είναι εφικτό να ειπωθεί η ύπαρξη κάποιου είδους βλάστησης (ενότητα 7.6) ότι η ύπαρξη υγιής βλάστησης εντοπίζεται όταν οι τιμές είναι ίσες και μεγαλύτερες από 0.6. Στην περιοχή 3, δεν παρουσιάζεται το παραπάνω φαινόμενο της μη ύπαρξης τιμών, ενώ η διαφορά μεταξύ των τριών ετών κυμαίνεται από 0,04 έως 0,07.

Το πρώτο τμήμα της περιοχής, το οποίο παρουσιάζει εμφανή δείγματα βλάστησης είναι, οι παλαιωμένες ροές λάβας που έχουν καλυφθεί από πυκνή βλάστηση. Η αναλυτικότερη καταγραφή των ειδών της βλάστησης παρατίθεται στο τρίτο κεφάλαιο. Ειδικότερα, στην εικόνα του 2009 το εύρος των τιμών του δείκτη είναι 0.57-0.70 ενώ για την εικόνα του 2012 κυμαίνονται από 0.58-0.75. Σε αυτή την περίπτωση παρουσιάζεται μία αμελητέα διαφορά μεταξύ των δύο εικόνων. Επίσης, εξάγεται το συμπέρασμα, ότι εφόσον οι τιμές του NDVI είναι στο όριο της ένδειξης της υγιούς βλάστησης, αυτό σημαίνει ότι ενδεχομένως να καλύπτεται πολλές φορές από ροές λάβας ή τμήμα της να διακατέχεται από ποώδες βλάστηση. Το τελευταίο τμήμα της περιοχής της Αίτνας που τίθεται προς ανάλυση είναι το γυμνό έδαφος, το οποίο χωρίζεται σε δύο τμήματα. Το πρώτο αφορά μία γενικότερη εκτίμηση της ευρύτερης περιοχής που καλύπτει το γυμνό έδαφος, το οικιστικό περιβάλλον και τις καλλιέργειες. Ενώ, το δεύτερο αφορά μία συγκεκριμένη περιοχή με συντεταγμένες 37°39'15"N, 14°55'15"E, στην οποία εντοπίζονται έντονα σκούρα εικονοστοιχεία, τα οποία διαφέρουν από την υπόλοιπη περιοχή. Αυτό όμως έχει λογική εξήγηση, διότι ελέγχοντας αυτή την περιοχή στο google earth αποδείχθηκε ότι στην περιοχή υπάρχει ένας επαργιακός οικιστικός ιστός. Αναλυτικότερα, στο πρώτο δείγμα για την εικόνα 2009 οι τιμές κυμαίνονται από 0.34 έως 0.66, ενώ για την εικόνα του 2012 από 0.15 έως 0.6. Συνεπώς και εδώ εντοπίζεται να υπάργει διαφορά της τάξεως του 0.06-0.15, ενώ η μεγαλύτερη παρατηρείται στις ελάχιστες τιμές. Άρα, υπάρχει εντονότερη παρουσία της βλάστησης στην πρώτη εικόνα παρά στη δεύτερη, ενώ και πάλι βάση των αποτελεσμάτων εξάγεται το συμπέρασμα της μη πλήρης υγιούς βλάστησης λόγω ότι το εύρος των τιμών είναι ακόμα πιο μικρό από αυτό της περιοχής 4. Οι τιμές που αποδίδονται για το δεύτερο τμήμα του γυμνού εδάφους για την εικόνα του 2009 είναι 0.01-0.08 ενώ αντίστοιχα για την εικόνα του 2012 είναι 0.02-0.09. Άρα επαληθεύεται η παραπάνω υπόθεση ενώ η διαφορά για τα τρία έτη είναι μόνο 0,01.

Τέλος, οι διαφορές στις τιμές του Κανονικοποιημένου Δείκτης Βλάστησης (NDVI), για όλες τις περιοχές δεν ξεπερνούν το 0,15 με εξαίρεση το δεύτερο δείγμα. Οι διαφορές αυτές πιθανόν να απορρέουν από τη διαφορετική εποχή λήψης των εικόνων. Συγκεκριμένα, η πρώτη λήφθηκε τον Οκτώβριο, κατά τον οποίον υπάρχει ενισχυμένη υγρασία και η εντονότερη ανάπτυξη της βλάστησης. Αντίθετα, η εικόνα του 2012 λήφθηκε τον Ιούλιο, μήνας που παρουσιάζει χαμηλά ποσοστά βροχόπτωσης και κατά συνέπεια χαμηλό ποσοστό χλωροφυλλικής παρουσίας. Ο θεωρητικός αυτός ισχυρισμός, αναδεικνύεται και από τις τιμές που παρατίθενται στον πίνακα 57. Με βάση τους παραπάνω σχολιασμούς δείχνεται ότι ο δείκτης NDVI έχει υψηλότερες τιμές στην εικόνα του 2009 απ' ότι στην εικόνα του 2012. Επίσης, στις περιοχές που αποτυπώνονται οι υψηλότερες τιμές είναι στις παλαιωμένες ροές λάβας με πυκνή βλάστηση (περιοχή 4), διότι οι τιμές για την εικόνα του 2009 είναι 0.57-0.70 και για την εικόνα του 2012 είναι 0.58-0.75. Αυτό έχει μία λογική εξήγηση διότι σε αυτή την περιοχή εντοπίζονται πυκνά δάση, τα οποία δεν είναι εποχιακά για να υπάργει το ενδεγόμενο της απώλειάς ή της μείωσής τους, όπως για παράδειγμα ισγύει στις καλλιέργειες. Αυτή η περιοχή είναι η μοναδική, στην οποία ο δείκτης βλάστησης εμφανίζει μεγαλύτερες τιμές στην εικόνα του 2012. Αυτό μπορεί να δικαιολογείται από τις ενδεγόμενες θερμοκρασιακές συνθήκες (υψηλότερες θερμοκρασίες, λιώσιμο των πάγων κ.λπ.) που επικρατούν τον μήνα Ιούλιο και ευνοούν την ανάπτυξη της βλάστησης για τη συγκεκριμένη περιοχή. Τα παραπάνω θα μπορούσαν να είναι η εξήγηση της έντονης διαφοράς των τιμών του NDVI στα χαμηλότερα υψόμετρα του ηφαιστείου.

8. Συζήτηση

Στην παρούσα προπτυχιακή διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκαν δύο εικόνες του αισθητήρα Hyperion με περιοχή μελέτης το ηφαίστειο της Αίτνας. Επιδίωξη ήταν η προσπάθεια διαφοροποίησης των ροών λάβας σύμφωνα με σχετικές έρευνες, η παρουσία της βλάστησης και η διερεύνηση ενδεχόμενων αλλαγών στη διάρκεια των τριών ετών.

Το επίπεδο επεξεργασίας των εικόνων είναι 1Τ. Χρησιμοποιήθηκε αυτό για την αποφυγή των σταδίων προεπεξεργασίας της ραδιομετρικής και γεωμετρικής διόρθωσης. Η επιλογή των δεδομένων Hyperion έγινε διότι είναι υπερφασματικά δεδομένα που παρέχουν μία συνεχή υψηλή φασματική ανάλυση περίπου από 350 έως 2500nm. Η επιλογή των συγκεκριμένων των συγκεκριμένων λήψεων των εικόνων έγινε με τις προϋποθέσεις της 0-9% νεφοκάλυψης, της μικρής γωνίας λήψης (-5 έως +5) και σύμφωνα με τις καταγραφές εκρήξεων της Αίτνας με έκχυση λάβας σε συνδυασμό με τις ημερομηνίες λήψης των εικόνων. Τελικά επιλέχθηκαν δύο εικόνες με ημερομηνίες 8/10/2009 και 14/7/2012.

Πριν από την κύρια επεξεργασία τους και την εξαγωγή θεματικής πληροφορίας, έγινε η προεπεξεργασία των δύο εικόνων που τελικά επιλέχθηκαν. Τα στάδια προεπεξεργασίας αφορούσαν την εφαρμογή της ατμοσφαιρικής διόρθωσης και τεχνικών περιορισμού του φασματικού θορύβου, ειδικά στο μικροκυματικό τμήμα του φάσματος.

Στο πρώτο στάδιο χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο της ατμοσφαιρικής διόρθωσης (FLAASH) με στόχο τη μετατροπή των μονάδων της εικόνας σε μονάδες ανακλαστικότητας και την αφαίρεση των επιδράσεων που δημιουργούνται λόγω της ατμόσφαιρας και των υδρατμών έτσι ώστε να μπορεί να αποτυπωθεί η πραγματική φασματική πληροφορία που υπάρχει στην περιοχή μελέτης. Για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν τα άρθρα των Amici et al. (2014) και των Spinetti et al. (2009).

Τα αποτελέσματα όλων των δοκιμών κρίθηκαν ικανοποιητικά διότι οι φασματικές υπογραφές μπορούσαν να συγκριθούν με τις αντίστοιχες των βιβλιογραφικών αναφορών. Μετά από πολλές δοκιμές, η ατμοσφαιρική διόρθωση που έδωσε τα πιο σωστά αποτελέσματα και για τις δύο εικόνες είναι αυτή, στην οποία έγινε χρήση του αγροτικού μοντέλου μείγματος αερίων, της μεθόδου εκτίμησης της ορατότητας της ατμόσφαιρας 2-Band Over Water, καθώς και της φασματικής ομαλοποίησης.

Εδώ πρέπει να αναφερθεί ότι στις δοκιμές αντιμετωπίσθηκε το πρόβλημα ύπαρξης αρνητικών τιμών στις φασματικές υπογραφές και συγκεκριμένα στο μήκος των 457,34nm (μπλε ορατού). Στην εικόνα του 2009 εντοπίστηκε ότι όλα τα μοντέλα πλην αυτού που επιλέχθηκε εμφάνιζαν σε αυτό το μήκος κύματος αρνητικές τιμές. Στην εικόνα του 2012 το συγκεκριμένο μοντέλο εμφάνισε τις υψηλότερες τιμές σε αυτό το μήκος κύματος. Παρατηρώντας ότι αυτοί οι παράμετροι δίνουν τα πιο έγκυρα
αποτελέσματα, δημιουργούνται οι εξής παρατηρήσεις. Πρώτον, αν και η Αίτνα έχει υψόμετρο 3,326m και έχει διαφορετικές ατμοσφαιρικές συνθήκες από τη Σικελία, ωστόσο φαίνεται ότι επηρεάζεται κατά πολύ από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες και τις αέριες μάζες που παράγονται στο παράκτιο τμήμα κοντά του ηφαίστειο. Ενώ, δεν φαίνεται να επηρεάζεται από την ύπαρξη των πόλεων του ηφαιστείου γι' αυτό και επικρατούν οι αγροτικές συνθήκες του μείγματος αερίων και για τις δύο εικόνες.

Το δεύτερο στάδιο της προεπεξεργασίας είναι η μείωση του φασματικού θορύβου. Γενικά, τα συνηθέστερα είδη θορύβου των δεδομένων του Hyperion είναι τα stripping, το spectral smile και η επικάλυψη μεταξύ των οργάνων VNIR και SWIR. Η ύπαρξη αυτών είτε δυσχεραίνει την ανάδειξη πληροφορίας στα φασματικά κανάλια είτε δεν παρέχει καθόλου πληροφορία.

Αρχικά, έγινε η μείωση των φασματικών καναλιών που περιέχουν είτε θόρυβο είτε καθόλου πληροφορία. Αυτά βρίσκονται κυρίως στην περιοχή του μικροκυματικού όπου το SNR παρουσιάζει σε χαμηλές τιμές. Χρησιμοποιώντας την έρευνα των Pervez et al. (2015) καθώς και με βάση τις προσωπικές εκτιμήσεις των αποτελεσμάτων των ατμοσφαιρικών δοκιμών αποφασίστηκε ο αριθμός των φασματικών καναλιών που θα αποτελούν τα νέο αρχείο επεξεργασίας και για τις δύο εικόνες να ανέρχεται στα 153. Επίσης, είναι δεδομένο ότι και για τις δύο εικόνες θα πρέπει να αφαιρεθούν τα ίδια τμήματα του φάσματος, έτσι ώστε να είναι συγκρίσιμες στην μετέπειτα κύρια επεξεργασία και στην εξαγωγή θεματικών χαρτών. Μετά εφαρμόστηκαν δύο τεχνικές με στόχο τη μείωση του θορύβου αλλά και των διαστάσεων των εικόνων, έτσι ώστε να είναι πιο εύκολη η διαχείρισή τους.

Η πρώτη μέθοδος είναι ο μετασχηματισμός MNF, στον οποίον με βάση τα δεδομένα και το διάγραμμα ιδιοτιμών που παράχθηκαν, φαίνεται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό της γρήσιμης πληροφορίας βρίσκεται στις πρώτες 8 συνιστώσες, ενώ και σε αυτές φαίνεται καθαρά η ύπαρξη θορύβου (stripes και smile effect στην τρίτη συνιστώσα). Τα ίδια αποτελέσματα εντοπίζονται και στη δεύτερη μέθοδο, τον μετασχηματισμό Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών, αλλά με μικρότερη εμφάνιση. Δηλαδή, στη δεύτερη μέθοδο η χρήσιμη πληροφορία υπάρχει σε περισσότερες συνιστώσες (περίπου 10) ενώ στην πρώτη συνιστώσα φαίνεται καθαρά ότι περιέχεται το μεγαλύτερο ποσοστό της χρήσιμης πληροφορίας. Γενικά, η εικόνα του 2009 φαίνεται να έχει περισσότερο θόρυβο, αφού ο θόρυβος εμφανίζεται σε μικρότερη συνιστώσα από τον αντίστοιχο στην εικόνα του 2012. Μετά την εφαρμογή των μετασχηματισμών και των αντίστροφων αυτών (Inverse MNF & Inverse PCA) συνεχίζει να παρατηρείται θόρυβος, ενώ αυτό το φαινόμενο δείχνεται και αργότερα στην εξαγωγή θεματικών χαρτών και κυρίως στο κέντρο του ηφαιστείου, ωστόσο προτιμήθηκε να παραμείνει ένα μικρό ποσοστό θορύβου για να μην χαθεί χρήσιμη πληροφορία.

Επίσης, δημιουργήθηκαν ψευδέχρωμες εικόνες με τη χρήση των συνιστωσών που περιέχουν τη χρήσιμη πληροφορία. Αυτές οι χρωματικές συνθέσεις έγιναν για τις δύο χρονολογίες, με στόχο να δειχθούν ενδεχόμενες διαφορές στην αποτύπωση της

περιοχής με τη ψευδέχρωμη σύνθεση. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπάρχουν πολλές διαφορές ανάμεσα στις δύο χρονολογίες από την ψευδέχρωμη σύνθεση του μετασχηματισμού MNF, ενώ στον μετασχηματισμό PCA δεν υπάρχει. Για παράδειγμα, στον πρώτο μετασχηματισμό παρατηρείται ότι μόνο οι κύριες ροές λάβας που οριοθετούνται στο νότιο τμήμα του ηφαιστείου, εμφανίζονται με τον ίδιο γρωματισμό (ροζ: συνιστώσες 5 και 1). Αντίθετα το κέντρο του ηφαιστείου εμφανίζεται με πράσινο χρώμα (συνιστώσα 4) στην εικόνα του 2009 και με μοβ (συνιστώσες 5 και 1) για την εικόνα του 2012. Στον μετασχηματισμό PCA, δεν υπάρχουν αντίστοιχες διαφορές διότι για παράδειγμα, και στις δύο εικόνες, το κέντρο του ηφαιστείου απεικονίζεται με κίτρινό χρώμα (συνιστώσες 3 και 2), οι παλαιωμένες ροές λάβας καλυμμένες με πυκνή βλάστηση με ροζ (συνιστώσες 3 και 1) κ.λπ. Αυτό πιθανόν να σημαίνει ότι και στις δύο χρονολογίες για τον δεύτερο μετασχηματισμό, τα προκείμενα τμήματα κάλυψης γης του ηφαιστείου απεικονίζονται από τις ίδιες συνιστώσες. Οι διαφορές των ψευδέγρωμων εικόνων που προκύπτουν λόγω της χρήσης διαφορετικών εικόνων MNF για τη σύνθεση της ψευδέγρωμης θα μπορούσαν να εξηγηθούν από το ποσοστό θορύβου και πληροφορίας για την κάθε εικόνα.

Στην κύρια επεξεργασία των δεδομένων, έγινε προσπάθεια διαφοροποίησης των ροών λάβας αλλά και ανάδειξη των διαφορών σε επιλεγμένα τμήματα της περιοχής για τις δύο εικόνες. Αρχικά, εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης ISODATA. Για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το google Earth καθώς και οι έρευνες των Spinetti et al. (2009), Amici et al. (2014) και Allard et al. (2006).

Η ταξινόμηση εφαρμόστηκε με τέσσερις διαφορετικούς τρόπους, για να δειχθεί ποια από τα δεδομένα είναι καταλληλότερα για την εξαγωγή αποτελεσμάτων που να αντιπροσωπεύουν όσο περισσότερο γίνεται την πραγματικότητα. Οι τέσσερις τρόποι περιείχαν τις εικόνες που είχαν υποστεί ατμοσφαιρική διόρθωση, τον μετασχηματισμό PCA και τους αντίστροφους μετασχηματισμούς PCA και MNF. Εξετάζοντας και τις τέσσερις μεθόδους, φαίνεται ότι και στις δύο εικόνες δεν εμφανίσθηκαν όλες οι κλάσεις που είχαν αρχικά οριστεί. Άρα, δείχνεται μία αδυναμία σχηματισμού του αριθμού των κλάσεων έχουν οριστεί. Επιπλέον, φαίνεται ότι η χρήση του μετασχηματισμού PCA συμβάλει σημαντικά στη μείωση θορύβου και στην καλύτερη ομαδοποίηση των κοινών φασματικών χαρακτηριστικών της περιοχής. Αυτό αποδεικνύεται από το ότι οι παραγόμενοι θεματικοί χάρτες εμφανίζουν τα μικρότερα ποσοστά θορύβου σε σύγκριση με τις άλλες εφαρμογές Δεύτερον, δημιουργήθηκαν περισσότερες κλάσεις στην εικόνα του 2012 και ως εκ τούτου ήταν εφικτή η καλύτερη ανάδειξη των ξεχωριστών τμημάτων της κάλυψης γης.

Με βάση τα παραπάνω, έγινε μία πρώτη προσπάθεια διαφοροποίησης κάποιων ροών λάβας χρονικά, που οριοθετούνται στις πλαγιές του ηφαιστείου. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με την έρευνα των Amici et al. (2014), επιλέχθηκαν δύο συγκεκριμένες ροές λάβας, μία του 1983 και η μία του 2001. Αυτές οι ροές λάβας βρίσκονται στα νότια του ηφαιστείου με συντεταγμένες 37°40'30"N, 15°00'30"E (η

ροή του 2001) και 37°40'30"N, 14°55'30"E (η ροή του 1983). Παρατηρείται ότι η τάξη που αναδεικνύει τη ροή λάβας του 1983 εμφανίζεται και σε άλλες ροές λάβας που βρίσκονται περιμετρικά του ηφαιστείου. Επιπλέον, ενδεχομένως η εικόνα του 2012 να έχει μεγαλύτερη χωρική κάλυψη από την εικόνα του 2009. Η διαπίστωση αυτή εντοπίζεται στις περιοχές 2 και 3 των θεματικών χαρτών (εικ. 113) ενώ στην περιοχή 1 εμφανίζεται το αντίθετο.



Εικόνα 124: Χάρτης κάλυψης γης της Αίτνας με τη χρήση της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης ISODATA για τις ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες

Κάτι τέτοιο δεν εμφανίζεται στους θεματικούς χάρτες της παρουσίας βλάστησης με τη χρήση του NDVI (εικ. 114).



Εικόνα 125: Παρουσία Βλάστησης στην περιοχή του ηφαιστείου με τη χρήση του NDVI, για τις εικόνες 2009 και 2012

Σύμφωνα με την εικόνα 114 φαίνεται ότι σε όλη την έκταση του ηφαιστείου (εκτός από το κέντρο και τις κύριες ροές λάβας) τα εικονοστοιχεία είναι πιο «φωτεινά» στην εικόνα του 2009, άρα οι τιμές θα πλησιάζουν περισσότερο το 1 (παρουσία βλάστησης) απ' ότι στην εικόνα του 2012. Αυτό σημαίνει ότι η βλάστηση εκτείνεται περισσότερο χωρικά στην πρώτη εικόνα και πιθανών οι διαφορές αυτές να οφείλονται στη διαφορετική εποχή λήψης των εικόνων. Άρα, το διαφορετικό συμπέρασμα της ISODATA μπορεί να οφείλεται στην ικανότητα του αλγόριθμου να εξάγει περισσότερες κλάσεις, ταξινομώντας αναλυτικότερα τα τμήματα κάλυψης γης της περιοχής και ως εκ τούτου την αποτύπωση με μεγαλύτερη ακρίβεια της βλάστησης. Τέλος, περισσότερες ομοιότητες παρουσιάζονται στον αστικό ιστό ιδιαίτερα στο νότιο τμήμα του ηφαιστείου. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο ότι σε αυτή την περιοχή υπάρχουν μεγαλύτερες σε έκταση πόλεις, απ' ότι στο βόρειο κομμάτι της Αίτνας και ότι ο αλγόριθμος ISODATA μπόρεσε να αποτυπώσει καλύτερα το δομημένο έδαφος σε μία ξεχωριστή κλάση, (ειδικότερα στην εικόνα του 2012).

Ωστόσο, χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση, στις παραμέτρους που χρησιμοποιούνται καθώς και περισσότερες βιβλιογραφικές αναφορές, έτσι ώστε να είναι όσο περισσότερο δυνατόν αξιόπιστα τα αποτελέσματα, αλλά και να υπάρχει κάποιο υπόβαθρο για μελλοντική έρευνα χαρτογράφησης, χρονολόγησης των ροών λάβας.

Κατόπιν εφαρμόστηκε η τεχνική Spectral Angle Mapper, στις ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες, έτσι ώστε να γίνει μία πρώτη προσέγγιση της αποτύπωσης των πιθανών ορυκτών στο ηφαίστειο της Αίτνας, της κατανομής τους σε διάφορα τμήματα της περιοχής μελέτης αλλά και τις διαφορές που τυχών υπάρχουν στο πέρασμα των τριών χρόνων.

Αναλύοντας, εννιά ορυκτά από το συνολικό αριθμό των ορυκτών που χρησιμοποιήθηκαν για την ταξινόμηση SAM, παρατηρήθηκαν πολλές διαφορές στην πιθανότητα παρουσίας τους σε συγκεκριμένες περιοχές. Για τις δύο εικόνες υπάρχουν μεγάλες πιθανότητες παρουσίας του μικροκλινή, του μαγνητίτη, του μοντμοριλλονίτη και του αιματίτη. Απόδειξη αυτού είναι οι τιμές της φασματικής γωνίας που εμφανίζονται στα τμήματα μελέτης της περιοχής, οι οποίες είναι μέσα στο όριο των 0,30 rad που τέθηκε για την εφαρμογή της ταξινόμησης. Στην εικόνα 115 παρουσιάζονται οι θεματικοί χάρτες του μικροκλινή για τα δύο έτη, ως παράδειγμα της παραπάνω απόδειξης, ενώ στην εικόνα 116 παρουσιάζονται άλλοι δύο θεματικοί χάρτες του ορυκτού, οι οποίοι εμφανίζουν τη μικρή πιθανότητα παρουσίας αυτού του ορυκτού στη περιοχή μελέτης.



Εικόνα 126: Χάρτης φασματικής γωνίας του μικροκλινή για τις εικόνες 2009 και 2012



Εικόνα 127: Χάρτης φασματικής γωνίας του αλουνίτη για τις εικόνες 2009 και 2012

Στις εικόνες 115 και 116 φαίνεται ότι ο μικροκλινής έχει μεγαλύτερες πιθανότητες παρουσίας απ' ότι ο μικροκλινής, διότι τα εικονοστοιχεία του πρώτου είναι πιο «σκούρα» και αυτό σημαίνει ότι οι τιμές της φασματικής γωνίας θα είναι πιο κοντά στο όριο (0,30 rad). Αντίθετα, στον αλουνίτη τα εικονοστοιχεία σε όλες τις περιοχές είναι πιο «φωτεινά» και αυτό αποδεικνύει ότι οι τιμές θα είναι μεγαλύτερες από 0,30 rad, άρα η παρουσία του θα είναι μικρότερη στο ηφαίστειο.

Εξαίρεση αυτού του συμπεράσματος για όλα τα ορυκτά είναι η περιοχή 4. Η συγκεκριμένη περιοχή καλύπτει τις παλαιωμένες ροές λάβας που καλύπτονται από βλάστηση. Για αυτή την περιοχή υπάρχουν μικρές πιθανότητες ανάδειξης κάποιων ορυκτών, διότι οι φασματικές υπογραφές των εικονοστοιχείων ταιριάζουν περισσότερο με αυτές της βλάστησης και όχι με κάποιων ορυκτών που βρίσκονται στο έδαφος. Δεν υπάρχει κάποιο γενικότερο συμπέρασμα στη σύγκριση για την πιθανότητα παρουσίας αυτών των ορυκτών στη διάρκεια των τριών ετών, διότι άλλα ορυκτά μειώνονται και άλλα αυξάνονται. Σύμφωνα με την περιορισμένη βιβλιογραφία, τα ορυκτά αποτυπώνονται στις ίδιες θέσεις, αλλά επειδή δεν είναι περισσότερες δοκιμές με την προσθήκη επιπλέον ορυκτών.

Επίσης, εκτός από την εξέταση της παρουσίας των ορυκτών στην περιοχή του ηφαιστείου, παρατίθενται και δύο συνολικοί χάρτες (εικ. 117) ταξινόμησης αυτών. Σε αυτή την περίπτωση υπάρχουν περισσότερες δυνατότητες σύγκρισης των δύο εικόνων έτσι ώστε να εξαχθεί ένα γενικότερο συμπέρασμα της μεταβολής κατά τη διάρκεια των τριών ετών.



Εικόνα 128: Χαρτογράφηση των ορυκτών του ηφαιστείου της Αίτνας με τη χρήση του Αλγορίθμου Spectral Angle Mapper για τις ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες 2009 και 2012

Με μία πρώτη οπτική εκτίμηση αλλά και σε συνδυασμό με τον πίνακα 45, φαίνεται ότι υπάρχουν διαφορές και ομοιότητες στις δύο εικόνες. Οι διαφορές εντοπίζονται στο κέντρο του ηφαιστείου (2009): παρουσία αλουνίτη. αμμωνιοαλουνίτη και αμμωνιογιαροσίτη, 2012: παρουσία εψομίτη και γκαιτίτη) ενώ οι ομοιότητες σε χαμηλότερα υψόμετρα. Οι διαφορές αυτές θα μπορούσαν να αποδοθούν στις εκρήξεις της Αίτνας με έκχυση λάβας που συνέβησαν μεταξύ του διαστήματος των τριών ετών. Ωστόσο, χρειάζεται ένας περαιτέρω έλεγχος εγκυρότητας της παρουσίας ή μη κρυσταλλωμένων ορυκτών στο κέντρο του ηφαιστείου, περισσότερες δοκιμές στην εφαρμογή της ταξινόμησης και ακόμη πιο αναλυτική βιβλιογραφική διερεύνηση για την επιλογή των ορυκτών με τα οποία θα εφαρμοστεί ο αλγόριθμος SAM.

Η τελευταία εφαρμογή της κύριας επεξεργασίας είναι η εξαγωγή θεματικών χαρτών με τη χρήση του Κανονικοποιημένου Δείκτη Βλάστησης (NDVI) για τις δύο χρονολογίες. Αρχικά, διαπιστώνεται η ύπαρξη πολλών εικονοστοιχείων στο κέντρο του ηφαιστείου και σε πρόσφατες λάβες για τα οποία δεν ήταν δυνατός ο υπολογισμός του δείκτη. Πιθανώς αυτό να οφείλεται όχι μόνο στην πλήρη απουσία της βλάστησης αλλά και στην απουσία κάποιων καναλιών που συμβάλλουν στον υπολογισμό του δείκτη. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των δύο εικόνων παρατηρείται ότι οι διαφορές των τιμών για όλες τις περιοχές δεν ξεπερνούν το 0,15 με εξαίρεση τη ροή λάβας νοτιοανατολικά του ηφαιστείου (37°40'30"N, 15°00'30"E). Οι διαφορές στην κάλυψη γης που παρατηρούνται, απορρέουν είτε από τη διαφορετική εποχή λήψης των εικόνων είτε από το διάστημα των τριών ετών μεταξύ των δύο λήψεων. Στη μελλοντική συνέχιση της έρευνας θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ο δείκτης βλάστησης για τον έλεγχο της πιθανότητας της καλύτερη αποτύπωση των ορυκτών αλλά και των ροών λάβας. Αναλυτικότερα, θα ήταν ενδιαφέρον να καλυφθούν οι περιοχές, στις οποίες οι τιμές του NDVI είναι από 0,5 και πάνω (ένδειξη έντονης και υγιούς βλάστησης) και να δειχθεί αν επηρεάζει η βλάστηση στη διεξαγωγή της ταξινόμησης των ορυκτών αλλά και των ροών λάβας.

Καταλήγοντας, τα αποτελέσματα των τεχνικών ISODATA και NDVI, τα οποία δείχνουν την οριοθέτηση κάποιων ροών λάβας του ηφαιστείου, των τμημάτων κάλυψης γης και της παρουσίας βλάστησης, αποδεικνύονται αρκετά ενδιαφέροντα, και συνάδουν με τα αποτελέσματα της βιβλιογραφίας (κεφ. 4). Ωστόσο, η έλλειψη βιβλιογραφικών αναφορών για την παρουσία ορυκτών, καθιστά αναγκαία τη συνέχιση δοκιμών για την τεχνική Spectral Angle Mapper, έτσι ώστε τα αποτελέσματα να είναι αξιόπιστα. Ενώ επιπλέον, πρέπει να εξεταστεί αν τελικά η εικόνα του 2009 είναι κατάλληλη για την παραγωγή έγκυρων αποτελεσμάτων, λόγο του έντονου θορύβου που εμφανίζει.

Με βάση την παρούσα έρευνα μπορούν να υπάρχουν πολλές κατευθύνσεις για τη συνέχισή της. Θα ήταν ενδιαφέρον να μελετηθεί η διαχρονική μεταβολή της βλάστησης, σε ποια μέρη οριοθετείται και ποια είναι τα αίτια των μεταβολών. Τα αποτελέσματα αυτά θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την ανάδειξη της συχνότητας (μείωση ή αύξηση με το πέρασμα των χρόνων) της ηφαιστειακής δραστηριότητας και σε ποιες περιοχές εκτείνονται οι ροές, έτσι ώστε να μπορούν να υπάρξουν κάποιες λύσεις κατά του ηφαιστειακού κινδύνου. Επίσης, σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα της μεταβολής της βλάστησης (π.χ. καταστροφή καλλιεργειών από τις ροές λάβας), θα μπορούσε να δημιουργηθεί μία ζωνοποίηση των ευπαθών περιοχών από τέτοια φαινόμενα και μέτρα προστασίας των πολιτών ακόμα και των καλλιεργειών που αναμφίβολα αποτελούν σημαντικό οικονομικό παράγοντα της περιοχής.

9: Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας, είναι γνωστό ότι η Αίτνα είναι ένα από τα πιο ενεργά ηφαίστεια στον κόσμο, το οποίο δίνει εκρήξεις κάθε χρόνο με έκχυση μεγάλων ποσοτήτων μαγματικού υλικού. Καταγραφές των εκρήξεων δείχνουν ότι είναι υπεύθυνες για πολλές οικονομικές, πολιτιστικές καταστροφές ακόμα και για απώλειες ανθρώπων.

Για αυτή την μελέτη, χρησιμοποιήθηκαν δύο εικόνες του υπερφασματικού αισθητήρα Hyperion. Η επιλογή των υπερφασματικών δεδομένων έγινε με γνώμονα την υψηλή φασματική ανάλυση και τη συνεχή κάλυψη του τμήματος του φάσματος από το μπλε του ορατού μέχρι και το μικροκυματικό. Αυτά τα χαρακτηριστικά δίνουν τη δυνατότητα της βέλτιστης ανάλυσης των αντικειμένων που αντιπροσωπεύουν την περιοχή μελέτης.

Τα στάδια προεπεξεργασίας εφαρμόστηκαν με στόχο την προσπάθεια της βέλτιστης απεικόνισης της περιοχής μελέτης, μέσω των δεδομένων για τις δύο χρονολογίες και την διεξαγωγή έγκυρης πληροφορίας. Γενικότερα, αποδείχθηκε ότι τα δεδομένα του Hyperion έχουν πολλά σφάλματα που δυσχεραίνουν τη διαδικασία εξαγωγής ορθών συμπερασμάτων, ενώ κάποια από αυτά δεν επιλύθηκαν κατά τη διάρκεια της εργασίας.

Συνεχίζοντας, εφαρμόστηκε η χωρική μείωση της εικόνας για την πιο εύκολη διαχείριση του όγκου των δεδομένων, η ατμοσφαιρική διόρθωση FLAASH, η μείωση των φασματικών καναλιών που είχαν πολύ μεγάλο ποσοστό θορύβου ή δεν παρουσίαζαν καμία πληροφορία, η μείωση των φασματικών διαστάσεων και του θορύβου με τη χρήση των μετασχηματισμών MNF και PCA. Τα αποτελέσματα της προεπεξεργασίας κρίθηκαν ικανοποιητικά και συγκρίσιμα με τις βιβλιογραφικές αναφορές ενώ αποδείχθηκε ότι η εικόνα του 2009 είχε μεγαλύτερο ποσοστό θορύβου από την εικόνα του 2012 και ενδεχομένως κρίνεται ακατάλληλη για την παραγωγή αξιόπιστων με τις συνιστώσες που περιέχουν τη χρήσιμη πληροφορία και για τους δύο μετασχηματισμούς.

Η εξαγωγή θεματικής πληροφορίας της περιοχής μελέτης για τις δύο χρονολογίες έγινε με την εφαρμογή τριών μεθόδων, της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης ISODATA, της επιβλεπόμενης SAM και του δείκτη βλάστησης NDVI. Με βάση τις δύο ταξινομήσεις, δείχνεται ότι οι διαφορές στην οριοθέτηση των τμημάτων κάλυψης γης της Αίτνας (οριοθέτηση των ροών λάβας, οικιστικού, και αποτύπωσης των ορυκτών), οφείλονται κυρίως στις καινούριες ροές λάβας που δημιουργήθηκαν λόγω των εκρήξεων του ηφαιστείου στο χρονικό διάστημα των τριών ετών. Ωστόσο, οι λιγοστές βιβλιογραφικές αναφορές τόσο για την χρονική καταγραφή των ροών λάβας όσο και για την αποτύπωση των ορυκτών που υπάρχουν στο ηφαίστειο, δυσχέραινε κατά πολύ την επαλήθευση των αποτελεσμάτων. Τέλος, για τις διαφορές στην παρουσία της βλάστησης ανάμεσα στις δύο εικόνες, το πιο αξιόπιστο συμπέρασμα είναι ότι οφείλονται στη διαφορετική εποχικότητα της λήψης των εικόνων.

10. Βιβλιογραφικές Αναφορές

Asimov, Paul D., and Longhi, John (2004), The significance of multiple saturation points in the context of polybaric near-fractional melting, J. Petrol., 45(12), pp. 2349-2367

ENVI (2009) Atmospheric Correction Module: QUAC and FLAASH User's Guide, August edn. pp. 10-26

Berk, A., Bernstein, L. S., & Robertson, D. C. (1989). MODTRAN: A moderate resolution model for LOWTRAN7 (GL-TR-89-0122). Hanscom AFB, Bedford, MA: Air Force Geophysics Laboratory. Retrieved from www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a214337.pdf

Burgers, K., Fessehatsion, Y., Rahmani, S., 2009, A Comparative Analysis of Dimension Reduction Algorithms on Hyperspectral Data, Jia Yin Seo edn., pp. 4-6

Chein-I Chang (31 July 2003). Hyperspectral Imaging: Techniques for Spectral Detection and Classification. Springer Science & Business Media. ISBN 978-0-306-47483-5.

Ciro Del Negro, Annalisa Cappello, Marco Neri, Giuseppe Bilotta, Alexis Hérault & Gaetana Ganci (2013) 'Lava flow hazards at Mount Etna: constraints imposed by eruptive history and numerical simulations', Scientific Reports, 3(3493), pp. 2-3

Coltelli, M., M. Pompilio, P. Del Carlo, S. Calvari, S. Pannucci, and V. Scribano (1998), Mt. Etna: The eruptive activity, Acta Vulcanol, 10, pp. 141–148

Daniel Scheffler, Pierre Karrasch (2013) 'Preprocessing of Hyperspectral Images - a Comparative Study of Destriping Algorithms for EO-1 Hyperion', *SPIE*, 8892, pp. 1-10.

Datt, B., McVicar, T. R., Van Niel, T. G., Jupp, D. L. B., Pearlman, J. S. (2003). Preprocessing EO-1 hyperion hyperspectral data to support the application of agricultural indexes. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 41(6 PART I), pp. 1246-1259.

D.K. Chester, A.M. Duncan. J.E. Guest and C.R.J. Kilbum, Mount Etna: the Anatomy of a Volcano, 404 pp. 274-276, Chapman and Hall, London, 1985.

Emily M. Stewart & James W. Head (2001) 'Ancient Martian volcanoes in the Aeolis region' New evidence from MOLA data ', Journal of Geophysical Research, 106 (E8), pp. 505.

Eric C. Barrett (1999) Introduction to Environmental Remote Sensing, 4th edn., Cheltenham: Stanley Thornes Ltd., pp. 457 Green A A, Berman M, Switzer P, et al. A transformation for ordering multispectral data in terms of image quality with implications for noise removal. IEEE Trans Geosci Remote Sens,1988, 26(1): pp. 65–74

GitanjaliS.Korgaonkar, Dr.R.R.Sedamkar, KiranBhandari (2012) 'Hyperspectral Image Classification on Decision level fusion', International Journal of Computer Applications, pp. 2-4.

Guolan Lu, Baowei Fei (2013) 'Medical hyperspectral imaging: a review', Biomedical Optics, 19(1), pp. 3-5.

Hans Grahn; Paul Geladi (27 September 2007). Techniques and Applications of Hyperspectral Image Analysis. John Wiley & Sons. ISBN 978-0-470-01087-7.

Hurlbut, Cornelius S., Klein, Cornelis, 1985, Manual of Mineralogy, 20th ed., Wiley, p. 15

KamalL Pruseth (February 2009) 'Calculation of the CIPW norm: New formulas', Calculation of the CIPW norm: New formulas KamalLPruseth Institute Instrumentation Centre, Indian Institute of Technology Roorkee, 118 (1), pp.103

Kaufman, Y. J., A. E. Wald, L. A. Remer, B.-C. Gao, R.-R. Li, and L. Flynn, 1997. The MODIS 2.1- μ m Channel-Correlation with Visible Reflectance for Use in Remote Sensing of Aerosol. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. Vol. 35, pp. 1286-1298

Lentini F (1982) The geology of the Mt. Etna basement. Mem Soc Geol It 23: pp.7-25

Lexi Krock (2012) Anatomy of a Volcano, Available at: http://www.pbs.org/wgbh/nova/earth/volcano-parts.html (Accessed: 11th December 2002).

James B L, Woodyatt A S, Berman M. Enhancement of high spectral resolution remote-sensing data by a noise-adjusted principal components transform. IEEE Trans Geosci Remote Sens, 1990, 28(3): pp. 295–304

J.C. Tanguy, Tholeiitic basalt magmatism of Mount Etna and its relations with alkaline series, Contrib. Mineral. Petrol. 66, 1978, pp. 51-67,

J.C. Tanguy, L'Etna: etude pktrologique et paleomagnetique, Implications volcanologiques, Thesis, Univ. Paris 6. 1980, pp. 618

J.C. Tanguy, and Clocchiatti, R., 1984. The Etnean lavas, 1977-1983: petrology and mineralogy. Bull. Volcanol., 47(4): pp. 879-894.

Jean-Claude Tanguy, Michel Condomines, Guy Kieffer (1996) 'Evolution of the Mount Etna magma: Constraints on the present feeding system and eruptive mechanism', Journal of Volcanology and Geothermal Research, pp. 75

Jensen, J. R., 1996. I ntroductory Digital Image Processing-A Remote Sensing Perspective, Prentice Hall, Inc., Upper Saddle River, New Jersey, pp, 797-256.

Jensen, J.R., 2005, Introductory Digital Image processing: A remote sensing perspective, Ed. Pearson Education., pp. 185-192

Jensen, J.R. 2007. Introductory to Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective. Prentice Hall Series in Geographic Information Science, pp.592

Jolliffe, I.T., 2002, Principal Component Analysis, Second edn., UK: Springer, pp. 1-6.

Marco Neri, Valerio Acocella, Boris Behncke, Salvatore Giammanco, Francesco Mazzarini, Derek Rust (April 30, 2011.) 'Structural analysis of the eruptive fissures at Mount Etna (Italy)', ANNALS OF GEOPHYSICS, 54(5), pp. 464-476

Matt Genge (2013) IG266- Olivine Dolerite, Available at: wwwf.imperial.ac.uk

Matthew, M. W., S. M. Adler-Golden, A. Berk, S. C. Richtsmeier, R. Y. Levine, L. S. Bernstein, P. K. Acharya, G. P. Anderson, G.W. Felde, M. P. Hoke, A. Ratkowski, H.-H. Burke, R. D. Kaiser, and D. P. Miller, 2000. Status of Atmospheric Correction Using a MODTRAN4-based Algorithm. SPIE Proceedings, Algorithms for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery VI. Vol. 4049, pp. 199-207

Mauro Coltelli, Paola Del Carlo, Luigina Vezzoli (December 1998) 'Discovery of a Plinian basaltic eruption of Roman age at Etna volcano, Italy', 26(12), pp. 1095-1098

McCarthy, T. & Rubidge, B. 2008. The story of earth and life, Chapter 3, The first continent. pp. 60-91, Struik Publishers".

M. A. Ashraf, M. J. Maah, I. Yusoff (2011) Introduction to Remote Sensing of Biomass, 1st edn. ISBN.

Murphy, M. D.; Sparks, R. S. J.; Barclay, J.; Carroll, M. R.; and Brewer, T. S. (2000), pp. 21-42

Murray, J.B., 1990. High-level magma transport at Mount Etna volcano, as deduced from ground deformation measurements. In: M.P. Ryan (Editor), Magma Transport and Storage, John Wiley and Sons, pp. 357-383.

Nathan Hagen, Robert T. Kester, Liang Gao, and Tomasz S. Tkaczyk (2012) 'Snapshot advantage: a review of the light collection improvement for parallel highdimensional measurement systems', PMC, 51(11), pp. 1 [Online]. Available at: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3393130/ (Accessed: 13th June 2012).

Olsen, R. C. (2014). Remote sensing from air and space (2nd Ed.) Bellingham, WA: SPIE Press. pp. 78-102

Pamela Barry (November 2001) EO-1/ Hyperion Science Data User's Guide, Level 1_B, One Space Park Redondo Beach: TRW Space, Defense & Information Systems, pp. 3-20

Patrick Allard, Boris Behncke, Salvatore D'Amico, Marco Neri, Salvatore Gambino (2006) 'Mount Etna 1993–2005: Anatomy of an evolving eruptive cycle', Science Direct, 78, pp. 85–114.

Pervez, W., Khan, S.A. and Valiuddin, 2015, Hyperion Imagery analysis and its application using spectral analysis, ISPRS, XL-3/W2, pp.170.

Poldervaart, A (1971). "Volcanicity and forms of extrusive bodies". In Green, J; Short, NM. Volcanic Landforms and Surface Features: A Photographic Atlas and Glossary. New York: Springer-Verlag. pp. 1–18

Puglisi, A., 2012, Nomination of Mount Etna for inscription on the World Natural Heritage List UNESCO, Ente Parco dell'Etna. [Online]. Available at: http://whc.unesco.org.

Randal B. Smith, Ph.D., (2012) Introduction to Remote Sensing of Environment (RSE), Available at: http://www.microimages.com (Accessed: 4 January 2012).

Richards, J. A., & X. Jia (2013). Remote sensing digital image analysis: An introduction (5th Ed.). Berlin, Germany: Springer, pp. 400

R. Romano, Succession of the volcanic activity in the Etnean area, Mem. Sot. Geol. Ital. 23. 27-48, 1982.

Vadim Kamenetsky, Robert Clocchiatti (3 June 1996) 'Primitive magmatism of Mt. Etna: insights from mineralogy and melt inclusions', Earth and Planetary Science Letters, 142, pp. 553-572.

S. Amici (2008) Calibration and validation (CAL/VAL) of Remote Sensing data and spectral characterization of volcanic rocks, 1st edn., Dottrato di Ricerc in Science Della Terra: Università di Parma, pp. 236-242

Schurmer, J.H., (2003), Air Force Research Laboratories Technology Horizons, pp. 253

Smith, George I. (1964). Geology and Volcanic Petrology of the Lava Mountains, San Bernardino County, California. United States Geological Survey professional paper 457. Washington, D.C.: United States Geological Survey. pp. 39

Tapani Raiko, Alexander Ilin and Juha Karhunen,(2008) "Principal Component Analysis for Sparse High-Dimensional Data ", Neural Information Processing Lecture Notes in Computer Science, Volume, pp. 566-57

Ιστότοποι

http://geo.arc.nasa.gov

http://chandra.harvard.edu

http://www.microscopyu.com/articles/confocal/spectralimaging

http://www.laserfocusworld.com/articles/2011/03/hyperspectral-imaging-one-shot - camera-obtains-simultaneous-hyperspectral-data.htm

GideonColtof, Hyperspectral Techniques Explained, Bodkin Design & Engineering <u>http://www.bodkindesign.com/wpcontent/uploads/2012/09/Hyperspectral-1011</u>

http://eo1.gsfc.nasa.gov/new/validationReport/Technology/TRW

http://eo1.usgs.gov/userGuide

https://lpdaac.usgs.gov/

http://www.nasa.gov/

Encyclopaedia Britanica (2015) Pahoehoe, Available at: http://www.britannica.com

Richard Roscoe (2015) Lava Flow During Eruption Of Mount Etna, Available at: <u>http://fineartamerica.com</u>

Fraser Cain (April 14, 2009) Parts of a Volcano, Available at: <u>http://www.universetoday.com</u>.

http://www.ct.ingv.it

http://www.hyspex.no

Smithsonian Institute (http://volcano.si.edu/learn_galleries).

Smithsonian Institute (<u>http://volcano.si.edu</u>)

Sezione di Catania-Observatorio Etneo – INGV, (<u>www.ct.ingv.it/en/</u>)

http://www.geo.auth.gr.

http://www.geology.sdsu.edu

11. Παράρτημα

Βάση από την οποία εξάγονται τα δεδομένα (datasets) του δορυφόρου Hyperion. Στη συγκεκριμένη ιστοσελίδα, η οποία κατασκευάστηκε από την Γεωλογική Υπηρεσία των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής δίνει τη δυνατότητα σε έναν απλό χρήστη να λάβει πολυφασματικά και υπερφασματικά δεδομένα δωρεάν. Στη εικόνα 129 παρουσιάζεται ο τρόπος απόκτησης δεδομένων Hyperion για την περιοχή μελέτης.



Εικόνα 129: Το περιβάλλον του ιστότοπου Glovis (USGS), με το οποίο δίνεται η δυνατότητα απόκτησης των δεδομένων Hyperion

Nuova, Voragine (με κόκκινο) για τη χρονική διάρκεια 2000-2015 Εικόνα 130: Διάγραμμα απεικόνισης των διαθέσιμων δεδομένων (με μπλε), και των εκρήξεων με έκχυση λάβας από τους κεντρικούς κρατήρες North East, Bocca





Εικόνα 131: Τα σφάλματα στην διαδικασία της ατμοσφαιρικής διόρθωσης με την χρήση των Tiles (100 Mb) Δεξιά: Το φασματικό κανάλι 7 της εικόνας 2012 Κέντρο: Το φασματικό κανάλι 8 της εικόνας 2012 Αριστερά: Το φασματικό κανάλι 58 της εικόνας 2012

	Αριθμός καναλιών	Μήκος κύματος (nm)				
1	1	355.59				
2	2	356.76				
3	3	375.94				
4	4	386.11				
5	5	396.29				
6	6	406.46				
7	7	416.64				
8	58	935.58				
9	59	945.76				
10	60	955.93				
11	61	966.11				
12	62	976.28				
13	63	986.46				
14	64	966.63				
15	65	1006.81				
16	66	1016.98				
17	67	1027.16				
18	68	1037.33				
19	69	1047.51				
20	70	1057.68				
21	71	851.92				
22	72	862.01				
23	73	872.10				
24	74	882.19				
25	75	892.28				

Πίνακας 58: Αναλυτική λίστα με τα μη βαθμονομημένα φασματικά κανάλια καθώς και τα μήκη κύματος του δέκτη Hyperion.

26	76	902.36
27	225	2405.6
28	226	2415.7
29	227	2425.8
30	228	2435.89
31	229	2445.99
32	230	2456.09
33	231	2466.09
34	232	2476.18
35	233	2486.29
36	234	2496.39
37	235	2506.48
38	236	2516.59
39	237	2526.67
40	238	2536.78
41	239	2546.87
42	240	2556.98
43	241	2566.98
44	242	2577.08

Πίνακας 59: Αναλυτική λίστα με τα 153 φασματικά κανάλια και με τα μήκη κύματος (nm) που επιλέχθηκαν

	Φασματι κά	Μήκος κύματος		Φασματι κά	Μήκος κύματος		Φασματι κά	Μήκος κύματος
-	καναλία	(nm)		καναλία	(nm)		καναλία	(nm)
1	8	426,82	52	83	972,99	103	147	1618,71
2	9	436,99	53	84	983,08	104	148	1628,81
3	10	447,17	54	85	993,17	105	149	1638,81
4	11	457,34	55	86	1003,3	106	150	1648,9
5	12	467,52	56	87	1013,3	107	151	1659
6	13	477,69	57	88	1023,4	108	152	1669,1
7	14	487,87	58	89	1033,49	109	153	1679,2
8	15	498,04	59	90	1043,59	110	154	1689,3
9	16	508,22	60	91	1053,69	111	155	1699,4
10	17	518,39	61	92	1063,79	112	156	1709,5
11	18	528,57	62	93	1073,89	113	157	1719,6
12	19	538,74	63	94	1083,99	114	158	1729,7
13	20	548,92	64	95	1094,09	115	159	1739,7
14	21	559 <i>,</i> 09	65	96	1104,19	116	160	1749,79
15	22	569,27	66	97	1114,19	117	161	1759,89
16	23	579 <i>,</i> 45	67	98	1124,28	118	162	1769,99
17	24	589,62	68	99	1134,38	119	163	1780,09
18	25	599 <i>,</i> 8	69	100	1144,48	120	164	1790,19
19	26	609,97	70	101	1154,58	121	183	1981,86
20	27	620,15	71	102	1164,68	122	184	1991,96
21	28	630,32	72	103	1174,77	123	188	2032,35
22	29	640,5	73	104	1184,87	124	191	2062,55

23	30	650,67	74	105	1194,97	125	192	2072,65
24	31	660,85	75	106	1205,07	126	193	2082,75
25	32	671,02	76	107	1215,17	127	194	2092,84
26	33	681,2	77	108	1225,17	128	195	2102,94
27	34	691,37	78	109	1235,27	129	196	2113,04
28	35	701,55	79	110	1245,36	130	197	2123,14
29	36	711,72	80	111	1255,46	131	198	2133,24
30	37	721,9	81	112	1265,56	132	199	2143,34
31	38	732,07	82	113	1275,66	133	200	2153,34
32	39	742,25	83	114	1285,76	134	201	2163,43
33	40	752,43	84	115	1295,86	135	202	2173,53
34	41	762,6	85	116	1305,96	136	203	2183,63
35	42	772,78	86	117	1316,05	137	204	2193,73
36	43	782,95	87	118	1326,05	138	205	2203,83
37	44	793,13	88	119	1336,15	139	206	2213,93
38	45	803,3	89	133	1477,43	140	207	2224,03
39	46	813,48	90	134	1487,53	141	208	2234,12
40	47	823,65	91	135	1497,63	142	209	2244,22
41	48	833,83	92	136	1507,73	143	210	2254,22
42	49	844	93	137	1517,83	144	211	2264,32
43	50	854,18	94	138	1527,92	145	212	2274,42
44	51	864,35	95	139	1537,92	146	213	2284,52
45	52	874,53	96	140	1548,02	147	214	2294,61
46	53	884,7	97	141	1558,12	148	215	2304,71
47	54	894,88	98	142	1568,22	149	216	2314,81
48	55	905,05	99	143	1578,32	150	217	2324,91
49	56	915,23	100	144	1588,42	151	218	2335,01
50	57	925,41	101	145	1598,51	152	219	2345,11
51	79	932,64	102	146	1608,61	153	220	2355,21



Εικόνα 132: Οι εικόνες συνιστώσες 1,4,5 (από αριστερά στα δεξιά) που δημιουργήθηκαν από τον μετασχηματισμό MNF για την εικόνα 2009 και θα χρησιμοποιηθούν για την αντίστροφη διαδικασία του μετασχηματισμού



Εικόνα 133: Οι εικόνες συνιστώσες 6,8 (από αριστερά στα δεξιά) που δημιουργήθηκαν από τον μετασχηματισμό MNF για την εικόνα 2009 και θα χρησιμοποιηθούν για την αντίστροφη διαδικασία του μετασχηματισμού



Εικόνα 134: Οι εικόνες συνιστώσες 1,4,5 (από αριστερά στα δεξιά) που δημιουργήθηκαν από τον μετασχηματισμό MNF για την εικόνα 2012 και θα χρησιμοποιηθούν για την αντίστροφη διαδικασία του μετασχηματισμού



Εικόνα 135: Οι εικόνες συνιστώσες 6,7,8 (από αριστερά στα δεξιά) που δημιουργήθηκαν από τον μετασχηματισμό MNF για την εικόνα 2012 και θα χρησιμοποιηθούν για την αντίστροφη διαδικασία του μετασχηματισμού



Εικόνα 136: Οι εικόνες συνιστώσες 1,2,3 (από αριστερά στα δεξιά) που δημιουργήθηκαν από τον μετασχηματισμό της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών (Principal Component Analysis-PCA) για την εικόνα 2009 και θα χρησιμοποιηθούν για την αντίστροφη διαδικασία του μετασχηματισμού



Εικόνα 137: Οι εικόνες συνιστώσες 4,5 (από αριστερά στα δεξιά) που δημιουργήθηκαν από τον μετασχηματισμό της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών (Principal Component Analysis-PCA) για την εικόνα 2009 και θα χρησιμοποιηθούν για την αντίστροφη διαδικασία του μετασχηματισμού



Εικόνα 138: Οι εικόνες συνιστώσες 1,2,3 (από αριστερά στα δεξιά) που δημιουργήθηκαν από τον μετασχηματισμό της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών (Principal Component Analysis-PCA) για την εικόνα 2012 και θα χρησιμοποιηθούν για την αντίστροφη διαδικασία του μετασχηματισμού



Εικόνα 139: Οι εικόνες συνιστώσες 4,5,7 (από αριστερά στα δεξιά) που δημιουργήθηκαν από τον μετασχηματισμό της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών (Principal Component Analysis-PCA) για την εικόνα 2012 και θα χρησιμοποιηθούν για την αντίστροφη διαδικασία του μετασχηματισμού