



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

Τομέας Τοπογραφίας  
Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης

**Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε  
Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550**

Διπλωματική εργασία του Κολωνιάτη Κωνσταντίνου

**Τριμελής επιτροπή**

Βασιλεία Καραθανάση, Καθηγήτρια ΕΜΠ  
Κωνσταντίνος Καράντζαλος, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ  
Πολυχρόνης Κολοκούσης, ΕΔΙΠ ΕΜΠ

Αθήνα, Μάρτιος 2018

Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του  
Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
ABSTRACT.....	5
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	6
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	7
2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΟΥ ΧΑΜΟΓΕΛΟΥ .....	9
2.1 Το φασματικό χαμόγελο.....	9
2.2 Προσέγγιση του φαινομένου του φασματικού χαμόγελου στη Διεθνή Βιβλιογραφία.....	11
2.3 Σύγκριση μεθόδων .....	16
3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	18
3.1 Περιγραφή προβλήματος .....	18
3.2 Περιοχή μελέτης .....	18
3.3 Δέκτης.....	19
3.3.1. Χαρακτηριστικά και προδιαγραφές του υπερφασματικού δέκτη CASI-550.....	21
3.3.2. Ρυθμίσεις οργάνου κατά την λήψη των εικόνων στην περιοχή μελέτης .....	23
3.4 Προγραμματισμός πτήσης.....	25
3.5 Δεδομένα για την εφαρμογή διόρθωσης .....	29
4. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΟΡΘΩΣΗΣ ΤΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ CASI-550 .....	33
4.1 Επιλογή μεθόδου διόρθωσης .....	33
4.1.1 Τροποποίηση μεθόδου TLSC.....	33
4.2 Αναλυτική περιγραφή τροποποιημένης μεθόδου TLSC .....	34
4.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ TLSC .....	37
4.3.1 Στάδιο ποσοτικοποίησης της επίδρασης του φασματικού χαμόγελου .....	38
4.3.2 Στάδιο υπολογισμού τιμών διόρθωσης.....	45

## Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550

4.3.3 Στάδιο εφαρμογής των διορθώσεων στις εικόνες .....	46
5. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΔΙΟΡΘΩΣΗΣ ΣΤΙΣ ΕΙΚΟΝΕΣ CASI-550.....	47
5.1 Οπτική αξιολόγηση .....	47
5.2 Σύγκριση γραφικής παράστασης φασματικού χαμόγελου πριν και μετά την διόρθωση .....	54
5.3. Έλεγχος δυνατότητας μελέτης της ανακλαστικότητας διαφορετικής γωνίας όρασης και φωτισμού (BRDF) μετά την διόρθωση .....	59
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	61
6.1 Συμπεράσματα .....	61
6.2 Προτάσεις.....	62
ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ .....	64
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ .....	64
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	65
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	65
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	66
Βιβλία.....	66
Δημοσιεύσεις .....	66
Διαδικτυακοί Τόποι .....	67
Διπλωματικές Εργασίες.....	68
Πρακτικά Συνεδρίου.....	68
Τεχνικές Εκθέσεις .....	68

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει μια σταθερή αύξηση στη ζήτηση και χρήση Τηλεπισκοπικών δεδομένων για πληθώρα εφαρμογών σε πολλούς τομείς, όπως η γεωργία και η παρακολούθηση του περιβάλλοντος. Η συγκεκριμένη τάση όμως προκαλεί και αύξηση της ανάγκης για ολοένα και πιο αξιόπιστα δεδομένα. Σε αυτά τα πλαίσια, η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία ερευνά την δυνατότητα εξάλειψης της επίδρασης μιας φασματικής παραμόρφωσης, γνωστής ως φασματικό χαμόγελο, από εναέριες υπερφασματικές εικόνες δέκτη CASI-550, στα πλαίσια των δυνατοτήτων ενός τελικού χρήστη παρόμοιων υπερφασματικών εικόνων. Το φασματικό χαμόγελο είναι ένα συνηθισμένο αλλά ιδιαίτερα ενοχλητικό φαινόμενο που συναντάται σε απεικονίσεις από δέκτες τύπου pushbroom. Εμφανίζεται ως μια διαβάθμιση της φωτεινότητας μιας εικόνας κάθετα στην διεύθυνση λήψης της και ανάλογα με την σοβαρότητα της κάθε περίπτωσης, μπορεί να οδηγήσει σημαντικά λάθη σε εφαρμογές Τηλεπισκόπησης, όπως λανθασμένες ταξινομήσεις.

Μετά την προσεκτική μελέτη της διεθνούς βιβλιογραφίας πάνω στο συγκεκριμένο αντικείμενο, επιλέχθηκε η μέθοδος TLSC (Trend Line Smile Correction-TLSC) (Dadon 2010) ώστε να εξετασθεί εάν μπορεί να εφαρμοσθεί και σε απεικονίσεις εναέριου δέκτη, όπως ο CASI-550, με αξιόπιστα αποτελέσματα. Η μέθοδος τροποποιήθηκε ελαφρώς ώστε να αντιμετωπιστούν προβλήματα που προέκυψαν κατά την εφαρμογή της μεθόδου. Χρησιμοποιώντας την μέθοδο TLSC, η επίδραση του φασματικού χαμόγελου στις εικόνες ποσοτικοποιήθηκε και χρησιμοποιώντας μια συνάρτηση διόρθωσης που προέκυψε από τα δεδομένα της ποσοτικοποίησης, τα δεδομένα της πρώτης συνιστώσας του MNF (MNF-1) διορθώθηκαν. Στη συνέχεια, οι αρχικές εικόνες αναδημιουργήθηκαν με βάση τα διορθωμένα δεδομένα του MNF.

Μετά την εφαρμογή της μεθόδου TLSC στα τηλεπισκοπικά δεδομένα και την ακόλουθη αξιολόγηση, τα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι ιδιαίτερα ενθαρρυντικά καθώς η διαβάθμιση της φωτεινότητας των εικόνων εξαιτίας της επίδρασης του φασματικού χαμόγελου σχεδόν εξαλείφθηκε ενώ, παράλληλα, διατηρήθηκε η ραδιομετρία των εικόνων.

## **ABSTRACT**

In recent years, there has been a steady increase of the demand for Remote Sensing Data for a vast range of applications in various scientific and vocational sectors, like precision agriculture and monitoring environmental changes. However, this particular trend creates an increase in demand for more reliable data. In this context, the current diploma thesis researches the possibility of eliminating the effect of a spectral distortion known as spectral smile/frown effect or spectral curve, found in airborne hyperspectral images of CASI-550 imager, based on the capabilities of an end-user of similar spectral products. Spectral smile effect is a usual but extremely annoying spectral distortion, found in data recorded from pushbroom type sensors. It appears as a cross-track brightness variation of the image and depending on the severity of the case, it may lead to significant errors during remote sensing applications, such as misclassifications.

After careful evaluation of the international publications that have looked into this subject, the TLSC method (Dadon 2010) got chosen and tested in order to determine its viability as a reliable method to eliminate the effect of spectral smile from airborne hyperspectral images, like those of CASI-550 imager. The method was slightly altered in order to overcome problems that occurred during the process of the application. Using the TLSC method, the spectral smile effect was successfully quantified and using a correction function, derived from the data of the quantification, the data of the first MNF image (MNF-1) were corrected. Then, the original images were recreated using the corrected MNF-1 data.

The results of the application of TLSC method to the images of CASI-550 imager and the evaluation of the corrected data were highly promising. After the application of TLSC method at the data, the brightness variation, caused by the spectral smile effect, disappeared without creating false spectra.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πριν την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της παρούσας Διπλωματικής εργασίας, αισθάνομαι υποχρεωμένος να απευθύνω τις ευχαριστίες μου προς ορισμένα άτομα που λειτούργησαν καταλυτικά στην πορεία για την επιτυχή ολοκλήρωση της.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Καθηγήτρια Καραθανάση Βασιλεία. Η επιλογή ενός θέματος που αφορά τον κλάδο της Υπερφασματικής Τηλεπισκόπησης ως αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής εργασίας, στην οποία ήταν και επιβλέπουσα, οφείλεται κατά κύριο λόγο στις διαλέξεις της στα Ειδικά Κεφάλαια Τηλεπισκόπησης, μέσα από τις οποίες αναπτύχθηκε το ενδιαφέρον μου για τον συγκεκριμένο κλάδο. Θα ήθελα να την ευχαριστήσω για την συνεργασία μας όλο αυτό το διάστημα, τις γνώσεις που μου μετέδωσε, τις συμβουλές της, την καθοδήγηση της καθώς και για την κατανόηση της, την υπομονή της και την αμεσότητα με την οποία ανταποκρινόταν στα προβλήματα που ανέκυπταν.

Παράλληλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους Διδάκτορες Μηχανικούς Ανδρόνη Βασίλειο και Κολοκούση Πολυχρόνη για την πολύτιμη και ουσιαστική συμβολή τους στην αντιμετώπιση των τεχνικών προβλημάτων που προέκυψαν κατά την εκπόνηση της συγκεκριμένης Διπλωματικής εργασίας.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους δικούς μου ανθρώπους, φίλους και συγγενείς και ιδιαίτερα τους Α. Μπισκίνη, Ε. Κρανά, Γ. Μπλάνα, Δ. Παπαϊωάννου, Χ. Γεωργίου και Θ. Κουλό, των οποίων η υπομονή, το ενδιαφέρον και η ψυχολογική υποστήριξη που μου παρείχαν κατά την εκπόνηση αυτής της εργασίας, ήταν πολύ σημαντικά ώστε να επιτύχω τους στόχους μου.

Τέλος, θα ήθελα να πω το μεγαλύτερο ευχαριστώ στην οικογένεια μου, στους γονείς μου, Γιώργο Κολωνιάτη και Αγγελική Φράγκου, και στον αδερφό μου, Θωμά Κολωνιάτη, για την υλική και ψυχολογική υποστήριξη που μου παρείχαν, την πίστη τους σε εμένα και τις δυνατότητες μου καθώς και για τις αξίες και το ήθος που μου έχουν εμφυσήσει.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο όρος Τηλεπισκόπηση αποδίδεται στην επιστήμη που ασχολείται με την μέτρηση ή την παρατήρηση φαινομένων και χαρακτηριστικών αντικειμένων του περιβάλλοντος από απόσταση. Οι παρατηρήσεις επιτυγχάνονται με την χρήση δεκτών οι οποίοι καταγράφουν την ανακλώμενη (ή εκπεμπόμενη σε ορισμένες εφαρμογές) ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία των αντικειμένων σε διάφορα μήκη κύματος. Οι δέκτες που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της ανακλώμενης ακτινοβολίας ονομάζονται φασματόμετρα ή φασματοραδιόμετρα και μπορεί να είναι επίγειοι, αερομεταφερόμενοι ή να βρίσκονται σε τεχνητούς δορυφόρους σε τροχιά. Το κύριο πλεονέκτημα της επιστήμης της τηλεπισκόπησης είναι ότι αξιοποιώντας τα δεδομένα που προκύπτουν από τις παρατηρήσεις και σε συνδυασμό με τις μεθόδους ανάλυσης που έχουν αναπτυχθεί και συνεχίζουν να αναπτύσσονται δίνει την δυνατότητα να μελετηθούν εκτεταμένες και πολλές φορές απροσπέλαστες περιοχές, με χαμηλό κόστος και σε ένα εύλογο χρονικό διάστημα.

Δύο βασικά κριτήρια κατηγοριοποίησης των δεκτών είναι η πηγή της ακτινοβολίας από την οποία προέρχεται η μετρούμενη από το δέκτη ανακλώμενη ακτινοβολία, καθώς και ο αριθμός των καναλιών που χρησιμοποιούν για να καταγράφουν την ανακλώμενη ακτινοβολία των αντικειμένων σε μια περιοχή του φάσματος. Οι δέκτες που καταγράφουν ακτινοβολία η οποία έχει πηγή τον ίδιο τον δέκτη, όπως τα ραντάρ, ονομάζονται ενεργητικοί, ενώ οι δέκτες που καταγράφουν ακτινοβολία που προέρχεται από άλλη φωτεινή πηγή όπως ο ήλιος, παθητικοί. Αντίστοιχα, χωρίζονται στους παγχρωματικούς που χρησιμοποιούν ένα κανάλι για μια περιοχή του φάσματος, τους πολυφασματικούς που χρησιμοποιούν από δύο έως μερικές δεκάδες κανάλια και τους υπερφασματικούς που χρησιμοποιούν συνήθως από εξήντα έως και εκατοντάδες κανάλια και έχουν φασματικοί ανάλυση μικρότερη από 20 nm ανά κανάλι.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής αποτελεί η διόρθωση της επίδρασης του φαινομένου του φασματικού «χαμόγελου» σε εικόνες που έχουν ληφθεί από αερομεταφερόμενο υπερφασματικό δέκτη CASI550. Το φασματικό «χαμόγελο» είναι ένα σύνηθες φαινόμενο που επηρεάζει εικόνες που έχουν ληφθεί από υπερφασματικούς δέκτες τύπου Pushbroom και έχει ως αποτέλεσμα σημαντικές επιπτώσεις στα αποτελέσματα μεθόδων φασματικής ή/και οπτικής ανάλυσης, ενώ σε ακραίες περιπτώσεις μπορεί να μην υπάρχει δυνατότητα αξιοποίησης των εικόνων. Λόγω των σημαντικών



## Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550

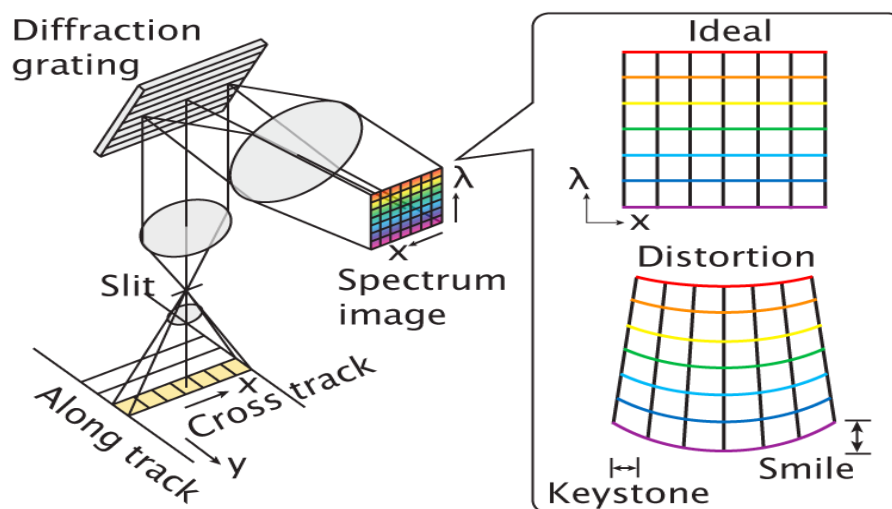
επιπτώσεων του φαινομένου έχουν γίνει μελέτες για την ποσοτικοποίηση και την διόρθωση των επιπτώσεων του, η πλειοψηφία των οποίων επικεντρώνεται σε δεδομένα που έχουν προκύψει από δορυφορικούς υπερφασματικούς δέκτες. Η παρούσα μελέτη θεωρήθηκε ότι έχει να προσφέρει στην επιστημονική έρευνα, καθώς επιχειρεί να εξετάσει μια μέθοδο διόρθωσης των επιδράσεων του «χαμόγελου» σε δεδομένα αερομεταφερόμενου υπερφασματικού δέκτη.

Ένας από τους σημαντικότερους στόχους της παρούσας μελέτης είναι η προσαρμογή της μεθόδου Trend Line Smile Correction (Dadon, 2010) με σκοπό την ανάπτυξη μιας μεθόδου διόρθωσης της επίδρασης του «χαμόγελου» για εικόνες αερομεταφερόμενου δέκτη. Αν και έχουν προταθεί αρκετές μέθοδοι διόρθωσης στην διεθνή βιβλιογραφία, οι περισσότερες από αυτές χαρακτηρίζονται από προϋποθέσεις που σε πολλές περιπτώσεις τις καθιστούν πρακτικά αδύνατο να εφαρμοστούν ή ασύμφωρες οικονομικά ή χρονικά για τον μέσο χρήστη. Τέτοιες προϋποθέσεις είναι η ύπαρξη ομοιογενούς περιοχής κατά μήκος της εικόνας, λεπτομερής εργαστηριακή βαθμονόμηση του δέκτη και της επίδρασης του «χαμόγελου» στις εικόνες ή η πρόσβαση σε εξειδικευμένο λογισμικό. Η μέθοδος που εξετάζεται στην παρούσα μελέτη είναι προσανατολισμένη στις ανάγκες του μέσου χρήστη, χρησιμοποιώντας δεδομένα τα οποία μπορούν να εξαχθούν άμεσα από την εικόνα και μπορεί να εφαρμοστεί γρήγορα, με την χρήση κοινών λογισμικών που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση τηλεπισκοπικών δεδομένων.

## 2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΟΥ ΧΑΜΟΓΕΛΟΥ

### 2.1 Το φασματικό χαμόγελο

Το φασματικό χαμόγελο είναι μια φασματική παραμόρφωση που εμφανίζεται συχνά στους δέκτες τεχνολογίας pushbroom και οφείλεται στην μη ορθή ευθυγράμμιση της 2-διαστάσεων συστοιχίας ανιχνευτών που χρησιμοποιούν για την καταγραφή των φασματικών δεδομένων. Ως αποτέλεσμα του σφάλματος στη συστοιχία ανιχνευτών προκύπτει μια παραμόρφωση στη φασματική απόκριση του δέκτη, καθώς, το κεντρικό μήκος κύματος και το πλάτος της φασματικής απόκρισης για κάθε περιοχή του φάσματος που λαμβάνει εικόνα ποικίλλουν ανάλογα με τη χωρική θέση στη συστοιχία ανιχνευτών.



Εικόνα 1: Το φασματικό χαμόγελο στο δέκτη (πηγή: Yokoya, 2010)

Στις περισσότερες περιπτώσεις, η μετατόπιση του κεντρικού μήκους κύματος, σε σχέση με τη χωρική θέση κάθετα της γραμμής λήψης, λόγω του φαινομένου του φασματικού χαμόγελου, σχηματίζει ένα μοτίβο ομαλής καμπύλης. Η κορυφή της καμπύλης συχνά βρίσκεται περίπου στο μέσο της εικόνας σχηματίζοντας ένα χαμόγελο, δίνοντας με αυτό τον τρόπο και το όνομα φασματικό χαμόγελο στο φαινόμενο. Η επίδραση του χαμόγελου παρατηρείται στις υπερφασματικές εικόνες ως μια φωτεινή διαβάθμιση στην πρώτη συνιστώσα του MNF (Green et al. 1988) ή ακόμα και στην αρχική εικόνα όταν η επίδραση είναι πολύ έντονη. Εμπειρικά, θεωρείται,

## Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550

πως εάν η επίδραση του φαινομένου δεν είναι ορατή στην πρώτη συνιστώσα του MNF, αγνοείται. Το φαινόμενο του φασματικού χαμόγελου αποτελεί ένα είδος φασματικής παραμόρφωσης. Αποτέλεσμα αυτής της παραμόρφωσης είναι τα φασματικά δεδομένα των υπερφασματικών εικόνων που υποφέρουν από την επίδραση του φασματικού χαμόγελου να είναι “λανθασμένα”, υποβαθμίζοντας συχνά τα αποτελέσματα μεθόδων ανάλυσης όπως η ταξινόμηση και οδηγώντας σε λάθος σε ταυτοποιήσεις των παρατηρούμενων αντικειμένων την επιφάνειας. Ανάλογα με τον βαθμό της έντασης της παραμόρφωσης σε μια υπερφασματική εικόνα, αλλά και την εφαρμογή για την οποία προορίζεται να χρησιμοποιηθεί η εικόνα, η επίδραση του χαμόγελου μπορεί να είναι αμελητέα και να δύναται να αγνοηθεί ή να είναι τόσο έντονη που να καθιστά την εικόνα μη αξιοποιήσιμη, ειδικά σε εφαρμογές υψηλής ακρίβειας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι εφαρμογές που αφορούν την βλάστηση, όπου στην περιοχή του φάσματος μεταξύ κόκκινου και εγγύς υπέρυθρου στα 670nm-780nm μικρές μετατοπίσεις του κεντρικού μήκους κύματος έχουν ως αποτέλεσμα μεγάλες μεταβολές στα αποτελέσματα δεικτών όπως ο NDVI ή ο υπολογισμός του ποσοστού χλωροφύλλης, καθώς υπάρχει απότομη μεταβολή της ανακλαστικότητας με αποτέλεσμα να μην μπορεί να εντοπιστεί με ακρίβεια η θέση Red-Edge (Red-Edge Position-REP). Μια μετατόπιση της τάξης των 2 nm στην REP μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση ή μείωση της υπολογιζόμενης ποσότητας χλωροφύλλης κατά 20% σε σχέση με την πραγματική κατά το μοντέλο των Chao και Skidmore (2006), ή κατά 40% για μετατόπιση 1 nm κατά το μοντέλο των Guyot και Baret (1998). Ένα ακόμα πρόβλημα που δύναται να προκύψει είναι η λανθασμένη ατμοσφαιρική διόρθωση εικόνων λόγω της μετατόπισης του κεντρικού μήκους κύματος στις περιοχές απορρόφησης αερίων όπως του οξυγόνου στα 762nm. Είναι απαραίτητο να τονιστεί πως λόγω του χαμόγελου σε μια απεικόνιση μπορεί να προκληθούν σημαντικά προβλήματα κατά την διαδικασία της ατμοσφαιρικής διόρθωσης. Καθώς όλα τα λογισμικά ατμοσφαιρικής διόρθωσης χρησιμοποιούν αλγόριθμους μοντέλων μεταφοράς ακτινοβολίας (RTM), όπως το MODTRAN 4+ και ο αλγόριθμος 6S, είναι πολύ σημαντικό να είναι γνωστές, με απόλυτη ακρίβεια, οι θέσεις του κεντρικού μήκους κύματος των ζωνών καταγραφής και ιδιαίτερα στις φασματικές περιοχές απορρόφησης αερίων (Staenz 2002). Λόγω της επίδρασης του χαμόγελου αυτές οι θέσεις δεν είναι γνωστές με ακρίβεια με αποτέλεσμα να είναι πιθανή η μη επαρκής ατμοσφαιρική διόρθωση των υπερφασματικών εικόνων και η παραγωγή θορυβωδών προϊόντων ανακλαστικότητας.

Γενικά, οι χρήστες των υπεραφασματικών απεικονίσεων για να αντιμετωπίσουν τα προβλήματα

## Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550

που προκύπτουν εξαιτίας της επίδρασης του φασματικού χαμόγελου στις εικόνες εφαρμόζουν μεθόδους όπως διορθώσεις εξομάλυνσης των τιμών της πρώτης συνιστώσας του MNF, η ολική αφαίρεση της πρώτης συνιστώσας του MNF ή η αποκοπή των τμημάτων της υπερφασματικής εικόνας που επηρεάζονται περισσότερο από το χαμόγελο. Οι παραπάνω μέθοδοι δεν μπορούν να θεωρηθούν αξιόπιστες καθώς δεν διορθώνουν την επίδραση του χαμόγελου με ακρίβεια αλλά εμμέσως και εξαλείφοντας παράλληλα και σημαντικά δεδομένα από τις υπερφασματικές απεικονίσεις.

### 2.2 Προσέγγιση του φαινομένου του φασματικού χαμόγελου στη Διεθνή Βιβλιογραφία

Αν και το φαινόμενο του φασματικού χαμόγελου αποτελεί εξαιρετικά σημαντικό και σύνηθες σφάλμα που εμφανίζεται σε υπερφασματικές εικόνες οι έρευνες που έχουν γίνει για την αντιμετώπιση του είναι σχετικά λίγες και με κύριο αντικείμενο την αντιμετώπιση του φαινομένου στα προϊόντα του δορυφορικού δέκτη Hyperion. Οι ερευνητές δεν έχουν καταφέρει να βρουν μία συνολική θεραπεία για τις επιδράσεις του φαινομένου στα φασματικά δεδομένα, όμως έχουν προταθεί αρκετές μέθοδοι που επιχειρούν να τις ελαχιστοποιήσουν. Κατά κανόνα, οι πιο αξιόπιστες μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί για την διόρθωση της επίδρασης του χαμόγελου από μια εικόνα αποτελείται από 2 διακριτά βήματα: την ποσοτικοποίηση της επίδρασης του χαμόγελου στην εικόνα βάσει δεικτών που εξάγονται από τα δεδομένα της εικόνας και την εφαρμογή της διόρθωσης που υπολογίζεται από τους δείκτες ποσοτικοποίησης.

Μολονότι η επίδραση του φαινομένου στις εικόνες από αερομεταφερόμενους δέκτες είναι περισσότερο αισθητή εξαιτίας της αστάθειας της πλατφόρμας και της υψηλότερης χωρικής ανάλυσης, οι μελέτες πάνω στο φαινόμενο επικεντρώνονται κατεξοχήν στην ποσοτικοποίηση του χαμόγελου πάρα στην ανάπτυξη μεθοδών διόρθωσης των επιδράσεων του. Ο Martinez (2011) έδειξε ότι εάν ληφθεί υπόψη η επίδραση του χαμόγελου κατά την ατμοσφαιρική διόρθωση εικόνων CASI 550 τότε τα φασματικά προϊόντα που προκύπτουν είναι αρκετά ποιοτικότερα. Και ο Martinez (2011) και ο Guanter (2009) έδειξαν ότι οι ονομαστικές τιμές που παρέχουν οι κατασκευαστές των οργάνων για το εύρος που κυμαίνεται το κεντρικό μήκος κύματος για μια φασματική περιοχή καταγραφής απέχει αρκετά από το πραγματικό, κάτι που έχει ως αποτέλεσμα κατά την

## Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550

ραδιομετρική και ατμοσφαιρική διόρθωση επιδράσεις που οφείλονται σε παραμορφώσεις όπως το φασματικό χαμόγελο να μην εξαλείφονται.

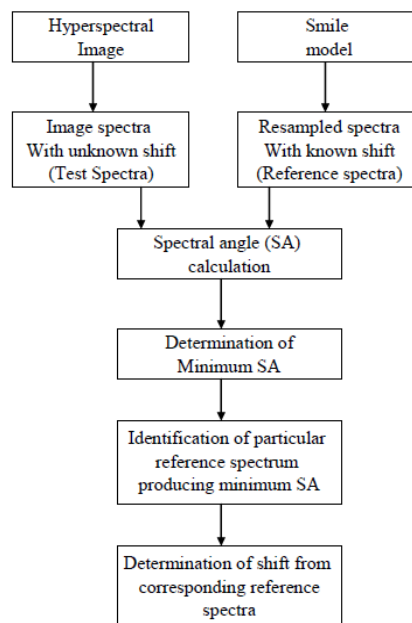
Αντίθετα με την έρευνα για την διόρθωση των επιδράσεων του φασματικού χαμόγελου στις υπερφασματικές εικόνες από αερομεταφερόμενους δέκτες, η έρευνα γύρω από τις εικόνες που έχουν ληφθεί από δορυφορικούς δέκτες βρίσκεται σε αρκετά πιο προχωρημένο στάδιο και ειδικά η έρευνα γύρω από τα προϊόντα του δέκτη Hyperion, καθώς η επίδραση του χαμόγελου στα δεδομένα του μετά την εκτόξευση του, εκτός από πολύ έντονη, είναι και διαφορετική από την επίδραση που είχε υπολογιστεί κατά την βαθμονόμηση του πριν την εκτόξευση. Αντίθετα, δεν συμβαίνει το ίδιο με τους δορυφόρους MERRIS και SENTINEL, με αποτέλεσμα οι οργανισμοί που τους διαχειρίζονται ή λογισμικά επεξεργασίας τηλεπισκοπικών δεδομένων να έχουν αναπτύξει εξειδικευμένους αλγόριθμους για την εξάλειψη της επίδρασης του χαμόγελου στα προϊόντα τους.

Σε σχέση με τον Hyperion, αρχικά, ο Goodenough (2003) εξέτασε τρεις μεθόδους διόρθωσης του φασματικού χαμόγελου για εικόνες Hyperion. Η πρώτη μέθοδος βασίστηκε στο πιστοποιητικό βαθμονόμησης πριν την εκτόξευση του δορυφόρου όπου είχε μοντελοποιηθεί η μετατόπιση του κεντρικού μήκους κύματος κάθε δίαυλου από την αντίστοιχη ονομαστική τιμή. Χρησιμοποίησε για την διόρθωση μεθόδους γραμμικής προσαρμογής και παρεμβολής, όμως η μέθοδος απέτυχε να αφαιρέσει την φωτεινή διαβάθμιση από τα δεδομένα της πρώτης συνιστώσας του MNF καθώς η μετά την εκτόξευση η βαθμονόμηση του δέκτη είχε μεταβληθεί, κάτι που ερχόταν σε συμφωνία και με προηγούμενες παρατηρήσεις και έρευνες. Όμως, η μέθοδος κατάφερε να διορθώσει πλήρως επιδράσεις που είχαν εισαχθεί τεχνητά σε εικόνα AVIRIS, οδηγώντας στο συμπέρασμα ότι η μέθοδος μπορεί να λειτουργήσει όμως είναι απαραίτητη η ύπαρξη ενός σωστού πιστοποιητικού βαθμονόμησης. Η δεύτερη μέθοδος που χρησιμοποιήσε βασιζόταν στην προϋπόθεση ότι η εικόνα είναι επαρκώς ομογενής. Πιο συγκεκριμένα, έθεσε ως μέση τιμή κάθε στήλης της αρχικής εικόνας ίση με την μέση τιμή ολόκληρης της αρχικής εικόνας για κάθε δίαυλο. Η μέθοδος κατάφερε να εξαλείψει την φωτεινή διαβάθμιση αλλά δημιούργησε παραμορφώσεις στα φασματικά δεδομένα, καθώς κατά κανόνα μία εικόνα δεν είναι αρκετά ομογενής ώστε να λειτουργήσει η συγκεκριμένη μέθοδος. Τέλος, η τρίτη μέθοδος που χρησιμοποιήσε ήταν η ίδια με την δεύτερη, όμως την εφάρμοσε στις συνιστώσες του MNF. Και αυτή η μέθοδος αφαίρεσε τη φωτεινή διαβάθμιση αλλά δημιούργησε και αυτή παραμορφώσεις στα φασματικά δεδομένα.

Ο Aktaruzzaman (2008) πρότεινε τόσο μια μέθοδο ποσοτικοποίησης της επίδρασης του

## Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550

φασματικού χαμόγελου στα δεδομένα όσο και μια μέθοδο διόρθωσης της. Χρησιμοποιώντας τις συναρτήσεις φασματικής απόκρισης του δέκτη προσομοίωσε με τη χρήση του λογισμικού MODTRAN τις μεταβολές μιας τεχνητής φασματικής υπογραφής για την περιοχή των 762nm, την οποία δημιούργησε χρησιμοποιώντας ατμοσφαιρικά δεδομένα υψηλής ανάλυσης και τις συναρτήσεις φασματικής απόκρισης του δέκτη, για μετατοπίσεις από 0nm έως 6nm με βήμα 0.1nm. Στη συνέχεια, υπολόγισε την φασματική γωνία (Spectral angle) για κάθε μετατόπιση ως προς την μη μετατοπισμένη φασματική υπογραφή δημιουργώντας ένα μοντέλο αναφοράς. Σε επόμενο στάδιο, συνέκρινε τις φασματικές υπογραφές των καναλιών της περιοχής των 762nm κάθε στήλης μιας ομοιογενούς περιοχής της υπερφασματικής εικόνας με την μη μετατοπισμένη φασματική υπογραφή που είχε κατασκευάσει στο προηγούμενο βήμα, υπολογίζοντας τις φασματικές γωνίες για κάθε στήλη της εικόνας. Συγκρίνοντας τη φασματική γωνία κάθε στήλης με το μοντέλο που κατασκεύασε για τις διαφορετικές μετατοπίσεις, υπολόγισε την μετατόπιση λόγω του χαμόγελου για κάθε στήλη της εικόνας.

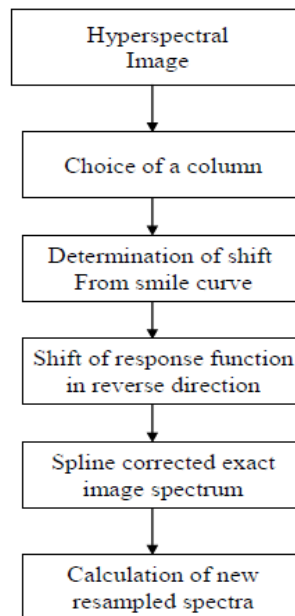


Εικόνα 2: Διάγραμμα ροής της μεθόδου ποσοτικοποίησης SQM (πηγή: Aktaruzzaman, 2008)

Για την διόρθωση της επίδρασης του χαμόγελου στην εικόνα, επανυπολόγισε, με βάση την μετατόπιση της κάθε στήλης, τις τιμές ανακλαστικότητας κάθε εικονοψηφίδας μετατοπίζοντας τις αρχικές συναρτήσεις φασματικής απόκρισης στην αντίθετη κατεύθυνση από την μετατόπιση λόγω

## Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550

χαμόγελου που υπολογίστηκε για κάθε στήλη.



Εικόνα 3: Διάγραμμα ροής μεθόδου διόρθωσης SCM (πηγή: Aktaruzzaman, 2008)

Η μέθοδος είχε ως αποτέλεσμα την εξάλειψη της φωτεινής διαβάθμισης στην εικόνα Hyperion και την μείωση της φασματικής μετατόπισης κάτω από  $\pm 1$  nm. Αντίθετα, στην εικόνα SEBASS, τα αποτελέσματα ήταν ασαφή, καθώς από τη μία το συστηματικό σφάλμα λόγω χαμόγελου απαλείφθηκε, η διορθωμένη εικόνα αποτελούνταν σχεδόν αποκλειστικά από θόρυβο. Το συγκεκριμένο αποτέλεσμα πιθανόν να οφείλεται, όμως, σε παράγοντες ανεξάρτητους της μεθόδου. Η συγκεκριμένη μέθοδος διόρθωσης είναι αρκετά υποσχόμενη καθώς έδειξε πως είναι ικανή να βελτιώσει σε ικανοποιητικό βαθμό την ακρίβεια σε εφαρμογές ταξινόμησης, όμως η εφαρμογή της γίνεται απευθείας σε δεδομένα ανακλαστικότητας με αποτέλεσμα να είναι πολύ πιθανό να δημιουργεί αλλοίωση των φασματικών δεδομένων.

Μία ακόμα προσπάθεια για την διόρθωση του φασματικού χαμόγελου σε δεδομένα Hyperion έγινε από τον Dadon (2010), ο οποίος πρότεινε την μέθοδο TLSC. Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιεί ως δείκτη για την ποσοτικοποίηση του χαμόγελου στην υπερφασματική εικόνα τις μεταβολές στην περιοχή της απορρόφησης του οξυγόνου (762nm). Πιο συγκεκριμένα, υπολογίζεται για κάθε εικονοψηφίδα η διαφορά των τιμών του δίαυλου της απορρόφησης του οξυγόνου στα 762nm με τον αμέσως επόμενο δίαυλο ως προς τον μέσο όρο των FWHM των 2 διαύλων, με αποτέλεσμα να παράγεται μια νέα εικόνα (ενδιάμεση εικόνα). Στη συνέχεια υπολογίζεται ο μέσος όρος των τιμών

## Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550

για κάθε στήλη της ενδιάμεσης εικόνας με αποτέλεσμα να προκύπτει η γραφική παράσταση της καμπύλης του χαμόγελου. Χρησιμοποιώντας δεδομένα που έχουν ληφθεί *in situ* για το αντικείμενο που αποτελεί την κύρια κάλυψη της επιφάνειας της υπερφασματικής εικόνας, υπολογίζεται στο λογισμικό MODTRAN 4 η τιμή της ακτινοβολίας στο δέκτη που θα έπρεπε να έχει το αντικείμενο στην περιοχή του φάσματος των διαυλών που χρησιμοποιήθηκαν προηγουμένως για τις συνθήκες που επικρατούσαν κατά την λήψη της εικόνας. Συγκρίνοντας την τιμή που προκύπτει από το MODTRAN 4 με τις τιμές της γραφικής παράστασης του χαμόγελου για την εικόνα, εντοπίζεται η στήλη η οποία υφίσταται την μικρότερη επίδραση του χαμόγελου. Για την διόρθωση του χαμόγελου στην εικόνα υπολογίζεται η γραμμή τάσης (πολυώνυμο 2ου βαθμού) που περιγράφει την γραφική παράσταση των μέσων όρων των τιμών των στηλών της. Στη συνέχεια αφαιρείται η τιμή της στήλης που υφίσταται την λιγότερη επίδραση από το χαμόγελο. Γίνεται μετασχηματισμός MNF στην αρχική εικόνα και υπολογίζεται ο μέσος όρων των τιμών των στηλών της πρώτης συνιστώσας του MNF (MNF-1) και δημιουργείται η αντίστοιχη γραφική παράσταση. Επόμενο βήμα της μεθόδου διόρθωσης είναι η μετατροπή των τιμών της γραμμής τάσης της ενδιάμεσης εικόνας που προέκυψε μετά την αφαίρεση τις τιμές της στήλης με την ελάχιστη επίδραση από την αρχική γραμμή τάσης στην κλίμακα τιμών της γραφικής παράστασης του MNF-1. Οι νέες τιμές για κάθε στήλη αποτελούν τις τιμές διόρθωσης. Οι τιμές διόρθωσης εισάγονται στην πρώτη συνιστώσα του MNF με βάση τον τύπο:

$$MNF-1_{TLSC} = \Sigma(X_{MNF} + (-TL_{CX}) \pm \Delta MSC)$$

όπου:  $MNF-1_{TLSC}$  η διορθωμένη εικόνα MNF-1,  $X_{MNF}$  το κάθε εικονοστοιχείο του MNF-1,  $TL_{CX}$  η τιμή της μετατιθεμένης Γραμμή Τάσης για την στήλη του εικονοστοιχείου  $X_{MNF}$  στην κλίμακα του MNF-1 και  $\Delta MSC$  η τιμή της διαφοράς μεταξύ γραμμής τάσης και γραφικής παράστασης στη στήλη που δέχεται την μικρότερη επίδραση από το χαμόγελο στην κλίμακα του MNF-1. Τελευταίο βήμα της διόρθωσης είναι η εφαρμογή της διαδικασίας του αντίστροφου μετασχηματισμού MNF στα διορθωμένα δεδομένα με αποτέλεσμα την παραγωγή της τελικής διορθωμένης εικόνας *Hyperion*. Η μέθοδος TLSC έχει πολύ ενθαρρυντικά αποτελέσματα, καθώς εξαλείφει τη φωτεινή διαβάθμιση από την εικόνα ενώ διατηρεί την ραδιομετρία της καθώς εφαρμόζεται στον χώρο του MNF με απλές αριθμητικές πράξεις και όχι με πολύπλοκες μεθόδους προσαρμογής που είναι πολύ πιθανό να οδηγήσουν σε εξομάλυνση ή γενικότερη αλλοίωση των φασματικών δεδομένων.





## Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550

ορισμένα μειονεκτήματα. Αρχικά, είναι αρκετά εξειδικευμένη για έναν μέσο χρήστη, απαιτεί την δυνατότητα χρήσης λογισμικών όπως το MODTRAN 4 καθώς και την γνώση των συναρτήσεων φασματικής απόκρισης του δέκτη, ενώ είναι και αρκετά χρονοβόρα. Παράλληλα, λόγω της εφαρμογής της διόρθωσης απευθείας στις τιμές ανακλαστικότητας της εικόνας δεν διασφαλίζεται η διατήρηση της ραδιομετρίας της εικόνας καθώς εφαρμόζεται πριν την ατμοσφαιρική διόρθωση.

Η μέθοδος TLSC του Dadon (2010) είναι επίσης αρκετά ενδιαφέρουσα. Η μέθοδος καταφέρνει να απαλείψει την φωτεινή διαβάθμιση, ποσοτικοποιεί ικανοποιητικά την επίδραση του χαμόγελου, ενώ διατηρεί την ραδιομετρία της εικόνας καθώς εφαρμόζεται στο χώρο του MNF μέσω της προσθαφαίρεσης ενός πολυώνυμου 2ου βαθμού. Επιπρόσθετα, είναι μια μέθοδος προσανατολισμένη για χρήση από έναν απλό χρήστη υπερφασματικών εικόνων και βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην χρήση διαδεδομένων λογισμικών όπως το ENVI. Μοναδικό μειονέκτημα της μεθόδου αποτελεί η ανάγκη χρήσης του λογισμικού MODTRAN.

### **3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ ΕΡΕΥΝΑΣ**

#### **3.1 Περιγραφή προβλήματος**

Στα πλαίσια του προγράμματος TeleKyoto "Χαρτογράφηση Βλάστησης και Εκτίμηση Βιομάζας με Σύγχρονες Μεθόδους Επισκόπηση στο Πλαίσιο της Σύμβασης των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή και του Πρωτοκόλλου του Κιότο", έγινε από το επιστημονικό προσωπικό του Εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, στις 24 Ιουλίου του 2013, για την περιοχή του πανεπιστημιακού δάσους του Ταξιάρχη στην Χαλκιδική, λήψη 17 εναέριων υπερφασματικών απεικονίσεων με δέκτη CASI-550.

Μετά την επεξεργασία των εικόνων παρατηρήθηκε πως σε ορισμένες εικόνες παρουσιαζόταν μια διαβάθμιση της φωτεινότητας τους. Η φωτεινή διαβάθμιση στις εικόνες ήταν αποτέλεσμα της επίδρασης του φαινόμενου του φασματικού χαμόγελου στις εικόνες. Για μια εφαρμογή βλάστησης όπως η συγκεκριμένη για την οποία λήφθηκαν οι απεικονίσεις, η ύπαρξη φασματικού χαμόγελου αποτελεί σημαντικό εμπόδιο τόσο στην σωστή ατμοσφαιρική διόρθωση όσο και στην εφαρμογή τηλεπισκοπικών μεθόδων. Φυσικά, λόγω του υψηλού κόστους για μια επαναληπτική πτήση με σκοπό την λήψη νέων απεικονίσεων, σε συνδυασμό με την απουσία διαδεδομένων μεθόδων διόρθωσης εναέριων απεικονίσεων σε σχέση με το χαμόγελο, προέκυψε η ανάγκη για έρευνα γύρω από την δυνατότητα διόρθωσης της επίδρασης του φασματικού χαμόγελου στις εικόνες CASI-550.

#### **3.2 Περιοχή μελέτης**

Η περιοχή μελέτης για την οποία λήφθηκαν οι εικόνες με τον δέκτη CASI-550 είναι το Πανεπιστημιακό δάσος του Ταξιάρχη-Βρασταμών στη Χαλκιδική. Είναι δημόσιο δάσος, η κυριότητα του οποίου ανήκει στο Ελληνικό Κράτος και βρίσκεται υπό την επιτήρηση του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, με αποτέλεσμα να αποτελεί ιδανική περιοχή μελέτης για εφαρμογές δασικού χαρακτήρα καθώς, σε μεγάλο βαθμό, έχει καταγραφεί και χαρτογραφηθεί η βλάστηση του για σκοπούς του ΑΠΘ.

## Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550

Το δάσος του Ταξιάρχη βρίσκεται βόρεια του Πολύγυρου του Ν. Χαλκιδικής, στις νότιες και νοτιοδυτικές πλαγιές του Όρους Χολομώντα καταλαμβάνοντας έκταση 58.000 στρεμμάτων, με γεωγραφικό πλάτος 40° 23" - 40° 28" και γεωγραφικό μήκος 23° 28" - 23° 34". Το υψόμετρο της περιοχής κυμαίνεται μεταξύ 320 και 1165 μέτρων από τη μέση στάθμη της θάλασσας.



Εικόνα 5: Η θέση της περιοχής μελέτης σε σχέση με την Θεσσαλονίκη (πηγή: Καραθανάση 2014)

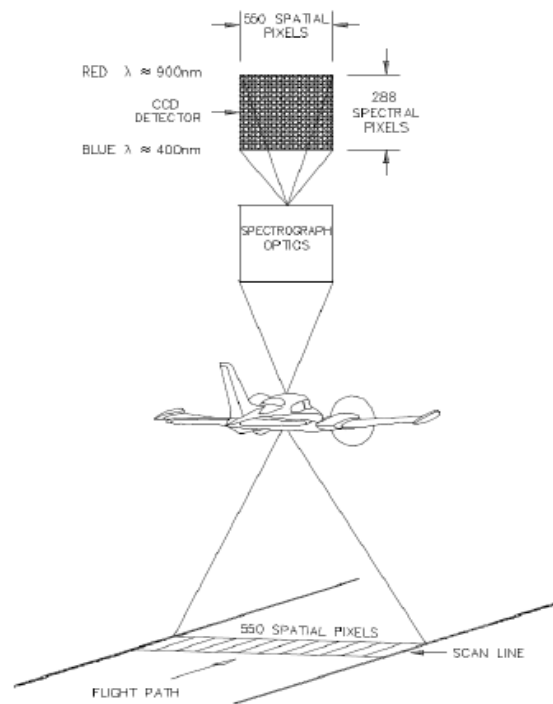
Η βλάστηση της περιοχής μελέτης αποτελείται κυρίως από φυλλοβόλα δάση και διαρθρώνεται σε 2 ζώνες: την Ευμεσογειακή, την Παραμεσογειακή και την ζώνη των δασών οξιάς. Γενικά, η βλάστηση της περιοχής περιλαμβάνει πάνω από 60 είδη ξυλωδών και πάνω από 200 είδη ποωδών. Ειδικότερα, κυρίαρχο είδος βλάστησης στην περιοχή είναι η πλατύφυλλος δρυς ή αλλιώς βελανιδιά (*Quercus frainetto* Ten). Άλλα είδη βλάστησης ιδιαίτερα διαδεμένα στην περιοχή είναι η Οξιά, η Μαύρη Πεύκη, η Τραχεία και Χαλέπειος Πεύκη και άλλα ξυλώδη είδη όπως η Αριά, το Ρείκι, το Πουρνάρι, η Κουμαριά, ο Φράξος, ο Πλάτανος, η Ιτιά και άλλα.

### 3.3 Δέκτης

Για την λήψη των εναέριων υπερφασματικών τηλεπισκοπικών απεικονίσεων στις οποίες έγινε η εφαρμογή της μεθόδου για την διόρθωση του φαινομένου του φασματικού χαμόγελου

## Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550

χρησιμοποιήθηκε ο Συμπαγής Αερομεταφερόμενος Φασματογραφικός Απεικονιστής (Compact Airborne Spectrographic Imager – CASI-550), ιδιοκτησίας του Εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης του ΕΜΠ.



Σχήμα 1: CASI-550 χαρακτηριστικά (πηγή: Εγχειρίδιο οργάνων ITRES CASI-550)

Ο δέκτης CASI-550 της εταιρίας ITRES Research Ltd είναι τύπου pushbroom. Ένας δέκτης τύπου pushbroom δημιουργεί δισδιάστατες απεικονίσεις μέσω της μετακίνησης της πλατφόρμας (π.χ. αεροπλάνο) προς μια κατεύθυνση σε συνδυασμό με το εύρος καταγραφής του φασματοραδιόμετρου που είναι τοποθετημένο επί αυτής. Ο δισδιάστατος αισθητήρας του οργάνου που χρησιμοποιείται για την καταγραφή της εισερχόμενης ακτινοβολίας είναι τύπου CCD (Charge-Coupled Device).

Τα κύρια τμήματα από τα οποία αποτελείται ο δέκτης CASI-550 είναι ο υπερφασματικός αισθητήρας (Sensor Head Unit – SHU), η μονάδα ελέγχου οργάνων (υπολογιστής και σχετικό λογισμικό – ICU), ο αισθητήρας προσπίπτουσας ακτινοβολίας (ILS), μία συσκευή IMU/GPS και μία οθόνη.

## Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550



Εικόνα 6: Κύρια τμήματα CASI-550 (Πηγή: Εγχειρίδιο οργάνων ITRES CASI-550)

### 3.3.1. Χαρακτηριστικά και προδιαγραφές του υπερφασματικού δέκτη CASI-550

Βάση του εγχειρίδιου λειτουργίας του κατασκευαστή, ο δέκτης CASI-550 διαθέτει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Πλήρη βαθμονόμηση του συστήματος για την παροχή των τιμών των εικονοστοιχείων σε φασματικές τιμές ακτινοβολιών ( $\mu\text{Wcm}^{-2}\text{sr}^{-1}\text{nm}^{-1}$ )
- 545 nm ελεύθερη φασματική περιοχή καταγραφής στο ορατό και εγγύς υπέρυθρο τμήμα του Η/Μ φάσματος (VNIR), διευθετήσιμη μεταξύ 400 και 1000 nm
- Φασματικό προγραμματισμό για να ταιριάζει στις διάφορες εφαρμογές (3 διαφορετικές καταστάσεις λειτουργίας)
- Υψηλή χωρική (0.5  $\mu$  ως 10  $\mu$ ) και φασματική ανάλυση (ελάχιστο εύρος ζώνης 2.2 nm)
- Μεγάλης διάρκειας χρόνοι καταγραφής και υψηλή αναλογία σήματος προς θόρυβο

## Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550

- Πλήρης γεωμετρική διόρθωση και δυνατότητα ορθοδιόρθωσης με χρήση Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους.
- Διαρκής μέτρηση και καταγραφή της προσπίπτουσας ακτινοβολίας για πραγματοποίηση ατμοσφαιρικών διορθώσεων
- Συνόρθωση με χρήση δεδομένων αδρανειακού/GPS (IMU/GPS) συστήματος για υψηλής ακρίβειας χαρτογράφησης της θέσης
- Δυνατότητα συνδυασμού με δέκτες LIDAR και IFSAR

Αντίστοιχα, οι τεχνικές προδιαγραφές του δέκτη βάση του εγχειρίδιου λειτουργίας του είναι:

- Οπτικό πεδίο: 40.4° κάθετα στην πορεία και 0.077° κατά μήκος της πορείας
- Φασματική εμβέλεια : 545nm μεταξύ 400 και 1000 nm
- Φασματικές περιοχές καταγραφής: 288 δίαυλοι με εύρος 1.9 nm
- Φασματική ανάλυση: 2.2 nm (FWHM) στα 650 nm
- Άνοιγμα διαφράγματος: F/2.8 ως F/11.0
- Δυναμική εμβέλεια: 16384:1 (14 bits)
- Κατώφλι θορύβου: 1.0 DN
- Μέγιστος λόγος σήματος προς θόρυβο: 790:1
- Ακρίβεια βαθμολόγησης: +/-2% στο διάστημα 470-800 nm

## Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550

- Ρυθμός καταγραφής δεδομένων: 1.25 MB/δευτερόλεπτο

### 3.3.2. Ρυθμίσεις οργάνου κατά την λήψη των εικόνων στην περιοχή μελέτης

Οι ρυθμίσεις που επιλέχθηκαν για τον δέκτη CASI-550 κατά την λήψη των εναέριων υπερφασματικών εικόνων ήταν:

- Χωρική ανάλυση (μέγεθος εδαφοψηφίδας): 2 μ
- Πλάτος καταγραφής (swath): 405 pixels
- Φασματικές περιοχές καταγραφής: 72 κανάλια στη φασματική περιοχή 400 nm-1000 nm (πίνακας 1)



Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550

Band	$\lambda$ (nm)	FWHM (nm)	Band	$\lambda$ (nm)	FWHM (nm)	Band	$\lambda$ (nm)	FWHM (nm)
1	421.8	3.8	25	604.1	3.8	49	786.8	3.9
2	429.5	3.8	26	611.6	3.8	50	794.5	3.9
3	437.1	3.8	27	619.2	3.8	51	802.2	3.9
4	444.8	3.8	28	626.8	3.8	52	809.9	3.9
5	452.4	3.8	29	634.3	3.8	53	817.7	3.9
6	460.0	3.8	30	641.9	3.8	54	825.4	3.9
7	467.7	3.8	31	649.5	3.8	55	833.2	3.9
8	475.3	3.8	32	657.0	3.8	56	841.0	3.9
9	482.9	3.8	33	664.6	3.8	57	848.8	3.9
10	490.5	3.8	34	672.2	3.8	58	856.6	3.9
11	498.1	3.8	35	679.8	3.8	59	864.4	3.9
12	505.7	3.8	36	687.4	3.8	60	872.3	3.9
13	513.3	3.8	37	695.0	3.8	61	880.1	3.9
14	520.8	3.8	38	702.6	3.8	62	895.9	4
15	528.4	3.8	39	710.2	3.8	63	903.8	4
16	536.0	3.8	40	717.8	3.8	64	911.7	4
17	543.6	3.8	41	725.4	3.8	65	919.7	4
18	551.1	3.8	42	733.1	3.8	66	927.6	4
19	558.7	3.8	43	740.7	3.8	67	935.6	4
20	566.3	3.8	44	748.4	3.8	68	943.6	4
21	573.8	3.8	45	756.0	3.8	69	951.6	4
22	581.4	3.8	46	763.7	3.8	70	959.7	4
23	589.0	3.8	47	771.4	3.8	71	967.7	4
24	596.5	3.8	48	779.1	3.8	72	975.7	4

Πίνακας 1: Τα χαρακτηριστικά των φασματικών καναλιών που χρησιμοποιήθηκαν κατά την λήψη

➤ Συσσκευή IMU/GPS: Applanix POS/AV 410 V5

Η επιλογή των συγκεκριμένων ρυθμίσεων βρίσκεται σε άμεση συνάρτηση με τα στοιχεία πτήσης του αεροπλάνου. Η χωρική ανάλυση κάθετα στον άξονα πτήσης εξαρτάται αποκλειστικά από το ύψος πτήσης της πλατφόρμας (δηλαδή από του αεροπλάνου) (Trudeau et al 2004β).

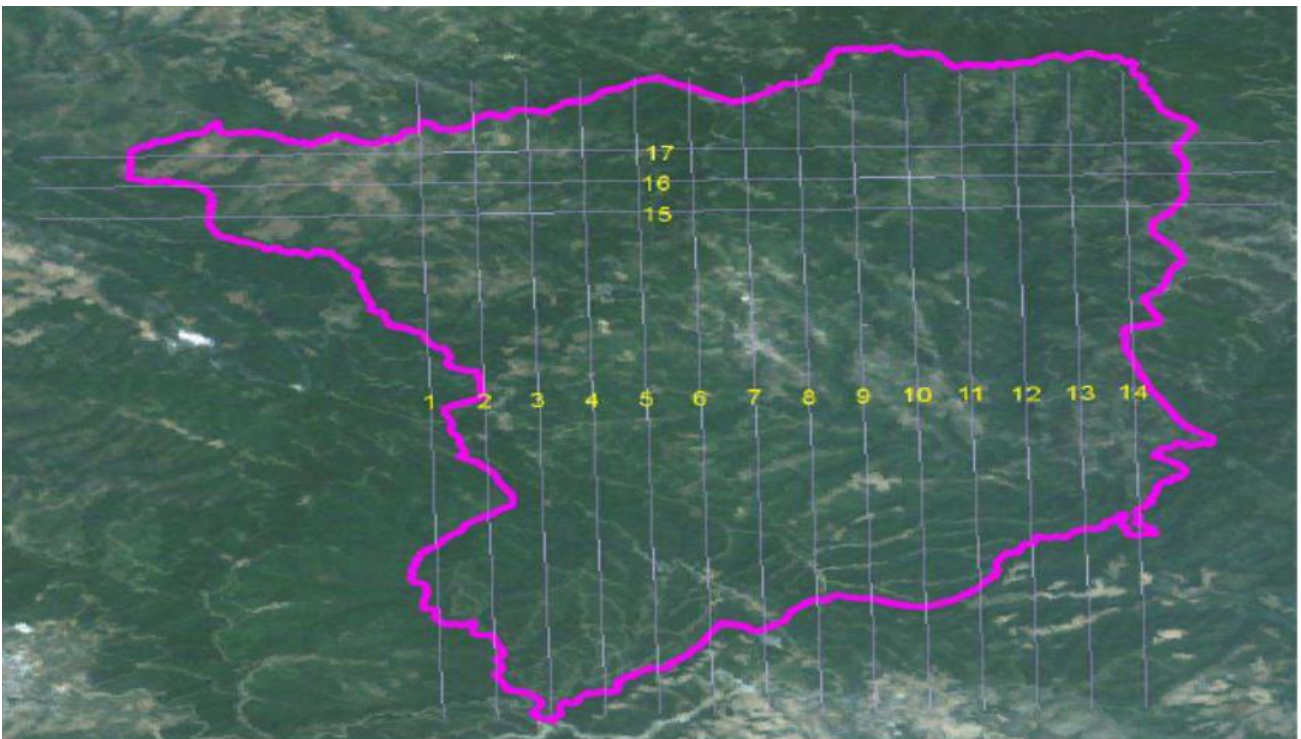
Αντίστοιχα, η ανάλυση του δέκτη κατά μήκος του άξονα πτήσης εξαρτάται τόσο από την ταχύτητα του αεροπλάνου όσο και από τον αριθμό των φασματικών περιοχών καταγραφής (Trudeau et al 2004β). Ο αισθητήρας του δέκτη για να ολοκλήρωση την σάρωση μιας γραμμής και να μεταφέρει τα δεδομένα στην μονάδα απαιτεί ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, ανάλογο με το πλήθος των φασματικών περιοχών καταγραφής, το οποίο ονομάζεται ελάχιστος χρόνος ολοκλήρωσης (Mean

## Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550

Integration Time – MIT). Παράλληλα, λόγω περιορισμένης δυνατότητας μεταφοράς όγκου δεδομένων από τον αισθητήρα στη μονάδα ελέγχου, για πλήθος φασματικών περιοχών καταγραφής μεγαλύτερου από 48 περιοχές, το πλάτος καταγραφής (SWATH) μειώνεται.

### 3.4 Προγραμματισμός πτήσης

Για την πλήρη κάλυψη της δασικής έκτασης του Ταξιάρχη με εναέριες υπερφασματικές απεικονίσεις χωρικής διακριτικής ικανότητας 2 μέτρων σχεδιάστηκαν 14 κύριες γραμμές πτήσης (Βορράς-Νότος) και 3 κάθετες γραμμές πτήσης (Ανατολή-Δύση) μήκους 7.5 χλμ.. Το πλάτος κάλυψης ανά γραμμή πτήσης ήταν βάση των ρυθμίσεων που επιλέχθηκαν για τον δέκτη ήταν 810 μέτρα, με 40% επικάλυψη κατά πλάτος.



Εικόνα 7: Γραμμές πτήσης για την λήψη υπερφασματικών εικόνων στο δάσος Ταξιάρχη (πηγή: Καραθανάση, 2014)

Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550

Across Track Resolution (m)	Flying Altitude (m)
0.1	74.7
0.2	149.5
0.3	224.2
0.4	299.0
0.5	373.7
0.6	448.5
0.7	523.2
0.8	597.9
0.9	672.7
1	747.4
2	1494.9
3	2242.3
4	2989.7
5	3737.1

Πίνακας 2: Χωρική διακριτική ικανότητα του δέκτη CASI κάθετα στη διεύθυνση της πτήσης

Number of Bands	Swath (pixels)	MIT (ms)
144	202	80
96	303	54
72	405	41
48	550	29
36	550	22
32	550	20
24	550	16
18	550	13
16	550	12
12	550	9

Πίνακας 3: Ελάχιστος χρόνος ολοκλήρωσης (MIT) και πλάτος πεδίου (pixels)

## Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550

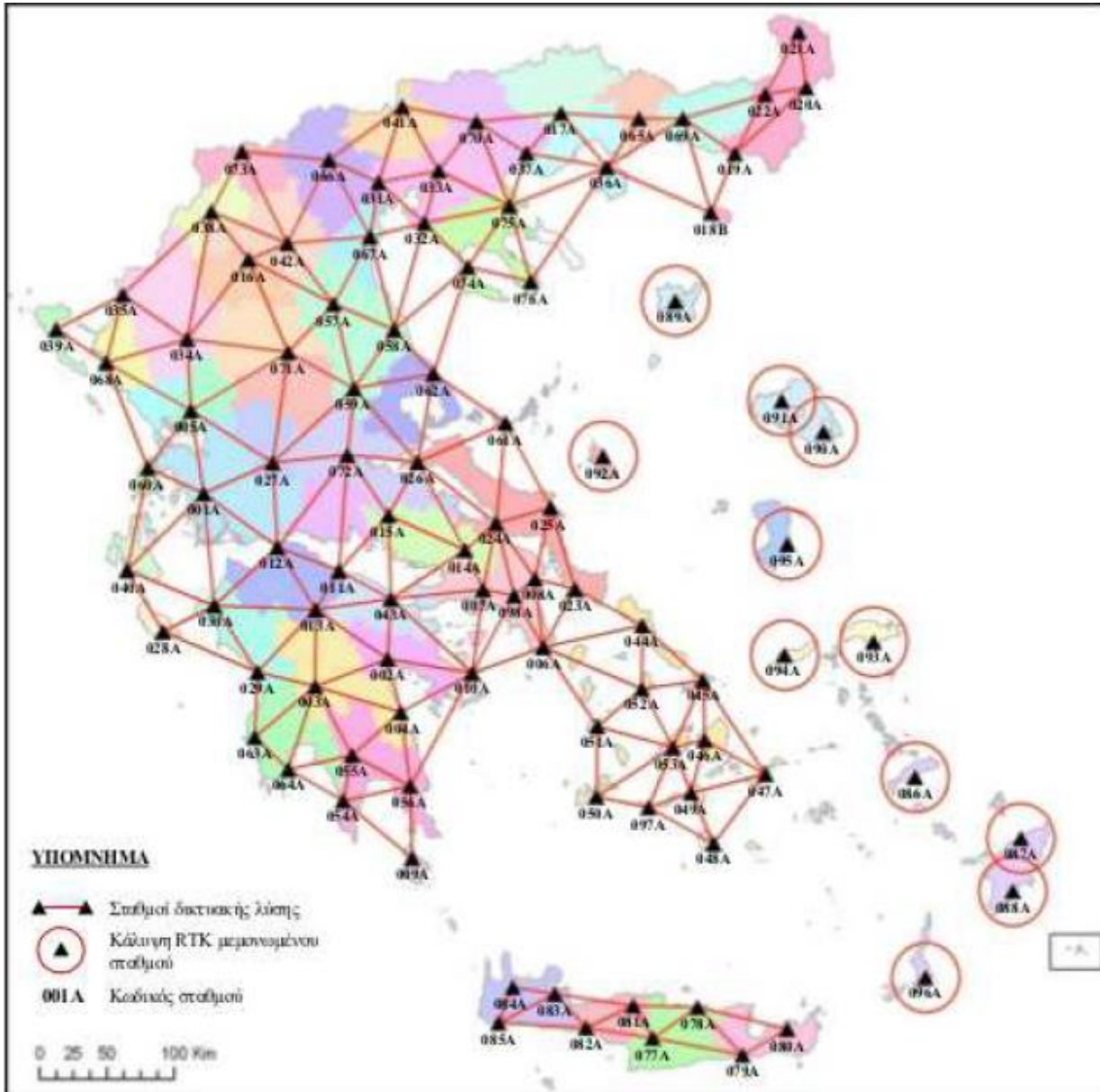
Ταχύτητα αεροπλάνου (knots) ανά χωρική ανάλυση							
	MIT+1 (ms)	0.75 m	1m	1.5m	2m	3m	4m
96 Bands	54					110	145
<b>72 Bands</b>	<b>41</b>				<b>95</b>	<b>145</b>	<b>190</b>
48 Bands	29			100	135	200	>200
36 Bands	22		90	130	175	>200	>200
32 Bands	20		95	145	190	>200	>200
24 Bands	16	90	120	180	>200	>200	>200
18 Bands	13	110	145	>200	>200	>200	>200

Πίνακας 4: Συνδυασμός αριθμός ζωνών, χωρικής διακριτικής ικανότητας κατά μήκος της πτήσης. Λόγω των ρυθμίσεων του δέκτη και των παρελκόμενων περιορισμών που προέκυψαν από αυτές (βλ. Πίνακες 2, 3 και 4), η ταχύτητα πτήσης που επιλέχθηκε ήταν οι 95 κόμβοι, ενώ ως υψόμετρο πτήσης επιλέχθηκαν τα 2000 μέτρα από το επίπεδο της θάλασσας, δηλαδή περίπου 1500 μέτρα πάνω από το μέσο υψόμετρο της δασικής έκτασης της περιοχής μελέτης που κυμαίνεται στα 450 με 850 μέτρα.

Η πτήση για την λήψη των υπερφασματικών απεικονίσεων έγινε στις 24 Ιουλίου του 2013 με το αεροσκάφος Piper Navajo Presurized της εταιρίας Geomatics A.E. και η καταγραφή διήρκησε από τις 11.30 έως τις 15.30, καθώς σε αυτό το χρονικό σημείο η θέση του ήλιου επιφέρει τη μέγιστη φωτεινότητα. Η πτήση έγινε υπό σχετικά καλές καιρικές συνθήκες με ελάχιστες σποραδικές νεφώσεις.

Για τη διαφορική συνόρθωση των δεδομένων πλοήγησης του συστήματος POS/AV χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα δύο σταθμών του δικτύου HEPOS, των 074A και 075A οι οποίοι ήταν οι εγγύτεροι στην περιοχή μελέτης (Εικ. 8).

## Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερασματικού Δέκτη CASI-550



Εικόνα 8: Χάρτης σταθμών αναφοράς δικτύου HEPOS (πηγή:

[http://www.hepos.gr/hepos/hepos\\_map\\_v1\\_0\\_gr.pdf](http://www.hepos.gr/hepos/hepos_map_v1_0_gr.pdf))

Μετά τις ραδιομετρικές, ατμοσφαιρικές και γεωμετρικές διορθώσεις εντοπίστηκαν ορισμένα προβλήματα στις εικόνες που λήφθηκαν κατά την πτήση. Το σημαντικότερο πρόβλημα που εντοπίστηκε ήταν πως πολλές εικόνες παρουσίαζαν διαβάθμιση της φωτεινότητας τους, κάτι που αποτέλεσε σημαντική ένδειξη πως υπήρχε σημαντική επίδραση του φασματικού χαμόγελου στις εικόνες. Άλλα προβλήματα που εντοπίστηκαν ήταν προβλήματα γεωμετρικής φύσεως στο κανάλι 6 με αποτέλεσμα να μην είναι αξιοποιήσιμο, καθώς και πως πιθανότατα λόγω κακής οριζοντίωσης του δέκτη δεν υπήρχε ικανοποιητική επικάλυψη ανά δύο γραμμές λήψης, με αποτέλεσμα ανά δύο

## Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550

λωρίδες να υπάρχουν κενά χωρίς υπερφασματικά δεδομένα (Εικ. 9). Επίσης, το κανάλι 9 στα 482.9 nm παρουσίαζε μια παράλληλη μετατόπιση ως προς τις υπόλοιπες.

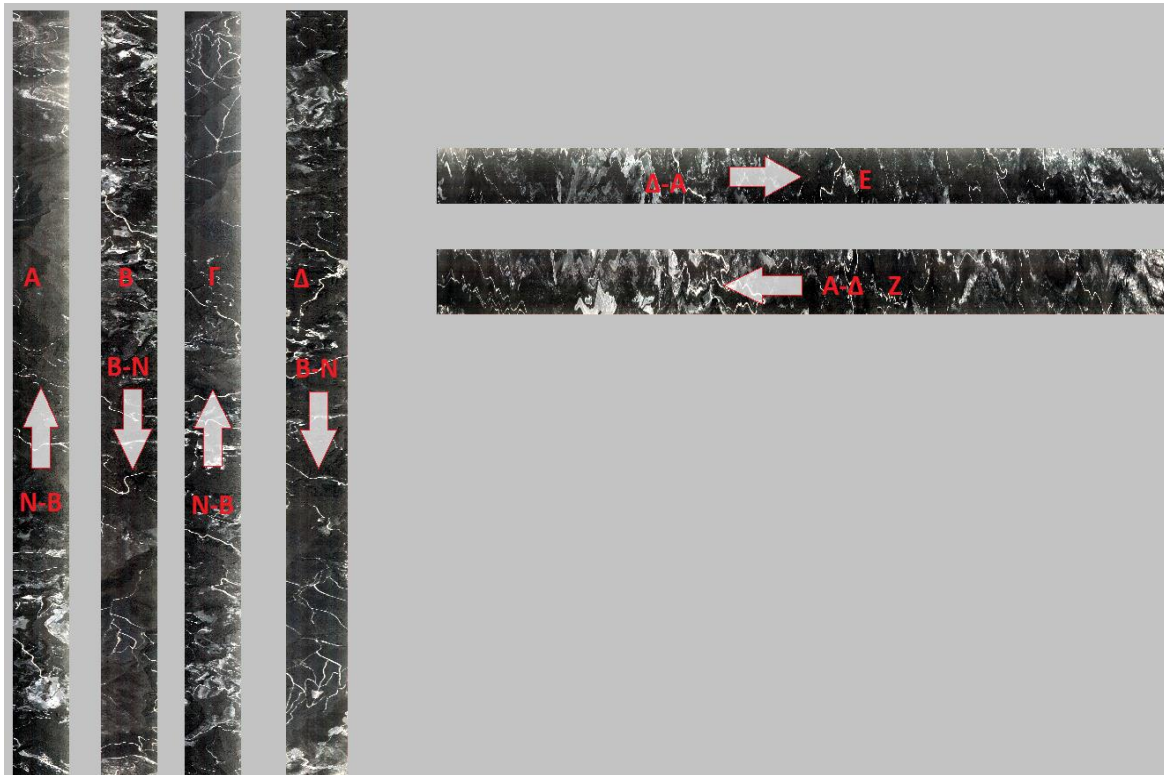


Εικόνα 9: Φωτομωσαϊκό δάσους Ταξiάρχη από τις εικόνες CASI-550 (πηγή: Καραθανάση 2014)

### 3.5 Δεδομένα για την εφαρμογή διόρθωσης

Από τις 17 υπερφασματικές απεικονίσεις που λήφθηκαν αρχικά, για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκαν μόνο οι 6. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν οι απεικονίσεις που προέκυψαν από τις γραμμές πτήσης 1(A), 2(B), 3(Γ), 4(Δ), 15(Z) και 16(E), όπως φαίνεται στην εικόνα 10, πολλές εκ των οποίων παρουσίαζαν έντονη φωτεινή διαβάθμιση λόγω φασματικού χαμόγελου.

## Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550



Εικόνα 10: Έγχρωμα σύνθετα των εικόνων A-Z με τις διευθύνσεις τους

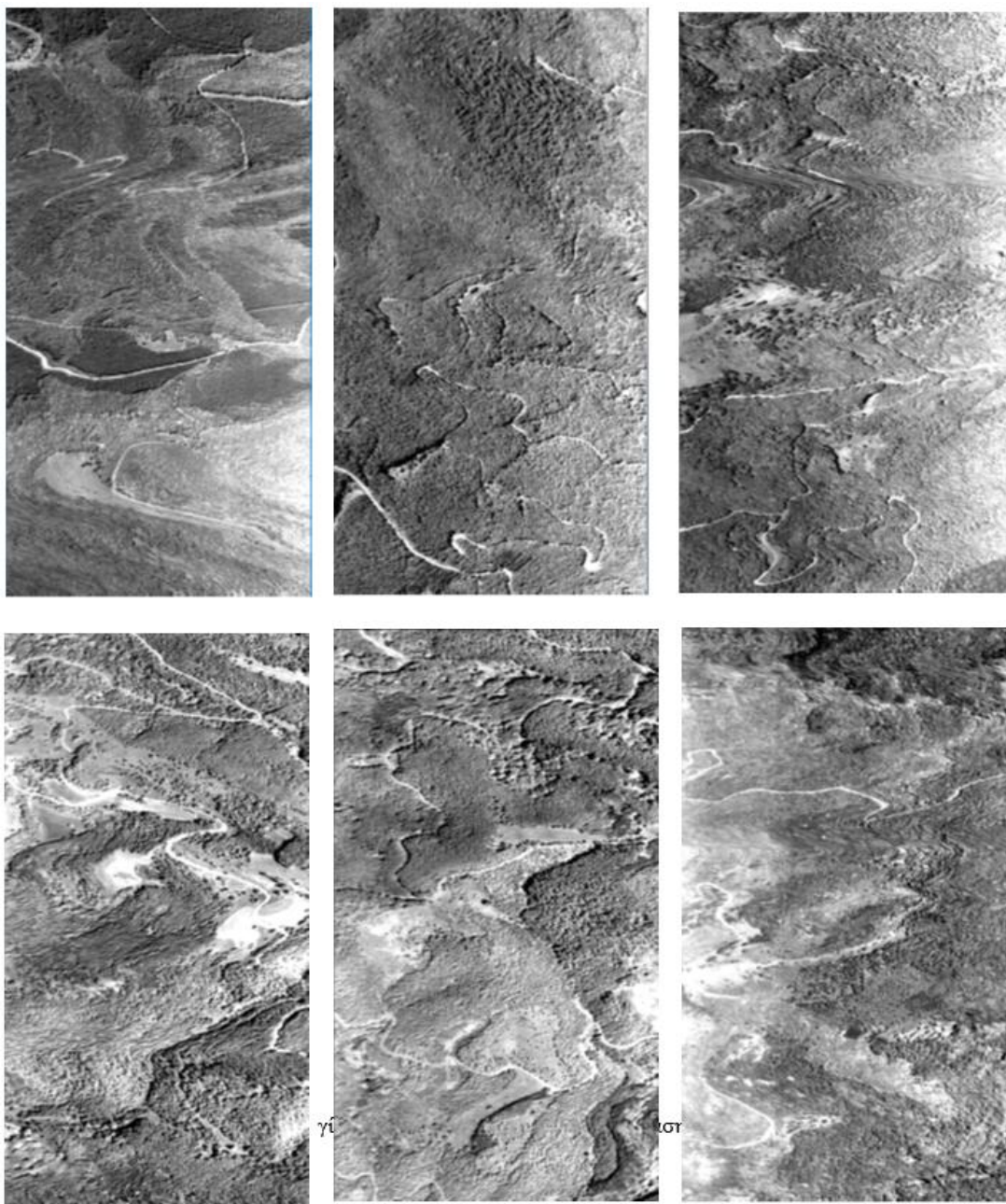
Οι εικόνες A, B, Γ, Δ, E και Z επιλέχθηκαν διότι βρίσκονταν σε περιοχή χωρίς σύννεφα, διέθεταν επικαλυπτόμενο τμήμα και είχαν διαφορετικό προσανατολισμό ως προς τον ήλιο. Πιο συγκεκριμένα:

- Για τις A και Γ η διεύθυνση πτήσης ήταν Νότος-Βορράς
- Για τις B και Δ B-N Βορράς-Νότος
- Για την E Δύση-Ανατολή
- Για την Z Ανατολή-Δύση

Πρέπει να σημειωθεί πως η μόνη προεπεξεργασία που υπέστησαν οι εικόνες πριν την εφαρμογή της μεθόδου TLSC ήταν η ραδιομετρική τους διόρθωση με το πρόγραμμα RADCOR (Trudeau et al 2004γ) ώστε να διορθωθούν ραδιομετρικά τα ακατέργαστα (RAW) δεδομένα του δέκτη CASI-550. Η συγκεκριμένη διόρθωση αποσκοπεί στην αποκατάσταση τυχόν ανωμαλιών που οφείλονται στην διαφορετική φωτοευαισθησία των στοιχείων του αισθητήρα CCD ή/και άλλων παραγόντων. Μετά

## Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550

την ραδομετρική διόρθωση οι εικόνοψηφίδες της εικόνας έχουν τιμές σε μονάδες φασματικής ακτινοβολίας SRU ( $1\mu\text{W}/\text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{nm}^{-1}$ ). Επίσης, οι εικόνες διέθεταν αρχικά από 405 στήλες, όμως, αφαιρέθηκαν 15 στήλες από την αριστερή πλευρά των εικόνων καθώς προκαλούσαν για άγνωστο λόγο προβλήματα κατά τις επεξεργασίες και ιδιαίτερα κατά την διαδικασία μετασχηματισμού MNF.



Εικόνα 11 (Πάνω) Από αριστερά προς τα δεξιά: Εικόνα Α, Εικόνα Β, Εικόνα Γ. (Κάτω) Από αριστερά προς τα δεξιά: Εικόνα Δ, Εικόνα Ε, Εικόνα Ζ. Τμήματα των εικόνων Α-Ζ όπου φαίνονται οι επιδράσεις φασματικού χαμόγελου [Κανάλι 40 (717.8 nm)]



## Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550

Ιδιαίτερα στις εικόνες Α, Γ με διεύθυνση Νότος-Βορράς και στην Ε με διεύθυνση Δύση-Ανατολή η επίδραση του χαμόγελου γίνεται έντονα αντιληπτή ως διαβάθμιση της φωτεινότητας τους από δεξιά προς τα αριστερά. Αντίθετα στις εικόνες Β και Δ, οι οποίες έχουν διεύθυνση Βορράς-Νότος, δεν είναι εύκολα ορατή κάποια διαβάθμιση στην φωτεινότητα τους. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η εικόνα Ζ με διεύθυνση Ανατολή-Δύση καθώς η διαβάθμιση της φωτεινότητας της έχει την αντίθετη φορά από τις υπόλοιπες. Επομένως, είναι πιθανό πως κάποιος παράγοντας επηρέασε τις εικόνες κατά την λήψη τους με αποτέλεσμα να ενισχύεται ή να εξομαλύνεται η επίδραση του φασματικού χαμόγελου σε συνάρτηση με την διεύθυνση τους. Ένας πιθανός παράγοντας στον οποίο οφείλονται οι συγκεκριμένες μεταβολές είναι η κλίση του δέκτη λόγω κακής οριζοντίωσης κατά την λήψη των απεικονίσεων, σε συνδυασμό με τις διαφορετικές γωνίες φωτισμού.

Οι διαστάσεις των εικόνων ήταν:

Εικόνα	Διαστάσεις
A	5068X390
B	5101X390
Γ	5162X390
Δ	4715X390
Ε	5485X390
Ζ	4664X390

Πίνακας 5: Διαστάσεις εικόνων Α-Ζ

## 4. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΟΡΘΩΣΗΣ ΤΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ CASI-550

### 4.1 Επιλογή μεθόδου διόρθωσης

Η μέθοδος που επιλέχθηκε για την διόρθωση των εικόνων του δέκτη CASI-550 για την περιοχή μελέτης ήταν η μέθοδος TLSC (Dadon et al 2010). Η συγκεκριμένη μέθοδος επιλέχθηκε διότι η μεθοδολογία της παρουσιάζει υψηλό ενδιαφέρον για την δυνατότητα εφαρμογής της σε δεδομένα εναέριου υπερφασματικού δέκτη αλλά και σε περιοχή μελέτης που χαρακτηρίζεται από ανάγλυφο και βλάστηση. Επιπρόσθετα, οι απαιτήσεις της σε πόρους και εξειδικευμένες γνώσεις ήταν στο επίπεδο ενός μέσου τελικού χρήστη υπερφασματικών εικόνων. Σημαντικό ρόλο στην επιλογή της συγκεκριμένης μεθόδου διατέλεσε το γεγονός πως η εισαγωγή των διορθώσεων γίνεται στον χώρο του MNF μέσω της χρήσης απλών μαθηματικών πράξεων (προσθαφαιρέσεις τιμών) αντί μέσω της συνηθισμένης μεθόδου της πολυωνυμικής προσαρμογής που χρησιμοποιούν άλλες μέθοδοι που έχει ως αποτέλεσμα αλλοιώσεις στα φασματικά δεδομένα. Τέλος, σημαντικό ρόλο στην επιλογή της μεθόδου διατέλεσε το γεγονός πως η μέθοδος εφαρμόζει την διόρθωση στις εικόνες πριν τις ατμοσφαιρικές διορθώσεις.

#### 4.1.1 Τροποποίηση μεθόδου TLSC

Παρά τις χαμηλές απαιτήσεις της μεθόδου όμως, παρουσιάστηκε η ανάγκη να εφαρμοστεί μια αλλαγή στην μεθοδολογία της. Συγκεκριμένα, για τον υπολογισμό της τιμής της ακτινοβολίας στο επίπεδο του δέκτη του είδους βλάστησης με το μεγαλύτερο ποσοστό εδαφοκάλυψης στην περιοχή μελέτης, ήταν απαραίτητη η χρήση του λογισμικού MODTRAN 5 (για την προσομοίωση ακτινοβολίας στο επίπεδο του δέκτη in situ μετρήσεων από φασματοραδιόμετρο χειρός, για αερομεταφερόμενο δέκτη, είναι απαραίτητη η χρήση του λογισμικού MODTRAN 5 και όχι του 4), το οποίο όμως δεν ήταν διαθέσιμο.

Για την αντιμετώπιση του συγκεκριμένου προβλήματος τροποποιήθηκε η μέθοδος TLSC. Πιο συγκεκριμένα, για την εύρεση της στήλης που επηρεάζεται λιγότερο από την επίδραση του

## Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550

χαμόγελου, χρησιμοποιήθηκαν, αντί της σύγκρισης με τιμές MODTRAN, 2 κριτήρια. Τα 2 κριτήρια ήταν:

- 1) Η στήλη θα πρέπει να βρίσκεται στην εγγύς περιοχή της κορυφής της γραφικής παράστασης.
- 2) Σε εκείνη την περιοχή η γραφική παράσταση θα πρέπει να ταυτίζεται όσο το δυνατόν περισσότερο με την γραμμή τάσης.

Η επιλογή του 1ου κριτηρίου βασίστηκε στην παρατήρηση πως σε όλες τις έρευνες που μελετήθηκαν σε σχέση με την διόρθωση της επίδρασης του χαμόγελου, η περιοχή στην οποία εντοπίστηκε η στήλη η οποία είχε είτε την λιγότερη επίδραση του χαμόγελου είτε δεν υπέφερε από μετατόπιση βρισκόταν στην εγγύς περιοχή της κορυφής αλλά δεν ήταν η ίδια η κορυφή. Με βάση αυτή την παρατήρηση αποφασίστηκε πως με αυτό το κριτήριο προσεγγίζεται ικανοποιητικά η στήλη που επηρεάζεται λιγότερο από το χαμόγελο με αποτέλεσμα το εναπομείναν σφάλμα μετά την διόρθωση να μπορεί να θεωρηθεί αμελητέο. Η επιλογή του δεύτερου κριτηρίου έγινε για να διασφαλιστεί πως δεν θα επιλεγεί στήλη που επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από άλλους παράγοντες. Η τροποποιημένη μέθοδος αναμένεται να είναι σε θέση να εξαλείψει την φωτεινή διαβάθμιση από τις εικόνες και να βελτιώσει ενδεχόμενα αποτελέσματα τηλεπισκοπικών μεθόδων όπως της ταξινόμησης. Σε εφαρμογές όμως, όπως η ταύτιση φασματικών υπογραφών από μια φασματική βιβλιοθήκη με υπογραφές από την διορθωμένη εικόνα, δεν διασφαλίζεται ένα εξίσου καλό αποτέλεσμα σε σχέση με μια εικόνα που έχει διορθωθεί βάση της αρχικής μεθόδου TLSC, καθώς, στην περίπτωση της τροποποιημένης μεθόδου δεν έχουν χρησιμοποιηθεί δεδομένα που έχουν ληφθεί *in situ* για τον υπολογισμό της διόρθωσης.

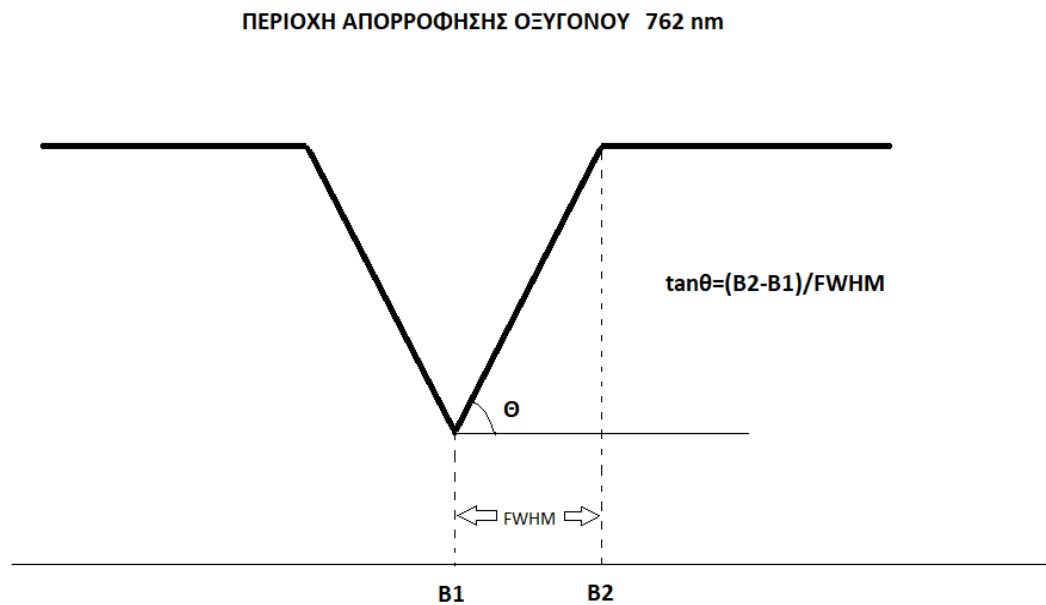
### 4.2 Αναλυτική περιγραφή τροποποιημένης μεθόδου TLSC

Η τροποποιημένη μέθοδος TLSC αποτελείται από μια σειρά 11 βημάτων επεξεργασίας. Αναλυτικά, τα βήματα είναι:

- Βήμα 1<sup>ο</sup>: υπολογισμός νέας εικόνας  $\beta'$  με πράξη καναλιών  $(\beta_2 - \beta_1) / \text{FWHM}(\text{nm})$  όπου  $\beta_1$  το

## Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550

κανάλι στα 762nm και β2 το αμέσως επόμενο κανάλι



Σχήμα 2: Αναπαράσταση της υπολογιζόμενης ποσότητας της εικόνας β' από τον τύπο

$$(B2 - B1) / FWHM (nm)$$

- Βήμα 2<sup>ο</sup>: υπολογισμός του μέσου όρου των τιμών των εικονοψηφίδων της εικόνας β' ανά στήλη.
- Βήμα 3<sup>ο</sup>: δημιουργία της γραφικής παράστασης των μέσων όρων των στηλών της β'
- Βήμα 4<sup>ο</sup>: υπολογισμός της γραμμής τάσης (πολυώνυμο 2<sup>ου</sup> βαθμού) που περιγράφει την γραφική παράσταση
- Βήμα 5<sup>ο</sup>: εντοπισμός της στήλης που δέχεται την μικρότερη επίδραση από το χαμόγελο με βάση 2 κριτήρια:
  1. Το σημείο θα πρέπει να βρίσκεται στην εγγύς περιοχή της κορυφής της γραφικής παράστασης
  2. Σε εκείνη την περιοχή η γραφική παράσταση θα πρέπει να ταυτίζεται όσο το δυνατόν

## Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550

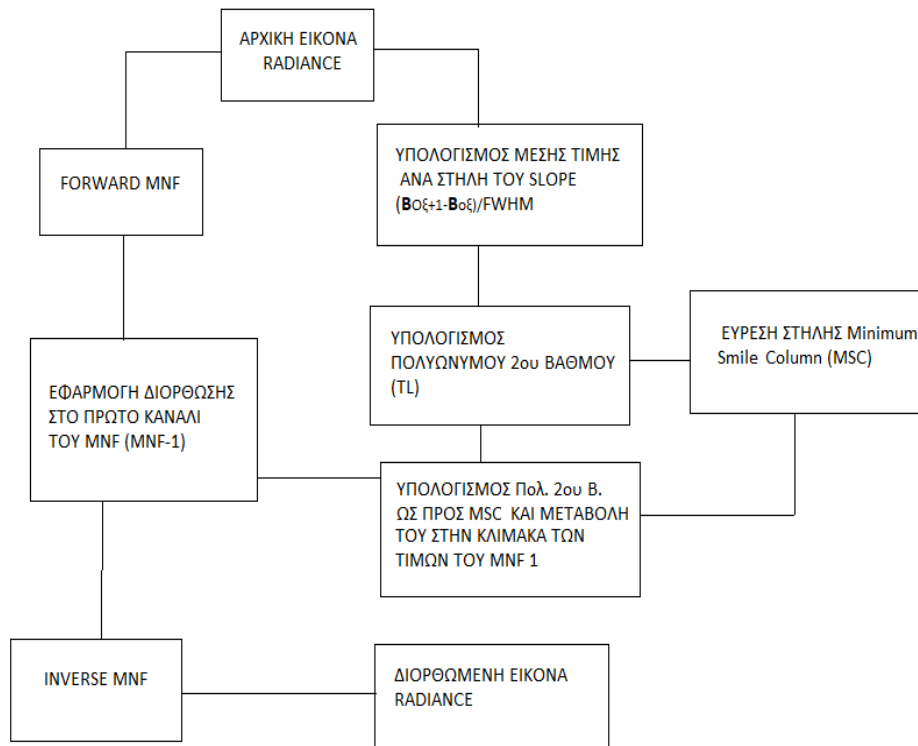
περισσότερο με την γραμμή τάσης

Το βήμα 5 αποτελεί το βήμα διαφοροποίησής της τροποποιημένης μεθόδου σε σχέση με την αρχική μέθοδο TLSC. Στην αρχική μέθοδο, το συγκεκριμένο βήμα αντικαθίσταται με την διαδικασία υπολογισμού στο επίπεδο του δέκτη τιμών ανακλώμενης ακτινοβολίας του είδους με το μεγαλύτερο ποσοστό εδαφοκάλυψης στην εικόνα. Ο υπολογισμός γίνεται με τη χρήση του μοντέλου μεταφοράς ακτινοβολίας (RTM) MODTRAN, χρησιμοποιώντας δεδομένα ανακλώμενης ακτινοβολίας που έχουν ληφθεί in situ με φασματοραδιόμετρο χειρός. Από τις τιμές που υπολογίστηκαν με το μοντέλο MODTRAN υπολογίζεται μια τιμή σύγκρισης από τον τύπο  $(\beta_2 - \beta_1) / \text{FWHM}(\text{nm})$  που παρουσιάστηκε στο βήμα 1. Η τιμή σύγκρισης συγκρίνεται με τις τιμές της εικόνας β' που προέκυψε στο βήμα 1 και μέσω αυτής της σύγκρισης εντοπίζεται η στήλη MSC.

- Βήμα 6<sup>ο</sup>: αφαίρεση από τις τιμές της γραφικής παράστασης και της γραμμής τάσης της τιμής της γραφικής παράστασης της στήλης με την μικρότερη επίδραση
- Βήμα 7<sup>ο</sup>: γίνεται μετασχηματισμός MNF στην αρχική εικόνα
- Βήμα 8<sup>ο</sup>: επαναλαμβάνεται το 2<sup>ο</sup> βήμα για την πρώτη συνιστώσα του MNF (MNF-1)
- Βήμα 9<sup>ο</sup>: οι τιμές της γραμμής τάσης που προέκυψαν από το 6<sup>ο</sup> βήμα μετατρέπονται στην κλίμακα των τιμών του προέκυψαν από το 8<sup>ο</sup> βήμα και αποτελούν τις τιμές διόρθωσης
- Βήμα 10<sup>ο</sup>: οι τιμές διόρθωσης εισάγονται στην πρώτη συνιστώσα του MNF με βάση τον τύπο  $\text{MNF-1}_{\text{TLSC}} = \Sigma(X_{\text{MNF}} + (-\text{TL}_{\text{CX}}) \pm \Delta\text{MSC})$ , όπου:  $\text{MNF-1}_{\text{TLSC}}$  η διορθωμένη εικόνα MNF-1,  $X_{\text{MNF}}$  το κάθε εικονοστοιχείο του MNF-1,  $\text{TL}_{\text{CX}}$  η τιμή της μετατιθεμένης Γραμμή Τάσης για την στήλη του εικονοστοιχείου  $X_{\text{MNF}}$  στην κλίμακα του MNF-1 και  $\Delta\text{MSC}$  η τιμή της διαφοράς μεταξύ γραμμής τάσης και γραφικής παράστασης στη στήλη που δέχεται την μικρότερη επίδραση από το χαμόγελο στην κλίμακα του MNF-1
- Βήμα 11<sup>ο</sup>: αντίστροφος μετασχηματισμός MNF μετά την διόρθωση της πρώτης συνιστώσας

# Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550

για την δημιουργία της διορθωμένης τελικής εικόνας



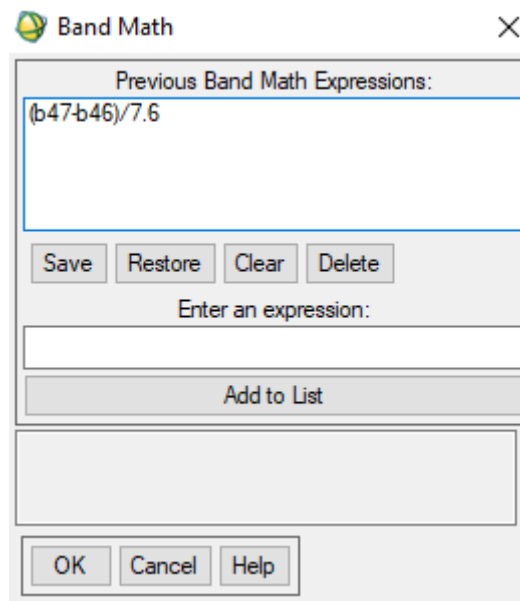
Εικόνα 12: Διάγραμμα ροής τροποποιημένης μεθόδου TLSC

## 4.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ TLSC

Η διαδικασία διόρθωσης των υπερφασματικών εικόνων διαχωρίστηκε σε τρία κύρια στάδια. Πιο συγκεκριμένα, το πρώτο στάδιο περιλάμβανε τις διαδικασίες ποσοτικοποίησης της επίδρασης του χαμόγελου στις εικόνες, το δεύτερο στάδιο περιλάμβανε τις διαδικασίες υπολογισμού των τιμών διόρθωσης για τις εικόνες και το τρίτο στάδιο που περιλάμβανε τις διαδικασίες εισαγωγής της διόρθωσης στα δεδομένα των αρχικών εικόνων και της τελικής παραγωγής των τελικών διορθωμένων υπερφασματικών εικόνων ανακλώμενης ακτινοβολίας.

#### 4.3.1 Στάδιο ποσοτικοποίησης της επίδρασης του φασματικού χαμόγελου

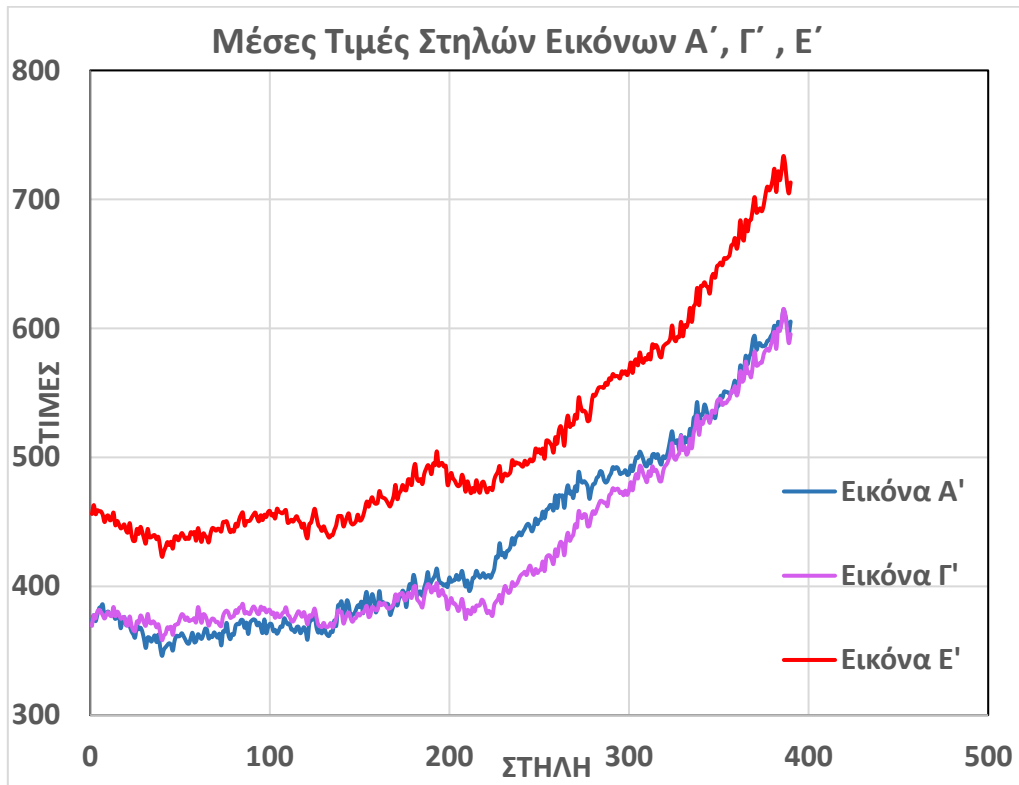
Αρχικά, για την ποσοτικοποίηση της επίδρασης του φασματικού χαμόγελου στις εικόνες A-Z δημιουργήθηκαν οι παράγωγες εικόνες A'-Z' οι οποίες προέκυψαν μέσω της εφαρμογής σε κάθε εικόνα του τύπου:  $(B2-B1)/FWHM(nm)$  όπου B1 το κανάλι στα 762nm και B2 το αμέσως επόμενο κανάλι. Πιο συγκεκριμένα, για τις εικόνες A-Z τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το κανάλι B46 (763.7 nm), το κανάλι B47 (771.3 nm) και η τιμή FWHM ήταν 7.6 nm. Η συγκεκριμένη διαδικασία έγινε χρησιμοποιώντας το εργαλείο BAND MATH του λογισμικού ENVI



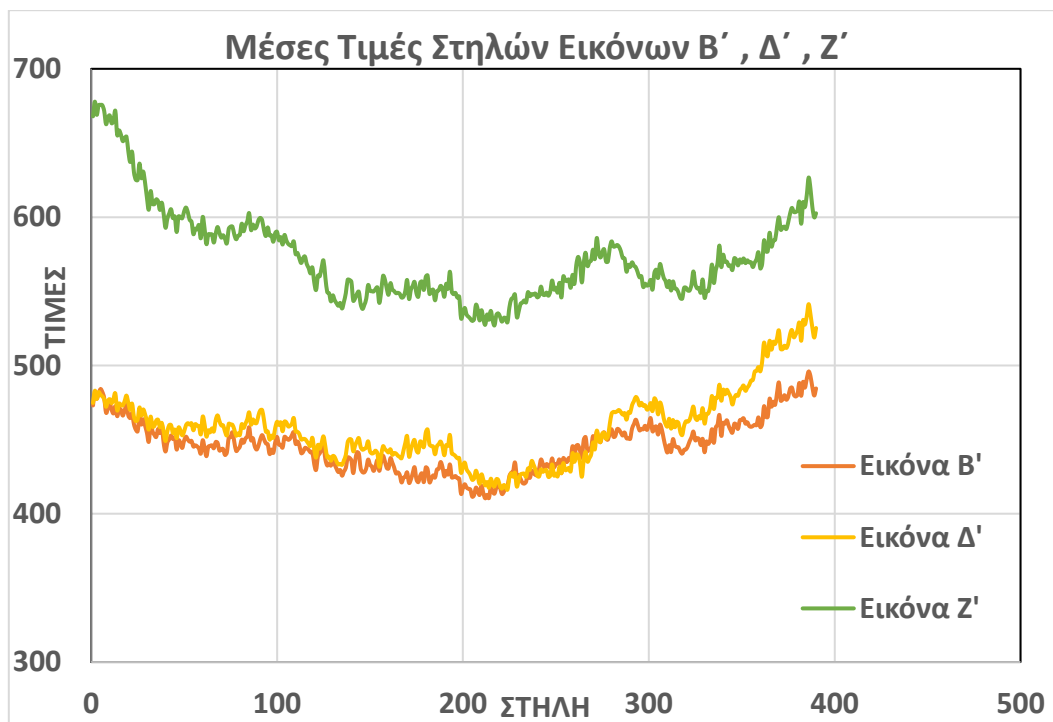
Εικόνα 13: Εργαλείο Band Math στο ENVI

Στη συνέχεια, υπολογίστηκαν οι μέσες τιμές κάθε στήλης για τις εικόνες A'-Z'.

Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550



Διάγραμμα 1: Γραφικές παραστάσεις των μέσες τιμών των στηλών για τις εικόνες Α', Γ', Ε'



Διάγραμμα 2: Γραφικές παραστάσεις των μέσες τιμών των στηλών για τις εικόνες Β', Δ', Ζ'



## Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550

Αρχικά, παρατηρήθηκε ότι η μορφή της γραφικής παράστασης των μέσων τιμών των εικόνων A'-Z' σχετίζεται με την διεύθυνση πτήσης. Συγκεκριμένα, οι εικόνες με διεύθυνση N-B και Δ-A (A', Γ', Ε') είχαν γραφική παράσταση με ίδια μορφή, ενώ οι εικόνες με διεύθυνση B-N και A-Δ (B', Δ', Z') με άλλη μορφή. Επίσης, οι τιμές και το σχήμα των γραφικών παραστάσεων για τις εικόνες A', Γ' ήταν παρόμοια, όπως αντίστοιχα και για τις εικόνες B', Δ'. Οι ομοιότητα στα δεδομένα των αντίστοιχων ζευγών ήταν αναμενόμενη, καθώς λήφθηκαν με πολύ μικρή χρονική διαφορά και με ίδια διεύθυνση, επομένως οι ατμοσφαιρικές συνθήκες και οι συνθήκες φωτισμού ήταν παρόμοιες.

Επόμενο βήμα ήταν ο υπολογισμός της γραμμής τάσης (Trend Line) που περιγράφει καλύτερα κάθε γραφική παράσταση. Η συγκεκριμένη διαδικασία είναι εξαιρετικά σημαντική καθώς οι γραμμές τάσης που υπολογίστηκαν ουσιαστικά περιγράφουν την επίδραση του φασματικού χαμόγελου ανά στήλη στις εικόνες, αποτελούν, δηλαδή, τον δείκτη ποσοτικοποίησης της επίδρασης του χαμόγελου. Για τον υπολογισμό των γραμμών τάσης τέθηκε ο περιορισμός να μπορούν να περιγραφούν ως πολυώνυμα 2ου βαθμού. Αυτός ο περιορισμός τέθηκε ώστε οι διορθώσεις που υπολογίστηκαν στην συνέχεια να μην επηρεάσουν την ραδιομετρία της εικόνας, καθώς γραμμές τάσεις που εκφράζονται με πολυώνυμα ανώτερα του 2ου βαθμού είναι πολύ πιθανό να περιγράφουν πέραν της επίδρασης του φασματικού χαμόγελου και τις επιδράσεις από άλλους παράγοντες, όπως το ανάγλυφο της περιοχής, με αποτέλεσμα διορθώσεις βασισμένες σε αυτές τις γραμμές τάσης να θέτουν σε κίνδυνο την ραδιομετρία των εικόνων. Οι συναρτήσεις των γραμμών τάσεις των γραφικών παραστάσεων των εικόνων A'-Z' παρουσιάζονται στον πίνακα 6.

Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550

Εικόνα	Παράμετροι Γραμμής Τάσης	R <sup>2</sup>
A'	$\Gamma(x)=0,0022x^2 - 0,2628x + 371,26$	0,987
B'	$\Gamma(x)=0,0017x^2 - 0,6333x + 476,75$	0,9413
Γ'	$\Gamma(x)=0,0027x^2 - 0,5505x + 393,71$	0,9747
Δ'	$\Gamma(x)=0,0023x^2 - 0,8085x + 485,96$	0,9649
Ε'	$\Gamma(x)=0,0029x^2 - 0,5112x + 462,06$	0,9777
Z'	$\Gamma(x)=0,0026x^2 - 1,1672x + 662,11$	0,9375

Πίνακας 6: Συναρτήσεις γραμμών τάσεις για τις μέσες τιμές των στηλών των εικόνων A'-Z' και το R<sup>2</sup>. Αφού υπολογίστηκαν οι γραμμές τάσεις για τις εικόνες A'-Z', ακολούθησε η διαδικασία εύρεσης για κάθε εικόνα της στήλης που υφίσταται την λιγότερη επίδραση από το φασματικό χαμόγελο (Minimum Smile Column- MSC), βάση των 2 κριτηρίων που αναπτύχθηκαν στο κεφάλαιο 4.1.1. Πιο συγκεκριμένα, η στήλη MSC σε κάθε εικόνα είναι πολύ σημαντική διότι η φασματική μετατόπιση του κεντρικού μήκους κύματος στην περιοχή των εικονοψηφίδων γύρω από την στήλη MSC στην εικόνα ελαχιστοποιείται.

Εικόνα	Στήλη MSC
A'	60
B'	186
Γ'	66
Δ'	205
Ε'	67
Z'	223

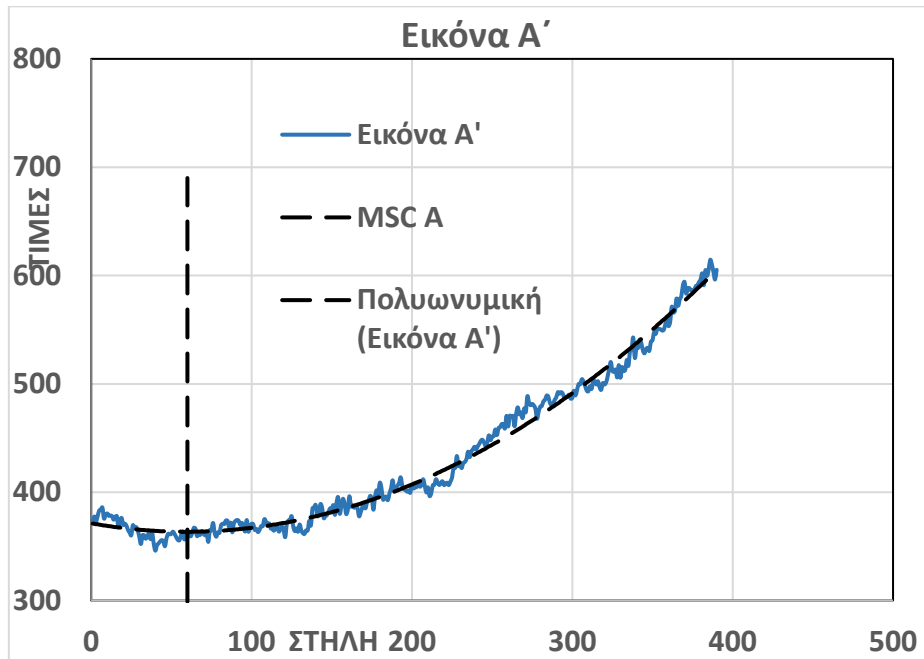
Πίνακας 7: Θέση στήλης MSC για τις εικόνες A'-Z'

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως οι στήλες MSC για τις εικόνες με διεύθυνση N-B και Δ-A (A', Γ', Ε') βρέθηκαν στην ίδια περιοχή, όμως, οι στήλες MSC για τις εικόνες με διεύθυνση B-N και

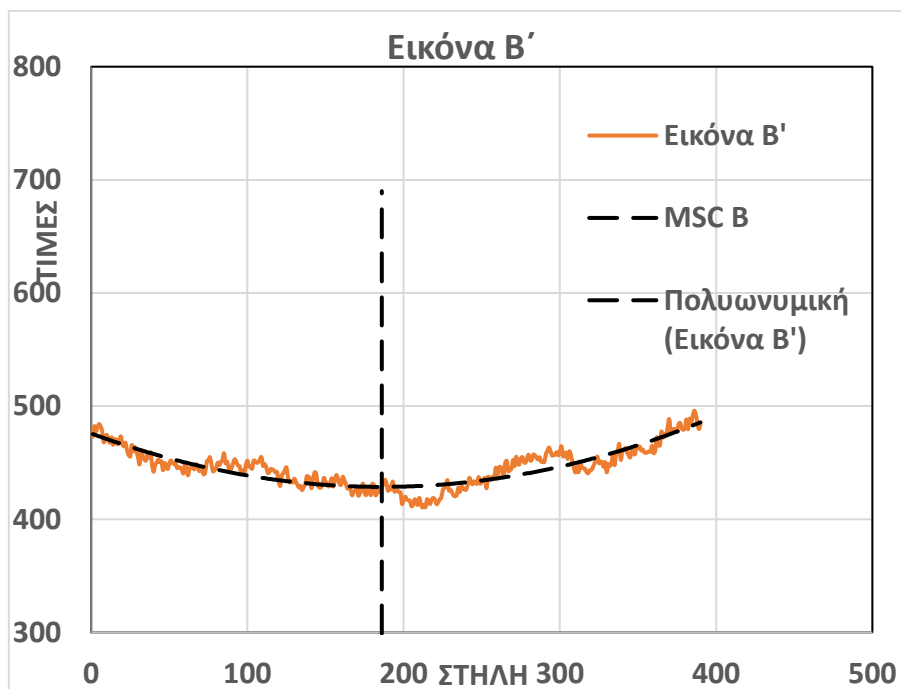
## Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550

A-Δ (B', Δ', Z') βρέθηκαν να έχουν μια διαφορά των 20 στηλών (Πίνακας 7).

Ακολουθούν τα διαγράμματα των εικόνων A'-Z' με τις γραμμές τάσεις και τις στήλες MSC.

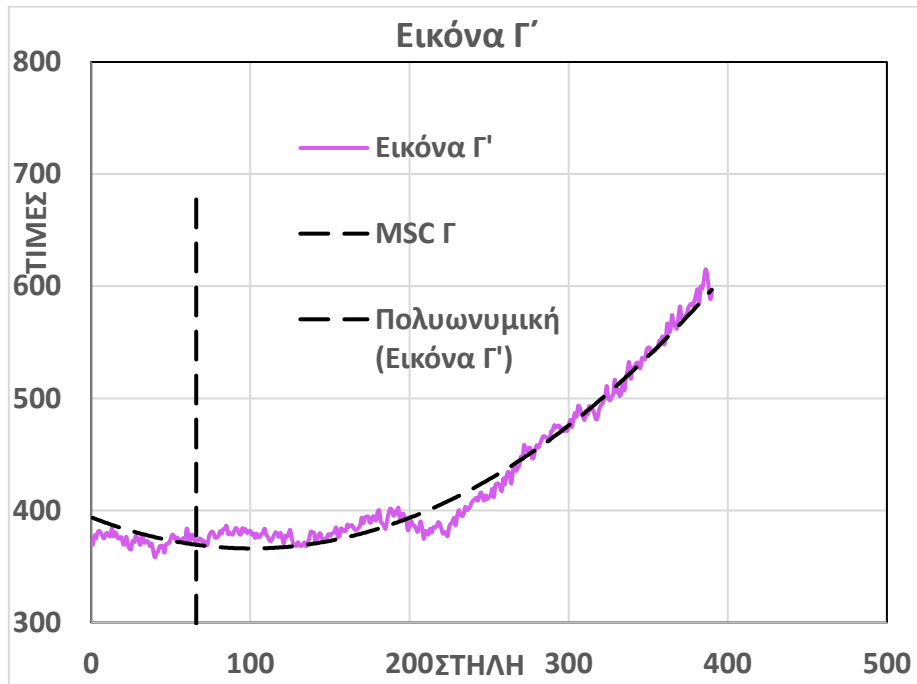


Διάγραμμα 3: Γραφική παράσταση μεσών τιμών εικόνας A' μαζί με την γραφική παράσταση της γραμμής τάσης της και την στήλη MSC

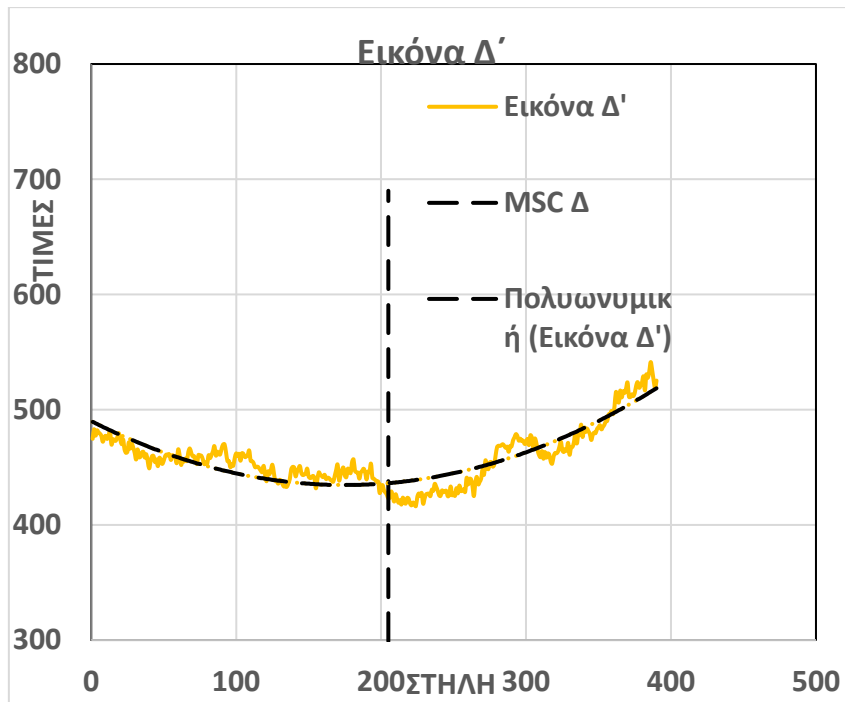


Διάγραμμα 4: Γραφική παράσταση μεσών τιμών εικόνας B' μαζί με την γραφική παράσταση της γραμμής τάσης της και την στήλη MSC

Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550

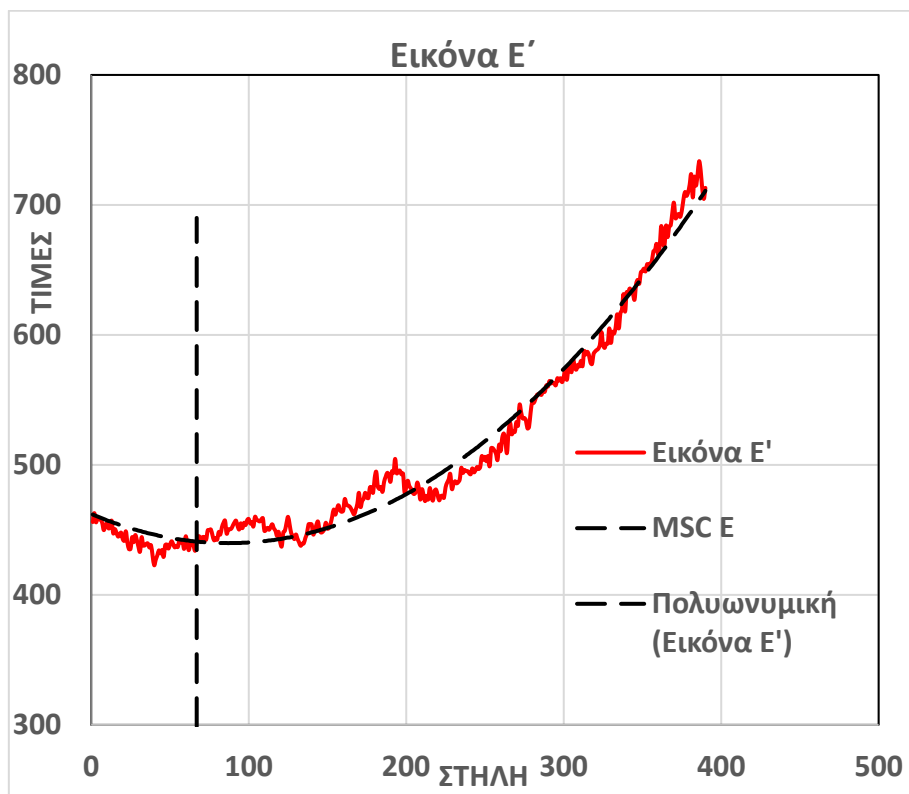


Διάγραμμα 5: Γραφική παράσταση μέσω τιμών εικόνας Γ' μαζί με την γραφική παράσταση της γραμμής τάσης της και την στήλη MSC

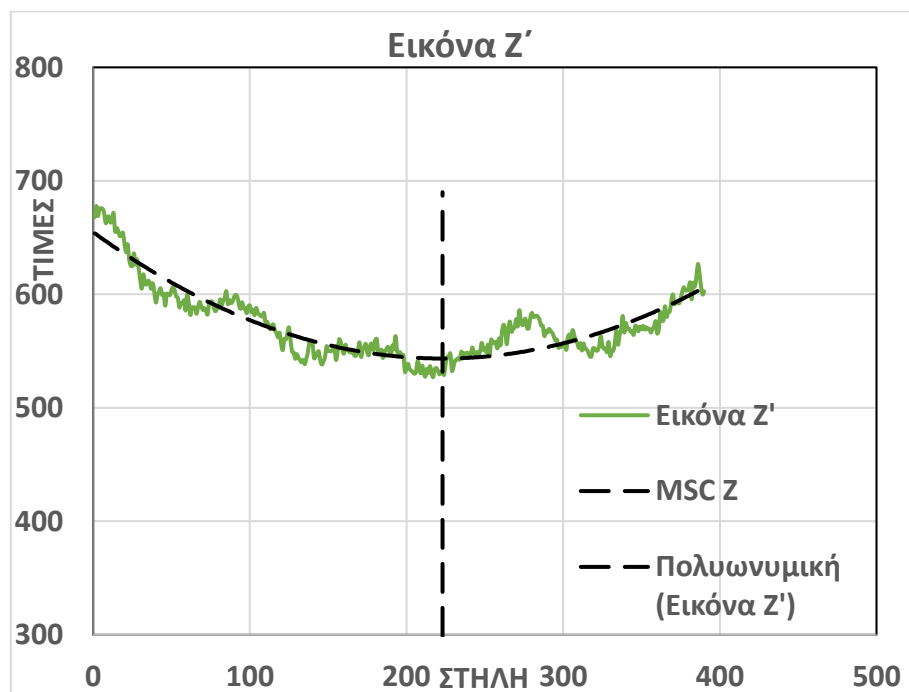


Διάγραμμα 6: Γραφική παράσταση μέσω τιμών εικόνας Δ' μαζί με την γραφική παράσταση της γραμμής τάσης της και την στήλη MSC

Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550



Διάγραμμα 7: Γραφική παράσταση μέσω τιμών εικόνας Ε' μαζί με την γραφική παράσταση της γραμμής τάσης της και την στήλη MSC



Διάγραμμα 8: Γραφική παράσταση μέσω τιμών εικόνας Ζ' μαζί με την γραφική παράσταση της γραμμής τάσης της και την στήλη MSC

#### 4.3.2 Στάδιο υπολογισμού τιμών διόρθωσης

Μετά την ολοκλήρωση των διαδικασιών της ποσοτικοποίησης της επίδρασης του φασματικού χαμόγελου στις εικόνες και της εύρεσης της στήλης MSC για κάθε εικόνα, ακολούθησαν οι διαδικασίες υπολογισμού των τιμών διόρθωσης για τις εικόνες A-Z.

Αρχικά, για κάθε εικόνα έγινε αφαίρεση από τις τιμές της γραφικής παράστασης και της γραμμής τάσης της τιμής της γραφικής παράστασης της στήλης MSC. Στην συνέχεια, έγινε μετασχηματισμός MNF στις αρχικές εικόνες και υπολογίστηκαν οι μέσες τιμές των στηλών για την πρώτη συνιστώσα των εικόνων MNF (MNF-1). Ο μετασχηματισμός MNF έγινε με την χρήση του λογισμικού ENVI με υπολογισμό των στατιστικών από τα δεδομένα των εικόνων (Transform->Forward MNF->Estimate Noise Statistics from Data).

Επόμενο βήμα αποτέλεσε ο υπολογισμός των τιμών διόρθωσης από τις γραμμές τάσεις που υπολογίστηκαν νωρίτερα από τις γραφικές παραστάσεις των μέσων τιμών των εικόνων A'-Z'. Πιο συγκεκριμένα, για κάθε εικόνα έγινε αφαίρεση από τις τιμές της γραφικής παράστασης και της γραμμής τάσης της τιμής της γραφικής παράστασης της στήλης MSC (Συνάρτηση τιμής διόρθωσης-ΤΔ)<sup>1</sup>. Στην συνέχεια, οι νέες τιμές μετατράπηκαν στην κλίμακα των μέσων τιμών των στηλών των MNF-1 που υπολογίστηκαν νωρίτερα. Η μετατροπή έγινε με βάση των λόγο της τυπικής απόκλισης των μέσων τιμών των στηλών των εικόνων A'-Z' ως προς την τυπική απόκλιση των μέσων τιμών των στηλών των αντίστοιχων MNF-1. Οι τελικές τιμές που προέκυψαν από την παραπάνω μετατροπή ήταν οι τελικές τιμές διόρθωσης για κάθε στήλη των εικόνων A-Z.

---

<sup>1</sup>:  $TL(x)=[\Gamma T(x)-X_{MSC}]/K$  όπου  $TL(x)$  η συνάρτηση των τιμών διόρθωσης της εικόνας,  $x$  η θέση της στήλης,  $\Gamma T(x)$  η συνάρτηση της γραμμής τάσης της εικόνας και  $K$  η κλίμακα μετατροπής στο εύρος των τιμών του MNF-1

Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550

Εικόνα	Τυπική Απόκλιση Μέσων Τιμών Στηλών Εικόνας	Τυπική Απόκλιση Μέσων Τιμών Στηλών MNF
A	72.8	3.1
B	17.7	5.78
Γ	67.6	5.47
Δ	28.0	1.82
E	56.3	7.54
Z	31.3	8.91

Πίνακας 8: Τυπικές αποκλίσεις για τις εικόνες A'-Z' και τις αντίστοιχες εικόνες MNF-1

#### 4.3.3 Στάδιο εφαρμογής των διορθώσεων στις εικόνες

Η εισαγωγή των τιμών διόρθωσης για τις εικόνες A-Z που υπολογίστηκαν νωρίτερα έγινε μέσω της διόρθωσης των τιμών των εικονοψηφίδων των αντίστοιχων εικόνων MNF-1 με βάση τον τύπο:  $MNF-1_{TLSC} = \Sigma(X_{MNF} + (-TL_{CX}) \pm \Delta MSC)^2$ . Μετά την διόρθωση των τιμών των εικονοψηφίδων ακολούθησε η διαδικασία του αντίστροφου μετασχηματισμού MNF (IMNF) που είχε ως αποτέλεσμα την δημιουργία των διορθωμένων εικόνων ανακλώμενης ακτινοβολίας A''-Z''. Η διαδικασία του αντίστροφου MNF έγινε στο λογισμικό ENVI (Transform->Inverse MNF) και χρησιμοποιήθηκαν τα στατιστικά που είχαν υπολογιστεί κατά τον αρχικό μετασχηματισμό MNF.

<sup>2</sup>:  $MNF-1_{TLSC}$  η διορθωμένη εικόνα MNF-1,  $X_{MNF}$  το κάθε εικονοστοιχείο του MNF-1,  $TL_{CX}$  η τιμή της μετατιθεμένης Γραμμής Τάσης για την στήλη του εικονοστοιχείου  $X_{MNF}$  στην κλίμακα του MNF-1, δηλαδή η τιμή διόρθωσης,  $\Delta MSC$  η τιμή της διαφοράς μεταξύ γραμμής τάσης και γραφικής παράστασης στη στήλη που δέχεται την μικρότερη επίδραση από το χαμόγελο στην κλίμακα του MNF-1, c η θέση της στήλης

## 5. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΔΙΟΡΘΩΣΗΣ ΣΤΙΣ ΕΙΚΟΝΕΣ CASI-550

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της διόρθωσης της επίδρασης του χαμόγελου με την τροποποιημένη μέθοδο TLSC έγινε μέσω της χρήσης τριών μεθόδων αξιολόγησης, οι οποίες ήταν οι:

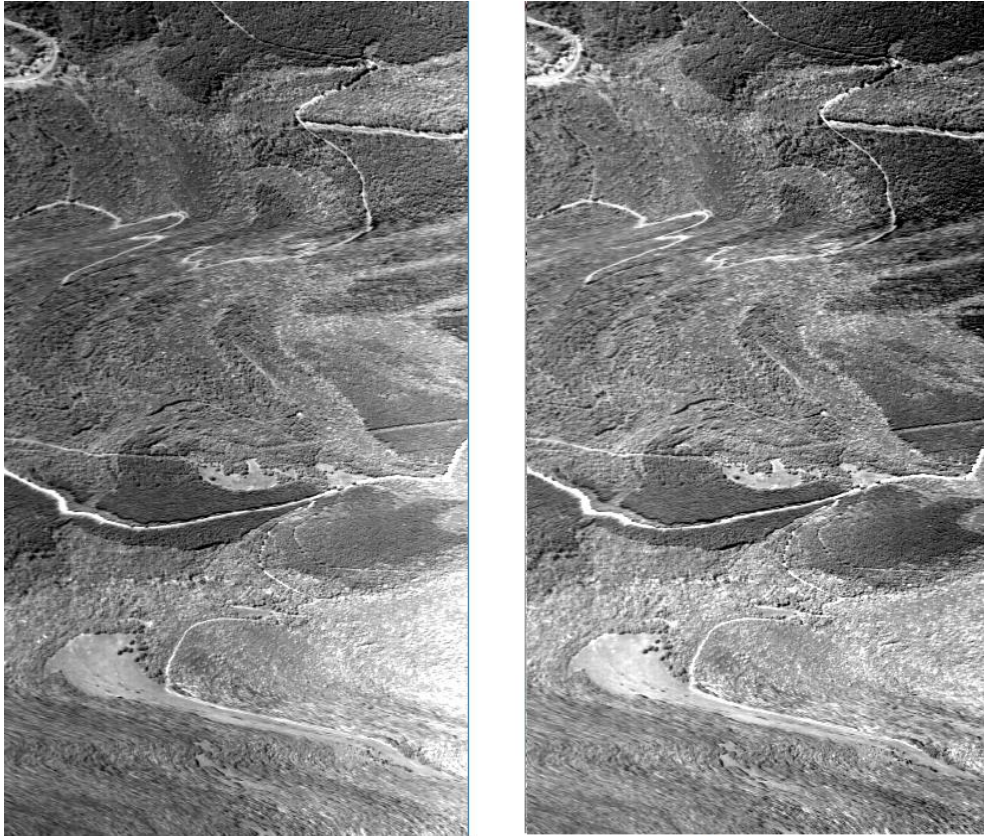
- οπτική σύγκριση των εικόνων ανακλώμενης ακτινοβολίας πριν και μετά την διόρθωση
- σύγκριση των γραφικών παραστάσεων των μέσων τιμών των στηλών στις παράγωγες εικόνες, δηλαδή στην περιοχή απορρόφησης του  $O^2$ , πριν και μετά την διόρθωση
- έλεγχος δυνατότητας μελέτης της ανακλαστικότητας διαφορετικής γωνίας όρασης και φωτισμού (BRDF) μετά την διόρθωση

### 5.1 Οπτική αξιολόγηση

Η οπτική αξιολόγηση των εικόνων έγινε με βάση τις εικόνες που αντιστοιχούν στο κανάλι 40 (717.8 nm). Παράλληλα, για λόγους ευκρίνειας, χρησιμοποιούνται χαρακτηριστικά τμήματα των εικόνων για τις συγκρίσεις πριν και μετά την διόρθωση τους.



Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550

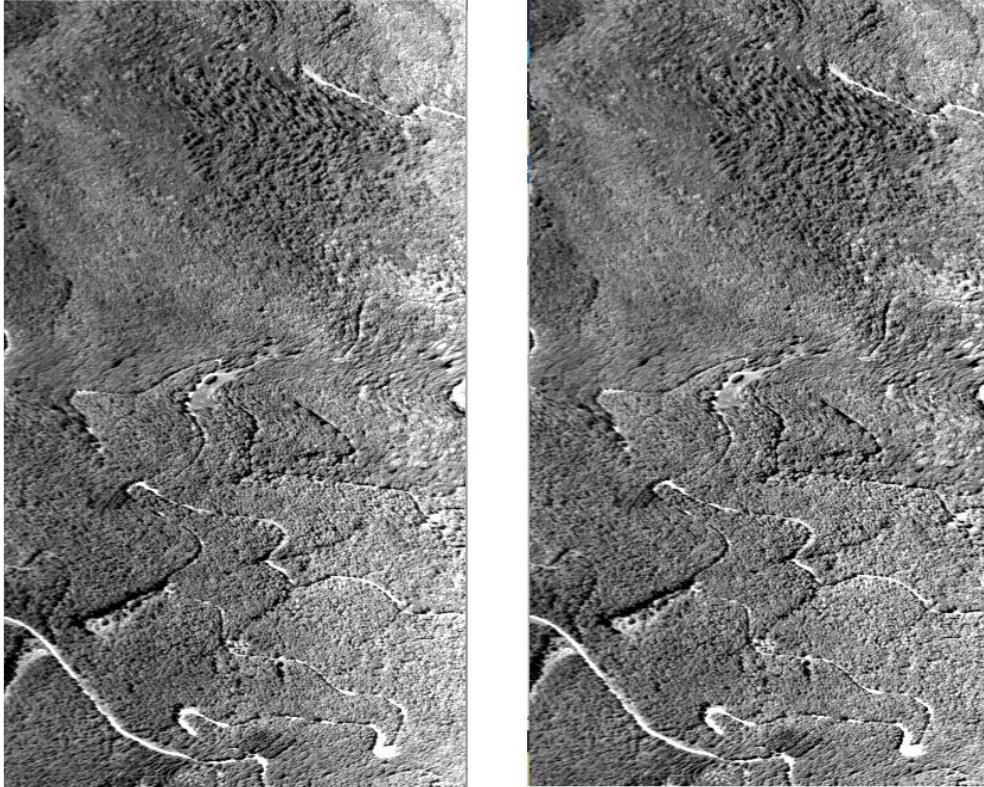


Πριν

Μετά

Εικόνα 14: Εικόνα Α πριν και μετά την διόρθωση (Band 40: 717.8 nm)

Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550

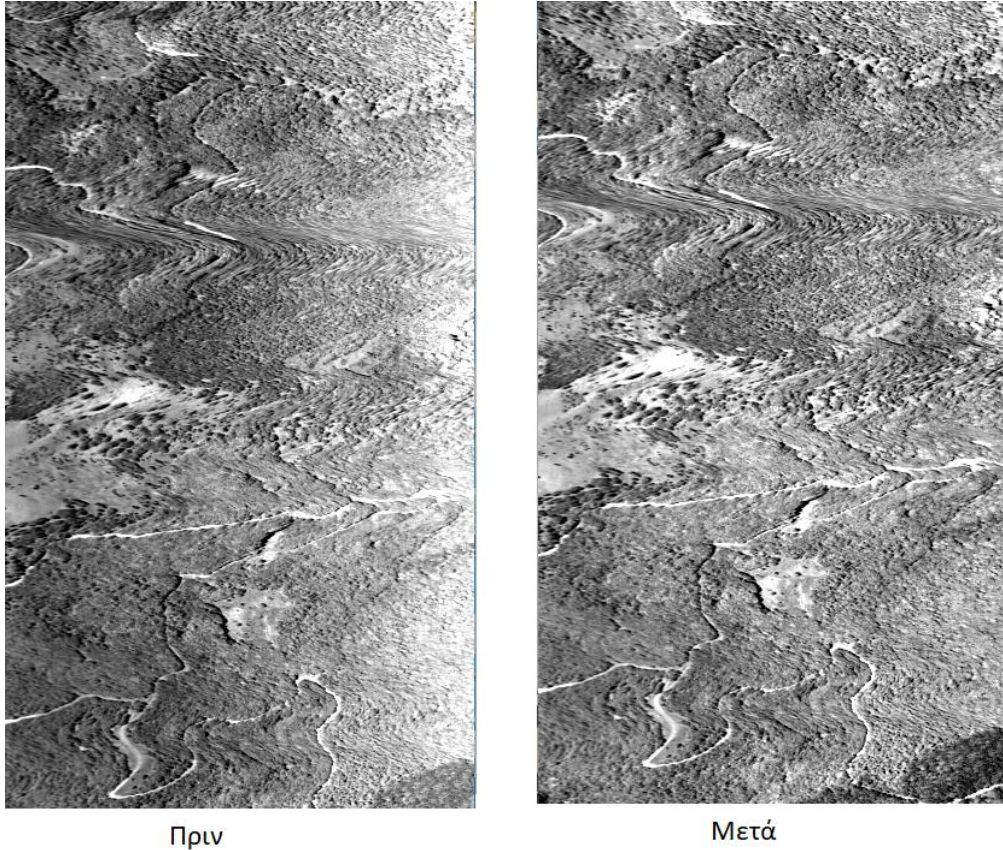


Πριν

Μετά

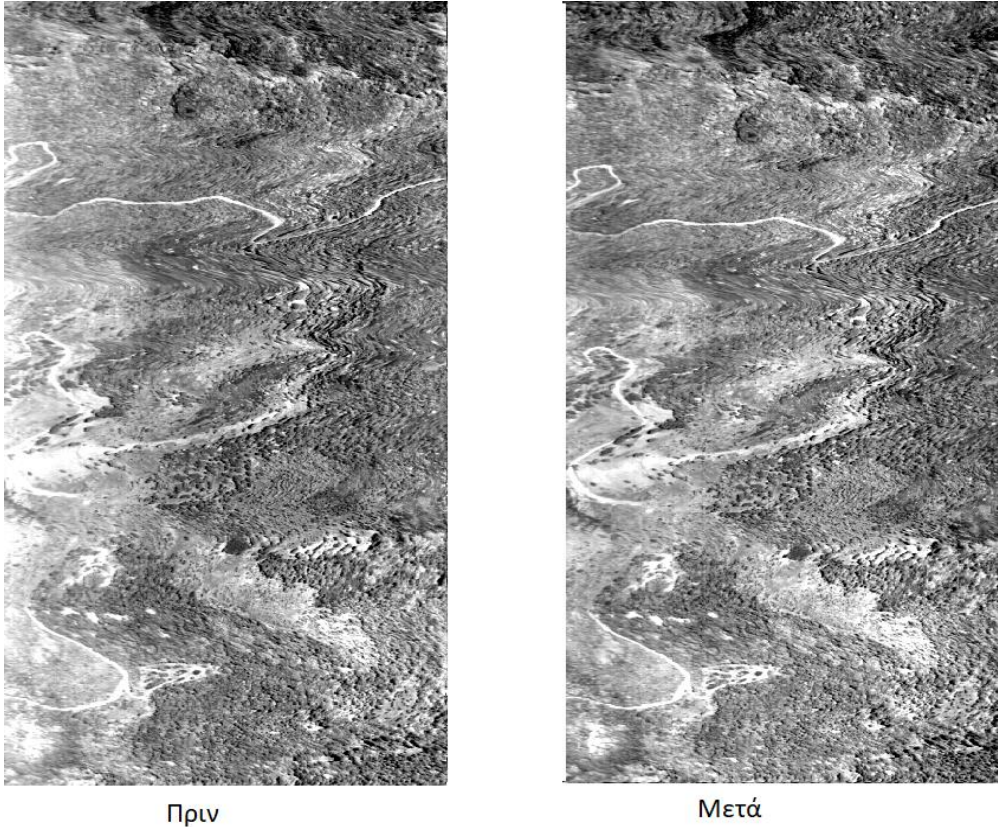
Εικόνα 15: Εικόνα Γ πριν και μετά την διόρθωση (Band 40: 717.8 nm)

Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του  
Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550



Εικόνα 16: Εικόνα Ε πριν και μετά την διόρθωση (Band 40: 717.8 nm)

## Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550



Εικόνα 17: Εικόνα Z πριν και μετά την διόρθωση (Band 40: 717.8 nm)

Οι εικόνες Α, Γ και Ε, πριν την διόρθωση, χαρακτηρίζονταν από μια μεταβολή της φωτεινότητας τους, η οποία ήταν ιδιαίτερα έντονη στο δεξιό άκρο των εικόνων. Παρόμοια, και η εικόνα Ζ χαρακτηριζόταν από μια μεταβολή της φωτεινότητας της, η οποία όμως στην περίπτωση της ήταν περισσότερο έντονη στο αριστερό άκρο της εικόνας. Και στις 4 εικόνες, μετά την εφαρμογή της διόρθωσης, η φωτεινή διαβάθμιση έχει σχεδόν εξαλειφθεί πλήρως.

Μικρά υπολείμματα της φωτεινής διαβάθμισης σε ορισμένα σημεία των εικόνων δικαιολογούνται από άλλους παράγοντες που επηρεάζουν τον φωτισμό των εικόνων, όπως το ανάγλυφο της περιοχής, η γωνία φωτισμού από την φωτεινή πηγή ή η κλίση του δέκτη λόγω της κακής τοποθέτησης του, και αναμένεται να διορθωθούν σε μεγάλο βαθμό από επόμενα στάδια επεξεργασιών, όπως οι ατμοσφαιρικές και γεωμετρικές διορθώσεις ενώ αποτελεί και σημαντική ένδειξη πως η μέθοδος διόρθωσε το ποσοστό της φωτεινής διαβάθμισης που οφειλόταν στο φασματικό χαμόγελο.

Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του  
Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550



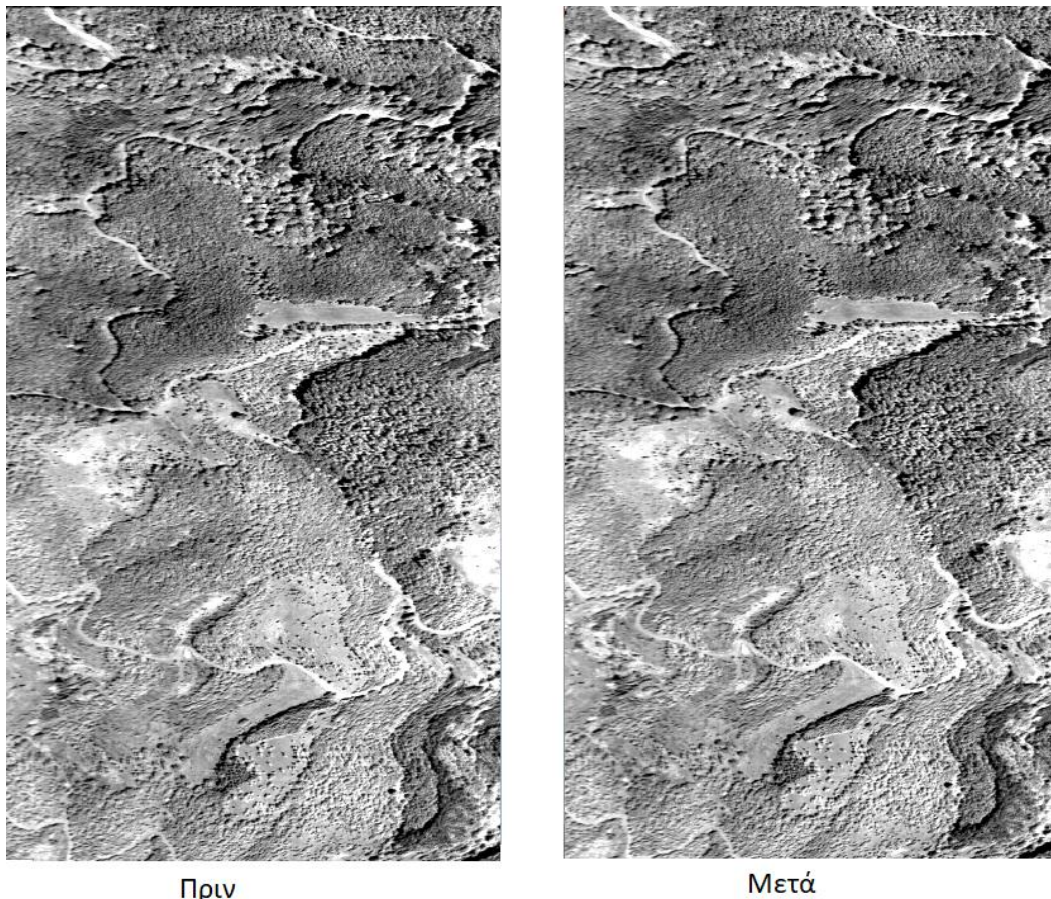
Πριν



Μετά

Εικόνα 18: Εικόνα Β πριν και μετά την διόρθωση (Band 40: 717.8 nm)

## Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550



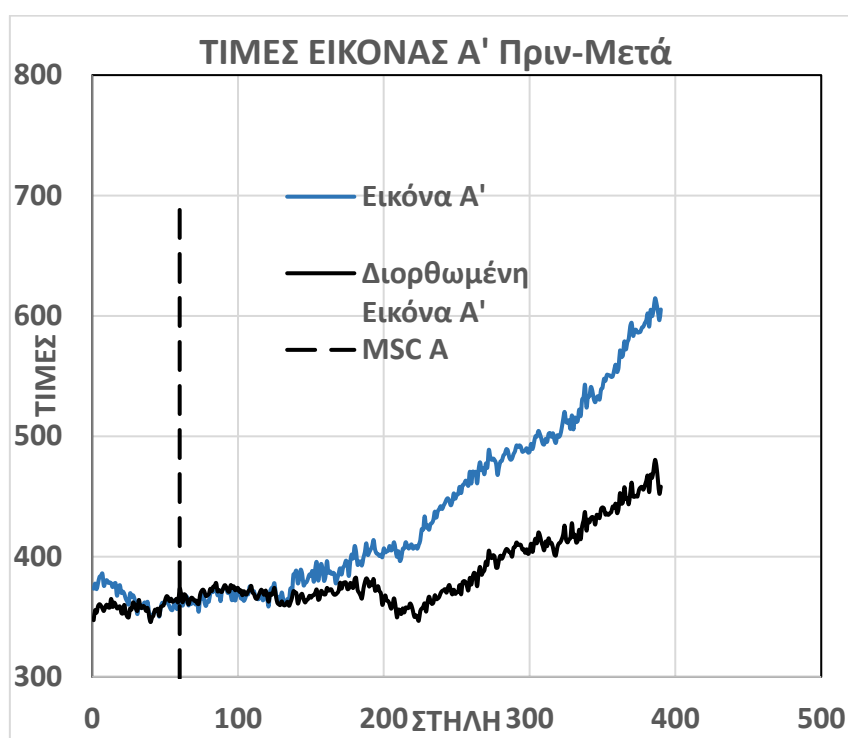
Εικόνα 19: Εικόνα Δ πριν και μετά την διόρθωση (Band 40: 717.8 nm)

Σε αντίθεση με τις εικόνες Α, Γ, Ε και Ζ, στις εικόνες Β και Δ, οι οποίες δεν υπέφεραν αρχικά από διαβάθμιση της φωτεινότητας τους, δεν υπάρχουν αξιοσημείωτες μεταβολές μετά την εφαρμογή των διορθώσεων.

Τα αποτελέσματα της διόρθωσης όλων των εικόνων ήταν σε μεγάλο βαθμό τα αναμενόμενα. Επιπρόσθετα, η απουσία οποιασδήποτε ορατής μεταβολής στις εικόνες Β και Δ μπορεί να χαρακτηριστεί και ως μια ένδειξη πως σε εικόνες CASI-550 στις οποίες η επίδραση του φασματικού χαμόγελου δεν είναι ορατή ως διαβάθμιση της φωτεινότητας τους αλλά ούτε και ως διαβάθμιση της φωτεινότητας τους στην πρώτη συνιστώσα του MNF, η επίδραση του χαμόγελου μπορεί να χαρακτηριστεί και ως αμελητέα και επομένως να αγνοηθεί. Φυσικά για τον παραπάνω ισχυρισμό είναι σημαντικό να πραγματοποιηθούν περισσότερες έρευνες για την επιβεβαίωση του υπό ελεγχόμενες συνθήκες.

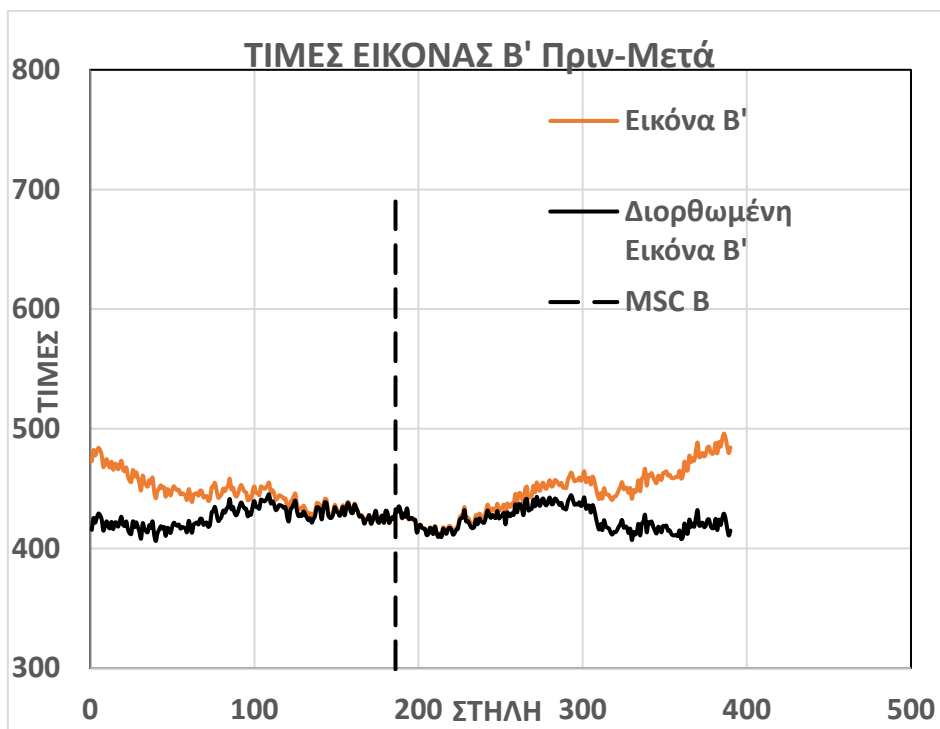
## 5.2 Σύγκριση γραφικής παράστασης φασματικού χαμόγελου πριν και μετά την διόρθωση

Στα παρακάτω διαγράμματα βλέπουμε την σύγκριση των μέσων τιμών των στηλών των εικόνων A' - Z' πριν και μετά την εφαρμογή της μεθόδου TLSC.

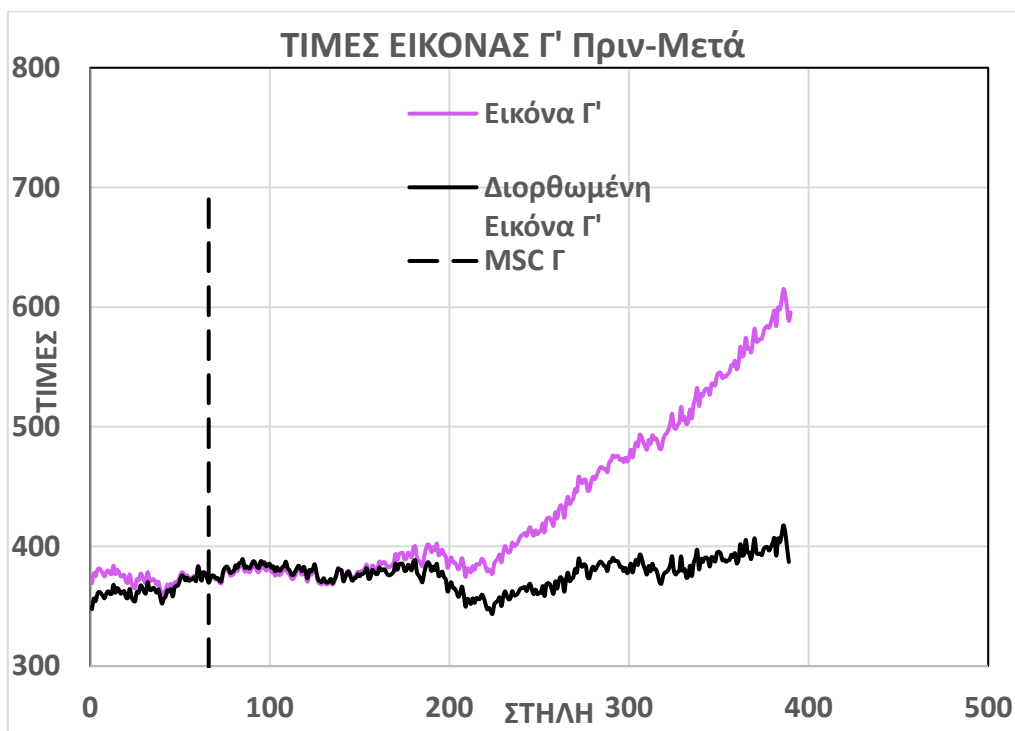


Διάγραμμα 9: Γραφική παράσταση εικόνας A' πριν και μετά την διόρθωση

Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550



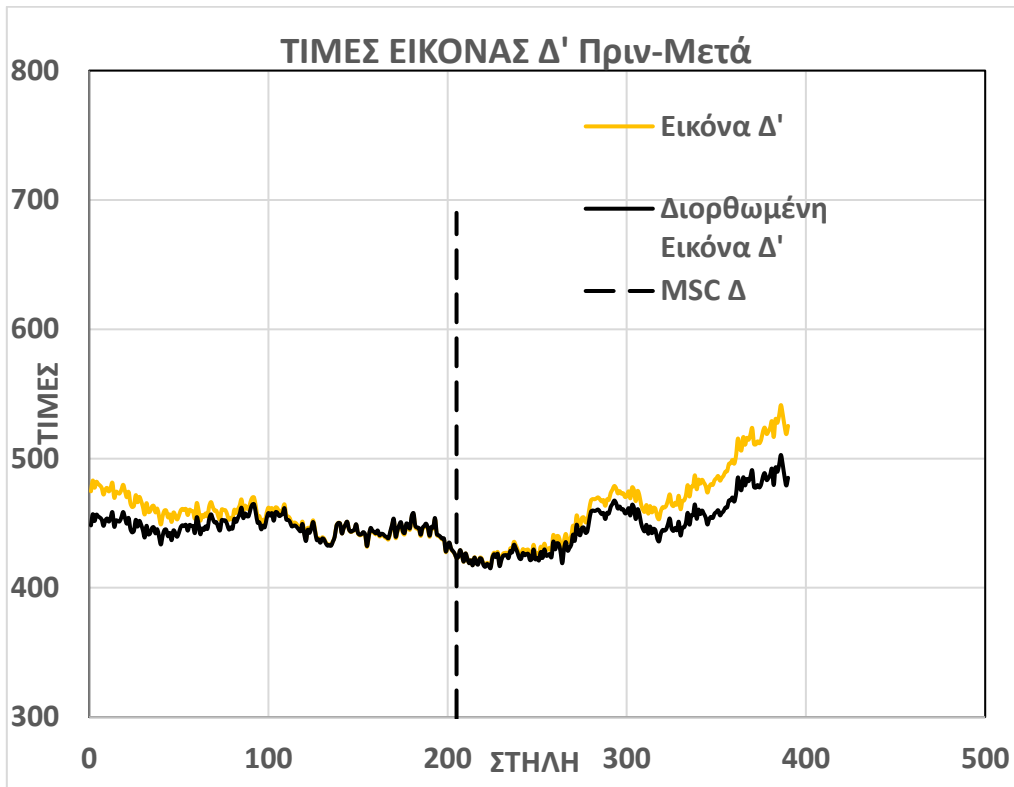
Διάγραμμα 10: Γραφική παράσταση εικόνας Β' πριν και μετά την διόρθωση



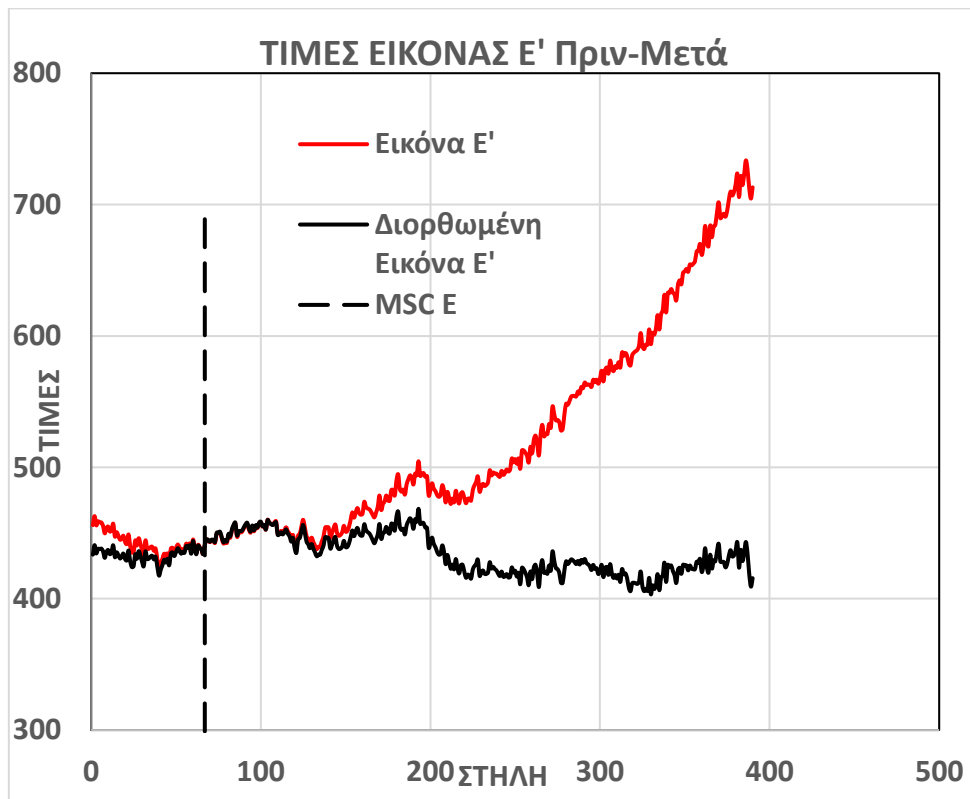
Διάγραμμα 11: Γραφική παράσταση εικόνας Γ' πριν και μετά την διόρθωση



Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550

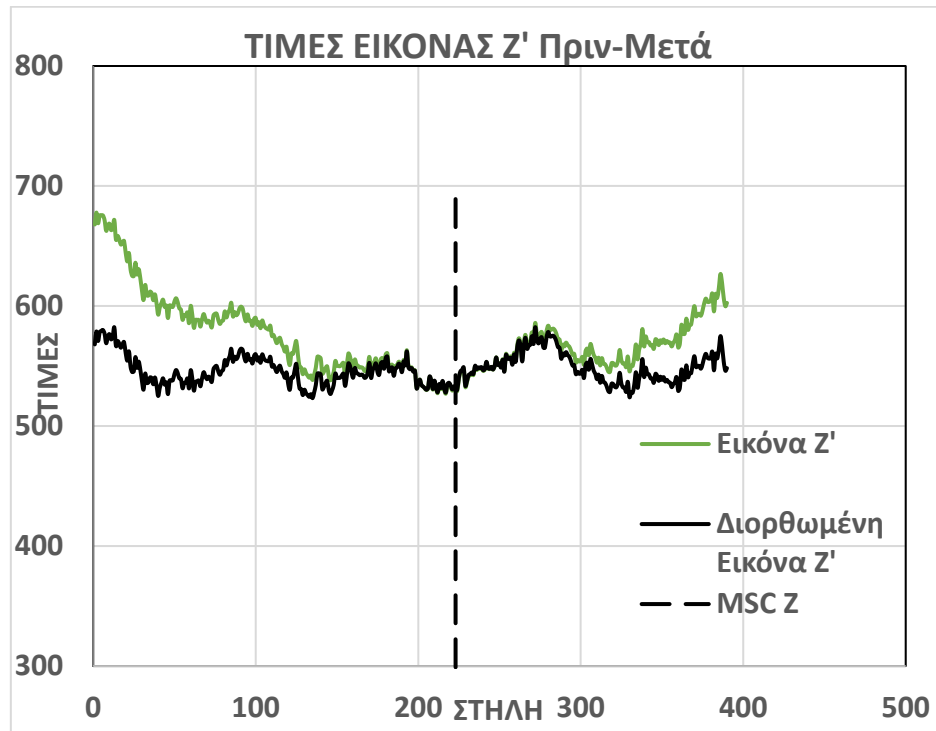


Διάγραμμα 12: Γραφική παράσταση εικόνας Δ' πριν και μετά την διόρθωση



Διάγραμμα 13: Γραφική παράσταση εικόνας Ε' πριν και μετά την διόρθωση

## Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550



Διάγραμμα 14: Γραφική παράσταση εικόνας Z' πριν και μετά την διόρθωση

Όπως προκύπτει από τα διαγράμματα των μέσων τιμών των εικόνων Α'-Ζ', η ραδιομετρία των εικόνων διατηρήθηκε ενώ παράλληλα η καμπύλη του φασματικού χαμόγελου είτε μειώθηκε σημαντικά, όπως στις εικόνες Α' και Δ', είτε σχεδόν εξαλείφθηκε πλήρως όπως στις εικόνες Β', Γ', Ε' και Ζ'. Η συγκεκριμένη διαφορά που προέκυψε για τις Α' και Δ' είναι πιθανό να οφείλεται στον λόγο κλίμακας που χρησιμοποιήθηκε κατά την μετατροπή των τιμών της διόρθωσης στην κλίμακα τιμών του MNF-1. Στην συγκεκριμένη εφαρμογή ο λόγος κλίμακας για κάθε εικόνα προέκυψε από τον λόγο της τυπικής απόκλισης των μέσων τιμών των στηλών της εικόνας ως προς την τυπική απόκλιση των μέσων τιμών των στηλών της MNF-1 καθότι σε σχέση με άλλους λόγους που δοκιμάστηκαν είχε τα περισσότερο ομοιογενή αποτελέσματα. Μικρές μεταβολές στην τιμή του λόγου για τις εικόνες Α' και Δ', και ειδικά για την εικόνα Α', θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε αποτελέσματα αντίστοιχα με των υπολοίπων. Επομένως, θα ήταν χρήσιμο να υπολογίζεται αρχικά ο λόγος κλίμακας για την μετατροπή μιας εικόνας όπως περιεγράφηκε, αλλά στην συνέχεια να πραγματοποιούνται δοκιμές με μικρές μεταβολές του λόγου για να βρεθεί ο λόγος κλίμακας για τον οποίο προκύπτουν τα βέλτιστα αποτελέσματα.

Παράλληλα, οι περιοχές γύρω από τις στήλες που επιλέχθηκαν ως στήλες MSC για κάθε εικόνα μεταβλήθηκαν ελάχιστα. Αυτό το αποτέλεσμα είναι πολύ σημαντικό καθώς, ενώ για τις εικόνες Α',Γ'

## Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550

και Ε' ήταν αναμενόμενο καθότι οι στήλες MSC τους βρίσκονταν στην ίδια περιοχή, για τις εικόνες Β', Δ' και Ζ' δεν ήταν το ίδιο αναμενόμενο, των οποίων οι θέσεις των στηλών MSC απείχαν περίπου είκοσι στήλες. Φαίνεται, όμως από τις γραφικές παραστάσεις των Β', Δ' και Ζ πως η περιοχή μεταξύ των στηλών 150 και 250 παραμένει σε όλες σχεδόν αμετάβλητη. Αυτή η παρατήρηση οδηγεί στο συμπέρασμα πως η απόσταση μεταξύ των στηλών MSC που προέκυψε αρχικά είναι πολύ πιθανό να οφείλεται σε τυχαίους παράγοντες όπως το ανάγλυφο των εικόνων και η ακρίβεια υπολογισμού των γραμμών τάσης. Επίσης, από τις παραπάνω παρατηρήσεις μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα πως θα μπορούσε να είχε χρησιμοποιηθεί κοινή στήλη MSC για την ομάδα εικόνων Α', Γ', Ε' και κοινή για την ομάδα εικόνων Β', Δ', Ζ'.

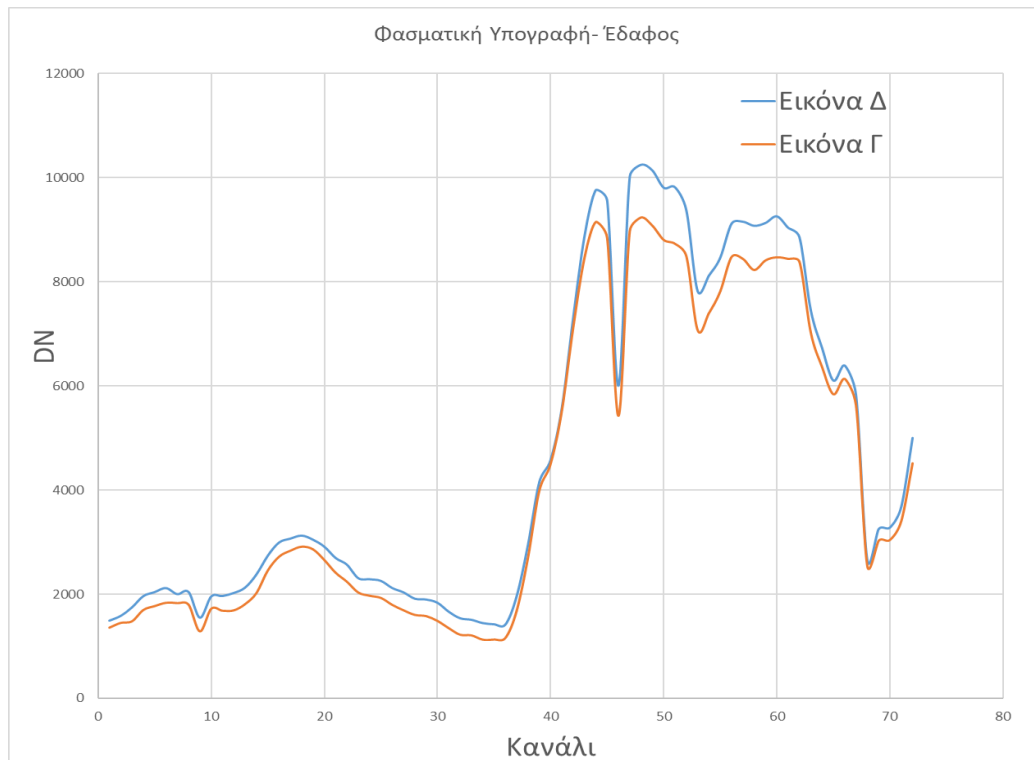
Εικόνα	Τυπική Απόκλιση Μέσων Τιμών Πριν	Τυπική Απόκλιση Μέσων Τιμών Μετά
Α'	72.8	45.5
Β'	17.7	8.74
Γ'	67.6	12.6
Δ'	28.0	15.8
Ε'	58.3	13.6
Ζ'	31.5	12.8

Πίνακας 9: Τυπικές αποκλίσεις εικόνων Α'-Ζ' πριν και μετά την διόρθωση

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την μελέτη των διαγραμμάτων των εικόνων Α'-Ζ' επιβεβαιώνονται και από τον πίνακα 2 που παρουσιάζει τις τυπικές αποκλίσεις των μέσων τιμών των στηλών για κάθε εικόνα, πριν και μετά την εφαρμογή της μεθόδου. Μετά την διόρθωση, η τυπική απόκλιση των μέσων τιμών των στηλών για όλες τις εικόνες, με εξαίρεση την εικόνα Α', κυμαίνεται στο ίδιο επίπεδο. Και για την εικόνα Δ' όμως, από τον παραπάνω πίνακα, επιβεβαιώνεται σε ένα βαθμό το συμπέρασμα που προέκυψε από την παρατήρηση των διαγραμμάτων, πως θα ήταν δυνατό να διορθωθεί σε μεγαλύτερο βαθμό, καθώς, ενώ αρχικά είχε την μικρότερη τυπική απόκλιση από όλες τις εικόνες μετά την διόρθωση είχε την μεγαλύτερη τυπική απόκλιση μετά την εικόνα Α'. Βέβαια η τυπική της απόκλιση κυμαίνεται σε αντίστοιχο επίπεδο με τις υπόλοιπες εικόνες (πλην της Α') οπότε η διόρθωση της θεωρείται ικανοποιητική.

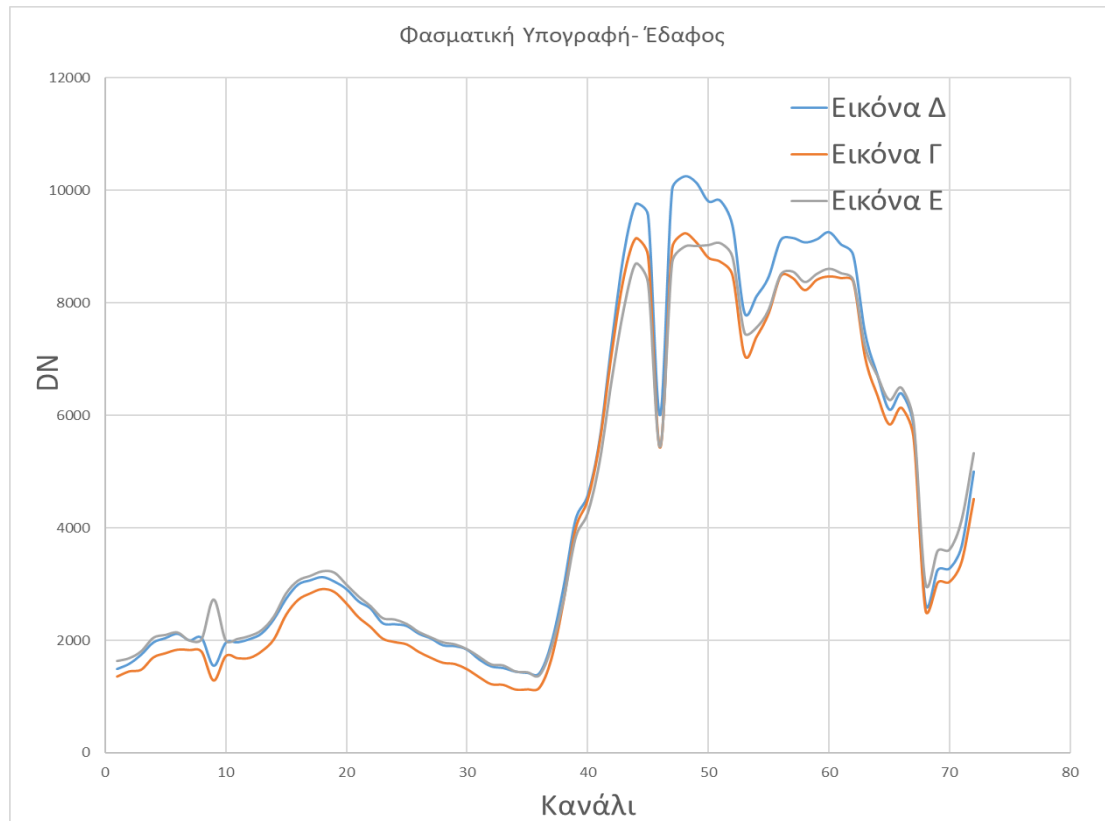
### 5.3. Έλεγχος δυνατότητας μελέτης της ανακλαστικότητας διαφορετικής γωνίας όρασης και φωτισμού (BRDF) μετά την διόρθωση

Για την σύγκριση των φασματικών υπογραφών και τον έλεγχο δυνατότητας μελέτης έγινε πρώτα γεωμετρική διόρθωση των εικόνων Γ, Δ και Ε οι οποίες διέθεταν σημαντικό επικαλυπτόμενο τμήμα. Στο επικαλυπτόμενο τμήμα λήφθηκαν φασματικές υπογραφές εδάφους.



Διάγραμμα 15: Φασματικές υπογραφές εδάφους για τις εικόνες Γ και Δ μετά την διόρθωση

## Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550



Διάγραμμα 16: Φασματικές υπογραφές εδάφους για τις εικόνες Γ, Δ και Ε μετά την διόρθωση

Όπως φαίνεται από τα διαγράμματα υπάρχει δυνατότητα μελέτης της ανακλαστικότητας διαφορετικής γωνίας όρασης και φωτισμού (BRDF). Οι φασματικές υπογραφές της ίδιας εικονοψηφίδας εδάφους που προέρχονται από υπερφασματικές εικόνες και έχουν ληφθεί με μικρή διαφορά ώρας μεταξύ τους, υπό διαφορετικές γωνίες (η Γ με διεύθυνση N->B, η Δ με διεύθυνση B->N και η Ε με διεύθυνση Δ->Α) παρουσιάζουν παρόμοια χαρακτηριστικά. Πρέπει να τονιστεί πως οι συγκεκριμένες φασματικές υπογραφές προέρχονται από εικόνες ανακλώμενης ακτινοβολίας. Είναι αναμενόμενο, καθώς έχουν ληφθεί υπό σχετικά παρόμοιες ατμοσφαιρικές συνθήκες, να διατηρήσουν αυτά τα χαρακτηριστικά και μετά την ατμοσφαιρική τους διόρθωση.

Επίσης, από τα διαγράμματα φαίνεται και το πρόβλημα που αντιμετωπίζουν οι εικόνες στο κανάλι 9 στα 482.9 nm με την χωρική αναντιστοιχία των εικονοψηφίδων.

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

### 6.1 Συμπεράσματα

Κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας προέκυψαν ορισμένα συμπεράσματα τόσο σε σχέση με τους στόχους της εργασίας, δηλαδή σε σχέση με τις δυνατότητες διόρθωσης της επίδρασης του φασματικού χαμόγελου σε υπερφασματικές τηλεπισκοπικές απεικονήσεις αερομεταφερόμενου δέκτη και με την δυνατότητα αξιοποίησης της μεθόδου TLSC για αυτόν τον σκοπό, όσο και σε σχέση με παρατηρήσεις που έγιναν κατά τα διάφορα στάδια εκπόνησης της εργασίας. Αναλυτικότερα:

- Αναπτύχθηκε μια νέα μέθοδος με την χρήση 2 κριτηρίων για τον εντοπισμό της στήλης που επηρεάζεται λιγότερο από την επίδραση του φασματικού χαμόγελου. Η μέθοδος βασίζεται στην παρατήρηση πως στις περισσότερες περιπτώσεις εικόνων που υφίστανται επίδραση από χαμόγελο και έχουν μελετηθεί, η στήλη η οποία έχει υποστεί την λιγότερη επίδραση από το χαμόγελο βρίσκεται εγγύτερα στην κορυφή της γραφικής παράστασης του χαμόγελου σε σχέση με τα άκρα. Αν και η χρήση δεδομένων που προκύπτουν από τη χρήση μοντέλων RTM, όπως το MODTRAN 5 στην περίπτωση των αερομεταφερόμενων δεκτών, αναμένεται να οδηγούν με μεγαλύτερη ακρίβεια στον εντοπισμό της στήλης με την ελάχιστη επίδραση από το χαμόγελο, εντούτοις, η μέθοδος των 2 κριτηρίων μπορεί να αποτελέσει μια καλή εναλλακτική για περιπτώσεις που τα παραπάνω μοντέλα δεν είναι διαθέσιμα.
- Η (τροποποιημένη) μέθοδος TLSC δοκιμάστηκε και κατάφερε να ελαττώσει αποτελεσματικά τις επιπτώσεις του φασματικού χαμόγελου σε υπερφασματικές εικόνες αερομεταφερόμενου δέκτη CASI-550, χωρίς να μεταβάλλει την ραδιομετρία των εικόνων. Μετά την διόρθωση διατηρούνται οι επιπτώσεις από άλλες πιθανές πηγές στη ραδιομετρία της εικόνας, όπως π.χ. μικρή στροφή του δέκτη ως προς την πηγή φωτισμού, γωνία φωτισμού του ήλιου, κλπ.

## Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550

- Παρατηρήθηκε πως πρέπει να γίνονται δοκιμές για την εύρεση της κατάλληλης κλίμακας μετατροπής των τιμών διόρθωσης στην κλίμακα τιμών της MNF-1 από την οποία προκύπτουν τα καλύτερα αποτελέσματα
- Οι επιπτώσεις του φασματικού χαμόγελου στις υπερφασματικές απεικονίσεις είναι διαφορετικές ανάλογα με τη διεύθυνση της γραμμής πτήσης ως προς τον φωτισμό
- Μετά την εφαρμογή της μεθόδου μπορεί να μελετηθεί η ανακλαστικότητα διαφορετικής γωνίας όρασης και φωτισμού (BRDF) εφόσον τα δεδομένα λήψης το επιτρέπουν
- Τέλος, η μέθοδος TLSC μπορεί να αυτοματοποιηθεί σχετικά εύκολα καθώς οι απαραίτητες επεξεργασίες, αν και αρκετά πολυπληθείς, μπορούν να πραγματοποιηθούν, σχεδόν στο σύνολο τους, με την χρήση ενός καλού λογισμικού επεξεργασίας τηλεπισκοπικών δεδομένων και ιδιαίτερα στην περίπτωση που χρησιμοποιείται η τροποποιημένη μέθοδος.

### 6.2 Προτάσεις

Κατά την εκπόνηση της εργασίας και της τριβής του ερευνητή με τις διαδικασίες και ενέργειες ποσοτικοποίησης και διόρθωσης του φασματικού χαμόγελου προέκυψαν υπήρξαν ορισμένες παρατηρήσεις και προβληματισμοί. Με βάση τα παραπάνω προτείνονται πιθανές κατευθύνσεις έρευνας οι οποίες θα μπορούσαν να βοηθήσουν σημαντικά στην βελτίωση των αποτελεσμάτων ερευνών σε σχέση με την επίδραση του φαινομένου του φασματικού χαμόγελου και την διόρθωση του σε εναέριες υπερφασματικές απεικονίσεις και κυρίως σε σχέση με την εφαρμογή της μεθόδου TLSC. Πιο συγκεκριμένα, προτείνεται:

- Η διερεύνηση της βελτίωσης των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης και άλλων τηλεπισκοπικών μεθόδων μετά την εφαρμογή της μεθόδου TLSC σε εικόνες αερομεταφερόμενου δέκτη CASI-550, ούτως ώστε να επιβεβαιωθεί η αξιοπιστία της μεθόδου.

## Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550

- Η διερεύνηση της δυνατότητας εφαρμογής της μεθόδου TLSC και σε άλλους αερομεταφερόμενους ή δορυφορικούς υπερφασματικούς δέκτες. Μια επιβεβαίωση της δυνατότητας χρήσης της μεθόδου ανεξαρτήτως δέκτη θα μπορούσε να οδηγήσει στην καθιέρωση της μεθόδου ως μεθόδου-ρουτίνας κατά την επεξεργασία απεικονίσεων που υποφέρουν από την επίδραση του χαμόγελου
- Η διερεύνηση της δυνατότητας σύνδεσης της μεθόδου TLSC με το μοντέλο RTM 6S με σκοπό την ανεξαρτησία της μεθόδου από το λογισμικό MODTRAN 5. Η ανεξαρτησία από το λογισμικό MODTRAN 5 και η χρήση ενός ελεύθερου μοντέλου RTM όπως ο αλγόριθμος 6S θα ήταν εξέχουσας σημασίας για την δυνατότητα αξιοποίησης της μεθόδου από έναν τελικό χρήστη
- Η διερεύνηση της σχέσης της γωνίας φωτισμού και της διεύθυνσης πτήσης της πλατφόρμας του δέκτη με την επίδραση του φασματικού χαμόγελου στις απεικονίσεις. Μια έρευνα επί του συγκεκριμένου θέματος θα παρουσίαζε μεγάλο ενδιαφέρον, καθώς σε περίπτωση που επιβεβαιωνόταν η ύπαρξη κάποιας σχέσης μεταξύ των παραπάνω, θα μπορούσε να οδηγήσει σε προγραμματισμό πτήσεων οι οποίες θα ελαχιστοποιούσαν την επίδραση του χαμόγελου στις παραγόμενες απεικονίσεις



## ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1: Γραφικές παραστάσεις των μέσων τιμών των στηλών για τις εικόνες Α', Γ', Ε'.....	39
Διάγραμμα 2: Γραφικές παραστάσεις των μέσων τιμών των στηλών για τις εικόνες Β', Δ', Ζ'.....	39
Διάγραμμα 3: Γραφική παράσταση μέσων τιμών εικόνας Α' μαζί με την γραφική παράσταση της γραμμής τάσης της και την στήλη MSC.....	42
Διάγραμμα 4: Γραφική παράσταση μέσων τιμών εικόνας Β' μαζί με την γραφική παράσταση της γραμμής τάσης της και την στήλη MSC.....	42
Διάγραμμα 5: Γραφική παράσταση μέσων τιμών εικόνας Γ' μαζί με την γραφική παράσταση της γραμμής τάσης της και την στήλη MSC.....	43
Διάγραμμα 6: Γραφική παράσταση μέσων τιμών εικόνας Δ' μαζί με την γραφική παράσταση της γραμμής τάσης της και την στήλη MSC.....	43
Διάγραμμα 7: Γραφική παράσταση μέσων τιμών εικόνας Ε' μαζί με την γραφική παράσταση της γραμμής τάσης της και την στήλη MSC.....	44
Διάγραμμα 8: Γραφική παράσταση μέσων τιμών εικόνας Ζ' μαζί με την γραφική παράσταση της γραμμής τάσης της και την στήλη MSC.....	44
Διάγραμμα 9: Γραφική παράσταση εικόνας Α' πριν και μετά την διόρθωση.....	54
Διάγραμμα 10: Γραφική παράσταση εικόνας Β' πριν και μετά την διόρθωση.....	55
Διάγραμμα 11: Γραφική παράσταση εικόνας Γ' πριν και μετά την διόρθωση.....	55
Διάγραμμα 12: Γραφική παράσταση εικόνας Δ' πριν και μετά την διόρθωση.....	56
Διάγραμμα 13: Γραφική παράσταση εικόνας Ε' πριν και μετά την διόρθωση.....	56
Διάγραμμα 14: Γραφική παράσταση εικόνας Ζ' πριν και μετά την διόρθωση.....	57
Διάγραμμα 15: Φασματικές υπογραφές εδάφους για τις εικόνες Γ και Δ μετά την διόρθωση.....	59
Διάγραμμα 16: Φασματικές υπογραφές εδάφους για τις εικόνες Γ, Δ και Ε μετά την διόρθωση.....	60

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Το φασματικό χαμόγελο στο δέκτη (πηγή: Yokoya, 2010).....	9
Εικόνα 2: Διάγραμμα ροής της μεθόδου ποσοτικοποίησης SQM (πηγή: Aktaruzzaman, 2008).....	13
Εικόνα 3: Διάγραμμα ροής μεθόδου διόρθωσης SCM (πηγή: Aktaruzzaman, 2008).....	14
Εικόνα 4: Διάγραμμα ροής μεθόδου TLSC (πηγή: Dadon, 2010).....	16
Εικόνα 5: Η θέση της περιοχής μελέτης σε σχέση με την Θεσσαλονίκη (πηγή: Καραθανάση 2014)	19
Εικόνα 6: Κύρια τμήματα CASI-550 (Πηγή: Εγχειρίδιο οργάνων ITRES CASI-550).....	21
Εικόνα 7: Γραμμές πτήσης για την λήψη υπερφασματικών εικόνων στο δάσος Ταξιάρχη (πηγή: Καραθανάση, 2014).....	25
Εικόνα 8: Χάρτης σταθμών αναφοράς δικτύου HEPOS (πηγή: <a href="http://www.hepos.gr/hepos/hepos_map_v1_0_gr.pdf">http://www.hepos.gr/hepos/hepos_map_v1_0_gr.pdf</a> ).....	28
Εικόνα 9: Φωτομωσαϊκό δάσους Ταξιάρχη από τις εικόνες CASI-550 (πηγή: Καραθανάση 2014)....	29
Εικόνα 10: Έγχρωμα σύνθετα των εικόνων Α-Ζ με τις διευθύνσεις τους.....	30
Εικόνα 11 (Πάνω) Από αριστερά προς τα δεξιά: Εικόνα Α, Εικόνα Β, Εικόνα Γ. (Κάτω) Από αριστερά προς τα δεξιά: Εικόνα Δ, Εικόνα Ε, Εικόνα Ζ. Τμήματα των εικόνων Α-Ζ όπου φαίνονται οι επιδράσεις	

## Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550

φασματικού χαμόγελου [Κανάλι 40 (717.8 nm)] .....	31
Εικόνα 12: Διάγραμμα ροής τροποποιημένης μεθόδου TLSC .....	37
Εικόνα 13: Εργαλείο Band Math στο ENVI .....	38
Εικόνα 14: Εικόνα Α πριν και μετά την διόρθωση (Band 40: 717.8 nm) .....	48
Εικόνα 15: Εικόνα Γ πριν και μετά την διόρθωση (Band 40: 717.8 nm) .....	49
Εικόνα 16: Εικόνα Ε πριν και μετά την διόρθωση (Band 40: 717.8 nm) .....	50
Εικόνα 17: Εικόνα Ζ πριν και μετά την διόρθωση (Band 40: 717.8 nm) .....	51
Εικόνα 18: Εικόνα Β πριν και μετά την διόρθωση (Band 40: 717.8 nm) .....	52
Εικόνα 19: Εικόνα Δ πριν και μετά την διόρθωση (Band 40: 717.8 nm) .....	53

### ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Τα χαρακτηριστικά των φασματικών καναλιών που χρησιμοποιήθηκαν κατά την λήψη .	24
Πίνακας 2: Χωρική διακριτική ικανότητα του δέκτη CASI κάθετα στη διεύθυνση της πτήσης.....	26
Πίνακας 3: Ελάχιστος χρόνος ολοκλήρωσης (MIT) και πλάτος πεδίου (pixels).....	26
Πίνακας 4: Συνδυασμός αριθμός ζωνών, χωρικής διακριτικής ικανότητας κατά μήκος της πτήσης..	27
Πίνακας 5: Διαστάσεις εικόνων A-Z.....	32
Πίνακας 6: Συναρτήσεις γραμμών τάσεις για τις μέσες τιμές των στηλών των εικόνων A'-Z' και το R2 .....	41
Πίνακας 7: Θέση στήλης MSC για τις εικόνες A'-Z' .....	41
Πίνακας 8: Τυπικές αποκλίσεις για τις εικόνες A'-Z' και τις αντίστοιχες εικόνες MNF-1.....	46
Πίνακας 9: Τυπικές αποκλίσεις εικόνων A'-Z' πριν και μετά την διόρθωση .....	58

### ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: CASI-550 χαρακτηριστικά (πηγή: Εγχειρίδιο οργάνων ITRES CASI-550) .....	20
Σχήμα 2: Αναπαράσταση της υπολογιζόμενης ποσότητας της εικόνας β' από τον τύπο .....	35

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Βιβλία

Αργιαλάς Δ. (2000), "Φωτοερμηνεία - Τηλεπισκόπηση", Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Καραθανάση, Β. (2014). Σημειώσεις μαθήματος: "Ειδικά Κεφάλαια Τηλεπισκόπησης", Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Trudeau D., Wittebrood T., Grabelokovsky A., Young J. (2004α), "The CASI Manual Volume 1: CASI-550 Instrument Manual", ITRES Research Ltd.

Trudeau D., Wittebrood T., Grabelokovsky A., Young J. (2004β), "The CASI Manual Volume 2: Standard Processing Manual", ITRES Research Ltd.

Trudeau D., Wittebrood T., Grabelokovsky A., Young J. (2004γ), "The CASI Manual Volume 3: Program & Data File Reference", ITRES Research Ltd.

### Δημοσιεύσεις

Chao M.A. and Skidmore A.K. (2006), "A new technique for extracting the red edge position from hyperspectral data: the linear extrapolation method", Remote Sensing of the Environment, Vol. 101, 181-193.

Dadon A., Ben-Dor E., and Karnieli A. (2010), "Use of Derivative Calculations and Minimum Noise Fraction Transform for Detecting and Correcting the Spectral Curvature Effect (Smile) in Hyperion Images", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 48, No. 6, 2603 – 2612.

Goodenough D., Dyk A., Niemann K., Pearlman J., Chen H., Han T., Murdoch M., and West C. (2003), "Processing Hyperion and ALI for Forest Classification", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 41, No. 6, 1321 – 1331.

## Διόρθωση της Επίδρασης του Φασματικού «Χαμόγελου» σε Απεικονίσεις του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550

Guanter L., Segl K., Sang B., Alonso L., Kaufmann H., and Moreno J. (2009), "Scene-based spectral calibration assessment of high spectral resolution imaging spectrometers", *Opt. Express* 17, 11594-11606.

Hakala T., Honkavaara E., Saari H., Mäkynen J., Kaivosoja J., Pesonen L., Pölönen I. (2013), "Spectral imaging from UAVs under varying illumination conditions", *ISPRS- International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-1/W2*.

Jacobsen A., Heldebrecht K., and Goetz A. (2000), "Assessing the Quality of the Radiometric and Spectral Calibration of Casi Data and Retrieval of Surface Reflectance Factors", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 66, No. 9, 1083-1091.

Oskouei M. and Babakan S. (2016), "Role of smile correction in mineral detection on Hyperion data", *Journal of Mining & Environment*, Vol.7, No. 2, 261-272.

Yokoya N., Miyamura N. and Iwasaki A. (2010), "Detection and correction of spectral and spatial misregistrations for hyperspectral data using phase correlation method", *Applied Optics*, Vol. 49, No. 24, 4568-4575.

### Διαδικτυακοί Τόποι

Harris Geospatial Solutions - A Guide to the Minimum Noise Fraction (MNF) Statistics Files (10/2/2018): (<https://www.harrisgeospatial.com/Support/Self-Help-Tools/Help-Articles/Help-Articles-Detail/ArtMID/10220/ArticleID/19433/2763>)

Harris Geospatial Solutions - Minimum Noise Fraction Transform (10/2/2018): (<https://www.harrisgeospatial.com/docs/MinimumNoiseFractionTransform.html>)

MODTRAN Web App -MODTRAN® (6/1/2018): ([http://modtran.spectral.com/modtran\\_home](http://modtran.spectral.com/modtran_home))

Πανεπιστημιακό Δάσος Ταξιάρχη-ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ (8/2/2019): (<https://www.auth.gr/units/2094>)

## Διπλωματικές Εργασίες

Κόκας, Κ. (2014), “Σχεδιασμός, υλοποίηση και έλεγχος ακρίβειας γεωμετρικής βαθμονόμησης του υπερφασματικού αερομεταφερόμενου δέκτη CASI-550”, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Aktaruzzaman Md. (2008), “Simulation and Correction of Spectral Smile Effect and Its Influence on Hyperspectral Mapping”, International Institute for Geo-information Science and Earth Observation (ITC), the Netherlands.

## Πρακτικά Συνεδρίου

Guyot G. and Baret F. (1988), “Utilisation de la haute resolution spectrale pour suivre l'état des couverts vegetaux”, Proceedings 4<sup>th</sup> International Colloquium on Spectral Signatures of Objects in remote sensing, Aussois, France.

Martínez L., Pérez F., Arbiol R. and Tardà A. (2010), “Radiometric characterisation of a VNIR hyperspectral imaging system for accurate atmospheric correction”, 2<sup>nd</sup> Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing: Evolution in Remote Sensing, 1-4, Reykjavik, Iceland.

## Τεχνικές Εκθέσεις

Καραθανάση Β. και Κολοκούσης Π. (2014), “Λήψη, Γεωμετρική και Ατμοσφαιρική Διόρθωση Τηλεπισκοπικών Απεικονίσεων του Υπερφασματικού Δέκτη CASI-550 του Εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης του Ε.Μ.Π. για την Περιοχή του Δάσους του Ταξιάρχη, στο Πλαίσιο του Προγράμματος Tele-Kyoto”, Τεχνική Έκθεση (Ψηφιακό Αρχείο), Αθήνα.