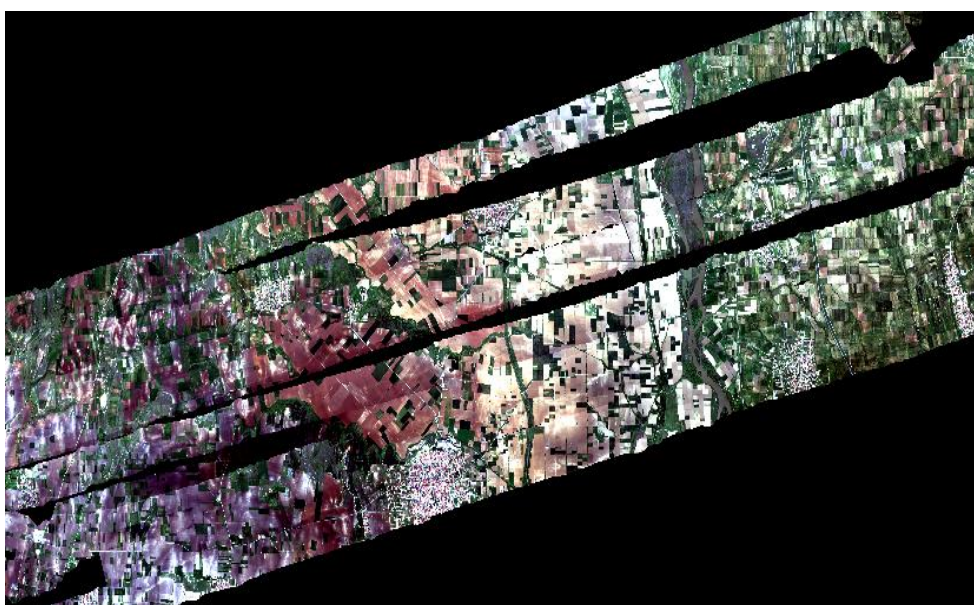




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΤΜΗΜΑ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ-ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ  
ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

## Αξιολόγηση των Φασματικού Διαχωρισμού στην Διάκριση Διαφορετικών Τύπων Εδάφους



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σπίγγος Γεώργιος

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Βασιλεία Καραθανάση  
Αναπλ. Καθηγήτρια ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2014



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η γονιμότητα αποτελεί τον κυριότερο παράγοντα ανάπτυξης των φυτών και ως εκ τούτου επιδρά άμεσα στην αύξηση των αποδόσεων και στη βελτίωση της ποιότητας των γεωργικών προϊόντων. Ειδικότερα, η οργανική ουσία και τα ιχνοστοιχεία που υπάρχουν στο έδαφος καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό το επίπεδο γονιμότητας του εδάφους και η γνώση της ύπαρξής τους είναι πολύ σημαντική για την ορθολογική χρήση λιπασμάτων κατ' επέκταση για την προστασία του περιβάλλοντος. Η ανάλυση του εδάφους αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο με το οποίο επιτυγχάνεται ο ποσοτικός έλεγχος της γονιμότητας. Παρόλα αυτά το κόστος των εδαφολογικών αναλύσεων σε περιπτώσεις μεγάλων εκτάσεων εδάφους είναι οικονομικά ασύμφορο όποτε κρίνεται αναγκαία η χρησιμοποίηση της υπερφασματικής τηλεπισκόπησης. Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως θέμα την αξιολόγηση της μεθόδου του φασματικού διαχωρισμού στη διάκριση διαφορετικών τύπων εδάφους με απώτερο σκοπό την ανίχνευση και χαρτογράφηση στοιχείων του εδάφους σε μια περιοχή μελέτης.

Για την εκπόνηση της εργασίας αυτής θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν στην υλοποίησή της. Αρχικά οφείλω να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα Αν. Καθηγήτρια κυρία Βασιλεία Καραθανάση για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντας μου το συγκεκριμένο θέμα και για τη διαρκή βοήθειά της σε όλα τα στάδια πραγματοποίησής του. Στη συνέχεια οφείλω να ευχαριστήσω ξεχωριστά τους Δρ. Πολυχρόνη Κολοκούση, Χρήστο Ιωσηφίδη Ε.ΔΙ.Π, τον Υποψήφιο Διδάκτορα Δημήτριο Συκά και την Δρ. Χαρούλα Ανδρέου για τις πολύτιμες συμβουλές τους πάνω σε διάφορα ζητήματα που προέκυψαν κατά τη διάρκεια υλοποίησης αυτής της εργασίας. Επιπλέον, θεωρώ υποχρέωσή μου να ευχαριστήσω το ΕΘΙΑΓΕ (Εθνικό Ινστιτούτο Αγροτικής Έρευνας) για τα αποτελέσματα των εδαφολογικών αναλύσεων των δειγμάτων εδάφους της περιοχής μελέτης που απέστειλε χωρίς τα οποία δεν θα ήταν δυνατή η περάτωση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας. Τέλος, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον κύριο Βασίλη Ανδρώνη Ε.ΔΙ.Π για την ουσιαστική βοήθεια και αμέριστη συμπαράσταση και υπομονή του καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής μου εργασίας.

## Περιεχόμενα

<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b> .....	3
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	9
<b>ABSTRACT</b> .....	11
<b>1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	13
<b>2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ</b> .....	16
<b>2.1 Γενικά Στοιχεία για τα Εδάφη</b> .....	17
2.1.1 Το έδαφος.....	17
2.1.2 Η Μηχανική Σύσταση του Εδάφους.....	17
2.1.3 Θρεπτικά Στοιχεία και Λιπαντική Αγωγή.....	19
<b>2.2 Βασικά Στοιχεία Υπερφασματικής Τηλεπισκόπησης</b> .....	21
2.2.1 Η Υπερφασματική Τηλεπισκόπηση.....	21
2.2.2 Το Πρόβλημα του Φασματικού Διαχωρισμού.....	24
2.2.3 Θεωρίες Μοντέλων Ανάμειξης ανά Εικονοστοιχείο.....	25
<b>2.3 Μέθοδοι του Φασματικού Διαχωρισμού</b> .....	27
2.3.1 Μέθοδος Εκτίμησης του Φασματικού Υπόχωρου Σήματος- Outlier Detection Method (ODM) .....	28
2.3.2 Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών.....	29
2.3.3 Μετασχηματισμός Ελαχιστοποίησης του Θορύβου (MNF) .....	32
2.3.4 Μέθοδοι Εκτίμησης του Θορύβου.....	33
2.3.4.1 Nearest Neighbor Distance .....	33
2.3.4.2 Multiple Regression Theory-Based method .....	34
2.3.5 Μέθοδος Εξαγωγής Καθαρών Στόχων-Simple Endmember Extraction 35	
2.3.6 Μέθοδος Εκτίμησης των Ποσοστών Αφθονίας των Καθαρών Στόχων ανά Εικονοστοιχείο-Linear Spectral Unmixing.....	37
2.3.7 Sequential Maximum Convex Cone (SMACC) .....	37
<b>3 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ-ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ</b> .....	39
<b>3.1 Γενικά Στοιχεία για την Απεικόνιση της Περιοχής Μελέτης</b> .....	40
<b>3.2 Γενικά Στοιχεία για την Περιοχή Μελέτης</b> .....	40
<b>3.3 Μέθοδοι Προεπεξεργασίας της Υπερφασματικής Απεικόνισης</b> .....	41
3.3.1 Αφαίρεση Περιοχών που δεν Απεικονίζουν Εδάφη .....	43
3.3.1.1 Δείκτης Βλάστησης NDVI .....	43

3.3.1.2	Διανυσματικά δεδομένα εδάφους .....	45
3.3.2	Επιλογή εδαφών με την ίδια περίπου τιμή υγρασίας .....	46
<b>3.4</b>	<b>Εφαρμογή των Αλγορίθμων Φασματικού Διαχωρισμού .....</b>	<b>48</b>
3.4.1	Πρόγραμμα ODM.....	49
3.4.2	Πρόγραμμα SEE.....	50
3.4.3	Μέθοδοι Linear Spectral Unmixing και Sequential Maximum Angle Convex Cone (SMACC).....	51
<b>3.5</b>	<b>Αποτελέσματα των Αλγορίθμων Φασματικού Διαχωρισμού.....</b>	<b>51</b>
<b>3.6</b>	<b>Χαρακτηρισμός των ‘Καθαρών’ Στόχων.....</b>	<b>53</b>
3.6.1	Διαθέσιμα Δεδομένα .....	53
3.6.2	Χαρακτηρισμός των ‘Καθαρών’ Στόχων του SEE .....	56
3.6.3	Χαρακτηρισμός των ‘Καθαρών’ Στόχων του SMACC.....	62
<b>4</b>	<b>ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....</b>	<b>66</b>
4.1	Αξιολόγηση των Ποσοστών Αφθονίας των ‘Καθαρών’ Στόχων του SMACC .....	67
<b>5</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ .....</b>	<b>82</b>
5.1	Συμπεράσματα .....	83
5.2	Προτάσεις .....	84
<b>6</b>	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>86</b>
<b>7</b>	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....</b>	<b>88</b>

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2-1: Τριγωνική αναπαράσταση μηχανικής σύστασης των εδαφών κατά USDA.....	18
Πίνακας 2-2: Οι 12 τύποι εδάφους κατά USDA.....	18
Εικόνα 2-3: Υπερφασματικός κύβος δεδομένων .....	22
Εικόνα 2-4: Σύγκριση πολυφασματικών και υπερφασματικών δεκτών .....	23
Εικόνα 2-5: Χαρακτηριστικά αερομεταφερόμενων υπερφασματικών αισθητήρων .....	24
Εικόνα 2-6: Αμιγές και μεικτό εικονοστοιχείο .....	25
Εικόνα 2-7: Γραμμικό μοντέλο ανάμειξης .....	25
Εικόνα 2-8: Μη γραμμικό μοντέλο ανάμειξης.....	27
Εικόνα 2-9: Σχηματική απεικόνιση των μετασχηματισμένων αξόνων (κύριες συνιστώσες).....	30
Εικόνα 2-10: Γεωμετρική ερμηνεία του διαγράμματος διασποράς απεικόνισης τριών ‘καθαρών’ στόχων στα δύο πρώτα PCs .....	35
Εικόνα 3-1: Η απεικόνιση της περιοχής μελέτης και ο υπερφασματικός αισθητήρας CASI-550 .....	40
Εικόνα 3-2: Ορθοφωτομωσαϊκό πραγματικού χρώματος (R,G,B) στο οποίο.....	40
Εικόνα 3-3: Οι τύποι του εδάφους στην περιοχή μελέτης .....	41
Εικόνα 3-4: Εδάφη με ακραίες τιμές ανακλαστικότητας (κόκκινο χρώμα).....	42
Εικόνα 3-5: Επιλογή τμήματος (resize) της αρχικής απεικόνισης .....	43
Εικόνα 3-6: Απότομη αύξηση της τιμής ανακλαστικότητας της βλάστησης.....	44
Εικόνα 3-7: Βήματα προεπεξεργασίας για την απομάκρυνση των περιοχών με βλάστηση .....	45
Εικόνα 3-8( από αριστερά): η αρχική απεικόνιση ,η μάσκα ‘αμιγών’ εδαφών και το αποτέλεσμα της.....	45
Εικόνα 3-9 Βήματα με τα οποία επιτυγχάνεται η ολική απομάκρυνση των επιθυμητών .....	46
Εικόνα 3-10 : Φασματικές υπογραφές των επίγειων μετρήσεων .....	47
Εικόνα 3-11 (από αριστερά): ένα κομμάτι της απεικόνισης και τα αποτελέσματα εφαρμογής 1 <sup>ης</sup> μάσκας και 2 <sup>ης</sup> μάσκας .....	47
Εικόνα 3-12: Τελική απεικόνιση η οποία χρησιμοποιήθηκε για την εφαρμογή της διαδικασίας του φασματικού διαχωρισμού. Έγχρωμο σύνθετο (R:Band 38 (637.2 nm) G:Band 20 (535.1 nm) B: Band 5 (443.8 nm) .....	48
Εικόνα 3-13: Δεδομένα εισαγωγής στο πρόγραμμα ODM. ....	49
Εικόνα 3-14: Δεδομένα εισαγωγής στο πρόγραμμα SEE.c .....	50
Εικόνα 3-15: Χωρική απεικόνιση των ‘καθαρών’ στόχων του SEE και οι φασματικές τους υπογραφές.....	51
Εικόνα 3-16: Ποσοστά αφθονίας για τον 2 <sup>ο</sup> , 9 <sup>ο</sup> και 13 <sup>ο</sup> στόχο (SEE).....	52
Εικόνα 3-17: Χωρική απεικόνιση των ‘καθαρών’ στόχων του SMACC και οι φασματικές τους υπογραφές.....	52
Εικόνα 3-18: Ποσοστά αφθονίας για τον 2 <sup>ο</sup> , 9 <sup>ο</sup> και 13 <sup>ο</sup> στόχο (SMACC) .....	53

Εικόνα 3-19: Φασματικές υπογραφές για το ίδιο δείγμα εδάφους στο θάλαμο και στην εικόνα.....	54
Εικόνα 3-20:Φασματικές υπογραφές των 18 σημείων με εδαφολογικές .....	55
Εικόνα 3-21: Εδαφολογικές αναλύσεις των 18 δειγμάτων εδάφους .....	55
Εικόνα 3-22: Δεδομένα εισαγωγής στο πρόγραμμα SpectralAngleDistanceText ...	56
Εικόνα 3-23: Σύνολο των φασματικών γωνιών των 18 σημείων των εδαφολογικών αναλύσεων με τους 18 στόχους του SEE.....	57
Εικόνα 3-24: Μικρότερες φασματικές γωνίες.....	57
Εικόνα 3-25: Πίνακας σημείων που σχηματίζουν την μικρότερη φασματική τους γωνία με τον End 13.....	58
Εικόνα 3-26: Πίνακας σημείων που σχηματίζουν την μικρότερη φασματική γωνία με τον End 14.....	59
Εικόνα 3-27: Πίνακας σημείων που σχηματίζουν τη μικρότερη φασματική τους γωνία με τον End 15.....	59
Εικόνα 3-28Μικρές (μωβ), μεσαίες(γαλάζιο) και μεγάλες (κίτρινο) συγκεντρώσεις σιδήρου .....	60
Εικόνα 3-29:Μικρές (κίτρινο), μεσαίες(γαλάζιο) και μεγάλες (μωβ) συγκεντρώσεις καλίου .....	61
Εικόνα 3-30:Μικρές (κίτρινο), μεσαίες(γαλάζιο) και μεγάλες (μωβ) συγκεντρώσεις οργανικής ουσίας .....	61
Εικόνα 3-31: Σύνολο των φασματικών γωνιών των 18 σημείων των εδαφολογικών αναλύσεων με τους 'καθαρούς'στόχους του SMACC.....	62
Εικόνα 3-32: Μικρότερες γωνίες.....	62
Εικόνα 3-33: Εικόνα 3 Σύνολο των φασματικών γωνιών όλων των 'καθαρών' στόχων του SEE με τους όλους 'καθαρούς στόχους του SMACC. Με κόκκινο χρώμα οι γωνίες μεταξύ των 'καθαρών στόχων 13,14,15(SEE) και 17,4,5 (SMACC) αντιστοίχως. ....	63
Εικόνα 3-34:Μικρές (μωβ), μεσαίες(γαλάζιο) και μεγάλες (κίτρινο) συγκεντρώσεις σιδήρου .....	64
Εικόνα 3-35:Μικρές (κίτρινο), μεσαίες(γαλάζιο) και μεγάλες (μωβ) συγκεντρώσεις καλίου .....	64
Εικόνα 3-36:Μικρές (μωβ), μεσαίες(γαλάζιο) και μεγάλες (κίτρινο) συγκεντρώσεις οργανικής ουσίας .....	65
Εικόνα 4-1:Δεδομένα εισαγωγής στις παλινδρομήσεις για το Fe, K, Na , Ca και O.O.....	67
Πίνακας4-2: Αποτελέσματα του συντελεστή παλινδρόμησης $r^2$ για το Fe, K, Ca, Na και O.O .....	68
Εικόνα 4-3: Συντελεστές παλινδρόμησης για την οργανική ουσία (O.O).....	69
Εικόνα 4-4 : Συντελεστές παλινδρόμησης για το σίδηρο (Fe).....	69
Εικόνα 4-5: Συντελεστές παλινδρόμησης για το κάλιο (K).....	70
Εικόνα 4-6: Συντελεστές παλινδρόμησης για το ασβέστιο (Ca).....	70
Εικόνα 4-7: Συντελεστές παλινδρόμησης για το νάτριο (Na).....	71
Εικόνα 4-8:Προβλεπόμενες τιμές για την οργανική ουσία (O.O) στα 18 σημεία ..	71

Εικόνα 4-9: Σημεία με τα μεγαλύτερα σφάλματα στην τιμή πρόβλεψης για την οργανική ουσία .....	72
Εικόνα 4-10: Προβλεπόμενες τιμές για το σίδηρο (Fe) στα 18 σημεία .....	72
Εικόνα 4-11: Σημεία με τα μεγαλύτερα σφάλματα στην τιμή πρόβλεψης για το σίδηρο (Fe).....	72
Εικόνα 4-12: Προβλεπόμενες τιμές για το κάλιο (K) στα 18 σημεία .....	73
Εικόνα 4-13: Σημεία με τα μεγαλύτερα σφάλματα στην τιμή πρόβλεψης για το κάλιο (K).....	73
Εικόνα 4-14: Προβλεπόμενες τιμές για το ασβέστιο (Ca) στα 18 σημεία .....	74
Εικόνα 4-15: Σημεία με τα μεγαλύτερα σφάλματα στην τιμή πρόβλεψης για το ασβέστιο (Ca).....	74
Εικόνα 4-16: Προβλεπόμενες τιμές για το νάτριο (Na) στα 18 σημεία .....	75
Εικόνα 4-17: Σημεία με τα μεγαλύτερα σφάλματα στην τιμή πρόβλεψης για το νάτριο (Na) .....	75
Εικόνα 4-18: Χωρική απεικόνιση σημείων με τα μεγαλύτερα σφάλματα στις τιμές πρόβλεψης .....	76
Εικόνα 4-19: Οι τιμές της οργανικής ουσίας στα 18 δείγματα εδάφους .....	77
Εικόνα 4-20: Συγκριτικά αποτελέσματα του συντελεστή $r^2$ για την οργανική ουσία και τα ιχνοστοιχεία του εδάφους .....	77
Εικόνα 4-21: Μικρές (κίτρινο), μεσαίες(γαλάζιο) και μεγάλες (μωβ) τιμές οργανικής ουσίας .....	79
Εικόνα 4-22: Μικρές (κίτρινο), μεσαίες(γαλάζιο) και μεγάλες (μωβ) τιμές Σιδήρου .....	79
Εικόνα 4-23: Μικρές (κίτρινο), μεσαίες(γαλάζιο) και μεγάλες (μωβ) τιμές Καλίου .....	80
Εικόνα 4-24: Μικρές (κίτρινο), μεσαίες(γαλάζιο) και μεγάλες (μωβ) τιμές Ασβεστίου .....	80
Εικόνα 4-25: Μικρές (κίτρινο), μεσαίες(γαλάζιο) και μεγάλες (μωβ) τιμές Νατρίου .....	81
Εικόνα 7-1: Εδαφολογικές αναλύσεις ΕΘΙΑΓΕ .....	88
Εικόνα 7-2: Εδαφολογικές αναλύσεις ΕΘΙΑΓΕ .....	89
Εικόνα 7-3: Εδαφολογικές αναλύσεις ΕΘΙΑΓΕ .....	90
Εικόνα 7-4: Εδαφολογικές αναλύσεις ΕΘΙΑΓΕ .....	91
Εικόνα 7-5: Εδαφολογικές αναλύσεις ΕΘΙΑΓΕ .....	92



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διαδικασία του φασματικού διαχωρισμού συντελεί στην ανίχνευση διαφορετικής σύστασης υλικών ή/και αντικειμένων σε επίπεδο εικονοστοιχείου τα οποία συμμετέχουν στη διαμόρφωση της φασματικής υπογραφής του. Αξιοποιώντας αυτή τη δυνατότητα η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο την αξιολόγηση της διαδικασίας του φασματικού διαχωρισμού ως προς τη δυνατότητα ανίχνευσης και χαρτογράφησης στοιχείων του εδάφους όπως η οργανική ουσία και τα μικρο (ιχνοστοιχεία) και μακρο-στοιχεία του εδάφους που περιέχονται σε αυτό.

Για αυτό το σκοπό χρησιμοποιήθηκε η υπερφασματική απεικόνιση της περιοχής του Γαλλικού-Αξιού στη Θεσσαλονίκη η λήψη της οποίας πραγματοποιήθηκε με τον υπερφασματικό αισθητήρα CASI-550 και περιλαμβάνει κατά ένα μεγάλο μέρος της ακαλλιέργητες εκτάσεις. Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας το λογισμικό ENVI πραγματοποιήθηκε η προεπεξεργασία της απεικόνισης η οποία ήταν ήδη ραδιομετρικά και γεωμετρικά διορθωμένα και αποτελείται από δύο κύρια στάδια: την αφαίρεση των περιοχών που δεν απεικονίζουν εδάφη και την επιλογή εδαφών με την ίδια περίπου τιμή υγρασίας καταλήγοντας έτσι στην τελική απεικόνιση η οποία χρησιμοποιήθηκε για την εφαρμογή των αλγορίθμων του φασματικού διαχωρισμού.

Οι μέθοδοι που εφαρμόστηκαν διαδοχικά στην απεικόνιση ήταν η μέθοδος ODM που υλοποιεί τη μείωση της διάστασης του φασματικού χώρου και εκτιμά τον αριθμό των 'καθαρών' στόχων της εικόνας, η μέθοδος SEE που πραγματοποιεί την εξαγωγή των φασματικών υπογραφών των 'καθαρών' στόχων και το πρόγραμμα Linear Spectral Unmixing (ENVI) που υπολογίζει τα ποσοστά αφθονίας των 'καθαρών' στόχων ανά εικονοστοιχείο. Συγχρόνως εφαρμόστηκε το πρόγραμμα SMACC του λογισμικού ENVI, το οποίο απαιτεί τη γνώση του αριθμού των καθαρών στόχων για να εκτελέσει τη διαδικασία του φασματικού διαχωρισμού.

Χρησιμοποιώντας τις εδαφολογικές αναλύσεις δειγμάτων εδάφους που πάρθηκαν από την περιοχή μελέτης σε συνδυασμό με τις φ. υπογραφές από εικονοστοιχεία της εικόνας για τα σημεία από τα οποία πάρθηκαν τα δείγματα για τις εδαφολογικές αναλύσεις, πραγματοποιήθηκε ο χαρακτηρισμός των 'καθαρών' στόχων με τη μέθοδο της φασματικής γωνίας. Συγκεκριμένα, αναδείχθηκαν τρεις 'καθαροί στόχοι από τον κάθε αλγόριθμο εξαγωγής 'καθαρών' στόχων (SEE, SMACC) οι οποίοι αντιστοιχούν σε τρεις συγκεκριμένους τύπους εδαφών οι οποίοι όμως διακρίνονται για την αυξημένη περιεκτικότητά τους σε οργανική ουσία, σίδηρο και κάλιο, αντίστοιχα. Παράλληλα εξάχθηκαν χάρτες αφθονίας για τον κάθε 'καθαρό' στόχο οι οποίοι είναι ενδεικτικοί για μικρές μεσαίες και μεγάλες συγκεντρώσεις των παραπάνω στοιχείων στους συγκεκριμένους τύπους εδαφών για τους οποίους είναι

αντιπροσωπευτικοί οι καθαροί στόχοι. Στο τελευταίο στάδιο πραγματοποιήθηκε η αξιολόγηση των ποσοστών αφθονίας που εξήχθησαν με τον αλγόριθμο SMACC χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης όπου εξάχθηκε μοντέλο χαρτογράφησης με τις τιμές πρόβλεψης για την οργανική ουσία το σίδηρο το κάλιο, το ασβέστιο και το νάτριο.

Συμπεράσματα αυτής της εργασίας είναι πως υπάρχει δυνατότητα ανίχνευσης στοιχείων του εδάφους μόνο όταν τα υπόλοιπα στοιχεία στις θέσεις των 'καθαρών' στόχων κυμαίνονται γύρω από το μέσο όρο του συνολικού δείγματος για το κάθε στοιχείο. Όσον αφορά την χαρτογράφηση των στοιχείων του εδάφους με το μοντέλο της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, για να εξαχθούν με μεγαλύτερη ασφάλεια και αξιοπιστία τα παραπάνω αποτελέσματα, το εύρος του δείγματος των εξαρτημένων μεταβλητών θα πρέπει να αυξηθεί ώστε να αποφευχθεί ο κίνδυνος της υπερπροσαρμογής (overfitting) του μοντέλου της παλινδρόμησης.

## ABSTRACT

Spectral unmixing process contributes to the detection of different composition materials / objects at pixel level, which participate to the composition of the spectral signature. Based on this concept, the present study aims at evaluating the process of spectral unmixing as to the possibility of detection and mapping soil components, such as organic matter, nutrients, and trace elements which are contained in soil.

For this purpose, a CASI-550 hyperspectral image of the area Galikos-Aksios, Greece has been used which presents large parts of bare ground. The image was radiometrically and geometrically corrected. Initially, preprocessing of the image was performed using the ENVI software. Preprocessing aimed at a) the removal of the not bare soil areas, and b) the selection of soil areas which have about the same moisture value.

Then, the spectral unmixing procedure was applied. Unmixing comprises three main steps: dimensionality reduction and estimation of the number of endmembers, endmember extraction, and abundance fraction estimation. For this purpose, three algorithms, the ODM, the SEE (in-house software) and the Linear Spectral Unmixing algorithm (ENVI software), respectively. Additionally, the SMACC algorithm, which is included in ENVI software, was applied on the hyperspectral image. This algorithm requires the number of endmembers in order to perform the procedure of the spectral unmixing. The extracted endmembers from both algorithms (SEE and SMACC) have been labeled using soil samples analysis of the study area, as well as the SAM criterion. Specifically, from each endmember extraction algorithm, three endmembers have been extracted which correspond to three soil types, each one indicating high concentration in organic matter, iron and potassium, respectively. Furthermore, three abundance maps were created which indicate small, medium and large concentrations of organic matter, iron, and potassium, respectively, for the soil types that were identified as endmembers. Finally, by using the multiple linear regression method, the endmembers' abundance fractions that were extracted by SMACC algorithm have been related to the soil sample analysis data, and empirical models that predict values for the organic matter, iron potassium, calcium and sodium have been created. These models have been applied on all image data in order to map concentrations of organic matter, iron potassium, calcium and sodium in the study area.

In conclusion, soil types that were identified as endmembers present high value in a soil component and an average value in all the other soil components. Using the spectral unmixing procedure it is possible to estimate concentrations of a soil material such as organic matter, macro or micro-elements, for the soil types that were identified as endmembers. Moreover, multiple linear regressions applied on abundance fraction values may produce reliable concentration maps of soil

components and avoid overfitting of the model when the range of the sample of dependent variables is large.

## 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η υπερφασματική τηλεπισκόπηση αποτελεί βασικό εργαλείο για την παρακολούθηση περιβαλλοντικών αλλαγών, των ανθρώπινων δραστηριοτήτων και για την ανανέωση των υπαρχόντων πληροφοριών σχετικά με τη φυσικο-κοινωνικο-οικονομική πραγματικότητα (Χ. Ανδρέου, 2008). Παράλληλα με την ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας των υπερφασματικών αισθητήρων προέκυψε το πρόβλημα του φασματικού διαχωρισμού (spectral unmixing) το οποίο συνοψίζεται στο τι υλικά ή και/ αντικείμενα και με ποιο ποσοστό συμμετέχουν το κάθε ένα στη φασματική υπογραφή ενός εικονοστοιχείου.

Η ανίχνευση των ‘καθαρών’ στόχων δηλαδή των υλικών/αντικειμένων σε μία υπερφασματική απεικόνιση και ο υπολογισμός των ποσοστών αφθονίας τους σε επίπεδο εικονοστοιχείου απασχολεί τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερους ερευνητές. Το ενδιαφέρον είναι μεγάλο καθώς η εξαγωγή των ‘καθαρών’ στόχων ανά εικονοστοιχείο αποτελεί το πρωταρχικό και πιο σημαντικό στάδιο από το οποίο εξαρτάται η ακρίβεια των μετέπειτα επεξεργασιών της υπερφασματικής απεικόνισης όπως είναι η ταξινόμηση ή ανίχνευση συγκεκριμένων αντικειμένων. Η διαδικασία του φασματικού διαχωρισμού παρέχει τη δυνατότητα ταυτοποίησης των υλικών /αντικειμένων με τους εξαγόμενους ‘καθαρούς’ στόχους και τη δυνατότητα παραγωγής χαρτών αφθονίας για τα εν λόγω υλικά/αντικείμενα. Γι’ αυτό το σκοπό έχει αναπτυχθεί ένα πλήθος μεθόδων οι οποίες υλοποιούν κάθε στάδιο του φασματικού διαχωρισμού. Τα βασικά στάδια του φασματικού διαχωρισμού είναι η εκτίμηση του φασματικού υπόχωρου σήματος, η εξαγωγή των φασματικών υπογραφών των ‘καθαρών’ στόχων και τέλος η εκτίμηση των ποσοστών αφθονίας των ‘καθαρών’ στόχων σε επίπεδο εικονοστοιχείου της απεικόνισης.

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας γίνεται εφαρμογή της διαδικασίας του φασματικού διαχωρισμού με σκοπό την αξιολόγηση της μεθόδου ως προς τη δυνατότητα ανίχνευσης και τη δυνατότητα χαρτογράφησης στοιχείων του εδάφους σε μια περιοχή μελέτης. Γι’ αυτό το σκοπό χρησιμοποιήθηκε η υπερφασματική απεικόνιση της περιοχής του Γαλλικού-Αξιού στη Θεσσαλονίκη η οποία περιλαμβάνει κατά το μεγαλύτερο μέρος της ακαλλιέργητες εκτάσεις. Πριν την εφαρμογή των αλγορίθμων που υλοποιούν την διαδικασία του φασματικού διαχωρισμού κρίθηκε απαραίτητη η προεπεξεργασία της απεικόνισης λόγω «ευαισθησίας» της μεθόδου του φασματικού διαχωρισμού σε οτιδήποτε φασματικά διαφορετικό εξαγωντάς το ως ‘καθαρό’ στόχο. Τα είδη της προεπεξεργασίας που εφαρμόστηκαν στην απεικόνιση ήταν η αφαίρεση των περιοχών που δεν απεικονίζουν εδάφη όπως περιοχές με βλάστηση, διάσπαρτοι οικισμοί, νερά ποταμών καθώς και επιλογή εδαφών με την ίδια περίπου τιμή υγρασίας.

Οι αλγόριθμοι που εφαρμόστηκαν διαδοχικά στην απεικόνιση είναι το πρόγραμμα ODM.c το οποίο εκτιμά τον αριθμό των 'καθαρών' στόχων που υπάρχουν στην απεικόνιση αφού προηγουμένως έχει πραγματοποιηθεί η μείωση της διάστασης της απεικόνισης με τη μέθοδο ελαχιστοποίησης του θορύβου (MNF) εφόσον πρόκειται για πραγματικά δεδομένα με συγκεκριμένη μορφή θορύβου, το πρόγραμμα SEE.c το οποίο εξάγει τις φασματικές υπογραφές των 'καθαρών' στόχων και τέλος το πρόγραμμα Linear Spectral Unimixing του λογισμικού προγράμματος ENVI το οποίο στηρίζεται στο γραμμικό μοντέλο ανάμειξης για να εξάγει τα ποσοστά αφθονίας των 'καθαρών' στόχων ανά εικονοστοιχείο και δίνει τη δυνατότητα εφαρμογής του περιορισμού του μοναδιαίου αθροίσματος των 'καθαρών' στόχων ανά εικονοστοιχείο. Εναλλακτικά, εφαρμόστηκε το πρόγραμμα SMACC του λογισμικού ENVI το οποίο απαιτεί τον αριθμό των 'καθαρών' στόχων για να εκτελέσει την διαδικασία του φασματικού διαχωρισμού και επιλέχθηκε γιατί εφαρμόζει και τους δύο περιορισμούς στα ποσοστά αφθονίας των 'καθαρών' στόχων δηλαδή αυτόν της μη αρνητικότητας και αυτόν του μοναδιαίου αθροίσματος των ποσοστών αφθονίας των 'καθαρών' στόχων ανά εικονοστοιχείο.

Χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα των εδαφολογικών αναλύσεων δειγμάτων εδάφους του ΕΘΙΑΓΕ (Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας) τα οποία πάρθηκαν από την περιοχή μελέτης, σε συνδυασμό με τις φασματικές υπογραφές των εικονοστοιχείων της εικόνας τα οποία απεικονίζουν τις περιοχές από τις οποίες πάρθηκαν τα δείγματα εδάφους, πραγματοποιήθηκε η ταυτοποίηση των 'καθαρών' στόχων που εξήχθησαν από τα παραπάνω προγράμματα, με τη μέθοδο της φασματικής γωνίας. Στη συνέχεια παρήχθησαν χάρτες αφθονίας για τους συγκεκριμένους τύπους εδάφους που ταυτοποιήθηκαν, οι οποίοι και καταδεικνύουν την ισχυρή ή όχι παρουσία των συγκεκριμένων τύπων εδαφών στην περιοχή μελέτης. Οι τύποι αυτοί είναι ενδεικτικοί ως προς την έντονη παρουσία οργανικής ουσίας ή ενός μάκρο ή μικρο-στοιχείου του εδάφους και επομένως οι τιμές αφθονίας υποδεικνύουν έμμεσα την περιεκτικότητα του εδάφους ως προς αυτά τα στοιχεία. Όσον αφορά την αξιολόγηση των ποσοστών αφθονίας των 'καθαρών' στόχων με τη μέθοδο της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, εξετάζεται το πόσο σχετίζονται τα ποσοστά αφθονίας των 'καθαρών' στόχων στα σημεία για τα οποία υπάρχουν εδαφολογικές αναλύσεις με τις τιμές της οργανικής ουσίας και των μικρο, μακρο-στοιχείων του εδάφους σε αυτά τα σημεία.

Συνοψίζοντας, τα βασικά βήματα για την υλοποίηση του σκοπού εργασίας ήταν:

- η προεπεξεργασία της υπερφασματικής απεικόνισης (περιοχή του Γαλλικού-Αξιού στη Θεσσαλονίκη),
- η εφαρμογή των μεθόδων του φασματικού διαχωρισμού με σκοπό τον χαρακτηρισμό των 'καθαρών' στόχων σε σχέση με την οργανική ουσία και τα μάκρο ή μικρο-στοιχεία του εδάφους και την παραγωγή χαρτών αφθονίας των στοιχείων που ανιχνεύθηκαν,

- και τέλος, η αξιολόγηση των εξαγόμενων αποτελεσμάτων ως προς τη χαρτογράφηση των στοιχείων του εδάφους για την περιοχή μελέτης.

Στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζονται ορισμένα βασικά στοιχεία των εδαφών και της υπερφασματικής τηλεπισκόπησης καθώς και το θεωρητικό κομμάτι των μεθόδων που υλοποιούν το φασματικό διαχωρισμό και που εφαρμόστηκαν στην απεικόνιση CASI.

## **2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ**



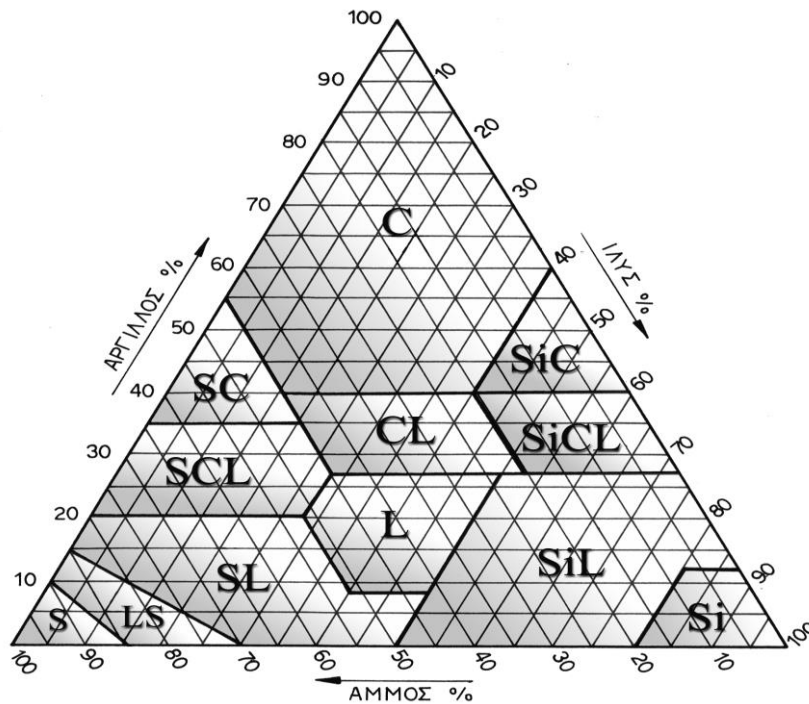
## 2.1 Γενικά Στοιχεία για τα Εδάφη

### 2.1.1 Το έδαφος

Έδαφος (Soil) είναι τα μη συμπιεσμένα υλικά στην επιφάνεια της Γης που χρησιμεύουν ως φυσικό μέσο για την ανάπτυξη των φυτών. Οι ρίζες των φυτών βρίσκονται μέσα σε αυτά τα υλικά και αποσπούν το νερό και τις θρεπτικές ουσίες. Ένα ώριμο, εύφορο έδαφος είναι το αποτέλεσμα αιώνων φυσικής και χημικής διάβρωσης πετρωμάτων, σε συνδυασμό με φυτά που αποσυντίθενται και άλλες οργανικές ουσίες (Loynachan et al., 1999). Αποτελείται από στερεά σωματίδια (ορυκτά και οργανική ουσία) το μέγεθος και η σύσταση των οποίων ποικίλουν και τα οποία αποτελούν περίπου το 50 τοις εκατό του όγκου του εδάφους. Οι διάφοροι τύποι εδάφους περιέχουν επίσης υγρό και αέρια. Ένας τύπος εδάφους χαρακτηρίζεται από οριζόντες ή στρώματα, που ξεχωρίζουν από το αρχικό υλικό και οφείλονται σε προσθήκες, απώλειες, μεταφορές, και μετασχηματισμούς της ενέργειας και της ύλης, ή/και από τη δυνατότητα να υποστηρίξουν ριζωμένα φυτά σε ένα φυσικό περιβάλλον (USDA, 2003).

### 2.1.2 Η Μηχανική Σύσταση του Εδάφους

Η μηχανική σύσταση του εδάφους (soil texture ) είναι μία ιδιότητα μόνιμη και αναφέρεται στην % περιεκτικότητα σε άμμο (sand) , ιλύ (silt) και άργιλο (clay). Η σημαντικότητα της έγκειται στο γεγονός ότι επηρεάζει την ικανότητα του εδάφους να συγκρατεί νερό και θρεπτικές στοιχεία. Στο τρίγωνο της υψής εδάφους της USDA που παρουσιάζεται στην Εικόνα 2-1 προσδιορίζεται ο τύπος του εδάφους ανάλογα με τα ποσοστά της άμμου, της ιλύος, και της αργίλου, από τα οποία απαρτίζεται και με αυτόν τον τρόπο κατατάσσεται σε έναν από τους παρακάτω τύπους εδαφών .



Εικόνα 2-1: Τριγωνική αναπαράσταση μηχανικής σύστασης των εδαφών κατά USDA

Πηγή: Εδαφολογική Μελέτη 2004 (ΕΘΙΑΓΕ)

Στον Πίνακα 2-2 παρουσιάζονται οι ονομασίες του συνόλου των τύπων εδάφους ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε άμμο, ιλύ και άργιλο και την διάμετρο των κόκκων τους.

Άμμος	S	Sand	Αμμώδη εδάφη	Χονδρόκοκκα	
Πηλώδης άμμος	LS	Loamy sand			
Αμμώδης πηλός	SL	Sandy loam			
Πηλός	L	Loam	Πηλώδη εδάφη	Μετρίως χονδρόκοκκα	
Ιλυώδης πηλός	SiL	Silty Loam		Μέσα	
Ιλύς	Si	Silt		Μετρίως λεπτόκοκκα	
Αμμώδης αργιλοπηλός	SCL	Sandy clay loam		Αργιλώδη εδάφη	Λεπτόκοκκα
Αργιλοπηλός	CL	Clay loam			
Ιλυώδης αργιλοπηλός	SiCL	Silty clay loam			
Αμμώδης άργιλος	SC	Sandy clay			
Ιλυώδης άργιλος	SiC	Silty clay			
Άργιλος	C	Clay			

Πίνακας 2-2: Οι 12 τύποι εδάφους κατά USDA

Η μηχανική σύσταση του εδάφους μας προσανατολίζει για την ευκολία ή μη της μηχανικής κατεργασίας καθώς και τα πιθανά προβλήματα άρδευσης και λίπανσης. Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι τα μέσης σύστασης εδάφη παρουσιάζουν τα μικρότερα προβλήματα και συνδυάζουν τις επιθυμητές ιδιότητες της αργίλλου και της άμμου.

Τα περισσότερα προβλήματα εμφανίζονται στα βαριά εδάφη λόγω της μικρής συνήθως περατότητάς τους από τις ρίζες, τον αέρα και το νερό. Γενικότερα, και κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες, μια μέση περιεκτικότητα σε αργίλλο 20-30%, προσδίδει στο έδαφος καλό αερισμό, καλή υδατοϊκανότητα, καθώς και θρεπτικά στοιχεία για την κανονική ανάπτυξη των καλλιεργειών.

### 2.1.3 Θρεπτικά Στοιχεία και Λιπαντική Αγωγή

Η οργανική ουσία του εδάφους αποτελείται από φυτικά και ζωικά υπολείμματα σε διάφορα στάδια αποσύνθεσης. Αν η οργανική ουσία βρίσκεται σε επάρκεια βελτιώνει τη δομή του εδάφους, αυξάνει τη διαπερατότητα του εδάφους στο νερό και εφοδιάζει τα φυτά με θρεπτικά στοιχεία κ.ά. Η οργανική ουσία περιέχει 5% περίπου ολικό άζωτο, επομένως είναι μια αποθήκη αζώτου, το οποίο για να είναι διαθέσιμο πρέπει πρώτα να γίνει αποσύνθεσή της οργανικής ουσίας, μια διαδικασία που απαιτεί αρκετό χρόνο. Εκτός του αζώτου, με την αποσύνθεση της οργανικής ουσίας ελευθερώνονται φωσφόρος, μαγνήσιο, ασβέστιο, θείο και μικροστοιχεία τα οποία γίνονται τελικά διαθέσιμα για τα φυτά.

Τα θρεπτικά στοιχεία θεωρούνται εκείνα τα στοιχεία που είναι απαραίτητα για τη σωστή και απρόσκοπτη ανάπτυξη των καλλιεργειών. Ανάλογα με την απαιτούμενη ποσότητα αυτών, τα θρεπτικά συστατικά χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: τα μακρο-στοιχεία (macro-) και τα μικρο-στοιχεία (micro-). Τα μακρο-στοιχεία είναι απαραίτητα σε μεγαλύτερες ποσότητες και σε αυτά συγκαταλέγονται ο άνθρακας, το ασβέστιο, το υδρογόνο, το μαγνήσιο, το άζωτο, το οξυγόνο, ο φώσφορος, το θείο και το κάλιο. Τα μικρο-στοιχεία είναι αναγκαία σε πολύ μικρότερες ποσότητες από τα μακρο-στοιχεία και πολλές φορές η συγκέντρωσή τους είναι ελάχιστη, γι' αυτό και αναφέρονται στη βιβλιογραφία και με τον όρο ιχνοστοιχεία (trace elements). Στα μικρο-στοιχεία συγκαταλέγονται το μαγγάνιο, ο σίδηρος, το νικέλιο, το βόριο, ο χαλκός, ο ψευδάργυρος κ.α. (Αικ. Παναγοπούλου, 2011).

Τα μακρο-στοιχεία συνήθως λειτουργούν ως δομικές μονάδες των ιστών των φυτών, συνθέτουν το οργανικό υλικό και παίζουν ρόλο σε κάποιες εξαιρετικά σημαντικές ενζυμικές λειτουργίες, σταθεροποιώντας τα απαραίτητα ιοντικά δυναμικά. Τα μικρο-στοιχεία δρουν κυρίως ως καταλύτες στις διάφορες χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στους ιστούς του φυτού και ενεργοποιούν τις

ηλεκτρονιακές μεταφορές που μετατρέπουν τα μακρο-στοιχεία σε ιόντα (Mengel and Kirby, 2001).

Ο ρόλος των μακρο- και των μικρο- στοιχείων είναι απόλυτα διακριτός για το κάθε είδος φυτού και γι' αυτό η έλλειψη ή η υπερβολική συγκέντρωση κάποιου από τα θρεπτικά συστατικά έχει ως αποτέλεσμα τη δυσλειτουργία του βιολογικού κύκλου των φυτών.

Ο κύριος παράγοντας ελέγχου της συγκέντρωσης του κάθε θρεπτικού συστατικού είναι το γενετικά σταθεροποιημένο δυναμικό πρόσληψης κάθε συστατικού από το έδαφος στο φυτό (Mengel and Kirby, 2001). Για παράδειγμα, οι συγκεντρώσεις του N και του K είναι περίπου δεκαπλάσιες από αυτές του P και του Mg, οι οποίες με τη σειρά τους είναι 10 με 1000 φορές μεγαλύτερες από αυτές των ιχνοστοιχείων.

Οι συγκεντρώσεις των διάφορων στοιχείων στο έδαφος και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους επηρεάζουν άμεσα την εξέλιξη του φυτού.

Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διαφόρων στοιχείων μπορεί να είναι συνεργιστικές ή ανταγωνιστικές. Ανταγωνιστική ονομάζεται η αλληλεπίδραση όταν η συνδυασμένη επίδραση δύο ή περισσότερων στοιχείων είναι μικρότερη συγκριτικά με το άθροισμα των ανεξάρτητων επιδράσεων ενώ συνεργιστική είναι όταν η συνδυασμένη επίδραση είναι μεγαλύτερη. Επίσης, αυτοί οι όροι χρησιμοποιούνται και όταν αναφερόμαστε σε περιπτώσεις όπου ένα στοιχείο παρεμποδίζει ή προωθεί την πρόσληψη ενός άλλου στοιχείου (ανταγωνιστικό και συνεργιστικό φαινόμενο, αντίστοιχα) (Kabata-Pendias and Pendias, 2001). Όλες αυτές οι αντιδράσεις συσχετισμών των συγκεντρώσεων λαμβάνουν χώρα είτε στο εσωτερικό των κυττάρων, είτε στις επιφάνειες των μεμβρανών είτε και γύρω από τις ρίζες του φυτού και διαφοροποιούνται σημαντικά ανάλογα με το είδος του φυτού, τα περιεχόμενα στο έδαφος στοιχεία και τις ανάγκες του φυτού.

Από πρακτικής άποψης, σημαντικές είναι οι ανταγωνιστικές σχέσεις του ασβεστίου και του φωσφόρου με βαρέα μέταλλα, π.χ. Cd και Pb, τα οποία συνιστούν κίνδυνο για τα φυτά. Τόσο το ασβέστιο όσο και ο φώσφορος παίζουν σημαντικό ρόλο στη συγκρότηση και τη σταθερότητα των κυτταρικών μεμβρανών και έτσι οποιαδήποτε ανισορροπία αυτών των στοιχείων σημαίνει προβληματική επικοινωνία των κυττάρων μεταξύ τους αλλά και με το περιβάλλον τους. Η παρεμπόδιση που προκαλούν στα βαρέα μέταλλα, τα οποία θα μπορούσαν να τα αντικαταστήσουν, εξασφαλίζει ουσιαστικά τη σωστή λειτουργία του φυτού.

Όμως, και τα ιχνοστοιχεία αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Έλλειψη ενός ιχνοστοιχείου διευκολύνει την πρόσληψη κάποιου άλλου (συνήθως με το ίδιο σθένος) που μπορεί να το υποκαταστήσει ή παρεμποδίζει την πρόσληψη ενός τρίτου, το οποίο απαιτεί την παρουσία του για να εισέλθει στο φυτό. Γενικά, οι συσχετισμοί μεταξύ των ιχνοστοιχείων εξαρτώνται από τον ανταγωνισμό τους

για τις θέσεις ιοντοανταλλαγής του εδάφους, από τις ιδιότητες των ριζικών κυττάρων και από τα ριζικά εκκρίματα. Επίσης, το είδος της μεταβολικής διαδικασίας στην οποία συμμετέχουν τα ιχνοστοιχεία καθώς και η παρουσία μικροοργανισμών παίζουν σημαντικό ρόλο στις αλληλεπιδράσεις τους.

Τα θρεπτικά στοιχεία προσδιορίζονται με εδαφολογικές αναλύσεις με τις οποίες γίνεται η ακριβής εκτίμηση της γονιμότητας του εδάφους η οποία είναι απαραίτητη έτσι ώστε να εξασφαλίζει στα φυτά τις προϋποθέσεις άριστης θρέψης για μέγιστη απόδοση των καλλιεργειών.

Επομένως η ανάλυση του εδάφους αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο με το οποίο επιτυγχάνεται ο ποσοτικός έλεγχος της γονιμότητας, γεγονός που κάνει δυνατή την έστω και κατά προσέγγιση ορθολογική χρήση λιπασμάτων, τη μείωση του κόστους παραγωγής και την προστασία του περιβάλλοντος.

Παρόλα αυτά το κόστος των εδαφολογικών αναλύσεων σε περιπτώσεις μεγάλων εκτάσεων εδάφους είναι οικονομικά ασύμφορο όποτε κρίνεται αναγκαία η χρησιμοποίηση της υπερφασματικής τηλεπισκόπησης.

## **2.2 Βασικά Στοιχεία Υπερφασματικής Τηλεπισκόπησης**

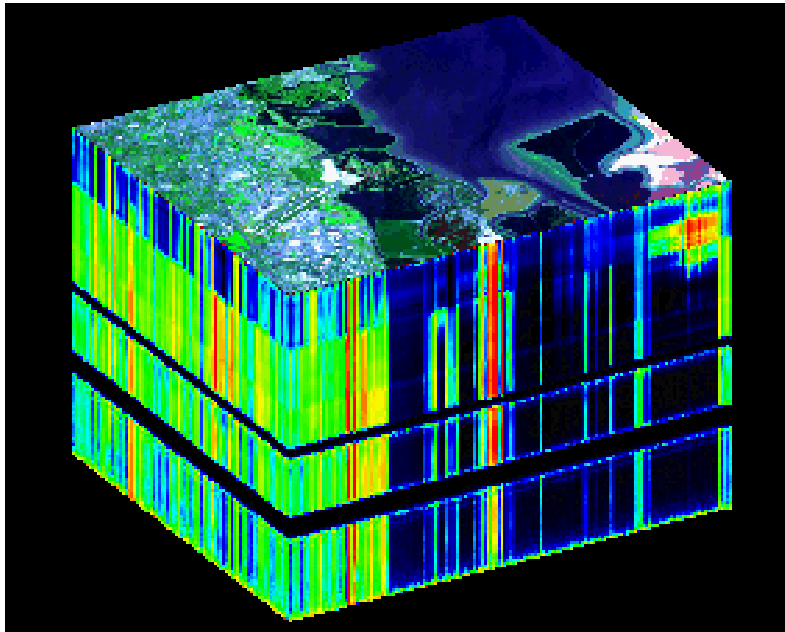
### **2.2.1 Η Υπερφασματική Τηλεπισκόπηση**

Τηλεπισκόπηση καλείται η απόκτηση πληροφοριών εξ αποστάσεως –με δορυφορικό, αερομεταφερόμενο ή επίγειο αισθητήρα- για ένα αντικείμενο ή για το περιβάλλον του με βάση την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που αυτό ανακλά ή/και εκπέμπει (Goetz et al, 1985). Η ένταση και τα χαρακτηριστικά της καταγραφόμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας εξαρτώνται από την ένταση και τα χαρακτηριστικά της πηγής της (στην περίπτωση των υπερφασματικών δεκτών πηγή είναι ο ήλιος), από το ανάγλυφο της γήινης επιφάνειας, από τη χημική σύσταση των αντικειμένων και τέλος, από το βαθμό απορρόφησης της ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα (Schott, 1997).

Στην υπερφασματική τηλεπισκόπηση, το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα χωρίζεται σε εκατοντάδες στενές, παρακείμενες φασματικές ζώνες οι οποίες είναι επαρκείς ώστε να αποτυπώνονται με λεπτομέρεια όλες οι φασματικές υπογραφές των υλικών τα οποία απεικονίζονται σε μία εικόνα. Η υπερφασματική Τηλεπισκόπηση συντελεί στην αναγνώριση επιφανειών διαφορετικής σύστασης υλικών λόγω της μοναδικής φασματικής υπογραφής την οποία αυτά διαθέτουν.

Τυπικά, μία υπερφασματική εικόνα έχει τη μορφή ενός κύβου όπου οι δύο διαστάσεις αφορούν στη χωρική πληροφορία και η τρίτη στη φασματική (Εικόνα

2-3). Κατά συνέπεια κάθε εικονοστοιχείο μπορεί να θεωρηθεί ως διάνυσμα στήλης του οποίου επιμέρους τιμές αντιπροσωπεύουν το συντελεστή ανακλαστικότητας του εικονοστοιχείου σε συγκεκριμένα κανάλια ( Keshava και Mustard, 2002, Manolakis et al.,2003).



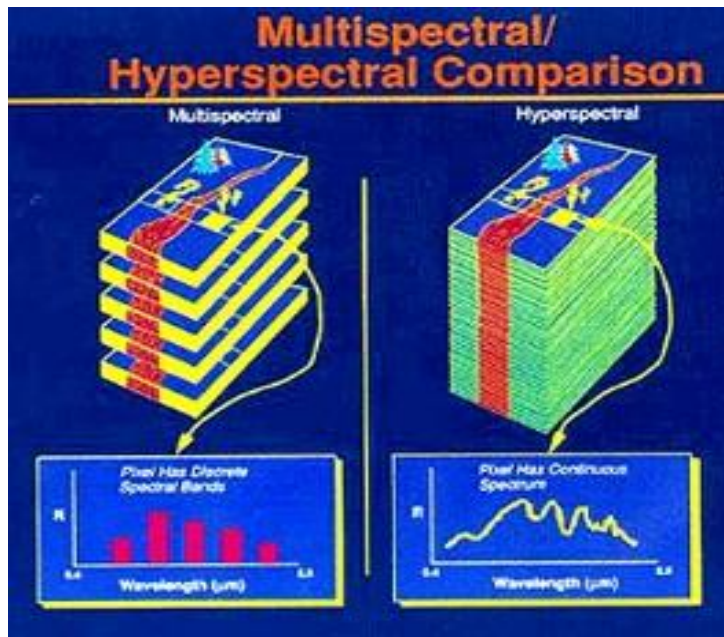
Εικόνα 2-3: Υπερφασματικός κύβος δεδομένων

Πηγή: Wikipedia

Η βασική διαφορά μεταξύ των υπερφασματικών αισθητήρων απεικόνισης με τους προηγούμενους πολυφασματικούς δεν έγκειται στη χωρική ανάλυση αλλά στην φασματική. Στις υπερφασματικές απεικονίσεις η φασματική πληροφορία αποτυπώνεται σε μερικές εκατοντάδες κανάλια του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος σε αντίθεση με τις πολυφασματικές απεικονίσεις στις οποίες η φασματική πληροφορία αποτυπώνεται σε μερικές δεκάδες κανάλια.

Μια άλλη σημαντική διαφορά των υπερφασματικών έναντι των πολυφασματικών δεκτών είναι ότι οι πρώτοι ρυθμίζονται ώστε να λαμβάνουν δεδομένα σε πολλές και 'στενές' ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, ενώ οι δεύτεροι σε λίγες μεγάλης πλάτους φασματικές ζώνες (κανάλια) .

Ουσιαστικά, οι υπερφασματικοί αισθητήρες συνδυάζουν τη χωρική απεικόνιση ενός αισθητήρα απεικόνισης με τις αναλυτικές ικανότητες ενός φασματομέτρου και παράγουν ένα πλήρες, συνεχές φάσμα, για κάθε εικονοστοιχείο (pixel) της εικόνας το οποίο σημαίνει ότι παρέχουν άφθονες φασματικές πληροφορίες για τον προσδιορισμό και την διακρίση φασματικά μοναδικών υλικών και παρέχει τη δυνατότητα για ακριβέστερη και πιο λεπτομερή εξαγωγή πληροφοριών από οποιοδήποτε άλλο είδος τηλεπισκοπικών δεδομένων.



Εικόνα 2-4: Σύγκριση πολυφασματικών και υπερφασματικών δεκτών

Πηγή: Wikipedia

Όπως έχει αναφερθεί, η εργασία έχει ως αντικείμενο-στόχο την ανίχνευση και χαρτογράφηση της οργανικής ουσίας καθώς και των μακροστοιχείων και ιχνοστοιχείων του εδάφους. Η ανίχνευση και η εξαγωγή τέτοιων χαρακτηριστικών είναι πολύ δύσκολη λόγω α) της ελάχιστης περιεκτικότητας των εδαφών σε μακρο-στοιχεία και ιχνοστοιχεία, β) της πολλαπλών μορφών (μόρια, ιόντα, κλπ.) που το ίδιο στοιχείο μπορεί να εμφανίζεται, γ) των ελάχιστων φασματικών διαφοροποιήσεων που εμφανίζουν τα περισσότερα από τα στοιχεία του εδάφους, δ) της υψηλής μεταβλητότητας της υφής του εδάφους η οποία και επηρεάζει τη φασματική υπογραφή του εδάφους, έτσι ώστε ο ίδιος τύπος εδάφους με διαφορετική υφή να εμφανίζει μικροδιαφορές στη φασματική του υπογραφή, και τέλος ε) των σημαντικών επιπτώσεων που έχει ο βαθμός υγρασίας του εδάφους, αλλά και η περιεκτικότητά του σε οργανική ύλη, στη φασματική του υπογραφή. Γι' αυτό το λόγο, είναι απαραίτητη η επιλογή υπερφασματικού αισθητήρα υψηλής χωρικής και φασματικής ανάλυσης. Τέτοιοι αισθητήρες είναι οι αερομεταφερόμενοι ορισμένοι από τους οποίους παρουσιάζονται στην εικόνα 2-5.

Αισθητήρες	AVIRIS	HYDICE	CASI-550
Αριθμός καναλιών	224	210	288
Εύρος μήκους κύματος	400-2500 nm	400-2500 nm	400-1000 nm
Χωρική ανάλυση	4m <sub>x</sub> 4m	1m <sub>x</sub> 1m	0.5m <sub>x</sub> 0.5m

Εικόνα 2-5: Χαρακτηριστικά αερομεταφερόμενων υπερφασματικών αισθητήρων

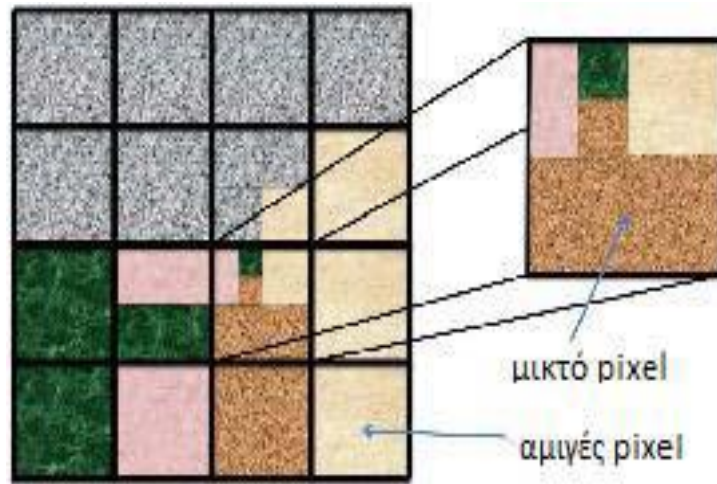
## 2.2.2 Το Πρόβλημα του Φασματικού Διαχωρισμού

Λόγω της παρουσίας διαφορετικών υλικών τα οποία συνθέτουν τις καλύψεις / χρήσεις γης, είναι δυνατόν σε ένα εικονοστοιχείο ακόμη και υψηλής χωρικής ανάλυσης να διαμορφώνουν τη φασματική του υπογραφή, φασματικές υπογραφές οι οποίες να ανήκουν σε περισσότερα από ένα υλικά. Τότε, το εικονοστοιχείο αυτό λέγεται “μικτό” (mixed pixel) σε αντίθεση με το “αμιγές” εικονοστοιχείο (pure pixel) στο οποίο περιέχεται η φασματική υπογραφή ενός μοναδικού υλικού (Jiang, 2002, Lentilucci, 2001).

Οι καθαρές φασματικές υπογραφές της απεικόνισης οι οποίες ανήκουν σε ένα μοναδικό κάθε φορά υλικό/στόχο, καλούνται ‘καθαροί’ στόχοι (endmembers) (Zare, 2008). Το σύνολο των μη επιθυμητών φασματικών υπογραφών καλείται υπόβαθρο (background) (Harsanyi and Chang, 1994).

Λόγω της υψηλής φασματικής ανάλυσης την οποία παρέχουν οι υπερφασματικοί αισθητήρες είναι δυνατή η ανίχνευση ‘καθαρών’ στόχων οι οποίοι περιέχονται σε μικτά εικονοστοιχεία. Για να είναι επιτυχής η ανάλυση και η επεξεργασία των πληροφοριών οι οποίες περιέχονται σε μία υπερφασματική απεικόνιση, λόγω της ύπαρξης μικτών εικονοστοιχείων, είναι απαραίτητο να γίνει ο φασματικός διαχωρισμός/ ανάμειξη (spectral unmixing problem) στην απεικόνιση, ο οποίος έχει ως αποτέλεσμα την αποσύνθεση των εικονοστοιχείων στους επιμέρους ‘καθαρούς’ στόχους και στα αντίστοιχα ποσοστά συμμετοχής τους (Jiang, 2002).



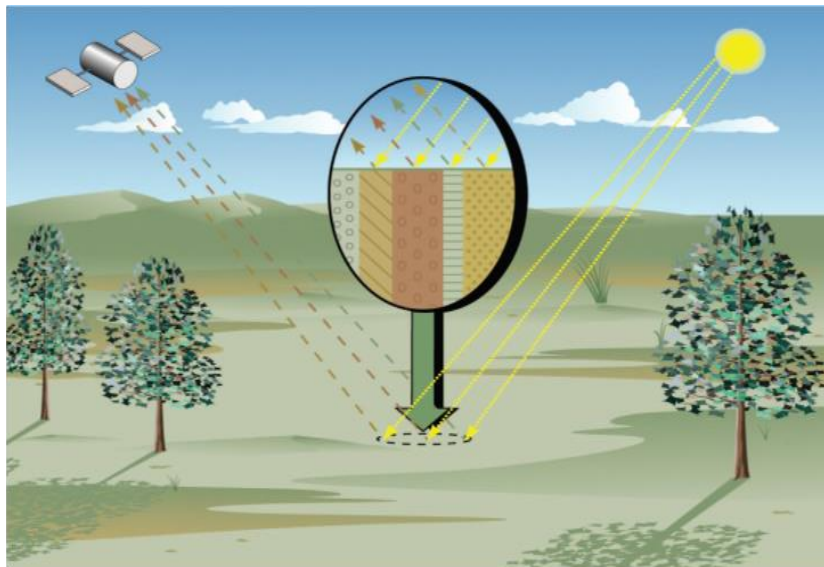


Εικόνα 2-6: Αμιγές και μεικτό εικονοστοιχείο

Πηγή: orfeo-toolbox.org

### 2.2.3 Θεωρίες Μοντέλων Ανάμειξης ανά Εικονοστοιχείο

Για την επίλυση του προβλήματος του φασματικού διαχωρισμού έχουν αναπτυχθεί δύο μοντέλα ανάμειξης των 'καθαρών' στόχων σε επίπεδο εικονοστοιχείου, **το γραμμικό και το μη-γραμμικό**. Σύμφωνα με το γραμμικό μοντέλο το φως αλληλεπιδρά με ένα υλικό/αντικείμενο κάθε φορά και επομένως η τιμή του εικονοστοιχείου ισούται με το άθροισμα των συνεισφορών των υλικών (Εικόνα 2-7).



Εικόνα 2-7: Γραμμικό μοντέλο ανάμειξης

Πηγή: Keshvaand Mustard "SpectralUnmixing"

Η μαθηματική εξίσωση με την οποία περιγράφεται το γραμμικό μοντέλο είναι:

$$r_i = \sum_{j=1}^n (e_{j,i} \times a_j) + \theta_i$$

όπου  $r_i$  η τιμή ανακλαστικότητας του μεικτού εικονοστοιχείου στο κανάλι  $i$

$e_{j,i}$  η τιμή ανακλαστικότητας του 'καθαρού' στόχου  $j$  στο κανάλι  $i$

$a_j$  το ποσοστό συμμετοχής του 'καθαρού' στόχου  $j$

$\theta_i$  ο θόρυβος στο κανάλι  $i$

Στις υπερφασματικές απεικονίσεις κάθε εικονοστοιχείο μπορεί να αναπαρασταθεί ως σημείο στο  $n$ -διάστατο χώρο, όπου  $n$ : ο αριθμός των καναλιών, του οποίου οι συντεταγμένες δίνονται από τις διαφορετικές φασματικές τιμές σε κάθε κανάλι. Αν παραλείψουμε το θόρυβο  $\theta_i$  από την παραπάνω σχέση, οι γραμμικοί συνδυασμοί που προκύπτουν σχηματίζουν ένα simplex του οποίου οι κορυφές αντιστοιχούν στους 'καθαρούς' στόχους της απεικόνισης.

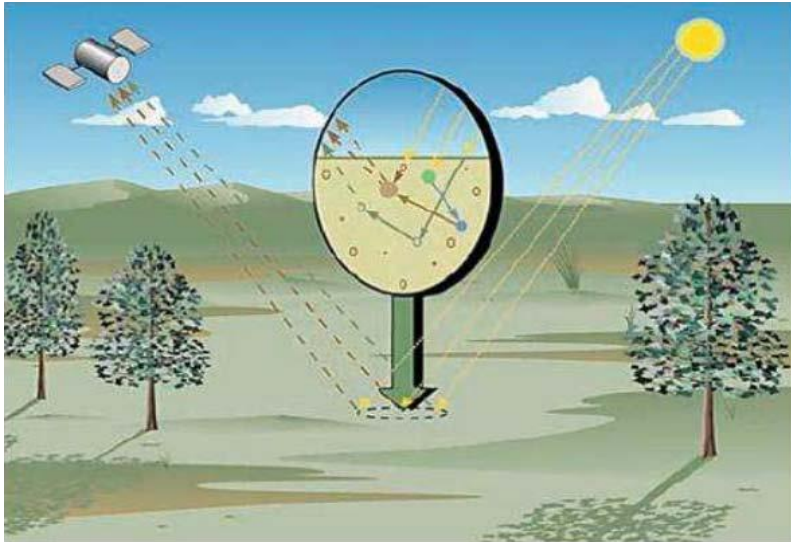
**Το μη-γραμμικό μοντέλο ανάμειξης** θεωρεί πιθανές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των υλικών που συνυπάρχουν σε ένα εικονοστοιχείο λόγω σκέδασης του φωτός και η τιμή του εικονοστοιχείου δίνεται από τον τύπο :

$$r_i = f(e_{j,i}, a_j) + \theta_i$$

όπου  $r_i$  η τιμή ανακλαστικότητας του μεικτού εικονοστοιχείου στο κανάλι  $i$

$f(e_{j,i}, a_j)$ : μία μη γραμμική σχέση μεταξύ της τιμής ανακλαστικότητας του 'καθαρού' στόχου  $j$  στο κανάλι  $i$  ( $e_{j,i}$ ) και του ποσοστού συμμετοχής ( $a_j$ ) του 'καθαρού' στόχου  $j$

$\theta_i$  : ο θόρυβος στο κανάλι  $i$



Εικόνα 2-8: Μη γραμμικό μοντέλο ανάμειξης

Πηγή: KeshvaandMustard “SpectralUnmixing”

Το μη γραμμικό μοντέλο χαρακτηρίζεται από μεγάλη πολυπλοκότητα που έγκειται στη μη γραμμική σχέση μεταξύ ποσοστού συμμετοχής και τιμής ανακλαστικότητας του ‘καθαρού’ στόχου και στην πράξη δεν χρησιμοποιείται όσο το γραμμικό.

### 2.3 Μέθοδοι του Φασματικού Διαχωρισμού

Το αντικείμενο της διαδικασίας του φασματικού διαχωρισμού είναι η ‘φασματική αποσύνθεση’ της εικόνας στα υλικά/στόχους τα οποία την απαρτίζουν και αποτελείται από τρία κύρια στάδια: την εκτίμηση της διάστασης του φασματικού υπόχωρου του σήματος, την εξαγωγή των φασματικών υπογραφών των ‘καθαρών’ στόχων και τέλος την εκτίμηση των ποσοστών αφθονίας των ‘καθαρών’ στόχων ανά εικονοστοιχείο.

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύονται θεωρητικά οι μέθοδοι οι οποίες εφαρμόστηκαν στην πειραματική διαδικασία της παρούσας διπλωματικής εργασίας και οι οποίες υλοποιούν κάθε στάδιο της παραπάνω διαδικασίας. Συγκεκριμένα αναλύονται οι μέθοδοι ODM και SEE (Outlier Detection Method, Simple Endmember Extraction) οι οποίες αναπτύχθηκαν στο Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης του Ε.Μ.Π και οι οποίες υλοποιούν την εκτίμηση του φασματικού υπόχωρου σήματος και την εξαγωγή των φασματικών υπογραφών των ‘καθαρών’ στόχων αντίστοιχα. Άλλες μέθοδοι, όπως οι μέθοδοι μείωσης της διάστασης της απεικόνισης (PCA, MNF) και οι μέθοδοι εκτίμησης του θορύβου (NND, MRTBM), αποτελούν απαραίτητα βήματα των μεθόδων ODM και SEE, γι

αυτό επίσης αναλύονται στο κεφάλαιο αυτό. Τέλος αναλύονται οι μέθοδοι οι οποίες περιέχονται στο λογισμικό ENVI και εφαρμόστηκαν στην εργασία αυτή.

### 2.3.1 Μέθοδος Εκτίμησης του Φασματικού Υπόχωρου Σήματος- Outlier Detection Method (ODM)

Η εκτίμηση του πλήθους των 'καθαρών' στόχων (endmembers) σε μία υπερφασματική απεικόνιση αποτελεί προϋπόθεση για την επιτυχή ανίχνευση των καθαρών στόχων και την επίλυση του μοντέλου γραμμικής ανάμειξης (spectral unmixing process), (Cawse et al., 2010). Ο επιτυχής υπολογισμός του πλήθους των καθαρών στόχων επηρεάζει την επεξεργασία διαφορετικών ειδών πληροφορίας όπως είναι η ανάλυση χημικής σύστασης (Kritchman and Nadler, 2008), η εξαγωγή φωνητικών σημάτων από ένα κανάλι με θόρυβο (Park et al., 1999), ο εντοπισμός μεταλλευμάτων (Kruse, 1996), η φασματική ανάλυση περιβαλλοντικών στοιχείων (Gillis et al., 2008) και πολλές άλλες εφαρμογές.

Η μη επιτυχής εκτίμηση του πλήθους των καθαρών στόχων επηρεάζει σημαντικά την ακρίβεια των μεθόδων επίλυσης του γραμμικού μοντέλου (Wu et al., 2006) καθώς επίσης και την απόδοση των αλγορίθμων στην περίπτωση όπου λαμβάνονται υπόψη 'καθαροί' στόχοι οι οποίοι δεν υπάρχουν στην απεικόνιση (Heinz and Chang, 2001).

Η εκτίμηση του πλήθους των 'καθαρών' στόχων πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο ODM (Outlier Detection Method). Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι πλήρως αυτόματη και μη- παραμετρική. Σε αντίθεση με άλλες μεθόδους εκτίμησης του πλήθους των 'καθαρών' στόχων οι οποίες επικεντρώνονται στον υπόχωρο του σήματος η μέθοδος ODM «δίνει σημασία» στον υπόχωρο του θορύβου τον οποίο θεωρεί ως στατιστικό δεδομένο και το σήμα ως ανωμαλία του δεδομένου αυτού (Andreou C. and Karathanassi V. 2014). Αυτό συμβαίνει εφόσον έχει εφαρμοστεί στην εκάστοτε απεικόνιση ο μετασχηματισμός ελαχιστοποίησης του θορύβου (MNF) ή ο μετασχηματισμός κυρίων συνιστωσών (PCA) ανάλογα με το αν πρόκειται για πραγματικά ή συνθετικά δεδομένα αντίστοιχα ( βλέπε 2.3.3, 2.3.2) όπου ο θόρυβος αναπαρίσταται από μία υπερσφαίρα σταθερής ακτίνας  $n$  διαστάσεων όπου  $n$ : ο αριθμός των καναλιών της απεικόνισης. Στη συνέχεια, προκειμένου να ανιχνευθούν οι ανωμαλίες (σήματα) χρησιμοποιείται η μέθοδος inter quartile range (IQR) με χαρακτηριστικό πλεονέκτημα ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν η κατανομή των δεδομένων είναι άγνωστη ( Andreou C. And Karathanassi V. 2014).

Πριν την εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου (IQR) χρειάζεται να υπολογιστούν οι τυπικές αποκλίσεις σε κάθε κανάλι οι οποίες στη συνέχεια πρέπει να κανονικοποιηθούν εξαιτίας των μεγάλων αποκλίσεων που παρουσιάζουν

μεταξύ τους και να ταξινομηθούν κατά φθίνουσα σειρά. Τέλος υπολογίζονται οι ευκλείδειες αποστάσεις μεταξύ των κανονικοποιημένων πια τυπικών αποκλίσεων των γειτονικών καναλιών σύμφωνα με τον τύπο:

$$ED_{i,i+1} = \sqrt{(s_i - s_{i+1}) + (i - (i + 1))}$$

όπου  $ED_{i,i+1}$  η ευκλείδεια απόσταση μεταξύ των τυπικών αποκλίσεων των καναλιών  $i$  και  $i+1$

$s_i, s_{i+1}$  οι τυπικές αποκλίσεις των καναλιών  $i$  και  $i+1$

Χρησιμοποιώντας τις ευκλείδειες αποστάσεις των τυπικών αποκλίσεων των γειτονικών καναλιών δημιουργείται ένα κατώφλι πάνω από το οποίο θεωρείται ότι υπάρχει σήμα το οποίο προκύπτει από τον τύπο:

$$Q_3 + 1.5 * IQR$$

Όπου  $Q_3$  η τιμή της ευκλείδειας απόστασης του στοιχείου με αριθμό διάταξης στη φθίνουσα σειρά που αντιστοιχεί στο 75% του συνόλου των τιμών της ευκλείδειας απόστασης. Το σύνολο των τιμών έχει πλήθος  $n-1$ , όπου  $n$  ο αριθμός των καναλιών της υπερφασματικής απεικόνισης.

$IQR$  είναι η διαφορά της τιμής της ευκλείδειας απόστασης του στοιχείου με αριθμό διάταξης στη φθίνουσα σειρά που αντιστοιχεί στο 25% του συνόλου, από την τιμή του στοιχείου με αριθμό διάταξης στη φθίνουσα σειρά που αντιστοιχεί στο 75% του συνόλου ( $IQR = Q_3 - Q_1$ ).

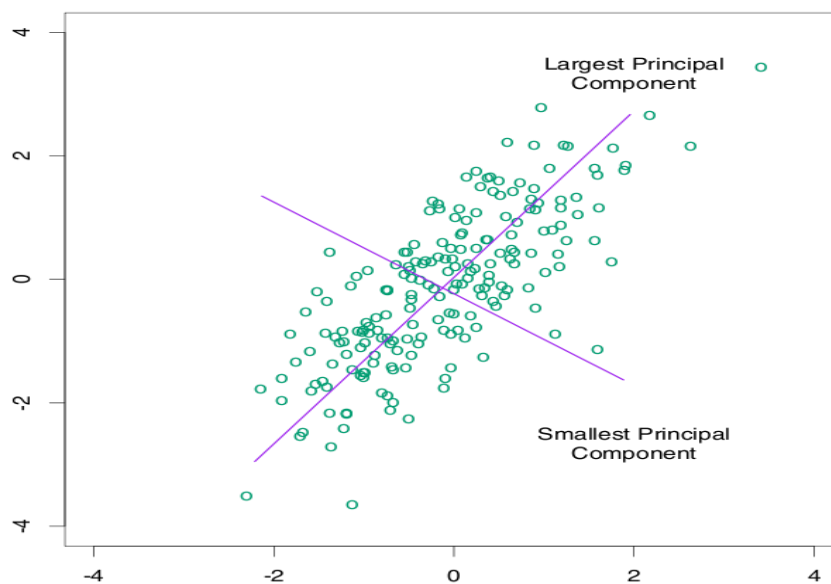
### 2.3.2 Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών

Η ΑΚΣ μελετά γραμμικούς συσχετισμούς μεταξύ μεταβλητών και εφαρμόζεται σε πίνακες συνδιασποράς ή σε πίνακες συσχετισμού (στους οποίους κάθε μεταβλητή είναι κλιμακωτή έτσι ώστε η διασπορά του δείγματος να ισούται με ένα). Για τους πίνακες συνδιασποράς και συσχετισμού, τα ιδιοδιανύσματα αντιστοιχούν στις κύριες συνιστώσες και οι ιδιοτιμές στις εξηγημένες διασπορές των κυρίων συνιστωσών. Η ανάλυση κυρίων συνιστωσών του πίνακα συσχετισμού παρέχει μία ορθογώνια ιδιοβάση για τον χώρο των παρατηρούμενων δεδομένων. Σε αυτήν τη βάση, οι μεγαλύτερες ιδιοτιμές αντιστοιχούν στις κύριες-συνιστώσες που σχετίζονται περισσότερο με την συμμεταβλητότητα ανάμεσα σε έναν αριθμό παρατηρούμενων δεδομένων.

Στον τομέα της τηλεπισκόπησης, η ανάλυση κυρίων συνιστωσών αποτελεί μία από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους για τη μείωση των διαστάσεων μίας υπερφασματικής απεικόνισης, εκμεταλλευόμενη την υψηλή συσχέτιση μεταξύ των γειτονικών καναλιών.

Βασικός στόχος της συγκεκριμένης μεθόδου είναι η συμπίεση της υπάρχουσας πληροφορίας σε  $n$  «νέα» κανάλια που ονομάζονται κύριες συνιστώσες όπου  $n$ : ο αριθμός των καναλιών της απεικόνισης. Τα νέα μετασχηματισμένα κανάλια (κύριες συνιστώσες) αποτελούν γραμμικό συνδυασμό των αρχικών καναλιών, είναι ασυσχέτιστα μεταξύ τους και το πλήθος τους θα είναι το ίδιο αλλά θα περιέχουν μικρότερο ποσοστό πληροφορίας.

Συγκεκριμένα η πρώτη κύρια συνιστώσα ορίζεται στη διεύθυνση της μεγαλύτερης μεταβλητότητας των δεδομένων περιέχοντας μεγάλο ποσοστό της συνολικής πληροφορίας και κάθε επόμενη συνιστώσα ορίζεται στη διεύθυνση με την αμέσως μεγαλύτερη μεταβλητότητα των δεδομένων με την προϋπόθεση να είναι κάθετη στις προηγούμενες το οποίο εξασφαλίζει ότι οι μεταβλητές είναι ασυσχέτιστες μεταξύ τους (Εικόνα 2-9). Με αυτόν τρόπο επιτυγχάνεται η μείωση των διαστάσεων της απεικόνισης διατηρώντας παράλληλα το μεγαλύτερο μέρος της συνολικής πληροφορίας.



Εικόνα 2-9: Σχηματική απεικόνιση των μετασχηματισμένων αξόνων (κύριες συνιστώσες)

Μαθηματικά η παραπάνω μέθοδος υλοποιείται με τον καθορισμό ενός ορθογώνιου πίνακα μετασχηματισμού  $U$  ο οποίος διαγωνιοποιεί τον πίνακα μεταβλητότητας-συμμεταβλητότητας  $\Sigma_X$  της απεικόνισης σύμφωνα με τον τύπο:

$$U * \Sigma_X * U^T = \Sigma_Y$$

Όπου  $U$  ο ορθογώνιος πίνακας μετασχηματισμού ο οποίος συντίθεται από τα ιδιοδιανύσματα του αρχικού πίνακα μεταβλητότητας-συμμεταβλητότητας κατά φθίνουσα σειρά.

Σγ ο «νέος» διαγώνιος πίνακας μεταβλητότητας-συμμεταβλητότητας ο οποίος αποτελείται από τις ιδιοτιμές του αρχικού πίνακα μεταβλητότητας-συμμεταβλητότητας κατά φθίνουσα σειρά.

Ο πίνακας μεταβλητότητας-συμμεταβλητότητα δείχνει την τάση των ζευγαριών των διαφόρων στοιχείων του διανύσματος να συν-μεταβάλλονται. Σημαντικές ιδιότητες του πίνακα είναι:

- Αν οι τιμές του κάθε εικονοστοιχείου σε δύο κανάλια  $x_i$  και  $x_k$  τείνουν να αυξάνουν μαζί, τότε η συμμεταβλητότητα  $c_{ik} > 0$
- Αν οι τιμές στο  $x_i$  τείνουν να μειώνονται όταν οι τιμές στο  $x_k$  αυξάνονται, τότε  $c_{ik} < 0$
- Αν τα κανάλια  $x_i$  και  $x_k$  δεν συσχετίζονται, τότε  $c_{ik} = 0$
- $|c_{ik}| \leq \sigma_i \sigma_k$
- $c_{ii} = \sigma_i^2 = \text{VAR}(x_i)$

Τελικά ο μετασχηματισμός  $Y$  των αρχικών δεδομένων  $X$  γίνεται με βάση τον τύπο:

$$Y = U^T * X$$

Η διαδικασία όμως αυτή οδηγεί στην στροφή των αξόνων της εικόνας στην διεύθυνση της μέγιστης μεταβλητότητας, χωρίς να μετατοπίζει το κέντρο των αξόνων στο κέντρο των δεδομένων. Για να επιτευχθεί αυτό, πρέπει να αφαιρεθεί, από την τιμή του κάθε εικονοστοιχείου, η μέση τιμή του καναλιού στο οποίο ανήκει.

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι ο μετασχηματισμός PCA είναι ευαίσθητος ως προς τις τιμές των μεταβλητών, καθώς δίνει διαφορετικά αποτελέσματα εάν πρόκειται για το ίδιο σύνολο μεταβλητών με διαφορετικές μονάδες. Συνεπώς, πρόκειται για μία αυθαίρετη μέθοδο ανάλυσης. Για την αποφυγή του προβλήματος, θα πρέπει οι μεταβλητές να έχουν κανονικοποιηθεί ώστε να έχουν μοναδιαία διακύμανση. Έχοντας υπόψη τις δύο προαναφερθείσες προϋποθέσεις της μηδενικής μέσης τιμής και της μοναδιαίας διακύμανσης για τον επιτυχή μετασχηματισμό PCA, θα πρέπει να προηγηθεί μετατροπή των δεδομένων σε λευκό θόρυβο.

### 2.3.3 Μετασχηματισμός Ελαχιστοποίησης του Θορύβου (MNF)

Ο μετασχηματισμός ελαχιστοποίησης του θορύβου (MNF) αποτελεί μία ευρέως γνωστή μέθοδο η οποία χρησιμοποιείται για τη μείωση των διαστάσεων μιας υπερφασματικής απεικόνισης. Αυτό επιτυγχάνεται «απομονώνοντας» το θόρυβο και παράλληλα συρρικνώνοντας την «χρήσιμη πληροφορία» σε ένα μικρότερο αριθμό μετασχηματισμένων εικόνων (κανάλια) οι οποίες είναι πιο εύκολες ως προς την αποθήκευση και επεξεργασία τους.

Ουσιαστικά η χρήσιμη πληροφορία τοποθετείται σε ένα μικρό αριθμό μετασχηματισμένων καναλιών με βάση το λόγο σήμα προς θόρυβο ( signal-to-noise ratio, SNR) ενώ τα υπόλοιπα κανάλια του καινούργιου μετασχηματισμένου χώρου περιέχουν μόνο θόρυβο.

Σημαντικό μειονέκτημα του μετασχηματισμού ελαχιστοποίησης του θορύβου (MNF) είναι το γεγονός ότι κατά το μετασχηματισμό αλλάζει η φυσική σημασία των αρχικών δεδομένων. Τα κανάλια του νέου –μικρότερων διαστάσεων- υπόχωρου δεν αντιστοιχούν στα επιμέρους αρχικά κανάλια, αλλά σε γραμμικούς συνδυασμούς τους, γεγονός που μπορεί να περιπλέξει και δυσκολέψει την ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Ο μετασχηματισμός ελαχιστοποίησης του θορύβου αποτελείται από δύο διαδοχικούς μετασχηματισμούς. Αφού έχει προηγηθεί η εκτίμηση του θορύβου της απεικόνισης και έχει υπολογιστεί ο πίνακας μεταβλητότητας-συμμεταβλητότητας του θορύβου (βλέπε 2.3.4), ο πρώτος κατά σειρά μετασχηματισμός μετατρέπει τον θόρυβο της εικόνας σε λευκό θόρυβο με μέση τιμή ίση με το μηδέν και τυπική απόκλιση ίση με το 1. Αυτό επιτυγχάνεται με τον καθορισμό ενός πίνακα μετασχηματισμού ο οποίος διαγωνοποιεί τον πίνακα μεταβλητότητας-συμμεταβλητότητας του θορύβου σε μοναδιαίο.

Μαθηματικά ο μετασχηματισμός πραγματοποιείται με τη χρήση της μεθόδου Singular value decomposition (SVD) σύμφωνα με τον τύπο:

$$D_N = U^T \Sigma_N U$$

όπου  $\Sigma_N$  ο πίνακας μεταβλητότητας-συμμεταβλητότητας του θορύβου

$D_N$  είναι ο διαγώνιος πίνακας, ο οποίος συντίθεται από τις ιδιοτιμές του πίνακα  $\Sigma_N$  σε φθίνουσα σειρά

$U$  είναι ο ορθογώνιος πίνακας, ο οποίος συντίθεται από τα ιδιοδιανύσματα του πίνακα  $\Sigma_N$



Η παραπάνω εξίσωση μπορεί περαιτέρω να αναπτυχθεί ως εξής:

$$\begin{aligned} D_N^{1/2} * D_N^{1/2} &= U^T * \Sigma_N * U \Rightarrow I = D_N^{1/2} * U^T * \Sigma_N * D_N^{1/2} * U \\ &= (U * D_N^{1/2})^T * \Sigma_N * (U * D_N^{1/2}) = P^T * \Sigma_N * P \end{aligned}$$

όπου  $I$  ο μοναδιαίος πίνακας στον οποίο μετατρέπεται ο πίνακας μεταβλητότητας-συμμεταβλητότητας του θορύβου  $\Sigma_N$

$P = U * D_N^{1/2}$  ο πίνακας μετασχηματισμού ο οποίος μετατρέπει τον πίνακα μεταβλητότητας-συμμεταβλητότητας του θορύβου  $\Sigma_N$  σε μοναδιαίο.

Ο δεύτερος κατά σειρά μετασχηματισμός ο οποίος εφαρμόζεται στην απεικόνιση στην οποία έχει πραγματοποιηθεί η κανονικοποίηση του θορύβου (μέση τιμή=0 και τυπική απόκλιση=1) είναι ο μετασχηματισμός κυρίων συνιστωσών ο οποίος ταξινομεί κατά φθίνουσα σειρά τα μετασχηματισμένα κανάλια με βάση το λόγο σήμα προς θόρυβο (SNR). Τελικά, τα πρώτα κανάλια με το μεγαλύτερο SNR περιέχουν το υψηλότερο επίπεδο πληροφορίας ενώ τα κανάλια με μικρότερο SNR αποκλείονται με αποτέλεσμα την μείωση της διάστασης της απεικόνισης.

### 2.3.4 Μέθοδοι Εκτίμησης του Θορύβου

Η εκτίμηση του θορύβου αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την υλοποίηση των μεθόδων οι οποίες χρησιμοποιούν τον πίνακα μεταβλητότητας-συμμεταβλητότητας του θορύβου προκειμένου να πραγματοποιήσουν το μετασχηματισμό της εικόνας σε εικόνα λευκού θορύβου όπως συμβαίνει με τον μετασχηματισμό ελαχιστοποίησης του θορύβου (MNF).

Σε αυτό το υποκεφάλαιο παρουσιάζονται δύο μέθοδοι εκτίμησης του θορύβου, η μέθοδος Nearest Neighbor Distance και η μέθοδος που στηρίζεται στη θεωρία της πολλαπλής παλινδρόμησης (Multiple Regression theory-based method).

#### 2.3.4.1 Nearest Neighbor Distance

Η μέθοδος Nearest Neighbor Distance (NND) αποτελεί ένα τρόπο εκτίμησης του πίνακα μεταβλητότητας-συμμεταβλητότητας του θορύβου. Η συγκεκριμένη μέθοδος υποθέτει ότι σε ομοιόμορφες περιοχές της απεικόνισης, τα γειτονικά εικονοστοιχεία αποτελούν περιοχές απεικόνισης του ίδιου αντικειμένου και επομένως θα πρέπει να έχουν περίπου ίσες τιμές ανακλαστικότητας. Με βάση

αυτό το συλλογισμό υπολογίζονται οι μέσες τιμές των διαφορών του δεξιά και του επάνω εικονοστοιχείου για κάθε εικονοστοιχείο της απεικόνισης με αποτέλεσμα ο αλγόριθμος να εξάγει τις τιμές εικονοστοιχείων που είναι θόρυβος από τις οποίες προκύπτει και ο πίνακας μεταβλητότητας-συμμεταβλητότητας του θορύβου. Η μέθοδος αυτή έχει το μειονέκτημα ότι το σύνολο των εικονοστοιχείων μιας ομοιόμορφης περιοχής μπορεί να είναι μικρό και επομένως να μην είναι ακριβής ο υπολογισμός του θορύβου.

#### 2.3.4.2 Multiple Regression Theory-Based method

Η μέθοδος της πολλαπλής παλινδρόμησης αποτελεί μία από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους στον τομέα της υπερφασματικής τηλεπισκόπησης εκμεταλλευόμενη την υψηλή συσχέτιση μεταξύ των γειτονικών καναλιών. Πιο συγκεκριμένα υπολογίζεται η τιμή του κάθε εικονοστοιχείου σε ένα συγκεκριμένο κανάλι με βάση τις τιμές που έχει αυτό το εικονοστοιχείο στα υπόλοιπα κανάλια. Η εκτίμηση του θορύβου βασίζεται στη διαφορά μεταξύ της πραγματικής τιμής του εικονοστοιχείου και της τιμής που υπολογίστηκε με βάση τον παραπάνω συλλογισμό.. Η εκτίμηση του θορύβου με τη μέθοδο της παλινδρόμησης γίνεται με βάση τον παρακάτω τύπο λύνοντας ως προς  $\hat{n}_i$ :

$$z_i = Z_{\theta i} * \hat{b}_i + \hat{n}_i$$

όπου  $z_i$  είναι ένας πίνακας διαστάσεων  $1 \times N$ , (όπου  $N$  ο αριθμός των εικονοστοιχείων του καναλιού  $i$ ), και συμβολίζει τον θόρυβο σε αυτό το κανάλι

$Z_{\theta i}$  είναι ένας πίνακας διαστάσεων  $N \times (L-1)$  (όπου  $L-1$  ο αριθμός των των καναλιών της εικόνας μειωμένος κατά ένα κανάλι), και περιέχει όλες τις τιμές των εικονοστοιχείων της εικόνας εκτός από τις τιμές του καναλιού  $i$ , και

$\hat{b}_i$  είναι ένας πίνακας με διαστάσεις  $1 \times (L-1)$ , ο οποίος περιέχει τους συντελεστές παλινδρόμησης που αφορούν κάθε κανάλι  $i$

$n_i$  είναι ένας πίνακας διαστάσεων  $1 \times N$  και συμβολίζει τον θόρυβο στοε αυτό το κανάλι  $i$ .

Το διάνυσμα των συντελεστών παλινδρόμησης  $\hat{b}_i$  υπολογίζεται από τον τύπο:

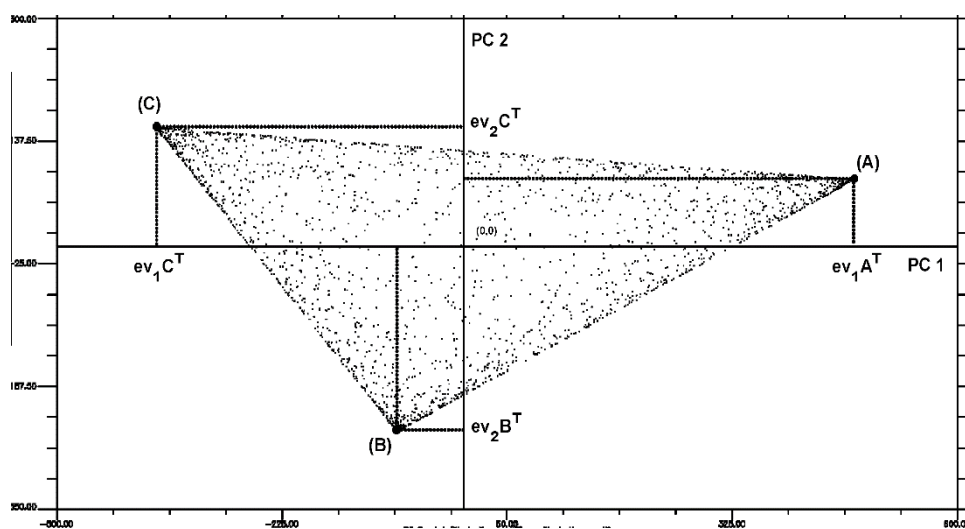
$$\hat{b}_i = (Z_{\theta i}^T * Z_{\theta i})^{-1} * Z_{\theta i}^T * z_i$$

### 2.3.5 Μέθοδος Εξαγωγής Καθαρών Στόχων-Simple Endmember Extraction

Ο αλγόριθμος εξαγωγής των φασματικών υπογραφών των 'καθαρών' στόχων Simple Endmember Extraction (SEE) βασίζεται στο μοντέλο γραμμικής ανάμειξης σύμφωνα με το οποίο η φασματική υπογραφή του κάθε εικονοστοιχείου της απεικόνισης ισούται με το άθροισμα των γινομένων των φασματικών υπογραφών των 'καθαρών' στόχων που ενυπάρχουν στην απεικόνιση και των αντίστοιχων ποσοστών τους με τα οποία συμμετέχουν στο κάθε εικονοστοιχείο.

Η συγκεκριμένη μέθοδος αξιοποιεί την ανάλυση κυρίων συνιστωσών (PCA). Πιο συγκεκριμένα, ο μετασχηματισμός PCA ο οποίος εφαρμόζεται σε δεδομένα λευκού θορύβου καθορίζει έναν υπόχωρο αρκετά μικρότερης διάστασης στον οποίο προβάλλονται τα δεδομένα. Αυτός ο υπόχωρος αποτελεί μία χωρική διάταξη καλείται simplex. Σύμφωνα με τον Boardman (1995) οι 'καθαροί' στόχοι εντοπίζονται στα άκρα (κορυφές) της χωρικής διάταξης (simplex), ενώ τα υπόλοιπα εικονοστοιχεία της μετασχηματισμένης απεικόνισης αποτελούν γραμμικούς συνδυασμούς των 'καθαρών' στόχων σύμφωνα με τη θεωρία του γραμμικού μοντέλου ανάμειξης. Επομένως η διάσταση του φασματικού χώρου είναι κατά μία λιγότερη από τον αριθμό των 'καθαρών' στόχων.

Στην εικόνα 2-9 παρουσιάζεται σχηματικά η μεθοδολογία του SEE μέσω του καρτεσιανού διαγράμματος διασποράς των δεδομένων στα δύο πρώτα PCs.



Εικόνα 2-10: Γεωμετρική ερμηνεία του διαγράμματος διασποράς απεικόνισης τριών 'καθαρών' στόχων στα δύο πρώτα PCs

Πηγή: Simple Endmember Extraction Methods Using Transformed Components for Hyperspectral Images

Όπως παρατηρείται στην παραπάνω εικόνα όπου απεικονίζεται το διάγραμμα διασποράς των δεδομένων στα δύο πρώτα PCs οι 'καθαροί' στόχοι οι οποίοι βρίσκονται στα άκρα του simplex μπορούν να ανιχνευθούν υπολογίζοντας το μέγιστο και το ελάχιστο της κάθε κύριας συνιστώσας στο μετασχηματισμένο χώρο, η διάσταση του οποίου ισούται με το πλήθος των 'καθαρών' στόχων της απεικόνισης μείον 1.

Επομένως επιλέγοντας τις μεγαλύτερες και μικρότερες τιμές προβολών στα p-1 PCs καταλήγουμε σε  $2^{*(p-1)}$  υποψήφιους καθαρούς στόχους όπου p, το πλήθος των καθαρών στόχων όπως έχει προκύψει από τη μέθοδο εκτίμησης του πλήθους των καθαρών στόχων.

Με τη μέθοδο αυτή, προκύπτουν περισσότεροι 'καθαροί' στόχοι από όσους υπολόγισε η μέθοδος εκτίμησης του υποχώρου του σήματος, επομένως καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι κάποιοι 'καθαροί' στόχοι έχουν εντοπιστεί περισσότερες από μια φορές. Για την επιλογή του βέλτιστου υποσύνολου p, από τους υποψήφιους  $2^{*(p-1)}$  'καθαρούς' στόχους υπολογίζεται το άθροισμα των φασματικών γωνιών (Spectral Angle distance) μεταξύ κάθε υποψήφιου 'καθαρού' στόχου με τους υπόλοιπους και επιλέγονται εκείνοι 'καθαροί' στόχοι με το μεγαλύτερο άθροισμα φασματικών γωνιών. Η φασματική γωνία (SAD) υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο:

$$SAD_{i,j} = \arccos\left(\frac{\sum_{k=0}^n (ce_{i,k} ce_{j,k})}{\sqrt{\sum_{k=0}^n (ce_{i,k})^2 \sum_{k=0}^n (ce_{j,k})^2}}\right)$$

όπου  $SAD_{i,j}$  είναι η φασματική γωνία μεταξύ των υποψήφιων καθαρών στόχων i και j

$ce_{i,k}$ ,  $ce_{j,k}$  συμβολίζεται η τιμή ανακλαστικότητας της φασματικής υπογραφής του υποψήφιου καθαρού στόχου i και j αντίστοιχα, στο κανάλι k.

Οι 'καθαροί' στόχοι οι οποίοι έχουν εντοπιστεί περισσότερες από μία φορές παρουσιάζουν μεταξύ τους σχεδόν μηδενική φασματική γωνία επομένως το άθροισμα των φασματικών γωνιών τους θα είναι πολύ μικρότερο από το άθροισμα των φασματικών γωνιών των 'καθαρών' στόχων οι οποίοι έχουν εντοπιστεί μόνο μία φορά με αποτέλεσμα να αποκλείονται από την τελική επιλογή των 'καθαρών' στόχων.

### 2.3.6 Μέθοδος Εκτίμησης των Ποσοστών Αφθονίας των Καθαρών Στόχων ανά Εικονοστοιχείο-Linear Spectral Unmixing

Η μέθοδος Linear Spectral Unmixing του λογισμικού ENVI βασίζεται στο γραμμικό μοντέλο ανάμειξης και χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της αφθονίας των υλικών/στόχων σε κάθε εικονοστοιχείο της απεικόνισης.

Ο αριθμός των φασματικών υπογραφών των 'καθαρών' στόχων της απεικόνισης που εισάγονται στο πρόγραμμα θα πρέπει να είναι μικρότερος από τον αριθμό των καναλιών ώστε να μπορεί να γίνει η επίλυση του γραμμικού συστήματος και να προσδιοριστούν οι συντελεστές αφθονίας των 'καθαρών' στόχων.

Τα αποτελέσματα της μεθόδου εξαρτώνται από τους 'καθαρούς' στόχους που εισάγονται στο μοντέλο και απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί η εισαγωγή όλων των φασματικών υπογραφών των 'καθαρών' στόχων στο μοντέλο.

Η συγκεκριμένη μέθοδος δίνει την δυνατότητα στο χρήστη δύο επιλογών, αυτής της επίλυσης του γραμμικού συστήματος χωρίς περιορισμούς στα ποσοστά αφθονίας και αυτής του μοναδιαίου αθροίσματος των ποσοστών αφθονίας των 'καθαρών' στόχων ανά εικονοστοιχείο. Και στις δύο περιπτώσεις παρατηρούνται αρνητικά ποσοστά αφθονίας των 'καθαρών' στόχων στα εικονοστοιχεία της εικόνας εφόσον δεν τίθεται ο περιορισμός της μη αρνητικότητας ( $a \geq 0$ ) των ποσοστών αφθονίας των 'καθαρών' στόχων ανά εικονοστοιχείο.

Τα αποτελέσματα του Linear Spectral Unmixing περιλαμβάνουν μία εικόνα με αριθμό καναλιών ίσο με τον αριθμό των 'καθαρών' στόχων στην οποία το κάθε κανάλι αποτελείται από τους συντελεστές αφθονίας του κάθε καθαρού στόχου στο κάθε εικονοστοιχείο.

### 2.3.7 Sequential Maximum Convex Cone (SMACC)

Ο αλγόριθμος Sequential Maximum Angle Convex Cone (SMACC), (Gruninger et al., 2004), βασίζεται στο μοντέλο γραμμικής ανάμειξης και απαιτεί τον αριθμό των 'καθαρών' στόχων προκειμένου να εκτελέσει τη διαδικασία του φασματικού διαχωρισμού.

Ο αλγόριθμος SMACC ταυτόχρονα με την εξαγωγή των φασματικών υπογραφών των 'καθαρών' στόχων υπολογίζει και τα ποσοστά αφθονίας τους σε κάθε εικονοστοιχείο. τους περιορισμούς του μοναδιαίου αθροίσματος των ποσοστών αφθονίας ( $SUM=1$ ) και αυτόν της μη αρνητικότητας των ποσοστών αφθονίας των 'καθαρών' στόχων ( $a \geq 0$ ). σε κάθε εικονοστοιχείο. Ο κυρτός κώνος, ο οποίος περιέχει το φασματικό νέφος, μετατρέπεται σε μία χωρική

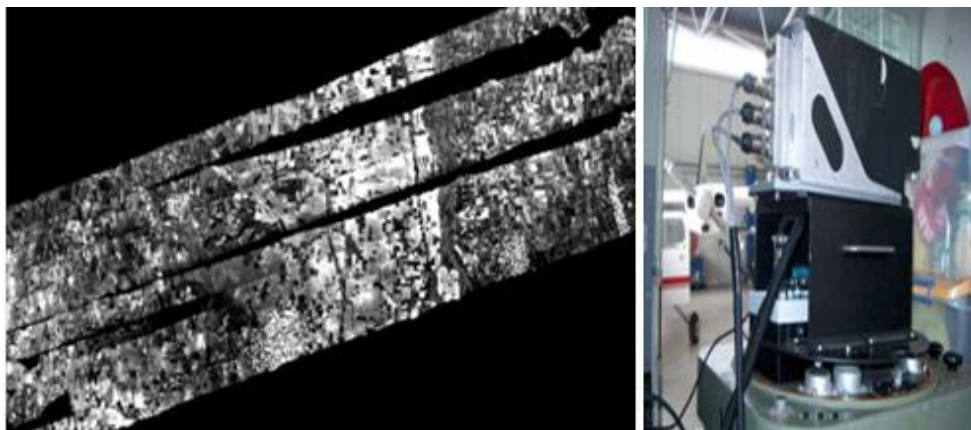
διάταξη στα άκρα της οποίας βρίσκονται τα διανύσματα με μέγιστο ή ελάχιστο μήκος. Οι καθαροί στόχοι και τα ποσοστά συμμετοχής υπολογίζονται διαδοχικά. Ο SMACC αρχικά επιλέγει ένα σύνολο από εικονοστοιχεία με τα μέγιστα μήκη και τα θεωρεί καθαρούς στόχους. Αυτά τα εικονοστοιχεία δημιουργούν μία χωρική διάταξη μέσα στην οποία προβάλλονται όλα τα υπόλοιπα εικονοστοιχεία. Όσα εικονοστοιχεία βρίσκονται εκτός της χωρικής διάταξης καλούνται υπόλοιπα. Η επιλογή του επόμενου καθαρού στόχου βασίζεται στο μήκος των υπολοίπων. Πιο συγκεκριμένα, στο πόσο απέχει το κάθε υπόλοιπο από την ορισμένη χωρική διάταξη. Ο επόμενος καθαρός στόχος προβάλλεται κεκλιμένα στη χωρική διάταξη ώστε να εξαλειφθεί η συμμετοχή του ως υπόλοιπο. Ο αλγόριθμος τερματίζει όταν όλα τα διανύσματα βρίσκονται εντός του κυρτού κώνου (convex cone).

### **3 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ-ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ**

### 3.1 Γενικά Στοιχεία για την Απεικόνιση της Περιοχής Μελέτης

Στις 25 Απριλίου του 2012 πραγματοποιήθηκε πτήση πάνω από την περιοχή μελέτης με σκοπό την λήψη υπερφασματικής απεικόνισης.

Η λήψη της πραγματοποιήθηκε με τον υπερφασματικό αισθητήρα CASI-550, έχει μέγεθος 8160 \* 4409 εικονοστοιχεία με χωρική διακριτική ικανότητα 2.5 \* 2.5 μέτρα και περιλαμβάνει 95 κανάλια (420.8-968.7 nm) φασματικού εύρους 6 nm (Εικόνα 3-1).



Εικόνα 3-1: Η απεικόνιση της περιοχής μελέτης και ο υπερφασματικός αισθητήρας CASI-550

### 3.2 Γενικά Στοιχεία για την Περιοχή Μελέτης

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο βόρειο τμήμα της περιοχής του Γαλλικού-Αξιού στη Θεσσαλονίκη και περιλαμβάνει αγροτεμάχια που δεν έχουν καλλιεργηθεί, περιοχές καλλιεργειών, οικισμούς και ποτάμια (Εικόνα 3-2).



Εικόνα 3-2: Ορθοφωτομωσαϊκό πραγματικού χρώματος (R,G,B) στο οποίο φαίνονται οι διαφορετικές καλύψεις γης (καλλιέργειες, οικισμοί, νερά ποταμών)



Σύμφωνα με το τρίγωνο της ταξονομίας των εδαφών κατά USDA, οι τύποι του εδάφους που 'συναντώνται' στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής είναι ο αμμώδης πηλός (SL), ο πηλός (L) και ο αμμώδης αργιλοπηλός (SCL) (Εικόνα 3-3).



Εικόνα 3-3: Οι τύποι του εδάφους στην περιοχή μελέτης

Η μηχανική σύσταση των προαναφερόμενων τύπων εδάφους διαφέρει ελάχιστα. Τα εδάφη έχουν παρόμοια περιεκτικότητά σε άμμο, ιλύ και άργιλο οπότε έγινε η υπόθεση ότι η υγρασία των ακαλλιέργητων περιοχών είναι περίπου η ίδια λόγω παρόμοιας μηχανικής σύστασης και των κοινών κλιματολογικών συνθηκών.

Η ανωτέρω υπόθεση πραγματοποιήθηκε επειδή η υγρασία επηρεάζει σημαντικά την φασματική υπογραφή του χώματος που σημαίνει ότι με διαφορετικές τιμές υγρασίας δεν θα ήταν εφικτή η ανίχνευση και η χαρτογράφηση διαφορετικών τύπων εδάφους σε σχέση με την περιεκτικότητά τους σε οργανική ύλη, μακροστοιχεία και ιχνοστοιχεία .

### 3.3 Μέθοδοι Προεπεξεργασίας της Υπερφασματικής Απεικόνισης

Οι προεπεξεργασίες της υπερφασματικής απεικόνισης που απαιτούνται πριν την εφαρμογή της διαδικασίας του φασματικού διαχωρισμού είναι οι εξής :

- Γεωμετρική, ατμοσφαιρική και ραδιομετρική διόρθωση της εικόνας

Η απεικόνιση την οποία επεξεργαστήκαμε ήταν ήδη ατμοσφαιρικά (πρόγραμμα ATCOR 4), ραδιομετρικά και γεωμετρικά (προγράμματα εταιρείας ITRESO

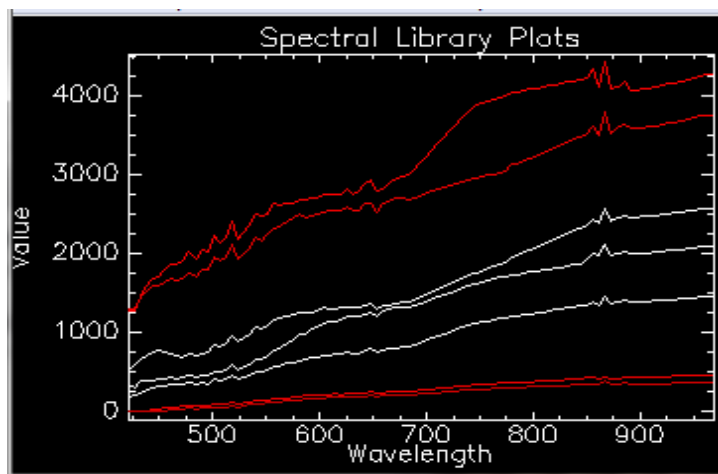
διορθωμένη. Παρ' όλα αυτά παρατηρούνται αυξημένες ραδιομετρικές τιμές στα άκρα της κάθε λωρίδας πτήσης, οι οποίες οφείλονται στις συνθήκες πτήσης και όχι σε αστοχίες του δέκτη.

- **αφαίρεση των περιοχών τα οποία δεν απεικονίζουν εδάφη**

Όπως ειπώθηκε και προηγουμένως (βλέπε Εικόνα 3-2) η περιοχή μελέτης περιλαμβάνει εκτός από 'αμιγή' εδάφη περιοχές καλλιεργειών, διάσπαρτους οικισμούς, δρόμους και νερά ποταμών. Επομένως απαιτείται η αφαίρεση των παραπάνω καλύψεων γης εξαιτίας της 'ευαισθησίας' της μεθόδου του φασματικού διαχωρισμού σε οτιδήποτε φασματικά διαφορετικό εξάγοντάς το ως 'καθαρό' στόχο.

- **επιλογή εδαφών με την ίδια τιμή υγρασίας**

Η επιλογή εδαφών με τις ίδιες τιμές υγρασίας πραγματοποιήθηκε λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα της μεθόδου του φασματικού διαχωρισμού. Φασματικές υπογραφές 'καθαρών' στόχων με ακραίες τιμές ανακλαστικότητας σε σχέση με τις αναμενόμενες τιμές ανακλαστικότητας των εδαφών (Εικόνα 3-4) θεωρήθηκαν ως εδάφη με αποκλίσεις ως προς τη μέση περιεκτικότητά σε υγρασία των εδαφών της περιοχής, αλλά και ως προς την περιεκτικότητά τους σε άλατα και γι' αυτό δεν λήφθηκαν υπόψιν κατά την περεταίρω επεξεργασία.



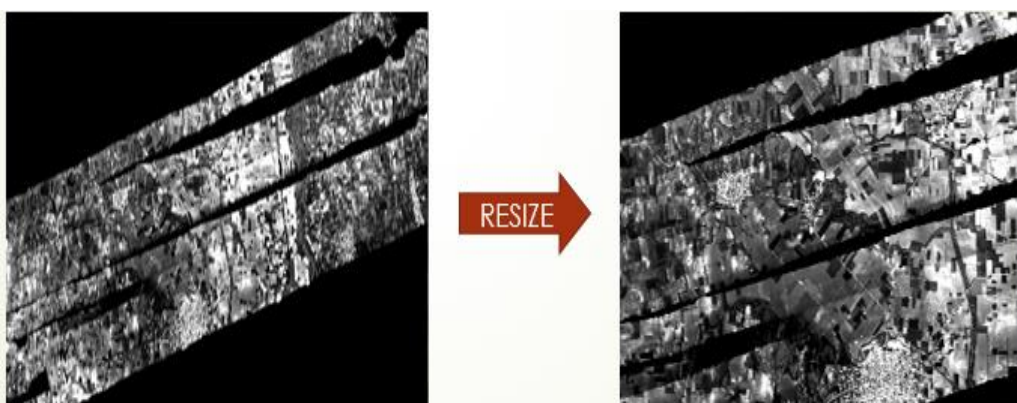
Εικόνα 3-4:Εδάφη με ακραίες τιμές ανακλαστικότητας (κόκκινο χρώμα)

σε σχέση με τις αναμενόμενες τιμές ανακλαστικότητας των εδαφών (άσπρο χρώμα)

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφερθεί ότι όλες οι προεπεξεργασίες και επεξεργασίες της απεικόνισης, λόγω του πολύ μεγάλου όγκου δεδομένων περιορίστηκαν σε τμήμα της αρχικής απεικόνισης.

Η νέα απεικόνιση που αποτελεί τμήμα της αρχικής έχει μέγεθος 2768\*3663 εικονοστοιχεία. Οι προεπεξεργασίες της αφαίρεσης των περιοχών που δεν

απεικονίζουν εδάφη και της επιλογής εδαφών με την ίδια περίπου τιμή υγρασίας καθώς και οι αλγόριθμοι οι οποίοι υλοποιούν τον φασματικό διαχωρισμό εφαρμόστηκαν στη νέα απεικόνιση (Εικόνα 3-5).



Εικόνα 3-5: Επιλογή τμήματος (*resize*) της αρχικής απεικόνισης

### 3.3.1 Αφαίρεση Περιοχών που δεν Απεικονίζουν Εδάφη

Προκειμένου να επιτευχθεί η απομάκρυνση των μη επιθυμητών καλύψεων γης (βλάστηση, οικισμοί, δρόμοι, νερά ποταμών) πραγματοποιήθηκαν στο λογισμικό πρόγραμμα ENVI με τη σειρά :

- Εφαρμογή του δείκτη βλάστησης NDVI για την ανάδειξη και αφαίρεση των περιοχών βλάστησης
- Χρησιμοποίηση διανυσματικού αρχείου (*shp.file*) το οποίο περιλαμβάνει πολύγωνο με 'αμιγή' εδάφη για την απομάκρυνση των υπολοίπων καλύψεων γης όπως π.χ συνεκτικοί οικισμοί, δρόμοι κ.τ.λ.
- Λεπτομερής ψηφιοποίηση πολυγώνων για την ολική απομάκρυνση των μη επιθυμητών στοιχείων που παρέμειναν στην απεικόνιση, όπως τμήματα αγροτικών δρόμων και μικρών αποθηκών σε περιοχές που χαρακτηρίζονται ως 'αμιγή' εδάφη.

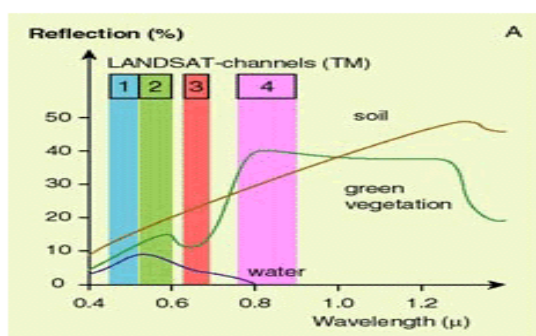
#### 3.3.1.1 Δείκτης Βλάστησης NDVI

$$\text{Δείκτης βλάστησης NDVI} : \mathbf{NDVI} = \frac{\mathbf{NR-RED}}{\mathbf{NR+RED}}$$

όπου NR: ο μέσος όρος καναλιών από το εγγύς υπέρυθρο τμήμα του φάσματος

RED: ο μέσος όρος καναλιών από το ερυθρό τμήμα του φάσματος

Ο δείκτης βλάστησης NDVI είναι ένας λόγος καναλιών ο οποίος χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό της βλάστησης σε μία πολυφασματική / υπερφασματική εικόνα αξιοποιώντας τη διαφορά ανακλαστικότητας της βλάστησης στο ερυθρό και στο εγγύς υπέρυθρο τμήμα του φάσματος (Εικόνα 3-5). Λαμβάνει τιμές από -1 (καθόλου βλάστηση) έως +1 (πλούσια βλάστηση). Οι τιμές των εικονοστοιχείων από 0.3 - 0.8 υποδεικνύουν την ύπαρξη βλάστησης.

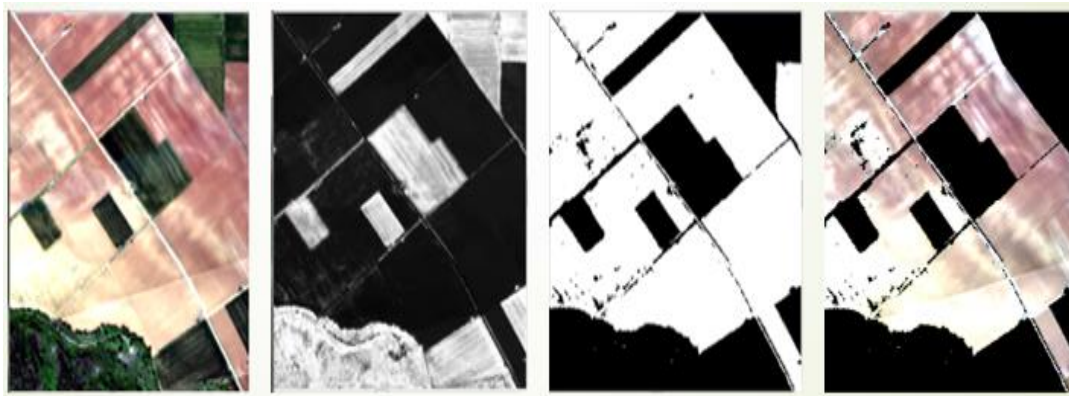


Εικόνα 3-6: Απότομη αύξηση της τιμής ανακλαστικότητας της βλάστησης από το ερυθρό (RED) στο εγγύς υπέρυθρο (NR) τμήμα του φάσματος

Τα βήματα που ακολουθήθηκαν προκειμένου να επιτευχθεί η απομάκρυνση των περιοχών που απεικονίζουν βλάστηση είναι τα εξής:

- Δημιουργία του λόγου NDVI χρησιμοποιώντας κανάλια της εικόνας από το ερυθρό και εγγύς υπέρυθρο τμήμα του φάσματος και συγκεκριμένα :  
 $RED = (659 + 665 + 671 + 677 + 682) / 5$   
 $NR = (774 + 780 + 785) / 3$
- Δημιουργία δυαδικής μάσκας NDVI επιλέγοντας τα εικονοστοιχεία (pixels) της εικόνας NDVI με τιμές στο διάστημα (-1, 0.2) και αποδίδοντας τα με τιμή 1, ενώ όλα τα υπόλοιπα εικονοστοιχεία με τιμή 0.
- Εφαρμογή της μάσκας στην CASI απεικόνιση

Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται διαδοχικά τα παραπάνω βήματα σε ένα μικρό κομμάτι της αρχικής απεικόνισης με τα οποία επιτυγχάνεται η απομάκρυνση των περιοχών με βλάστηση.



Εικόνα 3-7: Βήματα προεπεξεργασίας για την απομάκρυνση των περιοχών με βλάστηση

### 3.3.1.2 Διανυσματικά δεδομένα εδάφους

Προκειμένου να απομακρυνθούν οι ανεπιθυμητές καλύψεις γης όπως οικισμοί, δρόμοι, νερά ποταμών, κλπ., αναπτύχθηκε και χρησιμοποιήθηκε το διανυσματικό αρχείο (shape.file) 'αμιγών' εδαφών με το οποίο υλοποιήθηκε η δυαδική μάσκα (μεσαιά εικόνα) η οποία επιτρέπει την εμφάνιση των εικονοστοιχείων που απεικονίζουν μόνο εδάφη.

Το αποτέλεσμα μετά την εφαρμογή των 2 масκών (NDVI και διανυσματικού αρχείου 'αμιγών' εδαφών) φαίνεται στη δεξιά εικόνα.



Εικόνα 3-8( από αριστερά): η αρχική απεικόνιση ,η μάσκα 'αμιγών' εδαφών και το αποτέλεσμα της εφαρμογής των 2 масκών στην απεικόνιση

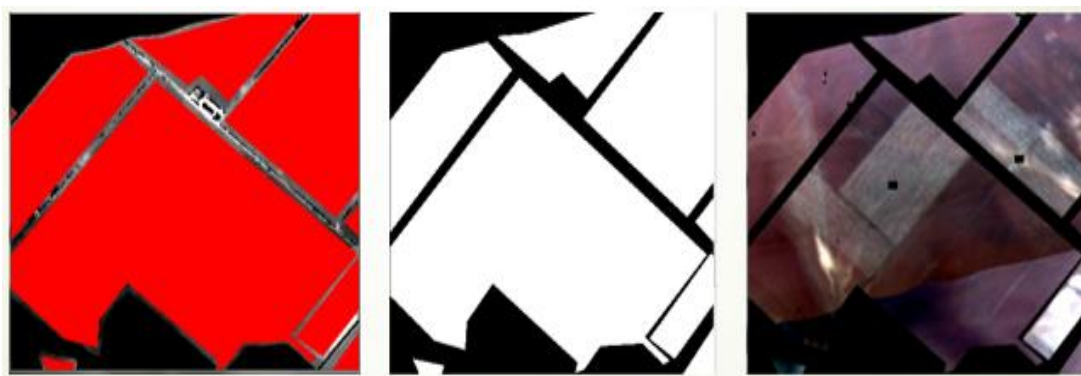
Στη συνέχεια, επειδή δεν επιτεύχθηκε η ολική απομάκρυνση των ανεπιθυμητών στοιχείων, πραγματοποιήθηκε η εφαρμογή λεπτομερούς μάσκας για την

αφαίρεση των καλύψεων/χρήσεων γης τα οποία δεν απεικονίζουν εδάφη (τιμήματα αγροτικών δρόμων , μικρές αποθήκες).

Τα βήματα για την απομάκρυνση των εν λόγω στοιχείων είναι τα εξής:

- Λεπτομερής ψηφιοποίηση πολυγώνων με 'αμιγή' εδάφη και δημιουργία διανυσματικού αρχείου (roi.file)
- Εισαγωγή του παραπάνω αρχείου ως δυαδική μάσκα, αποδίδοντας στα εικονοστοιχεία των ψηφιοποιημένων πολύγωνων που περιέχουν 'αμιγή' εδάφη την τιμή 1
- Εφαρμογή της μάσκας στην CASI απεικόνιση

Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζεται σε ένα μικρό κομμάτι της απεικόνισης στο οποίο έχουν ήδη εφαρμοστεί οι δύο προηγούμενες μάσκες (NDVI και διανυσματικό αρχείο 'αμιγών' εδαφών) τα παραπάνω βήματα με τα οποία επιτυγχάνεται η ολική απομάκρυνση των μη επιθυμητών στοιχείων.



*Εικόνα 3-9 Βήματα με τα οποία επιτυγχάνεται η ολική απομάκρυνση των επιθυμητών στοιχείων (αγροτικοί δρόμοι, μικρές αποθήκες)*

### 3.3.2 Επιλογή εδαφών με την ίδια περίπου τιμή υγρασίας

Η επιλογή των εδαφών με ίδιες περίπου τιμές υγρασίας πραγματοποιήθηκε με χρήση του λογισμικού προγράμματος ENVI. Εγινε αφαίρεση εικονοστοιχείων που παρουσιάζουν περιοχές εδάφους με ακραίες τιμές ανακλαστικότητας σε σχέση με τις αναμενόμενες τιμές ανακλαστικότητας των εδαφών στην περιοχή μελέτης.

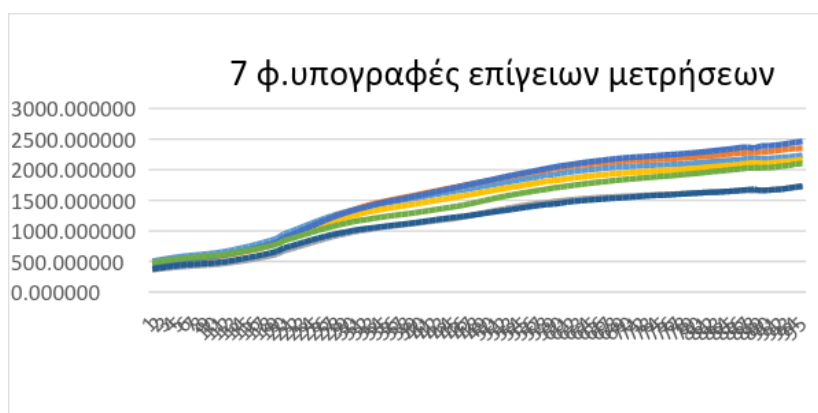
Με βάση τις τιμές ανακλαστικότητας 7 ενδεικτικών σημείων εδάφους (Εικόνα 3-9) τα οποία μετρήθηκαν με επίγειο φασματο-ραδιόμετρο την ημέρα της λήψης της εικόνας CASI, οριοθετήθηκε το εύρος των τιμών ανακλαστικότητας των

εδαφών της περιοχής μελέτης τα οποία παρουσιάζουν παραπλήσιες τιμές υγρασίας.

Συγκεκριμένα ,

- Στο τμήμα 546-705 nm, επιλέγοντας το εύρος τιμών ανακλαστικότητας 480-2140 ( 1<sup>η</sup> μάσκα)
- Στο τμήμα 896-968,7 nm, επιλέγοντας το εύρος τιμών ανακλαστικότητας 1250-2870 ( 2<sup>η</sup> μάσκα)

Εικονοστοιχεία με τιμές ανακλαστικότητας έξω από αυτά τα εύρη αφαιρέθηκαν.



Εικόνα 3-10 : Φασματικές υπογραφές των επίγειων μετρήσεων

Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται σε ένα μικρό κομμάτι της απεικόνισης (μετά και την εφαρμογή της λεπτομερούς μάσκας)τα αποτελέσματα της εφαρμογής της 1ης και της 2ης μάσκας όπου φαίνεται η σταδιακή απομάκρυνση των εικονοστοιχείων με ακραίες τιμές ανακλαστικότητας .



Εικόνα 3-11 (από αριστερά): ένα κομμάτι της απεικόνισης και τα αποτελέσματα εφαρμογής 1<sup>ης</sup> μάσκας και 2<sup>ης</sup> μάσκας

Μετά το πέρας της εφαρμογής του συνόλου των μεθόδων προεπεξεργασίας προέκυψε η τελική απεικόνιση (Εικόνα 3-12) η οποία χρησιμοποιήθηκε για την εφαρμογή των αλγορίθμων του φασματικού διαχωρισμού.



Εικόνα 3-12: Τελική απεικόνιση η οποία χρησιμοποιήθηκε για την εφαρμογή της διαδικασίας του φασματικού διαχωρισμού. Εγχρωμο σύνθετο (R:Band 38 (637.2 nm) G:Band 20 (535.1 nm) B: Band 5 (443.8 nm))

### 3.4 Εφαρμογή των Αλγορίθμων Φασματικού Διαχωρισμού

Οι αλγόριθμοι που υλοποιούν τον φασματικό διαχωρισμό και εφαρμόστηκαν στην υπερφασματική απεικόνιση CASI είναι οι εξής :

- Αλγόριθμος που υλοποιεί τη μέθοδο **ODM**. Πρόκειται για πρόγραμμα του Εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης το οποίο υλοποιεί τη μείωση της διάστασης του φασματικού χώρου και εκτιμά τον αριθμό των 'καθαρών' στόχων της εικόνας .
- Αλγόριθμος που υλοποιεί τη μέθοδο **SEE**. Πρόκειται για πρόγραμμα του Εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης που πραγματοποιεί την εξαγωγή των φασματικών υπογραφών των 'καθαρών' στόχων.
- Αλγόριθμος που υλοποιεί τη μέθοδο **Linear Spectral Unmixing**. Πρόκειται για πρόγραμμα του λογισμικού προγράμματος ENVI που υπολογίζει τα ποσοστά αφθονίας των 'καθαρών' στόχων ανά εικονοστοιχείο.



Συγχρόνως εφαρμόστηκε το πρόγραμμα **SMACC** του λογισμικού προγράμματος ENVI, το οποίο απαιτεί τη γνώση του αριθμού των 'καθαρών' στόχων για να εκτελέσει τη διαδικασία του φασματικού διαχωρισμού.

Το τελευταίο επιλέχθηκε γιατί επιβάλλει και τους 2 περιορισμούς που συνήθως εφαρμόζονται στον υπολογισμό των ποσοστών αφθονίας των 'καθαρών' στόχων ανά εικονοστοιχείο, δηλαδή της μη αρνητικότητας των ποσοστών αφθονίας και της τιμής 1 στο άθροισμά τους.

### 3.4.1 Πρόγραμμα ODM

Η εφαρμογή της μεθόδου ODM πραγματοποιήθηκε από το πρόγραμμα ODM.c του Εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης.

Τα δεδομένα εισαγωγής στο πρόγραμμα (Εικόνα 3-13)είναι:

- Path της εικόνας
- Αριθμός των γραμμών, στηλών και καναλιών της εικόνας
- Επιλογή ενός από τους δύο μετασχηματισμούς: MNF, PCA. Στην εργασία αυτή επιλέχθηκε ο μετασχηματισμός MNF επειδή η μέθοδος εφαρμόστηκε σε πραγματικά και όχι συνθετικά δεδομένα με συγκεκριμένη μορφή θορύβου.
- Επιλογή τιμής ανακλαστικότητας η οποία θα αγνοηθεί στις διάφορες φάσεις της επεξεργασίας (επιλέχθηκε η τιμή 0 με την οποία εμφανίζονταν τα 'μαρακασμένα' εικονοστοιχεία της τελικής απεικόνισης.

Το πρόγραμμα εξάγει τον αριθμό των 'καθαρών' στόχων (endmembers).

```
*
* ODM: Use MNF and ODM Methods
*
* - Input parameters (at command line) :
*   - Image File Path
*   - Rows
*   - Columns
*   - Bands
*   - Transformation Option
*     1 for MNF with MND
*     2 for MNF with MRIBM
*     3 for PCA instead of MNF
*     0 for No Transformation (Binary Input Image)
*   - Null Cell Value
*
* - Works on the file types supported by GDAL
*
* * * * *
* Output : - Report : Imagename_unmixing_report.txt
*          - Number of Endmembers : On Screen
*
* * * * *
* ODM by Dimitris Kefalos
*
* * * * *
Πιέστε ένα πλήκτρο για συνέχεια. . .
```

Εικόνα 3-13: Δεδομένα εισαγωγής στο πρόγραμμα ODM.

### 3.4.2 Πρόγραμμα SEE

Η εφαρμογή της μεθόδου SEE πραγματοποιήθηκε από το πρόγραμμα SEE.c του Εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης.

Τα δεδομένα εισαγωγής στο πρόγραμμα (Εικόνα 3-13)είναι :

- Path της εικόνας
- Αριθμός των γραμμών, στηλών και καναλιών της εικόνας
- Αριθμός των 'καθαρών' στόχων (εξαγόμενο αποτέλεσμα από το πρόγραμμα ODM.c)
- Επιλογή ενός από τους δύο μετασχηματισμούς: MNF, PCA. Στην εργασία αυτή επιλέχθηκε ο μετασχηματισμός MNF επειδή η μέθοδος εφαρμόστηκε σε πραγματικά και όχι συνθετικά δεδομένα με συγκεκριμένη μορφή θορύβου.
- Επιλογή τιμής ανακλαστικότητας η οποία θα αγνοηθεί στις διάφορες φάσεις της επεξεργασίας (επιλέχθηκε η τιμή 0 με την οποία εμφανίζονταν τα 'μασκαρισμένα' εικονοστοιχεία της τελικής απεικόνισης).

Το πρόγραμμα εξάγει τις φασματικές υπογραφές των 'καθαρών' στόχων (endmembers).

```
*
* SEE: Perform SEE on Hyperspectral Images
*
* - Input parameters (at command line) :
* - Image filename
* - Number of Rows
* - Number of Columns
* - Number of Bands
* - Number of Endmembers
* - Noise Estimation Method
* 1 for MNF with MND
* 2 for MNF with MRTBM
* 3 for PCA instead of MNF
* - Null Cell Value
*
* - Works on the file types supported by GDAL
*
* * * * *
* Output : - Report : Imagename_SEE_report.txt
* - Endmembers File : Imagename_endmembers.txt
*
* * * * *
* SEE by Dimitris Kefalos <dkefalos@gmail.com>
*
* * * * *
Πιέστε ένα πλήκτρο για συνέχεια. . .
```

Εικόνα 3-14: Δεδομένα εισαγωγής στο πρόγραμμα SEE.c

### 3.4.3 Μέθοδοι Linear Spectral Unmixing και Sequential Maximum Angle Convex Cone (SMACC)

Η μέθοδος **Linear Spectral Unmixing** εφαρμόστηκε για τον υπολογισμό των ποσοστών αφθονίας των 'καθαρών' στόχων που εξήγαγε ο αλγόριθμος SEE ανά εικονοστοιχείο.

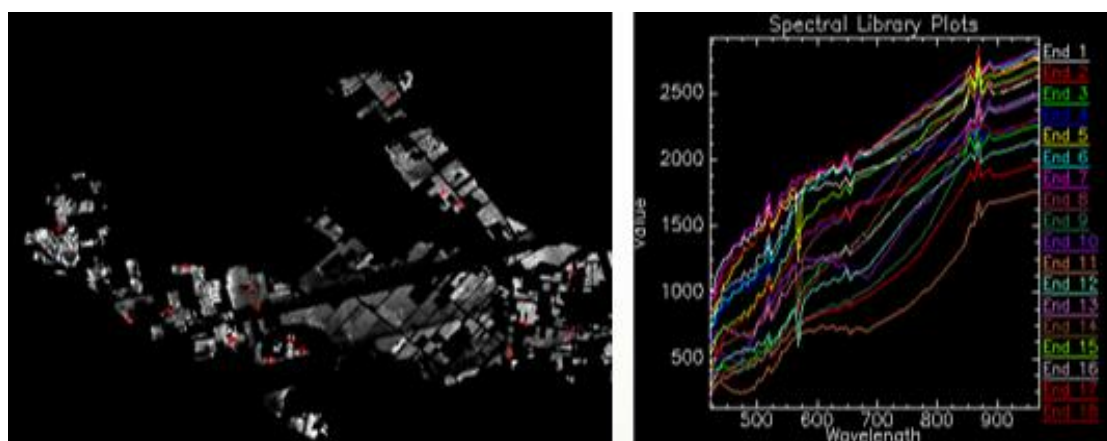
Η μέθοδος εφαρμόζει μόνο τον περιορισμό του μοναδιαίου αθροίσματος των ποσοστών αφθονίας των 'καθαρών' στόχων (SUM=1) σε κάθε εικονοστοιχείο.

Συγχρόνως με τους παραπάνω αλγορίθμους εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος **SMACC** επειδή επιβάλλει και τους δύο περιορισμούς κατά την εκτίμηση των ποσοστών αφθονίας, δηλαδή αυτόν της μη αρνητικότητας των ποσοστών αφθονίας ( $a \geq 0$ ) και αυτόν του μοναδιαίου αθροίσματος των ποσοστών αφθονίας των 'καθαρών' στόχων (SUM=1) σε κάθε εικονοστοιχείο.

Και στις 2 μεθόδους αγνοήθηκαν τα εικονοστοιχεία (pixels) με τιμή=0 (τα 'μασκαρισμένα' pixels).

## 3.5 Αποτελέσματα των Αλγορίθμων Φασματικού Διαχωρισμού

Το πρόγραμμα ODM.c εξήγαγε αριθμό 'καθαρών' στόχων = 18. Τα αποτελέσματα της εξαγωγής των 18 φασματικών υπογραφών των 'καθαρών' στόχων με το πρόγραμμα SEE.c παρουσιάζονται παρακάτω (Εικόνα 3-15).

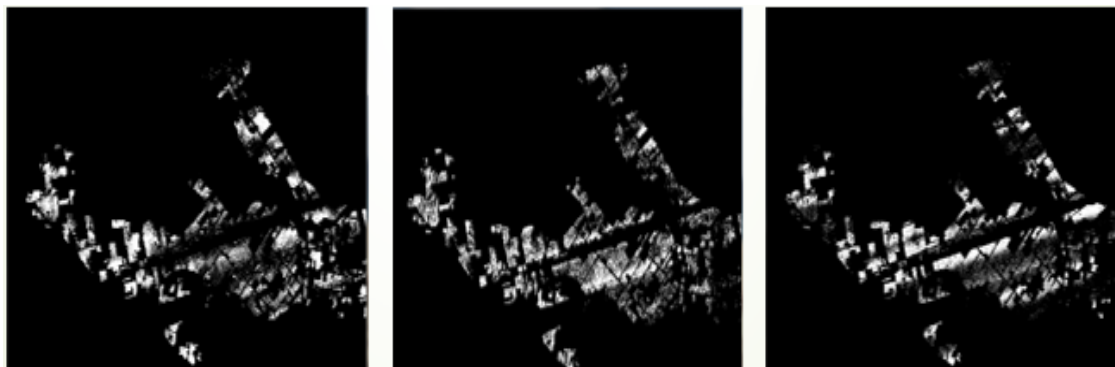


Εικόνα 3-15:Χωρική απεικόνιση των 'καθαρών' στόχων του SEE και οι φασματικές τους υπογραφές

Όσον αφορά τα αποτελέσματα των ποσοστών αφθονίας των 'καθαρών' στόχων του SEE με τη μέθοδο Linear Spectral Unmixing η οποία εφαρμόζει μόνο με τον

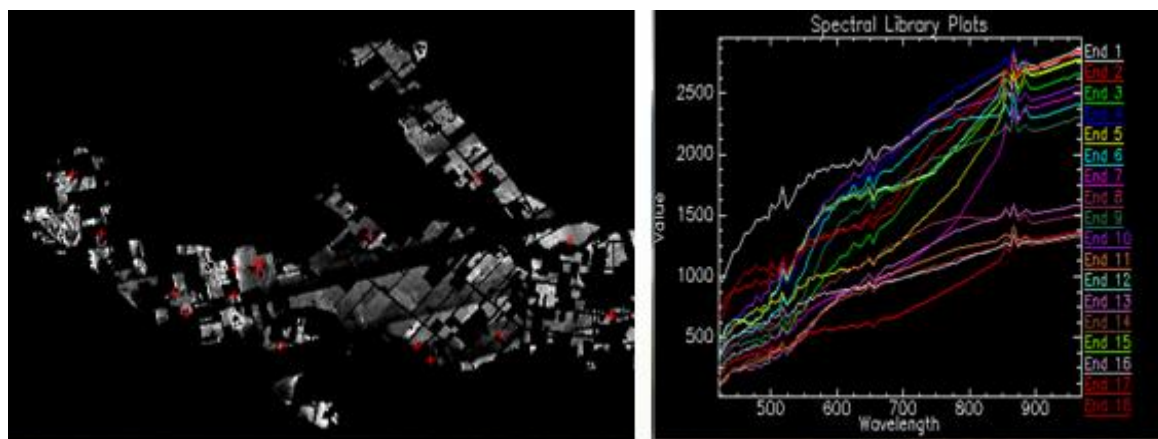
περιορισμό του μοναδιαίου αθροίσματος των ποσοστών αφθονίας των 'καθαρών' στόχων (SUM=1), στις απεικονίσεις αφθονίας παρατηρήθηκαν αρνητικά ποσοστά αφθονίας των στόχων σε κάποια εικονοστοιχεία της εικόνας.

Παρακάτω παρουσιάζονται ενδεικτικά οι τιμές των ποσοστών αφθονίας των 'καθαρών' στόχων 2, 9 και 13 (Εικόνα 3-16).



Εικόνα 3-16: Ποσοστά αφθονίας για τον 2<sup>ο</sup>, 9<sup>ο</sup> και 13<sup>ο</sup>στόχο (SEE)

Για αριθμό 'καθαρών' στόχων = 18 (ODM) παρατίθενται τα αποτελέσματα της εξαγωγής των 18 φασματικών υπογραφών των 'καθαρών' στόχων με τον αλγόριθμο SMACC (Εικόνα 3-17), καθώς και τα ποσοστά αφθονίας για τον 2<sup>ο</sup>, 9<sup>ο</sup> και 15<sup>ο</sup> στόχο (Εικόνα 3-18) με τους περιορισμούς του μοναδιαίου αθροίσματος (SUM=1) και της μη αρνητικότητας των ποσοστών αφθονίας των στόχων.



Εικόνα 3-17: Χωρική απεικόνιση των 'καθαρών' στόχων του SMACC και οι φασματικές τους υπογραφές



Εικόνα 3-18: Ποσοστά αφθονίας για τον 2<sup>ο</sup>, 9<sup>ο</sup> και 13<sup>ο</sup> στόχο (SMACC)

## 3.6 Χαρακτηρισμός των ‘Καθαρών’ Στόχων

### 3.6.1 Διαθέσιμα Δεδομένα

Το σύνολο των διαθέσιμων δεδομένων για τον χαρακτηρισμό των ‘καθαρών’ στόχων που εξήχθησαν με τους αλγόριθμους SEE και SMACC είναι:

- **Μετρήσεις με ραδιόμετρο σε σκοτεινό θάλαμο των δειγμάτων εδάφους που πάρθηκαν τον Απρίλιο του 2011**

Κατά την περίοδο του Απριλίου 2011 πάρθηκαν 96 δείγματα εδάφους από την ευρύτερη περιοχή μελέτης.

Οι μετρήσεις των φασματικών υπογραφών των δειγμάτων, πραγματοποιήθηκαν με τον επίγειο αισθητήρα ASD specPRO ,με φασματικό εύρος 350-2500 nm και εύρος καναλιού 1nm σε συνθήκες σκοτεινού θαλάμου, ώστε να εξαλειφθεί η διάχυση του φωτός και να δημιουργηθούν παρόμοιες συνθήκες με τις συνθήκες λήψης της επικείμενης υπερφασματικής λήψης.

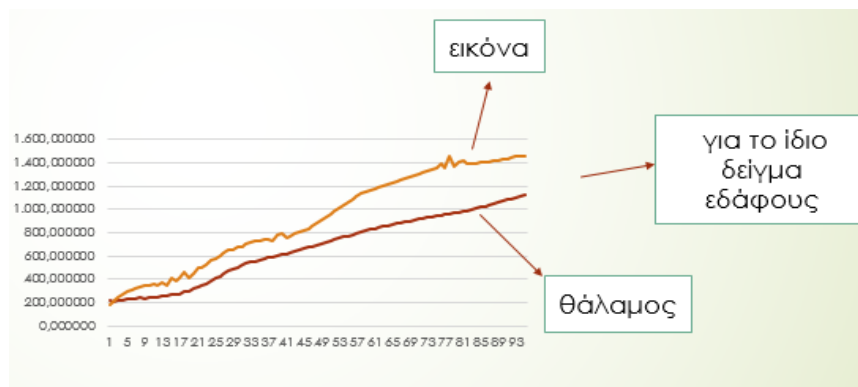
Πιο συγκεκριμένα, ως πηγή φωτός χρησιμοποιήθηκε μία λάμπα αλογόνου η οποία τοποθετήθηκε περίπου 20 cm πάνω από τον στόχο και οι φασματικές υπογραφές ελήφθησαν με το ραδιόμετρο από ένα ύψος περίπου 15 cm πάνω από το στόχο και με γωνία οργάνου 15° για την ελαχιστοποίηση της αμφίδρομης ανακλαστικότητας (bi-directional reflectance).

Σε κάθε μέτρηση τοποθετήθηκε μία επαρκής ποσότητα δείγματος ώστε να καλύπτεται με ομοιόμορφο τρόπο η επιφάνεια του δίσκου πάνω στην οποία τοποθετούνταν κάθε δείγμα. Τέλος, για την μετέπειτα μετατροπή σε ποσοστά ανακλαστικότητας χρησιμοποιήθηκε μία λευκή πλάκα αναφοράς.

- **Εδαφολογικές αναλύσεις των δειγμάτων εδάφους που πάρθηκαν τον Απρίλιο του 2011**

Τα δείγματα αυτά, αφού πραγματοποιήθηκε η μέτρηση των φασματικών τους υπογραφών, τοποθετήθηκαν σε μαύρες πλαστικές σακούλες το καθένα χωριστά από το άλλο και στάλθηκαν στο ΕΘΙΑΓΕ (Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας) για εδαφολογικές αναλύσεις. Στο κεφάλαιο 8 (Παράρτημα) παρατίθενται οι πίνακες των εδαφολογικών αναλύσεων του ΕΘΙΑΓΕ.

Δεδομένου όμως ότι οι μετρήσεις των δειγμάτων με φασματο-ραδιόμετρο σε σκοτεινό θάλαμο πραγματοποιήθηκαν σε διαφορετική ημερομηνία από τη λήψη της CASI απεικόνισης και συγκεκριμένα ένα έτος μετά (Απρίλιος 2011-Απρίλιος 2012), γεγονός που σημαίνει και διαφορετικές συνθήκες λήψης των μετρήσεων (φωτισμός ατμόσφαιρα, υγρασία, κλπ.), για την αξιολόγηση των επιπτώσεων των διαφορετικών συνθηκών λήψης στις φασματικές υπογραφές έγιναν τα εξής. Πραγματοποιήθηκε με χρήση του προγράμματος EXCEL, η μετατροπή των τιμών ανακλαστικότητας των δειγμάτων εδάφους του Απριλίου 2011 από το εύρος του ASD specPRO στο εύρος του CASI-550 (420.8nm-968.7nm) και η οπτική τους σύγκριση με τις τιμές ανακλαστικότητας της εικόνας CASI-550.. Στην εικόνα 3-19, παρουσιάζεται ενδεικτικά για ένα δείγμα, η οπτική σύγκριση των φασματικών υπογραφών όπως αυτές προκύπτουν από το αντίστοιχο εικονοστοιχείο της εικόνας και από τη μέτρηση του δείγματος με το φασματο-ραδιόμετρο.

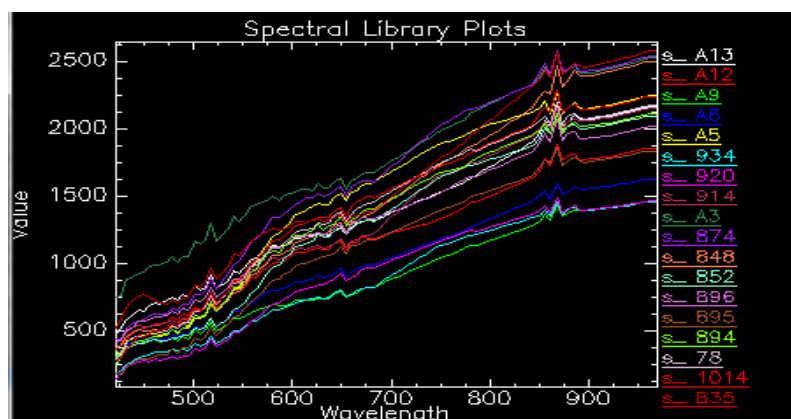


Εικόνα 3-19: Φασματικές υπογραφές για το ίδιο δείγμα εδάφους στο θάλαμο και στην εικόνα

Συγκεκριμένα, από την οπτική σύγκριση όλων των δειγμάτων προκύπτει, όπως ήταν αναμενόμενο, ότι οι φασματικές υπογραφές επηρεάζονται από τις διαφορετικές συνθήκες λήψης (φωτισμός, ατμόσφαιρα, υγρασία) και επομένως οι μετρημένες σε θάλαμο φασματικές υπογραφές δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον χαρακτηρισμό των 'καθαρών' στόχων.

Τελικά τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για τον χαρακτηρισμό των 'καθαρών' στόχων και τη μετέπειτα αξιολόγηση των αποτελεσμάτων ( ποσοστά αφθονίας των 'καθαρών' στόχων) είναι :

- Οι φασματικές υπογραφές από 18 εικονοστοιχεία για τα οποία τον Απρίλιο του 2011 πάρθηκαν στις αντίστοιχες περιοχές δείγματα για τις εδαφολογικές αναλύσεις (Απρίλιος 2011).



Εικόνα 3-20:Φασματικές υπογραφές των 18 σημείων με εδαφολογικές αναλύσεις

- Οι εδαφολογικές αναλύσεις του Απριλίου 2011 για αυτά τα σημεία, δεδομένου ότι η σύσταση του εδάφους παραμένει σταθερή για τόσο μικρό χρονικό διάστημα (1έτος). Στην εικόνα 3-21 παρατίθενται οι τιμές τριών μακροστοιχείων (K, Ca, Na) και ενός ιχνοστοιχείου (Fe), καθώς και η τιμή της οργανικής ουσίας στα εν λόγω σημεία. Τα συγκεκριμένα μακρο και μικρο-στοιχεία επιλέχθηκαν, επειδή βρίσκονται σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στην περιοχή μελέτης σε σχέση με άλλα στοιχεία, παίζοντας σημαντικό ρόλο στη σύνθεση της χημικής τους σύστασης.

18 ΣΗΜΕΙΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ						
	FE(me/100g_ppm)	K(_ppm)	NA+	CA(_ppm)	Ο.ΟΥΣΙΑ	ΜΗΧ.ΣΥΣΤ
A13	5.11	213	0.5	3.23	2,97	L
A12	4.44	183	0.62	4.06	2,14	SCL
A09	7.11	149	0.78	3.94	1,4	SCL
A06	6.47	161	0.63	3	1,82	SL
A05	9.17	250	0.67	2.02	0,72	SCL
934	8.94	319	0.76	2.49	1,04	SCL
920	5.68	179	0.75	2.58	0,95	L
914	7.27	285	0.63	2.71	1,29	L
A3	3.01	168	0.55	3.27	1,22	SL
874	9.3	328	0.64	1.87	0,98	L
848	11.34	213	0.36	1.5	1,06	L
852	5.16	75	0.62	2.4	1,22	SL
896	15.45	104	1.12	1.47	0,66	L
895	12.2	274	0.75	1.56	0,86	L
894	17.39	232	0.92	1.61	0,87	L
78	14.12	79	6.32	1.19	0,59	L
1014	4.3	319	0.83	1.54	0,69	L
835	21.43	183	0.43	1.3	0.9	L

Εικόνα 3-21: Εδαφολογικές αναλύσεις των 18 δειγμάτων εδάφους

Θα πρέπει να αναφέρουμε ότι τα 18 σημεία τα οποία χρησιμοποιήθηκαν τελικά στην αξιολόγηση είναι αυτά που παρέμειναν μετά την προεπεξεργασία της απεικόνισης και είναι πολύ λιγότερα σε αριθμό από τα αρχικά 90 σημεία της δειγματοληψίας που πραγματοποιήθηκε τον Απρίλιο του 2011.

### 3.6.2 Χαρακτηρισμός των 'Καθαρών' Στόχων του SEE

Για τον χαρακτηρισμό των 18 καθαρών στόχων που εξήχθησαν από τον SEE, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα SADtxt (Spectral Angle Distance Text) του Εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης το οποίο υπολογίζει τις φασματικές γωνίες της κάθε φασματικής υπογραφής των 18 σημείων για τα οποία υπάρχουν εδαφολογικές αναλύσεις με τις φασματικές υπογραφές όλων των 'καθαρών' στόχων (18). Ο ίδιος αριθμός σημείων (18) ο οποίος προέκυψε και για τα επίγεια δείγματα και για τους καθαρούς στόχους είναι εντελώς συμπτωματικός.

Τα δεδομένα εισαγωγής στο πρόγραμμα (Εικόνα 3-22) είναι :

- path του αρχείου (.txt) που περιέχει τις τιμές ανακλαστικότητας των 18 σημείων για τα οποία υπάρχουν εδαφολογικές αναλύσεις
- path του αρχείου (.txt) που περιέχει τις τιμές ανακλαστικότητας των 18 'καθαρών' στόχων που εξήχθησαν με τον αλγόριθμο SEE
- αριθμός των φασματικών υπογραφών των σημείων για τα οποία υπάρχουν εδαφολογικές αναλύσεις
- αριθμός των φασματικών υπογραφών των 'καθαρών' στόχων του SEE
- αριθμός των καναλιών

```
*****
* SAD: Calculate Spectral Angle Distance of a set Signatures
* with another set of Signatures
*
* - Input parameters (at command line) :
* - First Text File Path
* - Second Text File Path (Endmembers)
* - Number of Signatures in First set
* - Number of Signatures in Second set
* - Number of Bands
* - Output File Path
*
* - Works on the file types supported by GDAL
*
*****
* SAD by Dimitris Kefalos <dkefalos@gmail.com>
*
*****
Πιέστε ένα πλήκτρο για συνέχεια. . . _
```

Εικόνα 3-22: Δεδομένα εισαγωγής στο πρόγραμμα SpectralAngleDistanceText



Το ζητούμενο είναι με ποιον από τους καθαρούς στόχους, κάθε σημείο των εδαφολογικών αναλύσεων σχηματίζει τη μικρότερη φασματική γωνία.

Στον παρακάτω πίνακα (Εικόνα 3-23) παρουσιάζεται το σύνολο των φασματικών γωνιών που σχηματίζουν τα 18 σημεία για τα οποία υπάρχουν εδαφολογικές αναλύσεις, με τους 18 'καθαρούς' στόχους (End) του SEE.

	ΓΩΝΙΕΣ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΜΕ ΟΛΟΥΣ ΤΟΥΣ ΣΤΟΧΟΥΣ																	
	A13	A12	A9	A6	A5	934	920	914	A3	874	848	852	896	895	894	78	1014	835
End 1	0,1293	0,1356	0,1618	0,1632	0,1979	0,2118	0,2160	0,1807	0,0805	0,1750	0,2226	0,2124	0,1353	0,2213	0,1879	0,1832	0,1821	0,1680
End 2	0,1167	0,1221	0,0888	0,0968	0,1488	0,0850	0,1186	0,0895	0,1701	0,1174	0,0579	0,1086	0,1305	0,1085	0,1228	0,1254	0,1195	0,0791
End 3	0,0955	0,0828	0,0807	0,0589	0,0500	0,0450	0,0285	0,0545	0,1334	0,0426	0,0553	0,0150	0,0777	0,0310	0,0387	0,0414	0,0431	0,0852
End 4	0,0989	0,0985	0,1233	0,1177	0,1331	0,1547	0,1541	0,1295	0,0508	0,1172	0,1763	0,1536	0,0889	0,1643	0,1286	0,1225	0,1270	0,1345
End 5	0,1087	0,1079	0,1398	0,1342	0,1556	0,1778	0,1760	0,1504	0,0615	0,1376	0,1937	0,1753	0,1028	0,1824	0,1480	0,1431	0,1434	0,1480
End 6	0,0709	0,0623	0,1043	0,0913	0,1116	0,1392	0,1323	0,1116	0,0431	0,0937	0,1514	0,1306	0,0566	0,1371	0,1032	0,0994	0,0975	0,1108
End 7	0,1146	0,1187	0,1458	0,1448	0,1741	0,1903	0,1932	0,1605	0,0611	0,1526	0,2052	0,1912	0,1155	0,1997	0,1650	0,1599	0,1604	0,1531
End 8	0,1439	0,1386	0,1156	0,1081	0,1155	0,0640	0,0789	0,0938	0,1917	0,1056	0,0546	0,0740	0,1391	0,0712	0,1010	0,1046	0,1039	0,1150
End 9	0,1877	0,1943	0,1614	0,1717	0,2196	0,1565	0,1868	0,1646	0,2433	0,1923	0,1226	0,1756	0,2054	0,1731	0,1950	0,1983	0,1910	0,1534
End 10	0,0965	0,1036	0,0857	0,0959	0,1584	0,1135	0,1413	0,0958	0,1413	0,1185	0,0955	0,1320	0,1156	0,1296	0,1289	0,1304	0,1220	0,0700
End 11	0,1671	0,1721	0,1477	0,1559	0,2068	0,1554	0,1801	0,1538	0,2212	0,1777	0,1185	0,1679	0,1849	0,1643	0,1815	0,1852	0,1757	0,1360
End 12	0,0836	0,0835	0,0562	0,0535	0,0938	0,0320	0,0688	0,0396	0,1277	0,0620	0,0433	0,0598	0,0841	0,0681	0,0706	0,0705	0,0707	0,0582
End 13	0,0457	0,0536	0,0175	0,0289	0,1008	0,0602	0,0877	0,0318	0,0937	0,0601	0,0592	0,0770	0,0590	0,0872	0,0749	0,0733	0,0712	0,0169
End 14	0,0722	0,0596	0,0648	0,0418	0,0533	0,0513	0,0466	0,0446	0,1037	0,0268	0,0705	0,0441	0,0516	0,0532	0,0340	0,0313	0,0346	0,0718
End 15	0,0571	0,0375	0,0813	0,0593	0,0732	0,1024	0,0913	0,0793	0,0629	0,0544	0,1156	0,0904	0,0256	0,0954	0,0618	0,0586	0,0559	0,0882
End 16	0,0828	0,0775	0,1162	0,1062	0,1266	0,1536	0,1482	0,1253	0,0421	0,1091	0,1669	0,1465	0,0719	0,1539	0,1194	0,1152	0,1142	0,1229
End 17	0,0706	0,0556	0,1013	0,0840	0,0977	0,1282	0,1181	0,1039	0,0551	0,0809	0,1422	0,1185	0,0478	0,1221	0,0885	0,0851	0,0822	0,1071
End 18	0,1063	0,1066	0,1408	0,1362	0,1630	0,1845	0,1832	0,1550	0,0582	0,1432	0,1969	0,1812	0,1043	0,1884	0,1544	0,1499	0,1486	0,1473

Εικόνα 3-23: Σύνολο των φασματικών γωνιών των 18 σημείων των εδαφολογικών αναλύσεων με τους 18 στόχους του SEE

Οι μικρότερες φασματικές γωνίες μεταξύ τους παρουσιάζονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα ( Εικόνα 3-24).

ΜΙΚΡΟΤΕΡΕΣ ΓΩΝΙΕΣ		
ΣΗΜΕΙΟ	End	ΓΩΝΙΑ
835	13	0,0169
A9	13	0,0175
A6	13	0,0289
914	13	0,0318
A13	13	0,0457
874	14	0,0268
78	14	0,0313
894	14	0,0340
1014	14	0,0360
852	3	0,0150
920	3	0,0285
895	3	0,0310
A5	3	0,0320
934	12	0,0320
848	12	0,0433
896	15	0,0256
A12	15	0,0375
A3	16	0,0457

Εικόνα 3-24: Μικρότερες φασματικές γωνίες

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- 6 ‘καθαροί’ στόχοι βρέθηκαν ότι παρουσιάζουν τις μικρότερες φασματικές γωνίες με τα 18 σημεία των εδαφολογικών αναλύσεων.
- περισσότερα από 1 σημεία των εδαφολογικών αναλύσεων σχηματίζουν τη μικρότερη τους φασματική γωνία με τον ίδιο ‘καθαρό’ στόχο.

Από τους 6 ‘καθαρούς’ στόχους μόνο 3 μπόρεσαν να χαρακτηριστούν οι 13, 14 και 15.

Στον πρώτο πίνακα (Εικόνα 3-25) παρατηρείται ότι το σημείο 835 το οποίο σχηματίζει τη μικρότερη φασματική γωνία και από τα 5 σημεία, με τον ‘καθαρό’ στόχο 13 :

	End 13					
	A13	A9	A6	914	835	M.O
ΣΙΔΗΡΟΣ	5,11	7,11	6,47	7,27	21,43	9,327222
ΚΑΛΙΟ	213	149	161	285	183	206,3333
ΝΑΤΡΙΟ	0,5	0,78	0,63	0,63	0,43	0,993333
ΑΣΒΕΣΤΙΟ	3,23	3,94	3	2,71	1,3	2,318889
Ο.ΟΥΣΙΑ	2,97	1,4	1,82	1,29	0,9	1,204706
ΜΗΧ.ΣΥΣ	L	SCL	SL	L	L	

Εικόνα 3-25: Πίνακας σημείων που σχηματίζουν την μικρότερη φασματική τους γωνία με τον End 13

- έχει μία υψηλή τιμή σιδήρου σε σχέση με το μέσο όρο όλων των δειγμάτων εδάφους για αυτό το ιχνοστοιχείο
- ενώ παράλληλα οι τιμές των ,μακρο-στοιχείων K και Ca και της οργανικής ουσίας κυμαίνονται γύρω από το μέσο όρο τιμών K και Ca και οργανικής που παρουσιάζουν όλα τα δείγματα της περιοχής μελέτης. Το νάτριο όμως παρουσιάζει σχετικά χαμηλή τιμή.

Ομοίως στον δεύτερο πίνακα ( Εικόνα 3-26) παρατηρείται ότι το σημείο 874 το οποίο σχηματίζει τη μικρότερη φασματική γωνία και από τα 4 σημεία με τον ‘καθαρό’ στόχο 14:

	End14				
	1014	894	78	874	M.O
ΣΙΔΗΡΟΣ	4,3	17,39	14,12	9,3	9,327222
ΚΑΛΙΟ	319	232	79	328	206,3333
ΝΑΤΡΙΟ	0,83	0,92	6,32	0,64	0,993333
ΑΣΒΕΣΤΙΟ	1,54	1,61	1,19	1,87	2,318889
Ο.ΟΥΣΙΑ	0,69	0,87	0,59	0,98	1,204706
ΜΗΧ.ΣΥΣ	L	L	L	L	

Εικόνα 3-26: Πίνακας σημείων που σχηματίζουν την μικρότερη φασματική γωνία με τον End 14

- έχει μία υψηλή τιμή καλίου σε σχέση με το μέσο όρο όλων των δειγμάτων της περιοχής μελέτης
- ενώ παράλληλα οι τιμές των υπολοίπων μακρο και μικρο-στοιχείων (Ca, Na, Fe) κυμαίνονται γύρω από το μέσο όρο των τιμών Ca, Na, Fe των δειγμάτων της περιοχής μελέτης.
- Επιπλέον η τιμή της οργανικής ουσίας προσεγγίζει το μέσο όρο οργανικής ουσίας των δειγμάτων της περιοχής μελέτης.

Στον τρίτο πίνακα παρατηρείται ότι το σημείο A12 παρόλο που σχηματίζει την δεύτερη μικρότερη φασματική γωνία με τον 'καθαρό' στόχο 15 (0.0375) έναντι του σημείου 896 (0.0256):

	End15		
	A12	896	M.O
ΣΙΔΗΡΟΣ	4,44	15,45	9,327222
ΚΑΛΙΟ	183	104	206,3333
ΝΑΤΡΙΟ	0,62	1,12	0,993333
ΑΣΒΕΣΤΙΟ	4,06	1,47	2,318889
Ο.ΟΥΣΙΑ	2,14	0,66	1,204706
ΜΗΧ.ΣΥΣ	SCL	L	

Εικόνα 3-27: Πίνακας σημείων που σχηματίζουν τη μικρότερη φασματική τους γωνία με τον End 15

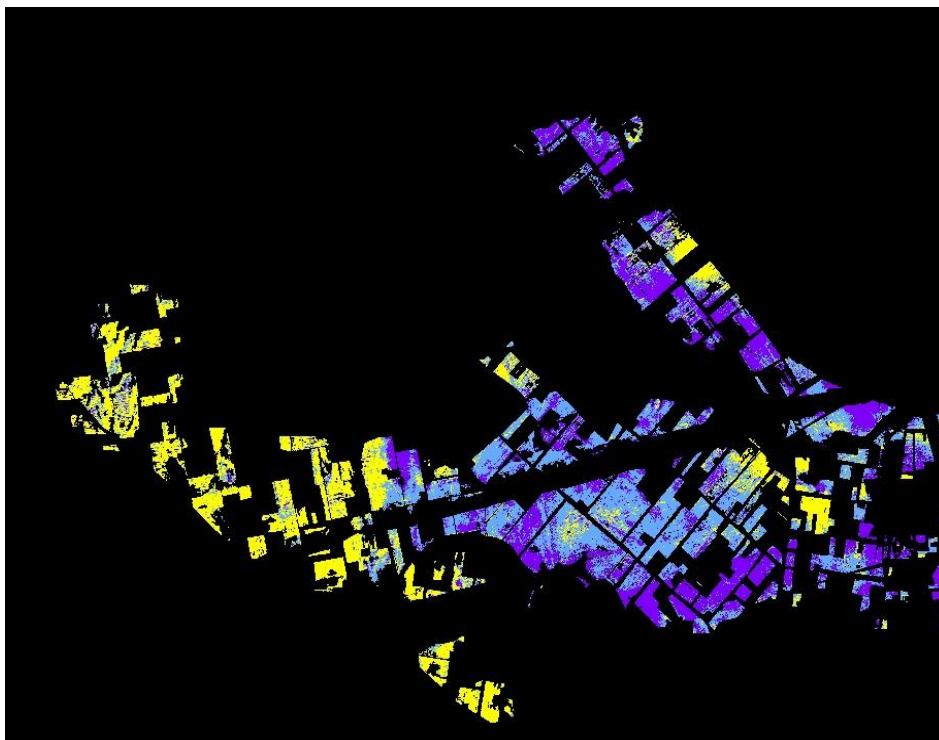
- έχει μία υψηλή τιμή οργανικής ουσίας σε σχέση με το μέσο όρο όλων των δειγμάτων γι' αυτό το στοιχείο

- ενώ παράλληλα οι τιμές του καλίου και του νατρίου κυμαίνονται γύρω από το μέσο όρο όλων των δειγμάτων. Ο σίδηρος παρουσιάζει σχετικά χαμηλή τιμή.
- Επιπλέον, η τιμή του ασβεστίου κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα σε σχέση με το μέσο όρο όλων των δειγμάτων, πιθανότατα λόγω του γεγονότος ότι η οργανική ουσία που χρησιμοποιήθηκε στην περιοχή μελέτης εκείνη την εποχή, «δεσμεύει» μεγάλες ποσότητες ασβεστίου.

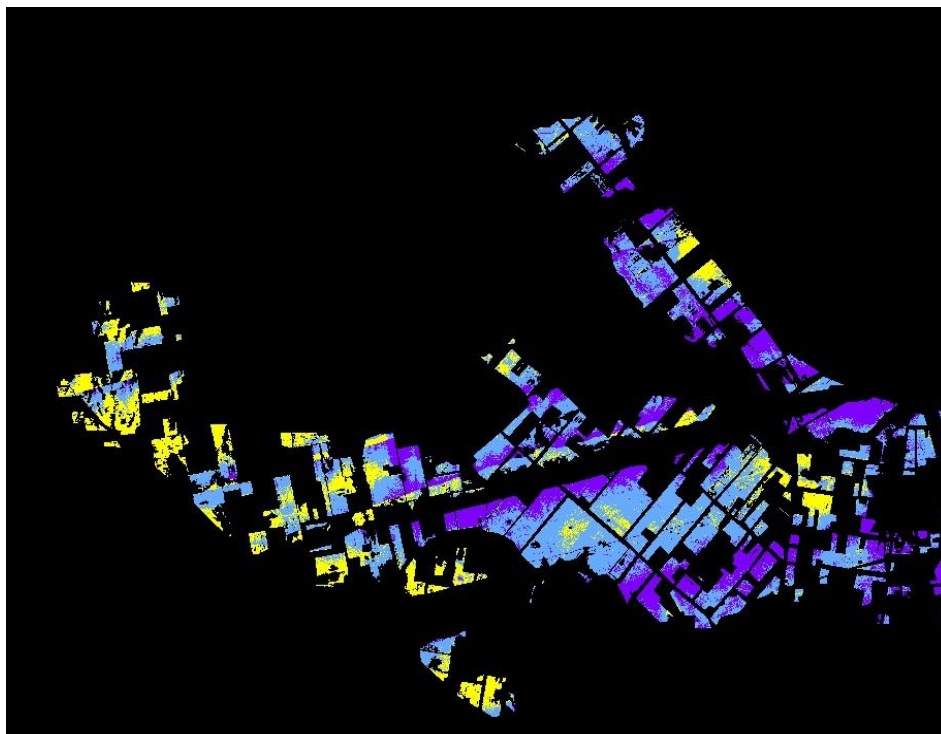
Το σημείο 896 παρόλο που σχηματίζει τη μικρότερη φασματική γωνία με τον 'καθαρό' στόχο 15 (Εικόνα 3-27) και έχει μια σχετικά υψηλή τιμή σιδήρου, οι τιμές των υπολοίπων στοιχείων και της οργανικής ουσίας παρουσιάζουν μεγάλες αποκλίσεις από το μέσο όρο όλων των δειγμάτων για το κάθε στοιχείο.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο Linear Spectral Unmixing ο υπολογισμός των ποσοστών αφθονίας των 6 'καθαρών' στόχων ανά εικονοστοιχείο .

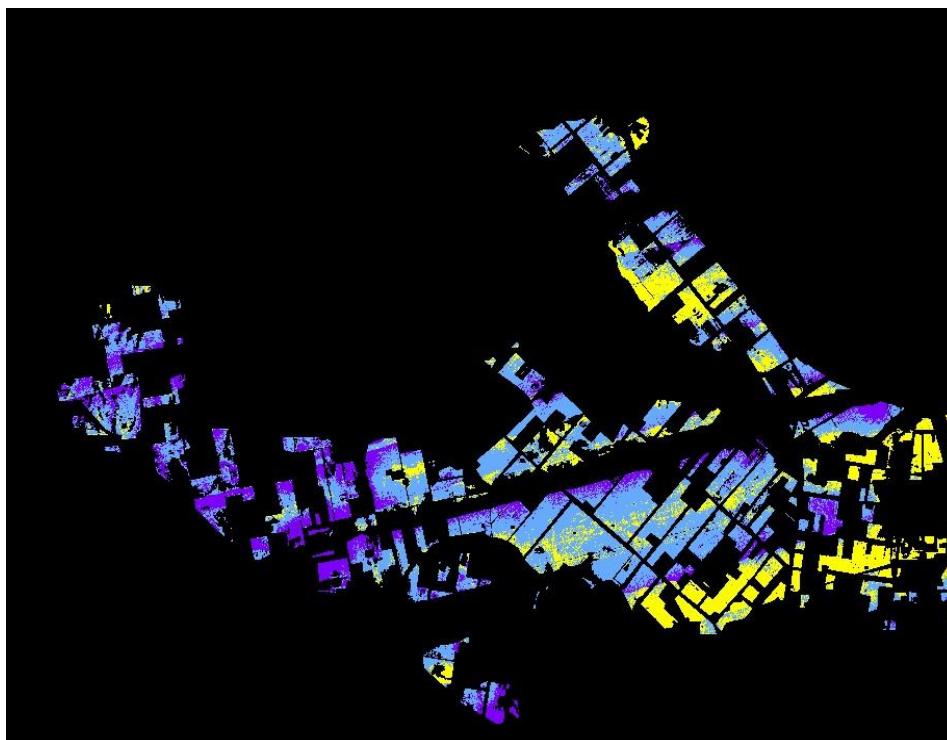
Παρακάτω παρουσιάζονται οι χάρτες αφθονίας για τους 'καθαρούς' στόχους 13, 14 και 15 οι οποίοι είναι ενδεικτικοί για μικρές, μεσαίες μεγάλες συγκεντρώσεις σιδήρου και καλίου και οργανικής ουσίας αντίστοιχα και παρουσιάζουν μέσες τιμές στα υπόλοιπα στοιχεία (Εικόνα 3-29, 3-30, 3-31).



Εικόνα 3-28 Μικρές (κίτρινο), μεσαίες (πράσινο) και μεγάλες (κόκκινο) συγκεντρώσεις σιδήρου



*Εικόνα 3-29:Μικρές (κίτρινο), μεσαίες(γαλάζιο) και μεγάλες (μωβ) συγκεντρώσεις καλίου*



*Εικόνα 3-30:Μικρές (κίτρινο), μεσαίες(γαλάζιο) και μεγάλες (μωβ) συγκεντρώσεις οργανικής ουσίας*

### 3.6.3 Χαρακτηρισμός των ‘Καθαρών’ Στόχων του SMACC

Για τον χαρακτηρισμό των 18 ‘καθαρών’ στόχων που εξήχθησαν με χρήση του αλγόριθμου SMACC, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα SADtxt ( Spectral Angle Distance Text) του Εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης με το οποίο υπολογίστηκαν οι φασματικές γωνίες της κάθε φασματικής υπογραφής των **18 σημείων για τα οποία υπάρχουν εδαφολογικές αναλύσεις με τις φασματικές υπογραφές όλων των ‘καθαρών’ στόχων (18)**(Εικόνα 3-28).

	ΓΩΝΙΕΣ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΜΕ ΟΛΟΥΣ ΤΟΥΣ ΣΤΟΧΟΥΣ																	
	A13	A12	A9	A6	A5	934	920	914	A3	874	848	852	896	895	894	78	1014	835
End 1	0,1146	0,1187	0,1458	0,1448	0,1741	0,1903	0,1932	0,1605	0,0611	0,1526	0,2052	0,1912	0,1155	0,1997	0,165	0,1599	0,1604	0,1531
End 2	0,0945	0,1059	0,0704	0,0875	0,1546	0,0929	0,1297	0,0848	0,148	0,1161	0,0679	0,1175	0,1179	0,1202	0,1254	0,1262	0,1193	0,0644
End 3	0,1439	0,1386	0,1156	0,1081	0,1155	0,064	0,0789	0,0938	0,1917	0,1056	0,0546	0,074	0,1391	0,0712	0,101	0,1046	0,1039	0,115
End 4	0,0905	0,074	0,0885	0,0635	0,0273	0,0681	0,0441	0,0646	0,1073	0,0308	0,095	0,0513	0,0596	0,0587	0,0278	0,022	0,0375	0,0964
End 5	0,1324	0,1448	0,1076	0,1255	0,1894	0,1232	0,1613	0,1205	0,1849	0,1533	0,0947	0,1489	0,157	0,1507	0,1611	0,1625	0,1557	0,1011
End 6	0,1278	0,1067	0,1354	0,1078	0,0413	0,1155	0,0773	0,1137	0,1315	0,0753	0,1393	0,0879	0,0917	0,0894	0,066	0,0648	0,0722	0,1421
End 7	0,1877	0,1943	0,1614	0,1717	0,2196	0,1565	0,1868	0,1646	0,2433	0,1923	0,1226	0,1756	0,2054	0,1731	0,195	0,1983	0,191	0,1534
End 8	0,1189	0,1046	0,134	0,1142	0,0827	0,1344	0,1126	0,1229	0,1	0,0929	0,1615	0,1188	0,0881	0,1268	0,0943	0,0888	0,0972	0,1455
End 9	0,1262	0,1052	0,1269	0,0982	0,0225	0,0965	0,0508	0,1026	0,1439	0,0669	0,1159	0,062	0,0934	0,0628	0,0517	0,053	0,059	0,1335
End 10	0,1092	0,09	0,1264	0,102	0,0671	0,1252	0,0989	0,1134	0,0993	0,0783	0,1488	0,1066	0,0747	0,1091	0,076	0,0725	0,0775	0,1347
End 11	0,1256	0,1049	0,1272	0,0992	0,0301	0,0964	0,0538	0,1024	0,1407	0,066	0,1198	0,0687	0,0919	0,0651	0,0511	0,0514	0,0578	0,1339
End 12	0,0594	0,0464	0,0686	0,0516	0,0956	0,0912	0,0918	0,07	0,1021	0,0648	0,083	0,0857	0,0558	0,0827	0,0706	0,0728	0,0606	0,0621
End 13	0,1365	0,1202	0,1233	0,0995	0,0527	0,0722	0,031	0,0948	0,1691	0,0746	0,0877	0,0447	0,1127	0,0378	0,0588	0,0626	0,067	0,1278
End 14	0,102	0,0805	0,1065	0,077	0,0267	0,0841	0,0472	0,0851	0,1224	0,0474	0,1039	0,0579	0,0696	0,0545	0,032	0,0337	0,0353	0,1128
End 15	0,0575	0,0424	0,0713	0,0531	0,0938	0,0949	0,093	0,0728	0,0969	0,064	0,0893	0,0879	0,0512	0,085	0,0697	0,0714	0,0592	0,0664
End 16	0,0891	0,0899	0,1222	0,1175	0,1465	0,1645	0,1651	0,1352	0,04	0,1247	0,1784	0,1634	0,0867	0,1706	0,1362	0,1316	0,131	0,1291
End 17	0,048	0,0678	0,0258	0,0544	0,127	0,0816	0,116	0,0529	0,0857	0,0842	0,0845	0,1059	0,0737	0,1165	0,1013	0,0983	0,0975	0,0297
End 18	0,0542	0,0709	0,0386	0,0588	0,1205	0,0794	0,1121	0,0555	0,0802	0,0809	0,0932	0,1034	0,0721	0,1168	0,0984	0,0937	0,096	0,0527
	A13	A12	A9	A6	A5	934	920	914	A3	874	848	852	896	895	894	78	1014	835

Εικόνα 3-31: Σύνολο των φασματικών γωνιών των 18 σημείων των εδαφολογικών αναλύσεων με τους ‘καθαρούς’ στόχους του SMACC

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται με ποιον ‘καθαρό’ στόχο σχηματίζει τη μικρότερη φασματική γωνία κάθε σημείο των γνωστών εδαφολογικών αναλύσεων

ΜΙΚΡΟΤΕΡΕΣ ΓΩΝΙΕΣ		
ΣΗΜΕΙΟ	End	ΓΩΝΙΑ
A9	17	0,0258
835	17	0,0297
A13	17	0,0480
914	17	0,0529
78	4	0,0220
894	4	0,0278
874	4	0,0308
920	13	0,0310
895	13	0,0378
852	13	0,0447
848	3	0,0546
934	3	0,0640
A12	15	0,0424
896	15	0,0512
A5	9	0,0225
A6	12	0,0516
1014	14	0,0353
A3	16	0,03996

Εικόνα 3-32: Μικρότερες γωνίες

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρείται ότι τα σημεία 835, 874, A12 βάσει των οποίων χαρακτηρίστηκαν οι 'καθαροί' στόχοι 13,14,15 που εξήχθησαν με το πρόγραμμα SEE.c και αναδεικνύουν το σίδηρο, το κάλιο και την οργανική ουσία, σχηματίζουν επίσης τις μικρότερες φασματικές γωνίες με τους 'καθαρούς' στόχους 17,4,15 οι οποίοι εξήχθησαν με το πρόγραμμα SMACC. Αυτή τη φορά όμως, οι φασματικές γωνίες είναι μεγαλύτερες σε σχέση με αυτές που υπολογίστηκαν για τους 'καθαρούς' στόχους που εξήχθησαν με το πρόγραμμα SEE.c (βλέπε Εικόνα 3-24).

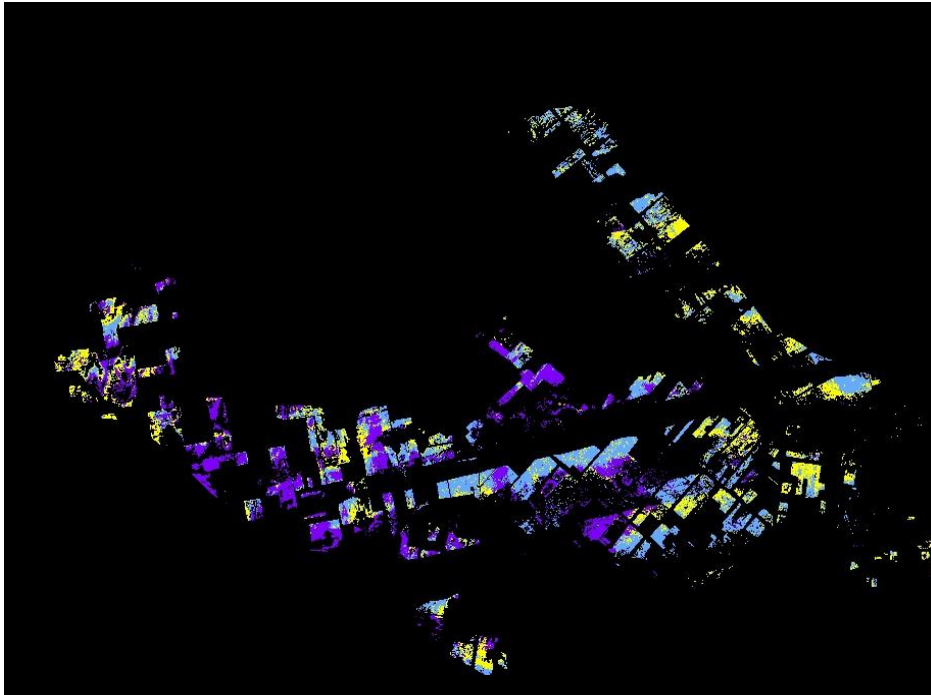
Ωστόσο, με βάση τον παρακάτω πίνακα όπου παρατίθεται το σύνολο των φασματικών γωνιών μεταξύ όλων των 'καθαρών' στόχων του SEE με τους 'καθαρούς' στόχους του SMACC παρατηρείται ότι οι στόχοι 13, 14, 15 του SEE σχηματίζουν τις μικρότερες φασματικές γωνίες με τους 17,4,15 αντίστοιχα, το οποίο σημαίνει ότι οι 'καθαροί' στόχοι του SMACC «βρίσκονται πολύ κοντά φασματικά» με αυτούς του SEE και επομένως μπορούν να χαρακτηριστούν ως προς το σίδηρο, το κάλιο και την οργανική ουσία.

Γενικά, δεν υλοποιήθηκε περαιτέρω χαρακτηρισμός των 'καθαρών' στόχων επειδή στο σύνολο τους ότι οι φασματικές γωνίες που υπολογίστηκαν ήταν μεγαλύτερες από αυτές που υπολογίστηκαν για τους 'καθαρούς' στόχους που εξήχθησαν με το πρόγραμμα SEE.

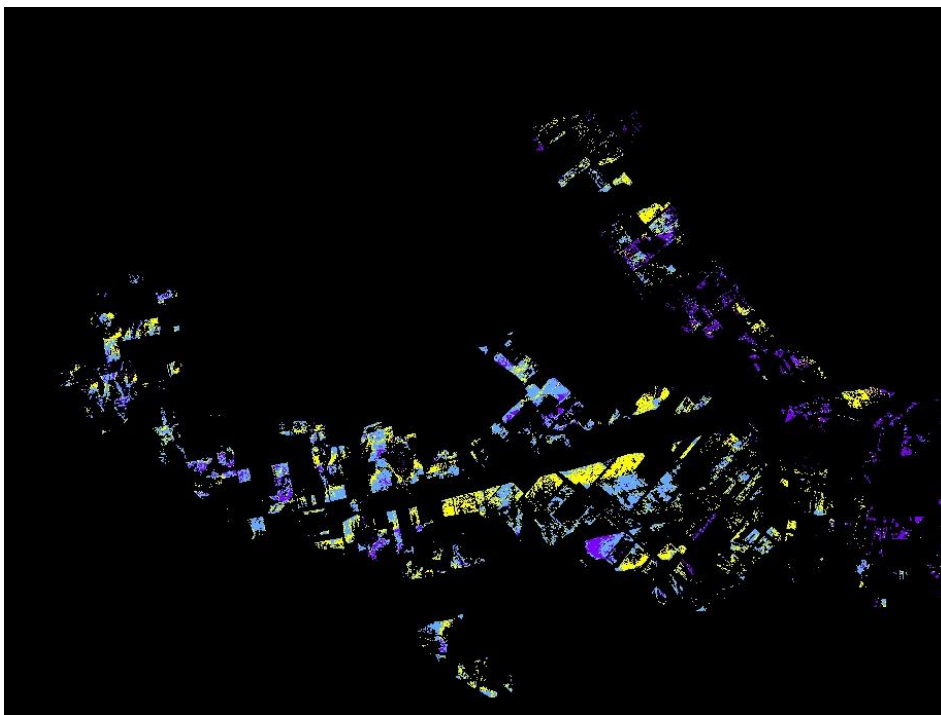
ΓΩΝΙΕΣ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΣΤΟΧΩΝ ΤΟΥ SMACC ΜΕ ΟΛΟΥΣ ΤΟΥΣ ΣΤΟΧΟΥΣ ΤΟΥ SEE																		
SMACC	End 1	End 2	End 3	End 4	End 5	End 6	End 7	End 8	End 9	End 10	End 11	End 12	End 13	End 14	End 15	End 16	End 17	End 18
SEE																		
End 1	0,03236	0,21389	0,26993	0,18098	0,24741	0,19167	0,30892	0,14872	0,21035	0,15247	0,20713	0,16811	0,24355	0,19022	0,16176	0,05455	0,15690	0,15198
End 2	0,22815	0,04950	0,07872	0,14185	0,05713	0,18683	0,08374	0,20515	0,16551	0,19203	0,16702	0,10648	0,13509	0,15016	0,11462	0,20363	0,09436	0,11246
End 3	0,18869	0,11602	0,07579	0,05193	0,14710	0,08999	0,17418	0,11990	0,06536	0,10759	0,07269	0,08235	0,05085	0,06202	0,08530	0,16127	0,10173	0,10134
End 4	0,05451	0,18819	0,21573	0,11433	0,22564	0,12452	0,28278	0,07573	0,14474	0,08736	0,14039	0,13868	0,17925	0,12813	0,13225	0,04534	0,12507	0,10952
End 5	0,03899	0,19741	0,23635	0,13905	0,23443	0,14621	0,29218	0,10433	0,16635	0,10590	0,16112	0,14198	0,20140	0,14625	0,13477	0,03456	0,14073	0,13167
End 6	0,06970	0,16373	0,19447	0,09833	0,20225	0,10799	0,25471	0,08266	0,12396	0,07338	0,12199	0,09458	0,15854	0,10364	0,08712	0,04068	0,11170	0,10763
End 7	0,00000	0,20264	0,25007	0,15613	0,23804	0,16655	0,29862	0,12271	0,18657	0,12636	0,18197	0,15322	0,22011	0,16630	0,14671	0,03157	0,14249	0,13473
End 8	0,25007	0,10808	0,00000	0,11727	0,12176	0,15472	0,12557	0,18665	0,12567	0,17486	0,12864	0,12714	0,07883	0,12205	0,13317	0,22308	0,13123	0,13509
End 9	0,29862	0,09826	0,12557	0,21630	0,06759	0,25883	0,00000	0,28113	0,23349	0,26649	0,23676	0,17271	0,19610	0,22040	0,18106	0,27494	0,16512	0,18338
End 10	0,19200	0,06296	0,13593	0,14727	0,08620	0,18678	0,12879	0,19942	0,17725	0,18047	0,17610	0,07879	0,16455	0,15400	0,08481	0,16897	0,08672	0,11310
End 11	0,27412	0,09068	0,13844	0,20415	0,07594	0,24268	0,06158	0,26668	0,22142	0,24800	0,22611	0,14214	0,19331	0,20666	0,15042	0,24986	0,15286	0,17701
End 12	0,18557	0,07941	0,07418	0,08222	0,10964	0,12953	0,14748	0,14351	0,11175	0,13434	0,11226	0,08728	0,09137	0,09675	0,09195	0,16055	0,06997	0,07180
End 13	0,15354	0,07095	0,10825	0,08531	0,10755	0,13163	0,15708	0,13604	0,12145	0,12661	0,12342	0,06232	0,11648	0,10296	0,06625	0,12883	0,03520	0,05075
End 14	0,15801	0,11378	0,10125	0,04037	0,14968	0,08414	0,18807	0,09931	0,07166	0,08767	0,07192	0,07238	0,07433	0,05546	0,07262	0,13092	0,08429	0,08027
End 15	0,10783	0,14000	0,15516	0,06084	0,17912	0,07926	0,22589	0,07363	0,08784	0,05588	0,08606	0,06704	0,11748	0,06495	0,06043	0,07801	0,09609	0,09268
End 16	0,05396	0,17636	0,21029	0,11242	0,21441	0,12012	0,26880	0,08766	0,13846	0,08327	0,13598	0,11048	0,17434	0,11918	0,10313	0,02780	0,12094	0,11561
End 17	0,08648	0,15860	0,18219	0,08527	0,19780	0,09392	0,24771	0,07594	0,10971	0,05941	0,10498	0,08453	0,14324	0,08626	0,07651	0,05660	0,11181	0,10748
End 18	0,02676	0,19651	0,24216	0,14765	0,23299	0,15499	0,29130	0,11583	0,17459	0,11535	0,17077	0,13904	0,20969	0,15398	0,13173	0,02335	0,14092	0,13536

Εικόνα 3-33: Εικόνα 3 Σύνολο των φασματικών γωνιών όλων των 'καθαρών' στόχων του SEE με τους όλους 'καθαρούς' στόχους του SMACC. Με κόκκινο χρώμα οι γωνίες μεταξύ των 'καθαρών' στόχων 13,14,15(SEE) και 17,4,5 (SMACC) αντίστοιχως.

Παρακάτω παρατίθενται οι χάρτες αφθονίας των 'καθαρών' στόχων 17,4,15 οι οποίοι είναι ενδεικτικοί για μικρές, μεσαίες και μεγάλες συγκεντρώσεις σιδήρου, καλίου και οργανικής ουσίας αντίστοιχα και παρουσιάζουν μέσες τιμές στα υπόλοιπα ιχνοστοιχεία.

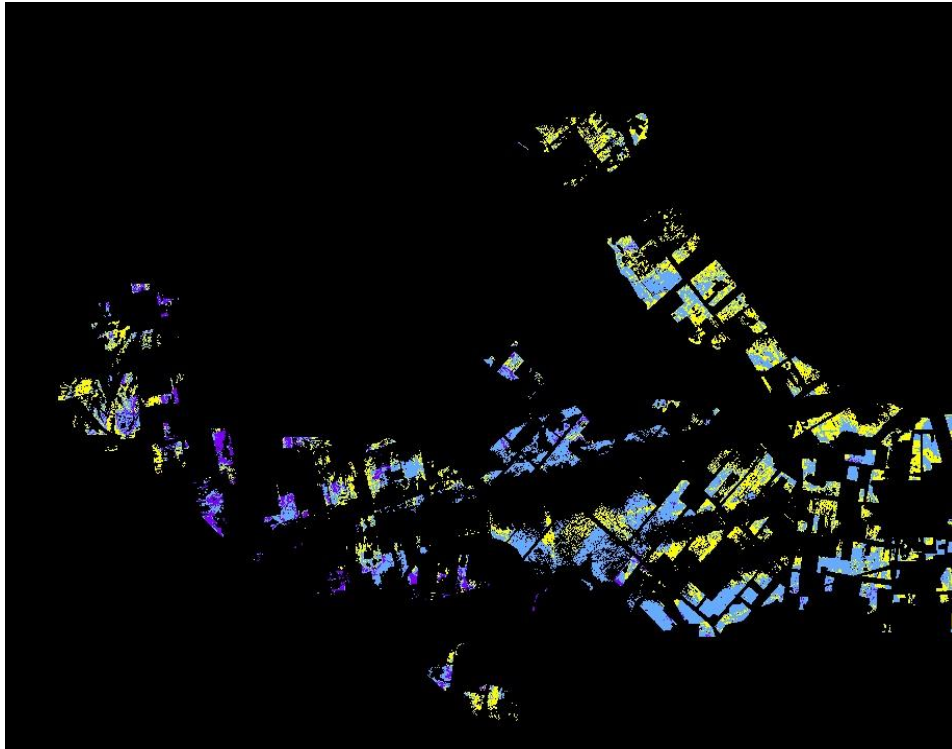


Εικόνα 3-34:Μικρές (μωβ), μεσαίες(γαλάζιο) και μεγάλες (κίτρινο) συγκεντρώσεις σιδήρου



Εικόνα 3-35:Μικρές (κίτρινο), μεσαίες(γαλάζιο) και μεγάλες (μωβ) συγκεντρώσεις καλίου





*Εικόνα 3-36:Μικρές (μωβ), μεσαίες(γαλάζιο) και μεγάλες (κίτρινο) συγκεντρώσεις οργανικής ουσίας*

## **4 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ**

#### 4.1 Αξιολόγηση των Ποσοστών Αφθονίας των ‘Καθαρών’ Στόχων του SMACC

Η αξιολόγηση των ποσοστών αφθονίας των 18 ‘καθαρών’ στόχων που εξήχθησαν με τη μέθοδο SMACC (επιβολή και των 2 περιορισμών κατά την εκτίμηση των ποσοστών αφθονίας) ,πραγματοποιήθηκε στο πρόγραμμα EXCEL με τη μέθοδο της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης. όπου εξετάζεται το πόσο σχετίζονται τα ποσοστά αφθονίας των ‘καθαρών’ στόχων στα 18 σημεία των εδαφολογικών αναλύσεων ,με τις τιμές του Fe,K,Na,Ca και της οργανικής ουσίας (O.O).

Όσο μεγαλύτερος είναι ο δείκτης R<sup>2</sup> της παλινδρόμησης που παίρνει τιμές στο (0,1) τόσο μεγαλύτερη συσχέτιση μεταξύ των ποσοστών αφθονίας των στόχων και των τιμών του Fe,K ,Na,Ca και της οργανικής ουσίας (O.O).

Πραγματοποιήθηκαν 5παλινδρομήσεις, μία για κάθε στοιχείο (Fe, K, Na, Ca, O.O).

Τα σύνολο των δεδομένων εισαγωγής στις παλινδρομήσεις είναι :

- **Ως ανεξάρτητες μεταβλητές:** τα ποσοστά αφθονίας των 14 ‘καθαρών’ στόχων στα 18 σημεία για τα οποία υπάρχουν εδαφολογικές αναλύσεις. Τέσσερις στόχοι (End 10, 11, 12, 14) παρουσίασαν μηδενικά ποσοστά αφθονίας στα 18 σημεία των εδαφολογικών αναλύσεων οπότε δεν χρησιμοποιήθηκαν στις παλινδρομήσεις.
- **Ως εξαρτημένες μεταβλητές:** οι τιμές του Fe , K, Na, Ca και της O.O στα 18 σημεία

	O.O	CA	K	NA	Fe	End 1	End 2	End 3	End 4	End 5	End 6	End 7	End 8	End 9	End 13	End 15	End 16	End 17	End 18
A13	2,97	3,23	213	0,5	5,11	0,268	0,403	0,089	0,000	0,035	0,000	0,017	0,021	0,000	0,017	0,125	0,000	0,025	0,000
A12	2,14	4,06	183	0,62	4,44	0,179	0,590	0,000	0,000	0,000	0,198	0,015	0,000	0,000	0,000	0,000	0,018	0,000	0,000
A09	1,4	3,94	149	0,78	7,11	0,045	0,748	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,207	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A06	1,82	3	161	0,63	6,47	0,021	0,643	0,000	0,037	0,000	0,154	0,000	0,074	0,000	0,000	0,000	0,065	0,000	0,000
A05	0,72	2,02	250	0,67	9,17	0,000	0,157	0,115	0,000	0,000	0,482	0,000	0,000	0,245	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
934	1,04	2,49	319	0,76	8,94	0,000	0,615	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,070	0,315	0,000	0,000	0,000	0,000
920	0,95	2,58	179	0,75	5,68	0,000	0,552	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,103	0,345	0,000	0,000	0,000	0,000
914	1,29	2,71	285	0,63	7,27	0,099	0,367	0,293	0,015	0,000	0,071	0,000	0,013	0,000	0,000	0,000	0,014	0,000	0,126
A3	1,22	3,27	168	0,55	3,01	0,594	0,174	0,135	0,003	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,091	0,000
874	0,98	1,87	328	0,64	9,30	0,209	0,053	0,409	0,000	0,000	0,298	0,022	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
848	1,06	1,5	213	0,36	11,34	0,037	0,129	0,505	0,000	0,106	0,000	0,018	0,019	0,000	0,022	0,117	0,000	0,048	0,000
852	1,22	2,4	75	0,62	5,16	0,000	0,319	0,224	0,000	0,000	0,087	0,000	0,000	0,370	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
896	0,66	1,47	104	1,12	15,45	0,205	0,433	0,038	0,000	0,000	0,263	0,022	0,010	0,000	0,014	0,000	0,015	0,000	0,000
895	0,86	1,56	274	0,75	12,20	0,000	0,274	0,109	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,262	0,354	0,000	0,000	0,000	0,000
894	0,87	1,61	232	0,92	17,39	0,031	0,319	0,151	0,000	0,000	0,459	0,014	0,000	0,000	0,015	0,000	0,011	0,000	0,000
78	0,59	1,19	79	6,32	14,12	0,057	0,294	0,185	0,002	0,000	0,444	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000
1014	0,69	1,54	319	0,83	4,30	0,091	0,204	0,214	0,000	0,000	0,380	0,040	0,013	0,000	0,034	0,000	0,026	0,000	0,000
835	0,9	1,3	183	0,43	21,43	0,178	0,116	0,143	0,000	0,300	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	0,100	0,000	0,153	0,000

Εικόνα 4-1:Δεδομένα εισαγωγής στις παλινδρομήσεις για το Fe, K, Na , Ca και O.O

Τα αποτελέσματα των παλινδρομήσεων για τα ιχνοστοιχεία Fe, K, Na, Ca και την οργανική ουσία (O.O) παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα .

	Fe	K	Ca	Na	O.O
R <sup>2</sup>	0.7166	0.7263	0.8187	0.9932	0.8310

Πίνακας 4-2: Αποτελέσματα του συντελεστή παλινδρόμησης r<sup>2</sup> για το Fe, K, Ca, Na και O.O

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρούνται υψηλά ποσοστά του συντελεστή παλινδρόμησης r<sup>2</sup> για την οργανική ουσία (O.O) και τα στοιχεία Fe, K, Ca, Na με υψηλότερη συσχέτιση αυτή μεταξύ των ποσοστών αφθονίας των 'καθαρών' στόχων που εξήχθησαν με τον αλγόριθμο SMACC με τις τιμές του Na στα 18 σημεία (R<sup>2</sup>=0.9932).

Επομένως από τις τιμές αφθονίας των 14 'καθαρών' στόχων ανά εικονοστοιχείο και τους συντελεστές (coefficients) της παλινδρόμησης των 14 'καθαρών' στόχων (τέσσερις 'καθαροί' στόχοι παρουσίασαν μηδενικά ποσοστά αφθονίας στα 18 σημεία των εδαφολογικών αναλύσεων οπότε δεν χρησιμοποιήθηκαν στις παλινδρομήσεις) για το κάθε στοιχείο (Fe, K, Ca, Na) μπορεί να εξαχθεί μοντέλο χαρτογράφησης της περιοχής μελέτης για τα παραπάνω στοιχεία σύμφωνα με τον τύπο:

$$Y = X + (a_1 * b_1 + a_2 * b_2 + a_3 * b_3 + \dots + a_{13} * b_{13} + a_{14} * b_{14})$$

όπου Y: η προβλεπόμενη τιμή του μακρο μικρο-στοιχείου και O.O. ανά εικονοστοιχείο

X: η τεταγμένη αρχή του κάθε στοιχείου

a<sub>1</sub> έως a<sub>14</sub>: οι τιμές αφθονίας των 14 'καθαρών' στόχων ανά εικονοστοιχείο

b<sub>1</sub> έως b<sub>14</sub>: οι συντελεστές των 14 'καθαρών' στόχων για το κάθε στοιχείο

Παρακάτω παρατίθενται για την οργανική ουσία (O.O) και το κάθε στοιχείο (Fe, K, Ca, Na) οι τεταγμένες αρχής και οι συντελεστές παλινδρόμησης για τους 14 'καθαρούς' στόχους (Εικόνες 4-3, 4-4, 4-5, 4-6, 4-7).

	O.O
	Συντελεστές
Τεταγμένη επί την αρχή	-27,37628348
End 1	31,33849815
End 2	29,12782767
End 3	27,63222058
End 4	29,14536189
End 5	31,49705946
End 6	27,60721707
End 7	12,82649337
End 8	26,79258123
End 9	28,93527201
End 13	26,98536781
End 15	39,47744957
End 16	38,08242786
End 17	11,60261895
End 18	27,30150894

Εικόνα 4-3: Συντελεστές παλινδρόμησης για την οργανική ουσία (O.O)

	Fe
	Συντελεστές
Τεταγμένη επί την αρχή	-295,6493406
End 1	332,4467822
End 2	294,5646774
End 3	315,0269421
End 4	-349,7140486
End 5	459,6921839
End 6	321,6214039
End 7	-257,9000408
End 8	326,7513778
End 9	288,41209
End 13	324,8383013
End 15	311,227314
End 16	683,2740123
End 17	80,43581921
End 18	299,9636444

Εικόνα 4-4 : Συντελεστές παλινδρόμησης για το σίδηρο (Fe)

	K
	Συντελεστές
Τεταγμένη επί την αρχή	-13078,5736
End 1	13182,48637
End 2	13154,86893
End 3	13244,36483
End 4	24643,51669
End 5	13041,36636
End 6	13490,74161
End 7	17641,22847
End 8	13484,8839
End 9	13063,01309
End 13	13711,02276
End 15	13194,31941
End 16	7947,152699
End 17	13598,10289
End 18	13532,93463

Εικόνα 4-5: Συντελεστές παλινδρόμησης για το κάλιο (K)

	Ca
	Συντελεστές
Τεταγμένη επί την αρχή	-96,70137205
End 1	101,4410102
End 2	100,9412971
End 3	98,99538829
End 4	74,42161894
End 5	97,59023234
End 6	97,59297976
End 7	61,29856552
End 8	99,19872708
End 9	98,33406577
End 13	96,23499146
End 15	101,3567225
End 16	115,0528962
End 17	91,57374094
End 18	96,68690322

Εικόνα 4-6: Συντελεστές παλινδρόμησης για το ασβέστιο (Ca)

	Na
	Συντελεστές
Τεταγμένη επί την αρχή	480,4105664
End 1	-480,5543475
End 2	-479,7540326
End 3	-480,5503703
End 4	-581,6205469
End 5	-482,8847047
End 6	-479,4288311
End 7	-480,2282226
End 8	-478,9292564
End 9	-479,5530764
End 13	-479,4586423
End 15	-478,778101
End 16	-465,0383639
End 17	-473,9170016
End 18	-466,9689354

Εικόνα 4-7: Συντελεστές παλινδρόμησης για το νάτριο (Na)

Οι τιμές πρόβλεψης για την οργανική ουσία και τα στοιχεία Fe, K, Ca, Na στα 18 σημεία των εδαφολογικών αναλύσεων και οι αποκλίσεις τους (υπόλοιπα) από τις πραγματικές τιμές παρουσιάζονται παρακάτω (Εικόνες 4-8, 4-10, 4-12, 4-14). Παράλληλα παρατίθενται και οι πίνακες με τη χημική σύσταση των σημείων που παρουσιάζουν τα μεγαλύτερα σφάλματα στην τιμή πρόβλεψης σε σχέση με τα υπόλοιπα σημεία για τα παραπάνω πέντε στοιχεία (O.O, Fe, K, Ca, Na) (Εικόνες 4-9, 4-11, 4-13, 4-15, 4-17).

ΣΗΜΕΙΑ	ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ	O.O	
		ΥΠΟΛΟΙΠΑ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ
A13	2,782083	0,187917	2,97
A12	1,754835	0,385165	2,14
A09	1,367724	0,032276	1,4
A06	1,816223	0,003777	1,82
A05	0,799326	-0,079326	0,72
934	1,062876	-0,022876	1,04
920	0,991837	-0,041837	0,95
914	1,290000	0,000000	1,29
A3	1,250953	-0,030953	1,22
874	0,760751	0,219249	0,98
848	1,320087	-0,260087	1,06
852	1,213425	0,006575	1,22
896	1,474986	-0,814986	0,66
895	0,778783	0,081217	0,86
894	0,736494	0,133506	0,87
78	0,608693	-0,018693	0,59
1014	0,540793	0,149207	0,69
835	0,830131	0,069869	0,9

Εικόνα 4-8: Προβλεπόμενες τιμές για την οργανική ουσία (O.O) στα 18 σημεία

ΣΗΜΕΙΑ ΜΕ ΜΕΓΑΛΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΤΙΜΗ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ Ο.ΟΥΣΙΑ					
		A12	896	848	M.O
	ΣΙΔΗΡΟΣ	4,44	15,45	11,34	9,327222
	ΚΑΛΙΟ	183	104	213	206,3333
	ΝΑΤΡΙΟ	0,62	1,12	0,36	0,993333
	ΑΣΒΕΣΤΙΟ	4,06	1,47	1,5	2,318889
	Ο.ΟΥΣΙΑ	2,14	0,66	1,06	1,204706
	ΜΗΧ.ΣΥΣ	SCL	L	L	

Εικόνα 4-9: Σημεία με τα μεγαλύτερα σφάλματα στην τιμή πρόβλεψης για την οργανική ουσία

ΣΗΜΕΙΑ	Fe		
	ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ	ΥΠΟΛΟΙΠΑ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ
A13	5,098392	0,011608	5,11
A12	9,509513	-5,069513	4,44
A09	7,267279	-0,157279	7,11
A06	6,450062	0,019938	6,47
A05	12,615412	-3,445412	9,17
934	8,022588	0,917412	8,94
920	8,738836	-3,058836	5,68
914	7,270000	0,000000	7,27
A3	3,011788	-0,001788	3,01
874	10,878437	-1,578437	9,30
848	11,356155	-0,016155	11,34
852	3,543620	1,616380	5,16
896	9,132018	6,317982	15,45
895	10,261801	1,938199	12,20
894	12,660667	4,729333	17,39
78	13,999134	0,120866	14,12
1014	6,648646	-2,348646	4,30
835	21,425654	0,004346	21,43

Εικόνα 4-10: Προβλεπόμενες τιμές για το σίδηρο (Fe) στα 18 σημεία

ΣΗΜΕΙΑ ΜΕ ΜΕΓΑΛΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΤΙΜΗ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΙΔΗΡΟ					
		A12	896	894	M.O
	ΣΙΔΗΡΟΣ	4,44	15,45	17,39	9,327222
	ΚΑΛΙΟ	183	104	232	206,3333
	ΝΑΤΡΙΟ	0,62	1,12	0,92	0,993333
	ΑΣΒΕΣΤΙΟ	4,06	1,47	1,61	2,318889
	ΜΗΧ.ΣΥΣ	SCL	L	L	

Εικόνα 4-11: Σημεία με τα μεγαλύτερα σφάλματα στην τιμή πρόβλεψης για το σίδηρο (Fe)



ΣΗΜΕΙΑ	ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ	Κ	
		ΥΠΟΛΟΙΠΑ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ
A13	198,044035	14,955965	213
A12	123,373127	59,626873	183
A09	145,767639	3,232361	149
A06	160,869393	0,130607	161
A05	229,226557	20,773443	250
934	245,071587	73,928413	319
920	258,906452	-79,906452	179
914	285,000000	0,000000	285
A3	170,464067	-2,464067	168
874	302,923835	25,076165	328
848	233,699271	-20,699271	213
852	91,816777	-16,816777	75
896	203,671539	-99,671539	104
895	258,940932	15,059068	274
894	257,251917	-25,251917	232
78	81,029981	-2,029981	79
1014	290,503396	28,496604	319
835	177,439496	5,560504	183

Εικόνα 4-12: Προβλεπόμενες τιμές για το κάλιο (Κ) στα 18 σημεία

ΣΗΜΕΙΑ ΜΕ ΜΕΓΑΛΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΤΙΜΗ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΚΑΛΙΟ					
		934	920	896	M.O
	ΣΙΔΗΡΟΣ	8,94	5,68	15,45	9,327222
	ΚΑΛΙΟ	319	179	104	206,3333
	ΝΑΤΡΙΟ	0,76	0,75	1,12	0,993333
	ΑΣΒΕΣΤΙΟ	2,49	2,58	1,47	2,318889
	ΜΗΧ.ΣΥΣ	SCL	L	L	

Εικόνα 4-13: Σημεία με τα μεγαλύτερα σφάλματα στην τιμή πρόβλεψης για το κάλιο (Κ)

ΣΗΜΕΙΑ	ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ	Ca	
		ΥΠΟΛΟΙΠΑ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ
A13	3,094837	0,135163	3,23
A12	3,308669	0,751331	4,06
A09	3,902008	0,037992	3,94
A06	2,999131	0,000869	3
A05	1,754961	0,265039	2,02
934	2,573582	-0,083582	2,49
920	2,346881	0,233119	2,58
914	2,710000	0,000000	2,71
A3	3,292275	-0,022275	3,27
874	1,564379	0,305621	1,87
848	1,687064	-0,187064	1,5
852	2,547607	-0,147607	2,4
896	2,648897	-1,178897	1,47
895	1,677143	-0,117143	1,56
894	1,955660	-0,345660	1,61
78	1,214773	-0,024773	1,19
1014	1,212383	0,327617	1,54
835	1,249749	0,050251	1,3

Εικόνα 4-14: Προβλεπόμενες τιμές για το ασβέστιο (Ca) στα 18 σημεία

ΣΗΜΕΙΑ ΜΕ ΜΕΓΑΛΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΤΙΜΗ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΑΣΒΕΣΤΙΟ				
	A12	896	894	M.O
ΣΙΔΗΡΟΣ	4,44	15,45	17,39	9,327222
ΚΑΛΙΟ	183	104	232	206,3333
ΝΑΤΡΙΟ	0,62	1,12	0,92	0,993333
ΑΣΒΕΣΤΙΟ	4,06	1,47	1,61	2,318889
ΜΗΧ.ΣΥΣ	SCL	L	L	

Εικόνα 4-15: Σημεία με τα μεγαλύτερα σφάλματα στην τιμή πρόβλεψης για το ασβέστιο (Ca)

ΣΗΜΕΙΑ	ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ	Na	
		ΥΠΟΛΟΙΠΑ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ
A13	0,542368	-0,042368	0,5
A12	0,836014	-0,216014	0,62
A09	0,791219	-0,011219	0,78
A06	0,630328	-0,000328	0,63
A05	0,742406	-0,072406	0,67
934	0,764233	-0,004233	0,76
920	0,780142	-0,030142	0,75
914	0,630000	0,000000	0,63
A3	0,543018	0,006982	0,55
874	0,729231	-0,089231	0,64
848	0,301362	0,058638	0,36
852	0,577209	0,042791	0,62
896	0,775312	0,344688	1,12
895	0,727193	0,022807	0,75
894	0,826724	0,093276	0,92
78	6,312752	0,007248	6,32
1014	0,924735	-0,094735	0,83
835	0,445752	-0,015752	0,43

Εικόνα 4-16: Προβλεπόμενες τιμές για το νάτριο (Na) στα 18 σημεία

ΣΗΜΕΙΑ ΜΕ ΜΕΓΑΛΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΤΙΜΗ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΝΑΤΡΙΟ					
	A12	896	894	M.O	
ΣΙΔΗΡΟΣ	4,44	15,45	17,39	9,327222	
ΚΑΛΙΟ	183	104	232	206,3333	
ΝΑΤΡΙΟ	0,62	1,12	0,92	0,993333	
ΑΣΒΕΣΤΙΟ	4,06	1,47	1,61	2,318889	
ΜΗΧ.ΣΥΣ	SCL	L	L		

Εικόνα 4-17: Σημεία με τα μεγαλύτερα σφάλματα στην τιμή πρόβλεψης για το νάτριο (Na)

Στις Εικόνες 4-11, 4-15, 4-17 παρατηρείται ότι τα ίδια σημεία (A12, 896, 894 ) παρουσιάζουν τα μεγαλύτερα σφάλματα στις τιμές πρόβλεψης σε σχέση με τα υπόλοιπα σημεία για το σίδηρο, το ασβέστιο και το νάτριο, και τα σημεία A12, 896 παρουσιάζουν επίσης τα μεγαλύτερα σφάλματα και ως προς την τιμή της οργανικής ουσίας (Εικόνα 4-9).



Εικόνα 4-18: Χωρική απεικόνιση σημείων με τα μεγαλύτερα σφάλματα στις τιμές πρόβλεψης

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 4-18 τα σημεία 896, 894 βρίσκονται στις άκρες των υπερφασματικών λωρίδων απεικόνισης όπου παρουσιάζονται ραδιομετρικά σφάλματα γι' αυτό παρατηρείται και η 'αστοχία' στις τιμές πρόβλεψης των στοιχείων του σιδήρου, ασβεστίου και νατρίου για αυτά τα σημεία. Όσον αφορά το σημείο A12 έχει μία υψηλή τιμή οργανικής ουσίας σε σχέση με την πλειοψηφία των δειγμάτων εδάφους της περιοχής μελέτης (Πίνακας 4-19) όπου οι τιμές τους σε οργανική ουσία κυμαίνονται γύρω και κάτω από το μέσο όρο του δείγματος, με αποτέλεσμα να παρουσιάζει υψηλά σφάλματα στις τιμές πρόβλεψης για τα μακρο και μικρο-στοιχεία του εδάφους.

ΣΗΜΕΙΟ	ΟΡΓΑΝΙΚΗ ΟΥΣΙΑ
A13	2.97
A12	2.14
A9	1,4
A6	1.82
A5	0.72
934	1.04
920	0.95
914	1.29
A3	1.22
874	0.98
848	1.06
852	1.22
896	0.66

895	0.86
894	0.87
78	0.59
1014	0.69
835	0.9
Μέσος Όρος	1.2

Εικόνα 4-19: Οι τιμές της οργανικής ουσίας στα 18 δείγματα εδάφους

Τα τρία αυτά σημεία (896,894,A12) θα μπορούσαν να εξαιρεθούν από τις παλινδρομήσεις των ιχνοστοιχείων ώστε να έχουμε μεγαλύτερης ακρίβειας αποτελέσματα. Ωστόσο εξαιτίας του μικρού δείγματος των εξαρτημένων μεταβλητών (18 σημεία γνωστών εδαφολογικών αναλύσεων) και του υψηλού αριθμού των ανεξάρτητων μεταβλητών (14 'καθαροί' στόχοι) δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν οι παλινδρομήσεις και να εξαχθούν οι συντελεστές (coefficients) των 'καθαρών στόχων.

Παρόλα αυτά πραγματοποιήθηκαν 2 σειρές παλινδρομήσεων για όλα τα στοιχεία (Fe,K,Na,Ca) και την οργανική ουσία εξαιρώντας την πρώτη φορά το σημείο A12 και τη δεύτερη το σημείο 896 (και στις δύο περιπτώσεις 17 εξαρτημένες μεταβλητές).

Τα συγκριτικά αποτελέσματα του συντελεστή  $r^2$  της παλινδρόμησης φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

	Fe	K	Ca	Na	O.O
$R^2$ (αρχική παλινδρόμηση)	0.7166	0.7263	0.8187	0.9932	0.8310
$R^2$ (εξαιρώντας το σημείο 896)	0.895	0.8523	0.9694	0.9991	0.9662
$R^2$ (εξαιρώντας το σημείο A12)	0.9656	0.8692	0.9925	0.9998	0.9237

Εικόνα 4-20: Συγκριτικά αποτελέσματα του συντελεστή  $r^2$  για την οργανική ουσία και τα ιχνοστοιχεία του εδάφους

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει το συμπέρασμα ότι εξαιρώντας από την παλινδρόμηση οποιοδήποτε από τα δύο σημεία 896 ή A12, ο συντελεστής  $r^2$  της παλινδρόμησης αυξάνεται πάνω από 13% για την οργανική ουσία και τα υπόλοιπα στοιχεία του εδάφους. Αυτό φανερώνει την υπερπροσαρμογή (overfitting) του μοντέλου της παλινδρόμησης, η οποία παρουσιάζεται όσο

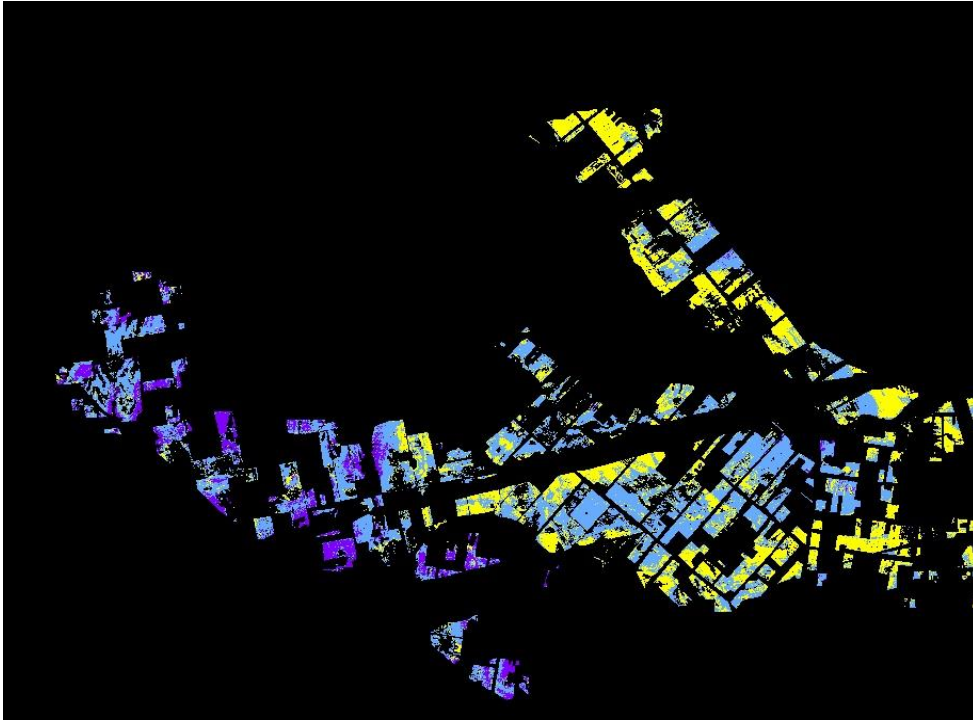
μειώνεται ο αριθμός των εξαρτημένων μεταβλητών (δείγματα εδάφους) και προσεγγίζει τον αριθμό των ανεξάρτητων μεταβλητών ('καθαροί' στόχοι), οδηγώντας σε μία πλασματική αύξηση του συντελεστή  $r^2$  παλινδρόμησης. Επομένως τα αποτελέσματα αυτά δεν μπορούν να γενικευθούν με την εξαγωγή μοντέλου χαρτογράφησης των παραπάνω στοιχείων του εδάφους για την περιοχή μελέτης.

Όσοπο παρατηρείται ότι εξαιρώντας το σημείο A12 τα αποτελέσματα του συντελεστή  $r^2$  είναι υψηλότερα για όλα τα μακρο και μικρο-στοιχεία του εδάφους από τα αντίστοιχα που προέκυψαν με την αφαίρεση του σημείου 896 με εξαίρεση την οργανική ουσία όπου ισχύει το ακριβώς αντίθετο.

Επομένως προκύπτει το συμπέρασμα ότι το μοντέλο παλινδρόμησης που αφορά τα μακρο και μικρο-στοιχεία του εδάφους επηρεάζεται σημαντικά από την υψηλή τιμή της οργανικής ουσίας ακόμα και σε ένα δείγμα εδάφους(σημείο A12) σε σχέση με τα υπόλοιπα δείγματα τα οποία κυμαίνονται γύρω και κάτω από το μέσο όρο. Αντίθετα το μοντέλο της παλινδρόμησης για την οργανική ουσία είναι λογικό να επηρεάζεται σημαντικά από το σημείο 896 το οποίο παρουσιάζει ραδιομετρικό σφάλμα, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει «σωστή» συσχέτιση μεταξύ των ποσοστών αφθονίας των 'καθαρών' στόχων στο εικονοστοιχείο από το οποίο πάρθηκε το συγκεκριμένο δείγμα εδάφους και της τιμής της οργανικής ουσίας του συγκεκριμένου δείγματος του εδάφους.

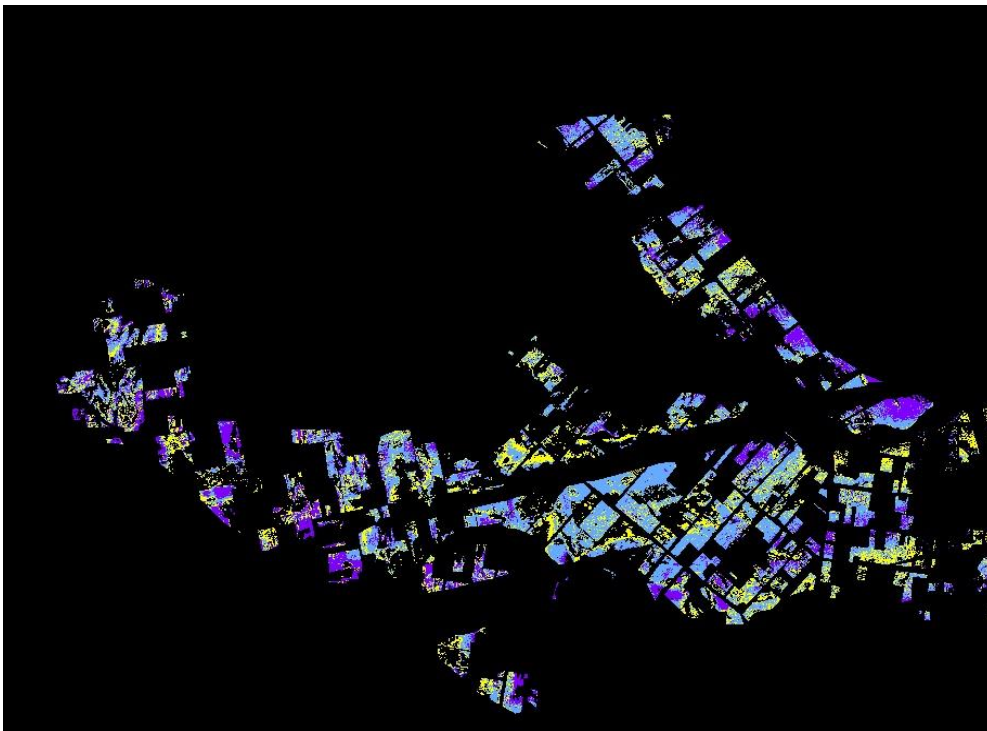
Στις παρακάτω εικόνες παρατίθενται οι χάρτες της περιοχής μελέτης για τα διαστήματα μικρών, μεσαίων και μεγάλων τιμών της οργανική ουσίας και των στοιχείων του Fe, K, Na, Ca για τη δημιουργία των οποίων χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα της 1<sup>ης</sup> παλινδρόμησης (18 ανεξάρτητες μεταβλητές). Η υλοποίησή τους πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό πρόγραμμα ENVI.

## Οργανική ουσία



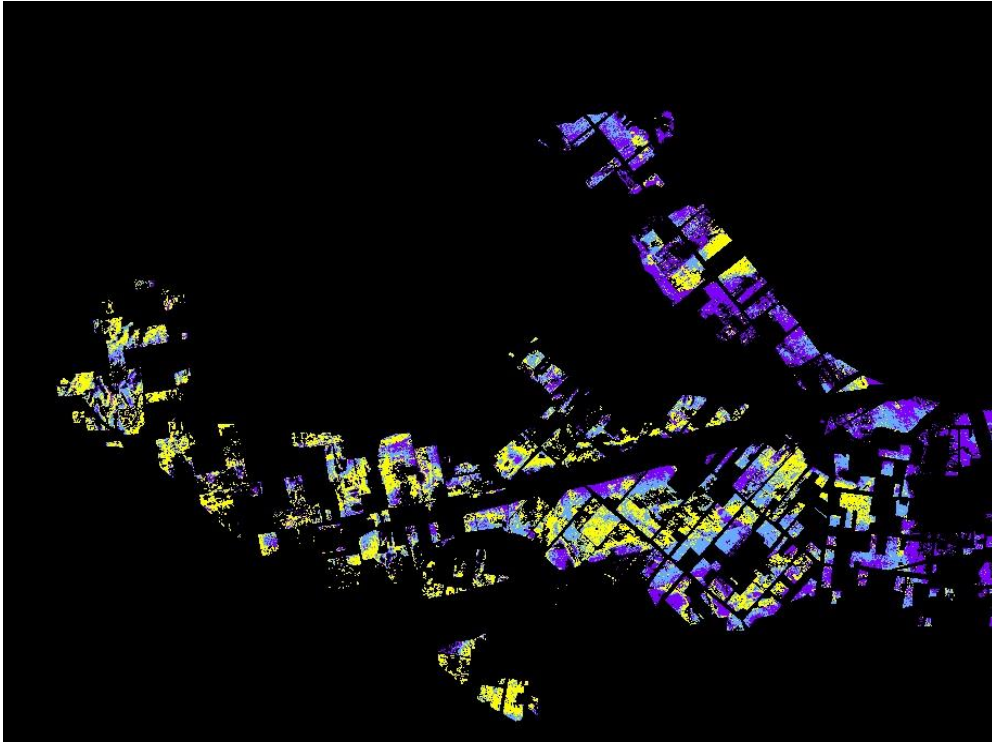
Εικόνα 4-21: Μικρές (κίτρινο), μεσαίες(γαλάζιο) και μεγάλες (μωβ) τιμές οργανικής ουσίας

## Σίδηρος



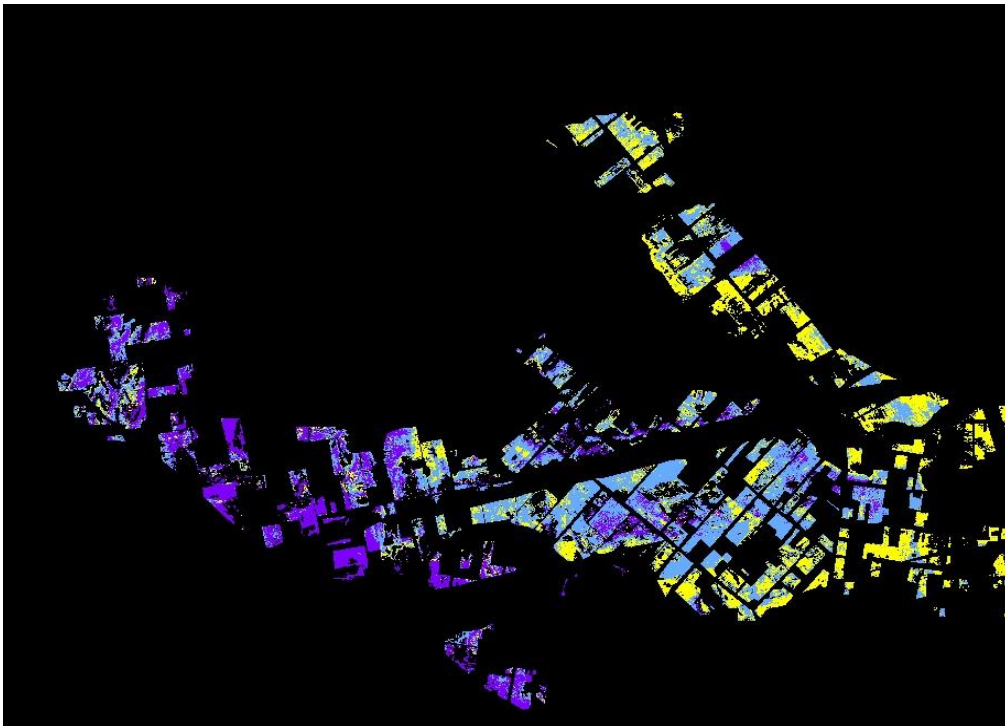
Εικόνα 4-22: Μικρές (κίτρινο), μεσαίες(γαλάζιο) και μεγάλες (μωβ) τιμές Σιδήρον

## Κάλιο



*Εικόνα 4-23: Μικρές (κίτρινο), μεσαίες(γαλάζιο) και μεγάλες (μωβ) τιμές Καλίου*

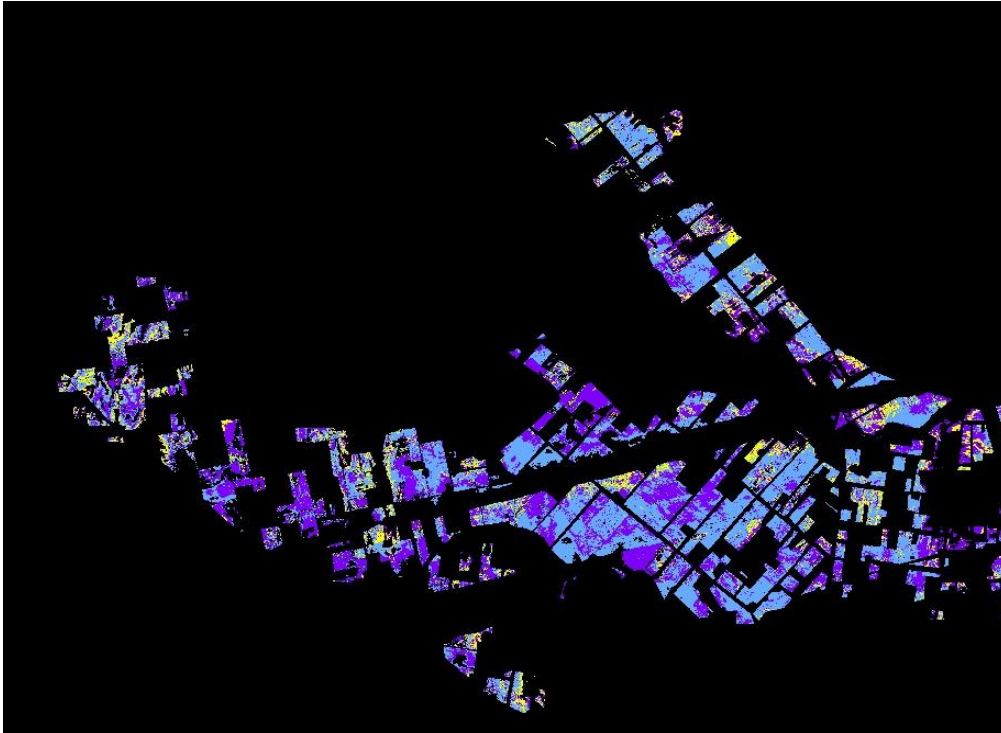
## Ασβέστιο



*Εικόνα 4-24: Μικρές (κίτρινο), μεσαίες(γαλάζιο) και μεγάλες (μωβ) τιμές Ασβεστίου*



## Νάτριο



Εικόνα 4-25: Μικρές (κίτρινο), μεσαίες(γαλάζιο) και μεγάλες (μωβ) τιμές Νατρίου

Συγκρίνοντας τους παραπάνω χάρτες τιμών πρόβλεψης για την οργανική ουσία, το σίδηρο και το κάλιο, με τους αντίστοιχους χάρτες αφθονίας των 'καθαρών' στόχων που εξήχθησαν με τους αλγόριθμους SEE και SMACC και αναδεικνύουν συγκεντρώσεις των παραπάνω στοιχείων (O,O, Fe, K), παρατηρείται ότι υπάρχει ως ένα βαθμό συμφωνία μεταξύ τιμής πρόβλεψης και ποσοστού αφθονίας και για τα τρία στοιχεία. Ειδικότερα με τους χάρτες αφθονίας των 'καθαρών' στόχων που εξήχθησαν με τον αλγόριθμό SEE παρατηρείται μεγαλύτερη συσχέτιση. Ωστόσο θα πρέπει να αναφέρουμε ότι οι χάρτες αφθονίας αναδεικνύουν συγκεντρώσεις των O,O, Fe, K για συγκεκριμένους τύπους εδάφους (όπου οι τιμές των άλλων στοιχείων κυμαίνονται γύρω από το μέσο όρο) , ενώ οι χάρτες με τις τιμές πρόβλεψης αναφέρονται μόνο ως προς ένα χημικό στοιχείο κάθε φορά, γι' αυτό το λόγο και δεν υπάρχει καθολική συσχέτιση μεταξύ τους.

## **5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ**

## 5.1 Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία είχε ως στόχο την αξιολόγηση της διαδικασίας του φασματικού διαχωρισμού ως προς τη δυνατότητα ανίχνευση στοιχείων και τη δυνατότητα χαρτογράφησης των διαφορετικών τύπων εδάφους. Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται συνοπτικά τα παρακάτω συμπεράσματα που αφορούν το σύνολο της πειραματικής διαδικασίας δηλαδή την προεπεξεργασία της υπερφασματικής απεικόνισης την εφαρμογή και τα αποτελέσματα των αλγορίθμων που υλοποιούν το φασματικό διαχωρισμό και τέλος τον 'χαρακτηρισμό' των 'καθαρών στόχων και την αξιολόγηση των ποσοστών αφθονίας αυτών.

Συγκεκριμένα:

- Κρίνονται απαραίτητα όλα τα βήματα προεπεξεργασίας της εικόνας που αναφέρθηκαν στην εργασία αυτή προκειμένου να αξιοποιηθεί η διαδικασία του φασματικού διαχωρισμού ως προς τη δυνατότητα διαχωρισιμότητας διαφορετικών τύπων εδάφους
- Κρίνεται απαραίτητη η γνώση της υγρασίας για ακριβέστερο χαρακτηρισμό των 'καθαρών' στόχων ως προς τα ιχνοστοιχεία και ακριβέστερη χαρτογράφηση των ιχνοστοιχείων των εδαφών για την περιοχή μελέτης.
- Οι 'καθαροί' στόχοι που εξάγονται και με τους δύο αλγόριθμους εξαγωγής 'καθαρών' στόχων SEE και SMACC μπορούν να ταυτιστούν με περιορισμένο αριθμό στοιχείων του εδάφους: **σίδηρο, κάλιο, οργανική ουσία** και υπό περιορισμούς.
- Λόγω των πολλών παραμέτρων που συνθέτουν τη φασματική υπογραφή των εδαφών, η ταυτοποίηση αυτή μπορεί να συμβεί μόνο όταν τα υπόλοιπα στοιχεία στις θέσεις των 'καθαρών' στόχων κυμαίνονται γύρω από το μέσο όρο των τιμών των στοιχείων αυτών στο σύνολο των δειγμάτων, με κάποιες εξαιρέσεις οι οποίες δικαιολογούνται από την πολυπλοκότητα των χημικών ενώσεων που σχηματίζονται μεταξύ των μακρο και μικρο-στοιχείων με την οργανική ουσία.
- Από τιμές αφθονίας των 'καθαρών' στόχων εξάχθηκαν χάρτες της περιοχής μελέτης οι οποίοι είναι ενδεικτικοί για μικρές μεσοαίες και μεγάλες συγκεντρώσεις των παραπάνω στοιχείων του εδάφους (οργανική ουσία, Fe, K).
- Τα αποτελέσματα της μεθόδου της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης για την αξιολόγηση των ποσοστών αφθονίας των 'καθαρών' στόχων οι οποίοι εξήχθησαν με το πρόγραμμα SMACC έδωσαν υψηλές τιμές του συντελεστή  $R^2$  για Fe, K, Na, Ca.

- Επομένως από τους συντελεστές αφθονίας των ‘καθαρών’ στόχων και τους συντελεστές της παλινδρόμησης (coefficients) μπορεί να εξαχθεί μοντέλο χαρτογράφησης της περιοχής μελέτης για τα διαστήματα μικρών, μεσαίων και μεγάλων τιμών της οργανικής ουσίας και άλλων στοιχείων του εδάφους.
- Ωστόσο παρατηρήθηκαν μεγάλα σφάλματα στις τιμές πρόβλεψης όλων των στοιχείων (O, Fe, K, Ca, Na) στα σημεία τα οποία βρίσκονται στις άκρες των υπερφασματικών λωρίδων απεικόνισης όπου παρουσιάζονται ραδιομετρικά σφάλματα και διαπιστώθηκε ότι το μοντέλο της παλινδρόμησης ως προς τα μακρο και μικρο-στοιχεία του εδάφους επηρεάζεται από τις αποκλίσεις των τιμών της οργανικής ουσίας στα δείγματα του εδάφους. Γι’ αυτό προτείνεται η επιλογή δειγμάτων με περίπου ίδια περιεκτικότητα σε οργανική ουσία καθώς επίσης και σε υγρασία.
- Τέλος, για να εξαχθούν με μεγαλύτερη ασφάλεια και αξιοπιστία τα παραπάνω αποτελέσματα το εύρος του δείγματος των εξαρτημένων μεταβλητών (στοιχεία εδάφους) θα πρέπει να αυξηθεί ώστε να αποφευχθεί ο κίνδυνος της υπερπροσαρμογής (overfitting) του μοντέλου της παλινδρόμησης.

## 5.2 Προτάσεις

Παρακάτω αναγράφονται οι προτάσεις οι οποίες θα συντελέσουν στην γρηγορότερη εφαρμογή των αλγορίθμων του φασματικού διαχωρισμού αλλά και στην παραγωγή περισσότερων αξιόπιστων αποτελεσμάτων.

Συγκεκριμένα προτείνεται:

- Η αυτοματοποίηση των μεθόδων προεπεξεργασίας (εφαρμογή των μεθόδων σε 1 βήμα).
- Υψηλότερο φασματικό εύρος του δέκτη μέχρι και τα 2.500 nm λόγω του ότι αρκετά στοιχεία παρουσιάζουν απορρόφηση σε υψηλότερα μήκη κύματος.
- Εφαρμογή του φασματικού διαχωρισμού σε λωρίδες αερομεταφερόμενων υπερφασματικών απεικονίσεων που δεν παρουσιάζουν ραδιομετρικά σφάλματα στα άκρα.
- Συλλογή επίγειων μετρήσεων με φασματο- ραδιόμετρο και εδαφολογικές αναλύσεις για αυτά τα σημεία, την ίδια ημέρα με τη λήψη της εικόνας.

- Ταξινόμηση της απεικόνισης σε τμήματα με ομοιόμορφη περιεκτικότητα του εδάφους σε υγρασία και οργανική ουσία και εφαρμογή της μεθόδου σε κάθε τμήμα χωριστά.

## 6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Andreou C. and Karathanassi V.: "Simple Endmember Extraction Methods Using Transformed Components for Hyperspectral Images" Date, Conference, etc.

Andreou C. and Karathanassi V.: "Estimation of the Number of Endmembers Using Robust Outlier Detection Method" IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, Vol. 7, No. 1, January 2014

Andreou C. and Karathanassi V.: "New Automated Method for Estimating the Number of Endmembers in Hyperspectral Images" IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, doi: 10.1109/JSTARS.2013.2260135. (2012)

Keshava N. and J. F. Mustard: "Spectral unmixing". IEEE Signal Processing Magazine, 19: pp. 44–5 Chang C.: "Hyperspectral Data Exploitation Theory and Applications" WILEY (2007)

Bioucas-Dias J and Nascimento J. "Hyperspectral Subspace Identification" IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 46, No. 8, August 2008

Boardman J.: "Analysis, understanding and visualization of hyperspectral data as convex sets in n-space" SPIE vol. 2480

Borengasser M., Hungate W., and Watkins R.: Hyperspectral Remote Sensing Principles and Applications CRC Press (2008)

Chang C. and Du Q.: "Estimation of Number of Spectrally Distinct Signal Sources in Hyperspectral Imagery" IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 42, No. 3, March 2004

D. Manolakis, D.Marden, and G. A. Shaw, "Hyperspectral image processing for automatic target detection applications," *MIT Lincoln Lab.J.*, vol. 14, no. 1, pp. 9–116, 2003

Gordon C.: "A Generalization of the Maximum Noise Fraction Transform" (Sep 2000)

Green A., Berman M., Switzer P. and Craig M.: "A Transformation for Ordering Multispectral Data in Terms of Image Quality with Implications for Noise Removal" IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 26, No. 1, January 1988, 2002.

Ανδρέου Χαρούλα: "Δυνατότητες και Περιορισμοί της Υπερφασματικής Τηλεπισκόπησης στην Ανίχνευση Ποιοτικών Χαρακτηριστικών του Οδοστρώματος", Διπλωματική Εργασία, ΣΑΤΜ-ΕΜΠ, Αθήνα, 2008.

Ερευνητικό πρόγραμμα 65/177300 «Ανάπτυξη αλγορίθμων καθορισμού των καθαρών στόχων σε επίπεδο εικόνας και εικονοστοιχείου και μοντέλου γραμμικής ανάμιξης για την ταξινόμηση μιας υπερφασματικής απεικόνισης

Ειδικά κεφάλαια τηλεπισκόπησης κεφάλαιο 9: Τηλεπισκόπηση των Τύπων Εδάφους, των Ορυκτών, και της Γεωμορφολογίας

ΕΘΙΑΓΕ : Εδαφολογική μελέτη 2004.9

Κέφαλος Δημήτριος: “ Αξιοποίηση του Παράλληλου Προγραμματισμού σε γλώσσα C για την υλοποίηση αλγορίθμων για την Διαδικασία του Φασματικού Διαχωρισμού”, Διπλωματική Εργασία, ΣΑΤΜ-ΕΜΠ, Αθήνα, 2014

Παναγοπούλου Αικατερίνη: “ Βιογεωχημική Μελέτη Του Φυτού *Origanum Majorana* Με Στόχο την Προστασία της Δημόσιας Υγείας” Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών Τμήμα Γεωλογίας ΠΑΤΡΑ, 2011

## 7 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### ΠΙΝΑΚΕΣ ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΤΟΥ ΕΘΙΑΓΕ (ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2011)

ΠΙΝΑΚΑΣ 1

Sample	M.C.	Clay	Silt	Sand	pH	Ec	CaCO <sub>3</sub>	SOC	NO <sub>3</sub>	P	K	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	CEC	B	Fe	Zn	Mn	Cu	Cr	Fe <sub>1</sub>
41	L	18.4	37.6	44	7.43	3.12	3.1	1.19	511.05	133.71	60	11.25	0.06	21.35	1.46	null	0.64	109.71	1.07	4.77	10.28	<0,01	2298.7
47	C	40.4	35.6	24	7.5	2.87	6.6	2.19	422.03	122.93	238	2.73	1.59	45.26	6.22	null	null	157.95	2.24	16.98	13.01	0.02	348.8
52	SiL	18.4	57.6	24	7.53	1.35	5.3	1.81	483.16	80.93	204	2.95	0.75	11.03	5.31	null	null	82.24	2.12	9.37	11.82	<0,01	1433.8
53	CL	32.4	35.6	32	7.65	0.59	4.4	1.83	541.61	63.76	133	2.99	0.7	7.99	3.19	null	null	66.91	0.96	6.24	12.9	<0,01	3457
63	L	14.4	49.6	36	7.61	1.77	5.3	1.07	624.2	60.91	62	2.42	0.52	43.22	2.36	16.78	0.71	58.87	0.87	10.07	8.79	<0,01	1610.2
68	L	18.8	42	39.2	7.72	1.5	6.2	1.23	471.36	66.93	71	2.48	0.39	14.8	1.79	null	null	67.68	1.08	9.3	6.7	<0,01	973.96
78	L	18.8	40	41.2	6.92	0.32	0.9	0.59	457.42	68.33	79	1.19	0.7	6.32	2.06	null	null	14.12	0.66	13.37	1.52	0.02	4283.2
105	L	12.8	46	41.2	7.51	2.11	4.4	1.91	836.01	53.33	70	2.92	0.71	19.19	1.93	null	null	48.76	1.36	7.53	6.98	<0,01	4046.3
122	L	18.8	46	35.2	7.47	3.82	4.8	1.96	441.33	73.94	168	2.71	0.6	40.47	4.79	null	1.23	143.93	1.49	19.94	14.19	0.02	4723.7
127	L	14.8	48	37.2	7.3	9.18	5.3	1.92	472.97	96.08	179	2.9	0.45	50.65	4.94	15.66	null	101.12	3.31	15.77	15.91	<0,01	1598.25
143	CL	30.8	36	33.2	7.5	1.29	1.3	3.42	528.21	76.32	202	2.6	1	13.2	5.04	null	null	113.75	1.82	10.61	14.37	<0,01	6387.3
173	LS	4.8	20	75.2	7.64	0.59	1.3	0.65	528.74	52.24	17	1.21	0.2	9.08	0.48	null	null	27.41	2.99	1.2	2.71	0.02	6058.5
185	CL	32.8	32	35.2	7.67	0.7	4.8	2.4	581.83	82.88	211	3.54	1.04	10.7	5.6	null	0.92	75.93	2.14	9.34	13.02	0.01	2239.6
186	CL	38.8	30	31.2	7.57	1.35	4	3.19	487.99	85.94	247	3.56	0.84	16.83	5.82	null	null	101.73	3.43	15.35	23.72	<0,01	2792.3
193	SCL	32.8	10	57.2	7.61	1.28	3.1	0.99	533.03	57.69	78	2.44	0.26	7.84	1.68	null	null	44.16	1.54	7.31	8.82	0.01	3066.1
199	CL	32.8	36	31.2	7.6	1.56	6.2	2.22	461.71	74.21	217	3.59	0.98	22.97	5.67	null	null	85.54	1.29	14.38	13.47	0.02	546.57
337	S	0.8	12	87.2	7.52	0.45	1.8	0.67	474.05	61.2	59	1.19	0.21	4.3	1.58	7.33	0.2	3.95	3.62	3.44	0.32	<0,01	3634.7
371	SL	12.8	28	59.2	7.67	1.71	7.9	0.75	802.23	64.54	84	2.7	0.44	6.73	2.26	null	null	5.66	2.87	8.73	1.1	0.02	687.38
373	CL	30.8	32	37.2	7.8	0.27	7.9	1.16	461.71	60.94	160	4.01	0.77	9.16	4.33	null	null	11.14	1.16	8.82	2.76	<0,01	362.04
386	SL	12.8	24	63.2	7.14	0.53	0.9	0.86	532.5	62.78	56	1.72	0.38	5.13	1.41	null	null	14.22	1.43	11.96	0.87	<0,01	3481.2

Εικόνα 7-1: Εδαφολογικές αναλύσεις ΕΘΙΑΓΕ



## ΠΙΝΑΚΑΣ 2

Sample	M.C.	Clay	Silt	Sand	ph	Ec	CaCo3	SOC	NO3	P	K	Ca2+	Mg2+	Na+	K+	CEC	B	Fe	Zn	Mn	Cu	Cr	Fe_1
391	SL	6.8	32	61.2	7.44	0.98	2.2	0.51	772.74	58.3	44	1.93	0.41	5.24	1.27	11.36	0.35	9.66	1.38	6.76	1.5	0.01	2809.7
483	SL	8.8	12	79.2	5.88	0.5	0	0.6	572.18	62.9	95	0.63	0.44	4.78	2.53	null	null	40.96	2.06	12.85	1.04	0.03	3655.1
501	CL	28.8	40	31.2	7.61	0.77	4	1.6	463.86	59.01	123	3.14	0.81	9.15	2.9	null	null	97.17	1.71	12.41	10.31	0.02	3105.7
502	CL	30.8	40	29.2	7.6	0.81	5.3	1.74	440.26	72.97	186	3.48	0.62	9.29	5.34	null	null	114.06	1.46	11.02	14.26	<0,01	2033.7
515	C	42.8	32	25.2	7.68	0.79	6.2	2.06	583.44	80.91	328	3.4	0.33	0.76	0.73	12.48	0.78	68.19	3.69	14.38	15.47	<0,01	1454
516	L	18.8	42	39.2	7.5	8.8	6.6	2.52	527.67	48.93	232	2.8	0.51	7.25	0.56	null	null	123.67	3.09	20.08	15.1	0.02	1510.1
519	CL	36.8	40	23.2	7.64	2.62	4.8	2.97	500.86	50.98	274	3.2	0.23	3.31	0.64	null	null	91.86	3.62	12.74	13.14	<0,01	2885.6
527	SIL	18.8	52	29.2	7.69	3.41	6.2	1.31	508.9	33.24	104	2.3	0.56	2.17	0.22	null	null	39.95	1.67	9.09	11.44	0.02	780.82
562	CL	36.8	28	35.2	7.71	0.97	5.7	3.93	503	67.23	285	4	0.13	0.78	0.62	10.89	0.59	66.9	3.99	8.65	10.22	<0,01	1350.9
582	CL	38.8	38	23.2	7.76	1.01	6.2	1.64	1157.76	51.9	179	2.99	0.75	0.53	0.43	null	null	21.79	0.92	5.17	4.35	<0,01	308.05
590	CL	38.8	34	27.2	7.63	1.84	5.7	2.12	514.26	86.12	319	3.16	0.54	0.76	0.67	null	null	62.77	1.29	7.1	6.8	<0,01	639.97
600	CL	34.8	36	29.2	7.74	0.8	6.2	3.82	566.82	117.61	387	3.15	0.55	0.62	0.83	14.21	null	123.65	3.73	8.95	8.64	<0,01	1445.2
606	CL	32.8	38	29.2	7.71	1.24	7	2.08	482.09	47.63	188	3.17	0.23	0.81	0.43	null	0.74	66.63	2.86	10.46	8.67	0.01	287.31
614?	L	22.8	36	41.2	7.78	0.58	7	1.76	518.02	50.61	319	2.55	0.32	0.61	0.31	null	null	45.69	1.71	5.56	6.96	<0,01	693.27
630	L	18.8	40	41.2	7.71	1.54	5.7	1.57	685.33	56.38	139	2.2	0.76	1	0.29	null	null	20.36	1.82	4.98	3.01	<0,01	1285.7
662	SiCL	28.4	54	17.6	7.98	0.48	4.8	1.44	588.8	51.42	75	3.1	0.52	0.77	0.2	null	null	21.28	0.63	7.31	4.62	<0,01	462.57
665	CL	38.4	34	27.6	7.91	0.47	4.4	2.11	548.05	89.01	168	3.2	1.29	1.24	0.42	null	0.79	48.25	1.04	12.53	7.62	<0,01	1371.7
666	C	40.4	28	31.6	7.69	1.02	3.5	3.2	520.7	83.56	420	3.48	0.81	1.16	0.58	13.56	null	70.39	2.6	12.99	9.92	<0,01	4339.5

*Εικόνα 7-2:Εδαφολογικές αναλύσεις ΕΘΙΑΓΕ*

### ΠΙΝΑΚΑΣ 3

Sample	M.C.	Clay	Silt	Sand	ph	Ec	CaCo3	SOC	NO3	P	K	Ca2+	Mg2+	Na+	K+	CEC	B	Fe	Zn	Mn	Cu	Cr	Fe_1
667	CL	38.4	26	35.6	7.63	0.72	3.5	2.81	718.58	77.79	250	3	0.8	0.85	0.63	null	null	66.04	1.18	6.73	12.11	<0,01	3094.6
668	CL	34.4	34	31.6	7.62	0.57	1.3	2.13	575.93	76.62	161	1.8	0.9	0.76	0.4	9.31	null	47.77	0.57	7.66	6.53	<0,01	5572.4
669	C	40.4	26	33.6	7.75	0.52	2.2	2.03	714.29	116.07	189	3.58	0.62	0.8	0.48	null	0.93	40	0.74	7.22	6.11	<0,01	3748
670	CL	36.4	22	41.6	7.55	0.99	1.3	2.89	640.82	102.94	175	3.7	0.56	0.65	0.47	null	null	43.65	1.81	11.02	6.24	0.01	2943.4
676	L	26.4	44	29.6	7.79	0.69	5.3	1.97	435.97	133.41	149	3	0.14	0.52	0.29	null	null	58.58	2.73	11.63	6.41	0.02	1778.5
677	L	24.4	44	31.6	7.72	0.63	10.6	2.51	537.32	112.32	155	3.2	0.28	0.55	0.37	null	null	45.19	1.21	8.58	7.25	<0,01	249.86
784	CL	34.4	26	39.6	7.79	0.29	7	1.61	604.89	38.35	293	3.6	0.28	0.83	0.58	null	0.58	9.55	0.8	9.14	2.69	<0,01	422.23
835	L	22.4	30	47.6	6.35	2.28	0	0.9	792.04	64.85	183	1.3	0.6	0.43	0.25	24.6	null	21.43	1.97	19.45	2.06	<0,01	4547.8
848	L	22.4	32	45.6	7.07	0.22	1.3	1.06	415.59	49.72	213	1.5	0.55	0.36	0.28	null	null	11.34	0.68	11.8	1.47	<0,01	4760.6
852	SL	16.4	26	57.6	7.76	0.29	1.3	1.22	450.99	55.29	75	2.4	0.5	0.62	0.18	null	null	5.16	0.34	6.41	0.95	<0,01	3790.1
874	L	24.4	34	41.6	6.96	0.38	0.4	0.98	464.39	47.96	328	1.87	0.43	0.64	0.17	null	0.39	9.3	0.6	8.19	1.34	<0,01	4125
894	L	22.4	40	37.6	7.19	0.29	0.4	0.87	490.13	44.13	232	1.61	0.21	0.92	0.18	null	null	17.39	1.24	11.99	1.7	<0,01	4198.2
895	L	26.4	36	37.6	7.09	0.26	0.9	0.84	438.65	36.59	274	1.56	0.61	0.75	0.18	null	null	12.2	1.95	10.6	1.56	<0,01	4340.7
896	L	22.4	40	37.6	7.1	0.37	0.9	0.66	432.75	50.39	104	1.47	0.48	1.12	0.22	null	null	15.45	1.51	13.69	1.56	0.01	5957.8
914	L	20.4	34	45.6	7.68	0.56	1.8	1.29	476.73	36.44	285	2.71	0.42	0.63	0.37	null	0.81	7.27	1.65	6.82	1.45	<0,01	3560
920	L	20.4	30	49.6	7.56	0.27	0.4	0.95	485.84	51.65	179	2.58	0.67	0.75	0.17	9.12	null	5.68	0.81	6.81	1.28	<0,01	4360.6
934	SCL	24.4	26	49.6	7.1	0.57	0.4	1.04	508.9	56.35	319	2.49	0.74	0.76	0.23	null	null	8.94	0.91	9.34	1.36	<0,01	4553.5
977	CL	30.4	26	43.6	6.92	0.37	0.9	1.38	501.93	40.46	387	3	0.75	0.74	0.33	null	null	11.81	1.54	16.61	1.78	0.03	3702.2
996	L	20.4	28	51.6	7.66	0.3	25.1	2.07	471.9	40.01	188	3.47	0.63	0.64	0.23	null	0.73	9.37	1.37	10.57	1.32	<0,01	135.36
1014	L	18.4	36	45.6	7.37	0.36	0.4	0.69	486.38	39.8	319	1.54	0.56	0.83	0.19	null	null	4.3	1.54	3.42	0.88	<0,01	5705.6

Εικόνα 7-3: Εδαφολογικές αναλύσεις ΕΘΙΑΓΕ

#### ΠΙΝΑΚΑΣ 4

Sample	M.C.	Clay	Silt	Sand	ph	Ec	CaCo3	SOC	NO3	P	K	Ca2+	Mg2+	Na+	K+	CEC	B	Fe	Zn	Mn	Cu	Cr	Fe_1
A01	SCL	20.4	24	55.6	7.66	0.31	10.1	1.57	481.55	32.03	139	3.49	0.25	0.59	0.38	11.24	null	6.55	1.67	4.56	1.21	<0,01	318.44
A02	SCL	22.4	20	57.6	7.53	0.38	0.4	1.76	537.86	42.83	75	3.17	0.3	0.7	0.24	null	null	5.39	1.93	5.71	0.94	<0,01	3373.9
A03	SL	18.4	20	61.6	7.73	0.3	13.6	1.22	479.41	33.06	168	3.27	0.36	0.55	0.14	null	0.49	3.01	1.53	2.6	0.55	0.01	60.77
A04	SL	12.4	20	67.6	7.45	0.55	1.3	2.67	427.93	40.18	420	2.91	0.3	0.73	0.16	null	null	4.57	2.16	6.71	0.95	0.02	2315.9
A05	SCL	28.4	16	55.6	7.25	0.31	0.9	0.72	460.1	44.87	250	2.02	0.58	0.67	0.15	null	null	9.17	1.71	3.54	0.64	<0,01	4758.6
A06	SL	18.4	26	55.6	7.68	0.32	1.3	1.82	477.8	45.3	161	3	0.61	0.63	0.27	null	null	6.47	1.32	7.18	1.36	<0,01	2572.1
A07	CL	32.4	28	39.6	7.8	0.31	45.8	1.09	482.09	45.25	189	3.15	0.25	0.48	0.13	null	0.44	3.37	0.51	3.14	0.72	0.02	36.41
A08	SCL	24.4	25.2	50.4	7.73	0.35	21.1	1.88	542.15	47.91	175	3.78	0.43	0.63	0.28	null	null	5.32	2.01	5.68	1.24	<0,01	43.63
A09	SCL	20.4	23.2	56.4	7.66	0.38	1.3	1.4	474.58	35.59	149	3.94	0.71	0.78	0.36	11.45	null	7.11	1.43	5.37	1.61	<0,01	1600.7
A10	SL	18.4	25.2	56.4	7.73	0.29	7	1.46	482.63	45.19	155	3.86	0.84	0.62	0.3	null	null	8.25	2.09	8.52	1.37	<0,01	301.62
A11	SL	18.4	25.2	56.4	7.67	0.33	18.9	3.33	580.22	43.93	293	4.07	0.48	0.57	0.45	null	0.71	5.64	1.53	6.29	1.37	<0,01	48.78
A12	SCL	22.4	25.2	52.4	7.77	0.26	22.4	2.14	499.79	34.94	183	4.06	0.14	0.62	0.26	null	null	4.44	1.03	4.77	1.34	<0,01	54.09
A13	L	24.4	27.2	48.4	7.69	0.32	35.2	2.97	567.89	63.53	213	3.23	0.72	0.5	0.64	null	null	5.11	1.16	5.19	1.03	<0,01	26.53
A14	CL	28.4	37.2	34.4	7.65	0.43	72.2	1.86	566.82	59.16	75	2.86	0.23	0.43	0.36	null	null	5.37	2.99	8.45	1.16	<0,01	902.56
A15	SL	12.4	17.2	70.4	7.32	1.15	4.8	1.01	897.15	23.07	74	2.97	0.81	0.46	0.19	null	0.29	5.83	0.81	8.41	0.53	<0,01	841.89
A16	L	20.4	31.2	48.4	7.65	0.33	18	1.4	443.48	18.02	163	3.57	0.55	0.39	0.32	null	null	5.71	0.84	11.84	0.98	0.01	46.74
A17	SL	8.4	13.2	78.4	7.34	0.48	0.4	0.61	494.42	56.21	70	0.99	1.45	0.3	0.17	null	null	9.55	1	11.21	0.68	0.02	3580.9
A18	SL	8.4	13.2	78.4	7.07	0.45	0.4	0.62	435.97	51.98	80	0.83	0.23	0.35	0.2	null	null	11.74	3.71	16.64	1.27	0.04	4397.4
A19	SL	12.4	9.2	78.4	7.12	0.36	0.4	0.49	423.64	50.59	60	0.92	0.35	0.35	0.18	11.52	0.39	20.07	1.79	15.69	1.04	0.02	5115
A20	LS	6.4	11.2	82.4	4.78	0.24	0	0.6	439.73	43.35	43	0.59	0.14	0.3	0.12	null	null	57.98	0.94	29.55	0.97	0.01	4658.1

*Εικόνα 7-4: Εδαφολογικές αναλύσεις ΕΘΙΑΓΕ*

## ΠΙΝΑΚΑΣ 5

Sample	M.C.	Clay	Silt	Sand	ph	Ec	CaCO <sub>3</sub>	SOC	NO <sub>3</sub>	P	K	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	CEC	B	Fe	Zn	Mn	Cu	Cr	Fe_1
A20	LS	6.4	11.2	82.4	4.78	0.24	0	0.6	439.73	43.35	43	0.59	0.14	0.3	0.12	null	null	57.98	0.94	29.55	0.97	0.01	4658.1
A21	LS	6.4	11.2	82.4	6.8	0.47	0	1.98	855.86	276.02	555	0.94	0.19	0.93	1.57	null	null	51.9	5.93	33.26	2.18	0.04	4952.3
A22	LS	6.4	11.2	82.4	4.63	0.23	0	0.67	407.55	38.38	49	0.52	0.08	0.35	0.14	null	null	86.83	1.9	47.36	1.21	0.1	3285.6
A23	SL	10.4	9.6	80	6.95	0.37	0.4	0.73	490.67	39.61	75	0.85	0.26	0.32	0.15	null	0.5	10.95	2.69	10.33	1.36	0.03	3739.9
A24	S	2.4	11.6	86	7.82	0.29	2.2	0.4	420.42	24.66	26	2.27	0.35	0.39	0.13	7.72	null	5.18	0.56	6.97	0.39	0.11	2298.2
A25	SL	14.4	25.6	60	7.66	0.44	0.4	1.27	463.32	30.46	77	2.79	0.56	0.37	0.2	null	null	13.81	1.3	16.26	2.81	0.04	3102.3
A30	L	8.4	47.6	44	7.79	0.38	7	0.77	475.12	31.66	66	2.98	0.44	0.4	0.17	null	null	8.57	0.84	11.68	1.82	0.03	410.82
A31	CL	28.4	41.6	30	7.72	0.41	4.4	1.36	575.93	35.74	155	3.73	0.47	0.89	0.41	null	1.03	24.17	0.79	15.63	4.31	0.01	639.35
A33	SL	16.4	25.6	58	7.69	65.04	7.9	0.84	463.86	31.78	602	4.14	0.84	null	1.27	null	null	33.39	1.06	4.5	1.55	0.02	387.27
A34	L	16.4	41.6	42	7.58	30.67	10.6	3.28	877.31	81.18	597	3.65	0.98	null	1.51	null	null	218.12	2.38	51.07	12.37	0.06	153.58
A35	SL	2.4	27.6	70	8.91	4.06	3.5	0.64	710.53	44.94	158	2.19	0.12	4.6	0.23	null	null	13.45	1.03	7.7	1.89	0.04	1592.5
A36	CL	32.4	40	27.6	7.69	1.68	6.6	2.1	490.67	65.96	250	3.52	0.59	1.79	0.46	null	1.04	193.12	1.85	29.28	18.05	0.05	336.29
A37	SL	6.4	34	59.6	7.73	62.54	2.2	0.99	470.83	26.97	666	2.31	2.01	null	1.09	null	null	33.18	1.71	6.7	2.71	0.01	2039.9
A38	SL	4.4	38	57.6	7.82	57.89	4.8	0.82	459.57	19.32	741	3.54	0.84	null	1.33	null	null	59.93	2.61	7.17	6.03	0.02	1859.2
A39	CL	32.4	36	31.6	7.8	1.25	4.8	2.1	452.6	40.02	332	3.74	0.44	2.17	0.6	24.44	null	120.81	2.5	31.58	13.53	0.06	1022.3
A40	SIL	8.4	60	31.6	7.53	48.6	6.6	2.29	755.04	82.96	742	3.69	1.55	null	1.19	null	3.17	24.49	8.33	17.75	7.02	0.03	468.24
A41	CL	36.4	42	21.6	7.67	34.8	4.8	1.95	526.06	93.37	953	3.14	1.43	null	1.54	null	null	67.2	7.23	27.08	11.48	0.04	339.52
A32	CL	34.4	38	27.6	7.91	2.48	6.2	2.34	423.64	45.88	288	3.43	0.81	1.5	0.49	null	null	191.19	6.28	27.67	19.55	0.04	269.87

*Εικόνα 7-5: Εδαφολογικές αναλύσεις ΕΘΙΑΓΕ*