

GeoSat ReseArch
IMS-FORTH

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	3
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	5
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	7
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	8
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ.....	10
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	12
2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	15
3. ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	15
4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	19
4.1 Επίγειες φασματοραδιομετρικές παρατηρήσεις.....	19
4.2 Επεξεργασία δωρεάν δορυφορικών εικόνων.....	22
4.2.1 Εικόνες GeoEye's OrbView-3.....	22
4.2.2 Εικόνες από Google Earth.....	24
4.3 Επεξεργασία εικόνων υψηλής ανάλυσης.....	25
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	28
5.1 Επίγειες φασματοραδιομετρικές παρατηρήσεις.....	28
5.1.1 Φασματικός χώρος.....	28
5.1.2 Φασματικές υπογραφές.....	31
5.1.3 Δείκτες βλάστησης.....	32
5.1.4 Ανάλυση συσχέτισης.....	34
5.1.5 Ανάλυση Διαχωριστικότητας.....	36
5.1.6 Συζήτηση αποτελεσμάτων.....	38
5.2 Επεξεργασία δωρεάν δορυφορικών εικόνων.....	42
5.2.1 Εικόνες GeoEye's OrbView-3.....	42
5.2.2 Εικόνες από Google Earth.....	44
5.2.3 Συζήτηση αποτελεσμάτων.....	46
5.3 Επεξεργασία εικόνων υψηλής ανάλυσης.....	47
5.3.1 Δείκτες NDVI και OOWI.....	47
5.3.2 Εφαρμογή ανάλυσης PCA και IHS μετασχηματισμού.....	49
5.3.3 Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση.....	52

5.3.4	Ανάλυση εικόνας ραντάρ COSMO-SkyMed και υπερφασματικής εικόνας EO1-ALI.....	54
5.3.5	Συζήτηση αποτελεσμάτων	58
6.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	59
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	60

GeoSat Research
IMS-FORTH

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Φωτογραφία κατά τη διάρκεια καθαρισμού του ελαιοκάρπου πριν την παραγωγή του ελαιολάδου.....	13
Εικόνα 2: Η μέθοδος των ανοικτών δεξαμενών εξάτμισης αποβλήτων ελαιουργείων επικράτησε λόγω του χαμηλού κόστους και της ευκολίας εφαρμογής για τις οικογενειακές επιχειρήσεις.....	14
Εικόνα 3: Το νησί της Κρήτης που επιλέχθηκε ως περιοχή μελέτης.....	15
Εικόνα 4: Υγρά Απόβλητα Ελαιουργείων τα οποία εμφανίζονται ως μαύρος στόχος στο έγχρωμο σύνθετο RGB (πάνω) και στο ψευδεχρωμο σύνθετο NIR-R-G κάτω. (a) GeoEye 1 (16/07/2013); (b) GeoEye 1 (17/05/2014); (c) QuickBird (21/08/2013); (d) WorldView-2 (05/03/2013); (e) Pleiades (15/07/2014) and (f – h) SPOT 6 (07/10/2014).....	17
Εικόνα 5: Δορυφορική εικόνα ραντάρ e-GEOS COSMO-SkyMed.....	18
Εικόνα 6: Υγρά Απόβλητα Ελαιουργείων όπως φαίνεται μέσα από το Google Earth σε διαφορετικές κλίμακες αναπαράστασης.	18
Εικόνα 7: Δείγμα φασματικών υπογραφών αμέσως μετά την λήψη των μετρήσεων. Πάνω η μέτρηση της εισερχόμενης ακτινοβολίας στην βαθμονομημένη επιφάνεια, στο μέσο η μέτρηση της ακτινοβολίας στους διάφορους στόχους και κάτω το διάγραμμα ανακλαστικότητας.....	20
Εικόνα 8: Φασματική απόκριση δορυφόρου GeoEye-1.....	21
Εικόνα 9: Ο φασματικός χώρος με βάση τις επίγειες μετρήσεις με το φασματοραδιόμετρο (προσομοίωση στο δορυφόρο GeoEye-1).....	30
Εικόνα 10: Μέση φασματικές υπογραφές ως απομίμηση του οι GeoEye-1 αισθητήρα με την τυπική απόκλιση.....	31
Εικόνα 11: Ο συντελεστής συσχέτισης αποτελεσμάτων στην περιοχή των 450 nm - 900 nm (1-R).....	35
Εικόνα 12: Δύο παραδείγματα από τον εντοπισμό ΥΑΕ περιοχών στην Κρήτη, σε GeoEye-1 εικόνα (αριστερά) NIR-R-G ψευδο χρωματική σύνθεση. Το δικαίωμα στην ίδια περιοχή μετά την εφαρμογή του κανονικοποιημένου δείκτη ΥΑΕ.....	39
Εικόνα 13: Εφαρμογή του δείκτη OOMW όπου κυκλώνεται η περιοχή ΥΑΕ.	40
Εικόνα 14: Εφαρμογή του δείκτη OOMW όπου σημειώνεται με πράσινο το εύρος 0,20-0,50 για πιθανές περιοχές με ΥΑΕ (πάνω). Η ίδια περιοχή μετά από εφαρμογή μάσκας < 5% ανακλαστικότητας στο μπλε κανάλι.	41
Εικόνα 15: (a) Ορθοδιόρθωση της εικόνας GeoEye OrbView-1 (b) αποτελέσματα ταξινόμησης μετά την εφαρμογή του αλγόριθμου SAM. Το κίτρινο χρώμα υποδεικνύει τις υποψήφιες περιοχές που κατατάσσονται ως ΥΑΕ (c-d) Τα αποτελέσματα με βάση τους τοπογραφικούς περιορισμούς (κλίση >20%) ενώ στο τελικό στάδιο, (e) ο εντοπισμός των ΥΑΕ βασίζεται στις γεωμετρικές ιδιότητες. Από τα τελικά αποτελέσματα έχουν προκύψει μόνο τρεις περιοχές όπως φαίνεται και στο τέλος της εικόνας (f).....	43

Εικόνα 16: Ταξινόμηση αποτελεσμάτων για την περιοχή Μιρονικίτας σε τέσσερις διαφορετικές κλίμακες (I-IV: 100, 250, 850 και 2000 μ. πάνω από την περιοχή ΥΑΕ αντίστοιχα. Η σειρά a αντιστοιχεί στην εικόνα της Google Earth, και τα b-f τα αποτελέσματα της MD, ML, Mahalanobis, SAM και SVM ταξινόμησης.	45
Εικόνα 17: ΥΑΕ περιοχές μετά την εφαρμογή του δείκτη βλάστησης NDVI στην (a) GeoEye 1 εικόνα (16/07/2013); (b) GeoEye 1 εικόνα (17/05/2014); (c) QuickBird εικόνα (21/08/2013); (d) WorldView-2 εικόνα (05/03/2013); (e) Pleiades εικόνα (15/07/2014) και (f – h) SPOT 6 εικόνα (07/10/2014).	48
Εικόνα 18: ΥΑΕ περιοχές μετά την εφαρμογή του δείκτη OOWI στην using (a) GeoEye 1 εικόνα (16/07/2013); (b) GeoEye 1 εικόνα (17/05/2014); (c) QuickBird εικόνα (21/08/2013); (d) WorldView-2 εικόνα (05/03/2013); (e) Pleiades εικόνα (15/07/2014) και (f – h) SPOT 6 εικόνα (07/10/2014).	49
Εικόνα 19: Πάνω: Ψευδέχρωμα σύνθετα μετά την εφαρμογή της ανάλυσης PCA (PC1-PC3) χρησιμοποιώντας την (a) GeoEye 1 εικόνα (16/07/2013); (b) GeoEye 1 εικόνα (17/05/2014); (c) QuickBird εικόνα (21/08/2013); (d) WorldView-2 εικόνα (05/03/2013); (e) Pleiades εικόνα (15/07/2014) και (f – h) SPOT 6 εικόνα (07/10/2014). Κάτω: το ίδιο με πάνω με την πρώτη κύρια συνιστώσα.	50
Εικόνα 20: ΥΑΕ περιοχές μετά την εφαρμογή του μετασχηματισμού HIS με βάση την (a-b) WorldView-2 εικόνα (05/03/2013); (c-d) Pleiades εικόνα (15/07/2014); (e-f) SPOT 6 εικόνα (07/10/2014) και (g-h) QuickBird εικόνα (21/08/2013). Εικόνα	51
Εικόνα 21: ΥΑΕ περιοχές μετά την εφαρμογή της μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση (ISODATA) με βάση την WorldView-2 εικόνα (05/03/2013) (αριστερά) και την εικόνα Pleiades (15/07/2014) (δεξιά) για 5 (c-d); 10 (e-f) και 15 (g-h) κλάσεις.	53
Εικόνα 22: ΥΑΕ περιοχές μετά την εφαρμογή του αλγόριθμου LSU στην WorldView-2 εικόνα (05/03/2013) (a) abundance χάρτης για ΥΑΕ; (b) abundance χάρτης για βλάστηση; (c) abundance χάρτης για άσπρο έδαφος και (d) abundance χάρτης για σκούρο έδαφος. Το κόκκινο χρώμα υποδεικνύει μεγαλύτερο ποσοστό για κάθε endmember ενώ το μπλε χαμηλότερο ποσοστό.	54
Εικόνα 23: ΥΑΕ περιοχές χρησιμοποιώντας την εικόνα ραντάρ COSMO-SkyMed.	55
Εικόνα 24: Εφαρμογή μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης στην εικόνα radar με τη μέθοδο ISODATA για διαφορετικό αριθμό κλάσεων (5-15-20). Με κόκκινο σημειώνονται 2 γνωστές θέσεις ΥΑΕ.	55
Εικόνα 25: Έγχρωμα σύνθετα της εικόνας EO1-ALI 9-7-5 και 8-5-3 πριν (πάνω) και μετά (κάτω) τη συγχώνευση των υπερφασματικών καναλιών με το παγχρωματικό κανάλι του ίδιο αισθητήρα.	56
Εικόνα 26: Αποτελέσματα συγχώνευσης εικόνας radar με την υπερφασματική εικόνα EO1-ALI.	57
Εικόνα 27: Εφαρμογή του δείκτη OOMW στην εικόνα ραντάρ - EO1-ALI.	58

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά των δορυφορικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στην τρέχουσα μελέτη	16
Πίνακας 2: Κατάλογος δεικτών βλάστησης	22
Πίνακας 3: Χωρική και φασματική ανάλυση εικόνας EO1-ALI.....	28
Πίνακας 4: Αποτελέσματα σχετικής διαφοράς (%) των δεικτών βλάστησης για τις επτά διαφορετικές ομάδες που εξετάστηκαν στην παρούσα μελέτη α) νωπά απόβλητα από την παραγωγή του ελαιολάδου (ίδια ημέρα παραγωγής), β) στεγνό απόβλητο ελαιολάδου, γ) απόβλητα ελαιολάδου αναμειγμένα με νερό κατά 25%, δ) απόβλητα ελαιολάδου αναμειγμένα με νερό κατά 50%, ε) απόβλητα ελαιολάδου αναμειγμένα με έδαφος κατά 25%, στ) απόβλητα ελαιολάδου αναμειγμένα έδαφος κατά (50%), απόβλητα ελαιολάδου αναμειγμένα έδαφος και νερό κατά 50% και ζ) δείγμα εδάφους	32
Πίνακας 5: Αποτελέσματα διαχωριστικότητας με βάση την Ευκλείδεια απόσταση (πάνω) και ομοιότητας συνημίτονου (κάτω)	37
Πίνακας 6: Kappa coefficient; overall accuracy; producer accuracy και user accuracy για την ταξινόμηση των εικόνων σε τέσσερις διαφορετικές κλίμακες: 100m, 250m, 850M και 2000m.....	45

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η βιομηχανία γύρω από την παραγωγή του ελαιολάδου θεωρείται ως ένας από τους σημαντικότερους τομείς της αγροτικής οικονομίας στην Μεσόγειο. Παρόλα αυτά η διαχείριση των τεράστιων αποβλήτων που προκύπτουν από την επεξεργασία του ελαιολάδου παραμένει ένα σημαντικό περιβαλλοντικό ζήτημα. Η παρούσα τεχνική έκθεση παρουσιάζει τα τελικά αποτελέσματα του προγράμματος ΠΕΦΥΚΑ, που αποσκοπούσε στην παρακολούθηση χώρων διάθεσης αποβλήτων ελαιοτριβείων στην περιοχή της Κρήτης με τη συνδυασμένη χρήση δορυφορικών εικόνων και επίγειων φασματοραδιομέτρων.

Δείγματα επίγειων φασματικών υπογραφών προσομοιωθηκαν με τον υψηλής χωρικής ανάλυσης δορυφορικό δέκτη GeoEye-1, χρησιμοποιώντας την κατάλληλη σχετική απόκριση (φίλτρου Relative Spectral Response, RSR). Η επεξεργασία περιελάμβανε την αξιολόγηση των δειγμάτων με δείκτες βλάστησης καθώς επίσης και αναλύσεις διαχωριστικότητας. Τα τελικά αποτελέσματα έδειξαν ότι τα μήκη κύματος κοντά στα 450 nm και 900 nm είναι τα πιο ευαίσθητα για την καταγραφή των χώρων διάθεσης αποβλήτων από την παραγωγή του ελαιολάδου, και μπορεί να χρησιμοποιηθούν έτσι ώστε να ενισχύσουν τη ανακλαστικότητα που καταγράφεται από τους δορυφορικούς δέκτες.

Παράλληλα δωρεάν διαθέσιμες δορυφορικές εικόνες επεξεργάστηκαν και μελετήθηκαν στο πλαίσιο του προγράμματος. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν οι υψηλής χωρικής ανάλυσης GeoEye και OrbView-3 εικόνες για τον εντοπισμό χώρων διάθεσης αποβλήτων με αυτόματο τρόπο, καθώς επίσης και RGB εικόνες προερχόμενες από το 3D Globe που προσφέρονται από το Google Earth. Τα συνολικά αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι οι τεχνικές τηλεπισκόπησης μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως μια εναλλακτική λύση για την ανίχνευση και παρακολούθηση των χώρων διάθεσης αποβλήτων ελαιοτριβείων ακόμη και σε εικόνες που περιορίζονται στο ορατό μήκος κύματος.

Επίσης έγινε χρήση και επεξεργασία δορυφορικών εικόνων υψηλής χωρικής ανάλυσης που περιλάμβαναν δεδομένα από τους αισθητήρες Pleiades (0.50 m), SPOT 6 (1.5 m), QuickBird (0.60 m), WorldView-2 (0.40 m) and GeoEye 1 (0.40 m). Η έρευνα αφορούσε στην εφαρμογή δεικτών βλάστησης (π.χ. NDVI), αναλύσεις κυρίων συνιστωσών κ.τ.λ. Επιπλέον χρησιμοποιήθηκε ο μετασχηματισμός HIS με πολύ

ενθαρρυντικά αποτελέσματα όσον αφορά την ανίχνευση των περιοχών διάθεσης των αποβλήτων. Αλγόριθμοι ταξινόμησης εικόνας όπως ο αλγόριθμος ISODATA και Linear Spectral Unmixing εφαρμόστηκαν χωρίς την εισαγωγή δεδομένων εκπαίδευσης από τους χρήστες. Τέλος, μια εικόνα ραντάρ από τον COSMO-SkyMed αισθητήρα επεξεργάστηκε μαζί με μία υπερφασματική εικόνα EO1-ALI.

Τα συνολικά αποτελέσματα που έχουν προκύψει, δείχνουν ότι η τηλεπισκόπηση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά, έτσι ώστε να παρακολουθούνται οι χώροι διάθεσης αποβλήτων από την παραγωγή ελαιολάδου, βοηθώντας με αυτό τον τρόπο τους τοπικούς φορείς σε μια αποτελεσματική διαχείριση τους στο σύνολο του προβλήματος.

GeosSat Research
IMS-FORTH

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ

Τα αποτελέσματα από το παρόν έργο έχουν δημοσιευτεί στα πιο κάτω επιστημονικά περιοδικά και συνέδρια:

1. Agapiou A., Papadopoulos N., Sarris A., Uncovering olive mills waste water disposal areas in crete using very high resolution satellite data, The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, (under review)
2. Agapiou A., Papadopoulos N., Sarris A., Discriminant analysis of olive oil mill wastes using spectroradiometers in the visible and near infrared part of the spectrum, European Journal of Remote Sensing, (under review).
3. Agapiou A., Papadopoulos N., Sarris A., Detection of olive oil mill waste (OOMW) disposal areas in the island of Crete using freely distributed high resolution GeoEye's OrbView-3 and Google Earth images, ISPRS International Journal of Geo-Information, (under review).
4. Agapiou A., Papadopoulos N., Sarris A., Building spectral libraries for monitoring olive mill wastewater (OMW) disposal areas, SafeChania 2015: The Knowledge Triangle in the Civil Protection Service, 10-12 June 2015, Chania, Greece.
5. Agapiou A., Papadopoulos N., Sarris A., Olive oil mill wastes: a monitoring approach through space technologies, RSCy 2015, Third International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of Environment' 16-19 March, 2015, Pafos, Cyprus.

GeoSat ReseArch
IMS-FORTH

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το ελαιόλαδο είναι εξαιρετικά σημαντικό σε χώρες της Μεσογείου, όσον αφορά τον πλούτο και την παράδοση αυτών και θεωρείται ως ένας από τους πιο σημαντικούς τομείς της αγροτικής οικονομίας της λεκάνης της Μεσογείου. Μάλιστα η ετήσια παραγωγή ελαιολάδου υπερβαίνει τα 2600×10^3 τόνους. Η διαχείριση των αποβλήτων από τα ελαιοτριβεία παραμένει ένα κρίσιμο και άλυτο πρόβλημα, ιδιαίτερα στις μεσογειακές περιοχές όπου παράγονται τεράστιες ποσότητες έτοιμων αποβλήτων [Dermeche et al. 2013]. Εκτιμάται ότι υπάρχουν περίπου 750 εκατομμύρια ελαιόδεντρα παγκοσμίως, ενώ η πλειοψηφία τους ($\approx 98\%$) βρίσκονται στην περιοχή της Μεσογείου. Η Ελλάδα, Ιταλία και Ισπανία αποτελούν τις τρεις πρώτες χώρες παγκοσμίως όσο αφορά την ποσότητα παραγωγής ελαιολάδου [Asfi et al., 2012; Roig et al., 2006].

Τα απόβλητα μετά την παραγωγή του ελαιολάδου, αποτελούνται κυρίως από νερό (80-83%), οργανικές (15-18%) και ανόργανες ενώσεις (2%). Μολονότι τα απόβλητα μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως φυσικό, χαμηλού κόστους, λίπασμα, είναι μη βιοδιασπώμενα και, συνεπώς, ακατάλληλα για περαιτέρω χρήση ως λίπασμα [Niaounakis και Halvadakis, 2006]. Για παράδειγμα τα φύλλα και τα κλαδιά από τις ελιές μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως ζωοτροφή ή για την παραγωγή λιπασμάτων μετά την ανάμειξη με άλλα κατάλληλα υλικά [Niaounakis and Halvadakis, 2006]. Αν και οι παραγόμενοι όγκοι αποβλήτων εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, όπως την ποικιλία του ελαιόκαρπου, το στάδιο ωριμότητας, το χρόνο αποθήκευσης πριν την ελαιοποίηση, το χρόνο διαχωρισμού του ελαιόλαδου από την ελαιοζύμη, το διαθέσιμο νερό στο ελαιοτριβείο και το κόστος προμήθειάς του, σε γενικές γραμμές για κάθε 100 κιλά ελαιόκαρπου παράγονται 100-120 κιλά υγρών αποβλήτων, με μέση ημερήσια τιμή ανά ελαιουργείο τους 15-20 τόνους [PROSODOL]

Αρκετές μελέτες έχουν δείξει τις αρνητικές συνέπειες αυτών των αποβλήτων στο έδαφος [Paredes et al., 1987] ή σε υδάτινα οικοσυστήματα [Dellagreca et al., 2001]. Εκτός από τα στερεά απόβλητα που παράγονται σε ελαιώνες με το ετήσιο κλάδεμα των ελαιοδένδρων, μια σημαντική ποσότητα των στερεών αποβλήτων παράγονται κατά τη διάρκεια της άλεσης με τη μορφή φύλλων από τις ελιές, όπως επίσης και του πολτού που παραμένει μετά την εξαγωγή ελαιολάδου. Τα υγρά απόβλητα είναι γνωστά στην αγγλοσαξονική βιβλιογραφία ως *olive oil mills' wastes* (OOMW), δεδομένου ότι

σημαντικές ποσότητες νερού προστίθεται κατά τη διάρκεια της άλεσης της ελιάς για την παραγωγή του ελαιολάδου.



Εικόνα 1: Φωτογραφία κατά τη διάρκεια καθαρισμού του ελαιοκάρπου πριν την παραγωγή του ελαιολάδου. Από περιβαλλοντική άποψη αυτά τα απόβλητα αυτά (σημ. OOMW) είναι τα πιο σημαντικά όσον αφορά την ποσότητα και την ποιότητα. Τα Υγρά Απόβλητα Ελαιουργείων (ΥΑΕ), αν και αποτελούν υποπροϊόντα επεξεργασίας του ελαιοκάρπου, συγκαταλέγονται στα κατ' εξοχήν βεβαρημένα από πλευράς ρυπαντικού φορτίου γεωργικά βιομηχανικά απόβλητα, διότι έχουν πάρα πολύ οργανικό φορτίο (Εικόνα 2). Η αποθήκευση των ΥΑΕ σε ανοικτές δεξαμενές εξάτμισης, παρά το μικρό κόστος, παρουσιάζει αρκετά προβλήματα, που εντοπίζονται, κυρίως, στην πιθανότητα μόλυνσης των επιφανειακών και υπογείων υδάτων και στη δημιουργία εστιών μόλυνσης και δυσάρεστων οσμών.

Τα τελευταία χρόνια έγιναν προσπάθειες για την αποτελεσματική και οικολογική διαχείριση των απορριμμάτων αυτών, καθώς και για την συστηματική παρακολούθησή τους. Προκειμένου να αποφευχθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οι οποίες περιλαμβάνουν μόλυνση του εδάφους και της ατμόσφαιρας τα ελαιοτριβεία αναγκάστηκαν να χρησιμοποιήσουν μια ποικιλία νέων τεχνικών και τεχνολογιών. Σε αυτή την κατεύθυνση οι σημερινές ερευνητικές προσπάθειες έχουν προσανατολιστεί κυρίως στην ανάπτυξη αποτελεσματικών και καθαρών τεχνολογιών επεξεργασίας του

ελαιοκάρπου που αφορούν στην χρήση φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών ή και συνδυασμού αυτών [Asfi et al., 2012].



Εικόνα 2: Η μέθοδος των ανοικτών δεξαμενών εξάτμισης αποβλήτων ελαιουργείων επικράτησε λόγω του χαμηλού κόστους και της ευκολίας εφαρμογής για τις οικογενειακές επιχειρήσεις

Σε ορισμένες μεσογειακές χώρες, μη επεξεργασμένα απόβλητα συχνά απορρίπτονται άμεσα σε συστήματα αποχέτευσης και όμβρια ύδατα ή απορρίπτονται σε λίμνες/λιμνοθάλασσες, σε χωμάτινους όγκους κτλ., παρά το γεγονός ότι τέτοιες πρακτικές διαχείρισης δεν επιτρέπονται [Hanifi και El Hadrami, 2009]. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι μέχρι σήμερα δεν υπάρχει κάποια συγκεκριμένη Ευρωπαϊκή νομοθεσία αναφορικά με τρόπο διαχείρισης των αποβλήτων αυτών [Komnitsas et al., 2011].

Οι περιοχές διάθεσης των αποβλήτων είναι γενικά διασκορπισμένες σε πολλές περιοχές με διαφορετικά τοπογραφικά και γεωλογικά χαρακτηριστικά, ενώ ο εντοπισμός τους με επιτόπιες επισκέψεις να είναι δύσκολος και χρονοβόρος. Η ανεξέλεγκτη διάθεση εκτάσεων για την συγκέντρωση αυτών των αποβλήτων σχετίζεται με αρνητικές συνέπειες λόγω της υψηλής τους περιεκτικότητας σε άλατα και σε οργανική ύλη. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι οι περιοχές διάθεσης αυτών των αποβλήτων είναι δύσκολο να ελεγχθούν λόγω και της εποχιακής τους χρήσης καθώς και της υψηλής γεωγραφικής κατανομής.

Εναλλακτικά, η τηλεπισκόπηση φαίνεται να είναι ιδανική τόσο για την ανίχνευση όσο και για την συστηματική παρακολούθηση των χώρων αυτών. Οι δορυφορικές εικόνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν προκειμένου να στηρίξουν τέτοιες ενέργειες και να βοηθήσουν τις τοπικές αρχές να καταγράψουν και να ελέγξουν τους χώρους διάθεσης των αποβλήτων.

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η περιοχή κάλυψης με ελαιόδεντρα σε διαφορετικές περιοχές στην Ελλάδα έχει αυξηθεί, ως αποτέλεσμα της φύτευσης νέων ελαιώνων καλύπτοντας μια περιοχή περίπου 840.000 εκτάρια το 2007 (από 120.000 εκτάρια το 1991). Οι ελαιώνες έχουν επεκταθεί σε πολλές ημι-ορεινές και παράκτιες περιοχές, κυρίως στην Κρήτη και την Πελοπόννησο [Camarsa et al., 2010]. Η Ελλάδα έρχεται τρίτη παγκοσμίως, σχετικά με την παραγωγή ελαιολάδου, ενώ μόνο το νησί της Κρήτης, συμβάλλει περίπου 5% της συνολικής παγκόσμιας παραγωγής ελαιολάδου [Aelxakis et al., 2015].



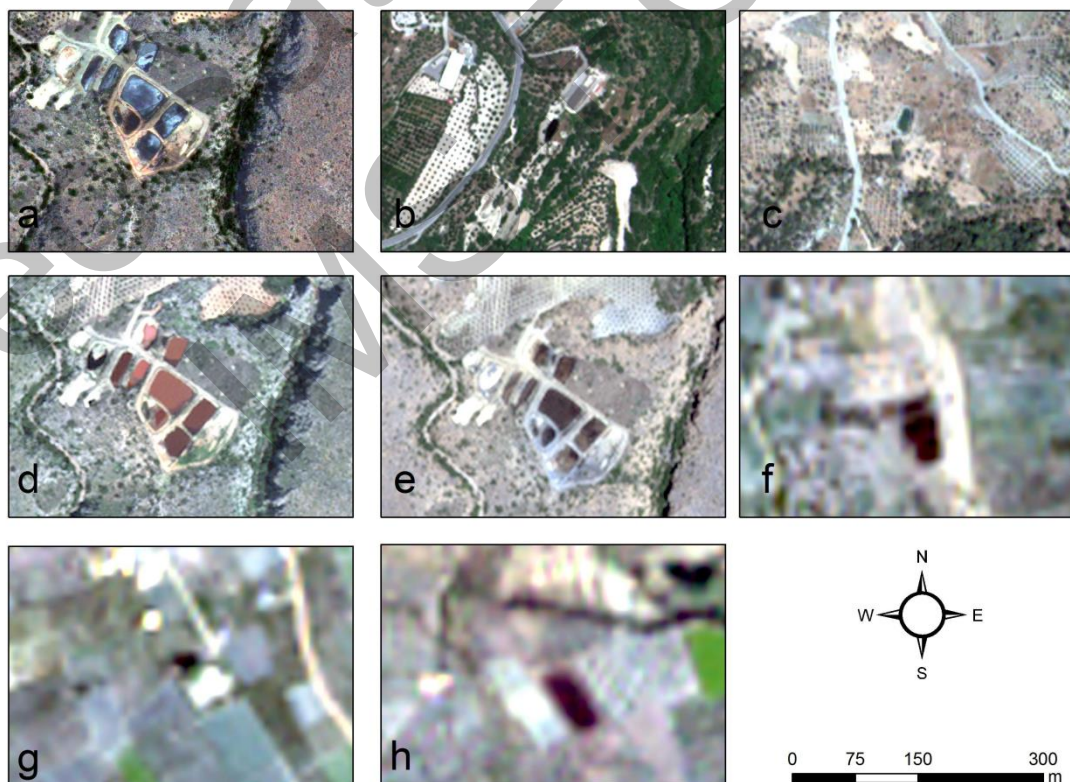
3. ΔΕΔΟΜΕΝΑ

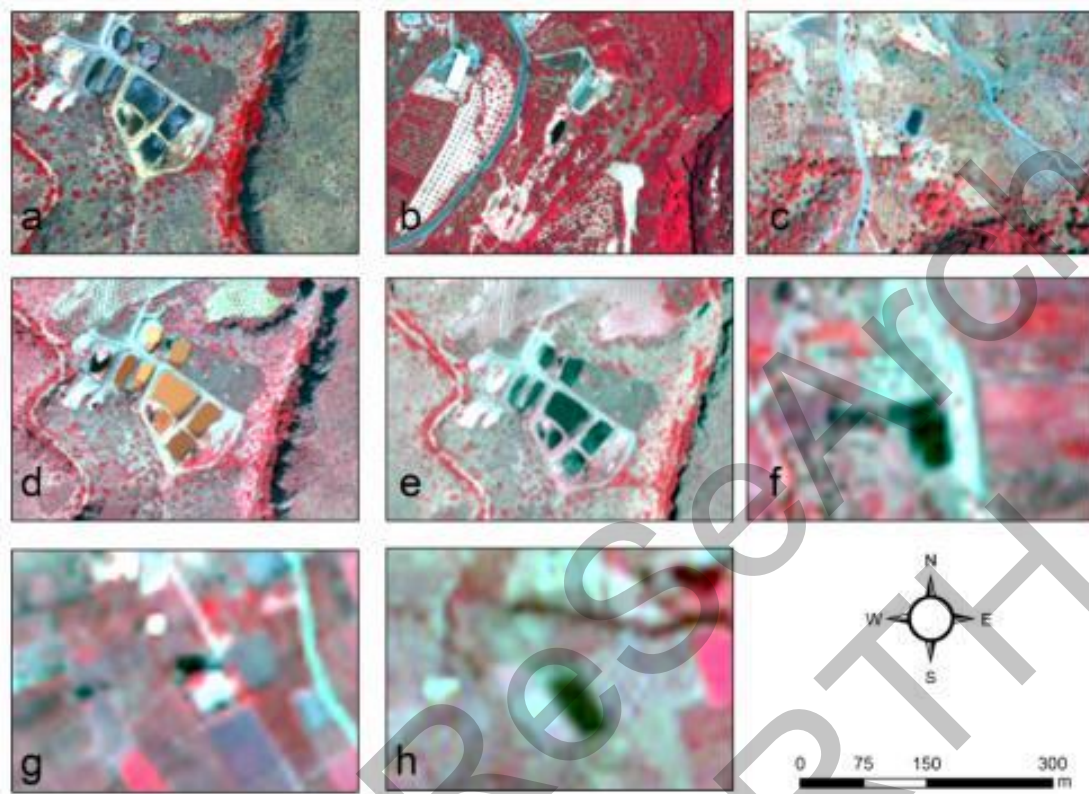
Για τους σκοπούς της παρούσας μελέτης αξιοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες πολύ υψηλής χωρικής και φασματικής ανάλυσης. Η χωρική ανάλυση των εικόνων κυμαίνεται από 0,4 m - 1,5 m. Οι εικόνες αυτές περιλαμβάνουν δεδομένα από τους

αισθητήρες Pleiades (0.50 m), SPOT 6 (1.5 m), QuickBird (0.60 m), WorldView-2 (0.40 m) and GeoEye 1 (0.40 m). Η φασματική ανάλυση των εικόνων ήταν περιορισμένη στο εύρος του ορατού (RGB) και κοντινού υπέρυθρου (NIR) μέρους του φάσματος. Οι εικόνες έχουν αποκτηθεί κατά τη διάρκεια της τελευταίας διετίας (2013-2015). Ο πίνακας 1 παρέχει τις λεπτομέρειες για τη δορυφορική ομάδα δεδομένων, ενώ η Εικόνα 4 παρουσιάζει τις περιοχές ΥΑΕ στο έγχρωμο σύνθετο RGB και στο ψευδόχρωμο σύνθετο NIR-R-G..

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά των δορυφορικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στην τρέχουσα μελέτη

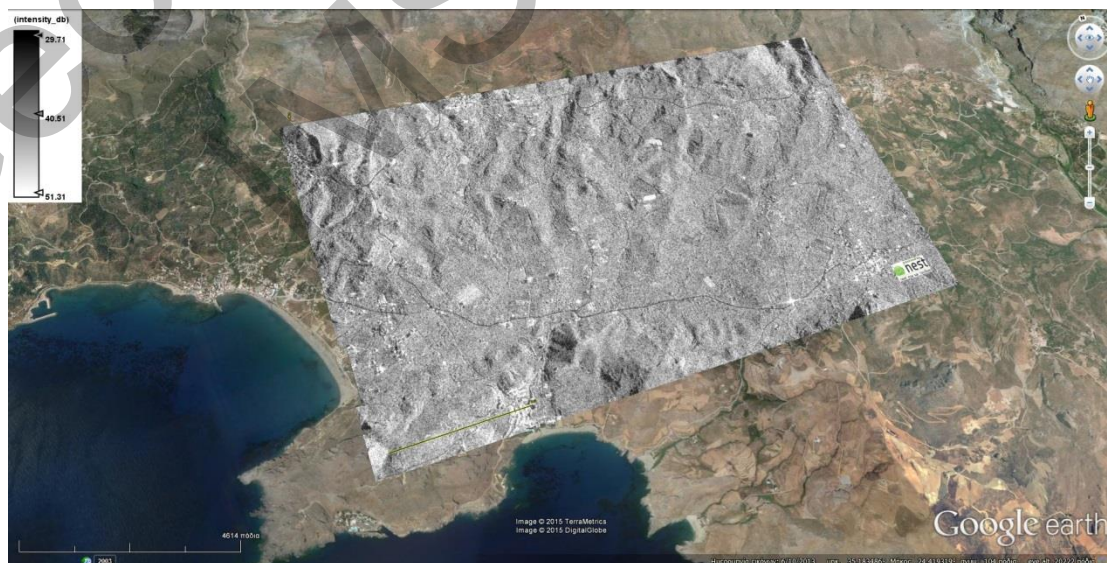
α/α	Αισθητήρας	Ημερομηνία λήψης	Χωρική ανάλυση* (*pansharpen)	Μήκος κύματος
1	GeoEye 1	16 Ιουλίου 2013,	0,4 m	RGB -NIR
2	GeoEye 1	17 Μαΐου 2014	0,4 m	RGB -NIR
3	QuickBird	21 Αυγούστου 2013	0,6 m	RGB -NIR
4	WorldView- 2	05 Μαρτίου 2013	0,4 m	RGB -NIR
5	SPOT 6	07 Οκτωβρίου 2014	1,5 m	RGB -NIR
6	Pleiades	15 Ιουλίου 2014	0,5 m	RGB -NIR

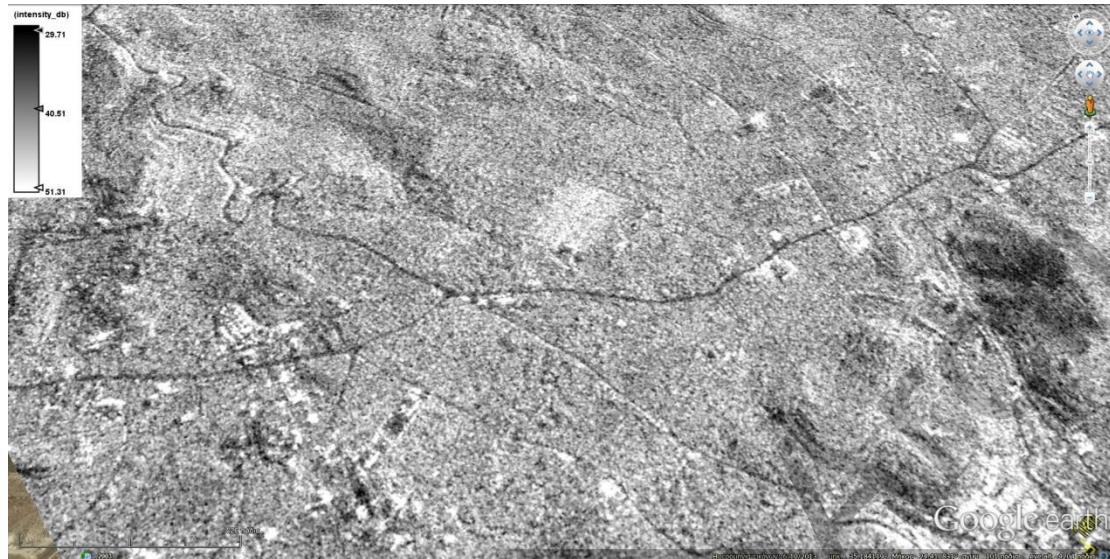




Εικόνα 4: Υγρά Απόβλητα Ελαιουργείων τα οποία εμφανίζονται ως μαύρος στόχος στο έγχρωμο σύνθετο RGB (πάνω) και στο ψευδεχρωμο σύνθετο NIR-R-G κάτω. (a) GeoEye 1 (16/07/2013); (b) GeoEye 1 (17/05/2014); (c) QuickBird (21/08/2013); (d) WorldView-2 (05/03/2013); (e) Pleiades (15/07/2014) and (f – h) SPOT 6 (07/10/2014).

Επιπλέον, μια υψηλή ανάλυσης εικόνα τύπου radar e-GEOS COSMO-SkyMed επεξεργάστηκε ως μια πρώτη προσπάθεια να διερευνηθούν οι δυνατότητες τέτοιων εικόνων για την χαρτογράφηση δεξαμενών αποβλήτων (Εικόνα 5).





Εικόνα 5: Δορυφορική εικόνα ραντάρ e-GEOS COSMO-SkyMed

Παράλληλα αξιοποιήθηκαν δωρεάν δορυφορικές εικόνες από το αρχείο του Google Earth. Σε μια προσπάθεια εντοπισμού της βέλτιστης κλίμακας για την χαρτογράφηση χώρων ΥΑΕ αξιολογήθηκαν διαφορετικές κλίμακες των εικόνων Google Earth (Εικόνα 6). Τέλος χρησιμοποιήθηκαν δωρεάν πολυφασματικές εικόνες GeoEye OrbView-3 ώστε να εντοπιστούν χώροι διάθεσης αποβλήτων με έναν αυτοματοποιημένο τρόπο.



Εικόνα 6: Υγρά Απόβλητα Ελαιουργείων όπως φαίνεται μέσα από το Google Earth σε διαφορετικές κλίμακες αναπαράστασης.

Πριν την επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων που προαναφέρθηκε, έγινε συλλογή επιτόπιων δειγμάτων από χώρους διάθεσης αποβλήτων ελαιολάδου. Τα δείγματα αυτά εν συνεχεία επεξεργαστήκαν με τη χρήση επίγειου φασματοραδιομέτρου (GER1500)

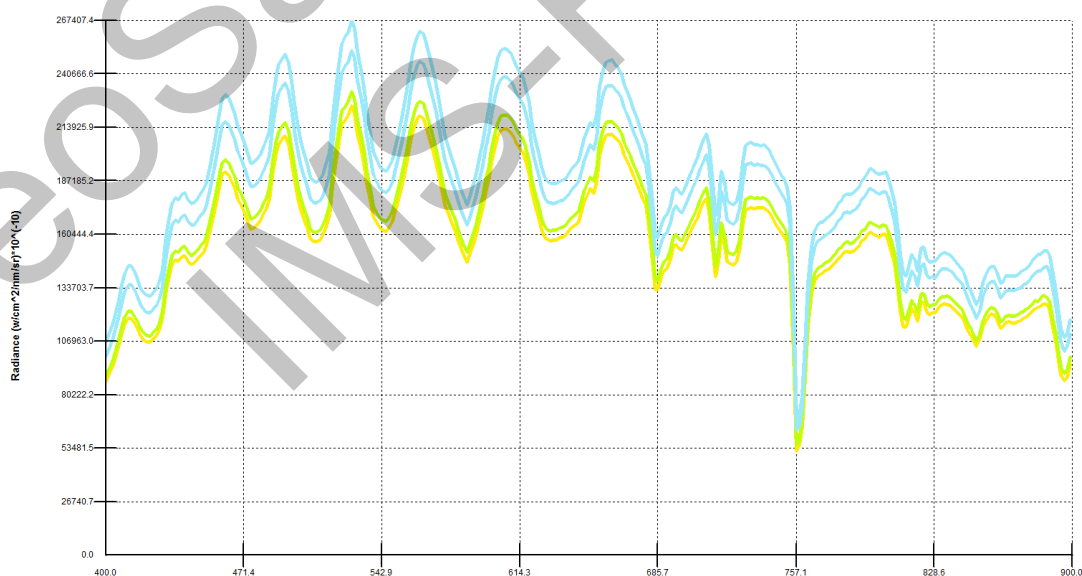
έτσι ώστε να καταγραφούν οι φασματικές υπογραφές των δειγμάτων αλλά και να γίνουν επίσης στατιστικές αναλύσεις και αναλύσεις διαχωριστικότητας.

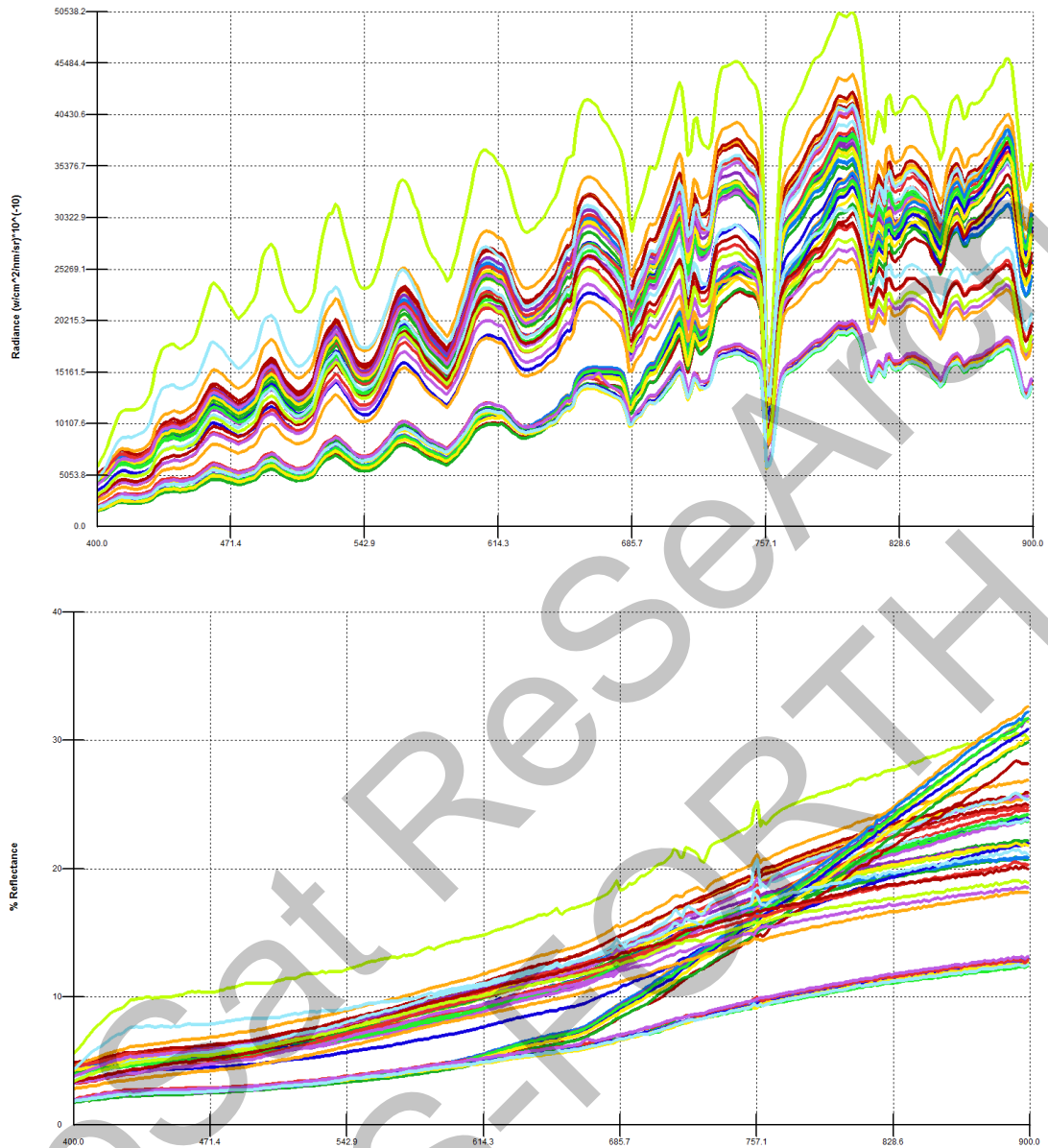
4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στην συνέχεια παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τους σκοπούς του έργου: (α) μεθοδολογία όσο αφορά την επεξεργασία των επίγειων φασματοραδιομετρικών παρατηρήσεων, (β) μεθοδολογία σχετικά με τις δωρεάν δορυφορικές εικόνες (GeoEye, OrbView-3 και Google Earth) και (γ) μεθοδολογία αναφορικά με τις εικόνες πολύ υψηλής ανάλυσης (οπτικές εικόνες και εικόνες radar).

4.1 Επίγειες φασματοραδιομετρικές παρατηρήσεις

Οι εργαστηριακές μετρήσεις με τη χρήση του φασματοραδιόμετρου έγινε στα ακόλουθα δείγματα: α) νωπά απόβλητα από την παραγωγή του ελαιολάδου (ίδια ημέρα παραγωγής), β) στεγνό απόβλητο ελαιολάδου, γ) απόβλητα ελαιολάδου αναμειγμένα με νερό κατά 25%, δ) απόβλητα ελαιολάδου αναμειγμένα με νερό κατά 50%, ε) απόβλητα ελαιολάδου αναμειγμένα με έδαφος κατά 25%, στ) απόβλητα ελαιολάδου αναμειγμένα με έδαφος κατά (50%), απόβλητα ελαιολάδου αναμειγμένα με έδαφος και νερό κατά 50% και ζ) δείγμα εδάφους (Εικόνα 7).





Εικόνα 7: Δείγμα φασματικών υπογραφών αμέσως μετά την λήψη των μετρήσεων. Πάνω η μέτρηση της εισερχόμενης ακτινοβολίας στην βαθμονομημένη επιφάνεια, στο μέσο η μέτρηση της ακτινοβολίας στους διάφορους στόχους και κάτω το διάγραμμα ανακλαστικότητας.

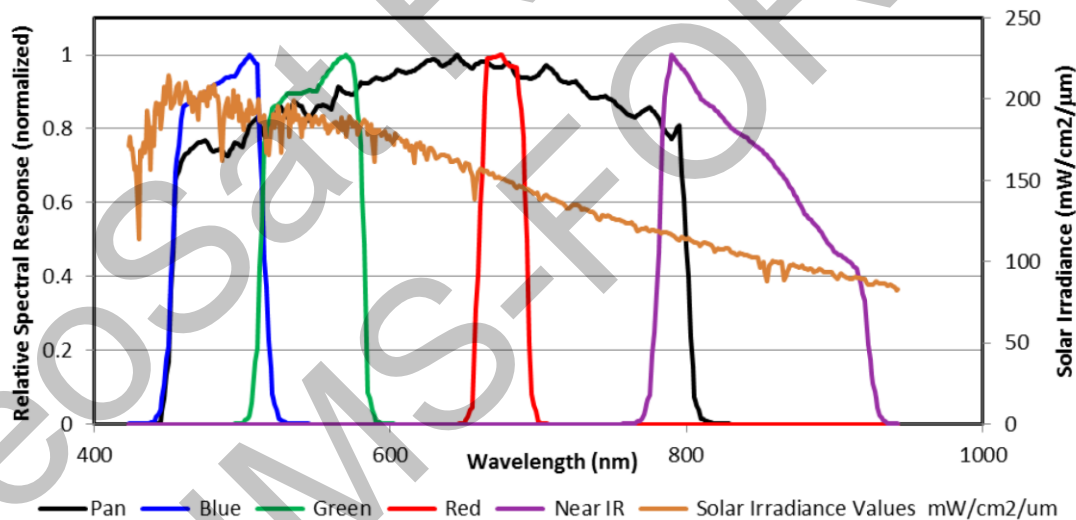
Για κάθε ένα από αυτά τα δείγματα, λήφθηκαν με τη χρήση του οργάνου GER 1500 50 φασματοραδιομετρικές μετρήσεις. Για κάθε μια από τις 50 μετρήσεις, το όργανο είχε ρυθμιστεί έτσι ώστε να καταγράφει τη μέση ανακλαστικότητα 5 μετρήσεων (για σκοπούς μείωσης του θορύβου). Το όργανο GER 1500 έχει τη δυνατότητα να καταγράφει την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στο ορατό και εγγύς υπέρυθρο μήκος κύματος (350-1050 nm), χρησιμοποιώντας 512 διαφορετικά κανάλια, με ένα εύρος περίπου ~1,5 nm για κάθε κανάλι. Επιπλέον, μια βαθμονομημένη επιφάνεια (spectralon

πάνελ) χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να καταγράψει την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία και να βαθμονομήσει όλες οι μετρήσεις που λαμβανόταν. Το οπτικό πεδίο (FOV) του φακού είχε ρυθμιστεί στις 4 μοίρες. ($\approx 0.02 \text{ m}^2$ από ύψος 1,2 m). Στη συνέχεια οι υπερφασματικές μετρήσεις προσομοιώθηκαν με τον υψηλής χωρικής ανάλυσης αισθητήρα GeoEye-1, χρησιμοποιώντας την κατάλληλη σχετική φασματική απόκριση (φίλτρο RSR) (Εικόνα 8) με βάση τις εξισώσεις 1 και 2:

$$\rho = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} w(\lambda)R(\lambda)d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} w(\lambda)I(\lambda)d\lambda} \quad (1)$$

$$I(\lambda) = \frac{I'(\lambda)}{\rho_{ref}(\lambda)} \quad (2)$$

Όπου R είναι η μετρούμενη ακτινοβολία που ανακλάται στον στόχο ως συνάρτηση του μήκους κύματος λ , w είναι η σχετική απόκριση του αισθητήρα και I η αντίστοιχη ακτινοβολία πάνω στην βαθμονομημένη επιφάνεια (spectralon panel).



Εικόνα 8: Φασματική απόκριση δορυφόρου GeoEye-1

Με βάση αυτές τις πολυφασματικές τιμές ανάκλασης, υπολογίστηκαν οι δείκτες βλάστησης που φαίνονται στον Πίνακα 2. Αναλυτικά εξετάστηκαν ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (NDVI), ο απλός λόγος (SR), ο κάθετος δείκτης βλάστησης (PVI), ο σχετικός δείκτης βλάστησης (RVI), ο δείκτης βλάστησης προσαρμοσμένος στο έδαφος (TSAVI), ο τροποποιημένος δείκτης βλάστησης εδάφους

(MSAVI), δείκτες βλάστησης προσαρμοσμένοι στις ατμοσφαιρικές επιδράσεις και το έδαφος (SARVI), διαφορά του δείκτη βλάστησης (DVI) και Green NDVI.

Πίνακας 2: Κατάλογος δεικτών βλάστησης

α/α	Δείκτης βλάστησης	Εξίσωση	Αναφορά
1	NDVI	$(p_{NIR} - p_{red}) / (p_{NIR} + p_{red})$	[Rouse et al., 1974]
2	SR	p_{NIR} / p_{red}	[Jordan, 1969]
3	PVI	$(p_{NIR} - \alpha p_{red} - b) / (1 + \alpha^2)$ $p_{NIR,soil} = \alpha p_{red,soil} + b$	[Richardson and Wiegand, 1977]
4	RVI	p_{red} / p_{NIR}	[Pearson and Miller, 1972]
5	TSAVI	$[\alpha(p_{NIR} - \alpha p_{red} - b)] / [(p_{red} + \alpha p_{NIR} - \alpha b + 0.08(1 + \alpha^2))]$ $p_{NIR,soil} = \alpha p_{red,soil} + b$	[Baret and Guyot, 1991]
6	MSAVI	$[2 p_{NIR} + 1 - [(2 p_{NIR} + 1)^2 - 8(p_{NIR} - p_{red})]^{1/2}] / 2$	[Qi et al., 1994]
7	SARVI	$(1 + 0.5) (p_{NIR} - p_{rb}) / (p_{NIR} + p_{rb} + 0.5)$ $p_{rb} = p_{red} - \gamma (p_{blue} - p_{red})$	[Kaufman and Tanré, 1992]
8	DVI	$p_{NIR} - p_{red}$	[Tucker, 1979]
9	Green NDVI	$(p_{NIR} - p_{green}) / (p_{NIR} + p_{green})$	[Gitelson, 1996]

Παράλληλα, η φασματική ομοιότητα των δειγμάτων στο εύρος των 450-900 nm εξετάστηκε μέσω του συντελεστή συσχέτισης (R^2) για όλα τα δείγματα. Επιπλέον αξιολογήθηκαν, οι δύο βασικοί δείκτες διαχωριστικότητας: α) ευκλείδειας απόστασης και β) ομοιότητας συνημίτονου. Η διαχωριστικότητα με βάση τους πιο πάνω δείκτες πραγματοποιήθηκε προκειμένου να εντοπισθούν οι φασματικές περιοχές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ενίσχυση της εικόνας σε περιοχές ΥΑΕ..

4.2 Επεξεργασία δωρεάν δορυφορικών εικόνων

4.2.1 Εικόνες GeoEye's OrbView-3

Ο αισθητήρας GeoEye's OrbView-3 αποτελεί ένα από τους πρώτους εμπορικούς δορυφόρους στον κόσμο με σκοπό να παρέχει υψηλής ανάλυσης εικόνες από το

διάστημα. Οι εικόνες OrbView-3 καταγράφουν στο παγχρωματικό φάσμα με ανάλυση 1 μέτρο και στο πολυφασματικό μήκος κύματος (NIR-R-G-B) με 4 μέτρα. Η USGS και EROS αποφάσισαν την διάθεση 179.981 τέτοιων εικόνων χωρίς περιορισμούς στη βασική ραδιομετρική διορθωμένη μορφή (επίπεδο 1B). Για την συγκεκριμένη έρευνα αποκτήθηκαν τα δεδομένα που αφορούσαν την περίοδο μεταξύ Σεπτεμβρίου 2003 και Μαρτίου 2007, τόσο από τον πολυφασματικό όσο και τον παγχρωματικό δέκτη. Περισσότερο από το 84% των OrbView-3 αποτελούν παγχρωματικές εικόνες [USGS, 2014].

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στην προκειμένη περίπτωση μελέτης με τις δωρεάν εικόνες, για την περιοχή της Μεσσαράς, για την αυτόματη αναγνώριση ΥΑΕ αποτελούνται από τα παρακάτω επτά (7) βήματα:

Βήμα 1: Γεωμετρική Ορθοδιόρθωση εικόνας: Η εικόνα GeoEye OrbView-3 έτυχε ορθοαναγωγής με τη χρήση πολυώνυμων συντελεστών (Rational Polynomial Coefficients- RPC) και με τη βοήθεια του ψηφιακό μοντέλου εδάφους (ASTER GDEM). Η ορθοδιόρθωση της εικόνας έγινε προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι στρεβλώσεις της εικόνας που προκαλείται από την τοπογραφία, την γεωμετρία, και τα σφάλματα του αισθητήρα. Το αρχείο RPC δημιουργήθηκε από την εφημερίδα του δορυφόρου, ενώ το ASTER GDEM λήφθηκε από την ιστοσελίδα ERSDAC.

Βήμα 2: Γεωμετρική Συγχώνευση Εικόνας: Το βήμα αυτό εφαρμόστηκε προκειμένου να βελτιωθεί η χωρική ανάλυση της πολυφασματικής εικόνας OrbView-3 εικόνα. Το παγχρωματικό κανάλι GeoEye OrbView-3 με χωρική ανάλυση 1m συγχωνεύθηκε με τα πολυφασματικά κανάλια του ίδιου αισθητήρα με 4m χωρική ανάλυση. Ακολούθησαν τεχνικές pan-sharpening προκειμένου να βελτιωθεί η ποιότητα των νέων συγχωνευμένων εικόνων [Garzelli, and Nencini, 2007]. Η τεχνική pan-sharpening είναι μια διαδικασία συγχώνευσης υψηλής ανάλυσης παγχρωματικής εικόνας με μια χαμηλότερης ανάλυσης πολυφασματικής εικόνας με σκοπό τη δημιουργία μιας υψηλής ανάλυσης πολυφασματική εικόνας.

Βήμα 3: Εφαρμογή αλγορίθμου Spectral Angle Mapper (SAM): Το επόμενο βήμα ήταν η εφαρμογή του αλγορίθμου Spectral Angle Mapper (SAM) για τον εντοπισμό ΥΑΕ περιοχών. Ο αλγόριθμος SAM βρέθηκε να είναι ένας αρκετά καλός αλγόριθμος ταξινόμησης εικόνας σε σύγκριση με άλλους γνωστούς αλγορίθμους, αφού απαιτεί μια μικρή περιοχή εκπαίδευσης και δεν επηρεάζεται από τις ραδιομετρικές παραμέτρους της εικόνας (π.χ. ατμοσφαιρική επίδραση).

Βήμα 4: Φιλτράρισμα εικόνας. Παρά την αποτελεσματικότητα του αλγόριθμου SAMs στην εικόνα αναμένεται να παραμείνει ένας σημαντικός αριθμός ψευδών εικονοστοιχείων που ταξινομούνται λανθασμένα ως ΥΑΕ περιοχές. Για το λόγο αυτό έγινε καθορισμός ενός ορίου (threshold) και φιλτράρισμα της εικόνας. Το τελευταίο εφαρμόστηκε για να λύσει το πρόβλημα των απομονωμένων εικονοστοιχείων που σημειώνονται στην ταξινόμηση εικόνων –μετά την εφαρμογή του βήματος 3- (δηλαδή λιγότερο από 2 pixel).

Βήμα 5: Περιορισμός με βάση τοπογραφικές παραμέτρους. Χρησιμοποιώντας το ψηφιακό μοντέλο εδάφους ASTER GDEM υπολογίστηκε η κλίση της περιοχής μελέτης (περιοχή Μεσαράς) με τη βοήθεια ενός Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS). Περιοχές με κλίση μεγαλύτερη από 20% (λοφώδεις περιοχές) αποκλείστηκαν από την ανάλυση, αφού οι περιοχές με ΥΑΕ εντοπίζονται κυρίως σε επίπεδες ή σχεδόν επίπεδες περιοχές με κλίση $< 20\%$.

Βήμα 6: Αναζήτηση εικόνας χρησιμοποιώντας γεωμετρικά χαρακτηριστικά. Στη συνέχεια, στις υποψήφιες περιοχές που έχουν απομείνει, υπολογίστηκε τόσο το εμβαδόν τους όσο και το μήκος τους μέσα σε περιβάλλον GIS. Ακολούθως εφαρμόστηκε ένα ερώτημα SQL βάσει συγκεκριμένων γεωμετρικών ιδιοτήτων (π.χ. οι υποψήφιες περιοχές πρέπει να έχουν μήκος πάνω από 10μ και περιοχή μεγαλύτερη από 50 τετραγωνικά μέτρα) προκειμένου να αποκλειστούν περαιτέρω λανθασμένες ΥΑΕ περιοχές.

Βήμα 7: Ακρίβεια εκτίμησης. Το τελικό βήμα για την αυτόματη προσέγγιση που ακολουθήθηκε (βλ. βήματα 1-6) ήταν η εκτίμηση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων συγκρίνοντας με γνωστές ΥΑΕ περιοχές απόθεσης των αποβλήτων για τον χώρο που εξετάστηκε.

4.2.2 Εικόνες από Google Earth

Οι εικόνες Google Earth, αποτελούν δωρεάν εικόνες σε υψηλή χωρική ανάλυση που μπορεί δυνητικά να χρησιμοποιηθούν για χαρτογράφηση κάλυψης / χρήσεων γης καθώς και για την ανίχνευση αντικειμένων σε δυσπρόσιτες περιοχές. Το Google Earth παρέχει πολύ υψηλή ανάλυση (VHR) εικόνες στο ορατό φάσμα (RGB) και αποτελούν λήψεις κυρίως από εμπορικούς δορυφορικούς αισθητήρες. Παρά τους αρκετούς περιορισμούς που έχουν οι εικόνες Google Earth (π.χ. συμπίεση των αρχικών δορυφορικών εικόνων, απώλεια στην ποιότητα της εικόνας, δεν περιέχεται το NIR κανάλι) αξίζει να σημειωθεί ότι αρκετοί ερευνητές έχουν αναδείξει τις δυνατότητες

των εικόνων Google Earth για την υποστήριξη της έρευνας και για την παροχή ενημερωμένων πληροφοριών [Ghaffarian, and Ghaffarian, 2014; Kennedy and Bishop, 2011].

Αν και η φωτοερμηνεία από αυτές τις δωρεάν σε πρόσβαση δορυφορικές εικόνες υψηλής ανάλυσης μπορούν να παρέχουν επαρκή ακρίβεια, η προσέγγιση αυτή είναι πολύ χρονοβόρα έναντι αυτόματων διαδικασιών. Για το σκοπό αυτό στο πλαίσιο του έργου χρησιμοποιήθηκαν μια σειρά από γνωστούς αλγόριθμους ταξινόμησης εικόνας όπως είναι η ελάχιστη απόσταση (MD), η μέγιστη πιθανοφάνεια (ML), η ταξινόμηση με βάση την απόσταση Mahalanobis, ο αλγόριθμος SAM, και η ταξινόμηση με χρήση του αλγόριθμου Support Vector Machine (SVM). Παράλληλα αξιολογήθηκαν διαφορετικές κλίμακες από εικόνες Google Earth προκειμένου να εξεταστούν οι επιδράσεις της αλλαγής κλίμακας όσο αφορά την ακρίβεια της ταξινόμησης.

4.3 Επεξεργασία εικόνων υψηλής ανάλυσης

Τέλος, εξετάστηκαν μια σειρά από υψηλής χωρικής ανάλυσης δορυφορικές εικόνες (Pleiades (0.50 m), SPOT 6 (1.5 m), QuickBird (0.60 m), WorldView-2 (0.40 m) and GeoEye 1 (0.40 m)). Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε χρησιμοποιώντας μια σειρά από γνωστούς αλγόριθμους επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων. Αρχικά υπολογίστηκε ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (NDVI) με βάση την εξίσωση 3. Ο δείκτης NDVI είναι ουσιαστικά ο λόγος της ανάκλασης στο κόκκινο και εγγύς υπέρυθρο μήκος κύματος και χρησιμοποιείται ευρέως στην τηλεπισκόπηση ως ένδειξη για την ανάπτυξη της βλάστησης (Zang et al., 2013).

$$(pNIR- pred)/(pNIR+ pred) \quad (3)$$

Όπου

P_{NIR} = συντελεστής ανάκλασης στο NIR μήκος του φάσματος

P_{red} = συντελεστής ανάκλασης στο κόκκινο μήκος του φάσματος

Επιπλέον, εφαρμόστηκε ο δείκτης OOWI, ο οποίος προτάθηκε πρόσφατα από τους Agariou et al. (2015b), με βάση στην εξίσωση 4 (βλ. και στη συνέχεια για περισσότερη ανάλυση). Σύμφωνα με τη μελέτη τους διαπιστώθηκε ότι οι φασματικές περιοχές των 450nm και 900nm είναι οι πλέον κατάλληλες για την ανίχνευση των ΥΑΕ περιοχών.

Επομένως, η χρήση αυτών των φασματικών περιοχών (π.χ. μπλε και NIR κανάλια των πολυφασματικών εικόνων) η αναγνώριση των ΥΑΕ μπορεί να ενισχυθεί καλύτερα από οποιονδήποτε άλλο συνδυασμό φάσματος (Agariou et al., 2015b).

$$(p_{NIR} - p_{blue}) / (p_{NIR} + p_{blue}) \quad (4)$$

Όπου:

P_{NIR} = συντελεστής ανάκλασης στο NIR μέρος του φάσματος

P_{blue} = συντελεστής ανάκλασης στο μπλε μέρος του φάσματος

Η Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών (Principal Component Analysis – PCA) εξετάστηκε σε όλες τις εικόνες υψηλής ανάλυσης. Στην ουσία η ανάλυση PCA προσδιορίζει το βέλτιστο γραμμικό συνδυασμό της αρχικής εικόνας λαμβάνοντας υπόψη τη διακύμανση των εικονοστοιχείων μιας εικόνας (Cambell, 2007), όπως φαίνεται στην εξίσωση 5.

$$C1 = \beta_{11} (X1) + b_{12} (X2) + \dots + b_{1p}(XP) \quad (5)$$

Όπου:

$C1$ = πρώτη κύρια συνιστώσα

b_{1p} = ο συντελεστής παλινδρόμησης (ή βάρος) για την παρατηρούμενη μεταβλητή p , όπως χρησιμοποιείται για τη δημιουργία κύριο συστατικό 1

Xp = η παρατηρούμενη μεταβλητή (κανάλι εικόνας).

Ο μετασχηματισμός IHS είναι μια άλλη τεχνική που εφαρμόστηκε στην παρούσα εργασία. Η ένταση (I) αφορά τη συνολική φωτεινότητα του χρώματος, η απόχρωση (H) αναφέρεται στη δεσπίζουσα ακτινοβολία που συμβάλλει σε ένα χρώμα ενώ ο κορεσμός (S) καθορίζει την καθαρότητα των χρωμάτων σε σχέση με γκρι. Ο μετασχηματισμός IHS μπορεί να περιγραφεί από τις εξισώσεις 6-8.

$$\begin{pmatrix} 1 \\ v1 \\ v2 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \\ \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{-2}{\sqrt{6}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{-1}{\sqrt{2}} & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (6)$$

$$H = \tan^{-1} \frac{v1}{v2} \quad (7)$$

$$S = \sqrt{v1^2 + v2^2} \quad (8)$$

Όπου:

V1 και v2 είναι δύο ενδιάμεσες τιμές.

Τέλος χρησιμοποιήθηκαν τεχνικές μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης με τη μέθοδο ISODATA για μια σειρά από κλάσεις (5,10 και 15, κλάσεις) καθώς επίσης και τεχνικές Unmixing (Linear Spectral Unmixing, LSU). Η τεχνική LSU εφαρμόστηκε (βλ. εξισώσεις 9-10), έτσι ώστε να προσδιοριστεί το ποσοστό των ΥΑΕ μέσα στο ίδιο το εικονοστοιχείο των εικόνων με βάση τα φασματικά τους χαρακτηριστικά.

$$R_k = \sum_i^n a_i E_{i,k} + \varepsilon_k \quad (9)$$

$$RMSE = \sqrt{(\sum_k^m \varepsilon_k^2) - m} \quad (10)$$

Όπου:

R_k= συντελεστής ανακλάσεως σε μήκος κύματος κ

E_{k,i}= συντελεστής ανάκλασης endmember I στο μήκος κύματος κ

A_i= ποσοστό endmember i

E_k = σφάλμα στο μήκος κύματος κ

RMSE = συνολικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα του εκ

N = αριθμός endmembers

M = αριθμός μηκών κύματος του φάσματος διακριτά

Τέλος, αναφορικά με την ραντάρ εικόνα COSMO-SkyMed, πραγματοποιήθηκε ορθοδιόρθωση με τη χρήση δεδομένων SRTM DEM, ενώ παράλληλα πραγματοποιήθηκαν και άλλες προ-επεξεργασίες (π.χ. ραδιομετρική διόρθωση, speckle removal κλπ). Η εικόνα ακολούθως επεξεργάστηκε σε GIS περιβάλλον, ώστε να συγκριθούν οι θέσεις των αποθέσεων με άλλες γνωστές. Παράλληλα έγινε χρήση και υπερφασματικής εικόνας EO1-ALI, με ημερομηνία λήψης 2006-03-22. Η χωρική και φασματική ανάλυση της εικόνας δίνεται στον πιο κάτω πίνακα:

Πίνακας 3: Χωρική και φασματική ανάλυση εικόνας EO1-ALI

Κανάλι	Φασματικό εύρος καναλιού(μm)	Χωρική ανάλυση
Pan	0.48 - 0.69	10
MS - 1'	0.433 - 0.453	30
MS - 1	0.45 - 0.515	30
MS - 2	0.525 - 0.605	30
MS - 3	0.63 - 0.69	30
MS - 4	0.775 - 0.805	30
MS - 4'	0.845 - 0.89	30

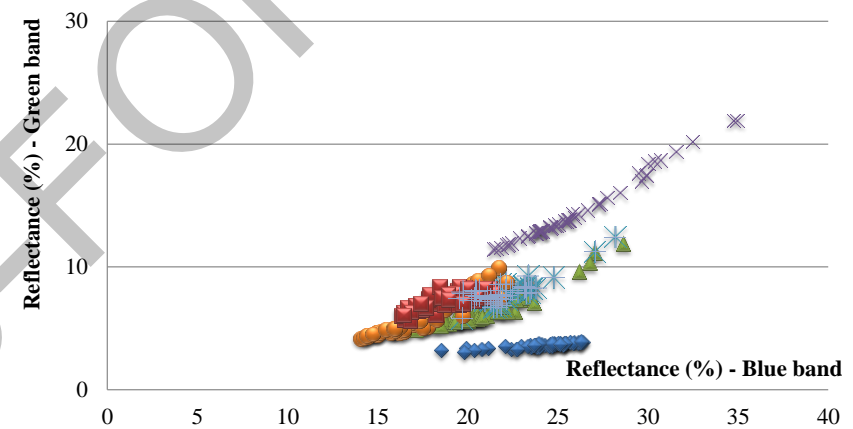
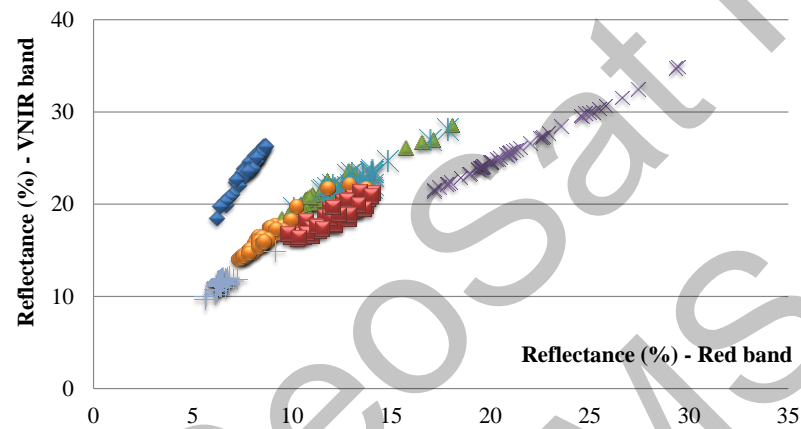
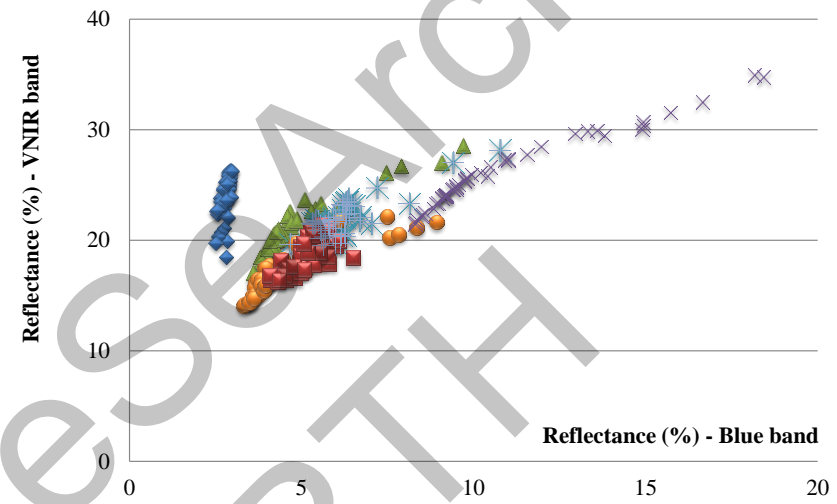
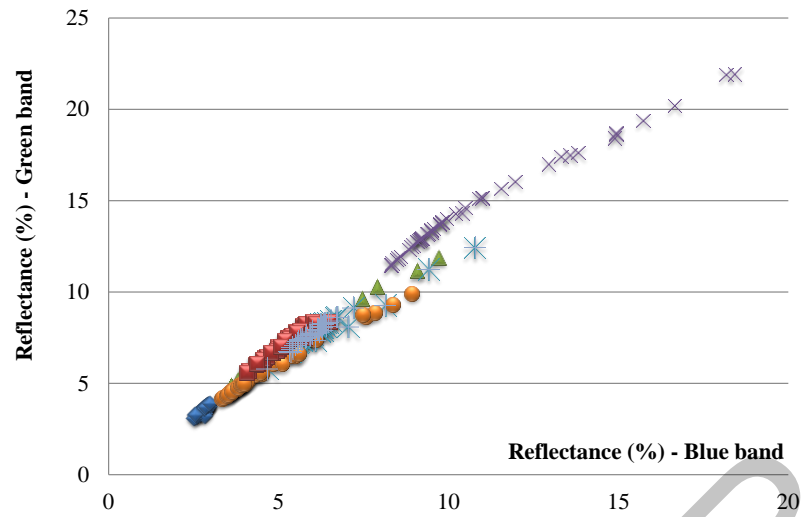
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1 Επίγειες φασματοραδιομετρικές παρατηρήσεις

5.1.1 Φασματικός χώρος

Τα αποτελέσματα με βάση την ανακλαστικότητα των στόχων που μετρήθηκαν με το φασματοραδιόμετρο (μετά από προσομοίωση με το δορυφόρο GeoEye-1) φαίνονται στην Εικόνα 9. Όπως παρατηρείται στον φασματικό χώρο Blue-Green μήκους κύματος, όλα τα δείγματα (εκτός του εδάφους) τείνουν να δώσουν παρόμοιες τιμές ανακλαστικότητας. Ορισμένες διαφορές καταγράφονται στα υπόλοιπα διαγράμματα (Blue-NIR, Red-NIR και Green-NIR) όπου τα διάφορα δείγματα φαίνεται να είναι ομαδοποιημένα, σε σχετικά κοντινή απόσταση στον 4-D φασματικό χώρο. Ωστόσο, δεδομένου ότι η φασματική απόσταση είναι πολύ μικρή (<5% διαφορά στην τιμή της ανακλαστικότητας), αναμένονται λάθη σε τεχνικές ταξινόμησης αν λάβουμε υπόψη και

τη χωρική ανάλυση των δορυφόρων όπως επίσης και το φαινόμενο του mixed-pixel. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι το χρώμα και οι διάφοροι στόχοι ΥΑΕ που εξετάστηκαν εδώ έχουν διαφορετική συμπεριφορά στο φασματικό χώρο. Αυτό μας επιτρέπει την ορθή διάκριση αυτών των στόχων (δηλαδή έδαφος και ΥΑΕ) σε εικόνες όπως του GeoEye-1. Οι μικρές διακυμάνσεις και οι μεταβολές που καταγράφονται στο δείγμα "φρέσκο απόβλητο μετά από την παραγωγή ελαιολάδου (την ίδια μέρα)" είναι επίσης αξιοσημείωτη. Μικρές τιμές ανακλαστικότητας παρατηρούνται για αυτούς τους στόχους ιδιαίτερα στο μπλε και το πράσινο μήκος του φάσματος, ενώ η ανακλαστικότητα αυξάνεται στο κόκκινο και NIR μήκος. Αυτό δείχνει επίσης ότι η φασματική υπογραφή των ΥΑΕ δύναται να αλλοιώνεται στο χρόνο με την παρουσία του ήλιου, της βροχής ή με ανάμειξής τους με το περιβάλλον.

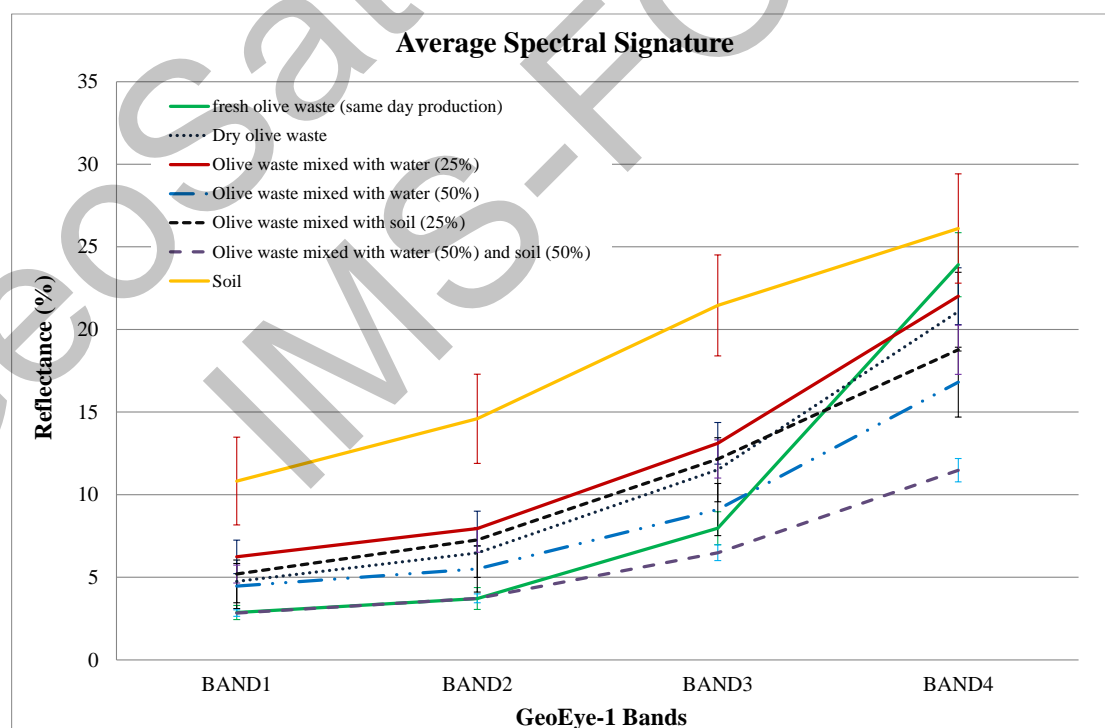


- ◆ Fresh olive waste (same day production)
- Olive waste mixed with water (50%)
- × Soil
- ▲ Dry olive waste
- Olive waste mixed with soil (25%)
- ✱ Olive waste mixed with water (25%)
- + Olive waste mixed with water (50%) and soil (50%) and soil

Εικόνα 9: Ο φασματικός χώρος με βάση τις επίγειες μετρήσεις με το φασματοραδιόμετρο (προσομοίωση στο δορυφόρο GeoEye-1)

5.1.2 Φασματικές υπογραφές

Οι φασματικές υπογραφές όπως έχουν καταγραφεί από όλα τα δείγματα: α) νωπά απόβλητα από την παραγωγή του ελαιολάδου (ίδια ημέρα παραγωγής), β) στεγνό απόβλητο ελαιολάδου, γ) απόβλητα ελαιολάδου αναμειγμένα με νερό κατά 25%, δ) απόβλητα ελαιολάδου αναμειγμένα με νερό κατά 50%, ε) απόβλητα ελαιολάδου αναμειγμένα με έδαφος κατά 25%, στ) απόβλητα ελαιολάδου αναμειγμένα έδαφος κατά (50%), απόβλητα ελαιολάδου αναμειγμένα με έδαφος και νερό κατά 50% και ζ) δείγμα εδάφους παρουσιάζονται στην Εικόνα 10, μαζί με τις τυπικές αποκλίσεις. Η αναγωγή των υπερφασματικών παρατηρήσεων από το φασματοραδιόμετρο στον αισθητήρα GeoEye-1 έγινε με βάση τις εξισώσεις 1 και 2. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 10, καταγράφονται ομοιότητες μεταξύ των δειγμάτων, όπως άλλωστε καταγράφηκε και στην μελέτη του φασματικού χώρου (βλέπε Εικόνα 9). Οι φασματικές ομοιότητες επηρεάζουν την ταξινόμηση και την ανάλυση των στόχων αυτών σε δορυφορικές εικόνες, επειδή τα δείγματα μπορούν να δημιουργήσουν σύγχυση μεταξύ των διαφόρων κατηγοριών. Γενικά σε όλα τα δείγματα που έχουν ληφθεί, χαμηλές τιμές ανακλαστικότητας καταγράφονται στο μπλε κανάλι (450-520nm), ενώ το υψηλότερες τιμές ανακλαστικότητας παρατηρούνται στο NIR μέρος του φάσματος.



Εικόνα 10: Μέση φασματικές υπογραφές ως απομίμηση του οι GeoEye-1 αισθητήρα με την τυπική απόκλιση.

5.1.3 Δείκτες βλάστησης

Σε μια προσπάθεια να αναλύσουμε περαιτέρω τα δορυφορικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν υπολογίστηκαν οι τιμές διάφορων δεικτών βλάστησης (βλέπε Πίνακας 2). Χρησιμοποιήθηκαν και υπολογίστηκαν εννέα διαφορετικοί δείκτες βλάστησης (βάση του RSR φίλτρου του αισθητήρα GeoEye-1). Οι σχετικές διαφορές μεταξύ όλων των δειγμάτων για όλους τους δείκτες βλάστησης αναφέρονται στον Πίνακας 4. Οι μεγαλύτερες τιμές για κάθε δείγμα επισημαίνονται με αντίστοιχη υπογράμμιση. Φαίνεται ότι κάποιοι δείκτες βλάστησης τείνουν να δίνουν μεγαλύτερη σχετική διαφορά μεταξύ των δειγμάτων. Οι δείκτες αυτοί είναι οι PVI, TSAVI και SARVI. Πράγματι, οι τρεις δείκτες βλάστησης τείνουν να δίνουν σχεδόν στο σύνολο τους τις μεγαλύτερες διαφορές σε σύγκριση με τους υπόλοιπους δείκτες (>95%). Μολονότι οι δείκτες βλάστησης δεν είχαν σχεδιαστεί να διακρίνουν τις περιοχές ΥΑΕ εντούτοις όπως αποδεικνύεται σε αυτό το παράδειγμα μπορεί να αξιοποιηθούν ακόμη και για αυτό το σκοπό. Ο δείκτης SARVI φαίνεται να είναι αρκετά αποτελεσματικός για την ανίχνευση των περιοχών με ΥΑΕ αφού ελαχιστοποιεί τις ατμοσφαιρικές επιδράσεις καθώς και το θόρυβο στην εικόνα που προέρχεται από την αντανάκλαση του χρώματος.

Πίνακας 4: Αποτελέσματα σχετικής διαφοράς (%) των δεικτών βλάστησης για τις επτά διαφορετικές ομάδες που εξετάστηκαν στην παρούσα μελέτη α) νωπά απόβλητα από την παραγωγή του ελαιολάδου (ίδια ημέρα παραγωγής), β) στεγνό απόβλητο ελαιολάδου, γ) απόβλητα ελαιολάδου αναμειγμένα με νερό κατά 25%, δ) απόβλητα ελαιολάδου αναμειγμένα με νερό κατά 50%, ε) απόβλητα ελαιολάδου αναμειγμένα με έδαφος κατά 25%, στ) απόβλητα ελαιολάδου αναμειγμένα έδαφος κατά (50%), απόβλητα ελαιολάδου αναμειγμένα έδαφος και νερό κατά 50% και ζ) δείγμα εδάφους

Στόχος	NDVI	SR	PVI	RVI	TSAVI	MSAVI	SARVI	DVI	Green NDVI
α	0,5	3,0	8,7	0,3	0,5	0,7	1,6	16,0	0,7
β	0,3	1,8	4,1	0,5	0,2	0,5	1,8	9,6	0,5
γ	0,3	1,7	3,5	0,6	0,2	0,4	2,1	8,9	0,5
δ	0,3	1,9	3,4	0,5	0,2	0,5	1,8	7,7	0,5
ε	0,2	1,5	2,2	0,6	0,1	0,3	0,7	6,6	0,4
στ	0,3	1,8	2,1	0,6	0,2	0,4	6,8	5,0	0,5
ζ	0,1	1,2	-0,5	0,8	0,0	0,2	1,4	4,7	0,3

Target	NDVI	SR	PVI	RVI	TSAVI	MSAVI	SARVI	DVI	Green NDVI
α									
β	26	24	<u>35</u>	24	35	19	8	25	16
γ	33	28	43	28	<u>46</u>	25	14	28	22
δ	25	24	<u>44</u>	23	34	19	7	35	18
ε	40	32	<u>60</u>	32	58	31	39	41	25
στ	28	26	61	26	39	22	<u>62</u>	52	18

ζ	67	43	<u>112</u>	42	108	58	6	55	44
---	----	----	------------	----	-----	----	---	----	----

Target	NDVI	SR	PVI	RVI	TSAVI	MSAVI	SARVI	DVI	Green NDVI
α	26	24	<u>35</u>	24	35	19	8	25	16
β									
γ	8	5	9	5	<u>13</u>	6	6	4	6
δ	1	0	10	0	1	0	1	<u>11</u>	2
ε	16	9	31	9	28	13	<u>46</u>	18	9
στ	3	2	33	2	5	3	<u>57</u>	31	2
ζ	50	20	<u>127</u>	20	117	44	14	35	30

Target	NDVI	SR	PVI	RVI	TSAVI	MSAVI	SARVI	DVI	Green NDVI
α	33	28	43	28	<u>46</u>	25	14	28	22
β	8	5	9	5	<u>13</u>	6	6	4	6
γ									
δ	8	5	2	5	<u>14</u>	6	7	7	4
ε	8	4	23	4	16	7	<u>50</u>	15	3
στ	5	3	25	3	8	3	<u>53</u>	28	4
ζ	44	16	<u>134</u>	16	122	39	20	31	24

Target	NDVI	SR	PVI	RVI	TSAVI	MSAVI	SARVI	DVI	Green NDVI
α	25	24	<u>44</u>	23	34	19	7	35	18
β	1	0	10	0	1	0	1	<u>11</u>	2
γ	8	5	2	5	<u>14</u>	6	7	7	4
δ									
ε	17	9	21	9	29	13	<u>45</u>	8	7
στ	4	2	24	2	6	3	<u>58</u>	21	0
ζ	50	21	<u>135</u>	21	117	44	13	25	28

Target	NDVI	SR	PVI	RVI	TSAVI	MSAVI	SARVI	DVI	Green NDVI
α	40	32	<u>60</u>	32	58	31	39	41	25
β	16	9	31	9	28	13	<u>46</u>	18	9
γ	8	4	23	4	16	7	<u>50</u>	15	3
δ	17	9	21	9	29	13	<u>45</u>	8	7
ε									
στ	13	7	3	7	23	10	<u>82</u>	14	7
ζ	37	12	<u>159</u>	12	133	32	34	17	21

Target	NDVI	SR	PVI	RVI	TSAVI	MSAVI	SARVI	DVI	Green NDVI
α	28	26	61	26	39	22	<u>62</u>	52	18
β	3	2	33	2	5	3	<u>57</u>	31	2
γ	5	3	25	3	8	3	<u>53</u>	28	4
δ	4	2	24	2	6	3	<u>58</u>	21	0
ε	13	7	3	7	23	10	<u>82</u>	14	7
στ									

ζ	48	18	<u>163</u>	18	119	41	66	3	28
---	----	----	------------	----	-----	----	----	---	----

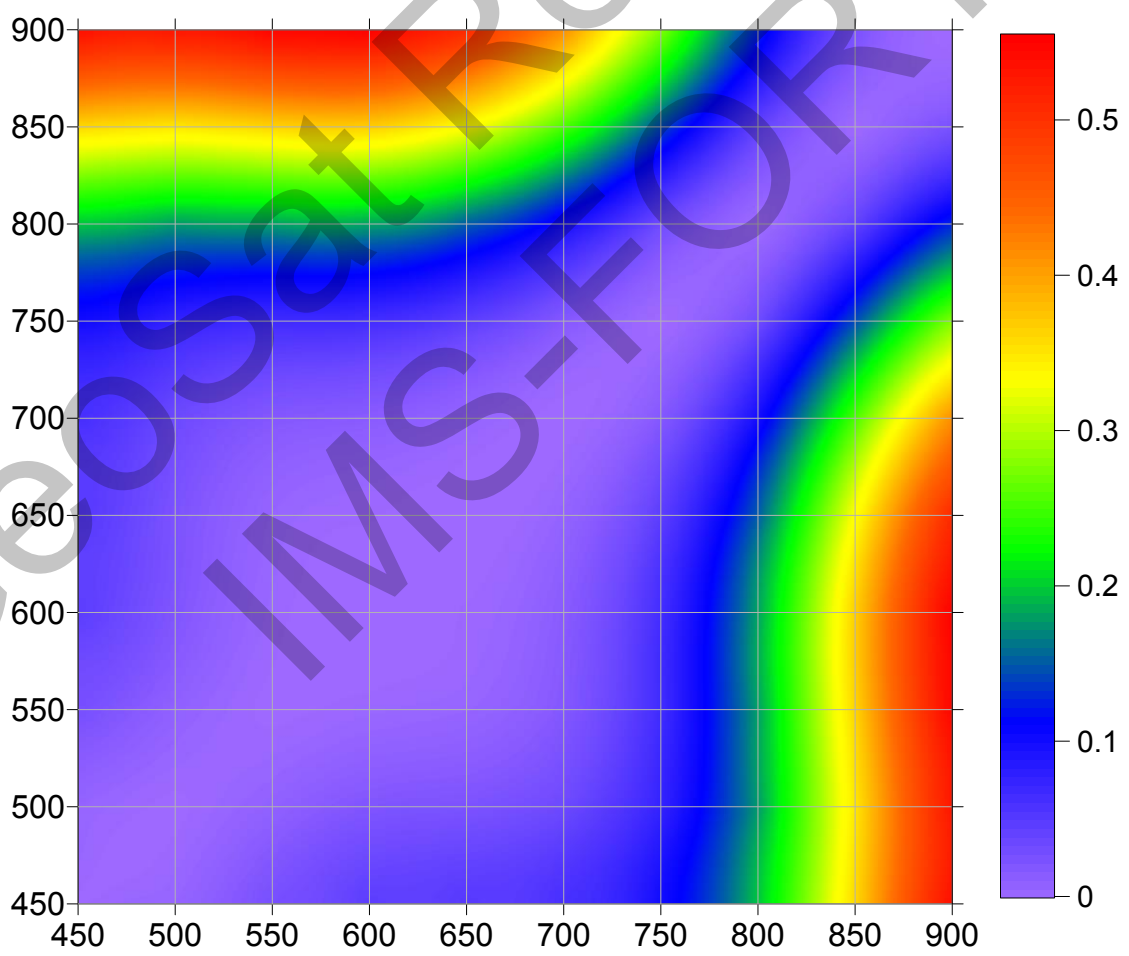
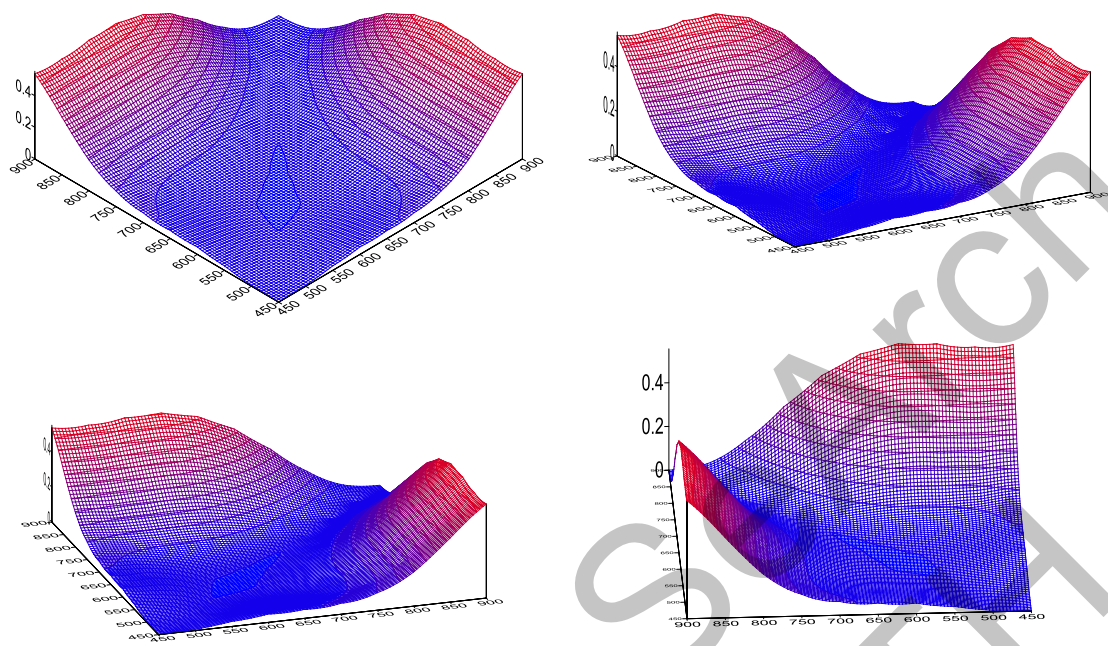
Target	NDVI	SR	PVI	RVI	TSAVI	MSAVI	SARVI	DVI	Green NDVI
α	67	43	<u>112</u>	42	108	58	6	55	44
β	50	20	<u>127</u>	20	117	44	14	35	30
γ	44	16	<u>134</u>	16	122	39	20	31	24
δ	50	21	<u>135</u>	21	117	44	13	25	28
ε	37	12	<u>159</u>	12	133	32	34	17	21
στ	48	18	<u>163</u>	18	119	41	66	3	28
ζ									

5.1.4 Ανάλυση συσχέτισης

Η ανάλυση συσχέτισης (R) βασίστηκε στις πολυφασματικές τιμές ανάκλασης των δειγμάτων. Ο συντελεστής συσχέτισης Pearson (R), χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της γραμμική συσχέτισης μεταξύ των δύο μεταβλητών (σε αυτή την περίπτωση η συσχέτιση μεταξύ της ανακλαστικότητας στα διαφορετικά μήκη κύματος), όπως φαίνεται στην εξίσωση 11:

$$r = r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (11)$$

Ο συντελεστής συσχέτισης Pearson (R) επιτρέπει τον προσδιορισμό του βέλτιστου μήκους κύματος (δηλ. παράθυρο στο μήκος κύματος) για τον εντοπισμό και ενίσχυση του σήματος που προέρχεται από τα ΥΑΕ. Η Εικόνα 11 δείχνει το αποτέλεσμα για το $(1-R^2)$. Υψηλότερες τιμές (που επισημαίνονται με κόκκινο χρώμα) παρατηρούνται στα δύο άκρα του φάσματος που εξετάστηκαν στην παρούσα μελέτη (450 nm και 900 nm). Αυτά τα μήκη κύματος αντιστοιχούν σε μπλε και NIR μήκος κύματος για τον GeoEye-1 αισθητήρα. Για το υπόλοιπο μήκος κύματος καταγράφεται ισχυρή συσχέτιση (< 0.3 Εικόνα 11). Το συμπέρασμα αυτό είναι επίσης σύμφωνο με τα αποτελέσματα των Εικόνα 9 και Εικόνα 10 αφού η ανακλαστικότητα στο ορατό μήκος κύματος τείνει να δίνει παρόμοιες τιμές ανάκλασης.



Εικόνα 11: Ο συντελεστής συσχέτισης αποτελεσμάτων στην περιοχή των 450 nm - 900 nm (1-R).

5.1.5 Ανάλυση Διαχωριστικότητας

Δύο βασικοί αλγόριθμοι ανάλυσης διαχωριστικότητας χρησιμοποιήθηκαν για τον εντοπισμό των βέλτιστων φασματικών περιοχών που είναι ικανές να διακρίνουν καλύτερα περιοχές ΥΑΕ. Αυτοί οι αλγόριθμοι συχνά ονομάζονται στη διεθνή βιβλιογραφία ως “separability indices”, εφόσον χρησιμοποιούνται για να εξεταστεί η διαχωριστικότητα δύο μεταβλητών. Σκοπός αυτών των δεικτών είναι να εντοπίζουν γενικά, αν μια ομάδα παρατηρήσεων X είναι διαχωρίσιμη από μια άλλη ομάδα παρατηρήσεων Y. Στη συνέχεια, καταγράφονται οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιήθηκαν για το σκοπό αυτό, καθώς και τα συγκεντρωτικά τους αποτελέσματα με βάση τις φασματικές υπογραφές που έχουν συλλεχθεί.

Ευκλείδεια απόσταση: Η μέθοδος αυτή απλώς υπολογίζει την ευκλείδεια απόσταση μεταξύ ενός ζεύγους παρατηρήσεων. Η μαθηματική εξίσωση που εκφράζει το παραπάνω είναι (Hastie και Tibshirani, 1996):

$$d = (p_x - q_x) \quad (12)$$

όπου:

d = ευκλείδεια απόσταση

p_x = ακτινοβολία στο συγκεκριμένο μήκος κύματος για την 1η ομάδα παρατηρήσεων

q_x = ακτινοβολία στο συγκεκριμένο μήκος κύματος για την 2η ομάδα παρατηρήσεων

Ομοιότητα συνημίτονου: Η ομοιότητα συνημίτονου είναι ένα μέτρο που υπολογίζει την ομοιότητα ανάμεσα σε δύο διανύσματα, υπολογίζοντας το συνημίτονο της γωνίας φ που σχηματίζουν. Η ομοιότητα συνημίτονου δίνεται από τη σχέση (Kruse et al., 1993):

$$\text{ομοιότητας συνημίτονου} = \cos(\varphi) = 1 - (p_x \cdot q_{xt}) / ((p_x \cdot p_{xt})(q_x \cdot q_{xt}))^{0.5} \quad (13)$$

όπου:

ομοιότητας συνημίτονου = ομοιότητα συνημίτονου

p_x = ακτινοβολία στο συγκεκριμένο μήκος κύματος για την 1η ομάδα παρατηρήσεων

q_x = ακτινοβολία στο συγκεκριμένο μήκος κύματος για την 2η ομάδα παρατηρήσεων

Σημειώνεται ότι οι πιο πάνω δείκτες διαχωριστικότητας χρησιμοποιούνται ευρέως σε ταξινομήσεις δορυφορικών εικόνων. Η ευκλείδεια απόσταση χρησιμοποιείται κυρίως σε ταξινομήσεις με τη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης, ενώ τέλος η ομοιότητα συνημίτονου σε ταξινομήσεις τύπου Spectral Angle Mapper (SAM).

Τα τελικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 5. Με γκριζό χρώμα υποδηλώνονται οι υψηλότερες τιμές διαχωριστικότητας

Πίνακας 5: Αποτελέσματα διαχωριστικότητας με βάση την Ευκλείδεια απόσταση (πάνω) και ομοιότητας συνημίτονου (κάτω)

	450 nm	500 nm	550 nm	600 nm	650 nm	700 nm	750 nm	800 nm	850 nm	900 nm
450 nm	0									
500 nm	18	0								
550 nm	50	31	0							
600 nm	85	67	35	0						
650 nm	117	99	68	34	0					
700 nm	160	143	113	80	46	0				
750 nm	212	195	167	135	102	56	0			
800 nm	259	243	216	185	153	108	52	0		
850 nm	301	286	260	230	199	154	99	48	0	
900 nm	338	323	298	269	239	194	140	89	41	0

	450 nm	500 nm	550 nm	600 nm	650 nm	700 nm	750 nm	800 nm	850 nm	900 nm
450 nm	0,000									
500 nm	0,001	0,000								
550 nm	0,007	0,002	0,000							
600 nm	0,011	0,005	0,001	0,000						
650 nm	0,014	0,008	0,003	0,001	0,000					
700 nm	0,022	0,016	0,012	0,009	0,003	0,000				
750 nm	0,038	0,033	0,029	0,025	0,015	0,004	0,000			
800 nm	0,057	0,053	0,049	0,045	0,031	0,014	0,003	0,000		
850 nm	0,079	0,075	0,072	0,068	0,051	0,028	0,011	0,003	0,000	
900 nm	0,100	0,096	0,094	0,088	0,069	0,043	0,021	0,008	0,002	0,000

Τα αποτελέσματα από την ανάλυση διαχωριστικότητας υποδηλώνουν ότι οι φασματικές περιοχές των 450nm και 900nm είναι οι βέλτιστες για την ανίχνευση ΥΑΕ περιοχών από δορυφορικές εικόνες. Επομένως, η χρήση αυτών των φασματικών περιοχών (μπλε και NIR στην GeoEye-1 εικόνα) θα μπορούν να ενισχύσουν την φωτοερμηνεία και το εντοπισμό ΥΑΕ από οποιοδήποτε άλλο φασματικό συνδυασμό.

5.1.6 Συζήτηση αποτελεσμάτων

Από την ανάλυση διαχωριστικότητας αναγνωρίζεται ότι το μπλε και NIR μέρος του φάσματος είναι η βέλτιστη περιοχή μήκους κύματος για την ανίχνευση ΥΑΕ περιοχών. Αυτό υποδεικνύεται επίσης και επιβεβαιώνεται από την ανάλυση συσχέτιση που προηγήθηκε (βλέπε Εικόνα 11 και Πίνακας 5). Πράγματι η ανάλυση συσχέτισης δείχνει ότι οι δύο αυτές φασματικές περιοχές γύρω στα 450 nm και 900 nm τείνουν να είναι οι ασυσχέτιστες μεταξύ τους. Κατά παρόμοιο τρόπο, τα αποτελέσματα από τη μελέτη του φασματικού χώρου και τις φασματικές υπογραφές (βλέπε Εικόνα 9 και Εικόνα 10 αντίστοιχα) δείχνουν ότι η μέγιστη απόσταση φάσματος παρατηρείται στο μπλε και NIR κανάλια του GoeEye-1 αισθητήρα.

Οι παρατηρήσεις αυτές είναι επίσης σε συμφωνία με τα αποτελέσματα μετά τη χρήση των δεικτών βλάστησης. Όπως διαπιστώθηκε, οι πλέον υποσχόμενοι δείκτες ήταν οι PVI, TSAVI και SARVI. Σημειώνεται ότι για τον υπολογισμό αυτών των συγκεκριμένων τριών δεικτών περιέχονται και οι τιμές ανακλαστικότητας στο μπλε κανάλι. Μολονότι το μπλε κανάλι χρησιμοποιείται κυρίως ως "διόρθωση" για τους δείκτες (π.χ. για μείωση των ατμοσφαιρικών επιδράσεων των δορυφορικών εικόνων), αυτοί οι δείκτες έδωσαν τα καλύτερα αποτελέσματα.

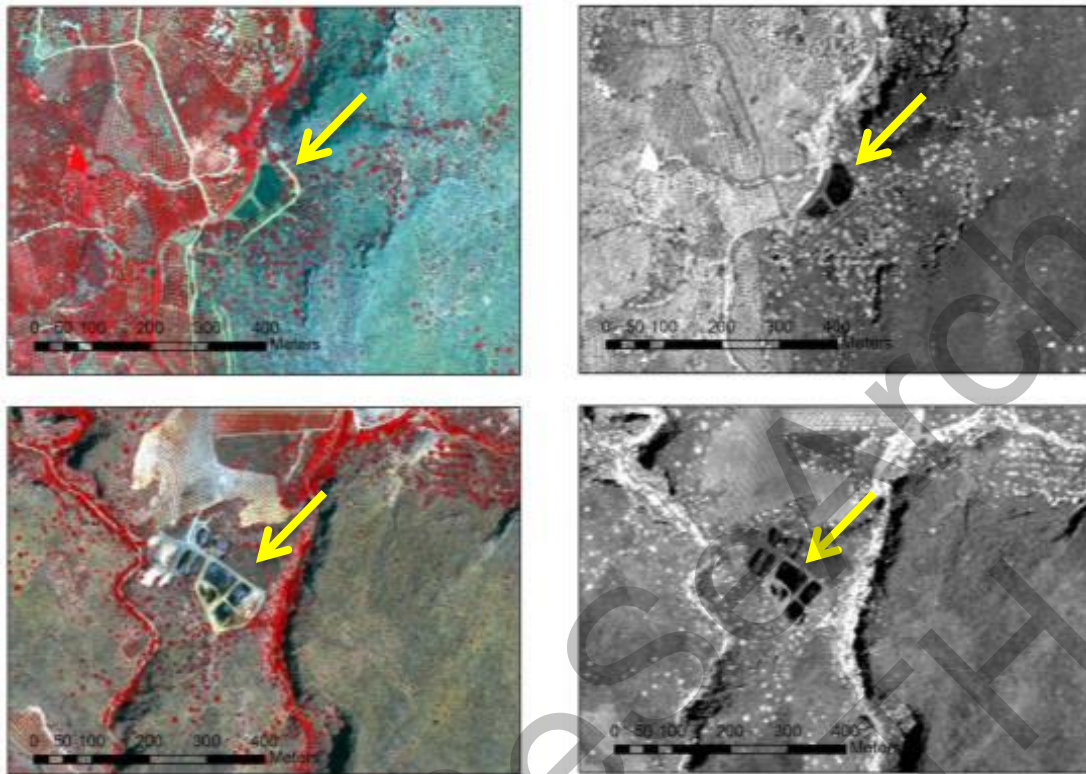
Τα συνολικά αποτελέσματα της μελέτης αυτής εφαρμόστηκαν σε μία εικόνα GeoEye-1 με ημερομηνία λήψης 16/06/2013. Όπως υποδεικνύεται στην Εικόνα 12 (αριστερά) κάποια ΥΑΕ μπορεί να εντοπιστούν μέσω φωτοερμηνείας του ψευδέχρωμου σύνθετου NVRI-R-G της εικόνας. Στην Εικόνα 12 (δεξιά) παρουσιάζεται η ίδια περιοχή μετά την εφαρμογή του κανονικοποιημένου δείκτη OOMW (όπως φαίνεται στην εξίσωση 14). Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο εντοπισμός περιοχών με ΥΑΕ μπορεί να βοηθηθεί μετά την εφαρμογή του προτεινόμενου δείκτη.

$$\text{κανονικοποιημένος δείκτης OOMW} = (p_{\text{NIR}} - p_{\text{blue}})/(p_{\text{NIR}} + p_{\text{blue}}) \quad (14)$$

Όπου:

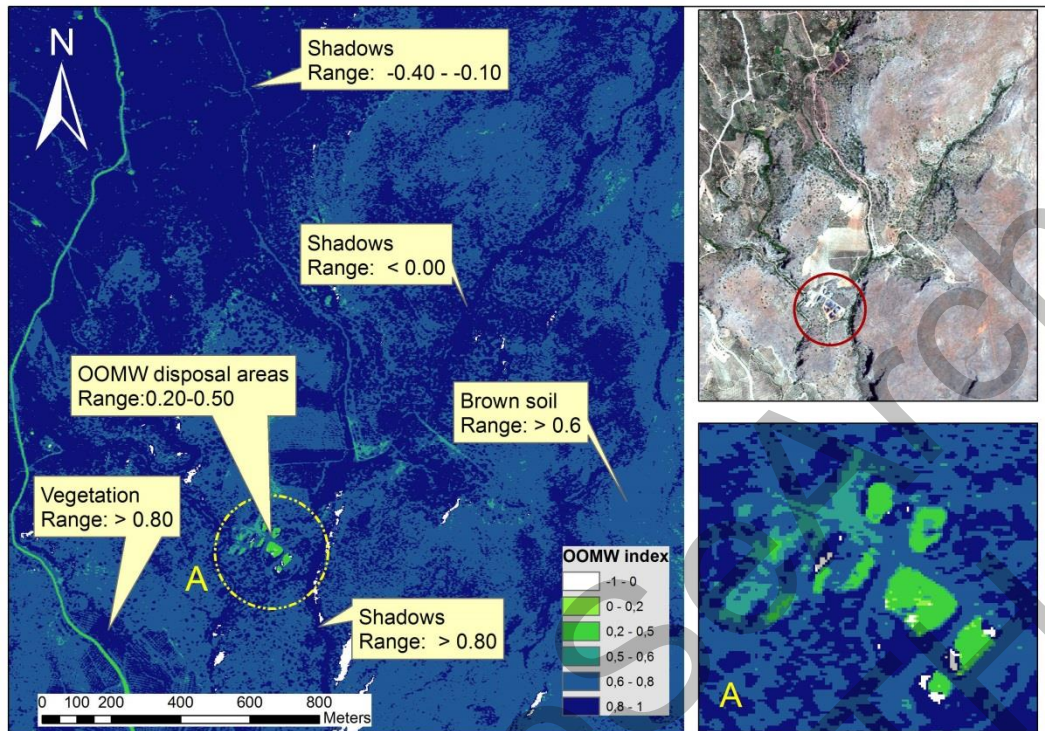
P_{NIR} = συντελεστής ανάκλασης στο NIR μέρος του φάσματος

P_{blue} = συντελεστής ανάκλασης, στο μπλε μέρος του φάσματος



Εικόνα 12: Δύο παραδείγματα από τον εντοπισμό ΥΑΕ περιοχών στην Κρήτη, σε GeoEye-1 εικόνα (αριστερά) NIR-R-G ψευδο χρωματική σύνθεση. Το δικαίωμα στην ίδια περιοχή μετά την εφαρμογή του κανονικοποιημένου δείκτη ΥΑΕ.

Πέρα από την οπτική διαφοροποίηση έγιναν περαιτέρω αναλύσεις εικόνων έτσι ώστε να εντοπιστούν πιθανά όρια τα οποία μπορεί να βοηθήσουν στον εντοπισμό ΥΑΕ. Πράγματι, ο εν λόγω δείκτης εφαρμόστηκε σε δύο περιπτώσεις με τη χρήση δύο GeoEye-1 εικόνων. Στην Εικόνα 13 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του δείκτη OOMW για την εικόνα που έχει ληφθεί στις 16 Ιουνίου 2013. Όπως αποδεικνύεται στο σχήμα αυτό, η διακύμανση που παρατηρείται, δηλαδή το εύρος 0,20 - 0,50 του δείκτη OOMW εντός των ΥΑΕ μπορεί να παρατηρηθεί λόγω διαφορετικής μεταχείρισης, σύνθεσης, καθώς περίοδος της επεξεργασίας των αποβλήτων από τα ελαιοτριβεία. Περιοχές με βλάστηση μπορούν εύκολα να αναγνωριστούν, δεδομένου ότι τείνουν να δίνουν θετικές τιμές με εύρος >0,80. Παράλληλα οι σκιές δίνουν αρνητικές τιμές (<0,00) όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 13.

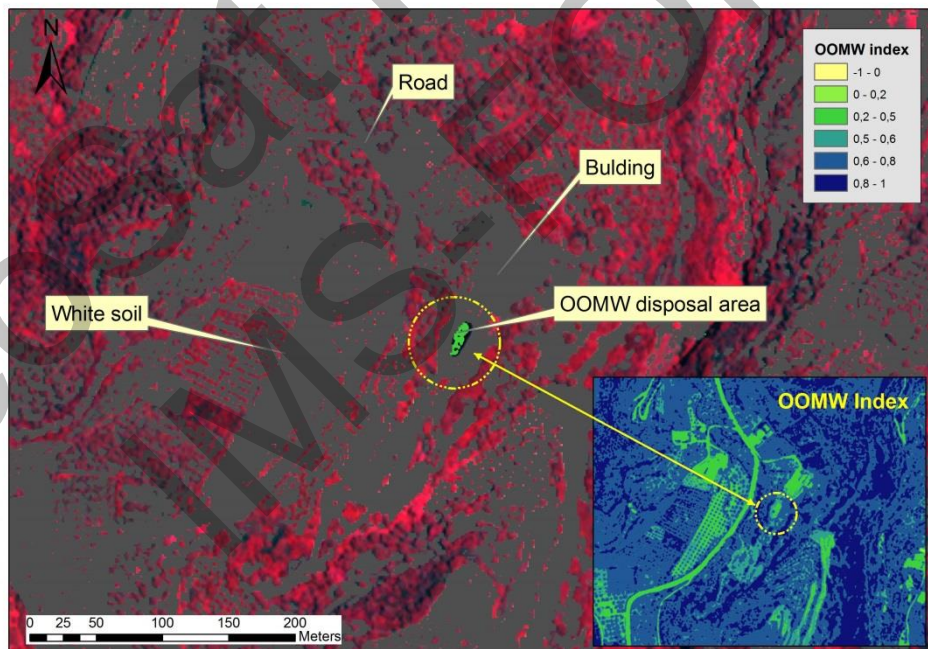
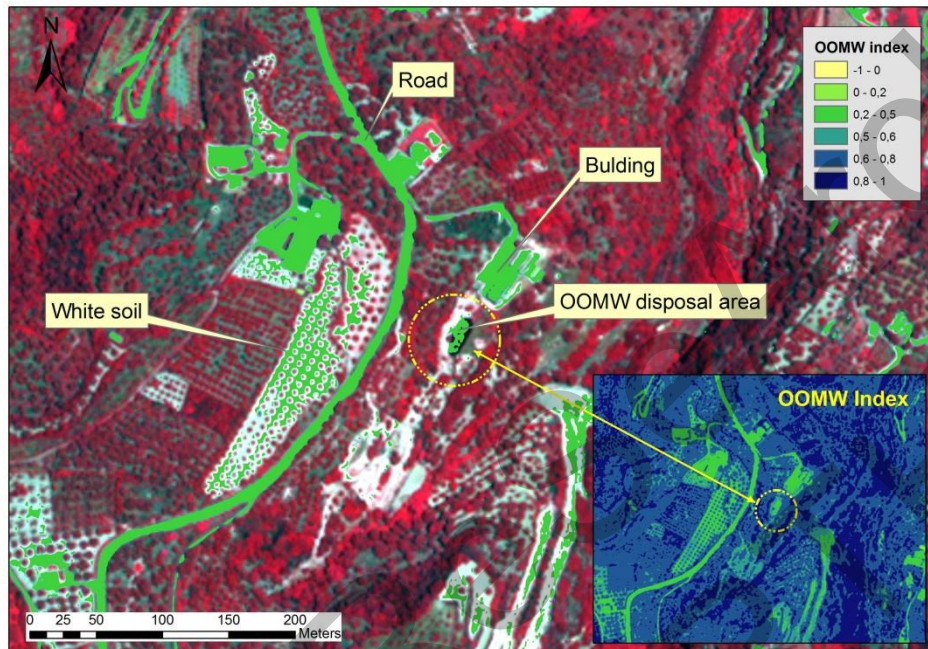


Εικόνα 13: Εφαρμογή του δείκτη OOMW όπου κυκλώνεται η περιοχή ΥΑΕ.

Στην Εικόνα 14 (πάνω) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μετά την εφαρμογή του δείκτη OOMW για τη δεύτερη περιοχή μελέτης χρησιμοποιώντας την εικόνα που έχει ληφθεί στις 17 Μαΐου 2014. Οι τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 0,20 - 0,50 και οι περιοχές με μεγάλη πιθανότητα ύπαρξης ΥΑΕ σημειώνονται με πράσινο χρώμα. Όπως παρατηρείται φασματικές ομοιότητες μπορούν να εντοπιστούν μεταξύ των περιοχών διάθεσης ΥΑΕ με άλλους στόχους όπως έδαφος, δρόμους ή κτίρια. Σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν αυτοί οι στόχοι τα αποτελέσματα είναι πολύ ενθαρρυντικά καθώς οι περιοχές διάθεσης ΥΑΕ μπορεί να ανιχνευθούν εύκολα (Εικόνα 14, κάτω). Πράγματι, με τη χρήση απλών τεχνικών φιλτραρίσματος όπως αυτές που παρουσιάζονται στην Εικόνα 14 (κάτω) με τιμές κατωφλίου της ανάκλασης στο μπλε μήκος κύματος, ψευδή αποτελέσματα μπορεί να αφαιρεθούν και συνεπώς να βελτιωθεί η ανίχνευση των περιοχών διάθεσης ΥΑΕ.

Πρέπει να σημειωθεί ότι ο δείκτης OOMW είναι πολύ ευαίσθητος στις ατμοσφαιρικές συνθήκες της περιοχής, και επομένως η ατμοσφαιρική διόρθωση των δορυφορικών εικόνων είναι απαραίτητη πριν από τον υπολογισμό του δείκτη. Η σκέδαση Rayleigh μπορεί να αλλάξει τις τιμές ανακλαστικότητας σημαντικά ειδικά στο μπλε μήκος κύματος και να δίνει ψευδή αποτελέσματα πέραν των ορίων 0,20-0,50. Από

παραδείγματα που έγιναν διαπιστώθηκε ότι χωρίς ατμοσφαιρική διόρθωση, ο δείκτης OOMW μπορεί να δώσει ακόμη και αρνητικές τιμές σε pixels με χώρους διάθεσης ΥΑΕ.



Εικόνα 14: Εφαρμογή του δείκτη OOMW όπου σημειώνεται με πράσινο το εύρος 0,20-0,50 για πιθανές περιοχές με ΥΑΕ (πάνω). Η ίδια περιοχή μετά από εφαρμογή μάσκας < 5% ανακλαστικότητα στο μπλε κανάλι.

5.2 Επεξεργασία δωρεάν δορυφορικών εικόνων

5.2.1 Εικόνες GeoEye's OrbView-3

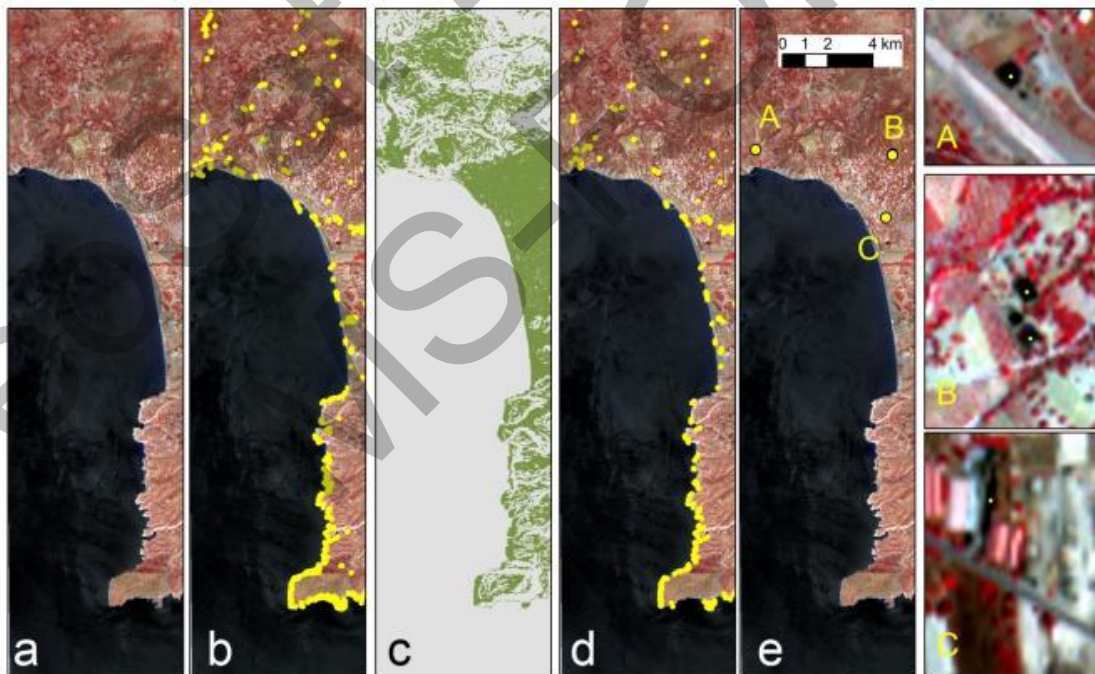
Η δωρεάν εικόνα υψηλής ανάλυσης GeoEye OrbView-3 (ημερομηνία λήψης 18 Ιουνίου 2006), έτυχε γεωμετρικής διόρθωσης χρησιμοποιώντας το RCP αρχείο και τα διαθέσιμα δεδομένα αναγλύφου από το ASTER GDEM. Η γεωμετρική διόρθωση εφαρμόστηκε για να ελαχιστοποιηθεί η παραμόρφωση της εικόνας που οφείλεται κυρίως στην ορεινή τοπογραφία της περιοχής. Ακολούθως έγινε εφαρμογή του αλγόριθμου Brovey (pansharpen) για να βελτιωθεί η χωρική ανάλυση της πολυφασματικής εικόνας. Η τεχνική Brovey [Nikolakopoulos, 2008] είναι μια από τις απλούστερες αλλά ευρύτερα χρησιμοποιούμενες τεχνικές ενίσχυσης των πολυφασματικών εικόνων εξαιτίας της ταχύτητας και της ευκολίας της εφαρμογής.

Ο αλγόριθμος ταξινόμησης SAM χρησιμοποιήθηκε για τον εντοπισμό των ΥΑΕ στην εικόνα. Αυτή η μέθοδος θεωρεί τα πολυφασματικά κανάλια ως διανύσματα και υπολογίζει τη φασματική γωνία μεταξύ των γνωστών ΥΑΕ με τις υπόλοιπες κλάσεις της εικόνας. Η μέθοδος SAM μέθοδος είναι σχεδόν ανεξάρτητη από τις ραδιομετρικές συνθήκες της ώρας λήψης αφού ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί μόνο το διάνυσμα κατεύθυνσης και όχι το διάνυσμα μήκους.

Μια γνωστή περιοχή ΥΑΕ επιλέχθηκε ως περιοχή εκπαίδευσης (ROI) ενώ και άλλες περιοχές (κλάσεις) έχουν επίσης επιλεγεί για να θεωρηθούν δεδομένα υπόβαθρου της εικόνας. Η ταξινόμηση της εικόνας αποτελεί μια επαναληπτική διαδικασία αφού πολλές φορές ο αλγόριθμος SAM παράγει ψευδείς στόχους ως ΥΑΕ (false – true). Τέτοια λάθη παρατηρούνται κυρίως σε υδάτινους όγκους και σε σκιασμένες περιοχές. Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε επομένως στην επιλογή αντιπροσωπευτικών ROI για ΥΑΕ περιοχών καθώς και άλλες κλάσεις που μπορούν να παράγουν ψευδώς θετικά αποτελέσματα (false – true). Μια άλλη κρίσιμη παράμετρος που τέθηκε στον αλγόριθμο ήταν η μέγιστη γωνία η οποία καθορίζει ποια εικονοστοιχεία μπορούν (ή δεν μπορούν) να ταξινομηθούν ως ΥΑΕ. Μέσω αυτής της διαδικασίας διαπιστώθηκε ότι μια πολύ μικρή φασματική γωνία ήταν αρκετή, λόγω της μοναδικής φασματικής υπογραφής των ΥΑΕ (βλ. πριν), που αντιστοιχεί σε χαμηλές τιμές ανακλαστικότητας στο ορατό μήκος κύματος και σχετικά μεγαλύτερη τιμή ανακλαστικότητας στο NIR μέρος του φάσματος,

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 15, μετά την εφαρμογή του αλγόριθμου SAM παραμένει μόνο ένας μικρός αριθμός false true ($\approx 0,03\%$ των αρχικών δεδομένων). Σε αυτή την ομάδα συμπεριλαμβάνονται κυρίως παράκτιες και σκιώδεις περιοχές. Προκειμένου να βελτιωθούν τα αποτελέσματα, εφαρμόστηκαν τοπογραφικοί περιορισμοί σε περιβάλλον GIS. Η κλίση της περιοχής υπολογίστηκε με βάση τα ASTER GDEM δεδομένα. Επειδή οι περιοχές ΥΑΕ βρίσκονται κυρίως σε επίπεδες ή σχεδόν επίπεδες περιοχές χρησιμοποιήθηκε ως μέγιστο όριο κλίσης το 20% (βλ. Εικόνα 15).

Περισσότερο από το 50% των αρχικών περιοχών είχαν εξαλειφθεί με τον τρόπο αυτό. Το τελικό βήμα είναι να εφαρμοστούν γεωμετρικοί περιορισμοί στους εναπομείναντες στόχους. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν δείκτες που φανερώνουν το απλό γεωμετρικό σχήμα και διαθέτουν συνήθως τα ΥΑΕ, το εμβαδόν τους έτσι ώστε να εξαιρεθούν είτε πολύ μικρές ή μεγάλες υποψήφιες περιοχές, ή ακόμη να αγνοεί τους στόχους με βάση το μήκος τους. Τα ερωτήματα αυτά εφαρμόστηκαν σε ένα GIS περιβάλλον. Το τελικό αποτέλεσμα (Εικόνα 15 δεξιά) δείχνουν ότι οι υποψήφιες περιοχές περιορίζονται μόνο σε τρεις.



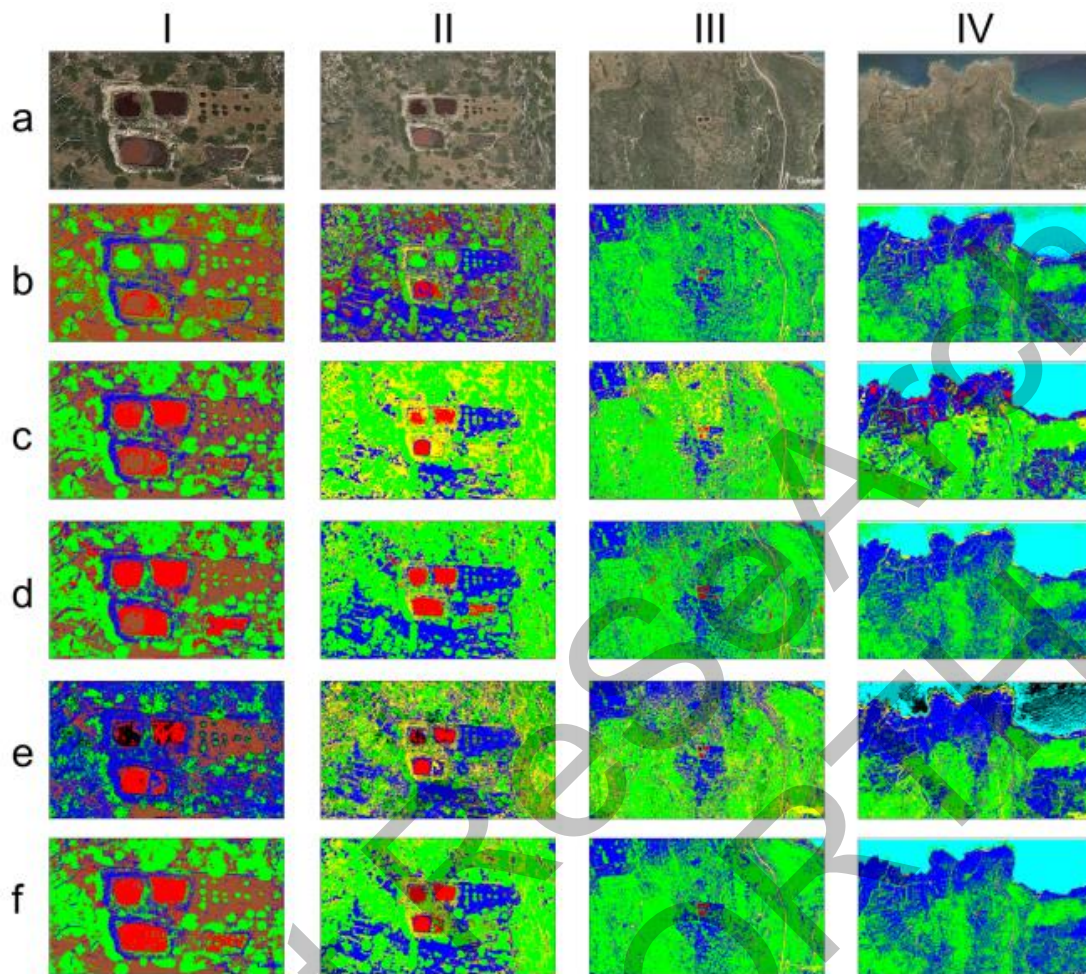
Εικόνα 15: (a) Ορθοδιόρθωση της εικόνας GeoEye OrbView-1 (b) αποτελέσματα ταξινόμησης μετά την εφαρμογή του αλγόριθμου SAM. Το κίτρινο χρώμα υποδεικνύει τις υποψήφιες περιοχές που κατατάσσονται ως ΥΑΕ (c-d) Τα αποτελέσματα με βάση τους τοπογραφικούς περιορισμούς (κλίση $>20\%$) ενώ στο τελικό στάδιο, (e) ο εντοπισμός των ΥΑΕ βασίζεται στις γεωμετρικές ιδιότητες. Από τα τελικά αποτελέσματα έχουν προκύψει μόνο τρεις περιοχές όπως φαίνεται και στο τέλος της εικόνας (f)

5.2.2 Εικόνες από Google Earth

Στην περιοχή της Μιρονικίτας έχουν χρησιμοποιηθεί εικόνες Google Earth. Ο σκοπός αυτής της μελέτης ήταν να εκτιμηθεί η πιθανή χρήση της ανίχνευσης ΥΑΕ χρησιμοποιώντας εικόνες RGB από το Google Earth. Στη βιβλιογραφία εντοπίζονται διάφοροι αλγόριθμοι ταξινόμησης όπως είναι η μέγιστη πιθανοφάνεια (ML), εγγύτερος γείτονας (MD), Support Vector Machine (SVM), αναλύσεις sub-pixel, αντικειμενοστραφείς αναλύσεις, ταξινομήσεις κατάτμησης, νευρωνικών δικτύων, δενδρικές ταξινομήσεις κτλ. Χρησιμοποιώντας περιοχές ενδιαφέροντος η συνολική απόδοση και ακρίβεια του κάθε ταξινομητή μπορεί να μετρηθεί και να αξιολογηθεί με βάση στατιστικές αναλύσεις.

Ο αλγόριθμος MD είναι μια στατιστική τεχνική που κατηγοριοποιεί την εικόνα με βάση τη εγγύτερη απόσταση των εικονοστοιχείων σε σχέση με τα φασματικά χαρακτηριστικά των περιοχών εκπαίδευσης. Παράλληλα είναι δυνατόν να καθοριστεί και ένα μέγιστο όριο απόστασης για την ταξινόμηση: εάν η φασματική απόσταση του εικονοστοιχείου είναι μεγαλύτερη από το όριο αυτό, τότε θεωρείται ότι είναι μη ταξινομημένο εικονοστοιχείο. Ο αλγόριθμος SAM είναι μία αυτοματοποιημένη μέθοδος που υπολογίζει τη φασματική γωνία μεταξύ των εικονοστοιχείων της εικόνας. Η τεχνική SVM είναι μια τεχνική που είναι προσαρμοσμένη για την επίλυση μη γραμμικών ταξινομήσεων στο n -διάστατο χώρο.

Στο πλαίσιο του έργου επιλέχθηκαν τέσσερα διαφορετικά ύψη παρατήρησης για τις εικόνες Google Earth, όπως φαίνεται στην Εικόνα 16. Η Εικόνα 16^α δείχνει την περιοχή μελέτης από ένα ύψος περίπου 100 μ. πάνω από την ΥΑΕ ενώ η Εικόνα 16β από ύψος 250 μέτρων. Η Εικόνα 16γ παρουσιάζει την ίδια περιοχή σε ύψος 850 μ., ενώ στην Εικόνα 16δ από ένα ύψος περίπου 2000 μ. Οι κόκκινες αποχρώσεις υποδεικνύουν τις περιοχές ΥΑΕ, με καφέ και μπλε αντιπροσωπεύεται περιοχές με έδαφος, ενώ η βλάστηση υποδεικνύεται με χρώμα πράσινο. Η ταξινόμηση των αποτελεσμάτων για κάθε περίπτωση παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.



Εικόνα 16: Ταξινόμηση αποτελεσμάτων για την περιοχή Μιρονικήτας σε τέσσερις διαφορετικές κλίμακες (I-IV: 100, 250, 850 και 2000 μ. πάνω από την περιοχή ΥΑΕ αντίστοιχα. Η σειρά α αντιστοιχεί στην εικόνα της Google Earth, και τα b-f τα αποτελέσματα της MD, ML, Mahalanobis, SAM και SVM ταξινόμησης.

Πίνακας 6: Kappa coefficient; overall accuracy; producer accuracy και user accuracy για την ταξινόμηση των εικόνων σε τέσσερις διαφορετικές κλίμακες: 100m, 250m, 850M και 2000m

Observation height	Classifier (Kappa Coefficient)				
	MD	ML	Mahal.	SAM	SVM
100	0,33	0,66	0,81	0,53	0,92
250	0,41	0,91	0,92	0,65	0,86
850	0,70	0,96	0,95	0,65	0,91
2000	0,69	0,74	0,77	0,69	0,82

Observation height	Classifier (Overall Accuracy)				
	MD	ML	Mahal.	SAM	SVM
100	0,55	0,77	0,86	0,66	0,93
250	0,52	0,92	0,92	0,76	0,92
850	0,76	0,92	0,93	0,73	0,92
2000	0,73	0,74	0,84	0,82	0,89

Observation height	Classifier (Producer Accuracy)				
	MD	ML	Mahal.	SAM	SVM
100	26,25	60,92	83,44	53,92	93,44
250	42,07	78,91	92,47	69,66	82,93
850	61,44	96,21	95,69	62,40	87,11

Observation height	Classifier (User Accuracy)				
	MD	ML	Mahal.	SAM	SVM
100	61,25	86,97	90,94	74,91	93,12
250	40,84	89,60	91,91	79,25	91,33
850	87,01	92,36	92,83	89,54	94,36

2000	48,21	88,56	72,17	54,37	85,00	2000	79,41	75,28	87,26	80,65	87,81
------	-------	-------	-------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------

Η ακρίβεια της εκτίμησης των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης έχει τύχει μεγάλης συζήτησης και έρευνας τα τελευταία χρόνια. Αυτό οφείλεται εν μέρει στο γεγονός ότι η ακρίβεια που δίνεται μέσω του συντελεστή Kappa δεν είναι πάντοτε αντιπροσωπευτική [Foody, 2002].

Στο πλαίσιο του έργου έγινε και εκτίμηση της ακρίβειας της ταξινόμησης. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 16 η κλίμακα της εικόνας δεν συνδέεται αναλογικά και με την ακρίβεια της ταξινόμησης. Πράγματι όπως έχουν δείξει αρκετές μελέτες η βέλτιστη χωρική ανάλυση δεν είναι απαραίτητα συνδεδεμένη με την χωρική ανάλυση των δορυφορικών εικόνων [Tran et al., 2011]. Αυτό συνήθως συμβαίνει σε περιοχές που εμφανίζουν ετερογένεια (όπως οι περιοχές ΥΑΕ).

Με βάση τα τελικά αποτελέσματα της ταξινόμησης ο αλγόριθμος SVM δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα σε όλες τις διαφορετικές κλίμακες, αναφορικά με τον εντοπισμό ΥΑΕ περιοχών. Σε αντίθεση η ταξινόμηση MD δίνει τα χειρότερα αποτελέσματα για όλες τις κλίμακες ($Kappa < 0,70$) ενώ η ταξινόμηση με βάση τον αλγόριθμο SAM παρέχει αρκετά καλά αποτελέσματα σε εικόνες με μεγαλύτερο υψόμετρο (βλέπε Πίνακας 6). Τα συνολικά αποτελέσματα δείχνουν ότι το βέλτιστο ύψος για την πλειονότητα των ταξινομήσεων είναι στα 850 μέτρα (βλέπε Πίνακας 6).

5.2.3 Συζήτηση αποτελεσμάτων

Η μελέτη δωρεάν δορυφορικών εικόνων φαίνεται ότι όντως μπορεί να βοηθήσει στην καταγραφή ΥΑΕ με αρκετά καλή ακρίβεια. Όπως παρουσιάστηκε πιο πάνω η εικόνα GeoEye OrbView-3 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον αυτόματο εντοπισμό ΥΑΕ περιοχών. Η ταύτιση βασίστηκε στον αλγόριθμο SAM, σε συνδυασμό με τοπογραφικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά για τη βελτίωση των τελικών αποτελεσμάτων. Τα αποτελέσματα ήταν πολύ ελπιδοφόρα, δεδομένου ότι τέσσερις περιοχές ΥΑΕ έχουν εντοπιστεί με επιτυχία σε μια περιοχή με κάλυψη περίπου 240 τετραγωνικά χιλιόμετρα.

Στην περίπτωση του Google Earth, χρησιμοποιήθηκαν RGB εικόνες. Αρκετοί αλγόριθμοι ταξινόμησης εφαρμόστηκαν σε διαφορετικής κλίμακας εικόνων. Τα

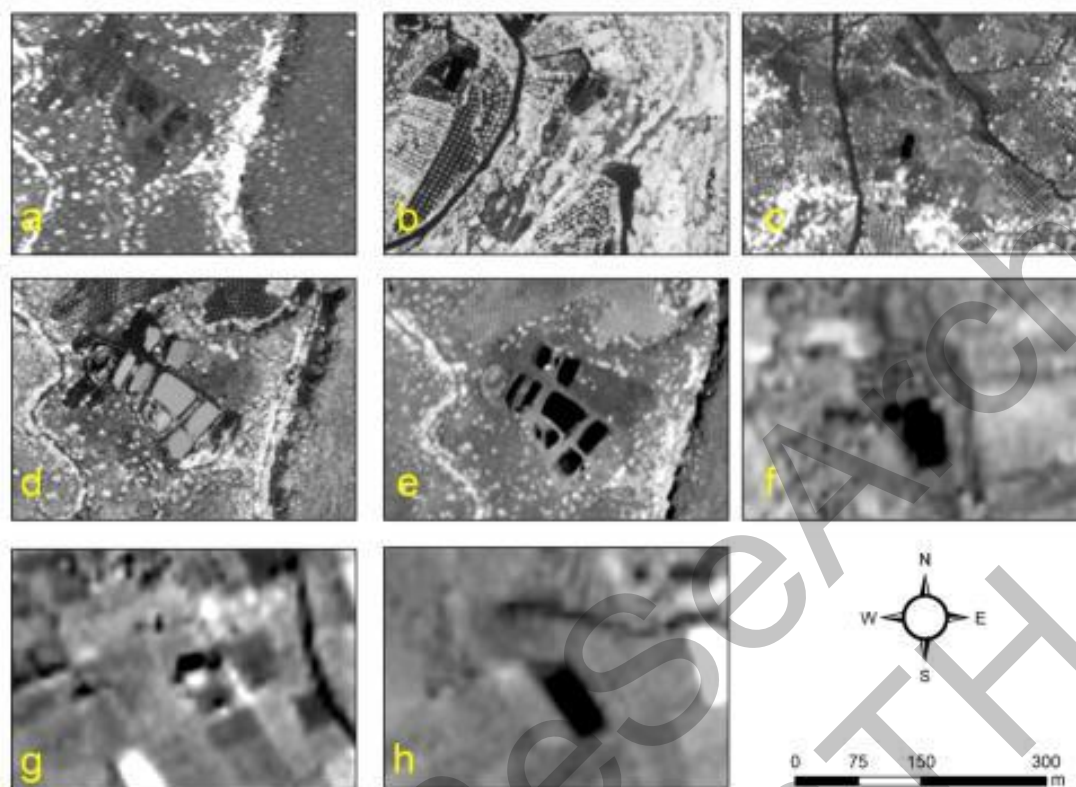
αποτελέσματα δείχνουν ότι αλγόριθμοι ταξινόμησης όπως είναι ο SVM μπορεί επιτυχώς να εντοπίσουν περιοχές από τις εικόνες Google Earth σε μέσο ύψος 850 μ.. Παρότι η χρήση των περιοχών εκπαίδευσης είναι απαραίτητη για τις μεθοδολογίες αυτές, η μοναδική φασματική υπογραφή των ΥΑΕ μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με ερωτήματα SQL σε περιβάλλον GIS έτσι ώστε να εντοπιστούν ΥΑΕ περιοχές.

5.3 Επεξεργασία εικόνων υψηλής ανάλυσης

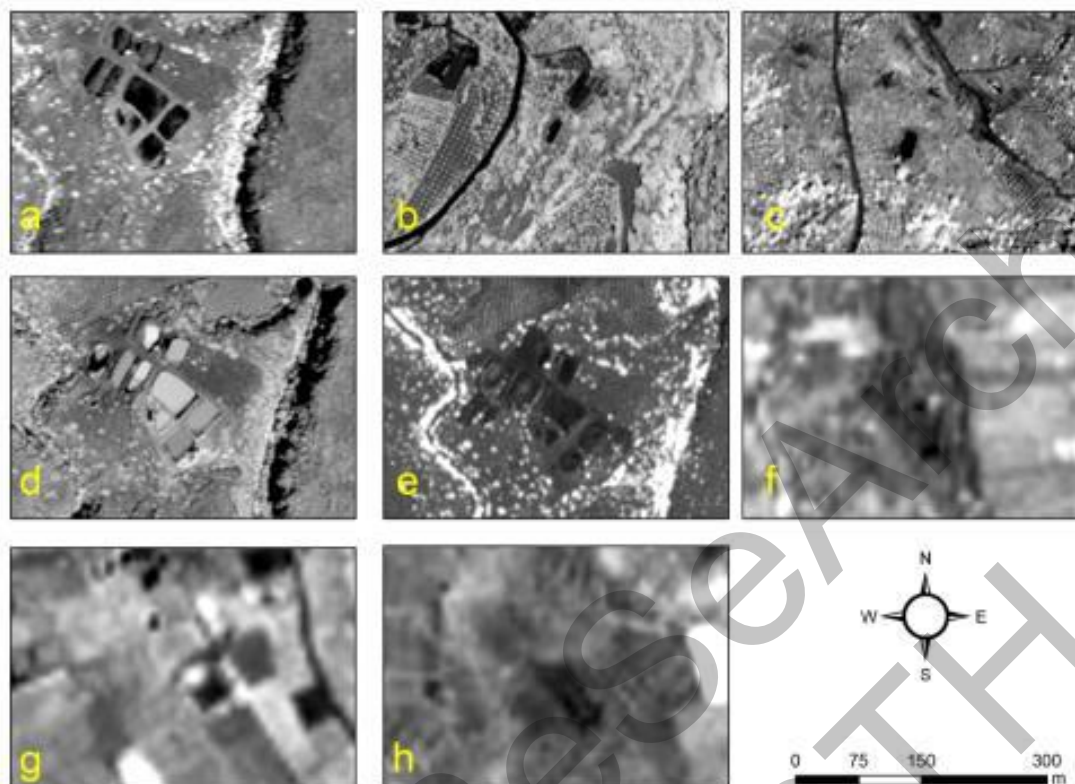
Στην συνέχεια περιγράφεται η επεξεργασία των εικόνων Pleiades (0.50 m), SPOT 6 (1.5 m), QuickBird (0.60 m), WorldView-2 (0.40 m) and GeoEye 1 (0.40 m) όπως αυτή περιγράφεται στο Κεφάλαιο 4.3 Επεξεργασία εικόνων υψηλής ανάλυσης).

5.3.1 Δείκτες NDVI και OOWI

Η Εικόνα 17 και Εικόνα 18 παρουσιάζουν τα αποτελέσματα μετά την εφαρμογή των δεικτών NDVI και OOWI. Όπως φαίνεται από τις εικόνες οι περιοχές ΥΑΕ μπορεί να αναγνωρισθούν ως μαύροι στόχοι λόγω της χαμηλής τιμής που καταγράφονται είτε στις εικόνες NDVI ή OOWI. Είναι επίσης ενδιαφέρον να σημειωθούν και οι αλλαγές που παρατηρούνται στις ΥΑΕ κατά τη διάρκεια του χρόνου όπως υποδεικνύεται στις εικόνες GeoEye (Εικόνα 17α και Εικόνα 18α) και εικόνες WorldView-2 (Εικόνα 17ε και Εικόνα 18ε). Ο δείκτης OOWI τείνει να ενισχύσει καλύτερα τις περιοχές ΥΑΕ, αντίθετα με τον δείκτη NDVI με εξαίρεση την Εικόνα 17f και Εικόνα 18f. Η πλειοψηφία των εικόνων τείνουν να δίνουν θετικά αποτελέσματα όσον αφορά την ανίχνευση των ΥΑΕ περιοχών, ενώ ορισμένες δυσκολίες, επισημαίνονται στην εικόνα SPOT 6 (βλ. Εικόνα 17f και Εικόνα 18f.). Οι εικόνες από τους αισθητήρες Pleiades (Εικόνα 17ε και Εικόνα 18ε) καθώς και QuickBird (Εικόνα 17c και Εικόνα 18c), δίνουν τα καλύτερα αποτελέσματα. Ωστόσο, αυτό πρέπει να πρέπει να συνδεθεί κυρίως με την χρονική στιγμή της λήψης των εικόνων αντί της χωρικής ή φασματικής δυνατότητας των αισθητήρων.



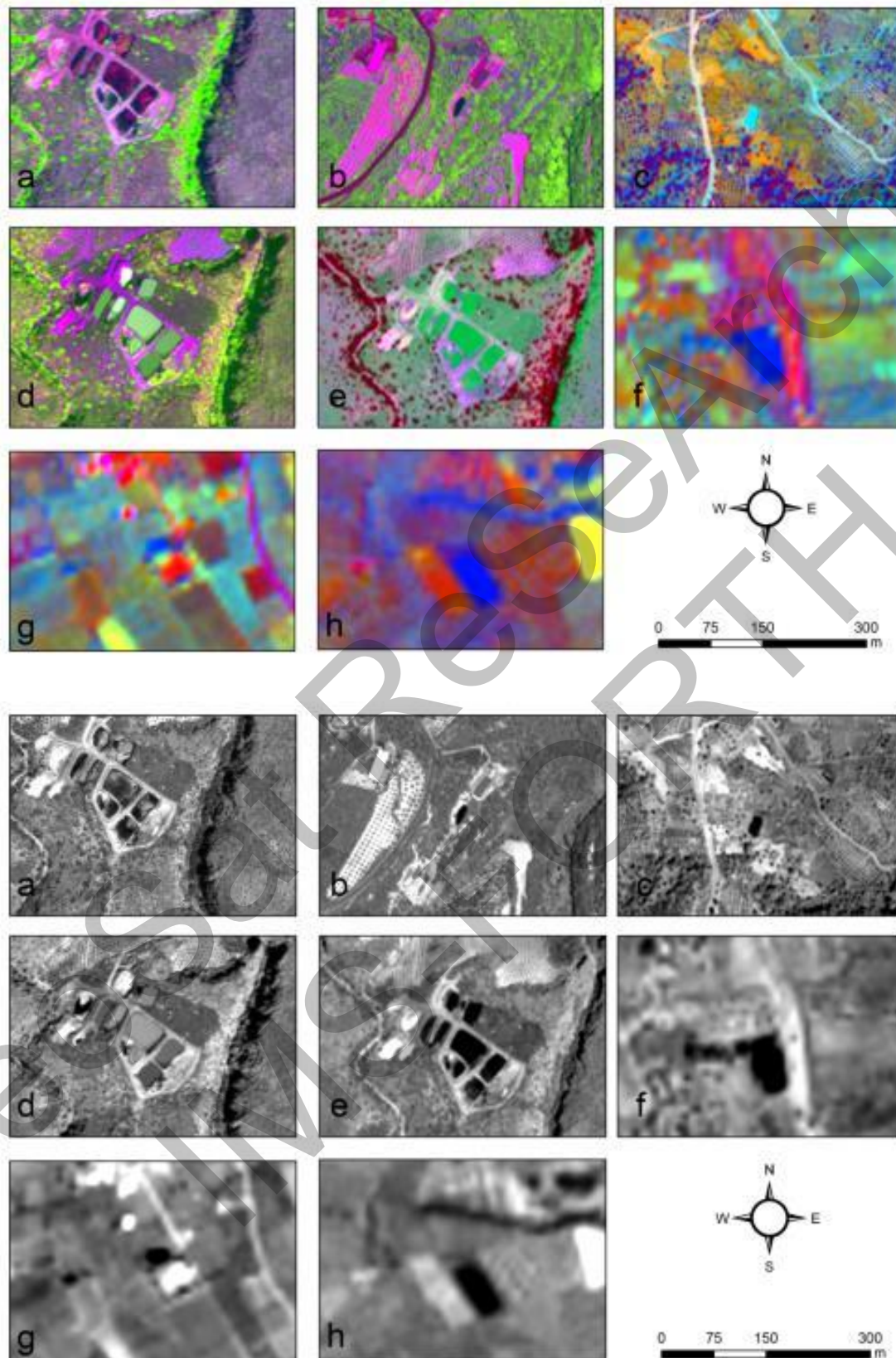
Εικόνα 17: ΥΑΕ περιοχές μετά την εφαρμογή του δείκτη βλάστησης NDVI στην (a) GeoEye 1 εικόνα (16/07/2013); (b) GeoEye 1 εικόνα (17/05/2014); (c) QuickBird εικόνα (21/08/2013); (d) WorldView-2 εικόνα (05/03/2013); (e) Pleiades εικόνα (15/07/2014) και (f–h) SPOT 6 εικόνα (07/10/2014).



Εικόνα 18: ΥΑΕ περιοχές μετά την εφαρμογή του δείκτη OOWI στην using (a) GeoEye 1 εικόνα (16/07/2013); (b) GeoEye 1 εικόνα (17/05/2014); (c) QuickBird εικόνα (21/08/2013); (d) WorldView-2 εικόνα (05/03/2013); (e) Pleiades εικόνα (15/07/2014) και (f – h) SPOT 6 εικόνα (07/10/2014).

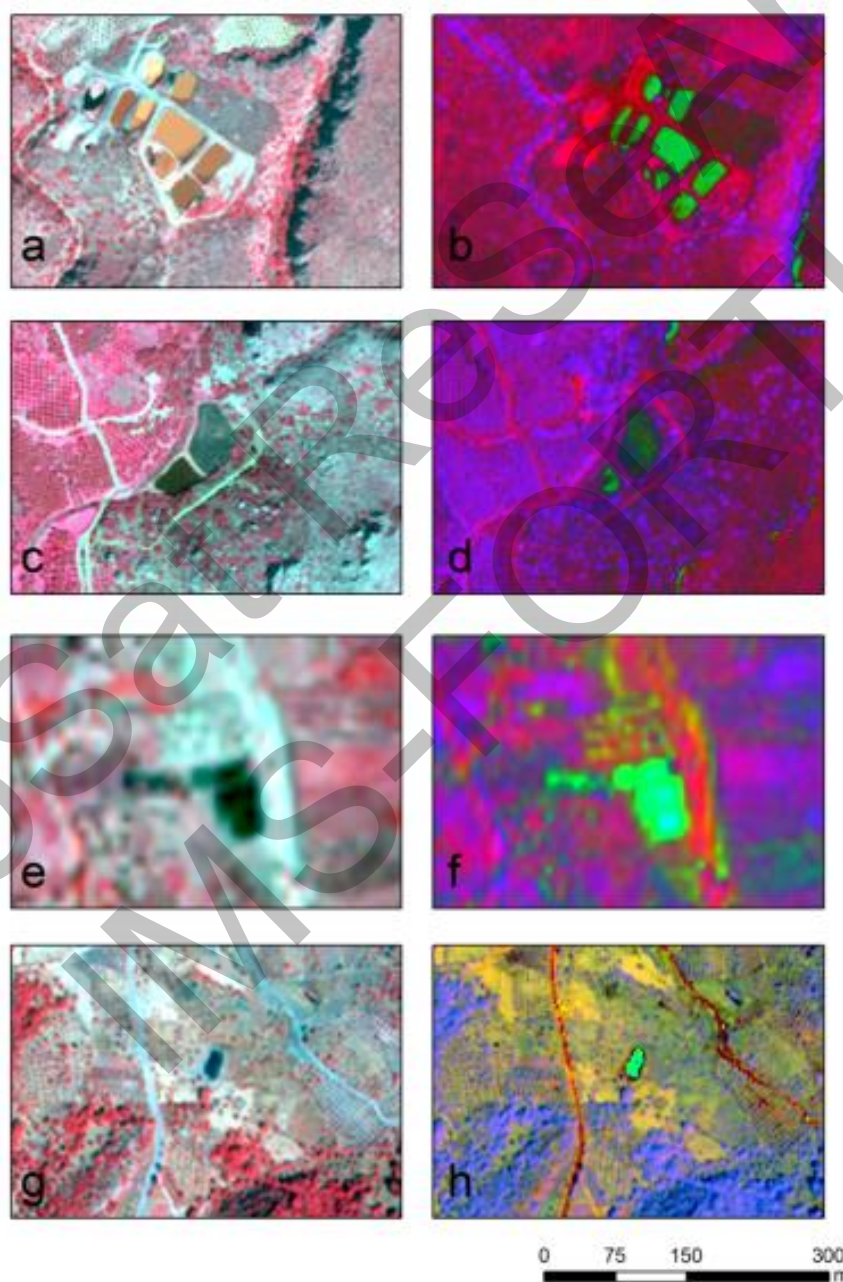
5.3.2 Εφαρμογή ανάλυσης PCA και IHS μετασχηματισμού

Η Εικόνα 19 (πάνω) παρουσιάζει το ψευδόχρωμο σύνθετο, από τις πρώτες κύριες συνιστώσες (PC1 με κόκκινο, PC2 με πράσινο και PC3 με μπλε χρώμα), ενώ η Εικόνα 19 (κάτω) εμφανίζει μόνο την πρώτη κύρια συνιστώσα (PC1). Είναι προφανές ότι η ανάλυση PCA μπορεί να βελτιώσει περαιτέρω τα αποτελέσματα των δορυφορικών δεδομένων που σχετίζονται με τη διάθεση αποβλήτων από την παραγωγή ελαιολάδου, σε σχέση με το δείκτη NDVI. Η πρώτη κύρια συνιστώσα PC1 (Εικόνα 19, κάτω) ήταν σε θέση να ενισχύσει όλες τις περιοχές απόρριψης ΥΑΕ (υποδεικνύονται ως μαύρο στόχοι), σε σχέση με τα αποτελέσματα του δείκτη NDVI (αναφορικά με την εικόνα SPOT 6).



Εικόνα 19: Πάνω: Ψευδέχρωμα σύνθετα μετά την εφαρμογή της ανάλυσης PCA (PC1-PC3) χρησιμοποιώντας την (a) GeoEye 1 εικόνα (16/07/2013); (b) GeoEye 1 εικόνα (17/05/2014); (c) QuickBird εικόνα (21/08/2013); (d) WorldView-2 εικόνα (05/03/2013); (e) Pleiades εικόνα (15/07/2014) και (f - h) SPOT 6 εικόνα (07/10/2014). Κάτω: το ίδιο με πάνω με την πρώτη κύρια συνιστώσα.

Τα αποτελέσματα ήταν ακόμη πιο ελπιδοφόρα μετά την εφαρμογή του μετασχηματισμού IHS. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 20, ο μετασχηματισμός είναι σε θέση να βοηθήσει την φωτοερμηνεία της εικόνας έτσι ώστε να εντοπιστούν σχετικά αξιόπιστα οι περιοχές ΥΑΕ. Οι περιοχές ΥΑΕ εμφανίζονται ως πράσινοι στόχοι, σε σχέση με το κόκκινο και μπλε χρώμα που αφορά τη βλάστηση και το έδαφος αντίστοιχα. Ακόμη και στην περίπτωση της εικόνας SPOT 6 (Εικόνα 20 e-f) ο εντοπισμός των ΥΑΕ ήταν επιτυχής.

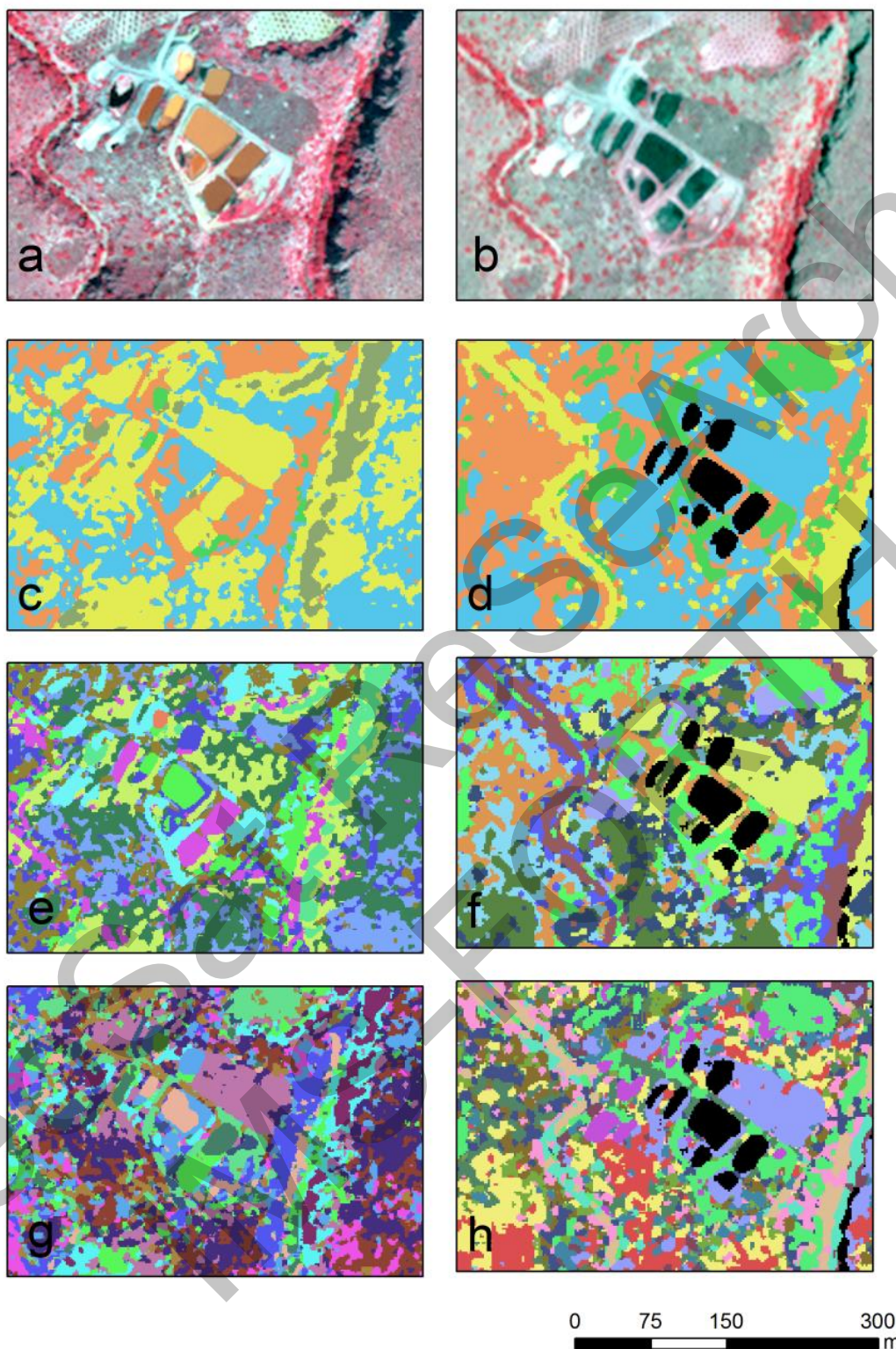


Εικόνα 20: ΥΑΕ περιοχές μετά την εφαρμογή του μετασχηματισμού HIS με βάση την (a-b) WorldView-2 εικόνα (05/03/2013); (c-d) Pleiades εικόνα (15/07/2014); (e-f) SPOT 6 εικόνα (07/10/2014) και (g-h) QuickBird εικόνα (21/08/2013). Εικόνα

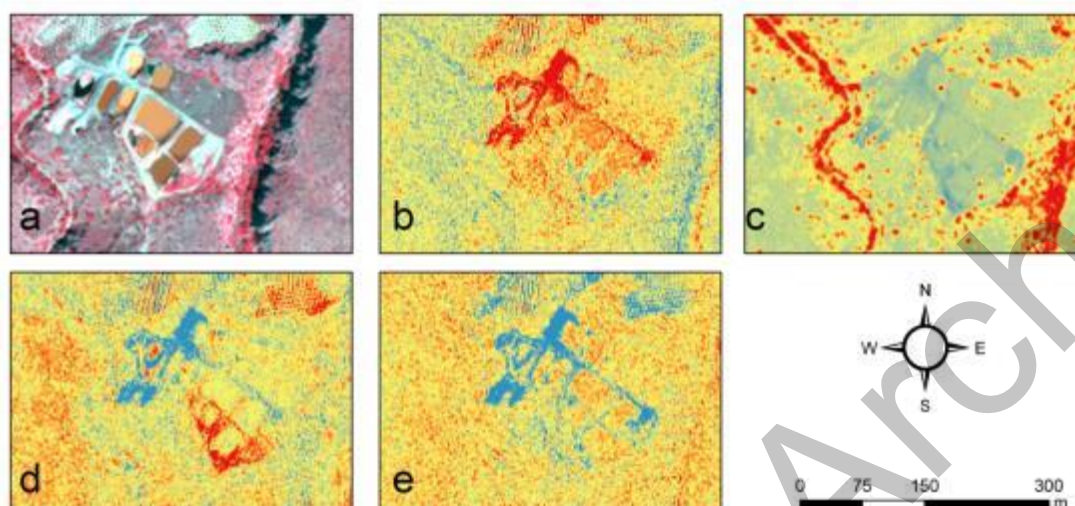
5.3.3 Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση

Ο αλγόριθμος ISODATA εφαρμόστηκε για την ίδια περιοχή μελέτης σε δύο διαφορετικές περιόδους (WorldView-2 (05/03/2013) και Pleiades (15/07/2014)). Ο αλγόριθμος ISODATA έχει τεθεί σε 6 επαναλήψεις με 95% όριο επανάληψης, ενώ ο αριθμός των τάξεων ορίστηκε διαδοχικά σε 5, 10 και 15. Η Εικόνα 21 παρουσιάζει τα τελικά αποτελέσματα μετά την ταξινόμηση των εικόνων. Η αριστερή στήλη της Εικόνας 21 δείχνει τα αποτελέσματα από την επεξεργασία WorldView-2 ενώ η δεξιά στήλη την ταξινόμηση αποτελεσμάτων από την εικόνα Pleiades. Στην εικόνα αυτή (Pleiades) οι περιοχές ΥΑΕ επισημαίνονται με μαύρο χρώμα. Όπως αποδεικνύεται, ο αλγόριθμος ISODATA ήταν ικανός να ανιχνεύει τους ΥΑΕ στην περίπτωση της εικόνας Pleiades ακόμη και με διαφορετικό αριθμό κλάσεων. Στην πραγματικότητα, παρόλο που ο αριθμός των τάξεων είχε αυξηθεί από 5 έως 15 οι ΥΑΕ παραμένουν σταθερές χωρίς καμιά ουσιαστική αλλοίωση. Μερικά false true αποτελέσματα παρουσιάζονται στο ανατολικό τμήμα της εικόνας που συνδέονται ωστόσο με τη σκιασμένη περιοχή. Σε αντίθεση, τα αποτελέσματα δεν ήταν ιδανικά για την περίπτωση της εικόνας WorldView-2. Ακόμη και για ένα μικρό αριθμό κλάσεων οι ΥΑΕ δεν μπόρεσαν να καταταχθούν σωστά. Φαίνεται έτσι ότι η παρατήρηση των ΥΑΕ από δορυφορικές εικόνες σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα, δύναται να αλλοιώνεται σε μη επιβλεπόμενες ταξινομήσεις.

Μια διαφορετική προσέγγιση ακολουθήθηκε για την εικόνα WorldView-2, χρησιμοποιώντας τις φασματικές βιβλιοθήκες. Τα αποτελέσματα με βάση τεχνικές unmixing (βλ. εξισώσεις 9-10) φαίνονται στην Εικόνα 22. Αναλυτικά, η Εικόνα 22b-e παρουσιάζει τα αποτελέσματα μετά την εφαρμογή του αλγορίθμου Constrained LSU. Το κόκκινο χρώμα δείχνει μεγαλύτερο ποσοστό για κάθε endmember ενώ με μπλε χρώμα τις χαμηλότερες τιμές. Όπως παρουσιάζεται Εικόνα 22b, η χρήση φασματικών υπογραφών ήταν σε θέση να ανιχνεύσουν τα περιοχές ΥΑΕ με υψηλό ποσοστό επιτυχίας (κόκκινο χρώμα) και φυσικά να βελτιώσει τα αποτελέσματα έναντι του αλγορίθμου ISODATA.



Εικόνα 21: ΥΑΕ περιοχές μετά την εφαρμογή της μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση (ISODATA) με βάση την WorldView-2 εικόνα (05/03/2013) (αριστερά) και την εικόνα Pleiades (15/07/2014) (δεξιά) για 5 (c-d); 10 (e-f) και 15 (g-h) κλάσεις.

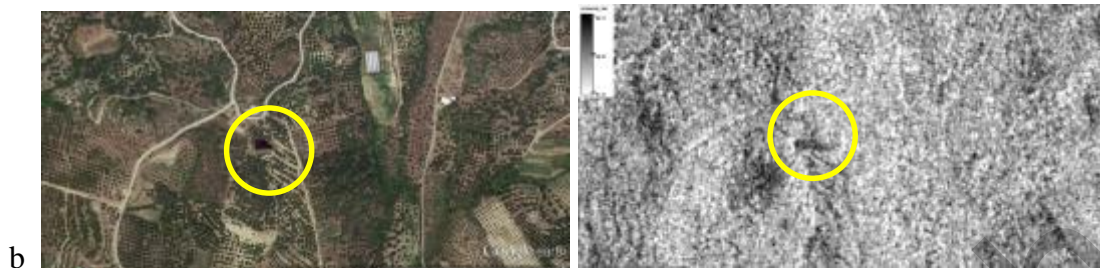


Εικόνα 22: ΥΑΕ περιοχές μετά την εφαρμογή του αλγόριθμου LSU στην WorldView-2 εικόνα (05/03/2013) (b) abundance χάρτης για ΥΑΕ; (c) abundance χάρτης για βλάστηση; (d) abundance χάρτης για άσπρο έδαφος και (e) abundance χάρτης για σκούρο έδαφος. Το κόκκινο χρώμα υποδεικνύει μεγαλύτερο ποσοστό για κάθε endmember ενώ το μπλε χαμηλότερο ποσοστό.

5.3.4 Ανάλυση εικόνας ραντάρ COSMO-SkyMed και υπερφασματικής εικόνας EO1-ALI

Σε μια πρώτη προσπάθεια να εκτιμηθεί η δυνατότητα εικόνων ραντάρ για τον εντοπισμό ΥΑΕ χρησιμοποιήθηκε η υψηλής ανάλυσης COSMO-SkyMed. Αρχικά έγινε η ορθοδιόρθωση της εικόνας με τη χρήση του SRTM DEM, ενώ παράλληλα έγινε και η απαραίτητη ραδιομετρική διόρθωση και εφαρμογή φίλτρων για απομάκρυνση του θορύβου (speckle filtering). Στην Εικόνα 23 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τη ανάλυση της εικόνας ραντάρ σε δύο γνωστές θέσεις ΥΑΕ σε περιοχή νότια της Κρήτης. Όπως φαίνεται, λόγω της παρουσίας νερού στις περιοχές αυτές, οι ΥΑΕ παρουσιάζονται ως μαύρος στόχος, λόγω του χαμηλού backscattering του σήματος.

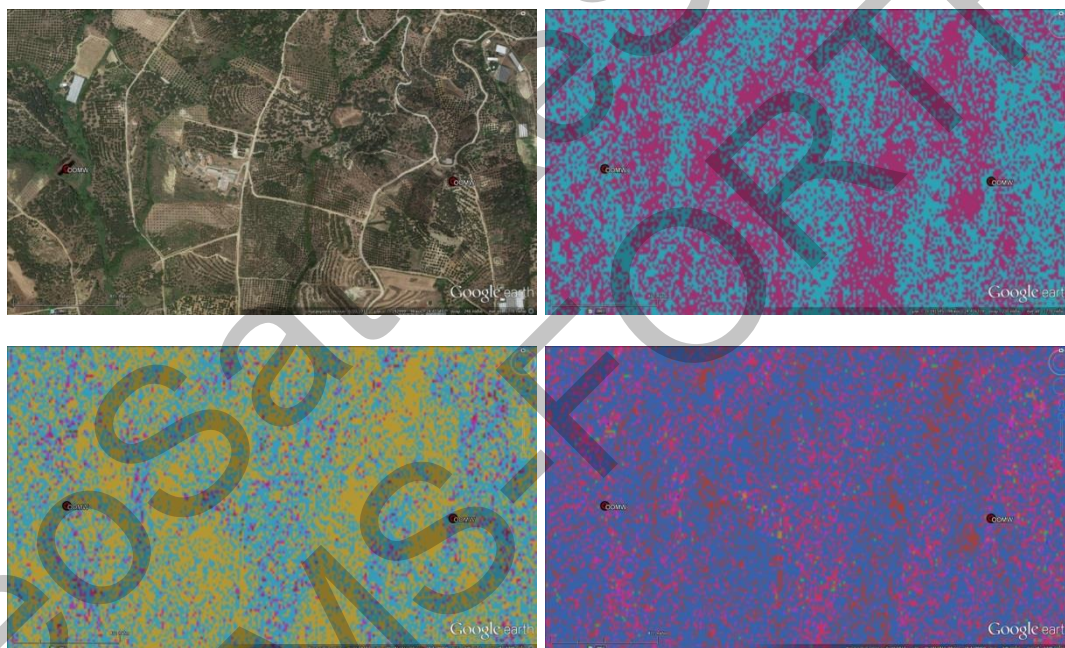




b

Εικόνα 23: ΥΑΕ περιοχές χρησιμοποιώντας την εικόνα ραντάρ COSMO-SkyMed.

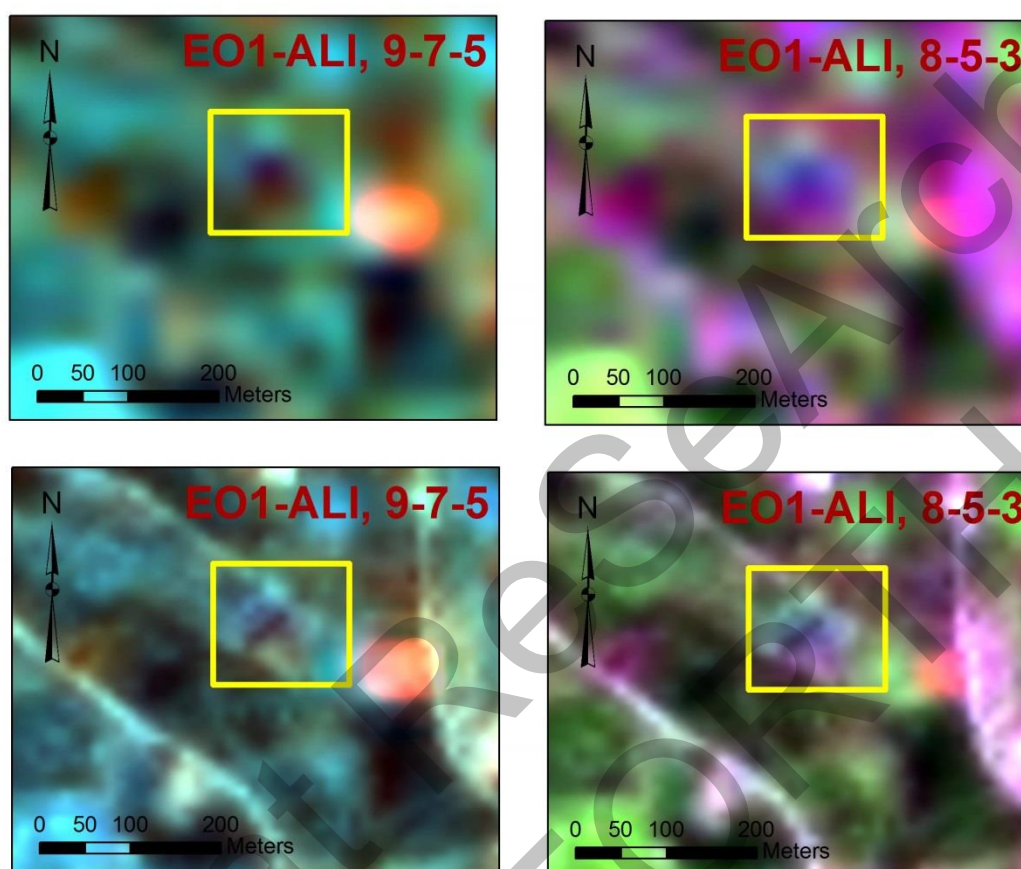
Στη συνέχεια έγινε προσπάθεια ταξινόμησης της εικόνας ραντάρ, με τη μέθοδο μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης χωρίς όμως κάποιο αποτέλεσμα. Η Εικόνα 24 παρουσιάζει τα συγκριτικά αποτελέσματα από την μέθοδο ISODATA για ένα διαφορετικό αριθμό κλάσεων (5-15-20) στην περιοχή μελέτης. Όπως φαίνεται και στην εικόνα η ανίχνευση και εντοπισμός των θέσεων ΥΑΕ από μια τέτοια μεθοδολογία αναμένεται να έχει φτωχά αποτελέσματα αφού δύσκολο γίνεται ο εντοπισμός (σε κλάση) των ΥΑΕ.



Εικόνα 24: Εφαρμογή μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης στην εικόνα radar με τη μέθοδο ISODATA για διαφορετικό αριθμό κλάσεων (5-15-20). Με κόκκινο σημειώνονται 2 γνωστές θέσεις ΥΑΕ.

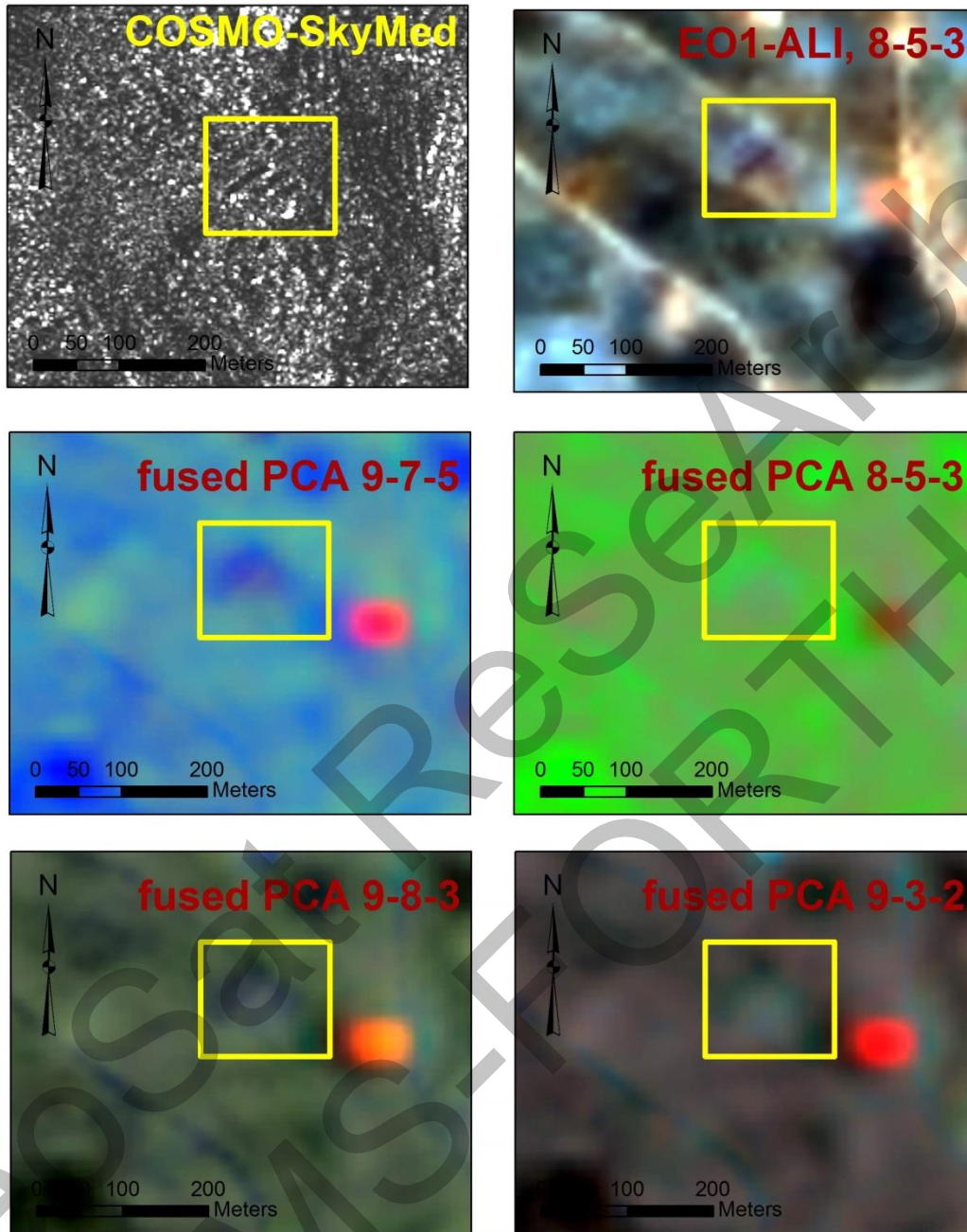
Στη συνέχεια έγινε χρήση της υπερφασματικής εικόνας EO1-ALI που κάλυπτε την ίδια περιοχή με την εικόνα ραντάρ. Στην αρχή έγινε συγχώνευση των υπερφασματικών καναλιών της εικόνας με ανάλυση 30 μέτρα με το πανχρωματικό κανάλι της ίδιας εικόνα μέσα από το μετασχηματισμό Multiplicative. Η Εικόνα 25 δείχνει τα αποτελέσματα σε μια θέση ΥΑΕ για τα έγχρωμα σύνθετα 9-7-5 και 8-5-3 πριν (πάνω) και μετά (κάτω) τον μετασχηματισμό. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 25, ο εντοπισμός

των ΥΑΕ ενισχύεται λόγω της αύξησης της χωρικής ανάλυσης της υπερφασματικής εικόνας μετά την εφαρμογή του μετασχηματισμού.



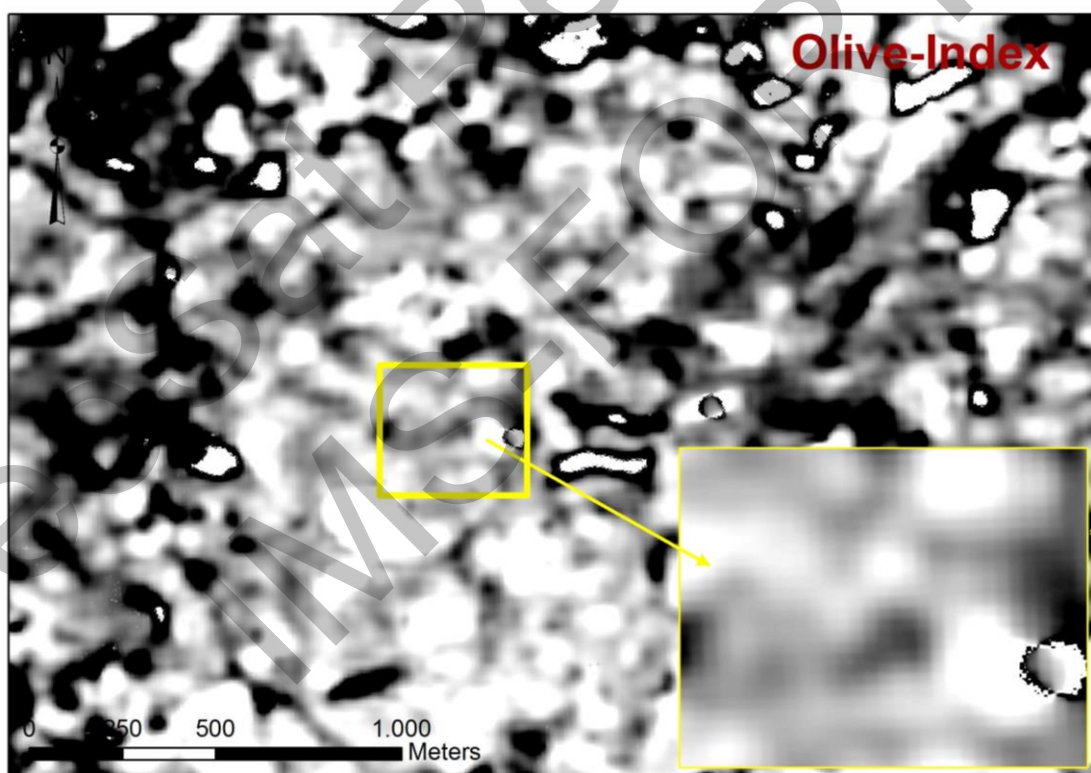
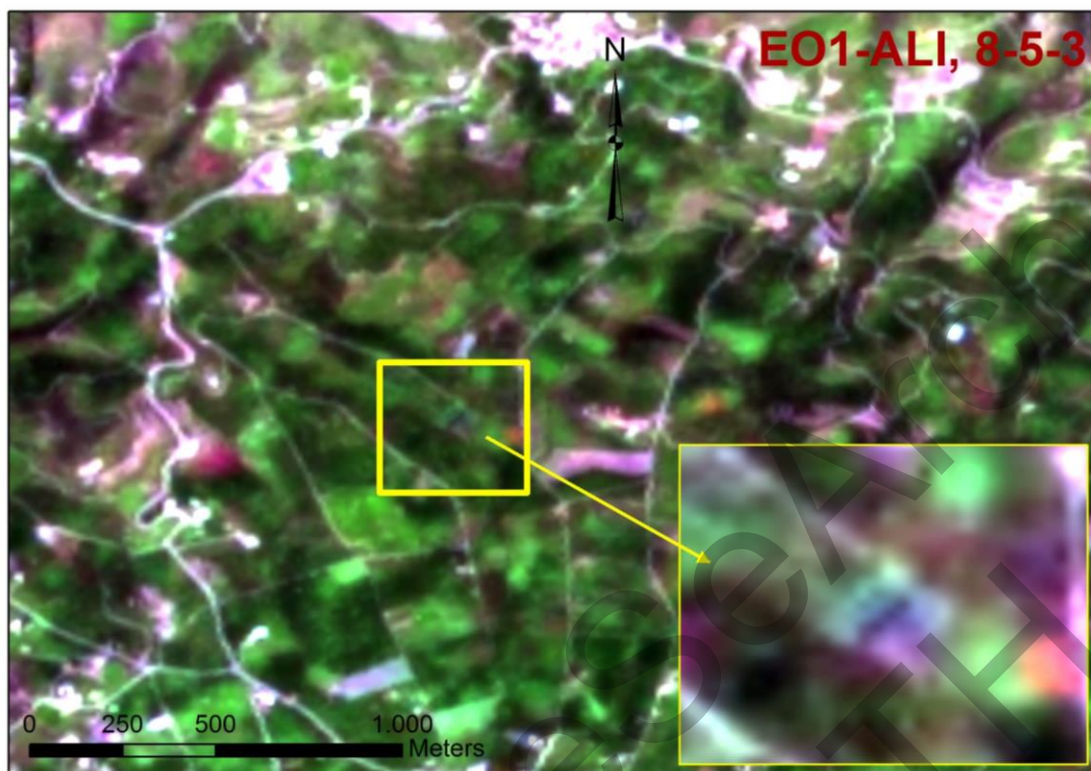
Εικόνα 25: Έγχρωμα σύνθετα της εικόνας EO1-ALI 9-7-5 και 8-5-3 πριν (πάνω) και μετά (κάτω) τη συγχώνευση των υπερφασματικών καναλιών με το παγχρωματικό κανάλι του ίδιο αισθητήρα.

Η υπερφασματική εικόνα συγχωνεύτηκε στη συνέχεια με την εικόνα ραντάρ με τη μέθοδο των κυρίων συνιστωσών (PCA). Η Εικόνα 26 παρουσιάζει τα αποτελέσματα της επεξεργασίας σε μια γνωστή θέση ΥΑΕ. Πάνω αριστερά είναι η θέση ΥΑΕ όπως απεικονίζεται στην εικόνα ραντάρ και δεξιά η ίδια θέση στην υπερφασματική εικόνα (μετά τη συγχώνευση με το παγχρωματικό κανάλι). Οι υπόλοιπες εικόνες παρουσιάζουν διάφορα έγχρωμα σύνθετα της νέας εικόνας που έχει προκύψει. Όπως φαίνεται και στην εικόνα ο εντοπισμός τέτοιων θέσεων στην εικόνα ραντάρ αν και βελτιώθηκε εντούτοις εξακολουθεί να παραμένει προβληματικός. Το έγχρωμο σύνθετο 9-8-3 δείχνει τα καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με τους άλλους συνδυασμούς.



Εικόνα 26: Αποτελέσματα συγχώνευσης εικόνας radar με την υπερφασματική εικόνα EO1-ALI.

Τέλος εφαρμόστηκε και ο δείκτης OOMW όπως αυτός περιγράφηκε προηγούμενος. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τα κανάλια 6 και 2 της συγχωνευμένης εικόνας και τα αποτελέσματα φαίνονται στην Εικόνα 27. Ο εντοπισμός των ΥΑΕ εξακολουθεί και πάλι να είναι προβληματικός. Θα πρέπει να σημειωθεί ωστόσο ότι η χρήση ραντάρ αξίζει να μελετηθεί σε σχέση με υψηλής ανάλυσης οπτικές εικόνες (οι οποίες δυστυχώς δεν ήταν διαθέσιμες για την περιοχή μελέτης μας).



Εικόνα 27: Εφαρμογή του δείκτη OOMW στην εικόνα ραντάρ - EO1-ALI.

5.3.5 Συζήτηση αποτελεσμάτων

Όπως διαπιστώθηκε από τα πιο πάνω αποτελέσματα γνωστοί αλγόριθμοι επεξεργασίας εικόνας μπορεί να χρησιμοποιηθούν έτσι ώστε να εντοπιστούν ΥΑΕ περιοχές. Τέτοιοι

αλγόριθμοι είναι μεταξύ άλλων οι NDVI, PCA, IHS μετασχηματισμοί κλπ. Μερικά από τα πιο ελπιδοφόρα αποτελέσματα έχουν προκύψει από την εφαρμογή της ανάλυσης PCA και του μετασχηματισμού IHS μετασχηματισμού. Επίσης θετικά αποτελέσματα καταγράφονται και από το δείκτη OOWI.

Επιπλέον η εικόνα ραντάρ COSMO-SkyMed εξετάστηκε επίσης σε αυτή τη μελέτη. Οι εικόνες ραντάρ έχουν εμφανιστεί σχετική πρόσφατα στη βιβλιογραφία κυρίως για χαρτογράφηση χρήσεων γης και η σχετικά μικρή χρήση τους οφείλεται κυρίως στο υψηλό κόστος των εικόνων. Θα πρέπει να σημειωθεί όμως ότι η εκμετάλλευση των νέων δεδομένων όπως για παράδειγμα εικόνες από τον αισθητήρα Sentinel - 1 αναμένεται να προωθήσει περαιτέρω τη χρήση τέτοιων εικόνων.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το ελαιόλαδο είναι πολύ σημαντικός οικονομικός πόρος στις χώρες της Μεσογείου. Η Ελλάδα είναι η 3η μεγαλύτερη παραγωγός ελαιολάδου σε παγκόσμιο επίπεδο ενώ μόνο η Κρήτη συμβάλλει περισσότερο από 5% στην παγκόσμια παραγωγή. Ωστόσο, η εξαγωγή του ελαιολάδου που παράγει τεράστιες ποσότητες αποβλήτων που μπορεί να είναι επιβλαβείς για το περιβάλλον. Στην περιοχή της Κρήτης έχουν καταγραφεί σχεδόν 1000 ΥΑΕ. Τέτοιες περιοχές βρίσκονται διάσπαρτες σε όλο το νησί και η ανίχνευση και χαρτογράφηση τους μπορεί να είναι δύσκολη και χρονοβόρα.

Εναλλακτικοί τρόποι για τον εντοπισμό και παρακολούθηση ΥΑΕ περιοχών είναι αναγκαίες. Οι τεχνικές τηλεπισκόπησης προσφέρουν μια μοναδική λύση καθώς παρέχουν συνοπτικά αποτελέσματα σε μεγάλες εκτάσεις ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Όπως φάνηκε μέσα από τα διάφορα παραδείγματα διάφορες τεχνικές τηλεπισκόπησης και διάφορα δορυφορικά δεδομένα είναι σε θέση να δώσουν ακριβή αποτελέσματα και να εντοπίσουν στόχους με ΥΑΕ περιοχές.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Agapiou A., Papadopoulos N., Sarris A., 2015a. Detection of olive oil mill waste (OOMW) disposal areas in the island of Crete using freely distributed high resolution GeoEye's OrbView-3 and Google Earth images. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, (under review)

Agapiou A., Papadopoulos N., Sarris A., 2015b. Discriminant analysis of olive oil mill wastes using spectroradiometers in the visible and near infrared part of the spectrum, *European Journal of Remote Sensing*, (under review).

Alexakis D.D., Sarris A., Kalaitzidis C., Papadopoulos N., Soupios, P., 2015. Integrated use of satellite remote sensing, GIS and ground spectroscopy techniques for monitoring olive oil mill waste disposal areas in Crete Island –Greece. *International Journal of Remote sensing*, (accepted for publication in *International Journal of Remote Sensing*).

Asfi M., Ouzounidou G., Panajiotidis S., Therios I., Moustakas M., 2012. Toxicity effects of olive-mill wastewater on growth, photosynthesis and pollen morphology of spinach plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 80(1): 69-75.

Bailey A. R., Clark M. H., Ferris P. J., Krause S., Strong L. R., 2002. Solid waste disposal and recycling, In *Chemistry of the Environment (Second Edition)*, Ronald A. Bailey, Herbert M. Clark, James P. Ferris, Sonja Krause and Robert L. Strong (Eds), Academic Press, San Diego, 2002, 769-792.

Baret F., Guyot G., 1991. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. *Remote Sens. Environ.*, 35: 161–173.

Camarsa G., Gardner S., Jones W., Eldridge J., Hudson T., Thorpe E., Hara E., 2010. Good practice in improving environmental performance in the olive oil sector. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Union.

Campbell J. B., 2007. *Introduction to Remote Sensing*, The Guilford Press, 4th edition, ISBN-13: 978-1609181765.

Dermeche S., Nadour M., Larroche C., Moulti-Mati F., Michaud P. 2013. Olive mill wastes: Biochemical characterizations and valorization strategies. *Process Biochemistry*, 48(10): 1532-1552, ISSN 1359-5113, <http://dx.doi.org/10.1016/j.procbio.2013.07.010>.

Dellagreca, M.; Monaco, P.; Pinto, G.; Pollio, A.; Previtera, L.; Temussi, F., 2001, Phytotoxicity of low-molecular-weight phenols from olive mill wastewaters. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 67, 352-359.

Foody, M. G., 2002. Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 80,185- 201.

Garzelli, A.; Nencini, F., 2007. Panchromatic sharpening of remote sensing images using a multiscale Kalman filter. *Pattern Recognition*, 40(12), 3568-3577

Ghaffarian, S.; Ghaffarian, S., 2014. Automatic building detection based on Purposive FastICA (PFICA) algorithm using monocular high resolution Google Earth images. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 97, 152-159.

Gitelson A. A., Kaufman Y. J.; Merzlyak M. N. 1996. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote Sens. Environ.* 58: 289–298.

Hanifi S., El Hadrami I. 2009. Olive mill wastewaters: Diversity of the fatal product in olive oil industry and its valorisation as agronomical amendment of poor soils. A review. *Journal of Agronomy*, 8:1–13.

Hegazy I.R., Kaloop R. M. 2015. Monitoring urban growth and land use change detection with GIS and remote sensing techniques in Daqahlia governorate Egypt. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 4 (1), 117-124

Jordan C.F. 1969. Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. *Ecology*, 50: 663–666.

Kavvadias V., Doula M., Theocharopoulos S., 2014. Long-Term Effects on Soil of the Disposal of Olive Mill Waste Waters (OMW). *Environmental Forensics*, 15(1): 37-51.

Kaufman Y.J.; Tanré D. 1992. Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 30: 261–270.

Kennedy, D.; Bishop, M.C. 2011, Google earth and the archaeology of Saudi Arabia. A case study from the Jeddah area. *Journal of Archaeological Science*, 38(6), 1284-1293

Komnitsas K., Zaharaki D., Doula M., Kavvadias V., 2011. Origin of recalcitrant heavy metals present in olive mill wastewater evaporation ponds and nearby agricultural Soils. *Environmental Forensics*, 12: 319–326.

Niaounakis M., Halvadakis C. P., 2006. Olive processing waste management. Literature review and patent survey. *Waste Management Series*, 5, Elsevier Ltd.

Nikolakopoulos, G. K. 2008. Comparison of nine fusion techniques for very high resolution data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 74(5), 647–659.

Paredes, M.J.; Moreno, E.; Ramos-Cormenzana, A.; Martinez, J., 1987, Characteristics of soil after pollution with wastewaters from olive oil extraction plants. *Chemosphere*, 16 (7), 1557–1564.

Pavlidou A, Anastasopoulou E., Dassenakis M., Hatzianestis I., Paraskevopoulou V., Simboura N., Rousselaki E., Drakopoulou P., 2014. Effects of olive oil wastes on river basins and an oligotrophic coastal marine ecosystem: A case study in Greece. *Science of The Total Environment*, 497–498(1), 38-49.

Peikert B., Schaumann G.E., Keren Y., Bukhanovsky N., Borisover M., Garfha M.A., Shoqric J.H., Dag A., 2015. Characterization of topsoils subjected to poorly controlled olive oil mill wastewater pollution in West Bank and Israel, *Agriculture. Ecosystems & Environment*, 199 (1), 176-189.

Pearson R.L., Miller L.D. 1972. Remote Mapping of Standing Crop Biomass and Estimation of the Productivity of the Short Grass Prairie, Pawnee National Grasslands, Colorado. In Proceedings of the 8th International Symposium on Remote Sensing of the Environment, Ann Arbor, MI, USA, 2–6 October 1972; pp. 1357–1381.

Prosodol, Life + Project, <http://www.prosodol.gr/?q=el/node/53> (τελευταία επίσκεψη 01/09/2015)

Qi J., Chehbouni A., Huete A.R., Kerr Y.H., Sorooshian S. A. 1994. Modified soil adjusted vegetation index. *Remote Sens. Environ.*, 48: 119–126.

Rawat J.S., Kumar M., 2015. Monitoring land use/cover change using remote sensing and GIS techniques: A case study of Hawalbagh block, district Almora, Uttarakhand, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18 (1), 77-84.

Richardson A.J., Wiegand C.L., 1977. Distinguishing vegetation from soil background information. *Photogram. Eng. Remote Sensing.*, 43: 15–41.

Roig A., Cayuela M.L., Sánchez-monedero M.A., 2006. An overview on olive mill wastes and their valorisation methods. *Waste Management*, 26(9): 960-969.

Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W., Harlan J.C. 1974. Monitoring the Vernal Advancements and Retrogradation (Greenwave Effect) of Nature Vegetation; NASA/GSFC Final Report; NASA: Greenbelt, MD, USA, 1974.

Tran, T.-B.; Puissant, A.; Badariotti, D.; Weber, C. 2011. Optimizing Spatial Resolution of Imagery for Urban Form Detection—The Cases of France and Vietnam. *Remote Sensing*, 3(10), 2128-2147.

Tucker C.J., 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sens. Environ.* 8: 127–150.

USGS, 2014. OrbView-3. https://lta.cr.usgs.gov/satellite_orbview3 (last accessed May 2015)

Zhang Y., Gao J., Liu L., Wang Z., Ding M., Yang X., 2013. NDVI-based vegetation changes and their responses to climate change from 1982 to 2011: A case study in the Koshi River Basin in the middle Himalayas. *Global and Planetary Change*, 108, 139-148.

GeoSat Research
IMS-FORTH