



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

ΕΡΓΟ ΑΠΘ: ΘΑΛΗΣ 85492



Χαρτογράφηση βλάστησης και εκτίμηση βιομάζας με σύγχρονες μεθόδους Τηλεπισκόπησης στο πλαίσιο της σύμβασης των Ηνωμένων Εθνών για την κλιματική αλλαγή και του Πρωτοκόλλου του Κιότο

Παραδοτέο 3.γ

Ψηφιακά αρχεία υπερφασματικής βιβλιοθήκης κατηγοριών και ειδών βλάστησης

ΕΚΘΕΣΗ



Θεσσαλονίκη, Μάρτιος 2014



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ

Δρ. Ιωάννης Γήτας, Αναπλ. Καθηγητής Σχολής Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος
Α.Π.Θ.

Τηλ: 2310992699

E-mail: igitas@for.auth.gr

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΠΑΡΑΔΟΤΕΟΥ

Δρ. Ιωάννης Γήτας

ΟΜΑΔΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Δρ. Ιωάννης Γήτας

Δρ. Βασιλεία Καραθανάση

Δρ. Πολ Κολοκούσης

Δρ. Χρήστος Καρυδάς

Δρ. Δημήτριος Σταυρακούδης

Δρ. Γεωργία Γαλιδάκη

Δρ. Χαρούλα Ανδρέου

1. Εισαγωγή

Σκοπός της έρευνας είναι η καταγραφή υπερφασματικών ιχνών από τα κυρίαρχα είδη του δάσους Ταξιάρχη. Τα ίχνη αυτά ονομάζονται φασματικές υπογραφές όταν μπορούν να γενικευθούν και έτσι να είναι μοναδικές αντιπροσωπεύοντας ένα συγκεκριμένο είδος. Οι φασματικές υπογραφές μπορούν να είναι:

- Στατικές, δηλαδή μόνιμες στο χρόνο και να προέρχονται από τη σύντηξη πολλών λήψεων σε διαφορετικές εποχές ή τη λήψη σε μία μόνο χαρακτηριστική για το είδος εποχή.
- Δυναμικές, δηλαδή διαφοροποιούμενες στο χρόνο, οπότε θα πρέπει να προσδιορίζεται το χρονικό βήμα, ή οι ακριβείς χρονικές στιγμές των λήψεων. Σε αυτήν την περίπτωση, οι φασματικές υπογραφές συνδέονται με συγκεκριμένα φαινολογικά στάδια του ετήσιου κύκλου της φυσικής βλάστησης.

Στην εργασία αυτή, ακολουθήθηκε η στρατηγική λήψης δυναμικών φασματικών υπογραφών, με χρονικό βήμα τον ένα μήνα περίπου. Άρα για κάθε κυρίαρχο είδος αναμένουμε να επεξεργαστούμε 12 μέσα σήματα, ένα για κάθε μήνα. Εξάιρεση ίσως αποτελέσουν οι μήνες με άσχημο καιρό (βροχή ή βαριά συννεφιά), οπότε είναι αδύνατη η μετάβαση στο πεδίο και η λήψη των σημάτων. Έως τώρα, ελήφθησαν σήματα για τρία κυρίαρχα είδη (πλατύφυλλο δρυ, οξιά και τραχεία πεύκη) σε δύο χρονικές στιγμές:

- 25-09-2013, με δοκιμαστικές λήψεις λόγω περιορισμένου χρόνου, γύρω από το Δασαρχείο Ταξιάρχη (σύνολο λήψεων: 468, δείγματα: 36).
- 29-10-2013, με πλήρεις λήψεις, σε διαφορετικές ποιότητες τόπου και για τα τρία κυρίαρχα είδη που αναφέρθηκαν νωρίτερα (σύνολο λήψεων: 138, δείγματα: 76).

Λήψεις κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών (χειμώνας 2013-14) δε στάθηκε δυνατό να πραγματοποιηθούν λόγω κακοκαιρίας. Υπάρχει η επιφύλαξη ότι οι λήψεις αυτές θα γίνουν τον χειμώνα 2014-25, δεδομένου ότι η ολοκλήρωση του παρόντος παραδοτέου δεν επηρεάζει τα υπόλοιπα παραδοτέα, αλλά έχει μεγάλο βαθμό αυτονομίας.

Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι για τη διεξαγωγή των πειραμάτων είναι απαραίτητη η υποστήριξη από το Δασαρχείο με όχημα και οδηγό, που θα μας μεταφέρει στα διάφορα σημεία ενδιαφέροντος εντός του δάσους και θα μας καθοδηγήσει. Επομένως ο σχεδιασμός κάθε επίσκεψης στον Ταξιάρχη πρέπει να γίνεται τουλάχιστον μία εβδομάδα νωρίτερα από την πραγματοποίησή της.

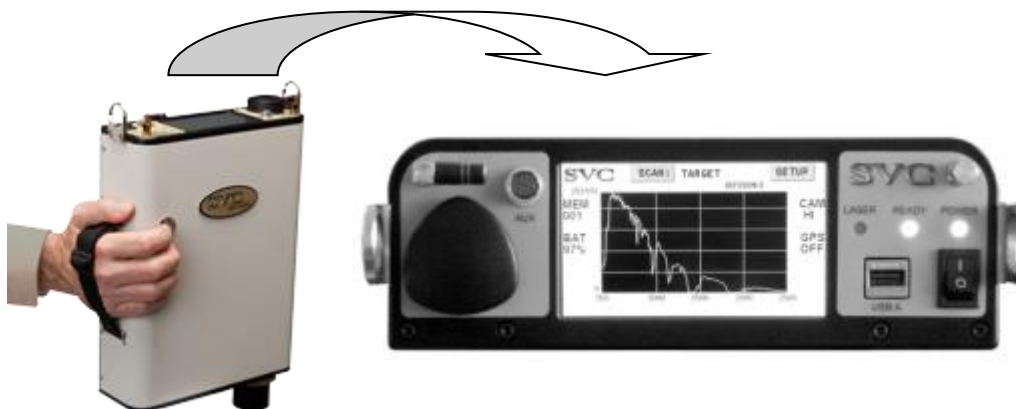
Για την καταγραφή των φασματικών υπογραφών απαιτείται ένα υπερφασματικό ραδιόμετρο. Η αγορά του συγκεκριμένου μηχανήματος έγινε στο πλαίσιο του έργου και έχει τα χαρακτηριστικά που φαίνονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά που τέθηκαν ως προδιαγραφές για την προμήθεια του υπερφασματικού ραδιομέτρου (πηγή: <http://www.spectravista.com/HR1024i.html>).

Specifications	
Spectral Range	350 nm- 2500 nm
Internal Memory	1000 scans
Channels	1024
Linear Array	(1) 512 Si array 350 - 1000 nm (1) 256 InGaAs array 1000 - 1890 nm (1) 256 Ext InGaAs array 1890 - 2500 nm
Spectral Resolution (FWHM)	3.5 nm @ 700 nm 9.5 nm @1500 nm 6.5 nm @2100 nm
Bandwidth (nominal)	1.5 nm @700 nm 3.8 nm @1500 nm 2.5 nm @2100 nm
Minimum Integration	1 millisecond
FOV - Standard	4° standard
FOV - Optional	8° or 14° optional foreoptic 25° optional armored fiber optic Irradiance Sphere Reflectance Probe
Noise Equivalent Radiance (1.0 sec. scan)	0.8 x 10 ⁻⁹ @ 700 nm ≤ 1.2 x 10 ⁻⁹ @ 1500 nm ≤ 1.2 x 10 ⁻⁹ @ 2100 nm
Calibration Accuracy (NIST Traceable)	± 5 % @ 400 nm ± 4 % @ 700 nm ± 7 % @ 2200 nm
Wavelength Reproducibility	0.1 nm
Dark Current Correction	automatic
Spectrum Averaging	automatic/selectable
Internal Digital Camera	included
Internal GPS	included

Physical Specifications	
Head Size	8.75" x 11.5" x 3.0" 22 cm x 29cm x 8 cm
Weight	8.5 lbs, 3.8 kg
Host Communications Interface	RS-232, USB, Bluetooth
Sealing	Sealed against dirt and dust
Tripod mounting	Standard 1/4"-20 mounting holes
Battery	7.4 V Lithium Ion
Battery Life	3 hours approx.
Sighting	diode laser
Operating Environment	
Humidity	to 90% RH non-condensing
Temperature	-10°Cc to +40°C

Το υπερφασματικό ραδιόμετρο SVC αποτελείται από μία φερόμενη συσκευή, μία απόλυτα λευκή επιφάνεια αναφορά, διάφορα άλλα βοηθητικά μέρη (βαλιτσάκι, προστατευτικά, μπαταρίες, φορτιστές, κλπ.) και ειδικό λογισμικό (Εικ. 1).



Εικόνα 1. Το υπερφασματικό ραδιόμετρο SVC 1024 (αριστερά: ολική άποψη, δεξιά: οθόνη χειρισμών και καταγραφής).

Οι φασματικές υπογραφές των διαφόρων βιοφυσικών στοιχείων χρησιμεύουν ως αναφορά για τη σύγκριση μαζί τους άλλων καταγραφών και ως εκ τούτου την εξαγωγή

συμπερασμάτων για την ταυτότητα των αντικειμένων που καταγράφονται. Αυτό αφορά τόσο τη λήψη σημάτων με παρόμοιες συσκευές ίδιων προδιαγραφών, όσο και για τη λήψη εικόνων από δορυφόρους ή αεροπλάνα.

Επίσης, εκτός από τη χρησιμότητά τους ως μια σταθερή φασματική βιβλιοθήκη για σύγκριση με νέα σήματα, η λήψη σημάτων με το υπερφασματικό ραδιόμετρο εξυπηρετεί ακόμη ως αναφορά για τη ραδιομετρική διόρθωση υπερφασματικών εικόνων, δηλαδή την απομάκρυνση από τις εικόνες σφαλμάτων που οφείλονται στην παρεμβολή της ατμόσφαιρας ή γενικά στην αναγωγή των συνθηκών φυσικού φωτισμού κάτω από τις οποίες ελήφθησαν οι εικόνες, σε συγκρίσιμες μετρήσεις.

Το υπερφασματικό ραδιόμετρο SVC 1024 που αποκτήθηκε χρησιμοποιήθηκε ήδη και για τους δύο παραπάνω σκοπούς. Δηλαδή, τόσο για τη διόρθωση της υπερφασματικής εικόνας CASI, που ελήφθη με αεροπορική πτήση επάνω από το δάσος του Ταξιάρχη, στη Χαλκιδική, όσο και για την ανάπτυξη υπερφασματικής βιβλιοθήκης (δηλ. για την εξυπηρέτηση του σκοπού της παρούσας έκθεσης).

Βιβλιογραφική ανασκόπηση στην υπερφασματική τηλεπισκόπηση

Σε αντίθεση με τους πολυφασματικούς, οι υπερφασματικοί απεικονιστές μετρούν εκατοντάδες φασματικούς διαύλους, καταγράφουν δηλαδή την ανακλώμενη ακτινοβολία σε εκατοντάδες γειτονικές, στενού εύρους, φασματικές περιοχές.

Η χρήση των υπερφασματικών δεδομένων τοποθετείται στην αρχή της δεκαετίας του '80 για τη χαρτογράφηση ορυκτών από αερομεταφερόμενους (airborne) απεικονιστές. Σημαντική πρόοδος συντελέστηκε το 1989 με την δημιουργία από την Αμερικανική Αεροναυτική και Διαστημική Υπηρεσία NASA/JPL του υπερφασματικού απεικονιστή AVIRIS (Airborne Visible-Infra Red Imaging Spectrometer) ο οποίος συλλέγει δεδομένα σε 224 φασματικά κανάλια στο φασματικό εύρος των 400 – 2500 nm με φασματική διακριτική ικανότητα 10 nm (Kruse et.al, 2003). Εκτός από τον AVIRIS και άλλοι αερομεταφερόμενοι υπερφασματικοί απεικονιστές έχουν αναπτυχθεί όπως είναι ο HYCIDE, PROBE-1, CASI, HyMap, DAIS 7915, DAIS 21115, AISA. Από την πλευρά των δορυφορικών υπερφασματικών απεικονιστών μόλις το 2000 τέθηκαν σε τροχιά οι δορυφόροι MightySat II της Αμερικανικής

πολεμικής Αεροπορίας (Airforce research Lab) και ο Earth Observing 1 (EO-1) της Αμερικανικής Αεροναυτικής και Διαστημικής Υπηρεσίας (NASA) ο οποίος φέρουν τους υπερφασματικούς απεικονιστές Fourier Transform Hyperspectral Imager (FTHSI) και Hyperion αντίστοιχα. Επίσης η Ευρωπαϊκή Διαστημική Υπηρεσία (ESA) το 2001 εκτόξευσε τον δορυφόρο PROBA ο οποίος φέρει τον υπερφασματικό απεικονιστή CHRIS.

Ο Kumar et.al (2001) αναφέρει ότι οι πολυφασματικοί απεικονιστές, όπως οι Landsat MSS και Landsat TM δεν μπορούν να ανιχνεύσουν εκείνα τα φασματικά χαρακτηριστικά των αντικειμένων τα οποία είναι ικανά να τα διαχωρίσουν από τα άλλα, λόγω του μεγάλου φασματικού εύρους των διαύλων τους (100-200 nm) οι οποίοι παρέχουν το μέσο όρο της ανακλώμενης ακτινοβολίας των αντικειμένων.

Επίσης ο Thenkabail (2004) αναφέρει ότι οι στενού φασματικού εύρους δίαυλοι (narrowbands) που βρίσκονται σε συγκεκριμένα τμήματα του φάσματος βελτιώνουν την ακρίβεια της ταξινόμησης και τη διάκριση της βλάστησης και των γεωργικών καλλιεργειών σε σχέση με του μεγάλου φασματικού εύρους διαύλων των πολυφασματικών απεικονιστών όπως του Landsat TM και του SPOT. Ακόμη αναφέρει ότι τα υπερφασματικά δεδομένα παρέχουν σημαντικά 'καλύτερη' περιεχόμενη πληροφορία σε σχέση με τα πολυφασματικά δεδομένα στην ανίχνευση της 'πίεσης' των φυτών (plant stress), της περιεχόμενης χλωροφύλλης, στην αναγνώριση μικρών διαφορών στην επί της εκατό κάλυψη από την βλάστηση, στην εξαγωγή βιοχημικών παραμέτρων όπως το άζωτο και τη λιγνίνη, στο διαχωρισμό των τύπων καλύψεων γης, των μεταβολών της φυτικής υγρασίας, της συγκέντρωσης των χρωστικών ουσιών των φύλλων και στην μοντελοποίηση και ποσοτικοποίηση βιοφυσικών χαρακτηριστικών των της βλάστησης.

Διάφορες επιστημονικές προσπάθειες μπορούν να βρεθούν στη διεθνή βιβλιογραφία με τη χρήση των υπερφασματικών δεδομένων που αφορούν μεταξύ άλλων τη χαρτογράφηση των γεωργικών καλλιεργειών (Goel et.al 2003, Thenkabail et.al 2004), και ειδικότερα την ανίχνευση και την εκτίμηση της κάλυψης των ζιζανίων (Williams και Hunt 2002, Mundt et.al 2004), τις πιέσεις των καλλιεργειών από την έλλειψη νερού (LeLong et.al 1998), την ανίχνευση ασθενειών των καλλιεργειών (Aran et.al 2004 Zhang et.al 2003), την εκτίμηση του περιεχόμενου αζώτου (Coops et.al 2003), την πρόβλεψη της παραγωγής (Ye et.al 2006),

τη διάκριση ποικιλιών των καλλιεργειών (Galvaο et.al 2005) και τη διάκριση και χαρτογράφηση των φυτικών υπολειμμάτων (Doughtry et.al 2006, Bannari et.al 2006).

Γενικότερα, με βάση τη βιβλιογραφία, υπάρχει ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη χρησιμοποίηση των υπερφασματικών δεδομένων όσον αφορά τη χαρτογράφηση και ταξινόμηση της βλάστησης και των γεωργικών καλλιεργειών. Ο Goudenough et.al (2003) συγκρίνανε την ακρίβεια της ταξινόμησης των δασικών ειδών μεταξύ των υπερφασματικών δορυφορικών δεδομένων του απεικονιστή Hyperion (EO-1), του πολυφασματικού απεικονιστή ALI (EO-1) και του Ενισχυμένου Θεματικού Χαρτογράφου LANDSAT 7 ETM+, ο Goel et.al (2003) για την ταξινόμηση της καλλιέργειας του καλαμποκιού κάτω από διαφορετικές διαχειριστικές πρακτικές ζιζανίων και αζώτου, ο McGuire et.al (2000) για την ανίχνευση μικρών διαφορών κάλυψης της βλάστησης σε περιοχές αραιής βλάστησης σε ξερικά περιβάλλοντα, Οι Xu και Gong (2003) για την ταξινόμηση καλύψεων γης, ο Thenkabail et.al (2004) και ο Held et.al (2003) για την ταξινόμηση σύνθετων τροπικών δασικών ειδών βλάστησης, Underwood et.al (2003) για την χαρτογράφηση των μη γηγενών φυτικών ειδών, ο Galvaο et.al (2005) για τη διάκριση πέντε ποικιλιών ζαχαροκάλαμου καθώς και τη σύγκριση των υπερφασματικών δεδομένων με πολυφασματικά για τη διάκριση ποικιλιών ζαχαροκάλαμου (Galvaο et.al 2006), Ο Wang et.al (2006) για τη χαρτογράφηση της αλοφυτικής βλάστησης, Ο Mundt et.al (2005), Glenn et.al (2005) και οι Williams και Hunt (2002) για τη χαρτογράφηση ζιζανίων.

Επίσης υπερφασματικά δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν για την ανίχνευση ασθενειών στις καλλιέργειες (Aran et.al., 2003, Zhang et.al., 2003, Muhammed και Larsolle., 2003, Huang και Aran., 2006), για την εκτίμηση βιοχημικών συστατικών (αζώτου, χλωροφύλλης) της βλάστησης (Coops et.al., 2003, Orplet και Mauser., 2004, Blackburn 1998, Blackburn 1999, Monteneiro et.al., 2007, Tejada et.al., 2005, Rao 2008), για την εκτίμηση βιοφυσικών χαρακτηριστικών της βλάστησης (Broge και Leblanc., 2000, Thenkabail et.al., 2000, Pu et.al., 2003, Zhao et.al., 2007, Gupta et.al., 2006, Gong. et al, 2003, Haboudane et.al., 2004), για την εκτίμηση του περιεχόμενου νερού της βλάστησης (Roberts et.al., 2003, Harris 2006) καθώς και την εκτίμηση των φυτικών υπολειμμάτων των καλλιεργειών (Arenault και Bonn., 2005, Bannari et.al., 2006, Daughtry et.al., 2006).

Όπως συνάγεται από τη βιβλιογραφία, υπάρχει ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη χρησιμοποίηση των υπερφασματικών δεδομένων όσον αφορά τη χαρτογράφηση και ταξινόμηση της βλάστησης και των γεωργικών καλλιεργειών. Ο Goudenough et.al (2003) συγκρίνανε την ακρίβεια της ταξινόμησης των δασικών ειδών μεταξύ των υπερφασματικών δορυφορικών δεδομένων του απεικονιστή Hyperion (EO-1), του πολυφασματικού απεικονιστή ALI (EO-1) και του Ενισχυμένου Θεματικού Χαρτογράφου LANDSAT 7 ETM+, ο Goel et.al (2003) για την ταξινόμηση της καλλιέργειας του καλαμποκιού κάτω από διαφορετικές διαχειριστικές πρακτικές ζιζανίων και αζώτου, ο McGuire et.al (2000) για την ανίχνευση μικρών διαφορών κάλυψης της βλάστησης σε περιοχές αραιής βλάστησης σε ξερικά περιβάλλοντα, Οι Bing και Gong (2003) για την ταξινόμηση καλύψεων γης, ο Thenkabail et.al (2004) και ο Held et.al (2003) για την ταξινόμηση σύνθετων τροπικών δασικών ειδών βλάστησης, Underwood et.al (2003) για την χαρτογράφηση των μη γηγενών φυτικών ειδών, ο Galvao et.al (2005) για τη διάκριση πέντε ποικιλιών ζαχαροκάλαμου καθώς και τη σύγκριση των υπερφασματικών δεδομένων με πολυφασματικά για τη διάκριση ποικιλιών ζαχαροκάλαμου (Galvao et.al 2006), Ο Hung et.al (2006) για τη χαρτογράφηση της αλοφυτικής βλάστησης, Ο Mundt et.al (2005) και οι Williams και Hunt (2002) για τη χαρτογράφηση ζιζανίων.

Ειδικότερα όσον αφορά την ανίχνευση και την ταξινόμηση διαφορετικών ειδών βλάστησης με τη χρήση υπερφασματικών δεδομένων, τόσο σε φυσικό όσο και αστικό περιβάλλον, αυτή έχει απασχολήσει πληθώρα ερευνητών, των οποίων οι εργασίες συντελούν σημαντικά στην ανάπτυξη νέων υπερφασματικών μεθοδολογιών. Συγκεκριμένα, οι Somers et al.(2009) ανέπτυξαν έναν τροποποιημένο αλγόριθμο Nonlinear Spectral Mixture Analysis για την ανίχνευση οπωροφόρων δέντρων ενώ ο Darvishsefat (2002) διερεύνησε τις δυνατότητες των HyMap απεικονίσεων για την ανίχνευση κωνοφόρων και φυλλοβόλων δέντρων μέσω του αλγορίθμου Linear Spectral Unmixing. Επιπλέον, οι Shea και Ormiston (2004), εφάρμοσαν τον αλγόριθμο SAM για την ταξινόμηση πέντε ειδών «επιθετικής» βλάστησης: *Paedaria foetida* , *Melochia corchorifolia* , *Solanum viarum* , *Imperata cylindrica*, *primrose willow* δίνοντας πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα, η συνολική ακρίβεια των οποίων είναι της τάξης των 95%.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει και η εργασία του Pu (2008), στην οποία γίνεται ταξινόμηση διαφορετικών ειδών πλατύφυλλων δέντρων (*Ulmus american*, *Q. incana*, *Lagerstroemia indica*, *Q. laurifolia*, *Q. virginiana*, *Magnolia grandiflora*, *Diospyros virginiana*, *Acer rubrum*, *Q. geminata*, *Platanus occidentalis* και *Q. laevis*) με τη χρήση AVIRIS απεικονίσεων. Εφαρμόστηκαν δύο αλγόριθμοι ταξινόμησης: non-linear artificial neural network (ANN) και linear discriminant analysis (LDA). Τα αποτελέσματα απέδωσαν υψηλές ακρίβειες και για τις δύο ταξινομήσεις, (86.3% και 87.8% αντίστοιχα). Τέλος, έχει γίνει διερεύνηση της επίδρασης των εποχών στην ταξινόμηση ειδών βλάστησης αστικού περιβάλλοντος (*Gleditsia triacanthos*, *Acer saccharum*, *Tilia Americana*, *Quercus palustris*, *Pinus strobus* και *Picea glauca*) χρησιμοποιώντας υπερφασματικές απεικονίσεις και LIDAR δεδομένα (Voss και Sugumaran, (2008). Η χρήση των LIDAR βελτίωσε την ακρίβεια των ταξινομήσεων καθώς αντιμετωπίστηκαν οι σκιάσεις και ξεχώρισε η χαμηλή από την υψηλή βλάστηση με τη χρήση του LiDAR elevation layer. Τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν έδειξαν πως υπάρχουν μικρές διαφορές μεταξύ των ταξινομήσεων απεικονίσεων διαφορετικών εποχών.

Η ακριβής ποσοτική εκτίμηση των βιοφυσικών και βιοχημικών χαρακτηριστικών της φυσικής βλάστησης είναι απαραίτητη για πληθώρα εφαρμογών στον τομέα της γεωργίας, της οικολογίας και της μετεωρολογίας (Darvishzadeh, 2008). Ένα από αυτά τα χαρακτηριστικά της βλάστησης είναι η βιομάζα η οποία ορίζεται ως το σύνολο του “υλικού” ενός δέντρου. Η Υπερφασματική Τηλεπισκόπηση έχει συμβάλλει σημαντικά τα τελευταία χρόνια στην εκτίμηση της βιομάζας έμμεσα, με τον υπολογισμό δεικτών βλάστησης (vegetation indices). Η ανίχνευση του καταλληλότερου δείκτη ο οποίος συσχετίζεται περισσότερο με τη βιομάζα αποτελεί πρόκληση για τους ερευνητές.

Ο Wamunghima (2005), διερευνά τις δυνατότητες των υπερφασματικών δεικτών βλάστησης και ιδιαίτερα της «red edge» παραμέτρου, για την εκτίμηση της βιομάζας της βλάστησης (συγκεκριμένα γρασίδι) σε φυσικό περιβάλλον. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως υπάρχει συσχέτιση των δεικτών με τη βιομάζα και ειδικότερα υπερφασματικά δεδομένα στο ορατό και εγγύς υπέρυθρο δίνουν ακριβέστερη εκτίμηση της βιομάζας. Στην εργασία των Shen et al. (2008) προτείνεται μία νέα μέθοδος εκτίμησης της βιομάζας με χρήση υπερφασματικών δεδομένων έχοντας ως περιοχή μελέτης οικοσυστήματα λιβαδιού και στέπας. Η εκτίμηση

της βιομάζας έγινε μέσω δεικτών βλάστησης και μέσω της universal pattern decomposition (VIUPD) η οποία υπολογίστηκε από την υπερφασματική ανακλαστικότητα. Επίσης, οι Zhang et al. (2007) προτείνουν μία νέα μέθοδο εκτίμησης της περιεκτικότητας των βελονοειδών φυλλωμάτων σε χλωροφύλλη με τη χρήση CASI απεικονίσεων και επίγειων μετρήσεων της ανακλαστικότητας των φύλλων και του υπόβαθρου. Με βάση τα παραπάνω δεδομένα, δημιουργήθηκε ένα γεωμετρικό-οπτικό μοντέλο, το οποίο εκτιμά την ανακλαστικότητα των φυλλωμάτων (canopy) και την πιθανότητα εμφάνισης συγκεκριμένων υπογραφών οι οποίες ανήκουν σε φωτισμένη βλάστηση, σκιασμένη βλάστηση, φωτισμένο υπόβαθρο, σκιασμένο υπόβαθρο.

Ακολουθεί η μετατροπή της ανακλαστικότητας των φωτισμένων φυλλωμάτων RT σε ανακλαστικότητα μοναδικού φύλλου RL μέσω πινάκων αναφοράς (look-up-tables). Έπειτα το RL εισάγεται σε ένα μοντέλο (PROSPECT) μαζί με παραμέτρους όπως είναι το πάχος και πλάτος των φυλλωμάτων και προκύπτει η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη. Ακόμη, οι Cho και Skidmore (2009) διερεύνησαν τη δυνατότητα πρόβλεψης της βιομάζας ενός έτους έχοντας γνωστή τη βιομάζα του προηγούμενου έτους. Υπολογίστηκαν αρκετοί δείκτες βλάστησης εκ των οποίων η παράμετρος red edge η οποία προέρχεται από Lagrangian και γραμμική παρεμβολή συσχετίζεται περισσότερο με τη μετρημένη βιομάζα. Ωστόσο τα αποτελέσματα δείχνουν πως το χρονικό διάστημα του ενός έτους είναι πολύ μικρό για την ακριβή πρόβλεψη της βιομάζας του επόμενου έτους. Τέλος, ενδιαφέρον παρουσιάζει η εργασία των Boschetti et al. (2006) στην οποία σκοπός είναι η ανίχνευση και η μελέτη χαρακτηριστικών της βλάστησης τα οποία επιδρούν στη μείωση των ρυπογόνων ουσιών με τη χρήση υπερφασματικών αισθητήρων DAIS, ROSIS, MIVIS και ραδιόμετρου χειρός.

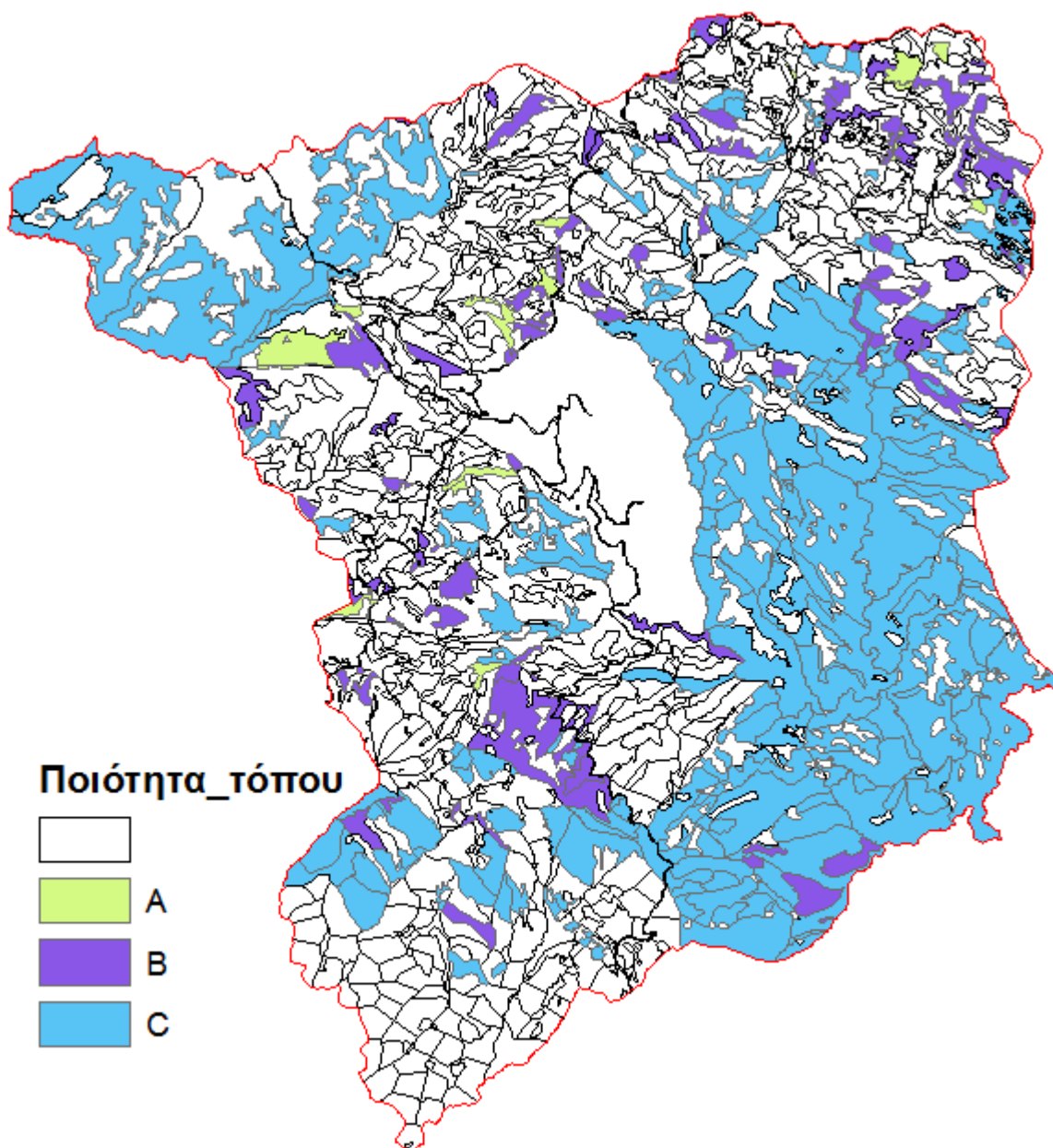
2. Πιλοτική Περιοχή Μελέτης

Η περιοχή μελέτης εκτείνεται γεωγραφικά από 40°23'E ως 40°28'E και 23°28'N ως 23°34'N, καλύπτοντας μία περιοχή περίπου 60 km². Το Πανεπιστημιακό Δάσος του Ταξιάρχη είναι μέρος του δικτύου NATURA2000 (GR1270001-Oros Cholomontas). Η μορφολογία της περιοχής είναι ποικιλόμορφη και σε ορισμένα σημεία ιδιαίτερα δύσβατη, λόγω μεγάλων υψομετρικών διαφορών που κυμαίνονται από 320 ως 1200 m.

Το κυρίαρχο δασικό είδος της περιοχής είναι η Δρυς (*Quercus frainetto*), ενώ σε μικρότερο βαθμό απαντώνται η Οξιά (*Fagus sylvatica*), η Τραχεία Πεύκη (*Pinus brutia*) και η Μαύρη Πεύκη (*Pinus nigra*). Σε πολύ περιορισμένες περιοχές υπάρχουν διάφορες πειραματικές επιφάνειες του Τμήματος Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, καθώς και η Φυτεία Ελάτης του τοπικού Δασαρχείου. Οι περιοχές αυτές αποτελούν ένα απειροελάχιστο ποσοστό της συνολικής επιφάνειας μελέτης και για το λόγο αυτό αγνοήθηκαν κατά τη χαρτογράφηση. Παράλληλα με τα δασικά είδη, στην περιοχή υπάρχουν και διάφορα είδη μακκίας (*Maquis*), κυρίως στα ανατολικά, με κυρίαρχα το Πουρνάρι (*Quercus coccifera*), τη Δρυς την αρία (*Quercus ilex*) και το Ρείκι το δενδρώδες (*Erica arborea*). Για τις ανάγκες της χαρτογράφησης τα διάφορα είδη μακκίας θεωρήθηκαν ως μία κατηγορία, καθώς ο επιμέρους διαχωρισμός τους δεν παρέχει κάποιο πλεονέκτημα στην εκτίμηση της βιομάζας.

3. Περιγραφή της Μεθοδολογίας

Οι λήψεις με το ραδιόμετρο SVC ακολουθούν στρωματοποιημένη δειγματοληψία. Η περιοχή του δάσους Ταξιάρχη, όπως και τα περισσότερα μεγάλα δάση, περιλαμβάνουν περιοχές που χαρακτηρίζονται από διαφοροποιημένες ιδιότητες ως προς το εδαφικό υπόβαθρο, την τοπογραφία και το μικροκλίμα και που ονομάζονται 'ποιότητες τόπου'. Έτσι για κάθε κυρίαρχο είδος για το οποίο ελήφθησαν δείγματα, αυτά ελήφθησαν από τρεις διαφορετικές ποιότητες τόπου (Εικ. 2). Οι ποιότητες τόπου στο πεδίο αναγνωρίζονται από τους οδηγούς που διατίθενται από το Δασαρχείο και οι οποίοι οδηγούν την επιστημονική ομάδα στα κατάλληλα σημεία. Γίνεται όμως και επιβεβαίωση μετά τη λήψη, με υπέρθεση των σημείων λήψης επάνω στον ψηφιακό χάρτη του διαχειριστικού σχεδίου, το οποίο περιλαμβάνει και τις ποιότητες τόπου.



Εικόνα 2. Χάρτης του Δάσους Ταξιάρχη με τρεις διακριτές ποιότητες τόπου.

Οι λήψεις με το ραδιόμετρο SVC 1024 γίνονται κατά τις ώρες από 11:00 έως 15:00, αφού αυτές οι ώρες εξασφαλίζουν σχετικά σταθερές και ομοιόμορφες συνθήκες φωτισμού. Προϋπόθεση είναι, βεβαίως, η καθαρότητα του ουρανού από σύννεφα ή ομίχλη. Για την εξασφάλιση αυτών των συνθηκών, ελέγχεται το τρέχον δελτίο καιρού.

Οι ομάδα εργασίας συντίθεται από τρία άτομα συν τον οδηγό (Εικ. 3). Ο πρώτος είναι ο χειριστής του ραδιομέτρου, ο δεύτερος συλλέγει τα δείγματα φύλλων από τα δέντρα και τα τοποθετεί στο κατάλληλο σημείο λήψης (φωτισμένο σημείο συνήθως στον δασικό δρόμο ή

σε ένα μεγάλο ξέφωτο) και ο τρίτος καταγράφει σε χαρτί τις μετρήσεις και άλλες παρατηρήσεις (πρωτόκολλο). Το τελευταίο είναι απαραίτητο για λόγους ασφαλείας –αν και η συσκευή διαθέτει φωτογραφική μηχανή, οπότε το δείγμα μπορεί να αναγνωρισθεί- και για διασταύρωση και επιβεβαίωση των λήψεων (Εικ. 4).



Εικόνα 3. Η ομάδα εργασίας (3 άτομα συν οδηγός) κατά τη στιγμή της λήψης φασματικών υπογραφών από δείγματα συλλεγμένα από τα γύρω δένδρα.

66.	13α	οξιά (πράσινο)	καλή ποιότητα	} ίδιο δέντρο
67	13β	οξιά (12 ιαρίνα)	κακή ποιότητα	
68	14α	οξιά (πράσινο)	κακή ποιότητα	} δείγμα
69	15α	οξιά (κιτρινο πράσινο πορτοκαλί)	κακή ποιότητα	
70	16α	οξιά (πράσινο)	κακή ποιότητα	} δείγμα
71	17 REF	REF οξιά	κακή ποιότητα	
72	18α	οξιά πράσινο	καλή ποιότητα	} 130 δέντρο
73	18β	οξιά (καφέ)	κακή ποίτ	

Εικόνα 4. Απόσπασμα από τις εγγραφές των λήψεων (πρωτόκολλο εργασίας πεδίου).

4. Αποτελέσματα

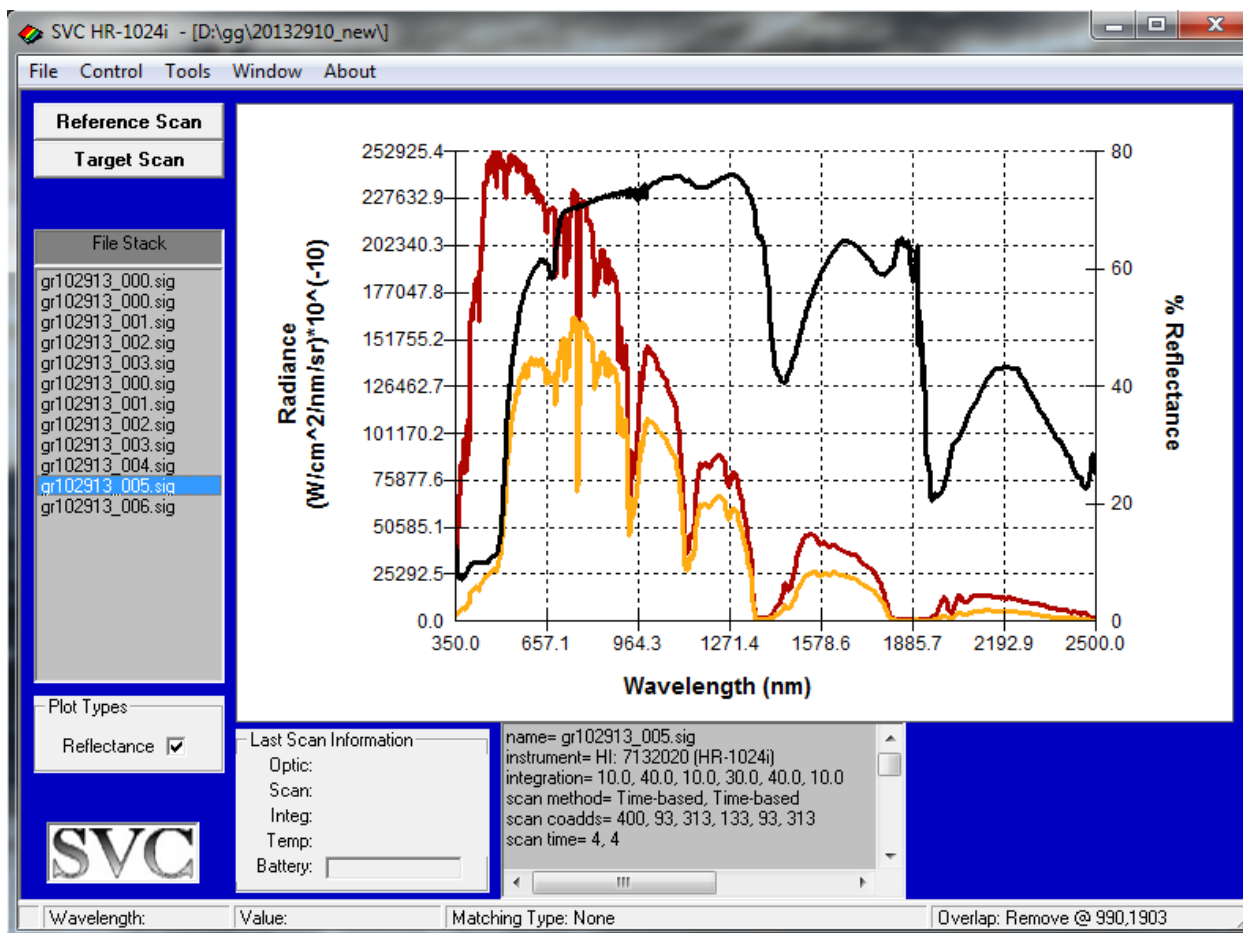
Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή, έως τώρα ελήφθησαν σήματα για τρία κυρίαρχα είδη (πλατύφυλλο δρυ, οξιά και τραχεία πεύκη) σε δύο χρονικές στιγμές:

- 25-09-2013, με δοκιμαστικές λήψεις λόγω περιορισμένου χρόνου, γύρω από το Δασαρχείο Ταξιάρχη (σύνολο λήψεων: 468, δείγματα: 36).
- 29-10-2013, με πλήρεις λήψεις, σε διαφορετικές ποιότητες τόπου και για τα τρία κυρίαρχα είδη που αναφέρθηκαν νωρίτερα (σύνολο λήψεων: 138, δείγματα: 76).

Τα αποτελέσματα των λήψεων αποτελούνται από τα αρχεία των φασματικών υπογραφών, τις φωτογραφίες που λαμβάνει η συσκευή αυτόματα σε κάθε λήψη (μία για κάθε εγγραφή) και τη θέση του σημείου λήψης, καταγεγραμμένη από το GPS της συσκευής.

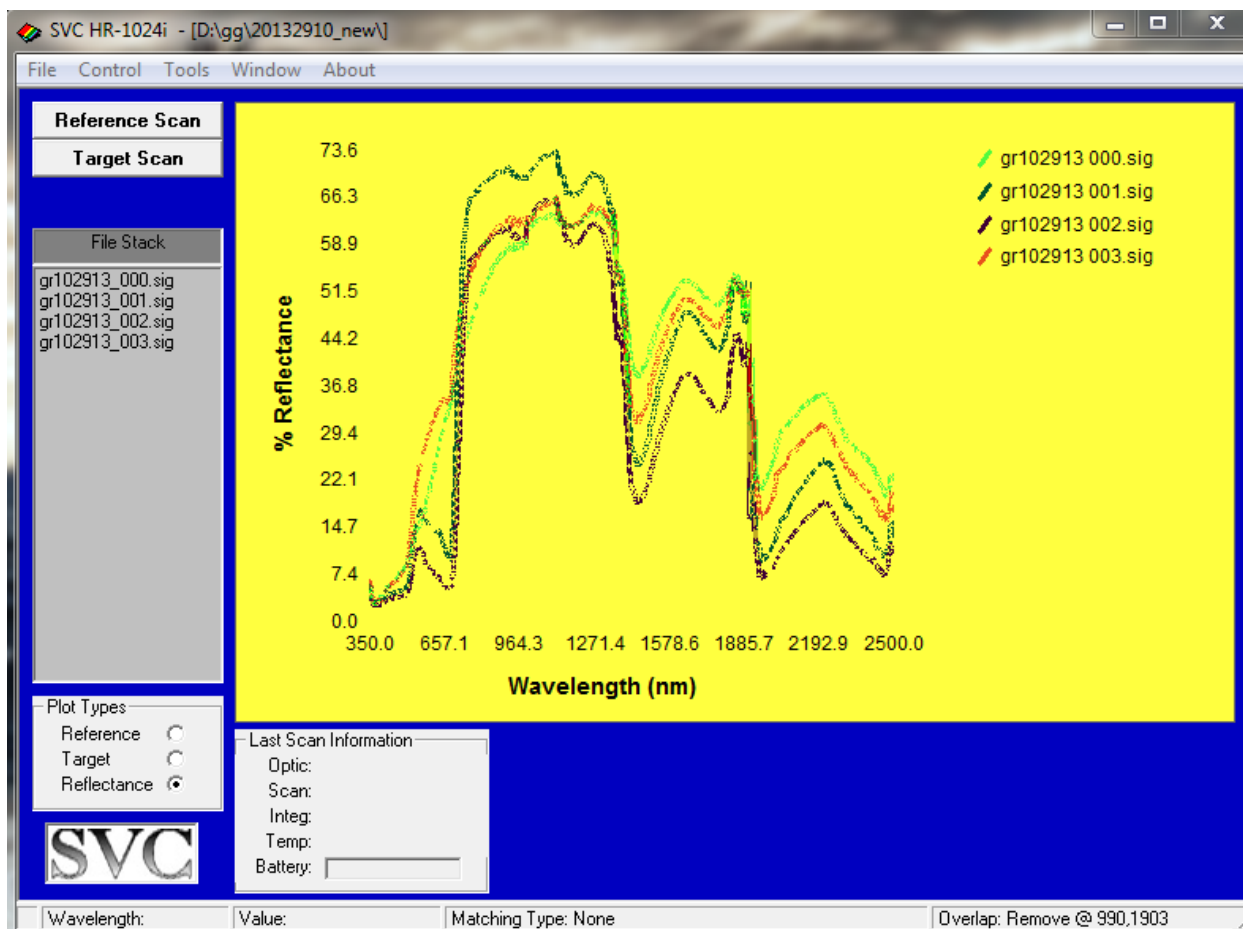
Τα αρχεία των φασματικών υπογραφών εμφανίζονται με τη χρήση του ειδικού λογισμικού που συνοδεύει τη συσκευή (ραδιόμετρο). Για κάθε λήψη, αντιστοιχούν τρεις καμπύλες (Εικ. 5):

- Η τιμή της ακτινοβολίας (radiance) του στόχου ως προς το μήκος κύματος (wavelength).
- Η τιμή της ακτινοβολίας (radiance) του δίσκου αναφοράς (απόλυτο λευκό) ως προς το μήκος κύματος (wavelength).
- Η τιμή ανάκλαση του στόχου, ως ποσοστό ακτινοβολίας (radiance) του στόχου προς την ακτινοβολία (radiance) του δίσκου αναφοράς.



Εικόνα 5. Οι καμπύλες ακτινοβολίας (radiance) και ανάκλασης (reflectance) κίτρινου φύλλου οξιάς, που ελήφθη με το ραδιόμετρο SVC 1024 στο δάσος του Ταξιάρχη.

Το λογισμικό SVC δίνει επίσης τη δυνατότητα για την ταυτόχρονη εμφάνιση πολλών φασματικών υπογραφών, ώστε να είναι δυνατή η οπτική σύγκρισή τους (Εικ. 6).



Εικόνα 6. Γραφική αναπαράσταση πολλαπλών φασματικών υπογραφών από φύλλα πλατυφύλλου δρυός από διαφορετικά δένδρα ή διαφορετικά σημεία του ίδιου δένδρου (πράσινα, κίτρινα, κλπ).

Τα δεδομένα που έχουν ληφθεί έως τώρα βρίσκονται αποθηκευμένα στη διαδικτυακή πύλη του έργου:

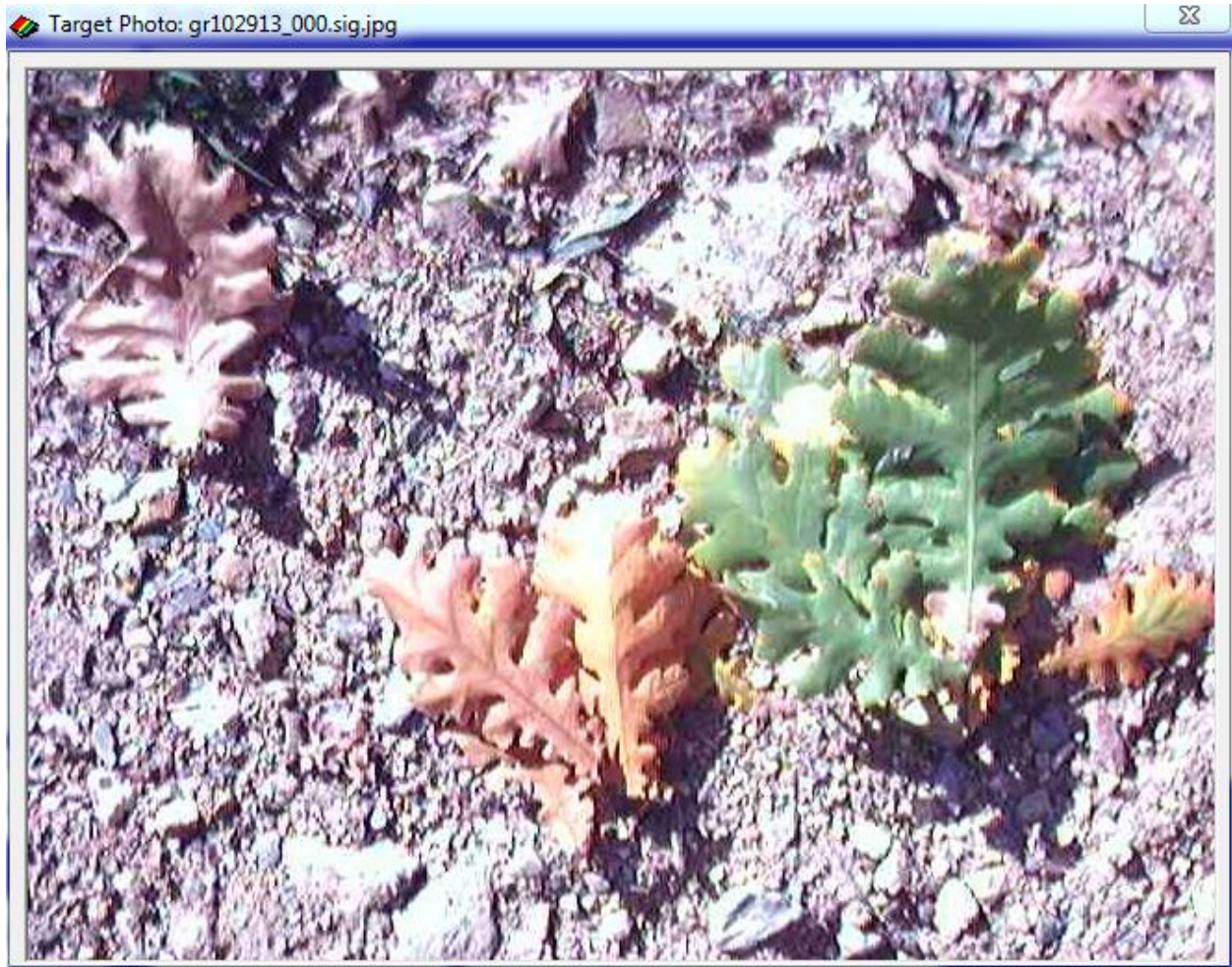
<http://155.207.172.245:8080/cgi-bin>

(Απαιτείται κωδικός για την πρόσβαση, που είναι στη διάθεση των Διαχειριστικών και Ελεγκτικών Αρχών.)

5. Συμπεράσματα

Το συλλεγμένο δείγμα δε θεωρείται ακόμη αρκετό για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων με στατιστική ανάλυση. Ο περιορισμένος αριθμός δειγμάτων επιβεβαιώνει, ωστόσο, την αναμενόμενη γενική φασματική συμπεριφορά των φυτικών ιστών διαφόρων ειδών και κάτω από διαφορετικές συνθήκες (Εικ. 7). Όπως ειπώθηκε ήδη, απαιτείται η συμπλήρωση τουλάχιστον ενός πλήρους ετήσιου κύκλου λήψεων ανά μήνα,

ώστε να αποτυπωθεί η φαινολογική διαδρομή των ειδών όσον αφορά τη φασματική συμπεριφορά τους και την εξαγωγή τυπικών φασματικών υπογραφών από αυτά.



Εικόνα 7. Διαφορετικές συνθήκες φυλλώματος πλατυφύλλου δρυός, όπως καταγράφηκε σε φωτογραφία της συσκευής κατά τη λήψη της φασματικής υπογραφής του.

Αναφορές στο τμήμα: *Βιβλιογραφική ανασκόπηση στην υπερφασματική τηλεπισκόπηση*

Aran, A., Held, A., Phinn, S., Markley, J. (2004). Detecting sugarcane ‘orange rust’ disease using EO-1 Hyperion hyperspectral imagery. INT. J. REMOTE SENSING, 20 JANUARY, VOL. 25, NO. 2, 489–498.

Bannari, A., Pacheco, A., Staenz, K., McNairn, H., Omari, K. (2006). Estimating and mapping crop residues cover on agricultural lands using hyperspectral and IKONOS data, Remote Sensing of Environment, 104, 447–45.

- Bing, Xu and Peng Gong. (2003). Land use/Land cover classification with multispectral and hyperspectral EO-1 data. ASPRS Annual Conference Proceedings, Alaska. American Society of Photogrammetry and Remote Sensing.
- Blackburn, G. A. (1998). Spectral indices for estimating photosynthetic pigment concentrations: a test using senescent tree leaves. *Int. J. Remote Sensing*, vol. 19, no.4, 657- 675.
- Blackburn, G. A., & Steele, C. M. (1999). Towards the remote sensing of matorral vegetation physiology: Relationships between spectral reflectance, pigment, and biophysical characteristics of semiarid bushland canopies. *Remote Sensing of Environment*, 70, 278–292.
- Boschetti M., Brivio P., Carnesale D. and Guardo A., 2006. The contribution of hyperspectral remote sensing to identify vegetation characteristics necessary to assess the fate of Persistent Organic Pollutants (POPs) in the environment. *ANNALS OF GEOPHYSICS*, vol. 49, n. 1.
- Broge, N.H., Leblanc, E. (2000). Comparing prediction power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density. *Remote Sensing of Environment*, 76, 156 -172.
- Cho M. και Skidmore A., 2009. Hyperspectral predictors for monitoring biomass production in Mediterranean mountain grasslands: Majella National Park, Italy. *International Journal of Remote Sensing* Vol. 30, No. 2, 20.
- Coops, N.C., Smith, M.L., Martin, M.E., Ollinger, S.V (2003). Prediction of Eucalypt foliage nitrogen content from satellite- derived hyperspectral data. *IEEE transactions on Geoscience and Remote sensing*, Vol 4, No 6, June 2003.
- Darvishzadeh R., 2008. Hyperspectral remote sensing of vegetation parameters using statistical and physical models. Thesis.
- Daughtry, C.S.T., Doraiswamy, P.C., Hunt, Jr., E.R., Sterna, A.J., McMurtrey, J.E., Prueger, J.H. (2006). Remote sensing of crop residue cover and soil tillage intensity. *Soil & Tillage Research*, 91, 101–108.
- Galvão, S., Formaggio A. R., Tisot, D. A. (2005). Discrimination of sugarcane varieties in Southeastern Brazil with EO-1 Hyperion data. *Remote Sensing of Environment*, 94, 523–534.
- Galvão, L. S., Formaggio, A. R., Tisot, D. A. (2006). The influence of spectral resolution on discriminating Brazilian sugarcane varieties. *International Journal of Remote Sensing*, Volume 27, Issue 4, pages 769 – 777.
- Goel, P.K., Parsher, S.O., Patel, R.M., Landry, J.A., Bonnel, R.B., Viau, A.A. (2003). Classification of hyperspectral data by decision trees and artificial neural networks to identify weed stress and nitrogen status of corn. *Computers and Electronics in Agriculture*, 39, 67-93.

- Goodenough, D.G., Dyk, A., Niemann, K. O., Pearlman, J. S., Chen, H., Han, T., Murdoch, M., West, C. (2003). Processing Hyperion and ALI for Forest Classification, IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING, VOL. 41, NO.6.
- Gupta, R.K., Vijayan, D., Prasad, T. S. (2006). The relationship of hyper-spectral vegetation indices with leaf area index (LAI) over the growth cycle of wheat and chickpea at 3 nm spectral resolution. *Advances in Space Research*, 38, 2212–2217.
- Haboudane, D., Miller, J. R., Pattey, E., Zarco-Tejada, P. J., Strachan. I. B. (2004). Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture. *Remote Sensing of Environment*, Volume 90, Issue 3, 15, Pages 337-352.
- Harris, A., Bryant, R.G., Baird, A.J. (2006). Mapping the effects of water stress on Sphagnum: Preliminary observations using airborne remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 100, 363 – 378
- Held, A. Ticehurst, C., Lymburner, L., Williams, N. (2003). High resolution mapping of tropical mangrove ecosystems using hyperspectral and radar remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 24, no. 13, 2739–2759.
- Huang, J.F., Apan, A. (2006). Detection of sclerotinia rot disease on celery using hyperspectral data and partial least squares regression. *Journal of Spatial Science*, 51 (2). pp. 129-142.
- Kruse, F. A., Boardman, J. W., Huntington, J. F. (2003). Comparison of Airborne Hyperspectral Data and EO-1 Hyperion for Mineral Mapping. IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING, VOL. 41, NO. 6.
- Kumar, L., K. S. Schmidt, S. Dury and A. K. Skidmore, 2001. *Imaging Spectrometry and Vegetation Science*. In F. van de Meer. and S.M. de Jong (Eds). *Imaging Spectrometry* (Kluwer Academic Press: Dordrecht), pp: 111-155.
- Lelong C.C.D., Pinet P.C., Poilve, H. (1998). Hyperspectral Imaging and Stress Mapping in Agriculture: A Case Study on Wheat in Beauce (France). *Remote Sens. Environ.*, 66:179–191.
- McGwire K., Minor T., Fenstermaker, L. (2000). Hyperspectral Mixture Modeling for Quantifying Sparse Vegetation Cover in Arid Environments. *REMOTE SENS. ENVIRON.*, 72:360–374.
- Muhammed, H. H., Larsolle, A. (2003). Feature Vector Based Analysis of Hyperspectral Crop Reflectance Data for Discrimination and Quantification of Fungal Disease Severity in Wheat. *Biosystems Engineering* ,Volume 86, Issue 2, Pages 125-134
- Mundt, J. T., Glenn, N. F., Weber, K.T., Prather, T. S., Lass, L. W., Pettingill, J. (2005). Discrimination of hoary cress and determination of its detection limits via hyperspectral image processing and accuracy assessment techniques. *Remote Sensing of Environment*, 96, 509 – 517.

- Peng Gong Ruiliang Pu Biging, G.S., Larrieu, M.R. (June 2003). Estimation of forest leaf area index using vegetation indices derived from Hyperion hyperspectral data. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, Volume: 41, Issue: 6, 1355-1362.
- Rao, N. R., Garg, P. K., Ghosh, S. K., Dadhwal, V. K. (2008). Estimation of leaf total chlorophyll and nitrogen concentrations using hyperspectral satellite imagery. *The Journal of Agricultural Science*, 146:65-75 Cambridge University Press
- Roberts, D. A., Dennison, P.E., Gardner, M.E., Hetzel, Y., Ustin, S. L., Lee, C. T. (2003). Evaluation of the Potential of Hyperion for Fire Danger Assessment by Comparison to the Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer. *IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING*, VOL. 41, NO. 6.
- Shen M., Tang Y., Klein J., Zhang P., Gu S., Shimono A., Chen J., 2008. Estimation of aboveground biomass using in situ hyperspectral measurements in five major grassland ecosystems on the Tibetan Plateau. *Journal of Plant Ecology*, volume 1, number 4, pp. 247–257.
- Wamunyima S., 2005. Estimating Fresh grass biomass at landscape level using Hyperspectral remote sensing. Thesis.
- Zhang Y., Chen J., Miller J., Noland T., 2007. Algorithm of retrieving needle leaf chlorophyll content from hyperspectral remote sensing. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IRGASS*, Spain.
- Ruiliang Pu, Peng Gong, Biging, G.S., Larrieu, M.R. (2003). Extraction of Red Edge Optical Parameters from Hyperion Data for Estimation of Forest Leaf Area Index. *IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING*, VOL. 41, NO. 4
- Thenkabail, P.S., Enclona, E.A., Mark S. Ashton, M.S., Van Der Meer, B. (2004). Accuracy assessments of hyperspectral waveband performance for vegetation analysis applications. *Remote Sensing of Environment*, 91, 354–376.
- Thenkabail, P. S., Smith R. B., De Pauw, E. (2000). Hyperspectral Vegetation Indices and Their Relationships with Agricultural Crop Characteristics. *REMOTE SENS. ENVIRON.*, 71:158–182.
- Thenkabail, P.S., Enclona, E.A., Mark S. Ashton, M.S., Legg, C., Jean De Dieu, M. (2004). Hyperion, IKONOS, ALI, and ETM+ sensors in the study of African rainforests *Remote Sensing of Environment*, 90, 23–43.
- Underwood, E., Ustin, S., DiPietro, D. (2003). Mapping nonnative plants using hyperspectral imagery. *Remote Sensing of Environment*, 86, 150–161
- Williams, A.P., Hunt, R.E. (2002). Estimation of leafy spurge cover from hyperspectral imagery using mixture tuned matched filtering. *Remote Sensing of Environment*, 82, 446–456.
- Ye, X., Sakai, K., Garciano, L. O., Asada S.I., Sasao, A. (2006). Estimation of citrus yield from airborne hyperspectral images using a neural network model. *Ecological modeling*, 198, 426–432

- Zhang Minghua, Zhihao Qin, Xue Liu, Susan L. Ustin. (2003). Detection of stress in tomatoes induced by late blight disease in California, USA, using hyperspectral remote sensing. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 4, 295-310
- Zhao, D., Reddy, K. R., Kakani, V. G., Read, J. J., Koti, S. (2007). Canopy reflectance in cotton for growth assessment and lint yield prediction. *Europ. J. Agronomy*, in press
- Zarco-Tejada, P.J., Berjón, A., López-Lozano, R., Miller, J.R., Martín, P., Cachorro, V. González, M.R., de Frutos, A. (2005). Assessing vineyard condition with hyperspectral indices: Leaf and canopy reflectance simulation in a row-structured discontinuous canopy. *Remote Sensing of Environment*, 99, 271 – 287