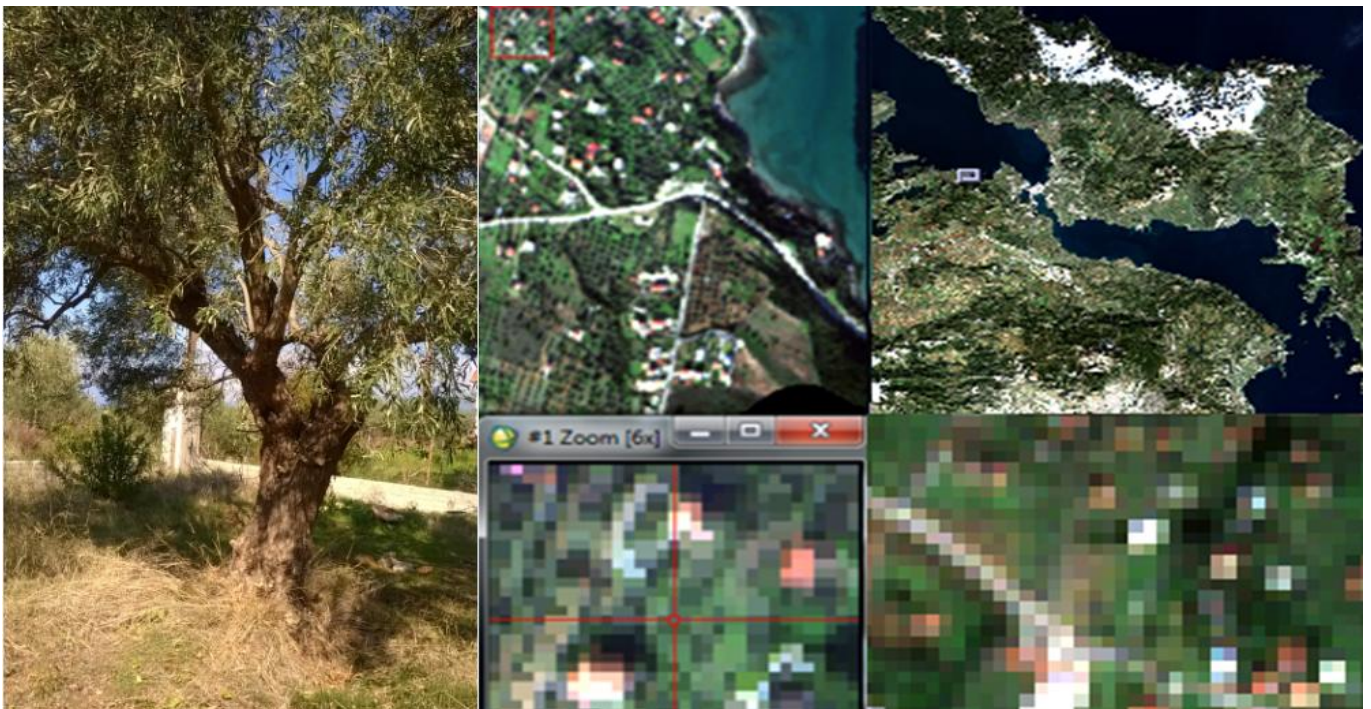




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
Τομέας Τοπογραφίας  
Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης

Μελέτη φασματικών εμφανίσεων της ελιάς σε Τηλεπισκοπικά δεδομένα  
διαφορετικής χωρικής και φασματικής ανάλυσης



Διπλωματική εργασία του Αλέξανδρου Γούλα

Τριμελής επιτροπή

Βασιλεία Καραθανάση, Καθηγήτρια ΕΜΠ

Δημήτριος Αργιαλάς, Καθηγητής ΕΜΠ

Κωνσταντίνος Καράντζαλος, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2017



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ABSTRACT.....	7
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	9
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ .....	11
2.1 Γενική Βιβλιογραφία.....	11
2.2 Ειδικότερη Βιβλιογραφία με Αντικείμενο την Ελιά.....	16
3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ .....	21
3.1 Γενικά Στοιχεία για την Ελιά .....	21
3.2 Βλάστηση και Τηλεπισκόπηση .....	24
3.3 Μέθοδοι Συλλογής και Επεξεργασίας Φασματομετρικών Δεδομένων.....	30
3.3.1 Συλλογή Δεδομένων .....	31
3.3.2 Επεξεργασία Δεδομένων .....	36
3.4 Επιδράσεις της Ατμόσφαιρας στις Τηλεπισκοπικές Απεικονίσεις .....	46
4. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΕΛΙΑΣ.....	48
4.1 Επίγειες.....	48
4.1.1 Μεθοδολογία Μετρήσεων .....	48
4.1.2 Τα Αποτελέσματα των Μετρήσεων .....	51
4.2 Εναέριες.....	65
4.3 Δορυφορικές.....	68
5. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ ΕΛΙΑΣ .....	71
6. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΧΡΟΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΤΗΣ ΕΛΙΑΣ ΣΤΟΝ ΕΤΗΣΙΟ ΚΥΚΛΟ .....	76
7. ΧΡΗΣΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΤΩΝ ΠΟΣΟΣΤΩΝ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΕΛΙΑΣ.....	80
8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ .....	85
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΠΙΝΑΚΩΝ .....	88
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	89
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ .....	91
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	94
Βιβλία.....	94

Papers .....	95
Διπλωματικές Εργασίες .....	96
Δικτυακοί Τόποι .....	97

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια επικρατεί μία τάση αξιοποίησης των Τηλεπισκοπικών δεδομένων στη γεωργία ακριβείας, προκειμένου να παρακολουθούνται οι χρονικές μεταβολές των καλλιεργειών, η περιεκτικότητά τους σε διάφορα συστατικά και άλλα χαρακτηριστικά. Για αυτό το λόγο, καθίσταται πλέον επιτακτικότερη η ύπαρξη πληρέστερων και αξιόπιστων φασματικών δεδομένων, τα οποία θα δύνανται να αξιοποιηθούν σε ανάλογες μελλοντικές εφαρμογές. Σε αυτά τα πλαίσια, η εν λόγω διπλωματική εργασία πραγματεύεται τη μελέτη της ανακλαστικότητας του ελαιόδενδρου (*Olea Europaea*), όπως αυτή καταγράφεται από δέκτες διαφορετικής χωρικής και φασματικής ανάλυσης.

Αφού μελετήθηκαν σχετικές έρευνες στη διεθνή βιβλιογραφία, σχεδιάστηκε η μεθοδολογία των μετρήσεων πεδίου με τέτοιον τρόπο ώστε να περιοριστούν ή να ομογενοποιηθούν παράμετροι που τις διαμορφώνουν, όπως η φασματική επιρροή των γειτονικών στόχων, η ακρίβεια και η ορθότητα στόχευσης. Οι επίγειες μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με χρήση φασματοραδιόμετρου GER 1500 και αποσκοπούσαν στην καταγραφή της ανακλαστικότητας δύο όψεων φύλλων ελιάς, φωτισμένα και υπό σκιά, τόσο κομμένα σε σωρούς, όσο και μεμονωμένα πάνω στο δέντρο, καθώς και του κορμού, του χώματος και των χόρτων.

Έλαβαν χώρα σε τρεις διαφορετικές περιοχές μελέτης: Την Κορώνη Μεσσηνίας το Νοέμβριο του 2015, την Κρόνια Χαλκίδας το Φεβρουάριο και τον Ιούνιο του 2006, ενώ οι κύριες μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο Βοτανικό Κήπο Διομήδους στο Χαϊδάρι μεταξύ Νοεμβρίου 2015 και Ιουνίου 2016. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από την Κρόνια το Φεβρουάριο ήρθαν σε αντιστοιχία με μία εναέρια λήψη του υπερφασματικού δέκτη CASI-550 από το Φεβρουάριο του 2006, την οποία παραχώρησε το εργαστήριο Τηλεπισκόπησης. Πέραν αυτών χρησιμοποιήθηκαν δύο εικόνες του πολυφασματικού δορυφορικού δέκτη Sentinel MSI, χρονολογίας Δεκεμβρίου 2015 και Φεβρουαρίου 2016 από τη Μεσσηνία και τη Χαλκίδα αντίστοιχα. Οι μέσοι όροι των επίγειων δεδομένων ανακλαστικότητας, καθώς και τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τις εικόνες μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση, εξομαλύνθηκαν με χρήση του φίλτρου Savitzky-Golay προς απαλοιφή του θορύβου που παρατηρήθηκε.

Ακολούθως, διερευνήθηκαν οι δυνατότητες των δεδομένων πεδίου ως προς τη διάκριση μεταξύ πέντε διαφορετικών ειδών ελιάς (Μεγάρων, Καλαμών, Αμφίσσης, Θιακή, Αγριελιά), αλλά και των εποχιακών μεταβολών της αγριελιάς μεταξύ των μηνών Νοεμβρίου, Δεκεμβρίου, Φεβρουαρίου και Ιουνίου. Η διερεύνηση έγινε μέσω οπτικής σύγκρισης των φασματικών υπογραφών, αλλά και με χρήση φασματικών και στατιστικών μεθόδων, όπως η γωνιακή απόσταση φάσματος (SAD), η αφαίρεση του συνεχούς, ο συντελεστής στατιστικής συσχέτισης  $R^2$ , και ο μη παραμετρικός έλεγχος υποθέσεων Wilcoxon. Με τις διακυμάνσεις μεταξύ των φασματικών υπογραφών λόγω διαφορετικών συνθηκών μέτρησης να είναι ιδιαίτερα έντονες και παραπλανητικές, η προσπάθεια διαχωρισμού μεταξύ των διαφορετικών ποικιλιών ελιάς δεν έδωσε σαφή αποτελέσματα. Αντιθέτως, διακρίθηκαν προοπτικές στον εντοπισμό των εποχιακών μεταβολών, καθώς και στον διαχωρισμό μεταξύ ελιάς και σκίνου.

Επιπροσθέτως, διερευνήθηκαν οι διαφορές των φασματικών υπογραφών ελιάς που προέκυψαν από τους τρεις διαφορετικούς δέκτες. Στις εναέριες και δορυφορικές εικόνες, διαπιστώθηκε η συμμετοχή παραγόντων του περιβάλλοντος των ελαιόδενδρων, οι οποίοι αλλοιώνουν τις παραγόμενες φασματικές υπογραφές και τις διαφοροποιούν από τις αντίστοιχες των φύλλων ελιάς, όπως αυτές καταγράφονται στο πεδίο. Εκτιμώντας ότι στις εικόνες CASI και Sentinel η ελιά εμφανίζεται ως μικτό εικονοστοιχείο, αποτελούμενο από τις παραμέτρους του περιβάλλοντός της που στοχεύθηκαν στο πεδίο (δύο όψεις φύλλων, κορμός/κλαδιά, χόρτα, χώμα), εκτιμήθηκαν τα ποσοστά αφθονίας των καθαρών στόχων, με χρήση γραμμικού φασματικού διαχωρισμού, καθώς και μίας μεθόδου βασισμένης στη SAD, η οποία αναπτύχθηκε στην παρούσα μελέτη. Το γραμμικό μοντέλο ανάμιξης παρουσίασε εύλογα αποτελέσματα, ιδίως με τη δεύτερη μέθοδο και για την εικόνα CASI, λόγω υψηλότερης χωρικής ανάλυσης (2,5m), ενδεικτικά της δυνατότητας αξιοποίησής του σε ανάλογες εφαρμογές. Τέλος, εφαρμόστηκε με επιτυχία μοντέλο παλινδρόμησης μεταξύ των εικονοστοιχείων και των επιμέρους παραμέτρων, το οποίο απέδειξε τη μεταξύ τους συσχέτιση.

## ABSTRACT

Lately, there has been a tendency to use Remote Sensing data in precision agriculture to monitor seasonal crop changes, their content in various ingredients and other features. As a result, the existence of more complete and reliable spectral data, which could be used in future applications, becomes imperative. In this context, the current diploma thesis deals with the study of olive tree reflectance (*Olea Europea*), as recorded by different spatial and spectral analysis sensors.

Following the review of relevant international publications, the methodology of field measurements was designed so as to limit or homogenize affecting factors, such as the spectral influence of neighboring targets and the precision and accuracy of targeting. Field measurements were performed using a GER 1500 spectrometer, aiming to record the reflection of two sides of olive leaves, both illuminated and shaded, heaped and isolated on the tree, as well as trunk, soil and grass.

The measurements were performed in three study areas: Messinia in November 2015, Chalkis in February and June of 2016, whereas the main measurements were carried out at the Diomedes Botanical Garden in Chaidari, Athens between November 2015 and June 2016. The data from Chalkis in February were collected in correspondence with an aerial reception of the hyperspectral CASI-550 sensor from the same area in February 2006, the latter the Remote Sensing Laboratory of the School of Rural and Surveying Engineering. In addition, two images of the multi-spectral satellite sensor Sentinel MSI were used, dating from December 2015 and February 2016, from Messinia and Chalkis, respectively. The average values of ground reflectivity data, as well as the data collected from the images after the atmospheric correction were smoothed out using the Savitzky-Golay filter, for the removal of the signal noise.

Subsequently, the field data were studied in order to examine the possibility of distinction between the five different olive species (*Oleaster*, *Ceraticarpa*, *Argentanta*, *Mastoides*, *Rotunda*, *Thiaki*), as well as between the seasonal changes of the *Oleaster* variety between November, December, February and June. Their spectral signatures were compared visually, but there were also used spectral and statistical methods, such as the SAD, the continuum removal, the R-squared statistic and the non-parametric statistical hypothesis test Wilcoxon. Due to the different measurement conditions and the resultant, particularly intense and misleading fluctuations between the spectral signatures, the attempt for inter-species distinction of the olive types did not give positive results. On the other hand, the detection of seasonal changes gave more promising results, as well as the discrimination between olive and mastic tree.

Additionally, the differences between the spectral olive signatures derived from the three different receivers were investigated. In the aerial and satellite images there was noted an influence of neighboring to olive trees factors, altering the produced spectral signatures and differentiating

them from the respective field measurement signatures. Considering that in CASI and Sentinel images the olive tree is presented as a mixed pixel, consisting of the field-targeted parameters (both leaf sides, trunk / branches, grasses, soil), the abundance percentages of pure targets were estimated using linear spectral unmixing, as well as an SAD-based method, which has been developed for this study. The linear mixing model presented reasonable results, allowing for possibilities of using it in similar applications. The best results were derived from the SAD-based method and for the CASI image, due to its higher spatial resolution (2.5m). Finally, a regression model was applied between the image pixels and the individual pure targets, which demonstrated the correlation between them.



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Καθηγήτρια Καραθανάση Βασιλεία. Οι διαλέξεις της στα Ειδικά Κεφάλαια Τηλεπισκόπησης ήταν καταλυτικές για μένα στην επιλογή της κατεύθυνσης της συγκεκριμένης Διπλωματικής εργασίας, στην οποία και ήταν επιβλέπουσα. Την ευχαριστώ για τη συνεργασία μας όλο αυτό το διάστημα, τις γνώσεις που μου προσέφερε, την ευθύτητα, την υπομονή της και την αμεσότητα με την οποία ανταποκρινόταν στα ζητήματα τα οποία προέκυπταν.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες στους Διδάκτορες Μηχανικούς Βασίλειο Ανδρώνη και Πολυχρόνη Κολοκούση για την ανεκτίμητη συμβολή τους στα τεχνικά προβλήματα τα οποία αντιμετώπισα, η οποία ήταν καθοριστική στην επιτυχή ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας, καθώς και για τον απεριόριστο χρόνο που μου διέθεσαν.

Ευχαριστώ τους ιθύνοντες του Βοτανικού Κήπου Ιουλίας και Αλεξάνδρου Ν. Διομήδους για τη συνεργασία τους, η οποία διασφάλισε την απρόσκοπτη συλλογή δεδομένων ανακλαστικότητας καθ' όλο το διάστημα μεταξύ Νοεμβρίου 2015 και Ιουνίου 2016. Επίσης όσους ανθρώπους από την Κρόνια Χαλκίδας με διευκόλυναν, επιτρέποντάς μου πρόσβαση σε ελαιόδενδρα που απεικονίζονταν στην εικόνα του αερομεταφερόμενου δέκτη CASI.

Θα ήθελα ακόμη να ευχαριστήσω τον Επίκουρο Καθηγητή του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών Ιωάννη Παπαδάκη, για τις πολύτιμες πληροφορίες που μου παρείχε σχετικά με τη διεκρίνιση των ποικιλιών ελιάς που στοχεύθηκαν στο πεδίο.

Ευχαριστώ θερμά τους Μ. Αρβανίτη, Γ. και Χ. Γούλα, Ζ. Κανδυλάκη, Σ. Καρδάρ, Δ. Μπάρκα, Ι. Πόσβεκ και Χ. Σεβαστάκη για την συνεισφορά τους τόσο κατά τη διενέργεια των επίγειων μετρήσεων, όσο και κατά την έρευνα και την επεξεργασία των συνειλεγμένων δεδομένων.

Συνολικά, αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω τα αγαπημένα μου πρόσωπα, που είναι πάντα κοντά μου, για το ενδιαφέρον και την ψυχολογική τους υποστήριξη. Η ζωή είναι ομορφότερη όταν τη μοιράζεσαι.

Πάνω από όλα όμως θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, Γιώργο Γούλα και Παναγιώτα Κωστοπούλου, τον αδερφό μου Χρήστο, για την απεριόριστη στήριξή τους και πίστη σε μένα, αλλά και για τις αξίες τις οποίες μου έχουν μεταδώσει. Ιδιαίτερα, ευχαριστώ τον πατέρα μου που βρισκόταν δίπλα μου οποτεδήποτε τον χρειάστηκα κατά την εκπόνηση της εργασίας.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο όρος Τηλεπισκόπηση, αποδίδεται στην επιστήμη παρατήρησης φαινομένων και χαρακτηριστικών από απόσταση. Οι μέθοδοί της χαρακτηρίζονται από την ευχέρεια να δίνουν λύσεις σε προβλήματα, παρακάμπτοντας τους οικονομικούς, χρονικούς και πρακτικούς περιορισμούς που αυτή μπορεί να επιβάλει. Η ιδιότητά τους αυτή, σε συνδυασμό με τη δυνατότητα παρατήρησης εκτενών περιοχών σε ελάχιστο χρονικό διάστημα, χάρη σε χρήση ειδικών εναέριων ή δορυφορικών δεκτών, αποτελεί το σημαντικότερο πλεονέκτημα της συγκεκριμένης επιστήμης. Για το λόγο αυτό, ένα μεγάλο μέρος των εφαρμογών της πραγματεύεται την παρατήρηση χαρακτηριστικών της υπαίθρου, η οποία είναι εκτενής και πολλές φορές απροσπέλαστη. Η βλάστηση και δη τα καλλιεργούμενα είδη της είναι εξέχουσας σημασίας, λόγω του σημαίνοντος ρόλου τους στη διατροφή, την απασχόληση, την οικονομία και την ανάπτυξη.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η παρατήρηση των φασματικών αποκρίσεων της ελιάς, της πιο διαδεδομένης καλλιέργειας στον Ελλαδικό χώρο εξ' αρχαιοτάτων χρόνων, σε Τηλεπισκοπικά δεδομένα διαφορετικής χωρικής και φασματικής ανάλυσης. Μία τέτοια μελέτη θεωρήθηκε ότι έχει να προσφέρει στην επιστημονική έρευνα, καθώς φιλοδοξεί να δώσει μία πλήρη εικόνα σχετικά με την ανακλαστικότητα του συγκεκριμένου είδους βλάστησης τόσο όταν μετράται από απόσταση ορισμένων εκατοστών, σε κλίμακα φύλλου, με χρήση φασματοραδιόμετρου χειρός, όσο και όταν υπολογίζεται σε κλίμακα φυλλώματος και ελαιώνα, με χρήση εναέριων και δορυφορικών τηλεπισκοπικών δεκτών αντίστοιχα.

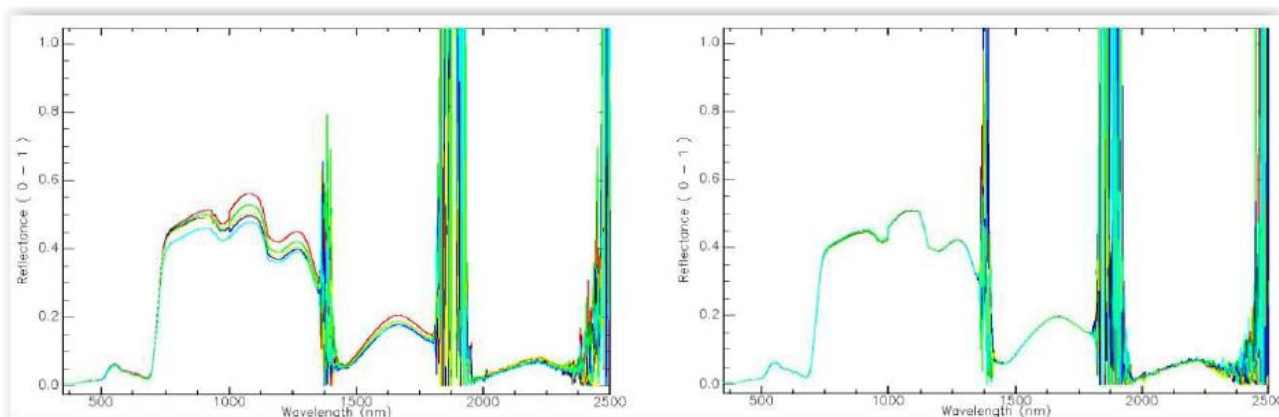
Ένας από τους απώτερους στόχους της εργασίας είναι η διερεύνηση των διαφορών των φασματικών υπογραφών ελιάς που έχουν προκύψει από τα τρία είδη δεκτών, η οποία δύναται να οδηγήσει σε συμπεράσματα σχετικά με τις δυνατότητες του καθενός, τη συσχέτισή τους και τους παράγοντες που την επηρεάζουν, αλλά και σχετικά με το βέλτιστο συνδυασμό και αξιοποίησή τους. Επιπροσθέτως, αξιοποιώντας τα δεδομένα ανακλαστικότητας τα οποία συλλέχθηκαν από έξι διαφορετικά είδη ελιάς και σε διαφορετικές χρονικές περιόδους, σκοπός είναι να διερευνηθούν οι δυνατότητες των Τηλεπισκοπικών δεδομένων ως προς τη διάκριση των διαφορετικών ποικιλιών ελιάς, καθώς και των χρονικών μεταβολών της. Παρά το γεγονός ότι τα Τηλεπισκοπικά δεδομένα έχουν αποδείξει την επάρκειά τους σε ανάλογα εγχειρήματα, εν προκειμένω η πρόκληση είναι μεγαλύτερη, λόγω των δυσκολιών ανίχνευσης μεταβολών μέσω μετρήσεων φύλλων σε αιωνόβια δένδρα, αλλά και μεταξύ ποικιλιών του ίδιου είδους, τη στιγμή που η φασματική διάκριση διαφορετικών ειδών βλάστησης αποτελεί ήδη ένα απαιτητικό ζήτημα για την επιστήμη.

## 2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο λαμβάνει χώρα μία ανασκόπηση πρόσφατων δημοσιεύσεων επιστημονικών εργασιών, οι οποίες σχετίζονται με το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Αυτές πραγματεύονται τη συλλογή δεδομένων από ελαιόδενδρα ή άλλους τύπους βλάστησης, με τηλεπισκοπικές, κυρίως, μεθόδους. Εστιάζουν τόσο στη βελτιστοποίηση της μεθοδολογίας, όσο και στην παραγωγή αποτελεσμάτων ικανών να συμβάλουν στη διεθνή έρευνα γύρω από τη γεωργία ακριβείας και το φασματικό διαχωρισμό των ειδών βλάστησης.

### 2.1 Γενική Βιβλιογραφία

Οι **Milton et al. (2007)**, μελέτησαν τις εξελίξεις στη φασματοσκοπία πεδίου τα τελευταία είκοσι χρόνια, στα οποία καθιερώθηκε ως μία σημαντική τεχνική για την καταγραφή της ανακλαστικότητας των φυσικών επιφανειών, αλλά και για τη βαθμονόμηση εναέριων ή δορυφορικών αισθητήρων. Εντόπισαν ορισμένους παράγοντες που επηρεάζουν τη χρησιμότητα και την αξιοπιστία των φασματοραδιομέτρων και των μετρήσεών τους, όπως το μέγεθος, το βάρος, το κόστος, την ατελή διάχυση της ακτινοβολίας από τις επιφάνειες αναφοράς (Bruegge et al., 2001), τη διαφοροποίηση των συνθηκών φωτισμού στο διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ των μετρήσεων αναφοράς και στόχου, τη φαινολογία του στόχου (εάν πρόκειται για βλάστηση), τη σκέδαση που μπορεί να προκληθεί από τα ρούχα του χειριστή (Kimes et al., 1983), τις εννέα διαφορετικές γεωμετρίες λήψης, οι έννοιες και η ορολογία των οποίων παρουσιάστηκαν από τους Nicodemus et al. (1977), αλλά και την ασάφεια των ατμοσφαιρικών συνθηκών (Steven, 2004, Anderson et al., 2006).



Διάγραμμα 1: Οι επιδράσεις του ανέμου σε κινούμενους στόχους (πχ φύλλα). Αριστερά, η διαγραμματική απεικόνιση πέντε πανομοιότυπων μετρήσεων με απαλό αεράκι και δεξιά με νηνεμία (Πηγή: Pfitzner et al., 2011).

Πρότειναν λύσεις για την ποσοτικοποίηση και τη λύση των παραπάνω παραγόντων, ενώ επεσήμαναν την ανάγκη της καταγραφής συγκεκριμένων μεταδεδομένων παράλληλα με τα φασματικά δεδομένα, ούτως ώστε να αποκτήσουν υψηλότερη αξία μακροπρόθεσμα και να καταστούν επαρκή για τη συμπλήρωση μίας φασματικής βιβλιοθήκης. Απαραίτητη έκριναν την καταγραφή τοποθεσίας και περιγραφής του πεδίου, την ώρα των μετρήσεων, τις ατμοσφαιρικές και μετεωρολογικές συνθήκες, τις παραμέτρους του οργάνου, τη μέθοδο και την παράμετρο

μέτρησης, καθώς και την τεχνική πεδίου. Οι Chen and Vierling (2006) προσάρμοσαν μία κάμερα στο φασματοραδιόμετρο, έτσι ώστε να καταγράφεται η εικόνα των φασματικών δεδομένων κατά τη συλλογή τους. Ακόμη αναφέρθηκε η αυξανόμενη τάση μελέτης της ακτινοβολίας, αντί για την ανακλαστικότητα, τα τελευταία χρόνια, καθώς και τα βήματα που απαιτούνται για να βελτιστοποιηθεί το φασματοραδιόμετρο στη συγκεκριμένη λειτουργία (Goetz et al., 1998).

Οι Salvaggio et al. (2005) επιχείρησαν να εξηγήσουν την ποικιλομορφία που μπορεί να υπάρξει στις φασματικές υπογραφές που εξάγονται από ένα υλικό, όταν χρησιμοποιούνται διαφορετικές τεχνικές. Για επιφάνειες που δεν ανακλούν, ούτε διαχέουν τέλεια, ορίστηκε ένας παράγοντας αμφίδρομης ανακλαστικότητας. Πραγματοποίησαν ένα πείραμα, κατά το οποίο μέτρησαν τέσσερα διαφορετικά υλικά (μπλε μουσαμά, κόντρα πλακέ σημύδας, γυαλόχαρτο και άσφαλτο), υπό διαφορετική διαμόρφωση κάθε φορά ως προς το φωτισμό, τη γωνία λήψης, το υπόβαθρο και το φακό του οργάνου. Συμπέραναν ότι σε διάφανα υλικά όπως ο μουσαμάς, μπορεί να παρατηρηθεί διακύμανση μέχρι 30% στην ανακλαστικότητα, ανάλογα με το υπόβαθρο, ενώ η ανακλαστικότητα των επίπεδων υλικών που ανακλούν κατοπτρικά την προσπίπτουσα ακτινοβολία μπορεί να διαφοροποιείται ακόμη και κατά 40%, ανάλογα με τη γωνία λήψης. Ο αντικατοπτρισμός της ενέργειας απευθείας στο φακό του οργάνου που ενδέχεται να συμβεί σε τέτοιες περιπτώσεις (retro-reflection), μπορεί να οδηγήσει στην καταγραφή αναπάντεχα υψηλής ανακλαστικότητας, η οποία δεν αποκλείεται να ξεπεράσει το 100%.

Γόνιμο πεδίο για έρευνα έχει αποτελέσει επίσης τα τελευταία χρόνια η ατμοσφαιρική διόρθωση των τηλεπισκοπικών απεικονίσεων. Ο Σισμανίδης (2012) διαχώρισε το θεωρητικό υπόβαθρο σε τρεις βασικές ενότητες, οι οποίες αφορούν τη διάδοση της ακτινοβολίας διαμέσου της ατμόσφαιρας, τη μοντελοποίηση αυτής της διεργασίας, όπου αναλύθηκε ποιες οπτικές ιδιότητες της ατμόσφαιρας την επηρεάζουν και σε τι βαθμό, καθώς και τις μεθόδους επεξεργασίας εικόνων. Στη συνέχεια, μελέτησε τρεις αλγόριθμους επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων (ATCOR-2, FLAASH, QUAC) και αξιολόγησε την ακρίβεια, την πληρότητα και την αξιοπιστία τους, με βάση τα φαινόμενα που υπολογίζουν και τις παραδοχές που κάνουν. Παράλληλα, αξιολόγησε την ατμοσφαιρική διόρθωση υπερφασματικών δεδομένων που λήφθηκαν από τον αερομεταφερόμενο δέκτη CASI-550 και κατέδειξε την αναγκαιότητά της κατά την προεπεξεργασία των τηλεπισκοπικών δεδομένων, ιδιαίτερα στην τελευταία περίπτωση.

Δεδομένου ότι η συγκεκριμένη εργασία μελετά τις φασματικές εμφανίσεις τις ελιάς, κρίθηκε σκόπιμο να διερευνηθεί στη διεθνή βιβλιογραφία κατά πόσο είναι δυνατός ο φασματικός διαχωρισμός των ειδών βλάστησης μεταξύ τους, ακολουθώντας τον προβληματισμό του Price (1994), ο οποίος είχε καταλήξει ότι οι φασματικές υπογραφές των διάφορων ειδών βλάστησης δεν είναι μοναδικές. Σε αυτό το σημείο θα γίνει αναφορά σε τρεις επιστημονικές εργασίες που πραγματεύτηκαν το συγκεκριμένο ζήτημα και οδήγησαν σε ενδιαφέροντα αποτελέσματα, ενώ δόθηκε προσοχή και στις μεθόδους που εφαρμόστηκαν σε αυτές.

Αρχικά, οι **Andrew και Ustin (2006)** επιχείρησαν να διαχωρίσουν το λεπίδιο (*Lepidium latifolium*), ένα είδος αγριόχορτου από τα συνυπάρχοντά του είδη στο Σακραμέντο της Καλιφόρνια. Χρησιμοποιήθηκαν δύο φασματοραδιόμετρα (ASD, GER) που είχαν μία μέση απόκλιση 0,7-7,6% μεταξύ τους, η οποία μειώθηκε μετά τον αναλογισμό των δεδομένων στην ανάλυση των δύο αερομεταφερόμενων δεκτών (AVIRIS και HyMap). Οι εικόνες του δέκτη HyMap ήταν καλύτερα

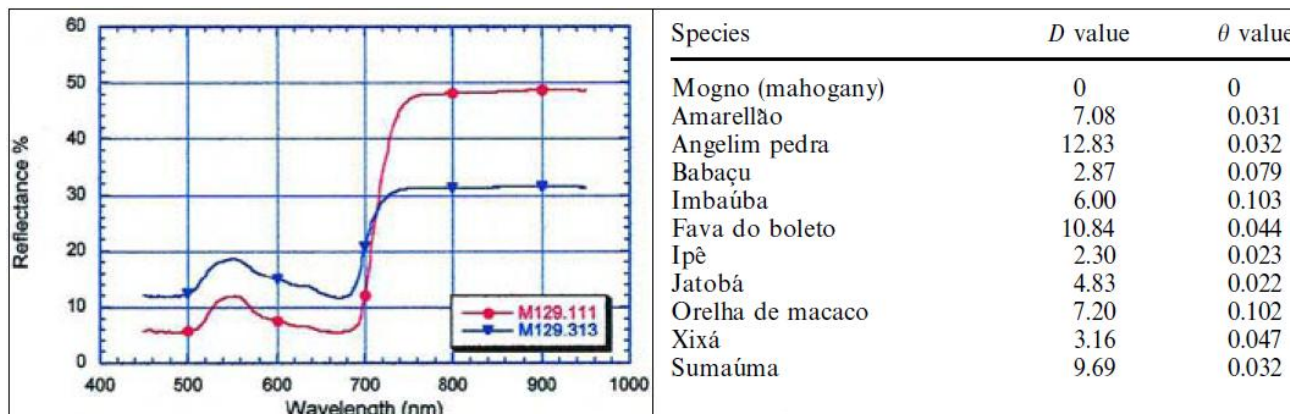
συγχρονισμένες με τις επίγειες μετρήσεις (Ιούνιο- Ιούλιο του 2005, αλλά και Ιούλιο του 2004), ενώ οι AVIRIS είχαν ληφθεί το Μάιο του 2004. Με βάση το σύνολο των δεδομένων φασματικής ανακλαστικότητας που συλλέχθηκαν, υπολογίστηκαν 19 φυσιολογικοί δείκτες ευαίσθητοι στη σύνθεση των χρωστικών, την υγρασία και τη χημική σύσταση του φυλλώματος, οι οποίοι στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν για την ταξινόμηση των ειδών βλάστησης μέσω δένδρων παλινδρόμησης(CART), με χρήση του λογισμικού See5. Με αυτό τον τρόπο επετεύχθη ο φασματικός διαχωρισμός του λεπίδιου από τα υπόλοιπα είδη, με σφάλμα 10% για τα ραδιόμετρα, 13% για τον AVIRIS και 16% για τον HyMap, ενώ παράλληλα διαπιστώθηκε ποιοι από τους δείκτες ήταν οι πιο κρίσιμοι σε αυτό το διαχωρισμό.

Στη συνέχεια, οι ίδιοι φυσιολογικοί δείκτες αξιοποιήθηκαν προκειμένου να συγκριθούν οι εικόνες μεταξύ τους, καθώς και τα επίγεια δεδομένα, με χρήση μονοπαραγοντικών στατιστικών (ANOVA, Tukey-Kramer HSD και τεστ Wilcoxon). Οι αλλαγές στους δείκτες μεταξύ Μαΐου και Ιουλίου αξιολογήθηκαν με χρήση πολυπαραγοντικής ανάλυσης διακύμανσης (MANOVA). Οι συγκρίσεις αυτές ήταν επίσης επιτυχείς, καταλήγοντας σε ομοιότητες μεταξύ των φασματικών υπογραφών που προέκυψαν από τις εικόνες και από το πεδίο, ενώ αντίθετα η σύγκριση μεταξύ των δύο δεκτών απέτυχε, πιθανότατα επειδή το Μάιο το λεπίδιο ήταν σε πλήρη ανθοφορία, ενώ τον Ιούλιο είχε αρχίσει να καρποφορεί. Προέκυψε επομένως το συμπέρασμα ότι το λεπίδιο είναι φασματικά μοναδικό, ενδεχομένως λόγω των χαρακτηριστικών λευκών ανθών του που του δίνουν και μία χαρακτηριστική καμπύλη ανακλαστικότητας στο ορατό φάσμα και ο διαχωρισμός του από άλλα είδη με χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων είναι δυνατός.

Ο **Cochrane (2000)**, διερεύνησε τη διακύμανση στη φασματική ανακλαστικότητα ένδεκα τροπικών ειδών σε επίπεδο φύλλων, κλαδιών, δένδρων και ειδών βλάστησης και επιχείρησε να διαπιστώσει κατά πόσο είναι δυνατός ο διαχωρισμός των ειδών μεταξύ τους. Ένα δύσκολο εγχείρημα, τόσο λόγω των διαφορετικών συνθηκών που επικρατούν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, οι οποίες έχουν προαναφερθεί, όσο και λόγω του γεγονότος ότι η ανακλαστικότητα διαφορετικών ειδών βλάστησης παρουσιάζει υψηλό βαθμό συσχέτισης, εξαιτίας της κοινής χημικής τους σύστασης (Portigal et al., 1997). Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με φασματοραδιόμετρο ASD στο Παρά της Βραζιλίας, υπό τεχνικό, ομοιόμορφο φωτισμό που παράχθηκε από μία λάμπα 8W εγγύς υπέρυθρου, σε χώρο πλησίον του σημείου συλλογής των δειγμάτων. Τα δείγματα αποτελούνταν κυρίως από κλαδιά μαονιού (mahogany), από κλαδιά οκτώ άλλων ειδών, καθώς και από φύλλα δύο ειδών χωρίς κλαδιά.

Από τους μέσους όρους των δεδομένων τα οποία συλλέχθηκαν, δημιουργήθηκαν φασματικά προφίλ για κάθε ξεχωριστό κλαδί, δένδρο και είδος. Παρατηρήθηκαν πολλές ομοιότητες στις φασματικές υπογραφές των διαφορετικών ειδών, με μία δυνητική διαφοροποίηση στο πλάτος της ανακλαστικότητας, ενώ διακύμανση (διαφορετική πολλές φορές στο ορατό και στο υπέρυθρο φάσμα) παρουσιάστηκε ακόμα και μεταξύ κλαδιών του ίδιου δένδρου, προφανώς λόγω ουσιώδους διαφοράς στην ποσότητα των χρωστικών και την εσωτερική δομή των φύλλων. Προκειμένου να ποσοτικοποιηθεί η διαφοροποίηση των φασματικών προφίλ, υπολογίστηκε η ρίζα της μέσης τετραγωνικής διαφοράς μεταξύ τους ( $D$ ), καθώς και η σχηματική διαφορά, ή αλλιώς η φασματική γωνία μεταξύ των δύο διανυσμάτων ( $\theta$ ). Με το φασματικό προφίλ του μαονιού να είναι η αναφορά ( $D = \theta = 0$ ), υπολογίστηκαν τα ίδια μεγέθη για τα διάφορα μαόνια που μετρήθηκαν, καθώς και για τα υπόλοιπα είδη. Συγκρίνοντας τις τιμές των πρώτων με τα τελευταία,

προέκυψε το συμπέρασμα ότι όλα τα είδη μπορούν να διαχωριστούν από το μαόνι, με εξαίρεση το ιρέ, που έχει σημαντικές φασματικές ομοιότητες.



Διάγραμμα 2: Αριστερά, δύο φασματικές υπογραφές από το ίδιο δένδρο μαονιού, χαρακτηριστικές της διακύμανσης που μπορεί να υπάρξει, και μάλιστα με διαφορετικό τρόπο στο ορατό και στο υπέρυθρο τμήμα του φάσματος. Δεξιά, ο πίνακας με τις τιμές  $D$ ,  $\theta$  όλων των ειδών (Πηγή: Cochrane, 2000).

Διερευνήθηκε επίσης η παρατήρηση του Danson (1995), ότι η φασματική ανακλαστικότητα μπορεί να διαφέρει σημαντικά ανάλογα με τη θέση στο φύλλωμα, συγκρίνοντας 13 χαμηλά κλαδιά με 13 υψηλά, με τα αποτελέσματα ωστόσο να μην υποδεικνύουν κάτι περισσότερο αξιόλογο από την τυπική διαφοροποίηση εντός του ίδιου δένδρου. Επειδή έχει αποδειχθεί ότι τα μήκη κύματος κοντά στην κόκκινη ακμή είναι ιδιαίτερα χρήσιμα στο διαχωρισμό των ειδών βλάστησης, υπολογίστηκαν η μέγιστη κλίση της καμπύλης φασματικής ανακλαστικότητας, το μήκος κύματος στο οποίο εμφανίζεται, καθώς και τα στατιστικά μεγέθη μέσος όρος, διακύμανση, ισομετρία και κύρτωση. Σε σύγκριση μεταξύ των ειδών προέκυψε ξανά διαχωρισμός όλων από το μαόνι, εκτός του ιρέ, ενώ σε σύγκριση μεταξύ δένδρων αδύνατος ήταν και ο διαχωρισμός 2/5 δένδρων jatobá.

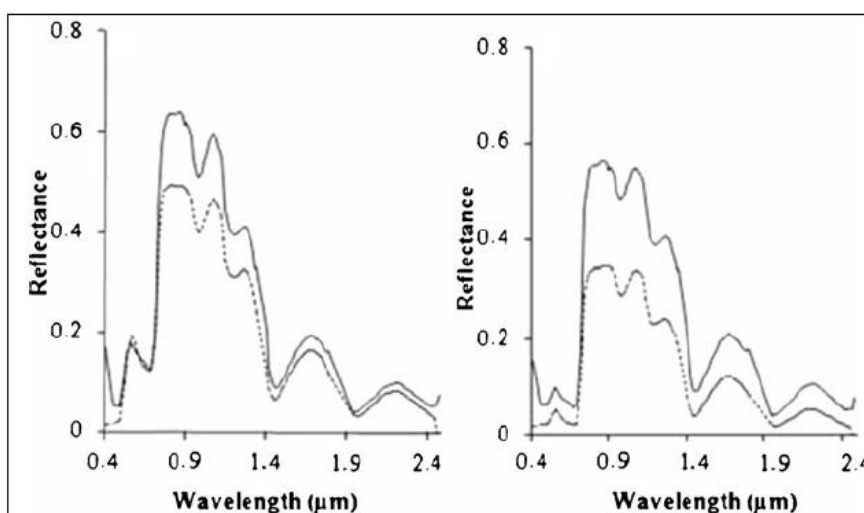
Μία ακόμη μέθοδος χρησιμοποιήθηκε, αυτή του σχηματικού φιλτραρίσματος, κατά την οποία τα φασματικά δεδομένα κάθε είδους κανονικοποιήθηκαν ως προς αυτά του μαονιού, τόσο σε επίπεδο δένδρων, όσο και σε επίπεδο κλαδιών, δημιουργώντας το καθένα δύο ξεχωριστούς σχηματικούς χώρους, ορισμένους από τις ελάχιστες και τις μέγιστες τιμές σε κάθε μήκος κύματος. Από τα 31 δένδρα, 1/4 ιρέ και 1/5 jatobá συνέπεσαν με το φασματικό χώρο του μαονιού, με τα υπόλοιπα να διαχωρίζονται επιτυχώς. Σημαντικά για το διαχωρισμό στο φιλτράρισμα των δένδρων ήταν τα μήκη κύματος 696-733 και 842-950, ενώ στον κλαδιών τα 697-713 nm. Καταλήγοντας, ο Cochrane σημειώνει ότι η διακύμανση της ανακλαστικότητας του φυλλώματος ακόμα και εντός του ίδιου είδους δεν είναι σε καμία περίπτωση αμελητέα κι επομένως καθίσταται αναγκαία η θεώρηση ότι οι φασματικές υπογραφές της βλάστησης δεν είναι μοναδικές και συγκεκριμένες, αλλά καλύτερα, αντιστοιχούν σε μία φασματική περιοχή.

Οι **Nidamanuri και Zbell (2012)** δημιούργησαν φασματικές βιβλιοθήκες βασισμένες σε μετρήσεις πεδίου φασματικής ανακλαστικότητας για τα είδη αλφάλφα, κριθάρι, ελαιοκράμβη, σικάλη και σιτάρι. Οι μετρήσεις επαναλαμβάνονταν ανά 7 – 10 ημέρες καθ' όλη τη διάρκεια τεσσάρων διαδοχικών κύκλων βλάστησης (2002-2005), με χρήση φασματοραδιομέτρου ASD. Τα δεδομένα των μετρήσεων πεδίου προσαρμόστηκαν στην φασματοραδιομετρική ανάλυση εικόνων HyMAP που λήφθηκαν 100 χιλιόμετρα βορειότερα το 1999 και διορθώθηκαν με το λογισμικό FLAASH.

Ακολουθώντας παρόμοια μέθοδο, οι Zomer et al. (2009) είχαν ταξινομήσει επιτυχώς υπερφασματικές εικόνες PROBA-1, οι οποίες απεικόνιζαν είδη βλάστησης σε υγράτοπους.

Με την υπόθεση ότι κάθε τύπος φυτού ακολουθεί κάποιο συγκεκριμένο μοτίβο φασματικής ανακλαστικότητας, τα δεδομένα πεδίου κατηγοριοποιήθηκαν με τη μέθοδο της γραμμικής διαχωριστικής ανάλυσης (LDA), σε συνδυασμό με μία ανάλυση κυρίων συνιστωσών (PCA). Στόχος της LDA ήταν να συσχετίσει ομάδες μεταβλητών πειραματικών δεδομένων με δεδομένα αναφοράς από κάποια φασματική βιβλιοθήκη, προσαρμόζοντας κατάλληλα την βαρύτητα κάθε μεταβλητής. Ως αλγόριθμος αναζήτησης βιβλιοθήκης επιλέχθηκε ο φασματικός χαρτογράφος γωνίας (SAM), λόγω της ελάχιστης ευαισθησίας του στις μεταβολές φωτισμού, ενώ η ταύτιση των φασμάτων της εικόνας με αυτά της βιβλιοθήκης αξιολογήθηκε με τη μέθοδο προσαρμογής φασματικών χαρακτηριστικών (SFF). Μία μέθοδο που δίνει έμφαση στην παρουσία χαρακτηριστικών φασματικής απορρόφησης χρησιμοποιώντας μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων, αφού πρώτα αφαιρέσει το συνεχές από τις δύο ομάδες δεδομένων.

Τα αποτελέσματα της LDA έδειξαν σαφή ευαισθησία των σπαρτών σε περιβαλλοντικούς και εποχιακούς παράγοντες, καθώς η ταυτοποίηση των πέντε ειδών που εξετάστηκαν επετεύχθη με ακρίβεια άνω του 90% στις περιπτώσεις που συγκρίθηκαν μετρήσεις της ίδιας παραγωγικής χρονιάς. Σε διαφορετικές παραγωγικές χρονιές το ποσοστό παραμένει υψηλό για το αλφάλφα και την ελαιοκράμβη (winter rape), ενώ μειώνεται σε ποσοστά που κυμαίνονται από 53-82% για τα υπόλοιπα τρία είδη, γεγονός που υποδεικνύει ότι τα δύο πρώτα διαθέτουν χαρακτηριστική φασματική συμπεριφορά που υπερισχύει των εποχιακών και τοπικών διαφοροποιήσεων. Το ίδιο συμπέρασμα προέκυψε από την ταξινόμηση των εικόνων, κατά την οποία διαχωρίστηκαν με ακρίβεια μόνο το αλφάλφα και η ελαιοκράμβη. Με βάση λοιπόν όσα αναφέρθηκαν σε αυτήν και τις προηγούμενες εργασίες, καθώς και την επιτυχή κατά 90% ταξινόμηση εικόνων Hyperion με βάση ταυτόχρονα δεδομένα πεδίου των Nidamanuri et al. (2007), γίνεται εμφανές ότι η σύγκριση σύγχρονων δεδομένων είναι ζωτικής σημασίας για το φασματικό διαχωρισμό, ενώ η απουσία ιδιαίτερων φασματικών χαρακτηριστικών σε κάποιο είδος μπορεί να καταστήσει από δυσχερές έως αδύνατο το όλο εγχείρημα.



Διάγραμμα 3: Η ιδιαίτερη συμπεριφορά της ελαιοκράμβης (αριστερά) στο ορατό φάσμα είναι εμφανής από τη σύγκριση του διαγράμματος φασματικής ανακλαστικότητάς της, με αυτό της σίκαλης (δεξιά). Με συνεχή γραμμή

*παρουσιάζονται τα διαγράμματα που προέκυψαν από τις εικόνες HyMAP, ενώ με διακεκομμένη τα δεδομένα πεδίου.  
(Πηγή: Nidamanuri και Zbell , 2012)*

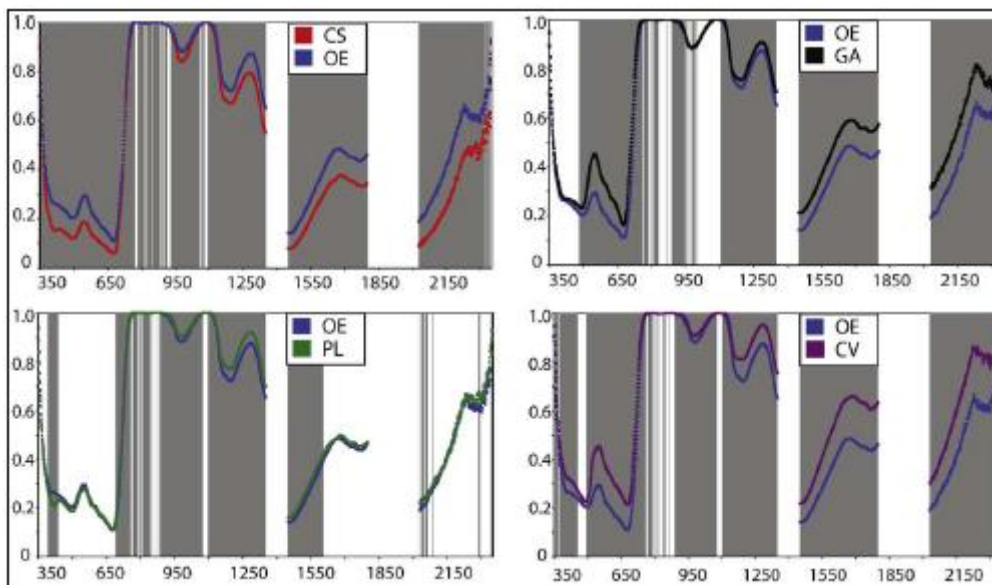
## 2.2 Ειδικότερη Βιβλιογραφία με Αντικείμενο την Ελιά

Στις επιστημονικές μελέτες που έχουν εκπονηθεί με θέμα τη φασματική διάκριση των φυτικών ειδών δεν θα μπορούσε να μη γίνεται αναφορά στην ελιά, με τους **Manevski et al. (2011)** να διερευνούν τη φασματική της απόκριση σε σύγκριση με άλλα τέσσερα μεσογειακά είδη: Το μαστιχόδενδρο, τη χαρουπιιά, τον ασπάλαθο και το χινοπόδι. Οι μετρήσεις έλαβαν χώρα στο Ακρωτήριο της Κρήτης το Μάρτιο του 2010 με τη βοήθεια ενός φασματοραδιομέτρου ASD, το οποίο τοποθετήθηκε γύρω στα 150 εκατοστά πάνω από τη μακία βλάστηση και 25 πάνω από τους θάμνους, ούτως ώστε να αποτυπώσει την ανακλαστικότητα του φυλλώματος κάθε είδους. Τα δεδομένα ανακλαστικότητας από ορισμένα κανάλια που παρουσίαζαν υψηλό θόρυβο αποκλείστηκαν, ενώ επιπροσθέτως διορθώθηκε η ανακλαστικότητα περί τα 1000 nm, λόγω ευαισθησίας του οργάνου. Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε η τεχνική αφαίρεσης του συνεχούς, με σκοπό να κανονικοποιηθεί η διαφορά των χειροκίνητων στοχεύσεων των θάμνων από αυτές των δένδρων, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν από μεγαλύτερο ύψος, με χρήση ειδικού γερανού.

Με βάση πλέον τη φασματική ανακλαστικότητα που προέκυψε από την αφαίρεση του συνεχούς, χρησιμοποιήθηκε το τεστ κανονικότητας Kolmogorov-Smirnov, έτσι ώστε να ερευνηθεί η κατανομή του φάσματος (μέσος όρος και τυπική απόκλιση), η οποία διέφερε ανάλογα το είδος και το μήκος κύματος. Προκειμένου να ελεγχθεί η διαφοροποίηση μεταξύ των ειδών, πραγματοποιήθηκε μονοπαραγοντική ανάλυση διακύμανσης, τόσο με παραμετρικά, όσο και με μη παραμετρικά τεστ, με την υπόθεση ότι η ανακλαστικότητα ακολουθεί ή όχι την κανονική κατανομή αντίστοιχα. Ο πρώτος έλεγχος έγινε με χρήση μονόπλευρης ανάλυσης διακύμανσης ANOVA και του τεστ Bonferroni, ενώ ο τελευταίος μέσω των τεστ Kruskal-Wallis και Wilcoxon.

Παρά τις θεμελιωδώς διαφορετικές υποθέσεις των δύο μεθόδων, υπήρχε σε γενικές γραμμές συμφωνία όσον αφορά τα στατιστικά σημαντικά κανάλια για τον, επιτυχή κατά βάση, διαχωρισμό των ειδών, με τη μη παραμετρική μέθοδο να εμφανίζει ελαφρώς περισσότερα σημαντικά κανάλια. Λιγότερο επιτυχημένος ήταν ο διαχωρισμός των ζευγαριών ελιά-μαστιχόδενδρο και ασπάλαθος-χινοπόδι, τα οποία εμφάνισαν ελάχιστες διαφορές στις φασματικές υπογραφές τους, σε περιορισμένο αριθμό καναλιών. Πιο συγκεκριμένα, φάνηκε ότι μόνο τα κανάλια γύρω στα 400 nm, μαζί με ορισμένα τμήματα στο διάστημα 700-1350nm είναι σημαντικά για το διαχωρισμό της ελιάς από το μαστιχόδενδρο, ενώ λόγω και της μεθοδολογίας των μετρήσεων τονίζεται ότι η συχνή συνύπαρξη των δύο ειδών στο πεδίο μπορεί να επηρέασε τον υψηλό συσχετισμό τους, σε συνδυασμό με τη σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των ειδών της ελιάς.





Διάγραμμα 4: Διαγραμματική απεικόνιση της φασματικής ανακλαστικότητας της ελιάς (OE) σε σύγκριση με τα υπόλοιπα είδη, μέσω της μη παραμετρικής μεθόδου. Πάνω αριστερά συγκρίνεται με τη χαρουπιά, πάνω δεξιά με το χινοπόδι, κάτω αριστερά με το μαστιχόδενδρο και κάτω δεξιά, με τον ασπάλαθο. Με γκρι χρωματίζονται τα στατιστικά σημαντικά κανάλια (Πηγή: Manevski et al., 2011)

Με τον αποκλεισμό του ζευγαριού ασπάλαθος-χινοπόδι, όλα τα υπόλοιπα είδη εμφάνισαν μοναδική συμπεριφορά στα κομμάτια του φάσματος 697-753, 2182-2184, 2190-2192, με την συνεισφορά ελάχιστων καναλιών του εγγύς υπέρυθρου να αποδίδεται στην παρόμοια προσαρμοστικότητα των μεσογειικών ειδών στην ξηρασία. Συνοψίζοντας, η εργασία αυτή άφησε μία σημαντική παρακαταθήκη όσον αφορά το διαχωρισμό των πέντε μεσογειικών ειδών μεταξύ τους, υπογραμμίζοντας ότι συγκεκριμένα κανάλια στο ορατό και εγγύς υπέρυθρο φάσμα παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη δυναμική. Προτρέπει ωστόσο τη διενέργεια νέων ερευνών που θα επικεντρώνονται στην ποικίλη συνεισφορά του εδάφους που βρίσκεται στο πεδίο όρασης του οργάνου, καθώς και των συνθηκών που επηρεάζουν την εποχιακή διακύμανση της ανακλαστικότητας.

Στο πλαίσιο της χρήσης της τηλεπισκόπησης σε γεωργικές εφαρμογές, έχουν εκπονηθεί αρκετές επιστημονικές εργασίες, τόσο στην Ελλάδα, όσο και στο εξωτερικό. Η Φαναρά (2011), εξέτασε τις προοπτικές που υπάρχουν στην αυτόματη αναγνώριση ελαιόδεντρων μέσω αντικειμενοστραφούς ανάλυσης εικόνας και πιο συγκεκριμένα, με χρήση του λογισμικού eCognition 7. Με αντικείμενο πέντε περιοχές στο Ρέθυμνο, από τρεις δορυφορικές εικόνες των τηλεπισκοπικών δεκτών Ikonos και Quickbird, εφάρμοσε δύο διαφορετικούς αλγόριθμους ανάλυσης, χωρίζοντας τις εικόνες σε δύο τμήματα: με ελιές και χωρίς. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν αξιολογήθηκαν με τον έλεγχο της ευστάθειας των ταξινομήσεων, αλλά και με σύγκριση με τα αντίστοιχα ψηφιοποιημένα δεδομένα, ούτως ώστε να υπολογιστούν δείκτες και σφάλματα. Η εφαρμογή των αλγορίθμων κρίθηκε επιτυχής σε γενικές γραμμές, με τον έναν να είναι ακριβέστερος και πιο πολύπλοκος από τον άλλον, που ήταν πιο αυτόματος. Κανένας όμως από τους δύο δεν ήταν απολύτως αυτόματος, καθώς απαιτούνταν δεδομένα εκπαίδευσης, ενώ παρουσιάστηκαν ορισμένα σημαντικά σφάλματα, όπως η καταχώρηση άλλων δένδρων, διάσπαρτων στους ελαιώνες και σκιών ως ελιές.

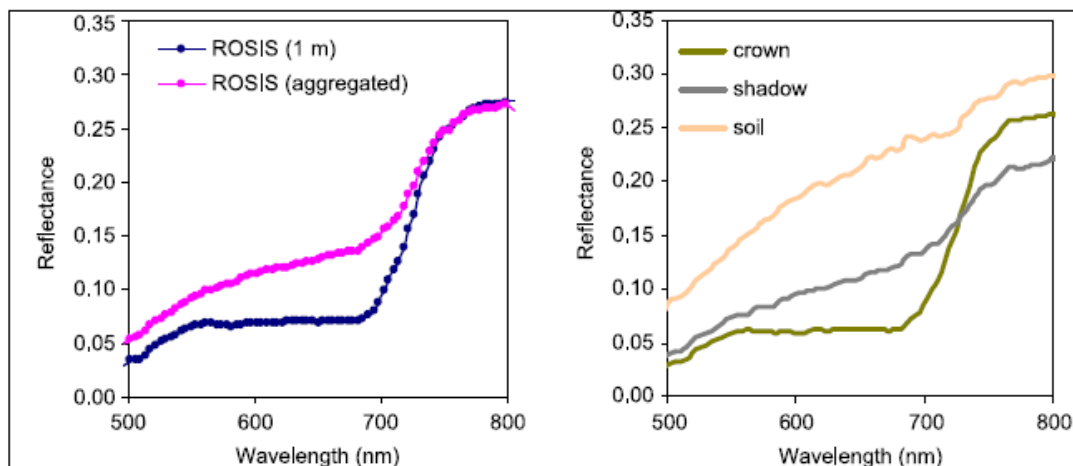
Οι Noori et al. (2015) εφάρμοσαν έναν δείκτη κανονικοποιημένης διαφοράς βλάστησης (NDVI) σε δορυφορική εικόνα ALOS-AVINIR-2, με σκοπό να ξεχωρίσουν δύο ελαιώνες με τη μέγιστη και την ελάχιστη ανακλαστικότητα στο πράσινο. Παρατήρησαν ότι ο πρώτος ελαιώνας είχε υψηλότερο ρυθμό ανάπτυξης και υψηλότερη παραγωγικότητα από τον δεύτερο, ενώ από χημικές αναλύσεις δειγμάτων εδάφους και φύλλων κατά τη διάρκεια δύο ετών προέκυψε ότι η αυξημένη παραγωγή σχετίζεται άμεσα με την περιεκτικότητα σε άζωτο και κάλιο.

Οι Estornell et al. (2015) εκτίμησαν το μέγεθος της βιομάζας που μπορεί να παραχθεί από το κλάδεμα των ελαιόδεντρων, αξιοποιώντας δενδρομετρικές παραμέτρους, όπως το κλάδεμα, η μέση διάμετρος και το ύψος κόμης, η διάμετρος κορμού και το ύψος του δένδρου, σε 25 δένδρα στην κεντροανατολική Ισπανία. Οι παράμετροι αυτές υπολογίστηκαν τόσο με μετρήσεις πεδίου, όσο και με μετρήσεις βασισμένες στην υψομετρική κατανομή δεδομένων μέσης πυκνότητας που συλλέχθηκαν από αερομεταφερόμενο δέκτη LiDAR. Με τη βοήθεια δύο διαφορετικών μοντέλων παλινδρόμησης και με βάση τα παραπάνω δεδομένα, έγινε πρόβλεψη του κλαδεμένου υλικού. Ο συνδυασμός της έντασης και της γεωμετρικής πληροφορίας που παρείχαν τα δεδομένα LiDAR, παρήγαγε καλύτερα αποτελέσματα από εκείνα των μετρήσεων πεδίου, με την απόκλιση των μέσων όρων να είναι γύρω στο 0,5-1 μέτρο. Σημειώθηκε επίσης ότι προτιμήθηκε ο συγκεκριμένος δέκτης αντί για άλλες εικόνες υψηλής χωρικής ανάλυσης, χάρη στο πλεονέκτημά του να αφαιρεί την επίδραση της χορτώδους βλάστησης, να παράγει ψηφιακά εδαφικά μοντέλα, αλλά και να μην επηρεάζεται από τις σκιές.

Στο ίδιο κλίμα, οι Maselli et al. (2012), προσομοίωσαν την παραγωγή ελιάς στην Τοσκάνη. Αρχικά, με την επεξεργασία εικόνων Ikonos και Landsat παράχθηκε ένας χάρτης κλασματικής κάλυψης των ελαιώνων από φύλλωμα δένδρων, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των τιμών NDVI της ελιάς μέσω εικόνων MODIS. Μετά το συνδυασμό αυτών των τιμών με μετεωρολογικά δεδομένα εντός ενός τροποποιημένου παραμετρικού μοντέλου (C-Fix), έγινε πρόγνωση της ημερήσιας ακαθάριστης πρωτογενούς παραγωγής (GPP) για τα έτη 2000-2009. Ακολούθως, οι παραπάνω εκτιμήσεις συντονίστηκαν με τις εκτιμήσεις αναπνοής ενός βιοχημικού μοντέλου (BIOME-BGC), με αποτέλεσμα να προσομοιωθεί η καθαρή πρωτογενής παραγωγή (NPP). Συγκεντρικά, η NPP αυτών των δέκα ετών μετατράπηκε σε σοδειά ελιάς, η ακρίβεια της οποίας αξιολογήθηκε συγκριτικά με τα στατιστικά της περιοχής. Η προσομοίωση ήταν επιτυχημένη σε επίπεδο περιφέρειας, χάρη στη μοντελοποίηση όλων των διαδικασιών από τη φωτοσύνθεση και την αναπνοή, ως την σοδειά. Ωστόσο, σε μεμονωμένες περιοχές ή ιδιόμορφες σεζόν, παρουσιάζονται σημαντικά σφάλματα, λόγω διαφορετικών γεωργικών πρακτικών ή ακραίων καιρικών φαινομένων.

Άξιες αναφοράς κρίθηκαν επίσης ορισμένες επιστημονικές εργασίες με θέμα την ανίχνευση βιοχημικών χαρακτηριστικών και ασθενειών της ελιάς. Για παράδειγμα, οι Zarco-Tejada et al. (2004) ερεύνησαν δύο ελαιώνες με ανοιχτό φύλλωμα στη Νότια Ισπανία, τον Ιούλιο του 2002, σχετικά με την περιεκτικότητά τους σε χλωροφύλλη. Αρχικά, εφαρμόστηκαν υπερφασματικοί δείκτες (πχ TCARI, MCARI-OSAVI) για έλεγχο διαφορετικών υποθέσεων μοντέλων μετάδοσης της ακτινοβολίας, σε φυλλώματα όπου στοχεύθηκαν ξεχωριστά οι συνιστώσες κόμης, χρώματος και σκιάς, μέσω υπερφασματικών εικόνων ROSIS, χωρικής ανάλυσης ενός μέτρου. Σε αυτά τα δεδομένα ήταν εφικτή η καθαρή στόχευση της κόμης της ελιάς, οπότε εφαρμόστηκε με επιτυχία το μοντέλο PROSPECT-SAILH. Ωστόσο παρατηρήθηκε ότι σε δεδομένα χαμηλότερης ανάλυσης, όπου

τα εικονοστοιχεία ήταν μικτά και περιείχαν σκιά ή χώμα, εφαρμόστηκε το μοντέλο PROSPECT-SAILH-FLIM, το οποίο παρουσίασε καλύτερα αποτελέσματα σε αυτή την περίπτωση, αν και πάλι, όχι ικανοποιητικά. Η ακρίβεια των εκτιμήσεων των μοντέλων περί της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης, αξιολογήθηκε σε σύγκριση με αντίστοιχες μετρήσεις χλωροφύλλης στο πεδίο, σε δύο ελαιώνες με διαφορετικές συνθήκες άρδευσης. Συγκεκριμένα, υπολογίστηκαν η ανακλαστικότητα και η διάδοση της ακτινοβολίας μέσω των φύλλων, από ένα φασματόμετρο USB με Li-Cor Intergrating Sphere, καθώς επίσης και η ανακλαστικότητα του χώματος και της σκιάς των δέντρων.

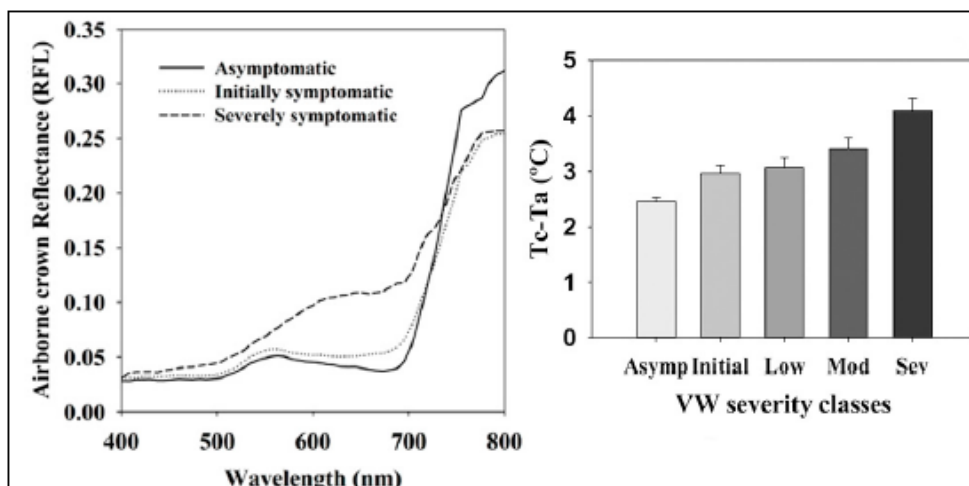


Διάγραμμα 5: Σύγκριση της ανακλαστικότητας καθαρού εικονοστοιχείου και μικτού (αριστερά) και των ανακλαστικότητων κόμης, σκιάς και χώματος (δεξιά). (Πηγή: Zarco-Tejada et al., 2004)

Δεδομένου ότι η εκτίμηση της καταπόνησης λόγω έλλειψης νερού (water stress) μπορεί να συνεισφέρει στη βελτιστοποίηση της σοδειάς του λαδιού, έχει κατά καιρούς διερευνηθεί η ανάγκη εφαρμογής στρατηγικών διαχείρισης άρδευσης, κατά την οποία θα διατηρείται ελάχιστη καταπόνηση. Οι Ben-Gal et al. (2009), εξέτασαν εδαφικές, φυτικές και τηλεπισκοπικές παραμέτρους εκτίμησης της καταπόνησης σε ελαιώνες με πέντε διαφορετικές μεθόδους άρδευσης στο Ισραήλ, με χρήση μετρητών τάσης, πορομέτρου φυλλικής διάχυσης και εικόνων από τη θερμική κάμερα SC2000. Μέσω των εικόνων, οι οποίες είχαν καλύτερα αποτελέσματα όταν λαμβάνονταν το απόγευμα, λόγω μέγιστης καταπόνησης, υπολογίστηκε η μέση θερμοκρασία φυλλώματος και ο δείκτης καταπόνησης CWSI. Στόχος ήταν η σύγκριση των εκτιμήσεων CWSI με τις παραδοσιακές μεθόδους μέτρησης φυτικής και εδαφικής υγρασίας. Η υψηλή συσχέτιση που προέκυψε περνάει ένα θετικό μήνυμα σχετικά με την εφαρμοσιμότητα της θερμικής τηλεπισκόπησης στην καθημερινότητα των γεωργών.

Οι Calderon et al. (2015) μελέτησαν τις προοπτικές της έγκαιρης ανίχνευσης και ποσοτικοποίησης της βερτισιλώσεως σε ελαιώνες, η οποία μπορεί να φανεί ιδιαίτερα χρήσιμη στην προστασία των αγρών, με τηλεπισκοπικές απεικονίσεις μεγάλων εκτάσεων στη Σεβίλλη, όπου είχε επιθεωρηθεί οπτικά η δριμύτητα της ασθένειας. Από τις υπερφασματικές εικόνες του δέκτη Micro-Hyperspec VNIR, υπολογίστηκαν δείκτες όπως ο χλωροφυλλικός φθορισμός, η ξανθοφύλλη, η χλωροφύλλη, τα καροτενοειδή και οι δείκτες ασθένειας, που αποδείχθηκαν ικανοί να υποδείξουν τη μόλυνση σε πρώιμα ή προχωρημένα στάδια. Αντίστοιχα, με τη βοήθεια των θερμικών απεικονίσεων της κάμερας FLIRSC655 υπολογίστηκε η κανονικοποιημένη θερμοκρασία φυλλώματος ( $T_{canopy} - T_{air}$ ). Στη

συνέχεια, αξιοποιώντας συνδυαστικά τις τιμές των προαναφερθέντων δεκτών, εφαρμόστηκαν ταξινομήσεις της δριμύτητας της ασθένειας μέσω γραμμικής ανάλυσης διαχωρισμού (LDA) και υποστηρικτικής διανυσματικής μηχανής (SVM). Η SVM είχε υψηλότερη μέση ακρίβεια (79,2%), σε σύγκριση με την οπτική επιθεώρηση στο πεδίο, σε σύγκριση με την LDA (59%), όμως ήταν λιγότερο αποτελεσματική στον εντοπισμό των αρχικών σταδίων μόλυνσης, που είναι και τα κρίσιμότερα.



Διάγραμμα 6: Αριστερά: Ανακλαστικότητα κόμης χωρίς, με αρχικά και με δριμέα συμπτώματα. Με τη μόλυνση παρατηρείται αύξηση της ανακλαστικότητας στο κόκκινο και μείωση της κλίσης στην κόκκινη ακμή. Δεξιά: Οι μέσες τιμές της κανονικοποιημένης θερμοκρασίας φυλλώματος. Παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας, ανάλογη με την επιδείνωση της μόλυνσης. (Πηγή: Calderon et al., 2015)

### 3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

#### 3.1 Γενικά Στοιχεία για την Ελιά

Η ελιά είναι δένδρο αείφυλλο ή μεγάλος θάμνος, το οποίο αυτοφύεται στις εύκρατες και θερμές χώρες της Ευρώπης, της Ασίας και της Αφρικής. Απαριθμεί περί τα 35 είδη, ωστόσο στην Ελλάδα υπάρχει μόνο ένα, η Ελιά η ευρωπαϊκή, που διακρίνεται σε δύο ποικιλίες: Την ευρωπαϊκή (*Olea europaea* var. *europaea*) που καλλιεργείται και τη δασική (*Olea europaea* var. *oleaster*), γνωστή και ως αγριελιά. Παρουσιάζει εντυπωσιακή ανθεκτικότητα στην ξηρασία, τους ανέμους και το χαλάζι, αλλά όχι στο πολύ κρύο. Ευδοκίμει σε γεωγραφικό πλάτος μεταξύ 30° και 45° και σε θερμοκρασία μεταξύ -3° και 45°C. Ανθίζει την άνοιξη και γονιμοποιείται με τον άνεμο, ενώ το λάδι της αρχίζει να συγκεντρώνεται στον καρπό γύρω στον Αύγουστο και γονιμοποιείται με τον άνεμο.

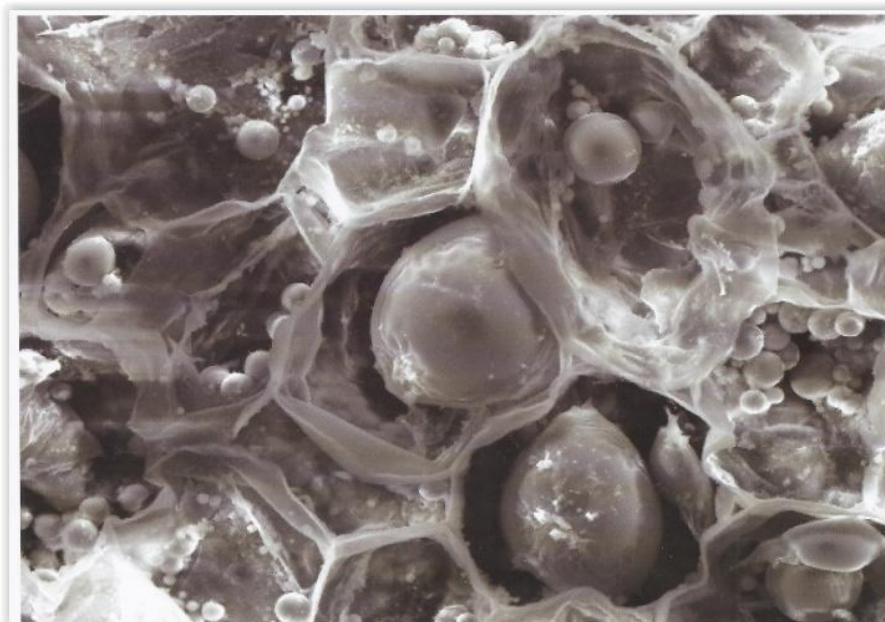


Εικόνα 1: Άποψη ελαιόδενδρου της ευρωπαϊκής ποικιλίας στη Μεσσηνία. (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)

Αναφορές στη σχέση της ελιάς με τον άνθρωπο υπάρχουν από τα αρχαία χρόνια στους Μεσογειακούς λαούς και ιδιαίτερα στους Έλληνες, εκ των οποίων οι Αθηναίοι τη θεωρούσαν δώρο της θεάς Αθηνάς. Ως γνωστόν, οι Ολυμπιονίκες στέφονταν με στεφάνι αγριελιάς («κότινο»), την οποία ονόμαζαν «καλλιστέφανο», ενώ και στα Παναθήναια οι νικητές βραβεύονταν με ένα ζωγραφισμένο δοχείο που περιείχε λάδι. Είναι βέβαιο ότι οι Έλληνες ήταν οι πρώτοι που αντελήφθησαν τη σημασία της ελιάς και την καλλιέργησαν και μάλιστα ο Σόλωνας είχε ρυθμίσει νομοθετικά τον τρόπο φύτευσης στους ελαιώνες, στοχεύοντας στη μέγιστη απόδοση. Φημισμένος ελαιώνας υπήρχε μεταξύ Ακαδημίας, Ιεράς Οδού και Κηφισού, από τον οποίο επιζεί ακόμα μία ελιά στην Ιερά οδό (ελιά του Πλάτωνα).

Η αγριελιά είναι θάμνος μακρόβιος, ουσιαστικά αθάνατος, ένα τυπικό φυτό των διαπλάσεων των αείφυλλων σκληροφύλλων θάμνων (μακκί). Τα φύλλα της είναι μικρά, αντίθετα, βραχύμισχα, ωοειδή, με σκουροπράσινο χρώμα στην πάνω πλευρά (προσαξονική) και χαρακτηριστικό αργυρόλευκο χρώμα στην κάτω (αποαξονική), το οποίο οφείλεται στις πολυάριθμες λεπιοειδείς τρίχες που εντοπίζονται στην κάτω επιδερμίδα. Οι καρποί της είναι μικρές μαύρες δρύπες και παράγουν εξαιρετικής ποιότητας λάδι, το οποίο χρησιμοποιείται στη λαϊκή ιατρική ως φάρμακο, σε δερματικές και άλλες παθήσεις. Φυτρώνουν κατά κόρον στις χαμηλές πλαγιές των βουνών και συχνά χρησιμοποιούνται για να εμβολιαστούν πάνω σε αυτές διάφορες ποικιλίες ήμερης ελιάς.

Η καλλιεργήσιμη ελιά είναι μεγάλο, αιωνόβιο δένδρο, με ύψος που μπορεί να φτάσει τα 20 μέτρα. Ο κορμός της σκεπάζεται από σταχτόχρωμο περίδερμα (φλοιό), το οποίο φέρει κατά περιοχές χαρακτηριστικά εξογκώματα, ενώ το ριζικό της σύστημα αναπτύσσεται προς όλες τις κατευθύνσεις και αναζητά νερό σε πολύ χαμηλούς ορίζοντες. Απαιτεί 5-8 χρόνια για να αρχίσει να παράγει καρπό και στη συνέχεια αναπτύσσεται πλήρως μέχρι τα 20 χρόνια. Τα φύλλα της είναι μεγαλύτερα από της αγριελιάς, όπως και οι καρποί της, οι οποίοι προκύπτουν από ένα ποσοστό 1-5% των κιτρινόλευκων ανθέων της. Αν και σε περιόδους ξηρασίας ο καρπός είναι φυσιολογικά μικρότερος, έχει μεγαλύτερη αναλογία του βάρους του σε λάδι. Καρποφορεί κάθε δύο χρόνια ουσιαστικά, λόγω παρενιαυτοφορίας. Ένα φαινόμενο που παρουσιάζεται σε ορισμένα είδη δένδρων και οφείλεται στη μείωση της περιεκτικότητας σε υδατάνθρακες και αζωτούχα συστατικά ύστερα από το έτος υψηλής παραγωγής, οδηγώντας σε μειωμένη παραγωγή το επόμενο έτος. Η παρενιαυτοφορία διακρίνεται σε ολική, κατά την οποία το δένδρο παρουσιάζει πλήρη παραγωγή το ένα έτος και μηδενική το επόμενο και σε μερική, κατά την οποία τα διαδεχόμενα έτη αποδίδεται 60-70% και 30-40% της παραγωγής αντίστοιχα (Γερόνικος, 2010).



Εικόνα 2: Άποψη του καρπού της ελιάς από Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης. Εντός των κυττάρων διακρίνονται τα μεγάλα σταγονίδια ελαιόλαδου (Πηγή: Χριστοδουλάκης, 2012)

Στη χώρα μας είναι εξαιρετικά διαδεδομένη η καλλιέργεια τοπικών ποικιλιών ελιάς, ιδιαίτερα στις παραθαλάσσιες περιοχές και τα νησιά, η καθεμία για διαφορετικούς λόγους. Γνωστές ποικιλίες

που προορίζονται για παραγωγή επιτραπέζιων ελιών είναι οι Καλαμών, Αμφίσσης, Θρούμπες και Στρομπολιές, ενώ από τις ελαιοπαραγωγικές ποικιλίες ξεχωρίζουν οι Κορωνέικη, Λιανολιά και Ανωησάνα. Άλλες ποικιλίες είναι κατάλληλες τόσο ως επιτραπέζιες, όσο και για παραγωγή λαδιού, με χαρακτηριστικές τη Μεγαρείτικη και την Κοθρέικη. Αξιοσημείωτες επίσης είναι η Λευκόκαρπη ποικιλία, η οποία έχει λευκούς καρπούς και η Ασπρολιά, της οποίας οι καρποί είναι λευκοί στην αρχή (Χριστοδουλάκης και Γαργεράκη, 2012). Αντικείμενα της παρούσας εργασίας αποτέλεσαν οι ποικιλίες Καλαμών, Μεγάρων, Κορωνέικη, Αμφίσσης και Θιακή, για τις οποίες γίνεται συνοπτική αναφορά παρακάτω:

**Καλαμών** (*Olea europaea* var. *Ceraticarpa*): Ποικιλία ελιάς η οποία καλλιεργείται για την παραγωγή επιτραπέζιων ελιών, εξαιρετικής ποιότητας, κυρίως σε Αιτωλοακαρνανία, Λακωνία, Μεσσηνία, Φθιώτιδα. Κατάλληλη για περιοχές της Ελλάδας με μεγάλο ύψος βροχοπτώσεων και με υψηλή ατμοσφαιρική υγρασία, με μέσο βάρος καρπού 5,6 γρ, ενώ μπορεί να φτάσει τα 7-10 μέτρα ύψος. Άλλες ονομασίες: Αετονύχι, Καλαματιανή, Κορακολιά, Τσιγκέλι, Χονδρολιά, Τσιγκελολιά ([www.salvanos.gr](http://www.salvanos.gr)).

**Μεγαρείτικη** (*Olea europaea* var. *Argentanta*): Ποικιλία που καλλιεργείται για την παραγωγή λαδιού και επιτραπέζιων ελιών (πράσινες και μαύρες). Το δένδρο αναπτύσσεται σε ύψος περί τα 5-8 μ και ο καρπός του έχει μέσο βάρος 4,2 γρ. Αντέχει στην ξηρασία, αλλά είναι ευαίσθητη στο ψύχος και έχει εξαπλωθεί κυρίως σε Αργολίδα, Αρκαδία, Αττική, Αχαΐα, Βοιωτία και Κορινθία. Άλλες ονομασίες: Βοβωδίτικη, Νεραχωρίτικη, Χονδρολιά βοβώδης.

**Κορωνέικη** (*Olea europaea* var. *Mastoides*): Μία από τις κορυφαίες ποικιλίες ελιάς στην παραγωγή λαδιού εκλεκτής ποιότητας. Το δένδρο μπορεί να φθάσει τα 5-7 μ σε ύψος, ενώ ο καρπός της έχει μέσο βάρος 1,3 γρ. Θεωρείται πολύ παραγωγική ποικιλία, ανθεκτική στις ξηροθερμικές συνθήκες και με περιορισμένη παρεναιματοφορία, αφού με κατάλληλες καλλιεργητικές τεχνικές μπορεί να δίνει σοδειά κάθε χρόνο. Απαντάται συνήθως σε Αιτωλοακαρνανία, Αχαΐα, Ζάκυνθο, Ηράκλειο, Κεφαλληνία, Κυκλάδες, Λακωνία, Λασιθί, Μεσσηνία, Ρέθυμνο, Σάμος και Χανιά. Άλλες ονομασίες της ποικιλίας: Βλάτσικη, Κρητικιά, Κορωνιά, Κορώνι, Λαδολιά, Λιανολιά, Ψιλολιά.

**Αμφίσσης** (*Olea europaea* var. *Rotunda*): Ποικιλία ελιάς η οποία καλλιεργείται για την παραγωγή επιτραπέζιων ελιών (πράσινες και μαύρες) εκλεκτής ποιότητας και είναι εξαιρετικά διαδεδομένη, ιδίως σε Αιτωλοακαρνανία, Άρτα, Αχαΐα, Εύβοια, Μεσσηνία, Φθιώτιδα και Φωκίδα. Το δένδρο μπορεί να φθάσει τα 6-10 μ σε ύψος και ο καρπός έχει μέσο βάρος 5,7 γρ. Άλλες ονομασίες: Κονσερβολιά, Αγρινίου, Άρτας, Μηλολιά, Βόλου, Βολιώτικη, Βοϊδολιά, Πηλίου, Ξηροχωρίου, Πατρινή, Πηλίου, Στρογγυλολιά, Χονδρολιά ([www.onlineexpo.gr](http://www.onlineexpo.gr)).

**Θιακή**: Ποικιλία ελιάς η οποία καλλιεργείται κυρίως στην Κεφαλληνία, για την παραγωγή λαδιού καλής ποιότητας. Το δένδρο φθάνει τα 5-8 μ, με καρπό μέσου βάρους 1,6 γρ. Θεωρείται ποικιλία υψηλής παραγωγικότητας, ανθεκτική στην ξηρασία και στους θαλάσσιους ανέμους. Είναι ευαίσθητη στο δάκο. Άλλες ονομασίες της ποικιλίας: Θιακό, Πλεξιδένια, Ανωησάνα.

Η συγκομιδή της ελιάς είναι χρονοβόρα και επίπονη εργασία που λαμβάνει χώρα μεταξύ Νοεμβρίου και Ιανουαρίου και απασχολεί περίπου 500.000 οικογένειες στη χώρα μας. Συνηθέστερα οι παραγωγοί ραβδίζουν τα ελαιοπαραγωγικά δένδρα με ραβδιά ή ειδικά χτένια, επιχειρώντας να μην τα τραυματίσουν, καθώς πολλές φορές μαζί με τους καρπούς παρασύρονται και φύλλα. Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται και μηχανήματα που συντελούν στην επίτευξη και τελειοποίηση της διαδικασίας, ωστόσο δεν είναι εύκολα προσιτά. Όσο για τις

φαγώσιμες ελιές, η συγκομιδή τους γίνεται χειρονακτικά, με προσοχή να μην τραυματιστεί ο καρπός.

Το ελαιόλαδο που παράγεται στα ελαιοτριβεία αποτελεί τη βάση της Μεσογειακής Διατροφής, στην οποία αποδίδεται η υγεία και μακροζωία των μεσογειακών λαών. Περιέχει πολύτιμα συστατικά όπως άλατα ασβεστίου, καλίου, θείου, σιδήρου, μαγγανίου, φωσφόρου και μεγάλες ποσότητες βιταμινών. Η αξία του έχει εκτιμηθεί παγκοσμίως και στις ξένες αγορές αποτελεί ένα περιζήτητο και ακριβό προϊόν, το οποίο προέρχεται κυρίως από την Ιταλία, την Ισπανία και την Ελλάδα, καθώς αυτές αποτελούν τις κορυφαίες παραγωγούς παγκοσμίως (Φαναρά, 2011).

### 3.2 Βλάστηση και Τηλεπισκόπηση

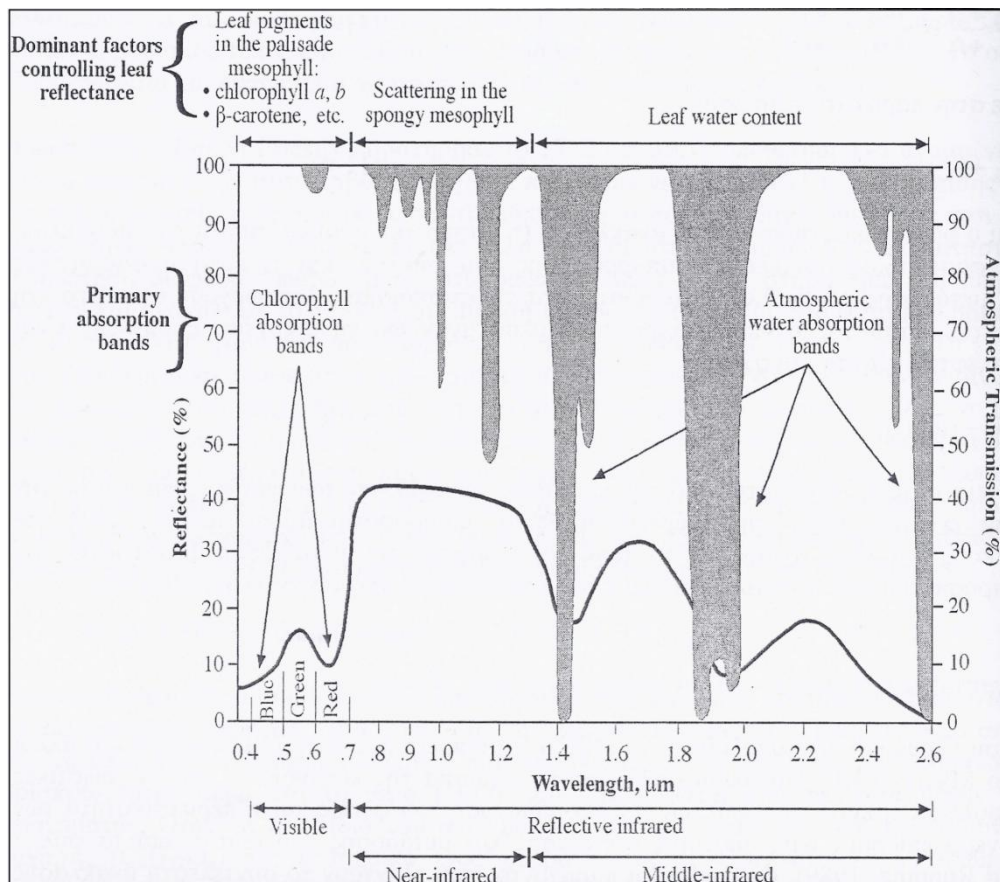
Από μικρή ηλικία, οι άνθρωποι έχουμε μάθει να χρησιμοποιούμε τα χρώματα των αντικειμένων ως έναν προσδιοριστικό παράγοντα που τα διαχωρίζει από άλλα. Το γρασίδι για παράδειγμα φαίνεται πράσινο στα μάτια μας, γεγονός που οφείλεται στην υψηλότερη ανακλαστικότητα του στο πράσινο, σε σχέση με το μπλε ή το κόκκινο. Η ανακλαστικότητα ενός σώματος δεν περιορίζεται στο ορατό φάσμα (400-700 nm), υπολογίζεται συναρτήσει του μήκους κύματος και μπορεί πολλές φορές να αλλάζει σημαντικά σε διάστημα ελάχιστων νανομέτρων. Τα τηλεπισκοπικά συστήματα συντελούν στην καταγραφή της ανακλαστικότητας των σωμάτων σε οποιοδήποτε τμήμα του φάσματος είναι επιθυμητό, παράγοντας φασματικές υπογραφές, οι οποίες για να γίνουν κατανοητές απαιτούν γνώση των ανακλαστικών και απορροφητικών ιδιοτήτων των διαφορετικών χαρακτηριστικών που συνθέτουν ένα ανάγλυφο. Η γραφική αναπαράσταση των μεταβολών της ανακλαστικότητας, σε συνάρτηση με το μήκος κύματος, ονομάζεται καμπύλη φασματικής ανακλαστικότητας.

Τα χαρακτηριστικά ανακλαστικότητας και απορροφητικότητας της βλάστησης, η οποία θα απασχολήσει στην παρούσα διπλωματική εργασία, είναι σύνθετα, καθώς μεταβάλλονται ανάλογα με την εποχή. Παράλληλα, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που προσπίπτει σε ένα φυτό ενδέχεται να το διαπεράσει και να αλληλεπιδράσει με τα συστατικά του μέρη. Στο ορατό φάσμα, η πράσινη βλάστηση παρουσιάζει πολύ υψηλή απορροφητικότητα στο μπλε και το κόκκινο, λόγω της παρουσίας χλωροφύλλης, ενώ ακόμα και στο πράσινο τμήμα του φάσματος η ανακλαστικότητα φτάνει μόλις το 10-30% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

Ωστόσο, στο όριο του κόκκινου με το εγγύς υπέρυθρο (γύρω στα 700 nm) η βλάστηση εμφανίζει μία απότομη αύξηση της ανακλαστικότητας, καθώς η απορροφητικότητα της ακτινοβολίας από τα συστατικά της ελαττώνεται δραστικά. Η μεταβολή αυτή, γνωστή ως «κόκκινη ακμή» (red edge), αποτυπώνεται στην απότομη κλίση της παρακάτω καμπύλης ανακλαστικότητας και αποτελεί χαρακτηριστικό γνώρισμα όλων των τύπων βλάστησης. Το ακριβές μήκος κύματος στο οποίο παρατηρείται μπορεί να ποικίλει ανάλογα με το είδος ή την ωρίμανση της βλάστησης. Στη συνέχεια, μεταξύ 700-1300 nm η ανακλαστικότητα παραμένει σταθερή σε γενικές γραμμές και σε υψηλά επίπεδα, καθώς εάν τα φυτά απορροφούσαν την υπέρυθρη όσο και την ορατή θα υπερθερμαίνονταν και οι πρωτεΐνες τους θα καταστρέφονταν. Στη συνέχεια η ανακλαστικότητα μειώνεται, με τα απότομα «βυθίσματα» που παρατηρούνται κατά βάση στα 1400,1900και, κυρίως,

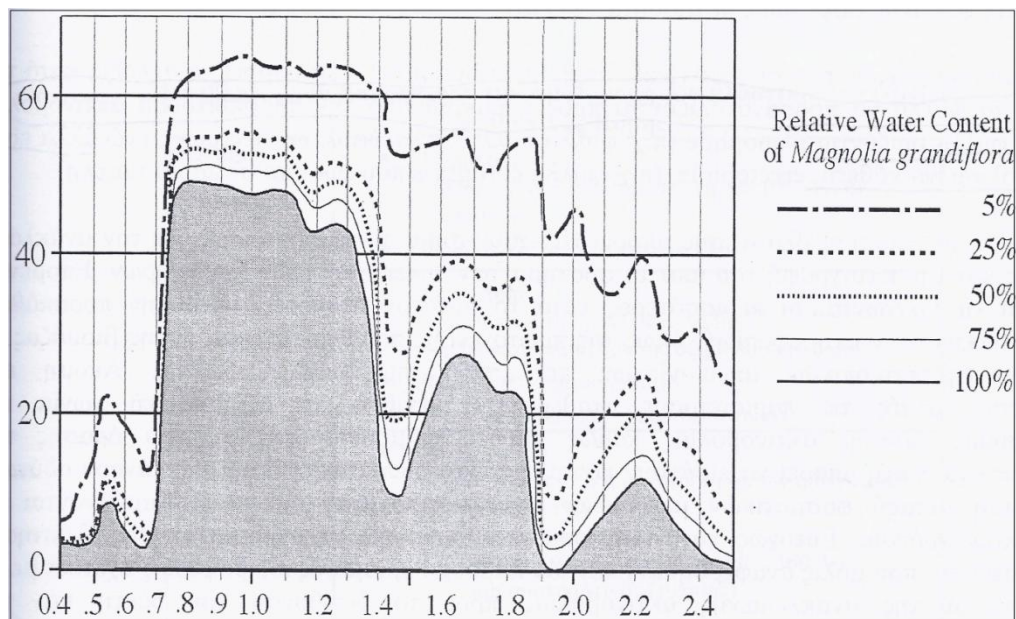


στα 2700 nm να οφείλονται στην υψηλή απορροφητικότητα του νερού που περιέχεται στη βλάστηση, στα συγκεκριμένα μήκη κύματος(βλ. διάγραμμα).



Διάγραμμα 7: Διαγραμματική απεικόνιση των φασματικών χαρακτηριστικών ανάκλασης της υγιούς, πράσινης βλάστησης για τα μήκη κύματος 0.4-2.6 μm, με τις περιοχές απορρόφησης της ακτινοβολίας. (Πηγή: Jensen, 2000)

Φυσικά η συγκεκριμένη καμπύλη είναι ενδεικτική της ανακλαστικότητας υγιούς πράσινης βλάστησης, καθώς μπορεί να διαφέρει από είδος σε είδος, από δένδρο σε δένδρο ή ακόμα και από φύλλο σε φύλλο, ιδίως στο εγγύς υπέρυθρο, το οποίο είναι εξαιρετικά σημαντικό για τον διαχωρισμό της βλάστησης. Για παράδειγμα, τα φυλλοβόλα δένδρα έχουν υψηλότερη ανακλαστικότητα στο υπέρυθρο από τα κωνοφόρα, όπως και η σημύδα σε σχέση με το έλατο. Η ανακλαστικότητα μεταβάλλεται επίσης όταν η βλάστηση αρρωσταίνει, κάτι που είναι εμφανές και στο ορατό φάσμα το φθινόπωρο για παράδειγμα, όταν τα πράσινα φύλλα γίνονται κίτρινα, κόκκινα ή καφέ. Ακόμη, ενδέχεται η βλάστηση να στρεσαριστεί λόγω κάποιας μόλυνσης ή έλλειψης νερού, με τα αποτελέσματα να γίνονται ορατά πρώτα στο υπέρυθρο και αργότερα στο ορατό φάσμα. Στη δεύτερη περίπτωση για παράδειγμα, οι διαφορές στο ορατό φάσμα γίνονται αισθητές μόνο εφόσον η περιεκτικότητα του φύλλου σε νερό πέσει στο μισό. Συνεπώς, η παρακολούθηση της φασματικής υπογραφής της βλάστησης στο υπέρυθρο μπορεί να συμβάλει στην άμεση αντιμετώπιση τέτοιων προβλημάτων, με την περιοχή 1550-1750 nm να έχει αποδειχθεί η πιο ευαίσθητη στην παρατήρηση της περιεκτικότητας της βλάστησης σε υγρασία μέσω ενός τηλεπισκοπικού δέκτη(βλ. σχήμα).



Διάγραμμα 8: Φασματικές επιδράσεις της προοδευτικής αποξήρανσης ενός φύλλου *Magnolia*. Παρατηρείται ότι ο συντελεστής ανάκλασης της ακτινοβολίας αυξάνεται, όσο μειώνεται η περιεκτικότητά του σε νερό. (Πηγή: Carter, 1991)

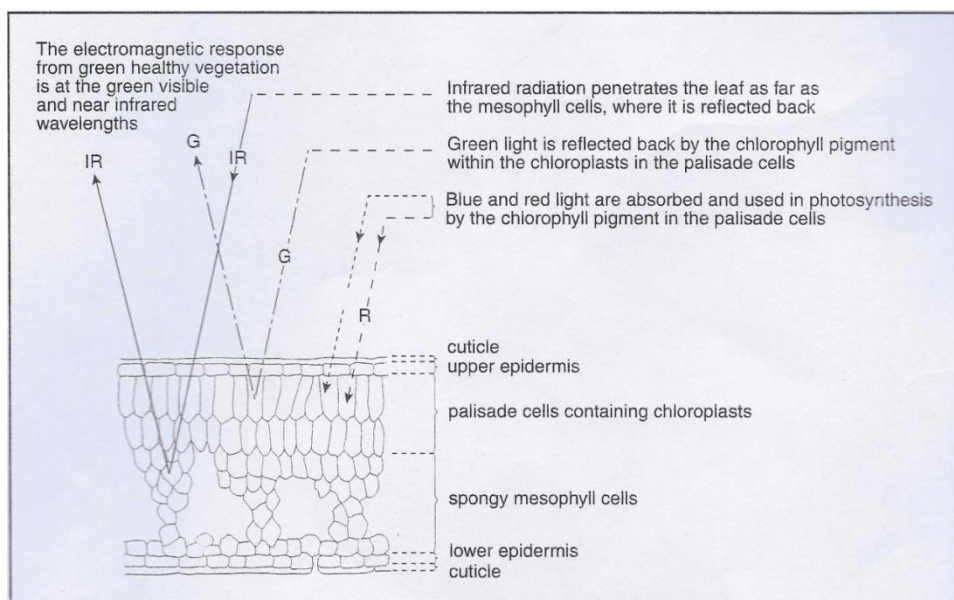
Στο μεταξύ, η φασματική υπογραφή που λαμβάνεται από τους αισθητήρες σε ένα τηλεπισκοπικό σύστημα συχνά επηρεάζεται από άλλα στοιχεία του απεικονιζόμενου ανάγλυφου, όπως το έδαφος, ανάλογα με το ποσοστό συμμετοχής στο εκάστοτε εικονοστοιχείο σε σχέση με τη βλάστηση. Τα χαρακτηριστικά του υπεδάφους δύνανται επίσης να επηρεάσουν την υπογραφή, με την ύπαρξη υγρασίας ή πλούσιου σε οργανικά στοιχεία εδάφους να τείνει να μειώνει την ανακλαστικότητα σε όλα τα μήκη κύματος (Gibson and Power, 2000).

Πολύ σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τη φασματική απόκριση της βλάστησης και μεταβάλλεται ανάλογα με το είδος και τις περιβαλλοντικές συνθήκες κατά την ανάπτυξή της, είναι η δομή των φύλλων, τα οποία απαρτίζονται από διαδοχικά στρώματα διαφορετικών τύπων κυττάρων. Το ανώτερο στρώμα σχηματίζουν διάφανα προστατευτικά επιδερμικά κύτταρα, τα οποία διαπερνώνται σε όλα τα μήκη κύματος της ηλεκτρονικής ακτινοβολίας. Το πάχος της επιδερμίδας αυτής είναι μεγάλο σε φύλλα δένδρων όπως η ελιά που είναι εκτεθειμένα σε έντονη ηλιοφάνεια, προκειμένου να προστατεύσουν το φυτό από υπερβολικές απώλειες νερού και λεπτό για όσα φυτά αναπτύσσονται υπό σκιά.

Το επόμενο στρώμα σε ένα τυπικό πράσινο φύλλο αποτελείται από διατεταγμένα μεσοφυλλικά παρεγχυματικά κύτταρα στο ανώτερο μέρος και σκόρπια σπογγώδη παρεγχυματικά κύτταρα στο κατώτερο. Στα διατεταγμένα μεσοφυλλικά κύτταρα βρίσκονται οι χλωροπλάστες, οι οποίοι ανακλούν ένα τμήμα της ακτινοβολίας στο πράσινο, το οποίο δεν απαιτείται στη φωτοσύνθεση, αλλά απορροφούν την υπόλοιπη, συμπεριλαμβανομένης της υπέρυθρης. Καθότι βρίσκονται πλησιέστερα στο άνω μέρος του φύλλου, συμβάλλουν στη βαθύτερη πράσινη απόχρωση συγκριτικά με το κάτω μέρος. Η υπέρυθη ακτινοβολία που φτάνει έως τα σπογγώδη μεσοφυλλικά κύτταρα, ανακλάται σε ποσοστό περίπου 60%, γεγονός που οφείλεται κυρίως στην αραιή δομή των κυττάρων. Έχει αποδειχθεί ότι η ανακλαστικότητα στο εγγύς υπέρυθρο μειώνεται εάν τα

φύλλα διηθηθούν σε νερό υπό κενό, καθώς το νερό γεμίζει τα κενά αέρα, περιορίζοντας τη διάχυση της ακτινοβολίας (Verbyla, 1995).

Κάτω από τα μεσόφυλλα κύτταρα ενδέχεται να υπάρχει ένα ακόμα λεπτό στρώμα επιδερμικών κυττάρων. Η καταστροφή των χλωροπλαστών και των μεσόφυλλων κυττάρων, οδηγεί στην αύξηση της ανακλαστικότητας των φύλλων στο μπλε και στο κόκκινο και μείωση στο υπέρυθρο αντίστοιχα, φαινόμενα τα οποία προδίδουν στον παρατηρητή την ύπαρξη αρρώστιας στη βλάστηση. Ο αυξανόμενος συντελεστής ανάκλασης πριν τα 700 ημονομάζεται «μετατόπιση της κόκκινης ακμής προς τη μπλε περιοχή» (blue shift of the red edge). Βέβαια υπάρχουν φυτά τα οποία μαραίνονται και φυσιολογικά αλλάζουν χρώμα φύλλων το φθινόπωρο, λόγω υπολειτουργίας των χλωροπλαστών και ταυτόχρονης αύξησης της συνεισφοράς άλλων χρωστικών ουσιών, όπως τα καροτενοειδή, η ξανθοφύλλη, η φυκοερυθρίνη, η φυκοκυανίνη και η ανθοκυανίνη (Καραθανάση, 2014).



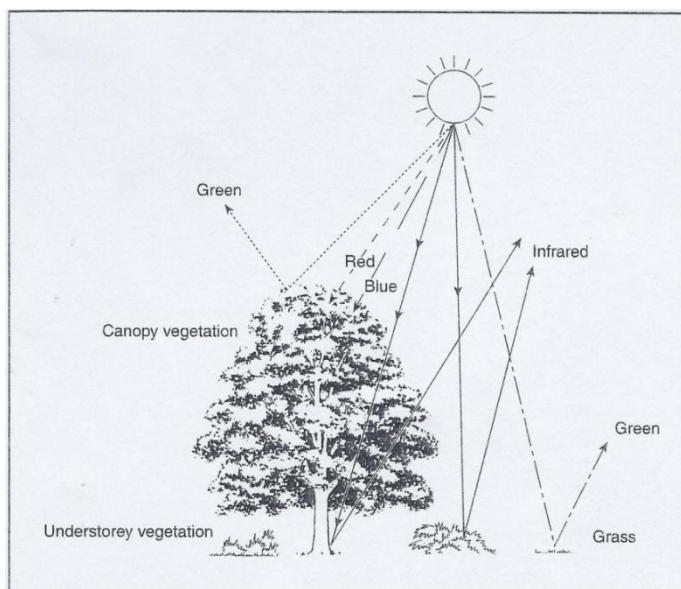
Εικόνα 3: Γενικευμένη διατομή της κυτταρικής δομής ενός πράσινου φύλλου. (Πηγή: Gibson, 2000)

Η φασματική ανακλαστικότητα της βλάστησης επηρεάζεται και από άλλα χαρακτηριστικά, καθώς τις περισσότερες φορές δεν προσομοιώνει μία λαμπεριανή επιφάνεια, δηλαδή δεν ανακλά την ίδια ποσότητα ενέργειας προς όλες τις κατευθύνσεις. Τέτοια χαρακτηριστικά είναι ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (Leaf Area Index) που ορίζεται ως η συνολική μονόπλευρη πράσινη επιφάνεια φύλλων ανά μοναδιαία επιφάνεια εδάφους και η κατανομή των γωνιών των φύλλων (Leaf Angle Distribution), η οποία σε ορισμένα φυτά εξαρτάται από το ύψος του ήλιου κι επομένως μπορεί να μεταβάλλεται ακόμα και κατά τη διάρκεια της ημέρας. Επιπροσθέτως, ο συντελεστής ανάκλασης δύο διευθύνσεων (BRDF) επηρεάζεται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του ηλιακού φωτισμού και τη γεωμετρία λήψης του αισθητήρα, με την αλληλεπίδραση αυτών των δύο να διαφοροποιούν την ανακλαστικότητα του εκάστοτε στόχου. Για παράδειγμα, όταν οι γωνίες φωτισμού και λήψης είναι ταυτόσημες και βρίσκονται μαζί με την κατακόρυφο στο ίδιο επίπεδο, παράγεται υπερφωτισμός (hotspot) και οι σκιές δεν είναι ορατές. Η BRDF μπορεί να υπολογιστεί στο πεδίο με χρήση γωνιόμετρου και, εφόσον αποδειχθεί ότι επιδρά σημαντικά στα αποτελέσματα της ανάκλασης, να εξαλειφθεί. Στον τομέα αυτό υπάρχουν περιθώρια για μελλοντική εξέλιξη της

έρευνας, με συνδυασμό μετρήσεων από γωνιόμετρο και μη κατακόρυφες λήψεις από εναέρια ή δορυφορικά τηλεπισκοπικά συστήματα, με στόχο την πλήρη κατανόηση και ελαχιστοποίηση των επιδράσεων της BRDF.

Όσον αφορά την ακτινοβολία που δεν ανακλάται από τα φύλλα, ένα τμήμα της (κυρίως στο υπέρυθρο) μεταδίδεται και προσπίπτει στα κατώτερα στρώματα, όπου πάλι υπόκειται διαδοχικά σε ανάκλαση, απορρόφηση και μετάδοση. Η γενική εξίσωση για την αλληλεπίδραση της φασματικής ( $\lambda$ ) ισχύος ακτινοβολίας με το φύλλο είναι:  $\Phi_{i\lambda} = \Phi_{r\lambda} + \Phi_{a\lambda} + \Phi_{t\lambda} \Rightarrow i_{\lambda} = r_{\lambda} + a_{\lambda} + t_{\lambda}$ , όπου  $r_{\lambda}$  είναι ο φασματικός συντελεστής ανάκλασης,  $a_{\lambda}$  ο φασματικός συντελεστής απορρόφησης και  $t_{\lambda}$  ο φασματικός συντελεστής διάδοσης του φύλλου.

Σε δασικά φυλλώματα, στα οποία η ακτινοβολία διαπερνάει πολλά στρώματα φύλλων, ο τηλεπισκοπικός δέκτης λαμβάνει «προσθετική ανακλαστικότητα», με αποτέλεσμα να παράγονται φασματικές υπογραφές με υψηλότερη ανακλαστικότητα στο υπέρυθρο σε σχέση με περιπτώσεις όπου ο στόχος έχει λεπτότερο φύλλωμα. Από την άλλη πλευρά, το μέγεθος της διάδοσης και κατ' επέκταση της επιστρεφόμενης ακτινοβολίας εξαρτάται και από την πυκνότητα της βλάστησης. Για παράδειγμα, σε έναν σιτοβολώνα η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που διαπερνάει τα φυτά και καταλήγει στο έδαφος είναι μηδαμινή, με αποτέλεσμα να καταγράφεται καθαρή φασματική υπογραφή με υψηλή ανακλαστικότητα στο πράσινο και το εγγύς υπέρυθρο τμήμα του φάσματος. Αντίθετα, σε ένα αραιό δάσος ένα σημαντικό τμήμα της ακτινοβολίας προσπίπτει στο έδαφος κι επομένως η καταγραφόμενη ανακλώμενη ακτινοβολία δεν προέρχεται καθαρά από τα φύλλα των δέντρων, ενώ μέρος της θα κατευθυνθεί προς την κάτω πλευρά των φύλλων, με αποτέλεσμα να ανακλαστεί ξανά προς το έδαφος (βλ διάγραμμα). Ένα φαινόμενο που ονομάζεται «εσωτερική ανάκλαση» και οδηγεί στη μείωση της ηλεκτρονικής ακτινοβολίας που επιστρέφει στο δέκτη.



Εικόνα 4: Σχηματική απεικόνιση της φασματικής ανάκλασης που παρατηρείται σε δασικά φυλλώματα και πολυεπίπεδη βλάστηση. (Πηγή: Gibson, 2000)

Όπως συμπεραίνεται από τα ανωτέρω, η φασματομετρική απεικόνιση της βλάστησης έχει πολλές δυνατότητες, οι οποίες θα μπορούσαν ιδανικά να αξιοποιηθούν με την δημιουργία φασματικής βιβλιοθήκης. Μίας βάσης δεδομένων που θα είχε καταχωρημένα τα χαρακτηριστικά της

φασματικής ανάκλασης και εκπομπής διαφόρων ειδών, σε διάφορες φάσεις ανάπτυξης, αλλά και ενδείξεις που μπορεί να παραπέμπουν σε ασθένειες ή άλλα προβλήματα της βλάστησης. Προς το παρόν, αξιόπιστα συμπεράσματα σχετικά με αυτές τις πληροφορίες μπορούν να εξαχθούν μέσω της προσεκτικής συλλογής φασματοραδιομετρικών δεδομένων της βλάστησης και της χρήσης τους για τη βαθμονόμηση ταυτόχρονων υπερφασματικών λήψεων, οι οποίες δύνανται να παρέχουν πληροφορίες σε εκατοντάδες φασματικά κανάλια.

Η μοντελοποίηση της ανακλαστικότητας της βλάστησης, δηλαδή η πρόβλεψη του ακριβούς ποσού ενέργειας της ακτινοβολίας σε συγκεκριμένα μήκη κύματος που θα πρέπει να εξέρχεται από συγκεκριμένα είδη βλάστησης, έχει αποτελέσει διαχρονικά μία πρόκληση για τους επιστήμονες. Έτσι έχουν δημιουργηθεί μοντέλα, η βαθμονόμηση των οποίων όμως είναι ιδιαίτερα δύσκολη, καθώς απαιτούνται αναλυτικές πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά των φύλλων και της βλάστησης, τις ατμοσφαιρικές συνθήκες, τις γωνίες ήλιου και λήψης, την κλίση και προσανατολισμό του εδάφους. Ενδεικτικά, το μοντέλο Li-Strahler εκτίμησε το μέγεθος και την πυκνότητα των δένδρων, θεωρώντας ότι το σήμα που ανακλάται από τη βλάστηση και επιστρέφει στον αισθητήρα διαμορφώνεται ως γραμμικός συνδυασμός των συντελεστών ανάκλασης από τις κόμμες των δένδρων, το υπόβαθρο, τις σκιές τους και τις επιφανειακές αναλογίες τους.

Μεγάλο μέρος της προσπάθειας μοντελοποίησης αφορά στην ανάπτυξη δεικτών βλάστησης (Vegetation Indices), αδιάστατων ραδιομετρικών μετρήσεων, οι οποίες λειτουργούν ως δείκτες σχετικής αφθονίας της πράσινης βλάστησης και συχνά συμπεριλαμβάνουν και αξιοποιούν άλλους δείκτες, όπως τον LAI και της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη. Οι αξιόπιστοι δείκτες βλάστησης είναι αρκετά ευαίσθητοι ως προς τις βιοφυσικές παραμέτρους των φυτών, παρέχοντας πληροφορίες για ένα ευρύ φάσμα συνθηκών βλάστησης και κανονικοποιούν ή μοντελοποιούν την επίδραση εξωτερικών παραγόντων, όπως την γωνία του ήλιου, ούτως ώστε να μην επηρεάζουν την τιμή τους. Ακόμη, εξαλείφουν τις επιπτώσεις ενδογενών παραμέτρων, όπως των διαφορετικών υποβάθρων, κλίσεων και τύπων εδάφους που μπορεί να συνεισφέρουν στην απεικονιζόμενη ψηφιακή τιμή της βλάστησης.

Ο πιο διαδεδομένος δείκτης βλάστησης είναι ο Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς (NDVI), που ορίζεται ως το πηλίκο της διαφοράς της ανακλαστικότητας στο κόκκινο από το εγγύς υπέρυθρο προς το άθροισμά τους, έχοντας όμως χρησιμοποιηθεί και με ορισμένες παραλλαγές. Η ανάλυση των εποχιακών δεδομένων του δείκτη έχει συντελέσει σε εφαρμογές όπως ο υπολογισμός της καθαρής πρωτογενούς παραγωγής σε διαφορετικές οικολογικές κοινότητες και η παρακολούθηση των φαινολογικών προτύπων βλάστησης, καθώς ανταποκρίνεται στις αλλαγές της ποσότητας της πράσινης βιομάζας και της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη. Από σχετικές μελέτες ωστόσο, έχει διαπιστωθεί ότι τα παραγόμενα προϊόντα του NDVI ενδέχεται να είναι ασταθή, διότι μεταβάλλονται ανάλογα με το χρώμα του εδάφους, τις συνθήκες υγρασίας, τις τιμές της BRDF, τις ατμοσφαιρικές συνθήκες και την παρουσία νεκρού υλικού στο θόλο της βλάστησης (Qi et al., 1995). Ελλείψει ύπαρξης ενός ολοκληρωμένου δείκτη βλάστησης, έχει δοθεί έμφαση στην ανάπτυξη βελτιωμένων δεικτών με τη βοήθεια υπερφασματικών δεδομένων, όπως τα MODIS.

Μέσω της Τηλεπισκόπησης λοιπόν, έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι παρατήρησης και εκτίμησης των χαρακτηριστικών της βλάστησης. Το πιο γόνιμο πεδίο εφαρμογής αυτών των μεθόδων, κυρίως στις ανεπτυγμένες χώρες, αποτέλεσε η γεωργία, λόγω του δυναμικού της

χαρακτήρα και της έντονης επίδρασης των μεταβολών του φυσικού περιβάλλοντος. Με την εφαρμογή τηλεπισκοπικών μεθόδων, οι οποίες δύνανται να είναι πολύ οικονομικές για μεγάλες εκτάσεις γης, οι γεωργοί έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν το κόστος παραγωγής, εξάγοντας ταυτόχρονα πληροφορίες υψηλότερης ποιότητας και αξιοπιστίας. Χρήσιμες εφαρμογές είναι η εκτίμηση των συνθηκών υγρασίας των φυτών και ο προγραμματισμός της άρδευσής τους με στόχο την αποφυγή την ελαχιστοποίηση του κόστους και τη μεγιστοποίηση της παραγωγής. Επίσης, με χρήση δεικτών βλάστησης είναι εφικτή η παρατήρηση των φαινολογικών κύκλων των γεωργικών καλλιεργειών και της διαφοροποίησής τους ανάλογα με τις πρακτικές του εκάστοτε καλλιεργητή και τις ασυνήθιστες μεταβολές θερμοκρασίας, μέσω της οποίας μπορούν να αποκτηθούν γνώσεις σχετικά με τα βιοφυσικά τους χαρακτηριστικά. Με εκτίμηση των τιμών του δείκτη NDVI, έχει επιχειρηθεί πρόγνωση της γεωργικής παραγωγής, η οποία οδήγησε σε υπερεκτίμηση των πραγματικών τιμών κατά 30%:  $\text{ΠΑΡΑΓΩΓΗ(kg/ha)}=34.3 \times (\text{NDVI}-0.1836)-273.85$  (Καρτάλης, Φείδας, 2006).

Τέλος, με εφαρμογή δεικτών βλάστησης ή πρακτικών ταξινόμησης, έχει γίνει διαχωρισμός των ειδών καλλιέργειας και κατ' επέκταση έχουν παραχθεί χάρτες κάλυψης γης. Σε ορισμένες περιπτώσεις καλλιεργειών βέβαια, ο διαχωρισμός ήταν δυνατός και με χρήση παραδοσιακών φωτοερμηνευτικών μεθόδων, πριν την ανάπτυξη της Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης. Για παράδειγμα, η φύτευση των ελαιόδεντρων γίνεται σε διάταξη ισοϋψών γραμμών, παραλληλόγραμμη, ή σε τετράγωνη με αποστάσεις 6x6 μέτρα ή 7x7 σε αρδευόμενα εδάφη. Η τελευταία διάταξη με τις συγκεκριμένες αποστάσεις χρησιμοποιείται στη συντριπτική πλειονότητα των περιπτώσεων, είναι χαρακτηριστική και διαχωρίζει τους ελαιώνες από αμπελώνες ή άλλους δενδρώνες.

### 3.3 Μέθοδοι Συλλογής και Επεξεργασίας Φασματομετρικών Δεδομένων

Κατά καιρούς και ανάλογα με το σκοπό του εκάστοτε ερευνητή, έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες μέθοδοι συλλογής και επεξεργασίας φασματομετρικών δεδομένων, μέσω τηλεπισκοπικών συστημάτων. Τα συστήματα αυτά διακρίνονται αφενός σε παθητικά, όπως οι θερμικές κάμερες και οι πολυφασματικοί σαρωτές, τα οποία καταγράφουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που ανακλάται ή εκπέμπεται φυσικά από την επιφάνεια ενδιαφέροντος. Αφετέρου σε ενεργητικά, όπως τα ραντάρ και τα σόναρ, τα οποία περιλούουν το πεδίο με τεχνητή ηλεκτρομαγνητική ενέργεια, για να καταγράψουν στη συνέχεια την ποσότητα της ακτινοβολίας που επιστρέφει σε αυτά. Διακρίνονται επίσης σε αναλογικά και ψηφιακά συστήματα, με τα πρώτα να έχουν πλέον ελάχιστες εφαρμογές, καθώς και σε επίγεια, εναέρια και δορυφορικά.

Ζωτικής σημασίας κατά τη διαδικασία λήψης απόφασης για το καταλληλότερο για κάθε εργασία τηλεπισκοπικό σύστημα, μετά την επιλογή της προτιμότερης από τις παραπάνω κατηγορίες, είναι ο υπολογισμός της διακριτικής ικανότητας (resolution), η οποία είναι επιθυμητή για τη συγκεκριμένη χρήση. Χαρακτηριστικότερο παράδειγμα είναι η χωρική ανάλυση, η οποία αναφέρεται στην ελάχιστη γραμμική ή γωνιακή απόκλιση που μπορεί να ανιχνευτεί από τον

αισθητήρα. Εξαιρετικά σημαντική για τους τηλεπισκοπικούς δέκτες είναι και η φασματική ανάλυση, η οποία καθορίζει τον αριθμό των τμημάτων του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος στα οποία είναι ευαίσθητοι και, ως εκ τούτου, μπορούν να εξάγουν πληροφορίες από αυτά. Επιπροσθέτως, η χρονική διακριτική ικανότητα σχετίζεται με τη συχνότητα καταγραφής μίας συγκεκριμένης περιοχής από το δέκτη, ενώ η ραδιομετρική ανάλυση αναφέρεται στην ευαισθησία του στις διαφορετικές τιμές ισχύος του σήματος το οποίο λαμβάνει.

Θεμελιώδεις μέθοδοι επεξεργασίας των, ψηφιακών, δεδομένων εικόνας είναι η γεωμετρική τους διόρθωση σε σχέση με κάποια χαρτογραφική προβολή, η ενίσχυση των δεδομένων, η ταξινόμησή τους με στόχο τη χαρτογράφηση χρήσεων και κάλυψης γης, καθώς και η ανίχνευση αλλαγών μεταξύ διαφορετικών χρονικά λήψεων. Φυσικά, η πλειονότητα των μεθόδων ερμηνείας φασματομετρικών δεδομένων στηρίζεται στον τόνο και το χρώμα των ξεχωριστών εικονοστοιχείων στην εικόνα με χρήση στατιστικών μοτίβων αναγνώρισης ή και την εφαρμογή μαθηματικών πράξεων προς υπολογισμό διάφορων δεικτών (Jensen, 1996). Ενδιαφέροντα συμπεράσματα όμως μπορούν να προκύψουν και από την ανάλυση της υψής απεικονίσεων, τη στερεοσκοπική παρατήρηση και, πρόσφατα, την εξαγωγή καθαρών στόχων με τα ποσοστά συμμετοχής τους στην εικόνα, χάρις στη χρήση υπερφασματικών δεδομένων.

### 3.3.1 Συλλογή Δεδομένων

#### Φασματοραδιόμετρο GER 1500

Οι επίγειες μετρήσεις σε εργασίες τηλεπισκόπησης, συνηθίζεται να γίνονται με χρήση ραδιομέτρων, οργάνων τα οποία μετρούν την ανακλώμενη ή εκπεμπόμενη ακτινοβολία, με τη βοήθεια οπτικών συστημάτων. Στοχεύοντας μία επιφάνεια, παράγουν ένα σύνολο τιμών ανακλαστικότητας, το οποίο χαρακτηρίζει τις οπτικές της ιδιότητες και συνιστά τη φασματική της υπογραφή. Η μέτρηση δίνεται από την παρακάτω σχέση, γνωστή ως εξίσωση του ραδιομέτρου:

$$V = R_{\Phi}(\Phi - \Phi_0) + v_n, \text{ όπου}$$

- $R_{\Phi}$ : Η απόκριση του ραδιομέτρου, δηλαδή το πηλίκο της μεταβολής του σήματος εξόδου  $\Delta V$  που προκύπτει από μεταβολή της προσπίπτουσας στο δέκτη ακτινοβολίας  $\Delta\Phi$ , προς τη μεταβολή αυτή.
- $\Phi_0$ : Η ισχύς ακτινοβολίας αναφοράς, ορίζεται ως η προσπίπτουσα ισχύς ακτινοβολίας για την οποία το ραδιόμετρο δίνει τιμή 0.
- $v_n$ : Ο θόρυβος του σήματος εξόδου.

Σε συνδυασμό λοιπόν με την εξίσωση του ραδιομέτρου, αλλά και την εξής:  $\Phi = \pi L_A \sin^2(\theta/2)$ , μπορεί να υπολογιστεί η ακτινοβολία Λενός αντικειμένου, εφόσον είναι γνωστή η επιφάνεια του ανιχνευτή  $A_d$  και η επίπεδη γωνία όρασης του οργάνου  $\theta$ . Ύστερα, εάν διαιρεθεί με την ακτινοβολία μίας Λαμπερτιανής επιφάνειας, η οποία θα πρέπει να έχει μετρηθεί υπό τις ίδιες συνθήκες, μπορεί να υπολογιστεί η ανακλαστικότητά του (Καραθανάση, 2014). Στη συγκεκριμένη εργασία, χρησιμοποιήθηκε ένα φασματοραδιόμετρο GER 1500 της SpectraVista Corporation, το οποίο καλύπτει τα μήκη κύματος μεταξύ 350 και 1050 nm του υπεριώδους, του ορατού και του

εγγύς υπέρυθρου τμήματος του φάσματος. Χρησιμοποιεί ένα φράγμα περίθλασης με παράταξη σιλκόνης, η οποία διαθέτει 512 ξεχωριστούς ανιχνευτές που παρέχουν τη δυνατότητα ανάγνωσης 512 φασματικών καναλιών, με εύρος περί το 1 nm (Witz, 2008).



Εικόνα 5: Το φασματοραδιόμετρο GER 1500 της Spectra Vista Corporation. (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν χρησιμοποιήθηκαν κυρίως ως δεδομένα αναφοράς για την αξιολόγηση και αξιοποίηση των υπόλοιπων τηλεπισκοπικών δεδομένων, λόγω της υψηλής ποιότητάς τους, στις περιοχές όπου στοχεύθηκαν φύλλα ελιάς. Δηλαδή στη Μεσσηνία, την Εύβοια και τον Βοτανικό Κήπο Διομήδους. Πλην όμως των δεδομένων ανακλαστικότητας, καταγράφηκαν και μεταδεδομένα, τα οποία είναι απαραίτητα για τη μοντελοποίηση των δεδομένων, την πλήρη κατανόηση των συνθηκών που επικρατούσαν κατά την εκτέλεση κάθε μέτρησης, αλλά και για το σαφή διαχωρισμό μεταξύ τους. Πιο συγκεκριμένα, διατηρήθηκε αρχείο από την ημερομηνία, τοποθεσία, ώρα και αύξουσα αρίθμηση της κάθε μέτρησης, την ποικιλία και την κατάσταση στην οποία βρισκόταν το εκάστοτε ελαιόδενδρο, τον τρόπο στόχευσης των φύλλων (προσαξονική ή αποαξονική πλευρά, πάνω στο κλαδί ή κομμένα σε σωρό). Παράλληλα, δημιουργήθηκε και φωτογραφικό αρχείο, από τα δέντρα που στοχεύονταν και περιστασιακά, της μεθόδου που ακολουθήθηκε, αλλά και του περιβάλλοντος χώρου.

### Δορυφορικός δέκτης Sentinel-2 MSI

Επειδή αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας είναι τα ελαιόδενδρα, απαιτείται υψηλή χωρική ανάλυση για να διακριθούν από τα υπόλοιπα στοιχεία του περιβάλλοντος, η οποία δεν παρατηρείται στις διαθέσιμες δορυφορικές εικόνες. Αξιοποιήθηκαν, ωστόσο, δορυφορικά δεδομένα Sentinel, λόγω της σχετικά υψηλής διακριτικής τους ικανότητας (10-60μ). Στόχος, να εξαχθεί πληροφορία για τη φασματική ανακλαστικότητα σε κλίμακα ελαιώνα, η οποία προκύπτει τόσο από την ανακλαστικότητα των φύλλων ελιάς, όσο και άλλων παραγόντων.

Πιο συγκεκριμένα, το Sentinel-2 Multispectral Instrument αποτελεί τμήμα της πολυφασματικής αποστολής Sentinel-2, η οποία υποστηρίζει τις μελέτες Παρακολούθησης της Γης “Copernicus”, συμπεριλαμβάνοντας την παρακολούθηση βλάστησης, κάλυψης γης και υδάτινων επιφανειών. Εφαρμόζεται σε δορυφόρους, καθένας εκ των οποίων ολοκληρώνει μία τροχιά σε δέκα ημέρες, ένα χρονικό διάστημα που αποτελεί και τη χρονική ανάλυση του δέκτη, το χρόνο δηλαδή που μεσολαβεί μεταξύ δύο λήψεων της ίδιας περιοχής της Γης. Η ραδιομετρική του ανάλυση ισούται με 12bit, όπερ σημαίνει ότι καθιστά εφικτή την ανίχνευση 4096 διαφορετικών τιμών έντασης ή ανακλαστικότητας, με το ραδιομετρικό σφάλμα να εκτιμάται μικρότερο του 5%. Επιπροσθέτως,



όπως απεικονίζεται παρακάτω, ο δέκτης είναι ευαίσθητος σε 13 κανάλια: Τέσσερα με διακριτική ικανότητα 10 μέτρων (490, 560, 665, 842 nm), έξι των 20 μέτρων (705, 740, 783, 865, 1610, 2190 nm) και τρία των 60 (443, 940, 1375 nm). Τα τελευταία απορρίφθηκαν, καθώς κρίθηκαν ανεπαρκή για το συγκεκριμένο σκοπό (<http://m.esa.int/ESA>).

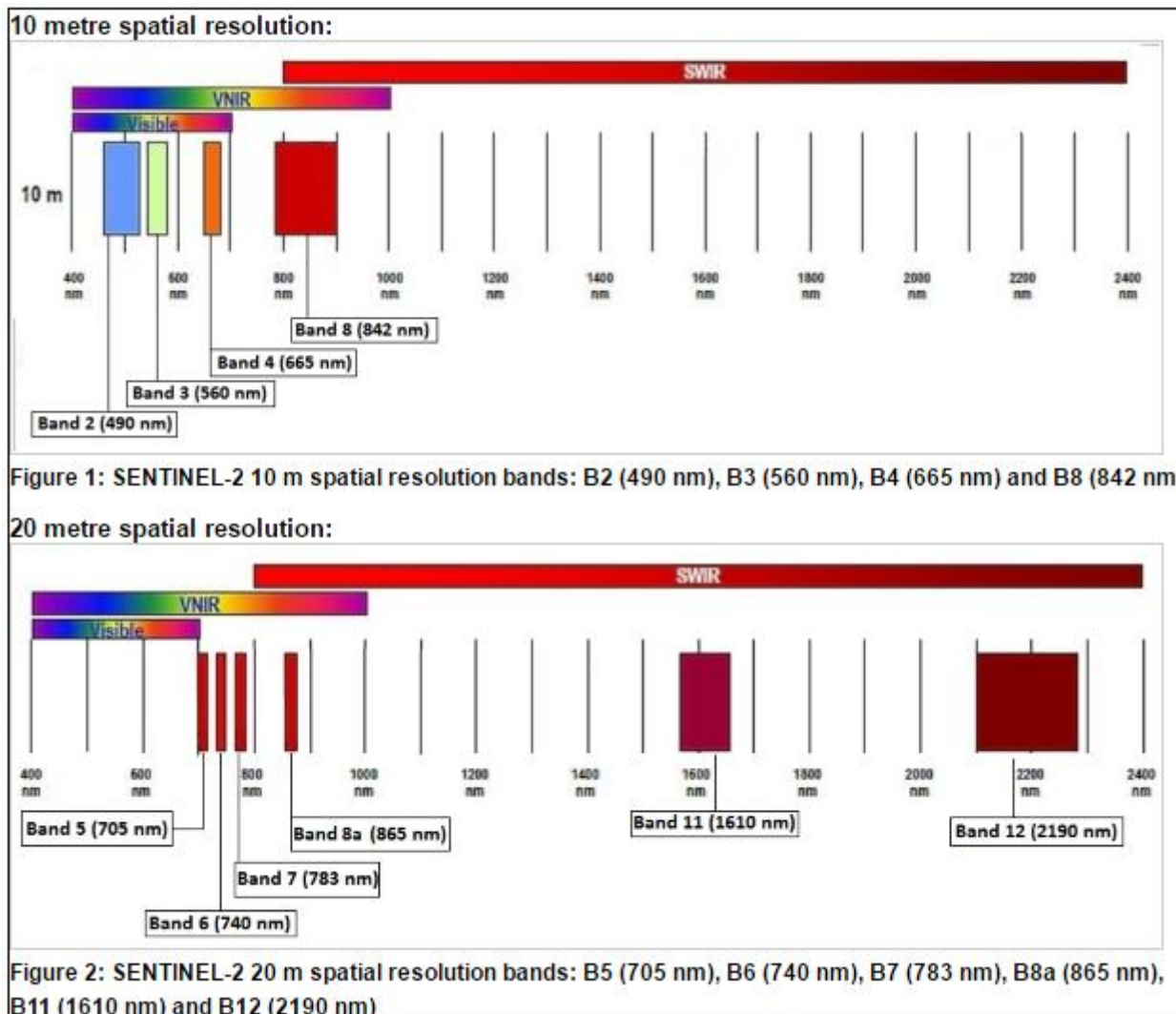


Figure 1: SENTINEL-2 10 m spatial resolution bands: B2 (490 nm), B3 (560 nm), B4 (665 nm) and B8 (842 nm)

Figure 2: SENTINEL-2 20 m spatial resolution bands: B5 (705 nm), B6 (740 nm), B7 (783 nm), B8a (865 nm), B11 (1610 nm) and B12 (2190 nm)

Εικόνα 6: Διαγραμματική απεικόνιση και χωροθέτηση στο ορατό και υπέρυθρο φάσμα, των καναλιών του Sentinel-2 MSI με χωρική ανάλυση 10 (πάνω) και 20 μέτρων (κάτω). Πηγή: (<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/resolutions/spatial>)

Τα δεδομένα αυτά διατίθενται δωρεάν στην ιστοσελίδα του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Διαστήματος (ESA), από την οποία παραλήφθηκαν τρεις δορυφορικές εικόνες από: Μεσσηνία – Δεκέμβριος 2015, Εύβοια - Φεβρουάριος 2016, Εύβοια – Ιούνιος 2016.



Εικόνα 7: Παρουσίαση των, κυκλωμένων, περιοχών μελέτης στην Εύβοια (πάνω) και τη Μεσσηνία (κάτω), όπως απεικονίζονται στις δορυφορικές εικόνες Sentinel. Είναι φανερό, ακόμα και από αυτό το επίπεδο εστίασης, ότι η πληροφορία είναι επαρκής μόνο για τον εντοπισμό ελαιοτεμαχίων και όχι συγκεκριμένων ελαιόδεντρων. (Πηγή: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/>)

### Αερομεταφερόμενος δέκτης CASI-550

Με σκοπό να επιτευχθεί καλύτερη χωρική και φασματική ανάλυση, η οποία θα εξυπηρετήσει με μεγαλύτερη επιτυχία την καθαρή στόχευση ελαιόδενδρων, αλλά και την αντιστοίχιση των αποτελεσμάτων με εκείνα που προέκυψαν από τις επίγειες μετρήσεις, χρησιμοποιήθηκαν μία εικόνα του υπερφασματικού δέκτη CASI-550 από την περιοχή Κρόνια Χαλκίδας. Ο συγκεκριμένος Συμπαγής Αερομεταφερόμενος Φασματογραφίες Απεικονιστείς (Compact Airborne Spectrographic Imager), δημιουργήθηκε από την Καναδική εταιρία ITRES Research Ltd και ανήκει στο Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης του ΕΜΠ.



Εικόνα 8: Τα κύρια τμήματα του οργάνου CASI-550: Ο υπερφασματικός αισθητήρας (SHU), η μονάδα ελέγχου οργάνων (υπολογιστής και σχετικό λογισμικό - ICU), μια οθόνη, ο αισθητήρας προσπίπτουσας ακτινοβολίας (ILS) και μια συσκευή IMU/GPS. (Πηγή: Κόκας, 2014)

Η λήψη πραγματοποιήθηκε τον Φεβρουάριο του 2006, από ύψος 2242 μέτρων σε μεσημεριανή ώρα αντίστοιχα, στα πλαίσια ερευνητικού προγράμματος του ΕΜΠ. Αξιοποιήθηκαν 95 κανάλια φασματικής απεικόνισης, στα μήκη κύματος 423-964nm. Χάρη στο συγκεκριμένο δέκτη εξασφαλίστηκε υψηλή αναλογία σήματος προς θόρυβο, πλήρης γεωμετρική διόρθωση και πραγματικές τιμές ακτινοβολιών, λόγω της πλήρους βαθμονόμησης του συστήματος (Κόκας, 2014). Η ραδιομετρική του ανάλυση ισούται με 14 bit και οι διαστάσεις εικονοστοιχείου στη συγκεκριμένη λήψη με 2,5μ, η οποία κρίνονται ικανοποιητική για τον εντοπισμό μεμονωμένων ελαιόδενδρων, αλλά όχι και για τον διαχωρισμό τους από τα στοιχεία του άμεσου περιβάλλοντός τους, όπως το χώμα.



Εικόνα 9: Η υπερφασματική εικόνα του δέκτη CASI στην περιοχή Κρόνια Χαλκίδας, η οποία ελήφθη στις 2/2/2006. (Πηγή: Αρχείο ΕΜΠ)

### 3.3.2 Επεξεργασία Δεδομένων

Τη λήψη των δεδομένων ακολούθησε η επεξεργασία τους, μια διαδικασία την οποία ήταν απαραίτητο να υποστούν χάριν της παραγωγής πληρέστερων και ορθότερων δεδομένων, απαλλαγμένων κατά το δυνατόν από εσφαλμένη και περιττή πληροφορία. Επιπροσθέτως, εφαρμόστηκαν ειδικές επεξεργασίες, οι οποίες συντέλεσαν στις συγκρίσεις μεταξύ των δεδομένων ανακλαστικότητας από διαφορετικούς δέκτες, για διαφορετικές εποχές και ποικιλίας ελιάς. Τα βήματα που ακολουθήθηκαν, αναλύονται παρακάτω, ξεχωριστά για κάθε δέκτη.

#### 3.3.2.1 Δεδομένα επίγειων μετρήσεων

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 3.3.1, το όργανο το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τη συλλογή των επίγειων δεδομένων, GER 1500, καταγράφει την ανακλώμενη ακτινοβολία του εκάστοτε στόχου. Η πρώτη επεξεργασία λοιπόν που απαιτείται, είναι η μετατροπή των δεδομένων ακτινοβολίας σε ανακλαστικότητα, με τον υπολογισμό του ποσοστού της προσπίπτουσας ακτινοβολίας το οποίο ανακλάται από τα στοχευμένα αντικείμενα. Η προσπίπτουσα ακτινοβολία υπολογίζεται ως η ακτινοβολία που ανακλάται από τη λαμπερτιανή επιφάνεια αναφοράς, μίας επιφάνειας που ανακλά σχεδόν συνολικά την ακτινοβολία την οποία δέχεται. Πρακτικά, η ανακλαστικότητα υπολογίζεται μέσω της διαίρεσης της ακτινοβολίας του στόχου, με αυτή της επιφάνειας αναφοράς, κατά την οποία απαλείφεται η επίδραση παραγόντων κοινών για τις δύο τιμές, όπως της ατμόσφαιρας.

Με τα δεδομένα ανακλαστικότητας όλων των μετρήσεων να έχουν συγκεντρωθεί σε ηλεκτρονική μορφή, σε υπολογιστικά φύλλα Microsoft Excel, δημιουργήθηκαν τα αντίστοιχα διαγράμματα ανακλαστικότητας, με σκοπό να γίνει οπτικοποίηση, παρατήρηση και αξιοποίηση της πληροφορίας που συλλέχθηκε. Σε έναν αθροιστικό όγκο περί των 1000 μετρήσεων, εύλογα συμπεραίνεται ότι ένα σημαντικό τμήμα αυτών απορρίπτεται είτε λόγω σφαλμάτων, είτε λόγω έλλειψης χρησιμότητας. Το επόμενο βήμα, λοιπόν, ήταν η απόρριψη τέτοιων μετρήσεων, ενώ οι φασματικές υπογραφές παράχθηκαν από το μέσο όρο των αντίστοιχων σειρών μετρήσεων. Δηλαδή, το μέσο όρο των μετρήσεων (συνήθως 3 ή 4) του ίδιου στόχου (πχ χρώματος), οι οποίες πραγματοποιήθηκαν ύστερα από την ίδια μέτρηση της Λαμπερτιανής επιφάνειας αναφοράς και σε αντιστοιχία με αυτή.

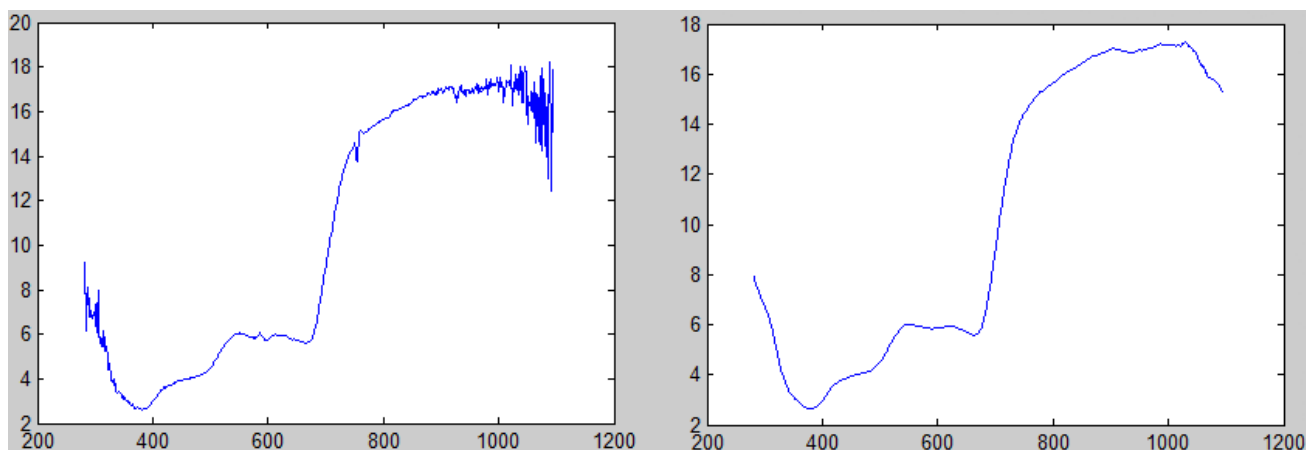
Απαραίτητη, επίσης, κατά την επεξεργασία των δεδομένων κρίθηκε η εξομάλυνση των παραγόμενων φασματικών καμπυλών, προκειμένου να εξαλειφθούν ή να περιοριστούν ορισμένες έντονες διακυμάνσεις ανακλαστικότητας που παρατηρήθηκαν και οι οποίες συνήθως οφείλονται σε σφάλματα του δέκτη, ατμοσφαιρικά κανάλια απορρόφησης της ακτινοβολίας ή άλλου είδους θόρυβο. Για το σκοπό αυτό εφαρμόστηκε το ψηφιακό φίλτρο Savitzky-Golay, το οποίο από υπολογιστική άποψη είναι αποτελεσματικότερο, απλούστερο και ταχύτερο σε σχέση με άλλες μεθόδους εξομάλυνσης σημάτων (Educational Applets) και ακολουθεί τη διαδικασία του περιελιγμού (convolution). Συγκεκριμένα, τοποθετεί διαδοχικά υποσύνολα παρακείμενων σημείων μέσω ενός χαμηλοβάθμιου πολυωνύμου, με χρήση της μεθόδου ελαχίστων τετραγώνων και έτσι, δίνει εκτιμήσεις του εξομαλυμένου σήματος στα κεντρικά σημεία του κάθε υποσυνόλου (Πηγή: en.wikipedia.org).

Μετά την ομογενοποίηση όλα τα δεδομένα κατανεμήθηκαν σε ίσα διαστήματα του 1 nm.

Για την εφαρμογή του φίλτρου, ενεργοποιήθηκε η συνάρτηση `sgolayfilt` του Matlab, η οποία λαμβάνει την ακόλουθη, εύχρηστη μορφή:  $y = \text{sgolayfilt}(x, \text{order}, \text{framelength})$ , όπου:

- $x$ : Η καμπύλη που εισάγεται προς εξομάλυνση
- `order`: Ο βαθμός του πολυωνύμου (πάντα μικρότερος του `framelength`)
- `framelength`: Το μήκος του παραθύρου, το οποίο διανύει διαδοχικά τα παρακείμενα σημεία κατά την εξομάλυνση (πάντα περιττός αριθμός)

Στόχος πριν από κάθε εφαρμογή του φίλτρου, ήταν η βέλτιστη εξομάλυνση των φασματικών καμπυλών, έτσι ώστε να ελαττωθεί ο θόρυβος, αλλά χωρίς να αλλοιωθούν σημαντικά τους χαρακτηριστικά. Με αυτό το σκεπτικό, αλλά και με αλληπάλληλες δοκιμές, επιλεγόταν πάντα ο βαθμός πολυωνύμου και το μήκος παραθύρου που παρείχε το καλύτερο αποτέλεσμα σε κάθε περίπτωση. Στα περισσότερα διαγράμματα εφαρμόστηκε πολυώνυμο τρίτου βαθμού (όσο μεγαλύτερος βαθμός τόσο μικρότερη η εξομάλυνση) και μήκος παραθύρου από 21-71 nm. Στο παράδειγμα που ακολουθεί, υπάρχει αρκετός θόρυβος, όμως εντοπίζεται σε ελάχιστα σημεία του διαγράμματος και κυρίως στα μικρότερα και τα μεγάλα μήκη κύματος. Η χρήση ενός αρκετά εξομαλυντικού φίλτρου, μήκους 41 nm, εξάλειψε το θόρυβο δίχως να παραποιήσει τη φασματική πληροφορία.

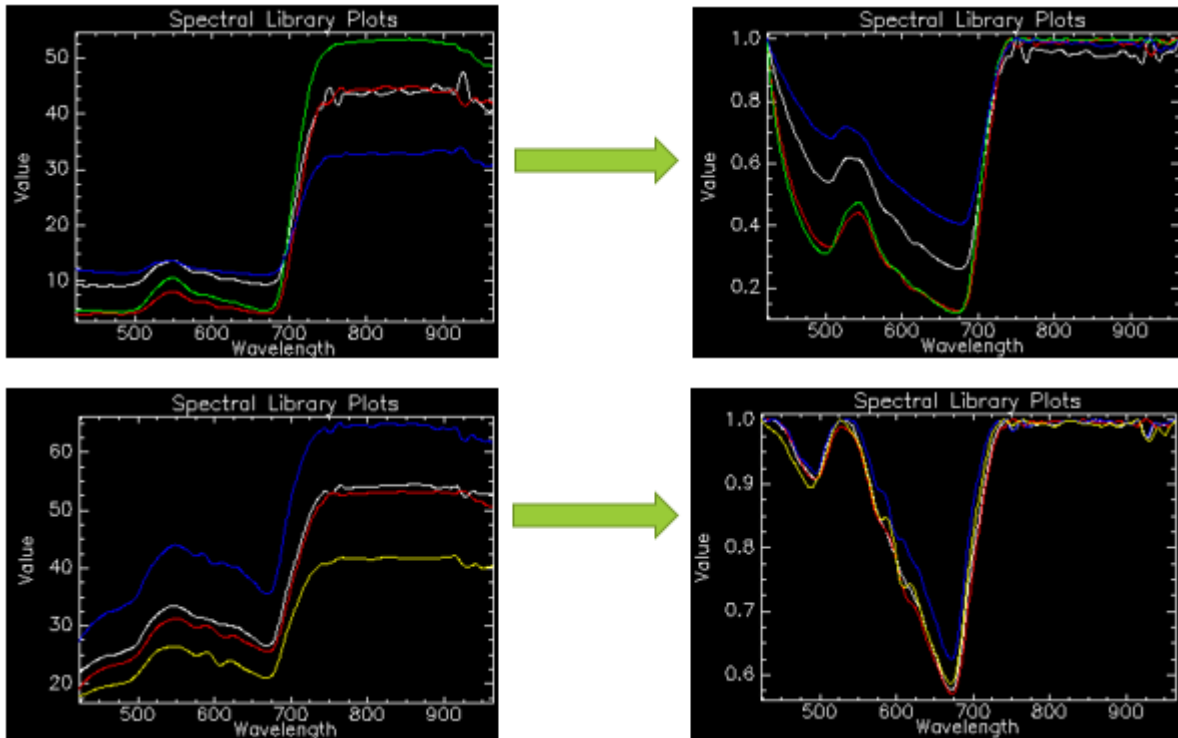


Διάγραμμα 9: Ενδεικτική εξομάλυνση διαγράμματος ανακλαστικότητας αποαζονικής πλευράς φύλλου με χρήση του φίλτρου Savitzky-Golay. Δεξιά παρουσιάζεται το αρχικό διάγραμμα και αριστερά, το εξομαλυμένο

Αφού ολοκληρώθηκαν οι προεπεξεργασίες, οι οποίες ήταν απαραίτητες για τη βελτιστοποίηση των αποκτηθέντων δεδομένων ανακλαστικότητας, ακολούθησε η επεξεργασία τους με διάφορες φασματικές και στατιστικές μεθόδους. Όσον αφορά την επεξεργασία των επίγειων δεδομένων, εξετάστηκαν οι γωνιακές αποστάσεις φάσματος (SAD) και εφαρμόστηκε αφαίρεση του συνεχούς, στο πλαίσιο της διερεύνησης των δυνατοτήτων διάκρισης των εποχιακών μεταβολών και των διαφορετικών ποικιλιών ελιάς. Για το σήμα που προέκυψε μετά την αφαίρεση του συνεχούς, διενεργήθηκε το μη παραμετρικό τεστ Wilcoxon.

Η αφαίρεση του συνεχούς (Continuum Removal) αποτελεί μία από τις σημαντικότερες μεθόδους επεξεργασίας του φάσματος. Το κανονικοποιεί, έτσι ώστε όταν συγκρίνεται με κάποιο άλλο φάσμα, να δίνεται έμφαση στα ξεχωριστά χαρακτηριστικά απορρόφησης της ακτινοβολίας, αγνοώντας την υπόλοιπη πληροφορία. Αναλυτικότερα, η διαδικασία αυτή αποδίδει στα πρώτα και τα τελευταία κανάλια, αλλά και στα τοπικά μέγιστα του κάθε διαγράμματος την τιμή 1, καθώς τα ταυτίζει με το συνεχές. Τα υπόλοιπα κανάλια, στα οποία κάνουν την εμφάνισή τους χαρακτηριστικά απορρόφησης, λαμβάνουν τιμές μεταξύ 0-1. Ακολουθείται δηλαδή η σχέση  $Scr = S/C$ , όπου  $Scr$  το φάσμα μετά την αφαίρεση του συνεχούς,  $S$  το αρχικό και  $C$  το συνεχές (harrisgeospatial.com). Αναμενόμενα, όταν χρησιμοποιούνται διαφορετικά φασματικά υποσύνολα, παράγονται και διαφορετικά αποτελέσματα, οπότε η επιλογή του συνόλου με τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά απορρόφησης μπορεί να οδηγήσει σε ασφαλέστερα συμπεράσματα.

Στα διαγράμματα που ακολουθούν, γίνεται αντιληπτή η χρησιμότητα της αφαίρεσης του συνεχούς στο διαχωρισμό των ποικιλιών. Εξουδετερώνονται οι διαφορές στην κλίμακα των φασματικών υπογραφών (πχ διακύμανση των τιμών στο εγγύς υπέρυθρο μεταξύ 38-64%), η οποία δεν αποτελεί διαχωριστικό στοιχείο, όντας ευρέως μεταβαλλόμενη για κάθε ποικιλία, ανάλογα με τις στιγμιαίες μεταβολές στις συνθήκες φωτισμού ή στόχευσης. Πράγματι, κανονικοποιούνται τα διαγράμματα και επισημαίνονται οι περιοχές του φάσματος στις οποίες το καθένα εμφανίζει διαφορετικές ιδιότητες απορρόφησης. Εύλογα, λόγω των χλωροπλαστών, η εντονότερη απορρόφηση της ακτινοβολίας παρατηρείται στο ορατό φάσμα, πλην του πρασίνου.



Διάγραμμα 10: Παράδειγμα αφαίρεσης του συνεχούς στο λογισμικό του ENVI, σε δεδομένα ανακλαστικότητας της ίδιας Αγριελιάς σε διαφορετικές εποχές. Η κανονικοποίηση των διαγραμμάτων τονίζει τις, αναμενόμενες ομοιότητες του. Διαφοροποιήσεις εμφανίζονται κυρίως στο ορατό φάσμα, όπου υπάρχει η μεγαλύτερη απορρόφηση ακτινοβολίας.

Ο υπολογισμός της γωνιακής απόστασης φάσματος (SAD), είναι επίσης μία τεχνική που χρησιμοποιείται κατά κόρον σε ανάλογες εφαρμογές. Πρόκειται για μία προσδιοριστική μέθοδο, η οποία καθορίζει τη φασματική ομοιότητα μεταξύ δύο φασματικών υπογραφών (Πηγή: Luc et. al, 2005). Οι υπογραφές αυτές λογίζονται ως διανύσματα σε  $n$ -διάστατο χώρο (όπου  $n$  τα φασματικά κανάλια), αφού υπολογίσει τη γωνία που σχηματίζεται μεταξύ τους. Όσο μικρότερη η γωνία, τόσο μεγαλύτερη η ομοιότητα που συμπεραίνεται μεταξύ των δύο φασμάτων. Υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

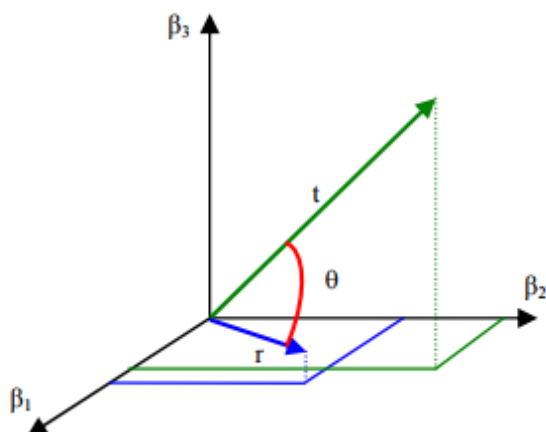
$$\theta = \cos^{-1} \left( \frac{\sum_{i=1}^n t_i r_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n t_i^2 \sum_{i=1}^n r_i^2}} \right), \text{ όπου:}$$

$n$  = Ο αριθμός των φασματικών καναλιών

$t, r$  = Τα συγκρινόμενα φάσματα

Εν προκειμένω εκτιμήθηκαν οι φασματικές γωνίες μεταξύ των διαφορετικών ποικιλιών ελιάς, αλλά και μεταξύ των διαφορετικών εποχών μέτρησης. Στο ENVI, το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την εφαρμογή του αλγόριθμου, η σύγκριση αυτή μπορεί να συμβεί μεταξύ κάθε είδους δεδομένων, όπως εικονοστοιχείων εικόνας, αποθηκευμένων φασματικών βιβλιοθηκών ή δεδομένων φασματοραδιομέτρου σε μορφή ASCII, όπως εν προκειμένω. Εδώ κρίνεται αναγκαίο να

σημειωθεί, ότι οι βαθμολογίες που αποδίδει ο αλγόριθμος στα συγκρινόμενα φάσματα μέσω του εργαλείου Spectral Analyst, υποδηλώνει το βαθμό ομοιότητας μεταξύ τους και εμφανίζεται σε μορφή ποσοστού (harrisgeospatial.com). Δηλαδή, η ομοιότητα ενός φάσματος με τον εαυτό του θα λαμβάνει την τιμή 1, ενώ η τιμή 0 είναι αρκετά καλή ένδειξη ότι τα δύο φάσματα δεν είναι όμοια σε καμία περίπτωση.



Εικόνα 10: Οπτικοποίηση της φασματικής γωνίας,  $\theta$ , μεταξύ δύο φασμάτων  $t, r$  στα κανάλια  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ . (Πηγή: Luc et al, 2005)

Τέλος, αποφασίστηκε να εφαρμοστεί ένας στατιστικός έλεγχος υποθέσεων ζευγών δεδομένων, μέσω του οποίου θα μπορούσε να εκτιμηθεί η πιθανότητα κατά την οποία τα δύο ζεύγη, εν προκειμένω δυο φασματικές υπογραφές, μπορούν να προέρχονται από την ίδια κατανομή. Επιλέχθηκε ο έλεγχος αυτός να είναι μη-παραμετρικός, διότι μπορεί να εφαρμοστεί και σε περιπτώσεις που τα δεδομένα δεν ακολουθούν την κανονική κατανομή, αφού βασίζεται στη διάμεσο και όχι τη μέση τιμή των δειγμάτων. Πιο συγκεκριμένα μάλιστα, εφαρμόστηκε ο έλεγχος προσημασμένης διάταξης Wilcoxon, ο οποίος μπορεί να εφαρμοστεί και σε εξαρτημένα δείγματα. Τα δείγματα ανακλαστικότητας που συγκρίθηκαν θεωρήθηκαν τέτοια, επειδή εξαρτώνται από κοινούς παράγοντες, όπως τη φασματική απόκριση των χλωροπλαστών.

Κατά την εφαρμογή του συγκεκριμένου στατιστικού ελέγχου, θεωρούνται οι διαφορές μεταξύ των τιμών των δειγμάτων (εν προκειμένω των τιμών για τα ίδια μήκη κύματος), διατάσσονται σε απόλυτες τιμές κατά αύξουσα τάξη μεγέθους και αντιστοιχίζονται βαθμοί (1, 2, ..., n), οι οποίοι στη συνέχεια πολλαπλασιάζονται με το πρόσημο της διαφοράς στην οποία αντιστοιχούν. Επειδή το άθροισμα των προσημασμένων διατάξεων (T) προσεγγίζει την κανονική κατανομή, υπολογίζεται το προσεγγιστικό στατιστικό  $Z = (T - \mu_T) / \sigma_T$ , όπου:

$$\mu_T = n(n+1)/4$$

$$\sigma_T = \sqrt{\frac{n(n+1)(2n+1)}{24}}$$

Για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, εφόσον η απόλυτη τιμή του Z δεν ξεπερνάει το 1,96, προκύπτει το συμπέρασμα ότι η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται και επομένως διαπιστώνονται στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δειγμάτων (Νικήτας, 2013).



### 3.3.2.2 Δεδομένα εναέριων και δορυφορικών μετρήσεων

Η επεξεργασία των δεδομένων τα οποία λαμβάνονται από έναν δέκτη σε μεγάλη απόσταση από τη Γη είναι περισσότερο περίπλοκη. Αρχικά, απαιτείται η διενέργεια γεωμετρικής διόρθωσης, η οποία είχε ήδη πραγματοποιηθεί για την εικόνα του δέκτη CASI που χρησιμοποιήθηκε, χάρη στη χρήση GPS και αδρανειακού συστήματος κατά την πτήση καθώς και την εκτέλεση συγκεκριμένων διαδικασιών γεωαναφοράς. Επίσης στην εικόνα είχε εφαρμοστεί και ραδιομετρική διόρθωση (Κόκας, 2014). Η τελευταία αποκαθιστά τις ανωμαλίες που παρατηρούνται στην εικόνα λόγω διαφόρων παραγόντων, όπως τη διαφορετική ευαισθησία κάθε στοιχείου του αισθητήρα καταγραφής (CCD) του δέκτη. Το επόμενο βήμα επεξεργασίας Τηλεπισκοπικών εικόνων, το οποίο απαιτήθηκε στη συγκεκριμένη μελέτη, είναι η διόρθωση των ατμοσφαιρικών επιδράσεων, οι οποίες είναι πλέον εντονότερες και δεν εξαλείφονται με μία απλή διαίρεση, αλλά με τη χρήση διορθωτικών αλγορίθμων πολλών παραμέτρων που σπάνια είναι γνωστές στο σύνολό τους.

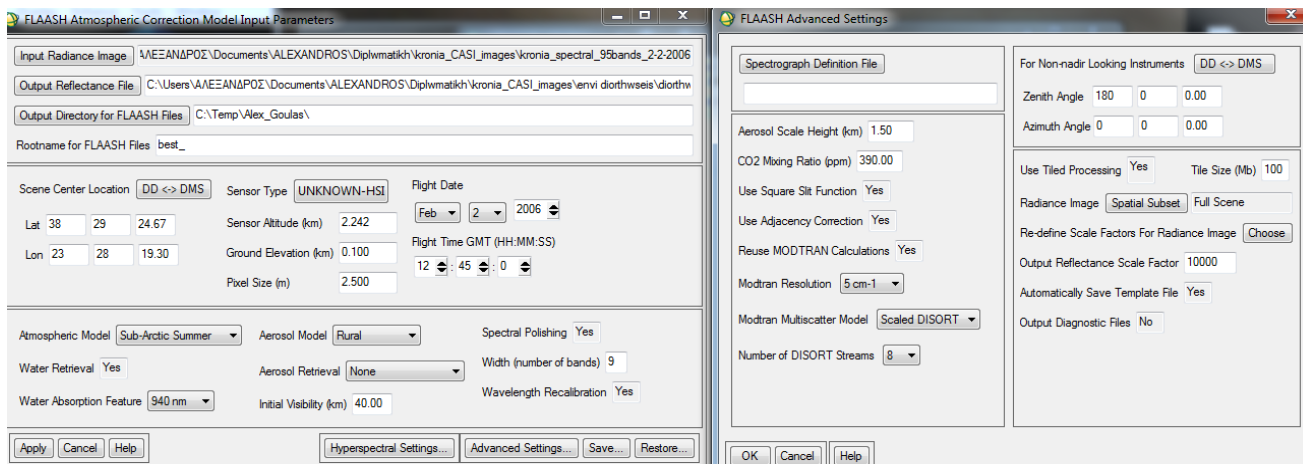
Εν προκειμένω, χρησιμοποιήθηκε το Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes (FLAASH), του λογισμικού ENVI. Ένα εργαλείο που υπολογίζει ξεχωριστές λύσεις ατμοσφαιρικής διόρθωσης, αναλόγως των χαρακτηριστικών της κάθε εικόνας, αξιοποιώντας το μοντέλο μετάδοσης ακτινοβολίας MODTRAN ([www.harrisgeospatial.com](http://www.harrisgeospatial.com)). Συμπεριλαμβάνει χαρακτηριστικά όπως η διόρθωση της ανάμειξης των εικονοστοιχείων λόγω σκέδασης στην ανάκλαση επιφανείας (adjacency effect), ο υπολογισμός μέσης ορατότητας και η φασματική ομαλοποίηση (spectral polishing), μια γραμμική μέθοδος αναμόρφωσης που απαλλάσσει το διορθωμένο φάσμα από διάφορα σφάλματα, τα οποία προκύπτουν κατά την επεξεργασία των εικόνων (spectral artifacts). Η βασική εξίσωση, μέσω της οποίας ο αλγόριθμος υπολογίζει την ακτινοβολία σε κάθε εικονοστοιχείο του αισθητήρα (L), έχει ως εξής:

$L = A_p / (1 - p_e S) + B p_e S / (1 - p_e S) + L_a$ , όπου:

- $p$ : Η επιφανειακή ανακλαστικότητα του εικονοστοιχείου
- $p_e$ : Η μέση επιφανειακή ανακλαστικότητα του εικονοστοιχείου και της τριγύρω περιοχής
- $S$ : Η σφαιρική ανακλαστικότητα της ατμόσφαιρας
- $L_a$ : Η ακτινοβολία διαδρομής
- $A, B$ : Συντελεστές ανεξάρτητοι της επιφάνειας, μεταβάλλονται ανάλογα με τις ατμοσφαιρικές συνθήκες και τη γεωμετρία του συστήματος ήλιος – επιφάνεια – δέκτης

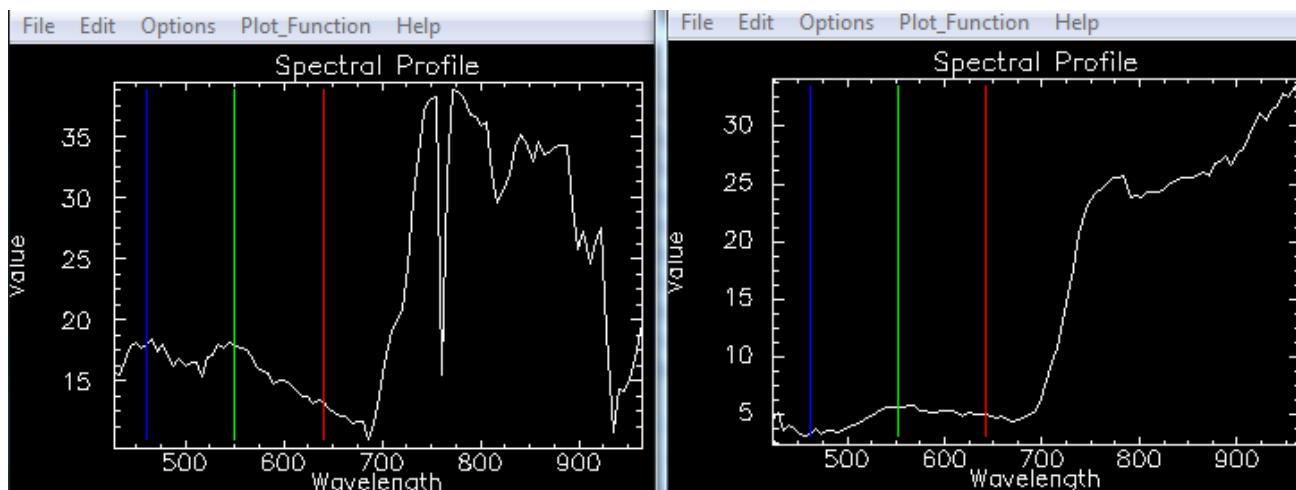
Για να υπολογιστούν τα παραπάνω μεγέθη, απαιτήθηκε η συμπλήρωση ορισμένων πεδίων (βλ. εικόνα 11). Αρχικά, των γεωγραφικών συντεταγμένων (Latitude, Longitude) και του υψομέτρου (ground elevation) του κέντρου της εικόνας, οι οποίες εκτιμήθηκαν μέσω του Google Earth και των στοιχείων λήψης (ημερομηνία, ώρα Greenwich, ύψος δέκτη, μέγεθος εικονοψηφίδας). Το ατμοσφαιρικό μοντέλο MODTRAN επιλέχθηκε με βάση το πρότυπο πλήθος υδρατμών, το οποίο πρέπει να είναι ίσο ή κάπως μεγαλύτερο αυτού που επικρατούσε και είναι ανάλογο της θερμοκρασίας αέρος στο έδαφος τη στιγμή της λήψης ([www.harrisgeospatial.com](http://www.harrisgeospatial.com)). Έτσι, για τη χειμερινή λήψη προτιμήθηκε το μοντέλο του υποαρκτικού θέρους (που αντιστοιχεί σε θερμοκρασία 14°C), αντί του χειμώνα μέσου γεωγραφικού μήκους (που αντιστοιχεί σε -1°). Με την ορατότητα να είναι αρκετά υψηλή κατά τη διάρκεια της λήψης (40 χλμ), η επιλογή μοντέλου

αερολυμάτων δεν είναι ιδιαίτερα κρίσιμη, ωστόσο επιλέχθηκε το αγροτικό μοντέλο, που χρησιμοποιείται σε περιοχές με ελάχιστη επιρροή από αστικές ή βιομηχανικές πηγές ρύπανσης.



Εικόνα 11: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν κατά την ατμοσφαιρική διόρθωση της χειμερινής εικόνας CASI, με χρήση του αλγορίθμου FLAASH του λογισμικού ENVI. Στις προηγμένες ρυθμίσεις (δεξιά) διατηρήθηκαν οι προεπιλεγμένες.

Αναπόσπαστο κομμάτι της συγκεκριμένης διαδικασίας, είναι ο υπολογισμός της στήλης υδρατμών για κάθε εικονοστοιχείο, ο οποίος για να πραγματοποιηθεί στο FLAASH χρειάζεται εικόνες φασματικής ανάλυσης τουλάχιστον 15 nm που να περιλαμβάνουν πληροφορία σε κάποιο από τα εξής διαστήματα: 1050-1210 nm (χαρακτηριστικό απορρόφησης = 1135nm), 870-1020 nm (χαρακτηριστικό απορρόφησης = 940nm) και 770-870nm (χαρακτηριστικό απορρόφησης = 820nm). Επειδή στο πρώτο διάστημα, το οποίο προτείνεται, δεν υπήρχαν διαθέσιμα φασματικά κανάλια, προτιμήθηκε να επιλεγεί το δεύτερο χαρακτηριστικό απορρόφησης (940nm) που παρουσίαζε καλύτερα αποτελέσματα από το τρίτο. Στο πεδίο της φασματικής ομαλοποίησης επιλέχθηκε να γίνει, με παράθυρο ομαλοποίησης 9 καναλιών, το οποίο προτείνεται για τυπικούς υπερφασματικούς δέκτες. Τέλος, επιλέχθηκε να επαναβαθμονομηθούν τα μήκη κύματος, προς αποφυγήν τυχόντων σφαλμάτων κατά τη ραδιομετρική διόρθωση που προηγήθηκε. Όπως φαίνεται από τα παρακάτω διαγράμματα, το τελικό αποτέλεσμα ήταν αρκετά ικανοποιητικό, καθώς ελαχιστοποιήθηκαν οι απότομες αυξομειώσεις ανακλαστικότητας, με χαρακτηριστικότερη το βύθισμα που υπήρχε στα 770 nm, ενώ η φασματική καμπύλη της διορθωμένης εικόνας προσεγγίζει εμφανώς περισσότερο μία καμπύλη βλάστησης.



Διάγραμμα 11: Σύγκριση των διαγραμμάτων ανακλαστικότητας που προέκυψαν από τη στόχευση του ίδιου ελαιόδενδρου στην αρχική εικόνα CASI (αριστερά) και στη διορθωμένη (δεξιά), στο περιβάλλον του λογισμικού ENVI.

Η επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων του Ευρωπαϊκού δορυφόρου Sentinel ήταν αρκετά απλούστερη, καθώς η ESA παρέχει γεωμετρικά και ραδιομετρικά διορθωμένες εικόνες, και το SNAP, ένα ελεύθερο λογισμικό, ειδικό για την επεξεργασία τους. Για την αποστολή Sentinel-2 συγκεκριμένα, διατίθεται το Sen2Cor, το οποίο εκτελεί αυτόματα ατμοσφαιρική διόρθωση, βασισμένο και στα αρχεία επικεφαλίδων της εικόνας. Έτσι, διορθώθηκαν οι ατμοσφαιρικές, εδαφικές, νεφολογικές επιδράσεις, καθώς και εκείνες των αερολυμάτων και των υδρατμών (step.esa.int).

Συνοψίζοντας, τα φασματικά δεδομένα που αξιοποιήθηκαν προήλθαν από τρεις διαφορετικούς ε δέκτες: Το φασματοραδιόμετρο χειρός GER 1500, τις εικόνες του αερομεταφερόμενου CASI-550 και του δορυφορικού Sentinel 2-MSI. Ο καθένας τους, φυσικά, διαθέτει διαφορετικά κανάλια απορρόφησης ακτινοβολίας, τα οποία είναι κατανομημένα σε ποικίλα εύρη, με ποικίλες φασματικές αναλύσεις και επειδή στα τελικά στάδια της μελέτης απαιτήθηκε η ανάλυση όλων των δεδομένων, η αντιπαράθεσή τους και η εξαγωγή συμπερασμάτων, χρειάστηκε πρώτα να ομογενοποιηθούν. Με χρήση γραμμικής παλινδρόμησης στο λογισμικό Matlab, εκτιμήθηκαν για όλα τα δεδομένα τιμές ανακλαστικότητας σε διαστήματα 1 nm μήκους κύματος, πάντα εντός του εύρους του κάθε δέκτη.

Όποτε συγκρίνονταν διαφορετικοί τηλεπισκοπικοί δέκτες, χρησιμοποιούνταν τα κοινά σε αυτούς τμήματα του φάσματος. Τα δεδομένα των τηλεπισκοπικών δεκτών CASI και Sentinel, αφού εξομαλύνθηκαν με χρήση του φίλτρου Savitzky-Golay, συσχετίστηκαν με τα αντίστοιχα επίγεια με χρήση γραμμικής παλινδρόμησης πολλών μεταβλητών, γραμμικού φασματικού διαχωρισμού, αλλά και μίας ακόμη μεθόδου, βασισμένης στη γωνιακή απόσταση φάσματος.

Η παλινδρόμηση είναι μία στατιστική μέθοδος προβλεπτικής (προγνωστικής) ανάλυσης (predictive analysis), η οποία συνήθως, όπως και στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιείται στη γραμμική εκδοχή της. Εκτιμά κατά πόσο μία ή περισσότερες μεταβλητές, οι οποίες θεωρούνται ανεξάρτητες, μπορούν να αξιοποιηθούν για την πρόβλεψη της τιμής κάποιας εξαρτημένης μεταβλητής, αλλά και για να καταστούν υπεύθυνες για τη μεταβλητότητά της. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή θεωρήθηκαν ανεξάρτητες μεταβλητές οι φασματικές υπογραφές των διαφόρων στόχων του GER από την

περιοχή της εκάστοτε εικόνας, ενώ εξαρτημένη θεωρήθηκε η φασματική υπογραφή του στοχευόμενου εικονοστοιχείου της.

Ακολούθως, προσδιορίζονται οι μεταβλητές οι οποίες είναι στατιστικά σημαντικές για τη μεταβολή της εξαρτημένης μεταβλητής, αλλά και τη φύση της επιρροής τους. Τέλος, υπολογίζει την εξίσωση που επαληθεύει την παλινδρόμηση, καθορίζοντας τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ομάδα των ανεξάρτητων μεταβλητών, προκειμένου να προβλεφθεί το αποτέλεσμα. Μία εξίσωση η οποία λαμβάνει τη χαρακτηριστική μορφή  $y = ax_1 + bx_2 + \dots + nx_n + c$ , όπου:

- $x_1-x_n$ : οι ανεξάρτητες μεταβλητές
- $a, b$ : οι συντελεστές της παλινδρόμησης, αποδίδεται ένας σε κάθε μεταβλητή
- $c$ : ανεξάρτητη σταθερά

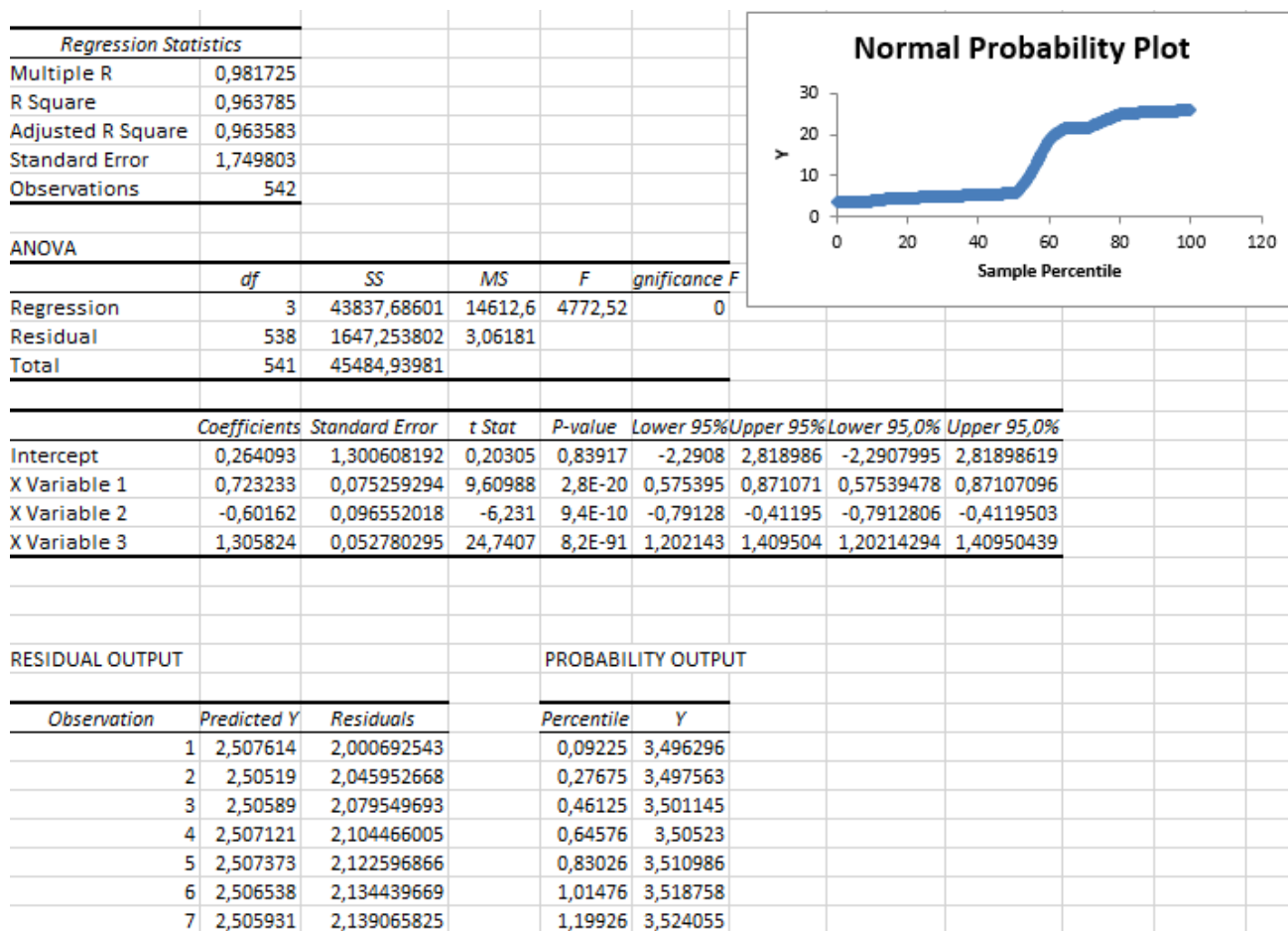
Στο Microsoft Excel δίνεται η δυνατότητα με εφαρμογή της συνάρτησης LINEST (μέσω του πρόσθετου Analysis Tool Pak) να υπολογιστεί η ευθεία παλινδρόμησης που ταιριάζει καλύτερα στα δεδομένα, με χρήση της μεθόδου ελαχίστων τετραγώνων, αλλά και να παραχθεί ένα φύλλο με σημαντικά στατιστικά στοιχεία της ευθείας, κατανεμημένα σε τέσσερις πίνακες: Στατιστικών παλινδρόμησης, ανάλυσης διασποράς, συντελεστών παλινδρόμησης και υπολοίπων. Από αυτούς ξεχωρίζουν κάποια στοιχεία, στα οποία πρέπει να δίνεται προσοχή:

Εξίσωση παλινδρόμησης: Η ευθεία της παλινδρόμησης έχει υπολογιστεί, με την ανεξάρτητη σταθερά και τους συντελεστές των μεταβλητών να καταγράφονται στη στήλη coefficients.

$R^2$ : Ο συντελεστής προσδιορισμού, καθορίζει το ποσοστό της πιθανής μεταβλητότητας της εξαρτημένης μεταβλητής, το οποίο θα μπορούσε να οφείλεται στις ανεξάρτητες μεταβλητές.

p-value: Για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, όταν είναι μικρότερο του 0,05, υποδηλώνει ότι το F-value για τη συγκεκριμένη ανεξάρτητη μεταβλητή είναι στατιστικά σημαντικό και άρα, η παρατηρημένη συσχέτιση μεταξύ αυτής και της εξαρτημένης δεν προέκυψε τυχαία. Στο παράδειγμα, όλες οι μεταβλητές μπορούν να χαρακτηριστούν στατιστικά σημαντικές.

t-stat: Το πηλίκο της διαίρεσης του εκτιμημένου συντελεστή της παλινδρόμησης με το τυπικό σφάλμα (standard error). Για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, υποδεικνύει ότι ο συντελεστής είναι σημαντικός όταν έχει απόλυτη τιμή μεγαλύτερη του 2. Η τιμή του t-stat υποδηλώνει επίσης τον τρόπο με τον οποίο εκτιμάται ότι θα μεταβληθεί η εξαρτημένη μεταβλητή για κάθε μεταβολή μίας μονάδας της ανεξάρτητης. Για παράδειγμα, στο παράδειγμα εκτιμάται ότι ενδεχόμενη αύξηση της μεταβλητής 2 κατά μία μονάδα, θα οδηγήσει σε μείωση της εξαρτημένης κατά 6,2 (www.statisticssolutions.com).



Εικόνα 12: Παράδειγμα γραμμικής παλινδρόμησης στο Excel, όπου εκτιμάται η στατιστική συσχέτιση του φάσματος μιας εικονοψηφίδας CASI, με τα φασματικά δεδομένα που συλλέχθηκαν με το ραδιόμετρο από την ίδια περιοχή.

Ο φασματικός διαχωρισμός, είναι μία διαδικασία κατά την οποία το φάσμα ενός μικτού εικονοστοιχείου αναλύεται στα συστατικά φάσματα των υλικών που το συνθέτουν. Εφαρμόζεται σε εργασίες όπου υπάρχει ενδιαφέρον για τη σύνθεση των εικονοστοιχείων στην εικόνα ή ενός συγκεκριμένου εικονοστοιχείου. Ενώ συνήθως προηγείται η χρήση κάποιου αλγορίθμου για τον φασματικό προσδιορισμό των υλικών που εμφανίζονται στην εικόνα (καθαροί στόχοι), στην προκειμένη περίπτωση κάτι τέτοιο θεωρήθηκε ανέφικτο. Ο προσδιορισμός καθαρών στόχων όπως η προσαξονική και η αποαξονική πλευρά φύλλου ελιάς και ο κορμός θα ήταν αδύνατος, διότι έχουν μέγεθος πολύ μικρότερο των διαστάσεων του εικονοστοιχείου (2,5 m για τον δέκτη CASI). Επομένως ως καθαροί στόχοι χρησιμοποιήθηκαν τα επίγεια δεδομένα ανακλαστικότητας για τα υλικά που συμμετείχαν στην περιοχή του εικονοστοιχείου, δηλαδή γύρω και επί του ελαιόδενδρου.

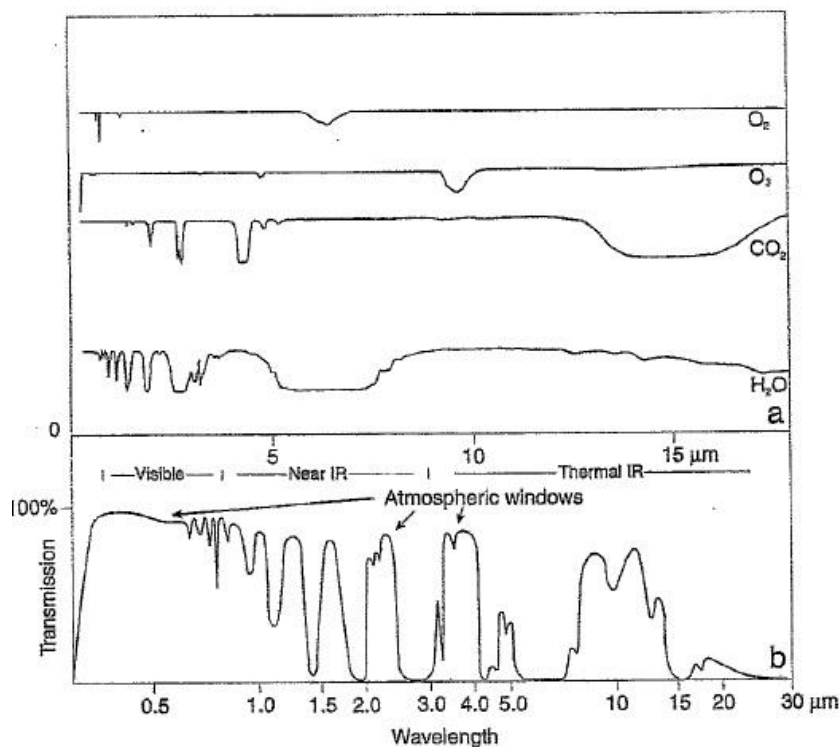
Η εκτίμηση των ποσοτών αφθονίας των καθαρών στόχων στο στοχευόμενο εικονοστοιχείο της εκάστοτε εικόνας πραγματοποιήθηκε με χρήση του αλγορίθμου Linear Spectral Unmixing, του λογισμικού ENVI. Συγκεκριμένα, ο διαχωρισμός εφαρμόστηκε στη διορθωμένη εικόνα CASI, με χρήση των δεδομένων ανακλαστικότητας για τους καθαρούς στόχους που συλλέχθηκαν από το φασματοραδιόμετρο GERως φασματική βιβλιοθήκη αναφοράς. Έτσι, εκτιμήθηκαν τα ποσοστά αφθονίας των στόχων σε κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας, τα οποία ήταν θετικά και είχαν άθροισμα μονάδα, χάρη στους περιορισμούς που εφαρμόστηκαν.

### 3.4 Επιδράσεις της Ατμόσφαιρας στις Τηλεπισκοπικές Απεικονίσεις

Μεταξύ των τηλεπισκοπικών δεκτών που λαμβάνουν εικόνες της γήινης επιφάνειας, είτε αυτοί βρίσκονται ενσωματωμένοι σε κάποιο επίγειο, εναέριο, είτε σε κάποιον δορυφορικό δέκτη, μεσολαβεί τμήμα της ατμόσφαιρας, η οποία και είναι εύλογο να επηρεάζει την παραγόμενη απεικόνιση. Σε αυτό το τμήμα άλλωστε, ανακλάται ή απορροφάται περίπου το ήμισυ της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ το έτερο μισό φτάνει στην επιφάνεια της γης, όπου ένα μέρος της ανακλάται και το υπόλοιπο απορροφάται ή μεταδίδεται σε κατώτερα στρώματα. Η επιρροή της ατμόσφαιρας στις επίγειες απεικονίσεις ουσιαστικά επηρεάζει ελάχιστα, ενώ στις εναέρια και τις δορυφορικές είναι ιδιαίτερα σημαντική και έχει αποτελέσει αντικείμενο ενδιαφέροντος ουκ ολίγων επιστημονικών ερευνών. Το 99% της ατμόσφαιρας αποτελείται από οξυγόνο και άζωτο, καθώς και άλλα αξιοσημείωτα στοιχεία, για παράδειγμα μόρια υδρατμών, διοξειδίου του άνθρακα και μεθανίου.

Μέρος των επιδράσεων της ατμόσφαιρας οφείλεται στην επιλεκτική απορρόφηση συγκεκριμένων τμημάτων της ηλιακής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από συγκεκριμένα συστατικά της. Το οξυγόνο απορροφά την ακτινοβολία στο υπεριώδες τμήμα του φάσματος, αλλά και στα 6.3 μm, ενώ το όζον, εκτός της ευεργετικής συνεισφοράς του στην απορρόφηση της υπεριώδους ακτινοβολίας, απορροφά και κοντά στα 9μm. Η σημαντικότερη απορρόφηση όμως συντελείται από το διοξείδιο του άνθρακα και τους υδρατμούς, οι οποίοι αποτρέπουν αρκετά μήκη κύματος της ορατής και υπέρυθρης ακτινοβολίας να φτάσουν στο έδαφος (βλ. εικόνα). Παρόλα τα παραπάνω, υπάρχουν και μήκη κύματος στα οποία η ακτινοβολία διαπερνάει σχεδόν ανεπηρέαστη την ατμόσφαιρα και καλούνται ατμοσφαιρικά παράθυρα. Όπως φαίνεται και στην εικόνα, τα σημαντικότερα παράθυρα λαμβάνουν χώρα:

- A. Στο ορατό και την αρχή του εγγύς υπέρυθρου τμήματος του φάσματος, το οποίο χαρακτηρίζεται κατά κύριο λόγο από 95% μετάδοση της ακτινοβολίας.
- B. Σε τρία στενά τμήματα του εγγύς υπέρυθρου περί τα 1.3, 1.6 και 2.2 μm.
- Γ. Σε δύο πλατιά κανάλια του θερμικού υπέρυθρου στα 3-5 και 8-14μm.



Διάγραμμα 12: Διαγραμματική απεικόνιση των χαρακτηριστικών απορρόφησης ορισμένων αέριων συστατικών της ατμόσφαιρας (πάνω), καθώς και της διάδοσης μέσω της ατμόσφαιρας, ως συνάρτηση του μήκους κύματος και των περιοχών των ατμοσφαιρικών παραθύρων (κάτω). (Πηγή: Gibson, 2000)

Η σκέδαση του φωτός στην ατμόσφαιρα επίσης αποτελεί κρίσιμη επίδρασή στις τηλεπισκοπικές απεικονίσεις, καθώς ενισχύει το φωτισμό. Διακρίνεται σε επιλεκτική, η οποία επηρεάζεται από το σχετικό μέγεθος των σωματιδίων και του μήκους κύματος της ακτινοβολίας και μη επιλεκτική, η οποία δεν επηρεάζεται. Η επιλεκτική σκέδαση Rayleigh, παρατηρείται όταν τα υπεύθυνα γι' αυτή σωματίδια της ατμόσφαιρας είναι τουλάχιστον κατά ένα δέκατο μικρότερα σε διαστάσεις από τα μήκη κύματος της ακτινοβολίας. Δεδομένου ότι τα κύρια συστατικά της ατμόσφαιρας, τα μόρια οξυγόνου και αζώτου, ανήκουν σε αυτή την κατηγορία, γίνεται εύκολα αντιληπτή η συχνότητα του φαινομένου. Από τα χρώματα του ορατού φάσματος, το μπλε σκεδάζεται σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό προς όλες τις κατευθύνσεις, με αποτέλεσμα ο ουρανός να φαίνεται σε αυτό το χρώμα. Επιπροσθέτως, οι δορυφορικές εικόνες παρουσιάζονται πιο θολές και με μικρότερη αντίθεση στο μπλε κανάλι, συγκριτικά με τα κανάλια μεγαλύτερου μήκους κύματος (Verbyla, 1995).

Αντιθέτως, όταν τα σωματίδια της ατμόσφαιρας προσεγγίζουν σε διαστάσεις τα μήκη κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, λαμβάνει χώρα η σκέδαση Mie, η οποία επίσης έχει ένταση αντιστρόφως ανάλογη του μήκους κύματος. Χαρακτηριστικά σωματίδια που την προκαλούν είναι αερολύματα όπως οι κόκκοι γύρης, η σκόνη και ο καπνός, με τον τελευταίο να είναι αμελητέος για τα μήκη κύματος που αφορούν την Τηλεπισκόπηση. Από την άλλη πλευρά, η μη επιλεκτική σκέδαση παρατηρείται σε αερολύματα όπως η γύρη, τα σταγονίδια και οι κρύσταλλοι χιονιού ή πάγου και στον ίδιο βαθμό για όλα τα μήκη κύματος, τα οποία είναι τουλάχιστον δέκα φορές μικρότερα (Gibson and Power, 2000).

## 4. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΕΛΙΑΣ

### 4.1 Επίγειες

Το πρώτο στάδιο της μελέτης της φασματικής ανακλαστικότητας της ελιάς αποτέλεσαν οι επίγειες μετρήσεις, οι οποίες περατώθηκαν με τη χρήση ενός φασματοραδιόμετρου χειρός GER1500 της Spectra Vista Corporation - ένα όργανο που καταγράφει την ανακλώμενη ακτινοβολία στην περιοχή του φάσματος 350-1000nm σε 512 κανάλια, με εύρος περίπου 1,5 nm (Witz et. al, 2008). Στα πλαίσια της προσπάθειας συλλογής αξιόπιστων δεδομένων υπό διαφορετικές συνθήκες, στοχεύθηκαν ελαιόδεντρα σε τρεις διαφορετικές περιοχές της Ελλάδας (Μεσσηνία, Αθήνα, Χαλκίδα) σε ένα διάστημα από το Νοέμβριο του 2015 έως τον Ιούνιο του 2016, με διαφορετική χρονική ανάλυση σε κάθε περίπτωση. Παράλληλα, στοχεύθηκαν τα στοιχεία της περιοχής των δένδρων που θα μπορούσαν να συμβάλουν στην ανακλώμενη ακτινοβολία που καταγράφεται από τους τηλεπισκοπικούς δέκτες, «νοθεύοντας» τη φασματική υπογραφή της ελιάς, όπως τα χόρτα, το χώμα και ο κορμός τους.

#### 4.1.1 Μεθοδολογία Μετρήσεων

Αρχικά, εκτυπώθηκαν αποσπάσματα από τις δορυφορικές εικόνες του λογισμικού Google Earth και σημειώθηκαν τα δένδρα τα οποία θα αποτελούσαν αντικείμενο των μετρήσεων, αφού πρώτα είχε εξακριβωθεί ότι θα ήταν ορατά και από αντίστοιχες εικόνες εναέριων ή δορυφορικών δεκτών. Στην πράξη προέκυψαν δυσκολίες στην προσέγγιση ορισμένων δένδρων, λόγω περιφράξης η οποία δεν είχε γίνει αντιληπτή, επομένως επιλέχθηκαν άλλα στη θέση τους. Παρακάτω απεικονίζονται οι τοποθεσίες των μετρήσεων. Αριστερά, οι περιοχές Ασίνη, Ζάγκα και Σέλιτσα στην Κορώνη Μεσσηνίας. Κεντρικά, τα 6 ελαιόδεντρα που στοχεύθηκαν στην Κρόνια Χαλκίδας και δεξιά, οι τρεις ελιές από το Βοτανικό Κήπο Διομήδους στο Χαϊδάρι. Οι ποικιλίες των δένδρων έγιναν γνωστές με τη βοήθεια αναλύσεων των καρπών που πραγματοποιήθηκαν στο Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

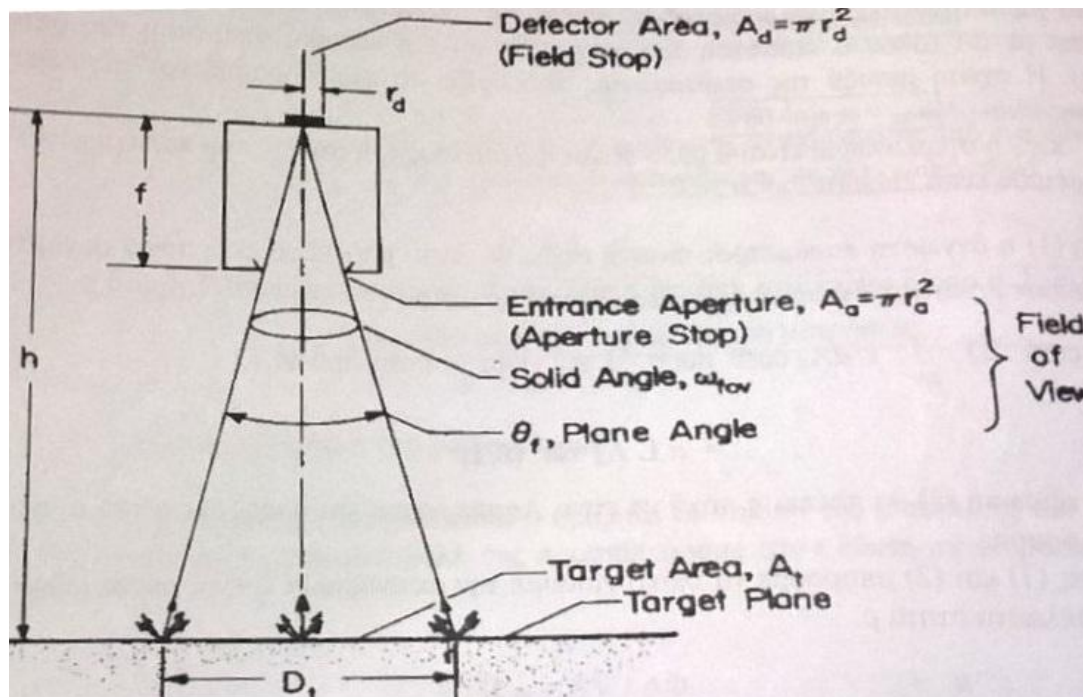


Εικόνα 13: Οι περιοχές μελέτης (Πηγή: Google Earth)

Αποφασίστηκε να τηρείται πάντα μία απόσταση γύρω στα 20 εκατοστά ανάμεσα στα φύλλα και το φασματοραδιόμετρο, έτσι ώστε να μην τα σκιάζει κατά τη μέτρηση. Η επίπεδη γωνία όρασης  $\theta$  του οργάνου ισούται με  $4^\circ$ , επομένως ήταν δυνατό να υπολογιστεί η στερεογωνία που ορίζει το πεδίο



όρασης ( $\omega_{fov} = \pi \sin^2(\theta/2) = 0.0038 \text{ sr}$ ), καθώς και η διάμετρος του στόχου που παρατηρείται από το ύψος  $h$ :  $D = 2h \tan(\theta/2) = 2 * 0.2 * \tan(2) \Rightarrow D = 0.014 \text{ m}$ .



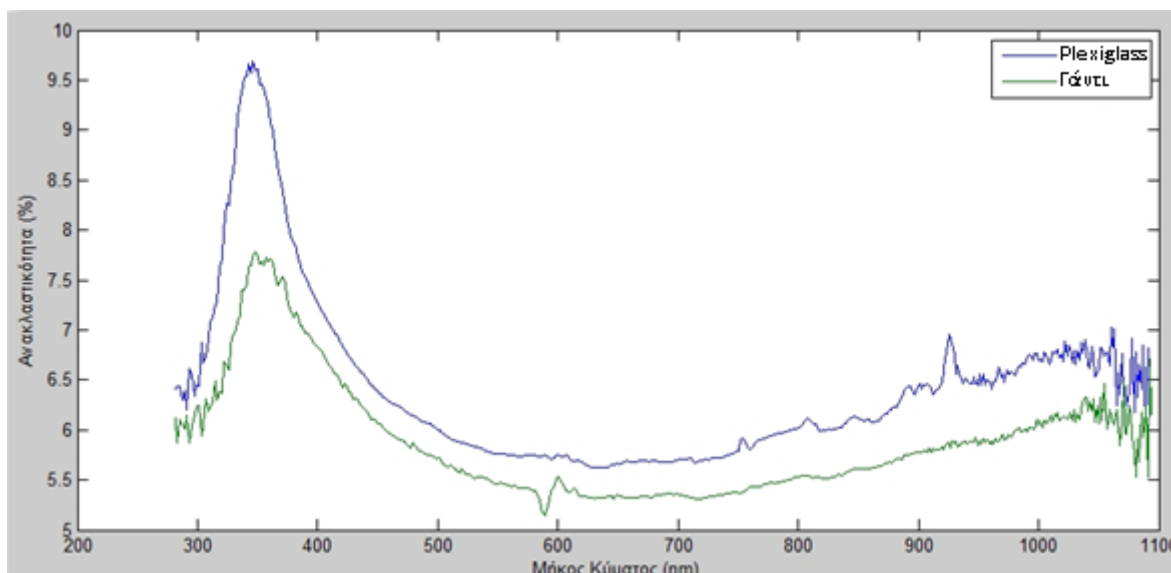
Εικόνα 14: Γραφική απεικόνιση των μεγεθών που επηρεάζουν τη διάμετρο του στόχου σε μία μέτρηση με ραδιόμετρο (Πηγή: Καραθανάση, 2014)

Οι μετρήσεις επικεντρώθηκαν στη φασματική ανακλαστικότητα των φύλλων της ελιάς, τόσο σε δυάδες που βρίσκονταν επάνω στα δένδρα, όσο και σε σωρό από φύλλα που κόβονταν εκείνη τη στιγμή. Στην πρώτη περίπτωση οι μετρήσεις ήταν απαιτητικές, καθώς τα κλαδιά ήταν συνήθως ψηλά και ήταν δύσκολο να γίνουν ορθές στοχεύσεις. Δηλαδή κάθετα, από ύψος 20 cm, χωρίς να σκιάζονται από το όργανο ή το υπόλοιπο φύλλωμα. Ως επιφάνεια αναφοράς, χρησιμοποιήθηκε μία λευκή πλάκα από Spectralon, μία θερμοπλαστική ρητίνη, η οποία παρουσιάζει υψηλή διάχυτη ανακλαστικότητα που προσεγγίζει αυτή της Λαμπετιανής επιφάνειας και θεωρείται το καταλληλότερο υλικό για επίγειες εφαρμογές τηλεπισκόπησης.



Εικόνα 15: Η λευκή πλάκα Spectralon που χρησιμοποιήθηκε ως επιφάνεια αναφοράς κατά τις μετρήσεις πεδίου. (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)

Με το ραδιόμετρο ρυθμισμένο στην ένδειξη “reference” μετρούταν η ακτινοβολία (radiance) της επιφάνειας αναφοράς και στη συνέχεια υπό την ένδειξη “target” πραγματοποιούνταν γύρω στις πέντε μετρήσεις της ακτινοβολίας του στόχου, σε εξαιρετικά σύντομο χρονικό διάστημα ούτως ώστε να παραμένουν κατά το δυνατόν ίδιες οι ατμοσφαιρικές συνθήκες. Στη συνέχεια, η ανακλαστικότητα του στόχου (reflectance) υπολογιζόταν από το πηλίκο της ακτινοβολίας του στόχου προς την επιφάνεια αναφοράς, επί 100% και με αυτό τον τρόπο, εξαλείφονταν οι επιδράσεις της ατμόσφαιρας. Οι διαιρέσεις αυτές, καθώς και η πλειονότητα των επεξεργασιών, πραγματοποιούνταν σε υπολογιστικό φύλλο Microsoft Excel, όπου μεταφερόταν το σύνολο των δεδομένων που συλλέγονταν από το φασματοραδιόμετρο, με χρήση του ειδικού λογισμικού GERread.



Διάγραμμα 13: Οι καμπύλες φασματικής ανακλαστικότητας της επιφάνειας plexiglass και των γαντιών που χρησιμοποιήθηκαν στις μετρήσεις. Αν και δεν είναι αμελητέες, δεν ξεπερνάνε σε καμία περίπτωση το 10%, οπότε η συνεισφορά τους στην καταγραφόμενη ακτινοβολία είναι ελάχιστη

Κατά τις μετρήσεις, αποφασίστηκε να χρησιμοποιείται μία επιφάνεια χαμηλής ανακλαστικότητας που θα τοποθετείται κάτω από τα φύλλα, έτσι ώστε να περιορίζεται η συνεισφορά άλλων παραγόντων στην καταγραφόμενη φασματική υπογραφή. Επιλέχθηκε μία επιφάνεια plexiglass βαμμένη με μαύρη ματ μπογιά, λόγω χαμηλότερης ανακλαστικότητας από τις έτερες επιφάνειες που δοκιμάστηκαν (μαύρο ύφασμα και μαύρο βελούδο). Για τους ίδιους λόγους, το χέρι που κρατούσε τη μαύρη επιφάνεια με τα φύλλα ντυνόταν με μαύρο γάντι latex. Ένα τμήμα της επιφάνειας κόπηκε σε σχήμα κύκλου διαμέτρου 16 χιλιοστών, λίγο μεγαλύτερου δηλαδή από τη διάμετρο του στόχου για το συγκεκριμένο ύψος μέτρησης. Σκοπός ήταν τα φύλλα που στοχεύονταν πάνω στο δένδρο να καλύπτουν την οπή, έτσι ώστε να διασφαλίζεται ότι η διάμετρος του στόχου να καλύπτεται αποκλειστικά από φωτισμένα φύλλα ελιάς παρά τη μικρή σκιά που σχηματιζόταν από το πάχος του plexiglass περιμετρικά στην τρύπα, ενώ παράλληλα με αυτό τον τρόπο επετεύχθη η οριζοντίωση των φύλλων προς μείωση της επίδρασης του παράγοντα ανακλαστικότητας πολλών διευθύνσεων.

Επιπροσθέτως, υπολογίστηκε η απόσταση του κέντρου του πεδίου στόχευσης από το σημείο στο οποίο σημαδεύει το λέιζερ του οργάνου και με βάση αυτή σχεδιάστηκε ένας ομόκεντρος κύκλος, ο οποίος υποδείκνυε κατά τη διάρκεια των μετρήσεων εάν το ραδιόμετρο στοχεύει από την κατάλληλη θέση. Σημειωτέον, λόγω βλάβης που παρουσιάστηκε κατά τις μετρήσεις στη Μεσσηνία, το λέιζερ εξέπεμπε με χαμηλή ένταση, με αποτέλεσμα να δυσκολεύεται η στόχευση, οδηγώντας τελικά στην απόρριψη αρκετών μετρήσεων.



Εικόνα 16: Η επιφάνεια plexiglass που χρησιμοποιήθηκε κατά τις επίγειες μετρήσεις ανακλαστικότητας (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)

#### 4.1.2 Τα Αποτελέσματα των Μετρήσεων

Κατά τη διάρκεια των επίγειων μετρήσεων, έγινε προσπάθεια να ληφθούν δεδομένα για τις φασματικές υπογραφές όλων των καθαρών στόχων που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την ανακλαστικότητα του φυλλώματος που μπορεί να καταγραφεί από έναν τηλεπισκοπικό δέκτη. Έτσι, στοχεύθηκαν και οι δύο πλευρές των φύλλων, σε σωρούς ή πάνω στα δένδρα, φωτισμένα ή υπό σκιά, οι κορμοί τους, καθώς και το χώμα και τα χόρτα που τα περιέβαλαν. Οι μετρήσεις των

φύλλων υπό σκιάν, κατά τις οποίες ούτε η επιφάνεια αναφοράς ούτε ο στόχος φωτίζονταν, δεν οδήγησαν σε κάποιο ασφαλές συμπέρασμα. Η ανακλαστικότητα τους άλλοτε ήταν εξαιρετικά χαμηλή, άλλοτε συνέπιπτε με αυτή των φωτισμένων φύλλων και άλλοτε ήταν υψηλότερη, ενώ εάν κάτι τη χαρακτήριζε ήταν ο πολύς θόρυβος σε αρκετές μετρήσεις, ιδιαίτερα μετά τα 900 nm. Μεταξύ των μετρήσεων φύλλων σε σωρούς και πάνω στο δένδρο, οι πρώτες παρουσίαζαν σχεδόν πάντα υψηλότερη ανακλαστικότητα. Πιθανότατα λόγω της προσθετικής ανακλαστικότητας που προερχόταν από πλήθος φύλλων, συγκριτικά με τα δύο μόλις φύλλα που στοχεύονταν πάνω στο δένδρο. Κατά τη στόχευση πάνω στο δέντρο, επιχειρήθηκε η οριζοντίωση των φύλλων, ούτως ώστε να περιοριστεί η αστάθεια του προσανατολισμού του στόχου (βλ. εικόνα 17).



Εικόνα 17: Αριστερά, απεικόνιση του τρόπου οριζοντίωσης των φύλλων επί της επιφάνειας plexiglass, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε κατά τη στόχευση επάνω στο δένδρο. Δεξιά, ο τρόπος στόχευσης σωρού φύλλων. (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)

Ο κορμός των δεδομένων φασματικής ανακλαστικότητας που συλλέχθηκαν προέρχεται από το Βοτανικό Κήπο Ιουλίας και Αλεξάνδρου Διομήδους, επί της Ιεράς Οδού στο Χαϊδάρι Αττικής. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν τις εξής ημερομηνίες: 19/11, 13/12, 20/12 του 2015 και 20/2, 26/3, 5/6 του 2016. Αρχικά ήταν επιθυμητό οι μετρήσεις να γίνονται σε τακτικά διαστήματα περίπου ενός μήνα, ωστόσο μέσα στο 2016 αυτό δεν κατέστη εφικτό, λόγω κακοκαιρίας και τεχνικών προβλημάτων του ραδιομέτρου. Παρόλα αυτά καλύφθηκαν όλες οι εποχές του χρόνου, από το φθινόπωρο έως το καλοκαίρι και παράλληλα, το μεγαλύτερο τμήμα του φαινολογικού κύκλου της ελιάς.

Είδος\Τοποθεσία	Μεσσηνία	Χαλκίδα	Χαϊδάρι
Αγριελιά			19/11, 20/12, 20/2, 26/3, 5/6
			19/11, 20/12, 20/2, 26/3, 5/6
Αμφίσσης		6/2, 4/6	
		6/2, 4/6	
Θιακή		4/6	
		4/6	
Καλαμών	9, 12/11		20/12, 26/3, 5/6
	9, 12/11		19/11, 20/12, 5/6
Κορωνέικη	9-14/11		
	9-14/11		
Μεγάρων		6/2, 4/6	20/2, 26/3, 5/6
		6/2, 4/6	19/11, 26/3, 5/6

Πίνακας 1: Συνοπτική παρουσίαση της συλλογής επίγειων δεδομένων

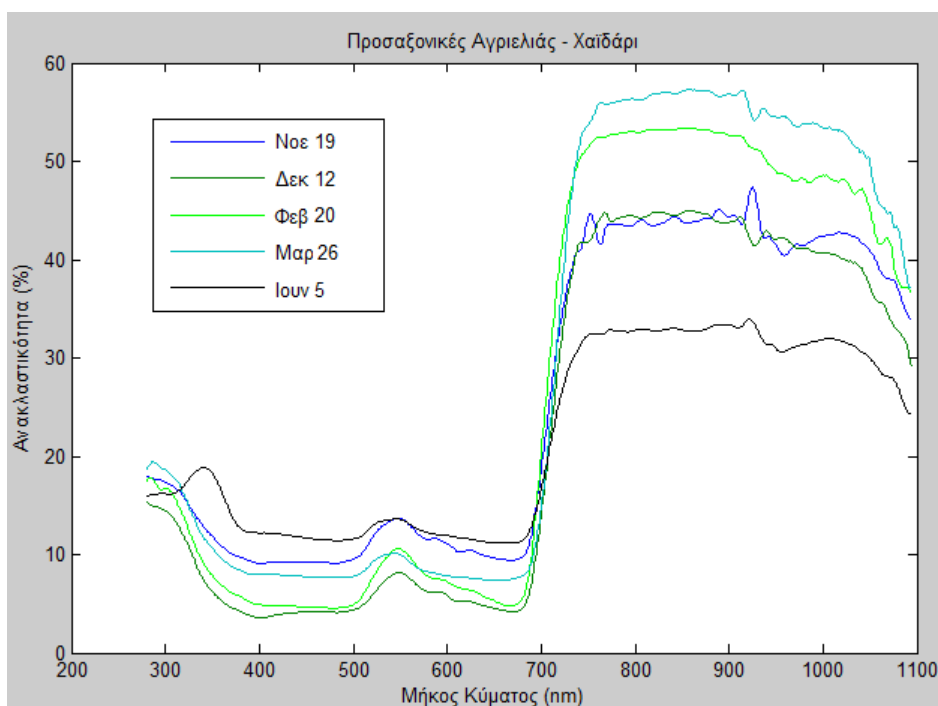


Εικόνα 18: Τα τρία ελαιόδενδρα που αποτέλεσαν αντικείμενα των μετρήσεων στο Χαϊδάρι. Αριστερά η ποικιλία Καλαμών, στο κέντρο η Μεγαρίτικη και δεξιά η Αγριελιά, με αντίστοιχα κοντινά πλάνα των φύλλων. (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)

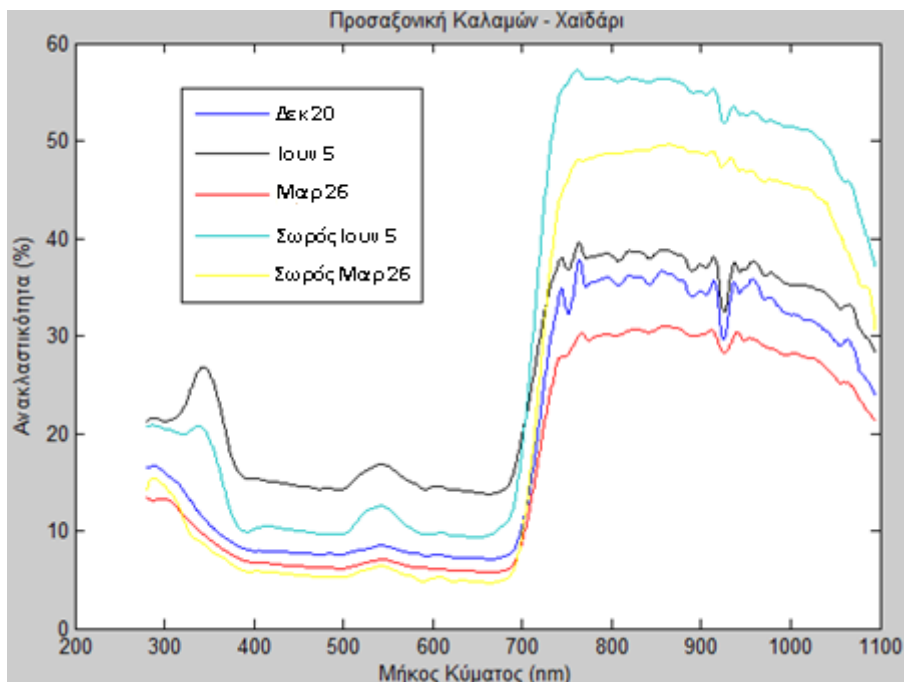
Στα διαγράμματα που ακολουθούν στη συνέχεια παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των δεδομένων ανακλαστικότητας που συλλέχθηκαν για κάθε στόχο, οι οποίοι στη συνέχεια εξομαλύνθηκαν με εφαρμογή του φίλτρου Sanitzky-Golay στο λογισμικό Matlab, έτσι ώστε να ελαττωθούν οι επιπτώσεις του θορύβου στις μετρήσεις. Όπως παρατηρείται, η προσαξονική πλευρά των φύλλων ελιάς ακολουθεί μία τυπική φασματική καμπύλη πράσινης βλάστησης. Αρχικά, στα 280 nm ανακλά γύρω στο 17% της ακτινοβολίας (κυμαίνεται μεταξύ 12-29%), για να κάνει στη συνέχεια ένα

βύθισμα γύρω στα 380nm. Στις μετρήσεις που έλαβαν χώρα τον Ιούνιο, αντί για βύθισμα εμφανίζεται μία αύξηση περίπου 10% στα 340 nm. Στη συνέχεια η ανακλαστικότητα παραμένει σταθερή στο μπλε, μέχρι να φτάσει στο πράσινο, περί τα 545 nm, όπου σχηματίζει μία κορυφή γύρω στο 12% (διακύμανση 5-20). Στο κόκκινο η ανακλαστικότητα πέφτει ξανά κοντά στο 9% (3-17).

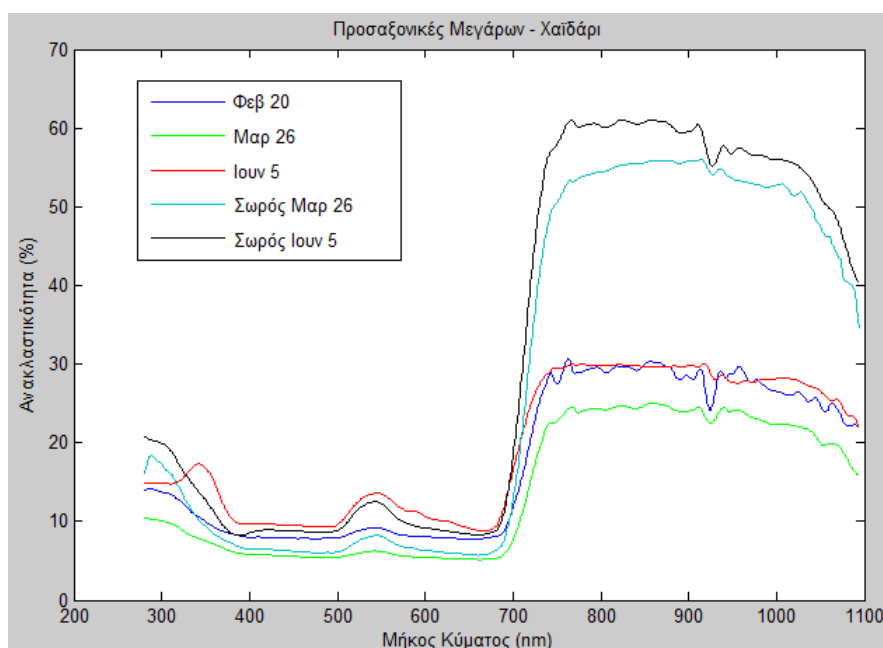
Στα όρια με την εγγύς υπέρυθη περιοχή του φάσματος, στα 680nm, αρχίζει μία απότομη αύξηση της ανακλαστικότητας, η οποία φτάνει περίπου το 40% (21-60%) στα 750nm, όπου υπάρχει και ένα κανάλι απορρόφησης της ακτινοβολίας. Παραμένει σταθερή έως τα 930nm, με σκαπανεβάσματα στις περισσότερο θορυβώδεις μετρήσεις, όπου παρουσιάζεται άλλο ένα κανάλι απορρόφησης υδρατμών και στη συνέχεια φθίνει αργά έως τα 1080nm, σε βαθμό που ποικίλει από διάγραμμα σε διάγραμμα. Το συγκεκριμένο μοτίβο ακολουθείται στις φασματικές υπογραφές και των τριών δένδρων που στοχεύθηκαν, παρά το γεγονός ότι προέρχονται από διαφορετικές ποικιλίες ελαιόδενδρων (Αγριελιά, Καλαμών και Μεγάρων). Επιβεβαιώνεται ακόμη σε πολλά διαγράμματα η διαπίστωση του Cochrane (2000),ότι είναι δυνατό δύο φασματικές υπογραφές του ίδιου φυτού να παρουσιάζουν διαφορετική απόκλιση στο ορατό από ό,τι στο υπέρυθρο τμήμα του φάσματος (βλ. διάγραμμα 2). Για παράδειγμα, η ανακλαστικότητα της προσαξονικής πλευράς των φύλλων της αγριελιάς το Μάρτιο είναι χαμηλότερη από την αντίστοιχη του Νοεμβρίου στο ορατό, αλλά υψηλότερη στο υπέρυθρο.



Διάγραμμα 14: Οι φασματικές υπογραφές της προσαξονικής πλευράς των φύλλων της αγριελιάς. Οι μετρήσεις επάνω στο δένδρο ήταν αδύνατες λόγω του μικρού μεγέθους των φύλλων, οπότε όλες προέρχονται από σωρούς. Η μέτρηση στις 26 Μαρτίου πραγματοποιήθηκε σε διαφορετική αγριελιά του Βοτανικού Κήπου



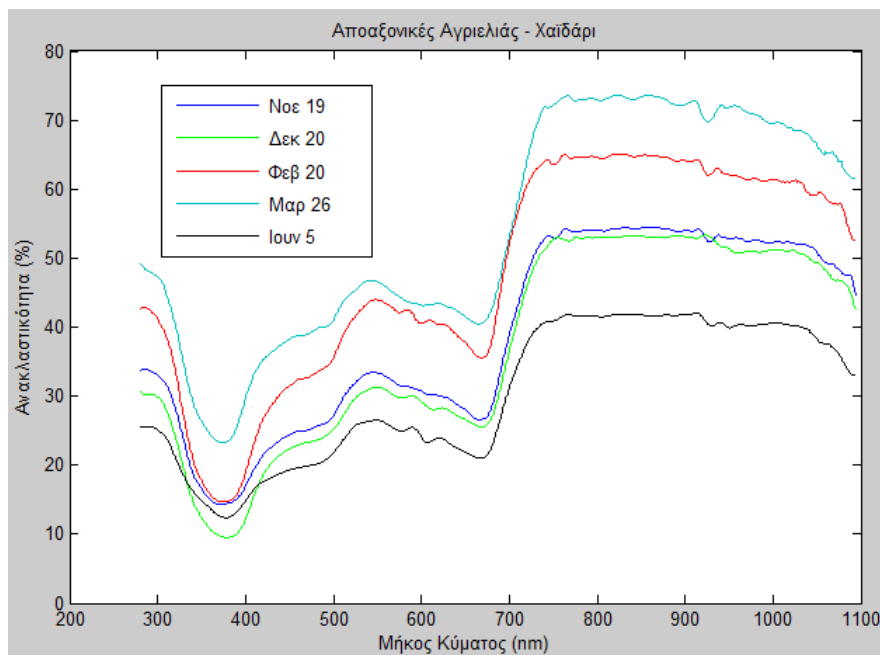
Διάγραμμα 15: Απεικόνιση των φασματικών υπογραφών της ποικιλίας Καλαμών, όπως καταγράφηκαν από το φασματοραδιόμετρο.



Διάγραμμα 16: Φασματικές καμπύλες των φύλλων της ποικιλίας Μεγάρων.

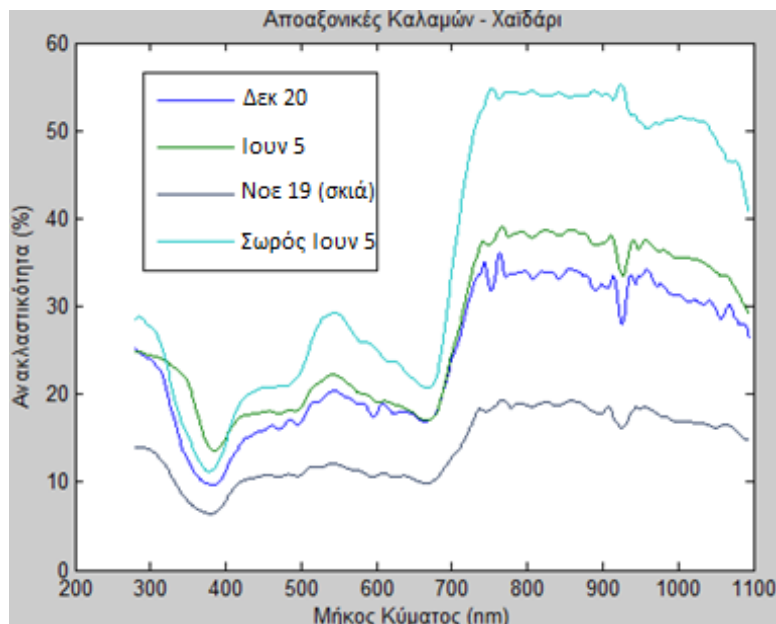
Όσον αφορά την αποαζονική πλευρά των φύλλων, οι φασματικές υπογραφές διαφέρουν από τις τυπικές της βλάστησης στο ορατό φάσμα, όπως είναι φυσικά αντιληπτό και με γυμνό μάτι, αφού διαθέτουν ένα χαρακτηριστικό αργυρόλευκο χρώμα. Στα υπόλοιπα μήκη κύματος ωστόσο δεν υπάρχουν εμφανείς διαφορές σε σχέση με την προσαζονική πλευρά. Συγκεκριμένα στα 280nm ανακλάται περί το 25% της ακτινοβολίας (5-55%) και ακολουθεί το γνωστό βύθισμα στα 380nm, με εξαίρεση εδώ τρεις καλοκαιρινές μετρήσεις. Ακολούθως, στο μπλε (470nm) παρουσιάζεται μία σταδιακή αύξηση έως το 15% περίπου (10-40%), η οποία συνεχίζεται

εντονότερα στο όριο με το πράσινο και προσεγγίζει το 20% (10-45%) στα 545nm. Στο κόκκινο η ανακλαστικότητα μειώνεται ελάχιστα κατά 1-5%, παραμένοντας συνήθως σε υψηλότερα επίπεδα από αυτά της μπλε. Στη συνέχεια, δεν θα μπορούσε να λείπει η κόκκινη ακμή, ωστόσο είναι λιγότερο έντονη από ό,τι στην προσαξονική πλευρά, λόγω της υψηλότερης κόκκινης ανακλαστικότητας και περιορίζει την αύξηση της ανακλαστικότητας στο διπλάσιο περίπου (17-72%). Η συμπεριφορά του διαγράμματος ανακλαστικότητας από εκείνο το σημείο και μετά είναι πανομοιότυπη με αυτή της προσαξονικής πλευράς των φύλλων και στις περισσότερες περιπτώσεις στην ίδια ένταση. Πάντως το φαινόμενο να υπερτερεί η αποαξονική πλευρά έναντι της προσαξονικής ήταν συνηθέστερο από το αντίθετο.

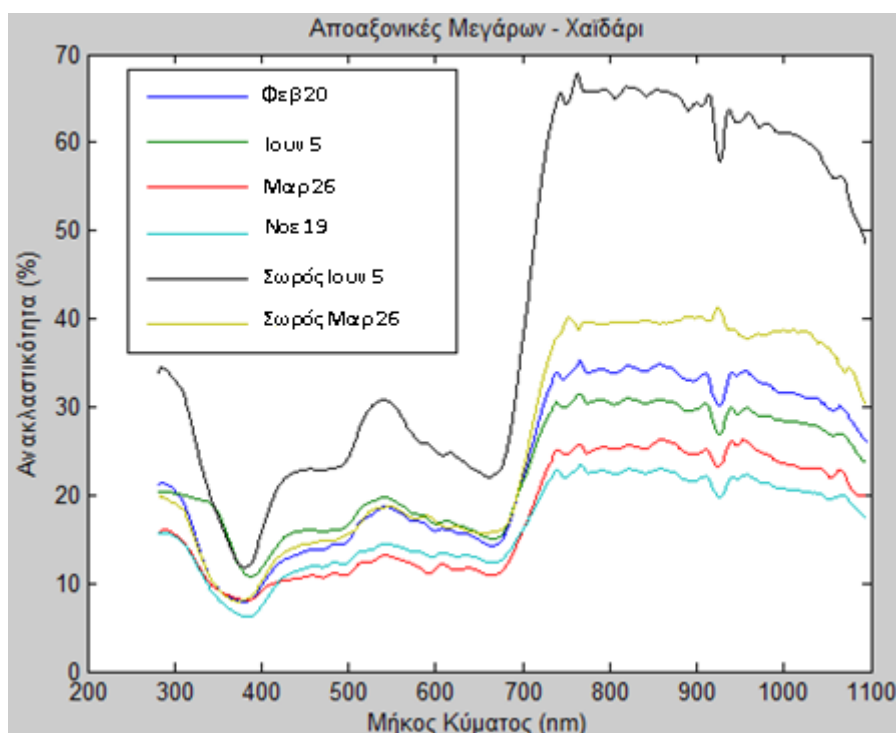


Διάγραμμα 17: Οι φασματικές υπογραφές που συλλέχθηκαν από σωρούς φύλλων αγκριελιάς στραμμένων προς την αποαξονική πλευρά. Όλες φαίνονται όμοιες, όμως στις 20/2 και 26/3 το βύθισμα που εμφανίζεται στα 380 nm είναι μάλλον δυσανάλογα μεγάλο.





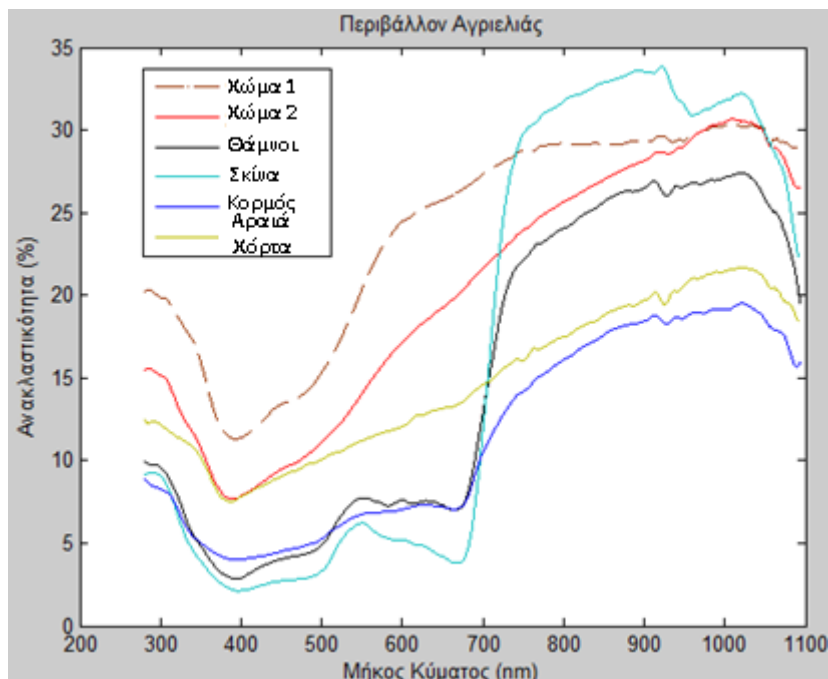
Διάγραμμα 18: Οι φασματικές υπογραφές της αποαξονικής πλευράς των φύλλων της ποικιλίας Καλαμών. Τα φύλλα που μετρήθηκαν στις 19/11 υπό σκιά εμφάνισαν, εύλογα, πολύ χαμηλή ανακλαστικότητα.



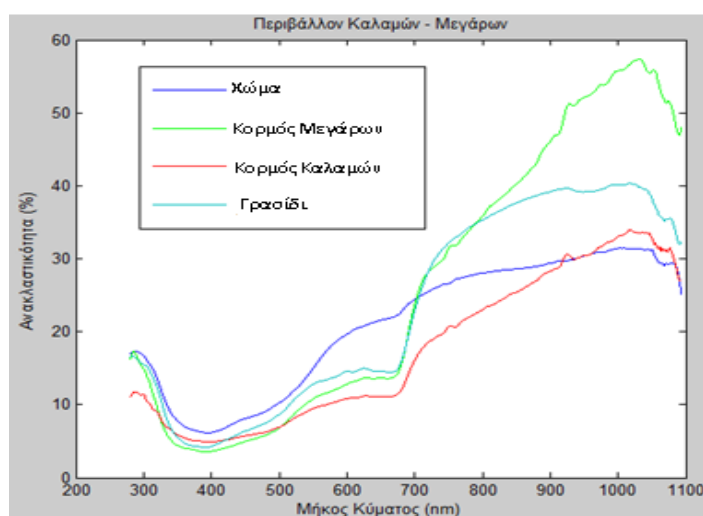
Διάγραμμα 19: Απεικόνιση των φασματικών υπογραφών της αποαξονικής πλευράς των φύλλων της ποικιλίας Μεγάρων.

Όπως προαναφέρθηκε, παράλληλα με τις μετρήσεις ανακλαστικότητας των φύλλων ελιάς, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις και άλλων στοιχείων του περιβάλλοντος, όπως χώματος, χόρτων και των κορμών των δένδρων. Όπως παρατηρείται παρακάτω, τα σκίνα προσεγγίζουν τη φασματική υπογραφή της προσαξονικής πλευράς των φύλλων της ελιάς, με τη διαφορά ότι παρουσιάζουν προοδευτική αύξηση της ανακλαστικότητας στο εγγύς υπέρυθρο τμήμα του φάσματος αντί να τη διατηρήσουν σταθερή. Οι θάμνοι ακολουθούν τα σκίνα, με υψηλότερη

όμως ανακλαστικότητα στο μπλε και το κόκκινο, ενδεχομένως λόγω της εντονότερης παρουσίας σκόνης. Ο κορμός προσεγγίζει αρκετά τους θάμνους στο ορατό φάσμα, με χαμηλότερη ανακλαστικότητα στο πράσινο, αλλά φυσικά δεν παρουσιάζει έντονη κόκκινη ακμή και διαφοροποιείται στο εγγύς υπέρυθρο, αν και ακολουθεί παράλληλη πορεία. Σε αυτό το σημείο να επισημανθεί ότι οι στοχεύσεις των κορμών ήταν αρκετά απαιτητικές και αμφισβητούμενης ακρίβειας, λόγω σκίασης από το φύλλωμα ή δυσκολίας πρόσβασης. Τα αραιά χόρτα δεν θυμίζουν σε τίποτα βλάστηση, ενώ διαφέρουν και από το χόμα, γεγονός που οφείλεται πιθανότατα στη συνύπαρξη ξερών χόρτων και χώματος στη στοχευόμενη επιφάνεια.



Διάγραμμα 20: Απεικόνιση των καθαρών στόχων που μπορεί να επηρεάζουν την καταγραφόμενη φασματική υπογραφή της αγριελιάς. Όλα τα διαγράμματα προέρχονται από τις 5/6 και είναι αντιπροσωπευτικά του συνόλου των μετρήσεων, εκτός από αυτό του κορμού, ο οποίος αναγκαστικά μετρήθηκε στις 26/3 σε διαφορετική αγριελιά



Διάγραμμα 21: Τα ελαιόδενδρα Καλαμών και Μεγάρων γειτνιάζουν, επομένως το περιβάλλον τους είναι κοινό. Το χόμα και οι κορμοί εμφανίζουν παρόμοιες φασματικές υπογραφές με τις αντίστοιχες της αγριελιάς, ενώ το γρασίδι προσεγγίζει αυτή των θάμνων. Εντύπωση προκαλούν τα διαγράμματα των κορμών, λόγω υψηλής κλίσης στο εγγύς υπέρυθρο.

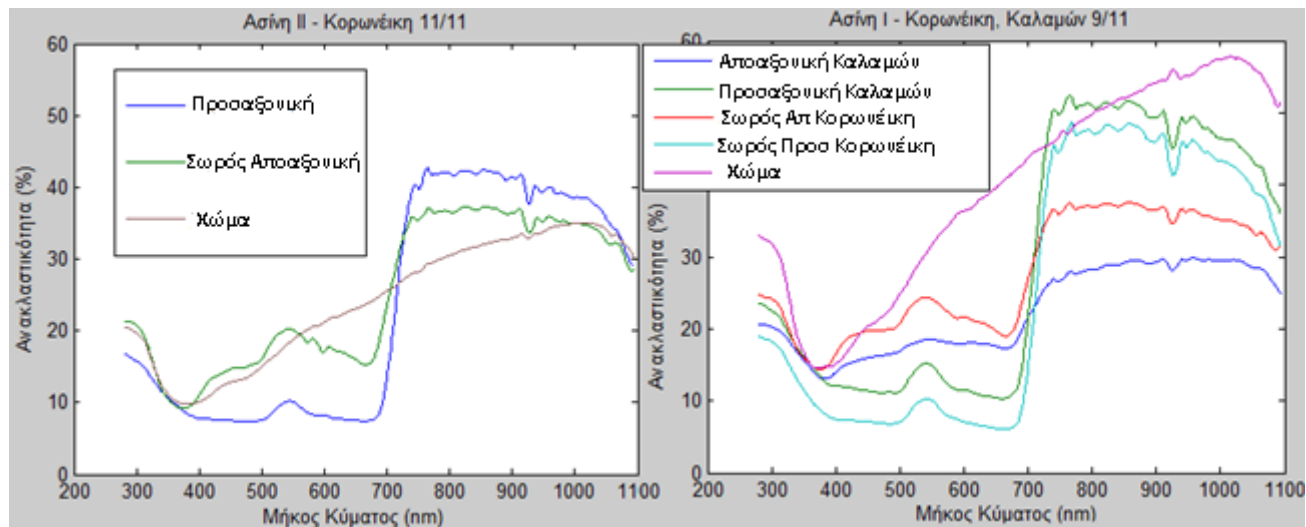
Οι πρώτες μετρήσεις χρονικά πραγματοποιήθηκαν στη Μεσσηνία, διότι εκεί υπήρχε απρόσκοπτη πρόσβαση σε τέσσερις ελαιώνες με γνωστές τις ποικιλίες των δένδρων, οι οποίες διακρίνονταν σε Κορωνέικες και Καλαμών. Διεξάχθηκαν μεταξύ 9 και 14 Νοεμβρίου του 2015, υπό συνθήκες ηλιοφάνειας, στις 11:30-13:00 ώρα Ελλάδος. Στην Ασίνη στοχεύθηκαν μία Κορωνέικη και μία Καλαμών στον πρώτο ελαιώνα, καθώς και μία Κορωνέικη στο δεύτερο. Στην τοποθεσία Ζάγκα στοχεύθηκε μία Κορωνέικη, ενώ στη Σέλιτσα μία Κορωνέικη και μία Καλαμών.



Εικόνα 19: Άποψη δύο εκ των ελαιόδενδρων που μετρήθηκαν στη Μεσσηνία, του περιβάλλοντός τους και των φύλλων τους σε εστίαση. Αριστερά, η Κορωνέικη στον πρώτο ελαιώνα στην Ασίνη και δεξιά, η Καλαμών στη Σέλιτσα (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)

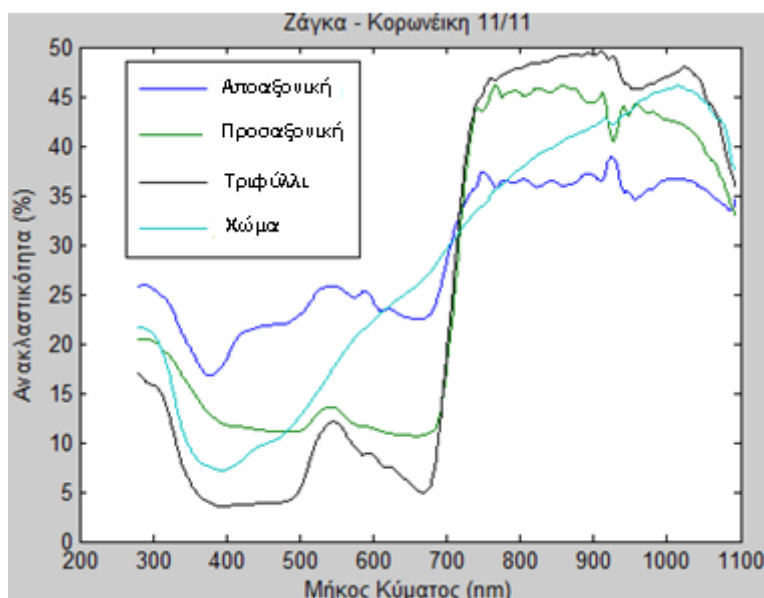
Η συμπεριφορά των διαγραμμάτων ανακλαστικότητας των ελαιόδενδρων στην Ασίνη δεν διαφέρει ιδιαίτερα από την αντίστοιχη εκείνων του Βοτανικού Κήπου. Ελαφρώς προβληματική φαίνεται η μέτρηση της αποαξονικής πλευράς της Καλαμών, διότι δεν ξεπερνά το 30% στο εγγύς υπέρυθρο, ενώ σε εκείνο το σημείο παρουσιάζει και μια σταδιακή αύξηση που δεν συνηθίζεται. Όσο για το χρώμα, ακολουθεί το γνωστό μοτίβο ανακλαστικότητας. Ύστερα από το βύθισμα στα 380nm που είναι κοινό με αυτό των φύλλων, ανεβαίνει σταθερά έως τα 1020 nm (60% στον πρώτο ελαιώνα, 40% στο δεύτερο) και στη συνέχεια πέφτει, όπως και τα υπόλοιπα διαγράμματα. Λίγο πριν τα 600nm υπάρχει ένα σημείο καμπής, ύστερα από το οποίο μειώνεται η κλίση του διαγράμματος

και, ως αποτέλεσμα, ο ρυθμός αύξησης της ανακλαστικότητας. Αν και στις συγκεκριμένες φασματικές υπογραφές δεν είναι ιδιαίτερα αισθητό, δεν ισχύει το ίδιο και σε άλλες περιπτώσεις.



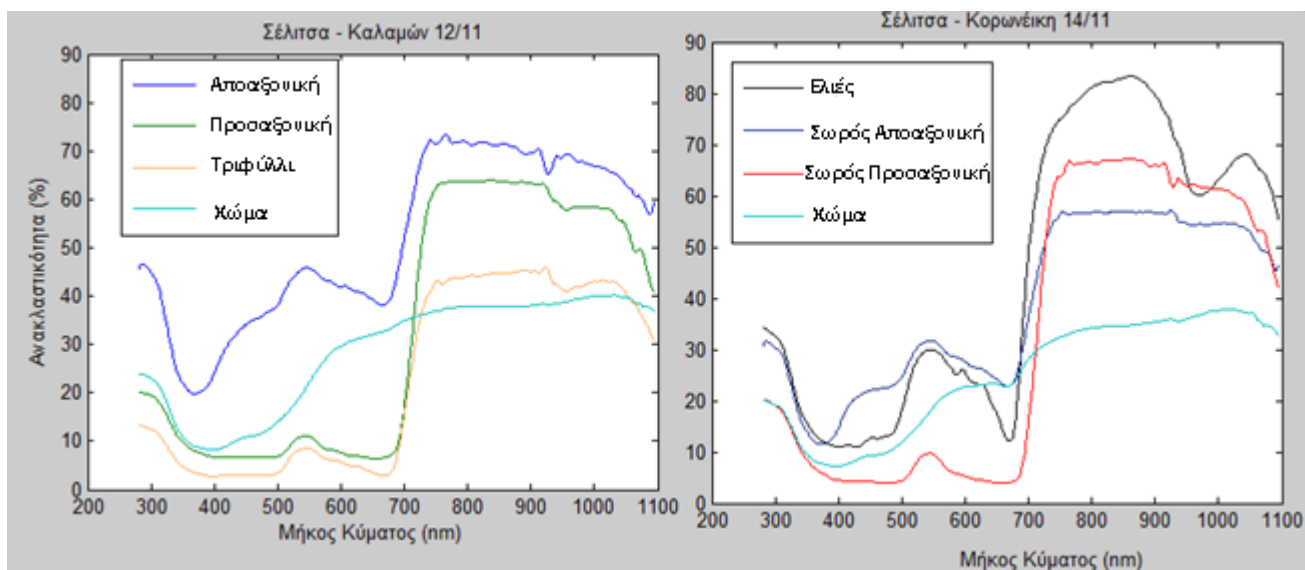
Διάγραμμα 22: Οι φασματικές υπογραφές που συλλέχθηκαν από τον πρώτο (δεξιά) και το δεύτερο (αριστερά) ελαιώνα στην Ασίνη

Στην τοποθεσία Ζάγκα, μετρήθηκαν οι ακόλουθοι στόχοι. Ειδικά εδώ μπορεί να γίνει αντιληπτή η διακύμανση που μπορεί να παρατηρηθεί στην ένταση της κόκκινης ακμής μεταξύ προσαξονικής και αποαξονικής πλευράς. Συγκεκριμένα, η ανακλαστικότητα της προσαξονικής αυξάνεται από 10 σε 45%, ενώ της αποαξονικής ξεκινά από 25% και φτάνει επίσης στο 35%. Επίσης διακρίνεται καθαρά η διαφοροποίηση του γρασιδιού από την προσαξονική πλευρά: Έχει γενικά χαμηλότερη ανακλαστικότητα στο ορατό φάσμα, με εξαίρεση το πράσινο, όπου σχηματίζει μία πιο έντονη κορυφή συγκριτικά με τα φύλλα ελιάς. Στη συνέχεια, στο εγγύς υπέρυθρο τμήμα του φάσματος και πιο συγκεκριμένα μεταξύ 750-930 nm ξεχωρίζει ξανά, παρουσιάζοντας μία μικρή αύξηση ανακλαστικότητας, σε αντίθεση με αυτή των φύλλων που συνήθως διατηρείται σταθερή.



Διάγραμμα 23: Τα διαγράμματα φασματικής ανακλαστικότητας της Κορωνέικης ποικιλίας που στοχεύθηκε στην τοποθεσία Ζάγκα, αλλά και του περιβάλλοντός της.

Στη Σέλιτσα τόσο τα διαγράμματα των φύλλων ελιάς, όσο και του τριφυλλιού συμφωνούν με τα προηγούμενα, ενώ το χώμα παρουσιάζει έντονο σημείο καμπής κοντά στα 600 nm, για να συνεχίσει την αύξηση της ανακλαστικότητας, αλλά με μικρότερη ένταση. Μάλιστα, επειδή τη στιγμή των μετρήσεων λάβαινε χώρα η συγκομιδή της Κορωνέικης ελιάς, δόθηκε η ευκαιρία να στοχευθεί ένας σωρός από ελιές, η ανακλαστικότητα των οποίων αναπαριστάται παρακάτω. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί, μέχρι το πράσινο ακολουθεί τη φασματική υπογραφή της προσαξονικής πλευράς των φύλλων, στο πράσινο ταυτίζεται με την αποαξονική πλευρά και στο κόκκινο μειώνεται στο 1/3 (10% από 30%). Σχηματίζει έντονη κόκκινη ακμή (από 10% σε 70%) και στη συνέχεια ακολουθεί μία χαρακτηριστική καμπύλη, η οποία κορυφώνεται κοντά στα 860 nm. Στη συνέχεια πραγματοποιεί ένα βύθισμα στα 970 nm που λογικά οφείλεται σε κάποιον παράγοντα απορρόφησης ακτινοβολίας και τέλος, ακολουθεί τη γνωστή πτωτική πορεία μετά τα 1020 nm.



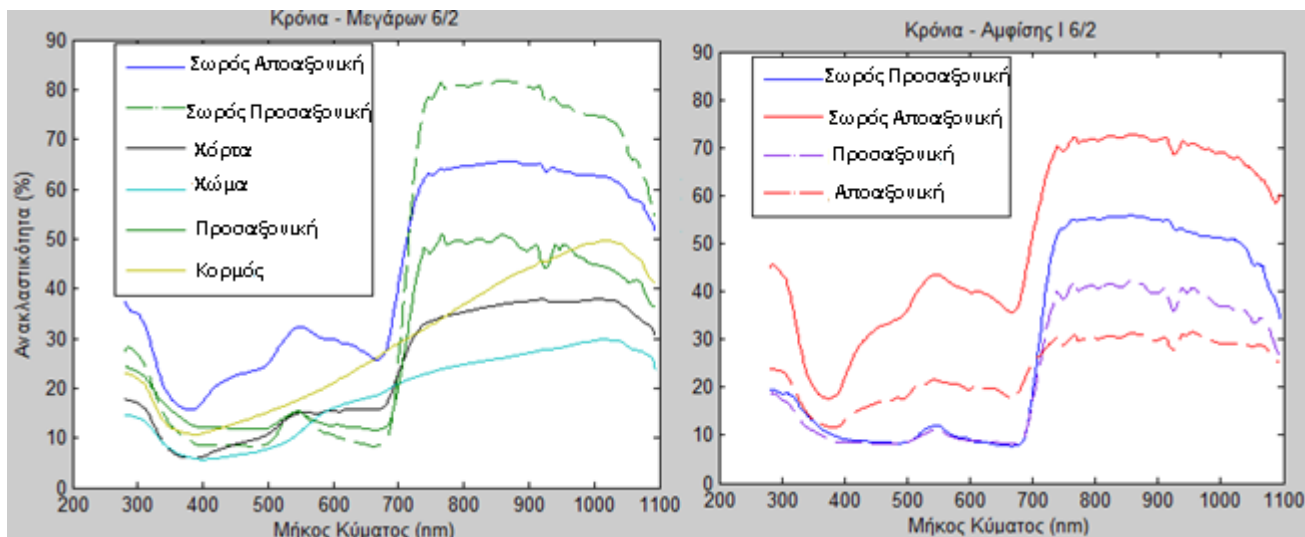
Διάγραμμα 24: Οι φασματικές υπογραφές που συλλέχθηκαν στην τοποθεσία Σέλιτσα από ελαιόδενδρο ποικιλίας Καλαμών (αριστερά) και Κορωνέικης (δεξιά)

Ως επιπρόσθετη περιοχή μετρήσεων επιλέχθηκε η Κρόνια Χαλκίδας, διότι από εκεί υπήρχαν η προγενέστερη εικόνα από τον αερομεταφερόμενο δέκτη CASI, από τις 2/2/2006. Με την παραδοχή βέβαια ότι μετά από τόσα έτη που μεσολάβησαν θα ήταν αδύνατο να επιτευχθούν ίδιες ατμοσφαιρικές συνθήκες, πραγματοποιήθηκαν επίγειες μετρήσεις σε κοντινή περίοδο, στις 6/2/2016, ενώ ακολούθησαν και ορισμένες καλοκαιρινές στις 4/6/2016. Εν τω μεταξύ, οι ελιές είναι αιωνόβια δένδρα κι επομένως η κατάστασή τους δεν διαφοροποιήθηκε ιδιαίτερα σε αυτό το διάστημα. Δυστυχώς, στην περιοχή μολονότι υπάρχουν αρκετοί ελαιώνες, οι περισσότεροι ήταν περιφραγμένοι και απροσπέλαστοι, με αποτέλεσμα μόνο δύο από τις πέντε ελιές που στοχεύθηκαν να βρίσκονται στο επικαλυπτόμενο τμήμα των εικόνων και πιο συγκεκριμένα η Αμφίσσης Ι και η Θιακή, οι οποίες απεικονίζονται παρακάτω, μαζί με τη Μεγάρων.



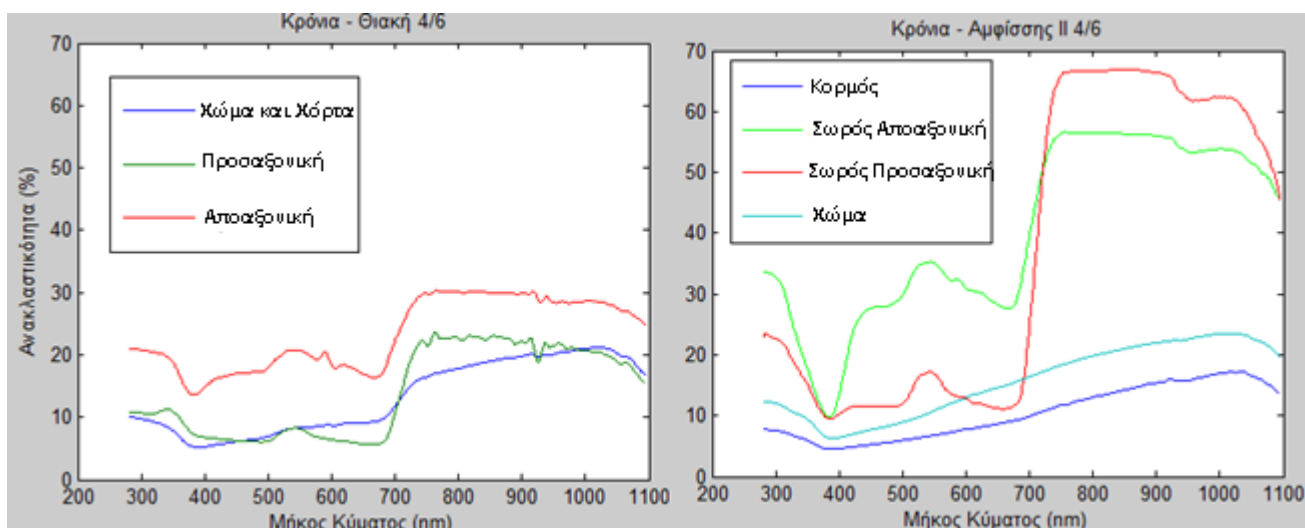
Εικόνα 20: Ενδεικτικές λήψεις από τις ποικιλίες ελιάς που στοχεύθηκαν στην Κρόνια. Αριστερά, η πρώτη Αμφίσησης. Στο κέντρο η Μεγάρων. Δεξιά η Θιακή, η οποία όπως είναι εμφανές δεν την έχουν περιποιηθεί στο ελάχιστο και έχει κατακλυστεί από αγριόχορτα (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)

Στις 6 Φεβρουαρίου του 2016, στοχεύθηκαν τρία ελαιόδενδρα, τα μόνα προσπελάσιμα στην περιοχή των εικόνων. Από αυτά, τα δύο είναι Μεγαρείτικης ποικιλίας και στον ίδιο ελαιώνα, οπότε απεικονίζονται ως ένα, ενώ το τρίτο βρίσκεται σε άλλο ελαιώνα και είναι ποικιλίας Αμφίσησης. Αξιοσημείωτο είναι στο περιβάλλον του πρώτου ελαιώνα, ότι τα χόρτα παρουσιάζουν υψηλότερη ανακλαστικότητα στο ορατό φάσμα σε σχέση με προηγούμενα διαγράμματα, προσεγγίζοντας το 15% στο πράσινο και το κόκκινο, αλλά και 10% στο μπλε. Επίσης ο κορμός, δεν σχηματίζει κόκκινη ακμή όπως σε άλλες περιπτώσεις, ενώ το μόνο ίσως χαρακτηριστικό που το διαχωρίζει από μία φασματική υπογραφή χρώματος χωρίς σημείο καμπής στα 600 nm, είναι πάλι ένα σημείο καμπής, στα 760nm περίπου, μετά το οποίο αυξάνεται η κλίση του διαγράμματος ανακλαστικότητας. Πιθανότατα αυτή η φασματική υπογραφή είναι ορθότερη, για ένα σημείο του δένδρου που συνήθως βρισκόταν εξ' ολοκλήρου στη σκιά και η στόχευσή του ήταν αρκετά απαιτητική. Γίνονται εμφανείς επίσης οι διαφορές μεταξύ ίδιων μετρήσεων φύλλων σε δυάδες πάνω στο δένδρο και σε σωρούς, με τις τελευταίες να είναι συνήθως καθαρότερες, με λιγότερο θόρυβο και αρκετά υψηλότερη ανακλαστικότητα.



Διάγραμμα 25: Τα διαγράμματα φασματικής ανακλαστικότητας που προέκυψαν από τις μετρήσεις στην Κρόνια στις 6/2. Αριστερά παρουσιάζονται του πρώτου ελαιώνα με τις δύο Μεγαρίτικες και δεξιά του δεύτερου με την ποικιλία Αμφίσσης.

Στις αντίστοιχες καλοκαιρινές επίγειες μετρήσεις, στοχεύθηκε ένα επιπλέον δένδρο από το επικαλυπτόμενο κομμάτι των εικόνων, Θιακής ποικιλίας, καθώς και ένα ακόμα ποικιλίας Αμφίσσης, σε διαφορετικό ελαιώνα έκαστο. Εύκολα παρατηρείται ότι τα αποτελέσματα δεν διαφέρουν από αυτά που έχουν αναλυθεί στις προηγούμενες μετρήσεις, με εξαίρεση μόνο τη Θιακή, όπου παρατηρείται αρκετά μικρή ανακλαστικότητα στο υπέρυθρο. Ιδιαίτερα χαμηλή επίσης είναι η ανακλαστικότητα του χώματος και του κορμού, γεγονός που παρατηρήθηκε και σε άλλες περιπτώσεις.



Διάγραμμα 26: Οι καλοκαιρινές φασματικές υπογραφές που συλλέχθηκαν στην περιοχή Κρόνια Χαλκίδας στις 4/6/2016. Αριστερά η Θιακή ποικιλία και δεξιά η Αμφίσσης.

Συνοψίζοντας, κάθε υλικό που στοχεύθηκε αποτύπωνε μία φασματική υπογραφή, της οποίας το μοτίβο δεν άλλαζε σημαντικά όταν μεταβάλλονταν οι διάφορες συνθήκες μέτρησης. Αντίθετα, το ακριβές ύψος της ανακλαστικότητας διαφοροποιείτο συνεχώς, ακόμα και κατά τη διάρκεια της ίδιας ομάδας μετρήσεων (με την ίδια δηλαδή στόχευση της επιφάνειας αναφοράς). Σε αυτό το σημείο λοιπόν, κρίνεται αναγκαίο να παρουσιαστεί ο παρακάτω πίνακας, στον οποίο

αναγράφονται συνολικά οι αποκλίσεις και οι μέσοι όροι της ανακλαστικότητας των στόχων που παρατηρήθηκαν κατά τη διάρκεια των επίγειων μετρήσεων σε διαφορετική περιοχή, χρονική στιγμή, αλλά και σε διαφορετικές ποικιλίες ελιάς, για κάθε τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Από την καταγραφή αυτή απουσιάζουν ακραίες περιπτώσεις εξαιρετικά χαμηλής ή υψηλής ανακλαστικότητας.

Στόχος / Τμήμα του Φάσματος	Υπεριώδες	Μπλε	Πράσινο	Κόκκινο	Υπέρυθρο
Προσαξονική	14% (7-30%)	10% (5-17%)	11% (5-20%)	9% (4-17%)	43%(20-79%)
Αποαξονική	22% (8-58%)	20%(10-48%)	26%(11-55%)	24%(10-51%)	44%(21-81%)
Κορμός	10% (5-20%)	8% (5-16%)	10% (6-20%)	12% (7-27%)	24%(10-56%)
Ελιές	23% (8-43%)	13% (8-18%)	23%(11-43%)	18% (9-33%)	70%(47-94%)
Χόρτα	10% (2-21%)	5% (2-14%)	10% (3%-18%)	9% (2-18%)	38%(21-60%)
Χώμα	14% (6-35%)	10% (6-27%)	17% (8-39%)	25%(12-49%)	32%(16-62%)

*Πίνακας 2:Καταγραφή στατιστικών στοιχείων που αφορούν στην ανακλαστικότητα των διαφόρων υλικών που στοχεύθηκαν κατά τις επίγειες μετρήσεις. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η σύγκριση της προσαξονικής με την αποαξονική πλευρά των φύλλων ελιάς στο υπέρυθρο κομμάτι, όπου επιβεβαιώνεται η ταύτιση που είχε παρατηρηθεί, με την αποαξονική να δίνει ανεπαίσθητα υψηλότερες τιμές. Επίσης, τα χόρτα προσεγγίζουν σε μεγάλο βαθμό τις τιμές της προσαξονικής, έχοντας ελαφρώς χαμηλότερη ανακλαστικότητα σε όλο το φάσμα πλην του κόκκινου τμήματός του.*

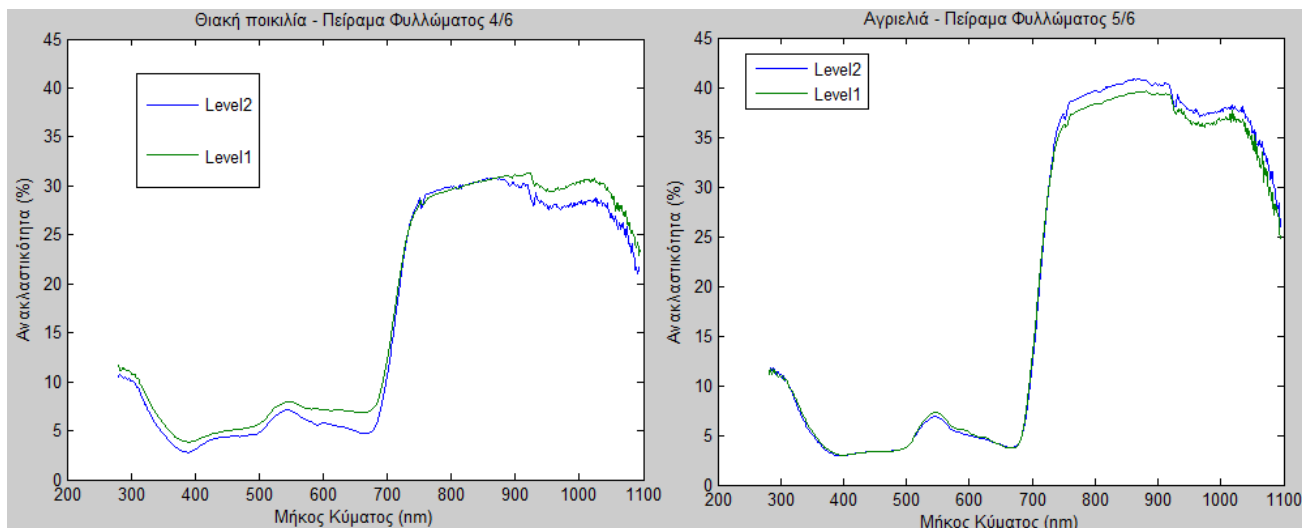
Παράλληλα, τον Ιούνιο αποφασίστηκε να διενεργηθεί ένα πείραμα, που σκοπό είχε να οδηγήσει σε διαπιστώσεις σχετικά με την ποσοτική επιρροή της προσθετικής ανακλαστικότητας που προκαλείται όταν στοχεύονται δένδρα με διαδοχικά στρώματα φύλλων. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, ήταν στόχευση του φυλλώματος δύο δένδρων, της Αγριελιάς στο Χαϊδάρι και της Θιακής ποικιλίας στην Κρόνια, σε δύο διαφορετικά επίπεδα: Στο επίπεδο 1 στοχεύθηκαν τα χαμηλότερα κλαδιά, ενώ στο επίπεδο 2 η στόχευση έγινε από μεγαλύτερο ύψος.



Εικόνα 21: Απεικόνιση της θέσης των κλαδιών που στοχεύθηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος στην Αγριελιά του Βοτανικού Κήπου (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)



Σημειωτέον, οι μετρήσεις περατώθηκαν με χρήση φασματοραδιομέτρου χειρός, ενώ η τοπογραφία ή το μέγεθος των δένδρων δεν επέτρεπαν τη στόχευση από τρίτο επίπεδο. Ασφαλώς τόσο συμπεράσματα δεν δύνανται να προκύψουν από τέτοιο όγκο παρατηρήσεων. Μελετώντας τις φασματικές υπογραφές που προέκυψαν από τους μέσους όρους των μετρήσεων, η μόνη παρατήρηση που μπορεί να γίνει, είναι ότι και στα δύο επίπεδα υπάρχει επιρροή από τα χόρτα του εδάφους στο υπέρυθρο τμήμα του φάσματος (προοδευτική αύξηση ανακλαστικότητας), με την επίδραση αυτή να είναι φυσιολογικά εντονότερη στο πρώτο επίπεδο, λόγω εγγύτητας, αλλά και μεγαλύτερου ποσοστού κάλυψης της στοχευόμενης επιφάνειας.



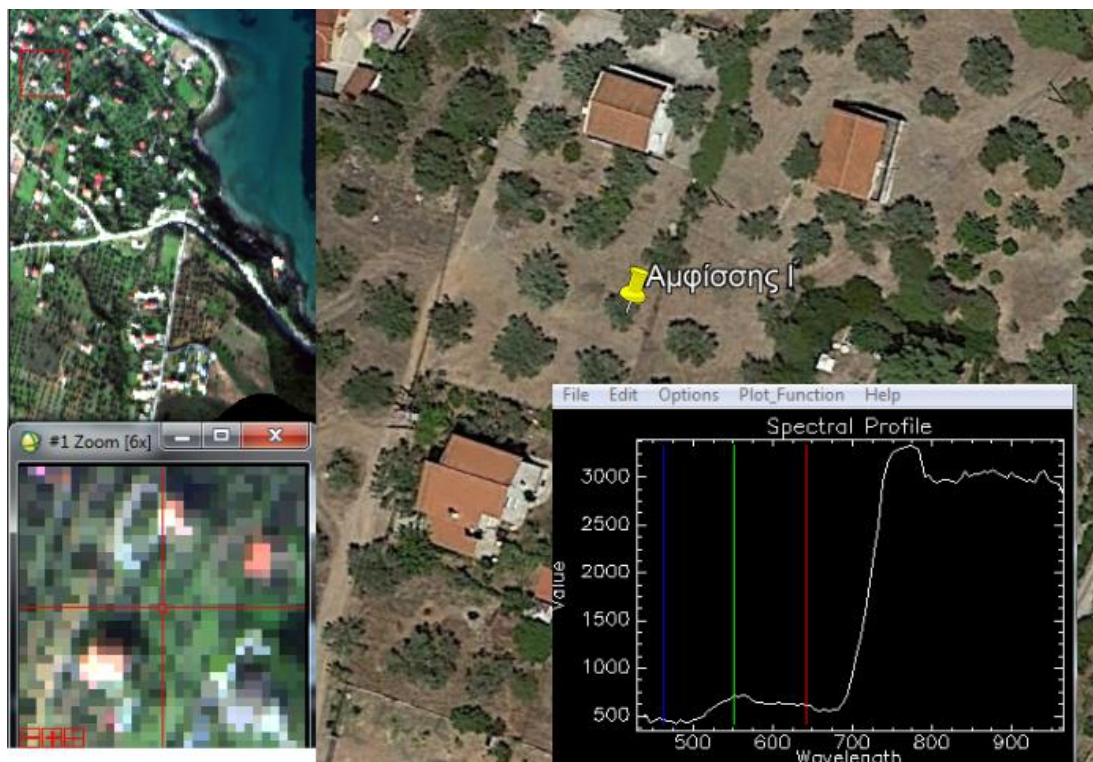
Διάγραμμα 27: Σύγκριση του πρώτου και του δεύτερου επιπέδου από τα οποία έγιναν οι στοχεύσεις κατά τη διενέργεια του πειράματος φυλλώματος. Αριστερά, η Θιακή ποικιλία από την περιοχή Κρόνια Χαλκίδας και δεξιά η αγριελιά από το Βοτανικό Κήπο Διομήδους.

## 4.2 Εναέριας

Η πλειονότητα των Τηλεπισκοπικών μελετών που λαμβάνουν χώρα παγκοσμίως, επικεντρώνονται στην καταγραφή της ανακλαστικότητας εκτεταμένων εκτάσεων, μέσω της λήψης εναέριων ή δορυφορικών εικόνων, χρησιμοποιώντας διάφορους δέκτες, ανάλογα με τα εκάστοτε επιθυμητά αποτελέσματα. Γεγονός το οποίο εξηγείται εύλογα, καθώς η δυνατότητα καταγραφής υψηλής ποσότητας δεδομένων, με χαμηλό κόστος και σε σύντομο χρονικό διάστημα αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα της συγκεκριμένης επιστήμης, ενώ και η εξέλιξη της τεχνολογίας προσθέτει συνεχώς νέες δυνατότητες. Έτσι, στην παρούσα εργασία δεν θα μπορούσε να μην αξιοποιηθεί εναέρια λήψη υψηλής φασματικής ανάλυσης, με σκοπό να έρθει σε αντιστοιχία με τις επίγειες μετρήσεις, να μελετηθούν οι ομοιότητες και οι διαφορές τους, αλλά και να αποδειχθεί πόσο σημαντικές μπορούν να είναι οι δεύτερες στην ορθή ερμηνεία και τη βέλτιστη αξιοποίηση των πρώτων.

Για να πραγματοποιηθεί η εν λόγω σύγκριση εισήχθη μία εικόνα CASI από την Κρόνια Χαλκίδας, Φεβρουαρίου 2006, στο λογισμικό ENVI, όπου υποβλήθηκαν σε ατμοσφαιρική διόρθωση. Στη συνέχεια έγινε χρήση του περιβάλλοντος του λογισμικού, έτσι ώστε να προβληθεί η διορθωμένη εικόνα, να στοχευθούν τα ελαιόδενδρα τα οποία είχαν αποτελέσει αντικείμενο των επίγειων

μετρήσεων και τελικά, να αποθηκευθούν τα διαγράμματα ανακλαστικότητάς τους, δηλαδή το φάσμα που ανακλάται από το στοχευμένο εικονοστοιχείο σε κάθε κανάλι. Παράλληλα, επειδή η χωρική ανάλυση της εικόνας (2,5 m) δεν ήταν αρκετά υψηλή για τον απρόσκοπτο εντοπισμό των ελαιόδενδρων, χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή Google Earth για υποστήριξη. Η παραπάνω μεθοδολογία στόχευσης παρουσιάζεται στην εικόνα που ακολουθεί:

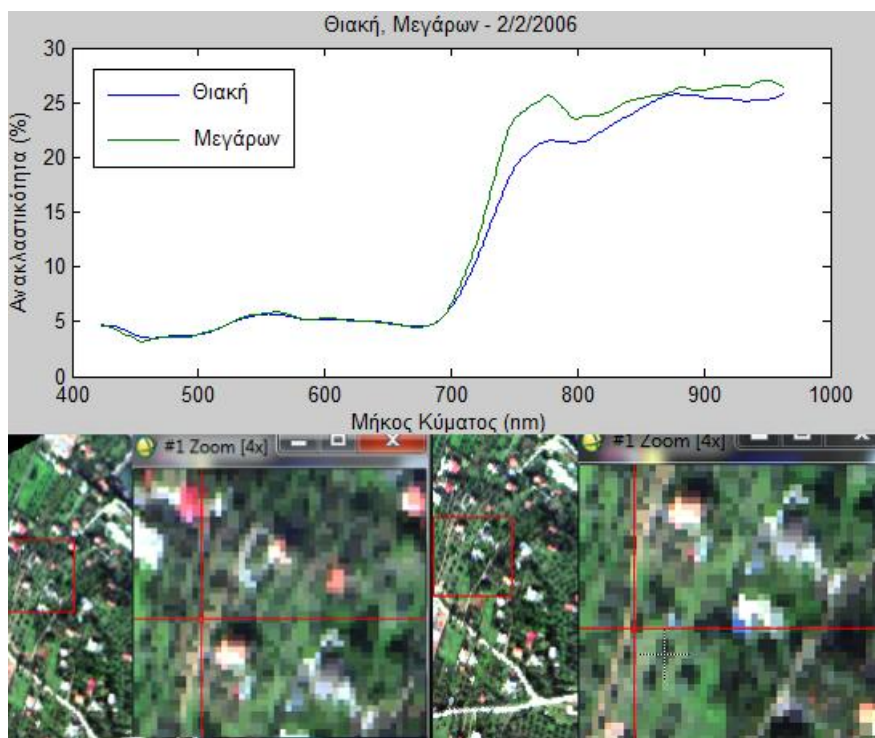


Εικόνα 22: Ενδεικτική στόχευση του ελαιόδενδρου Αμφίσσης Ι με χρήση των λογισμικών Envi (αριστερά) και Google Earth (δεξιά). Κάτω δεξιά, το παραγόμενο διάγραμμα ανακλαστικότητας.

Οι φασματικές υπογραφές οι οποίες εξήχθησαν προκύπτουν από συνδυασμό φασματικών υπογραφών πολλών στοιχείων που εμπεριέχονται στο στοχευμένο εικονοστοιχείο και δεν θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως αντιπροσωπευτικές ενός ελαιόδενδρου. Όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως, η κάθε υπογραφή μπορεί να επηρεάζεται από το χώμα και τα χόρτα που τριγυρίζουν το δένδρο, τον κορμό, τις δύο διαφορετικές όψεις των φύλλων, τις ελιές, αλλά και τις σκιασμένες περιοχές, οι οποίες λαμβάνουν και άρα ανακλούν λιγότερη ακτινοβολία. Εύλογα συμπεραίνεται ότι η επιρροή που ασκεί το κάθε στοιχείο στη συνολική ανακλαστικότητα του εικονοστοιχείου, δεν είναι σε καμία περίπτωση σταθερή και εξαρτάται από την εκάστοτε αφθονία του στοιχείου στην επιφάνεια που απεικονίζει το εικονοστοιχείο. Γι' αυτό το λόγο, αλλά και εξ' αιτίας του θορύβου που παρατηρείται σε κανάλια απορρόφησης της ακτινοβολίας, τα διαγράμματα ανακλαστικότητας που θα παρουσιαστούν στη συνέχεια δεν εμφανίζουν ομοιογένεια ανάλογη των επίγειων μετρήσεων.

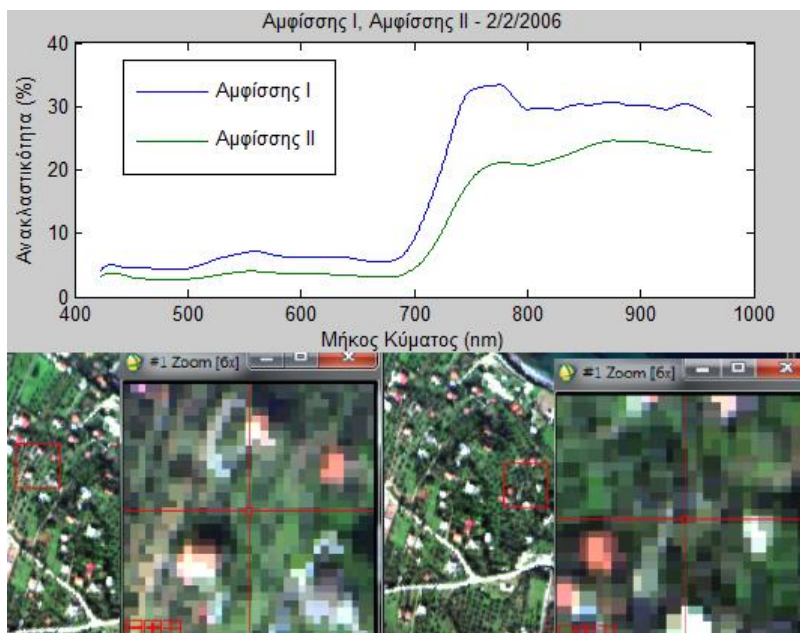
Στην παρακάτω εικόνα αποτυπώνονται τα διαγράμματα ανακλαστικότητας των ποικιλιών Μεγάρων και Θιακής εξομαλυμένα με χρήση του φίλτρου Savitzky-Golay στο λογισμικό του Matlab, καθώς και η στόχευση από την οποία προέκυψαν. Στο ορατό κομμάτι του φάσματος προσεγγίζουν την ταύτιση. Μεταξύ 420-500 nm ανακλούν σταθερά το 4-5 % της ακτινοβολίας, με το ποσοστό αυτό να αυξάνεται ελαφρώς στη συνέχεια (5-6 % στα 570), για να σταθεροποιηθεί στο

5 από τα 580 έως τα 690 nm. Στο υπέρυθρο, οι δύο ανακλαστικότητες διαχωρίζονται ελαφρώς. Της μεν Θιακής, τετραπλασιάζεται στα 760nm, ύστερα από τη γνωστή κόκκινη ακμή της βλάστησης, αλλά στη συνέχεια συνεχίζει να αυξάνεται μεταξύ 810-880nm, φτάνει στο 25 % και εκεί σταθεροποιείται. Της δε Μεγάρων, πενταπλασιάζεται στα 760, μειώνεται απότομα φτάνοντας στο 23% στα 800 nm και τέλος, ακολουθεί μία ομαλή άνοδο και καταγράφει την υψηλότερη τιμή στο 27% της ακτινοβολίας.



Εικόνα 23: Απεικόνιση της στόχευσης των ελαιόδενδρων ποικιλίας Θιακής (αριστερά) και Μεγάρων (δεξιά) στην εικόνα του Φεβρουαρίου, καθώς και των αντίστοιχων εξομαλυμένων διαγραμμάτων ανακλαστικότητας (πάνω). (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)

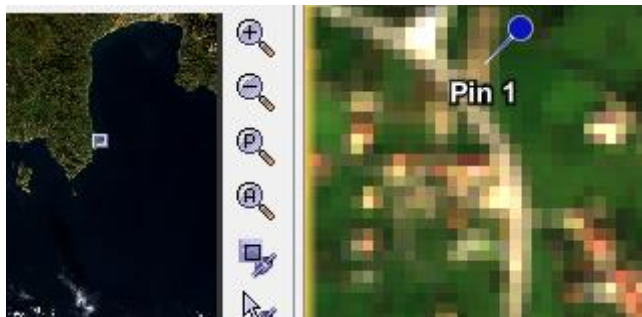
Οι αντίστοιχες φασματικές καμπύλες των ελαιόδενδρων ποικιλίας Αμφίσσης ακολουθούν το ίδιο μοτίβο με τις προηγούμενες στο ορατό φάσμα, με την πρώτη όμως να κυμαίνεται σε υψηλότερες τιμές (έως 7% στα 560 nm) και τη δεύτερη σε χαμηλότερες (δεν υπερβαίνει το 4%). Η τελευταία, στο υπέρυθρο προσομοιάζει την καμπύλη της Θιακής ποικιλίας, παρουσιάζοντας μέγιστη ανακλαστικότητα (25%) στα 800nm, όμως στη συνέχεια και μετά τα 910 φθίνει ελαφρώς. Από την άλλη πλευρά, η Αμφίσσης I έχει εντονότερη κόκκινη ακμή, με την ανακλαστικότητά της να αγγίζει το 34% στα 780nm, στη συνέχεια να μειώνεται απότομα (29% στα 800), για να σταθεροποιηθεί στα ίδια περίπου επίπεδα έως τα 960nm. Δείχνει καθαρότερη στόχευση από τις υπόλοιπες, διότι το διάγραμμά της προσεγγίζει σε μεγαλύτερο βαθμό τα αντίστοιχα των επίγειων μετρήσεων. Εντούτοις, οι αύξουσες καμπύλες των ελαιόδενδρων Θιακής, Μεγάρων και Αμφίσσης II μεταξύ 800-960 nm, αλλά και οι διακυμάνσεις τους, θα μπορούσαν να εξηγηθούν από τη φασματική συνεισφορά του κορμού της ελιάς, καθώς και της περιβάλλουσας έκτασης (χώμα και χόρτα)(βλ. Σέλιτσα Κορωνέικη, διαγρ.24).



Εικόνα 24: Η στόχευση των ελαιόδενδρων Αμφίσσης I (αριστερά) και Αμφίσσης II (δεξιά) στο λογισμικό του Envi και οι φασματικές καμπύλες οι οποίες προέκυψαν (πάνω). (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)

### 4.3 Δορυφορικές

Προκειμένου να δοθεί μία πλήρης εικόνα σχετικά με τις φασματικές εμφανίσεις της ελιάς σε διαφορετικών ειδών δεδομένα, κρίθηκε ωφέλιμη η επιπρόσθετη παρατήρησή της μέσω πολυφασματικών δορυφορικών δεδομένων και πιο συγκεκριμένα δύο λήψεων Sentinel για την Κρόνια και μίας για τη Μεσσηνία. Για άλλη μία φορά έγινε αντιληπτή η σημασία της κλίμακας στις Τηλεπισκοπικές απεικονίσεις, ο τρόπος με τον οποίο η διαφοροποίησή της μπορεί να επηρεάσει το παραγόμενο αποτέλεσμα. Παρά τη σπουδαία χρησιμότητα των δορυφορικών εικόνων που διατίθενται ελεύθερα στο διαδίκτυο και σε τακτά χρονικά διαστήματα στην ταχύτατη εξαγωγή συμπερασμάτων σε εφαρμογές όπως η παρατήρηση της ελιάς, στη συγκεκριμένη εργασία μπορούν να έχουν μόνο βοηθητικό ρόλο. Σημαντικά τους μειονεκτήματα η χαμηλή χωρική και φασματική ανάλυση, σε σύγκριση με τα προηγούμενα μέσα που χρησιμοποιήθηκαν, ενώ πλεονέκτημα αποτελεί η χρονική εγγύτητα των λήψεων με τις μετρήσεις πεδίου.

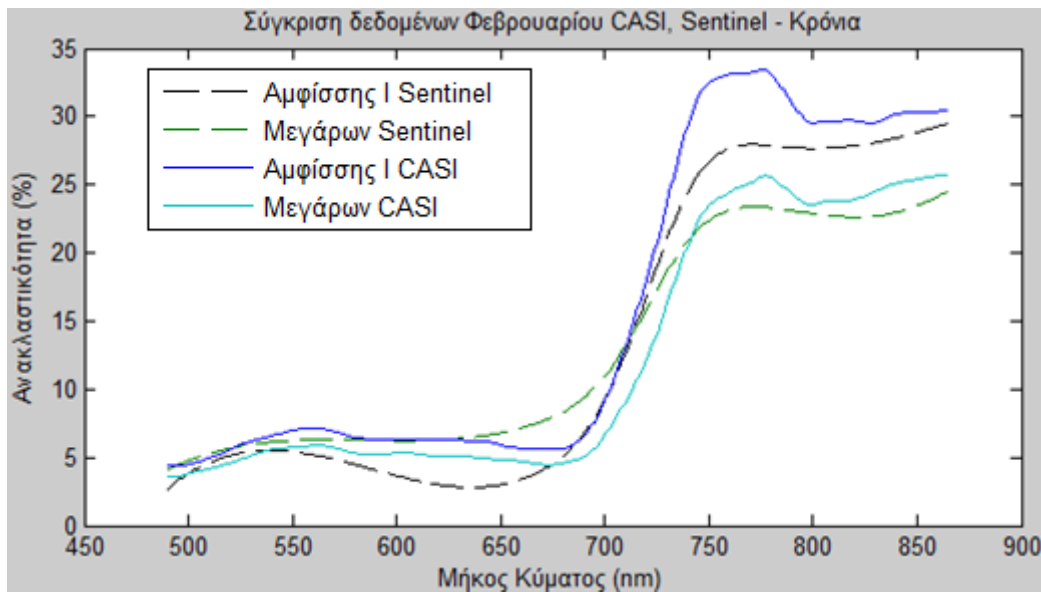


Εικόνα 25: Άποψη εικόνας Sentinel, διορθωμένης στο ειδικό λογισμικό SNAP. Είναι φανερό ότι η χωρική ανάλυση των 10 μέτρων επιτρέπει μονάχα τον υπολογισμό ανακλαστικότητας σε κλίμακα αγροτεμαχίου. (Πηγή: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/>)

Επισημαίνεται ότι από τις εικόνες Sentinel αξιοποιήθηκαν οκτώ φασματικά κανάλια μεταξύ 490 και 865 nm, ενώ τα υπόλοιπα απορρίφθηκαν είτε κατά την ατμοσφαιρική διόρθωση λόγω της χαμηλής χωρικής ανάλυσής τους, είτε λόγω υψηλού μήκους κύματος που δεν θα μπορούσε να αντιστοιχηθεί με τα υπόλοιπα δεδομένα (βλ. εικόνα 6). Για να καταστεί εφικτή η σύγκριση με αυτά, στο τμήμα πάντα των 490-865nm, υπολογίστηκε η ανακλαστικότητα στο ενδιάμεσο των καναλιών, χάρη στη διενέργεια παλινδρόμησης. Προκειμένου να αποτραπεί η υπερφόρτωση του παρόντος κειμένου με διαγράμματα, θα παρουσιαστούν ορισμένα ενδεικτικά της φασματικής συμπεριφοράς των ελαιώνων σε πολυφασματικά δεδομένα, σε σύγκριση με τα προηγούμενα εναέρια και επίγεια.

Από τη Μεσσηνία επιλέχθηκε για σύγκριση το αγροτεμάχιο στην περιοχή Ζάγκα, διότι αποτελείται στο σύνολό του από ελαιόδενδρα, τριφύλλι και ελάχιστο χόμα και δεν θα ήταν υπερβολικό το συμπέρασμα ότι το στοχευμένο εικονοστοιχείο της εικόνας Sentinel αποτελούν αποκλειστικά τα παραπάνω, στοχευμένα και με το ραδιόμετρο, στοιχεία (βλ. κεφάλαιο 7). Από την άλλη πλευρά, στην Ασίνη αποτελείται κυρίως από αμπέλια, ενώ στη Σέλιτσα υπάρχει έντονη παρουσία άγριας βλάστησης κι επομένως στην εικόνα υπεισέρχονται διάφορα στοιχεία του Μεσογειακού περιβάλλοντος..

Από την εικόνα Sentinel που ελήφθη στη 1/2/2016, προτιμήθηκε η παρουσίαση των αγροτεμαχίων των ελαιόδενδρων Αμφίσσης I και Μεγάρων, διότι αποτελούνται αμιγώς από ελαιόδενδρα (σε αντίθεση με της Αμφίσσης II) και βρίσκονται σε καλή κατάσταση, σε αντίθεση με της Θιακής. Τα παραγόμενα διαγράμματα ακολουθούν σε γενικές γραμμές αυτό της ποικιλίας Μεγάρων, ενός αρκετά τυπικού διαγράμματος της CASIεικόνας, με την καμπύλη της Αμφίσσης να εμφανίζει ελαφρώς χαμηλότερη ανακλαστικότητα στο πορτοκαλί και της Μεγάρων, ελαφρώς υψηλότερη στο κόκκινο. Το τελευταίο χαρακτηριστικό, παρατηρήθηκε και στις καλοκαιρινές εικόνες CASIκαι Sentinel. Αξίζει ακόμη να σημειωθεί, ότι οι συγκεκριμένες φασματικές καμπύλες Sentinelπροσεγγίζουν σε μεγάλο βαθμό τις αντίστοιχες των φύλλων ελιάς στο εγγύς υπέρυθρο κομμάτι του φάσματος.

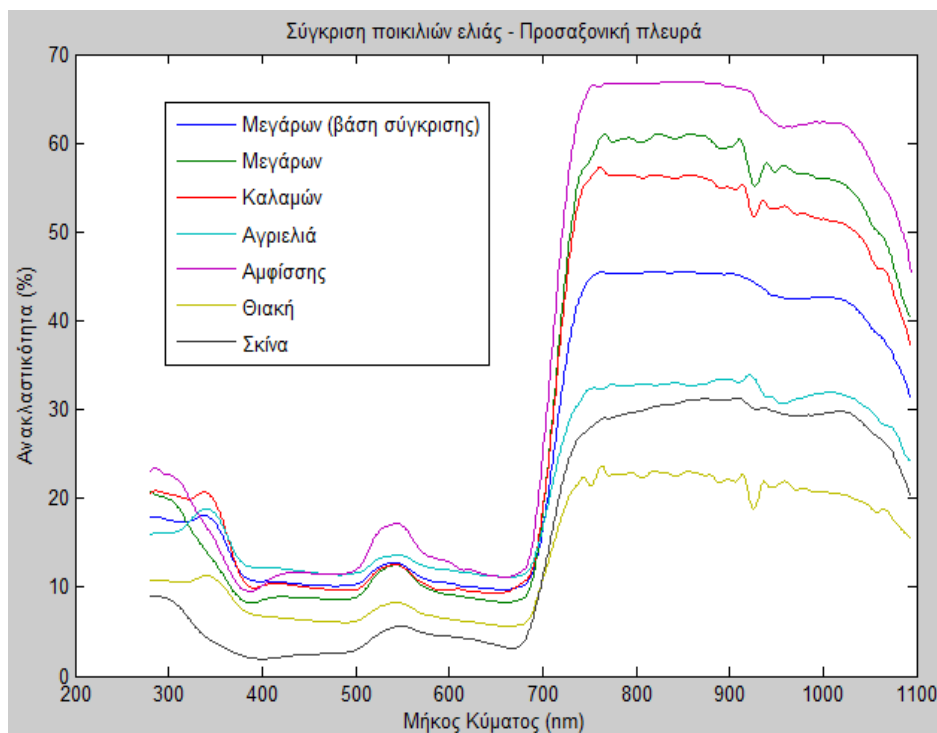


Διάγραμμα 28: Σύγκριση των φασματικών καμπυλών οι οποίες προέκυψαν από τις χειμερινές εικόνες Sentinel (διακεκομμένες) και CASI για τα ελαιόδενδρα Μεγάρων και Αμφίσσης Ι.

## 5. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ ΕΛΙΑΣ

Διαχρονικά, στη διεθνή βιβλιογραφία και έρευνα, επιχειρείται αρκετά συχνά ο εντοπισμός διαφορετικών ειδών βλάστησης, είτε για λόγους εμπλουτισμού των φασματικών βιβλιοθηκών, είτε για λόγους χαρτογράφησης. Σε πιο απλές εφαρμογές, η εκτέλεση μίας ταξινόμησης, η οποία εντοπίζει τις περιοχές της εικόνας με διαφορετική φασματική απόκριση και η επακόλουθη αναγνώριση των περιοχών αυτών μέσω φωτοερμηνείας, είναι αρκετή. Σε πιο σύνθετες, συνηθίζεται η αντιστοίχιση πολυφασματικών ή, καλύτερα, υπερφασματικών εικόνων με κάποια έτοιμη φασματική βιβλιοθήκη, με αποτέλεσμα να αναγνωριστούν τα είδη που περιέχονται στην εικόνα και να εντοπιστεί η θέση τους. Όποτε δεν υπάρχουν τέτοια δεδομένα αναφοράς, συλλέγονται με χρήση, κατά κανόνα, επίγειων μετρήσεων της ανακλαστικότητας των ειδών που ενδιαφέρουν την εκάστοτε έρευνα. Αφού συλλεχθούν τα δεδομένα ανακλαστικότητας για όλα τα είδη, διερευνάται ο διαχωρισμός τους μέσω οπτικών, φασματικών ή στατιστικών μεθόδων. Σε κάθε περίπτωση πρόκειται για ένα απαιτητικό έργο, καθώς η φασματική απόκριση της πράσινης βλάστησης υπαγορεύεται σε μεγάλο βαθμό από τους χλωροπλάστες και άλλες ουσίες, κοινές για τα περισσότερα είδη.

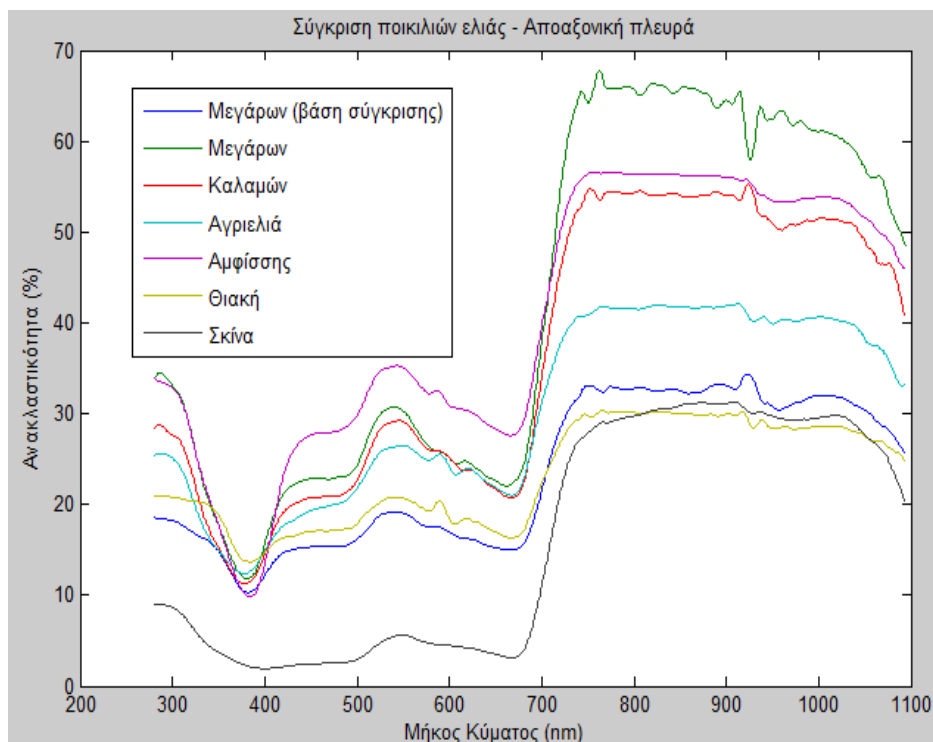
Λαμβάνοντας υπ' όψιν τα παραπάνω, στην παρούσα Διπλωματική εργασία, η οποία επικεντρώθηκε στα ελαιόδενδρα, αποφασίστηκε να διερευνηθεί η δυνατότητα ανίχνευσης διαφορετικών ειδών ελιάς. Συγκεκριμένα, ελέγχθηκε κατά πόσο είναι εφικτό μέσω των δεδομένων ανακλαστικότητας που συλλέχθηκαν για τα φύλλα των ποικιλιών Μεγάρων, Καλαμών, Θιακής, Αμφίσσης και Αγριελιάς σε κοντινές ημερομηνίες (4,5/6/2016) να βρεθεί κάποια μέθοδος διαχωρισμού των ειδών, η οποία θα μπορούσε να αξιοποιηθεί και σε μελλοντικές έρευνες για το φασματικό εντοπισμό της ποικιλίας τυχαίων ελαιόδενδρων. Χάριν ομοιογένειας των δεδομένων, όλα τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τη σύγκριση προέρχονταν από στόχευση σωρού φύλλων. Οι μέθοδοι που δοκιμάστηκαν ήταν ο υπολογισμός του συντελεστή στατιστικής συσχέτισης  $R^2$ , το μη παραμετρικό τεστ Wilcoxon, καθώς και η φασματική ομοιότητα, μέσω της εκτίμησης της γωνιακής απόστασης φάσματος (SAD).



Διάγραμμα 29: Σύγκριση μεταξύ των σωρών 5 διαφορετικών ειδών ελιάς, προσαξονικής πλευράς μεταξύ τους, αλλά και με φύλλωμα σκίνου.

Επειδή στα δεδομένα ανακλαστικότητας που συλλέχθηκαν εκείνες τις ημερομηνίες συμπεριλαμβάνονταν οι φασματικές υπογραφές δύο ελαιόδενδρων της ποικιλίας Μεγάρων, η μία εξ' αυτών (από τη Χαλκίδα) χρησιμοποιήθηκε ως βάση της σύγκρισης. Σκοπός ήταν να διαπιστωθεί εάν παρουσιάζει περισσότερες ομοιότητες με το έτερο ελαιόδενδρο της ίδιας ποικιλίας, παρά με τα υπόλοιπα. Παράλληλα πραγματοποιήθηκε μία μέτρηση ανακλαστικότητας φυλλώματος σκίνου. Η τελευταία φαίνεται να ξεχωρίζει από το παραπάνω διάγραμμα, λόγω χαμηλότερης ανακλαστικότητας στο ορατό και της διαφορετικής καμπύλης στο κόκκινο και το υπέρυθρο. Στις υπόλοιπες φασματικές υπογραφές παρατηρούνται ελαφρές διαφοροποιήσεις στο υπεριώδες και το πράσινο, ενώ για άλλη μία φορά η ένταση της ανακλαστικότητας μεταβάλλεται αρκετά από μέτρηση σε μέτρηση. Παρόμοια συμπεράσματα προκύπτουν από την παρατήρηση των διαγραμμάτων της αποαξονικής πλευράς (κάτω), ελαφρές διαφοροποιήσεις στο ορατό φάσμα, με λίγο εντονότερες στα μήκη κύματος 500-600 nm, καθώς και σημαντικές μεταβολές στην ένταση της ανακλαστικότητας.





Διάγραμμα 30: Σύγκριση μεταξύ των σωρών αποαξονικής πλευράς μεταξύ των ποικιλιών ελιάς και του σκίνου

Στη συνέχεια εφαρμόστηκαν οι επεξεργασίες που προαναφέρθηκαν για όλα τα μήκη κύματος, για τα μήκη που έχουν χαρακτηριστεί στατιστικά σημαντικά για το διαχωρισμό της ελιάς από άλλα είδη βλάστησης από τον Manevski (επιλεγμένα μήκη: 423-441, 697-753, 768-786, 810-964), αλλά και για τα μήκη κύματος 500-600 nm, όπου παρατηρήθηκαν ορισμένες διαφορές στα διαγράμματα. Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται οι τιμές της σύγκρισης για τους τρεις διαφορετικούς υποχώρους του σήματος, ύστερα από τον υπολογισμό της φασματικής ομοιότητας (SAD) και του συντελεστή στατιστικής συσχέτισης  $R^2$ .

Παρατηρείται ότι η πρώτη μέθοδος διαχωρίζει την ποικιλία Μεγάρων από τα σκίνα, γεγονός ενδεικτικό της αξιοπιστίας της, ωστόσο το ίδιο κάνει και για την Αγριελιά και το άλλο ελαιόδενδρο Μεγάρων. Με τις φασματικές ομοιότητες λοιπόν του ελαιόδενδρου Μεγάρων που αποτέλεσε τη βάση της σύγκρισης να είναι εντονότερες συγκριτικά με τα Αμφίσσης, Καλαμών, παρά με το Μεγάρων, προκύπτει το συμπέρασμα ότι τα Τηλεπισκοπικά δεδομένα παρουσιάζουν σημαντικές δυσκολίες στη διάκριση των ειδών ελιάς. Από την άλλη πλευρά, ο συντελεστής  $R^2$  υποδεικνύει σχετικά χαμηλό βαθμό συσχέτισης για τις ποικιλίες Θιακή και Αγριελιά. Εύλογα, οι τιμές της σύγκρισης είναι διαφορετικές όταν εφαρμόζεται σε διαφορετικά μήκη κύματος.

Μελέτη φασματικών εμφανίσεων της ελιάς σε Τηλεπισκοπικά δεδομένα διαφορετικής χωρικής και φασματικής ανάλυσης

Μεγάρων-		Όλα τα μήκη κύματος		Επιλεγμένα μήκη κύματος		500-600 nm	
		R <sup>2</sup> (%)	SAD (%)	R <sup>2</sup> (%)	SAD (%)	R <sup>2</sup> (%)	SAD (%)
Μεγάρων (Χαϊδάρι)	Προσ	99,9	73,1	99,8	88,3	99,2	86,8
	Απο	99,2	65,1	96,7	81,9	92,5	90,4
Καλαμών	Προσ	99,9	82,0	99,7	92,5	99,6	93,1
	Απο	99,8	81,5	99,5	89,9	98,6	93,8
Αγριελιά	Προσ	99,8	57,4	99,3	79,1	95,3	91,8
	Απο	98,4	83,4	96,2	88,7	79,1	92,8
Θιακή	Προσ	99,2	75,9	96,8	80,4	97,0	91,9
	Απο	99,2	71,9	97,9	85,7	82,0	93,2
Αμφίσσης	Προσ	99,9	84,8	99,5	92,4	98,4	86,1
	Απο	99,5	88,5	98,3	92,3	98,6	98,2
Σκίνα	Προσ	99,4	60,3	98,0	79,9	51,3	63,1
	Απο	98,7	0	96,6	48,2	73,5	62,3

Πίνακας 3: Πίνακας απεικόνισης των αποτελεσμάτων της σύγκρισης των ειδών ελιάς, προσαξονικής και αποαξονικής πλευράς φύλλων, μέσω των συντελεστών στατιστικής συσχέτισης και φασματικής ομοιότητας, για διαφορετικά μήκη κύματος.

Ακολούθησε η αφαίρεση του συνεχούς και η σύγκριση των φασματικών υπογραφών σε όλα τα μήκη κύματος, μέσω του συντελεστή R<sup>2</sup> και του ελέγχου υποθέσεων Wilcoxon. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν δεν είναι σημαντικά, καθώς ο πρώτος εντοπίζει υψηλή συσχέτιση μεταξύ όλων των ποικιλιών ελιάς, ενώ από το τεστ προκύπτουν τιμές p-value μικρότερες του 0,05 για όλα τα ζεύγη δειγμάτων, εκτός από την αποαξονική της Αγριελιάς με την αντίστοιχη των Μεγάρων. Δηλαδή, συμπεραίνει ότι μόνο το συγκεκριμένο ζεύγος φασματικών υπογραφών προέρχεται από τον ίδιο πληθυσμό.

Μεγάρων-	Continuum Removed	Όλα τα μήκη κύματος	
		Wilcoxon (p-value)	R <sup>2</sup> (%)
Μεγάρων	Προς	5,37E-85	99,4
	Απο	3,45E-32	97,4
Καλαμών	Προς	3,16E-86	99,5
	Απο	2,88E-85	96,0
Αγριελιά	Προς	4,45E-38	99,0
	Απο	<b>0,450082</b>	99,4
Θιακή	Προς	3,58E-19	98,1
	Απο	2,48E-82	96,6
Αμφίσσης	Προς	6,15E-39	99,5
	Απο	4,42E-90	98,5
Σκίνα	Προς	3,65E-49	95,7
	Απο	5,92E-36	76,5

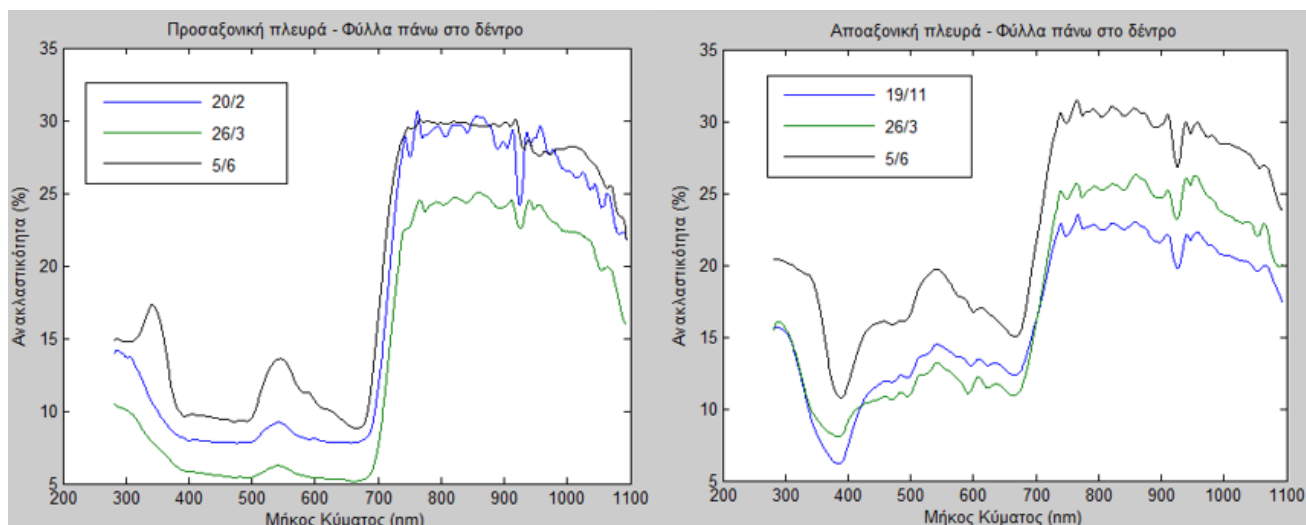
Πίνακας 4: Σύγκριση των διαφορετικών ποικιλιών ελιάς μετά την αφαίρεση του συνεχούς, με υπολογισμό του συντελεστή R<sup>2</sup> και εφαρμογή του κριτηρίου Wilcoxon.

Συμπερασματικά, από την εκτίμηση της φασματικής ομοιότητας μεταξύ των φασματικών υπογραφών των διαφορετικών ποικιλιών ελιάς προκύπτει διάκριση του ελαιόδενδρου Μεγάρων που στοχεύθηκε στη Χαλκίδα, το οποίο χρησιμοποιήθηκε ως βάση των συγκρίσεων, από τα σκίνα, ενώ τις περισσότερες ομοιότητες εμφανίζει σε σχέση με τα ελαιόδενδρα Καλαμών και Αμφίσσης. Ο συντελεστής R<sup>2</sup> υποδεικνύει ελαφρώς χαμηλότερη συσχέτιση για τις ποικιλίες Θιακή και Αγριελιά, ενώ η εφαρμογή του κριτηρίου Wilcoxon στο φάσμα μετά την αφαίρεση του συνεχούς, αναγνωρίζει όλα τα συγκρινόμενα ζεύγη φασματικών υπογραφών προέρχονται από διαφορετικές κατανομές, με εξαίρεση το ζεύγος αποαξονικής πλευράς Μεγάρων – Αγριελιάς.

## 6. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΧΡΟΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΤΗΣ ΕΛΙΑΣ ΣΤΟΝ ΕΤΗΣΙΟ ΚΥΚΛΟ

Εξαιρετικά χρήσιμη για την εξέλιξη της γεωργίας ακριβείας και τη βελτιστοποίηση της αγροτικής παραγωγής, μπορεί να αποβεί η θεμελίωση επιστημονικής γνώσης σχετικά με την αναγνώριση του επιπέδου ωρίμανσης των καλλιεργιών, με χρήση αποκλειστικά Τηλεπισκοπικών μεθόδων. Ανάλογες τεχνικές χρησιμοποιούνται εδώ και αρκετά χρόνια σε εποχιακές καλλιέργειες, οι οποίες παρουσιάζουν εντυπωσιακές μεταβολές στον ετήσιο κύκλο και μπορούν να γίνουν αντιληπτές ακόμα και σε πολυφασματικές εικόνες χαμηλής ανάλυσης. Τελευταία ωστόσο, χάρη στην εξέλιξη των φασματομετρικών μέσων επιχειρείται και σε πολυετείς καλλιέργειες, με χαρακτηριστικό παράδειγμα τους αμπελώνες που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για οινοπαραγωγικούς λόγους.

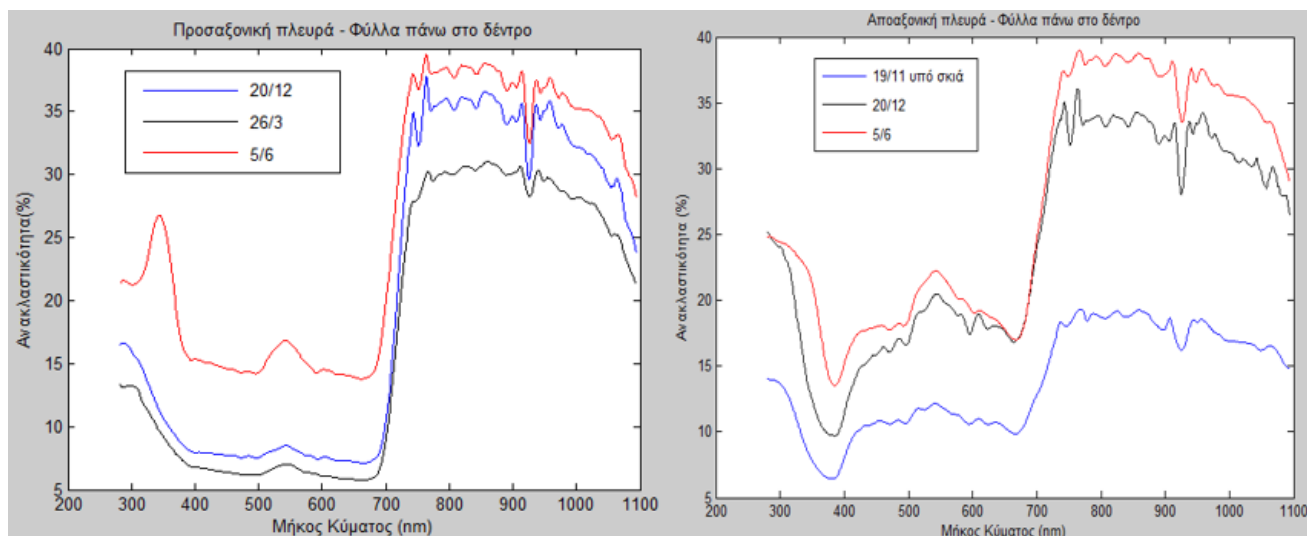
Τα χαρακτηριστικά που μεταβάλλονται στον ετήσιο κύκλο, προδίδουν το επίπεδο ωρίμανσης της καλλιέργειας και επομένως αποτελούν στόχο της Τηλεπισκοπικής έρευνας διαφέρουν ανάλογα την περίπτωση. Άλλοτε είναι τα άνθη και οι καρποί που ωριμάζουν και μετά πέφτουν στο έδαφος, άλλοτε τα φύλλα που αλλάζουν χρώμα ή ξηραίνονται. Εν προκειμένω, εξετάστηκε η πιθανή ύπαρξη χρονικών μεταβολών στα φύλλα της ελιάς, τα οποία αποτέλεσαν το αντικείμενο των επίγειων μετρήσεων ανακλαστικότητας που πραγματοποιήθηκαν στον Βοτανικό Κήπο Διομήδους στο Χαϊδάρι, μεταξύ Νοεμβρίου 2015 και Ιουνίου 2016.



Διάγραμμα 31: Οι φασματικές υπογραφές της ποικιλίας Μεγάρων, όπως αποτυπώθηκαν σε διαφορετικές χρονικές περιόδους

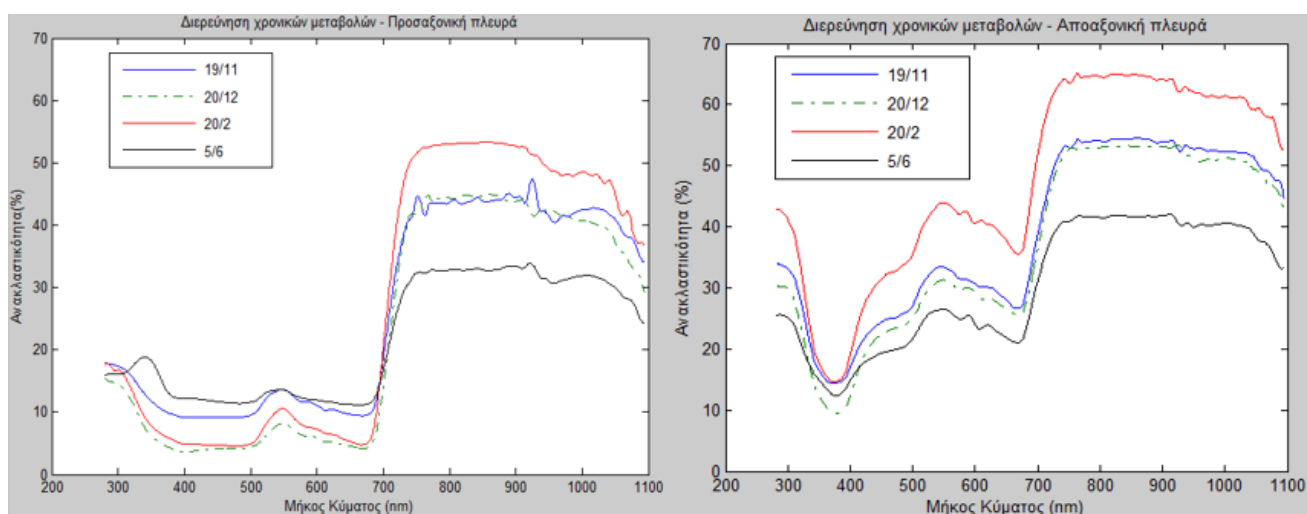
Τα διαγράμματα ανακλαστικότητας των ελαιόδενδρων ποικιλίας Μεγάρων (πάνω) και Καλαμών (κάτω) προέκυψαν από μετρήσεις των φύλλων πάνω στο δέντρο για λόγους ομοιογένειας. Αν και η μεταβολές μεταξύ των μηνών δεν είναι σταθερές, λόγω των διαφορετικών συνθηκών που επικρατούσαν σε κάθε ημέρα μετρήσεων και κυρίως, της νεφοκάλυψης που επικρατούσε στις 26/3, παρατηρείται εν γένει το αναμενόμενο μοτίβο. Συγκεκριμένα, στο υπέρυθρο τμήμα του φάσματος, για την αποαξονική πλευρά η ανακλαστικότητα αυξάνεται από Νοέμβριο και Δεκέμβριο προς Ιούνιο, όπως και στην προσαξονική από Δεκέμβριο και Φεβρουάριο προς Ιούνιο, με εξαίρεση εδώ όμως το Μάρτιο που ανακλά μικρότερο μέρος της ακτινοβολίας. Επίσης, στο

ορατό φάσμα τον Ιούνιο σημειώνεται υψηλότερη ανακλαστικότητα, ενώ και η πολύ χαμηλή ανακλαστικότητα για την αποαξονική πλευρά των φύλλων Καλαμών το Νοέμβριο, εξηγείται επειδή καταγράφηκε υπό σκιά.



Διάγραμμα 32: Οι φασματικές υπογραφές της ποικιλίας Μεγάρων, όπως αποτυπώθηκαν σε διαφορετικές χρονικές περιόδους

Τα δεδομένα όμως που χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να εξεταστούν οι χρονικές μεταβολές της ελιάς στον ετήσιο κύκλο ήταν της αγριελιάς, διότι υπάρχουν διαθέσιμα για προσαξονική και αποαξονική πλευρά σε τέσσερις διαφορετικούς μήνες και τρεις διαφορετικές εποχές (Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Φεβρουάριο και Ιούνιο) και προέκυψαν από την ίδια μεθοδολογία μέτρησης, καθώς όλα μετρήθηκαν σε σωρούς. Λόγω του γεγονότος αυτού, χαρακτηρίζονται και από λιγότερο θόρυβο σε σύγκριση με τις μετρήσεις πάνω στο δέντρο των προηγούμενων ποικιλιών. Στο συγκεκριμένο δέντρο οι μετρήσεις του Ιουνίου κατέγραψαν χαμηλή ανακλαστικότητα, Νοεμβρίου και Δεκεμβρίου βρίσκονται στα ίδια περίπου επίπεδα, ενώ το Φεβρουάριο η ανακλαστικότητα αυξάνεται.



Διάγραμμα 33: Οι φασματικές υπογραφές της Αγριελιάς, οι οποίες επεξεργάστηκαν προκειμένου να διερευνηθούν οι διεποχικές μεταβολές

Αρχικά, υπολογίστηκαν οι συντελεστές στατιστικής συσχέτισης  $R^2$  και η φασματική ομοιότητα μεταξύ των φασματικών υπογραφών του Δεκεμβρίου και των υπογραφών που συλλέχθηκαν τους υπόλοιπους μήνες. Οι συγκεκριμένες επεξεργασίες εφαρμόστηκαν πάλι για όλα τα μήκη κύματος, αλλά και για επιλεγμένα. Όπως φαίνεται από τις χρωματισμένες τιμές στον παρακάτω πίνακα, ο Δεκέμβριος εμφανίζει τις περισσότερες διαφορές σε σύγκριση με τον Ιούνιο, όπως είναι αναμενόμενο, ενώ προσομοιάζει περισσότερο τον Φεβρουάριο στην προσαξονική και το Νοέμβριο στην αποαξονική πλευρά αντίστοιχα.

Δεκεμβρίου-		Όλα τα μήκη (%)		500-600 nm (%)		Επιλεγμένα μήκη (%)	
		Προσαξονική	Αποαξονική	Προσαξονική	Αποαξονική	Προσαξονική	Αποαξονική
Νοεμβρίου	$R^2$	99,6	99,8	96,8	93,6	98,4	99,6
	SAD	56,9	92,4	76,0	95,5	79,5	94,3
Φεβρουαρίου	$R^2$	99,8	98,8	99,2	97,5	99,1	96,8
	SAD	90,0	77,4	90,0	97,2	89,2	85,8
Ιουνίου	$R^2$	99,8	99,7	75,8	94,7	99,0	99,2
	SAD	18,3	88,0	59,3	95,7	64,8	91,2

Πίνακας 5: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της σύγκρισης των φασματικών υπογραφών Δεκεμβρίου σε σχέση με Νοέμβριο, Φεβρουάριο και Ιούνιο.

Ακολούθως, αφαιρέθηκε το συνεχές από όλες τις φασματικές υπογραφές και ξαναπραγματοποιήθηκε η ίδια σύγκριση για όλα τα μήκη κύματος, με υπολογισμό του συντελεστή  $R^2$ , αλλά και της πιθανότητας να προέρχονται τα δείγματα από τον ίδιο πληθυσμό (p-value), μέσω του κριτηρίου Wilcoxon. Ενώ η πρώτη μέθοδος δεν επισημαίνει σημαντικές διαφοροποιήσεις, η δεύτερη έχει τα αντίθετα αποτελέσματα, αφού  $p\text{-value} < 0,05$ , ενδεικτικό ότι τα δείγματα προέρχονται από διαφορετικούς πληθυσμούς.

Δεκεμβρίου-	Continuum removed	Όλα τα μήκη (%)	
		Προσαξονική	Αποαξονική
Νοεμβρίου	R <sup>2</sup>	96,8	99,6
	Wilcoxon	1,8E-33	1,17E-20
Φεβρουαρίου	R <sup>2</sup>	99,4	97,7
	Wilcoxon	8,24E-14	1,57E-45
Ιουνίου	R <sup>2</sup>	94,7	98,6
	Wilcoxon	1,17E-53	6,21E-05

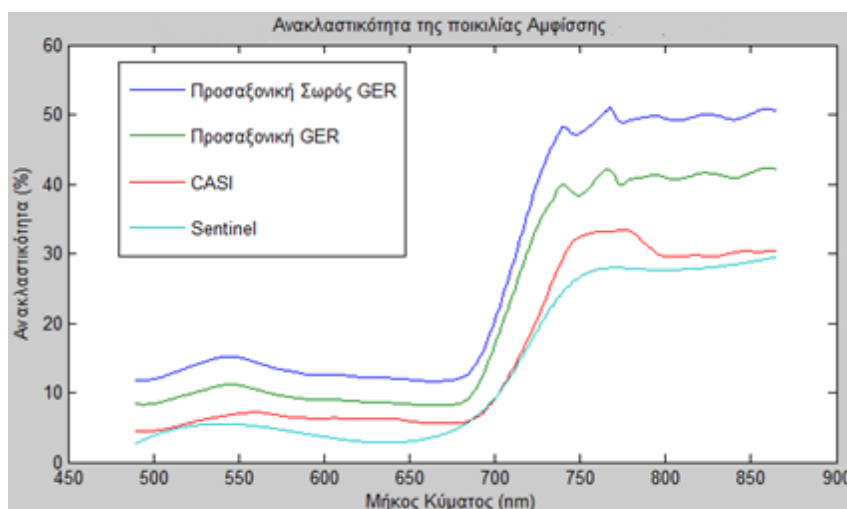
Πίνακας 6: Τα αποτελέσματα της διεποχικής σύγκρισης, η οποία έλαβε χώρα στις φασματικές υπογραφές μετά την αφαίρεση του συνεχούς.

Συνοψίζοντας, παρά τη σημαντική και αστάθμητη επιρροή των ατμοσφαιρικών συνθηκών σε κάθε μέτρηση, η οποία δυσχεραίνει την ασφαλή εξαγωγή συμπερασμάτων, παρατηρείται σε γενικές γραμμές προοδευτική αύξηση της ανακλαστικότητας από το Νοέμβριο έως τον Ιούνιο. Με δεδομένο τις μετρήσεις της αγριελιάς, ο Ιούνιος είναι ο μήνας που η ελιά παρουσιάζει τη μικρότερη ανακλαστικότητα. Αυτό το συμπέρασμα χρήζει περαιτέρω διερεύνησης. Επίσης, εμφανίζεται μεγαλύτερη φασματική ομοιότητα του Δεκεμβρίου με Νοέμβριο και Φεβρουάριο, παρά με Ιούνιο. Τέλος, σημειώνεται ότι οι στατιστικές μέθοδοι R<sup>2</sup> και Wilcoxon δεν κατέληξαν κάπου, καθώς η μεν αναγνώρισε μόνο ομοιότητες μεταξύ των διαφορετικών φασματικών υπογραφών και η δε μόνο διαφορές.

## 7. ΧΡΗΣΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΤΩΝ ΠΟΣΟΣΤΩΝ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΕΛΙΑΣ

Σε προηγούμενα κεφάλαια παρουσιάστηκαν αναλυτικά οι φασματικές καμπύλες της ελιάς, όπως εξάχθηκαν από τρεις διαφορετικούς Τηλεπισκοπικούς δέκτες: Το φασματοραδιόμετρο χειρός GER1500, μέσω του οποίου δόθηκε η δυνατότητα να στοχευθούν οι δύο πλευρές των φύλλων, ο ξύλινος κορμός και άλλα στοιχεία του εγγύς περιβάλλοντος της ελιάς, ο αερομεταφερόμενος υπερφασματικός δέκτης CASI-550, ο οποίος κατέγραψε την ανακλαστικότητα κόμης, καθώς και ο δορυφορικός πολυφασματικός δέκτης Sentinel MSI-2, που προσέδωσε μία εικόνα σχετικά με την ανακλαστικότητα της ελιάς, όπως αυτή παρατηρείται σε επίπεδο ελαιοτεμαχίου.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί, συγκρίνονται οι φασματικές υπογραφές της προσαξονικής πλευράς φύλλων ενός ελαιόδενδρου ποικιλίας Αμφίσσης, όπως συλλέχθηκαν από το GER, σε σχέση με τις αντίστοιχες υπογραφές που συλλέχθηκαν από τους δέκτες CASI και Sentinel. Παρατηρείται διαφορετική συμπεριφορά των διαγραμμάτων CASI στο εγγύς υπέρυθρο, με την καμπύλη να μην είναι οριζόντια όπως στο GER, αν και η παρατεταμένη κορυφή μεταξύ 730-780 nm στον CASI μάλλον οφείλεται στη διαμέτρηση του δέκτη. Η ατμοσφαιρική διόρθωση των εικόνων CASI και Sentinel δείχνει να ελαττώνει την καταγραφόμενη ανακλώμενη ακτινοβολία, ιδίως στη δορυφορική, ενώ για άλλη μία φορά επιβεβαιώνεται η προσθετική ανακλαστικότητα που λαμβάνει χώρα κατά τη στόχευση σωρού φύλλων.



Διάγραμμα 34: Σύγκριση της καταγραφόμενης ανακλαστικότητας για το ίδιο ελαιόδενδρο από επίγειο, εναέριο και δορυφορικό δέκτη.

Οι παραπάνω φασματικές διαφορές οφείλονται στις διαφορετικές συνθήκες λήψης και τις διαφορετικές χωρικές, φασματικές και ραδιομετρικές διακριτικές ικανότητες των τριών δεκτών. Τεκμηριώνουν την επίδραση και άλλων παραγόντων, πλην της προσαξονικής πλευράς φύλλων η οποία πιθανότατα είναι ο σημαντικότερος, στις παραγόμενες από εναέριους και δορυφορικούς δέκτες φασματικές υπογραφές ελιάς. Προκειμένου να υπολογιστεί η συνεισφορά της κάθε παραμέτρου (προσαξονική/αποαξονική πλευρά, κορμός, χρώμα, κλπ) στη φασματική υπογραφή της

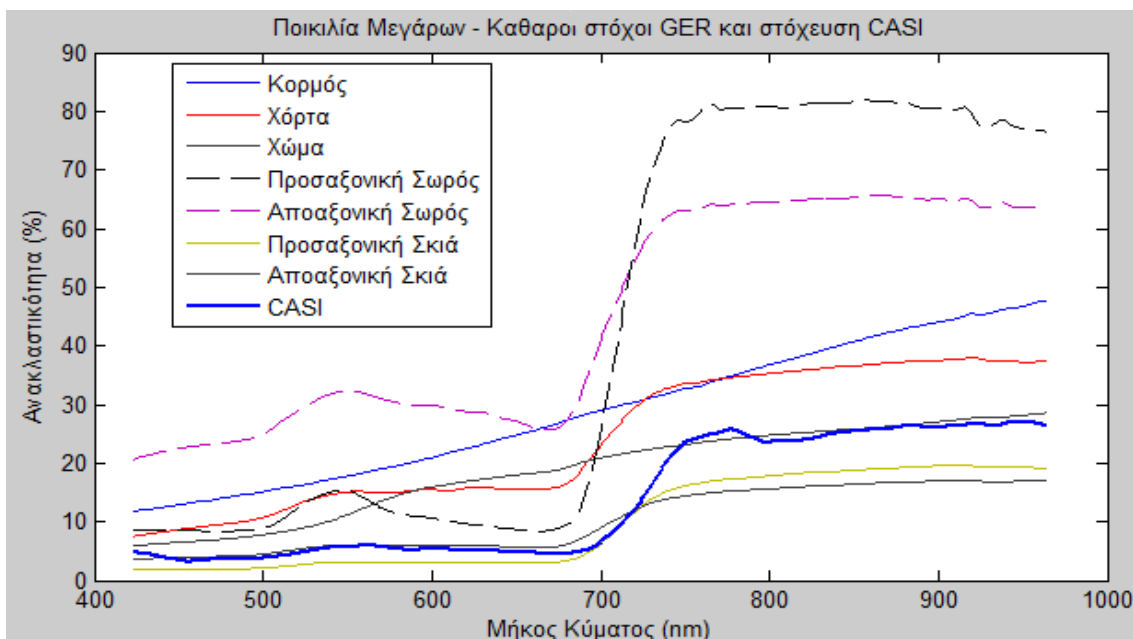


ελιάς, όπως αυτή προκύπτει από τις CASI και Sentinel απεικονίσεις, θεωρήθηκε ότι τόσο στην εικόνα CASI, όσο και στις Sentinel, η ελιά εμφανίζεται ως μικτό εικονοστοιχείο.

Πρόκειται δηλαδή για ένα τυπικό πρόβλημα φασματικού διαχωρισμού σε υπερφασματική εικόνα, το οποίο επιχειρείται να επιλυθεί στο συγκεκριμένο κεφάλαιο, με τη διαφορά ότι οι καθαροί στόχοι έχουν ήδη εντοπιστεί μέσω επιτόπιας έρευνας και οι φασματικές υπογραφές τους έχουν συλλεχθεί με φασματοραδιόμετρο χειρός. Ο λόγος για τον οποίο δεν πραγματοποιήθηκε εξαγωγή καθαρών στόχων με χρήση κάποιου λογισμικού Τηλεπισκόπησης είναι ότι είναι ότι η χωρική ανάλυση των εικόνων (2,5 μέτρα για την CASI και 20 για τις Sentinel) δεν το επέτρεπε, καθώς δεν υπήρχαν «καθαρά εικονοστοιχεία» που να περιέχουν στόχους όπως η αποαξονική πλευρά φύλλων ή ο κορμός. Η αφθονία των καθαρών στόχων στο εικονοστοιχείο της ελιάς εκτιμήθηκε τόσο με τη μέθοδο του γραμμικού φασματικού διαχωρισμού του λογισμικού ENVI, όσο και με μία μέθοδο που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας.

Συγκεκριμένα, υπολογίστηκαν οι φασματικές γωνίες ( $SAD_i$ ,  $i=1,2,\dots,n$ ) μεταξύ του μικτού εικονοστοιχείου και των επίγειων μετρήσεων κάθε παραμέτρου (καθαρού στόχου) της ελιάς. Με βάση την υπόθεση ότι υψηλή φασματική ομοιότητα σημαίνει υψηλή συμμετοχή της παραμέτρου στο μικτό εικονοστοιχείο, υπολογίστηκε το άθροισμα των φασματικών γωνιών ( $\Sigma_{SAD}$ ) και στη συνέχεια το κλάσμα  $SAD_i/\Sigma_{SAD}$ . Έτσι, παράχθηκε μια κανονικοποιημένη ένδειξη της αφθονίας κάθε στόχου.

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι φασματικές υπογραφές όλων των καθαρών στόχων που συλλέχθηκαν στο ύπαιθρο από την περιοχή ενός ελαιόδενδρου ποικιλίας Μεγάρων στη Χαλκίδα, στις 6/2/2016, καθώς και η φασματική καμπύλη που εξάχθηκε από το αντίστοιχο μικτό εικονοστοιχείο της εικόνας CASI. Παρατηρείται ότι τα φύλλα που στοχεύθηκαν πάνω στο δέντρο υπό σκιά έχουν πολύ χαμηλότερη ανακλαστικότητα από εκείνα που στοχεύθηκαν φωτισμένα και σε σωρό. Η αύξουσα ανακλαστικότητά της φασματικής υπογραφής CASI μεταξύ πράσινου-κίτρινου και στο εγγύς υπέρυθρο θα μπορούσε να εξηγηθεί σε μεγάλο βαθμό από την αντίστοιχη συμπεριφορά που παρουσιάζουν το χρώμα και τα χόρτα.



Διάγραμμα 35: Οι φασματικές καμπύλες των καθαρών στόχων που συλλέχθηκαν από το φασματοραδιόμετρο GER και χρησιμοποιήθηκαν για τον φασματικό διαχωρισμό, μαζί με την αντίστοιχη του μικτού εικονοστοιχείου της εικόνας CASI

Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα του φασματικού διαχωρισμού που προέκυψαν από τη μέθοδο που αναλύθηκε προηγουμένως (SAD-based) και το γραμμικό φασματικό διαχωρισμό (unmixing). Παρ' όλο που δεν διατίθενται δεδομένα ικανά να αξιολογήσουν την απόδοση των δύο μοντέλων, η μέθοδος SAD-based παρουσιάζει εύλογα αποτελέσματα, λαμβάνοντας υπ' όψιν τις διαστάσεις του εικονοστοιχείου. Συγκεκριμένα, η προσαξονική πλευρά των φύλλων (φωτισμένα και υπό σκιά) συγκεντρώνει τα υψηλότερα ποσοστά συμμετοχής (54%), ενώ η αποαξονική 27,7%. Η σκιασμένη επιφάνεια στην κόμη συμμετέχει κατά 47,4%, η φωτεινή κατά 34,3%, ενώ ο κορμός με τα κλαδιά κατά 4,2%. Τέλος, τα χόρτα εμφανίζουν μεγαλύτερο ποσοστό κάλυψης στο εικονοστοιχείο (13,3%) σε σχέση με το χώμα (0,9%). Η μέθοδος Unmixing συμφωνεί εν γένει, αλλά έχει προσδώσει υπερβολικά υψηλές τιμές αφθονίας στα σκιασμένα φύλλα, αφαιρώντας από τα υπόλοιπα.

CASI \ GER	Προσαξονική	Αποαξονική	Προσαξονική σκιά	Αποαξονική σκιά	Χώμα	Χόρτα	Κορμός
Abundance (%) SAD-based	25,0	9,3	29,0	18,4	0,9	13,3	4,2
Abundance (%) <u>Unmixing</u>	4,2	0,3	37,5	37,8	0,1	16,1	3,8

Πίνακας 7: Τα ποσοστά αφθονίας των καθαρών στόχων, σύμφωνα με το μοντέλο που αναπτύχθηκε (SAD-based) και το γραμμικό φασματικό διαχωρισμό

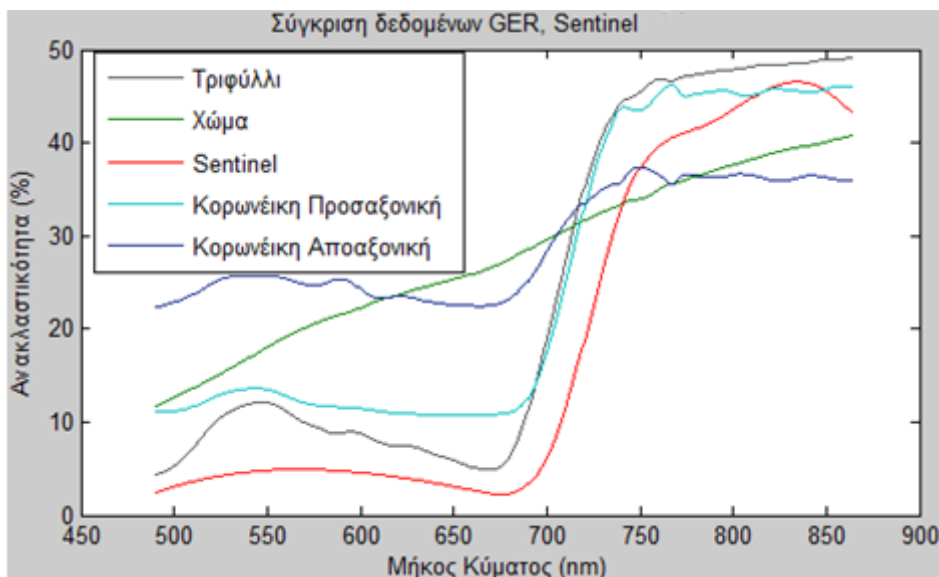
Σε μία προσπάθεια επαλήθευσης της συσχέτισης μεταξύ των δεδομένων των δύο διαφορετικών δεκτών για την ίδια περιοχή, εφαρμόστηκε γραμμική παλινδρόμηση πολλών μεταβλητών. Οι καθαροί στόχοι των μετρήσεων πεδίου λογίστηκαν ως ανεξάρτητες μεταβλητές, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν ως παράγοντες πρόβλεψης των χαρακτηριστικών της εξαρτημένης μεταβλητής, δηλαδή του στοχευμένου εικονοστοιχείου στην εικόνα CASI. Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα της παλινδρόμησης, η οποία ήταν επιτυχής, όπως υποδεικνύεται από τον πολύ υψηλό συντελεστή προσδιορισμού ( $R^2=99,22\%$ ). Όλες οι ανεξάρτητες μεταβλητές κρίθηκαν στατιστικά σημαντικές για τη συσχέτιση για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, πλην του κορμού, ο οποίος είχε  $p\text{-value}>0,05$  και συγκεκριμένα 0,772. Αποδεικνύεται δηλαδή, ότι η μεταβλητότητα των πιθανών τιμών ανακλαστικότητας στην εικόνα CASI μπορεί να εξηγηθεί από τους παράγοντες  $x$ , οι οποίοι στοχεύθηκαν στο πεδίο. Υπολογίστηκαν επίσης οι συντελεστές  $a_{1,2,\dots,n}$  για τους οποίους επαληθεύεται η σχέση:

$$\text{Pixel CASI} = a_1x_{1\text{GER}} + a_2x_{2\text{GER}} + \dots + a_nx_{n\text{GER}} + c$$

$R^2 = 99,22$	Κορμός	Χόρτα	Χώμα	Προσαξονική	Αποαξονική	Προσαξονική σκιά	Αποαξονική σκιά	Σταθερά
Συντελεστής	-0,025	-1,726	0,611	-0,396	1,095	4,102	-2,331	-4,074
p-value	0,772	6,97E-13	6,33E-23	1,91E-12	4,18E-11	5,21E-24	0,001	0,008

Πίνακας 8: Τα στατιστικά στοιχεία που προέκυψαν από τη διενέργεια παλινδρόμησης πολλών μεταβλητών μεταξύ του μικτού εικονοστοιχείου CASI και των επιμέρους καθαρών στόχων. Στους συντελεστές των καθαρών στόχων συμπεριλαμβάνονται αρνητικές τιμές, επομένως δεν αξιοποιήθηκαν για την εκτίμηση ποσοστών αφθονίας.

Ακολούθησε η εκτίμηση των ποσοστών αφθονίας των καθαρών στόχων από την περιοχή ενός ελαιόδενδρου ποικιλίας Κορωνέικης στη Μεσσηνία, στην αντίστοιχη εικόνα Sentinel, η οποία ελήφθη στις 6/12/2015, ένα μήνα περίπου μετά τις μετρήσεις πεδίου. Το συγκεκριμένο ελαιόδενδρο βρισκόταν σε ελαιώνα, οπότε μεγάλο μέρος του εικονοστοιχείου της εικόνας θα καλύπτεται από φύλλωμα ελιάς, παρά τη χαμηλή του χωρική ανάλυση. Η φασματική καμπύλη της εικόνας, φαίνεται να προσομοιάζει περισσότερο εκείνη του τριφυλλιού και λιγότερο των φύλλων, σε μία εξαιρετικά απλοποιημένη μορφή φυσικά, λόγω της χαμηλής φασματικής διακριτικής ικανότητας του δέκτη (8 κανάλια στα 490-865 nm).



Διάγραμμα 36: Οι φασματικές υπογραφές που προέκυψαν από το μικτό εικονοστοιχείο της εικόνας Sentinel για την περιοχή του ελαιόδενδρου ποικιλίας Κορωνέικης στη Μεσσηνία και τους επιμέρους καθαρούς στόχους.

Λόγω της χαμηλής χωρικής ανάλυσης (20m), δεν προκαλεί εντύπωση η υψηλή συμμετοχή του τριφυλλιού, το μήνα Δεκέμβριο στο συγκεκριμένο αγροτεμάχιο, όπου είναι ιδιαίτερα πυκνό. Γενικότερα όμως, λόγω της χαμηλής διακριτικής ικανότητας του δέκτη και της μεγάλης ομοιότητας της φασματικής υπογραφής του τριφυλλιού με τις αντίστοιχες των φύλλων, δεν μπορούν να προκύψουν ασφαλή συμπεράσματα σχετικά με τα ποσοστά αφθονίας των καθαρών στόχων στην εικόνα.

Sentinel \ GER	Προσαξονική	Αποαξονική	Χώμα	Τριφύλλι
Abundance (%) SAD-based	41,7	1,5	8,2	48,6

Πίνακας 9: Εκτίμηση των ποσοστών αφθονίας των καθαρών στόχων των μετρήσεων GER στο μικτό εικονοστοιχείο της εικόνας Sentinel.

## 8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Κατά την εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής εργασίας προέκυψαν ορισμένα συμπεράσματα, αναφορικά τόσο με την έκβαση της αρχικής στοχοθεσίας, όσο και με τις επιμέρους διαδικασίες που ακολουθήθηκαν. Αναλυτικά, παρατίθενται παρακάτω:

- Κατά την επεξεργασία των επίγειων μετρήσεων παρατηρήθηκε ότι ένα αξιοσημείωτο τμήμα τους εμφάνιζε θόρυβο ή παρουσίαζε σημαντικές αποκλίσεις σε σχέση με τις υπόλοιπες παραγμένες φασματικές υπογραφές. Επομένως, προκειμένου να ερμηνεύονται και να αντιμετωπίζονται τα ζητήματα αυτά άμεσα και αποτελεσματικά απαιτείται ταυτόχρονα με τη μέτρηση, παρατήρηση της φασματικής υπογραφής και σύγκρισή της με προηγούμενες μετρήσεις ή με μια υπάρχουσα βιβλιοθήκη εάν υπάρχει.
- Η στόχευση σωρού φύλλων ελιάς μέσω φασματοραδιόμετρου χειρός οδήγησε στην καταγραφή υψηλότερης ανακλαστικότητας σε σχέση με τη στόχευση μεμονωμένων φύλλων πάνω στο δέντρο. Επιβεβαιώθηκε δηλαδή, το φαινόμενο της προσθετικής ανακλαστικότητας.
- Οι μεταβολές οι οποίες αποτυπώνονται στο φάσμα λόγω των διαφορετικών συνθηκών που επικρατούν σε κάθε μέτρηση, δεν είναι σε καμία περίπτωση αμελητέες, παρά τις μεθόδους που έχουν αναπτυχθεί για τον περιορισμό τους. Επομένως, η εξ' αρχής διασφάλιση κατά το δυνατόν ομοιογενών συνθηκών παρατήρησης είναι ζωτικής σημασίας.
- Αν και οι διακυμάνσεις των φασματικών δεδομένων είναι σημαντικές, σε γενικές γραμμές η χρονική μεταβολή ακολουθεί την αναμενόμενη στο εγγύς υπέρυθρο τμήμα του φάσματος. Συγκεκριμένα, το Νοέμβριο είναι σε κοντινά επίπεδα με το Δεκέμβριο, ενώ στη συνέχεια αυξάνεται διαδοχικά το Φεβρουάριο, το Μάρτιο και τον Ιούνιο. Στην περίπτωση της αγριελιάς παρατηρήθηκε πτώση της ανακλαστικότητας τον Ιούνιο και γι αυτό θα πρέπει να γίνουν και άλλες διαχρονικές μετρήσεις.
- Η διάκριση των ποικιλιών ελιάς μεταξύ τους κρίνεται επισφαλής, καθώς δεν προέκυψαν κατά την έρευνα ενδείξεις ότι τα Τηλεπισκοπικά δεδομένα παρέχουν τέτοια δυνατότητα. Από την άλλη πλευρά, ταυτοποιήθηκαν διαφορές στις φασματικές υπογραφές ελιάς-σκίνου, ωστόσο διατηρείται κάποια επιφύλαξη λόγω της συλλογής ελάχιστων δεδομένων για το σκίνο. Όπως επαναλάμβανε ο Dave Simonett, «Το πράσινο είναι πράσινο»: Οι φασματικές υπογραφές της πράσινης βλάστησης έχουν εξαιρετικές ομοιότητες μεταξύ τους, λόγω των κοινών φασματικών τους χαρακτηριστικών και είναι δύσκολο να διαχωριστεί το ένα είδος από το άλλο.
- Διαπιστώθηκαν χαρακτηριστικές φασματικές διαφορές μεταξύ των δεδομένων ανακλαστικότητας που συλλέγονται από διαφορετικές πλατφόρμες (επίγειες, εναέριας, δορυφορικές), ακόμα και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση των εικόνων. Κατά τα φαινόμενα, οι τελευταίες μειώνουν την καταγραφόμενη ανακλαστικότητα.

- Παρήχθησαν αληθοφανή αποτελέσματα από το γραμμικό μοντέλο ανάμιξης το οποίο εξετάστηκε και επομένως, η δυναμική της χρήσης φασματικών δεδομένων πεδίου ως δεδομένα αναφοράς ή βαθμονόμησης αντίστοιχων Τηλεπισκοπικών λήψεων αξιολογήθηκε σημαντική. Έτσι, αποδεικνύονται οι ωφέλειες ανάπτυξης μιας πλήρους φασματικής βιβλιοθήκης με χρήση έγκυρων δεδομένων πεδίου.
- Από τα πειράματα τα οποία πραγματοποιήθηκαν και με βάση τη μέθοδο που αναπτύχθηκε στη Διπλωματική αυτή, προέκυψε η δυνατότητα εκτίμησης των ποσοστών συμμετοχής κάθε παραμέτρου της ελιάς και του περιβάλλοντός της σε εικονοστοιχεία διαστάσεων 2,5 και 20 μέτρων αντίστοιχα.
- Σε εικονοστοιχείο 2,5 μέτρων και όταν η κόμη μιας ανεπτυγμένης ελιάς απεικονίζεται εξολοκλήρου στο πεδίο όρασης του δέκτη, η συμμετοχή του φυλλώματος της ελιάς είναι 81,7%, ενώ η συμμετοχή του κορμού και των κλαδιών είναι 4,2%, του χώματος 0,9% και των χόρτων 13,3% στη φασματική υπογραφή της ελιάς. Το συμπέρασμα αυτό είναι χρήσιμο για τον υπολογισμό της βιομάζας σε ελαιώνες, καθώς και για άλλες περιβαλλοντικές εφαρμογές.
- Σε εικονοστοιχείο 20 μέτρων, λόγω μεγάλης ομοιότητας της φασματικής υπογραφής των φύλλων της ελιάς και ιδίως της προσαξονικής πλευράς με το τριφύλλι, δεν προέκυψαν ασφαλή συμπεράσματα.

Τέλος, κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της συγκεκριμένης εργασίας και της προοδευτικής εξειδίκευσης του συγγραφέα σε τομείς της Τηλεπισκόπησης όπως η διενέργεια μετρήσεων πεδίου και η επεξεργασία δεδομένων ανακλαστικότητας, τα οποία προέρχονται από διαφορετικού Τηλεπισκοπικούς δέκτες και πλατφόρμες, προέκυψαν ορισμένοι προβληματισμοί. Οπότε, προτάθηκαν ορισμένες πιθανές κατευθύνσεις έρευνας οι οποίες θα μπορούσαν να αποβούν σημαντικές στη βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων ανάλογων μελλοντικών μελετών, αλλά και για την επιστήμη της Τηλεπισκόπησης γενικότερα:

- Αρχικά, ιδιαίτερα χρήσιμη κρίνεται η ανάπτυξη κριτηρίων αξιολόγησης της φασματικής υπογραφής κατά τη διάρκεια της μέτρησης, με την ταυτόχρονη χρήση φορητού ηλεκτρονικού υπολογιστή και την αξιοποίηση προηγούμενων μετρήσεων και δεικτών ομοιότητας. Με αυτό τον τρόπο θα δινόταν η δυνατότητα αυτόματης απόρριψης μη αποδεκτών μετρήσεων, οι οποίες θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε εσφαλμένα συμπεράσματα.
- Η διεξαγωγή περαιτέρω πειραμάτων σχετικά με τη συμμετοχή των παραμέτρων στη φασματική υπογραφή της ελιάς σε σχέση με τη θέση της κόμης της στο πεδίο όρασης του δέκτη, θα μπορούσε να οδηγήσει σε εξαγωγή πληρέστερων συμπερασμάτων κατά το φασματικό διαχωρισμό. Επίσης, θα μπορούσε να συμβάλει στην αξιολόγηση και βελτιστοποίηση της στόχευσης του εκάστοτε παρατηρητή.

- Ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η διερεύνηση του διαχωρισμού της ελιάς από άλλα είδη, πλην του σκίνου, ούτως ώστε να εξαχθούν πλήρη συμπεράσματα σχετικά με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της φασματικής της υπογραφής.
- Τέλος, φάνηκε και στην παρούσα εργασία η διαχρονική σημασία της συγκέντρωσης ολοένα πληρέστερων δεδομένων φασματικής βιβλιοθήκης, ενώ προέκυψαν ενδείξεις ότι η συλλογή δεδομένων πεδίου για όλες τις παραμέτρους που μπορεί να επηρεάζουν μία φασματική υπογραφή, όπως ο κορμός και οι δύο πλευρές φύλλων, έχει τη δυνατότητα να βοηθήσει σε αυτό το εγχείρημα. Προτείνεται λοιπόν να δοθεί έμφαση σε αυτόν τον πολλά υποσχόμενο τομέα έρευνας, με τις πολυάριθμες εφαρμογές.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Συνοπτική παρουσίαση της συλλογής επίγειων δεδομένων .....	53
Πίνακας 2: Καταγραφή στατιστικών στοιχείων που αφορούν στην ανακλαστικότητα των διαφόρων υλικών που στοχεύθηκαν κατά τις επίγειες μετρήσεις. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η σύγκριση της προσαξονικής με την αποαξονική πλευρά των φύλλων ελιάς στο υπέρυθρο κομμάτι, όπου επιβεβαιώνεται η ταύτιση που είχε παρατηρηθεί, με την αποαξονική να δίνει ανεπαίσθητα υψηλότερες τιμές. Επίσης, τα χόρτα προσεγγίζουν σε μεγάλο βαθμό τις τιμές της προσαξονικής, έχοντας ελαφρώς χαμηλότερη ανακλαστικότητα σε όλο το φάσμα πλην του κόκκινου τμήματός του.....	64
Πίνακας 3: Πίνακας απεικόνισης των αποτελεσμάτων της σύγκρισης των ειδών ελιάς, προσαξονικής και αποαξονικής πλευράς φύλλων, μέσω των συντελεστών στατιστικής συσχέτισης και φασματικής ομοιότητας, για διαφορετικά μήκη κύματος. ....	74
Πίνακας 4: Σύγκριση των διαφορετικών ποικιλιών ελιάς μετά την αφαίρεση του συνεχούς, με υπολογισμό του συντελεστή $R^2$ και εφαρμογή του κριτηρίου Wilcoxon.....	75
Πίνακας 5: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της σύγκρισης των φασματικών υπογραφών Δεκεμβρίου σε σχέση με Νοέμβριο, Φεβρουάριο και Ιούνιο. ....	78
Πίνακας 6: Τα αποτελέσματα της διεποχικής σύγκρισης, η οποία έλαβε χώρα στις φασματικές υπογραφές μετά την αφαίρεση του συνεχούς. ....	79
Πίνακας 7: Τα ποσοστά αφθονίας των καθαρών στόχων, σύμφωνα με το μοντέλο που αναπτύχθηκε (SAD-based) και το γραμμικό φασματικό διαχωρισμό .....	82
Πίνακας 8: Τα στατιστικά στοιχεία που προέκυψαν από τη διενέργεια παλινδρόμησης πολλών μεταβλητών μεταξύ του μικτού εικονοστοιχείου CASI και των επιμέρους καθαρών στόχων. Στους συντελεστές των καθαρών στόχων συμπεριλαμβάνονται αρνητικές τιμές, επομένως δεν αξιοποιήθηκαν για την εκτίμηση ποσοστών αφθονίας. ....	83
Πίνακας 9: Εκτίμηση των ποσοστών αφθονίας των καθαρών στόχων των μετρήσεων GER στο μικτό εικονοστοιχείο της εικόνας Sentinel. ....	84



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Άποψη ελαιόδενδρου της ευρωπαϊκής ποικιλίας στη Μεσσηνία. (Πηγή: Προσωπικό αρχείο) .....	21
Εικόνα 2: Άποψη του καρπού της ελιάς από Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης. Εντός των κυττάρων διακρίνονται τα μεγάλα σταγονίδια ελαιόλαδου (Πηγή: Χριστοδουλάκης, 2012) .....	22
Εικόνα 3: Γενικευμένη διατομή της κυτταρικής δομής ενός πράσινου φύλλου. (Πηγή: Gibson, 2000) .....	27
Εικόνα 4: Σχηματική απεικόνιση της φασματικής ανάκλασης που παρατηρείται σε δασικά φυλλώματα και πολυεπίπεδη βλάστηση. (Πηγή: Gibson, 2000) .....	28
Εικόνα 5: Το φασματοραδιόμετρο GER 1500 της Spectra Vista Corporation. (Πηγή: Προσωπικό αρχείο) .....	32
Εικόνα 6: Διαγραμματική απεικόνιση και χωροθέτηση στο ορατό και υπέρυθρο φάσμα, των καναλιών του Sentinel-2 MSI με χωρική ανάλυση 10 (πάνω) και 20 μέτρων (κάτω). Πηγή: ( <a href="https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/resolutions/spatial">https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/resolutions/spatial</a> ) .....	33
Εικόνα 7: Παρουσίαση των, κυκλωμένων, περιοχών μελέτης στην Εύβοια (πάνω) και τη Μεσσηνία (κάτω), όπως απεικονίζονται στις δορυφορικές εικόνες Sentinel. Είναι φανερό, ακόμα και από αυτό το επίπεδο εστίασης, ότι η πληροφορία είναι επαρκής μόνο για τον εντοπισμό ελαιοτεμαχίων και όχι συγκεκριμένων ελαιόδεντρων. (Πηγή: <a href="https://scihub.copernicus.eu/dhus/">https://scihub.copernicus.eu/dhus/</a> ) .....	34
Εικόνα 8: Τα κύρια τμήματα του οργάνου CASI-550: Ο υπερφασματικός αισθητήρας (SHU), η μονάδα ελέγχου οργάνων (υπολογιστής και σχετικό λογισμικό - ICU), μια οθόνη, ο αισθητήρας προσπίπτουσας ακτινοβολίας (ILS) και μια συσκευή IMU/GPS. (Πηγή: Κόκας, 2014) .....	35
Εικόνα 9: Η υπερφασματική εικόνα του δέκτη CASI στην περιοχή Κρόνια Χαλκίδας, η οποία ελήφθη στις 2/2/2006. (Πηγή: Αρχείο ΕΜΠ) .....	36
Εικόνα 10: Οπτικοποίηση της φασματικής γωνίας, $\theta$ , μεταξύ δύο φασμάτων $t, r$ στα κανάλια $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ . (Πηγή: Luc et. al, 2005) .....	40
Εικόνα 11: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν κατά την ατμοσφαιρική διόρθωση της χειμερινής εικόνας CASI, με χρήση του αλγορίθμου FLAASH του λογισμικού ENVI. Στις προηγμένες ρυθμίσεις (δεξιά) διατηρήθηκαν οι προεπιλεγμένες. ....	42
Εικόνα 12: Παράδειγμα γραμμικής παλινδρόμησης στο Excel, όπου εκτιμάται η στατιστική συσχέτιση του φάσματος μιας εικονοψηφίδας CASI, με τα φασματικά δεδομένα που συλλέχθηκαν με το ραδιόμετρο από την ίδια περιοχή. ....	45

Εικόνα 13: Οι περιοχές μελέτης (Πηγή: Google Earth).....	48
Εικόνα 14: Γραφική απεικόνιση των μεγεθών που επηρεάζουν τη διάμετρο του στόχου σε μία μέτρηση με ραδιόμετρο (Πηγή: Καραθανάση, 2014) .....	49
Εικόνα 15: Η λευκή πλάκα Spectralon που χρησιμοποιήθηκε ως επιφάνεια αναφοράς κατά τις μετρήσεις πεδίου. (Πηγή: Προσωπικό αρχείο) .....	50
Εικόνα 16: Η επιφάνεια plexiglass που χρησιμοποιήθηκε κατά τις επίγειες μετρήσεις ανακλαστικότητας (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).....	51
Εικόνα 17: Αριστερά, απεικόνιση του τρόπου οριζοντίωσης των φύλλων επί της επιφάνειας plexiglass, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε κατά τη στόχευση επάνω στο δένδρο. Δεξιά, ο τρόπος στόχευσης σωρού φύλλων. (Πηγή: Προσωπικό αρχείο) .....	52
Εικόνα 18: Τα τρία ελαιόδενδρα που αποτέλεσαν αντικείμενα των μετρήσεων στο Χαϊδάρι. Αριστερά η ποικιλία Καλαμών, στο κέντρο η Μεγαρίτικη και δεξιά η Αγριελιά, με αντίστοιχα κοντινά πλάνα των φύλλων. (Πηγή: Προσωπικό αρχείο) .....	53
Εικόνα 19: Άποψη δύο εκ των ελαιόδενδρων που μετρήθηκαν στη Μεσσηνία, του περιβάλλοντός τους και των φύλλων τους σε εστίαση. Αριστερά, η Κορωνέικη στον πρώτο ελαιώνα στην Ασίνη και δεξιά, η Καλαμών στη Σέλιτσα (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).....	59
Εικόνα 20: Ενδεικτικές λήψεις από τις ποικιλίες ελιάς που στοχεύθηκαν στην Κρόνια. Αριστερά, η πρώτη Αμφίσσης. Στο κέντρο η Μεγάρων. Δεξιά η Θιακή, η οποία όπως είναι εμφανές δεν την έχουν περιποιηθεί στο ελάχιστο και έχει κατακλυστεί από αγριόχορτα (Πηγή: Προσωπικό αρχείο) .....	62
Εικόνα 21: Απεικόνιση της θέσης των κλαδιών που στοχεύθηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος στην Αγριελιά του Βοτανικού Κήπου (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).....	64
Εικόνα 22: Ενδεικτική στόχευση του ελαιόδενδρου Αμφίσσης I με χρήση των λογισμικών Envi (αριστερά) και Google Earth (δεξιά). Κάτω δεξιά, το παραγόμενο διάγραμμα ανακλαστικότητας. .	66
Εικόνα 23: Απεικόνιση της στόχευσης των ελαιόδενδρων ποικιλίας Θιακής (αριστερά) και Μεγάρων (δεξιά) στην εικόνα του Φεβρουαρίου, καθώς και των αντίστοιχων εξομαλυμένων διαγραμμάτων ανακλαστικότητας (πάνω). (Πηγή: Προσωπικό αρχείο) .....	67
Εικόνα 24: Η στόχευση των ελαιόδενδρων Αμφίσσης I (αριστερά) και Αμφίσσης II (δεξιά) στο λογισμικό του Envi και οι φασματικές καμπύλες οι οποίες προέκυψαν (πάνω). (Πηγή: Προσωπικό αρχείο) .....	68
Εικόνα 25: Άποψη εικόνας Sentinel, διορθωμένης στο ειδικό λογισμικό SNAP. Είναι φανερό ότι η χωρική ανάλυση των 10 μέτρων επιτρέπει μονάχα τον υπολογισμό ανακλαστικότητας σε κλίμακα αγροτεμαχίου. (Πηγή: <a href="https://scihub.copernicus.eu/dhus/">https://scihub.copernicus.eu/dhus/</a> ).....	69

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1: Οι επιδράσεις του ανέμου σε κινούμενους στόχους (πχ φύλλα). Αριστερά, η διαγραμματική απεικόνιση πέντε πανομοιότυπων μετρήσεων με απαλό αεράκι και δεξιά με νηνεμία (Πηγή: Pfitzner et al., 2011). .....	11
Διάγραμμα 2: Αριστερά, δύο φασματικές υπογραφές από το ίδιο δένδρο μαονιού, χαρακτηριστικές της διακύμανσης που μπορεί να υπάρξει, και μάλιστα με διαφορετικό τρόπο στο ορατό και στο υπέρυθρο τμήμα του φάσματος. Δεξιά, ο πίνακας με τις τιμές D, θ όλων των ειδών (Πηγή: Cochrane, 2000). .....	14
Διάγραμμα 3: Η ιδιαίτερη συμπεριφορά της ελαιοκάμβης (αριστερά) στο ορατό φάσμα είναι εμφανής από τη σύγκριση του διαγράμματος φασματικής ανακλαστικότητάς της, με αυτό της σίκαλης (δεξιά). Με συνεχή γραμμή παρουσιάζονται τα διαγράμματα που προέκυψαν από τις εικόνες HyMAP, ενώ με διακεκομμένη τα δεδομένα πεδίου. (Πηγή: Nidamanuri και Zbell , 2012) .	15
Διάγραμμα 4: Διαγραμματική απεικόνιση της φασματικής ανακλαστικότητας της ελιάς (OE) σε σύγκριση με τα υπόλοιπα είδη, μέσω της μη παραμετρικής μεθόδου. Πάνω αριστερά συγκρίνεται με τη χαρουπιά, πάνω δεξιά με το χινοπόδι, κάτω αριστερά με το μαστιχόδενδρο και κάτω δεξιά, με τον ασπάλαθο. Με γκρι χρωματίζονται τα στατιστικά σημαντικά κανάλια (Πηγή: Manevski et al., 2011) .....	17
Διάγραμμα 5: Σύγκριση της ανακλαστικότητας καθαρού εικονοστοιχείου και μικτού (αριστερά) και των ανακλαστικότητων κόμης, σκιάς και χώματος (δεξιά). (Πηγή: Zarco-Tejada et al., 2004).....	19
Διάγραμμα 6: Αριστερά: Ανακλαστικότητα κόμης χωρίς, με αρχικά και με δριμέα συμπτώματα. Με τη μόλυνση παρατηρείται αύξηση της ανακλαστικότητας στο κόκκινο και μείωση της κλίσης στην κόκκινη ακμή. Δεξιά: Οι μέσες τιμές της κανονικοποιημένης θερμοκρασίας φυλλώματος. Παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας, ανάλογη με την επιδείνωση της μόλυνσης. (Πηγή: Calderon et al., 2015).....	20
Διάγραμμα 7: Διαγραμματική απεικόνιση των φασματικών χαρακτηριστικών ανάκλασης της υγιούς, πράσινης βλάστησης για τα μήκη κύματος 0.4-2.6 μm, με τις περιοχές απορρόφησης της ακτινοβολίας. (Πηγή: Jensen, 2000).....	25
Διάγραμμα 8: Φασματικές επιδράσεις της προοδευτικής αποξήρανσης ενός φύλλου Magnolia. Παρατηρείται ότι ο συντελεστής ανάκλασης της ακτινοβολίας αυξάνεται, όσο μειώνεται η περιεκτικότητά του σε νερό. (Πηγή: Carter, 1991) .....	26

Διάγραμμα 9: Ενδεικτική εξομάλυνση διαγράμματος ανακλαστικότητας αποαξονικής πλευράς φύλλου με χρήση του φίλτρου Savitzky-Golay. Δεξιά παρουσιάζεται το αρχικό διάγραμμα και αριστερά, το εξομαλυμένο .....	38
Διάγραμμα 10: Παράδειγμα αφαίρεσης του συνεχούς στο λογισμικό του ENVI, σε δεδομένα ανακλαστικότητας της ίδιας Αγριελιάς σε διαφορετικές εποχές. Η κανονικοποίηση των διαγραμμάτων τονίζει τις, αναμενόμενες ομοιότητές του. Διαφοροποιήσεις εμφανίζονται κυρίως στο ορατό φάσμα, όπου υπάρχει η μεγαλύτερη απορρόφηση ακτινοβολίας.....	39
Διάγραμμα 11: Σύγκριση των διαγραμμάτων ανακλαστικότητας που προέκυψαν από τη στόχευση του ίδιου ελαιόδενδρου στην αρχική εικόνα CASI (αριστερά) και στη διορθωμένη (δεξιά), στο περιβάλλον του λογισμικού ENVI.....	43
Διάγραμμα 12: Διαγραμματική απεικόνιση των χαρακτηριστικών απορρόφησης ορισμένων αέριων συστατικών της ατμόσφαιρας (πάνω), καθώς και της διάδοσης μέσω της ατμόσφαιρας, ως συνάρτηση του μήκους κύματος και των περιοχών των ατμοσφαιρικών παραθύρων (κάτω). (Πηγή: Gibson,2000).....	47
Διάγραμμα 13: Οι καμπύλες φασματικής ανακλαστικότητας της επιφάνειας plexiglass και των γαντιών που χρησιμοποιήθηκαν στις μετρήσεις. Αν και δεν είναι αμελητέες, δεν ξεπερνάνε σε καμία περίπτωση το 10%, οπότε η συνεισφορά τους στην καταγραφόμενη ακτινοβολία είναι ελάχιστη .....	50
Διάγραμμα 14: Οι φασματικές υπογραφές της προσαξονικής πλευράς των φύλλων της αγριελιάς. Οι μετρήσεις επάνω στο δένδρο ήταν αδύνατες λόγω του μικρού μεγέθους των φύλλων, οπότε όλες προέρχονται από σωρούς. Η μέτρηση στις 26 Μαρτίου πραγματοποιήθηκε σε διαφορετική αγριελιά του Βοτανικού Κήπου .....	54
Διάγραμμα 15: Απεικόνιση των φασματικών υπογραφών της ποικιλίας Καλαμών, όπως καταγράφηκαν από το φασματοραδιόμετρο. ....	55
Διάγραμμα 16: Φασματικές καμπύλες των φύλλων της ποικιλίας Μεγάρων. ....	55
Διάγραμμα 17: Οι φασματικές υπογραφές που συλλέχθηκαν από σωρούς φύλλων αγριελιάς στραμμένων προς την αποαξονική πλευρά. Όλες φαίνονται όμοιες, όμως στις 20/2 και 26/3 το βύθισμα που εμφανίζεται στα 380 nm είναι μάλλον δυσανάλογα μεγάλο.....	56
Διάγραμμα 18: Οι φασματικές υπογραφές της αποαξονικής πλευράς των φύλλων της ποικιλίας Καλαμών. Τα φύλλα που μετρήθηκαν στις 19/11 υπό σκιά εμφάνισαν, εύλογα, πολύ χαμηλή ανακλαστικότητα. ....	57
Διάγραμμα 19: Απεικόνιση των φασματικών υπογραφών της αποαξονικής πλευράς των φύλλων της ποικιλίας Μεγάρων. ....	57
Διάγραμμα 20: Απεικόνιση των καθαρών στόχων που μπορεί να επηρεάζουν την καταγραφόμενη φασματική υπογραφή της αγριελιάς. Όλα τα διαγράμματα προέρχονται από τις 5/6 και είναι αντιπροσωπευτικά του συνόλου των μετρήσεων, εκτός από αυτό του κορμού, ο οποίος αναγκαστικά μετρήθηκε στις 26/3 σε διαφορετική αγριελιά .....	58
Διάγραμμα 21: Τα ελαιόδενδρα Καλαμών και Μεγάρων γειτνιάζουν, επομένως το περιβάλλον τους είναι κοινό. Το χώμα και οι κορμοί εμφανίζουν παρόμοιες φασματικές υπογραφές με τις αντίστοιχες της αγριελιάς, ενώ το γρασίδι προσεγγίζει αυτή των θάμνων. Εντύπωση προκαλούν τα διαγράμματα των κορμών, λόγω υψηλής κλίσης στο εγγύς υπέρυθρο.....	58
Διάγραμμα 22: Οι φασματικές υπογραφές που συλλέχθηκαν από τον πρώτο (δεξιά) και το δεύτερο (αριστερά) ελαιώνα στην Ασίνη .....	60

Διάγραμμα 23: Τα διαγράμματα φασματικής ανακλαστικότητας της Κορωνέικης ποικιλίας που στοχεύθηκε στην τοποθεσία Ζάγκα, αλλά και του περιβάλλοντός της.....	60
Διάγραμμα 24: Οι φασματικές υπογραφές που συλλέχθηκαν στην τοποθεσία Σέλιτσα από ελαιόδενδρο ποικιλίας Καλαμών (αριστερά) και Κορωνέικης (δεξιά) .....	61
Διάγραμμα 25: Τα διαγράμματα φασματικής ανακλαστικότητας που προέκυψαν από τις μετρήσεις στην Κρόνια στις 6/2. Αριστερά παρουσιάζονται του πρώτου ελαιώνα με τις δύο Μεγαρίτικες και δεξιά του δεύτερου με την ποικιλία Αμφίσσης. ....	63
Διάγραμμα 26: Οι καλοκαιρινές φασματικές υπογραφές που συλλέχθηκαν στην περιοχή Κρόνια Χαλκίδας στις 4/6/2016. Αριστερά η Θιακή ποικιλία και δεξιά η Αμφίσσης. ....	63
Διάγραμμα 27: Σύγκριση του πρώτου και του δεύτερου επιπέδου από τα οποία έγιναν οι στοχεύσεις κατά τη διενέργεια του πειράματος φυλλώματος. Αριστερά, η Θιακή ποικιλία από την περιοχή Κρόνια Χαλκίδας και δεξιά η αγριελιά από το Βοτανικό Κήπο Διομήδους. ....	65
Διάγραμμα 28: Σύγκριση των φασματικών καμπυλών οι οποίες προέκυψαν από τις χειμερινές εικόνες Sentinel (διακεκομμένες) και CASI για τα ελαιόδενδρα Μεγάρων και Αμφίσσης Ι. ....	70
Διάγραμμα 29: Σύγκριση μεταξύ των σωρών 5 διαφορετικών ειδών ελιάς, προσαξονικής πλευράς μεταξύ τους, αλλά και με φύλλωμα σκίνου.....	72
Διάγραμμα 30: Σύγκριση μεταξύ των σωρών αποαξονικής πλευράς μεταξύ των ποικιλιών ελιάς και του σκίνου.....	73
Διάγραμμα 31: Οι φασματικές υπογραφές της ποικιλίας Μεγάρων, όπως αποτυπώθηκαν σε διαφορετικές χρονικές περιόδους .....	76
Διάγραμμα 32: Οι φασματικές υπογραφές της ποικιλίας Μεγάρων, όπως αποτυπώθηκαν σε διαφορετικές χρονικές περιόδους .....	77
Διάγραμμα 33: Οι φασματικές υπογραφές της Αγριελιάς, οι οποίες επεξεργάστηκαν προκειμένου να διερευνηθούν οι διεποχικές μεταβολές.....	77
Διάγραμμα 34: Σύγκριση της καταγραφόμενης ανακλαστικότητας για το ίδιο ελαιόδενδρο από επίγειο, εναέριο και δορυφορικό δέκτη. ....	80
Διάγραμμα 35: Οι φασματικές καμπύλες των καθαρών στόχων που συλλέχθηκαν από το φασματοραδιόμετρο GER και χρησιμοποιήθηκαν για τον φασματικό διαχωρισμό, μαζί με την αντίστοιχη του μικτού εικονοστοιχείου της εικόνας CASI .....	82
Διάγραμμα 36: Οι φασματικές υπογραφές που προέκυψαν από το μικτό εικονοστοιχείο της εικόνας Sentinel για την περιοχή του ελαιόδενδρου ποικιλίας Κορωνέικης στη Μεσσηνία και τους επιμέρους καθαρούς στόχους.....	84

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Βιβλία

- Nicodemus, F. F., Richmond, J. C., Hsia, J. J., Ginsberg, I. W., Limperis, T. L. (1977). "Geometrical considerations and nomenclature for reflectance", Washington D.C. U.S Govt. Printing Office
- Χριστοδουλάκης, Ν. Σ., Γαργεράκη, Κ. (2012). "Ιστορίες Φυτών με Άρωμα Ελλάδας", Εκδόσεις Περγινιά, σελ. 121-128.
- Gibson, P. J., Power, C. H. (2000). "Introductory Remote Sensing – Principles and Concepts", St Edmundsbury Press, p. 17-21, 24-28.
- Verbyla, D. L. (1995). "Satellite Remote Sensing of Natural Resources", CRC Press LLC, p. 45-50.
- Καραθανάση, Β. (2014). Σημειώσεις μαθήματος: "Ειδικά Κεφάλαια Τηλεπισκόπησης", Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, σελ. 64-65, 151-202.
- Καρτάλης, Κ., Φείδας, Χ. (2006). "Αρχές και Εφαρμογές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης", Β. Γκιούρδας-Εκδοτική, σελ. 270, 279.
- Jensen, J. R. (1996, 1986). "Introductory Digital Image Processing – A Remote Sensing Perspective (Second Edition)", Prentice Hall Inc.
- Νικήτας, Π. Ι. (2013). "Εισαγωγή στη Στατιστική Ανάλυση Πειραματικών Δεδομένων με Χρήση Excel και SPSS", Εκδόσεις Σιμώνη, σελ. 92, 93, 115, 117, 133-136, 374-376.
- Witz, D., et. al (2008). "GER 1500 User Manual – Revision 3.7", Spectra Vista Corporation, p. 1,6.

## Papers

- Milton, E. J., Schaepman, M. E., Anderson, K., Kneubuhler, M., Fox, N. (2007). "Progress in field spectroscopy", *Remote Sensing of Environment*, 113, 92-109.
- Bruegge, C. J., Chrien, N., Haner, D. (2001). "A Spectralon BRF database for MISR calibration applications", *Remote Sensing of Environment*, 76, 354-366.
- Kimes, D. S., Kirchner, J. A., Newcomb, W. W. (1983). "Spectral radiance errors in remote sensing ground studies due to nearby objects", *Applied Optics*, 22, 8-10.
- Steven, M. D. (2004). "Correcting the effects of field of view and varying illumination in spectral measurements of crops", *Precision Agriculture*, 5, 55-72.
- Anderson, K., Milton, E. J., Rollin, E. M. (2006). "Calibration of dual-beam spectroradiometric data", *International Journal of Remote Sensing*, 27, 975-986.
- Pfizer, K., Bartolo, R., Carr, G., Esparon, A., Bollhoefer, A. (2011). "Standards for reflectance spectral measurement of temporal vegetation plots", Australian Department of Environment and Energy, Supervising Scientist Report, 195.
- Chen, X., Vierling, L. A. (2006). "Spectral mixture analyses of hyperspectral data acquired using a tethered balloon", *Remote Sensing of Environment*, 103, 338-350.
- Goetz, A. F. H., Kindel, B., Pilewskie, P. (1998). "Issues in absolute spectral radiometric calibration: Intercomparison of eight sources. Seventh AVIRIS Conference. Pasadena, California NASA CD-ROM".
- Salvaggio, C., Smith, L., E., Antoine, E., J. (2005). "Spectral signature databases and their application/misapplication to modeling and exploitation of multispectral/hyperspectral data", *Proceedings of SPIE*, 531-541.
- Price, J. C. (1994). "How unique are spectral signatures?", *Remote Sensing of Environment*, 49, 181-186.
- Andrew, M. E., Ustin, S. L. (2006). "Spectral and physiological uniqueness of perennial pepperweed (*Lepidium Latifolium*)", *Weed Science*, 54, 1051-1062.
- Cochrane, M. A. (2000). "Using vegetation reflectance variability for species level classification of hyperspectral data", *International Journal of Remote Sensing*, 2075-2087.
- Portigal, F., Holasek, R., Mooradian, G., Owensby, P., Dickson, M., Fene, M., Elliot, M., Hall, E., Driggett, D. (1997). "Vegetation classification using red-edge first derivative and green peak statistical moment indices with the Advanced Airborne Hyperspectral Imaging System (AAHIS)", *Third International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition*, pp.789-797.
- Danson, F., M. (1995). "Developments in the remote sensing of forest canopy structure", *Advances in Environmental Remote Sensing*, pp. 53-69.

Nidamanuri, R. R., Zbell, B. (2012). "Understanding the unique spectral signature of winter rape", *J Indian Society of Remote Sensing*, 41, 57-70.

Zomer, R. J., Trabucco, A., Ustin, S. L. (2009). "Building spectral libraries for wetlands land cover classification and hyperspectral remote sensing", *Journal of Environmental Management*, 90, 2170-2177.

Nidamanuri, R. R., Garg, P. K., Ghosh, S. K. (2007). "Development of an agricultural crops spectral library and classification of crops at cultivar level using hyperspectral data", *Precision Agriculture*, 8, 173-185.

Manevski, K., Manakos, I., Petropoulos, G. P., Kalaitzidis, C. (2011). "Discrimination of common Mediterranean plant species using field spectroradiometry", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13, 922-933.

Noori, O., Arzani, K., Moameni, A., Taheri, M. (2015). "Vegetative growth and fruit set of olive (*Olea europaea* L. cv. 'Zard') in response to some oil and plant factors", *Journal of Central European Agriculture*, 16, 319-329.

Estornell, J., Ruiz, L. A., Velazquez-Marti, B., Lopez-Cortes, I., Salazar, D., Fernandez-Sarria, A. (2015). "Estimation of pruning biomass of olive trees using airborne discrete-return LiDAR data", *Biomass and Bioenergy*, 81, 315-321.

Maselli, F., Chiesi, M., Brilli, L., Moriondo, M. (2012). "Simulation of olive fruit yield in Tuscany through the integration of remote sensing and ground data", *Ecological Modelling* 244, 1-12.

Zarco-Tejada, P. J., Miller, J. R., Morales, A., Berjon, A., Aguera, J. (2004). "Hyperspectral indices and model simulation for chlorophyll estimation in open-canopy tree crops", *Remote Sensing of Environment*, 90, 463-476.

Ben-Gal, A., Agam, N., Alchanatis, V., Cohen, Y., Yermiyahu, U., Zipori, I., Presnov, E., Sprintsin, M., Dag, A. (2009). "Evaluating water stress in irrigated olives: correlation of soil water status, tree water status, and thermal imagery", *Irrigation Science*, 27, 367-376.

Calderon, R., Navas-Cortes, J. A., Zarco-Tejada, P. J. (2015). "Early detection and quantification of verticillium wilt in olive using hyperspectral and thermal imagery over large areas", *Remote Sensing*, 7, 5584-5610.

Qi, J., Moran, M. S., Cabot, F., Dedieu, G. (1995). "Normalization of sun/view angle effects using spectral albedo-based vegetation indices", *Remote Sensing of Environment*, 52, 207-217.

Luc, B., Deronde, B., Kempeneers, P., Debruyn, W., Provoost, S. (2005). "Optimized Spectral Angle Mapper Classification of spatially heterogeneous dynamic dune vegetation, a case study along the Belgian coastline", *The 9<sup>th</sup> ISPMRS. Beijing, October 17-19, 2005.*

### Διπλωματικές Εργασίες

Σισμανίδης, Π. Ι. (2012). «Διάδοση της ακτινοβολίας μέσα από την ατμόσφαιρα. Εφαρμογή & αξιολόγηση απόλυτων ατμοσφαιρικών αλγόριθμων διόρθωσης τηλεπισκοπικών απεικονίσεων», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.



- Φαναρά, Λ. (2011). «Αυτόματη ανίχνευση ελαιόδεντρων από δορυφορικές απεικονίσεις υψηλής διακριτικής ικανότητας με αντικειμενοστραφή ανάλυση εικόνας», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, σελ. 20-21.
- Γερόνικος, Δ. (2010). «Η επίδραση του φορτίου στη φωτοσυνθετική δραστηριότητα και στην ανάπτυξη των δένδρων ελιάς ποικιλίας Κορωνέικης», Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα, σελ. 8.
- Κόκας, Κ. (2014). «Σχεδιασμός, υλοποίηση και έλεγχος ακρίβειας γεωμετρικής βαθμονόμησης του υπερφασματικού αερομεταφερόμενου δέκτη CASI-550», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, σελ. 16, 21-22, 33, 52, 57.

## Δικτυακοί Τόποι

- Περιβαλλοντική Παρέμβαση «Αντινιώτη» (2/12/2016): (<http://www.salvanos.gr/?p=594>)
- Online Expo (2/12/2016): ([http://www.onlineexpo.gr/articlesDetails\\_gr.php?artid=1](http://www.onlineexpo.gr/articlesDetails_gr.php?artid=1))
- Sentinel Online ESA - Overview (12/3/2017): (<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/overview>)
- Sentinel Online ESA - Resolutions (12/3/2017): (<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/resolutions>)
- Harris Geospatial Solutions – FLAASH Module Guide: (<http://www.harrisgeospatial.com/docs/FLAASH.html>)
- Harris Geospatial Solutions – FLAASH Background: (<http://www.harrisgeospatial.com/docs/backgroundfleaash.html>)
- ESA – Science toolbox exploitation forum: (<http://step.esa.int/main/third-party-plugins-2/sen2cor/>)
- Educational Applets – Αλγόριθμοι εξομάλυνσης σημάτων ([http://195.134.76.37/applets/AppletSmooth/Applet\\_Smooth1.html](http://195.134.76.37/applets/AppletSmooth/Applet_Smooth1.html))
- Wikipedia – Savitzky-Golay filter: ([https://en.wikipedia.org/wiki/Savitzky%E2%80%93Golay\\_filter](https://en.wikipedia.org/wiki/Savitzky%E2%80%93Golay_filter))
- Harris Geospatial Solutions – Continuum Removal: (<http://www.harrisgeospatial.com/docs/ContinuumRemoval.html>)
- Harris Geospatial Solutions – Spectral Angle Mapper: (<https://www.harrisgeospatial.com/docs/spectralanglemapper.html>)
- Harris Geospatial Solutions – Spectral Analyst: (<https://www.harrisgeospatial.com/docs/SpectralAnalyst.html>)
- Statistics Solutions – What is Linear Regression: (<http://www.statisticssolutions.com/what-is-linear-regression/>)
- Statistic Solutions – Regression: (<http://www.statisticssolutions.com/directory-of-statistical-analyses-regression-analysis/regression/>)