

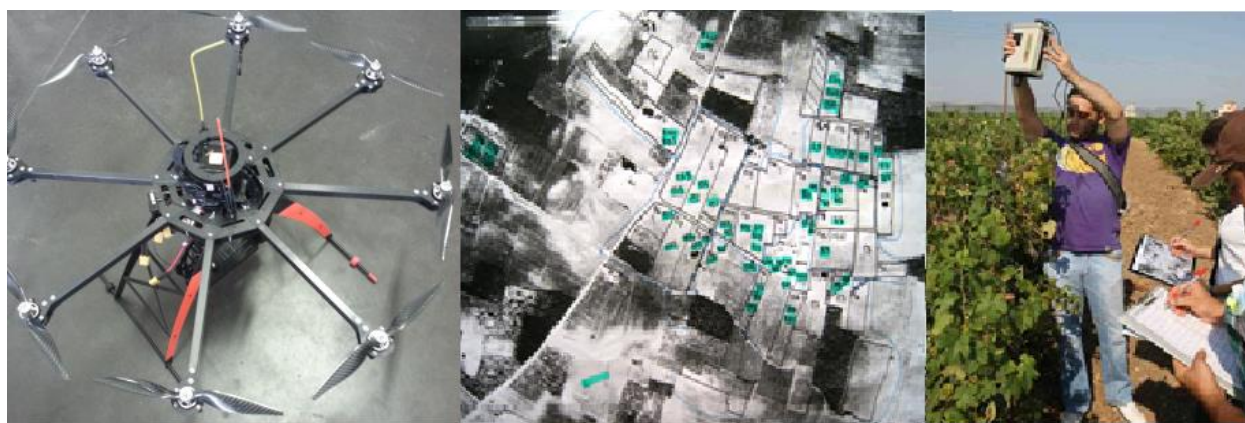


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

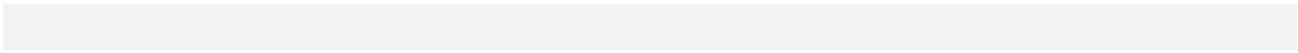
ΑΝΑΛΥΣΗ, ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ, ΑΠΟ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥΣ, ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΑ ΕΝΑΕΡΙΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΦΑΣΜΑΤΟΡΑΔΙΟΜΕΤΡΑ ΠΕΔΙΟΥ, ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Οικονόμου Μάριος

Αθήνα, Μάιος 2014





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ – ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

ΑΝΑΛΥΣΗ, ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ, ΑΠΟ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥΣ, ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΑ ΕΝΑΕΡΙΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΦΑΣΜΑΤΟΡΑΔΙΟΜΕΤΡΑ ΠΕΔΙΟΥ, ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μπούσουλας Γρηγόριος

Επιβλέπων Καθηγητής: Καράντζαλος Κωνσταντίνος

Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Κ. Καράντζαλος

Δ. Αργιαλάς

Β. Καραθανάση

Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π

Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αν.Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

Οικονόμου Μάριος

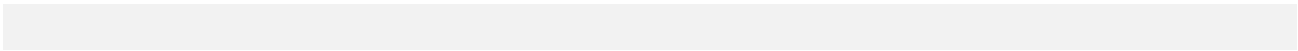
Διπλωματούχος Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Copyright © Οικονόμου Μάριος, 2014

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Καράντζαλο, ο οποίος ήταν πρόθυμος να με καθοδηγήσει και να με στηρίξει σε κάθε πρόβλημα που αντιμετώπισα. Τον ευχαριστώ για τον χρόνο που πρόθυμα αφιέρωσε ώστε να διεξαχθεί και να ολοκληρωθεί η παρούσα διπλωματική εργασία.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές Δημήτριο Αργιαλά και Βασιλεία Καραθανάση που μου έδωσαν τις πρώτες γνώσεις για το αντικείμενο της Τηλεπισκόπησης, με ενέπνευσαν και με συμβούλευσαν μέχρι το τέλος της φοίτησής μου.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες, θα ήθελα να δώσω στους κ. Χρήστο Ιωσηφίδη και κ. Πολ Κολοκούση, για τις γνώσεις Τηλεπισκόπησης και Προγραμματισμού που μου μετέδωσαν χωρίς τις οποίες δεν θα μπορούσα να ανταπεξέλθω στις απαιτήσεις της εργασίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συμφοιτητές μου Ζαχαρία Κανδυλάκη, Χριστίνα Καρακίζη και τον υποψήφιο διδάκτορα Παναγιώτη Σισμανίδη για τη συνέργασία και τη βοήθεια τους.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, τον πατέρα μου Ιωάννη και τη μητέρα μου Παναγιώτα που με έκαναν τον άνθρωπο που είμαι σήμερα, τους συγγενείς, τους φίλους μου και τους δικούς μου ανθρώπους που στάθηκαν δίπλα μου σε στιγμές δύσκολες ακόμα και αν βρίσκονταν μακριά.

Οικονόμου Μάριος

Αθήνα, Οκτώβριος 2014

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	9
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	13
1.1. Γεωργία και Αμπελουργία Ακριβείας.....	13
1.2. Αντικείμενο και στόχοι εργασίας.....	15
1.3. Κίνητρο και Συνεισφορά.....	16
2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	17
2.1. Βασικές Έννοιες και Όροι.....	17
2.2. Υπερφασματικά Δεδομένα.....	19
2.3. Πολυφασματικά Δεδομένα.....	21
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	21
3.1. Δεδομένα Φασματοραδιομέτρου Χειρός.....	21
3.1.1. Παραγωγή δεδομένων ανακλαστικότητας και δεικτών.....	31
3.1.2. Προσομοίωση δεδομένων φασματοραδιομέτρου.....	36
3.2. Ο Δορυφορικός Δέκτης WORLDVIEW-2.....	40
3.2.1. Ραδιομετρικές και ατμοσφαιρικές διορθώσεις εικόνων.....	41
3.2.2. Δειγματοληψία δεδομένων.....	43
3.3. Υπερφασματική κάμερα.....	46
3.3.1. Συλλογή δεδομένων με πτήση UAV.....	47
3.3.2. Επεξεργασία δεδομένων υπερφασματικής κάμερας.....	49
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ.....	53
4.1. Ανάλυση Δεδομένων Φασματοραδιομέτρου.....	53
4.2. Ανάλυση Δεδομένων Δορυφορικών Εικόνων.....	75
4.3. Ανάλυση και Συσχέτιση Δεδομένων Υπερφασματικής Κάμερας.....	81
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	87
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	89
7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	91



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία καταπιάνεται με την ανάπτυξη και αξιολόγηση τηλεπισκοπικών τεχνικών και μεθοδολογιών που αφορούν στην καταγραφή και επεξεργασία δεδομένων από διάφορες πλατφόρμες λήψης. Αντικείμενο μελέτης της εργασίας είναι οι ποικιλίες αμπέλου και γενικός στόχος η εξαγωγή συμπερασμάτων μέσω της μελέτης της φασματικής συμπεριφοράς τους. Απώτερο στόχο αποτέλεσε η διερεύνηση και αξιολόγηση των τηλεπισκοπικών δεδομένων για την συστηματική και επιχειρησιακή χρήση τους σε εφαρμογές στην αμπελουργία και γεωργία ακριβείας. Ειδικότερα η εργασία αυτή εστιάζει στην καταγραφή, την επεξεργασία, την ανάλυση και συσχέτιση τηλεπισκοπικών δεδομένων που συλλέχθηκαν για διαφορετικές περιοχές μελέτης, με διαφορετικά μέσα και τεχνικές καταγραφής. Τις περιοχές μελέτης αποτέλεσαν επιλεγμένοι αμπελώνες, στο Αίγιο, στην Αταλάντη, στο Αμύνταιο, στην Νάουσα και στη Νεμέα όπου έγινε καταγραφή φασματικής πληροφορίας των αμπελοτεμαχίων. Σε όλες τις προαναφερόμενες περιοχές έγιναν περί τις χίλιες μετρήσεις στο πεδίο με φασματοραδιόμετρο χειρός. Για τις περιοχές του Αιγίου, της Αταλάντης, του Αμυνταίου και της Νάουσας, αξιοποιήθηκαν έπειτα από ταυτόχρονες και συντονισμένες λήψεις με τις επίγειες μετρήσεις, πολυφασματικά δορυφορικά δεδομένα υψηλής χωρικής ανάλυσης (WorldView-2). Στην περιοχή της Νεμέας έγινε πτήση μη επανδρωμένου εναέριου οχήματος (U.A.V) με προσαρτημένη υπερφασματική κάμερα. Στο παρών τεύχος αρχικά γίνεται αναφορά στο γενικό πλαίσιο εφαρμογών στα κίνητρα και στους στόχους της εργασίας και παρουσιάζεται βιβλιογραφία σχετική με τα είδη τηλεπισκοπικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν. Στη συνέχεια παρατίθεται ο προγραμματισμός των εργασιών για την καταγραφή των δεδομένων και αναλύεται η μεθοδολογία επεξεργασίας τους. Αναλύονται διεξοδικά τα στάδια επεξεργασίας των δεδομένων του φασματοραδιομέτρου, η προεπεξεργασία και οι διορθώσεις των δορυφορικών εικόνων (WorldView-2) και η παραγωγή διανυσματικών δεδομένων βάσει της καταγεγραμμένης φασματικής πληροφορίας της υπερφασματικής κάμερας. Επιπρόσθετα εξηγείται η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε για την μετατροπή των παραπάνω δεδομένων ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση και η διερεύνηση του βαθμού συσχέτισής τους. Αποτέλεσμα της επεξεργασίας είναι η παραγωγή των τελικών δεδομένων που κατηγοριοποιούνται σε 3 σύνολα, ανάλογα με το μέσο καταγραφής και η καταγραφή βασικών χαρακτηριστικών φασματικής συμπεριφοράς για κάθε ποικιλία αμπέλου. Παράλληλα εξετάζοντας τον βαθμό συσχέτισης των δεδομένων τόσο ανά κατηγορία όσο και επί του συνόλου τους, αξιολογούνται οι δυνατότητες κάθε κατηγορίας και ο βαθμός αξιοπιστίας τους. Τέλος παρατίθενται τα συμπεράσματα που προέκυψαν οι δυνατότητες περαιτέρω ανάπτυξης και οι προτάσεις αξιοποίησης και συνδυαστικής χρήσης των αποτελεσμάτων και των μεθοδολογιών που χρησιμοποιήθηκαν.



National Technical University of Athens, Greece

School of Rural and Surveying Engineering

Analysis and evaluation of remote sensing data from satellites, UAVs and spectroradiometers for precision agriculture

Recent advances in remote sensing technology have allowed the efficient use of several types of sensors in order to accomplish the implementation of precision agriculture applications. In particular, such applications have been used in viticulture aiming to improve the management of the upcoming harvest. The present study focuses on the analysis, regression and evaluation of hyperspectral and multispectral data collected for applications in precision viticulture. Data collection was planned for 5 study areas (Nemea, Aminteo, Naousa, Atalanti, Trapeza) where vineyards are cultivated, and was dated just before the harvest period (July-August) during 3 campaigns (2012-2014). Three different types of data were processed including, ground radiance data using a field spectrometer (GER 1500, Spectra Vista Corporation, 350-1050nm, 512 spectral bands), WorldView-2 satellite data (DigitalGlobe, Inc. USA), and hyperspectral camera data (Micro-Hyperspec™ VNIR A1 Series, Headwall photonics, Inc. USA).

Spectroradiometer ground data, for each study area were radiometrically checked and classified in correspondence with irradiance data to enable the proper calculation of reflectance values. Using reflectance values, spectral signatures for vine varieties were calculated and analyzed to extract information about spectral behavior for each vine variety. The process of WorldView-2 satellite images included radiometric correction, atmospheric correction and spectral signatures calculation by sampling. Hyperspectral camera data were collected using an UAV (Unmanned Aerial vehicle) and were radiometrically and geometrically processed to calculate spectral signatures.

Further analyzation of same vine varieties was made by comparing reflectance values, for all datasets. For this procedure simulated ground reflectance data, corresponding to WV-2 and the hyperspectral bands was computed by using spectral response information. Thus, it was made possible to evaluate the relationship between ground data and satellite, aerial data, through regression models. Using linear regression models, the spectral signatures computed from satellite data (WV-2) and camera hyperspectral data, were correlated with the ones computed from the simulated ground data.

Finally, from the qualitative evaluation of the developed methodology, certain conclusions are derived regarding the general spectral behavior of different varieties of vines, the correlation between the same vine varieties of different study areas, and the correlation between the different datasets. Additionally, certain suggestions have been highlighted for further research and also expectations for future use of similar methods of data analysis in applications for precision viticulture.

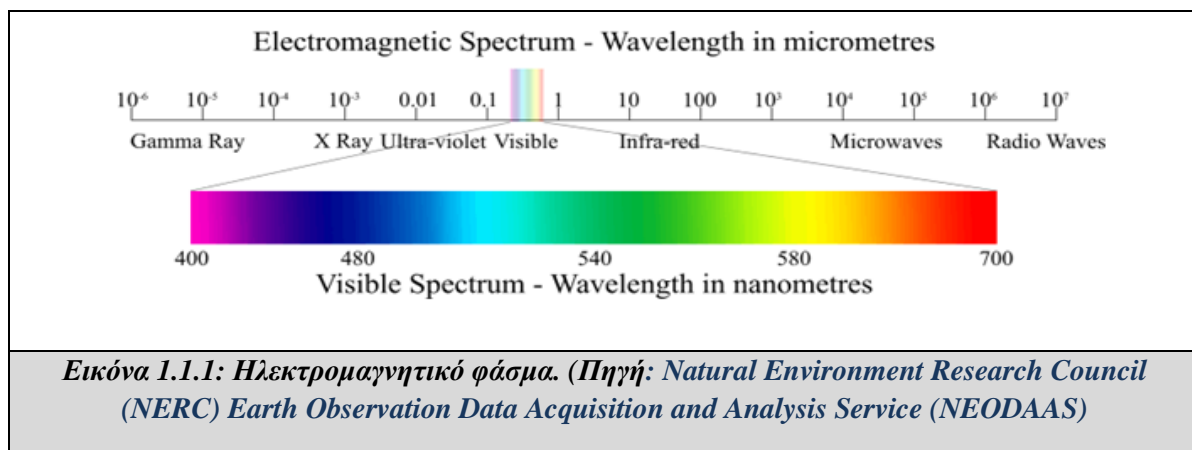
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο εισαγωγικό κεφάλαιο επεξηγούνται οι έννοιες της γεωργίας ακριβείας (Precision Agriculture) και της αμπελουργίας ακριβείας (Precision Viticulture) και επεξηγείται ο τρόπος συμβολής των τηλεπισκοπικών δεδομένων σε αντίστοιχες εφαρμογές. Στη συνέχεια παρατίθενται το αντικείμενο και ο στόχος της παρούσας εργασίας και τέλος καταγράφονται το κίνητρο και η συνεισφορά της.

1.1. Γεωργία και Αμπελουργία Ακριβείας

Η πρόοδος στην τεχνολογία της τηλεπισκόπησης καθιστά αποτελεσματική τη χρήση τηλεπισκοπικών αισθητήρων με κατάλληλες χωρικές και φασματικές δυνατότητες για υψηλών προδιαγραφών παρακολούθηση των καλλιεργειών. Οι χωρικές δυνατότητες αναφέρονται στην καταγραφή μεγάλων εκτάσεων ή στην καταγραφή μεγάλου αριθμού στόχων με ικανοποιητική γεωμετρική ακρίβεια ώστε τα δεδομένα να είναι εύκολα διαχειρίσιμα και χαμηλού κόστους. Οι φασματικές δυνατότητες αναφέρονται στις μεθοδολογίες και τεχνικές αντιστοίχισης–συσχέτισης της φασματικής συμπεριφοράς της καλλιέργειας με ποιοτικά χαρακτηριστικά της. Η αξιοπιστία και η ορθότητα αυτής της αντιστοίχισης έχει πλέον αυξηθεί καθώς η φασματική συμπεριφορά καταγράφεται σε μεγάλο εύρος του φάσματος πέραν του ορατού. Βάσει των παραπάνω ενδείκνυται η εκπόνηση τηλεπισκοπικών εφαρμογών στον τομέα της γεωργίας ακριβείας παράλληλα με παραδοσιακούς τρόπους επίβλεψης της καλλιέργειας ελαχιστοποιώντας τον απαιτούμενο χρόνο και το κόστος διεργασιών. Τέτοιες εφαρμογές στοχεύουν στον εντοπισμό και διάκριση ειδών καλλιέργειας, στην ανάδειξη του βαθμού ευρωστίας, στον εντοπισμό και την πρόληψη προβλημάτων ασθένειας μεμονωμένων φυτών, στην επιλογή τμηματικής άρδευσης και λίπανσης των γεωτεμαχίων, στην πρόβλεψη και χαρτογράφηση της απόδοσης και της ποιότητας της παραγωγής, στην παραγωγή χρονοδιαγραμμάτων συγκομιδής, στην αυτοματοποιημένη διαχείριση των εργασιών κ.α. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται σε τέτοιες εφαρμογές ποικίλει και επιλέγεται βάσει των χαρακτηριστικών της καλλιέργειας και του είδους των αποτελεσμάτων που επιδιώκεται να εξαχθούν. Ειδικότερα ανάλογα με το είδος της καλλιέργειας, την έκταση της περιοχής μελέτης, την ανάγκη επαναληψιμότητας της εφαρμογής, την χρονική περίοδο και το μέγιστο κόστος των εργασιών, επιλέγονται αισθητήρες επίγειων, αερομεταφερόμενων ή δορυφορικών δεκτών. Οι συνηθέστεροι επίγειοι δέκτες που χρησιμοποιούνται περιλαμβάνουν αισθητήρες καταγραφής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε μεγάλο εύρος του φάσματος και τα παράγωγά τους αποτελούν συνήθως διανυσματική πληροφορία που αναφέρεται στο σύνολο των μετρημένων στόχων. Οι αερομεταφερόμενοι δέκτες που χρησιμοποιούνται στις παραπάνω εφαρμογές, έχουν προσαρτημένες πολυφασματικές ή υπερφασματικές κάμερες που καταγράφουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία για ένα σύνολο περιοχών του μήκους κύματος και αποσκοπούν στην παραγωγή εικονιστικών-χαρτογραφικών προϊόντων. Η χρήση τους ενδείκνυται για παρακολούθηση καλλιεργειών έκτασης δεκάδων στρεμμάτων καθώς τα παράγωγά τους απεικονίζονται σε μικρές και μεσαίες κλίμακες. Οι δορυφορικοί δέκτες που χρησιμοποιούνται έχουν αισθητήρες που δύναται να παράγουν πολυφασματικές εικόνες χωρικής ανάλυσης λίγων μέτρων και η χρήση τους ενδείκνυται για εφαρμογές μεγάλων εκτάσεων. Το αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας επικεντρώνεται σε έναν εξειδικευμένο κλάδο της γεωργίας ακριβείας τον κλάδο της αμπελουργίας ακριβείας.

Με τον όρο αμπελουργία ακριβείας αναφερόμαστε στο σύνολο των διεργασιών που αποσκοπούν να αξιοποιήσουν πληροφορίες για τους αμπελώνες, με απώτερο στόχο την παραγωγή οίνων υψηλών προδιαγραφών. Η αμπελουργία ακριβείας εντάσσεται στο σύνολο των πρακτικών της γεωργίας ακριβείας (Precision Agriculture) καθώς επικεντρώνεται στην επίτευξη στόχων που αφορούν στη βελτιστοποίηση της καλλιέργειας της αμπέλου. Ουσιαστικά πρόκειται για ένα προηγμένο τρόπο συλλογής δεδομένων που εφαρμόζεται με την χρήση τεχνολογικών μέσων σε επίπεδο γραμμής φύτευσης, ή σε επίπεδο πρέμνου/φυτού. Τα δεδομένα αυτά ποικίλουν, επιλέγονται ανάλογα με την εκάστοτε εφαρμογή και προκύπτουν βάσει αρχών Γεωπονίας, Τηλεπισκόπησης, Φωτογραμμετρίας, Γεωδαισίας και Γεωπληροφορικής χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα όργανα και μέσα. Οι πληροφορίες που προκύπτουν βάσει Τηλεπισκοπικών και Φωτογραμμετρικών εφαρμογών, σχετίζονται με την καταγραφή της ανακλώμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας των περιοχών αμπελουργίας και καταγράφονται με την αξιοποίηση της σύγχρονης τεχνολογίας επίγειας ή δορυφορικής, ενώ τα τελικά αποτελέσματα επί το πλείστον τεκμηριώνονται και παρουσιάζονται με παράγωγες εικόνες ή χάρτες. Η δυναμική αυτού του τρόπου συλλογής πληροφοριών έγκειται στην δυνατότητα των σύγχρονων αισθητήρων να καταγράψουν πληροφορία για ένα μεγάλο σύνολο περιοχών του φάσματος πέραν του ορατού. Συγκεκριμένα η πληροφορία της φασματικής συμπεριφοράς για μήκη κύματος στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου, παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον καθώς είναι ενδεικτική των ποιοτικών χαρακτηριστικών και της βιολογικής κατάστασης της αμπέλου. Ειδικότερα ερευνητικές προσπάθειες έχουν εκπονηθεί με στόχο την μελέτη της φασματικής συμπεριφοράς για την εκτίμηση παραμέτρων-δεικτών που σχετίζονται με την συγκέντρωση χλωροφύλλης (*Johnson et al.,2001; Lamb et al.,2004;Martin et al.,2007*), καροτενοειδών (*Fuentes et al.,2001; Sims & Gamon, 2002; Gitelson et al., 2003, 2006*) και ανθοκυάνων (*Gamon & Surfus , 1999; Gitelson et al., 2006*) που αποδεικνύεται πως είναι ενδεικτικές της φωτοσυνθετικής αποτελεσματικότητας και κατά συνέπεια της αναμενόμενης σύστασης και ποιότητας του σταφυλιού και του παραγόμενου κρασιού. Με βάση τηλεπισκοπικές εκτιμήσεις βιοφυσικών παραμέτρων όπως οι προαναφερόμενοι εφαρμογές αμπελουργίας ακριβείας στοχεύουν στην ανίχνευση διαφοροποιήσεων μεταξύ των αμπελοτεμαχίων ή μεταξύ κλιμάτων ώστε να ληφθούν αποφάσεις επιλεκτικής διαχείρισης(λίπανση, άρδευση, εφαρμογή χρονοδιαγραμμάτων, κατηγοριοποίηση συγκομιδής, κ.α.) σε επίπεδο ομογενούς ζώνης ή μεμονωμένου κλίματος. Σημειωτέο είναι πως τα επίγεια όργανα που καταγράφουν σημειακή πληροφορία χρησιμοποιούνται βοηθητικά ή στοχευμένα καθώς η εκτεταμένη καταγραφή δεν ενδείκνυται λόγω φόρτου εργασίας και συνεπώς δεν δύναται να υπάρξει εποπτικό αποτέλεσμα επί του συνόλου της αμπελουργικής περιοχής. Αντιθέτως οι εναέριες και δορυφορικές λήψεις με κατάλληλες φασματικές και χωρικές δυνατότητες καταγραφής παρέχουν οικονομικά επιτρεπτή υλοποίηση των εφαρμογών, επί του συνόλου της περιοχής ενδιαφέροντος.



Εικόνα 1.1.1: Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. (Πηγή: Natural Environment Research Council (NERC) Earth Observation Data Acquisition and Analysis Service (NEODAAS)

1.2. Αντικείμενο και στόχοι εργασίας

Η εργασία που εκπονήθηκε επικεντρώνεται στην συνδυαστική επεξεργασία δεδομένων τριών διαφορετικών παθητικών αισθητήρων, του δορυφορικού δέκτη WorldView-2, της υπερφασματικής κάμερας Micro-Hyperspec™ VNIR A1-Series και του φασματοραδιόμετρου GER 1500 οι οποίοι αποδίδουν με διαφορετικό τρόπο και σε διαφορετικό εύρος την φασματική πληροφορία.

Ο **δορυφορικός** δέκτης WorldView-2 (DigitalGlobe, Inc. USA) απεικονίζει την χωρική και φασματική πληροφορία σε μορφή εικονιστικού προϊόντος, η **υπερφασματική** κάμερα Micro-Hyperspec™ VNIR A1-Series Sensor (Headwall photonics, Inc. USA) δύναται να απεικονίσει χωρική και φασματική πληροφορία μεγαλύτερης ακρίβειας αλλά μικρότερου εύρους περιοχής μελέτης και το **φασματοραδιόμετρο** τύπου GER1500 (Spectra Vista Corporation) καταγράφει την φασματική συμπεριφορά μεμονωμένων στόχων που στην προκειμένη είναι ποικιλίες αμπελιών.

Ο πρώτος **στόχος** που τέθηκε κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας είναι ο προγραμματισμός των εργασιών για την επιτυχημένη συλλογή του συνόλου των παραπάνω πληροφοριών και η εκτέλεση των απαιτούμενων προεπεξεργασιών, για την διαμόρφωση και κατηγοριοποίηση των πρωτογενών δεδομένων. Το επόμενο **στάδιο** των διεργασιών που ακολούθησε αφορά την μετατροπή των δεδομένων, ώστε να είναι κατά το δυνατόν διαθέσιμη πληροφορία ανεξάρτητη της περιοχής μελέτης και των περιβαλλοντικών συνθηκών της στιγμής της εκάστοτε λήψης. Συγκεκριμένα το στάδιο αυτό αναφέρεται στην παραγωγή δεδομένων ανακλαστικότητας (reflectance), με αξιοποίηση των αρχικών δεδομένων ανακλώμενης ακτινοβολίας (radiance). Τον επόμενο στόχο-στάδιο της εργασίας αποτέλεσε η παραγωγή δεδομένων που αναφέρονται σε κοινό φασματικό εύρος, ώστε να είναι συγκρίσιμα μεταξύ τους, ανεξαρτήτως του μέσου με το οποίο αρχικά συλλέχθηκαν και βάσει του οποίου κατηγοριοποιήθηκαν.

Αναλυτικότερα το στάδιο αυτό αφορά την διαδικασία **συσχέτισης** δεδομένων, καθώς τα πολυφασματικά δεδομένα της κατηγορίας του WorldView-2 και τα υπερφασματικά δεδομένα της κατηγορίας κάμερας Micro-Hyperspec™ VNIR A1-Series Sensor, αναφέρονται σε κοινούς στόχους πεδίου με τα δεδομένα της κατηγορίας του φασματοραδιόμετρου GER 1500, αλλά διαφέρουν ως προς το εύρος της φασματικής καταγραφής. Για να είναι δυνατή η σύγκρισή τους, τα δεδομένα ανακλαστικότητας μεγαλύτερου φασματικού εύρους του φασματοραδιόμετρου GER 1500, παρεμβλήθηκαν στα εύρη καταγραφής φάσματος του WorldView-2 και της Micro-Hyperspec™ VNIR A1-Series αντίστοιχα, με χρήση κατάλληλων συναρτήσεων φασματικής απόκρισης.

Ο τελευταίος στόχος που τέθηκε αφορά την **αξιολόγηση** των τελικών δεδομένων, καταγράφοντας ποιοτικά τις δυνατότητές σε εφαρμογές αμπελουργίας ανά κατηγορία μέσου καταγραφής. Επιπρόσθετα έγινε ποιοτικός έλεγχος του βαθμού αξιοπιστίας της πληροφορίας, μέσω της διερεύνησης του βαθμού συσχέτισης των δεδομένων που αναφέρονται σε κοινές ποικιλίες, επί του συνόλου των περιοχών μελέτης και για κάθε κατηγορία καταγραφής. Στο παρόν τεύχος παρατίθενται τμηματικά ο τρόπος και το αποτέλεσμα των παραπάνω διεργασιών.

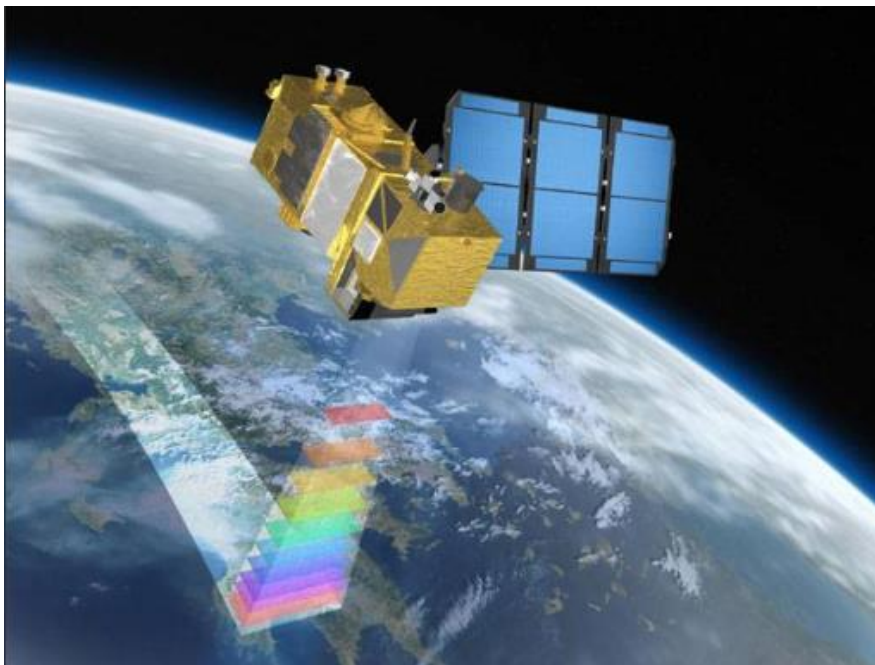
1.3. Κίνητρο και Συνεισφορά

Κίνητρο για την συνδυαστική συλλογή, επεξεργασία και συσχέτιση τηλεπισκοπικών δεδομένων σε αμπελώνες, μέσω της καταγραφής παρατηρήσεων από διαφορετικούς αισθητήρες, αποτέλεσε η διαθεσιμότητα προηγμένων αισθητήρων, η ανάγκη αξιολόγησης των αποτελεσμάτων τους και με σκοπό την βελτίωση και ανάπτυξη επιχειρησιακών εφαρμογών σε θέματα αμπελουργίας και γεωργίας ακριβείας.

Η **συνεισφορά** της παρούσας εργασίας συνίσταται στα παρακάτω σημεία

- I. Καταγραφή γενικών κανόνων διάκρισης ποικιλιών αμπέλου βάσει της φασματικής συμπεριφοράς τους.
- II. Ανάπτυξη μεθοδολογίας για την εύρεση του βαθμού συσχέτισης την προσομοίωση και τον ποιοτικό έλεγχο δεδομένων διαφορετικού φασματικού εύρους και φασματικής διακριτικής ικανότητας.
- III. Εκτίμηση και καταγραφή των φασματικών φακέλων ποικιλιών αμπέλου σε 3 διαφορετικά εύρη του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Σημειωτάιο είναι πως τα παραπάνω χαρακτηριστικά έχουν χρονική αναφορά την περίοδο μέγιστης ωρίμανσης της αμπέλου, ακριβώς πριν τον τρυγητό.



2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο επεξηγούνται βασικοί όροι και έννοιες που σχετίζονται με το αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας και στη συνέχεια πραγματοποιείται ανασκόπηση της βιβλιογραφίας που αφορά τα υπερφασματικά και πολυφασματικά δεδομένα σε εφαρμογές αμπελουργίας ακριβείας και γίνεται αναφορά σε πρόσφατες εργασίες που διερευνούν τη σχέση μεταξύ της φασματικής συμπεριφοράς και των χαρακτηριστικών ποιότητας των αμπελιών.

2.1. Βασικές Έννοιες και Όροι

Στην ενότητα αυτή γίνεται εισαγωγή στις βασικές έννοιες και επεξήγηση χρήσιμων όρων που αναφέρονται στο αντικείμενο της αμπελουργίας ακριβείας και χρησιμοποιούνται στο παρόν τεύχος.

Φασματοραδιόμετρα (Spectroradiometers): Είναι όργανα που χρησιμοποιούν κατάλληλα οπτικά συστήματα για τη μέτρηση της ανακλώμενης ή/και εκπεμπόμενης ακτινοβολίας ενός μεμονωμένου στόχου/αντικειμένου.

Ανακλαστικότητα (Reflectance): Αποτελεί μέτρο της ικανότητας μιας επιφάνειας να αντανακλά ποσό της προσπίπτουσας ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολίας. Ισούται με τον λόγο της έντασης της ανακλώμενης ακτινοβολίας προς εκείνη της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε μια επιφάνεια. Το φάσμα ανακλαστικότητας συνήθως υπολογίζεται ως ποσοστό ανά μήκος κύματος, βάσει του λόγου της φασματικής απόκρισης ενός αντικειμένου-στόχου προς τη φασματική απόκριση ενός δείγματος αναφοράς

Ανακλώμενη ακτινοβολία (Radiance): Αποτελεί μέτρο της ποσότητας της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται από μία επιφάνεια σε μια δεδομένη στερεά γωνία με καθορισμένη κατεύθυνση. Μονάδα μέτρησης είναι το Watt ανά στερεακτίνιο ανά τετραγωνικό μέτρο ($W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-2}$).

Προσπίπτουσα ακτινοβολία (Irradiance): Είναι η ισχύς της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ανά μονάδα επιφάνειας (ροή ακτινοβολίας) που προσπίπτει σε μια επιφάνεια (W/m^2)

Αναφορά ανακλώμενης ακτινοβολίας (Reference): Ο όρος αυτός αναφέρεται στη καταγραφή της ποσότητας της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που ανακλά ένας στόχος που προσομοιάζει τέλεια ανακλαστική επιφάνεια ($W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-2}$). Χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε μια επιφάνεια ενδιαφέροντος.

Χωρική ανάλυση (spatial resolution): Ο όρος αποτελεί μέτρο της ικανότητας οριοθέτησης αντικειμένων σε μια ψηφιακή εικόνα. Αναφέρεται και ως χωρική διακριτική ικανότητα (εδαφοψηφική) που ορίζεται ως το μήκος/πλάτος σε πραγματική κλίμακα των αντικειμένων-περιοχών, που απεικονίζει κάθε μοναδιαίο στοιχείο (εικονοστοιχείο) μιας ψηφιακής εικόνας.

Φασματική ανάλυση (spectral resolution): Η φασματική ανάλυση ενός αισθητήρα είναι ένα μέτρο της ικανότητας του να καταγράψει τα χαρακτηριστικά του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Ουσιαστικά αναφέρεται στον αριθμό των περιοχών του μήκους κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας για τις οποίες δύναται να καταγράψει πληροφορία. Στη παρούσα εργασία μελετώνται δεδομένα υπερφασματικής (Hyperspectral) και πολυφασματικής (Multispectral data) ανάλυσης.

Ραδιομετρικές διορθώσεις: Η ραδιομετρική διόρθωση δεδομένων τηλεπισκόπησης αφορά την εξάλειψη θορύβου ή σφαλμάτων που οφείλονται στο σύστημα αισθητήρων ή στο περιβάλλον. Οι αρνητικές επιδράσεις μπορούν να αφαιρεθούν με χρήση απλών τεχνικών κανονικοποίησης εικόνων αλλά και με προηγμένες τεχνικές όπως η απόλυτη ραδιομετρική βαθμονόμηση των δεδομένων με χρήση επιφανειών ανακλαστικότητας.

Ατμοσφαιρικές διορθώσεις: Η ατμοσφαιρική διόρθωση τηλεπισκοπικών απεικονίσεων αποσκοπεί στην βελτίωση της ποιότητας των τηλεπισκοπικών δεδομένων αντιστρέφοντας τις μεταβολές τις οποίες υφίσταται η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία κατά την δίοδό της μέσα από την ατμόσφαιρα πριν καταγραφεί από τον αισθητήρα. Η διεργασία ατμοσφαιρικής διόρθωσης εκτελείται με χρήση πολυπαραμετρικών αλγορίθμων επίλυσης που στοχεύουν στη μοντελοποίηση και να εκτίμηση των εκάστοτε ατμοσφαιρικών επιδράσεων.

Μη επανδρωμένο εναέριο όχημα (unmanned aerial vehicle): Τα U.A.V. κοινώς γνωστά ως drones είναι αεροσκάφη που πετάνε χωρίς την παρουσία πιλότου εντός του σκάφους. Η πτήση τους ελέγχεται είτε αυτόνομα από υπολογιστές επί του σκάφους ή από απομακρυσμένο χειριστή στο έδαφος ή σε άλλο όχημα.

Push broom camera: Οι κάμερες τέτοιου τύπου χρησιμοποιούν μια τεχνολογία σάρωσης κατά μήκος κίνησης (along track scanning) για τη λήψη εικόνων με χρήση υπερφασματικών αισθητήρων. Για την καταγραφή εικόνων απαιτείται κίνηση του φορέα της κάμερας γι αυτό ενδείκνυται ο προγραμματισμός πτήσεων. Συγκεκριμένα η κάμερα χρησιμοποιεί μία γραμμή αισθητήρων, που διατάσσονται κάθετα προς την κατεύθυνση της πτήσης καταγράφοντας λωρίδες ανά σημείο λήψης οι οποίες συνιστούν την τελική εικόνα.

Βιοχημικές μεταβλητές αμπέλου (χλωροφύλλη, καροτενοειδή, ανθοκυάνες): Βασικότερη βιοχημική ενδεικτική της κατάστασης του φυτού είναι η συγκέντρωση χλωροφύλλης (C_{ab}) καθώς σχετίζεται άμεσα με την δυνατότητα απορρόφησης ηλιακής ενέργειας και συνεπώς την ικανότητα φωτοσύνθεσης. Τα καροτενοειδή αποτελούν χρωστικές που βρίσκονται στα φωτοσυνθετικά κύτταρα και απορροφούν ενέργεια η οποία μπορεί να μεταφερθεί στη χλωροφύλλη. Οι ανθοκυάνες είναι κόκκινες χρωστικές οι οποίες προστατεύουν την χλωροφύλλη σε καταστάσεις έντονου φωτισμού.

Δείκτες βλάστησης (vegetation indices): Προσδιορίζονται βάσει υπολογισμών μεταξύ τιμών ανακλαστικότητας που καταγράφονται για κατηγορίες βλάστησης, οι οποίες αναφέρονται σε διαφορετικές περιοχές του μήκους κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Οι περισσότεροι εκμεταλλεύονται τη διαφορά ποσοστών ανάκλασης μεταξύ της ορατής και της υπέρυθρης περιοχής του φάσματος, συμπεριφορά η οποία είναι χαρακτηριστική των κατηγοριών βλάστησης. Χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή συμπερασμάτων αναφορικά με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των κατηγοριών βλάστησης .

Ευρωστία: Εκφράζει ποιοτικά την δυνητική ικανότητα παραγωγής του φυτού βάσει των περιβαλλοντολογικών συνθηκών και της χρονικής περιόδου αναφοράς.

2.2. Υπερφασματικά Δεδομένα

Οι διεργασίες και οι έρευνες σε θέματα αμπελουργίας ακριβείας με χρήση υπερφασματικών δεδομένων μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με τη χρήση επίγειων ή εναέριων μέσων καταγραφής. Τα επίγεια μέσα αναφέρονται επί το πλείστον στην χρήση φασματοραδιομέτρων για την καταγραφή ακτινοβολίας σε υπερφασματικό εύρος του φυλλώματος, των σταφυλιών και του μούστου. Τα εναέρια μέσα αναφέρονται στη λήψη υπερφασματικών εικόνων που απεικονίζουν τις περιοχές αμπελουργίας. Στη συνέχεια παρατίθεται βιβλιογραφία σχετική με τα παραπάνω δεδομένα η οποία μελετήθηκε στα πλαίσια εκπόνησης της παρούσας εργασίας.

Ο **Zarco-Tejada et al. (2005)** χρησιμοποίησαν τον δέκτη CASI (Compact Airborne Spectrographic Imager) για την λήψη υπερφασματικών εικόνων σε περιοχές αμπελουργίας με σκοπό την μελέτη της σχέσης μεταξύ των δεικτών συγκέντρωσης χλωροφύλλης α+β των φυλλωμάτων των αμπελιών και των παραμέτρων σύστασης του σταφυλιού και τη διερεύνηση της δυνατότητας διάκρισης και χαρτογράφησης διαφορετικών ζωνών με κριτήριο την δυνητική ποιότητα των παραγόμενων σταφυλιών. Συγκεκριμένα εκτελέστηκαν 2 πτήσεις του αερομεταφερόμενου δέκτη CASI, όπου λήφθηκαν εικόνες χωρικής ανάλυσης ενός μέτρου και φασματικής ανάλυσης 8 καναλιών την πρώτη φορά και εικόνες χωρικής ανάλυσης τεσσάρων μέτρων και φασματικής ανάλυσης 72 καναλιών. Παράλληλα έγιναν μετρήσεις πεδίου και συλλογή φύλλων με σκοπό την προσομοίωση των οπτικών ιδιοτήτων με παράλληλη χρήση των μοντέλων PROSPECT (**Jacquemoud & Baret, 1990**) και rowMCRM (**Markov-Chain Canopy Reflectance Model; Kuusk, 1995**). Βάσει των αποτελεσμάτων προέκυψε πως κατάλληλοι δείκτες (Transformed Chlorophyll Absorption in Reflectance/Optimized Soil-Adjusted Vegetation) δύναται να προσδιορίσουν με ικανοποιητικό βαθμό αξιοπιστίας τα επίπεδα συγκέντρωσης χλωροφύλλης και καροτενοειδών (Structure Insensitive Pigment Index και Photochemical Reflectance Index) και προτιμήθηκαν για την εικονιστική παρουσίαση των επιπέδων συγκέντρωσης χλωροφύλλης επί των εικόνων που λήφθηκαν.

Ο **P. MARTÍN et al. (2007)** χρησιμοποίησαν υπερφασματικά δεδομένα με σκοπό την αξιολόγηση ποιοτικών χαρακτηριστικών των σταφυλιών και τον εντοπισμό προβλημάτων χλώρωσης δηλαδή ανεπάρκειας σιδήρου σε αμπέλια στη βόρεια Ισπανία. Για την εργασία αυτή συλλέχθηκαν φύλλα των αμπελιών που χρησιμοποιήθηκαν ως αντικείμενα αναφοράς για τον προσδιορισμό οπτικών ιδιοτήτων και συγκεντρώσεων χλωροφύλλης. Πειραματικά έγιναν επιλεκτικοί ψεκασμοί φυλλώματος σε αμπέλια που παρουσίαζαν προβλήματα χλώρωσης και συλλογή καρπών και φυλλώματος την περίοδο συγκομιδής με στόχο την ανίχνευση φασματικών διαφορών μεταξύ αμπελιών που παρουσίασαν ανεπάρκεια σιδήρου σε διαφορετικά ποσοστά. Για την καταγραφή της ανακλώμενης ακτινοβολίας και της ανακλαστικότητας των φύλλων χρησιμοποιήθηκε φασματοραδιόμετρο τύπου Li-Cor 1800-12 Integrating Sphere σε συνδυασμό με το φασματοραδιόμετρο τύπου Ocean Optics model USB2000. Επί των δεδομένων αυτών υπολογίστηκαν δείκτες βλάστησης από τους οποίους οι δείκτες Vogelmann (**VOGELMANN et al. 1993**), Z&M (**ZARCO-TEJADA et al. 2001**) και TCARI/OSAVI (**HABOUDANE et al. 2002; 2004**) χρησιμοποιήθηκαν με επιτυχία στην εκτίμηση ποσοστών συγκέντρωσης χλωροφύλλης α+β σε επίπεδο φυλλώματος.

Ο **Meggio et al. (2010)** χρησιμοποίησαν τον δέκτη AHS (Argon ST Inc., USA) για την λήψη υπερφασματικής εικόνας χωρικής ανάλυσης 2,5m και φασματικής ανάλυσης 20 καναλιών. Επιπρόσθετα έγινε δειγματοληψία φύλλων και ραγών την περίοδο του τρύγου με σκοπό την ανάδειξη σχέσεων μεταξύ τηλεπισκοπικών δεικτών και ποιοτικών χαρακτηριστικών των σταφυλιών. Υπολογίστηκε ένα σύνολο δεικτών, οι οποίοι προέκυψαν βάσει εξισώσεων προσαρμοσμένων στα δεδομένα του δέκτη AHS και παρουσιάζουν υψηλά ποσοστά συσχέτισης με αντίστοιχα χαρακτηριστικά ποιότητας σταφυλιών.

Δημοσιεύσεις με στόχο το διαχωρισμό ποικιλιών αμπέλου παρουσιάστηκαν την τελευταία δεκαετία με χρήση υπερφασματικών δεδομένων του δέκτη CASI/ CASI-2 σε περιοχές της Γαλλίας και τη Αυστραλίας ορισμένες από τις οποίες είναι: **“Use of hyperspectral imagery for mapping grape varieties in the Barossa Valley” (Lacar, F.M., Lewis, M. M., Grierson, I.T. ,2001) ,” Hyperspectral image analysis for precision viticulture”(Ferreiro-Armán, M., Da Costa, J. P., Homayouni, S., Martín -Herrero, 2006), “ Vine variety discrimination with airborne imaging spectroscopy”(Ferreiro-Armán, M., Alba-Castro, J. L., Homayouni, S., Da Costa, J. P., Martín-Herrero, J., 2007).**

Το άρθρο **“The Fields of View and Directional Response Functions of Two Field Spectroradiometers” (Alasdair Mac Arthur, Christopher J. MacLellan, and Tim Malthus, 2011)** περιγράφει τη μεθοδολογία καθορισμού του οπτικού πεδίου φασματοραδιομέτρων για την λήψη υπερφασματικής πληροφορίας στόχων πεδίου. Για την καταγραφή δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν 3 φασματοραδιόμετρα τύπου ASD Field Spec Pro FR s και SVC GER 3700. Μεθοδολογία καταγραφής υπερφασματικών δεδομένων σε επίπεδο στόχου και βασικές θεωρητικές αρχές καταγράφονται στο άρθρο του **Jeremy M. Lerner**, με τίτλο **“Imaging Spectrometer Fundamentals for Researchers in the Biosciences”(2005).**

2.3. Πολυφασματικά Δεδομένα

Οι διεργασίες και οι έρευνες σε θέματα αμπελουργίας ακριβείας με χρήση πολυφασματικών δεδομένων επικεντρώνονται στον υπολογισμό και αξιοποίηση δεικτών βλάστησης. Τα δεδομένα συλλέγονται συνήθως με εναέριους ή δορυφορικούς δέκτες και τα παραγόμενα αποτελέσματα αναφέρονται σε εικονιστικά προϊόντα επιλεκτικού διαχωρισμού των περιοχών αμπελουργίας. [Lamb et al.,2004; Hall et al.,2003; Acevedo-Opazo et al.,2008; Hall et al.,2011, Fiorillo et al.,2012].

Στην Ελλάδα (Θεσσαλία) το 2006 διεξήχθη εφαρμογή δημιουργίας χαρτών απόδοσης παραγωγής και ποιότητας σταφυλιών (Tagarakis et al.,2006; Tagarakis et al.,2012)

Εμπορική προσπάθεια για εφαρμογή μεθόδων αμπελουργίας ακριβείας έγινε στα αμπέλια του οινοποιείου «Οινοφόρος» στην περιοχή του Αιγίου το 2011. Στόχος της εφαρμογής ήταν η εποπτεία επιλεκτικού τρύγου και για την υλοποίησή της χρησιμοποιήθηκαν εικόνες του δορυφόρου FORMOSAT-2 με χωρική ανάλυση παγχρωματικής εικόνας 2m και πολυφασματικής 8m. Παράγωγα των διεργασιών αποτέλεσαν χάρτες ευρωστίας οι οποία ομαδοποίησαν επιμέρους τμημάτων των αμπελώνων σε ομοιογενείς ζώνες με κριτήριο την αναμενόμενη ποιότητα των παραγόμενων σταφυλιών.

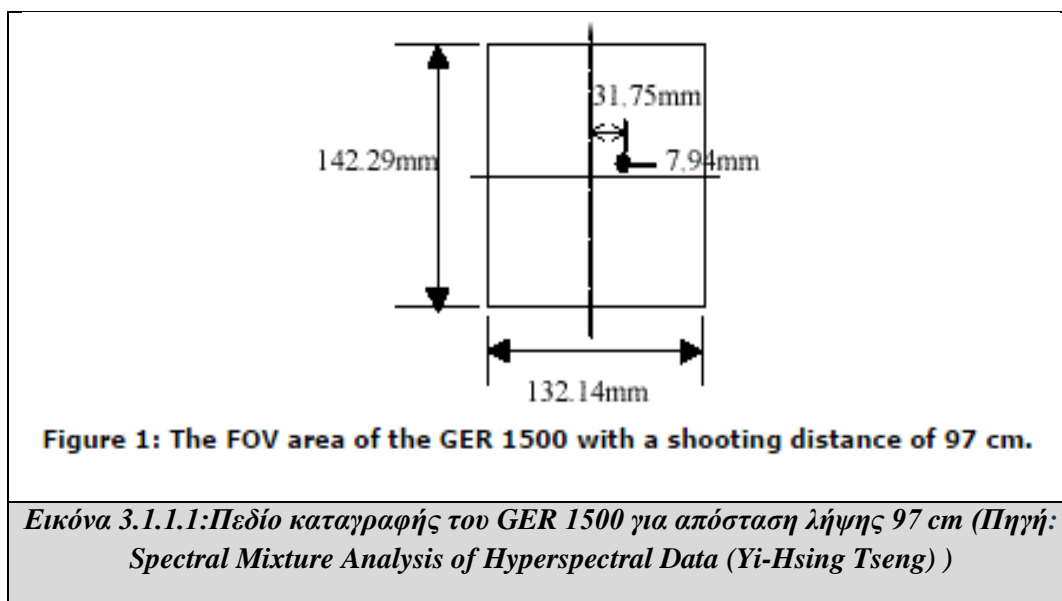
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται ο προγραμματισμός των εργασιών και οι απαραίτητες διαδικασίες για τη συλλογή των δεδομένων, αναλύονται διεξοδικά οι προεπεξεργασίες που εφαρμόστηκαν στα πρωτογενή δεδομένα και καταγράφεται ο τρόπος υπολογισμού και παραγωγής τελικών δεδομένων, κατηγοριοποιημένων ανά μέσο παραγωγής.

3.1. Δεδομένα Φασματοραδιομέτρου Χειρός

Το σύνολο των εργασιών πεδίου πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια εξοπλισμού που περιελάμβανε φασματοραδιόμετρο (spectroradiometer) τύπου GER1500 δέκτη GPS Magellan και ειδική πλάκα τέλει ανακλαστικής επιφάνειας.

Το φασματοραδιόμετρο τύπου GER 1500 της Spectra Vista Corporation δύναται να καταγράψει την ακτινοβολία με φασματική ακρίβεια (NER) $0,5 \times 10^{-9} \text{w/cm}^2/\text{nm}/\text{sr}$ σε εύρος τιμών 16 bit για 512 διαφορετικές περιοχές του μήκη κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Το φασματικό εύρος καταγραφής του είναι 350 nm έως 1050 nm με φασματική διακριτική ικανότητα (FWHM) 3,2 nm. Αντικείμενο μελέτης είναι η φυλλική επιφάνεια αμπελώνων συνεπώς παράμετροι όπως το σχήμα ο προσανατολισμός και η διάμετρος κόμης, η κατανομή γωνιών φύλλου, η πυκνότητας φελλικής επιφάνειας έπρεπε να ληφθούν υπ' όψιν κατά την διαδικασία καταγραφής καθώς επηρεάζουν την αμφίδρομη ανακλαστικότητα της φυτικής κόμης. Για τον λόγο αυτό έγινε προσπάθεια επιλογής αντιπροσωπευτικών στόχων με κριτήριο την ομοιογένεια του φυλλώματος. Επιπρόσθετα επιλέχθηκε κατάλληλο ύψος (1,1-1,3m) και γωνία λήψης (ναδίρ $0^\circ \pm 10^\circ$) σύμφωνα με τις προδιαγραφές του οργάνου ώστε να γίνει καταγραφή της επιθυμητής επιφάνειας βάσει κατάλληλου οπτικού πεδίου (field of view). Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται περιοχή πεδίου καταγραφής (fov area) για απόσταση λήψης 1 m.

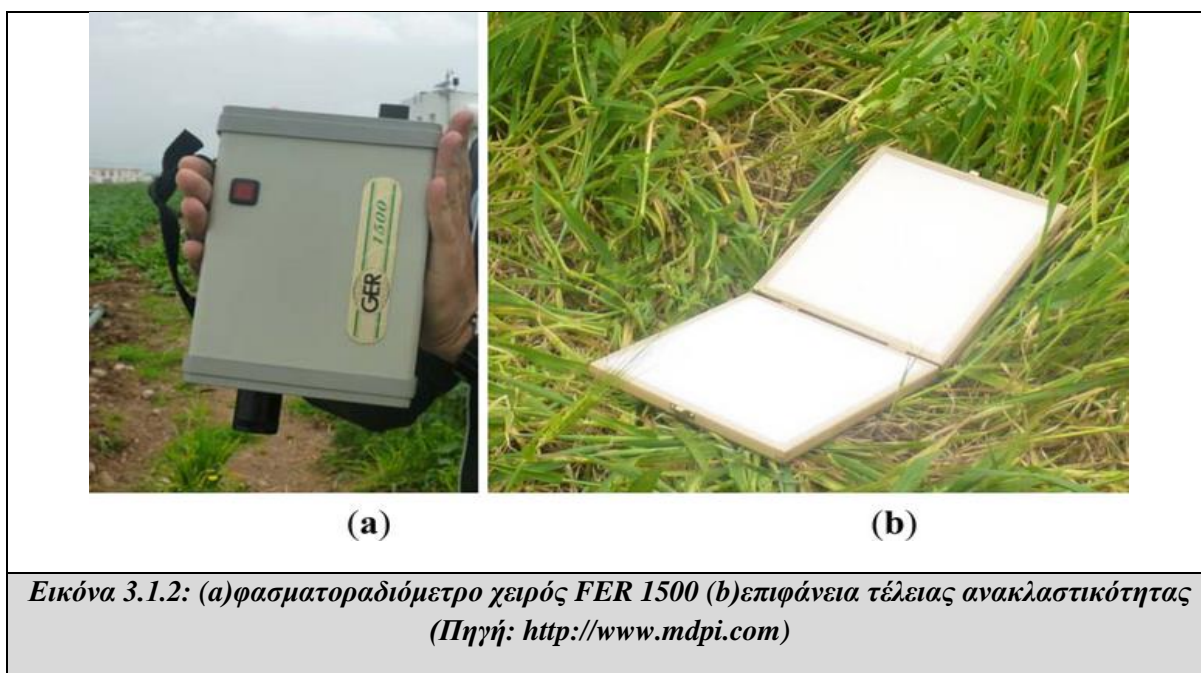


Στην περιοχή της Νεμέας παράλληλα με τις μετρήσεις φυλλώματος καταγράφηκαν μετρήσεις του φασματοραδιομέτρου από μικρότερο ύψος με σκοπό την καταγραφή ακτινοβολίας μεμονωμένων φύλλων.

Για την αποφυγή χονδροειδών σφαλμάτων κατά την διαδικασία συλλογής δεδομένων συνέβαλαν τόσο το laser στόχευσης του οργάνου, όσο και η προεπιλεγμένη ρύθμιση καταγραφής μέσου όρου πολλαπλών μετρήσεων ο οποίος καταγράφεται στην μνήμη ως τελική τιμή. Στην προκειμένη περίπτωση, επιλέχθηκε μέσος όρος 3 μετρήσεων. Για να εξασφαλιστεί μεγαλύτερη ορθότητα αποτελεσμάτων οι μετρήσεις κύριου ενδιαφέροντος, δηλαδή οι ποικιλίες αμπελιών που παρουσίασαν μεγαλύτερο ενδιαφέρον καταγράφηκαν σε περισσότερους από 1 στόχους (συνήθως 3 φορές σε κάθε κλίμα). Μεμονομένες μετρήσεις έγιναν για διαφορετικά αντικείμενα των περιοχών μελέτης καθώς και για κλίματα ειδικού ενδιαφέροντος (νεοφυτεμένα, ασθενή).

Το GPS χρησιμοποιήθηκε παράλληλα με το φασματοραδιόμετρο καθώς υπάρχει δυνατότητα σύνδεσής των οργάνων. Με αυτόν τον τρόπο έγινε ταυτόχρονη των γεωκεντρικών συντεταγμένων των στόχων. Η ακρίβεια καταγραφής που επιτεύχθηκε είναι της τάξης λίγων μέτρων λόγω του περιορισμού της διάρκειας μετρήσεων που επέβαλε η μεταβολή των περιβαλλοντολογικών συνθηκών του πεδίου.

Η Λαμπερτιανή πλάκα χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή της ακτινοβολίας αναφοράς (irradiance) στις περιοχές των στόχων απαιτούμενο δεδομένο για τον υπολογισμό της ανακλαστικότητας (reflectance) που υπολογίστηκε κατά την μετέπειτα επεξεργασία, **επιτρέποντας την ανεξαρτησία των αποτελεσμάτων από τις τοπικές ατμοσφαιρικές συνθήκες (ηλιοφάνεια, θερμοκρασία, υγρασία)**. Συμπληρωματικά χρησιμοποιήθηκαν κατάλληλα έγγραφα (κροκί) για την ονομαστική καταγραφή και έλεγχο των στόχων μέτρησης.



Με στόχο την εξαγωγή περαιτέρω συμπερασμάτων μετρήσεις εκπονήθηκαν σε 5 διαφορετικές περιοχές αμπελουργίας καθώς η γεωγραφική θέση επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τα χαρακτηριστικά της αμπέλου και κατ' επέκταση του παραγόμενου οίνου. Η συλλογή των δεδομένων έγινε αρχές Αυγούστου την περίοδο πριν τον τρυγητό συνεπώς οι μετρήσεις έχουν χρονική αναφορά την περίοδο τεχνολογικής ωρίμανσης των αμπελιών, η οποία είναι η περίοδος πλήρους ανάπτυξης και καρποφορίας του φυτού.

Αναλυτικότερα τη θερινή περίοδο του 2012 έγιναν καταγραφές σε αμπελώνες στις περιοχές της Αταλάντης του νομού Φθιώτιδας (274 μετρήσεις) και της Τράπεζας του νομού Αχαΐας (200 μετρήσεις), την θερινή περίοδο του 2013 έγιναν καταγραφές σε αμπελώνες στη περιοχή του Αμυνταίου του νομού Φλωρίνης (71 μετρήσεις) και σε αμπελώνες στην περιοχή της Νάουσας (300 μετρήσεις) και την θερινή περίοδο του 2014 εκτελέσθηκαν μετρήσεις σε αμπελουργική περιοχή της Νεμέας του νομού Κορινθίας (172 μετρήσεις). Συνολικά μετρήθηκαν 1016 στόχοι που αναφέρονται επί το πλείστον σε ποικιλίες αμπέλου αλλά και σε μετρήσεις αντικειμένων της περιοχής εργασιών (έδαφος, τεχνητές επιφάνειες κ.α.) οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν ως γενικά δεδομένα αφοράς. Για κάθε σειρά μετρήσεων του ίδιου αντικειμένου καταγράφηκε με τη χρήση της λαμπερτιανής πλάκας η προσπίπτουσα ακτινοβολία αναφοράς της εκάστοτε περιοχής. Στη συνέχεια παρατίθενται πίνακες που παρουσιάζουν τις ποικιλίες αμπέλου για τις οποίες έγιναν μετρήσεις ανά περιοχή.

Πίνακας 3.1.1 : Ποικιλίες Αμπέλου για τις οποίες έγιναν μετρήσεις φασματοραδιομέτρου στην περιοχή της Τράπεζας

1	Merlot	5	Sauvignon Blanc
2	Syrah	6	Riesling
3	Μαυροδάφνη	7	Λαγόρθι
4	Σταφίδα	8	Ροδίτης

Πίνακας 3.1.2 : Ποικιλίες Αμπέλου για τις οποίες έγιναν μετρήσεις φασματοραδιομέτρου στην περιοχή της Αταλάντης

1	Cabernet sauvignon	10	Αθήρι
2	Syrah	11	Ασύρτικο
3	Merlot	12	Semillon
4	Grenache rouge	13	Chardonnay
5	Ξινόμαυρο	14	Μοσχάτο
6	Ρομπόλα	15	Αηδάνι
7	Ribolla Gialla	16	Sauvignon blanc
8	Verticchio	17	Grechetto
9	Μαλαγουζιά	18	Grecanico

Πίνακας 3.1.3 :Ποικιλίες Αμπέλων για τις οποίες έγιναν μετρήσεις φασματοραδιομέτρου στην περιοχή του Αμυνταίου

1	Merlot	10	Sauvignon blanc
2	Gewurztramine	11	Classic
3	Syrah	12	Tannat
4	Montepulciano	13	Chardonnay

Πίνακας 3.1.4 :Ποικιλίες Αμπέλων για τις οποίες έγιναν μετρήσεις φασματοραδιομέτρου στην περιοχή της Νάουσας

1	Cabernet sauvignon	5	Negro Amaro
2	Malbec	6	Petit verdot
3	Merlot	7	Syrah
4	Μαυροδάφνη	8	Ξινόμαυρο

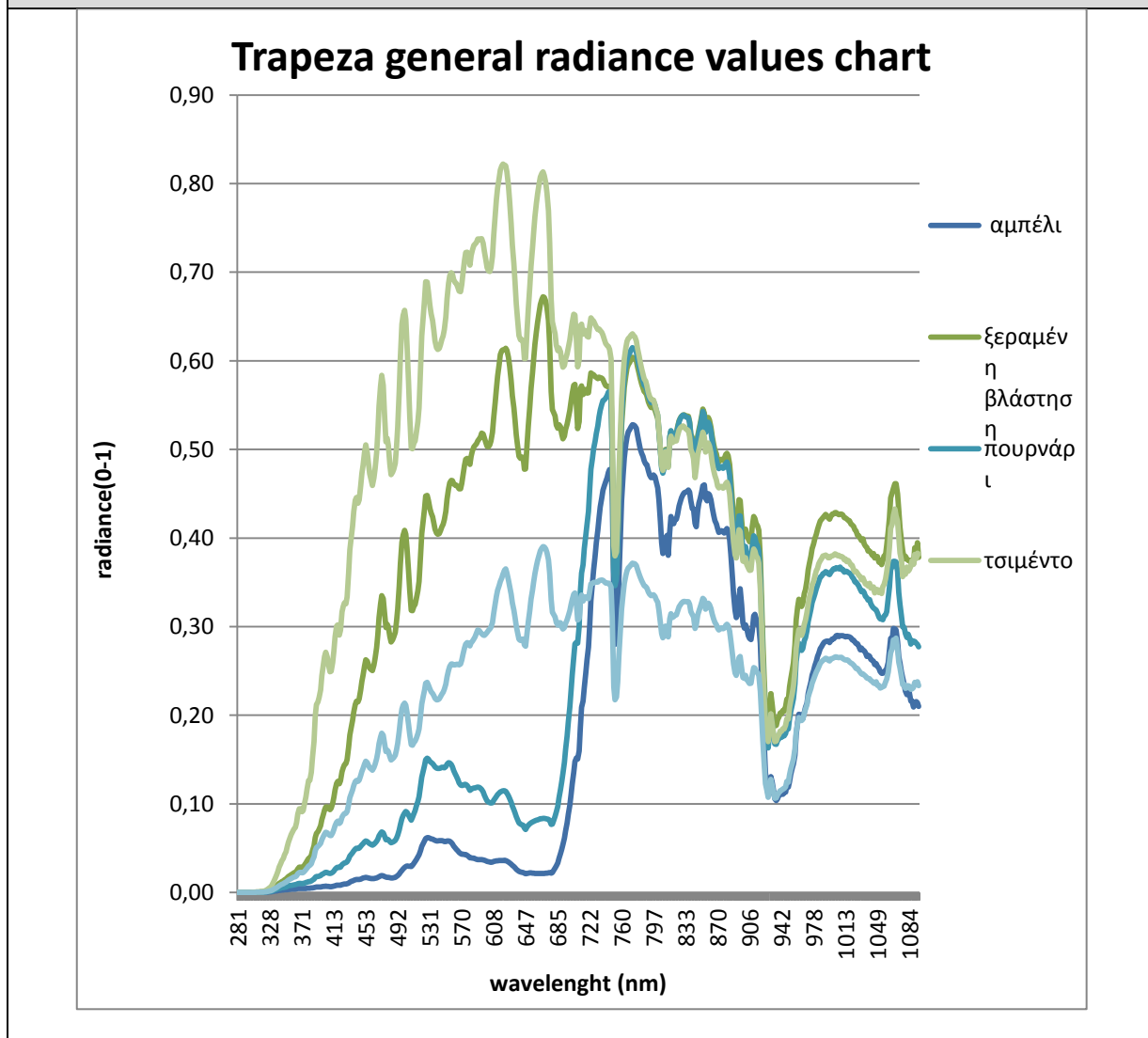
Πίνακας 3.1.5 :Ποικιλίες Αμπέλων για τις οποίες έγιναν μετρήσεις φασματοραδιομέτρου στην περιοχή της Νεμέας

1	Αγιωργίτικο	3	Syrah
2	Cabernet sauvignon	4	Sauvignon blanc

Πρωταρχική εργασία μετά τη μεταφορά των δεδομένων από το όργανο σε ηλεκτρονικό υπολογιστή αποτέλεσε ο έλεγχος για την εξάλειψη χονδροειδών σφαλμάτων τα οποία δεν εντοπίστηκαν στο πεδίο. Στη συνέχεια κατηγοριοποιήθηκαν τα δεδομένα σε αρχεία μετρήσεων ποικιλιών, ποικιλιών με ιδιαιτερότητες και σε μετρήσεις διαφορετικών αντικειμένων. Ακολούθησε η ομαδοποίηση των μετρήσεων που αφορούν τις ίδιες ποικιλίες σύμφωνα με την ονομαστική καταγραφή όπως έγινε στο πεδίο. Για κάθε περιοχή σε κάθε ποικιλία έγινε ποιοτική σύγκριση μεταξύ των τιμών διαφορετικών μετρήσεων και τελικά επιλέχθηκαν οι μετρήσεις οι οποίες συμπεριελήφθησαν στην εξαγωγή τελικού μέσου όρου.

Με αυτόν τον τρόπο προέκυψαν τιμές ανακλώμενης ακτινοβολίας για κάθε αντικείμενο και απεικονίστηκαν σε μορφή διαγραμμάτων για την διευκόλυνση εξαγωγής συμπερασμάτων. Στη συνέχεια παρατίθενται ενδεικτικά για οικονομία χώρου τα τελικά διαγράμματα ανακλώμενης ακτινοβολίας (radiance) αντικειμένων μόνο για την περιοχή της τράπεζας με τις τιμές ανοιγμένες από το αρχικό εύρος 16bit σε εύρος 0-1 βάσει της χαμηλότερης και υψηλότερης καταγεγραμμένης τιμής.

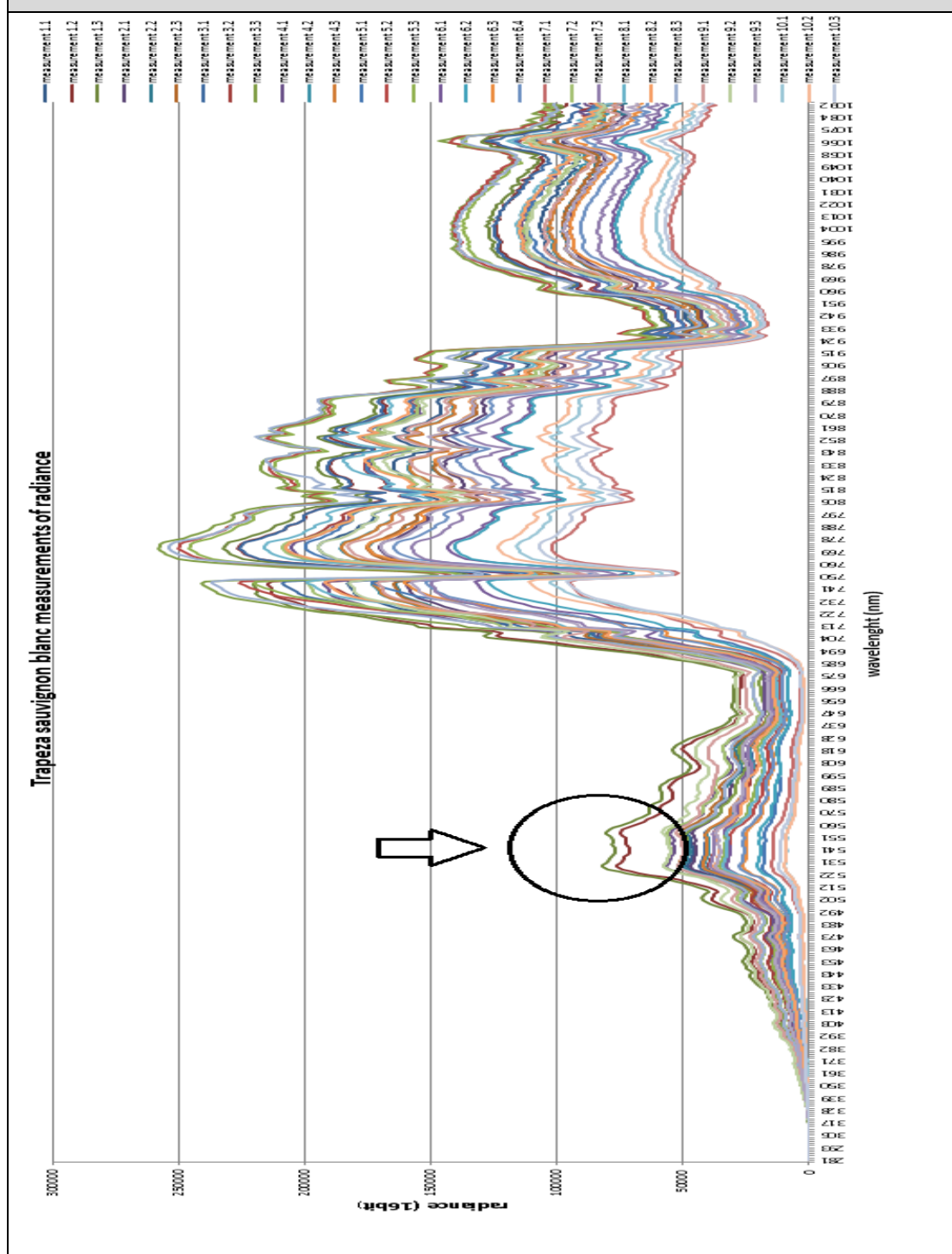
Διάγραμμα 3.1.1: Ανακλώμενη ακτινοβολία αντικειμένων στην περιοχή της Τράπεζας



Το **διάγραμμα 3.1.1** απεικονίζει την ανακλώμενη ακτινοβολία όπως καταγράφηκε από το φασματοραδιόμετρο χειρός για αντικείμενα στην περιοχή της Τράπεζας. Όπως είναι αναμενόμενο παρατηρείται έντονη διαφοροποίηση τιμών μεταξύ των αντικειμένων η οποία μπορεί να συνδεθεί με τα ποσοστά συγκέντρωσης χλωροφύλλης.

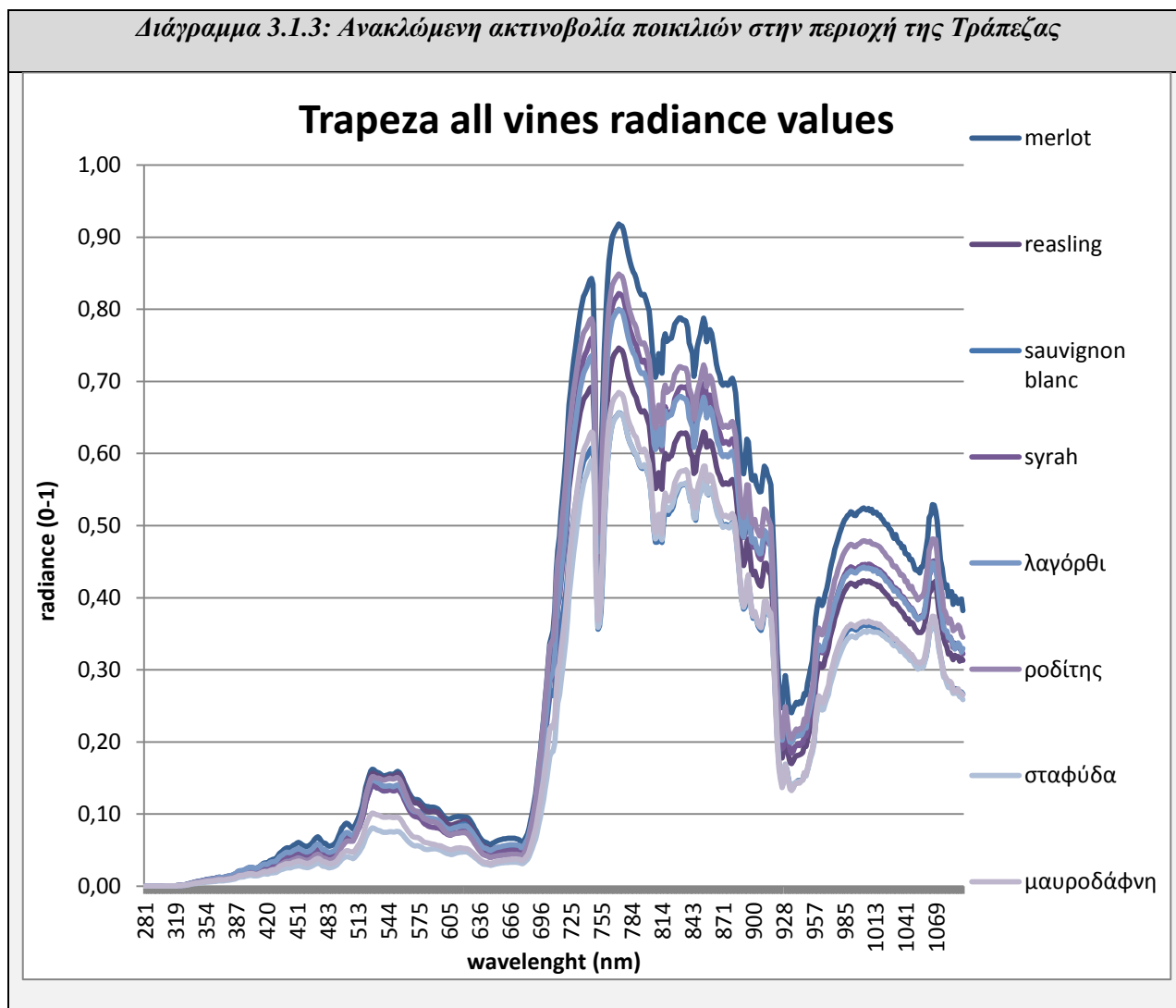
Συγκεκριμένα η καμπύλη που αντιστοιχεί σε καταγραφή τσιμέντου παρουσιάζει τη μεγαλύτερη διαφορά από τις υπόλοιπες για όλες σχεδόν τις περιοχές του φάσματος. Εντοπίζεται πως τα αντικείμενα για τα οποία είναι δεδομένη η χαμηλή περιεκτικότητα χλωροφύλλης (ξεραμένη βλάστηση και στάχια) παρουσιάζουν υψηλές τιμές στην περιοχή που αντιστοιχεί στο ορατό κόκκινο και χαμηλότερες στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου. Αντιθέτως στα αντικείμενα που έχουν μεγάλα ποσοστά συγκέντρωσης χλωροφύλλης, γεγονός στο οποίο οφείλουν το πράσινο χρώμα τους (πουρνάρι και αμπέλι), αντιστοιχούν καμπύλες που παρουσιάζουν σχετική ομοιομορφία συγκριτικά με τις υπόλοιπες. Οι υψηλότερες τιμές τους εντοπίζονται στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου, οι αμέσως επόμενες στην περιοχή του ορατού πράσινου ενώ στην περιοχή του ορατού κόκκινου παρουσιάζουν χαμηλές τιμές.

Διάγραμμα 3.1.2: Ανακλώμενη ακτινοβολία μετρήσεων sauvignon blanc στην περιοχή της Τράπεζας



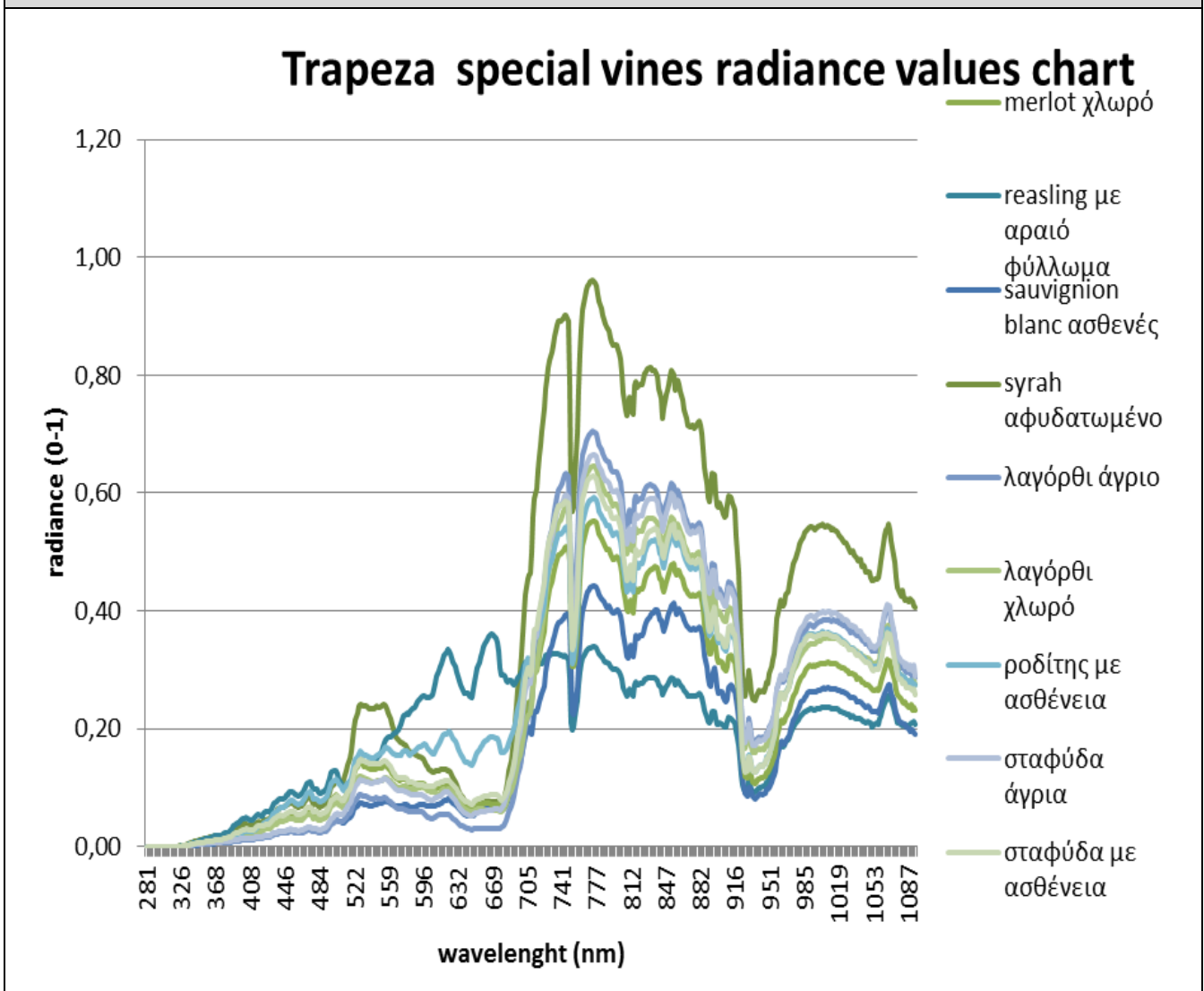
Το **διάγραμμα 3.1.2** απεικονίζει την ανακλώμενη ακτινοβολία (σε εύρος 16 bit) σειρών μετρήσεων για την ποικιλία sauvignon blanc (ενδεικτικά επιλέχτηκε για οικονομία χώρου). Σειρές μετρήσεων 3-4 στόχων έγιναν σε 10 διαφορετικά αμπέλια της ίδιας ποικιλίας. Μεμονωμένες μετρήσεις, οι οποίες παρουσίασαν πολύ μεγάλες διαφοροποιήσεις από τις υπόλοιπες, όπως οι 2 επισημασμένες στο διάγραμμα, θεωρήθηκαν εσφαλμένες και δεν συμπεριλήφθησαν στον υπολογισμό μέσου όρου τιμών ανακλαστικότητας της εν λόγω ποικιλίας. Παρατηρείται σχετικά μεγάλη διαφοροποίηση τιμών των μετρήσεων στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου για την οποία θα γίνει ανάλυση στο κεφάλαιο **4.1**.

Διάγραμμα 3.1.3: Ανακλώμενη ακτινοβολία ποικιλιών στην περιοχή της Τράπεζας



Το **διάγραμμα 3.1.3** απεικονίζει την ανακλώμενη ακτινοβολία όπως καταγράφηκε από το φασματοραδιόμετρο χειρός για τα 8 είδη ποικιλιών αμπέλου στην περιοχή της Τράπεζας. Γενικά παρατηρείται πολύ μικρότερη διακύμανση τιμών και μεγάλη ομοιομορφία των καμπύλων ανακλώμενης ακτινοβολίας. Όπως είναι αναμενόμενο οι καμπύλες παρουσιάζουν τις μέγιστες τιμές τους στην περιοχή αρχής του εγγύς υπέρυθρου, τις ελάχιστες στην περιοχή του υπεριώδους ενώ για την περιοχή του ορατού φάσματος παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές στο πράσινο και χαμηλότερες στο κόκκινο. Ειδικότερα εντοπίζεται πως η ποικιλία merlot παρουσιάζει υψηλότερες τιμές από τις υπόλοιπες ειδικά στο εύρος του εγγύς υπέρυθρου, ενώ οι ποικιλίες μαυροδάφνη και σταφύδα παρουσιάζουν τις χαμηλότερες τιμές. Επίσης μπορούν να σημειωθούν ζευγάρια ποικιλιών που παρουσιάζουν μεγάλη ομοιομορφία στην διακύμανση των τιμών μεταξύ γειτονικών περιοχών μήκους κύματος (όμοια κλίση των καμπύλων). Τα ζευγάρια αυτά είναι: σταφίδα-μαυροδάφνη-sauvignon blanc και riesling-λαγόρθι-ροδίτης.

Διάγραμμα 3.1.4: Ανακλώμενη ακτινοβολία ποικιλιών ειδικού ενδιαφέροντος στην περιοχή της Τράπεζας



Το **διάγραμμα 3.1.4** απεικονίζει την ανακλώμενη ακτινοβολία ποικιλιών αμπέλου της περιοχής της Τράπεζας που παρουσιάζουν ειδικά χαρακτηριστικά. Οι στόχοι παραπάνω στόχοι καταγράφηκαν καθώς είναι ενδεικτικοί διαφοροποιήσεων μεταξύ κλιμάτων της ίδιας ποικιλίας. Τα περισσότερα από τα κλίματα που επιλέχθηκαν για περεταίρω δειγματοληψία παρουσίαζαν προβλήματα ασθένειας, ωστόσο αποτελούσαν μεμονωμένες περιπτώσεις. Οι γενικές παρατηρήσεις που μπορούν να διαπιστωθούν βάσει του παραπάνω διαγράμματος αφορούν διαφοροποιήσεις στις περιοχές μήκους κύματος του ορατού κόκκινου και του εγγύς υπέρυθρου. Συγκεκριμένα παρατηρείται πως το αμπέλι της ποικιλίας syrah το οποίο χαρακτηρίστηκε στο πεδίο ως αφυδατωμένο (water stressed) παρουσιάζει πολύ υψηλές τιμές στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου γεγονός που μπορεί να εξηγηθεί βάσει της μεγάλης απορροφητικότητας του νερού σε αυτό το μήκος κύματος. Επιπλέον παρατηρείται πως τα αμπέλια τα οποία χαρακτηρίστηκαν στο πεδίο ως ασθενή καθώς παρουσίαζαν κίτρινο φύλλωμα παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές στην περιοχή του ορατού κόκκινου σε σύγκριση με τις τιμές που υπολογίστηκαν για υγιή αμπέλια της ίδιας ποικιλίας. Περαιτέρω ανάλυση του παραπάνω διαγράμματος δεν είναι δυνατή καθώς τα εν λόγω κλίματα εντοπίστηκαν στο πεδίο χωρίς να υπάρχει ακριβής γνώση του προβλήματος ή της ασθένειας που αντιμετώπιζαν.

3.1.1. Παραγωγή δεδομένων ανακλαστικότητας και δεικτών

Βασική διαδικασία για την περαιτέρω ανάλυση των δεδομένων του φασματοραδιομέτρου αποτέλεσε η παραγωγή δεδομένων ανακλαστικότητας. Τα δεδομένα ανακλαστικότητας παρέχουν φασματική πληροφορία η οποία είναι ανεξάρτητη των περιβαλλοντολογικών συνθηκών της στιγμής καταγραφής. Τα δεδομένα ανακλώμενης ακτινοβολίας που προέκυψαν με την χρήση του GER 1500 αναφέρονται σε σειρές μετρήσεων στόχων επιλεγμένης αμπέλου. Για κάθε σειρά μετρήσεων έγινε ταυτόχρονη μέτρηση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας επί της ειδική πλάκας καταγραφής που προσομοιάζει τέλεια ανακλαστική επιφάνεια. Οι σειρές μετρήσεων εκτελέστηκαν σε σύντομα χρονικά διαστήματα κατά την διάρκεια των οποίων επιδιωκόταν να είναι αμελητέα η μεταβολή των περιβαλλοντολογικών συνθηκών και κυρίως της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας. Σε περιπτώσεις που έγιναν αντιληπτές μεταβολές φωτεινότητας κυρίως λόγω κινήσεων των σύννεφων η σειρά μετρήσεων επαναλαμβάνονταν. Βάσει αυτών των δεδομένων είναι δυνατόν να υπολογιστούν τιμές ανακλαστικότητας που αναφέρονται σε κάθε σειρά μετρήσεων. Η εξίσωση υπολογισμού επεξηγείται παρακάτω.

$$\rho_T = L_T / L_r \times k$$

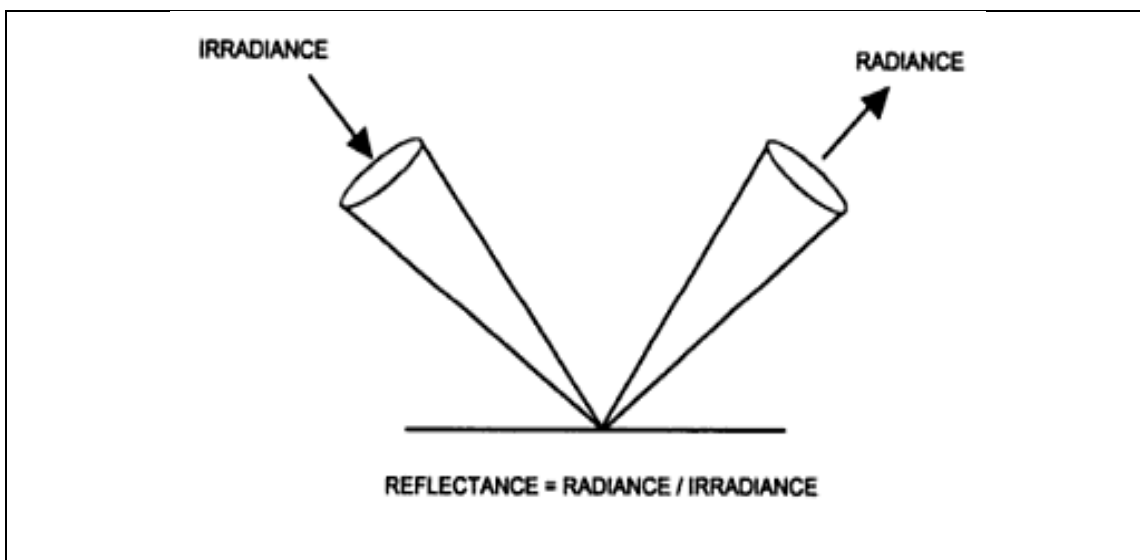
ρ_T : Το φάσμα ανακλαστικότητας του στόχου

L_T : η ακτινοβολία που ανακλάται από τον υπό εξέταση στόχο, L

L_r : η ακτινοβολία που ανακλάται από ένα δείγμα αναφοράς (reference sample)

k : διορθωτικός συντελεστής που ισούται με τον λόγο της ηλιακής ακτινοβολίας προς την επανεκπομπή από την επιφάνεια του δείγματος αναφοράς και υπό ιδανικές συνθήκες ισούται με τη μονάδα

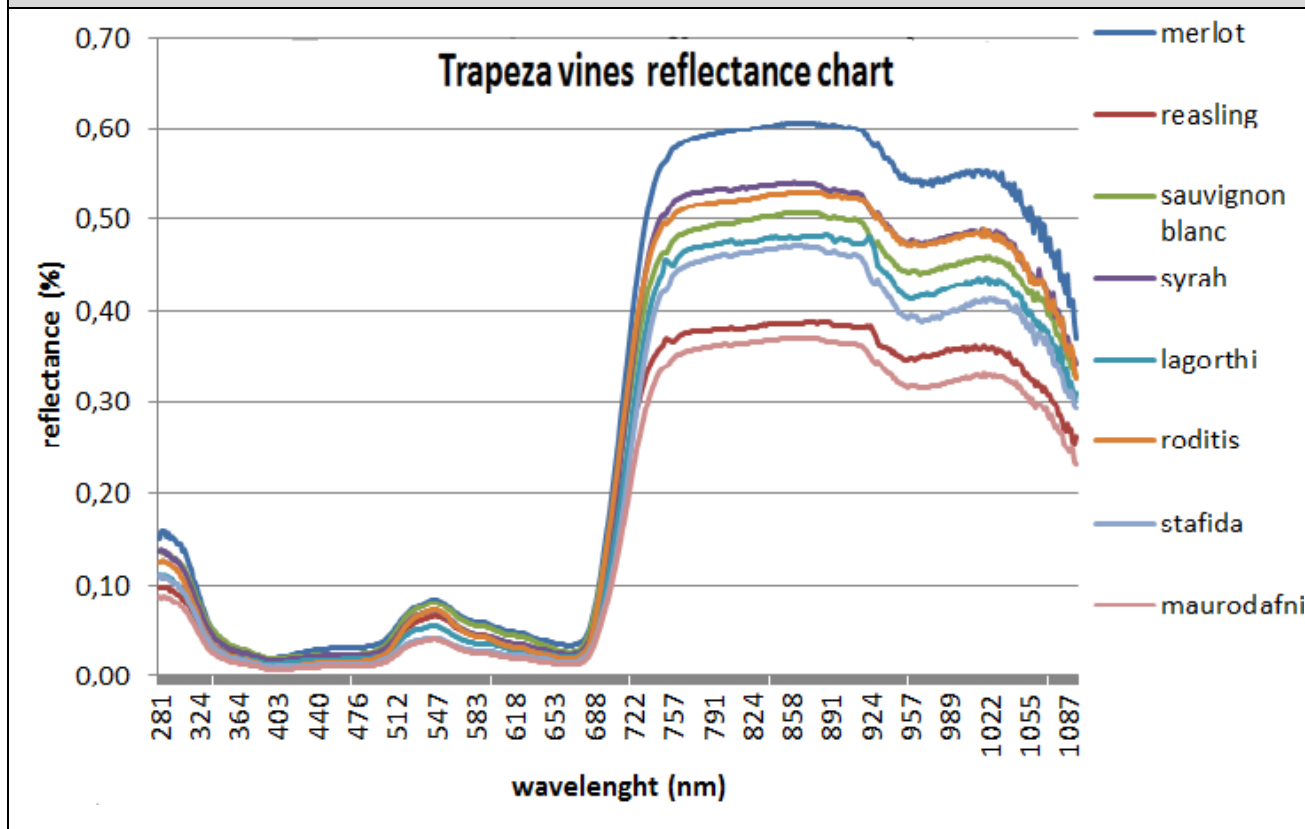
(McCoy, 2005)



Σχήμα 3.1.1.1: Προσπίπτουσα ακτινοβολία ανακλώμενη ακτινοβολία και ανακλαστικότητα

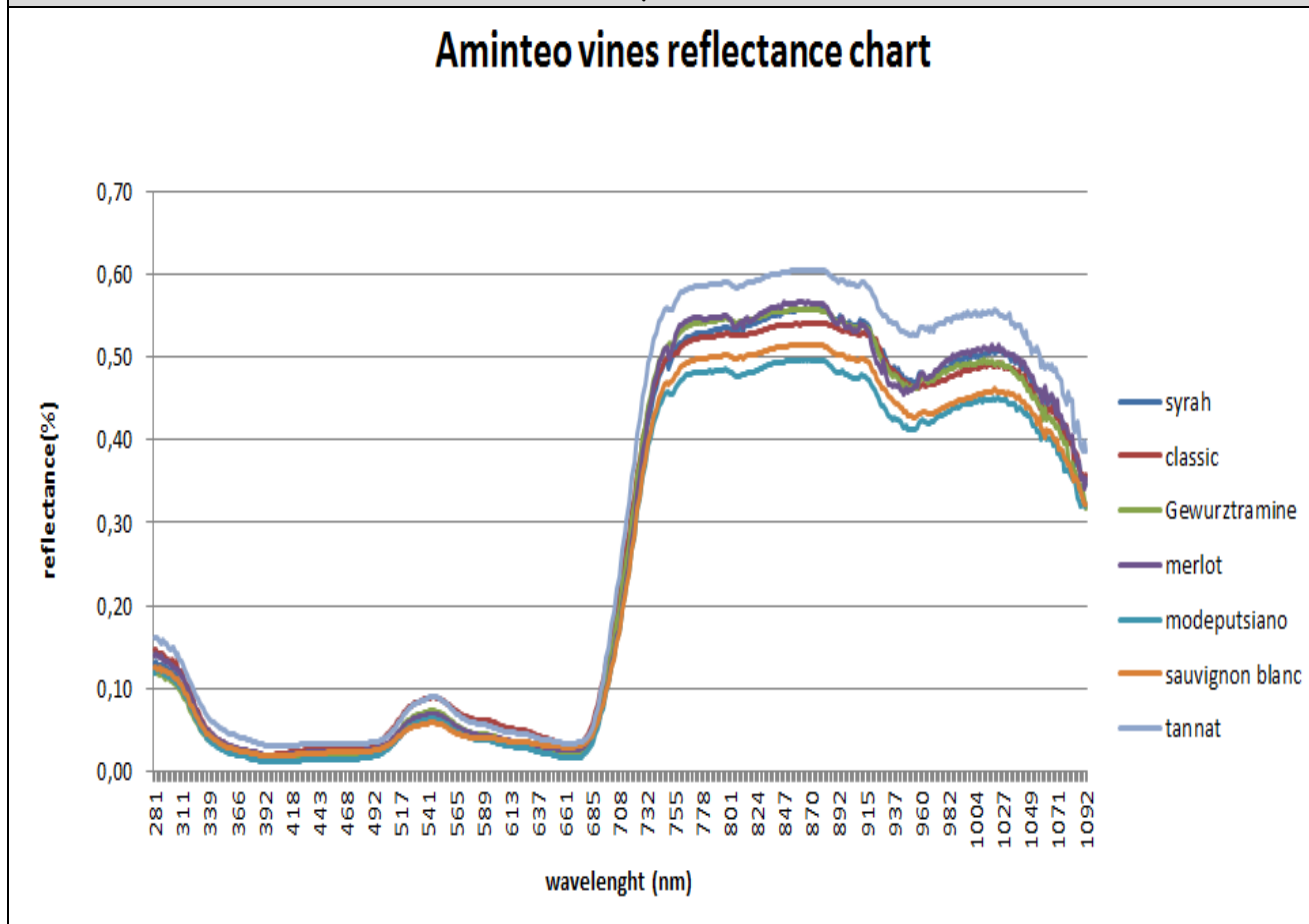
Με χρήση του παραπάνω τύπου οι τιμές ανακλαστικότητας υπολογίστηκαν ως λόγος των τιμών ανακλώμενης ακτινοβολίας του στόχου (radiance) προς τις τιμές ανακλώμενης ακτινοβολίας της πλάκας (reference). Στη συνέχεια επιλέχθηκαν οι μετρήσεις οι οποίες συμπεριελήφθησαν στην εξαγωγή τελικού μέσου όρου και προέκυψαν με αυτόν τον τρόπο τιμές ανακλαστικότητας για κάθε μετρημένη ποικιλία αμπέλου για κάθε περιοχή μελέτης. Για την διευκόλυνση εξαγωγής συμπερασμάτων οι τιμές ανακλαστικότητας απεικονίστηκαν σε μορφή διαγραμμάτων. Στη συνέχεια παρατίθενται τα τελικά διαγράμματα ανακλαστικότητας (reflectance) ανά περιοχή με τιμές ανοιγμένες σε εύρος 0-1 βάσει της χαμηλότερης και υψηλότερης καταγεγραμμένης τιμής.

Διάγραμμα 3.1.1.1: Διάγραμμα ανακλαστικότητας των ποικιλιών της περιοχής της Τράπεζας



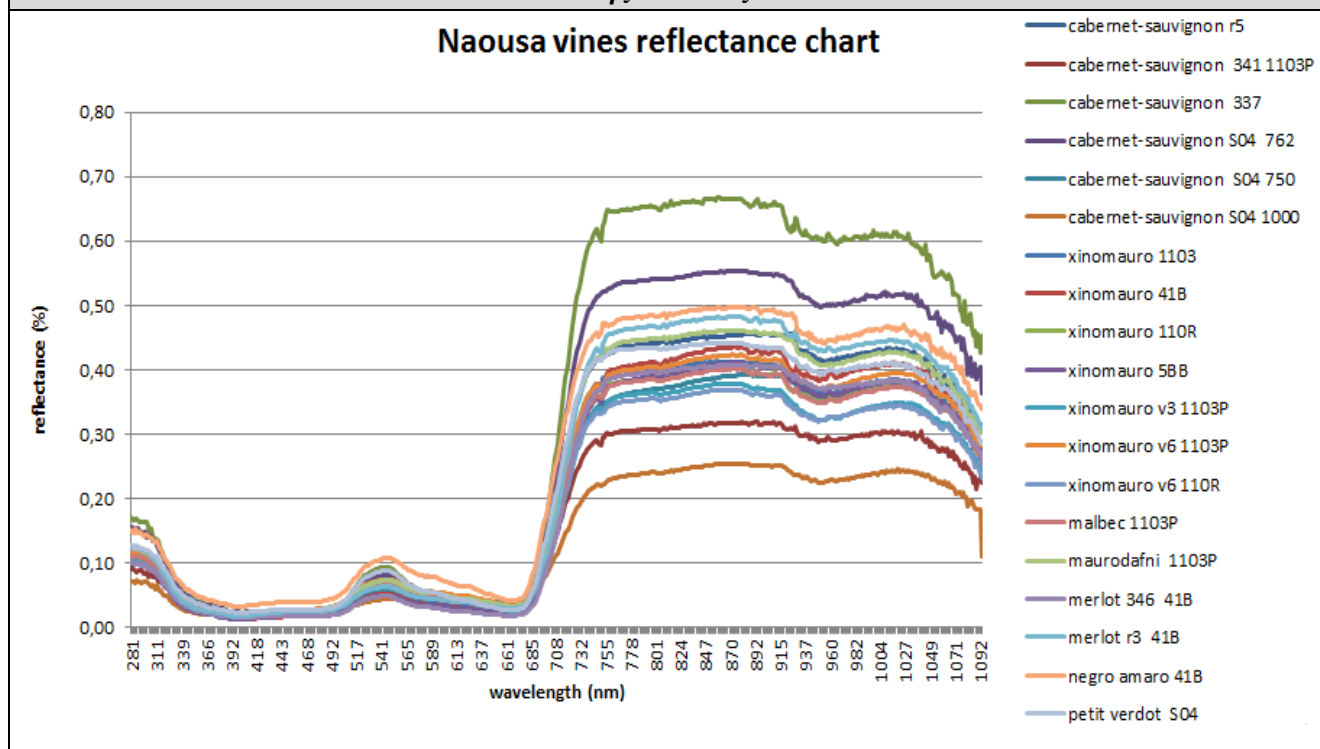
Παρατηρώντας το παραπάνω διάγραμμα 3.1.1.1 καταγράφονται αρχικά συμπεράσματα της φασματική συμπεριφοράς των ποικιλιών της περιοχής της Τράπεζας. Γενικά παρατηρείται μικρή διακύμανση τιμών και μεγάλη ομοιομορφία των καμπύλων ανακλαστικότητας με εξαίρεση τις ποικιλίες merlot και μαυροδάφνη. Συγκριτικά με τις υπόλοιπες, η ποικιλία merlot παρουσιάζει πολύ υψηλές τιμές ανακλαστικότητας στο εύρος του εγγύς υπέρυθρου 760-1080 (nm), ενώ η ποικιλία μαυροδάφνη και η ποικιλία riesling πολύ χαμηλές. Γενικά τις χαμηλότερες τιμές παρουσιάζει η ποικιλία μαυροδάφνη και τις υψηλότερες η ποικιλία merlot. Επίσης εντοπίζεται πως οι ποικιλίες ροδίτης και syrah καθώς και οι ποικιλίες λαγόρθη και σταφίδα παρουσιάζουν τα ίδια περίπου ποσοστά ανακλαστικότητας σε όλο το εύρος του φάσματος. Στο κεφάλαιο 4.1. γίνεται περεταίρω ανάλυση.

Διάγραμμα 3.1.1.2: Διάγραμμα ανακλαστικότητας των ποικιλιών της περιοχής του Αμυνταίου



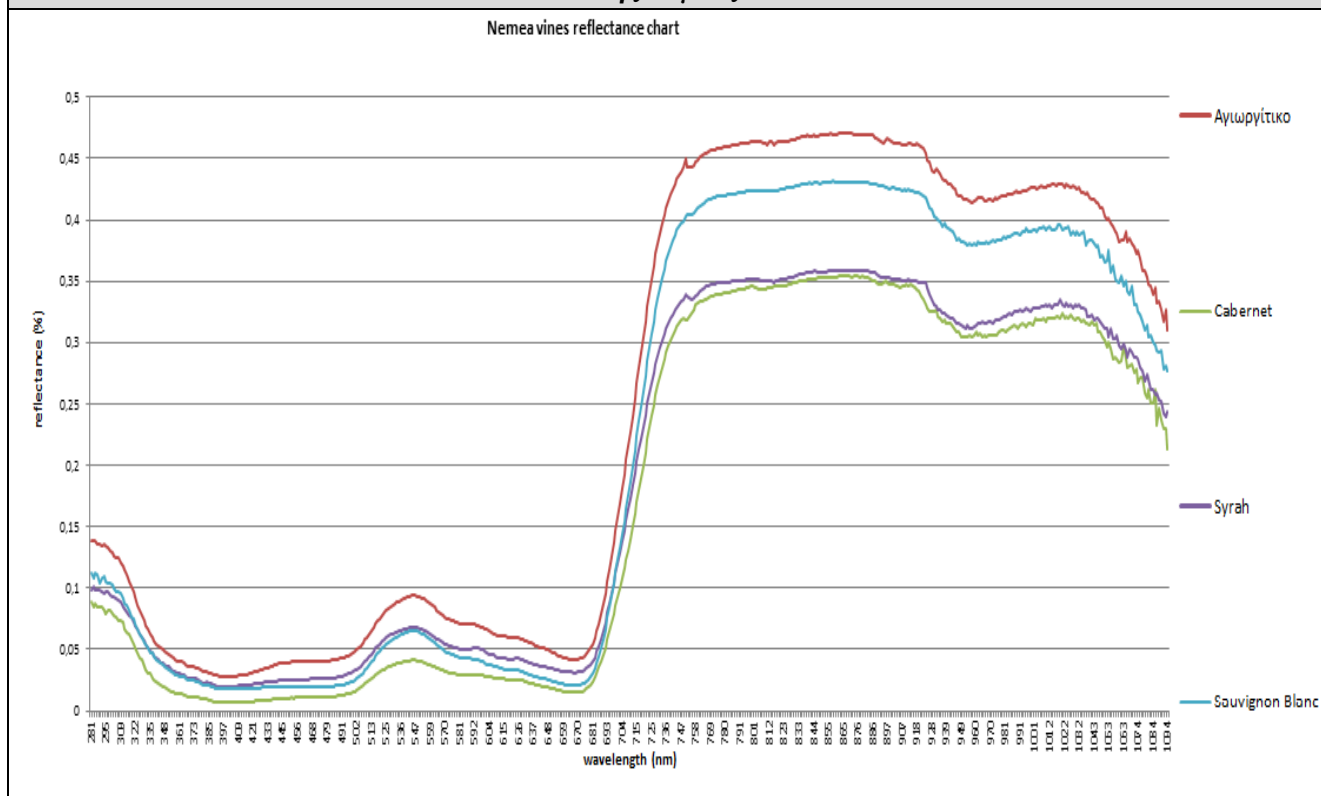
Εξετάζοντας το παραπάνω διάγραμμα **3.1.1.2** μπορούν να εξαχθούν αρχικά συμπεράσματα που αφορούν τη φασματική συμπεριφορά των συγκεκριμένων ποικιλιών της περιοχής του Αμυνταίου. Βάσει των καμπυλών φασματικής υπογραφής ανακλαστικότητας εντοπίζεται πως όλες οι ποικιλίες παρουσιάζουν περίπου τα ίδια ποσοστά ανακλαστικότητα ανά μήκος κύματος με εξαίρεση τις ποικιλίες classic και μοντερουλσιάνο. Συγκριτικά με τις υπόλοιπες ποικιλίες η ποικιλία classic παρουσιάζει υψηλές τιμές στην περιοχή 580-610 (nm) που αντιστοιχεί στο ορατό κίτρινο ενώ η ποικιλία tannat παρουσιάζει πολύ υψηλές σε όλο το φάσμα. Γενικά εντοπίζεται πως η ποικιλία μοντερουλσιάνο παρουσιάζει τις χαμηλότερες τιμές ανακλαστικότητας, η ποικιλία Tannat τις υψηλότερες ενώ οι ποικιλίες Classic και Merlot παρουσιάζουν σχετικά μεγάλη διακύμανση κυρίως στην περιοχή 760-850 (nm). Περεταίρω ανάλυση γίνεται στο κεφάλαιο **4.1**.

Διάγραμμα 3.1.1.3: Διάγραμμα ανακλαστικότητας των ποικιλιών της περιοχής της Νάουσας



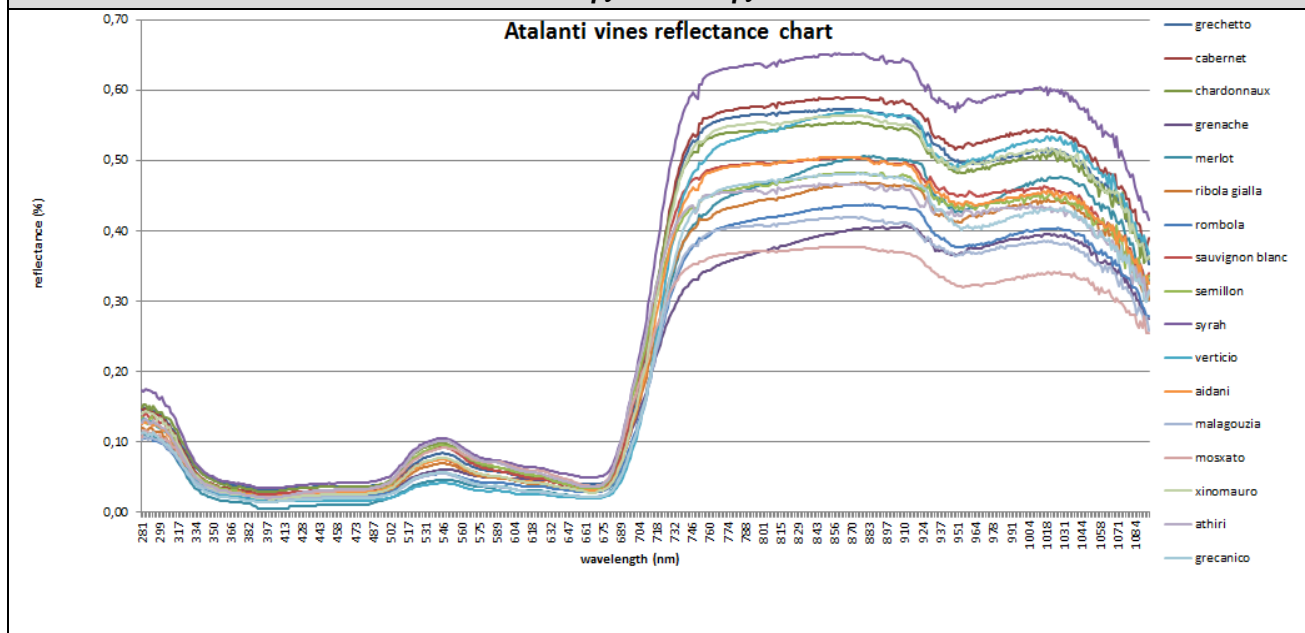
Το διάγραμμα **3.1.1.3** απεικονίζει τα ποσοστά ανακλαστικότητας των ποικιλιών της περιοχής της Νάουσας και παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον καθώς για τις ποικιλίες της περιοχής αυτής ήταν διαθέσιμα επιπρόσθετα δεδομένα που αφορούν την κατηγοριοποίηση των ποικιλιών αμπέλου. Συγκεκριμένα για την περιοχή αυτή οι αμπελώνες κατηγοριοποιήθηκαν βάσει όχι μόνο του είδους ποικιλίας αλλά και βάσει κλώνου και υποκειμένου. Ο κλώνος αποτελεί χαρακτηριστικό της ποικιλίας αμπέλου που προσδιορίζει τον τρόπο με τον οποίο έχει αναπτυχθεί το κλίμα προκειμένου να προωθηθούν ευνοϊκά χαρακτηριστικά διαφορετικής ποικιλίας. Το υποκείμενο αποτελεί χαρακτηριστικό του αμπελιού που αναφέρεται στην επιλογή κατάλληλου ριζώματος πάνω στο οποίο εμφυτεύεται η επιθυμητή ποικιλία, ώστε να διασφαλιστεί η υγιής ανάπτυξή της. Οι πληροφορίες κλώνου και υποκειμένου προέκυψαν από διαθέσιμους χάρτες του φορέα διαχείρισης των αμπελώνων. Οι διαφορετικές κατηγορίες κλώνων των εν λόγω αμπελώνων είναι οι V3 και V6 για ποικιλία ξινόμαυρου, οι R5, 337, 341, 750, 762 και 1000 για ποικιλία cabernet sauvignon, οι R3, 182, 343, 346, 347 και 348 για ποικιλία merlot και οι SY99, SY300, SY382 και SY472 για ποικιλία syrah ενώ οι κατηγορίες υποκειμένων των είναι οι 41B, 1103P, 110R, 5BB και S04. Στο διάγραμμα **3.1.1.2** τα αμπέλια κατηγοριοποιούνται βάσει της διαθέσιμης πληροφορίας, με αναφορά του είδους ποικιλίας, του κλώνου και του υποκειμένου. Γενικά παρατηρείται ομοιομορφία των καμπυλών και οι τιμές ανακλαστικότητας παρουσιάζουν διαφοροποίηση στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου 760-1080 (nm) η οποία κυμαίνεται σε ποσοστά της τάξης του 10% με εξαίρεση τεσσάρων ποικιλιών cabernet sauvignon οι οποίες παρουσιάζουν τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές. Τις υψηλότερες τιμές στην περιοχή παρουσιάζει η ποικιλία cabernet sauvignon 337 με αμέσως επόμενη την ποικιλία cabernet sauvignon S04 762, ενώ αντίστοιχα τις χαμηλότερες η ποικιλία cabernet sauvignon S04 1000 και cabernet sauvignon 341 1103P. Έντονη διαφοροποίηση μεταξύ ίδιων ποικιλιών αλλά διαφορετικών κλώνων και υποκειμένων εντοπίζεται για τις ποικιλίες cabernet sauvignon. Το negro amaro 41B είναι μόνη ποικιλία που συγκριτικά με τις υπόλοιπες παρουσιάζει μεγάλη διαφοροποίηση τιμών στην περιοχή του ορατού φάσματος. Στο κεφάλαιο **4.1** γίνεται περεταίρω ανάλυση.

Διάγραμμα 3.1.1.4: Διάγραμμα ανακλαστικότητας των ποικιλιών της περιοχής της Νεμέας



Στο παραπάνω διαγράμματα **3.1.1.4** παρουσιάζονται οι καμπύλες ποσοστών ανακλαστικότητας των ποικιλιών για την περιοχή της Νεμέας. Στην περιοχή αυτή οι ποικιλίες που μετρήθηκαν είναι 4 γεγονός που διευκολύνει την μελέτη του διαγράμματος αλλά περιορίζει τα εξαγόμενα συμπεράσματα. Παρατηρείται πως οι καμπύλες των ποικιλιών syrah και cabernet παρουσιάζουν σχεδόν ίδιο ποσοστό τιμών στη περιοχή του εγγύς υπέρυθρου 760-1080 (nm) ενώ διαφέρουν στη περιοχή του ορατού πράσινου 515-555 (nm). Η ποικιλία sauvignon blanc παρουσιάζει την ίδια σχεδόν μορφή καμπύλης συγκριτικά με την ποικιλία cabernet (ίδιες μεταβολές ποσοστών), μετατοπισμένη κατά ποσοστό +5% στην περιοχή του ορατού φάσματος και κατά +10% στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου. Οι ποικιλίες syrah και sauvignon blanc παρουσιάζουν ίδια σχεδόν ποσοστά στην περιοχή του ορατού πράσινου (2% διαφορά), η οποία αυξάνεται σε ποσοστό τάξης 25% στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου, με την ποικιλία sauvignon blanc να παρουσιάζει υψηλότερες τιμές. Η ποικιλία αγιωργίτικο παρουσιάζει τις υψηλότερες τιμές σε όλο το εύρος του φάσματος και η καμπύλη της έχει ίδια μορφή με τη καμπύλη της ποικιλίας sauvignon blanc.

Διάγραμμα 3.1.1.5: Διάγραμμα ανακλαστικότητας των ποικιλιών της περιοχής της Αταλάντης



Στο παραπάνω διαγράμματα **3.1.1.5** παρουσιάζονται οι καμπύλες ποσοστών ανακλαστικότητας των ποικιλιών για την περιοχή της Αταλάντης. Γενικά παρατηρείται ανομοιομορφία των καμπυλών συγκριτικά με τα διαγράμματα ποικιλιών άλλων περιοχών. Οι τιμές ανακλαστικότητας παρουσιάζουν μεγάλη διαφοροποίηση στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου 760-1080 (nm) η οποία κυμαίνεται σε ποσοστά της τάξης του 20%. Επιπρόσθετα στο εύρος αυτό εντοπίζεται διαφορετική μείωση/αύξηση των ποσοστών ανακλαστικότητας με ενδεικτικές τις καμπύλες των ποικιλιών grenache, merlot και verticio. Η ποικιλία syrah παρουσιάζει τις υψηλότερες τιμές για όλο το εύρος του φάσματος και η ποικιλία moscato τις χαμηλότερες. Στο κεφάλαιο **4.1**, μελετώνται οι διαφορές αυτές αναλυτικότερα.

Μετά τον υπολογισμό των δεδομένων ανακλαστικότητας υπολογίσθηκαν βάσει της υπάρχουσας βιβλιογραφίας τηλεπισκοπικοί δείκτες βλάστησης. Στη παράρτημα παρατίθενται πίνακες που καταγράφουν την ονοματολογία το μαθηματικό τύπο και την αντίστοιχη βιβλιογραφία των δεικτών που μπορούν να υπολογιστούν βάσει του φασματικού εύρους και της φασματικής διακριτικής ικανότητας του φασματοραδιόμετρου τύπου GER 1500 [πίνακες 1(α) και 1(β) του παραρτήματος]. Οι δείκτες οι οποίοι εξειδικεύονται στη εξαγωγή συμπερασμάτων ποιοτικών χαρακτηριστικών βλάστησης και έχουν εφαρμογή στην περίπτωση των αμπελώνων μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε 6 σύνολα. Δείκτες ξανθοφύλλης, χλωροφύλλης α+β, δείκτες λόγων ορατού φάσματος, δείκτες καρτενοειδών, δείκτες φθορισμού και δείκτες ασθένειας. Η ονομασία και οι μαθηματικοί τύποι καταγράφονται στον παρακάτω πίνακα **Πίνακας 3.1.1.1**.

Πίνακας 3.1.1.1: Ονοματολογία και τυπολόγιο τηλεπισκοπικών δεικτών που υπολογίσθηκαν

XANTHOPHYLL INDICES	1	photochemical reflectance index 570	$PR1570=(R570-R531)/(R570+R531)$
	2	photochemical reflectance index 510	$PR1515=(R515-R531)/(R515+R531)$
CHLOROPHYLL a+b INDICES	3	red edge	$ZM=R750/R710$
	4	Vogelmann	$VOG1=R740/R720$
	5	Gitelson and Merzlyak indices 1	$GM1=R750/R550$
	6	Gitelson and Merzlyak indices 2	$GM2=R750/R700$
	7	pigment specific simple ratio chlorophyll a	$PSSRa=R800/R675$
	8	pigment specific simple ratio chlorophyll b	$PSSRb=R800/R650$
	9	transformed chlorophyll absorption in reflectance index(tcari)	$TCARI=3*[(R700-R670) - 0,2*(R700-R550)*(R700/R670)]$
	10	tcari/optimized soil adjusted vegetation index	$TCARI/OSAVI=TCARI/[(1+0,16)*(R800-R670)/(R800+R670+0,16)]$
R/G/B INDICES	11	redness index	$R=R700/R670$
	12	greenness index	$G=R570/R670$
	13	blue index	$B=R450/R490$
	14	blue/green indices 1	$BGI1=R400/R550$
	15	blue/green indices 2	$BGI2=R450/R550$
	16	blue/red indices 1	$BRI1=R400/R690$
	17	blue/red indices 2	$BRI2=R450/R690$
	18	Lichtenhaler indices	$LIC3=R440/R740$
CAROTENOID INDICES	19	structure-intensive pigment index	$SIPI=(R800-R445)/(R800+R680)$
	20	pigment specific simple ratio carotenoids	$PSSRc=R800/R500$
	21	R520/R500	$R520/R500$
	22	R515/R570	$R515/R570$
	23	R515/R670	$R515/R670$
FLUORESCENCE	24	DPI	$(DR688- DR710) / (DR697)^2$
	25	DR730 / DR706	$DR730 / DR706$
	26	DR705 / DR722	$DR705 / DR722$
	27	$(R675- R690) / (R683)^2$	$(R675- R690) / (R683)^2$
	28	R750 / R800	$R750 / R800$
	29	R685 / R655	$R685 / R655$
	30	R690 / R655	$R690 / R655$
	31	R680 / R630	$R680 / R630$
	32	R685 / R630	$R685 / R630$
	33	R687 / R630	$R687 / R630$
	34	R690 / R630	$R690 / R630$
PLANT DISEASE INDEX	35	healthy index	$HI= (R534-R698)/(R534+R698) - 0,5*R704$

Για οικονομία χώρου παρουσιάζονται διαγράμματα τιμών των δεικτών μόνο για την ποικιλία cabernet sauvignon της περιοχής της Τράπεζας στο παράρτημα [πίνακες 2 έως 6 του παραρτήματος].

3.1.2. Προσομοίωση δεδομένων φασματοραδιομέτρου

Η ένταση της ανακλώμενης ακτινοβολίας των αντικειμένων είναι το μέγεθος που καταγράφεται συνθηθέστερα από τους δορυφορικούς και αερομεταφερόμενους δέκτες, ωστόσο εφόσον είναι διαθέσιμα δεδομένα που αφορούν τις παραμέτρους τη στιγμής λήψης και των ατμοσφαιρικών συνθηκών της περιοχής, μπορεί να εκτελεστεί ατμοσφαιρική διόρθωση στις παραγόμενες εικόνες με ταυτόχρονη αναγωγή σε τιμές ανακλαστικότητας και βάσει αυτών είναι δυνατή η συσχέτιση με επίγεια δεδομένα ανακλαστικότητας. Κατά το στάδιο επεξεργασίας των δεδομένων του φασματοραδιομέτρου και εφόσον έχει γίνει καταγραφή της ακτινοβολίας σε τέλεια ανακλαστική επιφάνεια, δύναται ο υπολογισμός των τιμών ανακλαστικότητας κάθε στόχου όπως αναλύθηκε στην ενότητα 3.1.1. Για να είναι συγκρίσιμα τα δύο είδη δεδομένων πρέπει να αναφέρονται σε κοινό φασματικό εύρος. Στην ενότητα αυτή αναλύεται η μεθοδολογία προσομοίωσης των δεδομένων του φασματοραδιομέτρου στο φασματικό εύρος του WorldView-2.

Ο δέκτης WorldView-2 παρέχει εικόνες 8 φασματικών διαστάσεων ενώ το φασματοραδιόμετρο καταγράφει πληροφορία σε 512 μήκη κύματος. Συνεπώς για να είναι συγκρίσιμες οι δύο κατηγορίες δεδομένων τα υπερφασματικά δεδομένα του φασματοραδιομέτρου πρέπει να προσομοιωθούν στο μικρότερο εύρος φασματικής πληροφορίας των πολυφασματικών εικόνων. Για την υλοποίηση αυτής της προσομοίωσης χρησιμοποιήθηκε το διάγραμμα φασματικής απόκρισης του δέκτη του WorldView-2. Το διάγραμμα αυτό παρουσιάζει τον τρόπο με τον οποίο μια ευρύτερη περιοχή του φάσματος επηρεάζει τον υπολογισμό της τιμής ανακλώμενης ακτινοβολίας για κάθε κανάλι της εικόνας. Ειδικότερα σε κάθε κανάλι αντιστοιχεί μία καμπύλη, η οποία υποδεικνύει τα ποσοστά συμμετοχής μηκών κύματος στον υπολογισμό τιμής καταγραφόμενης ακτινοβολίας που αναφέρεται στο κέντρο μήκους κύματος του καναλιού. Το διάγραμμα φασματικής απόκρισης παρατίθεται παρακάτω (σχήμα 3.1.2.1).

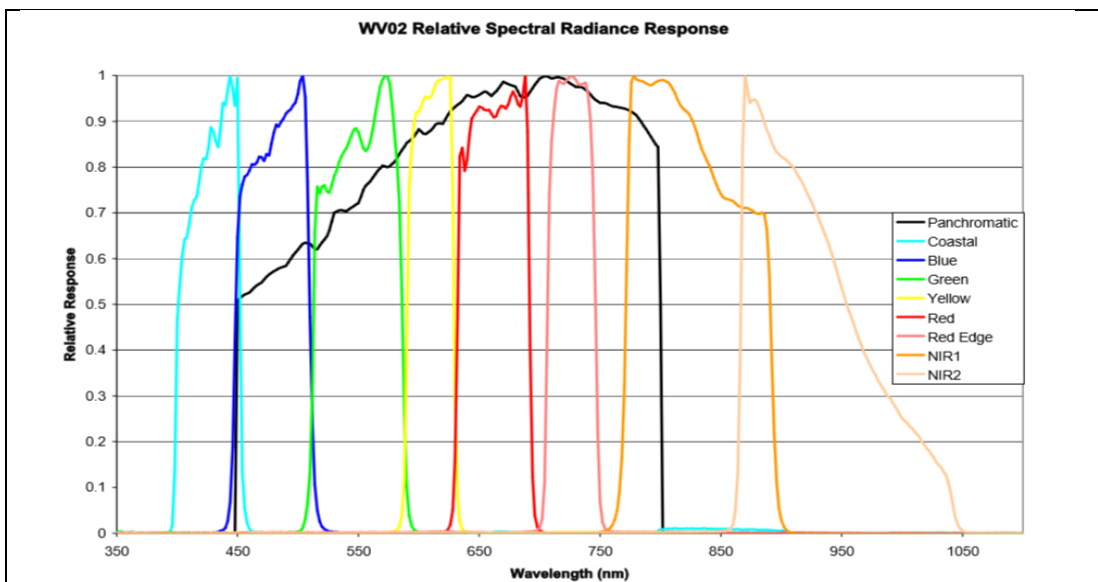
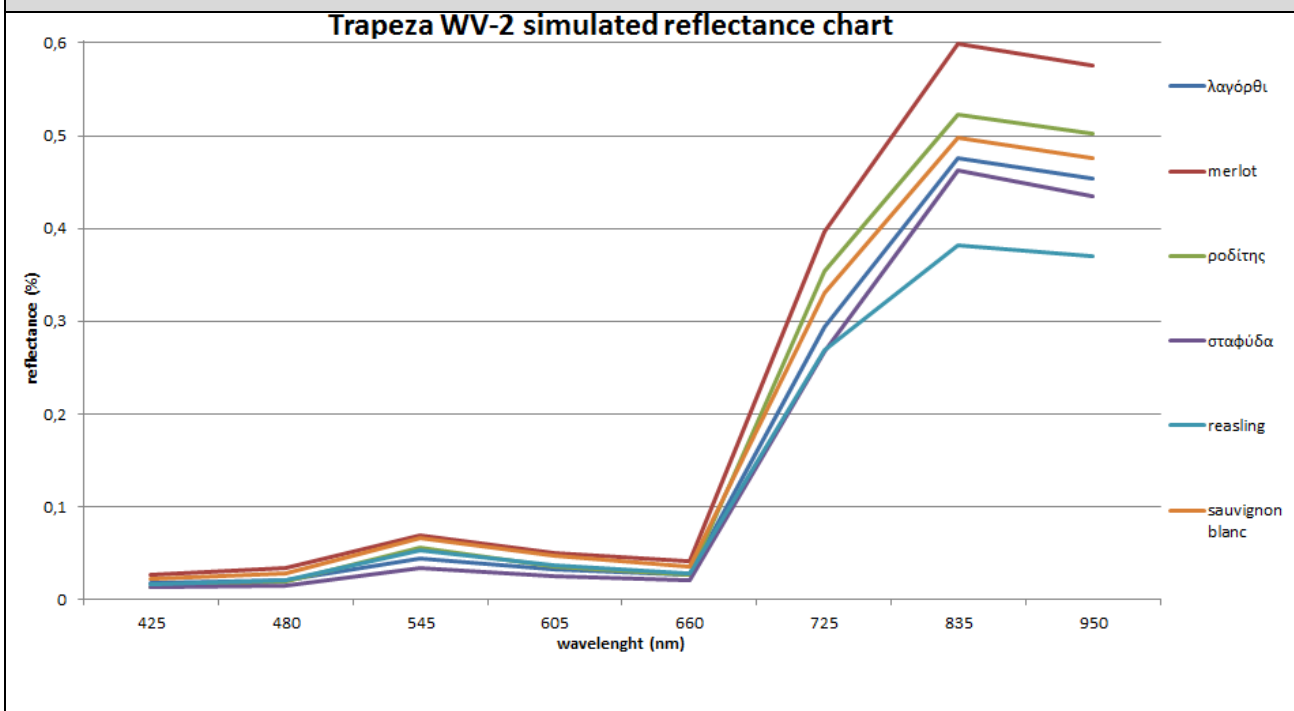


Figure 2. Spectral Response of the WorldView 2 panchromatic and multispectral imager.

Σχήμα 3.1.2.1. Διάγραμμα φασματικής απόκρισης ανά κέντρο καναλιού του δέκτη WorldView-2. (Πηγή: apollomapping.com)

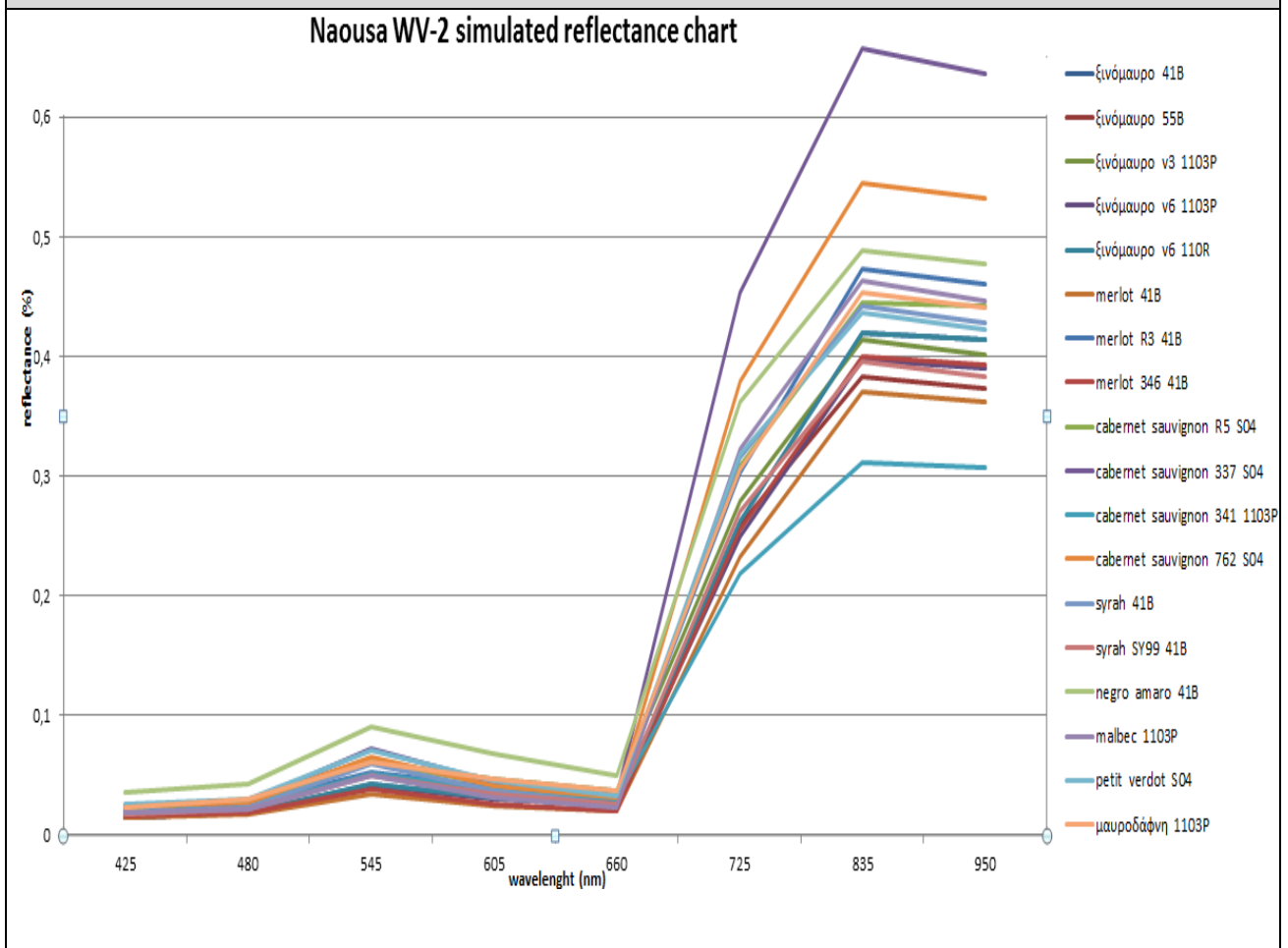
Βάσει των καμπύλων που απεικονίζονται στο σχήμα 3.1.1., με μέθοδο παρεμβολής, υπολογίστηκαν συντελεστές βάρους αναφερόμενοι σε κέντρο μήκους κύματος που αντιστοιχεί σε κανάλι του WorldView-2. Στην συνέχεια με χρήση των συντελεστών αυτών, υπολογίστηκαν 8 βεβαρυμμένοι μέσοι όροι τιμών του φασματοραδιόμετρου, οι οποίοι αντιστοιχίζονται στα κέντρα μηκών κύματος των καναλιών του WorldView-2. Η διαδικασία αυτή εκτελέστηκε για τα δεδομένα του φασματοραδιόμετρου κάθε περιοχής. Ωστόσο πρέπει να αναφερθεί πως η παραπάνω διαδικασία υπολογισμού, εκτελέστηκε για όσες μετρήσεις ποικιλιών υπήρξε εξακριβωμένη αντιστοίχιση με εικονοστοιχεία των εικόνων, βάσει τόσο πληροφορίας συντεταγμένων όσο και πληροφορίας των κροκί. Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα με τη μορφή διαγραμμάτων ανά περιοχή μελέτης.

Διάγραμμα 3.1.2.1. Διάγραμμα ανακλαστικότητας με παρεμβολή στο εύρος του WorldView-2 για τις ποικιλίες της περιοχής Τράπεζας.



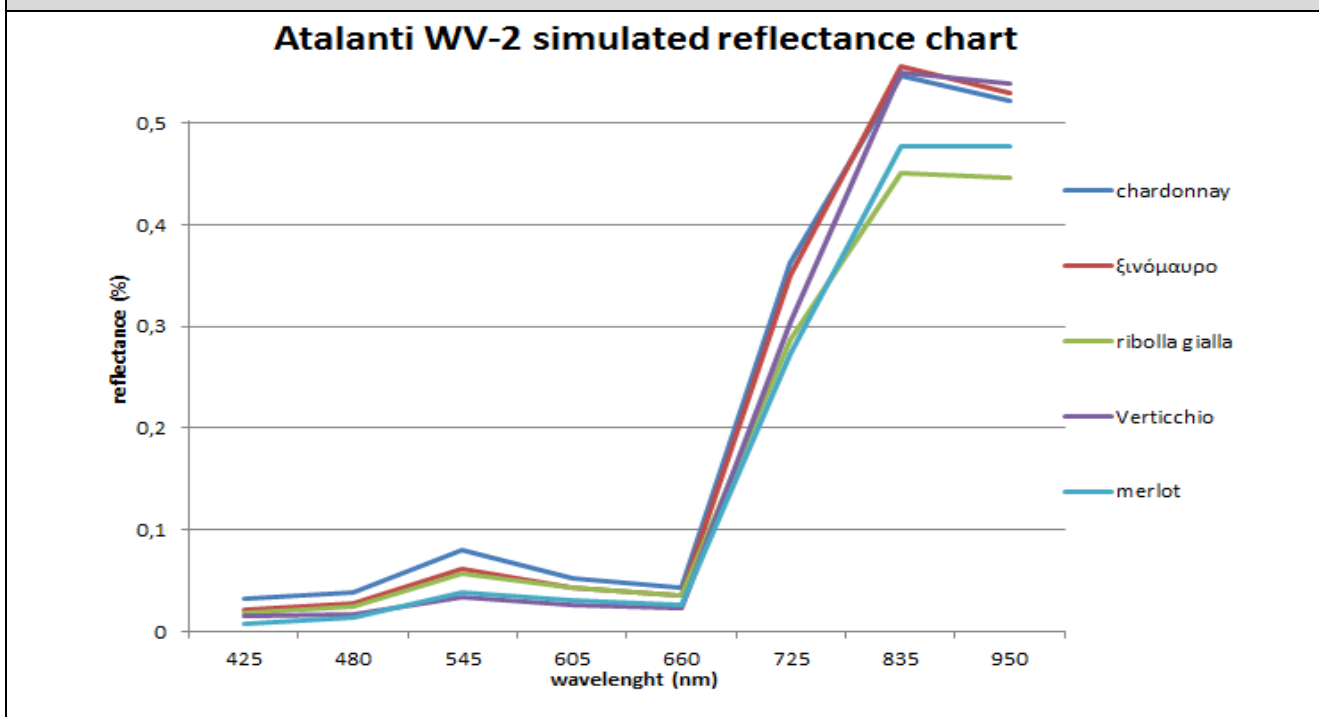
Παρατηρώντας το παραπάνω διάγραμμα 3.1.2.1 προκύπτουν όμοια συμπεράσματα φασματικών χαρακτηριστικών για τα προσομοιωμένα δεδομένα, αναφορικά με τα πρωτογενή δεδομένα των ποικιλιών της περιοχής της Τράπεζας (διάγραμμα 3.1.1.1). Παρατηρείται μικρή διακύμανση τιμών στα κανάλια 1, 2, 3, 4 και 5. Η ποικιλία merlot παρουσιάζει τις υψηλότερες τιμές ανακλαστικότητας στα κανάλια 6, 7 και 8 ενώ η ποικιλία riesling τις πιο χαμηλές.

Διάγραμμα 3.1.2.2. Διάγραμμα ανακλαστικότητας με παρεμβολή στο εύρος του WorldView-2 για τις ποικιλίες της περιοχής Νάουσας.



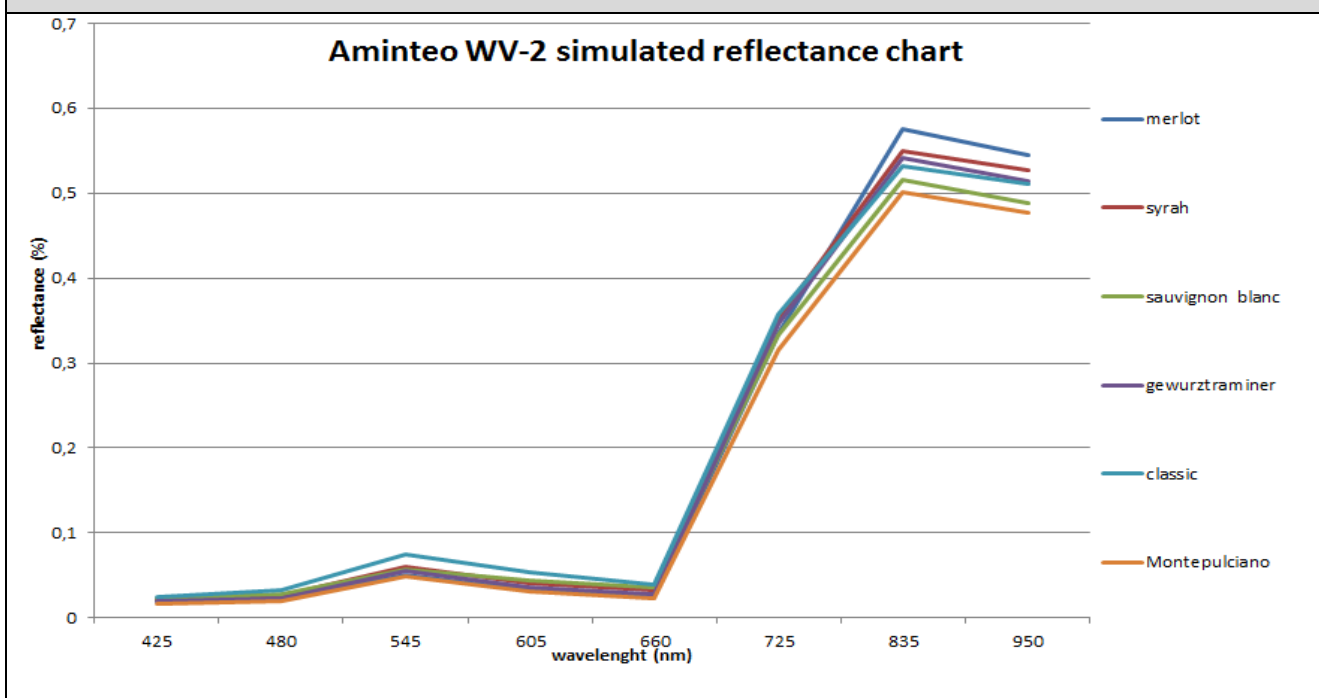
Μελετώντας τις καμπύλες ανακλαστικότητας των προσομοιωμένων δεδομένων ποικιλιών της Νάουσας που παρουσιάζονται στο παραπάνω διάγραμμα **3.1.2.2** διαπιστώνονται αντίστοιχα συμπεράσματα χαρακτηριστικών ανακλαστικότητας με τα πρωτογενή δεδομένα του φασματοραδιομέτρου (διάγραμμα **3.1.1.3**). Η ποικιλία negro amaro παρουσιάζει πολύ υψηλές τιμές στα κανάλια 4 και 5 (ορατό πράσινο και κίτρινο αντίστοιχα) συμπεριφορά που εντοπίστηκε και στα αρχικά δεδομένα. Παρατηρείται μικρή διακύμανση τιμών στα κανάλια 1, 2, 3, 4 και 5 και μεγαλύτερη στα 6,7 και 8. Όπως συμβαίνει και στο διάγραμμα των αρχικών δεδομένων η ποικιλία cabernet sauvignon 337 παρουσιάζει τις υψηλότερες τιμές ανακλαστικότητας στα κανάλια 6, 7 και 8 ενώ η ποικιλία cabernet sauvignon 341 1103P τις πιο χαμηλές και επιπρόσθετα μεταξύ κατηγοριών κλώνου και υποκειμένου της ποικιλίας cabernet sauvignon εντοπίζεται διαφοροποίηση σε μεγάλα ποσοστά στα υπέρυθρα κανάλια 6,7 και 8. Αρκετά υψηλές τιμές συγκριτικά με τις υπόλοιπες παρουσιάζει και η ποικιλία cabernet sauvignon 762 S04.

Διάγραμμα 3.1.2.3. Ποσοστά ανακλαστικότητας με παρεμβολή στο εύρος του WorldView-2 των ποικιλιών της περιοχής της Αταλάντης.



Το διάγραμμα **3.1.2.3.** παρουσιάζει τα προσομοιωμένα δεδομένα της περιοχής τη Αταλάντης. Εξάγονται όμοια συμπεράσματα με αυτά των αρχικών δεδομένων (διάγραμμα **3.1.1.5**). Διαφοροποίηση τιμών παρουσιάζουν στα υπέρυθρα κανάλια, οι ποικιλίες ribolla gialla και merlot συγκριτικά με τις υπόλοιπες ενώ η ποικιλία chardonnay παρουσιάζει υψηλά ποσοστά ανακλαστικότητας στο κανάλι 3 (ορατό πράσινο).

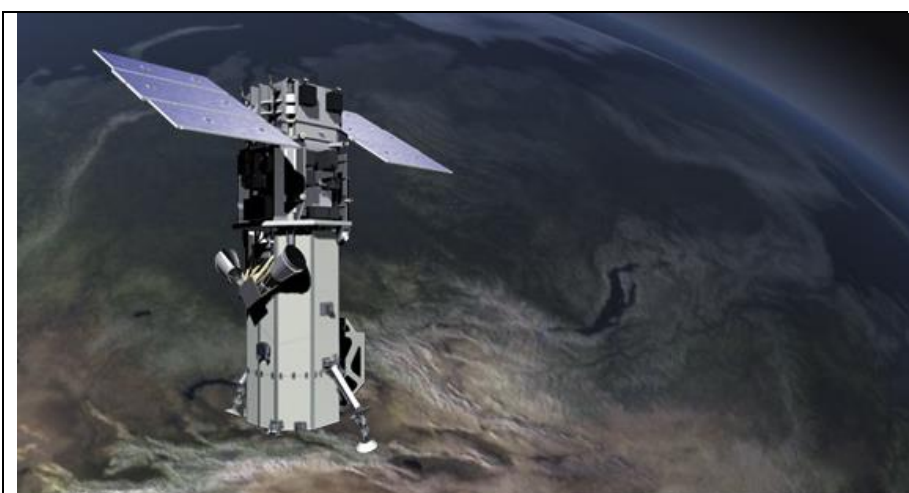
Διάγραμμα 3.1.2.4. Ποσοστά ανακλαστικότητας με παρεμβολή στο εύρος του WorldView-2 των ποικιλιών της περιοχής του Αμυνταίου.



Στο διάγραμμα **3.1.2.4**, παρουσιάζονται τα προσομοιωμένα δεδομένα της περιοχής του Αμυνταίου. Εντοπίζονται ίδια φασματικά χαρακτηριστικά με αυτά των αρχικών δεδομένων (διάγραμμα **3.1.1.2**). Οι διαφοροποιήσεις τιμών των ποσοστών ανακλαστικότητας είναι μικρές συγκριτικά με τα αποτελέσματα άλλων περιοχών με εξαίρεση την ποικιλία classic η οποία παρουσιάζει διαφοροποίηση στο κανάλι 3 (ορατό πράσινο) ανακλώντας σε υψηλότερα ποσοστά συγκριτικά με τις υπόλοιπες ποικιλίες. Στα υπέρυθρα κανάλια 6,7 και 8 υψηλότερες τιμές εντοπίζονται για την ποικιλία merlot και χαμηλότερες για την monterulciano.

3.2. Ο Δορυφορικός Δέκτης WORLDVIEW-2

Ο δορυφόρος WorldView-2 είναι εξοπλισμένος με πολυφασματικό παθητικό δέκτη υψηλής ανάλυσης και λειτουργεί από το 2009 σε τροχιά 770 km από τη γη έχοντας την δυνατότητα λήψης της ίδιας περιοχής σε διάστημα μιας μέρας. Παρέχει παγχρωματικές εικόνες χωρικής διακριτικής ικανότητας 46 cm και πολυφασματικές εικόνες διακριτικής ικανότητας 1,85 m. Οι πολυφασματικές εικόνες διαθέτουν 8 φασματικά κανάλια που καταγράφουν την πληροφορία της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από το κοντινό μπλε έως το κοντινό υπέρυθρο



Εικόνα 2.1.1 Ο δορυφορικός δέκτης WorldView-2

(Πηγή(Image Copyright © DigitalGlobe))

Για την εκπόνηση της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν εικόνες του εν λόγω δορυφόρου που ήταν διαθέσιμες για τις περιοχές της Αταλάντης και της Τράπεζας για τον Αύγουστο του 2012 και του Αμυνταίου και της Νάουσας για τον Αύγουστο του 2013. Εδώ πρέπει να σημειωθεί πως οι ακριβείς ώρες λήψεων ήταν γνωστές κατά τη διαδικασία προγραμματισμού των εργασιών υπαίθρου, συνεπώς επιλέχθηκαν κατάλληλα οι ώρες μετρήσεων με το φασματοραδιόμετρο ώστε η χρονική διαφορά συλλογής πολυφασματικών και υπερφασματικών δεδομένων να είναι η ελάχιστη δυνατή.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται αναλυτικότερα το εύρος κάθε καναλιού στο πίνακα 3.2.1 (δεδομένα της DigitalGlobe) :

Πίνακας 3.2.1: Φασματικά κέντρα των καναλιών του WorldView-2			
ΚΑΝΑΛΙ	Κέντρο μήκους κύματος (nm)	Ελάχιστο μήκους κύματος (nm)	Μέγιστο μήκους κύματος (nm)
Παγχρωματικό	625	400	900
Κοντινό μπλε	425	400	450
Μπλε	480	450	510
Πράσινο	545	510	580
Κίτρινο	605	585	625
Κόκκινο	660	630	690
Άκρη του κόκκινου	725	705	745
Κοντινό υπέρυθρο 1	835	770	895
Κοντινό υπέρυθρο 2	950	860	1040

Τα πρωτογενή δεδομένα που διατέθηκαν από την εταιρία Digital Globe περιελάμβαναν ανά περιοχή λήψης τις 2 εικόνες καταγραφής ανακλώμενης ακτινοβολίας (παγχρωματική και πολυφασματική) καθώς και αρχείο δεδομένων που αφορά παραμέτρους λήψης των εικόνων που αναφέρεται ως αρχείο μεταδεδομένων (metadata). Οι αρχικές αυτές εικόνες για συντομία στη συνέχεια του τεύχους θα αναφέρονται ως raw. Πρέπει να σημειωθεί, πως πριν την οποιαδήποτε επεξεργασία εντοπίστηκε σε κάποιες περιοχές των εικόνων πρόβλημα εναλλαγής τονικότητας με μορφή πλάγιων διαγραμμίσεων το οποίο πιθανόν να είναι πρόβλημα του αισθητήρα. Δεν εφαρμόστηκε κάποια περεταίρω επεξεργασία για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος αλλά έγινε έλεγχος αποφυγής του κατά την δειγματοληψία τιμών εικονοστοιχείων σε περιπτώσεις που η διαγράμμιση αυτή είχε διεύθυνση διαφορετική από αυτή των γραμμών φύτευσης των αμπελιών.

3.2.1. Ραδιομετρικές και ατμοσφαιρικές διορθώσεις εικόνων

Αρχικό στάδιο της επεξεργασίας των εικόνων αποτέλεσε η εύρεση της περιοχής ενδιαφέροντος, καθώς οι σκηνές των εικόνων είναι αρκετά μεγαλύτερες από τις περιοχές ενδιαφέροντος. Οι raw εικόνες έχουν γεωαναφορά στο WGS 84, συνεπώς η διαδικασία εντοπισμού έγινε με ταυτόχρονο έλεγχο συντεταγμένων και κροκί. Τελικά οι πολυφασματικές και οι αντίστοιχες τους παγχρωματικές εικόνες, περικόπηκαν βάσει κοινών συντεταγμένων επί του ελεύθερου λογισμικού QGIS, ώστε να απεικονίζεται μόνο η περιοχή ενδιαφέροντος. Σε αυτές τις εικόνες εκτελέστηκαν οι περεταίρω επεξεργασίες.

Επόμενο στάδιο επεξεργασίας αποτέλεσε η ραδιομετρική διόρθωση των εικόνων. Αρχικά εξετάστηκαν τα ιστογράμματα συχνότητων εμφάνισης τιμών των εικόνων σε κάθε κανάλι και προέκυψε πως οι παγχρωματικές εικόνες παρουσίαζαν ραδιομετρικά προβλήματα. Ωστόσο οι πολυφασματικές εικόνες σε όλα τα κανάλια τους και κυρίως στα υπέρυθρα 7 και 8 παρουσίαζαν κάποια σύνολα εικονοστοιχείων μικρής συχνότητας εμφάνισης, με τιμές που κυμαίνονταν σε μικρό εύρος, αλλά ήταν πολύ υψηλές συγκριτικά με τις αμέσως μικρότερες τιμές συνόλου εικονοστοιχείων μεγάλης συχνότητας εμφάνισης. Τα εικονοστοιχεία αυτά δεν απεικόνιζαν αμπέλια αλλά κυρίως τεχνητές επιφάνειες (στέγες, φωτοβολταϊκά κ.α.). Τα <<καμένα>> αυτά εικονοστοιχεία περιόριζαν το εύρος τιμών φωτεινότητας της εικόνας και κρίθηκε κατάλληλη η μεταβολή των τιμών τους. Η μεταβολή αυτή εκτελέστηκε ανά κανάλι προσδιορίζοντας μια μέγιστη επιτρεπτή τιμή κατωφλίωσης μέσω διαδοχικών προσεγγίσεων. Στην διορθωμένη εικόνα τα εικονοστοιχεία που αρχικά αποδίδονταν με τιμές μεγαλύτερες της επιτρεπτής αποδίδονται όλα με μια τιμή λίγο μεγαλύτερη από την τιμή κατωφλίωσης.

Η ατμοσφαιρική διόρθωση εκτελέστηκε στις ραδιομετρικά διορθωμένες πολυφασματικές εικόνες κάθε περιοχής. Η διόρθωση αυτή αποσκοπεί στη παραγωγή εικόνων ανακλαστικότητας, με αφαίρεση των επιδράσεων της ατμόσφαιρας επί της καταγεγραμμένης έντασης της ανακλώμενης ακτινοβολίας, από την οποία προκύπτει η πρωτογενής εικόνα του δορυφόρου. Για την εκτέλεσή απαιτούνται, η αρχική εικόνα ανακλώμενης ακτινοβολίας, τιμές παραμέτρων του αισθητήρα και της γεωμετρίας της λήψης που προκύπτουν από τα αρχεία μεταδεδομένων και ένα αντιπροσωπευτικό μοντέλο ατμοσφαιρικών συνθηκών (ποσοστά υγρασία, κατανομή αεροζόλ, συγκέντρωση διοξειδίου άνθρακα κ.α.).

Καθώς οι πληροφορίες για τις παραμέτρους των ατμοσφαιρικών συνθηκών δεν ήταν επαρκείς επιλέχθηκε αρχικά η χρήση του λογισμικού actor το οποίο δίνει δυνατότητα επιλογής μοντέλων και διαδοχικής επιλογής τιμών ατμοσφαιρικών παραμέτρων με ταυτόχρονη αξιολόγηση του αποτελέσματος. Για τις εικόνες των περιοχών Τράπεζας και Αταλάντης η διόρθωση εκτελέστηκε επαναληπτικά για διαφορετικές τιμές συντελεστών επιρροής υγρασίας και η ραδιομετρική αξιολόγηση ήταν επιτυχής για τιμές συντελεστών 0,5 και 1,5 αντίστοιχα. Ωστόσο η διαδικασία δεν έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα για τις περιοχές της Νάουσας και του Αμυνταίου. Αυτό πιθανώς να οφείλεται στην αδυναμία του WorldView-2 να καταγράψει επαρκή πληροφορία στο φάσμα του υπέρυθρου, για τις ζώνες υδαταπορρόφησης, χρησιμοποιώντας μόνο 3 κανάλια με αποτέλεσμα να μην προσεγγίζονται ικανοποιητικά τα ποσοστά υγρασίας σε τμήματα των εικόνων.

Το πρόβλημα αδυναμίας εκτέλεσης ατμοσφαιρικής διόρθωσης όλων των εικόνων μέσω του λογισμικού actor οδήγησε στην χρήση άλλου αλγορίθμου ατμοσφαιρικής διόρθωσης. Ειδικότερα χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος flaash σε περιβάλλον ENVI της IDL. Ο αλγόριθμος αυτός υπολογίζει κύριες συνιστώσες για τα κανάλια του WorldView-2 και ενσωματώνει τον κώδικα μεταφοράς ακτινοβολίας MODTRAN4, διορθώνοντας την επίδραση της σκέδασης της ακτινοβολίας γειτονικών εικονοστοιχείων, εντοπίζοντας και διορθώνοντας περιοχές που επηρεάστηκαν από αδιαφανή σύννεφα και ρυθμίζοντας τη φασματική στίλβωση που προκύπτει από τεχνητές επιφάνειες. Η εκτέλεση του αλγορίθμου ήταν επιτυχής με τα αποτελέσματα να παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα για την εικόνα της Τράπεζας.

Εικόνα 3.2.1.1: α) Εικόνα raw της Τράπεζας. β) Εικόνα ατμοσφαιρικά διορθωμένη της Τράπεζας.



3.2.2. Δειγματοληψία δεδομένων

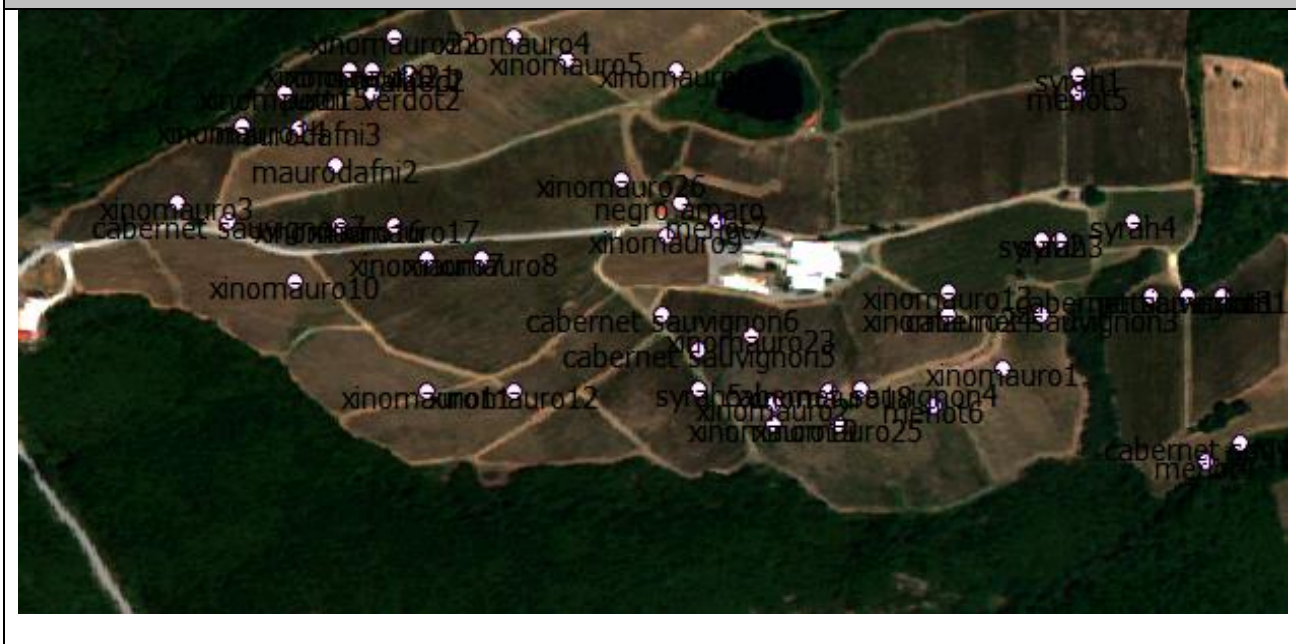
Στην ενότητα αυτή αναλύεται η καταγραφή δεδομένων WorldView-2 αναφορικά με τις ποικιλίες κάθε περιοχής με δειγματοληψία επί των εικόνων. Με στόχο την εύρεση του βαθμού συσχέτισης των δεδομένων φασματοραδιομέτρου-δορυφορικού αισθητήρα παράχθηκαν διανυσματικά δεδομένα βάσει των τιμών εικονοστοιχείων των ατμοσφαιρικά διορθωμένων εικόνων. Οι εικόνες αυτές έχουν γεωαναφορά στο WGS 84 οπότε τα εικονοστοιχεία επιλογής καθορίστηκαν βάσει των συντεταγμένων g.p.s. των δεδομένων του φασματοραδιόμετρου ώστε να υπάρχει αντιστοιχία. Καθώς η ακρίβεια των συντεταγμένων g.p.s. είναι της τάξης των λίγων μέτρων έγινε παράλληλος έλεγχος βάσει σημειώσεων των κροκί και τελικά επιλέχθηκε η καταγραφή των τιμών των εικονοστοιχείων ποικιλιών εφόσον διαπιστώθηκε η σωστή θέση τους σε περιβάλλον λογισμικού QGIS.

Στη συνέχεια παρατίθενται οι εικόνες των 4 περιοχών μελέτης σε έγχρωμα σύνθετα RGB (5-3-2) που αντιστοιχούν στα κανάλια ακτινοβολίας κόκκινο, πράσινο και μπλε αντίστοιχα (φυσική απεικόνιση). Επιπρόσθετα σημειώνονται οι θέσεις των σημείων όπου έχουν γίνει επίγειες μετρήσεις των ποικιλιών με φασματοραδιόμετρο.

Εικόνα 4.2.1: Σημεία δειγματοληψίας στην περιοχή της Τράπεζας



Εικόνα 4.2.2: Σημεία δειγματοληψίας στην περιοχή της Νάουσα.



Εικόνα 4.2.3: Σημεία δειγματοληψίας στην περιοχή της Αταλάντης



Εικόνα 4.2.3: Σημεία δειγματοληψίας στην περιοχή του Αμυνταίου



Με την εκτέλεση της δειγματοληψίας προέκυψαν ζευγάρια διανυσμάτων διαστάσεων 1x8 που αντιστοιχούν στα κανάλια του WorldView-2. Επιπρόσθετα υπολογίστηκαν οι μέσοι όροι διανυσμάτων που αναφέρονταν σε ίδια ποικιλία ανά περιοχή. Με αυτό τον τρόπο παράχθηκαν αντιπροσωπευτικά δείγματα ανακλαστικότητας των ποικιλιών κάθε περιοχής μελέτης.

3.3. Υπερφασματική κάμερα

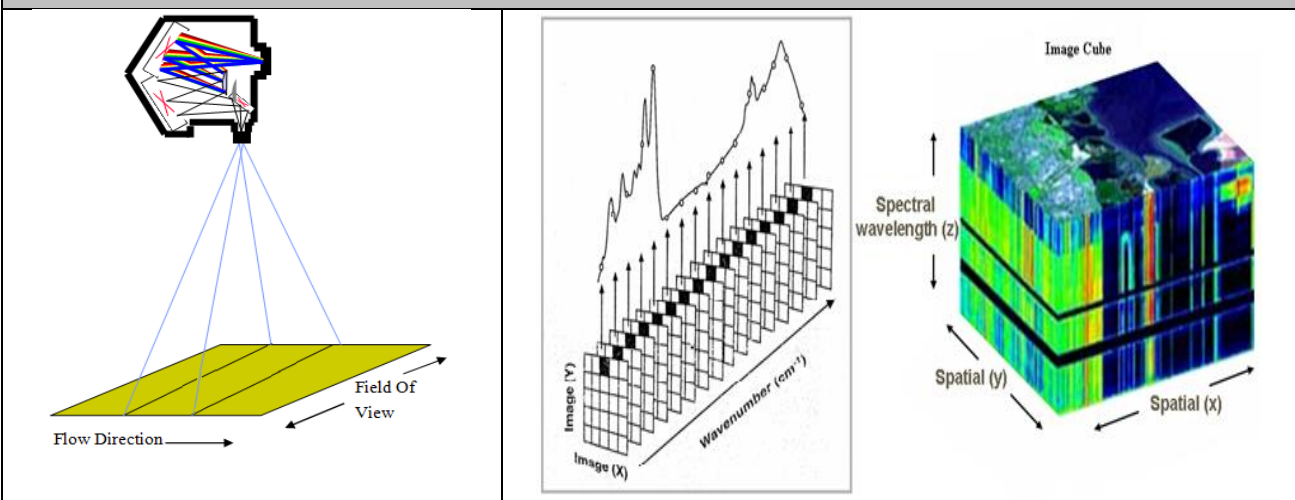
Στην ενότητα αυτή θα αναλυθούν, ο προγραμματισμός εργασιών πεδίου για την συλλογή δεδομένων με την υπερφασματική κάμερα και οι επεξεργασίες που εκτελέστηκαν για την παραγωγή υπερφασματικών εικόνων. Η περιοχή μελέτης στην οποία συλλέχθηκαν τα δεδομένα περιλαμβάνει καλλιέργειες αμπέλων στην ζώνη παραγωγής της Νεμέας.



Τα υπερφασματικά δεδομένα καταγράφηκαν από την κάμερα τύπου Micro-Hyperspec™ VNIR A1 Series της εταιρίας Headwall photonics (εικόνα 3.3.1), η οποία ήταν διαθέσιμη από το εργαστήριο Τηλεπισκόπησης της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών. Η εν λόγω κάμερα χρησιμοποιεί τεχνολογία σάρωσης push broom, δηλαδή περιέχει γραμμή αισθητήρων που καταγράφουν λωρίδες κάθετα στην διεύθυνση κίνησης οι οποίες συνιστούν την εικόνα κύβου (εικόνα 3.3.2). Για την καταγραφή αυτή προφανώς απαιτείται κίνηση, με χρήση κάποιου φορέα στον οποίο προσαρτείται η κάμερα.

Η απόσταση που διανύει η κάμερα από τον πρώτο μέχρι το τελευταίο σημείο λήψης καθορίζει την διάσταση του κύβου στην διεύθυνση κίνησης, ενώ η απόσταση της κάμερας από την καταγραφόμενη επιφάνεια (ύψος πτήσης) καθορίζει το εύρος σάρωσης των λωρίδων και συνεπώς την διάσταση του κύβου κάθετη στην πορεία κίνησης. Η τρίτη διάσταση του κύβου αναφέρεται στην φασματική ανάλυση της κάμερας. Το μοντέλο VNIR A1 έχει δυνατότητα καταγραφής φασματικών καναλιών με fwhm 8 nm ή καταγραφή 162 φασματικών καναλιών με fwhm 4 nm που αντιστοιχούν εύρος καταγραφής από 400 μέχρι 1000 nm.

Εικόνα 3.3.2: Σάρωση push broom και καταγραφή εικόνας <<κύβου>>
(Πηγή: Headwall photonics, Inc. USA)



Πρέπει να σημειωθεί πως για τη λήψη δεδομένων είναι απαραίτητη η σύνδεση της εν λόγω κάμερας με ηλεκτρονικό υπολογιστή. Τα δεδομένα αποθηκεύονται στον Η/Υ με την μορφή αρχείων εικόνας που ταξινομούνται βάσει του αριθμού λωρίδας εγγραφής. Επίσης ο Η/Υ διαχειρίζεται την διαδικασία επιλογής παραμέτρων καταγραφής βάσει ειδικού λογισμικού που διατίθεται από την εταιρία κατασκευής και παρέχει την δυνατότητα επιλογής μεμονωμένης λήψης ή επαναλαμβανόμενων καταγραφών, βάσει επιλεγμένου χρονικού βήματος (λειτουργία frames/peg/second).

3.3.1. Συλλογή δεδομένων με πτήση UAV

Ο φορέας που χρησιμοποιήθηκε για την μεταφορά της υπερφασματικής κάμερας στα σημεία λήψης αποτέλεσε μη επανδρωμένο εναέριο όχημα (U.A.V), που ήταν διαθέσιμο από το εργαστήριο Τηλεπισκόπησης της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών (εικόνα 3.3.2.). Το όχημα αυτό είναι μοντέλο οκτακοπτέρου OnyxStar BAT-F8 της εταιρίας altigator. Κινείται με μέγιστη ταχύτητα ανόδου περίπου 20 m/s χρησιμοποιώντας 8 ηλεκτροκινητήρες και λειτουργεί με δύο επαναφορτιζόμενες μπαταρίες που παρέχουν αυτονομία πτήσης περίπου 15 λεπτών ανάλογα με το επιπρόσθετο βάρος φορτίου. Περιλαμβάνει σταθεροποιητή (gimbal) ο οποίος προσαρμόζει την θέση της κάμερας σε σχέση με την θέση του οχήματος, του ώστε να μην μεταβάλλονται οι επιλεγμένες γωνίες λήψης κατά την κίνηση και είναι εξοπλισμένο με g.p.s. και βαρυμετρικό αισθητήρα μέτρησης υψομετρικών διαφορών. Το σύστημα τηλεμετρίας του, επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ οχήματος και χειριστή με χρήση ειδικής κονσόλας, σε εμβέλεια μερικών χιλιομέτρων (στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε επιπρόσθετο σύστημα ενισχυτή). Από το σύνολο των δυνατοτήτων του καταγράφονται ορισμένες βάσει των οποίων υλοποιήθηκε η εφαρμογή που περιγράφεται στο παρον κεφάλαιο. Υπάρχει δυνατότητα διατήρησης θέσης γεωκεντρικών συντεταγμένων σε σημείο ενδιαφέροντος με μέγιστη απόκλιση απόκλιση 1,5 μέτρο. Δύναται να μεταβάλλει την διεύθυνση προσανατολισμού του καθώς και να περιστρέψει με ακρίβεια μοίρας τον σταθεροποιητή κατά την διάρκεια πτήσης. Εφόσον έχει απογειωθεί μπορεί να μετακινηθεί σε σημείο ενδιαφέροντος με λειτουργία αυτόματου πιλότου. Τα σημεία ενδιαφέροντος μπορούν να οριστούν και να αποθηκευτούν πριν την μεταφορά στο πεδίο. Για την προσαρμογή της υπερφασματικής κάμερας έγιναν τροποποιήσεις και προσθήκες εξαρτημάτων που οδήγησαν στην αναγκαιότητα βαθμονόμησης των νέων γεωμετρικών στοιχείων και βάρους, ώστε να εξασφαλιστεί η ομαλή λειτουργία πτήσης. Ειδικότερα προσαρτήθηκαν βάσεις υποδοχής της κάμερας και υπολογιστικού συστήματος το οποίο διαχειριζόταν τις διαδικασίες παροχής ρεύματος, έναρξης και τερματισμού καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων της υπερφασματικής κάμερας.

Εικόνα 3.3.1.1: Το U.A.V. που χρησιμοποιήθηκε για την λήψη δεδομένων στην περιοχή της Νεμέας.

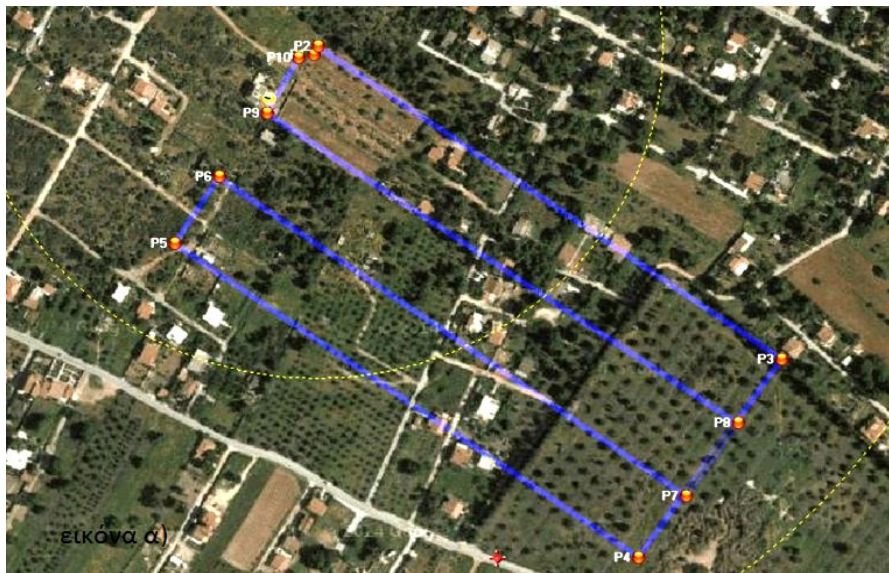


Σημειώνεται πως η εργασία η οποία αναλύεται στο παρόν κεφάλαιο, αποτέλεσε την πρώτη εφαρμογή στην οποία χρησιμοποιήθηκε τόσο το όχημα όσο και η υπερφασματική κάμερα, λόγος για τον οποίον εκτελέσθηκαν επανειλημμένα δοκιμαστικές πτήσεις και πειραματικές μετρήσεις πριν τον σχεδιασμό του προγραμματισμού πτήσεων στην περιοχή της Νεμέας. Στις πτήσεις αυτές ελέγχθηκε η δυνατότητα ομαλής πτήσης ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες τον επιλεγμένο ύψος και την ταχύτητα κίνησης, η αυτονομία ανάλογα με το επιπλέον φορτίο βάρους και έγιναν πειραματισμοί στην επιλογή πορείας πτήσης και στα σημεία ενδιαφέροντος με ταυτόχρονη χρήση διαφορετικών τύπων καμερών (gorgo hero κ.α.) ώστε να βρεθεί βέλτιστος τρόπος καταγραφής δεδομένων. Στην παρακάτω εικόνα ενδεικτικά παρατίθεται το σενάριο πτήσης στην περιοχή της Αγίας Τριάδας της Αττικής. Τα σημεία ενδιαφέροντος είναι επιλεγμένες θέσεις έναρξης τερματισμού της καταγραφής της κάμερας με παράλληλη στροφή της διεύθυνση κίνησης του U.A.V.

Εικόνα 3.3.1.2: α): Σημεία ενδιαφέροντος δοκιμαστικής πτήσης στην Αγία Τριάδα

β): Πορεία δοκιμαστικής πτήσης του U.A.V. στην περιοχή της Αγία Τριάδα

(Πηγή: google earth)



Τα αρχικά σενάρια για την περιοχή της Νεμέας δεν υλοποιήθηκαν καθώς έγινε αναγκαστική αντικατάσταση της αρχικά ορισμένης περιοχής απογείωσης/προσγείωσης και δημιουργήθηκαν επί του πεδίου νέα σενάρια των οποίων όμως η αποθήκευση με σκοπό την μελλοντική παρουσίαση αμελήθηκε. Τα σενάρια περιελάμβαναν 3 πτήσεις του οχήματος για την καταγραφή της περιοχής. Το ύψος, η ταχύτητα και η διάρκεια πτήσης του οχήματος καθώς και η συχνότητα καταγραφής της κάμερας αποτέλεσαν τις παραμέτρους προσδιορισμού, βάσει των οποίων προέκυψε το κατάλληλο οπτικό εύρος και ο αριθμός των λωρίδων σάρωσης ώστε να καταγραφεί το σύνολο της περιοχής με το επιθυμητό μέγεθος εδαφοψηφίδας. Επιλέχθηκε καταγραφή φασματικής ανάλυσης 162 καναλιών σε εύρος μήκους κύματος από 400 μέχρι 1000 nm. με fwhm 4. Οι παράμετροι αυτές υπολογίστηκαν βάσει του πίνακα που παρατίθεται στο παράρτημα (πίνακας παραρτήματος 7). Οι πτήσεις διεξήχθησαν με επιτυχία ενώ παράλληλα έγιναν επίγειες μετρήσεις στην ίδια περιοχή αμπελοργιάς με φασματοραδιόμετρο χειρός. Τα δεδομένα καταγραφής αναλύονται στη συνέχεια του τεύχους.

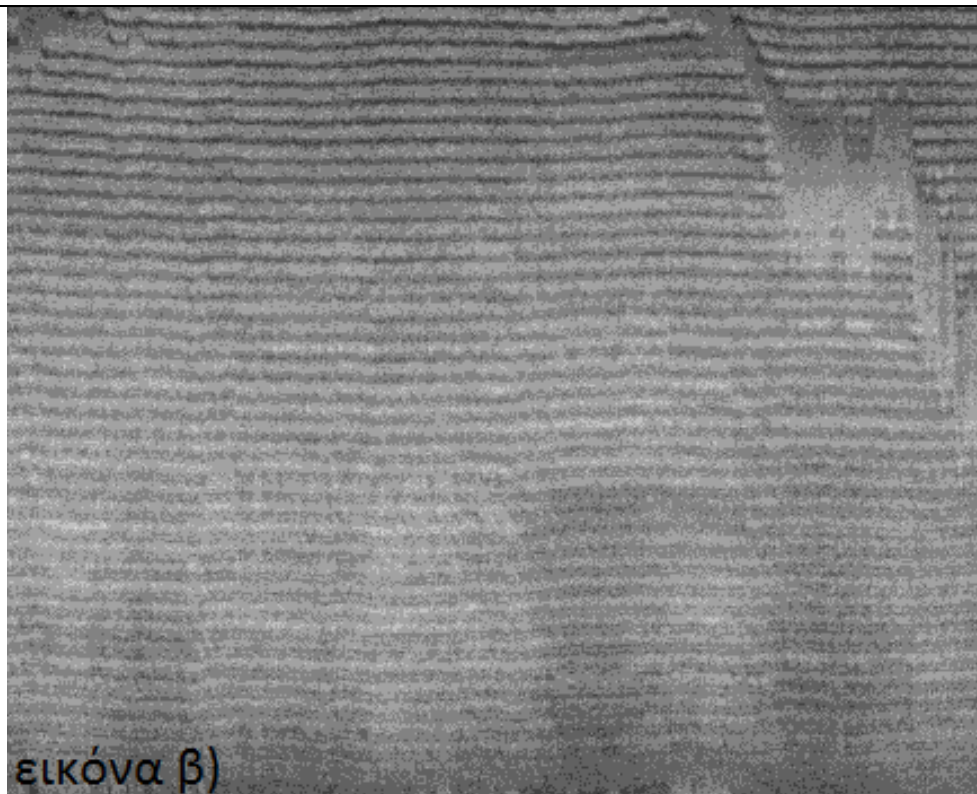
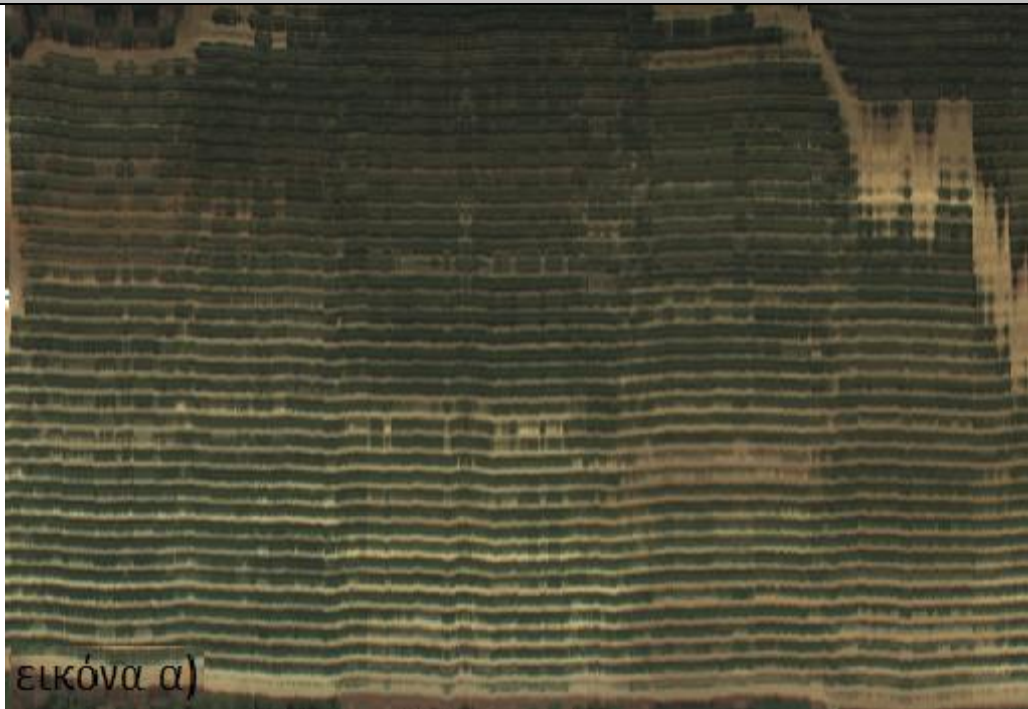
3.3.2. Επεξεργασία δεδομένων υπερφασματικής κάμερας

Το βασικό πρόβλημα που έπρεπε να αντιμετωπιστεί κατά το στάδιο της επεξεργασίας των δεδομένων της υπερφασματικής κάμερας αφορά τη γεωμετρική διόρθωση και τη γεωαναφορά της εικόνας. Καθώς η κάμερα χρησιμοποιεί τεχνολογία push broom, για κάθε σημείο λήψης ο προσανατολισμός του οχήματος διέφερε με αποτέλεσμα οι λωρίδες της εικόνας να διαφέρουν ως προς την διεύθυνση. Η διαφορά αυτή οφείλεται στην αδυναμία μετρήσεων θέσης με κατάλληλη ακρίβεια (το όχημα προσεγγίζει θέση με ακρίβεια μέτρου) και σε αποκλίσεις επί της σχεδιασμένης πορεία πτήσης του U.A.V., οι οποίες παρουσιάζονται κατά την προσπάθεια του οχήματος να διατηρήσει τη δεδομένη πορεία αντισταθμίζοντας τις μετακινήσεις λόγω ανέμου. Η επίλυση αυτού του προβλήματος ξεφεύγει από τα πλαίσια της παρούσας εργασίας καθώς θα επεξεργασθούν μόνο τα φασματικά διανύσματα των εικονοστοιχείων. Η εικόνα που θα χρησιμοποιηθεί για την εκτέλεση της δειγματοληψίας έχει διορθωθεί γεωμετρικά σε ικανοποιητικό βαθμό, ώστε να μπορεί να γίνει η επιλογή περιοχών δειγματοληψίας με την παράλληλη χρήση κροκί που παράχθηκε κατά τις εργασίες πεδίου. Ο αλγόριθμος με τον οποίο έγινε αυτή η διόρθωση υλοποιείται στα πλαίσια άλλης εργασίας, δεν έχει ολοκληρωθεί και γι αυτό δεν θα γίνει περαιτέρω ανάλυση.

Οι ραδιομετρικές διορθώσεις που έγιναν επί της εικόνας αφορούν τα προβλήματα εικονοστοιχείων ακραίων τιμών με μικρή συχνότητα εμφάνισης. Η αντιμετώπισή του έγινε με κατωφλίωση σε ελάχιστα και μέγιστα όρια επιτρεπτών τιμών και υλοποιήθηκε με τον ίδιο τρόπο που αναλύεται στο κεφάλαιο 3.2.1 για τα δορυφορικά δεδομένα. Ωστόσο έντονο ραδιομετρικό πρόβλημα παρατηρήθηκε σε αρκετά υπέρυθρα κανάλια της κάμερας, στα οποία διαπιστώθηκε έντονη παρουσία θορύβου. Το πρόβλημα αυτό έγινε προσπάθεια να αντιμετωπιστεί κατά την διαδικασία δειγματοληψίας σε επίπεδο εικονοστοιχείου.

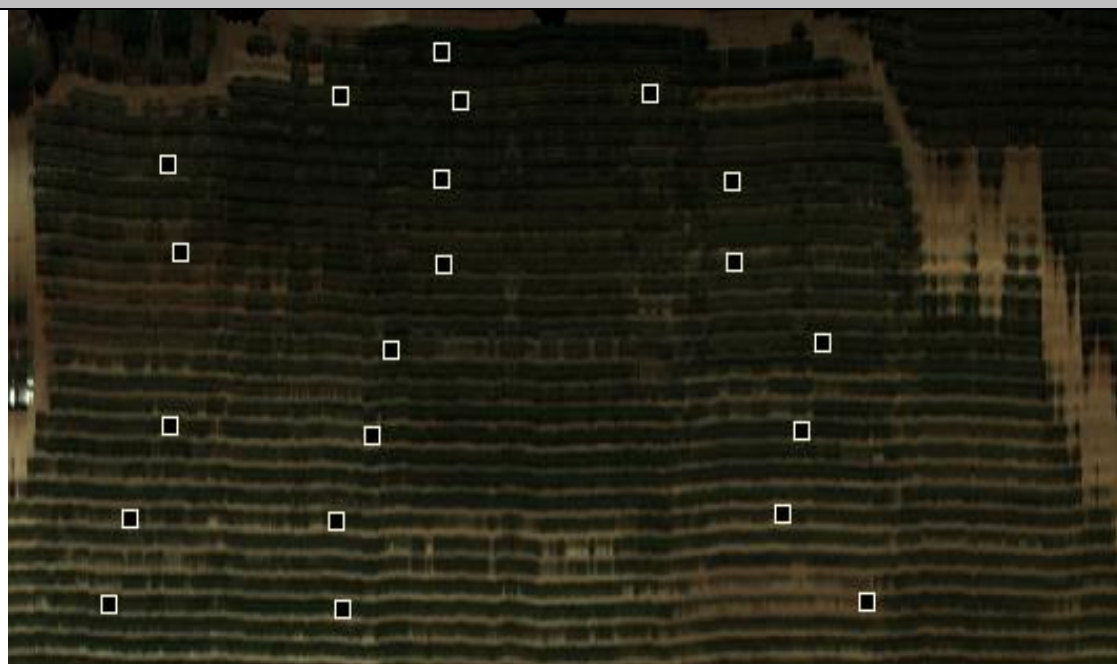
Στη συνέχεια παρουσιάζεται τμήμα της εικόνας σε φυσικό έγχρωμο σύνθετο καθώς και υπέρυθρο κανάλι της ίδιας εικόνας με πρόβλημα θορύβου.

Εικόνα 3.3.1.3: α) Τμήμα της εικόνας από τη λήψη με υπερφασματική κάμερα στη περιοχή της Νεμέας σε απόδοση φυσικού έγχρωμου σύνθετου. β) Υπέρορθρο κανάλι της υπερφασματικής κάμερας με έντονη παρουσία θορύβου



Τελευταίο στάδιο της επεξεργασίας των δεδομένων της υπερφασματικής κάμερας αποτέλεσε η διαδικασία παραγωγής διανυσματικών δεδομένων που αντιστοιχούν σε απεικονιζόμενα αμπέλια για τα οποία έγινε παράλληλη μέτρηση με φασματοραδιόμετρο. Για την αντιστοίχιση των στόχων του φασματοραδιομέτρου με τα εικονοστοιχεία της εικόνας, χρησιμοποιήθηκαν τα κροκί που συμπληρώθηκαν κατά τις μετρήσεις πεδίου, στα οποία αναγράφεται η σειρά και η στήλη φύτευσης του αμπελιού στο οποίο έγιναν μετρήσεις. Η δειγματοληψία υλοποιήθηκε σε περιβάλλον matlab, όπου για κάθε σειρά μετρήσεων του φασματοραδιομέτρου έγινε εντοπισμός της περιοχής ενδιαφέροντος επί της εικόνας και καταγράφηκαν οι τιμές ανά κανάλι για ένα σύνολο εικονοστοιχείων. Στη συνέχεια έγινε ποιοτικός έλεγχος παρουσίας ραδιομετρικών προβλημάτων, κυρίως για τα υπέρυθρα κανάλια και επιλέχθηκαν για κάθε σειρά μετρήσεων εικονοστοιχεία οι τιμές των οποίων συμμετείχαν στον υπολογισμό του αντιπροσωπευτικού μέσου όρου, που αναφέρονται στο συγκεκριμένο αμπέλι. Στη συνέχεια παρατίθεται η εικόνα με σημειωμένα τα σημεία δειγματοληψίας.

Εικόνα 3.3.1.3: Σημεία δειγματοληψίας επί της εικόνας της υπερφασματικής κάμερας



Στην παραπάνω εικόνα (εικόνα **3.3.1.3**) σημειώνονται οι θέσεις δειγματοληψίας για την παραγωγή των διανυσμάτων. Συνολικά υπολογίστηκαν με την παραπάνω μεθοδολογία αντιπροσωπευτικά διανύσματα (1x162) φασματικής υπογραφής για 29 αμπέλια ποικιλίας Αγιωργίτικου. Τα διανύσματα των φασματικών υπογραφών αναλύονται στην ενότητα 4.3



4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει περαιτέρω ανάλυση των επεξεργασμένων δεδομένων του φασματοραδιομέτρου, θα αναλυθούν φασματικές υπογραφές από τα εναέρια και δορυφορικά δεδομένα και διερευνηθεί ο βαθμός συσχέτισης τους με χρήση μοντέλων παλινδρόμησης .

4.1. Ανάλυση Δεδομένων Φασματοραδιομέτρου

Στην παρούσα ενότητα θα παρουσιαστούν και θα αναλυθούν τα επεξεργασμένα δεδομένα του φασματοραδιομέτρου. Με την επεξεργασία των δεδομένων που καταγράφηκαν από τον φασματοραδιομέτρο χειρός έγινε δυνατή η εξαγωγή περαιτέρω συμπερασμάτων βάσει της φασματικής συμπεριφοράς του φυλλώματος των αμπελώνων. Στόχος της ανάλυσης είναι η διερεύνηση του βαθμού διάκρισης και συσχέτισης των δεδομένων ως προς το είδος του στόχου και ως προς το μήκος κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Τα αρχικά δεδομένα που συλλέχθηκαν καταγράφουν την ισχύ της ανακλώμενης ακτινοβολίας (radiance) η οποία εξαρτάται από τις συνθήκες φωτισμού της περιοχής του στόχου (irradiance), συνεπώς είναι ακατάλληλα για την σύγκριση στόχων διαφορετικών περιοχών. Η παραγωγή πληροφορίας που δεν εξαρτάται από την περιοχή δειγματοληψίας των πρωτογενών δεδομένων επιτεύχθηκε με τον υπολογισμό τιμών φασματικής ανακλαστικότητας των στόχων (reflectance) όπως αναλύθηκε διεξοδικά στο κεφάλαιο 3.1.

Με τη μελέτη των διαγραμμάτων ανακλαστικότητας προκύπτουν συμπεράσματα βάσει της ανάλυσης της φασματικής υπογραφής των ποικιλιών η οποία μετρείται σε ποσοστιαία κλίμακα όπου το μέγιστο ποσοστό ανά μήκος κύματος αντιστοιχεί στο μέγιστο ποσοστό ανακλώμενης ακτινοβολίας βάσει των συνθηκών φωτισμού (reference). Συμπεραίνεται γενικά για κάθε ποικιλία πως το φύλλωμα των αμπελιών ανακλά χαμηλά στο μέσο του εύρους της υπεριώδους ακτινοβολίας, ακόμα χαμηλότερα στο ορατό φάσμα με εξαίρεση τη περιοχή του πράσινου και υψηλά στο υπέρυθρο. Αναλυτικότερα στο εύρος του φάσματος που αντιστοιχεί στο μέσο της υπεριώδους ακτινοβολίας 280-315(nm), παρουσιάζεται διακύμανση των ποσοστών ανακλαστικότητας μεταξύ 8% και 15%. Στην περιοχή που αντιστοιχεί στο εύρος μήκους κύματος του πράσινου 500-575(nm) τα ποσοστά ανακλαστικότητας κυμαίνονται στο 5-10% ενώ στην περιοχή εύρους 650-720(nm) εντοπίζεται μια ζώνη απορρόφησης της ακτινοβολίας με αποτέλεσμα τα ποσοστά ανακλαστικότητας να είναι ομοίως χαμηλά για κάθε ποικιλία με ποσοστά ανακλαστικότητας 2-4%. Τα χαμηλά ποσοστά ανακλαστικότητας είναι αναμενόμενα καθώς το εύρος αυτό αντιστοιχεί στο μήκος κύματος του κόκκινου χρώματος το οποίο απορροφάτε από το φύλλωμα των αμπελιών. Κάθε ποικιλία αμπελώνων παρουσιάζει μέγιστη ανακλαστικότητα στην περιοχή του τέλους του εύρους ορατού φάσματος (red edge) και παραμένει στα ίδια υψηλά ποσοστά στο εύρος του εγγύς υπέρυθρου μέχρι το μήκος κύματος των 915(nm) όπου παρουσιάζει μία μείωση και διατηρεί υψηλά ποσοστά στο εύρος του εγγύς υπέρυθρου έως τα 1080(nm). Στις τελευταίες δύο περιοχές του μήκους κύματος τα ποσοστά ανακλαστικότητας παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση. Επιπρόσθετα μπορούν εντοπισθούν διαφοροποιήσεις στην φασματική συμπεριφορά μεταξύ των ποικιλιών. Παρόλο που η καμπύλη της φασματικής υπογραφής των ποικιλιών δεν παρουσιάζει σημαντικές διαφορές ως προς την μορφή της εντοπίζονται τρεις περιοχές του μήκους κύματος στις οποίες η κάθε ποικιλία παρουσιάζει διαφορετικά ποσοστά ανακλαστικότητας. Στην πρώτη περιοχή εύρους 280 -315(nm), υπάρχει διακύμανση της τάξης του 10%, στο εύρος μήκους κύματος που αντιστοιχεί στο ορατό πράσινο 500-575(nm) παρατηρείται διακύμανση 5% ενώ στο εύρος του υπέρυθρου τα ποσοστά ανακλαστικότητας διαφέρουν έως και 30%.

Ωστόσο πρέπει να σημειωθεί ότι τα διαφορετικά ποσοστά ανακλαστικότητας δεν σημαίνουν απαραίτητως διαφορετική φασματική συμπεριφορά ανά ποικιλία καθώς το ποσοστό ανακλαστικότητας επηρεάζεται

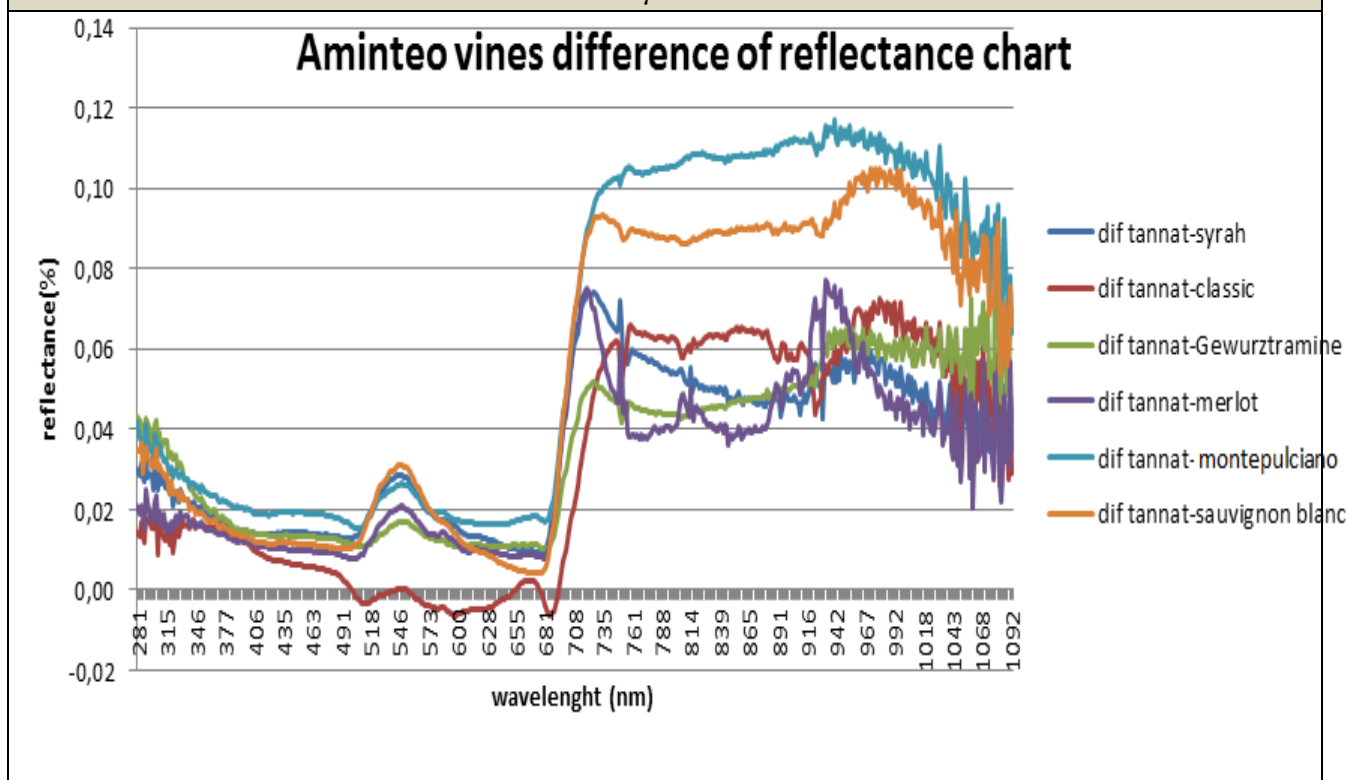
από τη γεωμετρία του φυλλώματος. Οι μετρήσεις του φασματοραδιόμετρου έχουν ως στόχο το σύνολο του φυλλώματος του κάθε αμπελιού ώστε να υπάρχει συμβατότητα με άλλα είδη δεδομένων κυρίως δορυφορικά. Συνεπώς η ακτινοβολία που καταγράφει ο δέκτης επηρεάζεται από την πυκνότητα του φυλλώματος και την γεωμετρία των φύλλων με αποτέλεσμα να υπάρχει η προαναφερθείσα διακύμανση ειδικά σε περιοχές του φάσματος όπου η ανακλαστικότητα είναι μεγάλη. Για την εξάλειψη τέτοιου είδους αβεβαιοτήτων οι μετρήσεις επαναλήφθηκαν πολλές φορές σε κάθε στόχο και επιπρόσθετα η φασματική υπογραφή των ποικιλιών κάθε περιοχής προκύψε από πολλές μετρήσεις διαφορετικών αμπελιών της ίδιας ποικιλίας. Σε περιπτώσεις όπου ο αριθμός μετρήσεων και η ποσοστιαία διαφορά κρίνονται ικανοποιητικοί μπορούν να προκύψουν ποιοτικά συμπεράσματα για την δυνατότητα διάκρισης των ποικιλιών. Εν συνεχεία παρατίθενται τα διαγράμματα ανακλαστικότητας και καταγράφονται ποιοτικά διαφορές σε ποικιλίες ανά περιοχή.

ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ

Πίνακας 4.1.1: Πίνακας αξιοπιστίας φασματικών υπογραφών των ποικιλιών περιοχής Αμυνταίου

ΠΟΙΚΙΛΙΑ	Αριθμός μετρήσεων φυλλώματος	Μέση διαφορά ανακλαστικότητας μετρήσεων στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου (%)
Tannat	4	5
Syrah	4	20
Classic	3	15
Gewurztramine	3	8
Merlot	3	10
Montepulciano	5	15
Sauvignon blanc	10	20

Διάγραμμα 4.1.2: Διάγραμμα διαφορών ανακλαστικότητας των ποικιλιών της περιοχής του Αμυνταίου



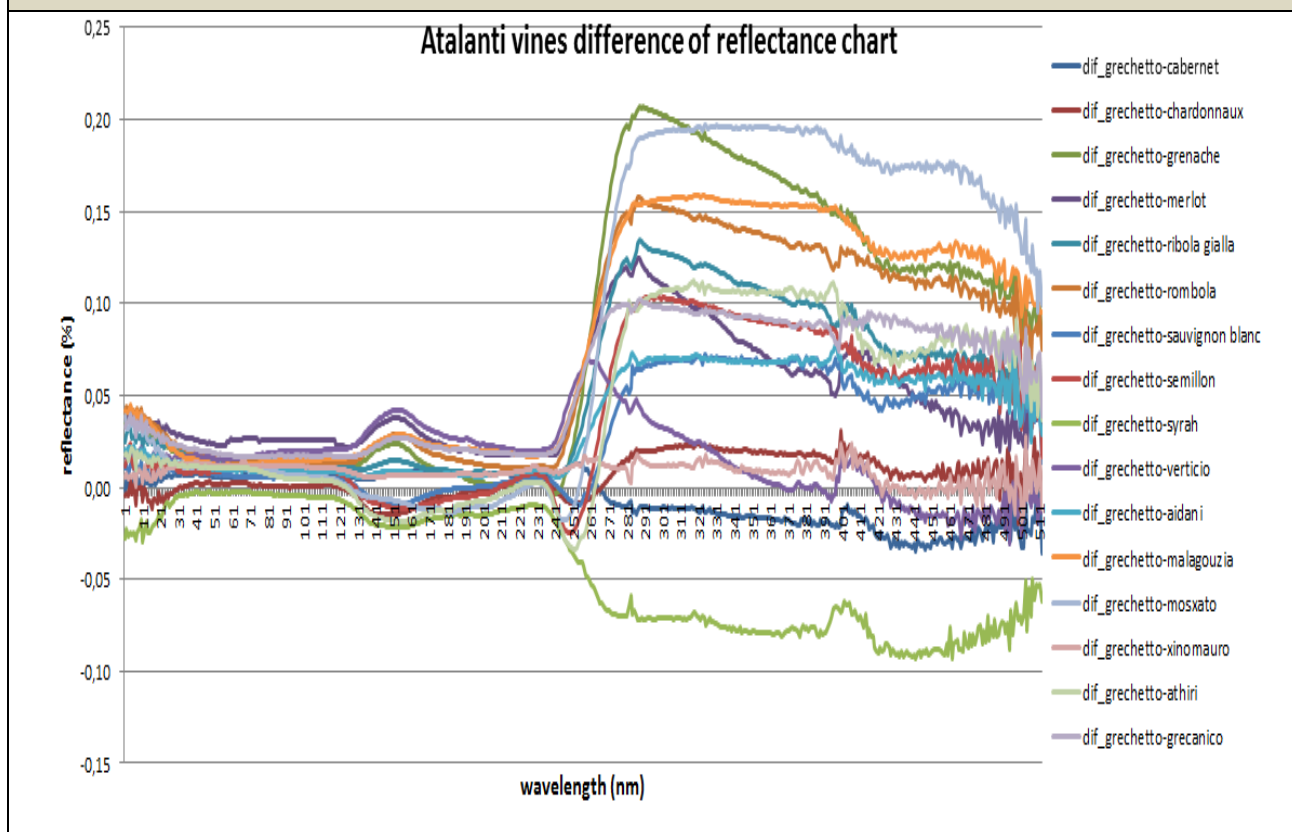
Παρατηρώντας το παραπάνω διάγραμμα **4.1.1**, και το διάγραμμα **3.1.1.2** εντοπίζονται οι βασικές φασματικές συμπεριφορές των προς μελέτη ποικιλιών και στην συνέχεια με την παράλληλη χρήση του πίνακα αξιοπιστίας δύναται η επισήμανση γενικών συμπερασμάτων που αφορούν σ το βαθμό διαφορετικότητας των φασματικών υπογραφών. Από τον **πίνακα 4.1.1** διαπιστώνεται πως τα επεξεργασμένα δεδομένα που αφορούν τις ποικιλίες Sauvignon blanc, Syrah και monterulciano παράχθηκαν από μεγάλο αριθμό μετρήσεων συγκριτικά με τις υπόλοιπες ποικιλίες και συνεπώς οι φασματικές υπογραφές τους έχουν μεγαλύτερη αξιοπιστία. Το διάγραμμα **4.1.2** χρησιμοποιείται για καλύτερη εικονιστική παρουσίαση των διαφορών των καμπύλων φασματικής υπογραφής καθώς παρουσιάζει την ποσοστιαία διαφορά ανακλαστικότητας των ποικιλιών. Το διάγραμμα αυτό προέκυψε με απλή αφαίρεση των τιμών ανακλαστικότητας με μειωτέο τις τιμές ανακλαστικότητας της ποικιλίας με τις υψηλότερες σχετικά τιμές που στη προκειμένη είναι η ποικιλία Tannat. Τα αρχικά συμπεράσματα του κεφαλαίου **3.1.1** μπορούν να θεωρηθούν αξιόπιστα βάσει του πίνακα **4.1.1**. Ενδεικτικά στοιχεία που μπορούν να επισημανθούν με αξιοπιστία είναι πως η ποικιλία Montepulciano παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές, η ποικιλία Tannat τις υψηλότερες, ενώ οι ποικιλίες Classic και Merlot παρουσιάζουν σχετικά μεγάλη διακύμανση κυρίως στην περιοχή 760-850 nm.

ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΤΑΛΑΝΤΗΣ

Πίνακας 4.1.2: Πίνακας αξιοπιστίας φασματικών υπογραφών των ποικιλιών περιοχής Αταλάντης

ΠΟΙΚΙΛΙΑ	Αριθμός μετρήσεων φυλλώματος	Μέση διαφορά ανακλαστικότητας μετρήσεων στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου (%)
Cabernet	12	20
Chardonnaux	3	5
Grecanico	6	8
grechetto	6	13
Grenache	6	14
Merlot	6	15
Ribolla gialla	6	11
Rombola	12	20
Sauvignon blanc	6	10
Semillon	5	10
Syrah	9	12
Verticio	2	5
Aidani	6	15
Athiri	2	10
Malagouzia	9	10
Moschato	6	12
Xinomauro	6	8

Διάγραμμα 4.1.4: Διάγραμμα διαφορών ανακλαστικότητας των ποικιλιών της περιοχής της Αταλάντης



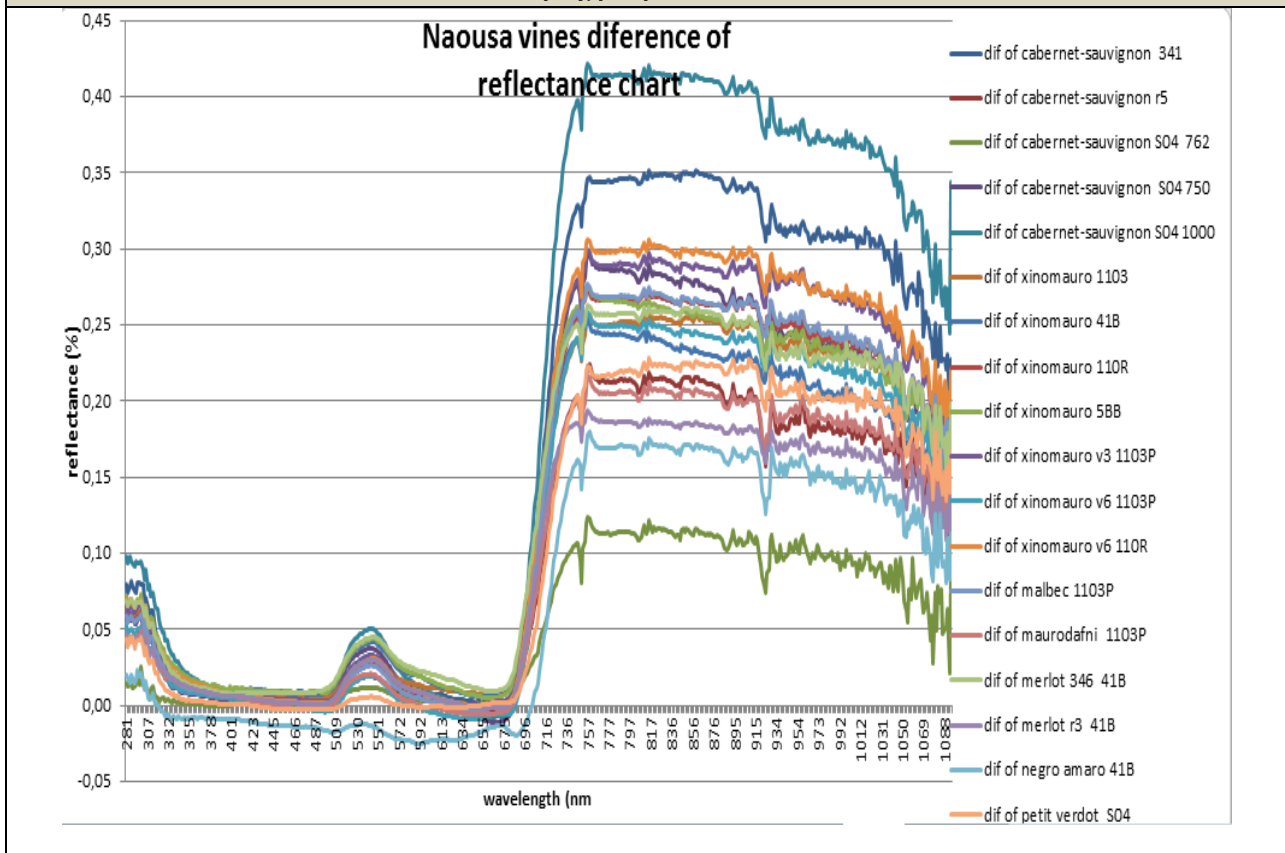
Στο παραπάνω διάγραμμα **4.1.3**, και στο διάγραμμα **3.1.1.5** μπορούν να μελετηθούν οι βασικές φασματικές συμπεριφορές των προς μελέτη ποικιλιών για την περιοχή της Αταλάντης. Για την εξαγωγή περεταίρω συμπερασμάτων χρησιμοποιήθηκε ο πίνακας αξιοπιστίας. Από τον πίνακα **4.1.2** διαπιστώνεται πώς για τις ποικιλίες rombola, aidani, grechetto, Grenache, merlot και cabernet χρησιμοποιήθηκε μεγάλος αριθμός μετρήσεων συγκριτικά με τις υπόλοιπες και συνεπώς οι φασματικές υπογραφές τους έχουν μεγαλύτερη αξιοπιστία. Το διάγραμμα **4.1.4** προέκυψε με απλή αφαίρεση των τιμών ανακλαστικότητας των ποικιλιών από την ποικιλία Grechetto. Τα ενδεικτικά στοιχεία που μπορούν να επισημανθούν με αξιοπιστία συμφωνούν με τα αρχικά συμπεράσματα του **κεφαλαίου 3.1.1**. Η ποικιλία μοσχάτο παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές, η ποικιλία Grenache τις υψηλότερες ενώ οι ποικιλίες Verticio και Merlot παρουσιάζουν σχετικά μεγάλη διακύμανση κυρίως στην περιοχή 760-850 nm.

ΠΕΡΙΟΧΗ ΝΑΟΥΣΑΣ

Πίνακας 4.1.3: Πίνακας αξιοπιστίας φασματικών υπογραφών των ποικιλιών περιοχής Νάουσας

ΠΟΙΚΙΛΙΑ	Αριθμός μετρήσεων φυλλώματος	Μέση διαφορά ανακλαστικότητας μετρήσεων στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου (%)
Cabernet-sauvignon 341	2	16
Cabernet-sauvignon R5	2	22
Cabernet-sauvignon 337	3	18
Cabernet-sauvignon SO4 750	4	18
Cabernet-sauvignon SO4 762	4	12
Cabernet-sauvignon SO4 1000	3	12
Xinomauro 1108P	2	12
Xinomauro 110R	3	15
Xinomauro 55B	2	10
Xinomauro 55B	2	12
Xinomauro V3 1108P	3	20
Xinomauro V3 1108P	4	10
Xinomauro V6 1108P	3	20
Xinomauro V6 110R	2	18
Malbec 1103P	4	12
Maurodafni 1103P	3	10
Merlot 346 41B	3	15
Merlot R3 41B	3	18
Negro Amaro 41B	3	15
Petit Verdot S04	4	12

Διάγραμμα 4.1.6: Διάγραμμα διαφορών ανακλαστικότητας των ποικιλιών της περιοχής της Νάουσας



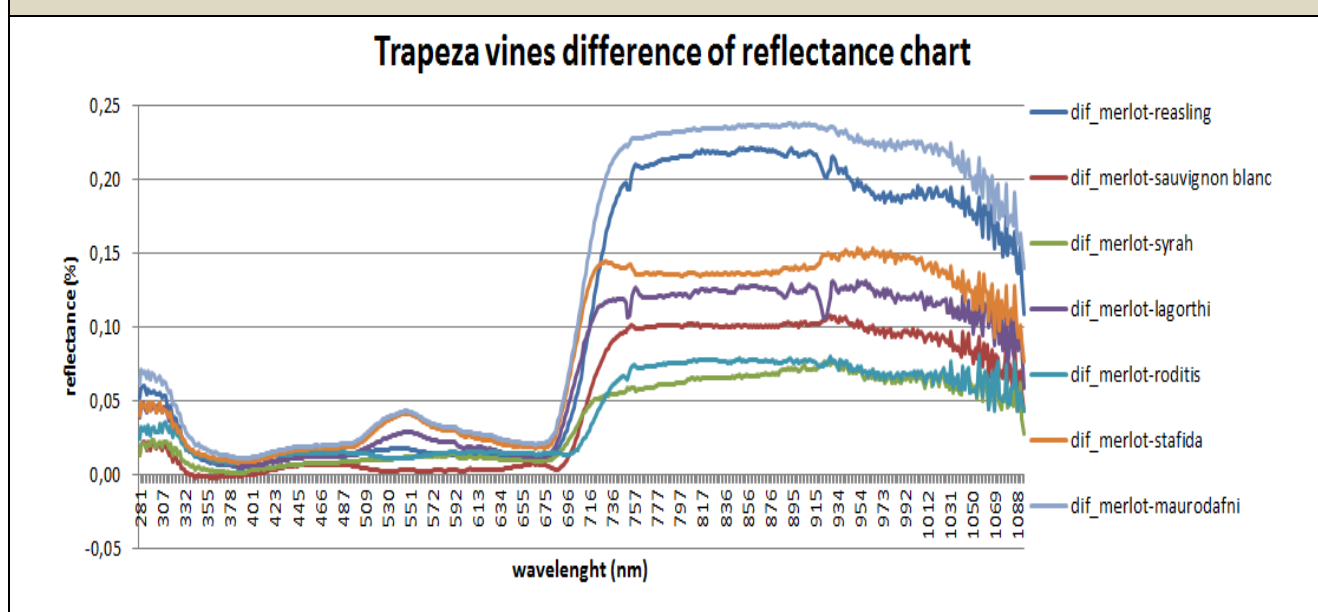
Σημειώτέον για τα διαγράμματα **4.1.5**, **3.1.1.3** της περιοχής της Νάουσας είναι πως οι ποικιλίες χωρίζονται σε υποκατηγορίες βάσει κλώνου και υποκείμενου καθώς η πληροφορία αυτή ήταν διαθέσιμη για την συγκεκριμένη περιοχή μετρήσεων. Παρατηρείται γενικά μεγάλη διακύμανση ως προς τα ποσοστά ανακλαστικότητας ακόμα και μεταξύ των ίδιων ποικιλιών ωστόσο λόγω το του σχετικά μικρού αριθμού πρωτογενών μετρήσεων αποτελεί πιο αξιόπιστη παράμετρο διάκρισης η μορφή των καμπυλών ανακλαστικότητας. Για την εξαγωγή περαιτέρω συμπερασμάτων χρησιμοποιήθηκε ο πίνακας αξιοπιστίας (**πίνακας 4.3**). Τα επιπρόσθετα χαρακτηριστικά που μπορούν να εντοπιστούν με αξιοπιστία και να προστεθούν σε αυτά που καταγράφηκαν στο κεφάλαιο **3.1.1** είναι πως η ποικιλία Cabernet-sauvignon παρουσιάζει τις μεγαλύτερες διακυμάνσεις ενώ η ποικιλία των ξινόμαυρων τις μικρότερες, η ποικιλία Merlot παρουσιάζει έντονη διαφοροποίηση στις υποκατηγορίες της merlot_346_41B και merlot_R3_41B και καμπύλη της ποικιλία Petit Verdot διαφοροποιείται σημαντικά από τις υπόλοιπες.

ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΡΑΠΕΖΑΣ

Πίνακας 4.1.4: Πίνακας αξιοπιστίας φασματικών υπογραφών των ποικιλιών περιοχής Τράπεζας

ΠΟΙΚΙΛΙΑ	Αριθμός μετρήσεων φυλλώματος	Μέση διαφορά ανακλαστικότητας μετρήσεων στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου (%)
Merlot	3	18
Riesling	9	16
Sauvignon Blanc	31	20
Syrah	11	15
Lagorthi	6	12
Roditis	6	22
Stafida	3	15
Maurodafni	6	16

Διάγραμμα 4.1.8: Διάγραμμα διαφορών ανακλαστικότητας των ποικιλιών της περιοχής της Τράπεζας

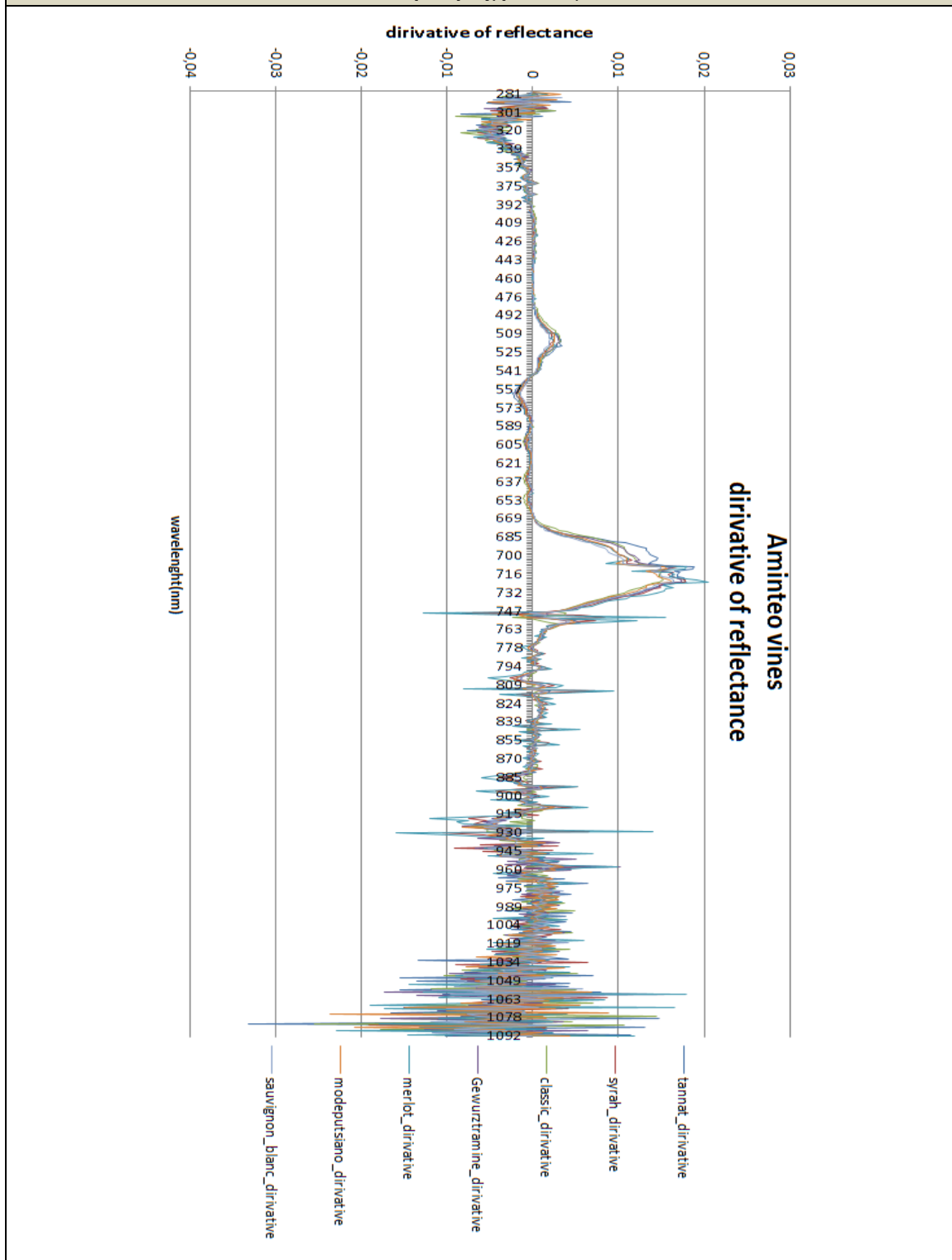


Παρατηρώντας τα διαγράμματα ανακλαστικότητας 4.1.7, 4.1.8 παράλληλα με τον πίνακα αξιοπιστίας 4.1.4 διαπιστώνεται πώς τα επεξεργασμένα δεδομένα που αφορούν τις ποικιλίες Sauvignon blanc, Syrah και Riesling παράχθηκαν από μεγάλο αριθμό μετρήσεων συγκριτικά με τις υπόλοιπες ποικιλίες και συνεπώς οι φασματικές υπογραφές τους έχουν μεγαλύτερη αξιοπιστία. Το διάγραμμα 4.1.8 χρησιμοποιείται για καλύτερη εικονιστική παρουσίαση των διαφορών των καμπύλων φασματικής υπογραφής καθώς παρουσιάζει την ποσοστιαία διαφορά ανακλαστικότητας των ποικιλιών. Το διάγραμμα αυτό προέκυψε με απλή αφαίρεση των τιμών ανακλαστικότητας με μειωτέο τις τιμές ανακλαστικότητας της ποικιλίας που παρουσιάζει τις υψηλότερες σχετικά τιμές που στη προκειμένη είναι η ποικιλία Merlot. Τα στοιχεία που μπορούν να επισημανθούν με αξιοπιστία είναι αυτά που καταγράφηκαν στο κεφάλαιο 3.1.1 καθώς ο αριθμός μετρήσεων των ποικιλιών είναι επαρκής ειδικά για την ποικιλία sauvignon blanc η οποία παρουσιάζει ενδιάμεσες τιμές ανακλαστικότητας συγκριτικά με τις υπόλοιπες και ομαλή καμπύλη φασματικής υπογραφής. Η ποικιλία Riesling παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές, η ποικιλία Merlot τις υψηλότερες ενώ οι ποικιλίες Syrah και Lagorthis παρουσιάζουν σχετικά μεγάλη διακύμανση κυρίως στην περιοχή 760-850 nm.

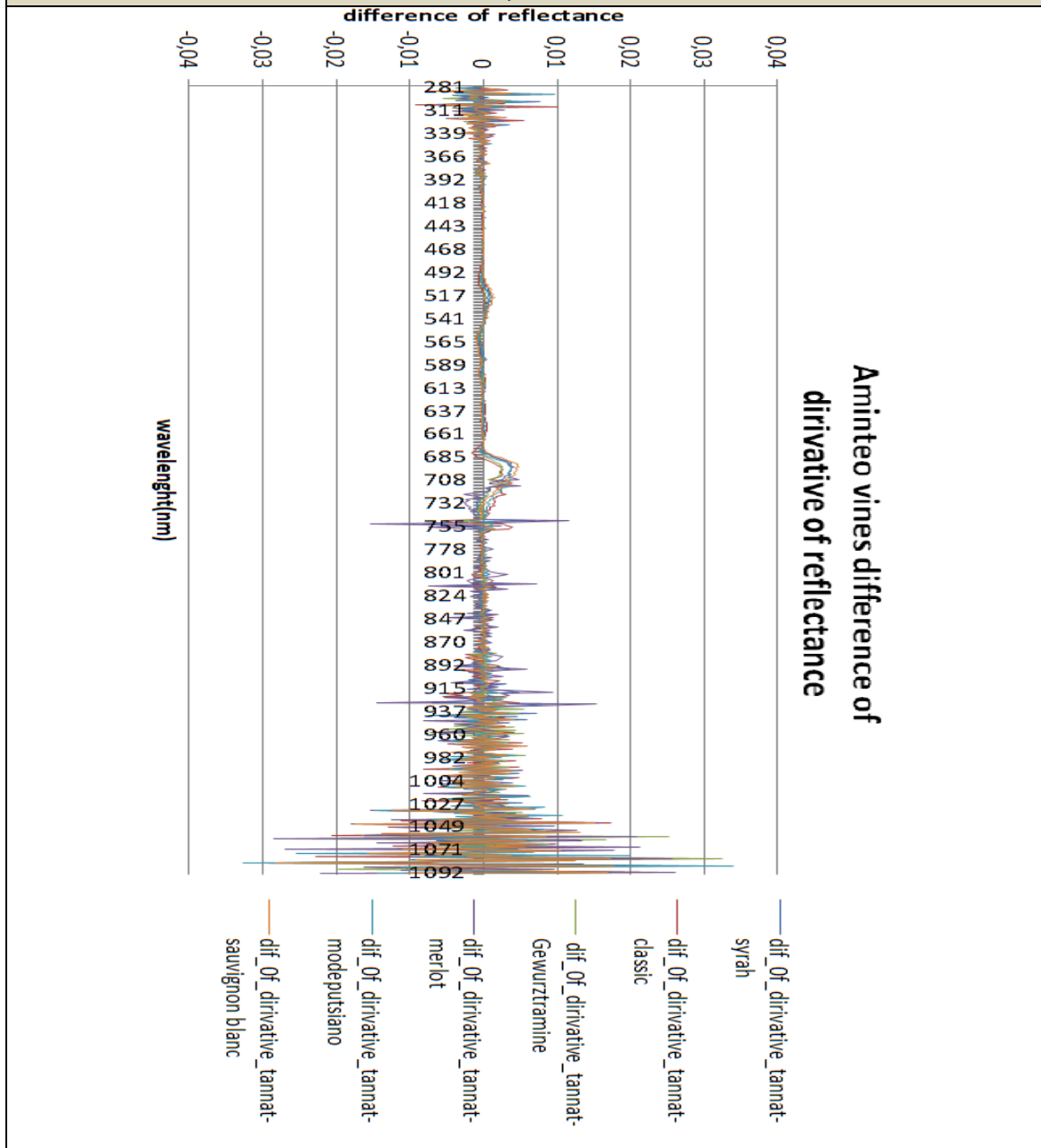
Όπως προαναφέρθηκε η πυκνότητα του φυλλώματος και η γεωμετρία των φύλλων μεταβάλλουν τις φασματικές υπογραφές κυρίως στα εύρη μήκους κύματος 280-320 nm και 760-900 nm. Ειδικότερα, η καταγραφόμενη ακτινοβολία αυξάνεται ανάλογα με την πυκνότητα φυλλώματος και επηρεάζεται από τον προσανατολισμό των φύλλων με αποτέλεσμα μετά την επεξεργασία των δεδομένων να υπάρχει μια αβεβαιότητα στα ποσοστά ανακλαστικότητας. Για το λόγο αυτό τα διαγράμματα ανακλαστικότητας μελετήθηκαν παράλληλα με πίνακα αξιοπιστίας ώστε να λαμβάνεται υπ' όψιν η αβεβαιότητα, ανάλογα με τον αριθμό των μετρήσεων. Ο αριθμός αυτός είναι ενδεικτικός της αξιοπιστίας των συμπερασμάτων που προκύπτουν μελετώντας τις καμπύλες μεμονωμένα ως προς τα ποσοστά ανακλαστικότητας.

Όσον αφορά την μορφή των καμπυλών δεν μεταβάλλεται από την εν λόγω αβεβαιότητα καθώς αυτή επηρεάζει ομοιοτρόπως την φασματική υπογραφή των αμπελιών ανά μήκος κύματος. Για το λόγο αυτό και μελετώντας την υπάρχουσα βιβλιογραφία (*"Evaluation of grape quality parameters by a simple vis/nir system"* R. Guidetti, R. Beghi, L. Bodria, *"Discrimination of rice panicles by hyperspectral reflectance data based on principal component analysis and support vector classification"* Zhan-yu Liu et al.,) κρίθηκε χρήσιμη η παραγωγή διαγραμμάτων πρώτης παραγωγού ανακλαστικότητας ώστε να μελετηθεί η διαφοροποίηση της μορφής των καμπυλών. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν βάσει των διαγραμμάτων παραγωγού δεν εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τον αριθμό πρωτογενών μετρήσεων. Η παράγωγος υπολογίσθηκε εξ ορισμού ως $\Delta x/\Delta y$ όπου Δx η διαφορά ποσοστών ανακλαστικότητας μεταξύ δύο διαδοχικών τιμών καταγραφής μήκους κύματος και Δy 2 nm. Πρέπει να διευκρινιστεί πως το ραδιόμετρο συλλέγει μετρήσεις με σταθερό βήμα 2 nm σε όλο το εύρος του φάσματος συνεπώς οι τιμές παραγωγού υπολογίζονται με ενιαίο βήμα. Τα διαγράμματα παραγωγού ανακλαστικότητας παρουσιάζουν τις τιμές παραγωγού στον κάθετο άξονα και το μήκος κύματος στο οποίο υπολογίσθηκε η κάθε παράγωγος, στον οριζόντιο άξονα. Για κάθε περιοχή μελέτης τα διαγράμματα αυτά παρατίθενται στη συνέχεια.

Διάγραμμα 4.1.9: Διάγραμμα παραγώγου ανακλαστικότητας των ποικιλιών της περιοχής του Αμυνταίου

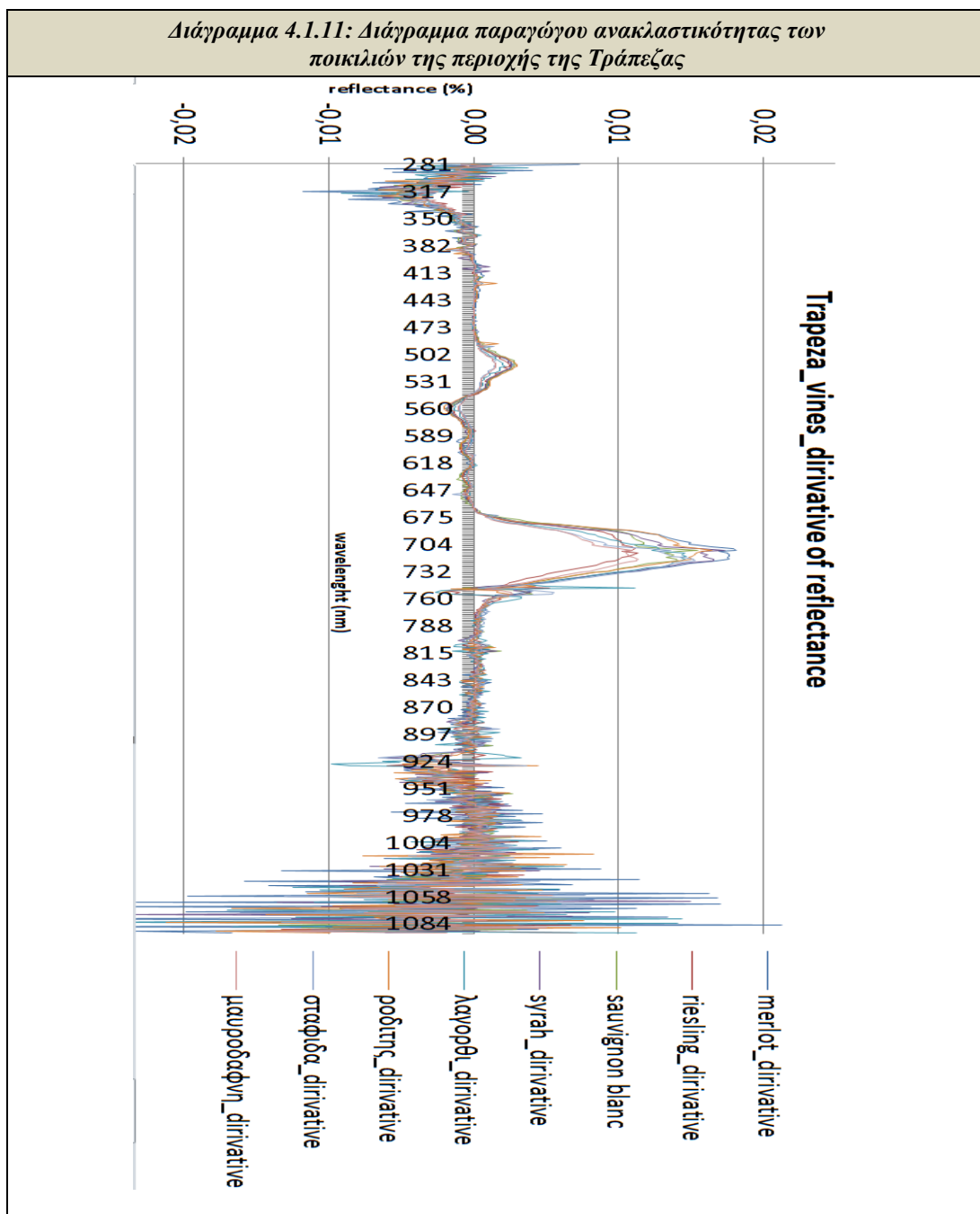


Διάγραμμα 4.1.10: Διάγραμμα διαφορών παραγώγου ανακλαστικότητας των ποικιλιών της περιοχής του Αμυνταίου

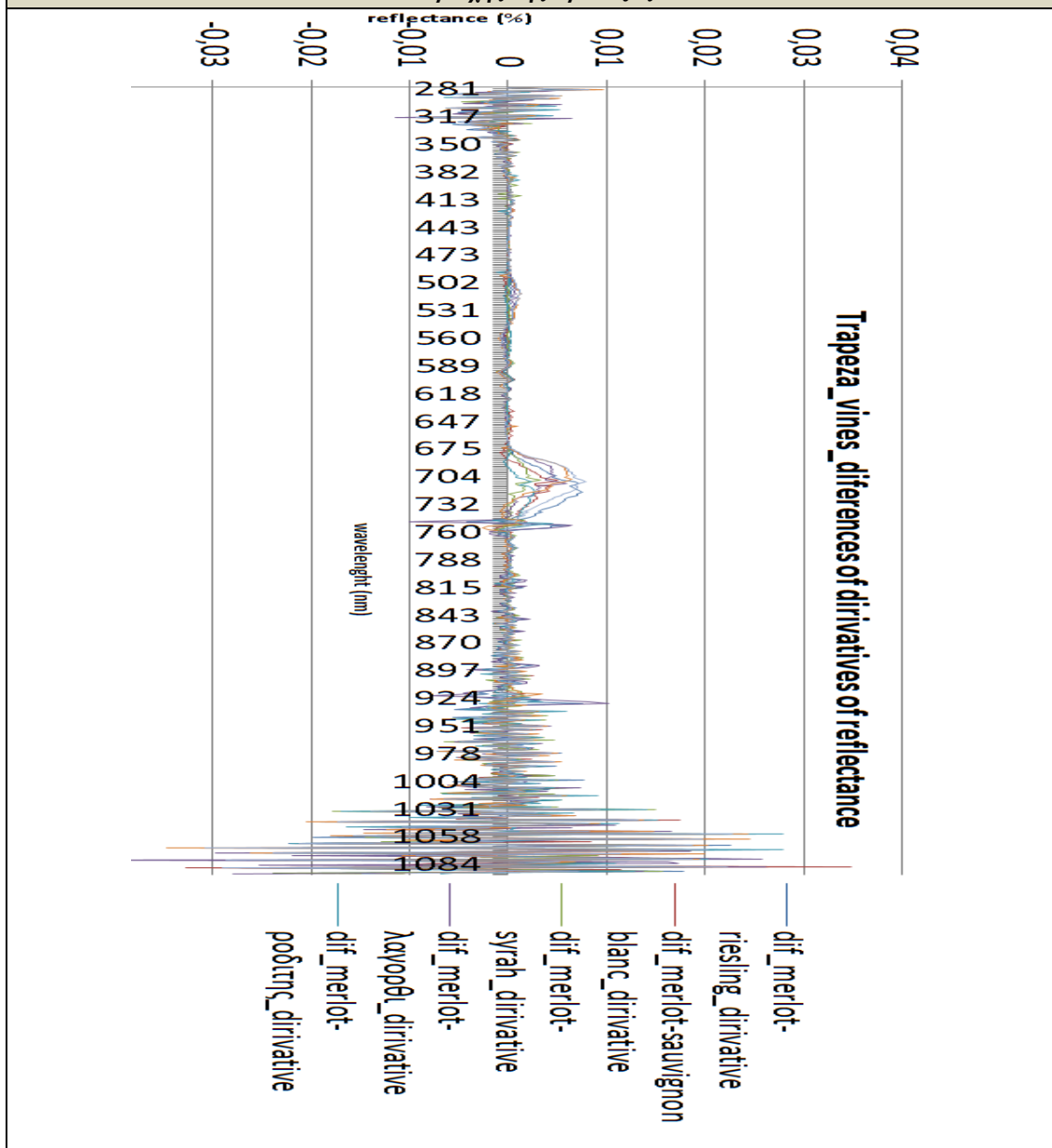


Παρατηρώντας τα διαγράμματα παραγώγου ανακλαστικότητας 4.1.9 και διαφορών παραγώγου ανακλαστικότητας 4.1.10 εξάγονται συμπεράσματα που αφορούν στην μορφή των καμπυλών των διαγραμμάτων ανακλαστικότητας από τα οποία παράχθηκαν. Αυτά τα δύο διαγράμματα αναφέρονται στις ποικιλίες της περιοχής του Αμύνταιου. Γενικά εντοπίζεται και στα δύο διαγράμματα μεγάλη διακύμανση των τιμών η οποία δυσχεραίνει τον οπτικό διαχωρισμό των καμπυλών παραγώγου. Σημειώνεται πως οι μέγιστες διαφορές του διαγράμματος ανακλαστικότητας εντοπίζονται στο εύρος 680-740 (nm) καθώς σε αυτό παρουσιάζεται η μέγιστη αύξηση ποσοστών ανακλαστικότητας για κάθε ποικιλία. Επιπρόσθετα στο εύρος αυτό εντοπίζονται και οι μέγιστες διαφοροποιήσεις ποσοστών μεταξύ των ποικιλιών που είναι ενδεικτικές της αβεβαιότητας που υπεισέρχεται λόγω διαφορετικής γεωμετρίας στόχου.

Μεγάλη διακύμανση τιμών ανά ποικιλία παρατηρείται στο εύρος 280-310 καθώς και στο εύρος 910-1080(nm) με αποτέλεσμα να μην είναι ευδιάκριτες διαφορές. Στο εύρος 750-900(nm) οι καμπύλες παραγώγου ανακλαστικότητας παρουσιάζουν ενιαία μορφή για τις περισσότερες ποικιλίες και συνεπώς αποτελούν ένδειξη διαφοροποίησης των ποσοστών ανακλαστικότητας. Ποικιλίες που το διάγραμμα παραγώγου της ανακλαστικότητας τους σε αυτό το εύρος παρουσιάζει σχετικές διαφορές τιμών από τις υπόλοιπες αναμένεται να έχουν διαφορετική κλίση καμπύλης ανακλαστικότητας. Για την περιοχή του Αμυνταίου οι κατηγορίες merlot, tannat gewuztramine βάσει του διαγράμματος 4.1.10 παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση στο εύρος 920-1080 (nm) και οι καμπύλες ποσοστών ανακλαστικότητας διαφοροποιούνται ως προς την κλίση συγκριτικά με τις υπόλοιπες.

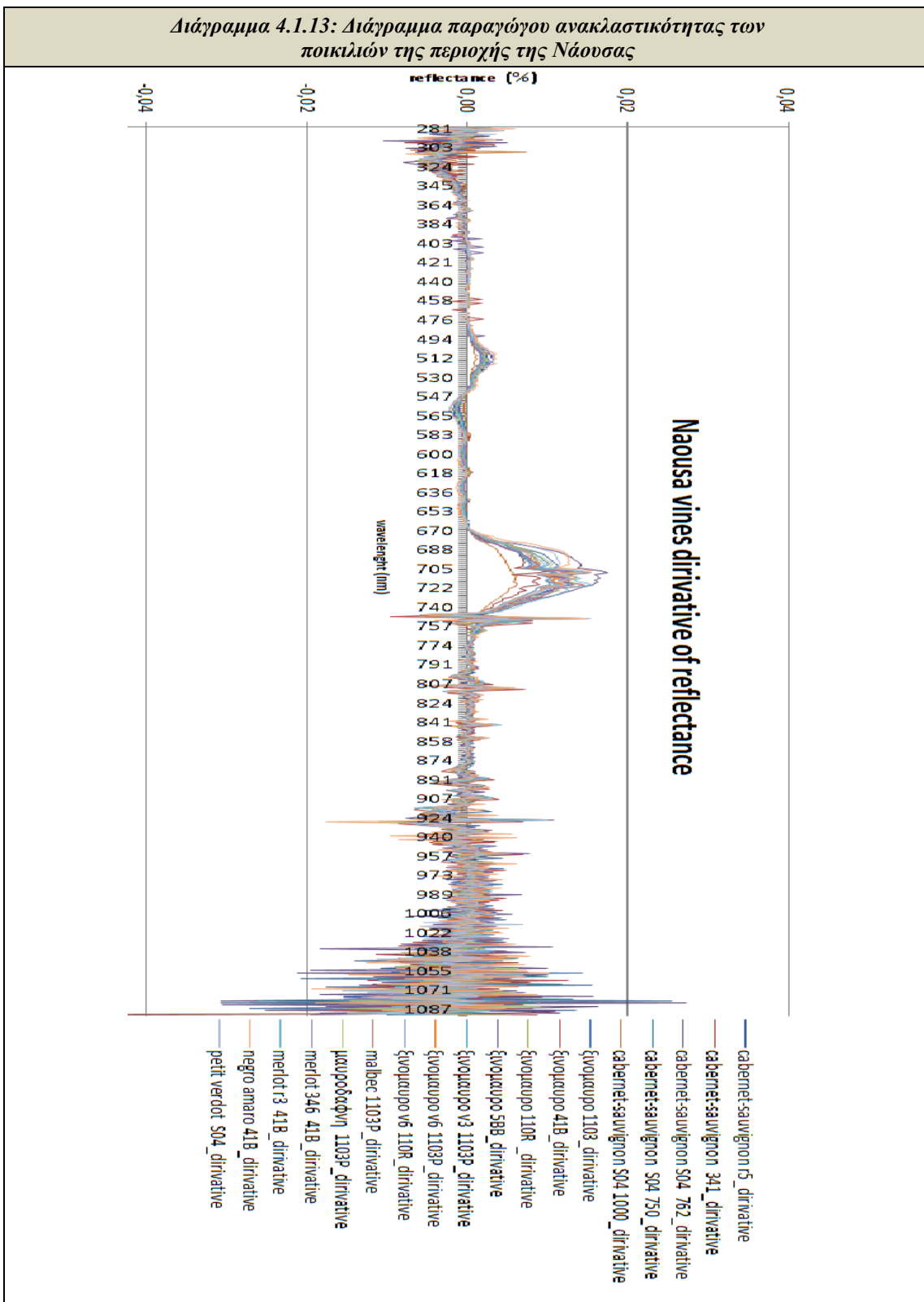


Διάγραμμα 4.1.12: Διάγραμμα διαφορών παραγώγου ανακλαστικότητας των ποικιλιών της περιοχής της Τράπεζας

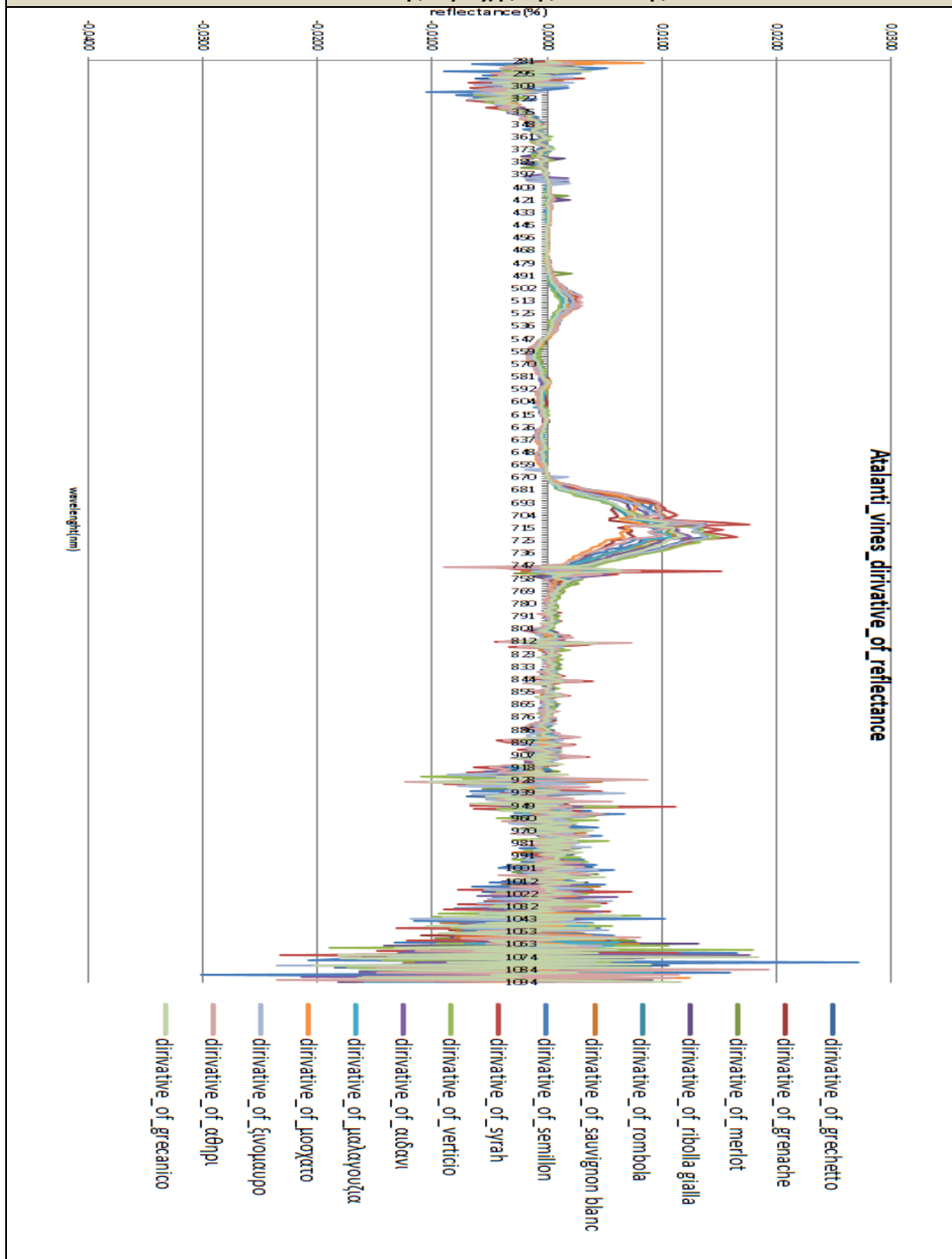


Τα διαγράμματα παραγώγου και διαφορών παραγώγου ανακλαστικότητας (4.1.11 και 4.1.12 αντίστοιχα) μελετήθηκαν με στόχο την εξαγωγή συμπερασμάτων, ως προς τον τρόπο μεταβολής των τιμών των καμπυλών των διαγραμμάτων ανακλαστικότητας από τα οποία παράχθηκαν. Αυτά τα συμπεράσματα ουσιαστικά αναφέρονται στη δυνατότητα φασματικής διάκρισης των ποικιλιών της περιοχής της Τράπεζας, ελαχιστοποιώντας την αβεβαιότητα που επιφέρει η διαφορετική γεωμετρία του φυλλώματος. Παρατηρούνται μεγάλες διακυμάνσεις του διαγράμματος παραγώγου ανακλαστικότητας οι οποίες εντοπίζονται στο εύρος των υπέρυθρων καναλιών 900-1080 (nm) καθώς και στο εύρος 281-320 (nm) των υπεριωδών καναλιών. Ειδικότερα στο εύρος των υπέρυθρων καναλιών οι διαφορές παρουσιάζουν μέγιστες τιμές. Για την περιοχή της Τράπεζας οι κατηγορίες syrah και sauvignon blanc παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση στο εύρος 900-1080 (nm), συνεπώς οι καμπύλες ποσοστών ανακλαστικότητας διαφοροποιούνται ως προς την κλίση συγκριτικά με τις υπόλοιπες.

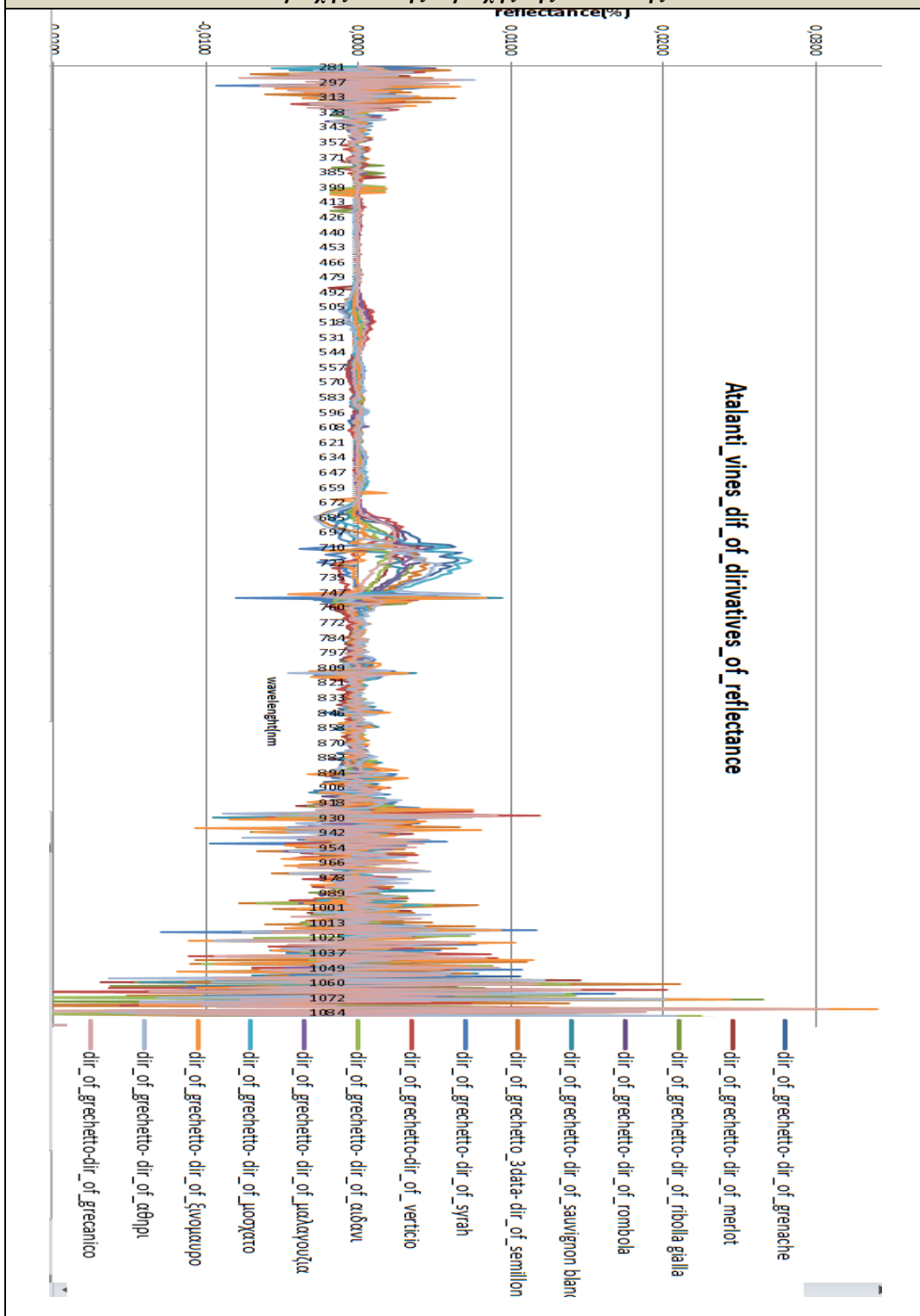
Διάγραμμα 4.1.13: Διάγραμμα παραγώγου ανακλαστικότητας των ποικιλιών της περιοχής της Νάουσας



Διάγραμμα 4.1.15: Διάγραμμα παραγώγου ανακλαστικότητας των ποικιλιών της περιοχής της Αταλάντης



Διάγραμμα 4.1.16: Διάγραμμα διαφορών παραγώγου ανακλαστικότητα των ποικιλιών της περιοχής της Αταλάντης



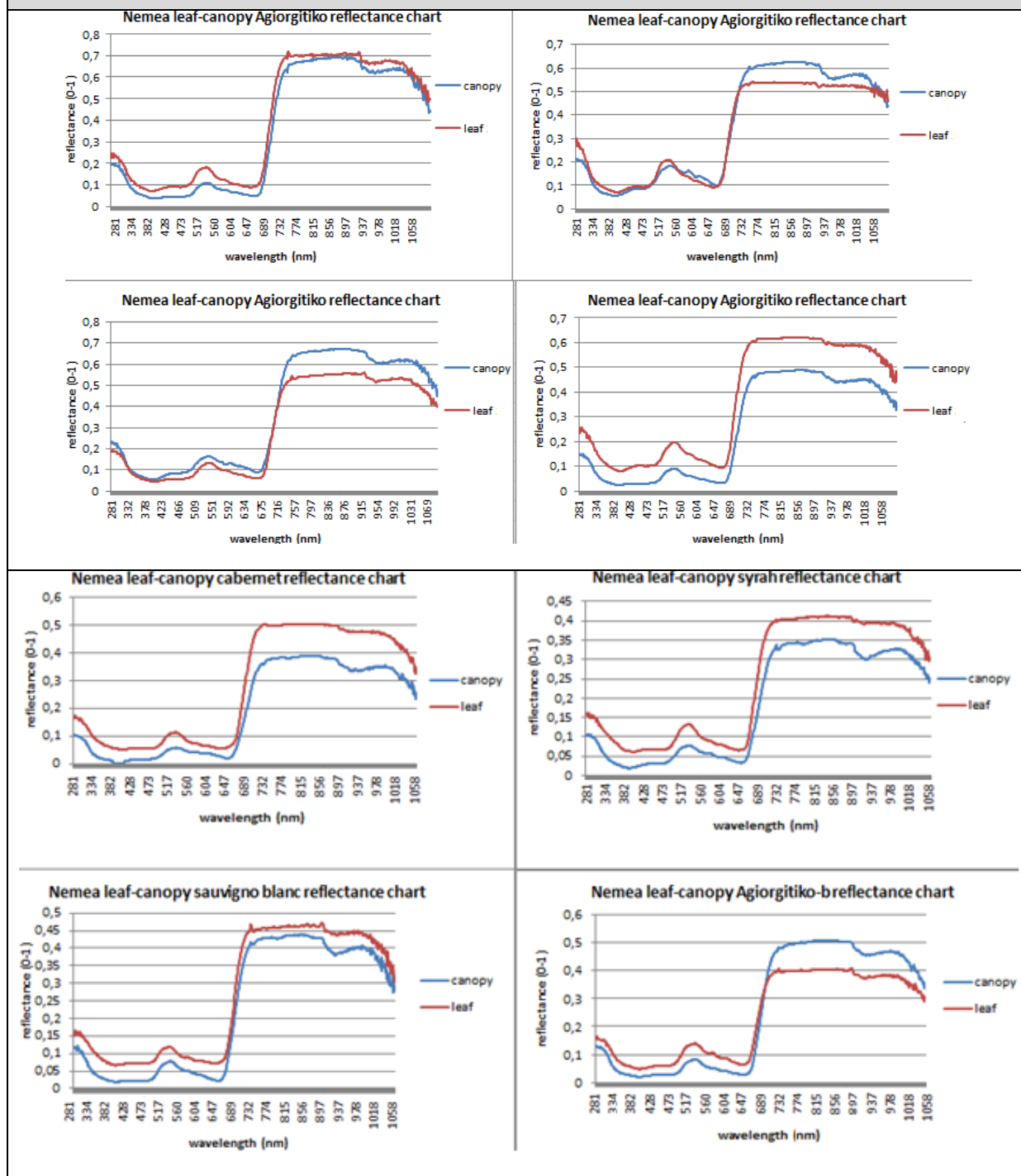
Μελετώντας τα διαγράμματα παραγώγου ανακλαστικότητας 4.1.9 και διαφορών παραγώγου ανακλαστικότητας 4.1.10 διαπιστώνεται πως οι ποικιλίες της περιοχής του Αμύνταιου παρουσιάζουν την μεγαλύτερη διαφοροποίηση ως προς τη μορφή καμπύλων ανακλαστικότητας συγκριτικά με τις ποικιλίες των υπόλοιπων περιοχών μελέτης. Ειδικότερα, παρατηρώντας το διάγραμμα διαφορών ανακλαστικότητας μπορεί να εντοπιστεί ένα υποσύνολο ποικιλιών οι οποίες παρουσιάζουν ίδιες διακυμάνσεις παραγώγου μεταξύ τους και συνεπώς ίδιες κλίσεις (μορφή) αλλά διαφορετικές από το σύνολο των υπόλοιπων ποικιλιών. Οι ποικιλίες αυτές είναι οι syrah, merlot και rombola και ribolla gialla.

Συνοψίζοντας βάσει των διαγραμμάτων ανακλαστικότητας, παραγώγου ανακλαστικότητας, των αντίστοιχων διαγραμμάτων διαφορών μεταξύ των ποικιλιών και την παράλληλη χρήση των πινάκων αξιοπιστίας καταγράφονται συγκεντρωτικά συμπεράσματα για την διάκριση ποικιλιών ανά περιοχή μελέτης. Γενικά η διαφοροποίηση των ποικιλιών, που προκύπτει φασματικά είτε ως προς τα ποσοστά ανακλαστικότητας είτε ως προς τον τρόπο μεταβολή τους ανά κανάλι, παρατηρείται σε δύο εύρη των υπέρυθρων μηκών κύματος 750-910 (nm) και 970-1020 (nm). Στη συνέχεια παρατίθενται σε μορφή πίνακα, οι ποικιλίες ανά περιοχή, οι οποίες παρουσιάζουν διαφοροποίηση φασματικής καμπύλης από τις υπόλοιπες σε τέτοιο βαθμό ώστε η δυνατότητα διαχωρισμού τους από τις υπόλοιπες να μπορεί να εξασφαλιστεί και να επεκταθεί σε αντίστοιχα φασματικά δεδομένα διαφορετικών αισθητήρων που καταγράφουν τη φασματική συμπεριφορά στα δύο εύρη μηκών κύματος που προαναφέρθηκαν.

Πίνακας 4.1.5.: Ποικιλίες ανά περιοχή μελέτης που παρουσιάζουν διαφορετική φασματική συμπεριφορά	
ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	ΠΟΙΚΙΛΙΕΣ ΜΕ ΣΕΙΡΑ ΒΑΣΕΙ ΒΑΘΜΟΥ ΔΙΑΚΡΙΣΗΣ
Τράπεζα	Merlot, Sauvignon Blanc, Syrah
Αταλάντη	Merlot, Cabernet Sauvignon, Syrah, Grenache,
Νάουσα	Cabernet sauvignon 337, Negro Amaro 41B Cabernet Sauvignon S04 750, Ξινόμαυρο 41B
Αμύνταιο	Tannat, Merlot
Νεμέα	Sauvignon Blanc, Αγιωργίτικο

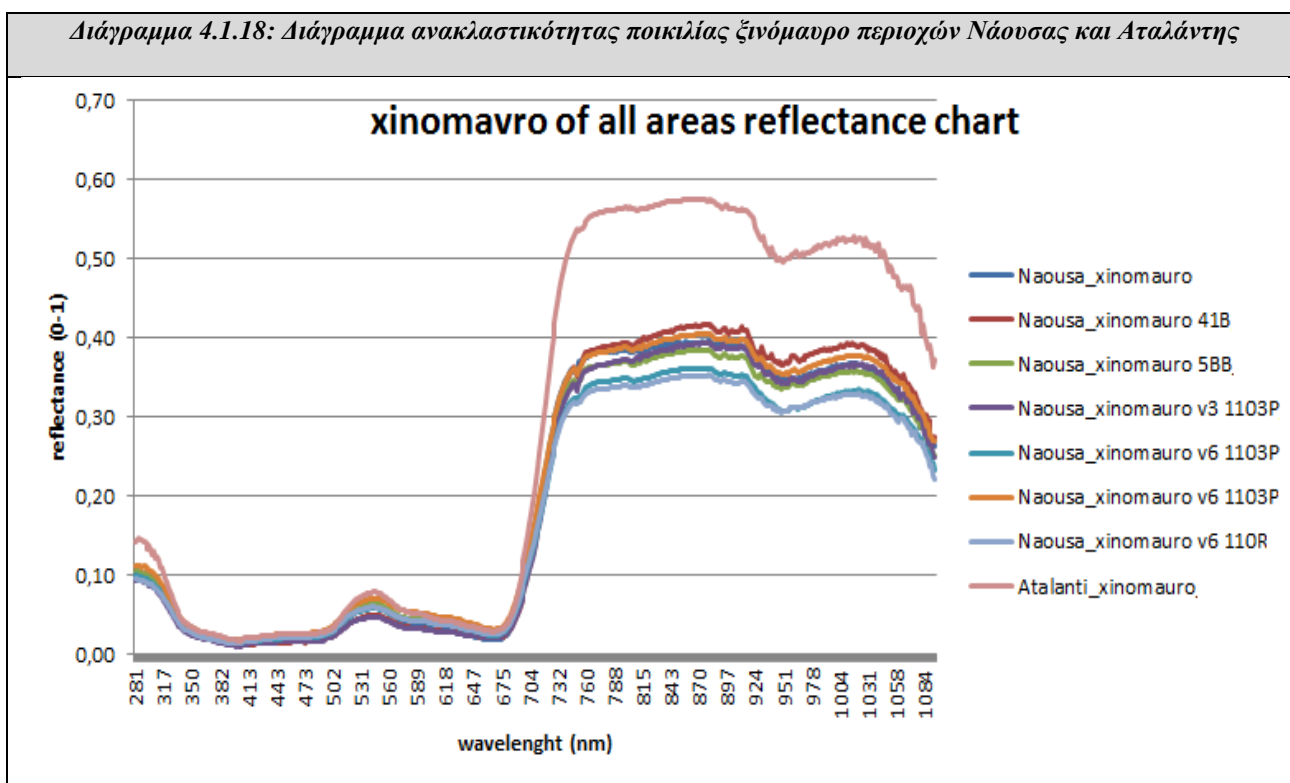
Για την περιοχή της Νεμέας έγινε καταγραφή με το φασματοραδιόμετρο τόσο σε επίπεδο φυλώματος όσο και σε επίπεδο φύλλου. Η διαδικασία αυτή εκτελέστηκε για κάθε μεμονωμένο κλίμα που μετρήθηκε με επιλογή διαφορετικού ύψους λήψης του οργάνου. Για τις μετρήσεις ανακλώμενης ακτινοβολίας φυλώματος και φύλλου επιπρόσθετα καταγράφηκε η εκτίμηση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και βάσει αυτής υπολογίστηκαν τιμές ανακλαστικότητας. Στη συνέχεια παρατίθενται διαγράμματα ποσοστών ανακλαστικότητας που απεικονίζουν συγκριτικά την φασματική υπογραφή φύλλου και φυλώματος για τις ποικιλίες αμπέλου που μετρήθηκαν στην περιοχή της Νεμέας.

Διάγραμμα 4.1.17: Διάγραμμα ανακλαστικότητας φύλλου-φυλώματος για τις ποικιλίες της περιοχής της Νεμέας



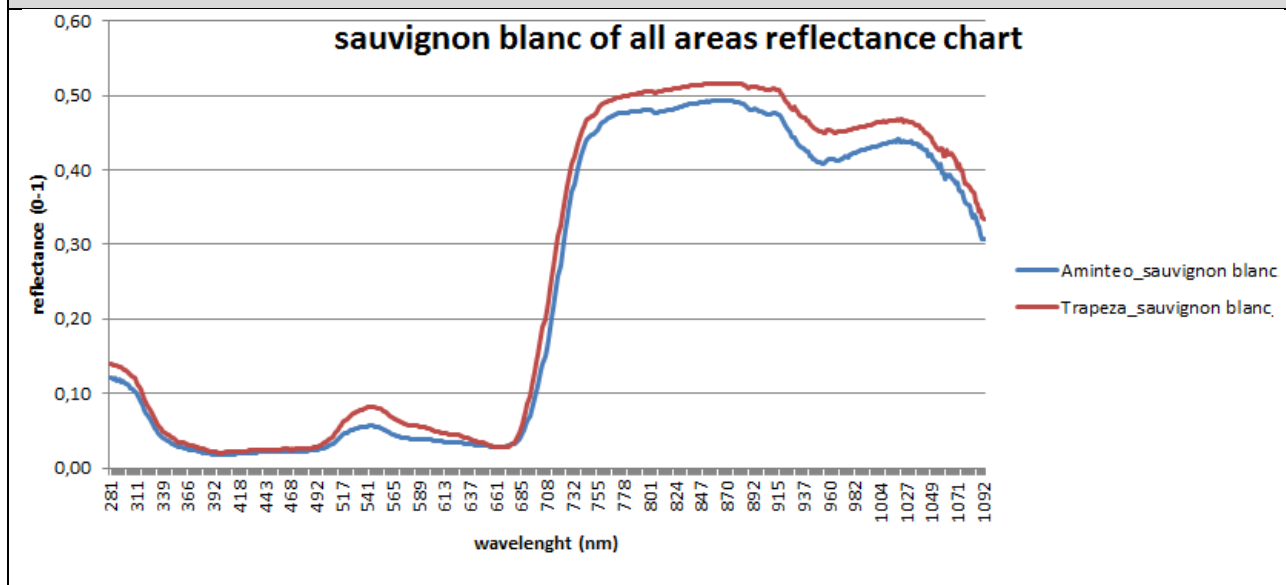
Παρατηρώντας το διάγραμμα 4.1.17 διαπιστώνεται ότι υπάρχει μεγάλος βαθμός συσχέτισης μεταξύ των καμπύλων τιμών ανακλαστικότητας φύλλου και φυλλώματος όπως ήταν αναμενόμενο. Κάθε ζεύγος καμπύλων φύλλου-φυλλώματος παρουσιάζει σχεδόν ίδια μορφή (κλίσεις). Διαφοροποίηση εύρους τιμών εντοπίζεται κυρίως στο εύρος του εγγύς υπέρυθρου 770-1020 (nm) η οποία κυμαίνεται σε ποσοστά 2-10 %. Στο εύρος του ορατού φάσματος η διαφοροποίηση κυμαίνεται σε ποσοστά 1-5% ενώ στο υπεριώδες 280-315(nm) είναι λίγο μεγαλύτερη. Σημειωτέο είναι ότι παρατηρείται μεγαλύτερη ομαλοποίηση των καμπύλων ανακλαστικότητας φύλλου συγκριτικά με την αντίστοιχη του φυλλώματος για κάθε ποικιλία. Η διαφορά αυτή εντοπίζεται ως διαφορά κλίσεων των καμπύλων στους εύρους ορατού πράσινου 520-570 (nm) και στην περιοχή εγγύς υπέρυθρου 920-940 (nm). Ωστόσο οι παραπάνω διαφοροποιήσεις κυμαίνονται σε χαμηλά ποσοστά τα οποία είναι αναμενόμενα λόγω της διαφορετικής γεωμετρίας του φυλλώματος.

Οι παραπάνω αναλύσεις φασματικής συμπεριφοράς αναφέρονταν σε ποικιλίες αμπέλου ανα περιοχή μελέτης. Ωστόσο για συγκεκριμένες ποικιλίες έγιναν μετρήσεις σε περισσότερες απο μια περιοχές. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελέτη φασματικών υπογραφών ίδιων ποικιλιών που προέκυψαν απο μετρήσεις διαφορετικών περιοχών μελέτης. Οι ποικιλίες αυτές είναι οι ξινόμαυρο, μαυροδάφνη, merlot, sauvignon blanc και syrah τα διαγράμματα των οποίων παρατίθενται στη συνέχεια.



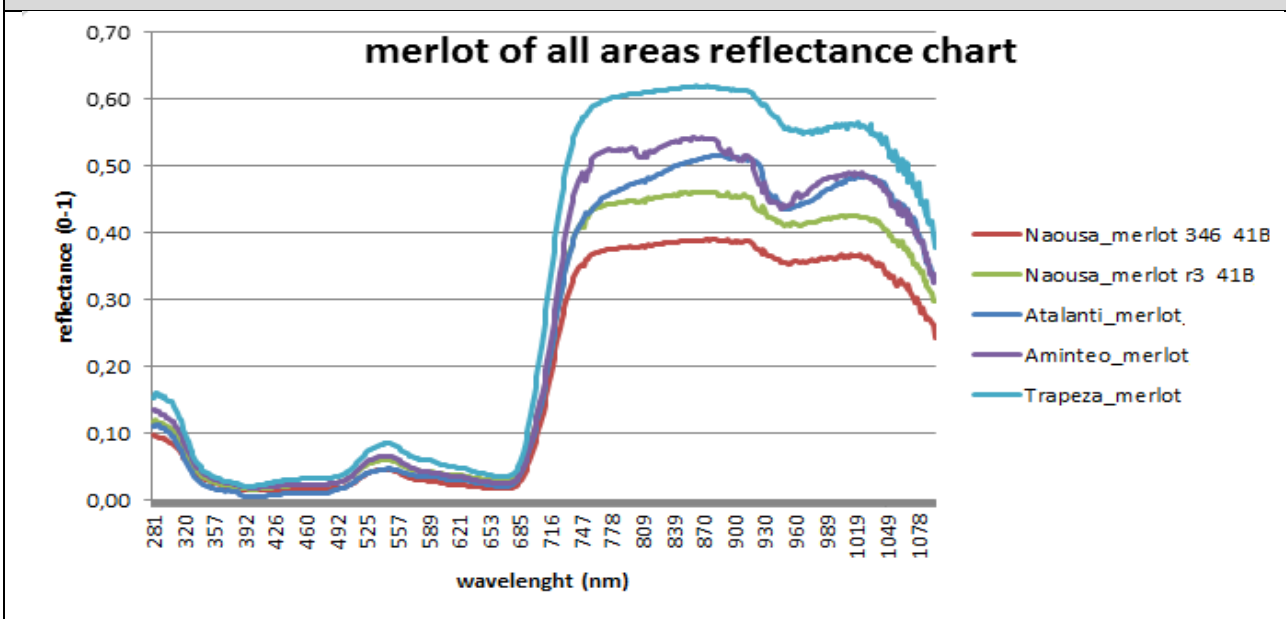
Στο διάγραμμα 4.1.18 παρουσιάζονται οι καμπύλες ανακλαστικότητας της ποικιλίας ξινόμαυρο που προέκυψαν από μετρήσεις στις περιοχές της Νάουσας και της Αταλάντης. Για την περιοχή της Νάουσας ήταν διαθέσιμη επιπρόσθετη πληροφορία κλώνου και υποκειμένου. Οι καμπύλες ανακλαστικότητας ξινόμαυρου της Νάουσας παρουσιάζουν μικρή διαφοροποίηση τιμών. Εντοπίζεται μεγάλη διαφοροποίηση τιμών στο εύρος του εγγύς υπέρυθρου 770-1020 (nm) μεταξύ των καμπύλων Νάουσας και Αταλάντης. Στο εύρος του ορατού φάσματος όλες οι καμπύλες παρουσιάζουν ίδιες περίπου τιμές. Σημειωτέο είναι πως η μορφή των καμπύλων είναι ίδια με εξαίρεση την μεγάλη κλίση που παρουσιάζει η καμπύλη ξινόμαυρου της Αταλάντης στους εύρους 700-770 (nm) που πιθανόν να προκύπτει λόγω διαφορετικής γεωμετρίας φυλλώματος.

Διάγραμμα 4.1.19: Διάγραμμα ανακλαστικότητας ποικιλίας sauvignon blanc περιοχών Αμυνταίου και Τράπεζας



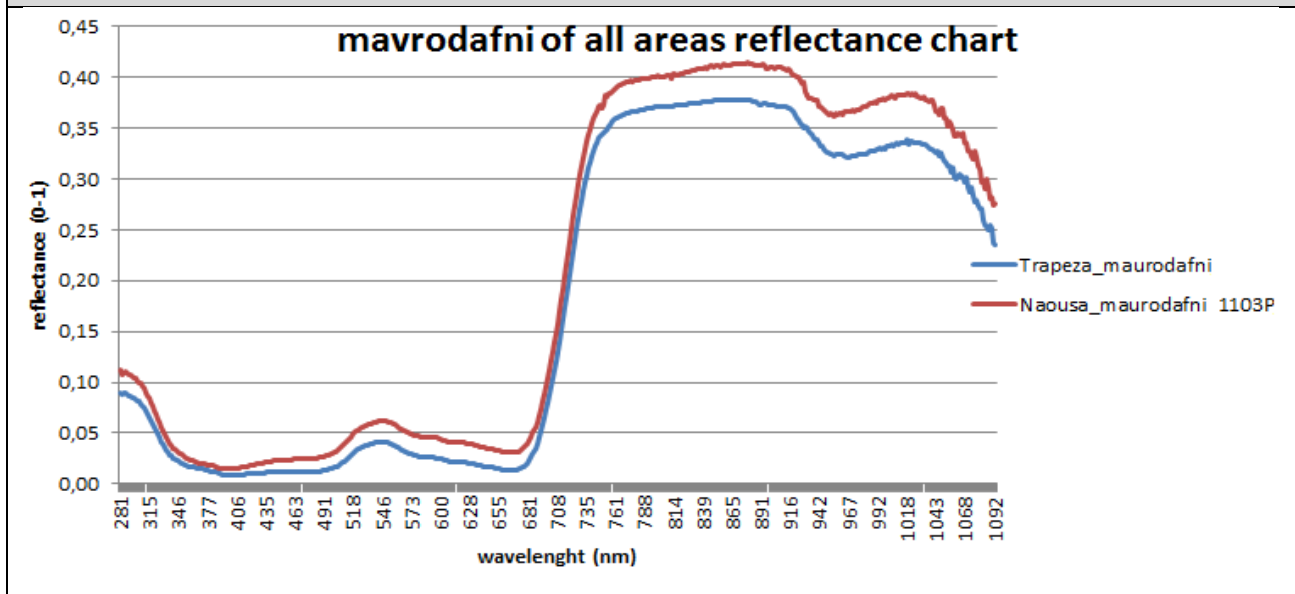
Στο διάγραμμα 4.1.19 απεικονίζονται οι καμπύλες ανακλαστικότητας της ποικιλίας sauvignon blanc που προέκυψαν από μετρήσεις στις περιοχές της Νάουσας και της Αταλάντης. Οι δύο καμπύλες παρουσιάζουν μεγάλο βαθμό συσχέτισης καθώς έχουν ίδια μορφή και χαμηλά ποσοστά διαφοροποίησης (1-5 %). Η καμπύλη που αντιστοιχεί στην περιοχή της Τράπεζας παρουσιάζει μεγαλύτερα ποσοστά ανακλαστικότητας συγκριτικά με την αντίστοιχη του Αμυνταίου κυρίως στο εύρος του ορατού πράσινου 520-560 (nm).

Διάγραμμα 4.1.20: Διάγραμμα ανακλαστικότητας ποικιλίας merlot περιοχών Νάουσας, Αταλάντης, Αμυνταίου και Τράπεζας



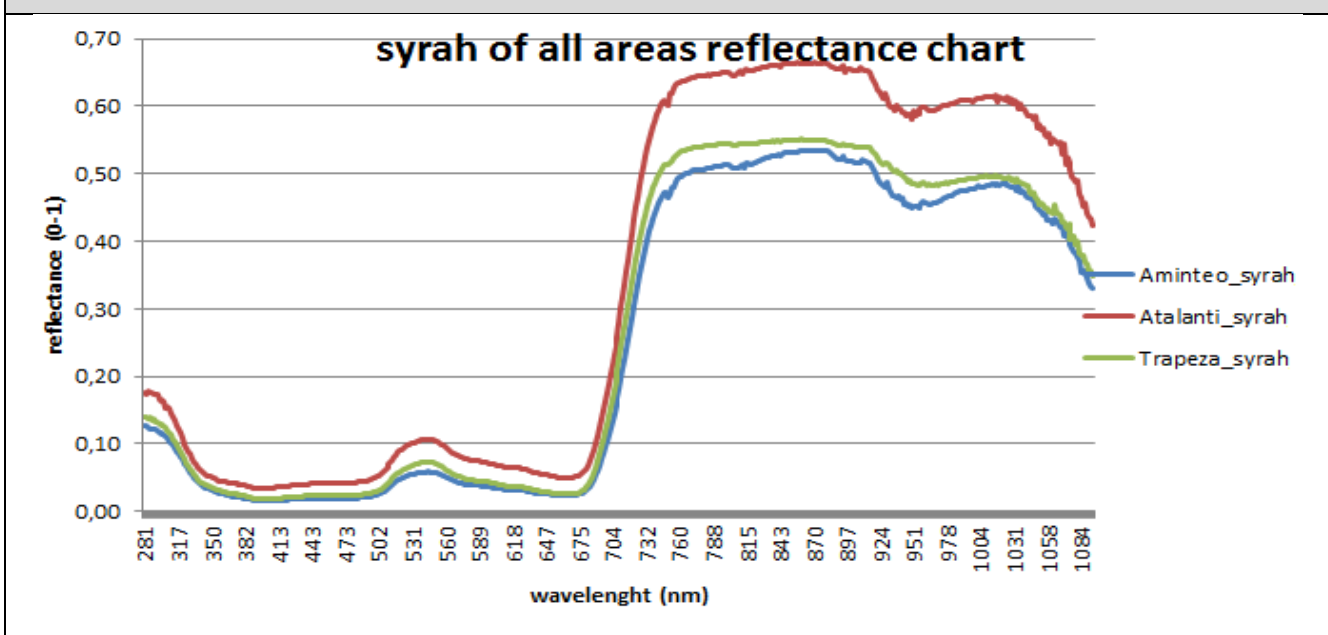
Στο διάγραμμα 4.1.20 απεικονίζονται οι καμπύλες ανακλαστικότητας της ποικιλίας merlot που προέκυψαν από μετρήσεις στις περιοχές της Νάουσας, του Αμυνταίου, της Τράπεζας και της Αταλάντης. Παρατηρείται ομοιομορφία των καμπύλων με εξαίρεση την καμπύλη του merlot της περιοχής της Αταλάντης, ωστόσο βάσει του πίνακα 4.1.1 ο αριθμός πρωτογενών μετρήσεων για την συγκεκριμένη ποικιλία της Αταλάντης δεν παρέχει αξιοπιστία. Η μεγάλη διαφοροποίηση των ποσοστών ανακλαστικότητας εντοπίζεται στο εύρος του εγγύς υπέρυθρου 770-1020 (nm) με την καμπύλη που αντιστοιχεί στην περιοχή της Τράπεζας να παρουσιάζει τις υψηλότερες τιμές.

Διάγραμμα 4.1.21: Διάγραμμα ανακλαστικότητας ποικιλίας μαυροδάφνη περιοχών Νάουσας και Τράπεζας



Στο διάγραμμα 4.1.21 παρουσιάζονται οι καμπύλες ανακλαστικότητας της ποικιλίας μαυροδάφνη για της μετρήσεις που καταγράφηκαν στις περιοχές της Νάουσας και της Αταλάντης. Οι καμπύλες παρουσιάζουν μεγάλο βαθμό συσχέτισης καθώς έχουν ίδια μορφή και χαμηλά ποσοστά διαφοροποίησης. Η καμπύλη που αντιστοιχεί στην περιοχή της Νάουσας παρουσιάζει μεγαλύτερα ποσοστά ανακλαστικότητας σε όλο το φάσμα και κυρίως στο εύρος του εγγύς υπέρυθρου 770-1020 (nm).

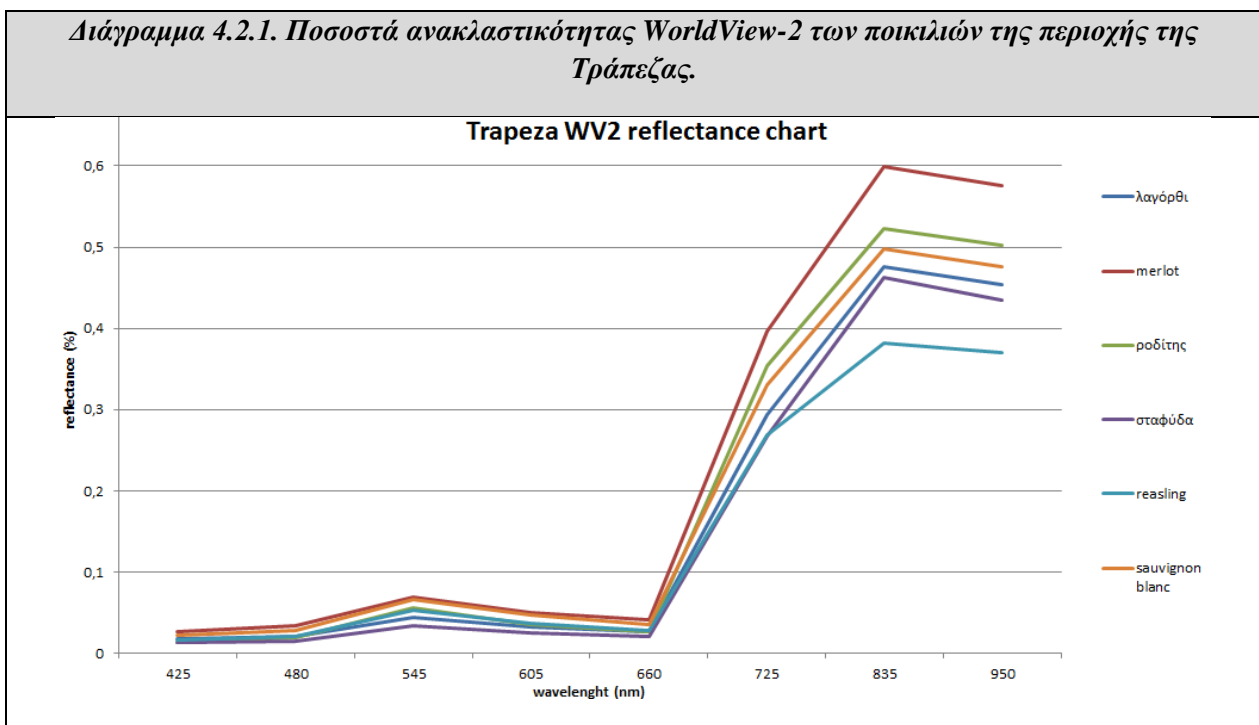
Διάγραμμα 4.1.22: Διάγραμμα ανακλαστικότητας ποικιλίας syrah περιοχών Αταλάντης, Αμυνταίου και Τράπεζας



Στο διάγραμμα 4.1.22 παρατίθενται οι καμπύλες ανακλαστικότητας της ποικιλίας syrah για της περιοχές του Αμυνταίου της Τράπεζας και της Αταλάντης. Οι καμπύλες παρουσιάζουν μεγάλο βαθμό συσχέτισης καθώς έχουν ίδια σχεδόν μορφή. Η καμπύλη που αντιστοιχεί στην περιοχή της Τράπεζας παρουσιάζει αλλά ίδια σχεδόν ποσοστά ανακλαστικότητας με την αντίστοιχη καμπύλη του Αμυνταίου, αλλά διαφοροποιείται ως προς την μορφή από τις άλλες 2 στο εύρος του εγγύς υπέρυθρου 770-1020 (nm). Στο εύρος αυτό η καμπύλη της Αταλάντης παρουσιάζει πολύ υψηλές τιμές και γενικά σε όλο το εύρος του φάσματος παρουσιάζει μεγαλύτερα ποσοστά τιμών από τις υπόλοιπες.

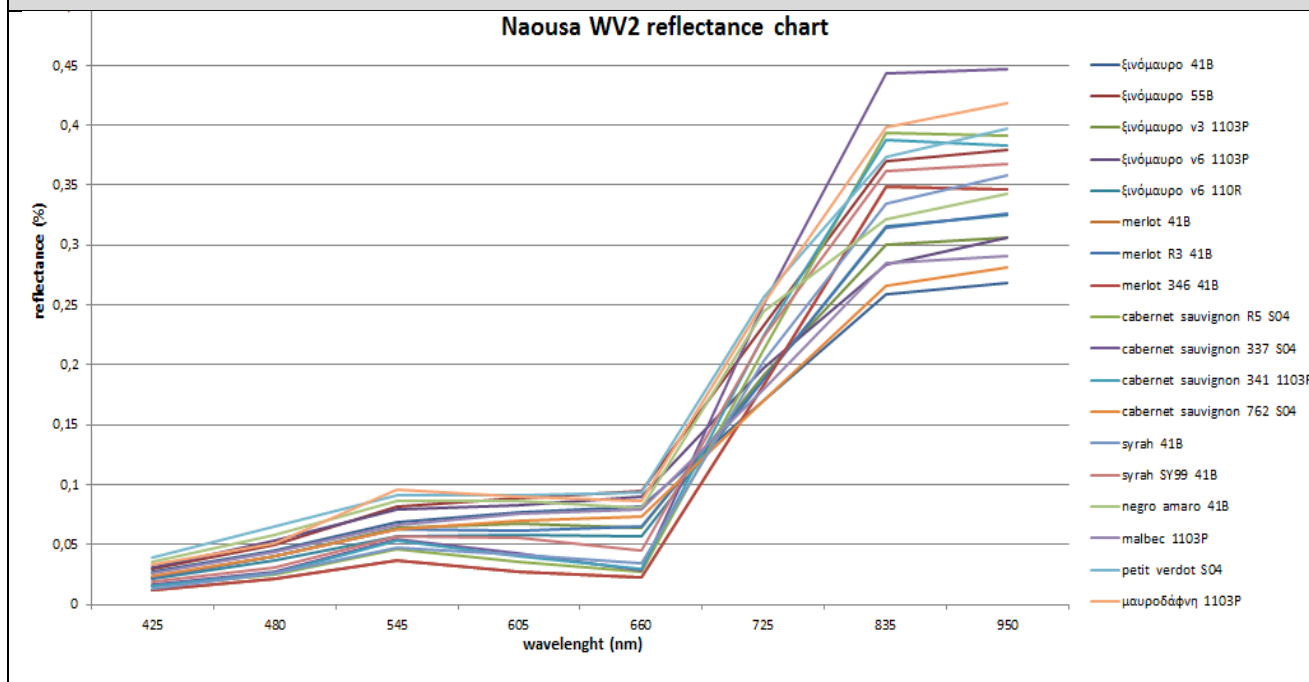
4.2. Ανάλυση Δεδομένων Δορυφορικών Εικόνων

Σε αυτήν την ενότητα θα γίνει ανάλυση και αξιολόγηση της φασματικής πληροφορίας ποικιλιών αμπέλου που προκύπτει από δορυφορικές εικόνες World View 2. Στόχος της ανάλυσης είναι η διερεύνηση του βαθμού διάκρισης και συσχέτισης των δεδομένων ως προς το είδος του στόχου και ως προς το μήκος κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Θα χρησιμοποιηθούν ατμοσφαιρικά διορθωμένα δεδομένα ανακλαστικότητας τα οποία είναι κατάλληλα για την σύγκριση στόχων διαφορετικών περιοχών. Η παραγωγή των δεδομένων αυτών αναλύεται στην ενότητα **3.2.1**. Ειδικότερα θα συγκριθεί φασματική πληροφορία μεταξύ ποικιλιών που απεικονίζονται σε διαφορετικές εικόνες και θα διερευνηθεί ο βαθμός συσχέτισης τους. Για την εφαρμογή των παραπάνω επεξεργασιών υπολογίσθηκαν αντιπροσωπευτικές τιμές μέσω όρων για τις κοινές ποικιλίες κάθε περιοχής βάσει των δεδομένων δειγματοληψίας, που αναλύονται στο κεφάλαιο **3.2.2**. Τα δεδομένα αυτά μελετήθηκαν μεμονωμένα και ως προς το σύνολό τους με τη χρήση διαγραμμάτων. Στη συνέχεια παρατίθενται διαγράμματα ανακλαστικότητας των αντιπροσωπευτικών διανυσμάτων των ποικιλιών ανά περιοχή μελέτης.



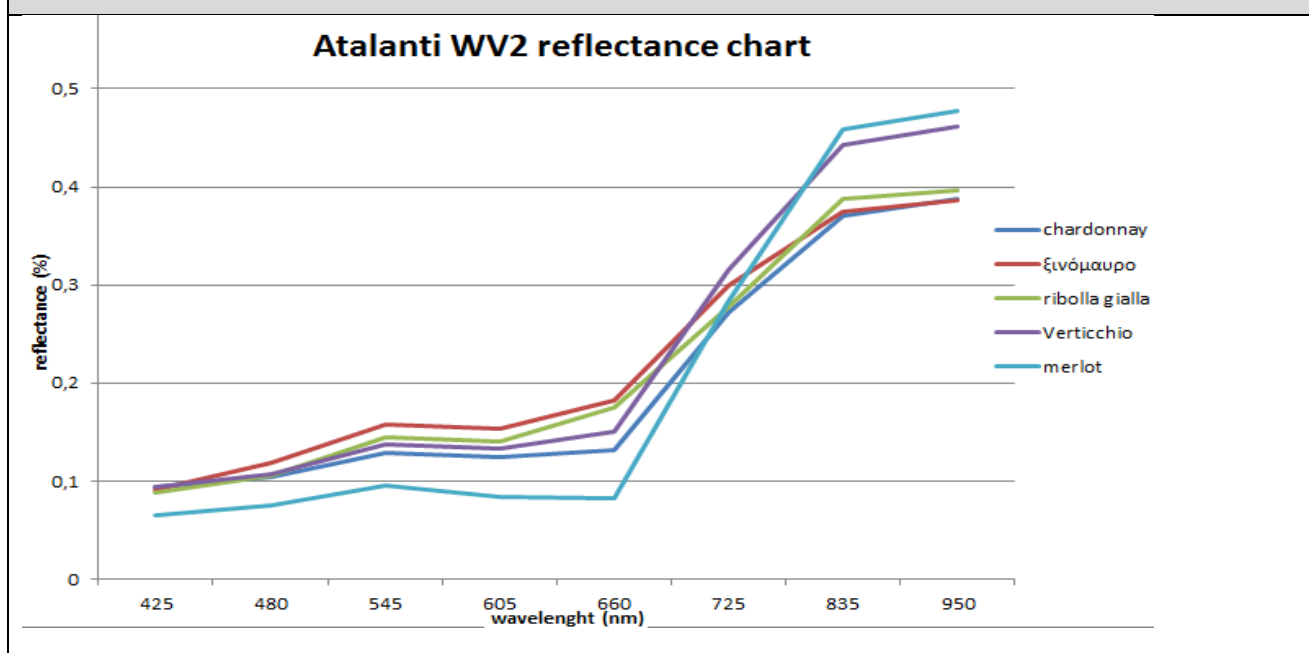
Στο διάγραμμα **4.2.1** παρατίθενται οι καμπύλες φασματικών υπογραφών των ποικιλιών της περιοχής της Τράπεζας. Γενικά παρατηρείται μικρή διακύμανση τιμών και μεγάλη ομοιομορφία των καμπύλων ανακλαστικότητας με εξαίρεση τις ποικιλίες merlot και riesling. Συγκριτικά με τις υπόλοιπες, η ποικιλία merlot παρουσιάζει πολύ υψηλές τιμές ανακλαστικότητας στα υπέρυθρα κανάλια 7 και 8 ενώ η ποικιλία riesling πολύ χαμηλές. Στο κανάλι 3 που αντιστοιχεί στο ορατό πράσινο τις χαμηλότερες τιμές παρουσιάζει η ποικιλία της σταφύδας. Τα συμπεράσματα αυτά συμφωνούν με όσα προέκυψαν από την ανάλυση των δεδομένων του φασματοραδιομέτρου της προηγούμενης ενότητας.

Διάγραμμα 4.2.2. Ποσοστά ανακλαστικότητας WorldView-2 των ποικιλιών της περιοχής της Νάουσας.



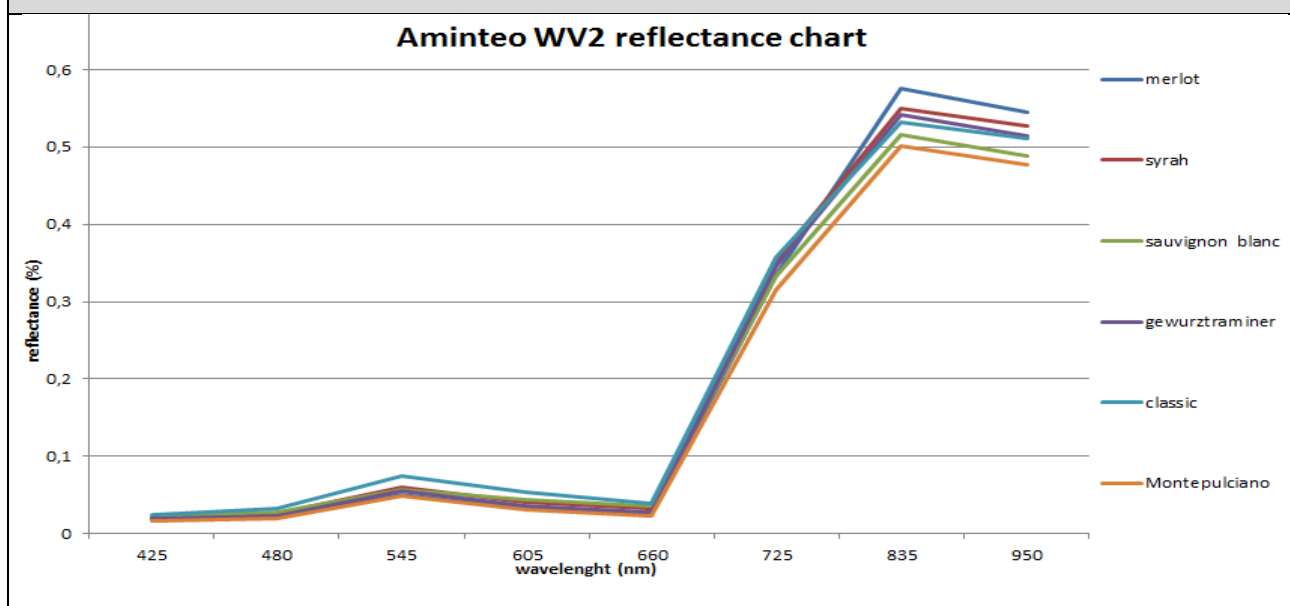
Στο διάγραμμα 4.2.2 παρουσιάζονται οι φασματικές υπογραφές των ποικιλιών της περιοχής της Νάουσας. Γενικά παρατηρείται ομοιομορφία των καμπυλών και οι τιμές ανακλαστικότητας παρουσιάζουν διαφοροποίηση στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου (κανάλια 7 και 8) η οποία κυμαίνεται σε ποσοστά της τάξης του 20% με εξαίρεση ορισμένων ποικιλιών οι οποίες παρουσιάζουν τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές. Τις υψηλότερες τιμές στην περιοχή παρουσιάζει η ποικιλία cabernet sauvignon 337 S04 με αμέσως επόμενη την ποικιλία cabernet sauvignon S04 762, ενώ αντίστοιχα τις χαμηλότερες η ποικιλία cabernet sauvignon S04 1000 και cabernet sauvignon 341 1103P. Έντονη διαφοροποίηση μεταξύ ίδιων ποικιλιών αλλά διαφορετικών κλώνων και υποκειμένων εντοπίζεται για τις ποικιλίες cabernet sauvignon. Οι παρατηρήσεις αυτές συμφωνούν με τις αντίστοιχες των δεδομένων του φασματοραδιομέτρου.

Διάγραμμα 4.2.3. Ποσοστά ανακλαστικότητας WorldView-2 των ποικιλιών της περιοχής της Αταλάντης.



Στο διάγραμμα 4.2.3 απεικονίζονται οι καμπύλες φασματικών υπογραφών των ποικιλιών της περιοχής της Αταλάντης. Γενικά παρατηρείται ομοιομορφία των καμπυλών και οι τιμές ανακλαστικότητας παρουσιάζουν διαφοροποίηση στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου (κανάλια 7 και 8) η οποία κυμαίνεται σε ποσοστά της τάξης του 20% με εξαίρεση ορισμένων ποικιλιών οι οποίες παρουσιάζουν τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές. Τις υψηλότερες τιμές στην περιοχή παρουσιάζει η ποικιλία cabernet sauvignon 337 S04 με αμέσως επόμενη την ποικιλία cabernet sauvignon S04 762, ενώ αντίστοιχα τις χαμηλότερες η ποικιλία cabernet sauvignon S04 1000 και cabernet sauvignon 341 1103P. Έντονη διαφοροποίηση μεταξύ ίδιων ποικιλιών αλλά διαφορετικών κλώνων και υποκειμένων εντοπίζεται για τις ποικιλίες cabernet sauvignon. Οι παρατηρήσεις αυτές συμφωνούν με τις αντίστοιχες των δεδομένων του φασματοραδιομέτρου.

Διάγραμμα 4.2.4. Ποσοστά ανακλαστικότητας WorldView-2 των ποικιλιών της περιοχής του Αμυνταίου.



Στο διάγραμμα 4.2.3 απεικονίζονται οι καμπύλες φασματικών υπογραφών των ποικιλιών της περιοχής της Αταλάντης. Οι ποικιλίες παρουσιάζουν περίπου τα ίδια ποσοστά ανακλαστικότητα ανά μήκος κύματος με εξαίρεση τις ποικιλίες merlot και monterpulciano. Συγκριτικά με τις υπόλοιπες ποικιλίες η ποικιλία classic παρουσιάζει υψηλές τιμές στο κανάλι 4 που αντιστοιχεί στο ορατό κίτρινο ενώ η ποικιλία merlot παρουσιάζει πολύ υψηλές στα υπέρυθρα κανάλια 7 και 8. Γενικά η μεγαλύτερη διακύμανη τιμών μεταξύ όλων των ποικιλιών παρατηρείται στα υπέρυθρα κανάλια 7 και 8.

Για την αξιολόγηση και τον ποιοτικό έλεγχο των παραπάνω δεδομένων διερευνήθηκε ο βαθμός συσχέτισής τους με τα προσομοιωμένα δεδομένα του φασματοραδιομέτρου για τα οποία έγινε ανάλυση στο κεφάλαιο 3.1.3. Η συσχέτιση των φασματικών υπογραφών εκτελέσθηκε με την εφαρμογή μοντέλου απλής γραμμικής παλινδρόμησης. Την εξαρτημένη μεταβλητή Y του μοντέλου υλοποίησαν τα προσομοιωμένα δεδομένα του φασματοραδιομέτρου τα οποία αποτέλεσαν δεδομένα αναφοράς ενώ την εξηγηματική μεταβλητή X τα δεδομένα του WorldView-2. Η μαθηματική σχέση που χρησιμοποιείται στο μοντέλο αυτό είναι η παρακάτω:

$$Y = X\beta + \epsilon$$

Όπου:

Y: διάνυσμα(8x1) τιμών εξαρτημένης μεταβλητής

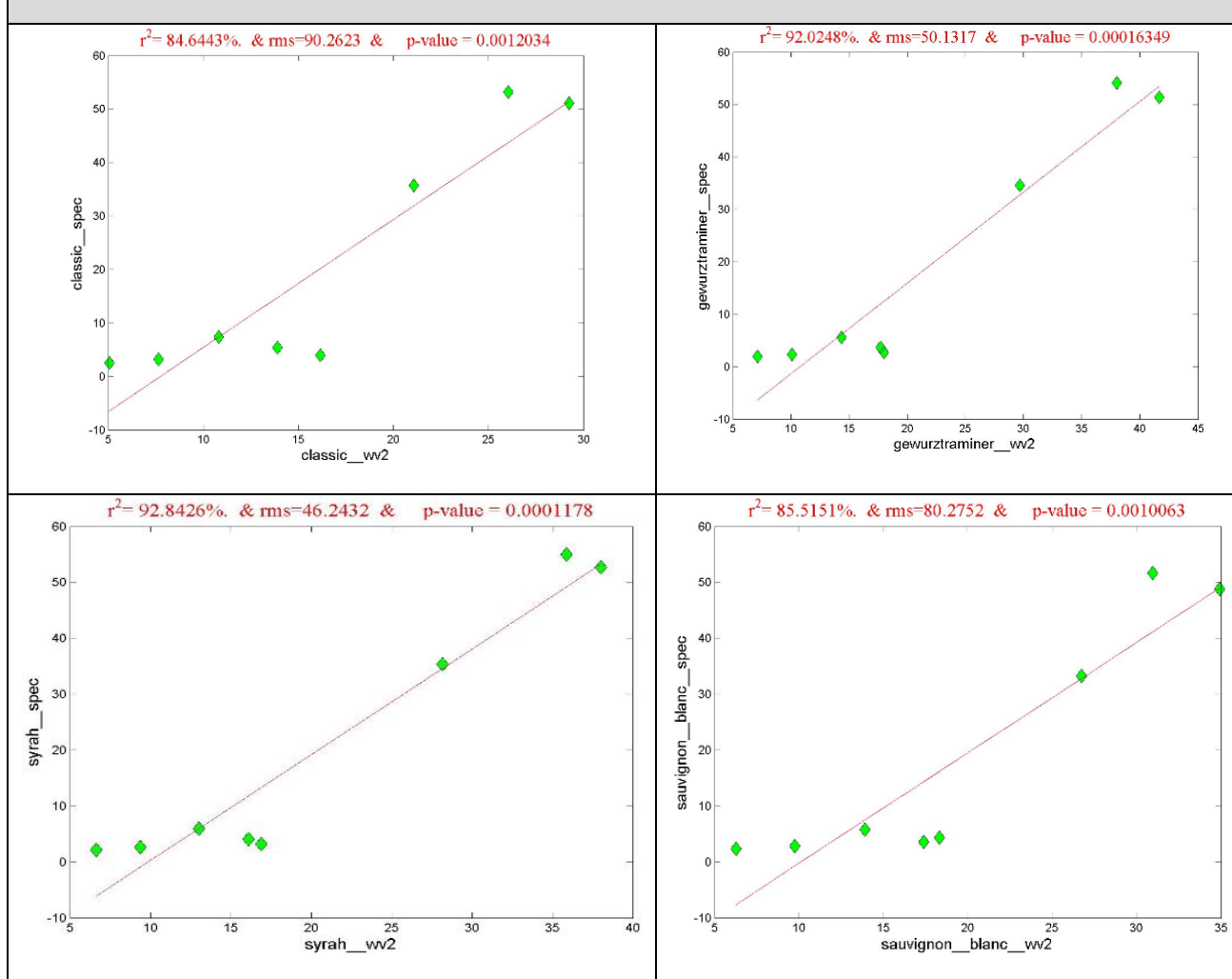
X: διάνυσμα(8x2) με πρώτη στήλη συντελεστές βάρους (μονάδα στην προκειμένη περίπτωση) και δεύτερη στήλη τις τιμές της ανεξάρτητης μεταβλητής

β:διάνυσμα(2x1) σταθερών όρων που αντιστοιχούν στην τεταγμένη και την κλίση

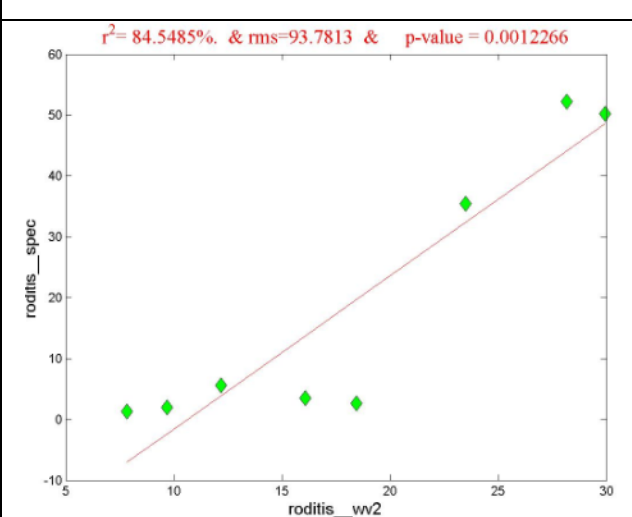
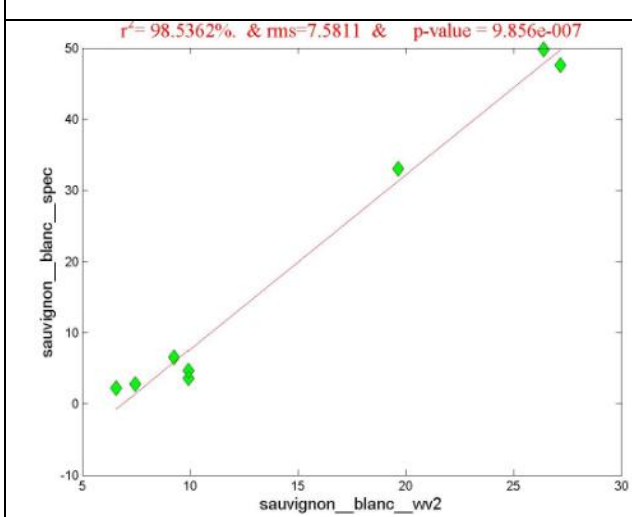
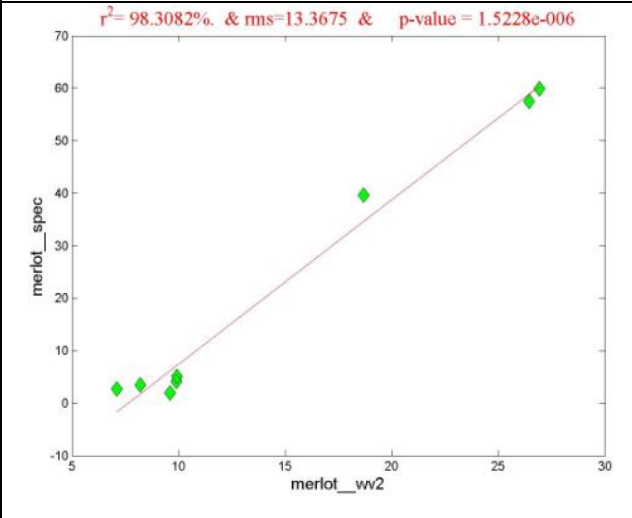
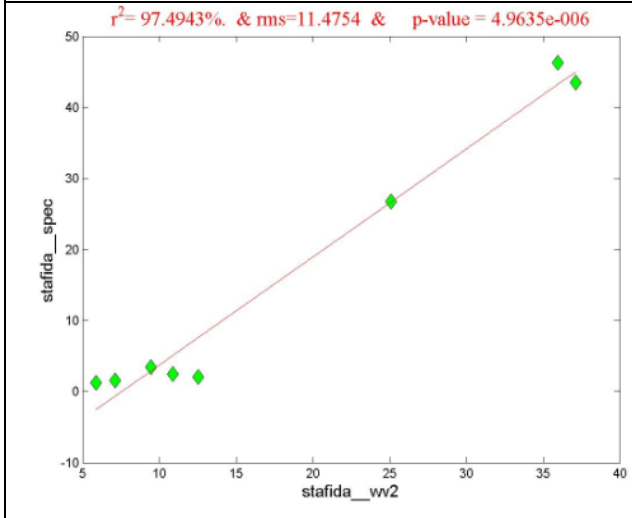
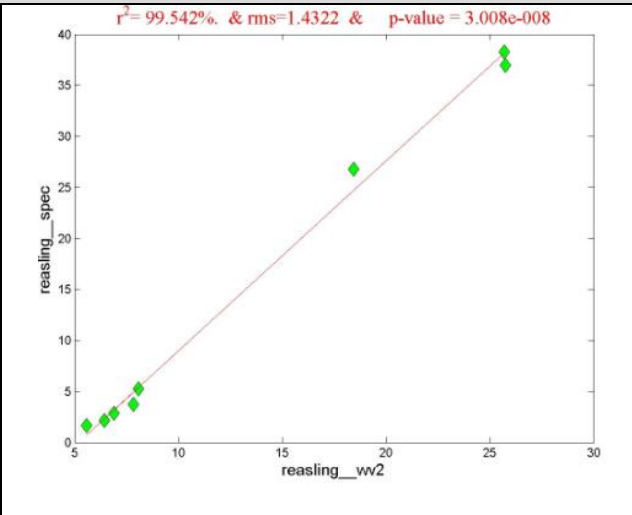
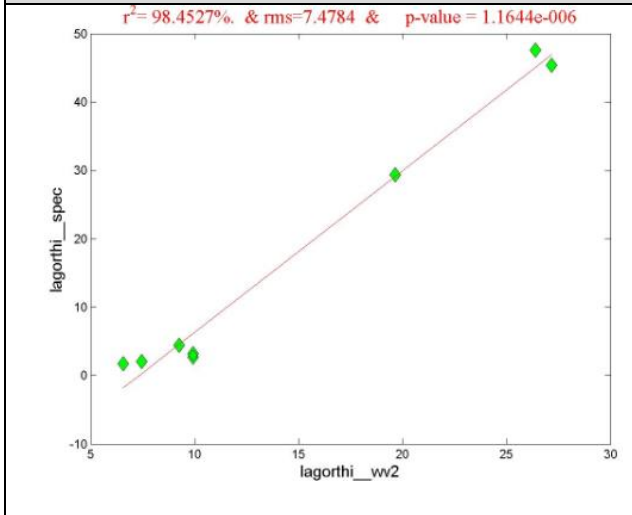
ε: διάνυσμα(8x1) υπολοίπων ή εκτιμημένων σφαλμάτων

Για τα διανύσματα αυτά υπολογίστηκε η καμπύλη βέλτιστης προσαρμογής καθώς και οι δείκτες γραμμικής συσχέτισης r^2 , p-value και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα rms. Η διαδικασία υπολογισμού εκτελέστηκε σε περιβάλλον matlab. Πρέπει να αναφερθεί πως και τα διανύσματα και των δύο ειδών δεδομένων υπολογίστηκαν ως μέσοι όροι τιμών. Τα διανύσματα που προέκυψαν από τις εικόνες υπολογίστηκαν ως μέσος όρος 9 γειτονικών εικονοστοιχείων γύρω από την ένδειξη του grs ενώ τα διανύσματα που προέκυψαν από τα προσομοιωμένα δεδομένα του φασματοραδιόμετρου υπολογίστηκαν ως μέσος όρος μετρήσεων της ίδιας ποικιλίας. Στη συνέχεια παρατίθενται τα αποτελέσματα σε μορφή διαγραμμάτων για την κάθε περιοχή μελέτης. Απεικονίζονται η καμπύλη προσαρμογής, τα διανύσματα των δεδομένων φασματοραδιομέτρου και WorldView-2 της συγκεκριμένης ποικιλίας και οι δείκτες συσχέτισης.

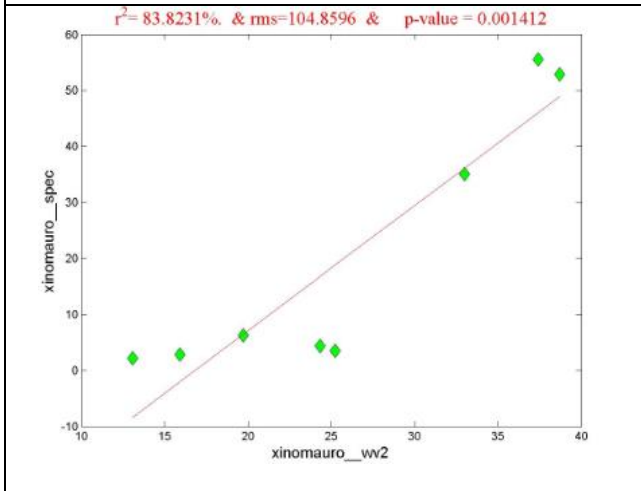
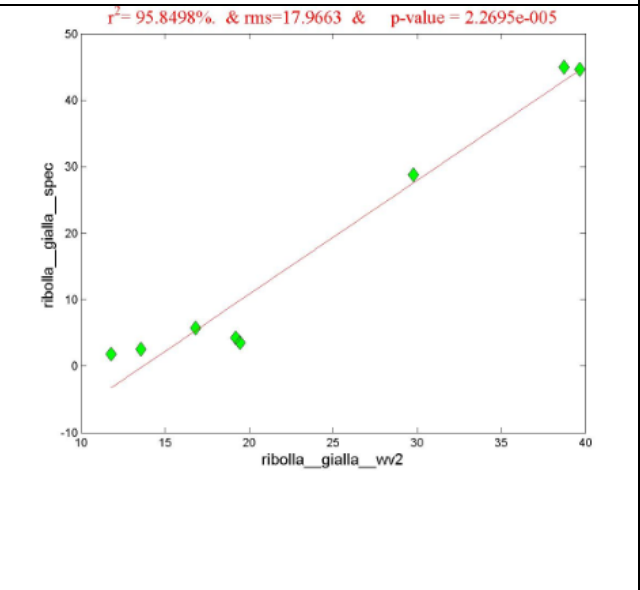
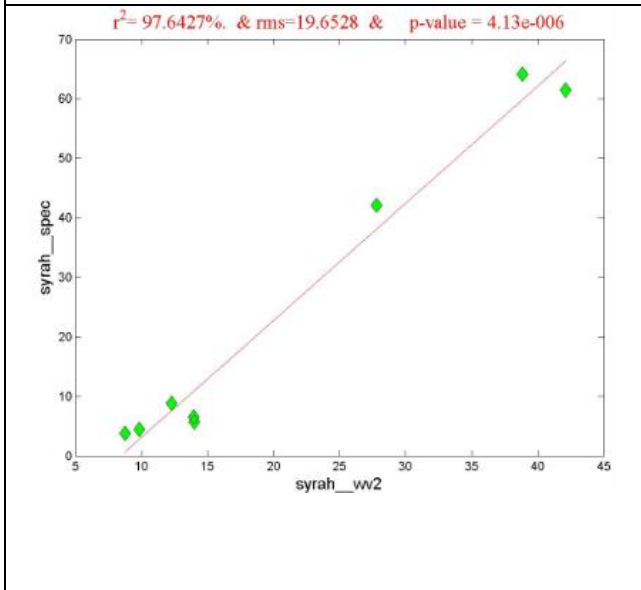
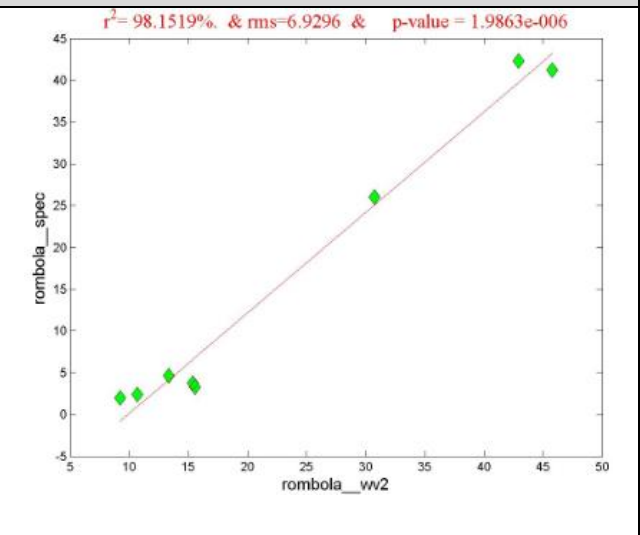
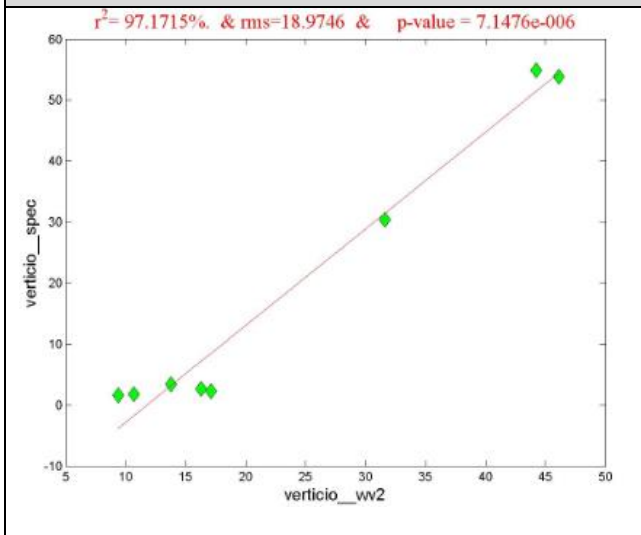
Πίνακας 4.2.1. :Συσχέτιση δεδομένων WorldView-2 των ποικιλιών της περιοχής του Αμυνταίου.



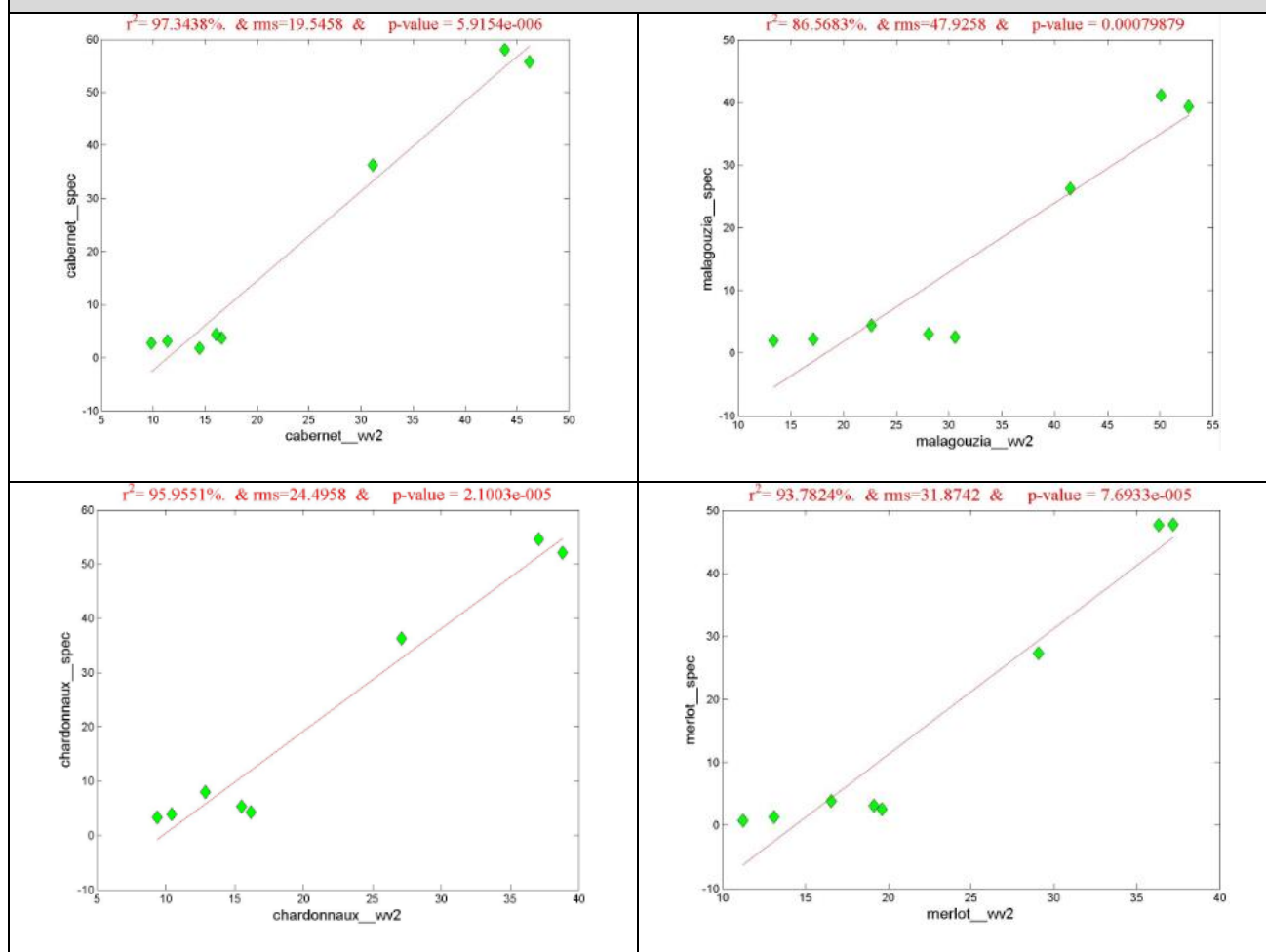
Πίνακας 4.2.2. :Συσχέτιση δεδομένων WorldView-2 των ποικιλιών της περιοχής της Τράπεζας.



Πίνακας 4.2.3(α): Συσχέτιση δεδομένων WorldView-2 των ποικιλιών της περιοχής της Αταλάντης.



Πίνακας 4.2.3(β) :Συσχέτιση δεδομένων WorldView-2 των ποικιλιών της περιοχής της Αταλάντης.



Από τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτει πως τα ποσοστά συσχέτισης των δεδομένων εδάφους με τα δορυφορικά δεδομένα είναι υψηλά. Συγκριτικά παρατίθενται τα αποτελέσματα ανα περιοχή στον παρακάτω πίνακα (4.2.4).

Πίνακας 4.2.4 :Αποτελέσματα συσχέτισης δεδομένων εδάφους με δορυφορικά δεδομένα

Περιοχές μελέτης	Δείκτης R^2	P-VALUE
Τράπεζα	84-98%	<1,2%
Αταλάντη	83-97%	<1,4%
Νάουσα	89-99%	<0,3%
Αμύνταιο	85-92%	<1%

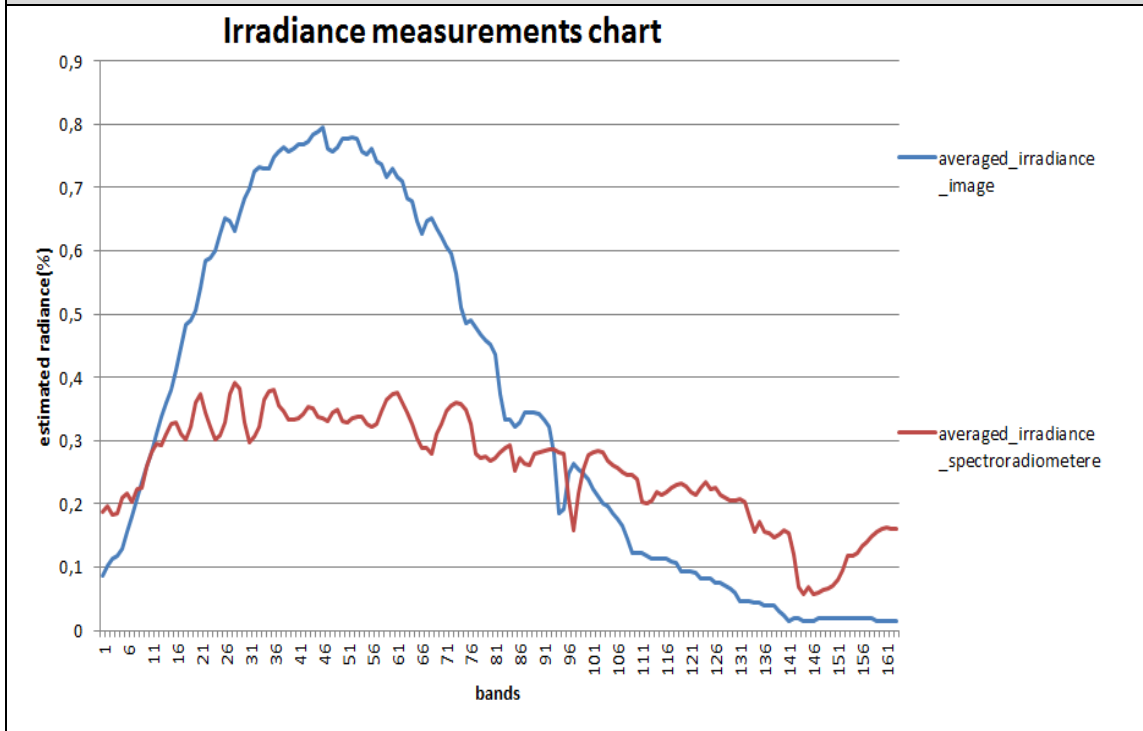
4.3. Ανάλυση και Συσχέτιση Δεδομένων Υπερφασματικής Κάμερας

Στην ενότητα αυτή θα γίνει συσχέτιση μεταξύ της φασματικής πληροφορίας αμπέλου που προκύπτει από τα υπερφασματικά δεδομένα της κάμερας Micro-Hyperspec-VNIR A1 και της φασματικής πληροφορίας που καταγράφηκε από το φασματοραδιόμετρο. Στόχος είναι η διερεύνηση του βαθμού διάκρισης και συσχέτισης των δεδομένων ως προς το μήκος κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Συγκεκριμένα τα δεδομένα αυτά αναφέρονται στην ποικιλία Αγιωργίτικου της αμπελοαποκαλλιέργειας της Νεμέας. Η συσχέτιση των φασματικών υπογραφών εκτελέστηκε με την εφαρμογή μοντέλου απλής γραμμικής παλινδρόμησης. Την εξαρτημένη μεταβλητή Y του μοντέλου υλοποίησαν τα δεδομένα του φασματοραδιομέτρου τα οποία αποτέλεσαν δεδομένα αναφοράς ενώ την επεξηγηματική μεταβλητή X τα δεδομένα της υπερφασματικής κάμερας.

Για να είναι συγκρίσιμα τα δύο είδη δεδομένων πρέπει να αναφέρονται σε κοινό φασματικό εύρος. Για το λόγο αυτό είναι αναγκαία η μεθοδολογία προσομοίωσης των δεδομένων του φασματοραδιομέτρου στο φασματικό εύρος της υπερφασματικής κάμερας. Για την υλοποίηση της προσομοίωσης χρησιμοποιήθηκε η καμπύλη κανονική κατανομής για την παρεμβολή τιμών από τα εύρη μήκους κύματος του φασματοραδιομέτρου σε κάθε μήκος κύματος της υπερφασματικής κάμερας. Συγκεκριμένα για κάθε τιμή κέντρου μήκους κύματος των 162 καναλιών της φασματικής κάμερας υπολογίστηκαν συντελεστές βάσει της καμπύλης κανονικής κατανομής για που αντιστοιχούν σε κάθε μήκος κύματος καταγραφής του ραδιομέτρου το οποίο διαφέρει από το κέντρο μήκους κύματος. Για κάθε μήκος κύματος του ραδιομέτρου υπολογίστηκε ένας συντελεστής, ανάλογα με την διαφορά που έχει το συγκεκριμένο μήκος κύματος φασματοραδιομέτρου από το κέντρο μήκος κύματος της υπερφασματικής κάμερας. Η διαδικασία επαναλήφθηκε για τα 162 κέντρα μηκών κύματος της υπερφασματικής κάμερας με τις τιμές των συντελεστών να υπολογίζονται μέσω παρεμβολής επί της καμπύλης κανονικής κατανομής όπου τιμή 1 δόθηκε για μηδενική διαφορά μηκών κύματος και τιμή 0 για διαφορά μεγαλύτερη των 8 nm (διπλάσια του f_{width} της υπερφασματικής κάμερας). Με με χρήση των 512 συντελεστών που προέκυψαν, υπολογίστηκαν 162 βεβαρυμμένοι μέσοι όροι των τιμών του φασματοραδιομέτρου, οι οποίοι αντιστοιχίζονται στα κέντρα μηκών κύματος της υπερφασματικής κάμερας.

Για να εξασφαλιστεί η ορθότητα των αποτελεσμάτων της συσχέτισης, η διαδικασία προσομοίωσης πρέπει να εφαρμοστεί σε τιμές ανακλαστικότητας των δύο μέσων καταγραφής ώστε να υπάρχει ανεξαρτησία των μετρήσεων από τις συνθήκες φωτισμού. Οι τιμές ανακλαστικότητας του φασματοραδιομέτρου προσδιορίστηκαν με μεθοδολογία που αναλύεται στο κεφάλαιο 3.1.1, ωστόσο τα πρωτογενή δεδομένα της υπερφασματικής κάμερας καταγράφουν ανακλώμενη ακτινοβολία και δεν υπήρχαν μετρήσεις δειγμάτων αναφοράς για τον προσδιορισμό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας (irradiance), που θα επέτρεπαν την απευθείας αναγωγή σε τιμές ανακλαστικότητας. Επιχειρήθηκε λοιπόν η παραγωγή εικόνας ανακλαστικότητας με δεδομένα αναφοράς προσπίπτουσας ακτινοβολίας τον μέσο όρο τιμών ανά μήκος κύματος εικονοστοιχείων της εικόνας, τα οποία παρατηρήθηκε ότι ανακλούν πολύ υψηλά σε όλα τα κανάλια. Βάσει του διανύσματος τιμών που προέκυψε διαιρέθηκε η εικόνα της υπερφασματικής κάμερας με στόχο την δημιουργία εικόνας ανακλαστικότητας. Το αποτέλεσμα κρίθηκε αναξιόπιστο καθώς συγκρίθηκαν τα δεδομένα irradiance στις περιοχές τις εικόνας όπου έγιναν μετρήσεις προσπίπτουσας ακτινοβολίας και οι διαφορές που παρατηρήθηκαν ήταν πολύ μεγαλύτερες από τις αναμενόμενες. Επιπρόσθετα υπολογίστηκαν η καμπύλες μέσων όρων εκτίμησης προσπίπτουσας ακτινοβολίας οι οποίες παρατίθενται στην συνέχεια.

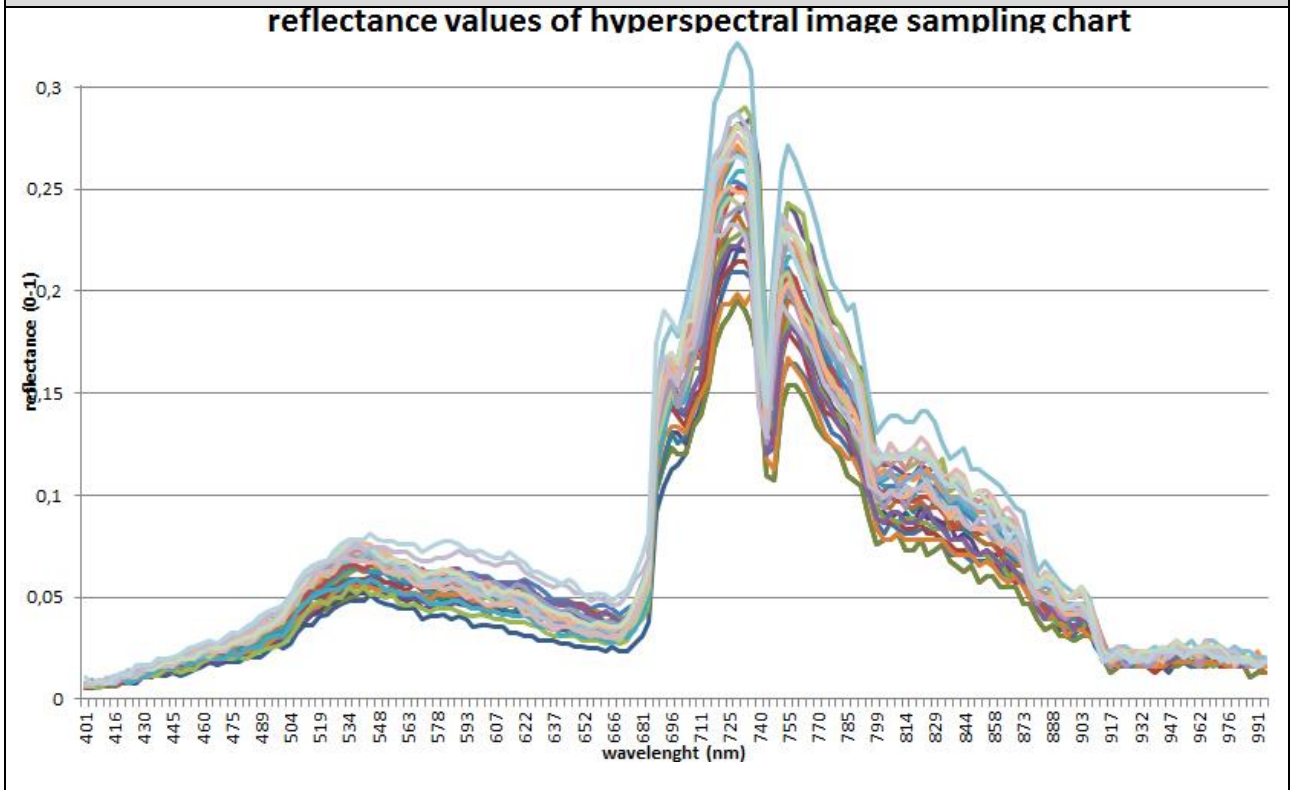
Εικόνα 4.3.1: Μέσος όρος εκτίμησης προσπίπτουσας ακτινοβολίας για τους δύο αισθητήρες



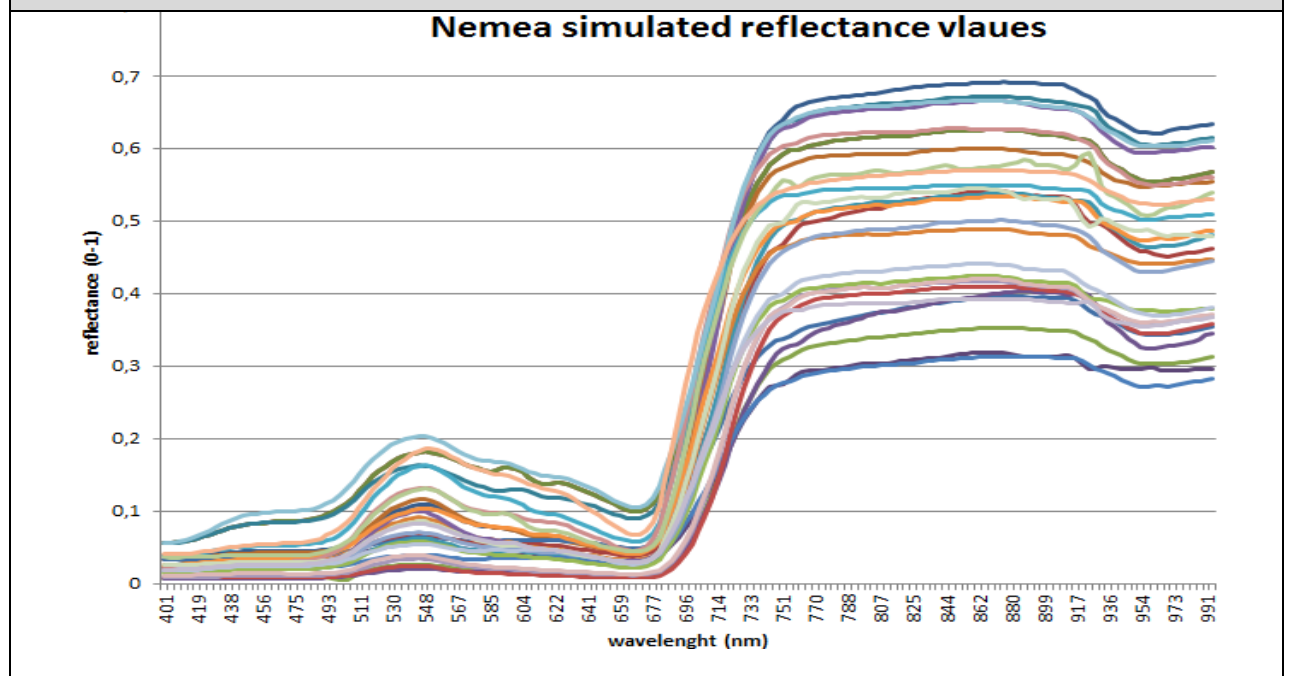
Στην παραπάνω εικόνα (εικόνα 4.3.1.) παρουσιάζονται οι καμπύλες εκτίμησης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας όπως εκτιμήθηκε βάσει των δεδομένων της υπερφασματικής κάμερας (μπλε καμπύλη) και των μετρήσεων του φασματοραδιομέτρου αντίστοιχα (κόκκινη καμπύλη). Οι τιμές αυτές προέκυψαν από το υπολογισμό μέσου όρου τιμών για τα 29 στοιχεία που υπάρχουν κοινές μετρήσεις αντικειμένων από τους δύο αισθητήρες και ανήχθησαν σε εύρος 0-1 βάσει της μέγιστης τιμής που καταγράφηκε. Παρατηρείται πως οι τιμές που προέκυψαν από τα εικονοστοιχεία της εικόνας είναι πολύ χαμηλότερες στα κανάλια του ορατού φάσματος και αρκετά υψηλότερες στα υπέρυθρα κανάλια. Βασική αιτία αυτής της διαφοροποίησης είναι το γεγονός καταγραφής των δεδομένων με σημαντική χρονική διαφορά κατά την οποία οι συνθήκες περιβάλλοντος της περιοχής και κυρίως οι συνθήκες φωτισμού μεταβλήθηκαν. Επιπρόσθετα η διαφοροποίηση αυτή πιθανόν οφείλεται και στο ότι οι τιμές των εικονοστοιχείων που επιλέχθηκαν ως δείγματα αναφοράς της εικόνας, ήταν υψηλές αλλά δεν προσέγγιζαν τις τιμές προσπίπτουσας ακτινοβολίας στα κανάλια ορατού φάσματος, ενώ στα υπέρυθρα κανάλια, υπήρχε μεγάλη συμβολή θορύβου στις τιμές των συγκεκριμένων εικονοστοιχείων.

Βάσει των παραπάνω αποτελεσμάτων η παραγόμενη εικόνα ανακλαστικότητας κρίθηκε ραδιομετρικά μη αποδεκτή. Για τον λόγο αυτό η διερεύνηση του βαθμού συσχέτισης υλοποιήθηκε με παραγωγή δεδομένων ανακλαστικότητας στα 29 σημεία δειγματοληψίας για τα οποία χρησιμοποιήθηκαν οι καταγραφές προσπίπτουσας ακτινοβολίας από το φασματοραδιόμετρο. Ωστόσο το πρόβλημα της χρονικής διαφοράς καταγραφής δεν μπόρεσε να αντιμετωπιστεί. Στη συνέχεια παρατίθενται τα διαγράμματα φασματικών υπογραφών ανακλαστικότητας των προσομοιωμένων δεδομένων του φασματοραδιομέτρου και των δεδομένων δειγματοληψίας της υπερφασματικής κάμερας που προέκυψαν με την παραπάνω διαδικασία (εικόνες 4.3.2 και 4.3.3).

Εικόνα 4.3.2.: Διάγραμμα ανακλαστικότητας δεδομένων υπερφασματικής κάμερας.

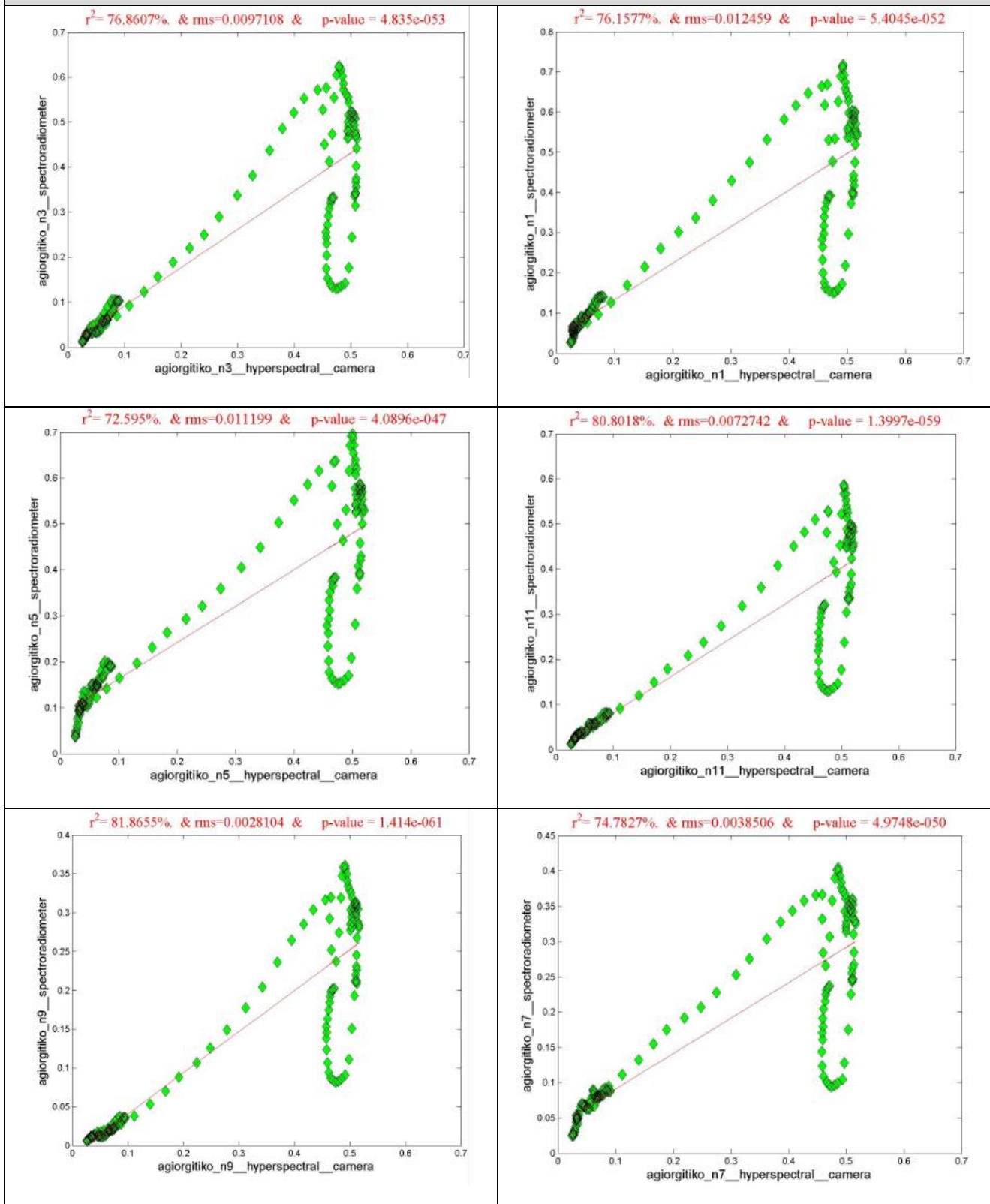


Εικόνα 4.3.3.: Διάγραμμα δεδομένων φασματοραδιομέτρου προσομοιωμένων στο φασματικό εύρος της υπερφασματικής κάμερας

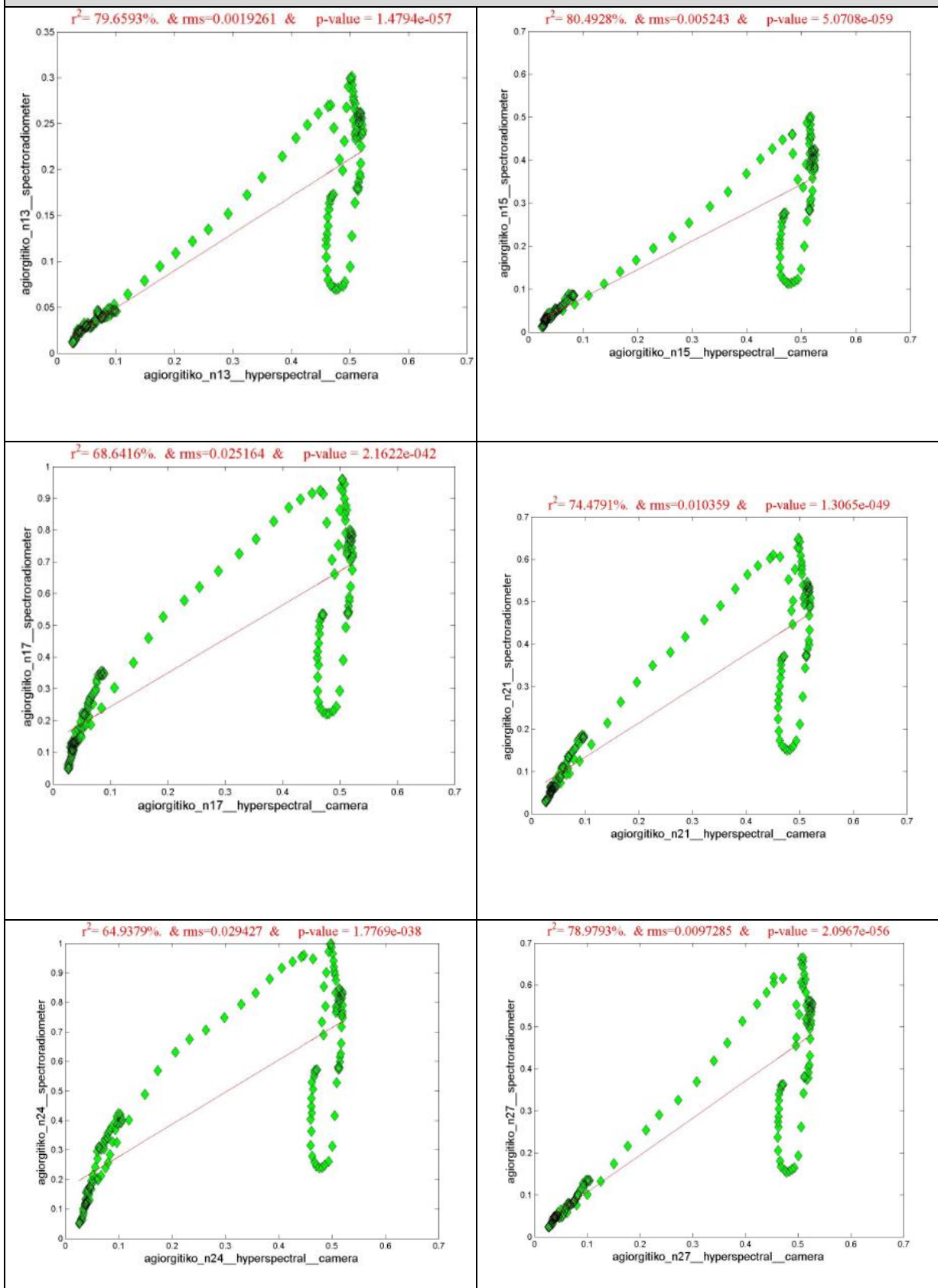


Τα αποτελέσματα συσχέτισης των παραπάνω δεδομένων τα οποία υπολογίσθηκαν σε περιβάλλον matlab, παρατίθενται σε μορφή διαγραμμάτων ενδεικτικά για τις 12 από τις 29 ποικιλίες Αγιοργίτικου. Απεικονίζονται η καμπύλη προσαρμογής, τα διανύσματα ανακλαστικότητας των δεδομένων φασματοραδιομέτρου και υπερφασματικής κάμερας της καθώς και οι δείκτες συσχέτισης.

Πίνακας 4.3.1.α): Συσχέτιση δεδομένων φασματοραδιομέτρου και υπερφασματικής κάμερας των ποικιλιών Αγιοργίτικου στην περιοχή της Νεμέας.



Πίνακας 4.3.1.β): Συσχέτιση δεδομένων φασματοραδιομέτρου και υπερφασματικής κάμερας των ποικιλιών Αγιωργίτικου στην περιοχή της Νεμέας.



5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Από την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας, τα πειραματικά αποτελέσματα και την αξιολόγησή τους προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα.

Βαθμός φασματικής διαφοροποίησης

- * Συγκεκριμένες ποικιλίες αμπέλου παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές στις φασματικές τους υπογραφές τόσο από μετρήσεις με φασματοραδιόμετρο χειρός όσο και από τις παρατηρήσεις σε δορυφορικά δεδομένα. Χαρακτηριστική ποικιλία είναι το ερυθρό Merlot.
- * Επίσης, ανά περιοχή μελέτης εξήχθησαν συμπεράσματα σε σχέση με τις διαφοροποιήσεις των ποικιλιών ανά περιοχή μελέτης (βλέπε πχ. Πίνακα 4.1.5).
- * Οι μετρήσεις σε διάφορα αμπέλια με το φασματοραδιόμετρο χειρός με διαφορετικές αποστάσεις στο φύλλωμα τους έδωσαν υψηλές μεταξύ τους συσχετίσεις.

Βαθμός συσχέτισης ίδιων ποικιλιών σε διαφορετικές περιοχές

- * Συγκεκριμένες ποικιλίες αμπέλου παρουσιάζουν σημαντικά υψηλό βαθμό συσχέτισης των φασματικών τους υπογραφών (με βάση μετρήσεις με το φασματοραδιόμετρο χειρός) σε διαφορετικές περιοχές και διαφορετικούς αμπελώνες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η ποικιλία Syrah και το Sauvignon Blanc.

Υψηλοί βαθμός συσχέτισης παρατηρήσεων σε διάφορες ποικιλίες αμπέλου μεταξύ φασματοραδιομέτρου, εναέριων υπερφασματικών και δορυφορικών δεδομένων

- * Οι συσχετίσεις μεταξύ των παρατηρήσεων που πραγματοποιήθηκαν με το φασματοραδιόμετρο χειρός και τις δορυφορικές εικόνες Worldview-2 κυμάνθηκαν από 83% μέχρι και 99%.
- * Οι συσχετίσεις μεταξύ των παρατηρήσεων που πραγματοποιήθηκαν με το φασματοραδιόμετρο χειρός και τα εναέρια υπερφασματικά δεδομένα κυμάνθηκαν από 65% μέχρι και 82%.

Υπολογισμός ανακλαστικότητας από τα εναέρια υπερφασματικά δεδομένα

- * Με τη χρήση ταυτόχρονων μετρήσεων με τον εναέριο υπερφασματικό αισθητήρα και το φασματοραδιόμετρο χειρός σε πολλαπλές περιοχές και αμπέλια είναι δυνατός σε ικανοποιητικό βαθμό ο υπολογισμός και εκτίμηση της ανακλαστικότητας των φυτών στα εναέρια υπερφασματικά δεδομένα.
- * Υπάρχει ανάγκη για περαιτέρω διερεύνηση και πειραματισμούς με διάφορες διατάξεις και διάφορα ύψη πτήσης για τον επιχειρησιακό τρόπο υπολογισμού της ανακλαστικότητας στα εναέρια υπερφασματικά δεδομένα.

Προτάσεις για περαιτέρω διερεύνηση

- * Περαιτέρω διερεύνηση για τον καθορισμό ενός γενικού μοντέλου και τρόπου μέτρησης του φυλλώματος. Η απόσταση, η γωνία λήψης και η γεωμετρία του φυλλώματος παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο κατά τη συλλογή των δεδομένων του φασματοραδιομέτρου χειρός.
- * Περαιτέρω συλλογή μετρήσεων από πολλαπλές περιοχές και σε πολυάριθμα φυτά με ταυτόχρονη αναλυτική καταγραφή της κατάστασής τους
- * Περαιτέρω συλλογή μετρήσεων σε διαφορετικές περιόδους για σύγκριση και συσχέτιση στις διαφορετικές περιόδους ανάπτυξης του φυτού
- * Περαιτέρω διερεύνηση και ανάπτυξη συστηματοποιημένης διαδικασίας για την επίλυση των ριοδιομετρικών, ατμοσφαιρικών και γεωμετρικών προβλημάτων στα εναέρια υπερφασματικά δεδομένα.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Meggio, F., Zarco-Tejada, P.J., Núñez, L.C., Sepulcre-Cantó, G., González, M.R., Martín, P. (2010). Grape quality assessment in vineyards affected by iron deficiency chlorosis using narrow-band physiological remote sensing indices. *Remote Sensing of Environment*, 114, 1968–1986
- Martín, P., Zarco-Tejada, P. J., González, M. R., & Berjón, A. (2007). Using hyperspectral remote sensing to map grape quality in ‘Tempranillo’ vineyards affected by iron chlorosis. *Vitis*, 46(1), 7–14
- Gamon, J. A., & Surfus, J. S. (1999). Assessing leaf pigment content and activity with a reflectometer. *New Phytologist*, 143, 105–117.
- Gitelson, A. A., Zur, Y., Chivkunova, O. B., & Merzlyak, M. N. (2002). Assessing carotenoid content in plant leaves with reflectance spectroscopy. *Journal of Photochemistry and Photobiology B-Biology*, 75, 272–281.
- Gitelson, A. A., Gritz, U., & Merzlyak, M. N. (2003). Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves. *Journal of Plant Physiology* , 160, 271-282.
- Haboudane, D., Miller, J.R., Pattey, E., Zarco-Tejada, P.J., Strachane, I.B. (2004). Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture. *Remote Sensing of Environment*, 90, 337–352.
- Hall, A., Lamb, D., Holzappel, B., Louis, J., (2002). Optical remote sensing applications in viticulture - a review, *Australian Journal of Grape and Wine Research*, vol.8, issue 1, pp. 36-77.
- Acevedo-Opazo, C., Tisseyre, B., Guillaume, S., & Ojeda, H., (2008). The potential of high spatial resolution information to define within vineyard zones related to vine water status, *Precision Agriculture*, vol. 9, pp. 285–302
- Stagakis, S., Markos, N., Sykioti, O., Kyparissis, A. (2010). Monitoring canopy biophysical and biochemical parameters in ecosystem scale using satellite hyperspectral imagery: An application on a *Phlomis fruticosa* Mediterranean ecosystem using multiangular CHRIS/PROBA observations, *Remote Sensing of Environment* , vol. 114, pp. 977–994.
- Archer, E., Hunter, J.J., (2005). Vine balance drive grape quality. *Practical Winery & vineyard*
- Zhan-yu Liu et al., (2010). Discrimination of rice panicles by hyperspectral reflectance data based on principal component analysis and support vector classification

7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

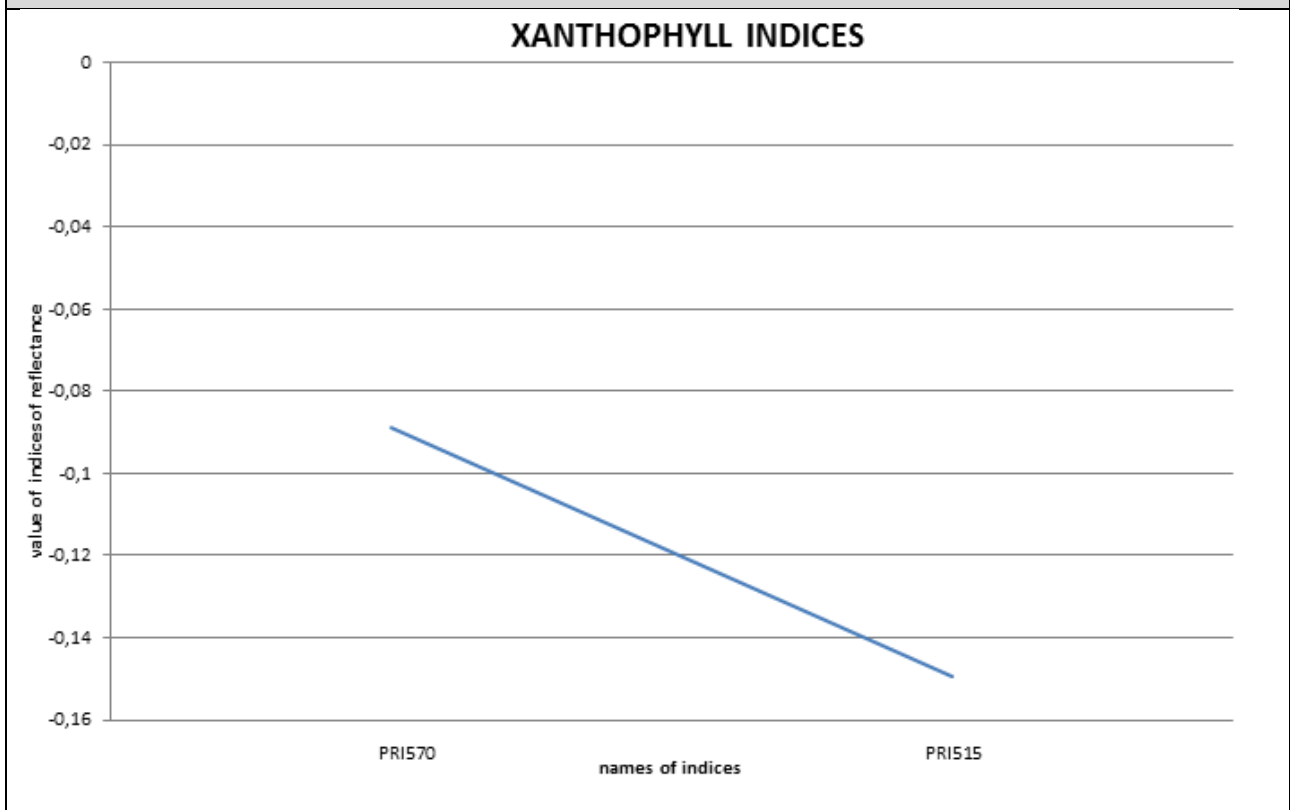
Πίνακας 1(α): ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ ΔΕΙΚΤΩΝ

Πίνακας 1(α): ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ ΔΕΙΚΤΩΝ			
Leaf area index			
Index id	name	Equation(nm)	Reference
CARI	Chlorophyll Absorption Ratio Index	$[R700] a670 + R670 + b] / [R670 \sqrt{a^2 + 1}]$, $a = (R700 - R550) / 150$, $b = R550 - a R 550$	Kim et al. (1994)
GI	Greenness Index	$R554/R677$	Zarco-Tejada et al. (2005)
GVI		$(R682 - R553) / (R682 + R553)$	Gandia et al. (2004)
MCARI	Modified Chlorophyll Absorption Ratio Index)	$[(R700 - R670) - 0.2(R700 - R550)] / (R700/R670)$	Daughtry et al. (2000)
MCARI2	Modified Chlorophyll Absorption Ratio Index)	$1.2[2.5(R800 - R670) - 1.3(R800 - R550)]$	Haboudane et al. (2004)
mNDVI	Modified Normalized Difference Vegetation Index	$(R800 - R680) / (R800 + R680 - 2R445)$	Sims and Gamon (2002)
mNDVI2	Modified Normalized Difference Vegetation Index	$(R750 - R705) / (R750 + R705 - 2R445)$	Sims and Gamon (2002)
MSAVI	Improved Soil Adjusted Vegetation Index	$0,5[2 R800 + 1 - \sqrt{(2 R800 + 1)^2 - 8(R800 - R670)}]$	Qi et al. (1994)
mSR	Modified Simple Ratio	$(R800 - R445) / (R680 - R445)$	Sims and Gamon (2002)
mSR2	Modified Simple Ratio	$(R750 - R445) / (R705 - R445)$	Sims and Gamon (2002)
MTCI	MERIS Terrestrial Chlorophyll index	$(R754 - R709) / (R709 - R681)$	Dash and Curran (2004)
mTVI	modified Triangular Vegetation Index	$1.2[1.2(R800 - R550) - 2.5(R670 - R550)]$	Haboudane et al. (2004)
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index	$(R800 - R670) / (R800 + R670)$	Tucker (1979)
NDVI2	Normalized Difference Vegetation Index	$(R750 - R705) / (R750 + R705)$	Gitelson and Merzlyak (1994)
OSAVI	Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index	$1.16(R800 - R670) / (R800 + R670 + 0.16)$	Rondeaux et al. (1996)
RDVI	Renormalized Difference Vegetation Index	$[(R800 - R670)] / (\sqrt{R800 + R670})]$	Roujean and Breon (1995)
REP	Red-Edge Position		Guyot et al. (1988)
SIPI	Structure Insensitive Pigment Index	$(R800 - R450) / (R800 - R650)$	Peñuelas et al. (1995)
SIPI2		$(R800 - R440) / (R800 - R680)$	Peñuelas et al. (1995)
SPVI	Spectral polygon vegetation index	$0.4[3.7(R800 - R670) - 1.2 R530 - R670]$	Vincini et al. (2006)

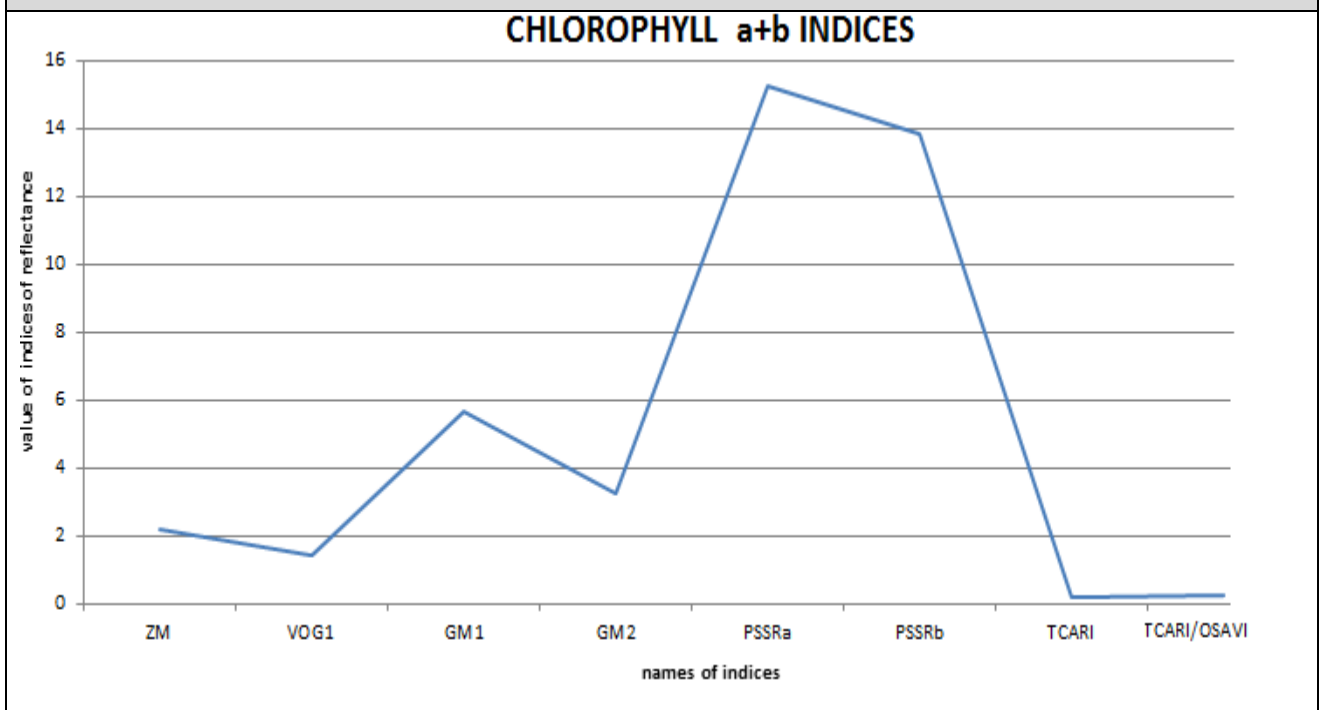
Πίνακας 1(b): ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ ΔΕΙΚΤΩΝ

Leaf area index			
Index id	name	Equation(nm)	Reference
TCARI	Transformed Chlorophyll Absorption Ratio Index	$3[(R700-R670)-0.2(R700-R550)(R700/R670)]$	Haboudane et al. (2002)
TSAVI	Transformed Soil-Adjusted Vegetation Index	$a(R875-aR680-b)/[R680+a(R875-b)+0.08(1+a^2)]$, $\alpha=1.062$, $b=0.022$	Rondeaux et al. (1996)
TVI	Triangular Vegetation Index	$0.5[120(R750-R550)-200(R670-R550)]$	Broge and Leblanc (2001)
VOG	Vogelmann Indices	$R740/R720$	Vogelmann et al. (1993)
VOG2		$(R734-R747)/(R715+R726)$	Zarco-Tejada et al. (2001)
ARI	Anthocyanin Reflectance Index	$(1/R550)-(1/R700)$	Gitelson et al. (2001)
BGI	Blue Green Pigment Index	$R450/R550$	Zarco-Tejada et al. (2005)
BRI	Blue Red Pigment Index	$R450/R690$	Zarco-Tejada et al. (2005)
CRI	Carotenoid Reflectance Index	$(1/R510)-(1/R550)$	Gitelson et al. (2002)
CRI2		$(1/R510)-(1/R700)$	Gitelson et al. (2002)
RGI	Red/Green	$R690/R550$	Zarco-Tejada et al. (2005)
CI	Curvature Index	$R675R690/(R683)^2$	Zarco-Tejada et al. (2003)
DI	Derivative Index	$D730/D706$	Zarco-Tejada et al. (2003)
LIC		$R440/R690$	Lichtenthaler et al. (1996)
NPCI	Normalized Pigment Chlorophyll index	$(R680-R430) / (R680+R430)$	Peñuelas et al. (1994)
NPQI	Normalized Phaeophytinization Index	$(R415-R435) / (R415+R435)$	Barnes et al. (1992)
PRI	Photochemical Reflectance Index	$(R531-R570) / (R531+R570)$	Gamon et al. (1997)
PRI2		$(R570-R539) / (R570+R539)$	Filella et al. (1996)
PSRI	Plant Senescence Reflectance Index	$(R680-R500) / R750$	Merzlyak et al. (1999)
SR5		$R690/R655$	Zarco-Tejada et al. (2003)
SR6		$R685/R655$	Zarco-Tejada et al. (2003)
SRPI	Simple Ratio Pigment Index	$R430/R680$	Peñuelas et al. (1995)
WI	Water Index	$R900/R970$	Peñuelas et al. (1993)

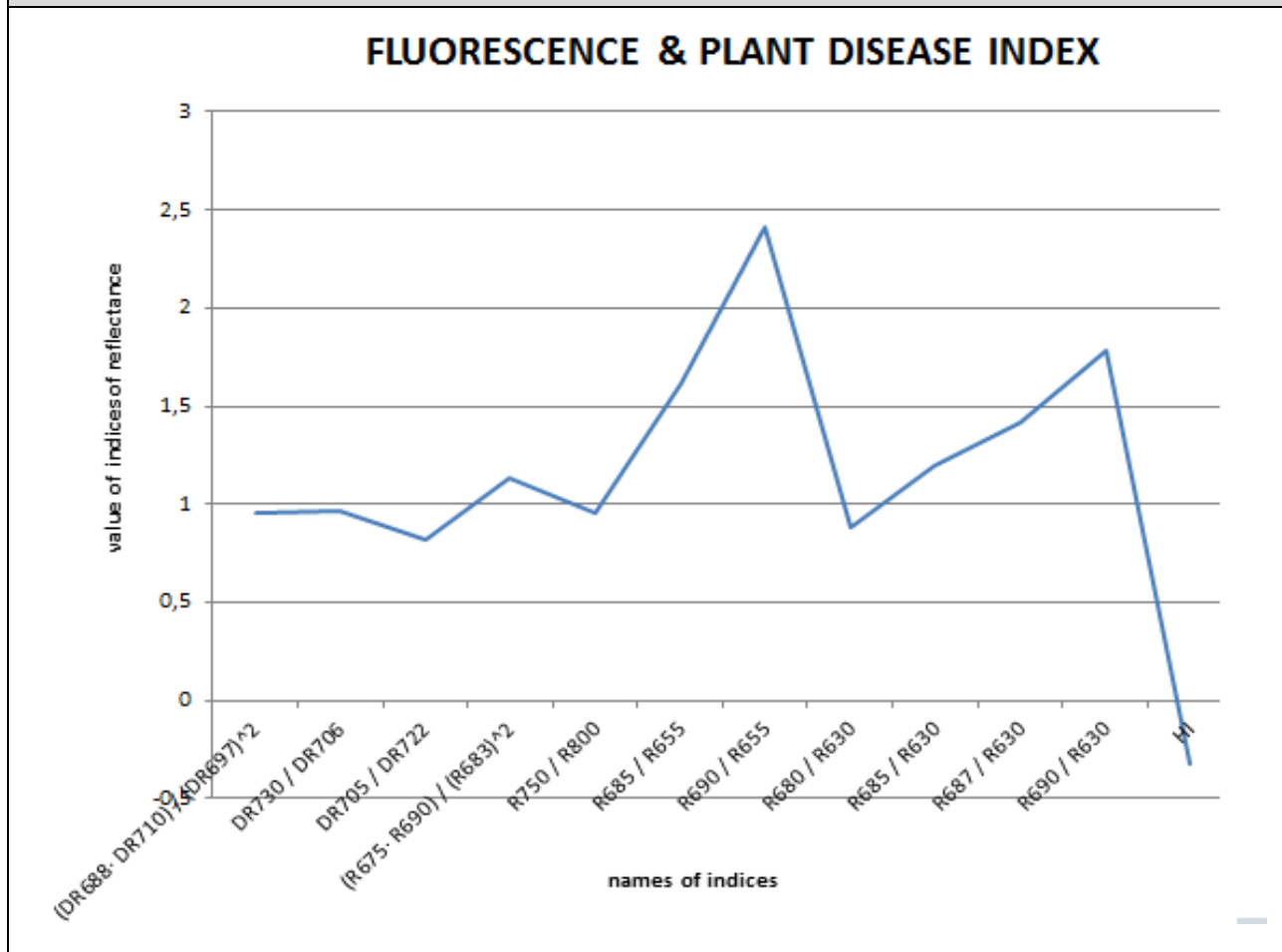
Πίνακας 2: Διάγραμμα δεικτών ξανθοφύλλης της ποικιλίας *cabernet sauvignon* της Τράπεζας



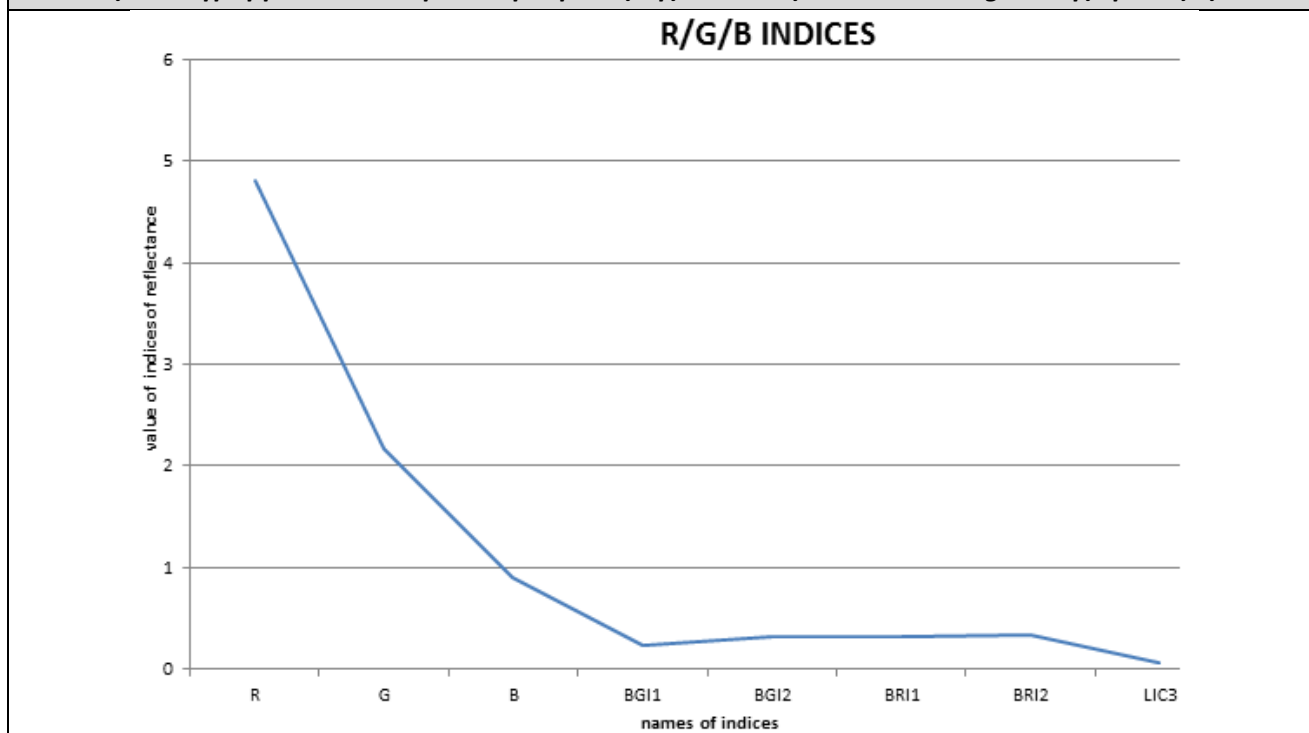
Πίνακας 3: Διάγραμμα δεικτών χλωροφύλλης α+β της ποικιλίας *cabernet sauvignon* της Τράπεζας



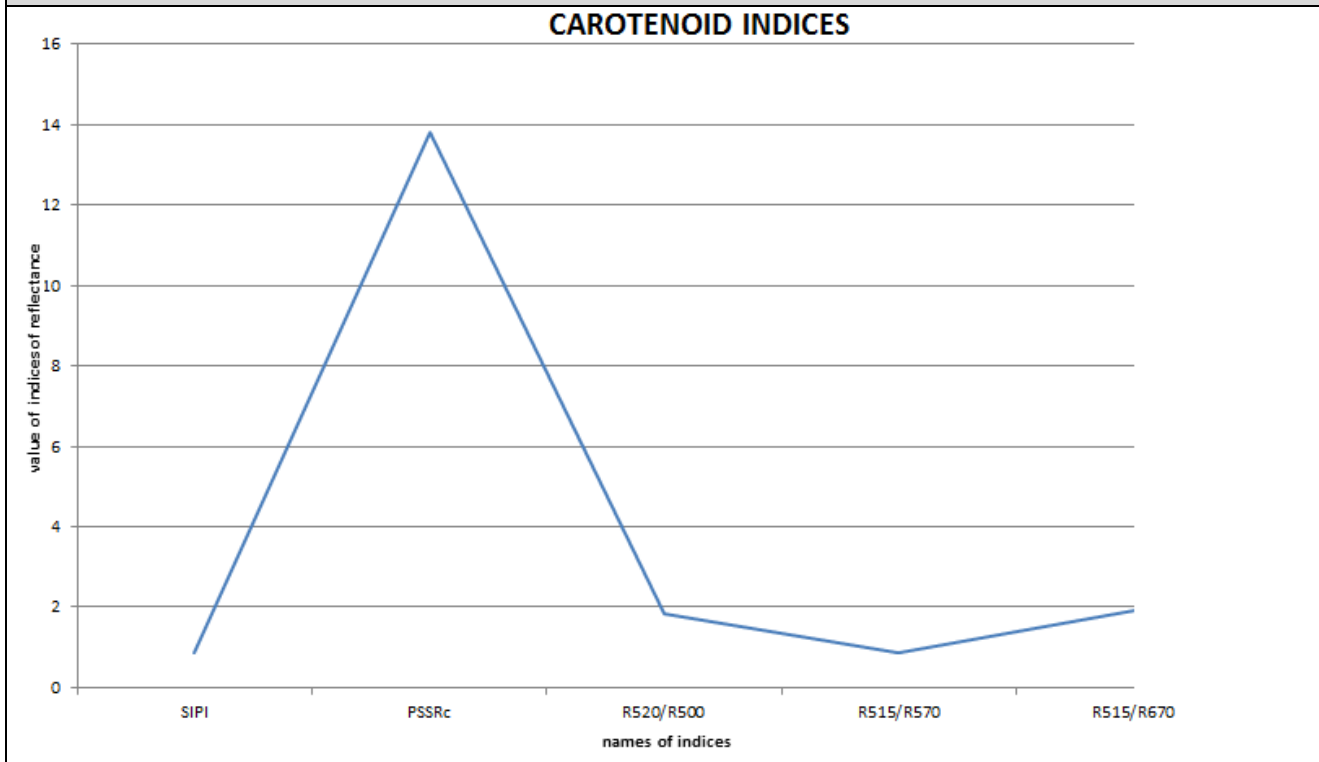
Πίνακας 4: Διάγραμμα δεικτών φωσφόρου της ποικιλίας cabernet sauvignon της Τράπεζας



Πίνακας 5: Διάγραμμα δεικτών ορατού φάσματος της ποικιλίας cabernet sauvignon της Τράπεζας



Πίνακας 6: Διάγραμμα δεικτών καροτενοειδών της ποικιλίας cabernet sauvignon της Τράπεζας



Πίνακας 7: Πίνακας προσδιορισμού παραμέτρων πτήσης U.A.V.

Speed = 4 m/sec		Speed = 5 m/sec		Speed = 6 m/sec		Speed = 8 m/sec		Speed = 10 m/sec	
FPS	Max dist. for 7min	FPS	Max dist. for 7min	FPS	Max dist. for 7min	FPS	Max dist. for 7min	FPS	Max dist. for 7min
47	1.680	59	2.100						
33	1.680	42	2.100	50	2.520				
29	1.680	36	2.100	44	2.520	58	3.360		
26	1.680	32	2.100	39	2.520	52	3.360	65	4.200
23	1.680	29	2.100	35	2.520	46	3.360	58	4.200
21	1.680	26	2.100	32	2.520	42	3.360	53	4.200
		24	2.100	28	2.520	38	3.360	47	4.200
		21	2.100	26	2.520	34	3.360	43	4.200
				23	2.520	31	3.360	39	4.200
				21	2.520	29	3.360	36	4.200

FOV (meters)	Flight Dist. 65%	Ground Resol. (meters)	Flight Height (meters)
46	15	0,05	50
70	23	0,09	75
93	30	0,12	100
116	38	0,14	125
139	45	0,16	150
163	53	0,17	175
186	60	0,19	200
209	68	0,21	225
232	75	0,24	250
255	83	0,26	275
279	91	0,28	300
302	98	0,30	325
325	106	0,33	350