



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ**

**Διερεύνηση και Αξιολόγηση Τηλεπισκοπικών
Δεδομένων Υψηλής Χωρικής Ανάλυσης στην
Αμπελουργία Ακριβείας**

**Evaluation of High Spatial Resolution Remote Sensing
Data for Precision Viticulture**

Διπλωματική Εργασία

**Κανδυλάκης Ζαχαρίας
Αθήνα, Ιούνιος 2013**

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ τη μητέρα μου Ντατσιάνα που με περιβάλλει με στοργή και κατανόηση, και δούλεψε τόσο σκληρά για να μπορώ εγώ να γίνω αυτό που θέλω. Τον πατέρα μου Γιώργο που με έμαθε να είμαι άνθρωπος ψύχραιμος, και ικανός να λύνω προβλήματα. Ευχαριστώ και τους δυό για κάθε τι υλικό που δεν μου προσέφεραν, όταν δεν υπήρχε λόγος.

Ευχαριστώ την αδερφή μου Κατερίνα που με εμπνέει να δουλεύω σκληρότερα. Κάθε της βήμα το πάτησα, συνήθως αγνοώντας το. Μου άνοιγε δρόμο και εγώ ακολουθούσα μέχρι να ανοίξουν κάποια στιγμή τα μάτια μου και να το καταλάβω. Της είμαι ευγνώμων για την υποστήριξη της και την καθοδήγηση της στις δύσκολες στιγμές.

Ευχαριστώ τη γιαγιά μου Κατερίνα, για την αγάπη και την υποστήριξη που μου δίνει απλόχερα. Τον παππού μου Ζαχαρία, που ήταν πάντα συνετός και μετρημένος, και με ενέπνευσε να είμαι και εγώ.

Ευχαριστώ την αγαπημένη μου φίλη και συνεργάτιδα Χριστίνα, που με έμαθε να εκφράζω την αγάπη μου και με έκανε καλύτερο άνθρωπο. Με βοήθησε να ξεπεράσω τα τέλματα και να πάρω τις σωστές αποφάσεις, όλα αυτά τα χρόνια της σχολής.

Ευχαριστώ το φίλο μου Γιώργο Μακρή, που είχε την αρχική ιδέα για το θέμα της διπλωματικής μου και με εμπιστεύτηκε για την εκπόνηση της. Δεν θα ξεχάσω ποτέ, το βλέμμα του και τι μου έδωσε να καταλάβω χωρίς να πει τίποτα, την πρώτη φορά που μου ανέθεσε κάτι σημαντικό. Τον ευχαριστώ επίσης για την πολύτιμη συμβολή του κατά την εκπόνηση της διπλωματικής.

Ευχαριστώ τον καθηγητή και φίλο μου Κώστα Καραντζαλο για την ενέργεια και την καθοδήγηση που μου παρείχε. Το πάθος του για δουλειά και για το αντικείμενο, μου έδωσαν και μου δίνουν έμπνευση να εργάζομαι κι εγώ σκληρότερα. Η υποστήριξη του στις δύσκολες στιγμές, ήταν κρίσιμη ώστε να τελειώσω τη συγγραφή του τεύχους μου.

Ευχαριστώ τον αγαπητό μου καθηγητή, Ανδρέα Γεωργόπουλο, για όσα μου προσέφερε απλόχερα. Με τον τρόπο του, με έκανε να αντιμετωπίζω κάθε συνεργασία μας πιο υπεύθυνα, πιο εργατικά και με μεγαλύτερη όρεξη.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτρια Βασιλεία Καραθανάση, για τις πολύ εύστοχες και πολύτιμες παρατηρήσεις και διορθώσεις επί του συγκεκριμένου τεύχους.

Ευχαριστώ θερμά τον καθηγητή Χαράλαμπο Ιωαννίδη και τις Ι.Δ.Α.Χ. Σέβη Ταπεινάκη και Σοφία Σοϊλέ, για την πολύτιμη βοήθεια τους επί του φωτογραμμετρικού τμήματος της εργασίας. Επίσης ευχαριστώ το φοιτητή Μάριο Οικονόμου για τη βοήθεια του και την πολύ καλή συνεργασία μας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα, τα οينوποιεία «Οινοφόρος» του Άγγελου Ρούβαλη και «Κτήμα Χατζημιχάλη» του Δημήτρη Χατζημιχάλη, για την άψογη συνεργασία μας.

Για την παροχή βιβλιογραφίας και ειδικών γνώσεων πάνω στα αντικείμενα της αμπελοουργίας και της οινολογίας, ευχαριστώ τον οινολόγο Τάσο Δροσιάδη, τον οινολόγο καθηγητή του Γ.Π.Α. Γεώργιο Κοτσερίδη και το γεωπόνο-οινολόγο Γιάννη Κανάκη.

Ευχαριστώ επίσης τις εταιρείες *Digital Globe*, *Total View* και ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. για τη δωρεάν διάθεση των απαραίτητων δεδομένων για την εργασία.

Αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω κάθε δάσκαλο και καθηγητή που μου έβαλαν δύο πράγματα παραπάνω στο μυαλό και με βοήθησαν να αναπτύξω τους ορίζοντες μου.

Τέλος, ευχαριστώ από καρδιάς τους κοντινούς μου ανθρώπους και αγαπημένους φίλους που στα δύσκολα και στα εύκολα φτιάξαμε μαζί αυτό που είμαστε σήμερα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις στα οπτικά μέσα και την Τηλεπισκόπηση, καθιστούν εφικτή την παρακολούθηση των καλλιεργειών, στα πλαίσια της Γεωργίας Ακριβείας. Συγκεκριμένα, όσον αφορά στην Αμπελουργία, διεθνώς η βασική αποδοτική εφαρμογή συνίσταται στη λήψη δεδομένων την εποχή του περκασμού με σκοπό την παραγωγή χαρτών για τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του αμπελιού, του σταφυλιού και κατά συνέπεια του μούστου και του κρασιού. Οι χάρτες αυτοί δρουν ως συμπλήρωμα, για την καλύτερη διαχείρισης της πρώτης ύλης στον επερχόμενο τρύγο. Τα παραπάνω έχουν πραγματοποιηθεί τόσο σε ερευνητικό όσο και σε εμπορικό επίπεδο.

Ο κύριος στόχος της παρούσας εργασίας, ήταν η αξιολόγηση δορυφορικών δεδομένων υψηλής χωρικής και φασματικής ανάλυσης, για εφαρμογές επιλεκτικού τρύγου. Από ταυτόχρονες δορυφορικές και επίγειες λήψεις δεδομένων, συλλέχθηκαν δεδομένα διαφόρων τύπων. Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν καταγραφές δεδομένων εδάφους για την ακτινοβολία του αντικειμένου (radiance) με χρήση φασματογράφου χειρός (GER 1500, Spectra Vista Corporation, 350-1050nm, 512 κανάλια). Επίσης, συλλέχθηκαν δορυφορικά δεδομένα WorldView-2 (DigitalGlobe Inc., USA) και πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις GPS (Trimble Spectra Epoch 25 L1/L2 RTK). Τέλος, παραλήφθηκαν ορθοεικόνες και ψηφιακά μοντέλα εδάφους από την Κτηματολόγιο Α.Ε. και αποτελέσματα δειγματοληψιών και εργαστηριακών αναλύσεων από τα συνεργαζόμενα οινοποιία στις δύο περιοχές μελέτης («Οινοφόρος» για την περιοχή της Τράπεζας και «Κτήμα Χατζημιχάλη» για την περιοχή του Μεγαπλάτανου). Οι δορυφορικές εικόνες είχαν χωρική ανάλυση 0,5 m στο παγχρωματικό κανάλι και 2 m στα οκτώ πολυφασματικά κανάλια. Τα εν λόγω κανάλια καλύπτουν την περιοχή του φάσματος από τα 400 έως τα 1040 nm.

Η προεπεξεργασία των δεδομένων περιελάμβανε ραδιομετρικές διορθώσεις, ατμοσφαιρικές διορθώσεις, συγχωνεύσεις εικόνων και παραγωγή ορθοεικόνων. Επιπροσθέτως, υπολογίστηκαν δεδομένα εδάφους για την ανακλαστικότητα, με αναγωγή των καταγραφών του φασματογράφου χειρός για την ακτινοβολία του αντικειμένου. Τέλος, τα δεδομένα εδάφους για την ακτινοβολία και την ανακλαστικότητα προσομοιώθηκαν ώστε να ανταποκρίνονται στα αντίστοιχα οκτώ κανάλια του δορυφόρου WV-2. Έτσι, κατέστη δυνατή η συγκριτική αξιολόγηση ανάμεσα σε δεδομένα εδάφους και δορυφορικά δεδομένα, με χρήση συσχετίσεων και μοντέλων παλινδρόμησης.

Στη συνέχεια, δημιουργήθηκαν οι φασματικές υπογραφές των διάφορων ποικιλιών αμπέλου (πάνω από 20), για όλες τις ομάδες δεδομένων (πρωτογενή δορυφορικά δεδομένα, ατμοσφαιρικά διορθωμένα δορυφορικά δεδομένα, συγχωνευμένα δορυφορικά δεδομένα, δεδομένα εδάφους για την ακτινοβολία του αντικειμένου, δεδομένα εδάφους για την ανακλαστικότητα). Με χρήση μοντέλων γραμμικής παλινδρόμησης, συσχετίστηκαν οι φασματικές υπογραφές που προέκυψαν από τα δορυφορικά δεδομένα (WV2) με αυτές που προέκυψαν από τα δεδομένα εδάφους (GER1500).

Και για τις δύο περιοχές μελέτης, οι συσχετίσεις των πρωτογενών και συγχωνευμένων δορυφορικών δεδομένων με τα προσομοιωμένα δεδομένα εδάφους για την ακτινοβολία του αντικειμένου, έδωσαν παρόμοια αποτελέσματα (R^2 από 81 έως 85% και p-value από 0,1 έως 0,2% στην περιοχή της Τράπεζας, R^2 από 61 έως 81% και p-value από 0,2 έως 2% στην περιοχή του Μεγαπλάτανου). Τα αποτελέσματα της συσχέτισης των ατμοσφαιρικά διορθωμένων δορυφορικών δεδομένων με τα προσομοιωμένα δεδομένα εδάφους για την ανακλαστικότητα ήταν αισθητά καλύτερα (R^2 από 97 έως 99% και p-value από $1,5 \cdot 10^{-6}$ έως 0,0025%, στην περιοχή της Τράπεζας, R^2 από 90 έως 99% και p-value από $4 \cdot 10^{-5}$ έως 0,3% στην περιοχή του Μεγαπλάτανου).

Επιπροσθέτως, με χρήση των συγχωνευμένων δορυφορικών δεδομένων υπολογίστηκαν 29 δείκτες βλάστησης από τη διεθνή βιβλιογραφία. Στις περιπτώσεις των δεικτών που είχαν προταθεί για χρήση με υπερφασματικά δεδομένα, μορφοποιήθηκαν οι εξισώσεις τους καταλλήλως ώστε να ανταποκρίνονται στα δεδομένα του WV2. Οι υπολογισθέντες δείκτες ανήκουν στις εξής πέντε γενικές κατηγορίες: Δείκτες Βλάστησης (NDVI, OSAVI, MCARI2, MTVI2, κ.α.), Δείκτες Συγκεντρώσεων Χλωροφύλλης (Gitelson Chl1, Gitelson Chl2, κ.α.), Δείκτες Συγκεντρώσεων Καροτενοειδών (Blackburn Car1-2, Gitelson Car1-2), Λόγοι Συγκεντρώσεων Χλωροφύλλης προς Καροτενοειδή (NPC1, SIPI, κ.α.) και Δείκτες Συγκεντρώσεων Ανθοκυανών (Gamon Anth, Gitelson Anth). Επίσης, πραγματοποιήθηκαν εκτιμήσεις του Δείκτη Εμβαδού Φυλλώματος (Leaf Area Index, LAI), του δείκτη τεχνολογικής ωρίμανσης IMAD και του δείκτη χρώματος CIRG.

Τα παραπάνω, συγκρίθηκαν με την πραγματική διαδικασία λήψης αποφάσεων στα οινοποιεία, κατά τη διάρκεια του τρύγου και της οινοποίησης. Η ποιοτική και ποσοτική αξιολόγηση κατέδειξε πως οι τελικές αποφάσεις των αμπελοουργών και οινοποιών ταυτίζονταν με τις εκτιμήσεις των παραχθέντων χαρτών. Συγκεκριμένα, για την ποικιλία Syrah στην περιοχή της Τράπεζας, οι προτεινόμενες ζώνες επιλεκτικού τρύγου ταίριαξαν απόλυτα με τις τελικές αποφάσεις σχετικά με την παραγωγή τριών διαφορετικών προϊόντων. Επίσης, η εκτίμηση επιπέδων τεχνολογικής ωρίμανσης μέσω του δείκτη IMAD, είχε υψηλή συσχέτιση με τη διαχείριση του τρύγου στις δύο περιοχές μελέτης.

Evaluation of High Spatial Resolution Remote Sensing Data for Precision Viticulture

Zacharias Kandylakis

June 2013

ABSTRACT

The recent advances in optical remote sensing technology are facilitating several precision agriculture applications regarding crop monitoring and analysis. Particularly in viticulture, the main cost effective scenario is to produce vegetation related maps, during the veraison, as an additional input for the management of the upcoming harvest. This has been regularly employed both from a research and a commercial point of view.

To this end, the main objective of our study was to evaluate high spatial and spectral resolution satellite data for selective harvesting. From concurrent satellite and field campaigns multi-modal data was acquired, i.e. i) ground radiance data using a field spectrometer (GER 1500, Spectra Vista Corporation, 350-1050nm, 512 spectral bands), ii) WorldView-2 satellite data (DigitalGlobe, Inc. USA), GPS data (Trimble Spectra Epoch 25 L1/L2 RTK), orthoimages and DEM's from KTIMATOLOGIO A.E. and other quantitative and qualitative data acquired from the collaborating wineries in the two study areas (Aigio & Atalanti, Greece). The satellite imagery had a spatial resolution of about 0.5m in the panchromatic band, and about 2m in the 8 multispectral bands which covered the range between 400nm to 1040nm.

Data pre-processing included radiometric correction, atmospheric data correction (Modtran, Atcor), image fusion/pan-sharpening and orthorectification. In addition to that, ground reflectance data was calculated from the atmospherically corrected ground radiance. Also, simulated ground radiance and reflectance data, corresponding to the eight WV-2 bands, was computed and employed during the evaluation. Thus, it was made possible to evaluate the relationship between ground data and satellite data, through correlation and linear regression models.

Afterwards, spectral signatures of the several (more than 20) vine varieties were calculated for all datasets (i.e. radiometrically corrected, atmospherically corrected, fused, simulated ground, etc.). Using linear regression models, the spectral signatures computed from satellite data (WV-2) were correlated with the ones computed from the simulated ground data (GER1500).

In both study areas, the correlations of radiometrically corrected and fused data sets with the simulated radiance, gave similar results (R^2 values of 81-85% and p-val of 0,1-0,2% in study area A and R^2 values of 61-81% and p-val of 0,2-2% in study area B). The results of the atmospherically corrected data to reflectance data correlation were significantly better (R^2 values of 97-99% and p-val of $1,5 \cdot 10^{-6}$ -0,0025% in study area A, R^2 values of 90-99% and p-val of $4 \cdot 10^{-5}$ -0,3% in study area B).

Furthermore, a number of vegetation indices (twenty-nine as proposed in the corresponding literature) were computed based on the fused satellite data. In cases where the indices had been proposed for use with hyperspectral data, their formulations were approximated to correspond to WV2 data. The calculated indices belonged to the following five general categories: Vegetation (NDVI, OSAVI, MCARI2, MTVI2, etc.), Chlorophyll (Gitelson Chl1-2, etc.), Carotenoids (Blackburn Car1-2, Gitelson Car1-2), Carotenoid to Chlorophyll Ratio (NPCl, SIPI, etc.), Anthocyanins (Gamon Anth, etc.). Additionally, the green LAI (Leaf Area Index) was computed through a linear relation with the NDVI. Also, the maturity index IMAD and the color intensity index CIRG were calculated through a linear relation with the Gitelson Car2 index.

The above were compared with the actual decision making of the wineries both during harvesting and vinification. The qualitative and quantitative evaluation demonstrated that the final decisions made by winegrowers and winemakers were very close to the produced satellite map estimations. In particular, for the Syrah variety, in study area A, the proposed zoning and selective harvesting matched the final decisions regarding the three different qualities/products. Moreover, the estimated maturity condition (IMAD) was highly correlated with the organoleptic characteristics and the overall harvest management in both test sites/wineries.

Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Γεωργία και Αμπελουργία Ακριβείας.....	1
1.2 Βασικές Έννοιες	2
1.3 Στόχοι διπλωματικής	5
1.4 Συνεισφορά	5
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	7
2.1 Τηλεπισκοπικές Παρατηρήσεις και Ποιοτικά Χαρακτηριστικά του Αμπελιού/Κρασιού	7
2.2 Τηλεπισκοπικές Παρατηρήσεις και Χαρτογράφηση Φυλλώματος	10
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	15
3.1 Συλλογή Δεδομένων	15
3.1.1 Προγραμματισμός εργασιών και εργασίες υπαίθρου	15
3.1.2 Δορυφορικά δεδομένα WorldView-2	18
3.1.3 Δεδομένα Κτηματολογίου	21
3.2 Προεπεξεργασία Δεδομένων	22
3.2.1 Ραδιομετρική διόρθωση εικόνων	22
3.2.2 Ατμοσφαιρική διόρθωση	23
3.2.3 Συγχώνευση εικόνων	24
3.2.4 Επίλυση δικτύου GPS και παραγωγή ορθοεικόνων	27
3.2.5 Δημιουργία Φασματικών Υπογραφών	28
3.3 Μοντέλα Παλινδρόμησης και Συσχέτιση Φασματικών Υπογραφών.....	30
3.3.1 Συσχέτιση δεδομένων εδάφους με δορυφορικά δεδομένα.....	32
3.3.2 Συσχέτιση κοινών ποικιλιών ανάμεσα στις δύο περιοχές μελέτης.....	33
3.4 Εκτίμηση Ποιοτικών και Ποσοτικών Χαρακτηριστικών σε Αμπελώνες.....	33
3.4.1 Υπολογισμός και προσομοίωση δεικτών	33
3.4.2 Δείκτης Εμβαδού Φυλλώματος (LAI)	50
3.4.3 Δείκτες IMAD και CIRG	52
3.4.4 Συσχέτιση Δεικτών με Αποτελέσματα Δειγματοληψιών και Αναλύσεων.....	54
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ	57
4.1 Συσχέτιση Φασματικών Υπογραφών για διάφορες Ποικιλίες Αμπέλου.....	57
4.1.1 Συσχέτιση δεδομένων εδάφους με δορυφορικά δεδομένα στην περιοχή της Τράπεζας	57
4.1.2 Συσχέτιση δεδομένων εδάφους με δορυφορικά δεδομένα στην περιοχή του Μεγαπλάτανου	65
4.1.3 Διαφορές μεταξύ Φασματικών Υπογραφών ανά κανάλι.....	71
4.1.4 Συσχέτιση ίδιων ποικιλιών σε διαφορετικούς αμπελώνες	76
4.2 Εκτίμηση Ποιοτικών και Ποσοτικών Χαρακτηριστικών σε Αμπελώνες.....	78
4.2.1 Ζωηρότητα και Ευρωστία.....	79
4.2.2 Συγκεντρώσεις Χλωροφύλλης, Καροτενοειδών και Ανθοκυανών	80
4.2.3 Τεχνολογική Ωρίμανση, Χρώμα, Πολυφαινόλες	83
4.2.4 Λοιπά Χαρακτηριστικά	87
4.3 Παραγωγή Χαρτών με βάση Αποτελέσματα Δειγματοληψιών και Εργαστηριακών Αναλύσεων.....	88
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	93
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	97

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο παρόν εισαγωγικό κεφάλαιο, αρχικά, πραγματοποιείται επεξήγηση των εννοιών Γεωργία και Αμπελουργία Ακριβείας. Στη συνέχεια, παρατίθενται περαιτέρω βασικές έννοιες, σχετικές με την παρούσα εργασία. Τέλος, καταρτίζονται οι στόχοι της διπλωματικής εργασίας καθώς και η συνεισφορά της.

1.1 Γεωργία και Αμπελουργία Ακριβείας

Η Γεωργία Ακριβείας, επικεντρώνεται στην ανάγκη παρατήρησης των διαφοροποιήσεων που παρουσιάζονται εντός του μοναδιαίου αγροτεμαχίου. Οι καλλιεργητές χρειάζονται τις πληροφορίες αυτές για να μπορέσουν να κάνουν επεμβάσεις επιλεκτικά (λιπάνσεις, αρδεύσεις, συγκομιδή, κα.), μόνο στις περιοχές όπου χρειάζεται. Έτσι η καλλιέργεια μπορεί να γίνει πιο αποδοτική, οικονομική και με μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα, δίνοντας μεγαλύτερη ποσότητα και καλύτερη ποιότητα προϊόντων.

Πιο αναλυτικά, η Γεωργία Ακριβείας αφορά στην παρακολούθηση της εκάστοτε καλλιέργειας και των διαφοροποιήσεων της εντός του αγροτεμαχίου σε επίπεδο γραμμής φύτευσης, δέντρου, φυτού κτλ.. Οι παρατηρήσεις γίνονται είτε στο πεδίο, είτε τηλεπισκοπικά, είτε και με τους δύο παραπάνω τρόπους. Πραγματοποιούνται με τρόπο συστηματικό, και χαρακτηρίζονται από υψηλή γεωγραφική ακρίβεια, για τα χαρακτηριστικά του φυτού και του εδάφους. Σκοπός της Γεωργίας Ακριβείας, είναι η δημιουργία μιας εποπτικής εικόνας της καλλιέργειας, που θα οδηγήσει σε διαφορετικές στρατηγικές αντιμετώπισης των επιμέρους τμημάτων, ανάλογα με τις ανάγκες διαχείρισης.

Η συνεισφορά των πεδίων του Αγρονόμου Τοπογράφου Μηχανικού (Τηλεπισκόπηση, Φωτογραμμετρία, Γεωπληροφορική, Γεωδαισία) στη Γεωργία Ακριβείας είναι:

- Σε βάθος γνώση της έννοιας της χωρικής ακρίβειας που του επιτρέπει να παρέχει διαφορετικές υπηρεσίες για διαφορετικά επίπεδα ακρίβειας
- Δυνατότητα διαχείρισης δεδομένων από διαφορετικές πλατφόρμες λήψης (δορυφόροι, αεροπλάνα, UAV, επίγειες μετρήσεις κτλ.). Δυνατότητα, παράλληλης/συγκριτικής χρήσης τους
- Δυνατότητα χρήσης δορυφορικών/εναέριων δεδομένων για την παρακολούθηση καλλιεργειών που καλύπτουν μεγάλες εκτάσεις
- Γνώση λήψεως και επεξεργασίας μετρήσεων GPS και άλλων μετρήσεων γεωγραφικών συντεταγμένων
- Δυνατότητα δημιουργίας και διαχείρισης πολύ-επίπεδων GIS (Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, ΓΣΠ)
- Παρακολούθηση όλων των σταδίων καλλιέργειας, της υγείας, του υδατικού στρες, κοκ για τον εντοπισμό διαφοροποιήσεων μέσα σε κάθε αγροτεμάχιο/αμπελοτεμάχιο.

Επιπλέον γνώσεις, αντικείμενα απαραίτητα για την ολοκληρωμένη προσέγγιση του αντικείμενου είναι:

- Ειδικές γεωπονικές γνώσεις και πρακτικές
- Ερμηνεία και σύνδεση παρατηρήσεων με τη φυσική και βιολογική κατάσταση των καλλιεργειών

Προς την ίδια κατεύθυνση η Αμπελουργία Ακριβείας, αφορά στην παρακολούθηση των διαφοροποιήσεων εντός των αμπελοτεμαχίων, ενώ αυτή τη στιγμή αξιοποιείται κυρίως για τα οινοπαραγωγικά αμπέλια. Για το σκοπό αυτό, λαμβάνονται παρατηρήσεις και δείγματα στο πεδίο και τηλεπισκοπικά, σε επίπεδο γραμμής φύτευσης, ή ακόμα και σε

επίπεδο πρέμνου/φυτού. Έτσι, οι επεμβάσεις μπορούν να γίνουν ακόμα πιο επιλεκτικές, και η διαχείριση της πρώτης ύλης πιο αποτελεσματική.

Οι σύγχρονες εξελίξεις στα οπτικά μέσα και τις τεχνικές τηλεπισκόπησης, επιτρέπουν την παρατήρηση της γης με ολοένα και μεγαλύτερη χωρική και φασματική ανάλυση. Συγκεκριμένα, με δορυφορικούς αισθητήρες μπορούν να εντοπιστούν χαρακτηριστικά με αποστάσεις μεταξύ τους μικρότερες του ενός μέτρου. Επίσης, υπάρχουν πλέον δορυφορικά κανάλια σε περιοχές του φάσματος σημαντικές για την παρακολούθηση της βλάστησης, των αμπελιών και των χαρακτηριστικών τους.

Επίσης, οι ερευνητικές προσπάθειες στην αμπελουργία ακριβείας καταδεικνύουν την Τηλεπισκόπηση ως συνεπή και αποτελεσματική μέθοδο για την εκτίμηση παραμέτρων όπως η μορφολογία του φυλλώματος και οι συγκεντρώσεις χλωροφύλλης. Οι παράμετροι αυτές αποτελούν πιθανούς δείκτες για την παραγωγή του αμπελώνα (Lamb et al., 2001) αλλά και τη σύσταση του σταφυλιού και του κρασιού (Johnson et al., 2001; Lamb et al., 2004; Martín et al., 2007). Οι τεχνικές της Αμπελουργίας Ακριβείας στοχεύουν στο διαχωρισμό σε ομογενείς ζώνες, με βάση τηλεπισκοπικές εκτιμήσεις βιοφυσικών παραμέτρων, που επιτρέπουν την ανίχνευση διαφοροποιήσεων ανάμεσα στα αμπελοτεμάχια αλλά και εντός του καθενός από αυτά. Το τελικό προϊόν είναι χάρτες με ξεχωριστές ζώνες διαχείρισης, που δυνητικά συνδέονται με την ποιότητα του οίνου.

Πέραν των δορυφορικών/εναέριων λήψεων, υπάρχουν διαθέσιμα στο εμπόριο φορητά όργανα τα οποία υπολογίζουν ποικίλα χαρακτηριστικά, παρέχοντας όμως σημειακά δεδομένα. Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει από φασματογράφους χειρός με μεγάλη φορητότητα, μέχρι και οχήματα που φέρουν οπτικούς αισθητήρες και κινούνται ανάμεσα στις γραμμές φύτευσης. Για μια μεγάλη περιοχή χρειάζονται πολλές, πυκνές χωρικά μετρήσεις ώστε να παρατηρηθεί με πληρότητα όλη η απαιτούμενη έκταση. Έτσι, όταν στην πράξη απαιτείται εκτεταμένη χωρικά καταγραφή των ποιοτικών χαρακτηριστικών, τα εν λόγω όργανα υστερούν.

1.2 Βασικές Έννοιες

Στο κεφάλαιο αυτό, πραγματοποιείται εισαγωγή στις βασικές έννοιες που αφορούν στην Αμπελουργία Ακριβείας, και εξετάζονται στο υπόλοιπο της εργασίας.

Η λήψη των δεδομένων για την παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε την περίοδο του περκασμού. Περκασμός είναι το βιολογικό στάδιο του ετήσιου κύκλου του αμπελιού, όπου οι ράγες των σταφυλιών αρχίζουν να μεγαλώνουν και να αποκτούν το χρώμα τους. Επίσης, με τον όρο πρέμνο, εννοείται το μοναδιαίο φυτό αμπέλου, μια άμπελος.

Όσον αφορά στα χαρακτηριστικά του αμπελιού, το πρώτο που παρατηρήθηκε είναι η κόμη του φυλλικού τείχους. Συγκεκριμένα, μελετήθηκε η ένταση ανάκλασης της υγιούς βλάστησης, που σχετίζεται άμεσα με το μέγεθος του φυλλικού τείχους αλλά και την ποσότητα της χλωροφύλλης σε αυτό.

Επίσης, έγινε εκτίμηση του Δείκτη Εμβαδού Φυλλώματος (Leaf Area Index, LAI). Ορίζεται ως η πράσινη φυλλική επιφάνεια μιας μεριάς του φύλλου, ανά μονάδα επιφάνειας του εδάφους (Watson, 1947). Είναι δηλαδή:

$$LAI = \text{φυλλική επιφάνεια} / \text{επιφάνεια εδάφους} (m^2 / m^2)$$

Αποτελεί μια μεταβλητή που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της φυτοκάλυψης, και για την πρόγνωση της ανάπτυξης και της παραγωγής καλλιεργειών. Συγκεκριμένα, για τους αμπελώνες, το εμβαδόν του φυλλώματος, είναι ένας από τους βασικούς παράγοντες που καθορίζουν τα χαρακτηριστικά του σταφυλιού και την ποιότητα του οίνου.

Σχετικές αμπελουργικές έννοιες είναι η ζυηρότητα και η ευρωστία. Παρατίθενται οι ορισμοί τους:

Ζυηρότητα είναι η ιδιότητα ή η φυσιολογική κατάσταση, τμήματος ή όλου του πρέμνου η οποία εκδηλώνεται ως ταχύτητα αύξησης της βλάστησης. Η ζυηρότητα είναι γενικά έννοια ποιοτική και αφορά στην ταχύτητα αυξήσεως, ρυθμό αυξήσεως και εκφράζεται ως τη συντελούμενη αύξηση των βλαστών στη μονάδα του χρόνου.

Ο όρος **ευρωστία** εκφράζει το σύνολο βλαστήσεως και παραγωγής για το οποίο ένα πρέμνο ή τμήμα αυτού είναι ικανό, σε δεδομένο περιβάλλον. Η έννοια της ευρωστίας είναι ποσοτική και αφορά σε μέγεθος δραστηριότητας η οποία εκφράζεται από τα στοιχεία του βάρους των κληματίδων που εξαιρούνται με το χειμερινό κλάδεμα καρποφορίας, του βάρους των σταφυλιών που έφερε το πρέμνο και από την ποιότητα αυτών η οποία εκφράζεται από το σακχαρικό τίτλο των σταφυλιών.

Μια από τις σημαντικότερες **βιοχημικές μεταβλητές** για την κατανόηση της κατάστασης του φυτού είναι οι συγκεντρώσεις σε **χλωροφύλλη (Cab)**. Η χλωροφύλλη σχετίζεται με την απορρόφηση ενέργειας από το ηλιακό φως και παρέχει το μηχανισμό για τις φωτοσυνθετικές αντιδράσεις. Συνεπώς, είναι άμεσα συνδεδεμένη με το δυναμικό του φυτού για φωτοσύνθεση και παραγωγή. Η ποσότητα της στα φύλλα σχετίζεται στενά με το στρες και την ηλικία του φυτού. Τα τμήματα του φάσματος στα οποία μπορούν να ανιχνευθούν οι συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης, είναι η περιοχή του φάσματος όπου έχουμε την πράσινη κορυφή για τη βλάστηση (green peak) και η περιοχή στο μεταίχμιο του κόκκινου (red edge), (Rock et al., 1988; Vogelmann et al., 1993; Carter, 1994; Gitelson et al., 1996).

Εκτός από τη χλωροφύλλη, άλλες σημαντικές χρωστικές του αμπελιού είναι τα **καροτενοειδή** και οι **ανθοκυάνες**. Όσον αφορά στα καροτενοειδή, είναι μαζί με τη χλωροφύλλη οι κύριες χρωστικές των πράσινων φύλλων για την απορρόφηση φωτός. Επίσης, διαδραματίζουν φωτοπροστατευτικό ρόλο αποτρέποντας ζημιές στα φωτοσυνθετικά συστήματα (Dawson et al., 1998; Gitelson et al., 2002; Merzlyak et al., 2003). Οι ανθοκυάνες είναι κόκκινες χρωστικές που προστατεύουν το φυτό από το από το υπερβολικό φως (Merzlyak & Chivkunova, 2000; Gitelson et al., 2002, 2006), και συναντώνται συχνά σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών, ξηρασίας και ανεπάρκειας σε ορυκτά στοιχεία (Chalker-Scott, 1999; Harbone, 1976).

Οι περισσότερες συσχετίσεις ανάμεσα στην ανακλαστικότητα των φύλλων και τις συγκεντρώσεις χρωστικών, έχουν αναπτυχθεί για την εκτίμηση επιπέδων χλωροφύλλης, παρέχοντας αρκετά αξιόπιστες προβλέψεις. Όμως, λίγα μόνο μοντέλα υποστηρίζουν εκτιμήσεις επιπέδων καροτενοειδών και ανθοκυανών (Chappelle et al., 1992; Peñuelas et al., 1995; Blackburn, 1998; Gamon & Surfus, 1999; Fuentes et al., 2001; Sims & Gamon, 2002; Gitelson et al., 2001, 2002, 2006). Πρόσφατες έρευνες ανέπτυξαν δείκτες που εμφανίζουν αξιόπιστες σχέσεις με τις συγκεντρώσεις καροτενοειδών (Peñuelas et al., 1995; Fuentes et al., 2001; Sims & Gamon, 2002; Gitelson et al., 2003, 2006) και ανθοκυανών (Gamon & Surfus, 1999; Gitelson et al., 2006). Οι συγκεντρώσεις σε καροτενοειδή και ανθοκυάνες συνδέονται άμεσα με τη φωτοσυνθετική αποτελεσματικότητα, που επηρεάζει τη σύνθεση του σταφυλιού. Συνεπώς, δείκτες ευαίσθητοι στις εν λόγω χρωστικές θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό χωρικών διαφοροποιήσεων στην ποιότητα των σταφυλιών.

Η σύνθεση του σταφυλιού διαδραματίζει καίριο ρόλο στην ποιότητα του παραγόμενου οίνου. Στο μούστο, ένα μεγάλο μέρος των διαλυτών στερεών (soluble solids) είναι σάκχαρα, που καθορίζουν τον αλκοολικό βαθμό του οίνου. Τα αμέσως επόμενα σε πλήθος στερεά που περιέχονται στο μούστο είναι τα οργανικά οξέα. Ευθύνονται για την αίσθηση οξύτητας και επηρεάζουν σημαντικά τη σταθερότητα και το χρώμα του οίνου. Οι φαινολικές ενώσεις (ανθοκυάνες και ταννίνες) συναντώνται κυρίως στους φλοιούς και τους σπόρους, και καθορίζουν το χρώμα και την ταννικότητα των κόκκινων οίνων.

Συγκεκριμένα, οι ανθοκυάνες συναντώνται μόνο στα σταφύλια κόκκινων ποικιλιών και σχετίζονται άμεσα με τη χρωματική ένταση και σταθερότητα του παραγόμενου κρασιού. Οι ταννίνες συνεισφέρουν σημαντικά στη σταθερότητα του χρώματος και στη χαρακτηριστική αίσθηση στο στόμα που έχουν οι κόκκινοι οίνοι.

Η σύνθεση και η συσσώρευση σακχάρων, οξέων και φαινολικών ενώσεων στα σταφύλια μέσω της ωρίμανσης επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τη φωτοσυνθετική δυνατότητα των αμπελιών (Pirie & Mullins, 1980; Smart & Robinson, 1991). Γενικά, η ποικιλία, η ωριμότητα, οι περιβαλλοντικές συνθήκες (κλίμα, έδαφος, κτλ.), η διαχείριση του αμπελώνα και οι αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στα παραπάνω έχουν ως αποτέλεσμα τη σύνθεση και την τελική ποιότητα των σταφυλιών (Johnson et al., 2001; Lamb et al., 2004).

Με τον όρο **τεχνολογική ωρίμανση** εκφράζεται η καταλληλότητα των σταφυλιών, σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή, για την παραγωγή του προϊόντος που έχει προοριστεί.

Παρατίθενται εδώ τέσσερις ορισμοί σχετικοί με τα σάκχαρα, τα οξέα, τις φαινολικές ενώσεις και το χρώμα του οίνου, οι οποίοι συναντήθηκαν σε αποτελέσματα δειγματοληψιών και αναλύσεων κατά τη διάρκεια της παρούσας εργασίας

Ο **Δυναμικός Αλκοολικός Τίτλος (ΔΑΤ)** αντιστοιχεί στην πρόβλεψη για τον αλκοολικό βαθμό του παραγόμενου κρασιού, αν ο τρύγος πραγματοποιούνταν την ώρα της δειγματοληψίας. Προκύπτει από τη διαίρεση της συγκέντρωσης σακχάρων ανά λίτρο με 17 και μετριέται σε gr/l.

Η **Ολική Οξύτητα** ενός διαλύματος είναι η συγκέντρωση των οξέων που περιέχονται σε αυτό ανά λίτρο. Μετριέται σε gr/l και σχετίζεται με την οξύτητα που πρόκειται να έχει το παραγόμενο κρασί.

Ο **Δείκτης Φαινολικών Ουσιών (ΔΦΟ)** αποτελεί μια ένδειξη για την ποσότητα των τανινοειδών που εξαλείφονται, κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εκχύλισης. Είναι ο δείκτης απορρόφησης στα 280 nm, όπου παρατηρούνται χαμηλά επίπεδα πρωτεϊνών. Πρόκειται για ποσοστό και είναι αδιάστατο μέγεθος.

Ο **δείκτης χρώματος IC** υπολογίζεται ως το άθροισμα των απορροφήσεων του μούστου στα 420 nm, 520nm και 620nm πολλαπλασιασμένο επί δέκα. Υπολογίζεται καθ' όλη τη διαδικασία εκχύλισης ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Πρόκειται για ποσοστό και είναι αδιάστατο μέγεθος.

Επίσης, στη διεθνή βιβλιογραφία συναντήθηκαν οι δύο παρακάτω δείκτες ποιότητας που σχετίζονται με την τεχνολογική ωρίμανση και το χρώμα αντιστοίχως.

Ο δείκτης **IMAD** ορίζεται ως το πηλίκο των βαθμών BRIX ($^{\circ}\text{Bx}$) προς την Ολική Οξύτητα (Total Acidity) εκπεφρασμένη σε gr/l. Είναι ένας δείκτης τεχνολογικής ωρίμανσης του σταφυλιού, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διαχείριση του τρύγου.

Σύμφωνα με τους Carreno and Martinez (1995), ο δείκτης **CIRG** (Chromatic Index for Red Grapes, Χρωματικός Δείκτης για τα Κόκκινα Σταφύλια), ορίζεται με την παρακάτω σχέση. Η τιμή του αφορά στο βαθμό χρωματισμού των φλοιών, με μεγαλύτερες τιμές να σημαίνουν πιο σκούρο χρώμα.

H*, η γωνία απόχρωσης

L*, η φωτεινότητα

C*, το χρώμα στο σύστημα Munsell (αντιστοιχεί στον κορεσμό)

1.3 Στόχοι διπλωματικής

Ο πρώτος στόχος της παρούσας εργασίας ήταν η διερεύνηση των δυνατοτήτων του δορυφόρου WorldView-2, για χωρική και φασματική καταγραφή ποιοτικών χαρακτηριστικών στη Γεωργία Ακριβείας. Πρόκειται για έναν νέο δορυφόρο, που επιτρέπει την παρατήρηση της Γης με ακόμα μεγαλύτερη φασματική ανάλυση, μέσω των νέων καναλιών που διαθέτει. Συγκεκριμένα για την παρατήρηση καλλιεργειών, πολύ σημαντικά ήταν τα κανάλια 1 και 6 (Coastal και Red Edge). Συνεπώς, στόχευση ήταν η αξιολόγηση του συγκεκριμένου δορυφόρου για την παρατήρηση της Γης γενικά, αλλά και όσον αφορά τις καλλιέργειες και ειδικά τα αμπέλια.

Επιπλέον στόχος, ήταν η μελέτη των διαφοροποιήσεων στις φασματικές υπογραφές μεταξύ διαφορετικών ποικιλιών αμπέλου. Δηλαδή, η αξιολόγηση της δυνατότητας του δέκτη για διαφορετικές καταγραφές, σε κάτι τόσο όμοιο όσο φυτά που ανήκουν στο ίδιο είδος (*Vitis vinifera*), αλλά σε διαφορετική ποικιλία.

Ένας περαιτέρω στόχος, ήταν η διερεύνηση της δυνατότητας συσχέτισεων φασματικών υπογραφών από αμπέλια τις ίδιας ποικιλίας σε διαφορετικές περιοχές. Έτσι, αξιολογήθηκε η δυνατότητα του δορυφόρου WorldView-2 να παρέχει παρόμοιες φασματικές καταγραφές για αντικείμενα της ίδιας κατηγορίας, σε διαφορετικές εικόνες/στιγμές λήψης/περιοχές. Να παρέχει δηλαδή επαναλήψιμα αποτελέσματα.

Βασικός στόχος επίσης, ήταν η μελέτη και προσαρμογή μοντέλων της βιβλιογραφίας για δεδομένα WorldView-2. Πιο συγκεκριμένα, η διερεύνηση της δυνατότητας των καναλιών του WorldView-2 για τον υπολογισμό/προσαρμογή δεικτών που προτάθηκαν για χρήση με υπερφασματικά δεδομένα.

Τέλος, στόχος της παρούσας εργασίας ήταν η αξιολόγηση των μοντέλων υπολογισμένων από δεδομένα WorldView-2 για την εκτίμηση χαρακτηριστικών ποιότητας του αμπελιού και του σταφυλιού, του μούστου και του κρασιού. Συγκεκριμένα, η διερεύνηση της καταλληλότητας των δεδομένων αυτών, για την παραγωγή χαρτών για τα εν λόγω χαρακτηριστικά. Ως καταλληλότητα εννοείται η δυνατότητα διάκρισης διαφορετικών επιπέδων/ζωνών του εκάστοτε χαρακτηριστικού που είναι απαραίτητο να σχετίζονται με την πραγματικότητα, να είναι τόσο ορθά όσο και ακριβή.

1.4 Συνεισφορά

Η συνεισφορά της παρούσας διπλωματικής εργασίας συνίσταται στα παρακάτω σημεία.

Πρώτον, πραγματοποιήθηκε ποσοτική και ποιοτική αξιολόγηση της συμπεριφοράς του αισθητήρα WorldView-2 μέσω συσχέτισεων με επίγεια δεδομένα, για την ακτινοβολία της πηγής (radiance) και την ανακλαστικότητα (reflectance). Δηλαδή, έγινε αξιολόγηση της φασματικής ανάλυσης ραδιομετρικά και ατμοσφαιρικά διορθωμένων εικόνων WorldView-2.

Δεύτερον, πραγματοποιήθηκε διερεύνηση των συσχέτισεων μεταξύ των φασματικών υπογραφών ίδιων ποικιλιών αμπέλου σε διαφορετικές περιοχές και χρονικές στιγμές λήψης. Διεξήχθη έλεγχος και αξιολόγηση για επαναλήψιμα δεδομένα, όσον αφορά τις καταγραφές χαρακτηριστικών της βλάστησης και συγκεκριμένα των αμπελιών.

Επίσης, πραγματοποιήθηκε διερεύνηση και αξιολόγηση των δεδομένων WorldView-2, όσον αφορά στην εκτίμηση ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών σε αμπελώνες. Αναλυτικότερα, μορφοποιήθηκαν εξισώσεις για τον υπολογισμό υπερφασματικών δεικτών από δεδομένα WorldView-2 και διερευνήθηκαν οι σχέσεις ανάμεσα σε τηλεπισκοπικούς δείκτες και ποιοτικά χαρακτηριστικά του αμπελιού και του σταφυλιού, του μούστου και του κρασιού.

Στη συνέχεια, έγινε χαρτογράφηση ζωνών -που αντιστοιχούσαν σε ποιοτικές διαφοροποιήσεις χαρακτηριστικών- με απώτερο σκοπό τον επιλεκτικό τρύγο ανάλογα με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του αμπελιού. Συγκεκριμένα τα χαρακτηριστικά αυτά ήταν: βλάστηση, ευρωστία, συγκεντρώσεις χλωροφύλλης/καροτενοειδών/ανθοκυανών, οξύτητες, σάκχαρα, pH, επίπεδα πολυφαινόλων, χρώμα, βάρη κλαδεμάτων/ραγών/φλοιών και επίπεδα αζώτου/μαγνησίου.

Και τέλος, αναπτύχθηκαν μοντέλα συσχέτισης για την εκτίμηση της τεχνολογικής ωρίμανσης, του χρώματος και των συγκεντρώσεων σε πολυφαινόλες χρησιμοποιώντας δορυφορικά τηλεπισκοπικά δεδομένα. Συγκεκριμένα, αναπτύχθηκαν πρωτοβάθμιες και δευτεροβάθμιες εξισώσεις για την σχέση ανάμεσα στους τηλεπισκοπικούς δείκτες και τα αποτελέσματα δειγματοληψιών και αναλύσεων για τα παραπάνω χαρακτηριστικά.

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται ανασκόπηση πρόσφατων επιστημονικών εργασιών από τη διεθνή βιβλιογραφία. Αφορούν στη διερεύνηση των σχέσεων ανάμεσα σε τηλεπισκοπικούς δείκτες και χαρακτηριστικά ποιότητας του αμπελιού και του σταφυλιού αλλά και του μούστου και του κρασιού που παράγεται από αυτά. Επίσης, αφορούν στη χαρτογράφηση του φυλλώματος του αμπελιού, και συγκεκριμένα στην ανάπτυξη και αξιολόγηση των σχέσεων ανάμεσα σε τηλεπισκοπικούς δείκτες και τη φυλλική επιφάνεια του αμπελιού.

2.1 Τηλεπισκοπικές Παρατηρήσεις και Ποιοτικά Χαρακτηριστικά του Αμπελιού/Κρασιού

Οι **Meggio et al. (2010)** χρησιμοποίησαν υπερφασματικούς δείκτες για την αξιολόγηση ποιοτικών χαρακτηριστικών των σταφυλιών, σε αμπέλια με χλώρωση/ανεπάρκεια σιδήρου. Τα αμπέλια που έχουν τη συγκεκριμένη ασθένεια έχουν μειωμένα επίπεδα χλωροφύλλης και καροτενοειδών, γεγονός που επηρεάζει αρνητικά τη φωτοσυνθετική τους δραστηριότητα, συνεπώς μειώνοντας τη ζωηρότητα τους, την παραγωγική τους δυνατότητα και την ποιότητα του παραγόμενου οίνου (Terry & Abadia, 1986; Chen & Barak, 1982; Tagliavini & Rombola, 2001; Castino et al., 1987; Veliksar et al., 2005).

Στη διάρκεια 2 ετών (2004, 2005), μελετήθηκαν 14 διαφορετικά αμπελοτεμάχια, που περιείχαν αμπέλια επηρεασμένα ή όχι από την ασθένεια. Οι περιοχές ήταν στο σύνολό τους εντός της ζώνης ονομασίας προέλευσης Ribera del Duero στη Βόρεια Ισπανία. Τα εδάφη ήταν ασβεστώδη με pH γύρω στο 8.7 και οι ετήσιες βροχοπτώσεις στην περιοχή κυμάνθηκαν στα 358 mm το 2004 και 306 mm το 2005. Τα αμπέλια ανήκαν στην ποικιλία Tempranillo και είχαν για υποκείμενο το 110 Richter. Η πυκνότητα φύτευσης είχε εύρος από 220 έως 400 πρέμνα ανά στρέμμα, και η διαμόρφωσή τους είχε γίνει σε απλό ή διπλό Cordon Royat.

Όσον αφορά στις μετρήσεις εδάφους, λήφθηκαν δεδομένα για 7 εκ των 14 αμπελοτεμαχίων. Συγκεκριμένα στο κάθε ένα από αυτά, έγινε συλλογή δεδομένων σε 5 υποπεριοχές διαστάσεων 10 επί 10 μέτρα. Μετρήθηκαν ύψη, πλάτη, διεύθυνση γραμμών φύτευσης, LAI, συγκεντρώσεις χλωροφύλλης α+β στα φύλλα και πραγματοποιήθηκε ανάλυση για τα συστατικά του εδάφους. Την εποχή του περκασμού, συλλέχθηκαν 40 δείγματα φύλλων από κάθε υποπεριοχή για τον προσδιορισμό των θρεπτικών συστατικών στους μίσχους. Επίσης προσδιορίστηκε η παραγωγή και η το βάρος κλαδεμάτων.

Για τις εργαστηριακές αναλύσεις, μια εβδομάδα πριν τον τρύγο, συλλέχθηκαν 100 ράγες από κάθε υποπεριοχή και ο παραχθείς από αυτές μούστος χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των ολικών διαλυτών στερεών (βαθμοί °Brix, ολική οξύτητα, τρυγικό και μηλικό οξύ, δείκτης ολικών φαινολών, pH, απόχρωση και πυκνότητα χρώματος), σύμφωνα με τις επίσημες ευρωπαϊκές μεθόδους ανάλυσης (European Commission, 1990).

Επιπροσθέτως, για τη χρονιά του 2005, συλλέχθηκαν 100 ράγες και αφαιρέθηκαν οι φλοιοί τους από το χυμό και τα κουκούτσια. Τα στερεά υποβλήθηκαν σε διαδικασία εξαγωγής των φαινολικών ενώσεων για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων σε ολικές πολυφαινόλες, ανθοκυάνες, ταννίνες και κατεχίνες. Το χρώμα του μούστου και των φλοιών αξιολογήθηκε με φασματοφωτόμετρο JASCO V-530 UV/VIS. Οι συντεταγμένες L^* , a^* , b^* μετρήθηκαν με χρήση του D65 Illuminant ως αναφορά. Επίσης υπολογίστηκε ο Χρωματικός Δείκτης για τα Κόκκινα Σταφύλια (CIRG, Chromatic Index for Red Grapes) όπως περιγράφηκε από τους Carreño et al. (1995).

Όσον αφορά τα τηλεπισκοπικά δεδομένα, έγινε λήψη δεδομένων με χρήση υπερφασματικού δέκτη (AHS, Argon ST Inc., USA). Η λήψη των υπερφασματικών δεδομένων έλαβε χώρα στις 21 Ιουλίου 2004 και 21 Ιουλίου 2005, τις πρωινές ώρες, για να επιτευχθεί παρόμοια γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών. Η πτήση πραγματοποιήθηκε στα 1000 m από την επιφάνεια του εδάφους, και η γωνία λήψης ήταν στο ναδίρ. Η χωρική ανάλυση των εικόνων ήταν στα 2,5 μέτρα και η φασματική τους ανάλυση ήταν 20 κανάλια στο εύρος 430 έως 1650 nm, με 30 nm εύρος καναλιού στο μισό του μεγίστου (FWHM). Στις εικόνες πραγματοποιήθηκαν ραδιομετρική και ατμοσφαιρική διόρθωση. Στη συνέχεια, υπολογίστηκαν οι τηλεπισκοπικοί δείκτες που φαίνονται στο αριστερό τμήμα του σχήματος 2.1., με κατάλληλη μορφοποίηση των εξισώσεων τους για το δέκτη AHS.

Index-ID	AHS imagery adapted indices	Must composition		Must quality	
<i>Leaf area index</i>		W100	Gitelson-Chl1 SIPI	QJ-1	SIPI Gitelson-Chl1
NDVI	$NDVI = (R_{804} - R_{659}) / (R_{804} + R_{659})$	*BRIX	Gitelson-Chl1-2	QJ-2	Blackburn-Car1-2
<i>Chlorophyll</i>		pH	Gamon-Anth	IMAD	Chappelle-Car
TCARI	$TCARI = 3 * [(R_{718} - R_{689}) - 0.2 * (R_{718} - R_{571}) * (R_{718} / R_{689})]$		Gitelson-Anth		Gitelson-Car1-2
OSAVI	$OSAVI = (1 + 0.16) * (R_{804} - R_{689}) / (R_{804} + R_{689} + 0.16)$	TPI	Gitelson-Chl1 SIPI	CIRG	Gitelson-Anth
TCARI/OSAVI	$TCARI/OSAVI$				Gitelson-Car1-2
Gitelson-Chl1	$[R_{571} - R_{746}] * R_{746}$	Malic	Gitelson-Car1-2		
Gitelson-Chl2	$[R_{689} - R_{746}] * R_{746}$		Gitelson-Anth		
<i>Carotenoid</i>		Must color		Skin extracts components and quality	
Chappelle-Car	R_{746} / R_{513}	L	Gitelson-Chl1	W100 skins	Gitelson-Chl1
Blackburn-Car1	R_{804} / R_{484}	a*	Blackburn-Car2		Blackburn-Car1
Blackburn-Car2	$(R_{804} - R_{484}) / (R_{804} + R_{484})$	c*	Gitelson-Chl1-2 SIPI	DMACH index	Gitelson-Chl2
SIPI	$SIPI = (R_{804} - R_{455}) / (R_{804} + R_{689})$		Chappelle-Car	Tannins	Gamon-Anth
Gitelson-Car1	$[R_{484} - R_{571}] * R_{746}$		Blackburn-Car1		
Gitelson-Car2	$[R_{484} - R_{689}] * R_{746}$	H	Gamon-Anth	Catechins	Chappelle-Car
<i>Anthocyanin</i>			Gitelson-Chl2		Blackburn-Car1
Gamon-Anth	R_{659} / R_{571}	CI	Chappelle-Car	AT	Gitelson-Car1-2
Gitelson-Anth	$[R_{571} - R_{689}] * R_{804}$	Hue	Blackburn-Car1	PT	Gitelson-Anth
			Chappelle-Car		Chappelle-Car
			Blackburn-Car1	CIRG	Blackburn-Car1
					Gitelson-Car1-2
					Gitelson-Car1-2
					Gitelson-Anth

Σχήμα 2.1. Δείκτες που υπολογίστηκαν από τους Meggio et al. (2010) και οι προσαρμοσμένες εξισώσεις τους για τον υπερφασματικό δέκτη AHS (Αριστερά). Οι τηλεπισκοπικοί δείκτες που παρουσιάζουν τα υψηλότερα ποσοστά συσχέτισης με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά ποιότητας των σταφυλιών (Δεξιά).

Για την ανάδειξη των σχέσεων ανάμεσα σε συγκεκριμένους τηλεπισκοπικούς δείκτες και ποιοτικά χαρακτηριστικά των σταφυλιών, πραγματοποιήθηκε ανάλυση γραμμικής παλινδρόμησης, με χρήση των δεδομένων εδάφους/εργαστηριακών αναλύσεων και των τηλεπισκοπικών δεικτών. Στο δεξιό τμήμα του σχήματος 2.1., παρατηρείται η ποιοτική έκφραση των εν λόγω αποτελεσμάτων. Τα αναλυτικά ποσοστά συσχέτισης δεν αναφέρονται για οικονομία χώρου. Τα ποσοστά που ενδιαφέρουν για την παρούσα εργασία παρουσιάζονται μεμονωμένα όπου είναι απαραίτητο.

Οι **Zarco-Tejada et al. (2005)** χρησιμοποίησαν υπερφασματικούς δείκτες για την αξιολόγηση της κατάστασης των αμπελιών. Συγκεκριμένα, πραγματοποίησαν προσομοίωση της ανάκλασης των φύλλων και της κόμης του φυλλικού τείχους σε αμπέλια με μη συνεχή γραμμική φύτευση. Μελετήθηκαν στη διάρκεια δύο ετών (2002-03) 24 αμπελοτεμάχια (*Vitis vinifera* L.), τα οποία ήταν στο σύνολο τους εντός της ζώνης ονομασίας προέλευσης Ribera del Duero στη Βόρεια Ισπανία.

Τον Ιούλιο του 2002, πραγματοποιήθηκε λήψη δεδομένων με τους υπερφασματικούς αερομεταφερόμενους δέκτες ROSIS (Reflective Optics System Imaging Spectrometer, Schneider Systemtechnik GmbH) και DAIS-7915 (Digital Airborne Imaging Spectrometer). Τον Ιούλιο του 2003, διενεργήθηκαν δύο διαφορετικές πτήσεις του αερομεταφερόμενου υπερφασματικού δέκτη CASI (Compact Airborne Spectrographic Imager).

Οι εικόνες από τον ROSIS, είχαν ένα μέτρο χωρική ανάλυση. Στην πρώτη πτήση του CASI λήφθηκαν εικόνες με χωρική ανάλυση επίσης ενός μέτρου και φασματική ανάλυση 8 καναλιών. Τα κέντρα των καναλιών αυτών ήταν στα 490,550,670,700,750,763,775 και 800 nm, και τα εύρη τους στο μισό του μεγίστου (FWHM) ήταν 7-12 nm. Στη δεύτερη πτήση του CASI, λήφθηκαν εικόνες με χωρική ανάλυση 4 μέτρων, και φασματική ανάλυση 72 καναλιών ανά 7.5 nm.

Στις εικόνες που λήφθηκαν από τους δύο παραπάνω δέκτες πραγματοποιήθηκαν βασικές ραδιομετρικές διορθώσεις για τον υπολογισμό της ακτινοβολίας της πηγής. Στη συνέχεια διενεργήθηκαν ατμοσφαιρικές διορθώσεις με χρήση των μοντέλων MODTRAN (για τον ROSIS) και CAM5S (για τον CASI). Τέλος, έγινε γεωαναφορά στις ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες.

Συγχρόνως με τις παραπάνω πτήσεις, έλαβαν χώρα δειγματοληψίες πεδίου. Πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία φύλλων από 10 αμπελοτεμάχια το 2002 και από 14 το 2003, σε συνολικά 103 υποπεριοχές μεγέθους 10 επί 10 μέτρα. Για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων χλωροφύλλης, χρησιμοποιήθηκαν 1467 φύλλα, ενώ για τη μέτρηση των οπτικών ιδιοτήτων (radiance/reflectance) χρησιμοποιήθηκαν 605. Επίσης, μετρήθηκαν τα ολικά στερεά και οι συγκεντρώσεις σε άζωτο, κάλιο, ασβέστιο, φώσφορο, μαγνήσιο και σίδηρο (N,P,K,Ca,Mg,Fe).

Για κάθε περιοχή 10 επί 10, διενεργήθηκαν μετρήσεις μορφολογίας του αμπελιού για ύψη κορμών, ύψη και πλάτη φυλλικού τείχους και διεύθυνση γραμμών φύτευσης. Επιπροσθέτως, συλλέχθηκαν δείγματα εδάφους για εργαστηριακή ανάλυση. Με δειγματοληψία καταστροφής, μετρήθηκαν στο εργαστήριο οι συγκεντρώσεις σε χλωροφύλλη α, χλωροφύλλη β, χλωροφύλλη α+β και καροτενοειδή. (C_a , C_b , C_{ab} , C_{x+c}).

Με χρήση των υπερφασματικών εικόνων, υπολογίστηκε ένας μεγάλος αριθμός δεικτών βλάστησης.

Για την προσομοίωση των οπτικών ιδιοτήτων των φύλλων, χρησιμοποιήθηκαν μέθοδοι αντιστροφής μοντέλων με προσομοίωση της μεταφοράς ακτινοβολίας. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο PROSPECT, (Jacquemoud & Baret, 1990), αξιοποιώντας τα εκτενή δεδομένα που συλλέχθηκαν για τις οπτικές ιδιότητες των φύλλων. Για την προσομοίωση της γραμμικής μορφολογίας των αμπελιών, το μοντέλο PROSPECT συνδέθηκε με το μοντέλο rowMCRM (Markov-Chain Canopy Reflectance Model; Kuusk, 1995).

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι δείκτες που υπολογίστηκαν από την περιοχή του φάσματος στα 700-750 nm, είχαν τα καλύτερα αποτελέσματα στον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων χλωροφύλλης ($r^2=0.8-0.9$). Στον αντίποδα, οι δείκτες SIPI (Structure Insensitive Pigment Index) και PRI (Photochemical Reflectance Index), ήταν περισσότερο ευαίσθητοι στις συγκεντρώσεις καροτενοειδών (C_{x+c}) και στο λόγο των συγκεντρώσεων χλωροφύλλης/καροτενοειδών (C_{ab}/C_{x+c}), παρά στις συγκεντρώσεις χλωροφύλλης (C_{ab}). Η εκτίμηση των επιπέδων χλωροφύλλης μέσω αντιστροφής του μοντέλου PROSPECT για τα φύλλα, ήταν επιτυχής δίνοντας $r^2=0.95$.

Για τον έλεγχο της εγκυρότητας των δεικτών επιπέδου φύλλου (leaf-level indices) ως εκτιμητές επιπέδων χλωροφύλλης, χρησιμοποιήθηκε η προσέγγιση σύνδεσης των μοντέλων PROSPECT και rowMCRM. Έτσι, λήφθηκαν υπ' όψιν παράμετροι όπως η μορφολογία των φυτών, οι διαστάσεις τους, η διεύθυνση των γραμμών φύτευσης και οι επιδράσεις του εδάφους και των σκιών.

Ο λόγος των δεικτών TCARI/OSAVI (Transformed Chlorophyll Absorption in Reflectance/Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index), ήταν ο πιο σταθερός εκτιμητής των συγκεντρώσεων χλωροφύλλης από τις εικόνες CASI και ROSIS.

Επίσης, με χρήση του μοντέλου PROSPECT-rowMCRM, αναπτύχθηκαν σχέσεις

πρόβλεψης των επιπέδων χλωροφύλλης, από το λόγο TCARI/OSAVI, για διαφορετικές τιμές του Δείκτη Εμβαδού Φυλλώματος (LAI). Οι σχέσεις αυτές εφαρμόστηκαν με επιτυχία ($r^2=0.67$) στις 103 υποπεριοχές μελέτης, από τα 24 αμπελοτεμάχια που απεικόνισαν οι δέκτες ROSIS και CASI.

2.2 Τηλεπισκοπικές Παρατηρήσεις και Χαρτογράφηση Φυλλώματος

Οι **Johnson et al. (2003)**, ερεύνησαν τη χαρτογράφηση της φυλλικής επιφάνειας σε αμπελώνες, με χρήση πολυφασματικών δορυφορικών εικόνων IKONOS.

Οι περιοχές μελέτης ήταν αμπελώνες του οινοποιείου Robert Mondavi, στις τοποθεσίες Tokalon και Huchica Hills (στο Oakville της California, USA). Ο αμπελώνας στο Tokalon καλύπτει έκταση 500 ha, και επωφελείται από το ήπιο κλίμα της οινοπαραγωγικής περιοχής Napa Valley. Ο συγκεκριμένος αμπελώνας αποτελείται από κόκκινες κυρίως ποικιλίες και έχει αμμώδη/αργιλώδη εύφορα εδάφη. Ο αμπελώνας στο Huchica καλύπτει μια έκταση 300 ha και βρίσκεται στα νοτιοανατολικά του προηγούμενου αμπελώνα, πιο κοντά στη θάλασσα. Αποτελείται από αμπέλια κόκκινων και λευκών ποικιλιών και έχει αργιλώδη εδάφη και μεγαλύτερες κλίσεις εδάφους.

Και στις δύο περιοχές μελέτης, ο LAI φτάνει στη μέγιστη τιμή του στα τέλη Ιουνίου και διατηρείται σε αυτά τα επίπεδα μέχρι τα μέσα/τέλη Σεπτεμβρίου.

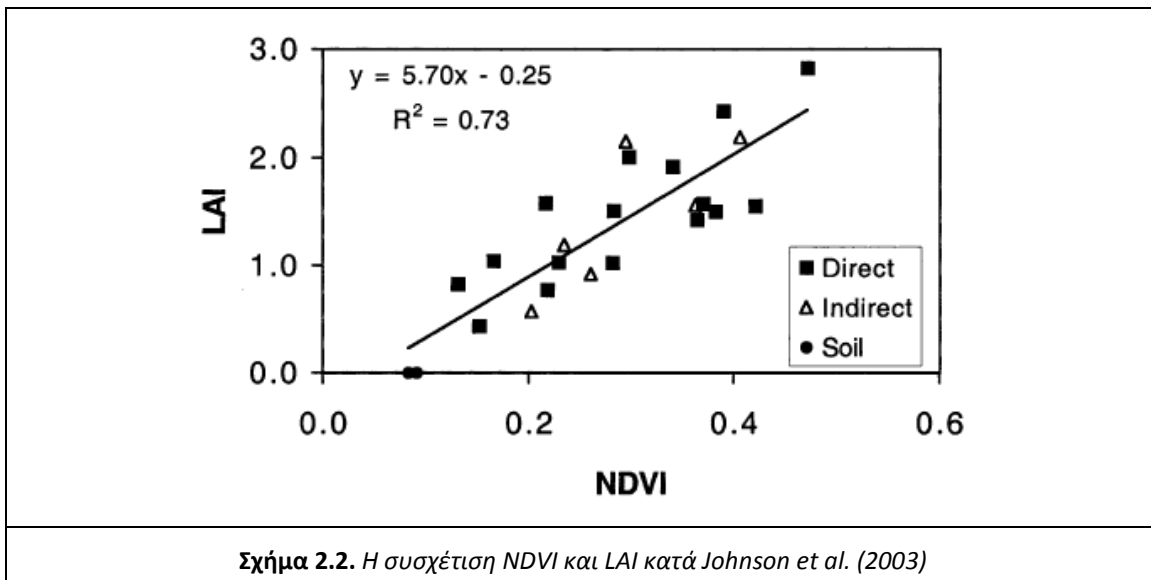
Για τον προσδιορισμό της σχέσης ανάμεσα στον LAI και τον NDVI, στις δύο περιοχές μελέτης οριοθετήθηκαν 24 περιοχές ελέγχου. Στις 16 εξ αυτών πραγματοποιήθηκαν άμεσες μετρήσεις του LAI, στις 6 έμμεσες, και οι υπόλοιπες 2 ήταν γυμνό έδαφος. Οι περιοχές επιλέχθηκαν, έτσι ώστε να εμφανίζουν διαφοροποιήσεις σε παραμέτρους όπως το σύστημα διαμόρφωσης, η πυκνότητα φύτευσης, η ποικιλία και η ηλικία. Η πλειοψηφία των περιοχών αυτών δεν είχε υποκείμενη βλάστηση, ενώ σε αυτές που υπήρχε ήταν ξεραμένο χορτάρι κάλυψης με κάποια πράσινα αγριόχορτα.

Οι άμεσες μετρήσεις του LAI, έγιναν στο εργαστήριο, από τα φύλλα που συλλέχθηκαν στο πεδίο με χρήση ηλεκτρονικού μέτρου (Model LI-3000, LIL COR, Inc., Lincoln, NE). Οι έμμεσες μετρήσεις, πραγματοποιήθηκαν στο πεδίο, μέσω του μήκους των κλαδιών. Στις περιοχές γυμνού εδάφους, συλλέχθηκε χώμα, και μετά από ξήρανση, θλίψη και κοσκίνιση, μετρήθηκε η ανακλαστικότητα του με σπεκτροφωτόμετρο.

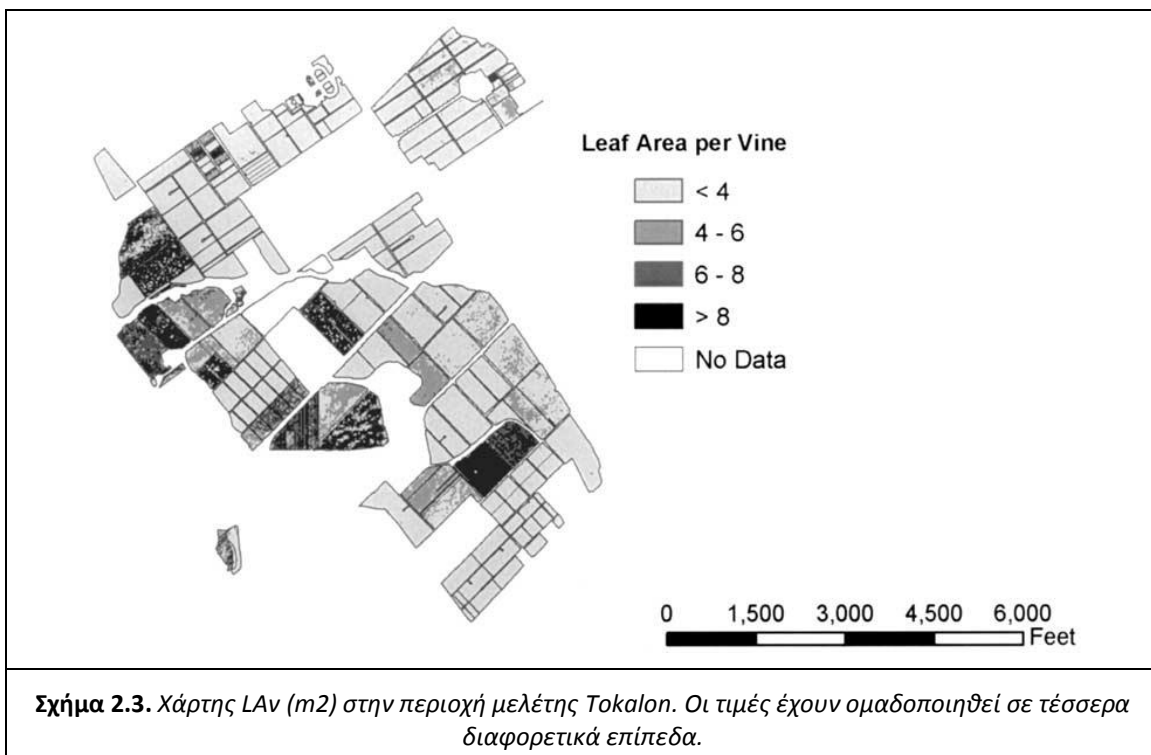
Οι τοποθεσίες των περιοχών ελέγχου καταγράφηκαν με χρήση GPS (Trimble Ag, Trimble Inc., Sunnyvale, CA). Επίσης, μετρήθηκαν σημεία ελέγχου σε διακριτές διασταυρώσεις δρόμων, προκειμένου να επαληθευτεί η γεωαναφορά των εικόνων.

Όσον αφορά στις δορυφορικές εικόνες, πραγματοποιήθηκαν λήψεις από το δορυφόρο IKONOS, την περίοδο πλήρους ανάπτυξης του φυλλώματος. Η επεξεργασία τους περιελάμβανε βασικές ραδιομετρικές διορθώσεις για τον υπολογισμό της ακτινοβολίας της πηγής, και γεωαναφορά τους με χρήση ορθοεικόνων υψηλής ανάλυσης.

Στη συνέχεια από τα κανάλια R και IR (κόκκινο, υπέρυθρο) υπολογίστηκε ο δείκτης NDVI. Από τις ακριβείς μετρήσεις συντεταγμένων, αντιστοιχίστηκε η μέτρηση του LAI σε κάθε περιοχή ελέγχου με την τιμή του NDVI στο αντίστοιχο φαντίο της εικόνας. Έτσι προέκυψε η σχέση ανάμεσα στον NDVI και τον LAI (Σχήμα 2.2.).



Χρησιμοποιώντας ΣΓΠ με αποστάσεις γραμμών και αποστάσεις φύτευσης χαρτογραφήθηκε ο δείκτης LAI_v , που εκφράζει την επιφάνεια φυλλώματος ανά πρέμνο (Σχήμα 2.3.). Όσον αφορά στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, μετρήθηκαν τα βάρη κλαδεμάτων στην εποχή ανάπαυσης του αμπελιού (μέσα Νοέμβρη). Παρατηρήθηκε σημαντική συσχέτιση ανάμεσα στα βάρη αυτά και το λογάριθμο του LAI_v ($\ln(LAI_v)$).



Οι **Haboudane et al. (2004)** ανέπτυξαν και αξιολόγησαν νέους αλγορίθμους και μοντέλα για τον προσδιορισμό του πράσινου LAI σε φυλλώματα από υπερφασματικούς δείκτες βλάστησης, στα πλαίσια της Γεωργίας Ακριβείας.

Η περιοχή που μελετήθηκε ήταν στην τέως Greenbelt Farm of Agriculture and Agri-Food στην Οττάβα του Καναδά. Στη διάρκεια τριών ετών, καλλιεργήθηκε καλαμπόκι, σιτάρι και σόγια, σε περιοχή 30 εκταρίων.

Οι υπερφασματικές εικόνες λήφθηκαν με το δέκτη CASI (Compact Airborne Spectrographic Imager, Calgary, Canada). Σε κάθε ένα από τα έτη καλλιέργειας 2000 και 2001, διεξήχθησαν τρεις διαφορετικές πτήσεις του δέκτη, χρησιμοποιώντας δύο διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας του αισθητήρα. Ο πρώτος τρόπος έδωσε εικόνες με χωρική ανάλυση 1 m και 7 κανάλια (στα 489.51, 554.98, 624.63, 681.42, 706.12, 742.31, και 776.69 nm). Ο δεύτερος τρόπος έδωσε εικόνες με χωρική ανάλυση 2 m και 72 κανάλια στην περιοχή του φάσματος από τα 408 έως τα 947 nm με εύρος καναλιού 7,5 nm. Οι πτήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν σε διαφορετικά στάδια του κύκλου καλλιέργειας, καλύπτοντας τα αρχικά στάδια βλάστησης, την περίοδο ενεργούς ανάπτυξης και τις περιόδους αναπαραγωγής των δύο ετών καλλιέργειας. Επίσης λήφθηκε μια υπερφασματική εικόνα για το έτος 1999, στις 23 Αυγούστου.

Παράλληλα με τη λήψη των εικόνων, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις για τη δημιουργία βάσης δεδομένων πεδίου και εργαστηρίου. Διεξήχθησαν μετρήσεις ακτινοβολίας και ανακλαστικότητας των φύλλων χρησιμοποιώντας τη σφαίρα ολοκλήρωσης Li-Cor model 1800-12 (Lincoln, NE) σε συνδυασμό με το σπεκτροραδιόμετρο GER1500 (GER, Millbrook, NY). Επίσης, μετρήθηκε ο Δείκτης Εμβαδού Φυλλώματος (LAI) με χρήση του οργάνου Plant Canopy Analyzer (LAI-2000;Li-Cor). Ο LAI υπολογίστηκε επίσης με χρήση δειγματοληψίας καταστροφής, ξεχωριστά για τα πράσινα και ξεχωριστά για τα νεκρά φύλλα. Χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις αυτές, υπολογίστηκε ο πράσινος LAI (δηλαδή ο LAI για τα πράσινα φύλλα.)

Στις εικόνες CASI εφαρμόστηκαν επεξεργασίες για τον υπολογισμό της ακτινοβολίας των αντικειμένων και της ανακλαστικότητας (radiance, reflectance). Επίσης, έγιναν ατμοσφαιρικές διορθώσεις. Επιπροσθέτως, εξαλείφθηκαν οι επιρροές της κίνησης του αεροσκάφους και πραγματοποιήθηκε γεωαναφορά. Τέλος, έγινε προσαρμογή στο επίπεδο για την ανακλώμενη από την επιφάνεια ακτινοβολία.

Οι οπτικές ιδιότητες των φύλλων προσομοιώθηκαν χρησιμοποιώντας το μοντέλο PROSPECT (Jacquemoud & Baret, 1990; Jacquemoud et al., 1996), ενώ για την προσομοίωση της ανακλαστικότητας του φυλλώματος, χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο SAILH (Kuusk, 1985).

Υπολογίστηκαν οι τηλεπισκοπικοί δείκτες βλάστησης NDVI, RDVI, MSR, SAVI, MSAVI, SARVI, MCARI και TVI. (για περαιτέρω στοιχεία βλ. υποεν. 3.4.1.). Επίσης προτάθηκαν δύο νέοι δείκτες οι MCARI2 και MTVI2, ως βελτιώσεις στους MCARI1 και MTVI1. Η εξέλιξη που προσφέρουν είναι η συμπερίληψη σε αυτούς ενός παράγοντα για προσαρμογή εδάφους.

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε έλεγχος για τη γραμμικότητα της σχέσης ανάμεσα, στους παραπάνω δείκτες και τις τιμές ανακλαστικότητας των φύλλων στο εγγύς υπέρυθρο (όπως υπολογίστηκαν από τις εικόνες CASI). Την καλύτερη συμπεριφορά παρουσίασαν οι δείκτες MTVI1, MCARI1, MTVI2 και MCARI2.

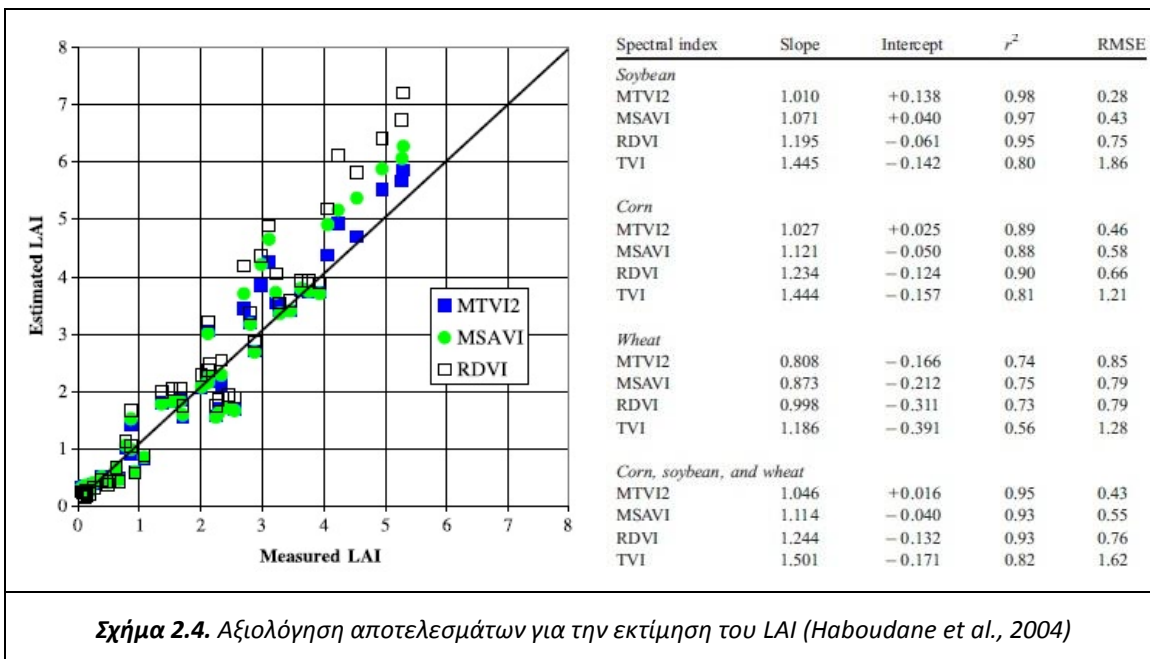
Για την εκτίμηση του LAI, χρησιμοποιήθηκαν προσομοιωμένα δεδομένα μέσω των μοντέλων PROSPECT και SAILH. Έτσι προσδιορίστηκαν σχέσεις προβλέψεις για τιμές του LAI από 0,3 έως 7. Τα καλύτερα αποτελέσματα έδωσαν οι εκθετικές συναρτήσεις ($R^2 > 98\%$) με χρήση των δεικτών RDVI, TVI, MSAVI και MTVI2. Οι εξισώσεις τους έχουν ως εξής:

$$LAI = 0,0918 * e^{RDVI*6,0002} \quad LAI = 0,1817 * e^{TVI*4,1469}$$

$$LAI = 0,1663 * e^{MSAVI*4,2731} \quad LAI = 0,2227 * e^{MTVI2*3,6566}$$

Για τον έλεγχο των εν λόγω εξισώσεων, χρησιμοποιήθηκαν οι εικόνες CASI και δεδομένα εδάφους που συλλέχθηκαν στη διάρκεια τριών ετών σε διάφορα σημεία των αγροτεμαχίων καλαμποκιού, σιταριού και σόγιας. Από αυτά προέκυψε ο μετρηθείς LAI

της περιοχής (Measured LAI). Ο εκτιμηθείς LAI (Estimated LAI), υπολογίστηκε από τις παραπάνω εξισώσεις. Στο Σχήμα 2.4., παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της συσχέτισης, καθώς και τα αντίστοιχα ποσοστά και σφάλματα για κάθε καλλιέργεια ξεχωριστά και για όλες μαζί.



Σχήμα 2.4. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων για την εκτίμηση του LAI (Haboudane et al., 2004)

Εκτός από τα παραπάνω έχουν πραγματοποιηθεί διεθνώς αρκετές ερευνητικές προσπάθειες σχετικές με την Αμπελουργία Ακριβείας.

Ενδεικτικά, με χρήση δορυφορικών δεδομένων έχει επιχειρηθεί: διαχρονική παρακολούθηση του φυλλώματος, καθ' όλο τον ετήσιο κύκλο των αμπελιών, καθώς και της σχέσης του με την ποιότητα των σταφυλιών και την παραγωγή (Hall et al., 2003,2011; Fiorillo et al. 2012) και διαχωρισμός αμπελοτεμαχίων σε ζώνες με βάση την υδατική τους κατάσταση (Acevedo-Orazo et al., 2008).

Με χρήση αισθητήρων που λαμβάνουν καταγραφές στο θερμικό τμήμα του υπερώθρου, έχει μελετηθεί περαιτέρω η υδατική κατάσταση των αμπελιών από τους Moller et al. (2006), Serrano et al. (2010) και άλλους.

Χρησιμοποιώντας υπερφασματικά δεδομένα, οι Main et al. (2011), αξιολόγησαν τη συσχέτιση ενός μεγάλου αριθμού τηλεπισκοπικών δεικτών με τα επίπεδα χλωροφύλλης ενώ οι Stagakis et al. (2010) παρακολούθησαν τις βιοφυσικές και βιοχημικές παραμέτρους της κόμης του φυλλώματος.

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται, η διαδικασία συλλογής των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν, οι προεπεξεργασίες που έγιναν σε αυτά, η μεθοδολογία συσχέτισης των φασματικών υπογραφών που προέκυψαν από τα επεξεργασμένα δεδομένα, και η μεθοδολογία εκτίμησης ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών σε αμπελώνες με χρήση τηλεπισκοπικών δεικτών.

3.1 Συλλογή Δεδομένων

Το πρώτο στάδιο διαδικασιών για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας, ήταν η συλλογή των απαραίτητων δεδομένων. Συγκεκριμένα η συλλογή των δεδομένων συνίστατο σε: α) Πραγματοποίηση μετρήσεων στο πεδίο, β) παραλαβή των δορυφορικών εικόνων WV2 και γ) παραλαβή των δεδομένων που διατέθηκαν από την ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε.

3.1.1 Προγραμματισμός εργασιών και εργασίες υπαίθρου

Οι εργασίες υπαίθρου που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της συλλογής δεδομένων περιελάμβαναν, δημιουργία αυτοσχεδίων-κροκί για τις θέσεις και τις ποικιλίες των αμπελοτεμαχίων, καταγραφές με φασματογράφο χειρός και μετρήσεις με όργανα GPS.

Οι παραπάνω διαδικασίες έλαβαν χώρα, για την εκάστοτε περιοχή, την ίδια ημέρα και περίπου την ίδια ώρα με τη λήψη των δορυφορικών εικόνων. Δηλαδή τις πρωινές ώρες των 28.7.12 και 30.7.12. Για την ομαλή διεξαγωγή των μετρήσεων, είχε πραγματοποιηθεί εκ των προτέρων προγραμματισμός εργασιών.

Προγραμματισμός εργασιών

Αρχικά, επιλέχθηκαν τα όργανα με τα οποία θα πραγματοποιούνταν οι απαραίτητες μετρήσεις. Για την εξοικείωση με αυτά έλαβαν χώρα δοκιμαστικές μετρήσεις στο χώρο του Πολυτεχνείου.

Το σύστημα οργάνων GPS που χρησιμοποιήθηκε ήταν το Trimble Spectra Epoch 25 L1/L2 RTK GPS, με ένα δέκτη Base και έναν Rover. Η ονομαστική ακρίβεια στατικού εντοπισμού για το συγκεκριμένο όργανο είναι 5mm + 0,5 ppm οριζοντιογραφικά και 5mm + 1 ppm υψομετρικά. Στην πράξη, η ακρίβεια ενδέχεται να διαφέρει από την ονομαστική, καθώς επηρεάζεται από παράγοντες όπως ο χρόνος μέτρησης, το πλήθος των δορυφόρων που συμμετείχαν και η γεωμετρία τους.

Όσον αφορά στο φασματογράφο χειρός, επιλέχθηκε ο GER 1500 της Spectra Vista Corporation. Με το όργανο αυτό πραγματοποιήθηκαν καταγραφές στην περιοχή του φάσματος από τα 350 έως τα 1000 nm, σε 512 κανάλια με εύρος περίπου 1 nm. Η περιοχή καταγραφής ήταν ένα τετράγωνο 5 επί 5 cm. Επίσης, το όργανο αυτό συνδέθηκε με σύστημα GPS χειρός, ώστε μαζί με τη φασματική πληροφορία να αποθηκεύεται και η θέση κάθε καταγραφής.

Για την ευκολότερη και ταχύτερη καταγραφή πληροφοριών στο πεδίο, εξήχθησαν τα περιγράμματα των αμπελοτεμαχίων και εκτυπώθηκαν ως υπόβαθρο για τα αυτοσχέδια υπαίθρου. Στην περίπτωση του Μεγαπλάτανου, υπήρχε διαθέσιμο τοπογραφικό σχέδιο του Γιώργου Μακρή από παλαιότερη αποτύπωση της περιοχής. Για την Τράπεζα χρησιμοποιήθηκαν εικόνες από το Google Earth και η ψηφιοποίηση των αμπελοτεμαχίων πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον AutoCAD.



Σχήμα 3.1. Η περιοχή μελέτης i) της Τράπεζας (πάνω) και ii) του Μεγαπλατάνου (κάτω), όπως παρουσιάζονται στο Google Earth.

Για τον προγραμματισμό των μετρήσεων GPS, αρχικά έγινε αναζήτηση για τα υπάρχοντα τριγωνομετρικά σημεία στις δύο περιοχές μελέτης, από τον ιστότοπο της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (<http://web.gys.gr/GeoSearch/>). Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκαν οι εικόνες του σχήματος 3.1. για τον εντοπισμό των επιλεχθέντων τριγωνομετρικών σημείων και την αναζήτηση φωτοσταθερών σημείων (σε γωνίες κτιρίων, διασταυρώσεις δρόμων κτλ.). Οι θέσεις αυτών σημειώθηκαν στα αυτοσχέδια υπαίθρου για τη διευκόλυνση των εργασιών πεδίου.

Όσον αφορά στην ακρίβεια των μετρήσεων, εξαρτάται από το μέγεθος της εδαφοψηφίδας του δορυφόρου WV2, καθώς οι σκοπεύσεις των σημείων πραγματοποιήθηκαν σε δορυφορική εικόνα. Ονομαστικά, η εδαφοψηφίδα έχει διαστάσεις 46 επί 46 cm. Επίσης, η ακρίβεια μέτρησης επί της δορυφορική εικόνας είναι θεωρητικά υποφατνιακή (subpixel accuracy). Η ακρίβεια αυτή θεωρήθηκε στο μισό της εδαφοψηφίδας, δηλαδή στα 23 cm, οπότε προτάθηκε η ακρίβεια μέτρησης των φωτοσταθερών στο πεδίο να είναι περίπου 10-15 cm. Για να επιτευχθούν τέτοια επίπεδα ακρίβειας είναι απαραίτητη η καλή γεωμετρία των δορυφόρων τη στιγμή των μετρήσεων. Συνεπώς, επιλέχθηκε η μέθοδος του στατικού εντοπισμού.

Τελευταίο σκέλος του προγραμματισμού εργασιών, ήταν η εκτίμηση του απαραίτητου χρόνου για την πραγματοποίηση όσων αναφέρθηκαν παραπάνω.

Εργασίες υπαίθρου

Στις 28.07.12 έγινε επίσκεψη στο οινοποιείο και τα αμπελοτεμάχια του κτήματος Χατζημιχάλη στην περιοχή Μεγαπλάτανος, βόρεια της Αταλάντης Φθιώτιδος. Ο προγραμματισμός εργασιών προέβλεπε μέτρηση δικτύου με όργανα GPS, επιβεβαίωση της υπάρχουσας αποτύπωσης για τις θέσεις και τις ποικιλίες των αμπελοτεμαχίων και λήψη καταγραφών με φασματογράφο χειρός για τις ποικιλίες αυτές και για τα υπόλοιπα στοιχεία του περιβάλλοντος (χώμα, άλλες καλλιέργειες, ανθρώπινες κατασκευές κτλ.).

Κατά τη διάρκεια της επίσκεψης αποφασίστηκε να μην πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις δικτύου GPS, καθώς δεν ήταν απαραίτητες. Η περιοχή ήταν σχεδόν επίπεδη, συνεπώς κρίθηκε πως η παραγωγή ορθοεικόνας θα μπορούσε να γίνει με χρήση μόνο του ορθοφωτοχάρτη και του ψηφιακού μοντέλου εδάφους της Κτηματολόγιο Α.Ε..

Με περιήγηση στην περιοχή μαζί με εργαζόμενο του οινοποιείου, καταγράφηκαν σε κροκί οι θέσεις των αμπελοτεμαχίων, καθώς και η αντίστοιχες ποικιλίες αμπέλου. Στο Σχήμα 3.2. παρουσιάζεται ο κατάλογος των 5 ερυθρών και 15 λευκών ποικιλιών που καλλιεργούνται στην περιοχή.

Ταυτόχρονα, λαμβάνονταν καταγραφές με το φασματογράφο χειρός. Όπως προαναφέρθηκε, η περιοχή καταγραφής του φασματογράφου είναι περίπου 5 επί 5 cm. Όσον αφορά τις καταγραφές για τις διαφορετικές ποικιλίες αμπέλου, στόχος ήταν η περιοχή αυτή να περιλαμβάνει μόνο το φύλλωμα. Έτσι, η προκύπτουσα φασματική υπογραφή θα ήταν όσο δυνατόν πιο χαρακτηριστική για κάθε ποικιλία, εξαλείφοντας στοιχεία ομογενοποίησης όπως το χώμα στο υπόβαθρο.

Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 274 καταγραφές με το φασματογράφο στην περιοχή του Μεγαπλάτανου. Επίσης, εκτός από τις καταγραφές για τις διαφορετικές ποικιλίες, πραγματοποιήθηκαν καταγραφές και για διαφορετικές καταστάσεις υγείας και ζωηρότητας του αμπελιού, και για ετερογενή στοιχεία όπως χώμα, άλλες καλλιέργειες, τσιμέντο κτλ.. Σημειώνεται εδώ ότι για τις ποικιλίες Trebbiano, Ασύρτικο και Arintho δεν λήφθηκαν στοιχεία εδάφους, είτε διότι καταλάμβαναν πολύ μικρή έκταση, είτε λόγω νεαρότητας των φυτών, ή λόγω περιορισμών στην προσβασιμότητα.

Ποικιλίες Αμπέλου στον Μεγαπλάτανο			
1	Cabernet Sauvignon	11	Ασύρτικο
2	Syrah	12	Αθήρι
3	Ξινόμαυρο	13	Semillon
4	Merlot	14	Μαλαγουζιά
5	Grenache Rouge	15	Μοσχάτο Romano
6	Chardonnay	16	Αηδάνι
7	Ρομπόλα	17	Grechetto
8	Ribolla Gialla	18	Grecanico
9	Verticchio	19	Sauvignon Blanc
10	Trebbiano	20	Arintho

Σχήμα 3.2. Οι ποικιλίες αμπέλου που καταγράφηκαν στην περιοχή του Μεγαπλάτανου.

Στις 30.07.12 έγινε επίσκεψη στην περιοχή Τράπεζα Αιγίου. Στο ομώνυμο οροπέδιο υπάρχουν αμπελοτεμάχια που αξιοποιεί το οινοποιείο "Οινοφόρος". Ο προγραμματισμός προέβλεπε δύο ημέρες εργασιών, με μετρήσεις φασματογράφου την πρώτη και μετρήσεις GPS τη δεύτερη.

Την πρώτη ημέρα, πραγματοποιήθηκε αναγνώριση της περιοχής και συμπλήρωση των αυτοσχεδίων υπαίθρου με τη βοήθεια αμπελουργού της περιοχής. Έτσι, καταγράφηκαν οι θέσεις των αμπελοτεμαχίων, και οι ποικιλίες καλλιέργειας σε αυτά. Στα πλαίσια της περιήγησης, πραγματοποιήθηκαν επίσης μετρήσεις με το φασματογράφο χειρός. Έγιναν συνολικά 20 καταγραφές για τις οκτώ διαφορετικές ποικιλίες της περιοχής, καθώς και για στοιχεία όπως χρώμα, άγρια βλάστηση κτλ.. Στο Σχήμα 3.3. παρουσιάζονται οι ποικιλίες της περιοχής.

Ποικιλίες Αμπέλου στην Τράπεζα			
1	Syrah	5	Riesling
2	Merlot	6	Ροδίτης
3	Μαυροδάφνη	7	Λαγόρθι
4	Sauvignon Blanc	8	Κορινθιακή Σταφίδα (Μαύρη)

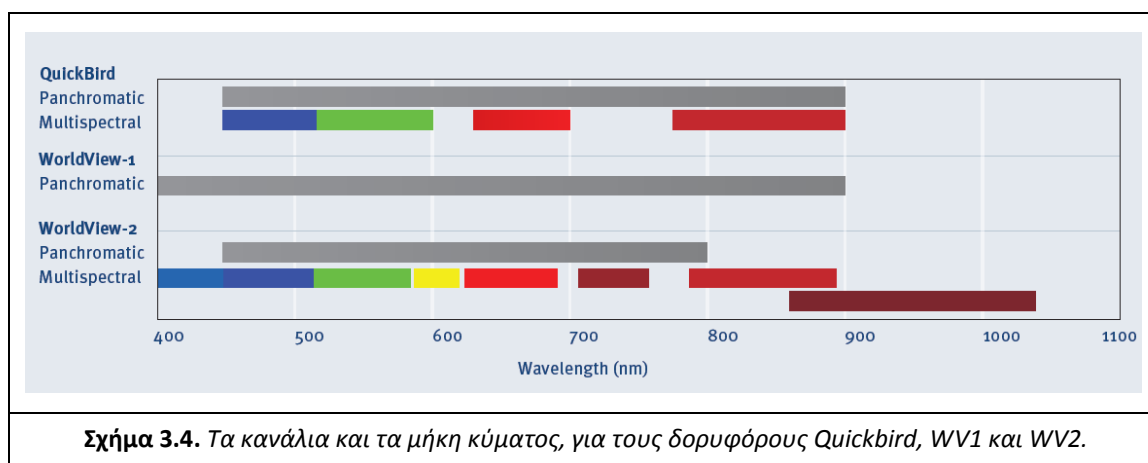
Σχήμα 3.3. Οι ποικιλίες αμπέλου που καταγράφηκαν στην περιοχή της Τράπεζας.

Τη δεύτερη ημέρα πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις GPS. Ο δέκτης Base τοποθετήθηκε στο τριγωνομετρικό σημείο 77 με ονομασία ΚΑΤΑΦΥΓΙΑ (Φύλλο Χάρτη ΑΙΓΙΟΝ), καθώς είχε καλή προσβασιμότητα και μικρή απόσταση από την περιοχή. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του στατικού εντοπισμού και το σύστημα αναφοράς ήταν το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987 (ΕΓΣΑ '87).

Ο δέκτης Rover τοποθετήθηκε σε πέντε χαρακτηριστικά σημεία της περιοχής, ώστε να δράσουν σαν φωτοσταθερά σημεία στη διαδικασία παραγωγής ορθοεικόνας. Στην πράξη, εφ' όσον η δορυφορική εικόνα φέρει τη γεωαναφορά της, είναι αρκετά ένα με δύο σημεία. Μετρήθηκαν πέντε σημεία για λόγους ασφάλειας, επειδή δεν ήταν γνωστό αν θα φαίνονταν όλα ευκρινώς στην εικόνα. Στο κάθε ένα από αυτά, ο δέκτης Rover παρέμεινε για 20 λεπτά της ώρας, ώστε να εξασφαλιστεί καλή γεωμετρία των δορυφόρων που συμμετείχαν στη λύση.

3.1.2 Δορυφορικά δεδομένα WorldView-2

Τα βασικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία ήταν οι δορυφορικές εικόνες WV2. Τα δεδομένα αυτά παρασχέθηκαν δωρεάν από την εταιρία διάθεσης δορυφορικών δεδομένων DigitalGlobe. Συγκεκριμένα, έγιναν διαθέσιμα για κάθε περιοχή μελέτης μια πολυφασματική και μια παγχρωματική εικόνα, από την εποχή του περκασμού για τις δύο περιοχές (τέλη Ιουλίου-αρχές Αυγούστου). Ο περκασμός είναι το στάδιο ωρίμανσης του αμπελιού, κατά το οποίο οι ράγες των σταφυλιών μεγαλώνουν και αρχίζουν να αποκτούν το χρώμα τους. Οι σύγχρονες έρευνες γύρω από την Αμπελουργία Ακριβείας, εστιάζουν στη συγκεκριμένη εποχή ανάπτυξης του αμπελιού, για την παροχή συμπερασμάτων όσον αφορά τον επερχόμενο τρύγο.



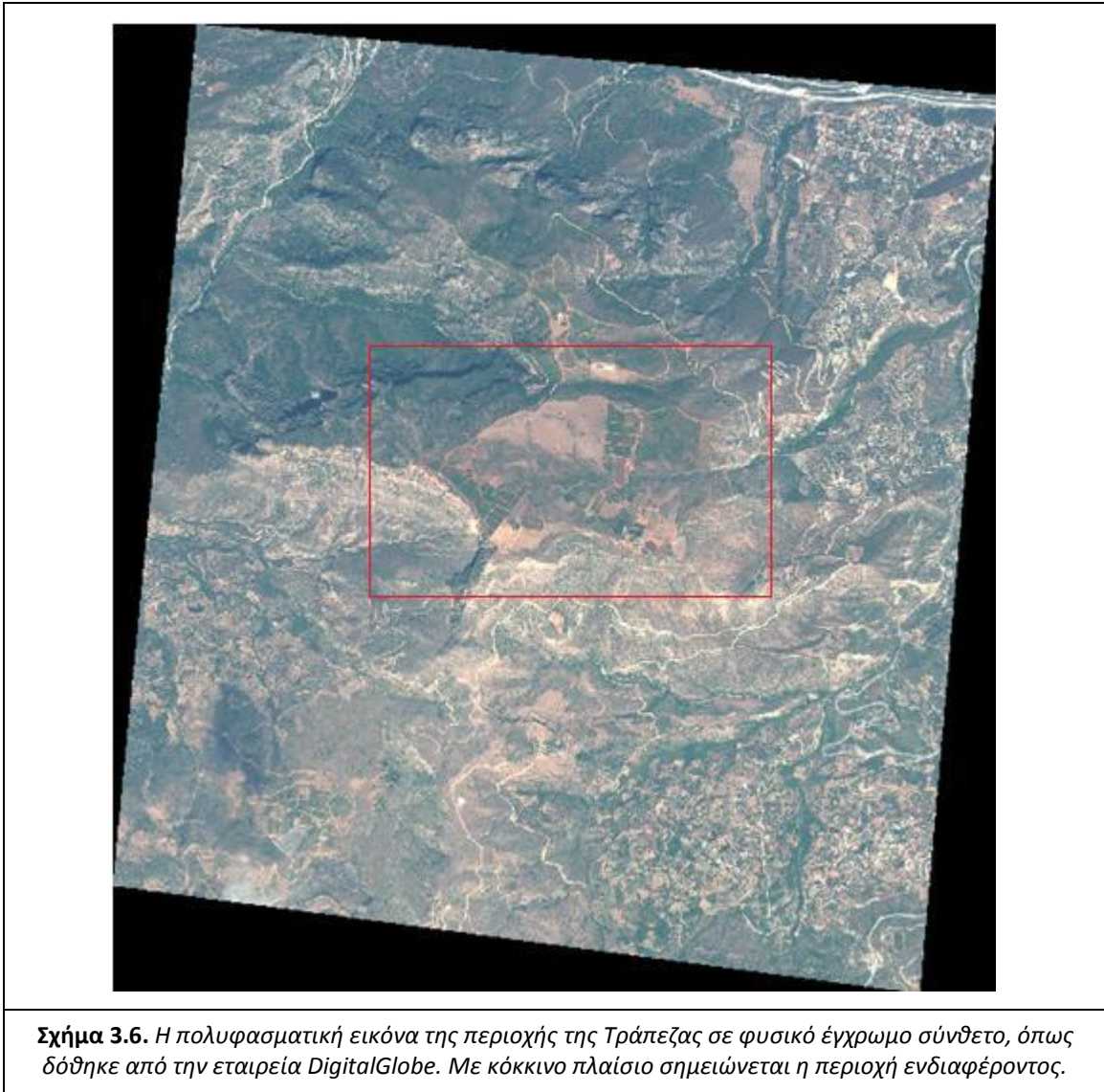
Ο δορυφόρος WV2, προσφέρει δεδομένα με υψηλή χωρική ακρίβεια και οκτώ πολυφασματικά κανάλια. Συγκεκριμένα, το ονομαστικό μέγεθος φατνίου είναι για τις παγχρωματικές εικόνες 0.46 m και για τις πολυφασματικές 1.85 m (με άξονα λήψης στο ναδύρ). Όσον αφορά στα διαθέσιμα κανάλια, εκτός από τα ευρέως διαθέσιμα κανάλια Μπλε (Blue), Πράσινο (Green), Κόκκινο (Red) και Εγγύς Υπέρυθρο (NIR), διαθέτει ακόμα τέσσερα νέα κανάλια τα Παράκτιο Μπλε (Coastal Blue), Κίτρινο (Yellow), Όριο Κόκκινου (Red-Edge) και Εγγύς Υπέρυθρο 2 (NIR2). Στο σχήμα 3.4. παρουσιάζεται μια σύγκριση ανάμεσα στα κανάλια του WV2 και τα κανάλια του ευρέως χρησιμοποιούμενου δορυφόρου Quickbird.

Πιο συγκεκριμένα, στο σχήμα 3.5. εμφανίζονται τα εύρη των καναλιών του WV2 καθώς και πληροφορίες για τη χρησιμότητα τους σε διαφορετικές εφαρμογές Τηλεπισκόπησης.

<p>Coastal Blue (400-450 nm)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Νέο κανάλι ○ Απορροφάται από τη χλωροφύλλη στα υγιή φυτά ○ Ελάχιστη απορρόφηση στο νερό και θα ήταν ιδανικό για σε βαθυμετρικές μελέτες ○ Επηρεάζεται σημαντικά από την ατμοσφαιρική σκέδαση και μπορεί να βελτιώσει τις ατμοσφαιρικές διορθώσεις 	<p>Red (630-690 nm)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Στενότερο από το αντίστοιχο του Quickbird και με μετακίνηση προς μεγαλύτερα μήκη κύματος ○ Καλύτερα επικεντρωμένο στην απορρόφηση από τη χλωροφύλλη στα υγιή φυτά ○ Από τα σημαντικότερα κανάλια για τη διάκριση βλάστησης ○ Πολύ χρήσιμο στην ταξινόμηση του γυμνού χώματος, των δρόμων και των γεωλογικών χαρακτηριστικών
<p>Blue (450-510 nm)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Πανομοιότυπο με αυτό του Quickbird ○ Απορροφάται εύκολα από τη χλωροφύλλη στα φυτά ○ Παρέχει καλή διείσδυση στο νερό ○ Επηρεάζεται λιγότερο από την ατμοσφαιρική σκέδαση σε σχέση με το Coastal Blue 	<p>Red-Edge (705-745 nm)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Νέο κανάλι ○ Τοποθετημένο στρατηγικά στην έναρξη της υψηλής ανακλαστικότητας στην απόκριση της βλάστησης ○ Πολύ αξιοποιήσιμο στη μέτρηση της υγείας των φυτών και στην ταξινόμηση της βλάστησης
<p>Green (510-580 nm)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Στενότερο από το αντίστοιχο του Quickbird ○ Ικανό να εστιάσει με μεγαλύτερη ακρίβεια στο μέγιστο της ανακλαστικότητας της υγιούς βλάστησης ○ Πολύ χρήσιμο στη διάκριση μεταξύ τύπων διαφορετικού φυτικού υλικού, σε συνδυασμό με το κανάλι Yellow 	<p>NIR1 (770-895 nm)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Στενότερο από το αντίστοιχο του Quickbird ○ Πολύ αποτελεσματικό στην εκτίμηση του ποσοστού υγρασίας και τις βιομάζας των φυτών ○ Διαχωρίζει αποτελεσματικά τους υδάτινους όγκους από τη βλάστηση, αναγνωρίζει είδη βλάστησης και διαχωρίζει τύπους εδάφους
<p>Yellow (585-625 nm)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Νέο κανάλι ○ Σημαντικό για την ταξινόμηση χαρακτηριστικών ○ Ανιχνεύει το 'κιτρίνισμα' της βλάστησης 	<p>NIR2 (860-1040 nm)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Νέο κανάλι ○ Επικαλύπτεται με το NIR1 αλλά επηρεάζεται λιγότερο από την ατμοσφαιρική επίδραση ○ Δίνει τη δυνατότητα για ευρύτερη ανάλυση βλάστησης και μελέτη βιομάζας
<p>Σχήμα 3.5. Το εύρος μήκους κύματος και τα χαρακτηριστικά των 8 καναλιών του δορυφόρου WorldView-2. Πηγή : http://www.satimagingcorp.com</p>	

Η ηλεκτρονική παραλαβή των εικόνων έγινε στις 06.08.12. Για κάθε περιοχή, έγινε παραλαβή μιας παγχρωματικής και μιας πολυφασματικής εικόνας με δυναμικό εύρος 11bit.. Οι εικόνες ήταν σε format GeoTIFF φέροντας ενσωματωμένη τη γεωναφορά τους.

Το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς των εικόνων ήταν το WGS 84 (World Geodetic System), και το προβολικό σύστημα ήταν το UTM (Universal Transverse Mercator) στη ζώνη γεωγραφικού μήκους 34. Οι παγχρωματικές εικόνες είχαν μέγεθος φατνίου 0,5x 0,5m και οι πολυφασματικές είχαν 2x2 m.



Σχήμα 3.6. Η πολυφασματική εικόνα της περιοχής της Τράπεζας σε φυσικό έγχρωμο σύνθετο, όπως δόθηκε από την εταιρεία DigitalGlobe. Με κόκκινο πλαίσιο σημειώνεται η περιοχή ενδιαφέροντος.



Σχήμα 3.7. Η παγχρωματική εικόνα της περιοχής του Μεγαπλατάνου, όπως δόθηκε από την εταιρεία DigitalGlobe. Με κόκκινο πλαίσιο σημειώνεται η περιοχή ενδιαφέροντος.

3.1.3 Δεδομένα Κτηματολογίου

Μετά από σχετικό αίτημα του εργαστηρίου Φωτογραμμετρίας της Σ.Α.Τ.Μ. παρασχέθηκαν από την ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. ορθοφωτοχάρτες και Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους (Ψ.Μ.Ε.) για τις δύο περιοχές μελέτης.

Το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς των εν λόγω δεδομένων ήταν το *European Terrestrial System 1989 (ETRS89)*. Το προβολικό σύστημα ήταν η Εγκάρσια Μερκατορική προβολή (*TM*) με τα εξής χαρακτηριστικά:

- κεντρικός μεσημβρινός : $\lambda_0=24^{\circ}A$
- συντελεστής κλίμακας σε $\lambda_0=24^{\circ}A$: $k_0=0,9996$
- πλάτος αναφοράς : $\varphi_0= 00^{\circ}00'00",00$
- προσθετική σταθερά στο X : $X_0=500\ 000,00\ m$
- προσθετική σταθερά στο Y : $X_0=-2000\ 000,00\ m$

Οι ορθοφωτοχάρτες ήταν σε format JPEG 2000 και είχαν μέγεθος φατνίου 0,5 m. Όσον αφορά τη γεωμετρική ακρίβεια μέτρησης σημείων επί αυτών των χαρτών, ορίζεται από τις προδιαγραφές της ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε.. Είναι δηλαδή: $RMSE_x \leq 1,00m$, $RMSE_y \leq 1,00m$, $RMSE_{xy} \leq 1,00m$, και απόλυτη ακρίβεια $\leq 2,44m$ για επίπεδο εμπιστοσύνης

95%.

Τα Ψ.Μ.Ε. είχαν χωρική ανάλυση 5 m και ήταν σε format .adf. Η γεωμετρική ακρίβεια για τα Ψ.Μ.Ε. είναι $RMSEz \leq 2,00$ m και η απόλυτη υψομετρική ακρίβεια $\leq 3,92$ m για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

3.2 Προεπεξεργασία Δεδομένων

Το στάδιο της προεπεξεργασίας δεδομένων συνίστατο στην εφαρμογή επεξεργασιών σε αυτά, ώστε να προετοιμαστούν για τις κυρίως εφαρμογές της εργασίας. Σκοπός ήταν η βελτιωτική επέμβαση αλλά και η δημιουργία διαφορετικών ομάδων δεδομένων προς μελέτη. Συγκεκριμένα, οι προεπεξεργασίες περιελάμβαναν περικοπές εικόνων, ραδιομετρικές και ατμοσφαιρικές διορθώσεις, συγχωνεύσεις εικόνων, επίλυση δικτύου GPS, παραγωγή ορθοεικόνων και δημιουργία φασματικών υπογραφών.

Εκτός από τις επεξεργασίες που αναφέρθηκαν και θα αναλυθούν στο παρόν κεφάλαιο, πραγματοποιήθηκαν και περαιτέρω εργασίες για τις οποίες δεν γίνεται εκτενής περιγραφή. Αυτές ήταν:

Ψηφιοποίηση των αμπελοτεμαχίων σε περιβάλλον QGIS και μετατροπή τους σε δυαδικές εικόνες σε περιβάλλον MatLab. Τα δεδομένα αυτά χρησίμευσαν στην κατά ζήτηση (on demand) παραγωγή χαρτών ανά αμπελοτεμάχιο, ανά ποικιλία κτλ.. Επίσης, εφαρμογή μορφολογικών φίλτρων, τα αποτελέσματα των οποίων δεν χρησιμοποιήθηκαν τελικά στις βασικές εφαρμογές της εργασίας.

3.2.1 Ραδιομετρική διόρθωση εικόνων

Πριν τη ραδιομετρική διόρθωση των εικόνων πραγματοποιήθηκε περικοπή τους, ώστε να απεικονίζουν μόνο την περιοχή ενδιαφέροντος. Κρίθηκε απαραίτητη για τη μείωση του μεγέθους των αρχείων και συνεπώς την αύξηση της ταχύτητας περαιτέρω επεξεργασιών. Η περικοπή πραγματοποιήθηκε με χρήση του λογισμικού QGIS. Για να εξασφαλιστεί ότι η παγχρωματική και η πολυφασματική περικομμένη εικόνα θα απεικονίζουν ακριβώς την ίδια περιοχή, πραγματοποιήθηκε περικοπή με χρήση συντεταγμένων.

Οι παγχρωματικές εικόνες δεν παρουσίαζαν κάποιο πρόβλημα στη ραδιομετρία τους, συνεπώς υλοποιήθηκε ραδιομετρική διόρθωση μόνο για τις πολυφασματικές εικόνες. Οι εν λόγω εικόνες, παρουσίαζαν συγκεκριμένα «καμένα» φατνία με πολύ υψηλές τιμές φωτεινότητας (στέγες κτιρίων, ανθρώπινες κατασκευές κτλ.). Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την απεικόνιση της βλάστησης, δηλαδή του αντικειμένου μελέτης της παρούσας εργασίας, σε πολύ μικρό εύρος τιμών φωτεινότητας. Για την αποφυγή επεμβάσεων στις τιμές φωτεινότητας της βλάστησης υλοποιήθηκε σε περιβάλλον MatLab η παρακάτω μέθοδος.

Για κάθε κανάλι των παγχρωματικών εικόνων, βρέθηκε μια τιμή κατώφλι πάνω από την οποία ήταν τα «καμένα» φατνία. Με διαδοχικές δοκιμές έγινε προσπάθεια η τιμή αυτή να μικρύνει όσο το δυνατόν περισσότερο, χωρίς όμως ποτέ να γίνει μικρότερη από τις τιμές της βλάστησης. Συνεπώς, για κάθε κανάλι προέκυψε μια τιμή κατώφλι, σχετικά κοντά στις τιμές της βλάστησης, χωρίς να αναμειγνύεται με αυτές. Οι τιμή αυτή δόθηκε σε όλα τα φατνία που είχαν μεγαλύτερη τιμή από αυτήν. Έτσι μεγάλωσε το εύρος απεικόνισης της βλάστησης, χωρίς να γίνει επέμβαση στις συγκεκριμένες τιμές φωτεινότητας. Στο υπόλοιπο της εργασίας, τα δεδομένα που προέκυψαν από την περικοπή και τη βασική αυτή ραδιομετρική διόρθωση αναφέρονται χάριν συντομίας ως Raw δεδομένα.

Όσον αφορά στα ραδιομετρικά προβλήματα μέσα στις τιμές της βλάστησης,

παρατηρήθηκε στην εικόνα της περιοχής του Μεγαπλατάνου το εξής. Σε ορισμένα τμήματα της εικόνας υπήρχαν πλάγιες διαγραμμίσεις, με εναλλαγή φωτεινών και σκοτεινών τόνων. Το γραμμικό αυτό πρότυπο δεν ήταν στην ίδια διεύθυνση με τις γραμμές φύτευσης του αμπελιού. Επρόκειτο, κατά πάσα πιθανότητα, για πρόβλημα του αισθητήρα κατά τη διάρκεια της καταγραφής. Δεν λήφθηκαν μέτρα για την εξάλειψη του φαινομένου αυτού, καθώς δεν ήταν εύκολη η επίλυση του και δεν θα προσέφερε πολύ καλύτερα αποτελέσματα.



Σχήμα 3.8. Το πρόβλημα καταγραφής του αισθητήρα που παρατηρήθηκε στην περιοχή του Μεγαπλατάνου.

3.2.2 Ατμοσφαιρική διόρθωση

Στις πολυφασματικές εικόνες WV2, πραγματοποιήθηκε επίσης ατμοσφαιρική διόρθωση. Ανάμεσα στη φυσική γήινη επιφάνεια και το δορυφορικό δέκτη, παρεμβάλλονται ατμοσφαιρικά στρώματα. Η εν λόγω διόρθωση στοχεύει στην εξάλειψη των επιρροών που έχουν τα στρώματα αυτά στις καταγραφές του δορυφόρου. Η μείωση της ομογενοποιητικής επίδρασης των στρωμάτων του αέρα, οδηγεί σε χαρακτηριστικότερες φασματικές υπογραφές για τα απεικονιζόμενα αντικείμενα.

Η ατμοσφαιρική διόρθωση πραγματοποιήθηκε με χρήση του λογισμικού Atcor. Ως δεδομένα εισόδου χρησιμοποιήθηκαν οι πολυφασματικές εικόνες όπως λήφθηκαν από το δορυφόρο καθώς και τα στοιχεία θέσης-τροχιάς του δορυφόρου τη στιγμή της λήψης. Με την κατάλληλη παραμετροποίηση, όσον αφορά στην κάθε περιοχή, παρήχθησαν οι επιθυμητές ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες. Στη συνέχεια, οι εικόνες αυτές περικόπηκαν με χρήση του QGIS.

Σημειώνεται εδώ ότι οι αρχικές προσπάθειες ατμοσφαιρικής διόρθωσης δεν ήταν επιτυχείς. Αυτό συνέβη διότι, τα υπέρυθρα κανάλια του WV2 δεν παρέχουν επαρκή πληροφορία για τις ζώνες υδαταπορρόφησης, με αποτέλεσμα να μην προσεγγίζεται ικανοποιητικά το ποσοστό υγρασίας σε τμήματα της εικόνας. Το εν λόγω πρόβλημα κάμφθηκε με διαδοχικές δοκιμές, επιλέγοντας διαφορετικό συντελεστή για το εύρος επιρροής της υγρασίας. Τα καλύτερα αποτελέσματα εμφάνισαν οι εικόνες με συντελεστές 1,5 km για την Τράπεζα και 0,5 km για το Μεγαπλάτανο.

Επίσης, υπολογίστηκε η ανακλαστικότητα των αντικειμένων. Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα ακτινοβολίας των αντικειμένων (radiance) και τις αντίστοιχες καταγραφές αναφοράς (reference), πραγματοποιήθηκε αναγωγή των καταγραφών στην ανακλαστικότητα (reflectance).

Τα περιεχόμενα της συγκεκριμένης υποενότητας δεν περιγράφηκαν αναλυτικά, καθώς ήταν εκτός του αντικειμένου της παρούσας εργασίας. Οι παραπάνω διαδικασίες πραγματοποιήθηκαν από τον προπτυχιακό φοιτητή κ. Μάριο Οικονόμου στο πλαίσιο του μαθήματος Θερινές Ασκήσεις Τηλεπισκόπησης.

3.2.3 Συγχώνευση εικόνων

Η συγχώνευση εικόνας είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για την ενσωμάτωση μιας παγχρωματικής εικόνας υψηλής ανάλυσης με μία πολυφασματική εικόνα χαμηλής ανάλυσης, με σκοπό την παραγωγή μιας πολυφασματικής εικόνας υψηλής ανάλυσης για την καλύτερη κατανόηση και ερμηνεία της παρατηρούμενης επιφάνειας γης (Yuhendra et al.,2012). Ουσιαστικά, η συγχώνευση εικόνων αξιοποιεί τη μεγάλη χωρική ανάλυση της παγχρωματικής εικόνας και τη μεγάλη φασματική ανάλυση της πολυφασματικής εικόνας, παράγοντας ένα συνδυαστικό αποτέλεσμα υψηλής χωρικής και φασματικής ανάλυσης. Η συγχώνευση εικόνων στη διεθνή βιβλιογραφία συναντάται με τους όρους image fusion, pan-sharpening, resolution merge, image integration ή multi-sensor data fusion (Vijayaraj et al.,2006; Kumar et al., 2009).

Η συγχώνευση εικόνων πραγματοποιήθηκε με χρήση του λογισμικού ERDAS Imagine 2011. Οι δύο εικόνες για κάθε περιοχή είχαν ληφθεί την ίδια ακριβώς χρονική στιγμή από τον ίδιο δέκτη. Επίσης, έφεραν τη γεωαναφορά τους, συνεπώς δεν ήταν απαραίτητο να πραγματοποιηθεί περαιτέρω «εγγραφή» (registration).

Το πρώτο βήμα της διαδικασίας ήταν η επαναδειγματοληψία της πολυφασματικής εικόνας στο μέγεθος της παγχρωματικής. Έτσι, κάθε τέσσερα κελιά της νέας πολυφασματικής εικόνας (0,5x0,5m), αντιστοιχούσαν σε ένα παλιό (2x2m). Δηλαδή, κάθε ένα από αυτά τα τέσσερα απέκτησε την τιμή που υπήρχε στο παλιό.

Τα επόμενα βήματα διαφέρουν ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο. Το συγκεκριμένο λογισμικό διαθέτει αρκετές μεθόδους για την πραγματοποίηση συγχώνευσης εικόνων. Εφαρμόστηκαν έξι από αυτές, συγκεκριμένα οι Ehler's, Modified IHS, High Pass filter, Wavelet-PCA, Principal Components και Hyperspherical Color Space. Ακολουθούν πληροφορίες για τις μεθόδους αυτές.

Η μέθοδος Ehler's σχηματίστηκε ειδικά για συγχώνευση εικόνων που διατηρεί τα ραδιομετρικά χαρακτηριστικά (Ling et al.,2007). Η μέθοδος αυτή εξετάζει συνδυασμούς τριών καναλιών, μέχρι να εξαντληθεί ο αριθμός των καναλιών, εφαρμόζοντας πολλαπλούς μετασχηματισμούς IHS (Intensity,Hue,Saturation δηλαδή ένταση, απόχρωση, κορεσμός). Για να ενισχυθεί ο μετασχηματισμός IHS, εφαρμόζεται στην αρχική πολυφασματική εικόνα ένας Ταχύς Μετασχηματισμός Fourier (Fast Fourier Transform, FFT).

Η μέθοδος Modified IHS (M-IHS) (Siddiqui,2003; Kumar et al.,2011), αποτελεί βελτίωση επί των μεθόδων IHS. Η κεντρική της ιδέα, συνίσταται στον υπολογισμό της φασματικής επικάλυψης μεταξύ κάθε ενός από τα τρία κανάλια με το παγχρωματικό κανάλι. Μειονέκτημα της είναι ότι μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε τρία πολυφασματικά κανάλια κάθε φορά. Όμως, είναι προτεινόμενη μέθοδος για τη συγχώνευση δεδομένων που έχουν ληφθεί από διαφορετικούς δέκτες.

Η μέθοδος High Pass filter (HPF) βασίζεται στη μεταφορά λεπτομερειών υψηλής χωρικής ανάλυσης που έχουν εξαχθεί από την παγχρωματική εικόνα, στην πολυφασματική εικόνα που έχει υποστεί επαναδειγματοληψία (Schowengerdt,1998).

Στη μέθοδο αυτή πραγματοποιείται συνέλιξη με υπεραποκλιμακωμένο φίλτρο (HPF) στην παγχρωματική εικόνα. Στη συνέχεια, το αποτέλεσμα της παραπάνω διαδικασίας συνδυάζεται με τα πολυφασματικά δεδομένα.

Η μέθοδος Wavelet-PCA (W-PCA) ομοιάζει με την ανάλυση Fourier. Ο μετασχηματισμός Fourier αξιοποιεί επιμήκη συνεχή κύματα (ημίτονου και συνημίτονου). Στη μέθοδο Wavelet-PCA γίνεται χρήση μικρών διακριτών τμημάτων κύματος (wavelets). Αρχικά, για κάθε wavelet υπολογίζονται οι κύριες συνιστώσες. Στη συνέχεια, η πρώτη συνιστώσα συγχωνεύεται με την παγχρωματική εικόνα. Τέλος, για κάθε wavelet, στη συγχωνευμένη κύρια συνιστώσα και στις υπόλοιπες συνιστώσες, εφαρμόζεται ο αντίστροφος μετασχηματισμός wavelet, ώστε να παραχθεί η τελική συγχωνευμένη εικόνα (King & Wang, 2001).

Η μέθοδος συγχώνευσης εικόνας Principal Components (PC) αρχικά υπολογίζει τις κύριες συνιστώσες της πολυφασματικής εικόνας. Στη συνέχεια, μετατρέπεται το εύρος τιμών της παγχρωματικής εικόνας στο εύρος της πρώτης κύριας συνιστώσας. Έπειτα, εφαρμόζεται αντίστροφος μετασχηματισμός κυρίων συνιστωσών. Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει καλά αποτελέσματα όσον αφορά στη διατήρηση της αρχικής ραδιομετρίας της πολυφασματικής εικόνας.

Η μέθοδος συγχώνευσης εικόνας Hyperspherical Color Sharpening (HCS), σχεδιάστηκε από την DigitalGlobe ειδικά για το δέκτη WV2 με τα οκτώ κανάλια. Σύμφωνα με τους Pu & Landry (2012), εμφανίζει τα καλύτερα αποτελέσματα σε συγχώνευση εικόνων WV2. Η εν λόγω μέθοδος βασίζεται στον ευθύ και αντίστροφο μετασχηματισμό συντεταγμένων χρώματος μεταξύ του «αρχικού χώρου χρώματος» της εικόνας (native color space) και του «υπερσφαιρικού χώρου χρώματος» (hyperspherical color space). Αρχικά, μπορεί να δεχτεί οποιονδήποτε αριθμό καναλιών από τα διαθέσιμα. Στη συνέχεια, πραγματοποιούνται ποσοτικές συγκρίσεις χρώματος, χρησιμοποιώντας διαφορετικούς συνδυασμούς καναλιών από την αρχική πολυφασματική εικόνα (Padwick et al., 2010).

Ο αλγόριθμος μπορεί να εκτελεστεί με δύο διαφορετικούς τρόπους, έχει δηλαδή δύο εκδόσεις, τις naïve και smart. Με τον πρώτο τρόπο (naïve), απλά αντικαθίσταται η συνιστώσα της έντασης στην πολυφασματική εικόνα με μια προσαρμοσμένη έκδοχή της έντασης από το παγχρωματικό κανάλι. Έτσι, παράγεται μια ευκρινής συγχωνευμένη εικόνα, η οποία ωστόσο εμφανίζει λίγη χρωματική παραμόρφωση. Αυτό συμβαίνει διότι, λαμβάνεται ως υπόθεση πως κάθε κανάλι επηρεάζει εξίσου την ένταση της παγχρωματικής εικόνας. Με το δεύτερο τρόπο (smart), αποδίδεται με μεγαλύτερη πιστότητα το αρχικό χρώμα των πολυφασματικών δεδομένων. Αυτό επιτυγχάνεται επειδή μοντελοποιείται η διαφορά ανάμεσα στη συνιστώσα της έντασης της παγχρωματικής εικόνας και των πολυφασματικών καναλιών (Padwick et al., 2010).

Όσον αφορά στην παρούσα εργασία, έγιναν πολλές δοκιμές για τις παραπάνω μεθόδους χρησιμοποιώντας διαφορετικές τιμές παραμέτρων. Το βέλτιστο αποτέλεσμα χωρικά και ραδιομετρικά, έδωσε η μέθοδος HCS, γεγονός αναμενόμενο, καθώς έχει σχεδιαστεί ειδικά για χρήση με δορυφορικά δεδομένα WV2. Από τις διαφορετικές δοκιμές της συγκεκριμένης μεθόδου, τα καλύτερα αποτελέσματα είχε η δοκιμή στην οποία η επαναδειγματοληψία γινόταν με διγραμμική παρεμβολή και μέγεθος φίλτρου 9x9.

Στο Σχήμα 3.9. παρουσιάζονται προς σύγκριση τα καλύτερα αποτελέσματα για πέντε από τις εφαρμοσθείσες μεθόδους. Επίσης, στο ίδιο σχήμα, για αναφορά, εμφανίζεται και η αρχική πολυφασματική εικόνα. Το απεικονιζόμενο τμήμα της περιοχής της Τράπεζας, είναι αντιπροσωπευτικό της συμπεριφοράς κάθε μεθόδου στο σύνολο της αντίστοιχης συγχωνευμένης εικόνας. Σημειώνεται εδώ ότι δεν παρουσιάζονται αποτελέσματα για τη συμπεριφορά των μεθόδων στην περίπτωση του Μεγαπλάτανου, καθώς ήταν σε μεγάλο βαθμό παρόμοια. Επίσης, δεν παρουσιάζεται το αποτέλεσμα της μεθόδου HPF, καθώς οι παραχθείσες εικόνες ήταν εξαιρετικά σκοτεινές.



Με μελέτη του σχήματος 3.9. παρατηρήθηκαν τα εξής:

Η μέθοδος Elher's εμφανίζει αποτέλεσμα πιστό ραδιομετρικά ως προς την αρχή εικόνα, όμως δεν έχει επιτευχθεί η επιθυμητή χωρική ευκρίνεια. Συγκεκριμένα, το γραμμικό πρότυπο των αμπελιών, αν και διακρίνεται, απεικονίζεται αρκετά θολό.

Η μέθοδος M-IHS εμφανίζει αποτέλεσμα με μεγάλη χωρική ευκρίνεια, αλλά παρατηρείται αλλοίωση της ραδιομετρίας σε σχέση με την αρχική εικόνα. Συγκεκριμένα, η βλάστηση απεικονίζεται με κυανές αποχρώσεις αντί για πράσινες.

Η μέθοδος PC εμφανίζει αποτέλεσμα σχετικά θολό χωρικά, αλλά το κύριο της πρόβλημα είναι η εμφανώς αλλοιωμένη ραδιομετρία. Η βλάστηση των αμπελιών έχει απεικονιστεί με μαύρους τόνους.

Η μέθοδος W-PCA εμφανίζει αποτέλεσμα αρκετά πιστό στη ραδιομετρία της αρχικής εικόνας, σε ελαφρώς φωτεινότερους τόνους. Όμως, η χωρική της ευκρίνεια δεν είναι εξίσου καλή. Σε όλη την εικόνα και ειδικά όπου υπάρχουν έντονες εναλλαγές τόνων παρατηρείται φατνιδίωση («πιξέλιασμα»).

Η μέθοδος HCS εμφάνισε τα καλύτερα αποτελέσματα. Το γραμμικό πρότυπο των αμπελιών απεικονίζεται με αρκετά ικανοποιητική ακρίβεια και υπάρχει ραδιομετρική πιστότητα ως προς την αρχική εικόνα. Ένα μικρό μειονέκτημα είναι η εμφάνιση της βλάστησης ελαφρώς πιο μπλε. Η εν λόγω μέθοδος ήταν η βέλτιστη όσον αφορά συνδυαστικά τη χωρική ευκρίνεια και τη ραδιομετρική πιστότητα.

3.2.4 Επίλυση δικτύου GPS και παραγωγή ορθοεικόνων

Η παραγωγή ορθοεικόνων πραγματοποιήθηκε προκειμένου να είναι δυνατή η ανατροφοδότηση (feedback) πληροφοριών με συγκεκριμένες γεωδαιτικές συντεταγμένες για τα αποτελέσματα δειγματοληψιών και αναλύσεων από τους αμπελουργούς, γεωπόνους και οινολόγους. Έτσι, υπήρχε η δυνατότητα αξιοποίησης τέτοιων δεδομένων, αντιστοιχίζοντας τη θέση τους στο χώρο με την αντίστοιχη θέση στις δορυφορικές εικόνες, και συνεπώς συνδέοντας συγκεκριμένες τιμές χαρακτηριστικών ποιότητας του αμπελιού με τιμές τηλεπισκοπικών δεικτών.

Το δίκτυο GPS στην περιοχή της Τράπεζας, επιλύθηκε με χρήση του λογισμικού Survey Office της Spectra Precision. Κατά τη διάρκεια των εργασιών υπαίθρου είχαν μετρηθεί οι συντεταγμένες για πέντε φωτοσταθερά σημεία με παραμονή του δέκτη Rover σε αυτά για τουλάχιστον 20 λεπτά. Καθ' όλη τη διάρκεια αυτών των μετρήσεων ο δέκτης Base ήταν τοποθετημένος στο τριγωνομετρικό σημείο 77 του φύλλου χάρτη ΑΙΓΙΟΝ, με την ονομασία ΚΑΤΑΦΥΓΙΑ.

Όσον αφορά στην επίλυση του δικτύου, δεδομένα εισόδου ήταν οι συντεταγμένες του ΤΣ 77 καθώς και τα στοιχεία που μετρήθηκαν στο πεδίο για τις πέντε βάσεις και τις συντεταγμένες των πέντε φωτοσταθερών. Σημειώνεται πως οι μετρήσεις αλλά και η επίλυση του δικτύου έγιναν στο σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ '87. Η επίλυση των βάσεων πραγματοποιήθηκε με μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMS) μικρότερο από 0,007m, σε κάθε περίπτωση. Συνεπώς, όλες οι βάσεις έγιναν αποδεκτές, παρέχοντας συνορθωμένες συντεταγμένες για κάθε φωτοσταθερό σημείο (Σχήμα 3.10.).

ΣΗΜΕΙΟ	X ΕΓΣΑ (m)	Y ΕΓΣΑ(m)	Z ΕΓΣΑ(m)
Τ.Σ. 77 ΚΑΤΑΦΥΓΙΑ	343489,009	4223995,957	787,107
Φ/Σ 1	343540,639	4224077,451	763,007
Φ/Σ 2	343267,792	4224512,87	762,373
Φ/Σ 3	343083,563	4224949,106	811,463
Φ/Σ 4	342183,988	4224510,084	831,253
Φ/Σ 5	343240,477	4224122,43	770,914

Σχήμα 3.10. Οι συντεταγμένες σε ΕΓΣΑ '87 του τριγωνομετρικού σημείου και των 5 φωτοσταθερών, μετά την επίλυση του δικτύου GPS.

Οι ορθοεικόνες παρήχθησαν με χρήση του προσθέτου LPS (Leica Photogrammetry Suite) για το λογισμικό ERDAS Imagine 2011. Ως δεδομένα εισόδου, εισήχθησαν οι περικομμένες και ραδιομετρικά διορθωμένες δορυφορικές εικόνες, τα αντίστοιχα συμπληρωματικά αρχεία θέσης-τροχιάς του δορυφόρου, οι συντεταγμένες από την επίλυση του δικτύου GPS (μόνο στην περίπτωση της Τράπεζας) καθώς και οι ορθοεικόνες και τα Ψ.Μ.Ε. του Κτηματολογίου. Ως σύστημα αναφοράς για τις προς παραγωγή ορθοεικόνες επιλέχθηκε το ΕΓΣΑ '87, συνεπώς ήταν απαραίτητη η μετατροπή των δεδομένων του Κτηματολογίου στο συγκεκριμένο σύστημα. Η εργασία

αυτή πραγματοποιήθηκε στο πρόσθετο ArcMAP του λογισμικού ArcGIS. Συνολικά, παρήχθησαν τέσσερις ορθοεικόνες, με χρήση της παγχρωματικής και με χρήση της πολυφασματικής εικόνας από κάθε περιοχή μελέτης.

Όσον αφορά στην περιοχή της Τράπεζας, στην παγχρωματική εικόνα ήταν ορατά προς σκόπευση τέσσερα εκ των πέντε φωτοσταθερών σημείων. Στην επίλυση του τριγωνισμού, δύο εκ των τεσσάρων ενήργησαν ως φωτοσταθερά σημεία (Control Points) και τα υπόλοιπα δύο ως σημεία ελέγχου (Check Points). Το συνολικό RMS της επίλυσης για την παραγωγή ορθοεικόνας από την παγχρωματική εικόνα της περιοχής της Τράπεζας ήταν 0,22 φατνία.

Στην πολυφασματική εικόνα, ήταν ορατό προς σκόπευση μόνο ένα εκ των πέντε φωτοσταθερών. Στην επίλυση του τριγωνισμού το συγκεκριμένο σημείο έδρασε ως φωτοσταθερό σημείο (Check Point). Για να είναι εφικτή η επίλυση, χρησιμοποιήθηκε ως αναφορά η άρτι παραχθείσα παγχρωματική ορθοεικόνα, παρέχοντας τα απαραίτητα σημεία σύνδεσης.

Όσον αφορά στην περιοχή του Μεγαπλάτανου, για την ορθοαναγωγή της παγχρωματικής εικόνας, αρχικά εξήχθησαν συντεταγμένες X,Y,Z, από τα δεδομένα του Κτηματολογίου, για συγκεκριμένα χαρακτηριστικά σημεία. Τα εν λόγω σημεία σκοπεύθηκαν στην παγχρωματική εικόνα και στην ορθοεικόνα του Κτηματολογίου και ενήργησαν ως σημεία σύνδεσης στη διαδικασία του τριγωνισμού. Δηλαδή, η διαθέσιμη ορθοεικόνα λειτούργησε ως αναφορά. Συνεπώς, η ακρίβεια της παραχθείσας ορθοεικόνας εξαρτάται και είναι χαμηλότερη από την προδιαγεγραμμένη ακρίβεια των δεδομένων του Κτηματολογίου (βλ. παρ. 3.1.3.).

Για την ορθοαναγωγή της πολυφασματικής εικόνας, εφαρμόστηκε η ίδια διαδικασία με την περίπτωση της Τράπεζας. Συγκεκριμένα, σκοπεύθηκε ένα σημείο το οποίο έδρασε ως φωτοσταθερό (Check Point). Επίσης, χρησιμοποιήθηκε ως αναφορά η παραχθείσα παγχρωματική ορθοεικόνα, για την παροχή των απαραίτητων σημείων σύνδεσης.

Οι τέσσερις παραχθείσες ορθοεικόνες ελέγχθηκαν μέσω επίθεσης με τις ορθοεικόνες του Κτηματολογίου. Η σύμπτωση τους ήταν σε κάθε περίπτωση ικανοποιητική.

3.2.5 Δημιουργία Φασματικών Υπογραφών

Για τη σύγκριση ανάμεσα στα δορυφορικά δεδομένα εδάφους ήταν απαραίτητη η δημιουργία φασματικών υπογραφών για τις ποικιλίες αμπέλου. Για κάθε περιοχή, δημιουργήθηκαν πέντε πίνακες που περιείχαν τις φασματικές υπογραφές όλων των ποικιλιών της. Οι πίνακες αυτοί προέκυψαν από τις πέντε διαθέσιμες ομάδες δεδομένων, δηλαδή, τα πρωτογενή δεδομένα WV2 (raw), τα ατμοσφαιρικά διορθωμένα δεδομένα WV2 (atm), τα συγχωνευμένα δεδομένα WV2 (fused), τα δεδομένα για την ακτινοβολία των αντικειμένων από το φασματογράφο χειρός (radiance) και τα αντίστοιχα για την ανακλαστικότητα (reflectance).

Δορυφορικά Δεδομένα

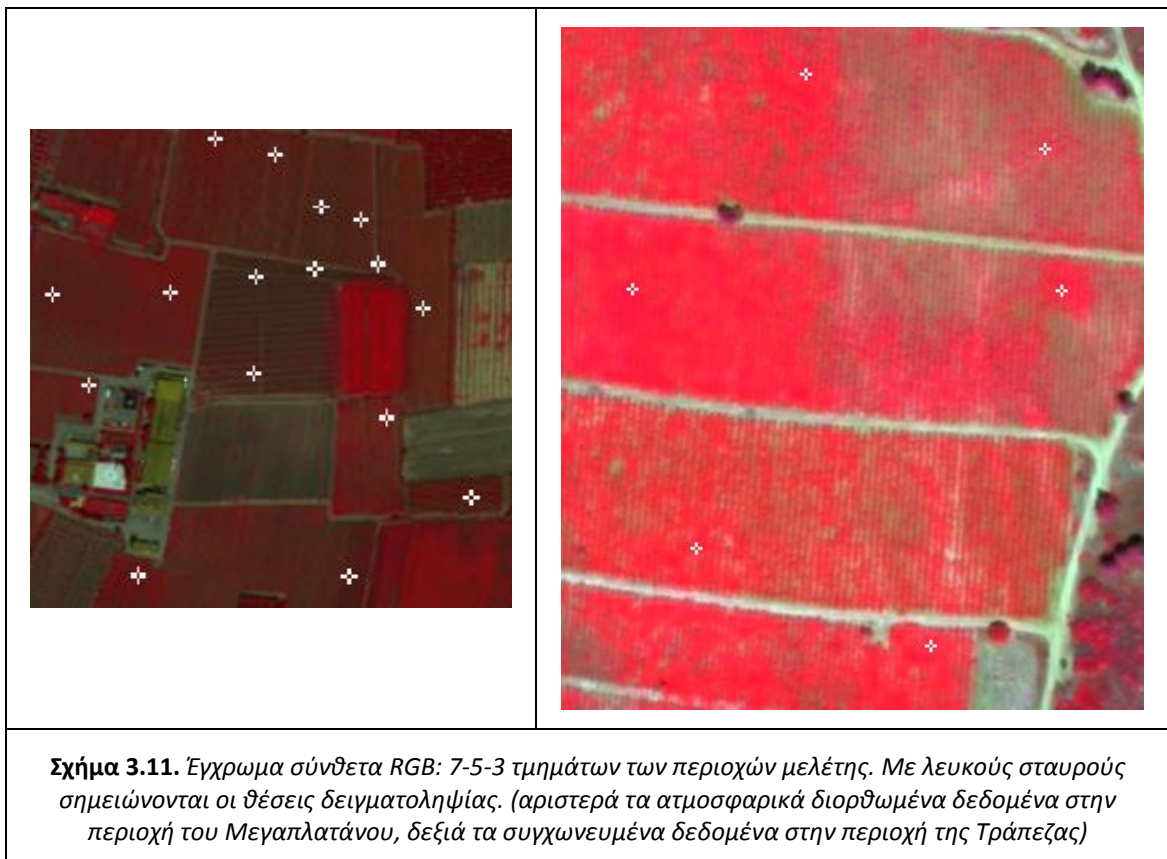
Για τη δημιουργία των φασματικών υπογραφών από τα δορυφορικά δεδομένα WV2 ακολουθήθηκε η διαδικασία που περιγράφεται παρακάτω. Σημειώνεται εδώ ότι τα βήματα ήταν ίδια για τις δύο περιοχές και τις τρεις ομάδες δεδομένων (raw,atm,fused).

Αρχικά πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία στα φατνία της δορυφορικής εικόνας. Συγκεκριμένα, λήφθηκε ένα δείγμα για κάθε διαφορετικό αμπελοτεμάχιο στο οποίο καλλιεργούνταν η εκάστοτε ποικιλία. Έτσι, στην περίπτωση π.χ. του Syrah στον Μεγαπλάτανο, λήφθηκαν τρία δείγματα. Μοναδική εξαίρεση αποτέλεσε η Σταφίδα, η

οποία καλλιεργούνταν σε πάρα πολλά αμπελοτεμάχια της περιοχής της Τράπεζας. Στην περίπτωση της εν λόγω ποικιλίας λήφθηκαν πέντε δείγματα από τα μεγαλύτερα τεμάχια καλλιέργειας της. Για την περιοχή της Τράπεζας λήφθηκαν 26 δείγματα για 8 ποικιλίες ενώ για τον Μεγαπλάτανο λήφθηκαν 43 δείγματα για 17 ποικιλίες. Στο σχήμα 3.11. παρουσιάζονται ενδεικτικά κάποιες από τις θέσεις δειγματοληψίας στις δύο περιοχές, για διαφορετικές ομάδες δεδομένων.

Πραγματοποιήθηκε προσπάθεια τα δείγματα να λαμβάνονται επί των γραμμών φύτευσης, δηλαδή να περιέχουν πληροφορία αποκλειστικά από το φύλλωμα. Στην περίπτωση των δεδομένων που είχαν μέγεθος φατνίου 2m (raw και atm), η εν λόγω προσπάθεια ήταν δυσκολότερη, διότι τα φατνία επηρεάζονταν σε μικρό ή μεγάλο βαθμό από το χώμα. Στον αντίποδα, στα συγχωνευμένα δεδομένα, που είχαν μέγεθος φατνίου 0,5 m, ήταν εφικτή η δειγματοληψία φατνίων που απεικόνιζαν αποκλειστικά βλάστηση, ή είχαν πολύ μικρή επιρροή από το χώμα.

Τα δείγματα που λήφθηκαν είχαν διαστάσεις από 2 έως 6 φατνία. Από το μέσο όρο των τιμών φωτεινότητας αυτών των φατνίων σε κάθε κανάλι, υπολογίστηκε η φασματική υπογραφή του εκάστοτε δείγματος.



Στη συνέχεια, για όσες ποικιλίες είχαν παραπάνω από 3 δείγματα, πραγματοποιήθηκε έλεγχος σύμπτωσης των επιμέρους φασματικών υπογραφών όπως είχαν προκύψει από κάθε δείγμα ξεχωριστά. Ο έλεγχος πραγματοποιήθηκε μέσω οπτικοποίησης στο MatLab. Αν η φασματική υπογραφή κάποιου δείγματος εμφάνιζε διαφορετική δομή ή απείχε πολύ από αυτές των υπολοίπων δειγμάτων, αποκλειόταν και δεν συμμετείχε στη δημιουργία της φασματικής υπογραφής της εκάστοτε ποικιλίας. Από τα δείγματα κάθε ποικιλίας, εξαιρουμένων των αποκλεισθέντων, υπολογίστηκε ο μέσος όρος των τιμών φωτεινότητας σε κάθε κανάλι, δημιουργώντας τη φασματική υπογραφή της συγκεκριμένης ποικιλίας.

Έτσι προέκυψε, για κάθε περιοχή και ομάδα δεδομένων, πίνακας φασματικών

υπογραφών με διαστάσεις 8xη (όπου η ο αριθμός των ποικιλιών της περιοχής). Συγκεκριμένα, προέκυψαν 3 πίνακες 8x8 για την περιοχή της Τράπεζας και 3 πίνακες 8x17 για την περιοχή του Μεγαπλάτανου.

Αναγωγή καταγραφών φασματογράφου χειρός

Οι καταγραφές του φασματογράφου χειρός προκειμένου να συγκριθούν με τα δορυφορικά κανάλια του WV2, έπρεπε να ανηχθούν στα αντίστοιχα εύρη του οπτικού φάσματος. Όπως προαναφέρθηκε ο συγκεκριμένος φασματογράφος διαθέτει 512 κανάλια, συνεπώς σε κάθε κανάλι του WV2 αντιστοιχεί πλήθος καταγραφών.

Επιλέχθηκαν οι καταγραφές του φασματογράφου χειρός που περιλαμβάνονταν στο αντίστοιχο εύρος κάθε καναλιού του WV2. Από αυτές, εξήχθη μέσος όρος με μεγαλύτερο βάρος για τις καταγραφές κοντά στο μέσον του καναλιού. Τα προκύπτοντα αποτελέσματα ήταν ένας πίνακας 8xη για κάθε περιοχή, όπου η ο αριθμός των ποικιλιών αμπέλου για τις οποίες είχαν ληφθεί καταγραφές στο πεδίο.

Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε επίσης, με τον ίδιο τρόπο, για τα δεδομένα ανακλαστικότητας (reflectance) όπως είχαν υπολογιστεί από τις αρχικές καταγραφές του φασματογράφου (radiance).

3.3 Μοντέλα Παλινδρόμησης και Συσχέτιση Φασματικών Υπογραφών

Με τη συσχέτιση των φασματικών υπογραφών, όπως αυτές υπολογίζονται από επίγειους και δορυφορικούς αισθητήρες, επιχειρήθηκε τόσο η σύγκριση των τιμών που καταγράφηκαν (radiance και reflectance) μεταξύ φασματογράφων χειρός και δεδομένων WV2 αλλά και η σύγκριση των καταγραφών ίδιων αντικειμένων σε διαφορετικές περιοχές ελέγχου. Επίσης, διερευνήθηκαν και αξιολογήθηκαν οι δυνατότητες του δορυφορικού δέκτη WV2 για τον υπολογισμό ποικίλων δεικτών βλάστησης και για εφαρμογές κυρίως στην Αμπελουργία Ακριβείας. Επιπροσθέτως, αξιολογήθηκε η ικανότητα διαχωρισμού των διαφορετικών ποικιλιών στο φάσμα. Τέλος, μέσω των συσχετίσεων των κοινών ποικιλιών ανάμεσα στις δύο περιοχές ελέγχθηκε η επαναληψιμότητα των δεδομένων που παρέχει ο δέκτης.

Για τη συσχέτιση των φασματικών υπογραφών, χρησιμοποιήθηκε η τεχνική της απλής γραμμικής παλινδρόμησης. Η γραμμική παλινδρόμηση είναι μια προσέγγιση στη μοντελοποίηση της σχέσης μεταξύ μιας βαθμωτής εξαρτημένης μεταβλητής Y και μιας επεξηγηματικής μεταβλητής X. Το μοντέλο απλής γραμμικής παλινδρόμησης που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία έχει ως εξής:

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

Όπου:

- **Y** είναι ένα διάνυσμα 8x1 που περιέχει τις τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής.
- **X** είναι ένας πίνακας 8x2 που περιέχει στα κελιά της πρώτης στήλης του τη σταθερά 1 και στη δεύτερη στήλη του τις τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής
- **β** είναι ένα διάνυσμα 2x1 που περιέχει τις δύο άγνωστες σταθερές β_0 και β_1 που καλούνται τεταγμένη (intercept) και κλίση (slope) αντίστοιχα
- **ϵ** είναι ένα διάνυσμα 8x1 που περιέχει τα κατάλοιπα ή εκτιμημένα σφάλματα (residuals)

$$\begin{bmatrix} Y_8 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix} \beta_0 + \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_8 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

Η στήλη που περιέχει τις τιμές 1 είναι απαραίτητη για τον προσδιορισμό του σταθερού όρου β_0 της παραπάνω εξίσωσης, καθώς το ζητούμενο είναι ο προσδιορισμός των συντελεστών της εξίσωσης ευθείας:

$$\hat{Y}$$

Το διάνυσμα β των σταθερών όρων υπολογίστηκε με συνόρθωση ελαχίστων τετραγώνων. Στη συνέχεια προσδιορίστηκαν οι τιμές του διανύσματος \hat{Y} , ως το γινόμενο του πίνακα X με το άρτι υπολογισθέν διάνυσμα β .

Για την ερμηνεία της συνολικής μεταβλητότητας του μοντέλου, είναι γνωστό πως η δειγματική διασπορά των παρατηρήσεων Y_i χωρίζεται στα παρακάτω αθροίσματα:

$$\sum (Y_i - \bar{Y})^2 = \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2 + \sum (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$$

Τα τρία αυτά αθροίσματα συμβολίζονται με TSS (Total Sum of Squares), SSE (Error Sum of Squares) και RSS (Regression Sum of Squares), αντίστοιχα. Είναι δηλαδή:

Το TSS είναι το άθροισμα των τετραγώνων των διαφορών κάθε τιμής \hat{Y}_i από τη μέση τιμή \bar{Y} , και εκφράζει τη συνολική παρατηρούμενη μεταβλητότητα των Y_i .

Το RSS υπολογίζεται ως το άθροισμα των τετραγώνων των διαφορών κάθε προσαρμοσμένης τιμής \hat{Y}_i με τη μέση τιμή \bar{Y} . Είναι γνωστό πως, η μέση τιμή \bar{Y} ισούται με τη μέση τιμή των προσαρμοσμένων τιμών \hat{Y} , συνεπώς το RSS εκφράζει τη μεταβλητότητα των προσαρμοσμένων όρων.

Το SSE είναι το άθροισμα των τετραγώνων των διαφορών κάθε τιμής Y_i από την αντίστοιχη προσαρμοσμένη τιμή \hat{Y}_i , και εκφράζει τη μεταβλητότητα των Y_i σε σχέση με τα \hat{Y}_i .

Ο **συντελεστής προσδιορισμού R^2** ισούται με το πηλίκο της μεταβλητότητας των προσαρμοσμένων όρων \hat{Y}_i προς τη μεταβλητότητα των Y_i . Όμως σύμφωνα με την παρακάτω σχέση, προκύπτει ότι το R^2 ισούται με 1 μείον το πηλίκο της μεταβλητότητας των Y_i σε σχέση με τα \hat{Y}_i προς τη μεταβλητότητα των Y_i . Είναι δηλαδή:

$$R^2 = 1 - \frac{\text{SSE}}{\text{TSS}}$$

Το R^2 εκφράζει το ποσοστό της μεταβλητότητας των παρατηρήσεων που ερμηνεύεται από το μοντέλο. Όσο εγγύτερη είναι η τιμή του στη μονάδα, τόσο καλύτερο είναι το θεωρηθέν μοντέλο. Αυτό συμβαίνει διότι, καθώς η τιμή του R^2 προσεγγίζει το 1, το μοντέλο τείνει προς την ερμηνεία του 100% της παρατηρούμενης μεταβλητότητας.

Επίσης, πραγματοποιήθηκε έλεγχος για την «κλίση» της ευθείας γραμμικής παλινδρόμησης, με αρχική υπόθεση $H_0: b_1 = 0$. Η απόρριψη της υπόθεσης αυτής σημαίνει πως η μεταβλητή Y εξαρτάται από την X . Στην περίπτωση που $b_1 = 0$, η ευθεία

είναι παράλληλη με τον άξονα των χ , επομένως όσο και αν μεταβάλλεται η X , δεν επηρεάζεται η Y .

Τέλος, υπολογίστηκε το παρατηρούμενο **επίπεδο σημαντικότητας (p-value)**, το οποίο εκφράζεται ως η πιθανότητα να αστοχήσει το μοντέλο στην εκτίμηση του Y , για μελλοντικές τιμές που ενδέχεται να ληφθούν για το X . Πρόκειται για έναν δείκτη αξιοπιστίας, που αξιολογεί κατά πόσον το υπολογισθέν μοντέλο ερμηνεύει την πραγματική σχέση ανάμεσα στις δύο μεταβλητές, ή προσδιορίστηκε τυχαία. Σε πολλούς τομείς της έρευνας, η τιμή 0.05 (5%) είναι συνήθως η διαχωριστική γραμμή ως αποδεκτό «επίπεδο λάθους» (Drapar & Smith, 1997).

3.3.1 Συσχέτιση δεδομένων εδάφους με δορυφορικά δεδομένα

Η συσχέτιση υπερφασματικών δεδομένων από φασματογράφο χειρός με δορυφορικά δεδομένα WV2 πραγματοποιήθηκε για να αξιολογηθεί, ποσοτικά και ποιοτικά, η συμπεριφορά του δορυφορικού δέκτη στην καταγραφή (radiance, reflectance) αντικείμενων ενδιαφέροντος και συγκεκριμένα αμπέλια διαφορετικών ποικιλιών. Τα δεδομένα από το φασματογράφο έδρασαν ως δεδομένα ελέγχου. Σκοπός των πειραμάτων ήταν η διερεύνηση και αξιολόγηση της συσχέτισης των δορυφορικών δεδομένων με τα δεδομένα εδάφους. Μελετήθηκε δηλαδή η αξιοπιστία των δορυφορικών δεδομένων και κατά πόσο μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τις υπόλοιπες εφαρμογές της παρούσας εργασίας, και μελλοντικών εργασιών.

Η διαδικασία που περιγράφεται παρακάτω είναι ίδια και για τις δύο περιοχές μελέτης και εφαρμόστηκε με τον ίδιο τρόπο σε όλα τα ζεύγη δεδομένων. Τα τρία ζεύγη δεδομένων από τα οποία προέκυψαν οι φασματικές υπογραφές που συσχετίστηκαν για τις δύο περιοχές ήταν τα:

- Πρωτογενή υπερφασματικά δεδομένα εδάφους (ακτινοβολία αντικειμένων) με Πρωτογενή δορυφορικά δεδομένα
- Πρωτογενή υπερφασματικά δεδομένα εδάφους (ακτινοβολία αντικειμένων) με Συγχωνευμένα δορυφορικά δεδομένα (radiance - radiance)
- Υπερφασματικά δεδομένα εδάφους για την ανακλαστικότητα με Ατμοσφαιρικά διορθωμένα δορυφορικά δεδομένα (reflectance - reflectance)

Για κάθε περιοχή, σε όλες τις περιπτώσεις, πραγματοποιήθηκε απλή γραμμική παλινδρόμηση ανάμεσα στις φασματικές υπογραφές κάθε ποικιλίας, όπως αυτές υπολογίστηκαν από τα δεδομένα εδάφους και όπως υπολογίστηκαν από τα δορυφορικά δεδομένα.

Όσον αφορά στο μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε, για κάθε ποικιλία, η βαθμωτή εξαρτημένη μεταβλητή Y ήταν ένα διάνυσμα διαστάσεων 8×1 , κάθε γραμμή του οποίου περιείχε το ποσοστό φωτεινότητας της ποικιλίας στο αντίστοιχο προσομοιωμένο κανάλι των δεδομένων εδάφους. Ο σταθερός όρος 1 και η επεξηγηματική μεταβλητή X , εισήχθησαν υπό τη μορφή πίνακα 8×2 , στην πρώτη και δεύτερη στήλη αντίστοιχα. Συνεπώς, η πρώτη στήλη είχε σε όλα τα κελιά της την τιμή 1 και η δεύτερη περιείχε τα ποσοστά φωτεινότητας της εκάστοτε ποικιλίας στα 8 κανάλια του WV2.

Πέρα από τον υπολογισμό και την οπτικοποίηση της συνάρτησης ευθείας που συνδέει καλύτερα τις δύο συσχετιζόμενες ομάδες δεδομένων, ήταν απαραίτητη η διερεύνηση της ακρίβειας του μοντέλου. Για το λόγο αυτό, υπολογίστηκε το ποσοστό συσχέτισης ανάμεσα στα δύο σετ δεδομένων, με αναγωγή του συντελεστή προσδιορισμού R^2 σε μορφή ποσοστού. Επίσης, υπολογίστηκε το παρατηρούμενο επίπεδο σημαντικότητας p-value.

3.3.2 Συσχέτιση κοινών ποικιλιών ανάμεσα στις δύο περιοχές μελέτης

Η συσχέτιση των κοινών ποικιλιών ανάμεσα στις δύο περιοχές μελέτης πραγματοποιήθηκε για να ελεγχθεί η επαναληψιμότητα των δεδομένων που παρέχει ο δορυφορικός δέκτης. Δηλαδή, κατά πόσο μια ποικιλία αμπέλου που εμφανίζεται σε δύο διαφορετικές περιοχές παρουσιάζει την ίδια φασματική υπογραφή και στις δύο.

Οι κοινές ποικιλίες ανάμεσα στις δύο περιοχές μελέτης ήταν οι Syrah, Merlot και Sauvignon Blanc. Για τη συσχέτιση τους, χρησιμοποιήθηκαν οι φασματικές υπογραφές όπως προέκυψαν από τα δορυφορικά δεδομένα WV2.

Συγκεκριμένα, για κάθε μια εκ των τριών ποικιλιών, πραγματοποιήθηκε απλή γραμμική παλινδρόμηση ανάμεσα στις φασματικές υπογραφές της από τις δύο διαφορετικές περιοχές μελέτης. Επίσης, ως μια μορφή εσωτερικού ελέγχου, εξετάστηκαν και τα αποτελέσματα συσχέτισεων διαφορετικών ποικιλιών από τις διαφορετικές περιοχές. Για παράδειγμα, συσχέτιση της φασματικής υπογραφής του Merlot από την περιοχή της Τράπεζας με το Syrah από την περιοχή του Μεγαπλάτανου.

Όσον αφορά στις μεταβλητές του μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε, η εξαρτημένη μεταβλητή Y ήταν ένα διάνυσμα διαστάσεων 8×1 , που περιείχε τα ποσοστά φωτεινότητας μιας ποικιλίας από την περιοχή A στα 8 κανάλια του WV2. Ο σταθερός όρος 1 και η επεξηγηματική μεταβλητή X , εισήχθησαν υπό τη μορφή πίνακα 8×2 , στην πρώτη και δεύτερη στήλη αντίστοιχα. Συνεπώς, η πρώτη στήλη είχε σε όλα τα κελιά της την τιμή 1 και η δεύτερη περιείχε τα ποσοστά φωτεινότητας της ίδιας ποικιλίας από την περιοχή B στα 8 κανάλια του WV2. (Η μιας διαφορετικής ποικιλίας από την περιοχή B στις περιπτώσεις ελέγχου)

Όπως και στην παράγραφο 3.3.1 και σε αυτή την εφαρμογή έγινε διερεύνηση της ακρίβειας του μοντέλου.

3.4 Εκτίμηση Ποιοτικών και Ποσοτικών Χαρακτηριστικών σε Αμπελώνες

Στην παρακάτω ενότητα περιγράφονται οι διαδικασίες υπολογισμού και επιλογής των τηλεπισκοπικών δεικτών που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και η μεθοδολογία χαρτογράφησης ζωνών σε σχέση με πραγματικά χαρακτηριστικά.

3.4.1 Υπολογισμός και προσομοίωση δεικτών

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, υπολογίστηκαν 29 τηλεπισκοπικοί δείκτες που εμπίπτουν σε εννέα διαφορετικές κατηγορίες. Η πλειοψηφία τους έχει προταθεί για χρήση με υπερφασματικά δεδομένα. Συνεπώς, οι εξισώσεις υπολογισμού τους έχουν προσαρμοστεί στα διαθέσιμα οκτώ κανάλια του WV2.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται αναλυτικά, η συντομογραφία με την οποία θα καλείται ο δείκτης από εδώ και στο εξής, το πλήρες όνομα του δείκτη στη διεθνή βιβλιογραφία, η συνάρτηση που έχει προταθεί για τον υπολογισμό του, η βιβλιογραφική αναφορά και η συνάρτηση με την οποία υπολογίστηκε ο δείκτης στην παρούσα εργασία, προσαρμοσμένη για τα διαθέσιμα δορυφορικά δεδομένα WV2.

Δείκτης	Όνομα	Συνάρτηση	Reference	Συνάρτηση για WV2
Δείκτες Βλάστησης				
SR	Simple Ratio Index	R_{800} / R_{670}	Jordan (1969)	R_{NIR1} / R_{RED}
DVI	Difference Vegetation Index	$R_{800} - R_{670}$	Jordan (1969)	$R_{NIR1} - R_{RED}$
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index	$(R_{nir} - R_{red}) / (R_{nir} + R_{red})$	Rouse (1974)	$(R_{nir} - R_{red}) / (R_{nir} + R_{red})$
RDVI	Renormalised Difference Vegetation Index	$(R_{800} - R_{670}) / \sqrt{(R_{800} + R_{670})}$	Rougean & Breon (1995)	$(R_{NIR1} - R_{RED}) / \sqrt{(R_{NIR1} + R_{RED})}$
MSR	Modified Simple Ratio	$(R_{NIR} / R_{RED} + 1) / ((R_{NIR} / R_{RED})^{0.5} + 1)$	Chen (1996)	$(R_{NIR1} / R_{RED} + 1) / ((R_{NIR1} / R_{RED})^{0.5} + 1)$
Δείκτες Βλάστησης με Προσαρμογή Εδάφους				
SAVI	Soil-Adjusted Vegetation Index	$(1 + L) * (R_{800} - R_{670}) / (R_{800} + R_{670} + L)$	Huete (1988)	$(1 + 0.5) * (R_{NIR1} - R_{RED}) / (R_{NIR1} + R_{RED} + 0.5)$
MSAVI	Improved SAVI with self-adjustment factor L	$0.5 * [2 * R_{800} + 1 - \sqrt{(2 * R_{800} + 1)^2 - 8 * (R_{800} - R_{670})}]$	Qi et al. (1994)	$0.5 * [2 * R_{NIR1} + 1 - \sqrt{(2 * R_{NIR1} + 1)^2 - 8 * (R_{NIR1} - R_{RED})}]$
OSAVI	Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index	$(1 + 0.16) * (R_{800} - R_{670}) / (R_{800} + R_{670} + 0.16)$	Rondeaux et al. (1996)	$(1 + 0.16) * (R_{NIR1} - R_{RED}) / (R_{NIR1} + R_{RED} + 0.16)$
SARVI	Soil and Atmospherically Resistant Vegetation Index	$(1 + L) * (R_{800} - R_{rb}) / (R_{800} + R_{rb} + L)$	Kaufman and Tanre (1992)	$(1 + 0.5) * [R_{NIR1} - R_{RED} - (R_{BLUE} - R_{RED})] / (R_{NIR1} + R_{RED} + 0.5)$
RE/R	Red Edge/Red Ratio	R_{700}/R_{670}	Kim et al. (1994)	$R_{Red-Edge} / R_{RED}$
Δείκτες Βλάστησης με Τροποποιημένη Επιρροή Χλωροφύλλης				
MCARI	Modified C_{ab} Absorption in Reflectance Index	$[(R_{700} - R_{670}) - 0.2 * (R_{700} - R_{550})] * (R_{700} / R_{670})$	Daughtry et al. (2000)	$[(R_{Red-Edge} - R_{RED}) - 0.2 * (R_{Red-Edge} - R_{GREEN})] * (R_{Red-Edge} / R_{RED})$
TCARI	Transformed CARI	$3 * [(R_{700} - R_{670}) - 0.2 * (R_{700} - R_{550}) * (R_{700} / R_{670})]$	Haboudane et al. (2002)	$3 * [(R_{Red-Edge} - R_{RED}) - 0.2 * (R_{Red-Edge} - R_{GREEN}) * (R_{Red-Edge} / R_{RED})]$
MCARI1	Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index 1	$1.2 * [2.5 * (R_{800} - R_{670}) - 1.3 * (R_{800} - R_{550})]$	Haboudane et al. (2004)	$1.2 * [2.5 * (R_{NIR1} - R_{RED}) - 1.3 * (R_{NIR1} - R_{GREEN})]$
MCARI2	Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index 2	$1.2 * [2.5 * (R_{800} - R_{670}) - 1.3 * (R_{800} - R_{550})] / (\sqrt{(2 * R_{800} + 1)^2 - (6 * R_{800} - 5 * \sqrt{R_{670}})} - 0.5)$	Haboudane et al. (2004)	$1.2 * [2.5 * (R_{NIR1} - R_{RED}) - 1.3 * (R_{NIR1} - R_{GREEN})] / (\sqrt{(2 * R_{NIR1} + 1)^2 - (6 * R_{NIR1} - 5 * \sqrt{R_{RED}})} - 0.5)$
Τριγωνικοί Δείκτες Βλάστησης				
TVI	Triangular Vegetation Index	$0.5 * [120 * (R_{750} - R_{550}) - 200 * ((R_{670} - R_{550}))]$	Broge and Leblanc (2000)	$0.5 * [120 * (R_{Red-Edge} - R_{GREEN}) - 200 * ((R_{RED} - R_{GREEN}))]$

MTVI1	Modified Triangular Vegetation Index1	$1.2 * [1.2 * (R_{800} - R_{550}) - 2.5 * ((R_{670} - R_{550}))]$	Haboudane et al. (2004)	$1.2 * [1.2 * (R_{NIR1} - R_{GREEN}) - 2.5 * ((R_{RED} - R_{GREEN}))]$
MTVI2	Modified Triangular Vegetation Index 2	$(1.5 * [1.2 * (R_{800} - R_{550}) - 2.5 * ((R_{670} - R_{550}))]) / (\text{sqrt} ((2 * R_{800} + 1)^2 - (6 * R_{800} - 5 * \text{sqrt}(R_{670})) - 0.5))$	Haboudane et al. (2004)	$(1.5 * [1.2 * (R_{NIR1} - R_{GREEN}) - 2.5 * ((R_{RED} - R_{GREEN}))]) / (\text{sqrt} ((2 * R_{NIR1} + 1)^2 - (6 * R_{NIR1} - 5 * \text{sqrt}(R_{RED})) - 0.5))$
Δείκτες Λόγου Καροτενοειδών / Χλωροφύλλης				
SRPI	Simple Ratio Pigment Index	R_{430} / R_{680}	Peñuelas et al. (1995)	$R_{\text{Coastal Blue}} / R_{\text{RED}}$
NPCI	Normalized Pigment Chlorophyll Index	$(R_{680} - R_{430}) / (R_{680} + R_{430})$	Penuelas et al. (1994)	$(R_{\text{RED}} - R_{\text{COASTAL}}) / (R_{\text{RED}} + R_{\text{COASTAL}})$
SIPI	Structure Insensitive Pigment Index	$(R_{800} - R_{445}) / (R_{800} + R_{650})$	Peñuelas et al. (1995)	$(R_{NIR1} - R_{\text{COASTAL}}) / (R_{NIR1} + R_{\text{RED}})$
Δείκτες Χλωροφύλλης				
Gitelson Chl1	Gitelson Chlorophyll Index 1	$[1 / (R_{540-560}) - 1 / (R_{760-800})] * (R_{760-800})$	Gitelson et al. (2006)	$(R_{NIR} / R_{GREEN}) - 1$
Gitelson Chl2	Gitelson Chlorophyll Index 2	$[1 / (R_{690-720}) - 1 / (R_{760-800})] * (R_{760-800})$	Gitelson et al. (2006)	$(R_{NIR} / R_{\text{Red-Edge}}) - 1$
CTR1	Carter Index 1	R_{695} / R_{420}	Carter (1994)	$R_{\text{Red-Edge}} / R_{\text{COASTAL}}$
Δείκτες Καροτενοειδών				
Blackburn Car1	Blackburn Carotenoid Index 1	(R_{800} / R_{470})	Blackburn (1998)	(R_{NIR} / R_{BLUE})
Blackburn Car2	Blackburn Carotenoid Index 2	$(R_{800} - R_{470}) / (R_{800} + R_{470})$	Blackburn (1998)	$(R_{NIR} - R_{BLUE}) / (R_{NIR} + R_{BLUE})$
Gitelson Car1	Gitelson Carotenoid Index 1	$[1 / (R_{510-520}) - 1 / (R_{540-560})] * (R_{760-800})$	Gitelson et al. (2006)	$[1 / (R_{BLUE}) - 1 / (R_{GREEN})] * (R_{NIR})$
Gitelson Car2	Gitelson Carotenoid Index 2	$[1 / (R_{510-520}) - 1 / (R_{690-710})] * (R_{760-800})$	Gitelson et al. (2006)	$[1 / (R_{BLUE}) - 1 / (R_{\text{Red-Edge}})] * (R_{NIR})$
Δείκτες Ανθοκυανών				
Gamon Anth	Gamon Anthocyanin Index	$(R_{600-700}) / (R_{500-600})$	Gamon and Surfus (1999)	$(R_{\text{RED}}) / (R_{\text{GREEN}})$
Gitelson Anth	Gitelson Anthocyanin Index	$[1 / (R_{540-560}) - 1 / (R_{690-710})] * (R_{760-800})$	Gitelson et al. (2006)	$[1 / (R_{GREEN}) - 1 / (R_{\text{Red-Edge}})] * (R_{NIR})$
Σχήμα 3.12. Συνοπτικός πίνακας υπολογισθέντων τηλεπισκοπικών δεικτών				

Όσον αφορά στα δεδομένα από τα οποία προέκυψαν οι δείκτες, χρησιμοποιήθηκαν πρωτογενή δεδομένα, συγχωνεύμενα δεδομένα και συγχωνευμένα δεδομένα στα οποία εφαρμόστηκαν φίλτρα.

Το πλεονέκτημα των πρωτογενών δεδομένων έγκειται στη ραδιομετρική πιστότητα που τα χαρακτηρίζει, καθώς δεν έχουν υποστεί κανενός τύπου επεξεργασία. Όμως, το βασικό τους μειονέκτημα είναι η αδυναμία διάκρισης του γραμμικού προτύπου των αμπελιών. Το γεγονός αυτό τα κατέστησε ακατάλληλα για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, καθώς ένας από τους βασικούς σκοπούς της, ήταν η δυνατότητα διάκρισης των γραμμών του αμπελιού.

Τα φιλτραρισμένα δεδομένα παρουσίαζαν ομογενοποίηση μεγαλύτερη από το επιθυμητό και είχαν προβλήματα ραδιομετρικής πιστότητας, καθώς είχαν υποστεί επεξεργασίες συγχώνευσης και φίλτρων.

Τα συγχωνευμένα δεδομένα είχαν το συγκριτικό πλεονέκτημα της διάκρισης του γραμμικού προτύπου των αμπελιών, λόγω της αυξημένης τους χωρικής ακρίβειας. Μικρό μειονέκτημα τους ήταν η παρέμβαση στη ραδιομετρία της εικόνας που απαιτεί η διαδικασία της συγχώνευσης. Όμως, η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε παρουσίασε πολύ καλά αποτελέσματα σε αυτόν τον τομέα, συνεπώς η ραδιομετρία της συγχωνευμένης εικόνας ήταν πολύ κοντά σε αυτή των πρωτογενών δεδομένων.

Όσον αφορά στις δύο περιοχές, αρχικά υπολογίστηκαν οι δείκτες στην περιοχή της Τράπεζας για το σύνολο της εικόνας, η οποία περιελάμβανε εκτός των αμπελιών, άλλες καλλιέργειες (ελιές κτλ.), φυσική βλάστηση, και έναν μικρό αριθμό κτισμάτων. Στην περιοχή του Μεγαπλάτανου, οι δείκτες υπολογίστηκαν μόνο στα αμπέλια. Γενικά, ορθότερο είναι ο δείκτης να προκύπτει από το σύνολο της εικόνας και αυτή ήταν η αρχική προσέγγιση και για τις δύο περιοχές. Όμως, η εικόνα του Μεγαπλάτανου παρουσίαζε μεγάλες εκτάσεις από αρδευόμενες καλλιέργειες καθώς και ραδιομετρικά προβλήματα, τα οποία επηρέαζαν τα οπτικά αποτελέσματα των δεικτών. Ο υπολογισμός των δεικτών μόνο στα αμπέλια, εκμηδένισε τις επιρροές από τις διαφορετικές καλλιέργειες, και παρέμειναν μόνο κάποια ραδιομετρικά προβλήματα στα ίδια τα αμπέλια.

Για οικονομία χώρου, και ευκολότερη σύγκριση ανάμεσα στους δείκτες αποφασίστηκε στο κεφάλαιο αυτό να παρουσιαστούν τα αποτελέσματα των δεικτών όπως υπολογίστηκαν από τα συγχωνευμένα δεδομένα σε μια επιλεγμένη υποπεριοχή του Μεγαπλάτανου. Ορισμένοι δείκτες δεν εμφανίζονται παρακάτω, καθώς είχαν παρόμοια αποτελέσματα με κάποιον άλλον δείκτη της κατηγορίας τους.

Δείκτες Βλάστησης

Difference Vegetation Index

Ο DVI (Difference Vegetation Index, Δείκτης Διαφοράς Βλάστησης) είναι η διαφορά της ανακλαστικότητας στα 800 nm (εγγύς υπέρυθρο) από την ανακλαστικότητα στα 670 nm (κόκκινο). Είναι ένας από τους απλούστερους τρόπους ανάδειξης της βλάστησης. (Jordan, 1969)

$$DVI = R_{800} - R_{670}$$

$$WV7 : DVI = R_{NIR1} - R_{RED} = \text{Band7}/\text{Band5}$$

Normalised Difference Vegetation Index

Ο NDVI (Normalised Difference Vegetation Index, Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης) είναι ο γνωστότερος και ευρύτερα χρησιμοποιούμενος δείκτης βλάστησης. Βασίζεται στην αντίθεση ανάμεσα στη μέγιστη απορρόφηση στο κόκκινο λόγω χλωροφύλλης και τη μέγιστη ανάκλαση στο υπέρυθρο που προκαλείται από την κυτταρική δομή των φύλλων (leaf cellular structure).

$$NDVI = (R_{800} - R_{670}) / (R_{800} + R_{670})$$

$$WV7 : NDVI = (R_{NIR1} - R_{RED}) / (R_{NIR1} + R_{RED}) = (Band7 - Band5) / (Band7 + Band5)$$

Renormalised Difference Vegetation Index

Παρά την εκτενή χρήση του NDVI, παρατηρείται κορεσμός σε περιπτώσεις όπου η κόμη του φυλλώματος είναι πυκνή και έχει πολλαπλές στρώσεις. Συνεπώς, δημιουργήθηκαν βελτιωμένοι δείκτες όπως ο RDVI (Renormalised Difference Vegetation Index; Δείκτης Επανακανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης) από τους Rougean & Breon (1995) και ο Modified Simple Ratio από τον Chen (1996), με σκοπό τη γραμμικοποίηση των σχέσεων των δεικτών βλάστησης με τις βιοφυσικές παραμέτρους της βλάστησης. Ο RDVI προτάθηκε για να συνδυάσει τα πλεονεκτήματα του DVI με αυτά του NDVI, όσον αφορά σε χαμηλές και υψηλές τιμές του LAI, αντίστοιχα.

$$RDVI = (R_{800} - R_{670}) / \text{sqrt}(R_{800} + R_{670})$$

$$WV7 : RDVI = (R_{NIR1} - R_{RED}) / \text{sqrt}(R_{NIR1} + R_{RED}) = (Band7 - Band5) / \text{sqrt}(Band7 + Band5)$$

Simple Ratio Index

Ο SR (Simple Ratio Index, Δείκτης Απλού Λόγου) είναι ο λόγος της ανακλαστικότητας στα 800 nm (εγγύς υπέρυθρο) προς την ανακλαστικότητα στα 670 nm (κόκκινο). Είναι ένας από τους απλούστερους τρόπους ανάδειξης της βλάστησης. (Jordan, 1969).

$$SR = R_{800} / R_{670}$$

$$WV7 : SR = R_{NIR1} / R_{RED} = Band7/Band5$$

Modified Simple Ratio

Ο MSR (Modified Simple Ratio, Τροποποιημένος Απλός Λόγος) προτάθηκε από τον Chen (1996) ως βελτίωση του RDVI, συνδυάζοντας τον με τον SR Παρουσιάζει αυξημένη ευαισθησία στις βιοφυσικές παραμέτρους της βλάστησης, καθώς οι SR και MSR θεωρείται ότι σχετίζονται περισσότερο γραμμικά με τις παραμέτρους της βλάστησης.

$$MSR = (R_{NIR} / R_{RED} + 1) / ((R_{NIR} / R_{RED})^{0.5} + 1)$$

$$WV7 : MSR = (R_{NIR1} / R_{RED} + 1) / ((R_{NIR1} / R_{RED})^{0.5} + 1) = (Band7 / Band5 + 1) / ((Band7 / Band5)^{0.5} + 1)$$

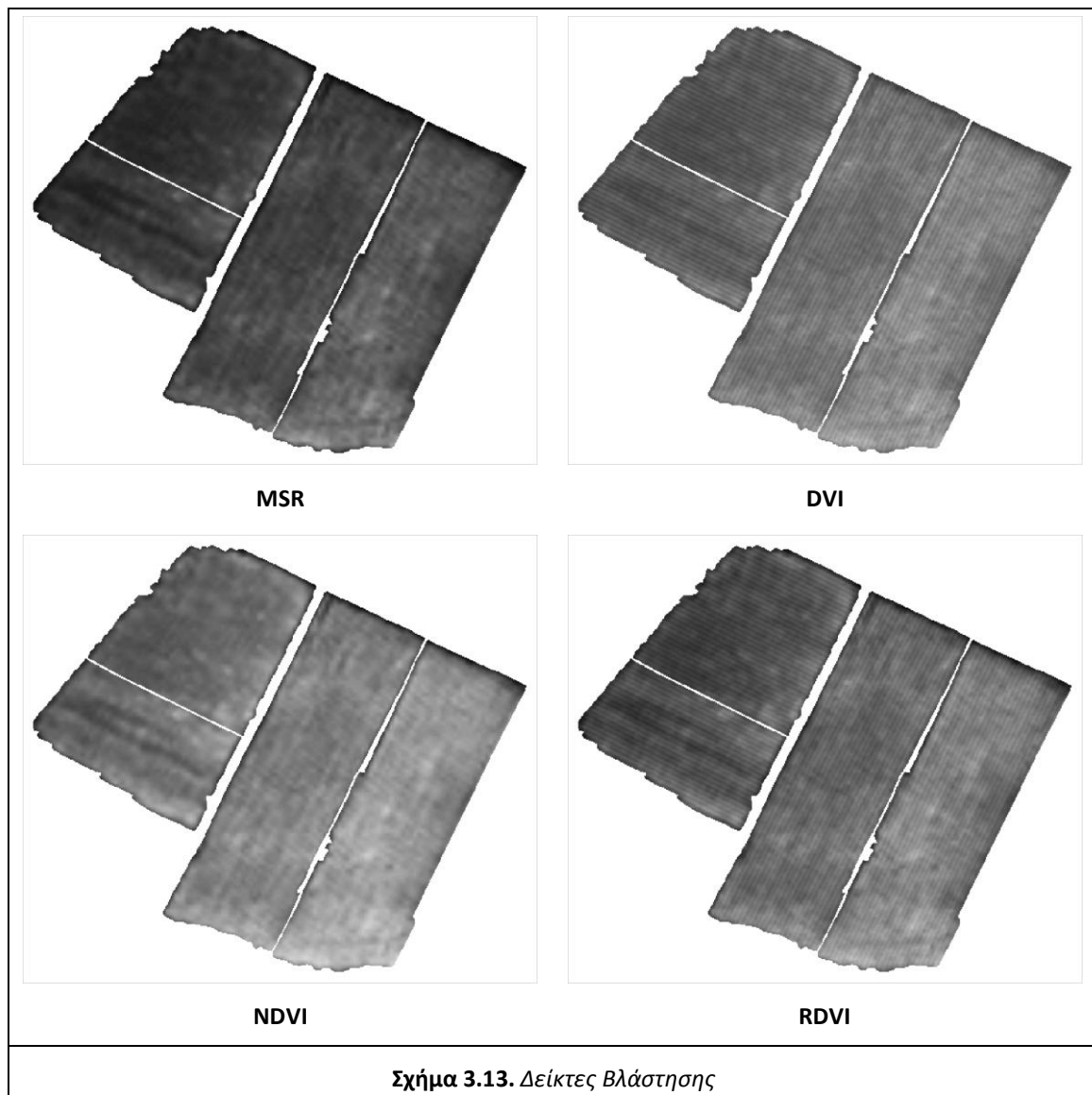
Red Edge/Red Ratio

Ο λόγος αυτός προτάθηκε από τους Kim et al. (1994) για την ελαχιστοποίηση των συνδυασμένων επιπτώσεων από την ανακλαστικότητα του υποκείμενου εδάφους και από τα μη-φωτοσυνθετικά υλικά του φυλλώματος.

$$R/RE=R_{700}/R_{670}$$

$$WVII : ZM = R_{Red-Edge} / R_{RED}$$

$$= \text{Band6} / \text{Band5}$$



Τα αποτελέσματα των MSR, SR και RER ήταν παρόμοια. Επιλέχθηκε να παρουσιαστεί μόνο ο MSR διότι παρουσίαζε το μεγαλύτερο εύρος τιμών και την καλύτερη ευκρίνεια. Όσον αφορά στους υπόλοιπους δείκτες, ο DVI, είχε τα καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά τη διάκριση του γραμμικού προτύπου των αμπελιών, ενώ ο NDVI αποτύπωνε σε μεγαλύτερο εύρος τα διαφορετικά επίπεδα βλάστησης. Συνδυάζοντας τα πλεονεκτήματα των δύο αυτών δεικτών, ο RDVI παρουσίαζε καλό εύρος τιμών φωτεινότητας, που αντιπροσωπεύουν διαφορετικά επίπεδα βλάστησης και εμφάνιζε το γραμμικό πρότυπο των αμπελώνων.

Δείκτες Βλάστησης με Προσαρμογή Εδάφους

Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI)

Για να λαμβάνονται υπόψη οι αλλαγές στις οπτικές ιδιότητες του εδάφους, δημιουργήθηκαν οι δείκτες με προσαρμογή εδάφους, ελαχιστοποιώντας έτσι τις επιδράσεις του υποβάθρου. Ο πρωταρχικός δείκτης με τέτοια χαρακτηριστικά είναι ο SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index, Δείκτης Βλάστησης με Προσαρμογή Εδάφους που προτάθηκε από τον Huete (1988). Ο εν λόγω δείκτης περιλαμβάνει έναν παράγοντα προσαρμογής L για το υπόβαθρο της κόμης του φυλλώματος. Ο παράγοντας L είναι συνάρτηση της πυκνότητας βλάστησης, και ο προσδιορισμός του προαπαιτεί τη γνώση του ποσού της βλάστησης. Η τιμή του παράγοντα L είναι κρίσιμη για την ελαχιστοποίηση των επιδράσεων των οπτικών ιδιοτήτων του εδάφους στην ανακλαστικότητα της βλάστησης. Ο Huete (1988) πρότεινε μια βέλτιστη τιμή για το L ίση με 0.5, για να λαμβάνονται υπόψη οι πρώτης-τάξης μεταβολές του υποβάθρου.

$$SAVI = (1 + L) * (R_{800} - R_{670}) / (R_{800} + R_{670} + L)$$

$$WVII: SAVI = (1 + L) * (R_{NIR1} - R_{RED}) / (R_{NIR1} + R_{RED} + L) =$$

$$(1 + 0.5) * (Band7 - Band5) / (Band7 + Band5 + 0.5)$$

Improved SAVI with self-adjustment factor L

Για τη βελτίωση του SAVI, όσον αφορά στα διαφορετικά εδαφικά υπόβαθρα, οι Qi et al. (1994) δημιούργησαν τον MSAVI έναν βελτιωμένο SAVI, με αυτό-προσαρμογή του παράγοντα L, χωρίς αυτός να εμφανίζεται στον υπολογισμό του MSAVI. Μια πρόσφατη έρευνα των Broge and Leblanc (2000) με χρήση μοντέλων διάδοσης της ακτινοβολίας, έχει προτείνει ότι ο MSAVI είναι ο καλύτερος εκτιμητής του LAI (Δείκτη Εμβαδού Φυλλώματος). Όσον αφορά στην ευαισθησία στις επιδράσεις του φυλλώματος, απεδείχθη πως επηρεάζεται λιγότερο από τις μεταβολές στις παραμέτρους του φυλλώματος και στις φασματικές ιδιότητες του εδάφους. Σημειώνεται επίσης, ότι ο MSAVI είναι ο καλύτερος εκτιμητής του LAI για πυκνά φυλλώματα.

$$MSAVI = 0.5 * [2 * R_{800} + 1 - \sqrt{(2 * R_{800} + 1)^2 - 8 * (R_{800} - R_{670})}]$$

$$WVII: MSAVI = 0.5 * [2 * R_{NIR1} + 1 - \sqrt{(2 * R_{NIR1} + 1)^2 - 8 * (R_{NIR1} - R_{RED})}]$$

$$= 0.5 * [2 * Band7 + 1 - \sqrt{(2 * Band7 + 1)^2 - 8 * (Band7 - Band5)}]$$

Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index

Ο δείκτης OSAVI (Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index, Βελτιστοποιημένος Δείκτης Βλάστησης με Προσαρμογή Εδάφους) αναπτύχθηκε από τους Rondeaux et al. (1996), με σκοπό τη βελτίωση του SAVI, όσον αφορά σε εκτιμήσεις του LAI. Οι Rondeaux et al. (1996), παρατήρησαν πως, ελαχιστοποιώντας την τυπική απόκλιση για όλα τα ποσοστά ανάμιξης εδάφους και βλάστησης, ο καλύτερος δείκτης SAVI για την εκτίμηση του LAI, προκύπτει για τιμή του L=0.16. Ο δείκτης OSAVI, είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικός, σε συνθήκες φυτοκάλυψης μεγαλύτερες του 50%.

$$OSAVI = (1 + 0.16) * (R_{800} - R_{670}) / (R_{800} + R_{670} + 0.16)$$

$$WVII: OSAVI = (1 + 0.16) * (R_{NIR1} - R_{RED}) / (R_{NIR1} + R_{RED} + 0.16)$$

$$= (1 + 0.16) * (Band7 - Band5) / (Band7 + Band5 + 0.16)$$

Soil and Atmospherically Resistant Vegetation Index (SARVI)

Για την ελαχιστοποίηση των μεταβολών που προκαλεί η ατμόσφαιρα στον NDVI, οι Kaufman and Tanre (1992) διόρθωσαν την κόκκινη ακτινοβολία από την επίδραση αερολυμάτων, συμπεριλαμβάνοντας το μπλε κανάλι. Η διορθωμένη κόκκινη ακτινοβολία R_{rb} προκύπτει από την παρακάτω εξίσωση:

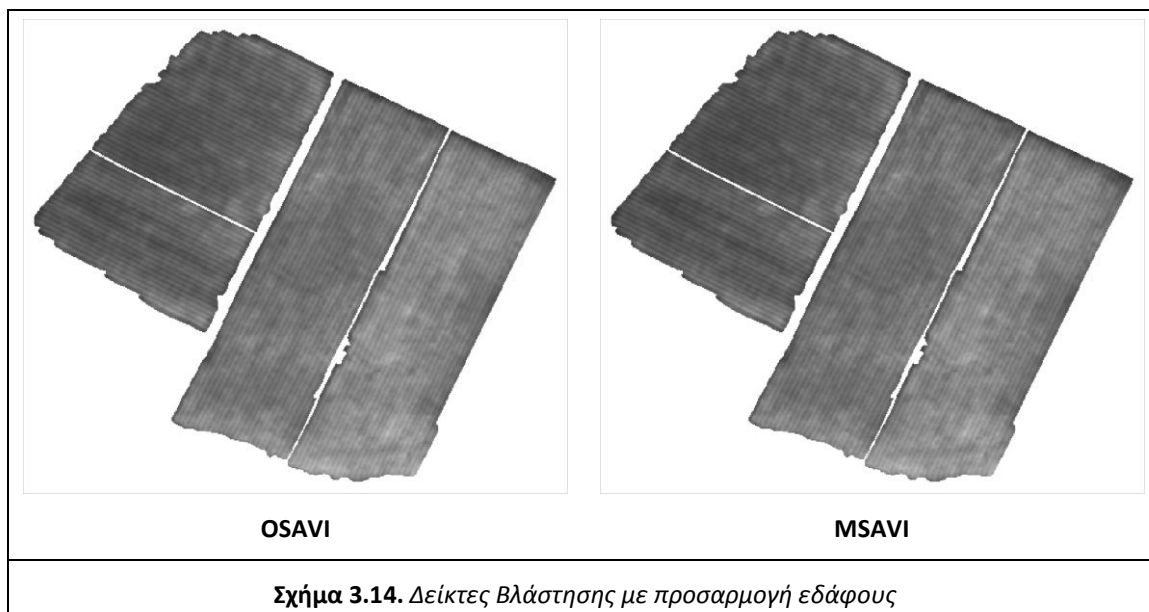
$$R_{rb} = R_r - \gamma * (R_b - R_r)$$

Για τον παράγοντα γ , οι Kaufman and Tanre (1992) πρότειναν την τιμή 1. Με χρήση του διορθωμένου κόκκινου καναλιού στην εξίσωση του SAVI, προέκυψε ο δείκτης SARVI (Soil and Atmospherically Resistant Vegetation Index, Ανθεκτικός Εδαφικά και Ατμοσφαιρικά Δείκτης Βλάστησης), που ελαχιστοποιεί τις επιπτώσεις από το υπόβαθρο του φυλλώματος και την ατμόσφαιρα.

$$SARVI = (1 + L) * (R_{800} - R_{rb}) / (R_{800} + R_{rb} + L)$$

$$WVII: SARVI = (1 + L) * [R_{NIR1} - R_{RED} + (R_{BLUE} - R_{RED})] / (R_{NIR1} + R_{RED} + L) =$$

$$(1 + 0.5) * [Band7 - Band5 + (Band2 - Band5)] / (Band7 + Band5 + 0.5)$$



Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζονται δύο από τους δείκτες βλάστησης με προσαρμογή εδάφους, οι OSAVI και MSAVI. Παρατηρείται ότι έχουν ελάχιστες διαφορές μεταξύ τους. Σε σχέση με τους απλούς δείκτες βλάστησης παρουσιάζουν μικρότερο εύρος τιμών φωτεινότητας. Αυτό είναι αποτέλεσμα της μειωμένης επιρροής που έχει ο παράγοντας έδαφος, καθώς η μεταβλητότητα του είναι μεγάλη και πυκνή χωρικά. Οι υπόλοιποι δείκτες της κατηγορίας δεν παρουσιάζονται, διότι εμφανίζουν τα ίδια αποτελέσματα.

Δείκτες Βλάστησης με Τροποποιημένη Επιρροή Χλωροφύλλης

Modified C_{ab} Absorption in Reflectance Index

Οι Kim et al. (1994) δημιούργησαν το δείκτη CARI (Chlorophyll Absorption Ratio Index, Δείκτης Απορρόφησης Χλωροφύλλης στην Ανάκλαση), ο οποίος μετρά το μέγεθος της απορρόφησης χλωροφύλλης στα 670 nm σε σχέση με το πράσινο μέγιστο στην ανακλαστικότητα στα 550 nm και με την ανακλαστικότητα στα 700 nm. Ο δείκτης CARI,

στη συνέχεια, απλοποιήθηκε από τους Daughtry et al. (2000), δημιουργώντας το δείκτη MCARI (Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index, Τροποποιημένος Δείκτης Λόγου Απορρόφησης Χλωροφύλλης), ο οποίος αποκρίνεται στις διακυμάνσεις της χλωροφύλλης.

$$MCARI = [(R_{700} - R_{670}) - 0.2 * (R_{700} - R_{550})] * (R_{700} / R_{670})$$

$$WVII : MCARI = [(R_{Red-Edge} - R_{RED}) - 0.2 * (R_{Red-Edge} - R_{GREEN})] * (R_{Red-Edge} / R_{RED})$$

$$= [(Band6 - Band5) - 0.2 * (Band6 - Band3)] * (Band6 / Band5)$$

Transformed CARI

Ο δείκτης TCARI προτάθηκε από τους Haboudane et al. (2002), ως τροποποιημένη έκδοση του MCARI. Πρόσφατες επιστημονικές έρευνες έχουν καταδείξει τη χρησιμότητα του TCARI, και συγκεκριμένα του λόγου των δεικτών TCARI/OSAVI, στην εκτίμηση των επιπέδων χλωροφύλλης.

$$TCARI = 3 * [(R_{700} - R_{670}) - 0.2 * (R_{700} - R_{550}) * (R_{700} / R_{670})]$$

$$WVII : TCARI = 3 * [(R_{Red-Edge} - R_{RED}) - 0.2 * (R_{Red-Edge} - R_{GREEN}) * (R_{Red-Edge} / R_{RED})]$$

$$= 3 * [(Band6 - Band5) - 0.2 * (Band6 - Band3) * (Band6 / Band5)]$$

Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index 1

Ο δείκτης MCARI1 (Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index, Τροποποιημένος Δείκτης Απορρόφησης Χλωροφύλλης στην Ανάκλαση), αναπτύχθηκε από τους Haboudane et al. (2004) ως βελτίωση στον MCARI. Ο δείκτης MCARI1 είναι λιγότερο ευαίσθητος στις επιδράσεις της χλωροφύλλης, αποκρίνεται περισσότερο στις παραλλαγές του πράσινου LAI, και είναι πιο ανθεκτικός στις επιδράσεις του εδάφους και της ατμόσφαιρας. Οι βασικές αλλαγές που έχει σε σχέση με τον MCARI είναι η καταστολή του λόγου (R_{700} / R_{670}), προκειμένου να μειωθεί η ευαισθησία στις επιπτώσεις της χλωροφύλλης, και η ενσωμάτωση ενός εγγύς υπέρυθρου μήκους κύματος, ώστε να αυξηθεί η ευαισθησία στις μεταβολές του LAI.

$$MCARI_1 = 1.2 * [2.5 * (R_{800} - R_{670}) - 1.3 * (R_{800} - R_{550})]$$

$$WVII : MCARI_1 = 1.2 * [2.5 * (R_{NIR1} - R_{RED}) - 1.3 * (R_{NIR1} - R_{GREEN})]$$

$$= 1.2 * [2.5 * (Band7 - Band5) - 1.3 * (Band7 - Band5)]$$

Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index 2

Προκειμένου να μειωθούν οι επιπτώσεις του εδάφους στον MCARI1, οι Haboudane et al. (2004) ανέπτυξαν τον MCARI2, στον οποίον ενσωμάτωσαν έναν συντελεστή προσαρμογής εδάφους, αξιοποιώντας το σκεπτικό που ανέπτυξε ο Huete (1988). Η γενική ιδέα ήταν η βελτιστοποίηση του MCARI1, με τον περιορισμό της διατήρησης της ευαισθησίας προς τον LAI καθώς και της αντίστασης στην επιρροή της χλωροφύλλης.

$$MCARI_2 = 1.2 * [2.5 * (R_{800} - R_{670}) - 1.3 * (R_{800} - R_{550})] /$$

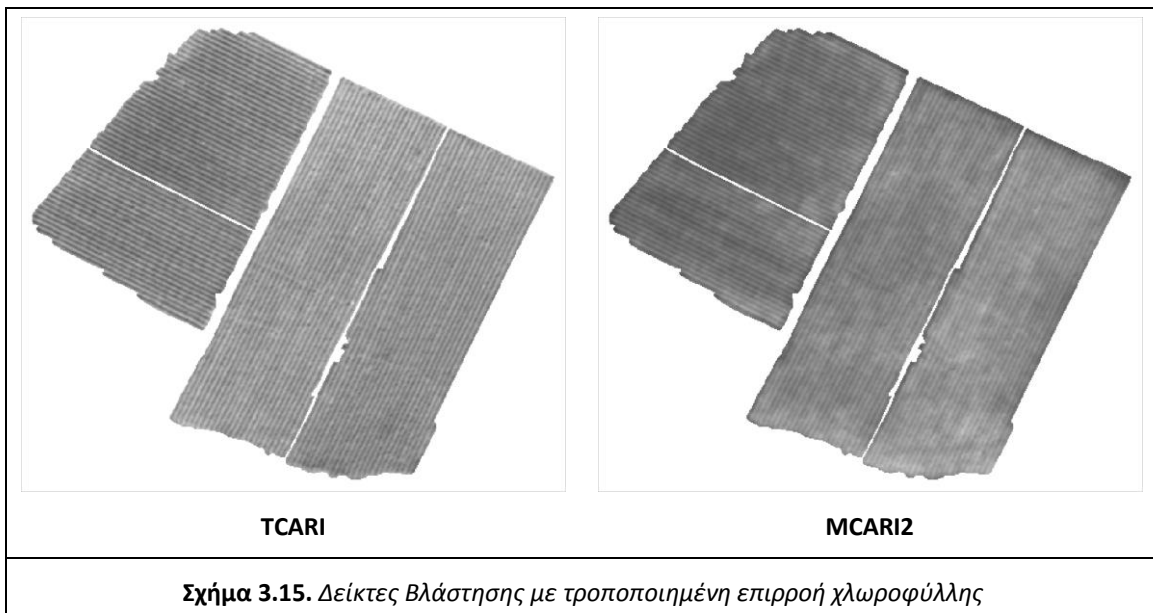
$$(\text{sqrt} ((2 * R_{800} + 1)^2 - (6 * R_{800} - 5 * \text{sqrt} (R_{670})) - 0.5)$$

$$WVII : MCARI_2 = 1.2 * [2.5 * (R_{NIR1} - R_{RED}) - 1.3 * (R_{NIR1} - R_{GREEN})] /$$

$$(\text{sqrt} ((2 * R_{NIR1} + 1)^2 - (6 * R_{NIR1} - 5 * \text{sqrt} (R_{RED})) - 0.5)$$

$$= 1.2 * [2.5 * (Band7 - Band5) - 1.3 * (Band7 - Band3)] /$$

$$(\text{sqrt}((2 * \text{Band7} + 1)^2 - (6 * \text{Band7} - 5 * \text{sqrt}(\text{Band5}))) - 0.5)$$



Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζονται δύο από τους δείκτες βλάστησης με τροποποιημένη επιρροή χλωροφύλλης, οι TCARI και MCARI2. Και οι δύο παρουσιάζουν μικρότερο εύρος τιμών φωτεινότητας σε σχέση με τους απλούς δείκτες βλάστησης. Ο MCARI2 ομοιάζει αρκετά με τους MSAVI και OSAVI, απεικονίζοντας σχεδόν τα ίδια επίπεδα βλάστησης, με παρόμοιο εύρος, αλλά με μεγαλύτερες τιμές φωτεινότητας. Όσον αφορά στον TCARI, παρατηρούνται πολύ μικρές διαφοροποιήσεις φωτεινότητας στη βλάστηση εντός του εκάστοτε αμπελοτεμαχίου. Όμως, διαχωρίζονται με πολύ μεγάλη ευκρίνεια οι γραμμές φύτευσης. Συνεπώς είναι κατάλληλος για αριθμητής σε λόγους με δείκτες που δεν έχουν αυτό το πλεονέκτημα, αλλά εντοπίζουν καλά τα διαφορετικά επίπεδα βλάστησης (π.χ. OSAVI). Οι υπόλοιποι δείκτες της κατηγορίας δεν παρουσιάζονται, καθώς έχουν μεγάλη ομοιότητα με τον MCARI2.

Τριγωνικοί Δείκτες Βλάστησης

Triangular Vegetation Index

Ο δείκτης TVI (Triangulated Vegetation Index, Τριγωνικός Δείκτης Βλάστησης) αναπτύχθηκε από τους Broge and Leblanc (2000). Ο TVI έχει ως στόχο να χαρακτηρίσει την ενέργεια της ακτινοβολίας που απορροφάται από τις χρωστικές των φύλλων, όσον αφορά τη σχετική διαφορά μεταξύ της κόκκινης και της εγγύς υπέρυθρης ακτινοβολίας, σε συνδυασμό με το μέγεθος της ανάκλασης στην πράσινη περιοχή. Ο TVI προσδιορίζεται ως η τριγωνική περιοχή που ορίζεται από: 1. την κορυφή της πράσινης ακτινοβολίας, 2. τον "ώμο" της εγγύς υπέρυθρης ακτινοβολίας και 3. του ελαχίστου ανάκλασης στην περιοχή της κόκκινης ακτινοβολίας.

Η γενική ιδέα πίσω από τον TVI βασίζεται στο γεγονός ότι το συνολικό εμβαδόν του τριγώνου (πράσινο, κόκκινο, υπέρυθρο) θα αυξηθεί ως αποτέλεσμα της απορρόφησης της χλωροφύλλης (μείωση της κόκκινης ανάκλασης) και της αφθονίας του φυλλικού ιστού (αύξηση της εγγύς υπέρυθρη ανάκλασης) (Broge and LeBlanc, 2000). Παρόλα αυτά, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η αύξηση της συγκέντρωσης χλωροφύλλης οδηγεί επίσης στη μείωση της ανάκλασης στο πράσινο, που οδηγεί, ως εκ τούτου, σε μια σχετική μείωση του εμβαδού του τριγώνου.

Επιπλέον, αν και δεν υπάρχει απορρόφηση χλωροφύλλης πέρα από τα 700 nm, οι έμμεσες επιπτώσεις της χλωροφύλλης στην καμπύλη ανακλαστικότητας βλάστησης μπορούν να παρατηρηθούν γύρω από τη θέση του ορίου της κόκκινης ακτινοβολίας και μέχρι τα 750 nm. Στην πραγματικότητα, όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη, η απορρόφηση της διευρύνεται και προκαλεί την κόκκινη-μετατόπιση των ανακλάσεων προς το όριο του κόκκινου. Κατά συνέπεια, η ανάκλαση της κόμης στα 750 nm, εξακολουθεί να επηρεάζεται από την περιεκτικότητα χλωροφύλλης στα φύλλα.

$$TVI = 0.5 * [120 * (R_{750} - R_{550}) - 200 * ((R_{670} - R_{550}))]$$

$$\begin{aligned} WVII : TVI &= 0.5 * [120 * (R_{Red-Edge} - R_{GREEN}) - 200 * ((R_{RED} - R_{GREEN}))] \\ &= 0.5 * [120 * (Band6 - Band3) - 200 * ((Band5 - Band3))] \end{aligned}$$

Modified Triangular Vegetation Index 1

Ο δείκτης MTVI1 (Modified Triangulated Vegetation Index, Τροποποιημένος Τριγωνικός Δείκτης Βλάστησης), αναπτύχθηκε από τους Haboudane et al. (2004), ως βελτίωση στον MTVI. Ο δείκτης MTVI1 είναι λιγότερο ευαίσθητος στις επιδράσεις της χλωροφύλλης, αποκρίνεται περισσότερο στις εναλλαγές του πράσινου LAI, και είναι πιο ανθεκτικός στις επιδράσεις του εδάφους και της ατμόσφαιρας. Οι Haboudane et al. (2004) εντόπισαν πως σε συνθήκες αύξησης της συγκέντρωσης χλωροφύλλης, προκαλείται μετατόπιση της κόκκινης ανακλαστικότητας προς την περιοχή του ορίου του κόκκινου, γεγονός που εισάγει ορισμένες αλλαγές στην ανάκλαση στα 750 nm, μήκος κύματος που αντιπροσωπεύει την αρχή του υπέρυθρου "ώμου". Για να γίνει λοιπόν κατάλληλος ο TVI για εκτιμήσεις του LAI, πρότειναν τον MTVI1, στον οποίο το μήκος κύματος 750nm αντικαταστάθηκε από το μήκος κύματος 800nm, η ανακλαστικότητα του οποίου επηρεάζεται από τις αλλαγές στα φύλλα και τη δομή του φυλλώματος, αλλά όχι από τις μεταβολές των επιπέδων των χρωστικών ουσιών. Επίσης εισήγαγαν και έναν συντελεστή κλίμακας.

$$MTVI_1 = 1.2 * [1.2 * (R_{800} - R_{550}) - 2.5 * ((R_{670} - R_{550}))]$$

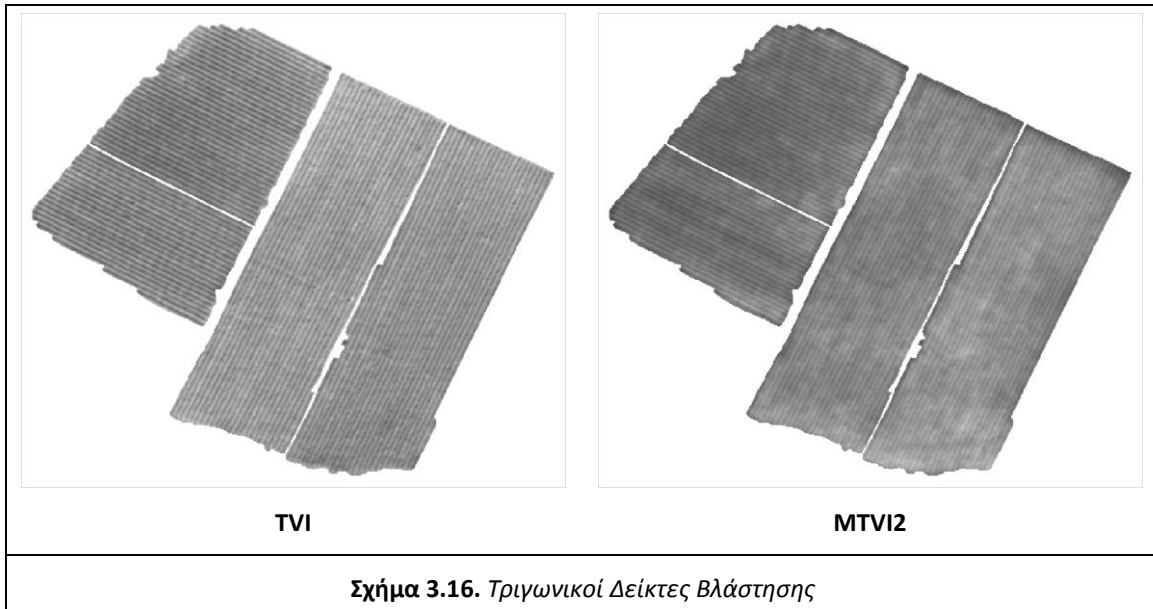
$$\begin{aligned} WVII : MTVI_1 &= 1.2 * [1.2 * (R_{NIR1} - R_{GREEN}) - 2.5 * ((R_{RED} - R_{GREEN}))] \\ &= 1.2 * [1.2 * (Band7 - Band3) - 2.5 * ((Band5 - Band3))] \end{aligned}$$

Modified Triangular Vegetation Index 2

Προκειμένου να μειωθούν οι επιπτώσεις του εδάφους στον MTVI1, οι Haboudane et al. (2004) ανέπτυξαν τον MTVI2, στον οποίον ενσωμάτωσαν έναν συντελεστή προσαρμογής εδάφους, αξιοποιώντας το σκεπτικό που ανέπτυξε ο Huete (1988). Η γενική ιδέα ήταν η βελτιστοποίηση του MTVI1, διατηρώντας την ευαισθησία προς τον LAI.

$$MTVI_2 = (1.5 * [1.2 * (R_{800} - R_{550}) - 2.5 * ((R_{670} - R_{550}))]) / (\text{sqrt} ((2 * R_{800} + 1)^2 - (6 * R_{800} - 5 * \text{sqrt}(R_{670})) - 0.5)$$

$$\begin{aligned} WVII : MTVI_2 &= (1.5 * [1.2 * (R_{NIR1} - R_{GREEN}) - 2.5 * ((R_{RED} - R_{GREEN}))]) / \\ &(\text{sqrt} ((2 * R_{NIR1} + 1)^2 - (6 * R_{NIR1} - 5 * \text{sqrt}(R_{RED})) - 0.5) \\ &= (1.5 * [1.2 * (Band7 - Band3) - 2.5 * ((Band5 - Band3))]) / \\ &(\text{sqrt} ((2 * Band7 + 1)^2 - (6 * Band7 - 5 * \text{sqrt}(Band5)) - 0.5) \end{aligned}$$



Σχήμα 3.16. Τριγωνικοί Δείκτες Βλάστησης

Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζονται δύο τριγωνικοί δείκτες βλάστησης, οι TVI και MTVI2. Ο MTVI1 δεν απεικονίζεται εδώ, καθώς εμφανίζει μεγάλη ομοιότητα με τον MTVI2. Οι τριγωνικοί δείκτες βλάστησης δεν προσφέρουν κάποιο περαιτέρω πλεονέκτημα, καθώς έχουν παρόμοια αποτελέσματα με δείκτες όπως ο MSAVI και MCARI2.

Λόγος Καροτενοειδών / Χλωροφύλλη

Normalized Pigment Chlorophyll Index

Ο δείκτης NPCI (Normalized Pigment Chlorophyll Index, Κανονικοποιημένος Δείκτης Χρωστικών Χλωροφύλλης) αναπτύχθηκε από τους Penueles et. al (1994). Ο εν λόγω δείκτης, αξιολογεί την αναλογία του συνόλου των φωτοσυνθετικών χρωστικών στη χλωροφύλλη, γεγονός ιδιαίτερα αξιοποιήσιμο σε σχέση με το στρες Αζώτου των φυτών. Η ανάκλαση των φύλλων στο ορατό φάσμα επηρεάζεται πρωτίστως από τις χρωστικές ουσίες της χλωροφύλλης (Thomas and Gausman, 1977). Οι καροτενοειδείς χρωστικές έχουν μέγιστη απορρόφηση στην περιοχή 300-500 nm και ως εκ τούτου συμβάλλουν μαζί με τη χλωροφύλλη, στην παρατηρούμενη απορρόφηση στα μικρότερα από το πράσινο ορατά μήκη κύματος (Margalef, 1974). Ωστόσο, σε αντίθεση με τη χλωροφύλλη, τα καροτενοειδή δεν παρουσιάζουν έντονη απορρόφηση στο κόκκινο.

Φυτά που πάσχουν από ελλείψεις αζώτου αναπτύσσουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις καροτενοειδών σε σχέση με τη χλωροφύλλη, και αυτό μπορεί να συσχετιστεί με τα προστατευτικά αποτελέσματα των καροτενοειδών σε συνθήκες υπερβολικής ακτινοβολίας (Young και Britton, 1990). Σημειώνεται πως, όσο αυξάνεται η συγκέντρωση των καροτενοειδών σε σχέση με της χλωροφύλλης τόσο μεγαλύτερες τιμές παίρνει ο εν λόγω δείκτης.

$$NPCI = (R_{680} - R_{430}) / (R_{680} + R_{430})$$

$$WVII : NPCI = (R_{RED} - R_{COASTAL}) / (R_{RED} + R_{COASTAL})$$

$$= (Band5 - Band1) / (Band5 + Band1)$$

Simple Ratio Pigment Index

Ο Δείκτης Χρωστικών Απλού Λόγου (Simple Ratio Pigment Index, SRPI) αναπτύχθηκε από τους Peñuelas et al. (1995), ως εκτιμητής του λόγου των καροτενοειδών προς τη χλωροφύλλη α. Τα μήκη κύματος στα 430nm και 680nm, είναι τα σημεία μέγιστης απορρόφησης των καροτενοειδών και της χλωροφύλλης αντίστοιχα. Συνεπώς, όσο αυξάνεται η συγκέντρωση των καροτενοειδών σε σχέση με της χλωροφύλλης τόσο μικρότερες τιμές παίρνει ο εν λόγω δείκτης. Δηλαδή, δείχνει τη συγκέντρωση της χλωροφύλλης προς τη συγκέντρωση των καροτενοειδών, και όχι το αντίστροφο.

$$SRPI = R_{430} / R_{680}$$

$$WVII : SRPI = R_{Coastal\ Blue} / R_{RED} = Band1 / Band5$$

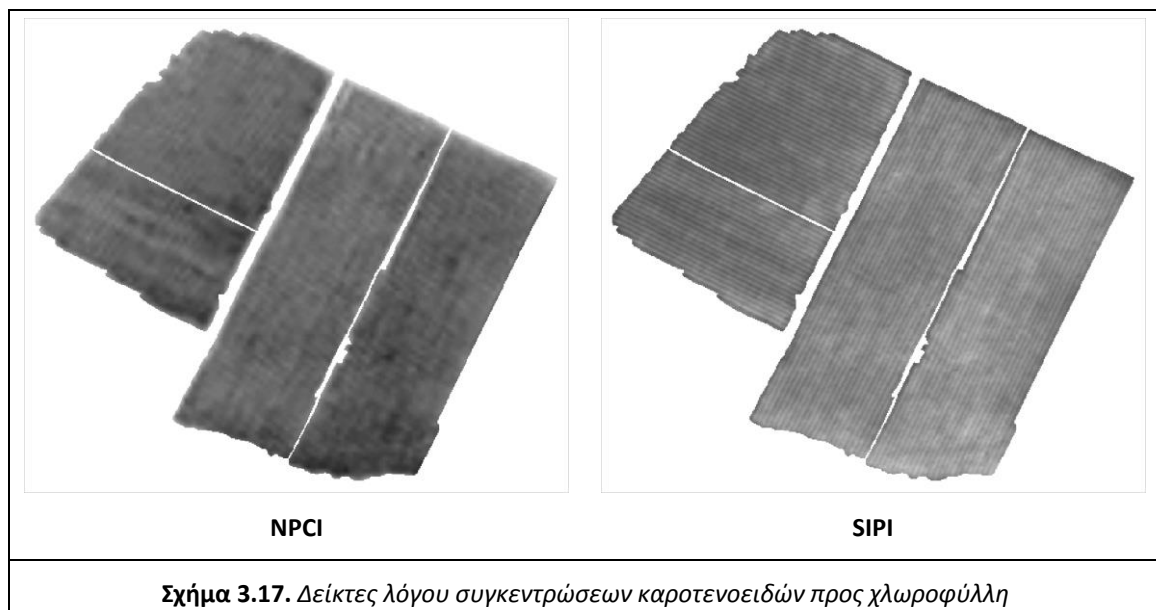
Structure Insensitive Pigment Index

Ο δείκτης SIPI (Structure Insensitive Pigment Index, Δείκτης Χρωστικών Ανεξάρτητος Δομής) αναπτύχθηκε από τους Peñuelas et al. (1995), ως βελτίωση επί του SRPI, παρέχοντας την καλύτερη εκτίμηση του λόγου καροτενοειδών προς χλωροφύλλη α για μια σειρά από φύλλα διαφόρων ειδών και σε διαφορετικές καταστάσεις. Το μήκος κύματος στα 800 nm (εγγύς-υπέρυθρο), εντάχθηκε στο δείκτη για να ελαχιστοποιήσει τις ανεπιθύμητες επιπτώσεις που εισάγει η δομή των φύλλων. Τα 680 και 445 nm αντιστοιχίστηκαν στην in vivo μέγιστη απορρόφηση της Χλωροφύλλης α και των Καροτενοειδών αντίστοιχα, παρόλο που αυτά τα μήκη κύματος επιλέχθηκαν εμπειρικά. Καθώς αποτελεί βελτίωση επί του SRPI, και ο SIPI δείχνει τη συγκέντρωση της χλωροφύλλης προς τη συγκέντρωση των καροτενοειδών, και όχι το αντίστροφο. Συνεπώς, όσο αυξάνεται η συγκέντρωση των καροτενοειδών σε σχέση με της χλωροφύλλης τόσο μικρότερες τιμές παίρνει ο εν λόγω δείκτης

$$SIPI = (R_{800} - R_{445}) / (R_{800} + R_{650})$$

$$WVII : (R_{NIR1} - R_{COASTAL}) / (R_{NIR1} + R_{RED})$$

$$= (Band7 - Band1) / (Band7 + Band5)$$



Σχήμα 3.17. Δείκτες λόγου συγκεντρώσεων καροτενοειδών προς χλωροφύλλη

Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζονται δύο δείκτες λόγου συγκεντρώσεων καροτενοειδών/χλωροφύλλη. Ο NPCI, ήταν ο πιο σταθερός από τους τρεις δείκτες,

εμφανίζοντας παρόμοια συμπεριφορά και στις δύο περιοχές μελέτης. Ο SIPI είχε το καλύτερο οπτικό αποτέλεσμα στην περιοχή του Μεγαπλατάνου και το χειρότερο στην περιοχή της Τράπεζας, ενώ στον SRPI παρατηρήθηκε ακριβώς το αντίστροφο. Οι διαφορετική αυτή συμπεριφορά, οφείλεται στους δύο διαφορετικούς τρόπους υπολογισμού των δεικτών (υπολογισμός στο σύνολο της εικόνας για την Τράπεζα, υπολογισμός μόνο σε αμπέλια για τον Μεγαπλάτανο).

Δείκτες Χλωροφύλλης

Gitelson-Chl1, Gitelson-Chl2

Οι Gitelson et al. (2006), δημιούργησαν ένα μαθηματικό μοντέλο για την αναγνώριση χρωστικών.

$$\left[R(\lambda_1)^{-1} - R(\lambda_2)^{-1} \right] \times R(\lambda_3) \propto a_p$$

Όσον αφορά στην εκτίμηση της περιεκτικότητας των φύλλων σε χλωροφύλλη, τα λ_1 , λ_2 , λ_3 προσδιορίστηκαν βήμα προς βήμα, με μια τεχνική βασισμένη στη γραμμική παλινδρόμηση του μοντέλου σε σχέση με την περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη. Μέσω χρήσης των μήκων κύματος με μέγιστες τιμές απορρόφησης και ανάκλασης για τη χλωροφύλλη προσδιορίστηκαν οι δύο παρακάτω δείκτες. Σημειώνεται ότι για την αναγνώριση της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη των φύλλων που περιέχουν ανθοκυάνες συνιστάται να χρησιμοποιείται μόνο ο δείκτης Chl-2, διότι στο πράσινο μήκος κύματος παρατηρείται μεγάλη απορρόφηση λόγω ανθοκυανών.

$$\text{Gitelson Chl-1} = \left[1 / (R_{540-560}) - 1 / (R_{760-800}) \right] * (R_{760-800})$$

$$\text{WVII: } (R_{\text{NIR}} / R_{\text{GREEN}}) - 1 = (\text{Band7} / \text{Band3}) - 1$$

$$\text{Gitelson-Chl2} = \left[1 / (R_{690-720}) - 1 / (R_{760-800}) \right] * (R_{760-800})$$

$$\text{WVII: } (R_{\text{NIR}} / R_{\text{Red-Edge}}) - 1 = (\text{Band7} / \text{Band6}) - 1$$

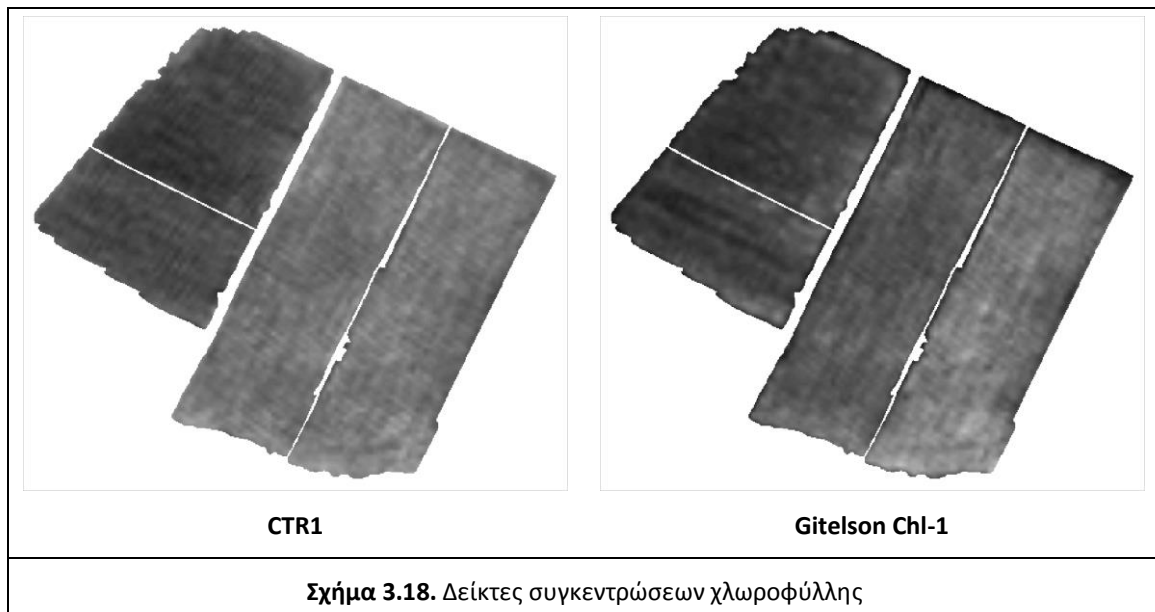
Carter Index 1

Ο δείκτης αυτός αναπτύχθηκε από τον Carter (1994) με σκοπό να αναδεικνύει το στρες των φύλλων.

Ο Carter παρατήρησε ότι τρεις λόγοι που βασίζονται στη μέγιστη και ελάχιστη ευαισθησία αποκρίθηκαν σημαντικά σε όλους τους παράγοντες στρες (R_{695}/R_{420} , R_{605}/R_{760} , και R_{695}/R_{760}). Οι λόγοι R_{695}/R_{420} και R_{695}/R_{760} διέφεραν πιο πολύ στα στρεσαρισμένα παρά στα μη στρεσαρισμένα φύλλα. Στα 605 nm, και ιδιαίτερα στα 695 nm και 710 nm, η απορρόφηση από τη χλωροφύλλη a και b είναι σχετικά μικρή (Hoff και Amesz 1991, Chappelle et al. 1992). Έτσι, καθώς η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη στα φύλλα αρχίζει να μειώνεται με την εμφάνιση του στρες, αυξάνεται η ανακλαστικότητα των φύλλων σε αυτά τα μήκη κύματος ή κοντά σε αυτά.

$$\text{CTR}_1 = R_{695} / R_{420}$$

$$\text{WVII: } \text{CTR}_1 = R_{\text{Red-Edge}} / R_{\text{COASTAL}} = \text{Band6} / \text{Band1}$$



Στο παραπάνω σχήμα, εμφανίζονται δύο δείκτες συγκεντρώσεων χλωροφύλλης, οι CTR1 και Gitelson-Chl1. Οι δείκτες Gitelson-Chl2 και CTR1 εμφάνιζαν μεγάλες ομοιότητες στη συγκεκριμένη περιοχή, αλλά και στην ευρύτερη περιοχή μελέτης του Μεγαπλάτανου. Δεν ίσχυε το ίδιο για την περιοχή της Τράπεζας, όπου ο δείκτης CTR1, είχε σημαντικά προβλήματα, όσον αφορά το εύρος τιμών φωτεινότητας. Γενικότερα και οι τρεις δείκτες που υπολογίστηκαν, φαίνεται να ανιχνεύουν τα ίδια επίπεδα συγκεντρώσεων χλωροφύλλης. Ο πλέον αξιόπιστος ήταν ο Gitelson Chl2 καθώς λειτούργησε χωρίς προβλήματα και στις δύο περιοχές, παρουσιάζοντας μεγάλο εύρος διαφορετικών τιμών φωτεινότητας.

Δείκτες Καροτενοειδών

Blackburn-Car1, Blackburn-Car2

Ο Blackburn (1998) ανέπτυξε δύο δείκτες για την ανάδειξη των καροτενοειδών. Αρχικά, ανέπτυξε τον Blackburn Car-1 έναν απλό λόγο, του υπέρυθρου καναλιού προς το μπλε κανάλι. Το υπέρυθρο (800nm), προσφέρει ελαχιστοποίηση των αποτελεσμάτων που έχουν οι αλληλεπιδράσεις της ακτινοβολίας ανάμεσα στην επιφάνεια του φύλλου και τις εσωτερικές δομές του μεσόφυλλου. Το μπλε (470nm) επιλέχθηκε, διότι εκεί εμφανίζεται το μέγιστο απορρόφησης για τα καροτενοειδή. Επίσης ανέπτυξε τον Blackburn-Car2 βασισμένος στη λογική της κανονικοποιημένης διαφοράς.

$$\text{Blackburn-Car1} = (R_{800} / R_{470})$$

$$\text{WVl: } (R_{\text{NIR}} / R_{\text{BLUE}}) = \text{Band7} / \text{Band2}$$

$$\text{Blackburn-Car2} = (R_{800} - R_{470}) / (R_{800} + R_{470})$$

$$\text{WVl: } (R_{\text{NIR}} - R_{\text{BLUE}}) / (R_{\text{NIR}} + R_{\text{BLUE}}) = (\text{Band7} - \text{Band2}) / (\text{Band 7} + \text{Band 2})$$

Gitelson-Car1, Gitelson-Car2

Οι Gitelson et al. (2006), δημιούργησαν ένα μαθηματικό μοντέλο για την αναγνώριση χρωστικών.

$$\left[R(\lambda_1)^{-1} - R(\lambda_2)^{-1} \right] \times R(\lambda_3) \propto a_p$$

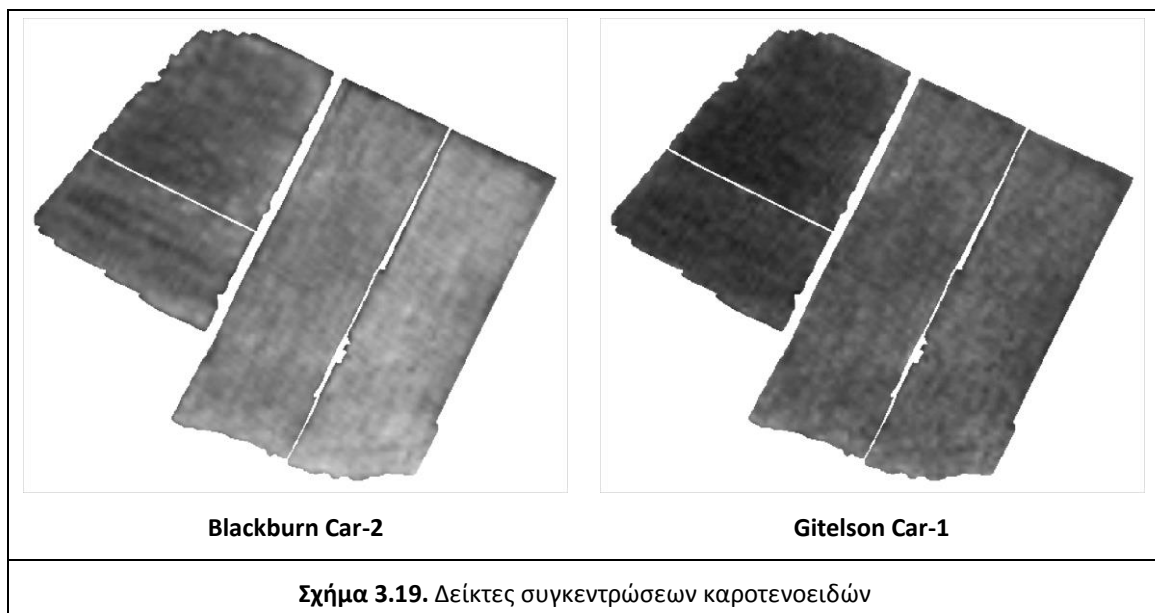
Όσον αφορά στην εκτίμηση της περιεκτικότητας των φύλλων σε καροτενοειδή, τα λ_1 , λ_2 , λ_3 προσδιορίστηκαν βήμα προς βήμα, με μια τεχνική βασισμένη στη γραμμική παλινδρόμηση του μοντέλου σε σχέση με την περιεκτικότητα των φύλλων σε καροτενοειδή. Μέσω χρήσης των μήκων κύματος με μέγιστες τιμές απορρόφησης και ανάκλασης για τα καροτενοειδή προσδιορίστηκαν οι δύο παρακάτω δείκτες:

$$\text{Gitelson-Car1} = \left[1 / (R_{510-520}) - 1 / (R_{540-560}) \right] * (R_{760-800})$$

$$\text{WVII: } \left[1 / (R_{\text{BLUE}}) - 1 / (R_{\text{GREEN}}) \right] * (R_{\text{NIR}}) = \left[1 / (\text{Band2}) - 1 / (\text{Band3}) \right] * (\text{Band7})$$

$$\text{Gitelson-Car2} = \left[1 / (R_{510-520}) - 1 / (R_{690-710}) \right] * (R_{760-800})$$

$$\text{WVII: } \left[1 / (R_{\text{BLUE}}) - 1 / (R_{\text{Red-Edge}}) \right] * (R_{\text{NIR}}) = \left[1 / (\text{Band2}) - 1 / (\text{Band6}) \right] * (\text{Band7})$$



Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζονται οι δείκτες Blackburn Car-2 και Gitelson Car-1. Στην περιοχή του Μεγαπλάτανου, όλοι οι δείκτες της κατηγορίας, πλην του Blackburn Car-2 εμφάνιζαν χαμηλό μέσο όρο τιμών φωτεινότητας. Το πρόβλημα αυτό ήταν έντονο σε σημείο να είναι ακατάλληλοι για την ανάδειξη των διαφορετικών επιπέδων συγκέντρωσης καροτενοειδών. Στον αντίποδα, για την περιοχή της Τράπεζας, ο δείκτης Blackburn Car-2 εμφάνιζε πολύ μικρό εύρος τιμών φωτεινότητας σε σχέση με τους υπόλοιπους. Η αντίστροφη κατάσταση που παρουσιάστηκε στις δύο περιοχές, οφείλεται στο διαφορετικό τρόπο υπολογισμού των δεικτών.

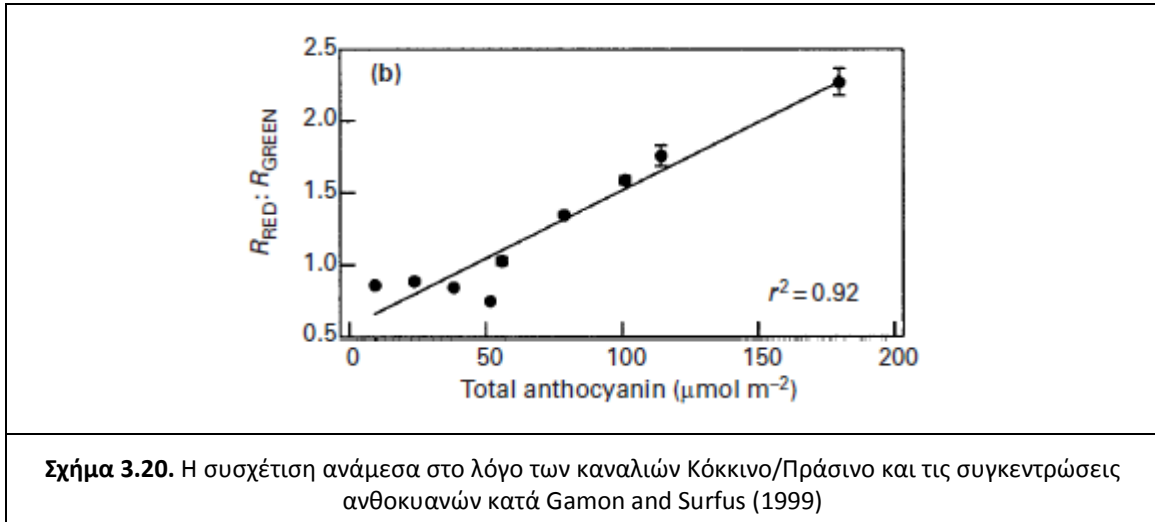
Δείκτες Ανθοκυανών

Gamon-Anth

Οι Gamon and Surfus (1999), πρότειναν τη χρήση του απλού λόγου κόκκινο προς πράσινο για την εκτίμηση της περιεκτικότητας σε ανθοκυάνες. Στο Σχήμα 3.20 παρατηρείται η ισχυρή σχέση του λόγου αυτού με την περιεκτικότητα σε ανθοκυάνες που εκτιμήθηκε από δειγματοληψία καταστροφής (επεμβατική δειγματοληψία) και φασματοφωτομετρική ποσοτικοποίηση.

$$\text{Gamon-Anth} = (R_{600-700}) / (R_{500-600})$$

WVII: $(R_{RED}) / (R_{GREEN})$



Gitelson-Anth

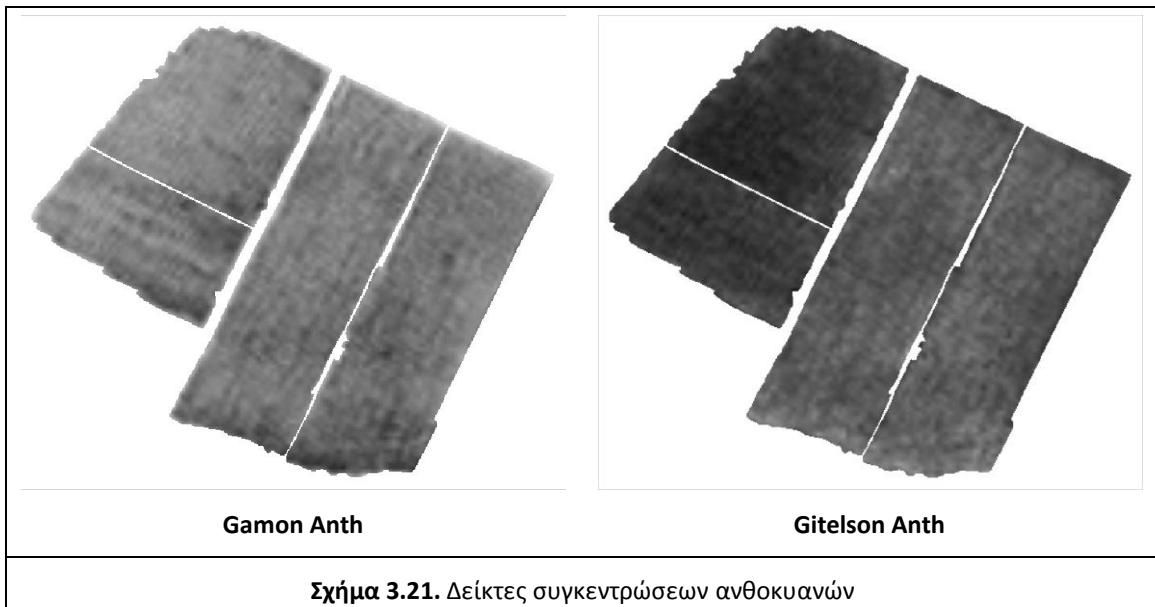
Οι Gitelson et al. (2006), δημιούργησαν ένα μαθηματικό μοντέλο για την αναγνώριση χρωστικών.

$$\left[R(\lambda_1)^{-1} - R(\lambda_2)^{-1} \right] \times R(\lambda_3) \propto a_p$$

Όσον αφορά στην εκτίμηση της περιεκτικότητας σε ανθοκυάνες, τα λ_1 , λ_2 , λ_3 προσδιορίστηκαν βήμα προς βήμα, με μια τεχνική βασισμένη στη γραμμική παλινδρόμηση του μοντέλου σε σχέση με την περιεκτικότητα σε ανθοκυάνες. Μέσω χρήσης των μήκων κύματος με μέγιστες τιμές απορρόφησης και ανάκλασης για τις ανθοκυάνες προσδιορίστηκε ο παρακάτω δείκτης:

$$\text{Gitelson-Anth} = \left[1 / (R_{540-560}) - 1 / (R_{690-710}) \right] * (R_{760-800})$$

$$\text{WVII: } \left[1 / (R_{GREEN}) - 1 / (R_{Red-Edge}) \right] * (R_{NIR}) = \left[1 / (Band3) - 1 / (Band6) \right] * (Band8)$$



Στο παραπάνω σχήμα, παρατηρείται ότι οι δύο δείκτες εντοπίζουν τα ίδια επίπεδα ανθοκυανών, αλλά είναι αντιστρόφως ανάλογοι. Επίσης, έχουν και οι δύο καλό εύρος τιμών φωτεινότητας.

3.4.2 Δείκτης Εμβαδού Φυλλώματος (LAI)

Ο Δείκτης Εμβαδού Φυλλώματος (Leaf Area Index, LAI) ορίζεται, για τα πλατύφυλλα είδη, ως η πράσινη φυλλική επιφάνεια μιας μεριάς του φύλλου, ανά μονάδα επιφάνειας του εδάφους (Watson, 1947). Είναι δηλαδή:

$$LAI = \text{φυλλική επιφάνεια} / \text{επιφάνεια εδάφους} \text{ (m}^2 \text{ / m}^2 \text{)}$$

Αποτελεί μια μεταβλητή που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της φυτοκάλυψης, και για την πρόγνωση της ανάπτυξης και της παραγωγής καλλιεργειών. Συγκεκριμένα, για τους αμπελώνες, το εμβαδόν του φυλλώματος, είναι ένας από τους βασικούς παράγοντες που καθορίζουν τα χαρακτηριστικά του σταφυλιού και την ποιότητα του οίνου. Στην παρούσα εργασία υπολογίστηκαν έξι διαφορετικές εξισώσεις εκτίμησης του LAI από τηλεπισκοπικούς δείκτες, όπως προτάθηκαν από τους Johnson et al. (2003), Colombo et al. (2003) και Haboudane et al. (2004).

Οι Johnson et al. και Colombo et al. πρότειναν την εκτίμηση του LAI με χρήση του NDVI, μέσω των γραμμικών σχέσεων (1) και (2) αντίστοιχα.

$$LAI = 5,7 * NDVI - 0,25 \quad (1)$$

$$LAI = 12,5 * NDVI - 1,375 \quad (2)$$

Υπολογίζοντας τον LAI σύμφωνα με αυτές προκύπτουν χάρτες που διαφέρουν μόνο στο εύρος των τιμών και όχι στα διαφορετικά επίπεδα της μεταβλητής. Λόγω της σχέσης των εξισώσεων, οι τιμές του LAI που προέκυψαν από τη σχέση (2) ήταν διπλάσιες από αυτές που προέκυψαν από τη σχέση (1). Τα εύρη των τιμών ήταν 0-10 και 0-5 αντίστοιχα. Τιμές του LAI μεγαλύτερες από 8 δεν απαντώνται συχνά σε αμπελώνες, συνεπώς η σχέση (2) φάνηκε να υπερεκτιμά τον LAI στις περιοχές μελέτης της παρούσας εργασίας.

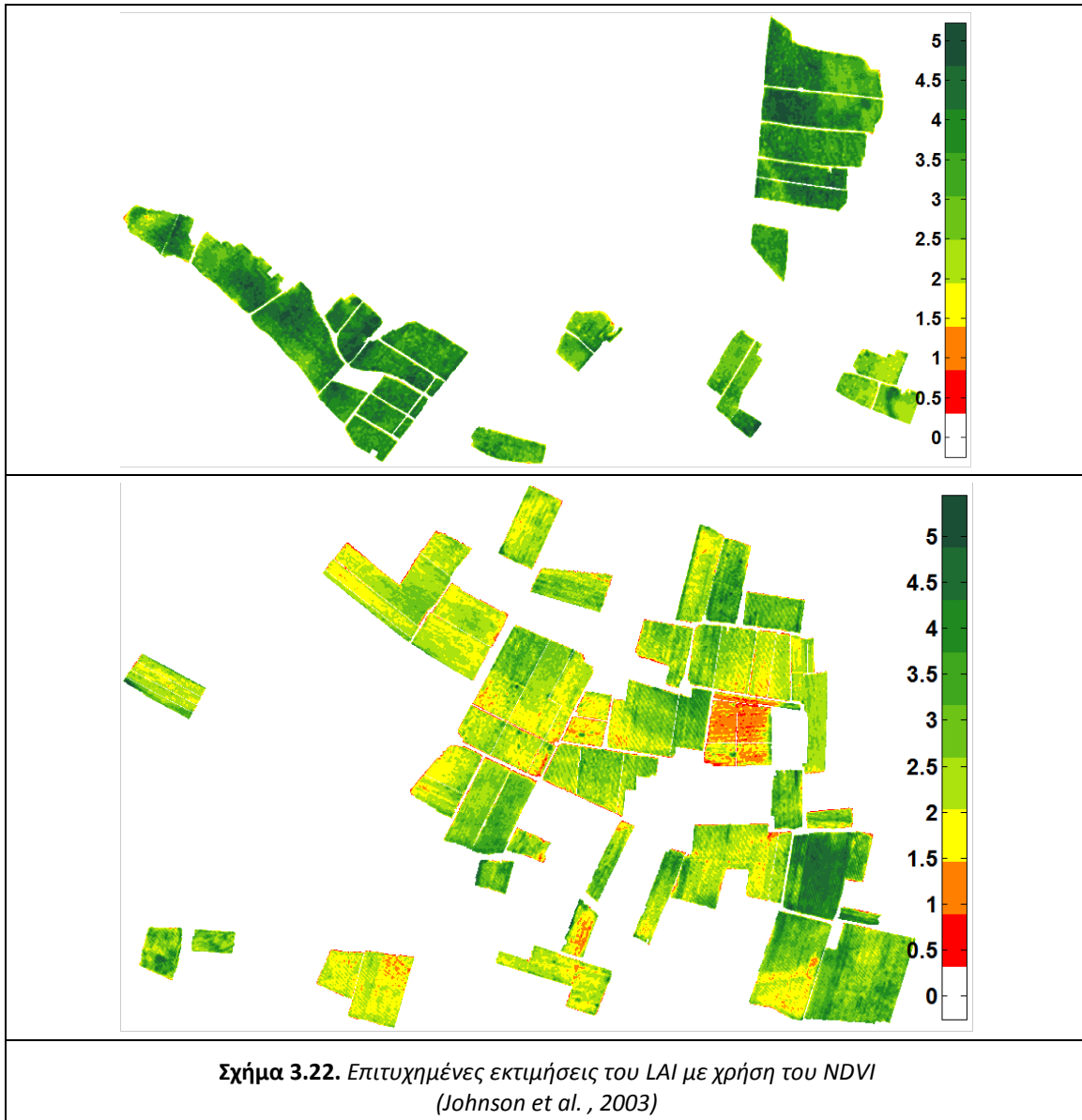
Οι Haboudane et al. ερεύνησαν την εκτίμηση του LAI με χρήση τεσσάρων διαφορετικών δεικτών βλάστησης, των RDVI, MSAVI, TVI και MTVI2. Από αυτούς πρότειναν τον MTVI2 ως προτιμότερο για την εκτίμηση του LAI. Στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιήθηκαν όλες αυτές οι εξισώσεις για την εκτίμηση του LAI.

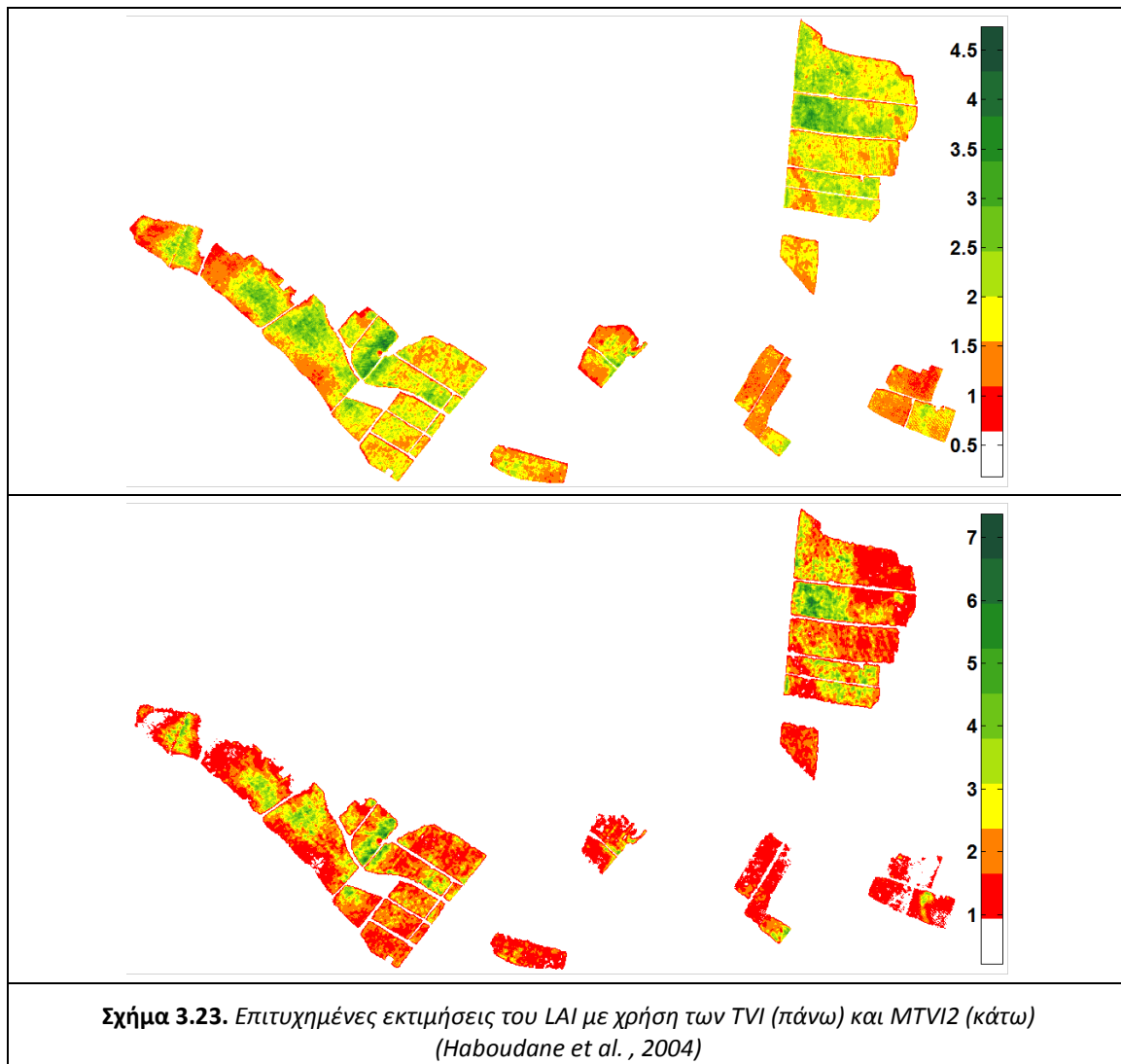
$$LAI = 0,0918 * e^{RDVI*6,0002} \quad LAI = 0,1817 * e^{TVI*4,1469}$$

$$LAI = 0,1663 * e^{MSAVI*4,2731} \quad LAI = 0,2227 * e^{MTVI2*3,6566}$$

Για την περιοχή του Μεγαπλάτανου οι τέσσερις παραπάνω εξισώσεις απέτυχαν στην εκτίμηση του LAI. Τα αποτελέσματα έδωσαν μέγιστη τιμή του LAI 30,11,11 και 8 αντίστοιχα. Επίσης, σε όλες τις περιπτώσεις, η συντριπτική πλειοψηφία των αμπελώνων εκτιμήθηκε κοντά στις χαμηλότερες τιμές του LAI, και όλο το υπόλοιπο εύρος των τιμών εμφανιζόταν μόνο σε ένα αμπελοτεμάχιο. Για την περιοχή της Τράπεζας, η εκτίμηση του LAI με χρήση του TVI λειτούργησε χωρίς προβλήματα. Οι εκτιμήσεις μέσω των MSAVI και MTVI2, έδωσαν μέγιστες τιμές 9 και 7 αντίστοιχα. Ο RDVI εμφάνισε το ίδιο πρόβλημα και σε αυτήν την περιοχή, εκτιμώντας πολύ μεγάλη μέγιστη τιμή για τον LAI.

Στο Σχήμα 3.22. παρουσιάζονται ενδεικτικά, οι επιτυχημένες εκτιμήσεις του LAI με χρήση της σχέσης (1) για τις δύο περιοχές. Επίσης, στο σχήμα 3.23. παρουσιάζονται οι επιτυχημένες εκτιμήσεις του LAI μέσω του MTVI2 και TVI στην περιοχή της Τράπεζας.





3.4.3 Δείκτες IMAD και CIRG

Ο δείκτης IMAD ορίζεται ως το πηλίκο των βαθμών BRIX (°Bx) προς την Ολική Οξύτητα (Total Acidity) εκπεφρασμένη σε gr/l. Είναι ένας δείκτης τεχνολογικής ωρίμανσης των σταφυλιών, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διαχείριση του τρύγου.

$$IMAD = \frac{BRIX}{Total\ Acidity}$$

Σύμφωνα με τους Carreno and Martinez (1995), ο δείκτης CIRG (Chromatic Index for Red Grapes, Χρωματικός Δείκτης για τα Κόκκινα Σταφύλια), ορίζεται με την παρακάτω σχέση. Η τιμή του αφορά στο βαθμό χρωματισμού των φλοιών, με μεγαλύτερες τιμές να σημαίνουν πιο σκούρο χρώμα.

$$CIRG = \frac{180 + H^*}{L^* + C^*}$$

H*, η γωνία απόχρωσης

L*, η φωτεινότητα

C*, το χρώμα στο σύστημα Munsell (αντιστοιχεί στον κορεσμό)

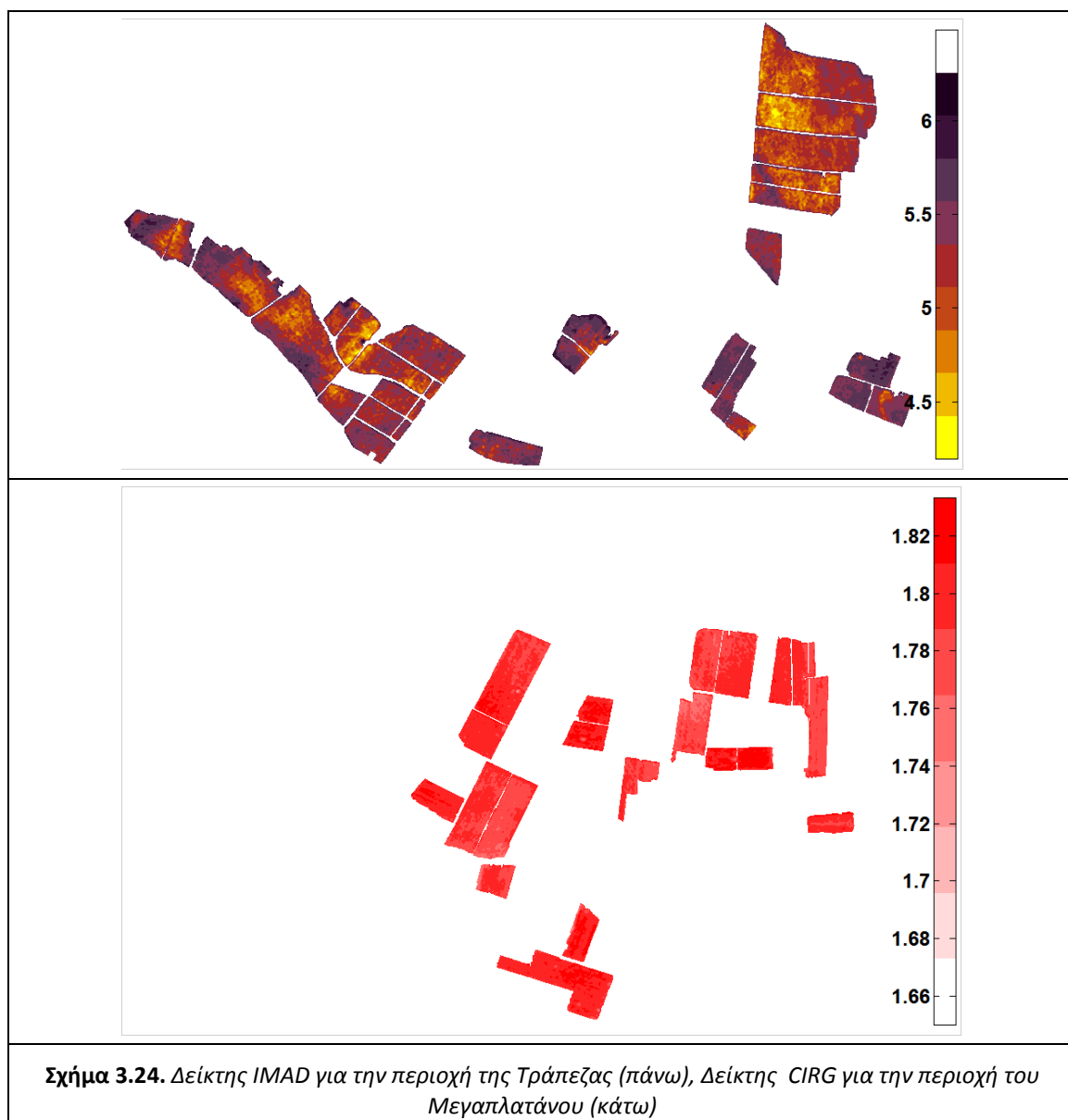
Οι Meggio et al. (2010) πρότειναν την αρνητική γραμμική συσχέτιση των IMAD και CIRG με τον τηλεπισκοπικό δείκτη Gitelson-Car2, ο οποίος αναπτύχθηκε αρχικά για τον εντοπισμό συγκεντρώσεων σε καρτονεοειδή. Αυτό προέκυψε από τη μελέτη, σε διάρκεια δύο ετών, αμπελώνων της ποικιλίας Tempranillo στη Νότια Ισπανία. Συγκεκριμένα, βρήκαν ότι ο Gitelson Car-2 συσχετίστηκε με τον IMAD με $R^2=-0.71$ (2004) και $R^2=-0.42$ (2005), και με τον CIRG με $R^2=-0.68$ (2004) και $R^2=-0.93$ (2005). Πρότειναν λοιπόν δύο διαφορετικές εξισώσεις, μια για κάθε χρονιά, που εκφράζουν τη σχέση ανάμεσα στον Gitelson Car-2 και τον κάθε δείκτη ποιότητας.

Στην παρούσα εργασία, υπολογίστηκε ο μέσος όρος των συντελεστών των εν λόγω γραμμικών εξισώσεων. Συνεπώς, οι CIRG και IMAD, εκτιμήθηκαν μέσω των εξισώσεων που ακολουθούν.

$$IMAD = -2.8142 * GitelsonCar2 + 7.0104$$

$$CIRG = -0.1525 * GitelsonCar2 + 1.8406$$

Στο Σχήμα 3.24. παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δεικτών IMAD (πάνω) και CIRG (κάτω).



Σχήμα 3.24. Δείκτης IMAD για την περιοχή της Τράπεζας (πάνω), Δείκτης CIRG για την περιοχή του Μεγαπλατάνου (κάτω)

3.4.4 Συσχέτιση Δεικτών με Αποτελέσματα Δειγματοληψιών και Αναλύσεων

Κατά τη διάρκεια της παρούσας εργασίας, έγιναν διαθέσιμα δειγματοληπτικά στοιχεία και αποτελέσματα αναλύσεων για ορισμένα αμπελοτεμάχια στην περιοχή μελέτης της Τράπεζας. Συγκεκριμένα, στο Σχήμα 3.25. παρουσιάζονται στοιχεία για τη δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε στις 13/8 στα αμπέλια της ποικιλίας Sauvignon Blanc. Στην περιοχή εμφανίζονται δύο διαφορετικοί κλώνοι, για τους οποίους ελήφθησαν διαφορετικά δείγματα. Δεν υπήρχε συγκεκριμένη πληροφόρηση όσον αφορά στους κλώνους, συνεπώς στην παρούσα εργασία καλούνται Sauvignon Blanc I και II.

	ΔΑΤ (gr/l)	Ο.Ο. (gr/l)	pH
Sauvignon Blanc I	12	12,75	3,09
Sauvignon Blanc II	9,4	13,05	3,04

Σχήμα 3.25. Δειγματοληψία σακχάρων, οξέων για το Sauvignon Blanc στην περιοχή της Τράπεζας (13/8)

Ο Δυναμικός Αλκοολικός Τίτλος (ΔΑΤ) αντιστοιχεί στην πρόβλεψη για τον αλκοολικό βαθμό του παραγόμενου κρασιού, αν ο τρύγος πραγματοποιούνταν την ώρα της δειγματοληψίας. Προκύπτει από τη διαίρεση της συγκέντρωσης σακχάρων ανά λίτρο με 17 και μετريέται σε gr/l.

Η Ολική Οξύτητα ενός διαλύματος είναι η συγκέντρωση των οξέων που περιέχονται σε αυτό ανά λίτρο. Μετريέται σε gr/l και σχετίζεται με την οξύτητα που πρόκειται να έχει το παραγόμενο κρασί.

Με τα παραπάνω στοιχεία κατέστη υπολογίσιμος ένας λόγος σακχάρων προς οξύτητα, όπως είναι και ο δείκτης IMAD που υπολογίστηκε στην προηγούμενη ενότητα. Υπολογίστηκε λοιπόν, ο λόγος ΔΑΤ/Ο.Ο. για τους δύο κλώνους του Sauvignon Blanc, καθώς και ο μέσος όρος των τιμών του IMAD για τα αντίστοιχα αμπελοτεμάχια στη δορυφορική εικόνα.

	ΔΑΤ / Ο.Ο.	M.O. IMAD
Sauvignon Blanc I	0,941176	5,2566
Sauvignon Blanc II	0,720307	5,1591

Σχήμα 3.26. Τιμές ΔΑΤ/ΟΟ και IMAD για τα αμπελοτεμάχια Sauvignon Blanc

Συνεχίζοντας, έγινε προσπάθεια σύνδεσης των διακριτών τιμών ΔΑΤ/ΟΟ με τον παραχθέντα χάρτη IMAD, ώστε να προκύψει χάρτης που θα δείχνει τα επίπεδα τεχνολογικής ωρίμανσης στην κλίμακα του ΔΑΤ/ΟΟ.

Αρχικά, έγινε εκτίμηση των συντελεστών του πρωτοβάθμιου πολυωνύμου Lagrange που συνδέει τις δύο στήλες του σχήματος 3.26.. Σημειώνεται ότι στα δύο αυτά διανύσματα προστέθηκε και η τιμή μηδέν, ώστε οι μηδενικές τιμές του IMAD να αντιστοιχιστούν σε μηδενικές τιμές ΔΑΤ/ΟΟ. Πρακτικά, η δέσμευση αυτή εξασφάλισε ότι δεν θα υπάρχουν αρνητικές τιμές στο νέο χάρτη. Προέκυψε λοιπόν η παρακάτω εξίσωση:

$$\Delta\text{AT}/\text{O}\text{O} = 0.1601 * \text{IMAD} - 0.019 \quad (R^2 = 0.95)$$

Με χρήση αυτής της εξίσωσης, υπολογίστηκε ο νέος χάρτης επιπέδων τεχνολογικής ωρίμανσης για όλη την περιοχή, που αντιστοιχεί στις τιμές του ΔΑΤ/ΟΟ. Διατηρούνται επιφυλάξεις για την αξιοπιστία του στο σύνολο της περιοχής, καθώς δεν ήταν διαθέσιμες τιμές για τον ΔΑΤ και την ΟΟ σε όλα τα αμπελοτεμάχια. Επίσης, για τις διαθέσιμες τιμές δεν υπήρχαν ακριβείς γεωγραφικές συντεταγμένες των σημείων δειγματοληψίας,

συνεπώς η ανάλυση πραγματοποιήθηκε σε επίπεδο αμπελοτεμαχίου και όχι σε επίπεδο ενός ή μερικών φαρνίων.

Στο σχήμα 3.27. παρουσιάζονται στοιχεία για το δείκτη χρώματος (IC) και το δείκτη φαινολικών ουσιών (ΔΦΟ) που είχαν στο τέλος της εκχύλισης τα τρία διαφορετικά προϊόντα οίνου που προέκυψαν από το Syrah στην περιοχή της Τράπεζας. Επίσης, παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των δεικτών Gitelson Car-2 και Gitelson Chl-1, για τα αντίστοιχα αμπελοτεμάχια του Syrah.

Αν και οι Meggio et al. (2010) πρότειναν συνάρτηση υπολογισμού του δείκτη χρώματος CIRG, δεν χρησιμοποιήθηκε ο εν λόγω δείκτης, καθώς οι τιμές του ήταν αντίστροφες από τις τιμές του IC στη δεξαμενή. Αντ' αυτού, χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης Gitelson Car-2, από τον οποίον και υπολογίζεται ο CIRG. Επίσης, σημειώνεται ότι οι Meggio et al. (2010) πρότειναν την κατά 62% συσχέτιση του δείκτη Gitelson Chl-1 με τον Total Polyphenol Index (TPI), συνεπώς ο εν λόγω δείκτης ήταν ο καλύτερος διαθέσιμος για την εκτίμηση των επιπέδων φαινολικών ουσιών.

Syrah	IC	M.O. Gitelson Car-2	ΔΦΟ	M.O. Gitelson Chl-1
Ροζέ	2,3	0,524854	13,4	0,479699
Ασκός	38	0,668563	53	0,615069
Βαρέλι	41,6	0,736272	73	0,682124

Σχήμα 3.27. Τιμές IC, ΔΦΟ για τα προϊόντα που προέκυψαν από τα αμπελοτεμάχια Syrah και τιμές CIRG, Gitelson Chl-1 για αυτά τα αμπελοτεμάχια

Ο ΔΦΟ αποτελεί μια ένδειξη για την ποσότητα των τανινοειδών που εξαλείφονται, κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εκχύλισης. Είναι ο δείκτης απορρόφησης στα 280 nm, όπου παρατηρούνται χαμηλά επίπεδα πρωτεϊνών. Ο δείκτης χρώματος IC υπολογίζεται ως το άθροισμα των απορροφήσεων του μούστου στα 420 nm, 520nm και 620nm πολλαπλασιασμένο επί δέκα. Υπολογίζεται καθ' όλη τη διαδικασία εκχύλισης ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Οι ανωτέρω τιμές αφορούν στη λήξη της διαδικασίας εκχύλισης.

Με χρήση των παραπάνω στοιχείων, έγινε εκτίμηση των συντελεστών για τα πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια πολυώνυμα Lagrange που συνδέουν τις τιμές του IC με αυτές του CIRG και του ΔΦΟ με αυτές του Gitelson Chl-1. Όπως και στην περίπτωση του IMAD, δεσμεύτηκε η λύση, ώστε να αποφευχθεί η εμφάνιση αρνητικών τιμών στους νέους χάρτες. Οι συντελεστές για τα πρωτοβάθμια πολυώνυμα υπολογίστηκαν με $R^2=0.62$ και $R^2=0.73$ αντίστοιχα. Για τα δευτεροβάθμια πολυώνυμα, η εκτίμηση των συντελεστών έγινε με $R^2=0.94$ και $R^2=0.99$. Προέκυψαν λοιπόν οι παρακάτω εξισώσεις:

Για τον υπολογισμό των νέων χαρτών, με πραγματικές τιμές για το δείκτη χρώματος IC και τον ΔΦΟ, έγινε χρήση των δευτεροβάθμιων εξισώσεων, διότι είχαν καλύτερη προσαρμογή στα διαθέσιμα δεδομένα. Οι επιφυλάξεις που διατυπώθηκαν παραπάνω για την περίπτωση του χάρτη ΔΑΤ/ΟΟ, ισχύουν και για τους χάρτες των IC και ΔΦΟ. Επίσης, οι χάρτες IC και ΔΦΟ αναφέρονται σε ποιότητα του τελικού προϊόντος, με τις τιμές αυτές να αφορούν στη λήξη της διαδικασίας εκχύλισης, που διαρκεί διαφορετικό χρόνο για κάθε προϊόν. Δηλαδή, δεν αποτυπώνουν την κατάσταση του αμπελώνα σε μια δεδομένη χρονική στιγμή, αλλά περισσότερο το δυναμικό του για συγκεκριμένα προϊόντα οίνου.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Στο παρακάτω κεφάλαιο περιγράφονται τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε όσον αφορά στη συσχέτιση φασματικών υπογραφών για διάφορες ποικιλίες αμπέλου, και στην εκτίμηση των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών σε αμπελώνες. Επίσης, γίνεται αξιολόγηση των εν λόγω αποτελεσμάτων.

4.1 Συσχέτιση Φασματικών Υπογραφών για διάφορες Ποικιλίες Αμπέλου

Τα αποτελέσματα που ακολουθούν, αφορούν σε δύο περιοχές μελέτης και τρία ζεύγη δορυφορικών δεδομένων – δεδομένων εδάφους. Παρουσιάζονται λοιπόν για κάθε περιοχή τα εξής:

- Συσχέτιση πρωτογενών δορυφορικών δεδομένων με δεδομένα εδάφους για την ακτινοβολία των αντικειμένων (Radiance - Radiance)
- Συσχέτιση ατμοσφαιρικά διορθωμένων δορυφορικών δεδομένων με δεδομένα εδάφους για την ανακλαστικότητα (Reflectance - Reflectance)
- Συσχέτιση δορυφορικών δεδομένων στα οποία είχε γίνει συγχώνευση με δεδομένα εδάφους για την ακτινοβολία των αντικειμένων. (Radiance - Radiance)

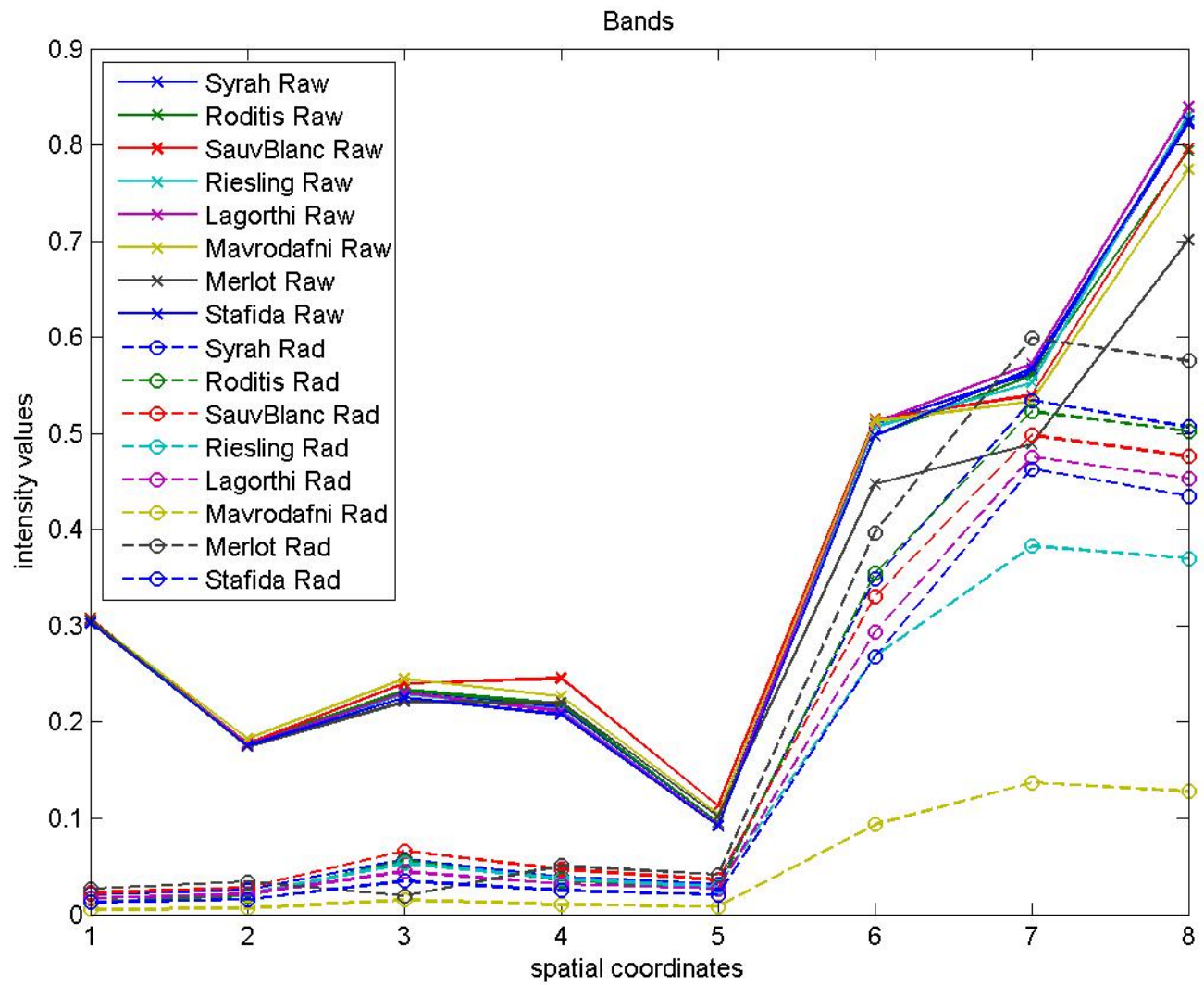
4.1.1 Συσχέτιση δεδομένων εδάφους με δορυφορικά δεδομένα στην περιοχή της Τράπεζας

Στην περιοχή της Τράπεζας μελετήθηκαν οι φασματικές υπογραφές για τις εξής οκτώ ποικιλίες: Syrah, Sauvignon Blanc, Riesling, Merlot, Ροδίτης, Λαγόρθι, Μαυροδάφνη και Σταφίδα. Οι σημαντικότερες οινοποιητικά ποικιλίες των συγκεκριμένων αμπελώνων που μελετήθηκαν είναι οι τρεις πρώτες, και σε αυτές έχει δοθεί μεγαλύτερη βάση στο σχολιασμό των αποτελεσμάτων.

Πρωτογενή δεδομένα

Στο Σχήμα 4.1 απεικονίζονται οι φασματικές υπογραφές για τις οκτώ διαφορετικές ποικιλίες αμπέλου που μελετήθηκαν στην περιοχή της Τράπεζας. Με συνεχείς γραμμές, απεικονίζονται οι φασματικές υπογραφές όπως εξήχθησαν από τα δορυφορικά δεδομένα (raw), στα οποία είχε γίνει μια βασική ραδιομετρική διόρθωση. Με διακεκομμένες γραμμές, απεικονίζονται οι φασματικές υπογραφές όπως εξήχθησαν από τις μετρήσεις του φασματογράφου χειρός για την ακτινοβολία των αντικειμένων (radiance, rad).

Παρατηρείται ότι για τα δορυφορικά δεδομένα (raw), οι φασματικές υπογραφές των διαφορετικών ποικιλιών παρουσιάζουν σχεδόν απόλυτη συσχέτιση στα κανάλια 1 και 2, αρκετά μεγάλη συσχέτιση στα κανάλια 3, 5 και 6, ενώ διαχωρίζονται καλύτερα στα κανάλια 4, 7 και 8. Για τα δεδομένα εδάφους (rad), οι φασματικές υπογραφές κινούνται στα ίδια πλαίσια για τα κανάλια 1,2,4 και 5, διαφοροποιούνται ελαφρώς στο κανάλι 3, και διαχωρίζονται αρκετά ικανοποιητικά στα κανάλια 6,7 και 8.



Σχήμα 4.1. Φασματικές υπογραφές ποικιλιών αμπέλου από δορυφορικά δεδομένα (raw), και από δεδομένα εδάφους (rad), για την περιοχή της Τράπεζας.

Συμπεραίνεται λοιπόν πως από τα κανάλια 7 και 8 μπορούν να εξαχθούν χρήσιμες πληροφορίες όσον αφορά στο διαχωρισμό και τη συσχέτιση ποικιλιών αμπέλου.

Συγκρίνοντας τη δομή των φασματικών υπογραφών ανάμεσα στις δύο ομάδες δεδομένων του σχήματος 4.1, παρατηρούμε τα εξής:

Όσον αφορά στα κανάλια 2,3,4,5,6 και 7, οι δύο ομάδες φαίνεται να έχουν ικανοποιητική συσχέτιση, καθώς έχουν παρόμοια δομή. Όμως, στο κανάλι 1, οι τιμές των raw δεδομένων βρίσκονται σε αρκετά υψηλότερα επίπεδα από τις τιμές του καναλιού 2, ενώ οι τιμές των rad δεδομένων παρουσιάζουν αντίστροφη συμπεριφορά. Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται και για το κανάλι 8 σε σχέση με το κανάλι 7 αντιστοίχως.

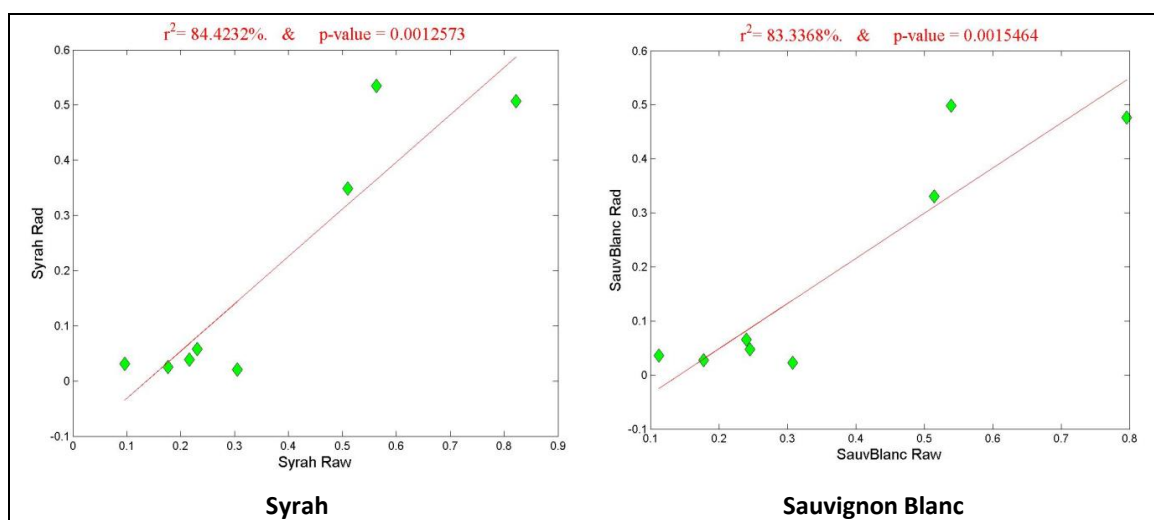
Για κάθε μια από τις 8 ποικιλίες της περιοχής μελέτης της Τράπεζας, απεικονίζεται στο Σχήμα 4.2, η γραμμική παρεμβολή ανάμεσα στις φασματικές υπογραφές από τα δορυφορικά δεδομένα (raw) και από τα δεδομένα (rad) του φασματογράφου. Τα ποσοστά συσχέτισης παρουσιάζουν τιμές στο εύρος 81% έως 85% και τα αντίστοιχα σφάλματα κινούνται στο εύρος 0,1% έως 0,2%.

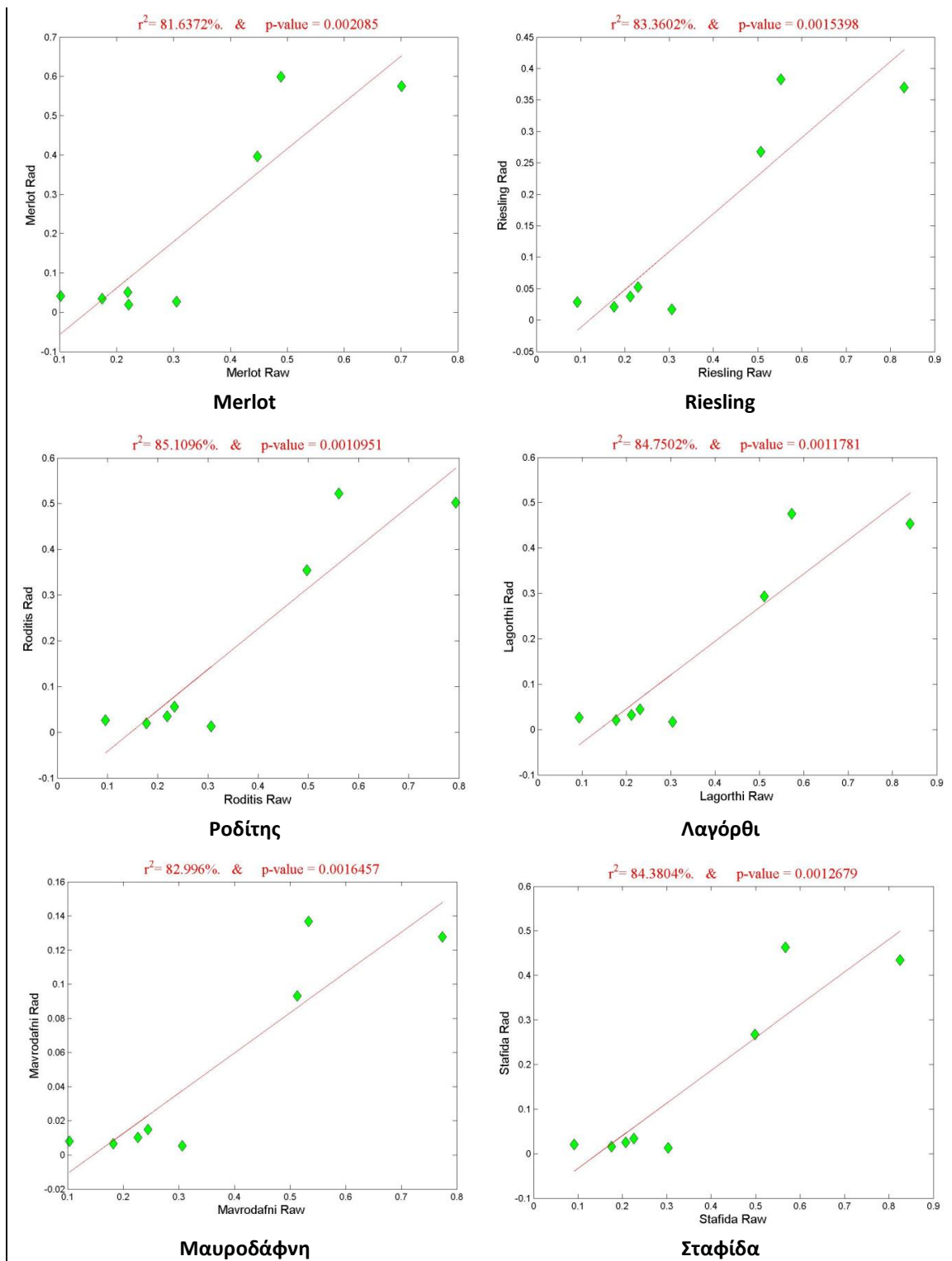
Η συσχέτιση των δύο ομάδων δεδομένων είναι αρκετά συνεπής και υψηλή, αν και πρόκειται για δεδομένα ακτινοβολίας των αντικειμένων (radiance) για τα οποία δεν έχει πραγματοποιηθεί αναγωγή στην ανακλαστικότητα. Εξάγεται λοιπόν το συμπέρασμα πως ο δορυφόρος Worldview 2, παρέχει φασματική πληροφορία για τους αμπελώνες η οποία συσχετίζεται με τις πραγματικές συνθήκες.

Για παράδειγμα, για την ποικιλία Syrah οι τιμές φωτεινότητας σε κάθε κανάλι του WV-2 συσχετίζονται σε ποσοστό 84% με τις προσομοιωμένες τιμές ακτινοβολίας των αντικειμένων (rad), από το φασματογράφο χειρός.

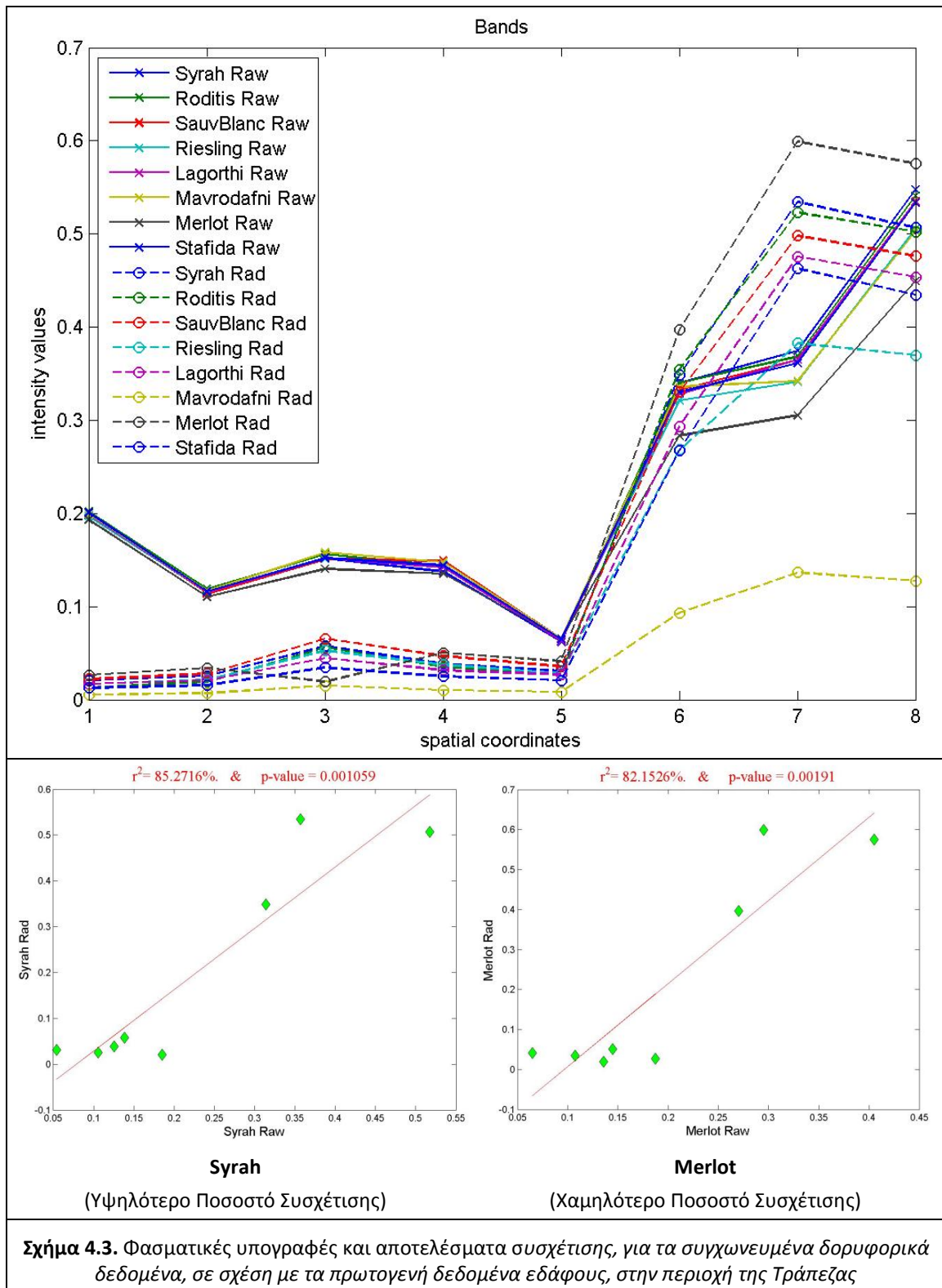
Όσον αφορά στην ποικιλία Sauvignon Blanc, οι τιμές φωτεινότητας στα κανάλια του WV-2 συσχετίζονται σε ποσοστό 83% με τις προσομοιωμένες τιμές ακτινοβολίας των αντικειμένων (rad) από το φασματογράφο χειρός.

Για την ποικιλία Merlot, το αντίστοιχο ποσοστό συσχέτισης είναι 81%, και αποτελεί τη χαμηλότερη τιμή για τη συγκεκριμένη ομάδα δεδομένων. Παρ' ολ' αυτά, πρόκειται για ένα υψηλό ποσοστό συσχέτισης





Σχήμα 4.2. Συσχέτιση πρωτογενών δορυφορικών δεδομένων από WV2, με δεδομένα εδάφους από φασματογράφο χειρός, για την περιοχή της Τράπεζας



Συγχωνευμένα δορυφορικά δεδομένα

Στο άνω τμήμα τους Σχήματος 4.3 απεικονίζονται οι φασματικές υπογραφές για τις οκτώ διαφορετικές ποικιλίες αμπέλου που μελετήθηκαν στην περιοχή της Τράπεζας. Με συνεχείς γραμμές, απεικονίζονται οι φασματικές υπογραφές όπως εξήχθησαν από τα δορυφορικά δεδομένα στα οποία είχε γίνει βασική ραδιομετρική διόρθωση και στη

συνέχεια συγχώνευση των πολυφασματικών με τα παγχρωματικά δεδομένα (raw). Με διακεκομμένες γραμμές, απεικονίζονται οι φασματικές υπογραφές όπως εξήχθησαν από τις μετρήσεις του φασματογράφου χειρός για την ακτινοβολία της πηγής (radiance, rad). Πρόκειται για το ίδιο σετ δεδομένων που απεικονίζεται και στο σχήμα 4.1.

Οι φασματικές υπογραφές από τα συγχωνευμένα δεδομένα παρουσιάζουν ακριβώς την ίδια δομή με τις αντίστοιχες από τα πρωτογενή ραδιομετρικά διορθωμένα δεδομένα του σχήματος 4.1. Η διαφορά τους έγκειται στο γεγονός ότι οι τιμές των δορυφορικών δεδομένων, στην προκειμένη περίπτωση, έχουν έρθει πιο κοντά στις τιμές των δεδομένων εδάφους. Συνεπώς εκτός από συνάφεια στη δομή, έχουν και κοντινότερες τιμές, οπότε αναμένονται ακόμα καλύτερα ποσοστά συσχέτισης.

Αξίζει να σημειωθεί όμως, ότι το πρόβλημα στις κλίσεις 1-2 και 7-8 παραμένει. Δηλαδή, τα κανάλια 1 και 8 σε σχέση με τα 2 και 7 αντίστοιχα, εξακολουθούν να παρουσιάζουν αντίστροφη συμπεριφορά στις δύο ομάδες δεδομένων.

Στο κάτω τμήμα του σχήματος 4.3 απεικονίζονται οι συσχετίσεις για τις ποικιλίες Syrah και Merlot που έδωσαν το υψηλότερο και το χαμηλότερο ποσοστό συσχέτισης, 85% και 82% αντιστοίχως. Το εύρος των σφαλμάτων είναι από 0,1% έως 0,2%.

Στα εν λόγω αποτελέσματα δεν παρουσιάζεται κάποια ιδιαίτερη μεταβολή ως προς τα πρωτογενή, συνεπώς η συγχώνευση δεδομένων δεν επηρεάζει τη συσχέτιση φασματικών υπογραφών ποικιλιών ανάμεσα σε δορυφορικά δεδομένα και δεδομένα εδάφους.

Ατμοσφαιρικά διορθωμένα δεδομένα

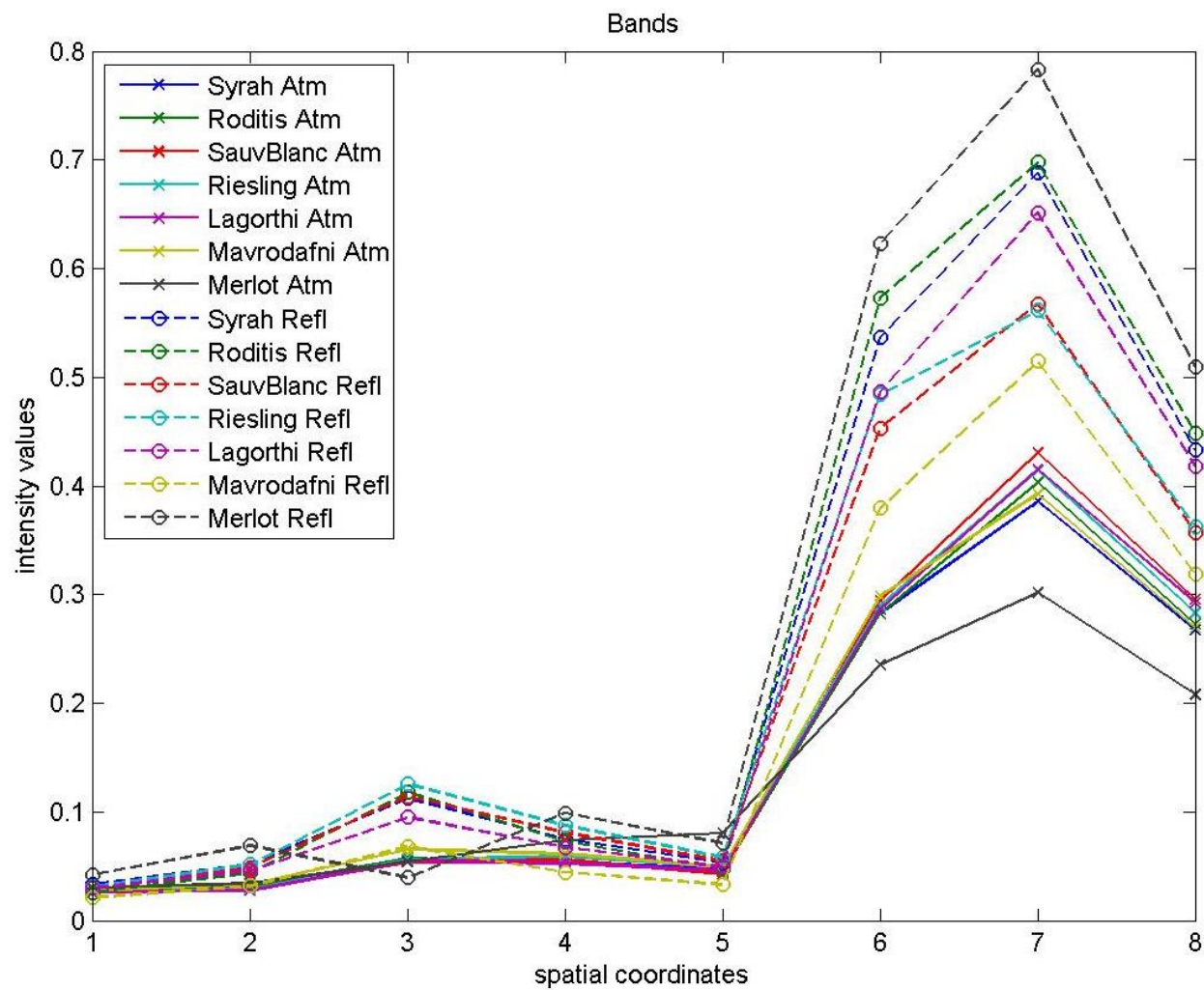
Στο Σχήμα 4.4 απεικονίζονται οι φασματικές υπογραφές για τις οκτώ διαφορετικές ποικιλίες αμπέλου που μελετήθηκαν στην περιοχή της Τράπεζας.

Με συνεχείς γραμμές, απεικονίζονται οι φασματικές υπογραφές όπως εξήχθησαν από τα δορυφορικά δεδομένα (atm) έπειτα από ατμοσφαιρική διόρθωση. Με διακεκομμένες γραμμές, απεικονίζονται οι φασματικές υπογραφές από τα προσομοιωμένα δεδομένα (reflectance, refl) του φασματογράφου χειρός στα οποία είχε γίνει αναγωγή των μετρήσεων από την ακτινοβολία της πηγής στην ανακλαστικότητα.

Οι αρχικές προσπάθειες για ατμοσφαιρική διόρθωση ήταν ανεπιτυχείς στα κανάλια 1 και 8. Τα αντίστοιχα ποσοστά συσχέτισης ήταν πολύ χαμηλά φτάνοντας ακόμα και στο 17%. Τα αποτελέσματα αυτά δημιούργησαν προβληματισμό για την επιτυχία της ατμοσφαιρικής διόρθωσης. Συνεπώς, επαναλήφθηκε η διόρθωση και τα αποτελέσματα από τα νέα ατμοσφαιρικά διορθωμένα δεδομένα ήταν πολύ καλύτερα, σε όλες τις περιπτώσεις πάνω από 97%.

Στο σχήμα 4.4. για τα νέα ατμοσφαιρικά διορθωμένα δεδομένα (atm), παρατηρείται ότι οι φασματικές υπογραφές των διαφορετικών ποικιλιών έχουν μεγάλη συσχέτιση μεταξύ τους στα κανάλια 1-6, ενώ διαχωρίζονται σε κάποιο βαθμό στα κανάλια 7 και 8. Όσον αφορά στις φασματικές υπογραφές που προέκυψαν από τα δεδομένα εδάφους (refl), δεν διακρίνονται μεγάλες διαφορές στα κανάλια 1,2 και 5, ενώ στα κανάλια 3 και 4 οι διαφορές των φασματικών υπογραφών είναι περισσότερο έντονες. Πολύ καλή διαχωριστικότητα επιτυγχάνεται στα κανάλια 6, 7 και 8.

Συνεπώς, επιβεβαιώνεται και στα ατμοσφαιρικά δεδομένα (atm και refl) το συμπέρασμα πως τα κανάλια 7 και 8 του δορυφόρου WorldView 2, μπορούν να βοηθήσουν στο διαχωρισμό ποικιλιών.



Σχήμα 4.4. Φασματικές υπογραφές ποικιλιών αμπέλου από ατμοσφαιρικά δορυφορικά δεδομένα (atm), και δεδομένα εδάφους για την ανακλαστικότητα (refl), στην περιοχή της Τράπεζας.

Συγκρίνοντας τη δομή των φασματικών υπογραφών ανάμεσα στις δύο ομάδες δεδομένων του σχήματος 4.4, παρατηρούμε τα εξής:

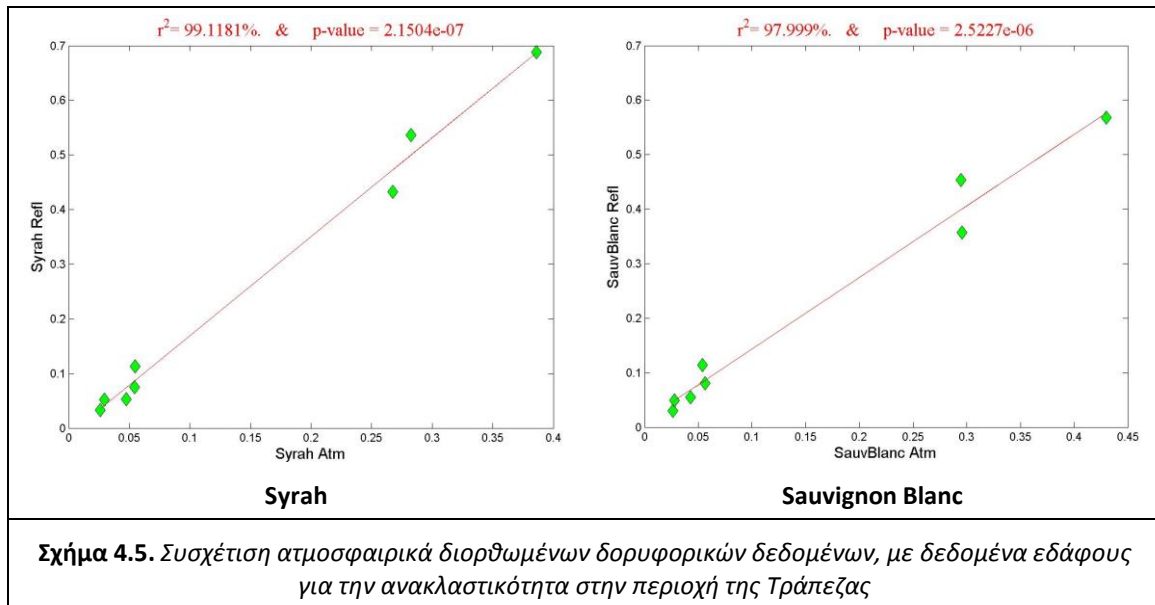
Σε όλα κανάλια, οι δύο ομάδες φαίνεται να έχουν ικανοποιητική συσχέτιση, καθώς έχουν παρόμοια δομή. Μοναδική εξαίρεση είναι η περίπτωση του Merlot στο κανάλι 3, που επηρεάζει τις κλίσεις 2-3 και 3-4. Δηλαδή για τη συγκεκριμένη ποικιλία, οι κλίσεις 2-3 και 3-4 είναι αντίθετες στις δύο ομάδες δεδομένων.

Όσον αφορά στις διαφορές στις τιμές ανάμεσα στα δορυφορικά δεδομένα και τα δεδομένα εδάφους, είναι πρακτικά ανύπαρκτες για τα κανάλια 1,2,4 και 5. Κατά τα άλλα, στο κανάλι 3 τα δεδομένα εδάφους παρουσιάζουν ελαφρώς μεγαλύτερες τιμές, ενώ στα κανάλια 6,7 και 8 οι τιμές των δεδομένων εδάφους είναι αισθητά μεγαλύτερες. Αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα, καθώς η δομή των φασματικών υπογραφών στα συγκεκριμένα κανάλια είναι ίδια για τα δύο σετ δεδομένων.

Στο σχήμα 4.5 απεικονίζονται οι συσχετίσεις ανάμεσα στα δορυφορικά δεδομένα και τα δεδομένα εδάφους, για τις δύο πιο σημαντικές ποικιλίες της περιοχής μελέτης.

Η συσχέτιση των φασματικών υπογραφών του Syrah, έδωσε πολύ μεγάλο ποσοστό, περίπου 99% ενώ για το Sauvignon Blanc τα αποτελέσματα ήταν εξίσου καλά, δίνοντας ποσοστό συσχέτισης περίπου 98%. Γενικά για όλες τις ποικιλίες της περιοχής, το ποσοστό συσχέτισης ανάμεσα στα ατμοσφαιρικά διορθωμένα δορυφορικά δεδομένα, και τα δεδομένα εδάφους για την ανακλαστικότητα, ήταν πάνω από 97% με πιθανότητες σφάλματος p-value μικρότερες από 0,0008%.

Επιβεβαιώνεται συνεπώς, πως η ατμοσφαιρική διόρθωση μπορεί να συμβάλλει τα μέγιστα, στο διαχωρισμό ποικιλιών με χρήση δορυφορικών δεδομένων WorldView-2.



4.1.2 Συσχέτιση δεδομένων εδάφους με δορυφορικά δεδομένα στην περιοχή του Μεγαπλάτανου

Στην περιοχή μελέτης του Μεγαπλάτανου μελετήθηκαν 17 διαφορετικές ποικιλίες αμπέλου. Ο αριθμός αυτός είναι απαγορευτικός στο να απεικονιστούν οι φασματικές υπογραφές όλων αυτών των ποικιλιών σε ένα ευδιάκριτο σχήμα. Συνεπώς, αποφασίστηκε να εμφανίζονται σχήματα για τις ποικιλίες που είχαν τα υψηλότερα και τα χαμηλότερα ποσοστά συσχέτισης. Έτσι δίδεται, κατά το δυνατόν, πληρέστερη εικόνα της συμπεριφοράς των φασματικών υπογραφών για τις διάφορες ομάδες δεδομένων. Για λόγους πληρότητας, στον παρακάτω πίνακα εμφανίζονται τα ποσοστά συσχέτισης και τα αντίστοιχα σφάλματα για κάθε ποικιλία και κάθε ένα από τα τρία ζεύγη δεδομένων που συσχετίστηκαν.

	Πρωτογενή δεδομένα - Ακτινοβολία πηγής		Ατμοσφαιρικά διορθωμένα δεδομένα – Ανακλαστικότητα		Συγχωνευμένα δορυφορικά δεδομένα – Ακτινοβολία πηγής	
	R ²	p-value	R ²	p-value	R ²	p-value
Cabernet Sauvignon	76%	0,4%	99%	0,00004%	75%	0,5%
Syrah	75%	0,5%	98%	0,00003%	73%	0,7%
Ξινόμαυρο	76%	0,4%	98%	0,00007%	72%	0,8%
Merlot	73%	0,6%	96%	0,002%	74%	0,5%
Grenache Rouge	78%	0,3%	99%	0,000007%	79%	0,3%
Chardonnay	76%	0,4%	98%	0,00008%	75%	0,5%
Ρομπόλα	81%	0,2%	99%	0,000008%	82%	0,2%
Sauvignon Blanc	61%	2,0%	98%	0,0003%	79%	0,3%
Verticchio	78%	0,3%	90%	0,3%	67%	1,3%
Αθήρι	72%	0,7%	97%	0,0008%	80%	0,3%
Semillon	63%	1,7%	95%	0,003%	66%	1,4%
Μαλαγουζιά	73%	0,6%	98%	0,0004%	76%	0,4%
Moschato Romano	69%	1,0%	97%	0,002%	64%	1,7%
Αηδάνι	65%	1,5%	94%	0,005%	71%	0,9%
Grechetto	78%	0,3%	99%	0,00004%	77%	0,4%
Grecanico	79%	0,3%	99%	0,00005%	80%	0,3%
Ribolla Gialla	74%	0,6%	95%	0,004%	60%	2,2%
ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΕΥΡΗ	61% - 81%	2,0% - 0,2%	90% - 99%	0,000008% - 0,3%	64% - 82%	1,7% - 0,2%

Σχήμα 4.6. Ποσοστά και σφάλματα συσχέτισης όλων των ποικιλιών για όλα τα ζεύγη ομάδων δεδομένων στην περιοχή του Μεγαπλάτανου

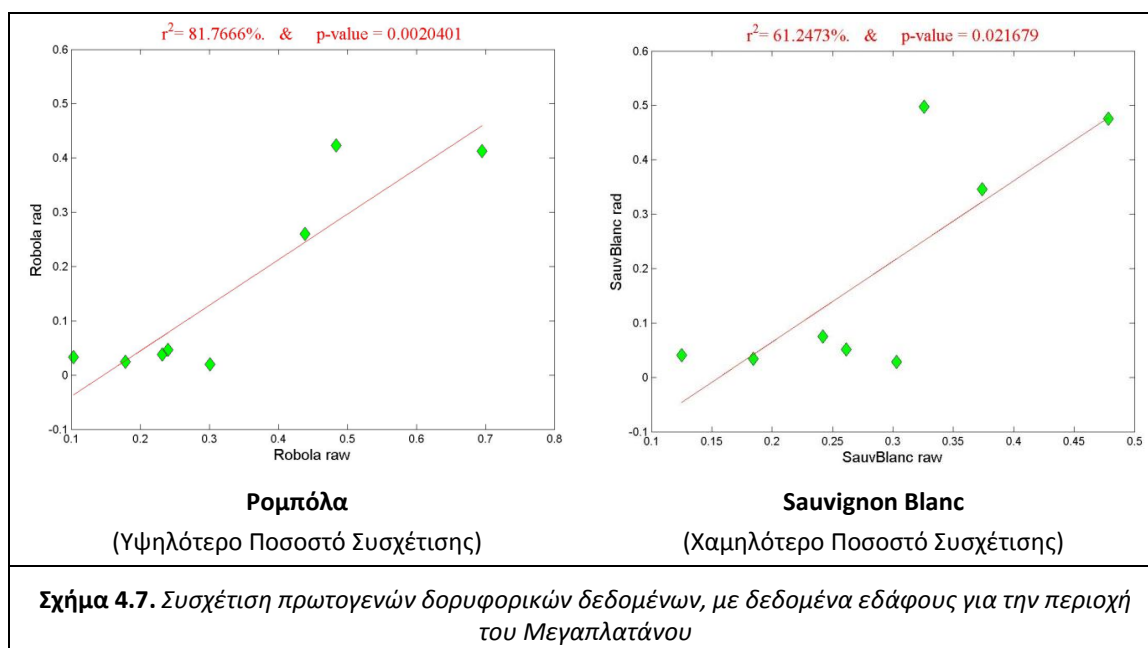
Πρωτογενή δεδομένα

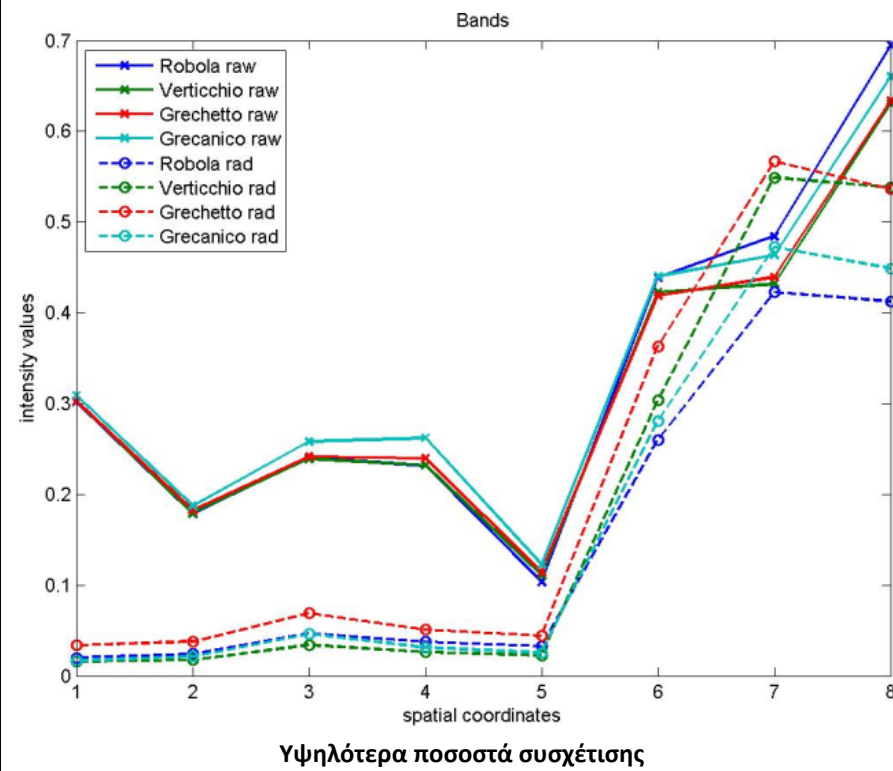
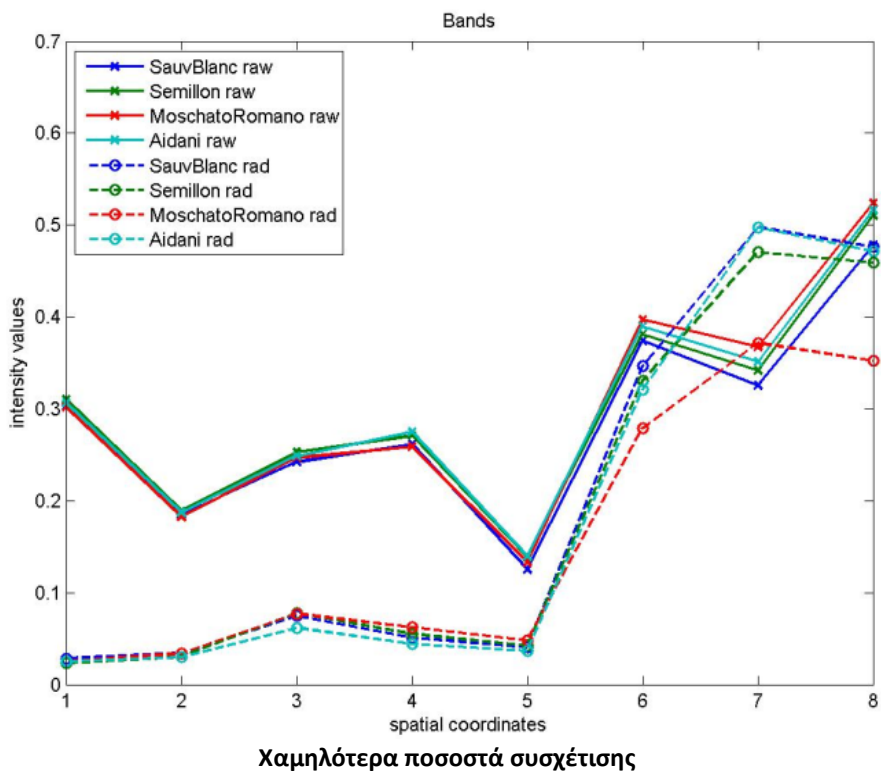
Στο Σχήμα 4.8. απεικονίζονται οι φασματικές υπογραφές των ποικιλιών αμπέλου που είχαν τα υψηλότερα και τα χαμηλότερα ποσοστά συσχέτισης (>78% και <70% αντίστοιχα). Με συνεχείς γραμμές, απεικονίζονται οι φασματικές υπογραφές όπως εξήχθησαν από τα δορυφορικά δεδομένα στα οποία είχε γίνει βασική ραδιομετρική διόρθωση (raw). Με διακεκομμένες γραμμές, απεικονίζονται οι φασματικές υπογραφές όπως εξήχθησαν από τις μετρήσεις του σπεκτροραδιομέτρου χειρός για την ακτινοβολία των αντικειμένων (radiance, rad).

Συγκρίνοντας τις φασματικές υπογραφές από τα πρωτογενή δορυφορικά δεδομένα για το Μεγαπλάτανο με τις αντίστοιχες για την Τράπεζα προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα.

Όσον αφορά στις ποικιλίες που έχουν υψηλά ποσοστά συσχέτισης, η δομή και οι απόλυτες τιμές των φασματικών υπογραφών ομοιάζουν αρκετά στις δύο περιοχές. Όμως, όσον αφορά στις ποικιλίες με χαμηλά ποσοστά συσχέτισης παρατηρούμε χαμηλότερες τιμές στο κανάλι 7 σε σχέση με αυτές του καναλιού 6, συμπεριφορά αντίστροφη από εκείνη των δεδομένων εδάφους.

Στο Σχήμα 4.7. απεικονίζεται το υψηλότερο και το χαμηλότερο ποσοστό συσχέτισης, 81% και 61% αντίστοιχα. Από τις 17 ποικιλίες που μελετήθηκαν, η συσχέτιση για τέσσερις από αυτές έδωσε αποτελέσματα από 61 έως 70%, για άλλες τέσσερις αποτελέσματα μεγαλύτερα από 78% και για τις υπόλοιπες δέκα τα ποσοστά ήταν από 70 έως 78%. Η πιθανότητα σφάλματος κυμαίνεται από 0,2% έως 2%.





Σχήμα 4.8. Φασματικές υπογραφές ποικιλιών αμπέλου από πρωτογενή δορυφορικά δεδομένα, και από δεδομένα εδάφους για την περιοχή του Μεγαπλάτανου

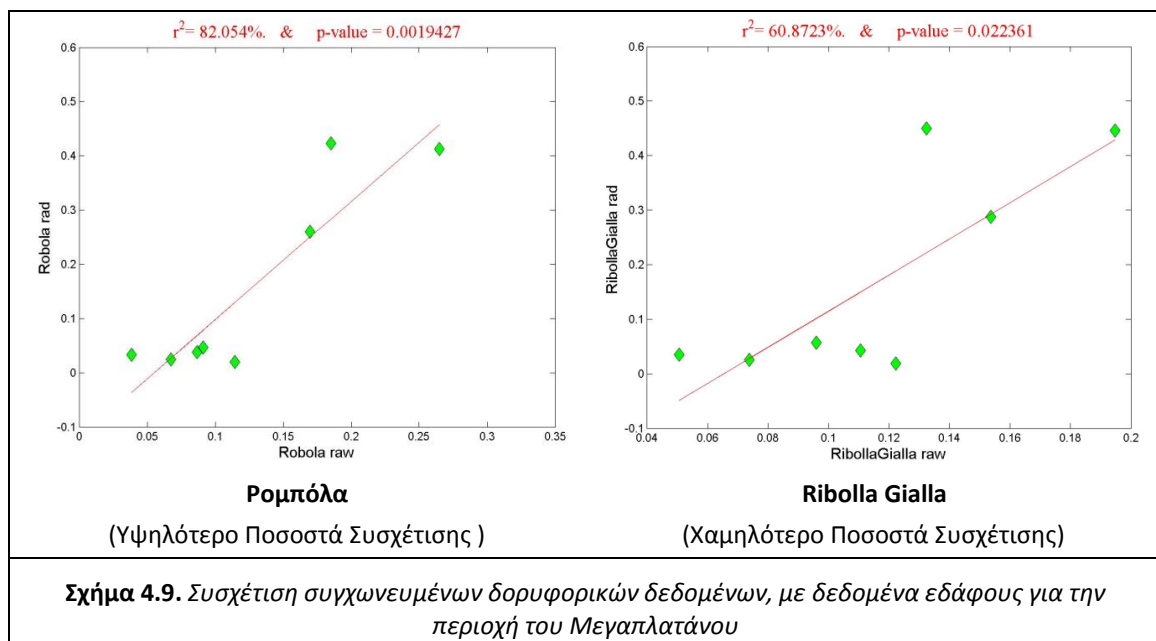
Συγχωνευμένα δορυφορικά δεδομένα

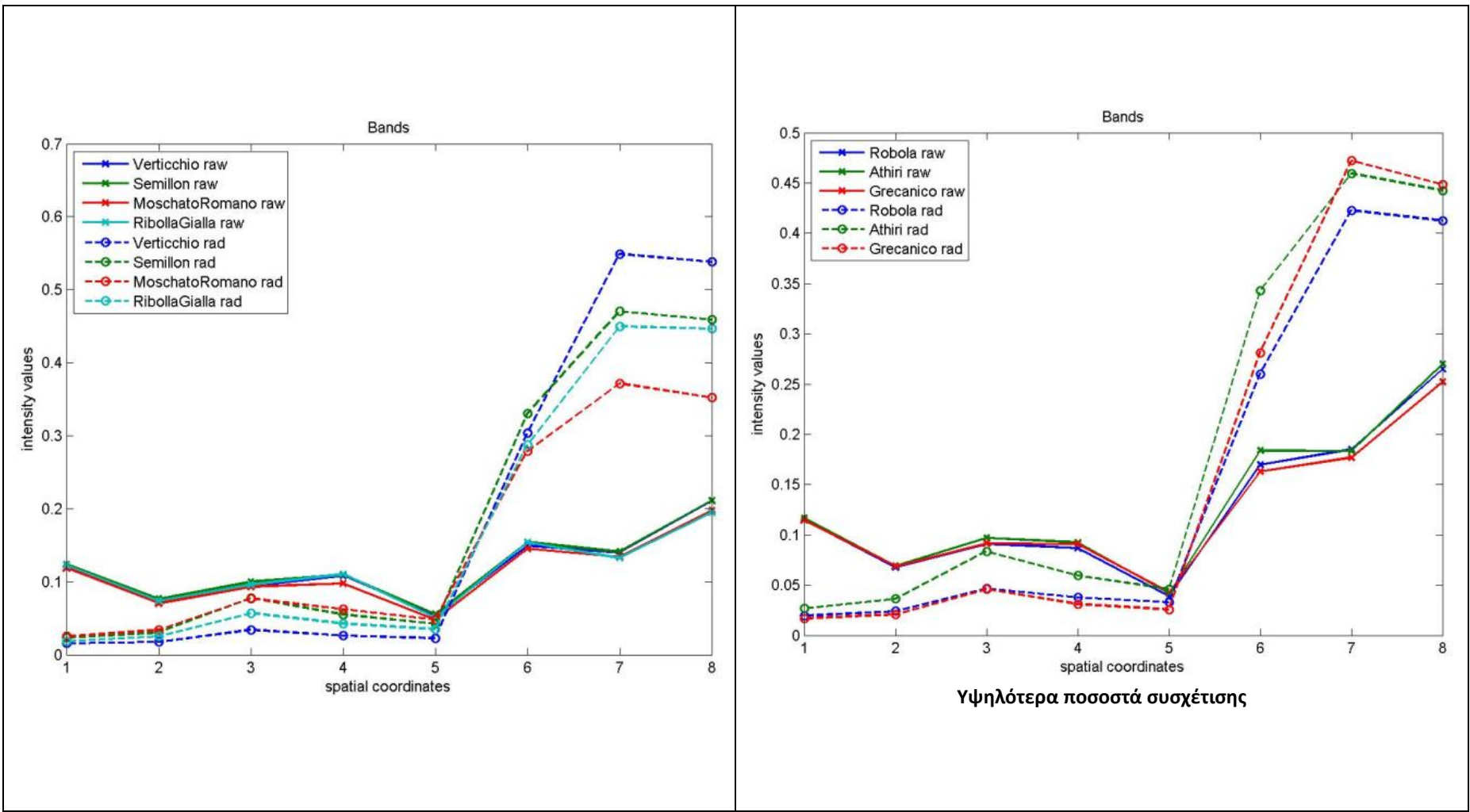
Στο Σχήμα 4.10. απεικονίζονται οι φασματικές υπογραφές των ποικιλιών αμπέλου που είχαν τα υψηλότερα και τα χαμηλότερα ποσοστά συσχέτισης. Με συνεχείς γραμμές, απεικονίζονται οι φασματικές υπογραφές όπως εξήχθησαν από τα δορυφορικά δεδομένα στα οποία είχε γίνει βασική ραδιομετρική διόρθωση και στη συνέχεια συγχώνευση των πολυφασματικών με τα παγχρωματικά δεδομένα (raw). Με διακεκομμένες γραμμές, απεικονίζονται οι φασματικές υπογραφές όπως εξήχθησαν από τις μετρήσεις του σπεκτροραδιομέτρου χειρός για την ακτινοβολία των αντικειμένων (radiance, rad). Πρόκειται για το ίδιο σετ δεδομένων που απεικονίζεται και στο σχήμα 4.8.

Οι φασματικές υπογραφές από τα συγχωνευμένα δεδομένα παρουσιάζουν ακριβώς την ίδια δομή με τις αντίστοιχες από τα πρωτογενή ραδιομετρικά διορθωμένα δεδομένα του σχήματος 4.8. Η διαφορά τους έγκειται στο γεγονός ότι οι τιμές των δορυφορικών δεδομένων στην προκειμένη περίπτωση, έχουν έρθει πιο κοντά στις τιμές των δεδομένων εδάφους. Συνεπώς εκτός από συνάφεια στη δομή, έχουν και κοντινότερες τιμές, οπότε αναμένονται ακόμα καλύτερα ποσοστά συσχέτισης. Αξίζει να σημειωθεί όμως, ότι το πρόβλημα στις κλίσεις 1-2 και 7-8 παραμένει. Δηλαδή, τα κανάλια 1 και 8 σε σχέση με τα 2 και 7 αντίστοιχα, εξακολουθούν να παρουσιάζουν αντίστροφη συμπεριφορά στις δύο ομάδες δεδομένων.

Στο σχήμα 4.9 απεικονίζονται οι συσχετίσεις που έδωσαν το υψηλότερο και το χαμηλότερο ποσοστό συσχέτισης, 82% και 60% αντιστοίχως. Το εύρος των σφαλμάτων είναι από 0,2% έως 2,2%.

Στα εν λόγω αποτελέσματα δεν παρουσιάζεται κάποια ιδιαίτερη μεταβολή ως προς τα αρχικά, συνεπώς επιβεβαιώνεται το συμπέρασμα πως η συγχώνευση δεδομένων δεν επηρεάζει τη συσχέτιση φασματικών υπογραφών ποικιλιών ανάμεσα σε δορυφορικά δεδομένα και δεδομένα εδάφους.

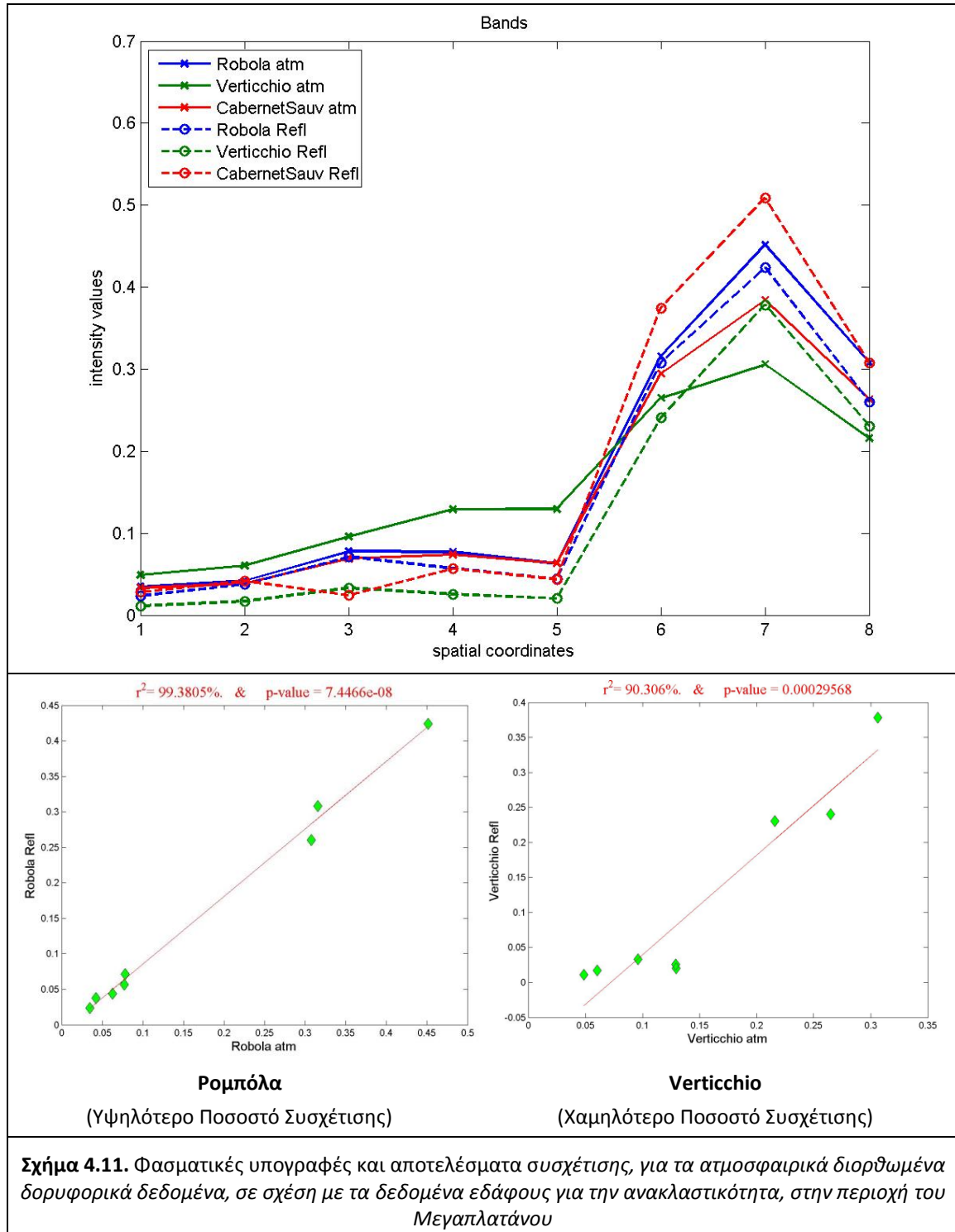




Σχήμα 4.10. Φασματικές υπογραφές ποικιλιών αμπέλου από συγχωνευμένα δορυφορικά δεδομένα, και από δεδομένα εδάφους για την περιοχή του Μεγαπλάτανου
Χαμηλότερα ποσοστά συσχέτισης

Ατμοσφαιρικά διορθωμένα δεδομένα

Στο Σχήμα 4.11. απεικονίζονται οι φασματικές υπογραφές των δύο σημαντικότερων ποικιλιών αμπέλου στην περιοχή (Cabernet Sauvignon, Ρομπόλα) και της ποικιλίας που εμφάνισε το μικρότερο ποσοστό συσχέτισης (Verticchio). Δεν εμφανίζονται όλες οι ποικιλίες, καθώς το πλήθος τους είναι πολύ μεγάλο. Το παρόν δείγμα των τριών ποικιλιών είναι ενδεικτικό της συμπεριφοράς στο φάσμα, για των εν λόγω δεδομένα.



Με συνεχείς γραμμές, απεικονίζονται οι φασματικές υπογραφές όπως εξήχθησαν από τα δορυφορικά δεδομένα (atm) έπειτα από ατμοσφαιρική διόρθωση. Με διακεκομμένες γραμμές, απεικονίζονται οι φασματικές υπογραφές από τα προσομοιωμένα δεδομένα (reflectance, refl) του φασματογράφου χειρός στα οποία είχε αναγωγή των μετρήσεων από την ακτινοβολία πηγής στην ανακλαστικότητα.

Στο άνω τμήμα του σχήματος 4.11. παρατηρούνται τα εξής:

Για τα ατμοσφαιρικά διορθωμένα δεδομένα (atm), οι φασματικές υπογραφές των διαφορετικών ποικιλιών ομοιάζουν αρκετά στο ορατό τμήμα του οπτικού φάσματος (κανάλια 1-5). Ξεκινούν να διαχωρίζονται σε κάποιο βαθμό στα κανάλια 6 ενώ ξεχωρίζουν αρκετά στα κανάλια 7 και 8. Παρόμοια είναι η κατάσταση και για τις φασματικές υπογραφές που προέκυψαν από τα δεδομένα εδάφους για την ανακλαστικότητα (refl).

Όσον αφορά στη δομή των φασματικών υπογραφών, γενικά παρατηρείται παρόμοια συμπεριφορά ανάμεσα στις δύο ομάδες δεδομένων. Στην περίπτωση της Ρομπόλας μάλιστα, εκτός από τη δομή ταυτίζονται σχεδόν και οι τιμές. Αυτό αποτυπώνεται και με το πολύ υψηλό ποσοστό συσχέτισης που έχουν οι φασματικές υπογραφές της εν λόγω ποικιλίας.

Στην περίπτωση του Verticchio, στα κανάλια 1-6 εμφανίζει υψηλότερες τιμές στα δορυφορικά απ' ό,τι στα δεδομένα εδάφους. Στον αντίποδα, στα κανάλια 7 και 8 η εν λόγω ποικιλία εμφανίζει αντίστροφη συμπεριφορά. Αυτό αποτελεί παραφωνία σε σχέση με τις υπόλοιπες ποικιλίες και εκφράζεται στο μειωμένο ποσοστό συσχέτισης των φασματικών υπογραφών του Verticchio.

Τα αποτελέσματα στα ατμοσφαιρικά διορθωμένα δεδομένα ήταν εξαιρετικά σε σχέση με τα πρωτογενή δεδομένα. Για όλες τις ποικιλίες της περιοχής, τα ποσοστά συσχέτισης ήταν από 90-99% και οι πιθανότητες σφάλματος ήταν μικρότερες από 0,3%.

Συνεπώς, επιβεβαιώνεται το συμπέρασμα ότι η ατμοσφαιρική διόρθωση μπορεί να βελτιώσει πολύ τα αποτελέσματα, στο διαχωρισμό και τη συσχέτιση ποικιλιών με χρήση δορυφορικών δεδομένων WorldView-2.

4.1.3. Διαφορές μεταξύ Φασματικών Υπογραφών ανά κανάλι

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται οι διαφορές μεταξύ των φασματικών υπογραφών για διάφορες ποικιλίες ανά φασματικό κανάλι. Συγκεκριμένα, εμφανίζονται οι διαφορές σε κάθε περιοχή μελέτης στα κανάλια 7 και 8, μιας και ήταν αυτά με τις εντονότερες διαφοροποιήσεις. Για την ευκολότερη μελέτη των σχημάτων, υπενθυμίζεται ότι οι διαφορές αυτές προέκυψαν αφαιρώντας τιμές καναλιών με εύρος από 0 έως 1, και στη συνέχεια ανήχθησαν σε ποσοστά.

Στο σχήμα 4.12 παρουσιάζονται οι διαφορές για τις ποικιλίες της Τράπεζας στα προαναφερθέντα κανάλια, όπως υπολογίστηκαν από τα πρωτογενή δεδομένα.

Παρατηρώντας το σχήμα 4.12. γίνεται άμεσα κατανοητό ότι οι διαφορές ανάμεσα στις ποικιλίες είναι μεγαλύτερες στο κανάλι 8 απ' ό,τι στο 7. Η ποικιλία με την καλύτερη διαχωριστικότητα είναι το Merlot καθώς παρουσιάζει τις μεγαλύτερες διαφορές με τις υπόλοιπες ποικιλίες. Επίσης, η ποικιλία Syrah φαίνεται να μην είναι διαχωρίσιμη σε σχέση με τις Riesling και Σταφίδα καθώς έχουν μικρές διαφορές και στα δύο κανάλια. Το ίδιο ισχύει και για την ποικιλία Σταφίδα σε σχέση με τις Sauvignon Blanc και Riesling

Κανάλι 7	Syrah	Ροδίτης	Sauvignon Blanc	Riesling	Λαγόρθι	Μαυροδάφνη	Merlot	Σταφίδα
Syrah	0	0,26	2,32	1,01	0,95	2,96	7,42	0,44
Ροδίτης	0,26	0	2,06	0,75	1,21	2,71	7,17	0,69
Sauvignon Blanc	2,32	2,06	0	1,31	3,27	0,65	5,1	2,76
Riesling	1,01	0,75	1,31	0	1,96	1,96	6,42	1,44
Λαγόρθι	0,95	1,21	3,27	1,96	0	3,92	8,38	0,51
Μαυροδάφνη	2,96	2,71	0,65	1,96	3,92	0	4,46	3,4
Merlot	7,42	7,17	5,1	6,42	8,38	4,46	0	7,86
Σταφίδα	0,44	0,69	2,76	1,44	0,51	3,4	7,86	0

Κανάλι 8	Syrah	Ροδίτης	Sauvignon Blanc	Riesling	Λαγόρθι	Μαυροδάφνη	Merlot	Σταφίδα
Syrah	0	2,85	2,62	0,91	1,73	4,79	12,13	0,28
Ροδίτης	2,85	0	0,23	3,76	4,58	1,94	9,27	3,13
Sauvignon Blanc	2,62	0,23	0	3,53	4,35	2,17	9,5	2,9
Riesling	0,91	3,76	3,53	0	0,82	5,7	13,03	0,63
Λαγόρθι	1,73	4,58	4,35	0,82	0	6,52	13,85	1,45
Μαυροδάφνη	4,79	1,94	2,17	5,7	6,52	0	7,33	5,07
Merlot	12,13	9,27	9,5	13,03	13,85	7,33	0	12,4
Σταφίδα	0,28	3,13	2,9	0,63	1,45	5,07	12,4	0

Σχήμα 4.12. Διαφορές φασματικών υπογραφών από τα αρχικά δορυφορικά δεδομένα στην περιοχή της Τράπεζας (στα κανάλια 7,8)

Στο σχήμα 4.13 παρουσιάζονται οι διαφορές των φασματικών υπογραφών όπως υπολογίστηκαν από τα συγχωνευμένα δορυφορικά δεδομένα για την περιοχή της Τράπεζας.

Συγκρίνοντας τις διαφορές ανάμεσα στα σχήματα 4.12 και 4.13 προκύπτει ότι για τις περισσότερες ποικιλίες οι διαφορές που υπολογίστηκαν από τα πρωτογενή δεδομένα είναι πιο έντονες από αυτές που υπολογίστηκαν από τα συγχωνευμένα. Όμως, κάποια από τα ζευγάρια ποικιλιών που είχαν τις μικρότερες διαφορές στα πρωτογενή δεδομένα, εδώ διαχωρίζονται αρκετά καλύτερα.

Παρατηρώντας το σχήμα 4.13, γίνεται άμεσα κατανοητό ότι οι διαφορές ανάμεσα στις ποικιλίες είναι μεγαλύτερες στο κανάλι 8 απ' ό,τι στο 7. Και εδώ, η ποικιλία με την καλύτερη διαχωριστικότητα είναι το Merlot. Τα ζεύγη ποικιλιών που δεν έχουν μεγάλες διαφορές είναι σε αυτήν την περίπτωση αρκετά. Ενδεικτικά αναφέρονται τα ζεύγη Syrah-Ροδίτης, Sauvignon Blanc-Λαγόρθι, Riesling-Μαυροδάφνη και Σταφίδα-Λαγόρθι. Αξίζει να αναφερθεί πως, στις διαφορές που προέκυψαν από τα συγχωνευμένα δορυφορικά δεδομένα, σε αντίθεση με τα αποτελέσματα από τα πρωτογενή δεδομένα, η ποικιλία Syrah είναι διαχωρίσιμη σε σχέση με τις Riesling και Σταφίδα. Το ίδιο ισχύει και για την ποικιλία Σταφίδα σε σχέση με την ποικιλία Riesling.

Κανάλι 7	Syrah	Ροδίτης	Sauvignon Blanc	Riesling	Λαγόρθι	Μαυροδάφνη	Merlot	Σταφίδα
Syrah	0	0,6	0,93	3,32	0,95	3,23	6,93	1,34
Ροδίτης	0,6	0	0,33	2,72	0,35	2,62	6,33	0,73
Sauvignon Blanc	0,93	0,33	0	2,39	0,02	2,3	6	0,4
Riesling	3,32	2,72	2,39	0	2,37	0,09	3,61	1,98
Λαγόρθι	0,95	0,35	0,02	2,37	0	2,28	5,98	0,38
Μαυροδάφνη	3,23	2,62	2,3	0,09	2,28	0	3,71	1,89
Merlot	6,93	6,33	6	3,61	5,98	3,71	0	5,6
Σταφίδα	1,34	0,73	0,4	1,98	0,38	1,89	5,6	0

Κανάλι 8	Syrah	Ροδίτης	Sauvignon Blanc	Riesling	Λαγόρθι	Μαυροδάφνη	Merlot	Σταφίδα
Syrah	0	0,66	1,27	4,23	1,35	4,45	9,81	1,42
Ροδίτης	0,66	0	0,61	3,56	0,69	3,79	9,14	0,76
Sauvignon Blanc	1,27	0,61	0	2,95	0,08	3,18	8,53	0,15
Riesling	4,23	3,56	2,95	0	2,87	0,23	5,58	2,8
Λαγόρθι	1,35	0,69	0,08	2,87	0	3,1	8,45	0,07
Μαυροδάφνη	4,45	3,79	3,18	0,23	3,1	0	5,35	3,03
Merlot	9,81	9,14	8,53	5,58	8,45	5,35	0	8,38
Σταφίδα	1,42	0,76	0,15	2,8	0,07	3,03	8,38	0

Σχήμα 4.13. Διαφορές φασματικών υπογραφών από συγχωνευμένα δορυφορικά δεδομένα στην περιοχή της Τράπεζας (στα κανάλια 7,8)

Συνεπώς, το μόνο πρόβλημα που παραμένει, έπειτα από την ερμηνεία των σχημάτων 4.12 και 4.13 είναι η αδυναμία στο διαχωρισμό των ποικιλιών Σταφίδα και Sauvignon Blanc.

Όσον αφορά στην περιοχή του Μεγαπλάτανου, οι διαφορές που προέκυψαν από τα πρωτογενή δεδομένα για τα κανάλια 7 και 8 εμφανίζονται στα σχήματα 4.14 και 4.15 αντιστοίχως. Οι διαφορές που προέκυψαν από τα συγχωνευμένα δεδομένα δεν παρουσιάζονται καθώς δεν προσφέρουν ιδιαίτερα περαιτέρω συμπεράσματα, διότι είναι στις περισσότερες περιπτώσεις μικρότερες.

Ο μεγάλος αριθμός των ποικιλιών καθιστά σαφές ότι είναι δύσκολος ο διαχωρισμός όλων με όλες. Παρ' ολ' αυτά, οι Ρομπόλα, Αθήρι, Grecanico και Ribolla Gialla, φαίνεται να μπορούν να διαχωριστούν από όλες τις υπόλοιπες, καθώς έχουν ικανοποιητικές διαφορές από αυτές.

Παρατηρείται επίσης ότι, και στα δύο κανάλια, οι πέντε ερυθρές ποικιλίες, δεν διαχωρίζονται εύκολα μεταξύ τους. Στον αντίποδα, οι λευκές ποικιλίες, παρουσιάζουν σε γενικές γραμμές καλύτερη διαχωρισσιμότητα μεταξύ τους. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι όλες οι ερυθρές ποικιλίες διαχωρίζονται γενικά από όλες τις λευκές.

Σημειώνεται εδώ, ότι το κανάλι 8 έχει αρκετά μεγαλύτερο εύρος από το 7. Συνεπώς, οι μεγαλύτερες διαφορές που παρατηρούνται σε αυτό το κανάλι, ενδέχεται να σχετίζονται με διαφοροποιήσεις σε ετερογενή στοιχεία, όπως το χρώμα.

Κανάλι 7	Cabernet Sauvignon	Syrah	Ξινόμαυρο	Merlot	Grenache Rouge	Chardonnay	Ρομπόλα	Sauvignon Blanc	Verticchio	Αθήρι	Semillon	Μαλαγουζιά	Moschato Romano	Αηδάνι	Grechetto	Grecanico	Ribolla Gialla
Cabernet Sauvignon	0	0,21	0,19	2,17	0,15	0,81	6,36	1,15	2,25	3,33	7,89	1,09	5,33	6,95	1,87	4,31	9,49
Syrah	0,21	0	0,4	1,96	0,36	0,6	6,58	1,36	2,04	3,12	7,68	0,88	5,12	6,74	2,08	4,52	9,28
Ξινόμαυρο	0,19	0,4	0	2,36	0,04	1	6,17	0,96	2,44	3,52	8,08	1,28	5,52	7,14	1,68	4,12	9,68
Merlot	2,17	1,96	2,36	0	2,32	1,37	8,54	3,32	0,08	1,16	5,72	1,08	3,16	4,78	4,04	6,48	7,32
Grenache Rouge	0,15	0,36	0,04	2,32	0	0,96	6,22	1	2,4	3,48	8,04	1,24	5,48	7,1	1,72	4,16	9,64
Chardonnay	0,81	0,6	1	1,37	0,96	0	7,17	1,96	1,45	2,53	7,09	0,29	4,53	6,15	2,68	5,12	8,69
Ρομπόλα	6,36	6,58	6,17	8,54	6,22	7,17	0	5,22	8,62	9,7	14,26	7,46	11,7	13,32	4,5	2,06	15,86
Sauvignon Blanc	1,15	1,36	0,96	3,32	1	1,96	5,22	0	3,4	4,48	9,04	2,24	6,48	8,1	0,72	3,16	10,64
Verticchio	2,25	2,04	2,44	0,08	2,4	1,45	8,62	3,4	0	1,08	5,64	1,16	3,08	4,7	4,12	6,56	7,24
Αθήρι	3,33	3,12	3,52	1,16	3,48	2,53	9,7	4,48	1,08	0	4,56	2,24	2	3,62	5,2	7,64	6,16
Semillon	7,89	7,68	8,08	5,72	8,04	7,09	14,26	9,04	5,64	4,56	0	6,8	2,56	0,94	9,76	12,2	1,6
Μαλαγουζιά	1,09	0,88	1,28	1,08	1,24	0,29	7,46	2,24	1,16	2,24	6,8	0	4,24	5,86	2,96	5,4	8,4
Moschato Romano	5,33	5,12	5,52	3,16	5,48	4,53	11,7	6,48	3,08	2	2,56	4,24	0	1,62	7,2	9,64	4,16
Αηδάνι	6,95	6,74	7,14	4,78	7,1	6,15	13,32	8,1	4,7	3,62	0,94	5,86	1,62	0	8,82	11,26	2,54
Grechetto	1,87	2,08	1,68	4,04	1,72	2,68	4,5	0,72	4,12	5,2	9,76	2,96	7,2	8,82	0	2,44	11,36
Grecanico	4,31	4,52	4,12	6,48	4,16	5,12	2,06	3,16	6,56	7,64	12,2	5,4	9,64	11,26	2,44	0	13,8
Ribolla Gialla	9,49	9,28	9,68	7,32	9,64	8,69	15,86	10,64	7,24	6,16	1,6	8,4	4,16	2,54	11,36	13,8	0

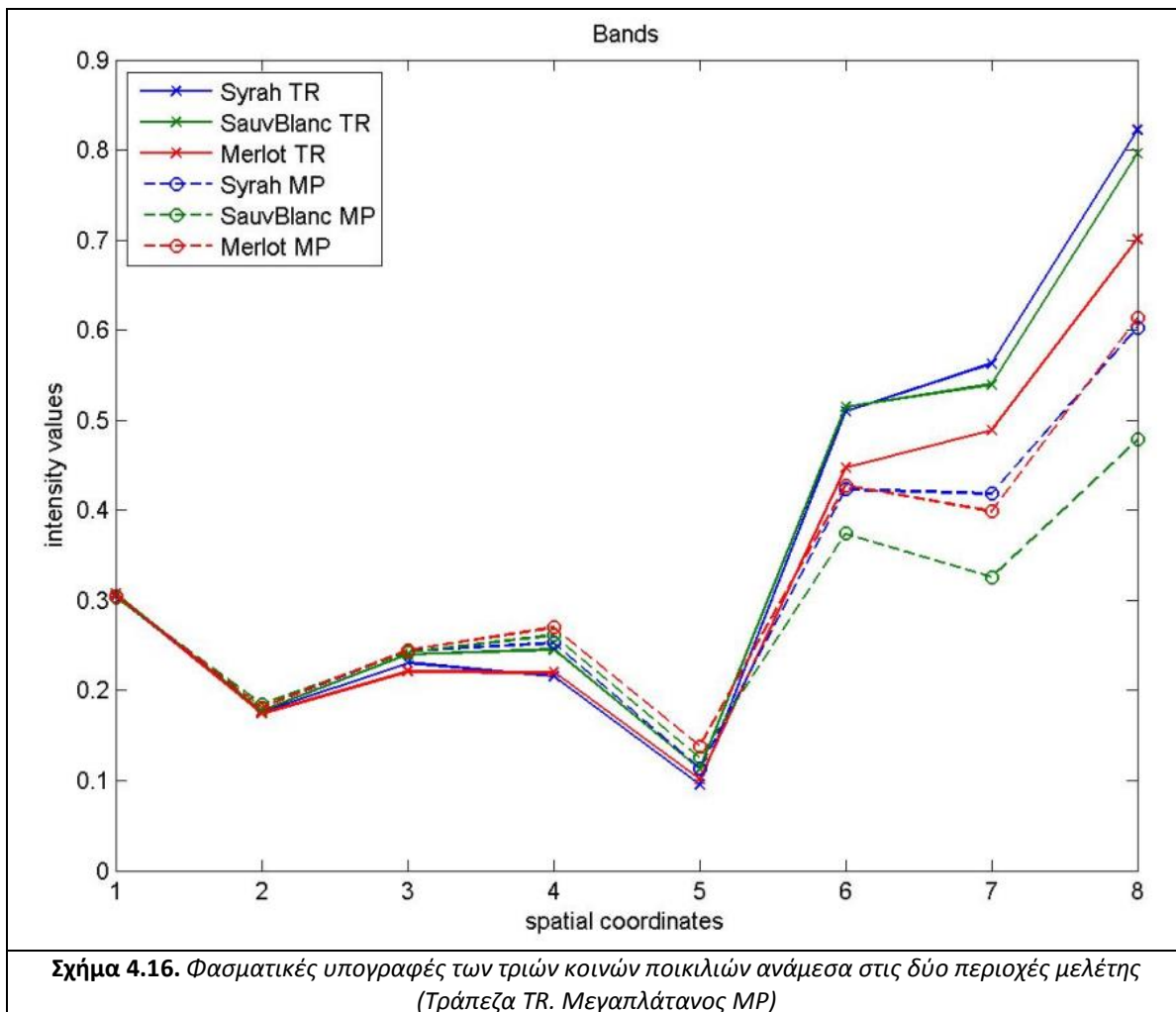
Σχήμα 4.14. Διαφορές φασματικών υπογραφών από τα πρωτογενή δορυφορικά δεδομένα στην περιοχή του Μεγαπλάτανου (στο Κανάλι 7)

Κανάλι 8	Cabernet Sauvignon	Syrah	Ξινόμαυρο	Merlot	Grenache Rouge	Chardonnay	Ρομπόλα	Sauvignon Blanc	Verticchio	Αθήρι	Semillon	Μαλαγουζιά	Moschato Romano	Αηδάνι	Grechetto	Grecanico	Ribolla Gialla
Cabernet Sauvignon	0	0,76	0,39	0,28	0,56	1,81	8,47	2,02	1,36	4,84	9,98	1,97	8,64	9,4	2,32	5	13,2
Syrah	0,76	0	0,37	1,04	1,32	1,05	9,23	2,78	0,6	4,08	9,22	1,21	7,88	8,64	3,08	5,76	12,44
Ξινόμαυρο	0,39	0,37	0	0,67	0,95	1,42	8,87	2,41	0,97	4,45	9,59	1,58	8,25	9,01	2,71	5,39	12,81
Merlot	0,28	1,04	0,67	0	0,28	2,09	8,19	1,74	1,64	5,12	10,26	2,25	8,92	9,68	2,04	4,72	13,48
Grenache Rouge	0,56	1,32	0,95	0,28	0	2,37	7,91	1,46	1,92	5,4	10,54	2,53	9,2	9,96	1,76	4,44	13,76
Chardonnay	1,81	1,05	1,42	2,09	2,37	0	10,28	3,83	0,45	3,03	8,17	0,17	6,83	7,59	4,13	6,81	11,39
Ρομπόλα	8,47	9,23	8,87	8,19	7,91	10,28	0	6,45	9,83	13,31	18,45	10,45	17,11	17,87	6,15	3,47	21,67
Sauvignon Blanc	2,02	2,78	2,41	1,74	1,46	3,83	6,45	0	3,38	6,86	12	3,99	10,66	11,42	0,3	2,98	15,22
Verticchio	1,36	0,6	0,97	1,64	1,92	0,45	9,83	3,38	0	3,48	8,62	0,61	7,28	8,04	3,68	6,36	11,84
Αθήρι	4,84	4,08	4,45	5,12	5,4	3,03	13,31	6,86	3,48	0	5,14	2,87	3,8	4,56	7,16	9,84	8,36
Semillon	9,98	9,22	9,59	10,26	10,54	8,17	18,45	12	8,62	5,14	0	8,01	1,34	0,58	12,3	14,98	3,22
Μαλαγουζιά	1,97	1,21	1,58	2,25	2,53	0,17	10,45	3,99	0,61	2,87	8,01	0	6,67	7,43	4,29	6,97	11,23
Moschato Romano	8,64	7,88	8,25	8,92	9,2	6,83	17,11	10,66	7,28	3,8	1,34	6,67	0	0,76	10,96	13,64	4,56
Αηδάνι	9,4	8,64	9,01	9,68	9,96	7,59	17,87	11,42	8,04	4,56	0,58	7,43	0,76	0	11,72	14,4	3,8
Grechetto	2,32	3,08	2,71	2,04	1,76	4,13	6,15	0,3	3,68	7,16	12,3	4,29	10,96	11,72	0	2,68	15,52
Grecanico	5	5,76	5,39	4,72	4,44	6,81	3,47	2,98	6,36	9,84	14,98	6,97	13,64	14,4	2,68	0	18,2
Ribolla Gialla	13,2	12,44	12,81	13,48	13,76	11,39	21,67	15,22	11,84	8,36	3,22	11,23	4,56	3,8	15,52	18,2	0

Σχήμα 4.15. Διαφορές φασματικών υπογραφών από τα πρωτογενή δορυφορικά δεδομένα στην περιοχή του Μεγαπλάτανου (στο Κανάλι 8)

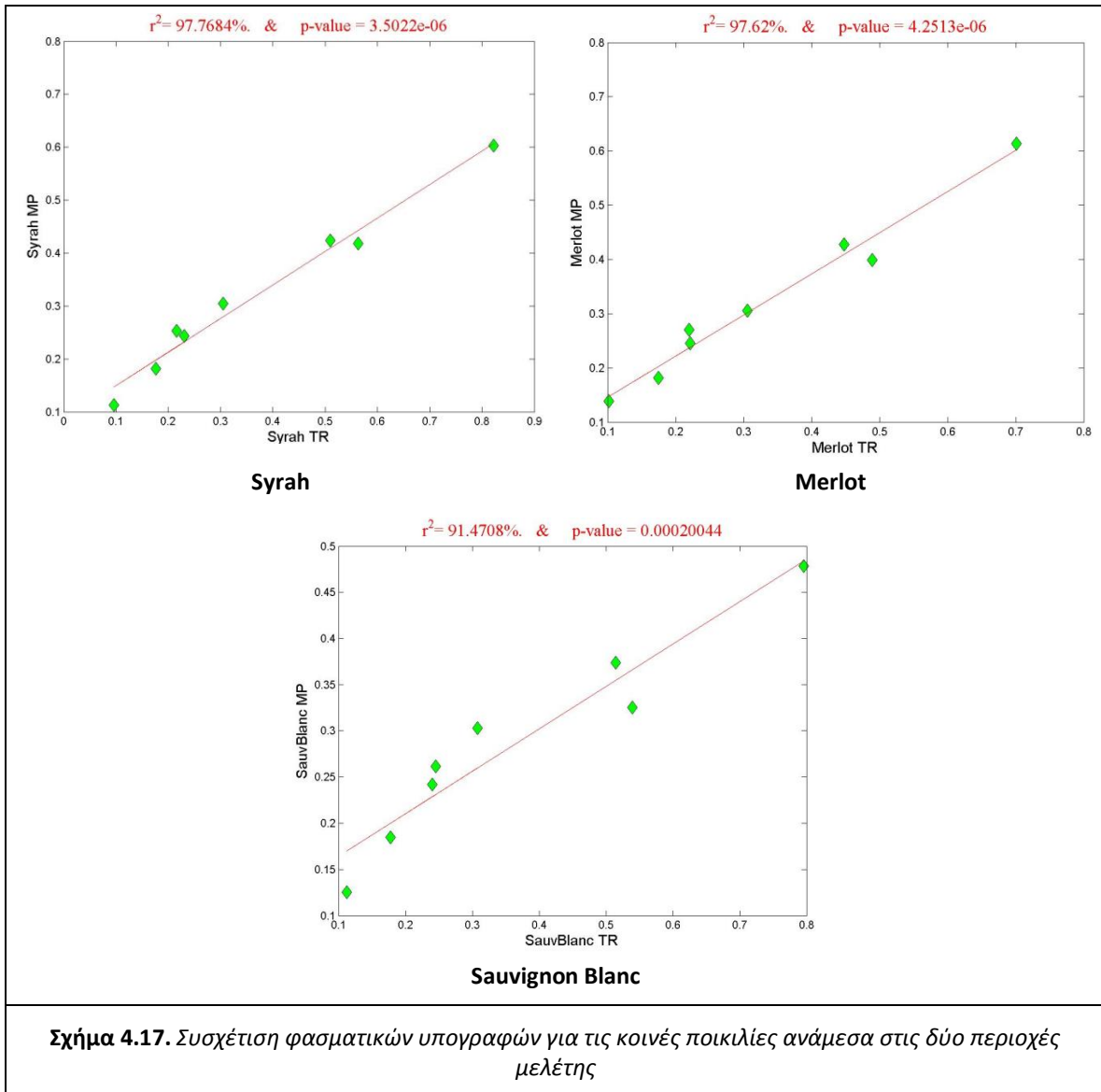
4.1.4. Συσχέτιση ίδιων ποικιλιών σε διαφορετικούς αμπελώνες

Στο σχήμα 4.16 παρουσιάζονται οι φασματικές υπογραφές των ποικιλιών Syrah, Sauvignon Blanc και Merlot, με συνεχείς γραμμές για την περιοχή μελέτης της Τράπεζας και με διακεκομμένες γραμμές για την περιοχή του Μεγαπλάτανου.



Παρατηρείται ότι οι φασματικές υπογραφές έχουν παρόμοια συμπεριφορά ανάμεσα στις δύο περιοχές. Μοναδική εξαίρεση είναι η κλίση από το κανάλι 6 στο κανάλι 7, που εμφανίζεται αντίστροφη και για τις τρεις ποικιλίες. Όμως, η διαφοροποίηση στη δομή είναι σχετικά μικρή καθώς και οι αντίθετες αυτές κλίσεις είναι αρκετά ήπιες.

Συνεπώς είναι λογικό να αναμένονται υψηλά ποσοστά συσχέτισης μεταξύ των ίδιων ποικιλιών ανάμεσα στις δύο περιοχές μελέτης.

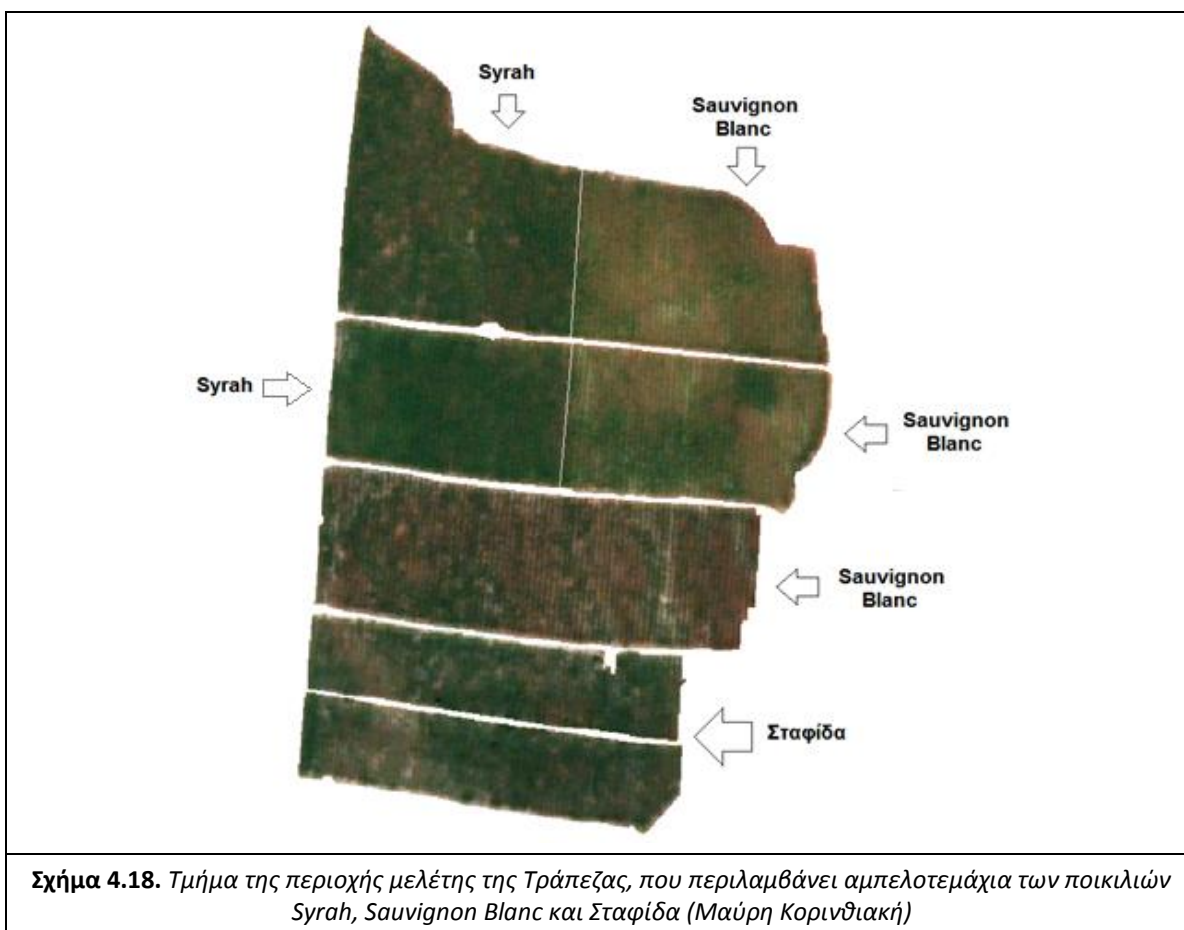


Πράγματι, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.17 τα ποσοστά συσχέτισης των ίδιων ποικιλιών ανάμεσα στις δύο περιοχές είναι από 91-98%. Το μικρότερο σχετικά ποσοστό, που εμφανίζεται για την ποικιλία Sauvignon Blanc, έχει να κάνει με την παρουσία δύο διαφορετικών κλώνων της στην περιοχή της Τράπεζας, με αισθητά διαφορετική απόκριση στο φάσμα.

4.2 Εκτίμηση Ποιοτικών και Ποσοτικών Χαρακτηριστικών σε Αμπελώνες

Όσον αφορά στην εκτίμηση ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών σε αμπελώνες, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από συγκεκριμένα αμπελοτεμάχια στην περιοχή της Τράπεζας. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, μελετήθηκαν 70 διαφορετικά αμπελοτεμάχια, με βάση 29 δείκτες και παράχθηκαν πάνω από 200 χάρτες χαρακτηριστικών ποιότητας. Ασφαλώς, δεν ήταν εφικτή η παρουσίαση του συνόλου των εν λόγω αποτελεσμάτων, συνεπώς επιλέχθηκε να παρουσιαστούν οι χάρτες για όλα τα διαφορετικά χαρακτηριστικά ποιότητας μόνο σε μια συγκεκριμένη περιοχή.

Η περιοχή αυτή απεικονίζεται στο Σχήμα 4.18. Επιλέχθηκε για τις μεγάλες εναλλαγές που παρουσιάζει στα ποιοτικά χαρακτηριστικά και διότι περιλαμβάνει αμπελοτεμάχια από τις δύο σημαντικότερες οινοποιητικά ποικιλίες της συγκεκριμένης περιοχής μελέτης, των Syrah και Sauvignon Blanc.



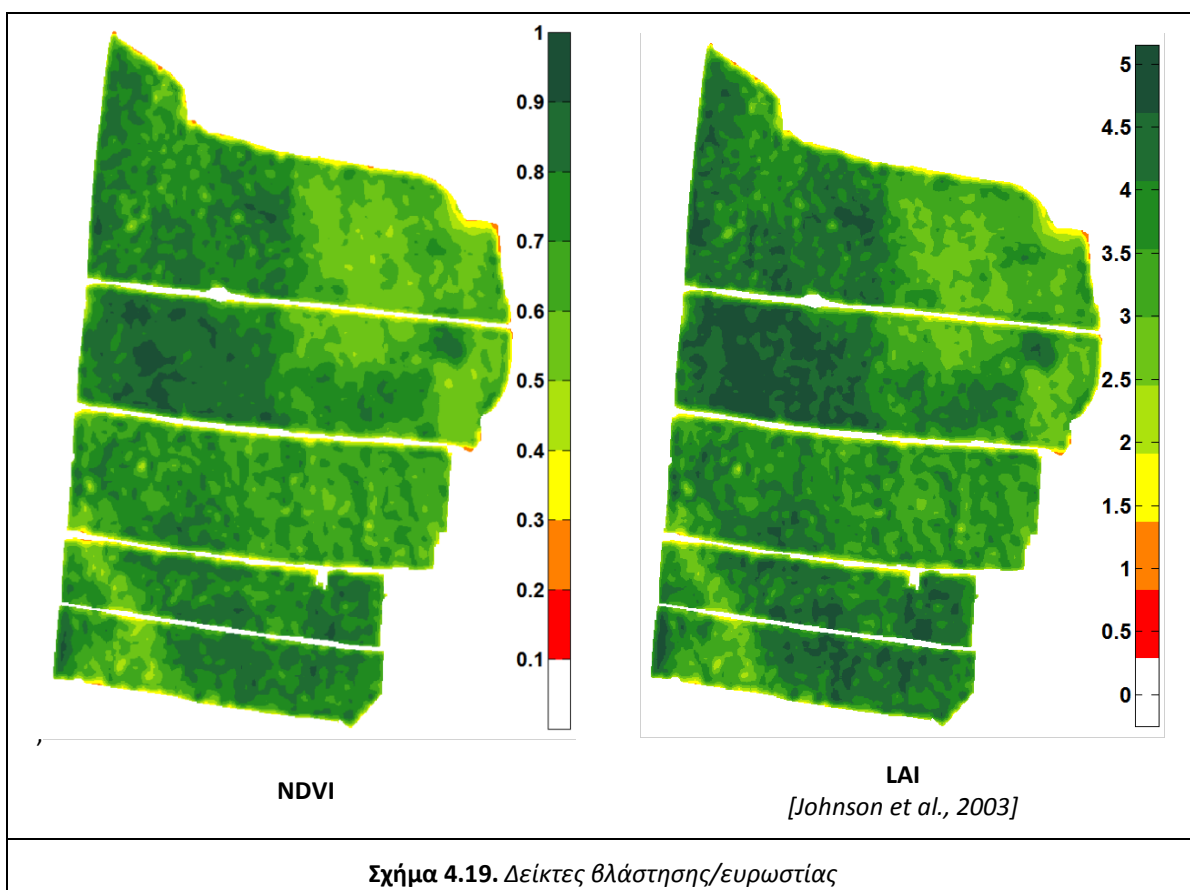
Αναλυτικά, η περιοχή αποτελείται από επτά αμπελοτεμάχια τριών διαφορετικών ποικιλιών. Όπως φαίνεται στο σχήμα 4.18., άνω αριστερά βρίσκονται δύο αμπελοτεμάχια Syrah. Στο κάτω τμήμα του σχήματος, βρίσκονται δύο αμπελοτεμάχια Σταφίδας. Τα δύο τεμάχια που βρίσκονται ακριβώς δίπλα στα Syrah, καθώς και το αμέσως κάτω από αυτά, ανήκουν στην ποικιλία Sauvignon Blanc.

4.2.1 Ζωηρότητα και Ευρωστία

Στο Σχήμα 4.19. παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τον υπολογισμό δεικτών βλάστησης και ευρωστίας.

Στα αριστερά, εμφανίζεται το αποτέλεσμα του Δείκτη Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης (Normalised Difference Vegetation Index, NDVI). Παρατηρούμε διαφοροποιήσεις στα επίπεδα βλάστησης ανάμεσα στα αμπελοτεμάχια, αλλά και μέσα σε αυτά. Τα σχετικά επίπεδα βλάστησης είναι παρόμοια με τα αποτελέσματα του εμπορικού προγράμματος Oenoview για την περιοχή της Τράπεζας.

Στα δεξιά, εμφανίζεται το αποτέλεσμα για την εκτίμηση του Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας (Leaf Area Index, LAI), όπως προτάθηκε από τους Johnson et al. (2003). Υπολογίζεται μέσω του NDVI και έχει προταθεί συγκεκριμένα για αμπέλια.

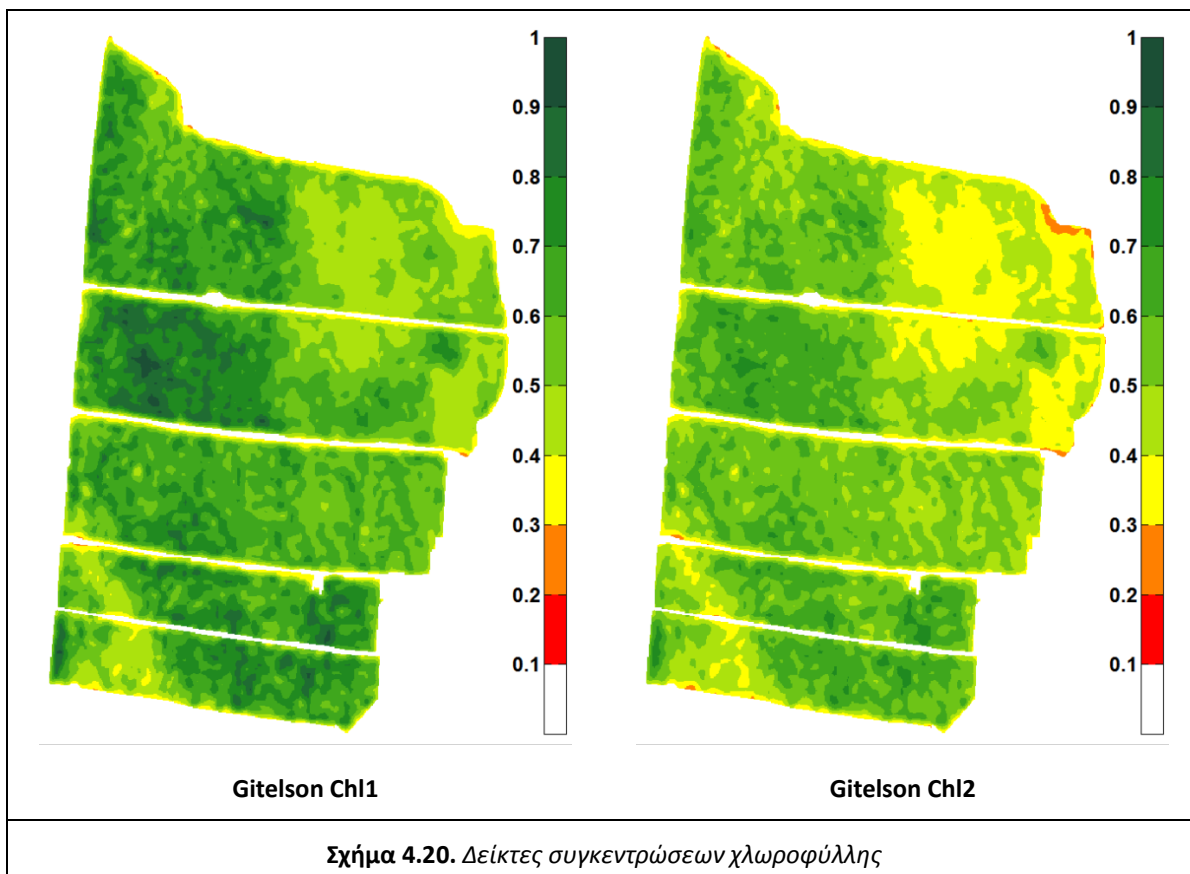


Ο υπολογισμός του LAI την εποχή του περκασμού, μας δίνει μια έμμεση εκτίμηση για το ποσοτικό σκέλος της ευρωστίας του αμπελιού, δηλαδή της συνολικής του δυνατότητας για βλάστηση και παραγωγή. Δυστυχώς, δεν υπήρχαν τα μέσα να ληφθούν δεδομένα εδάφους για τον LAI. Παρ' όλ' αυτά, μέσω της διεθνούς βιβλιογραφίας, η μέγιστη τιμή 5 φαίνεται λογική για την εκτίμηση του LAI σε αμπελώνες.

4.2.2 Συγκεντρώσεις Χλωροφύλλης, Καροτενοειδών και Ανθοκυανών

Στο Σχήμα 4.20. παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τον υπολογισμό δεικτών συγκέντρωσης χλωροφύλλης. Πρόκειται για δείκτες που πρότειναν οι Gitelson et al. (2006), τους Gitelson Chl-1 και Gitelson Chl-2.

Οι δείκτες φαίνεται να προσομοιάζουν ικανοποιητικά τα επίπεδα της χλωροφύλλης, καθώς όπου η βλάστηση είναι πιο έντονη αναμένονται και υψηλότερες συγκεντρώσεις χλωροφύλλης. Συγκρινόμενοι μεταξύ τους, δεν παρουσιάζουν διαφορές στην κατανομή των διαφόρων επιπέδων χλωροφύλλης, αλλά στις τιμές. Αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα καθώς στην παρούσα εργασία υπολογίζονται τα σχετικά και όχι τα απόλυτα επίπεδα χλωροφύλλης.

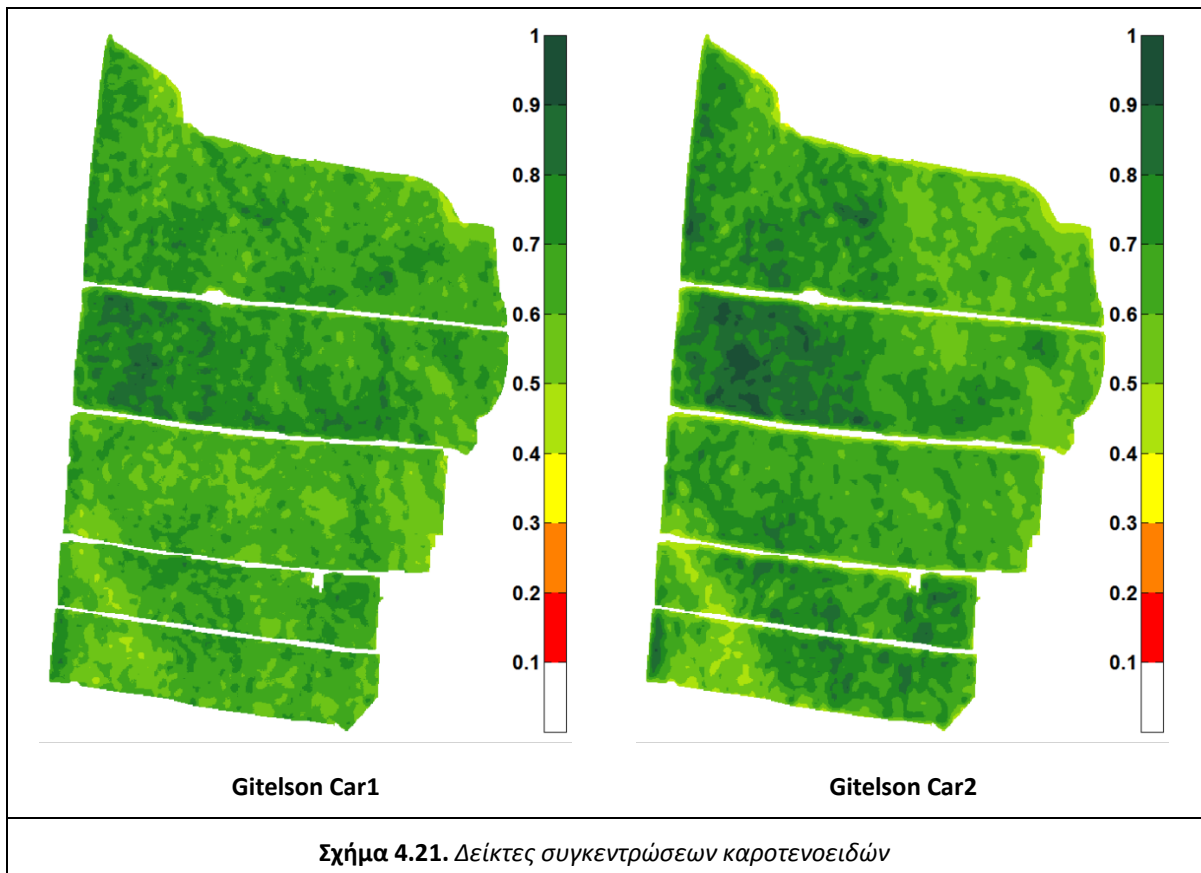


Σχήμα 4.20. Δείκτες συγκεντρώσεων χλωροφύλλης

Στο Σχήμα 4.21. παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τον υπολογισμό δεικτών συγκέντρωσης καροτενοειδών. Πρόκειται για δείκτες που πρότειναν οι Gitelson et al. (2006), τους Gitelson Car-1 και Gitelson Car-2.

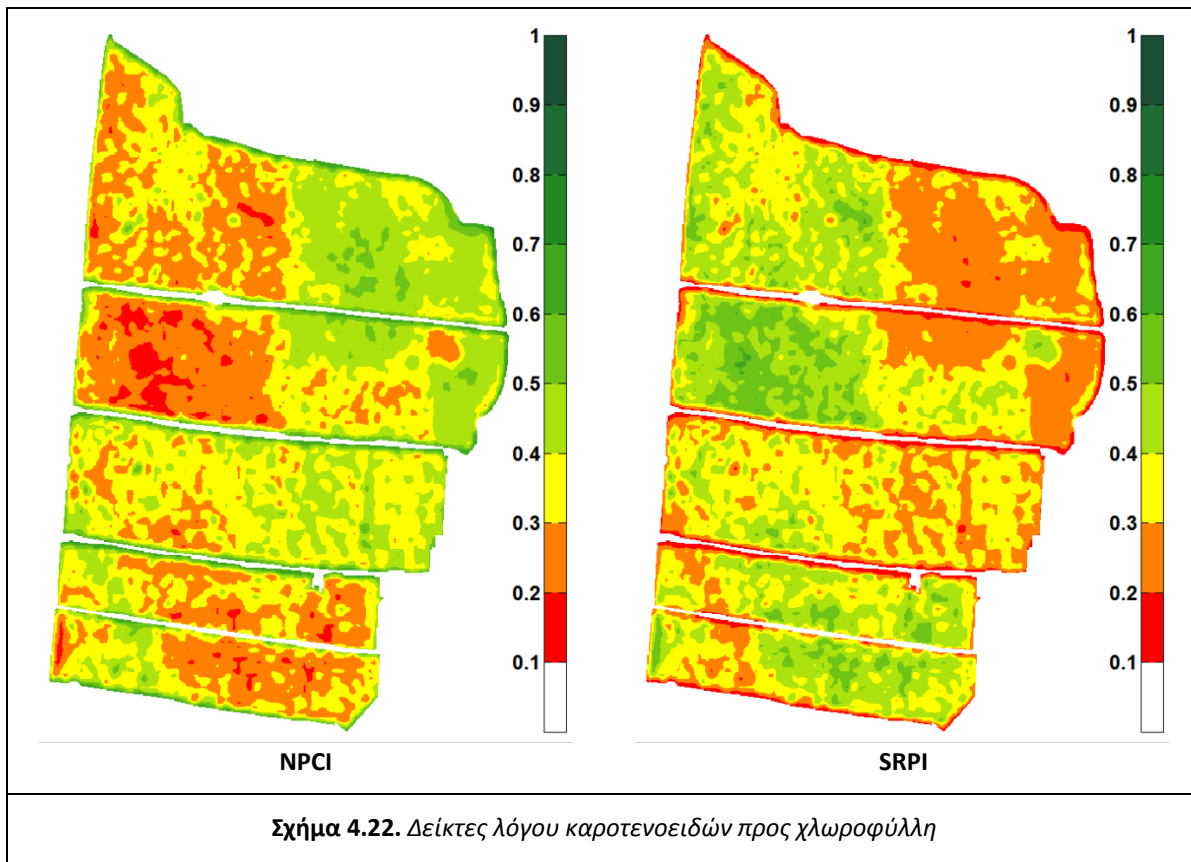
Οι υψηλότερες τιμές και για τους δύο δείκτες εμφανίζονται στα αμπελοτεμάχια του Syrah. Τα χαρακτηριστικά αρώματα της συγκεκριμένης ποικιλίας είναι προϊόν μεταβολισμού των καροτενοειδών, συνεπώς είναι λογικό να υπάρχουν υψηλές συγκεντρώσεις των συγκεκριμένων χρωστικών στα αμπελοτεμάχια του Syrah. Συγκρίνοντας τους δύο δείκτες, παρατηρείται ότι ο Car-1 υποεκτιμά ελαφρώς τη συγκέντρωση καροτενοειδών στα

αμπελοτεμάχια με ερυθρές ποικιλίες. Αυτό συμβαίνει διότι τα εν λόγω πρέμνα περιέχουν και ανθοκυάνες. Ο Car-2 δεν παρουσιάζει αυτό το πρόβλημα καθώς έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί καλύτερα σε αμπέλια με υψηλά επίπεδα ανθοκυανών.



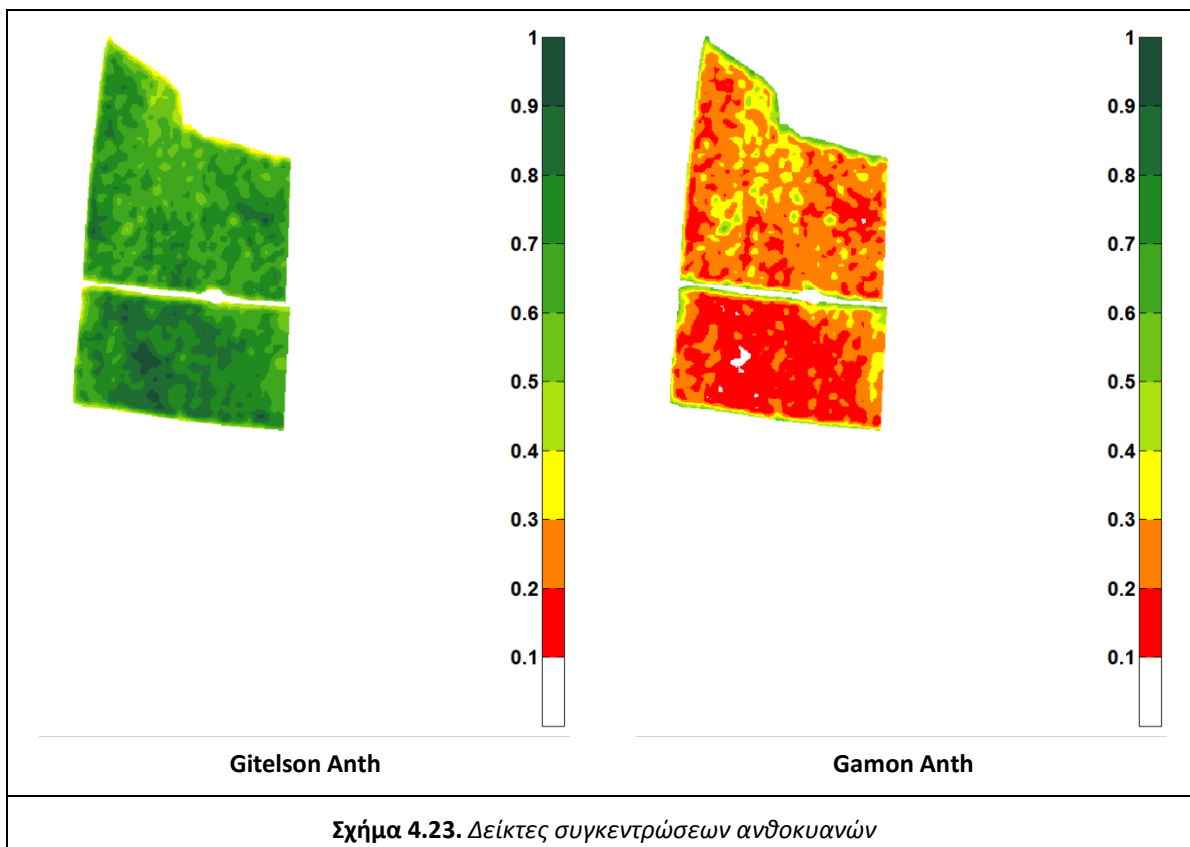
Στο Σχήμα 4.22. φαίνονται τα αποτελέσματα από τον υπολογισμό δεικτών που εκτιμούν την αναλογία στις συγκεντρώσεις καροτενοειδών και χλωροφύλλης. Στα αριστερά, εμφανίζεται ο Κανονικοποιημένος Δείκτης Χρωστικών Χλωροφύλλης (Normalized Pigment Chlorophyll Index, NPCI) που αναπτύχθηκε από τους Penueles et. al (1994). Στα δεξιά, παρουσιάζεται ο Δείκτης Χρωστικών Απλού Λόγου (Simple Ratio Pigment Index, SRPI) που αναπτύχθηκε από τους Penueles et. al (1995).

Ο NPCI είναι αντιστρόφως ανάλογος με το λόγο των συγκεντρώσεων καροτενοειδών προς τις συγκεντρώσεις χλωροφύλλης, ενώ ο SRPI είναι ανάλογος. Συνεπώς, οι δύο δείκτες είναι αντίστροφοι μεταξύ τους. Παρουσιάζουν όμως τις ίδιες ομαδοποιήσεις επιπέδων του λόγου καροτενοειδών/χλωροφύλλης. Εκτιμώντας σε συνδυασμό τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τους δείκτες χλωροφύλλης και τους δείκτες καροτενοειδών ξεχωριστά, προκύπτει ότι οι NPCI και SRPI, που εκτιμούν το λόγο των δύο παραμέτρων, λειτουργούν σωστά.



Στο Σχήμα 4.23. παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τον υπολογισμό δεικτών που εκτιμούν τις συγκεντρώσεις ανθοκυανών. Στα αριστερά, εμφανίζεται ο Gitelson-Anth που αναπτύχθηκε από τον Gitelson et al. (2006), Στα δεξιά, φαίνεται ο Gamon Anth που προτάθηκε από τους Gamon and Surfus (1999).

Οι δύο δείκτες είναι αντίστροφοι μεταξύ τους, με τον Gitelson-Anth να είναι αυτός που απεικονίζει τα επίπεδα των ανθοκυανών με την ορθή αναλογία. Παρά την αντιστροφή, παρατηρείται πως οι δύο δείκτες απεικονίζουν τα ίδια επίπεδα ανθοκυανών. Τα συγκεκριμένα αμπελοτεμάχια Syrah που απεικονίζονται έδωσαν κρασί παλαίωσης υψηλής ποιότητας. Οι υψηλές συγκεντρώσεις σε ανθοκυανές, προσφέρουν εντονότερο χρώμα και καλύτερη ποιότητα στο κρασί. Συνεπώς, επαληθεύεται το αποτέλεσμα των παραπάνω δεικτών.



4.2.3 Τεχνολογική Ωρίμανση, Χρώμα, Πολυφαινόλες

Στο Σχήμα 4.24. παρουσιάζονται αποτελέσματα για την εκτίμηση του βαθμού τεχνολογικής ωρίμανσης, των επιπέδων σακχάρων και των επιπέδων οξύτητας. Οι χάρτες αυτοί προκύπτουν από τα όσα πρότειναν οι Meggio et al. (2010) για τις συσχετίσεις ανάμεσα σε ποιοτικά χαρακτηριστικά αμπελώνων και τηλεπισκοπικών δεικτών.

Συγκεκριμένα, πρότειναν τη συσχέτιση της παραμέτρου °BRIX (ποσοστό περιεκτικότητας σακχάρων κατά βάρος) με το δείκτη Gitelson Chl-1. Επίσης, πρότειναν την αρνητική συσχέτιση του pH με το δείκτη Gamon-Anth. Όσον αφορά την εκτίμηση της περιεκτικότητας σε μηλικό οξύ, βρέθηκε μεγάλη αρνητική συσχέτιση με το δείκτη Gitelson-Car1. Επιπροσθέτως, πρότειναν την αρνητική συσχέτιση του δείκτη τεχνολογικής ωρίμανσης IMAD, με το δείκτη Gitelson-Car2. Στην περίπτωση του IMAD, προτάθηκαν και συγκεκριμένες εξισώσεις υπολογισμού.

Όσον αφορά στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, ήταν διαθέσιμα για τα τεμάχια του Sauvignon Blanc, δεδομένα δειγματοληψίας σακχάρων/οξέων που πραγματοποιήθηκε στις 13/8. Αν και η ημερομηνία αυτή ήταν περίπου δέκα ημέρες μετά τη λήψη των δορυφορικών εικόνων, κρίθηκε πως η σχετική κατάσταση των σακχάρων/οξέων δεν άλλαξε στο μεσοδιάστημα.

Συγκεκριμένα, η τιμή του pH στο άνω τμήμα του Sauvignon Blanc ήταν 3,09, δηλαδή μεγαλύτερη από την αντίστοιχη για το κάτω τμήμα που ήταν 3,04. Στο σχήμα 4.24 έχει

αποτυπωθεί σωστά η διαβάθμιση αυτή, επιβεβαιώνοντας την αρνητική συσχέτιση με τον παρουσιαζόμενο δείκτη, όπως προτάθηκε από τους Meggio et al. (2010).

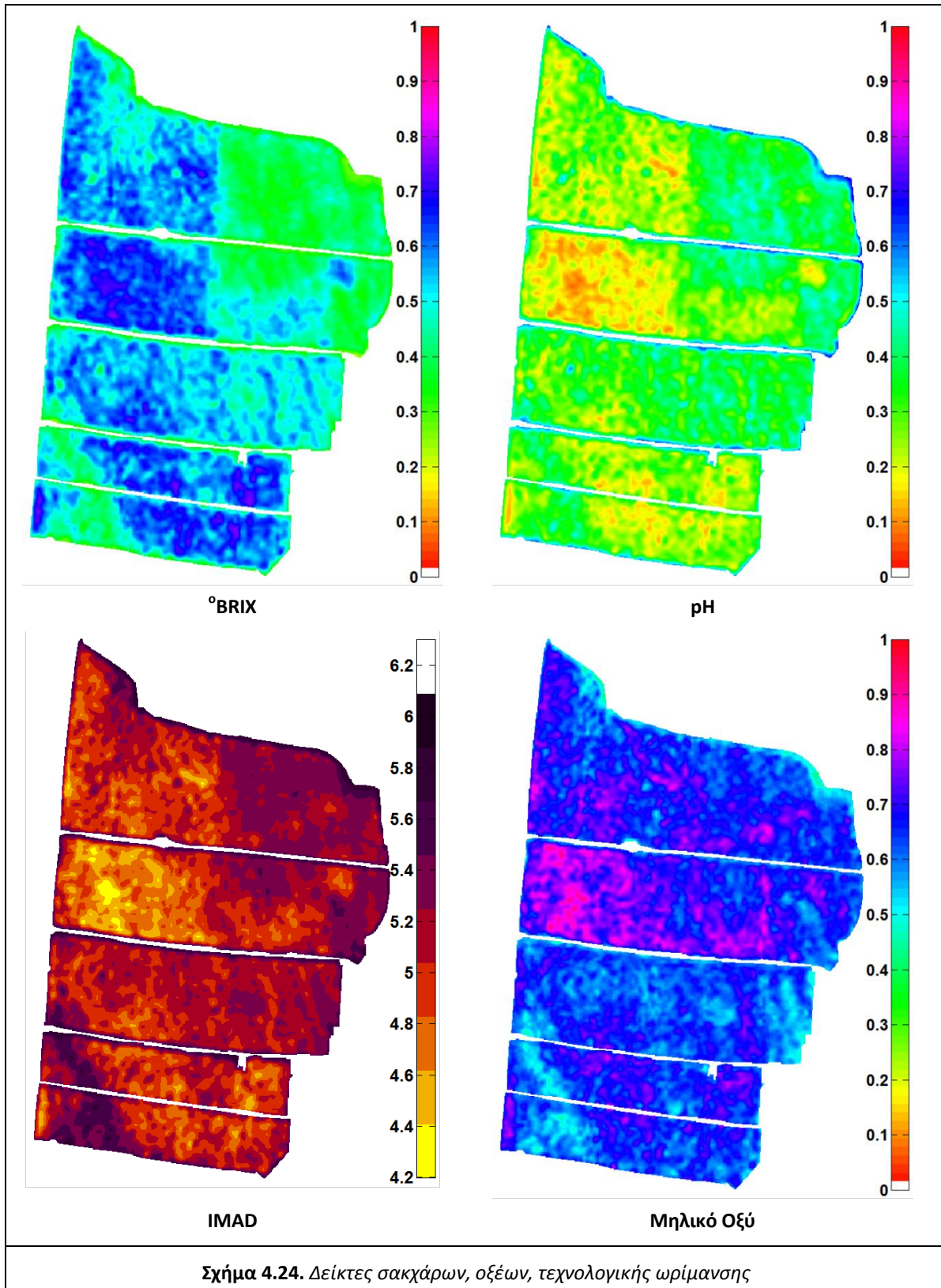
Για τα επίπεδα °BRIX, υπήρχαν διαθέσιμες τιμές για τον Δυναμικό Αλκοολικό Τίτλο (ΔΑΤ). Οι δύο αυτές μεταβλητές εκφράζουν περιεκτικότητα σακχάρων με διαφορετικό τρόπο, συνεπώς συνδέονται με γραμμική σχέση. Στο άνω τμήμα του Sauvignon Blanc, η τιμή για τον ΔΑΤ ήταν 12, μεγαλύτερη από την αντίστοιχη για το κάτω τμήμα που ήταν 9,4. Ο χάρτης για τους °BRIX, δίνει μέσο όρο τιμών περίπου 0.4 για το άνω τμήμα και 0.3 για το κάτω. Συνεπώς, τα αποτελέσματα του κρίνονται αξιόπιστα.

Όσον αφορά στο δείκτη IMAD, οι διαβαθμίσεις του έδειχναν ακριβώς τη σειρά με την οποία τρυγήθηκαν τα αμπέλια, ανάγοντας τον σε πολύ καλό εκτιμητή της πρωιμότητας και της τεχνολογικής ωρίμανσης για την επιλεκτική διαχείριση στον τρύγο. Επίσης, οι τιμές του είχαν γραμμική συσχέτιση με τις αντίστοιχες τιμές ΔΑΤ/ΟΟ της δειγματοληψίας (βλ. υποεν 3.4.3). Τα αποτελέσματα της αναγωγής του IMAD σε ΔΑΤ/ΟΟ εμφανίζονται στην ενότητα 4.3.

Το μηλικό οξύ δεν είναι μια άμεσα μετρήσιμη ποσότητα. Τα επίπεδα του εκτιμώνται από την πτώση των οξέων όσο πλησιάζει η εποχή του τρύγου. Συνεπώς, είναι δύσκολο να αξιολογηθεί η συμπεριφορά του παρακάτω δείκτη, χωρίς διαχρονικά δεδομένα.

Στο Σχήμα 4.24., παρατηρείται πως το τμήμα με τις μικρότερες εκτιμηθείσες συγκεντρώσεις μηλικών οξέων είναι το κάτω κομμάτι του Syrah. (υπάρχει αρνητική συσχέτιση). Στο δείκτη IMAD, το εν λόγω τμήμα εμφανίζει τις χαμηλότερες τιμές, που σημαίνει ότι ήταν το λιγότερο ώριμο τη δεδομένη χρονική στιγμή. Στην πράξη ήταν από τα τελευταία αμπελοτεμάχια που τρυγήθηκαν στην περιοχή.

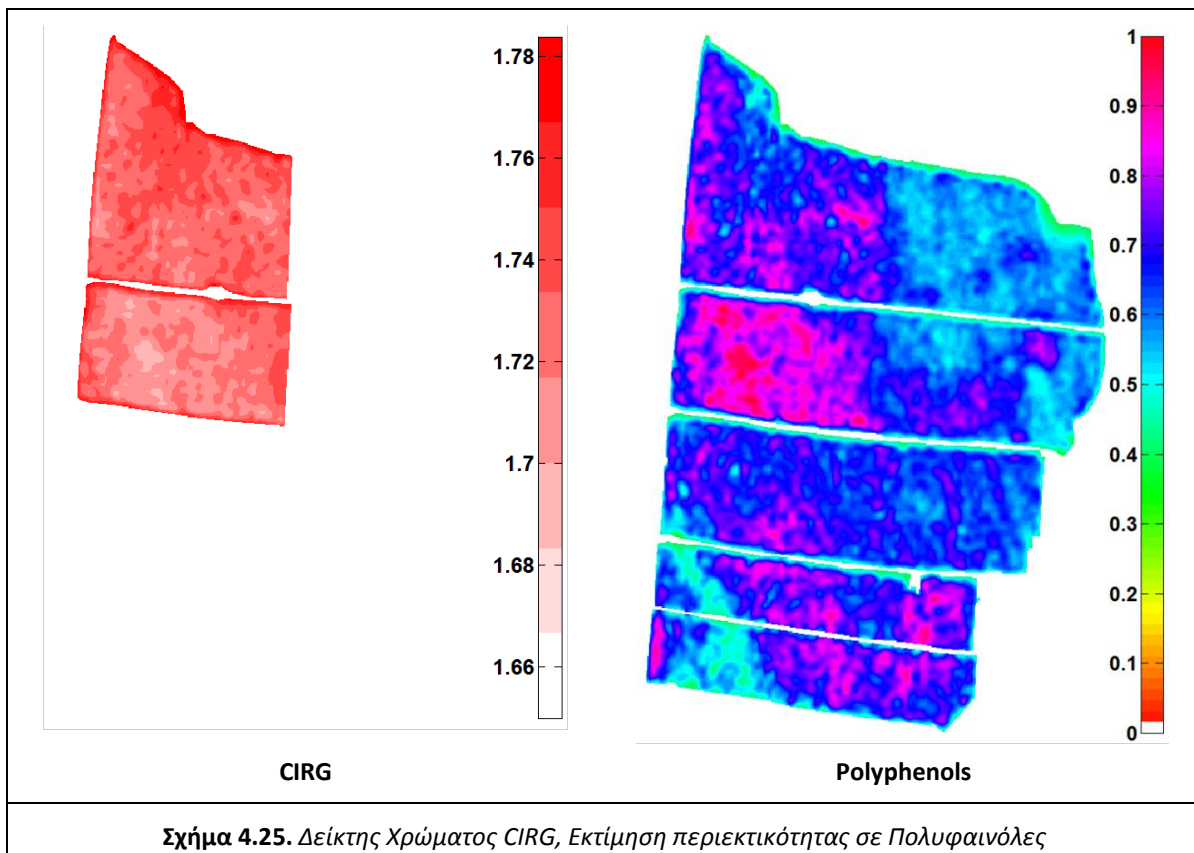
Είναι γνωστό ότι, όσο ωριμάζει το σταφύλι, μειώνονται οι συγκεντρώσεις του μηλικού οξέος. Άρα δεν είναι λογικό να παρατηρείται ότι το αμπελοτεμάχιο που τρυγήθηκε τελευταίο είχε τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις μηλικών οξέων, τη δεδομένη χρονική στιγμή.



Στο Σχήμα 4.25. παρουσιάζονται αποτελέσματα για τις εκτιμήσεις των συγκεντρώσεων σε πολυφαινόλες και για τον Δείκτη Χρώματος Κόκκινων Σταφυλιών (Chromatic Index for Red Grapes, CIRG). Τα εν λόγω αποτελέσματα, βασίζονται στις συσχετίσεις ανάμεσα σε ποιοτικά χαρακτηριστικά αμπελώνων και τηλεπισκοπικών δεικτών που πρότειναν οι Meggio et al. (2010). Όσον αφορά τις συγκεντρώσεις σε πολυφαινόλες βρέθηκε η αρνητική συσχέτιση τους με το δείκτη Blackburn-Car1. Για τον CIRG, προτάθηκε η αρνητική συσχέτιση του με το δείκτη Gitelson-Car2.

Υψηλά επίπεδα πολυφαινολών δίνουν έντονο χρώμα, και οδηγούν σε κρασιά παλαιώσης υψηλής ποιότητας. Τα υψηλότερα επίπεδα πολυφαινολών στο παρακάτω σχήμα, εντοπίστηκαν στα αμπελοτεμάχια Syrah από τα οποία προέκυψε υψηλής ποιότητας κρασί. Συνεπώς, ο συγκεκριμένος δείκτης λειτουργεί σωστά. Στον αντίποδα, ο CIRG, παρουσίασε αντίστροφα αποτελέσματα από τα αναμενόμενα. Οι περιοχές με χαμηλές τιμές έδωσαν κρασί με εντονότερο χρώμα, ενώ οι περιοχές με υψηλές τιμές έδωσαν κρασί με χαμηλότερης έντασης χρώμα.

Οι Meggio et al. πρότειναν αρνητική συσχέτιση του CIRG με τον Gitelson Car-2, ο οποίος εντοπίζει επίπεδα καροτενοειδών. Δηλαδή, βρήκαν πως τα αμπέλια με χαμηλές συγκεντρώσεις καροτενοειδών δίνουν κρασί με χαμηλότερης έντασης χρώμα. Αυτό ενδέχεται να ισχύει για την ποικιλία Tempranillo, αλλά σίγουρα δεν ισχύει για το Syrah. Τα καροτενοειδή είναι πολύ σημαντικά για την εν λόγω ποικιλία, της προσδίδουν τα ιδιαίτερα της αρωματικά χαρακτηριστικά. Συνεπώς, ένας ποιοτικός οίνος Syrah, πιθανότατα προέρχεται από αμπέλια με αρκετά υψηλά επίπεδα καροτενοειδών.



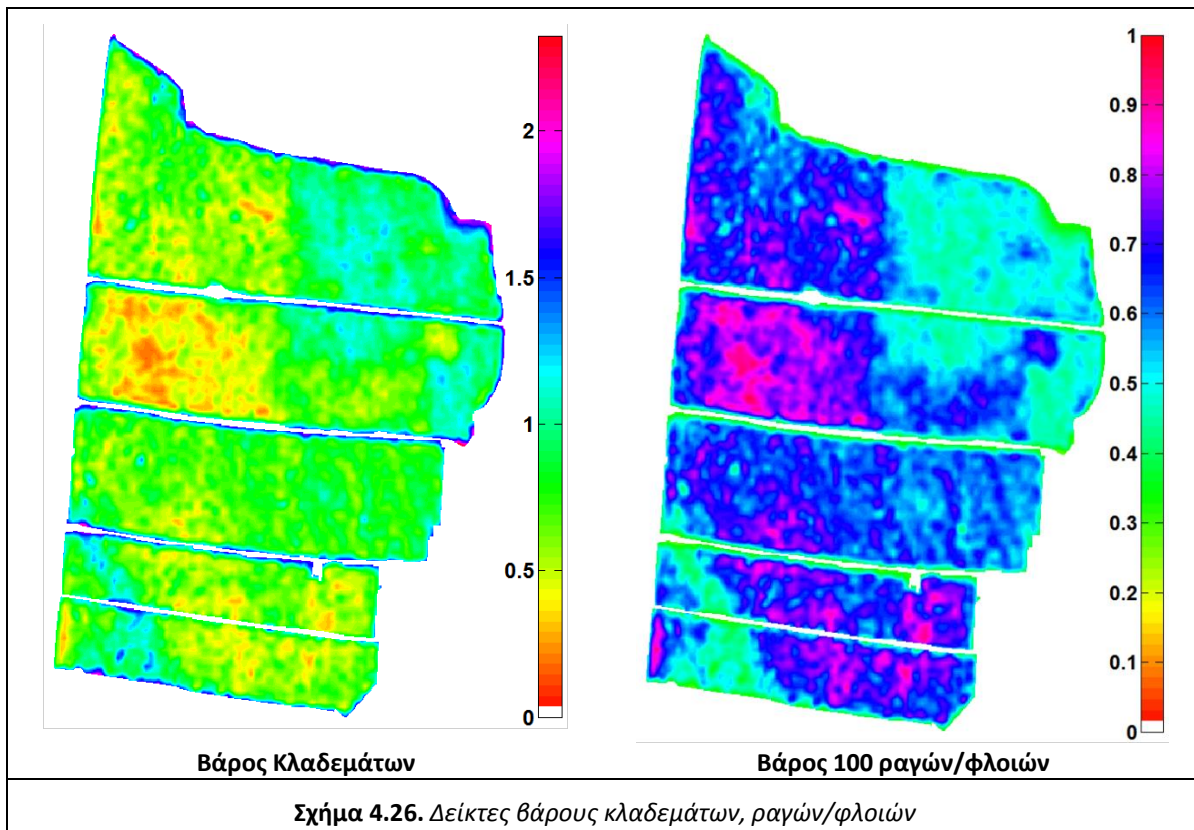
4.2.4 Λοιπά Χαρακτηριστικά

Στο Σχήμα 4.26. εμφανίζονται τα αποτελέσματα για τις εκτιμήσεις των βαρών κλαδεμάτων και των βαρών φλοιών/ραγών. Οι κλίμακες απεικονίζουν σχετικές και όχι απόλυτες διακυμάνσεις. Όπως παραπάνω, οι απεικονίσεις αυτές βασίζονται στις συσχετίσεις ανάμεσα σε ποιοτικά χαρακτηριστικά αμπελώνων και τηλεπισκοπικών δεικτών που πρότειναν οι Meggio et al. (2010).

Όσον αφορά στα βάρη κλαδεμάτων, βρήκαν συσχέτιση τους με το λόγο των δεικτών TCARI/OSAVI. Για τα βάρη 100 ραγών και τα βάρη 100 φλοιών, προτάθηκε συσχέτιση και των δύο με το δείκτη Gitelson Chl-1.

Τα βάρη κλαδεμάτων αλλά και τα βάρη ραγών και φλοιών είναι συνάρτηση της ευρωστίας. Ένα πολύ εύρωστο κλήμα, συνήθως χρειάζεται περισσότερο κλάδεμα, και δίνει καρπούς μεγαλύτερου βάρους.

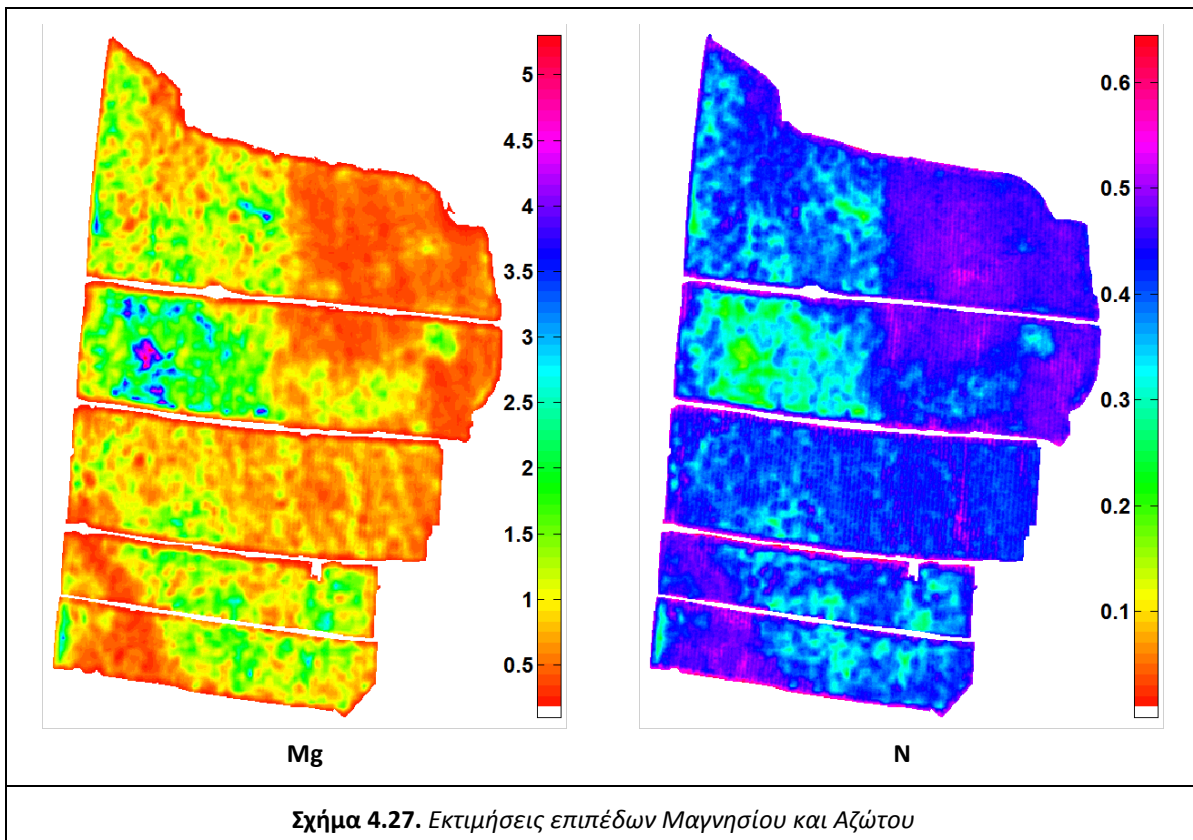
Συνεπώς, παρατηρείται ότι μάλλον υπάρχει πρόβλημα στον προσδιορισμό των βαρών κλαδεμάτων μέσω του λόγου TCARI/OSAVI, καθώς δίνει αντίστροφα αποτελέσματα από τα αναμενόμενα. Στον αντίποδα, ο Gitelson Chl-1 φαίνεται να λειτουργεί σωστά εκτιμώντας μεγαλύτερα βάρη ραγών/φλοιών στις περιοχές με μεγαλύτερη ευρωστία.



Στο Σχήμα 4.27. εμφανίζονται τα αποτελέσματα για τις εκτιμήσεις των επιπέδων των στοιχείων άζωτο και μαγνήσιο (N, Mg). Οι κλίμακες απεικονίζουν σχετικά επίπεδα

διακύμανσης και όχι απόλυτες τιμές για τα στοιχεία αυτά. Η παραγωγή των παρακάτω χαρτών έγινε με χρήση των όσων πρότειναν οι Gil-Perez et al. (2010).

Όσον αφορά στην περιεκτικότητα σε μαγνήσιο, βρέθηκε αρνητική συσχέτιση με το λόγο δεικτών $MCARI_2 / (TCARI / OSAVI)$. Για την περιεκτικότητα σε άζωτο προτάθηκε η αρνητική συσχέτιση της με το γινόμενο δεικτών $MCARI_2 * (TCARI / OSAVI)$. Λόγω έλλειψης χημικών αναλύσεων για τα επίπεδα των εν λόγω στοιχείων, δεν κατέστη δυνατό να επιβεβαιωθούν τα συγκεκριμένα ποσοστά.



4.3 Παραγωγή Χαρτών με βάση Αποτελέσματα Δειγματοληψιών και Εργαστηριακών Αναλύσεων

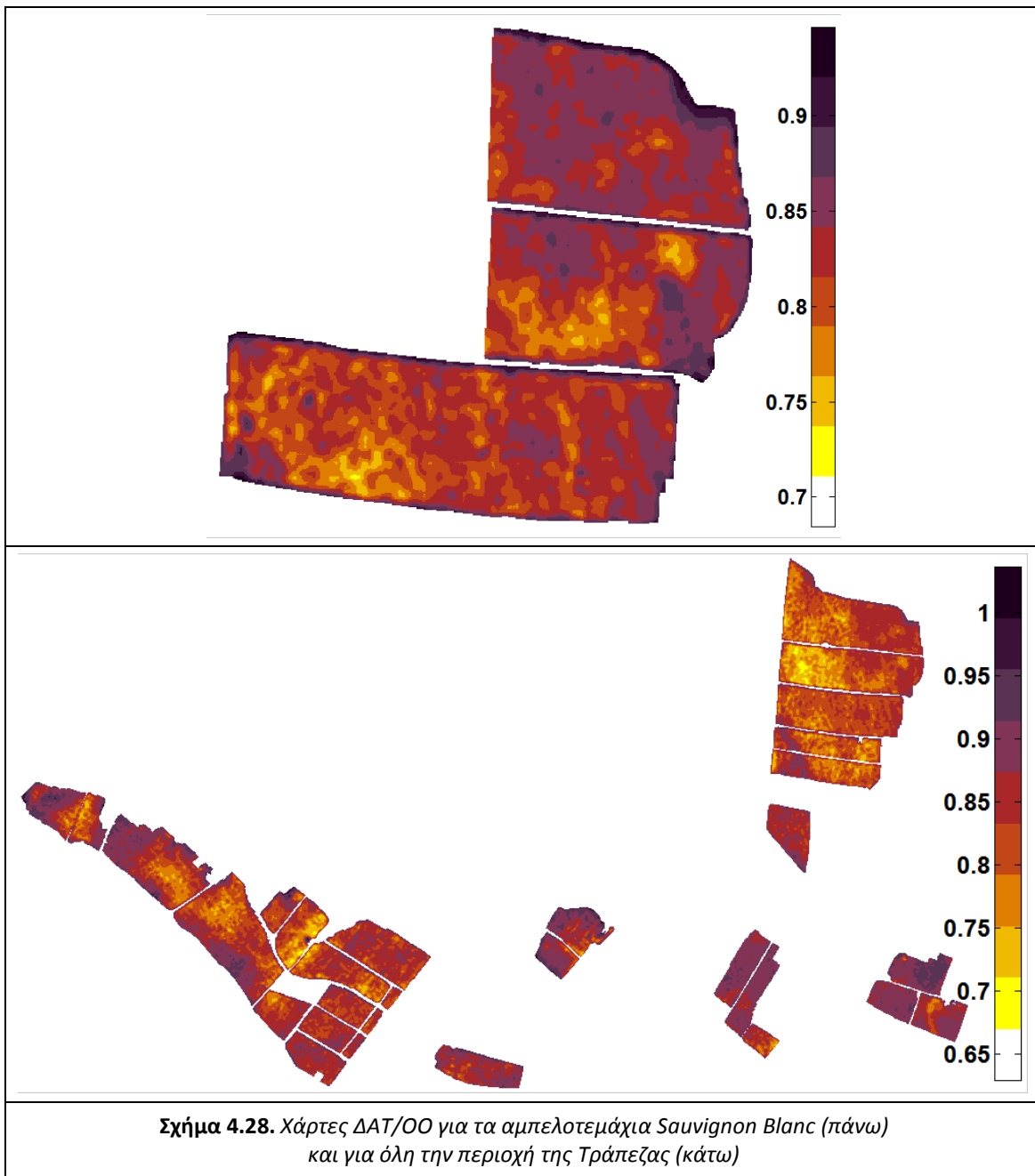
Στην παρακάτω ενότητα παρουσιάζονται αποτελέσματα χαρτών που έχουν συσχετιστεί με διαθέσιμα δεδομένα. Οι απεικονιζόμενες κλίμακες ανταποκρίνονται σε πραγματικές μετρούμενες τιμές, στο σταφύλι, το μούστο και το κρασί.

Σάκχαρα, Οξέα

Στο σχήμα 4.28. παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για το λόγο $\Delta AT/OO$ (Δυναμικός Αλκοολικός Τίτλος / Ολική Οξύτητα) όπως υπολογίστηκαν σύμφωνα με τα περιεχόμενα της υποενότητας 3.4.3. Στο άνω τμήμα εμφανίζεται το αποτέλεσμα του λόγου για τα

αμπελοτεμάχια στα οποία υπήρχαν δεδομένα εδάφους, δηλαδή τα αμπελοτεμάχια της ποικιλίας Sauvignon Blanc. Στο κάτω τμήμα παρουσιάζεται το αντίστοιχο αποτέλεσμα για όλη την περιοχή της Τράπεζας. Τα αποτελέσματα αυτά συνδέονται γραμμικά με το δείκτη IMAD.

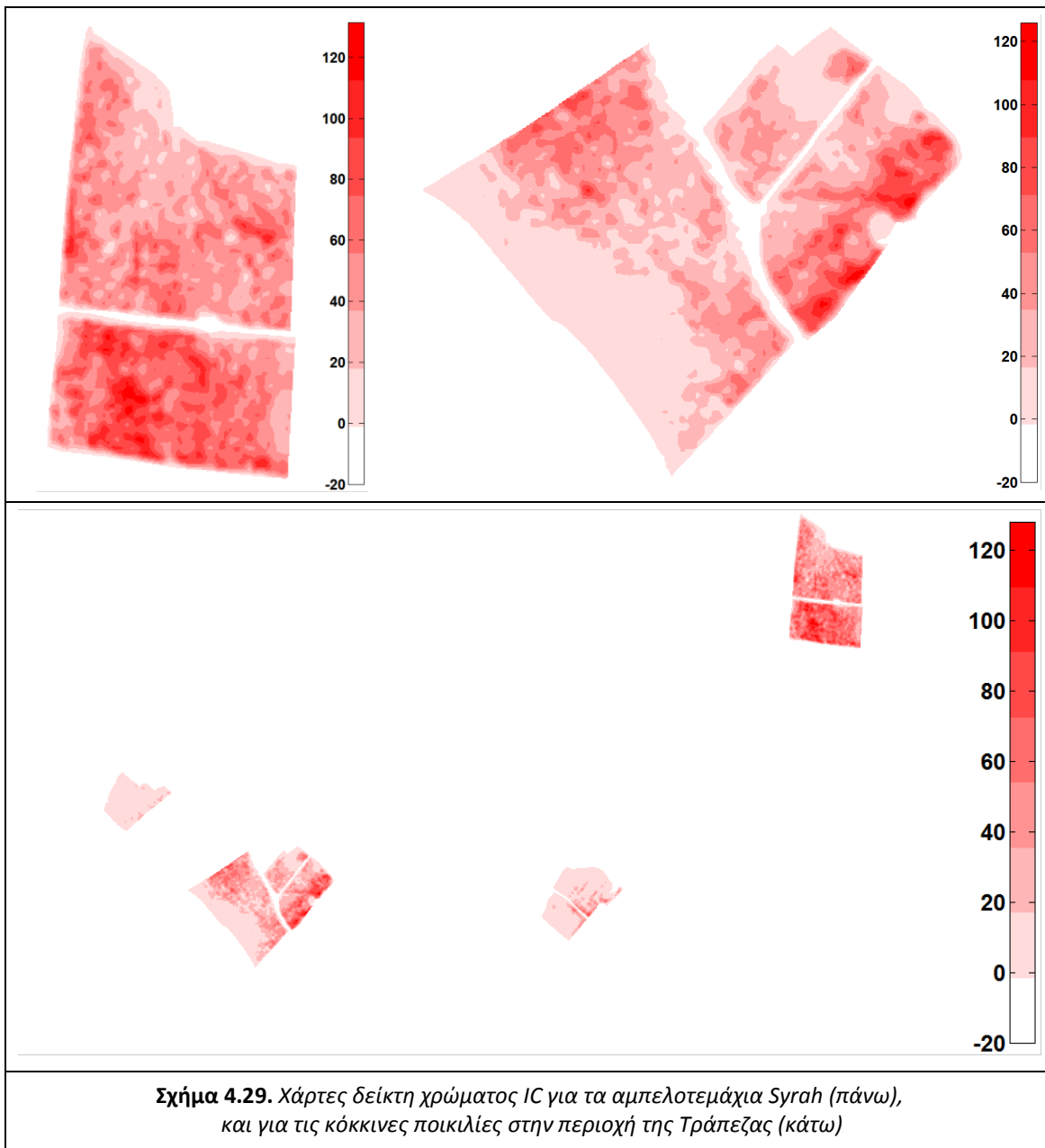
Η αξιοπιστία των τιμών για όλη την περιοχή δεν μπορεί να ελεγχθεί καθώς δεν υπήρχαν τιμές δειγματοληψίας σακχάρων/οξέων για τις υπόλοιπες ποικιλίες, ούτε γεωγραφικές συντεταγμένες για τις θέσεις δειγματοληψίας. Επίσης, οι χάρτες αυτοί δεν αντικατοπτρίζουν την κατάσταση των αμπελώνων την ημέρα που λήφθηκαν οι εικόνες, αλλά την κατάσταση τους στις 13/8 που έγινε η δειγματοληψία στα Sauvignon Blanc.



Σχήμα 4.28. Χάρτες ΔΑΤ/ΟΟ για τα αμπελοτεμάχια Sauvignon Blanc (πάνω) και για όλη την περιοχή της Τράπεζας (κάτω)

Χρώμα

Στο σχήμα 4.29. παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για το δείκτη χρώματος IC όπως υπολογίστηκε σύμφωνα με τα περιεχόμενα της υποενότητας 3.4.3. Στο άνω τμήμα εμφανίζεται το αποτέλεσμα του δείκτη για τα αμπελοτεμάχια Syrah στα οποία υπήρχαν δεδομένα ελέγχου ενώ κάτω παρουσιάζεται το αντίστοιχο αποτέλεσμα για το σύνολο των κόκκινων ποικιλιών στην περιοχή της Τράπεζας. Τα αποτελέσματα αυτά, αντιστοιχούν σε χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος. Οι συγκεκριμένες τιμές αφορούν στο δείκτη χρώματος στο τέλος της διαδικασίας εκχύλισης, που διαρκεί διαφορετικό χρόνο για κάθε προϊόν οίνου.



Σχήμα 4.29. Χάρτες δείκτη χρώματος IC για τα αμπελοτεμάχια Syrah (πάνω), και για τις κόκκινες ποικιλίες στην περιοχή της Τράπεζας (κάτω)

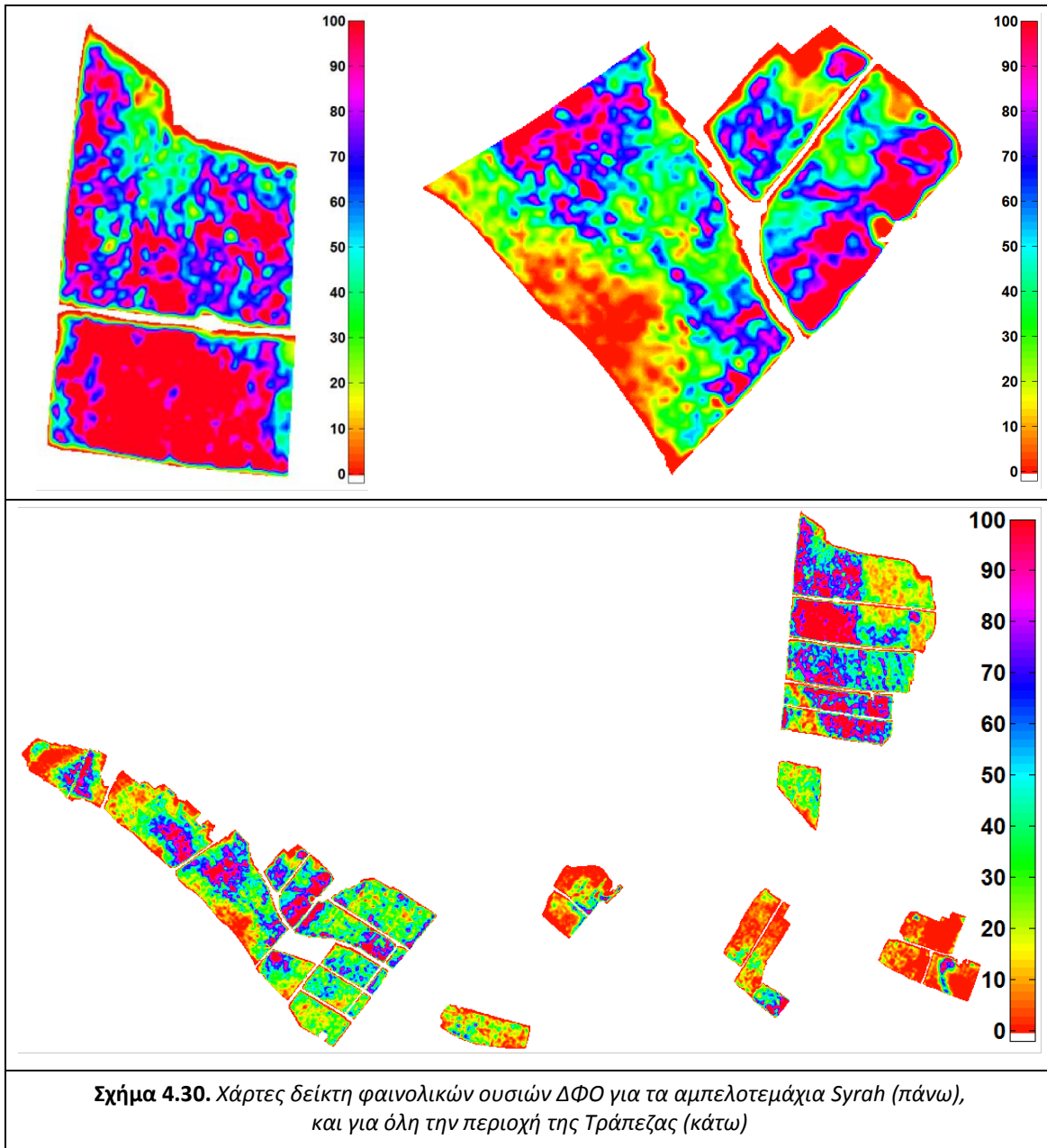
Άνω αριστερά, παρουσιάζονται δύο αμπελοτεμάχια Syrah που αξιοποιήθηκαν για την παραγωγή οίνου παλαίωσης υψηλής ποιότητας. Άνω δεξιά, παρουσιάζονται τρία αμπελοτεμάχια Syrah τα οποία έδωσαν ροζέ κρασί και κρασί ασκού. Συγκεκριμένα, το ροζέ κρασί προήλθε από τη νοτιοδυτική περιοχή του μεγαλύτερου αμπελοτεμαχίου – που απεικονίζεται με ροζ χρώμα – το κρασί ασκού προήλθε από τα υπολειπόμενα τμήματα αμπελοτεμαχίων.

Τα αποτελέσματα του δείκτη δεν μπορούν να συσχετιστούν γραμμικά με τα δεδομένα ελέγχου. Οι τρεις διαθέσιμες τιμές για το δείκτη χρώματος IC, ήταν περίπου 2, 38 και 40 για ροζέ, ασκό και βαρέλι αντίστοιχα, ενώ οι αντίστοιχες τιμές του δείκτη Gitelson Car-2 ήταν 0.53, 0.67 και 0.74. Αναγκαστικά, χρησιμοποιήθηκε δευτεροβάθμια συνάρτηση για τη συσχέτιση τους. Οι μέγιστες τιμές που δίνει η εν λόγω συνάρτηση ήταν πάνω από τα φυσιολογικά όρια. Συγκεκριμένα, οι τιμές δείκτη χρώματος IC 38 και 40 θεωρούνται ήδη εξαιρετικά μεγάλες, σύμφωνα με τον οινολόγο Τάσο Δροσιάδη. Επίσης, τα διαφορετικά αμπελοτεμάχια τρυγήθηκαν σε διαφορετικές ημερομηνίες και έμειναν διαφορετικό χρόνο στη δεξαμενή για τη διαδικασία εκχύλισης. Στον αντίποδα, ο δείκτης Gitelson Car-2 αξιολογεί τα αμπελοτεμάχια στο χρόνο λήψης της δορυφορικής εικόνας.

Πολυφαινόλες

Στο Σχήμα 4.30. παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τον Δείκτη Φαινολικών Ουσιών όπως υπολογίστηκε σύμφωνα με τα περιεχόμενα της υποενότητας 3.4.3. Στο άνω τμήμα εμφανίζεται το αποτέλεσμα του δείκτη για τα αμπελοτεμάχια Syrah στα οποία υπήρχαν δεδομένα εδάφους ενώ κάτω παρουσιάζεται το αντίστοιχο αποτέλεσμα για όλη την περιοχή της Τράπεζας. Όπως και στην περίπτωση του IC, τα αποτελέσματα αυτά, αντιστοιχούν σε εκτίμηση για χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος. Οι συγκεκριμένες τιμές αφορούν στο δείκτη στο τέλος της διαδικασίας εκχύλισης, που διαρκεί διαφορετικό χρόνο για κάθε προϊόν οίνου. Οι περιοχές για τις οποίες υπήρχαν στοιχεία δεξαμενής για τον ΔΦΟ είναι οι ίδιες για τις οποίες υπήρχαν στοιχεία για το δείκτη χρώματος IC.

Σημειώνεται πως στις περιοχές που προέκυψαν τιμές του ΔΦΟ μεγαλύτερες από 100, δόθηκε αυτή η τιμή. Ο ΔΦΟ είναι ένα ποσοστό απορρόφησης στα 280 nm, και δεν μπορεί να ξεπερνά την εν λόγω τιμή. Τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν στην περίπτωση του IC εμφανίζονται και εδώ. Χαρακτηριστικά που αφορούν στη λήξη της διαδικασίας εκχύλισης, ειδικά όταν πρόκειται για διαφορετικά προϊόντα, είναι δύσκολο να παρουσιαστούν σε έναν ομοιογενή χάρτη. Αυτό συμβαίνει διότι η διαδικασία εκχύλισης διαρκεί διαφορετικό χρόνο για κάθε προϊόν. Παραδείγματος χάριν, για ένα ροζέ κρασί διαρκεί πολύ λιγότερο απ' ότι για ένα κρασί παλαίωσης.



Σχήμα 4.30. Χάρτες δείκτη φαινολικών ουσιών ΔΦΟ για τα αμπελοτεμάχια Syrah (πάνω), και για όλη την περιοχή της Τράπεζας (κάτω)

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Συνοψίζοντας, παρουσιάζονται παρακάτω τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Επίσης, κατατίθενται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα, όπως προέκυψαν κατά την ενασχόληση με το αντικείμενο.

Όσον αφορά στις **συσχετίσεις φασματικών υπογραφών**:

- ✓ Οι φασματικές υπογραφές που εξήχθησαν από τα δεδομένα του δορυφόρου WV2 εμφάνισαν υψηλά ποσοστά συσχέτισης με τις αντίστοιχες που προέκυψαν από τα προσομοιωμένα δεδομένα ελέγχου, όπως υπολογίστηκαν από τις καταγραφές του φασματογράφου χειρός.

Συγκεκριμένα, και στις δύο περιοχές, τα ποσοστά ήταν από 60 έως 85% για τη συσχέτιση των φασματικών υπογραφών από τα πρωτογενή και τα συγχωνευμένα δεδομένα με τις φασματικές υπογραφές που προέκυψαν από τα προσομοιωμένα δεδομένα εδάφους για την ακτινοβολία των αντικειμένων. Όπως ήταν αναμενόμενο, τα ποσοστά συσχέτισης μετά από ατμοσφαιρική διόρθωση ήταν σημαντικά υψηλότερα, από 90 έως 99% για τη συσχέτιση ανάμεσα στις φασματικές υπογραφές από τα ατμοσφαιρικά διορθωμένα δεδομένα και τις φασματικές υπογραφές που εξήχθησαν από τα προσομοιωμένα δεδομένα εδάφους για την ανακλαστικότητα. Η πιθανότητα να είχε αστοχήσει κάποιο από τα παραπάνω μοντέλα ήταν, σε κάθε περίπτωση, μικρότερη από 2.2%, κάτω δηλαδή από το γενικά αποδεκτό όριο 5%.

- ✓ Τα δορυφορικά δεδομένα του WV2, με τις κατάλληλες επεξεργασίες, κρίθηκαν κατάλληλα για την παρατήρηση της βλάστησης και συγκεκριμένα για εφαρμογές Αμπελουργίας Ακριβείας.

Συγκεκριμένα, τα δεδομένα WV2, με τη φασματική πληροφορία 8 καναλιών, παρέχουν τη δυνατότητα υπολογισμού αρκετών τηλεπισκοπικών δεικτών της βιβλιογραφίας, που συνήθως εφαρμόζονται σε υπερφασματικά δεδομένα, για την παρακολούθηση παραμέτρων της βλάστησης. Παράλληλα, διαπιστώθηκε ότι η ατμοσφαιρική διόρθωση στα δορυφορικά δεδομένα WV2, μπορεί να συμβάλλει τα μέγιστα στη συσχέτιση και το διαχωρισμό ποικιλιών. Επίσης, παρατηρήθηκε ότι η συγχώνευση δεν προσέφερε κάποιο καλύτερο αποτέλεσμα στο φασματικό διαχωρισμό των ποικιλιών. Παρ' ολ' αυτά, προσέφερε υψηλότερη χωρική ευκρίνεια, που ήταν απαραίτητη για την ανίχνευση του γραμμικού προτύπου των αμπελιών.

- ✓ Οι μέγιστες διαφορές ανάμεσα στις φασματικές υπογραφές των διαφόρων ποικιλιών αμπέλου εμφανίζονται στα υπέρυθρα κανάλια (7 και 8) του δορυφόρου WV2.

Στα πειράματα στην περιοχή της Τράπεζας, οι διαφορές φασματικών υπογραφών από τα πρωτογενή και τα συγχωνευμένα δορυφορικά δεδομένα στα δύο αυτά κανάλια, κατέδειξαν ότι γενικά όλες οι ποικιλίες μπορούν να διαχωριστούν μεταξύ τους. Μοναδική εξαίρεση ήταν το ζεύγος Σταφίδα-Sauvignon Blanc. (βλ υποεν. 4.1.3, Σχήματα 4.12., 4.13.). Στη διπλωματική εργασία της κ. Χριστίνας Καρακίζη (2013), διεξήχθη αντικειμενοστραφής

ταξινόμηση των συγχωνευμένων δεδομένων στην περιοχή της Τράπεζας, που έδωσε ακόμα καλύτερα αποτελέσματα διαχωρισμού ανάμεσα στις ποικιλίες.

Στα πειράματα στην περιοχή του Μεγαπλάτανου, η κατάσταση ήταν αρκετά πιο πολύπλοκη διότι υπήρχαν 17 διαφορετικές ποικιλίες αμπέλου. Παρ' ολ' αυτά, εξήχθησαν τα εξής γενικά συμπεράσματα: Στα κανάλια 8 και 7 οι πέντε ερυθρές ποικιλίες της περιοχής, δεν διαχωρίζονταν εύκολα μεταξύ τους. Στον αντίποδα, οι λευκές ποικιλίες παρουσίαζαν σε γενικές γραμμές μεγαλύτερη διαχωρισιμότητα μεταξύ τους. Συγκεκριμένα, μια πολύ σημαντική ποικιλία της περιοχής, η Ρομπόλα, φάνηκε να ξεχωρίζει από όλες τις υπόλοιπες σε ικανοποιητικό βαθμό. Επίσης, όλες οι ερυθρές ποικιλίες διαχωρίζονταν γενικά από όλες τις λευκές. (βλ υποεν. 4.1.3, Σχήματα 4.14., 4.15.).

- ✓ Τα δεδομένα του WV2, σε συνδυασμό με κατάλληλες επεξεργασίες, χαρακτηρίζονται από ικανοποιητική επαναληψιμότητα και δίνουν τη δυνατότητα για τυποποίηση και συστηματοποίηση των διαδικασιών χαρτογράφησης στην αμπελουργία ακριβείας. (βλ. υποεν. 4.1.3)

Τα ποσοστά συσχέτισης των ίδιων ποικιλιών ανάμεσα στις δύο περιοχές ήταν αρκετά υψηλά (91-98%). Το μικρότερο σχετικά ποσοστό, που αντιστοιχούσε στην ποικιλία Sauvignon Blanc, οφειλόταν στην παρουσία δύο διαφορετικών κλώνων της στην περιοχή της Τράπεζας, με αισθητά διαφορετική απόκριση στο φάσμα.

Όσον αφορά στην **εκτίμηση ποιοτικών & ποσοτικών χαρακτηριστικών σε αμπελώνες**:

- ✓ Από την **ποιοτική ανάλυση** και τη συνεργασία με τους οινοποιούς/αμπελουργούς των περιοχών μελέτης, προέκυψαν σημαντικές συσχετίσεις ανάμεσα στα υπολογισθέντα σχετικά επίπεδα για διάφορα χαρακτηριστικά και τη διαχρονική συμπεριφορά των αμπελώνων. Αναδείχθηκαν, επίσης, χωρικές διαφοροποιήσεις μέσα σε κάθε αμπελοτεμάχιο, ικανές να οδηγήσουν στη διεξαγωγή επιτυχούς επιλεκτικού τρύγου.

Σημειώνεται πως, την εποχή του περκασμού, το ενδιαφέρον συγκεντρώνεται κυρίως στα επίπεδα ευρωστίας και τεχνολογικής ωρίμανσης, ως βοηθήματα για την εφαρμογή επιλεκτικού τρύγου. Συγκεκριμένα, τα χαρακτηριστικά που εμφάνισαν τα καλύτερα αποτελέσματα ήταν τα: ζωηρότητα, ευρωστία, συγκεντρώσεις χλωροφύλλης, συγκεντρώσεις καροτενοειδών, συγκεντρώσεις ανθοκυανών, βαθμός τεχνολογικής ωρίμανσης (σάκχαρα/οξέα), επίπεδα πολυφαινολών και βάρη ραγών/φλοιών.

Για παράδειγμα, στα αμπελοτεμάχια Syrah εντοπίστηκαν οι υψηλότερες συγκεντρώσεις καροτενοειδών. Αυτό αξιολογήθηκε ως λογικό, καθώς τα χαρακτηριστικά αρώματα της συγκεκριμένης ποικιλίας είναι προϊόν μεταβολισμού των εν λόγω χρωστικών.

Πρόβλημα αντιμετώπιστηκε στην ταυτοποίηση των δεδομένων για το δείκτη χρώματος CIRG. Ενώ αναμενόταν να είναι ανάλογος με τη χρωματική ένταση των παραχθέντων οίνων από τα εκάστοτε αμπελοτεμάχια, ήταν αντιστρόφως ανάλογος. Αυτό ενδεχομένως συνέβη διότι τα αμπέλια που μελέτησαν οι Meggio et al. (2010), ήταν επηρεασμένα από ανεπάρκεια σιδήρου. Σε τέτοιες συνθήκες τα φυτά με πολύ υψηλά επίπεδα καροτενοειδών, πιθανότατα είναι ασθενή και δεν μπορούν να παράγουν ποιοτικούς οίνους. Ένα διαφορετικό σενάριο, είναι αυτή η διαφοροποίηση να σχετίζεται με τις ποικιλίες που μελετήθηκαν.

Επίσης πρόβλημα αντιμετωπίστηκε στην ταυτοποίηση των αποτελεσμάτων για τα επίπεδα μηλικού οξέος, τα βάρη κλαδεμάτων και τα επίπεδα Αζώτου (N) και Μαγνησίου (Mg). Τα επίπεδα N και Mg, δεν κατέστη δυνατό να επιβεβαιωθούν, λόγω έλλειψης χημικών αναλύσεων. Η εκτίμηση των βαρών κλαδεμάτων είχε αντίστροφη συμπεριφορά από την αναμενόμενη. Έδειχνε, δηλαδή, μεγάλα βάρη κλαδεμάτων σε περιοχές μικρής ευρωστίας αντί σε περιοχές μεγάλης ευρωστίας που είναι και το φυσιολογικό. Η εκτίμηση του μηλικού οξέος, παρείχε επίσης αντίστροφα από τα αναμενόμενα αποτελέσματα. Η συγκεκριμένη μεταβλητή δεν είναι άμεσα μετρήσιμη στο πεδίο, συνεπώς η εκτίμηση της είναι μια δύσκολη διαδικασία.

Όσον αφορά στην εκτίμηση του LAI, προτείνεται η χρήση της εξίσωσης των Johnson et al.(2003). Αν και δεν υπήρχαν τα μέσα να ληφθούν δεδομένα εδάφους για τον LAI, μέσω της διεθνούς βιβλιογραφίας, η μέγιστη τιμή 5 που προέκυψε από την εξίσωση των Johnson et al. (2003) φαίνεται λογική για την εκτίμηση του LAI σε αμπελώνες.

- ✓ Όσον αφορά στην **ποσοτική ανάλυση**, τα αποτελέσματα οδήγησαν στην υλοποίηση συγκεκριμένων εξισώσεων συσχέτισης, αν και δεν υπήρχε ικανοποιητικό πλήθος δειγματοληπτικών παρατηρήσεων.

Για την ακριβή ποσοτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, χρειάζεται εκτενής ταυτόχρονη δειγματοληψία φύλλων/σταφυλιών. Παρ' ολ' αυτά, από τα διαθέσιμα δεδομένα προτείνονται οι παρακάτω εξισώσεις για την εκτίμηση των ΔΑΤ/ΟΟ, ΔΦΟ και IC, από δεδομένα WV2.

$$AT/OO = 0.1601 * IMAD - 0.019 (R^2 = 0.95)$$

$$IC = 248.1651 * GitelsonCar2^2 - 119.7992 * GitelsonCar2 - 0.1852 (R^2 = 0.94)$$

$$\Phi O = 390.4903 * GitelsonChl1^2 - 157.3753 * Gitelson Chl1 - 0.0591 (R^2 = 0.99)$$

Διατηρούνται επιφυλάξεις για την αξιοπιστία των εξισώσεων αυτών. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε σε επίπεδο αμπελοτεμαχίου διότι δεν υπήρχαν ακριβείς συντεταγμένες για τα σημεία δειγματοληψίας. Επίσης, οι χάρτες IC και ΔΦΟ αναφέρονται σε ποιότητα του τελικού προϊόντος, με τις τιμές αυτές να αφορούν στη λήξη της διαδικασίας εκχύλισης, που διαρκεί διαφορετικό χρόνο για κάθε προϊόν. Δηλαδή, δεν αποτυπώνουν την κατάσταση του αμπελώνα σε μια δεδομένη χρονική στιγμή, αλλά περισσότερο το δυναμικό του για συγκεκριμένα προϊόντα οίνου.

Μέρος των αποτελεσμάτων και των συμπερασμάτων της παρούσας έρευνας παρουσιάστηκε και στα σχετικά συνέδρια:

- AMPELOS 2013, 3rd International Symposium, Trends in world vitiviniculture development, 30-31 May, Santorini Greece
- ECPA 2013, 9th European Conference on Precision Agriculture, 7-11 July, Lleida, Spain

Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Κατά την ενασχόληση με το αντικείμενο της Αμπελουργίας Ακριβείας και την παρούσα εργασία προέκυψαν προβληματισμοί, σκέψεις, κατευθύνσεις και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα. Συνεπώς, οι κύριες προτάσεις για την περαιτέρω μελέτη του αντικειμένου συνίστανται σε:

- ✓ Συνεργασία με αμπελουργούς οινοποιούς ώστε παράλληλα με τις τηλεπισκοπικές παρατηρήσεις, να πραγματοποιούνται εκτενείς και γεωχωρικά προσδιορισμένες δειγματοληψίες φύλλων/ραγών/φλοιών, δειγματοληψίες σταφυλιών για την παραγωγή μούστου και οίνου από επιλεκτικούς τρύγους, αναλύσεις εδάφους κκ..
- ✓ Διεξαγωγή μετρήσεων μορφολογίας του φυλλώματος όπως ύψη, πλάτη, σύστημα διαμόρφωσης κ.α., και χρήση των δεδομένων αυτών σε μοντέλα προσομοίωσης φυλλώματος για ακόμα καλύτερη εκτίμηση των επιπέδων ζωηρότητας/ευρωστίας.
- ✓ Παρατήρηση των αμπελώνων με Υπερφασματικά και Θερμικά Δεδομένα. Με χρήση των μεθοδολογιών της παρούσας εργασίας και υψηλής ανάλυσης υπερφασματικά δεδομένα, αναμένονται ακόμα καλύτερα αποτελέσματα. Με χρήση θερμικών δεδομένων, είναι εφικτή η παρακολούθηση της υδατικής κατάστασης των αμπελιών.
- ✓ Χρησιμοποίηση αλγορίθμων για τον εντοπισμό μόνο των φατνίων του φυλλώματος και υπολογισμός τηλεπισκοπικών δεικτών μόνο στο φύλλωμα, εξαλείφοντας σε μεγάλο βαθμό τις επιρροές του εδάφους και της υποκείμενης βλάστησης.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. 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.
2. Blackburn, G. A. (1998). Quantifying chlorophylls and carotenoids at leaf and canopy scales: An evaluation of some hyperspectral approaches. *Remote Sensing of the Environment*, 66, 273–285.
3. Broge, N. H., & Leblanc, E. (2000). Comparing prediction power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density. *Remote Sensing of Environment*, 76, 156–172.
4. Carreño, J., Martínez, A., Almela, L., & Fernández-López, J. A. (1995). Proposal of an index for the objective evaluation of the colour of red table grapes. *Food Research International*, 28, 373–381.
5. Carter, G. A. (1994). Ratios of leaf reflectances in narrow wavebands as indicators of plant stress. *International Journal of Remote Sensing*, 15, 697–704.
6. Castino, M., Ubigli, M., Corino, L., Luzzati, A., Siragusa, N., & Nappi, P. (1987). Oenological effects of nutrients deficiencies on the grape variety Barbera cultivated in Piedmont vineyards, vol. 14. (pp. 37–54) Bologna: Vignevini.
7. Chalker-Scott, L. (1999). Environmental significance of anthocyanins in plant stress responses. *Photochemistry and Photobiology*, 70, 1–9.
8. Chappelle, E. W., Kim, M. S., & McMurtrey, J. E., III (1992). Ratio analysis of reflectance spectra (RARS): An algorithm for the remote estimation of the concentrations of chlorophyll a, chlorophyll b, and carotenoids in soybean leaves. *Remote Sensing of Environment*, 39, 239–247.
9. Chen, J. (1996). Evaluation of vegetation indices and modified simple ratio for boreal applications. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 22, 229–242.
10. Chen, Y., & Barak, P. (1982). Iron nutrition in calcareous soils. *Advances in Agronomy*, 35, 217–240.
11. Colombo, R., Bellingeri, D., Fasolini, D., Marino, C.M. (2003). Retrieval of leaf area index in different vegetation types using high resolution satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 86, 120–131
12. Daughtry, C. S. T., Walthall, C. L., Kim, M. S., Brown de Colstoun, E., & McMurtrey III, J. E. (2000). Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance. *Remote Sens. Environ.*, 74, 229–239.
13. Dawson, T. P., Curran, P. J., & Plummer, S. E. (1998). LIBERTY — modeling the effects of leaf biochemical concentration on reflectance spectra. *Remote Sensing of Environment*, 65, 50–60.
14. Draper, N., Smith, H. «Εφαρμοσμένη Ανάλυση Παλινδρόμησης». Εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα, 1997.

15. European Commission. (1990). Regulation (EEC) N° 2676/90 of 17 September (1990) community methods for the analysis of wines. Official Journal of the European Communities, L272, 0001–0192 3 October 1990.
16. Fiorillo, E., Crisci, A., De Filippis, T., Di Gennaro, S.F., Di Blasi, S., Matese, A., Primicerio, J., Vaccari, F.P., Genesio, L. (2012). Airborne high-resolution images for grape classification: changes in correlation between technological and late maturity in a Sangiovese vineyard in Central Italy, *Australian Journal of Grape and Wine Research*, vol. 18, pp. 80–90.
17. Fuentes, D. A., Gamon, J. A., Qiu, H., Sims, D. A., & Roberts, D. A. (2001). Mapping Canadian boreal forest vegetation using pigment and water absorption features derived from AVIRIS sensor. *Journal of Geophysical Research*, 106, 33565–33577.
18. Gamon, J. A., & Surfus, J. S. (1999). Assessing leaf pigment content and activity with a reflectometer. *New Phytologist*, 143, 105–117.
19. Gil-Perez, B., Zarco-Tejada, P.J., Correa-Guimaraes, A., Relea-Gangas, E., Navas-Gracia, L.M., Hernandez-Navarro, S., Sanz-Requena, J.F., Berjon, A., Martin-Gill, J. (2010) Remote sensing detection of nutrient uptake in vineyards using narrow-band hyperspectral imagery, *Vitis*, 49(4), 167-173.
20. Gitelson, A. A., Merzlyak, M. N., & Lichtenthaler, H. (1996). Detection of red edge position and chlorophyll content by reflectance measurements near 700 nm. *Journal of Plant Physiology*, 148, 501–508.
21. 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.
22. 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.
23. Gitelson, A. A., Keydan, G. P., & Merzlyak, M. N. (2006). Three-band model for noninvasive estimation of chlorophyll, carotenoids, and anthocyanin content in higher plant leaves. *Geophysical Research Letters*, 33, L11402, doi:10.1029/2006GL026457.
24. Haboudane, D., Miller, J. R., Tremblay, N., Zarco-Tejada, P. J., & Dextraze, L. (2002). Integration of hyperspectral vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture. *Remote Sensing of Environment*, 81(2– 3), 416–426.
25. 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.
26. Hall, A., Lamb, D. W., Holzapfel, B. P., & Louis, J. P. (2011). Within-season temporal variation in correlations between vineyard canopy and winegrape composition and yield, *Precision Agriculture*, vol. 12, pp. 103–117.

27. 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.
28. Hall, A., Louis, J., Lamb, D., (2003). Characterising and mapping vineyard canopy using high-spatial-resolution aerial multispectral images, *Computers & Geosciences*, vol. 29, pp. 813–822.
29. Harbone, K. B. (1976). Function of flavonoids in plants. In T. W. Goodwin (Ed.), *Chemistry and Biochemistry of plant pigments* (pp. 736–778). London: Academic Press.
30. Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of the Environment*, 25, 295–309.
31. Jacquemoud, S., & Baret, F. (1990). Prospect: A model for leaf optical properties spectra. *Remote Sens. Environ.*, 34, 75–91.
32. Jacquemoud, S., Ustin, S. L., Verdebout, J., Schmuck, G., Andreoli, G., & Hosgood, B. (1996). Estimating leaf biochemistry using the PROSPECT leaf optical properties model. *Remote Sensing of Environment*, 56, 194–202.
33. Johnson, L. F., Bosch, D. F., Williams, D. C., & Lobitz, B. M. (2001). Remote sensing of vineyard management zones: implication for wine quality. *Applied Engineering in Agriculture*, 17(4), 557–560.
34. Johnson, L. F., Roczen, D. E., Youkhana, S. K., Nemani, R. R., & Bosch, D. F. (2003). Mapping vineyard leaf area with multispectral satellite imagery. *Computers and Electronics in Agriculture*, 38(1), 33–44.
35. Jordan, C. F. (1969). Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. *Ecology*, 50, 663–666.
36. Kaufman, Y. J., & Tanre, D. (1992). Atmospherically resistant vegetation index (ARVI). *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 30, 261– 270.
37. Kim, M. S., Daughtry, C. S. T., Chappelle, E. W., McMurtrey III, J. E., & Walthall, C. L. (1994). The use of high spectral resolution bands for estimating absorbed photosynthetically active radiation (Apar). *Proceedings of the 6th Symp. on Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing*, Jan. 17–21, 1994, Val D'Isere, France (pp. 299–306).
38. King, R.L., Wang, J. (2001). A wavelet based algorithm for pan sharpening landsat 7 imagery, In: *Geosci. and Remote Sens. Symp.*, vol. 2, pp. 849–851.
39. Kumar, U., Mukhopadhyay, C., Ramachandra, T.V. (2009). Pixel based fusion using IKONOS imagery, *Int. J. Recent Trend Eng.*, vol. 1 (1), pp. 173–175.
40. Kumar, U., Dasgupta, A., Mukhopadhyay, C., Joshi, N.V., Ramachandra, T.V. (2011). Comparison of 10 multi-sensor image fusion paradigms for IKONOS images, *Int.J. Res. Rev. Comput. Sci. (IJRRCS)*, vol. 2 (1).
41. Kuusk, A. (1985). The hot spot effect on a uniform vegetative cover. *Sov. J. Remote Sens.*, 3, 645–658.
42. Lamb, D. W., Hall, A., & Louis, J. (2001). Airborne remote sensing of vines for canopy variability and productivity. *Australian Grapegrower Winemaker*, 449, 89–92.

43. Lamb, D. W., Weedon, M. M., & Bramley, R. G. V. (2004). Using remote sensing to predict grape phenolics and colour at harvest in a Cabernet Sauvignon vineyard: timing observations against vine phenology and optimising image resolution. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 10, 46–54.
44. Ling, Y., Ehler, M., Usery, E.L., Madden, M., 2007. FFT-enhanced IHS transform method for fusing high-resolution satellite images, *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 61, pp. 381–392.
45. Main, R., Cho, M.A., Mathieu, R., O’Kennedy, M.M., Ramoelo, A., Koch, S. (2011). An investigation into robust spectral indices for leaf chlorophyll estimation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66, 751–761.
46. 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.
47. 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
48. Merzlyak, M. N., & Chivkunova, O. B. (2000). Light stress induced pigment changes and evidence for anthocyanin photoprotection in apple fruit. *Journal of Photochemistry and Photobiology B-Biology*, 55, 154–162.
49. Merzlyak, M. N., Solovchenko, A. E., & Gitelson, A. A. (2003). Reflectance spectral features and non-destructive estimation of chlorophyll, carotenoid and anthocyanin content in apple fruit. *Postharvest Biological Technology*, 27, 197–211.
50. Moeller, M., Alchanatis, V., Cohen, Y., Meron, M., Tsipris, J., Naor, A., Ostrovsky, V., Sprintsin M., Cohen, S. (2007). Use of thermal and visible imagery for estimating crop water status of irrigated grapevine, *Journal of Experimental Botany*, vol. 58, No. 4, pp. 827–838.
51. Padwick, C., Deskevich, M., Pacifici, F., & Smallwood, S. (2010). WorldView 2 pan-sharpening, ASPRS 2010, Annual Conference. San Diego, California.
52. Peñuelas, J., Gamon, J. A., Fredeen, A. L., Merino, J., & Field, C. B. (1994). Reflectance indices associated with physiological changes in nitrogen and water-limited sunflower leaves. *Remote Sensing of Environment*, 48, 135– 146.
53. Peñuelas, J., Baret, F., & Filella, I. (1995). Semi-empirical indices to assess carotenoids/chlorophyll a ratio from leaf spectral reflectance. *Photosynthetica*, 31, 221–230.
54. Pirie, A. J. G., & Mullins, M. G. (1980). Concentration of phenolics in the skin of grape berries during fruit ripening and development. *American Journal Enology and Viticulture*, 31, 34–36.
55. Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A. R., Keer, Y. H., & Sorooshian, S. (1994). A modified soil vegetation adjusted index. *Remote Sensing of Environment*, 48, 119– 126.

56. Rock, B. N., Hoshizaki, T., & Miller, J. R. (1988). Comparison of in situ and airborne spectral measurements of the blue shift associated with forest decline. *Remote Sensing of Environment*, 24(1), 109–127.
57. Rondeaux, G., Steven, M., & Baret, F. (1996). Optimization of soil-adjusted vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 55, 95–107.
58. Rougean, J. -L., & Breon, F. M. (1995). Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional reflectance measurements. *Remote Sensing of Environment*, 51, 375–384.
59. Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, D. W., & Harlan, J. C. (1974). Monitoring the vernal advancements and retrogradation of natural vegetation. NASA/GSFC final report. MD, USA' Greenbelt 371 pp.
60. Schowengerdt, R.A. (1998). Reconstruction of multispatial, multispectral image data using spatial frequency content, *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, vol. 46 (10), pp. 1325–1334.
61. Serrano, L., Gonzalez-Flor, C., Gorchs, G.(2010) Assessing vineyard water status using the reflectance based Water Index. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 139, 490–499
62. Siddiqui, Y. (2003). The modified IHS methods for using satellite imagery, In: *Proc. American Soc. Photogrammetry and Remote Sensing*, Anchorage, Alaska.
63. Sims, D. A., & Gamon, J. A. (2002). Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. *Remote Sensing of Environment*, 81, 337–354.
64. Smart, R. & Robinson, M. (1991). 'Sunlight into wine' *Winetitles: Adelaide*.
65. 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.
66. Tagliavini, M., & Rombolà, A. D. (2001). Iron deficiency and chlorosis in orchard and vineyard ecosystems. *European Journal of Agronomy*, 15, 71–92.
67. Terry, N., & Abadia, J. (1986). Function of iron in chloroplasts. *Journal of Plant Nutrition*, 9, 609–616.
68. Thomas, J. R., and Gausman, H. W. (1977). Leaf reflectance vs. leaf chlorophyll and carotenoid concentrations for eight crops, *Agron. J.*, 69, 799-802.
69. Veliksar, S. G., Toma, S. I., & Kreidman, J. (2005). Effect of Fe-containing compounds on the chlorosis manifestation and grape quality. *Proc. International Workshop on Advances in Grapevine and Wine Research*, Venosa, Italy, vol. 122.
70. Vijayaraj, V., Younan, N., O'Hara, C. (2006). Concepts of image fusion in remote sensing application, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 10 (6), pp. 3781–3784.

71. Vogelmann, J. E., Rock, B. N., & Moss, D. M. (1993). Red edge spectral measurements from sugar maple leaves. *International Journal of Remote Sensing*, 14, 1563–1575.
72. Watson, D.J. (1947). Comparative physiological studies on the growth of field crops: I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and with and between years. *Annals of Botany*, 11, 41–76.
73. Young, A., and Britton, G. (1990). Carotenoids and stress, in *Stress Responses in Plants: Adaptation and Acclimation Mechanisms* (R. G. Alscher and J. R. Cumming, Eds.), Wiley, New York, pp. 87-112.
74. Zarco-Tejada, P. J., Berjón, A., López-Lozano, R., Miller, J. R., Marin, P., Cachorro, V., González, M. R., & de Frutos, A. (2005). Assessing vineyard condition with hyperspectral indices: leaf and canopy reflectance simulation in a row-structured discontinuous canopy. *Remote Sensing of Environment*, 99, 271–287.
75. Καρακίζη Χ., (2013) Διπλωματική Εργασία, Αμπελουργία Ακριβείας: Εντοπισμός αμπελοτεμαχίων και Διαχωρισμός ποικιλιών αμπέλου με Τηλεπισκοπικές μεθόδους