



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
Δ.Π.Μ.Σ. ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ
Τομέας Τοπογραφίας
Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης

**ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΑΜΠΕΛΟΤΕΜΑΧΙΩΝ,
ΕΞΑΓΩΓΗ ΓΡΑΜΜΩΝ ΦΥΤΕΥΣΗΣ ΚΑΙ
ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΠΟΙΚΙΛΙΩΝ ΑΜΠΕΛΟΥ ΣΕ
ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΟΛΥ ΥΨΗΛΗΣ
ΑΝΑΛΥΣΗΣ**

Μεταπτυχιακή Εργασία

Χριστίνα Καρακίζη
Αθήνα, Οκτώβριος 2015



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF RURAL AND SURVEYING ENGINEERING
GEOINFORMATICS, post-graduate programme
Department of Topography
Remote Sensing Laboratory

**VINEYARD DETECTION, VINE CANOPY
EXTRACTION AND VINE VARIETY
DISCRIMINATION FROM VERY HIGH
RESOLUTION SATELLITE DATA**

Master's Thesis

Christina Karakizi

Athens, October 2015



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
Δ.Π.Μ.Σ. ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ
Τομέας Τοπογραφίας
Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης

**Εντοπισμός αμπελοτεμαχίων, εξαγωγή
γραμμών φύτευσης και διαχωρισμός ποικιλιών
αμπέλου σε δορυφορικά δεδομένα πολύ
υψηλής ανάλυσης**

Μεταπτυχιακή Εργασία
Χριστίνα Καρακίζη

Τριμελής εξεταστική επιτροπή:

Κ. Καραντζαλος

Δ. Αργιαλάς

Β. Καραθανάση

.....

.....

.....

Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.
Επιβλέπων

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αν. Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2015

Χριστίνα Καρακίζη

Διπλωματούχος Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Copyright © All rights reserved. Χριστίνα Καρακίζη, 2015

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ, πρώτον από όλους, τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας Κώστα Καράντζαλο για την καθοριστική του συμβολή στην εκπόνηση της συγκεκριμένης εργασίας. Τον ευχαριστώ από καρδιάς για τις γνώσεις, τις συμβουλές και για την κάθε είδους υποστήριξη, που μου πρόσφερε τα τελευταία τρία χρόνια, που δουλεύουμε σε κοινούς στόχους. Τον ευχαριστώ ακόμη περισσότερο για την ικανότητα του να κάνει, όλους εμάς που δουλεύουμε κοντά του, κοινωνούς στο *state of the art* του επιστημονικού αντικειμένου ενώ ταυτόχρονα η αμεσότητα και η προσήνειά του δημιουργούν ένα τόσο φιλικό και ευχάριστο κλίμα.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω επίσης στον Γιώργο Μακρή, που εκτός από εμπνευστής των πρώτων εργασιών της Σ.Α.Τ.Μ. που ασχολήθηκαν με την αμπελουργία ακριβείας, υπήρξε το διαβατήριό μας ανάμεσα στον κόσμο του τοπογράφου και σε αυτόν του κρασιού. Τον ευχαριστώ ειλικρινά για την προθυμία με την οποία μοιράστηκε μαζί μας τις πολύπλευρες γνώσεις του.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω με πολλή αγάπη τους συμφοιτητές και φίλους μου Ζαχαρία Κανδυλάκη και Θανάση Κάρμα για τη βοήθεια που μου παρείχαν απλόχερα και πάντα με καλή διάθεση, για την επιτυχή ολοκλήρωση της συγκεκριμένης εργασίας. Επίσης ευχαριστώ το φοιτητή Μάριο Οικονόμου για τη συνεργασία και την παροχή απαραίτητων δεδομένων για την άρτια σύνταξη της εργασίας.

Ευχαριστώ επίσης ιδιαίτερα τους καθηγητές Δημήτριο Αργιαλά και Βασιλεία Καραθανάση για το ενδιαφέρον που έδειξαν και την παράθεση χρησιμων παρατηρήσεων περαιτέρω εμβάθυνσης της παρούσας εργασίας. Από το εργαστήριο τηλεπισκόπησης θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά τους Άγγελο Τζώτσο, Αργυρό Αργυριδη, Αριστείδη Βαϊόπουλο και Πολ Κολοκούση για την πολύτιμη βοήθειά τους σε πρακτικά θέματα κατά την εκπόνηση της εργασίας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω και στους ανθρώπους των οινοποιιών, «Οινοφόρος» του Άγγελου Ρούβαλη, «Κτήμα Χατζημιχάλη» του Δημήτρη Χατζημιχάλη, «Κτήμα Άλφα» των Μάκη Μαυριδη και Άγγελου Ιατρίδη και «Κυρ-Γιάννη» του Γιάννη Μπουτάρη, για τη διάθεση στοιχείων, χωρίς τα οποία δεν θα μπορούσε να εκπονηθεί η παρούσα εργασία, για την εμπιστοσύνη την καλή συνεργασία και τη φιλοξενία. Ευχαριστώ επίσης τις εταιρείες *Digital Globe*, *Total View* και *Airbus Defence & Space*, *Terra Spatium*, για τη παροχή των δορυφορικών εικόνων, καθοριστικών επίσης δεδομένων για την εργασία.

Τέλος θα ήθελα να σημειώσω ξεχωριστά και να εκφράσω τις ευχαριστίες μου για την οικονομική υποστήριξη που μου προσφέρθηκε από το Ι.Κ.Υ., μέσω του προγράμματος «ΥΠΟΤΡΟΦΙΕΣ ΑΡΙΣΤΕΙΑΣ Ι.Κ.Υ. ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ - ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ SIEMENS», καθώς η υποστήριξη αυτή επέτρεψε την αδιάσπαστη προσήλωση μου στις μεταπτυχιακές σπουδές μου και στην έγκαιρη και άρτια εκπόνηση της παρούσας εργασίας.

Χριστίνα Καρακίζη

Αθήνα, Οκτώβριος 2015

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η λειτουργική αξιοποίηση της διαθέσιμης πληθώρας τηλεπισκοπικών δεδομένων για τη γεωργία ακριβείας, απαιτεί το σχεδιασμό και την εφαρμογή αποδοτικών και κατά το δυνατόν αυτόματων μεθόδων και τεχνικών για τον ακριβή εντοπισμό της βλάστησης, των καλλιεργειών και των διαφορετικών ειδών/ποικιλιών τους. Προς αυτή τη κατεύθυνση, στην παρούσα εργασία σχεδιάστηκε, αναπτύχθηκε και αξιολογήθηκε ένα αντικειμενοστραφές πλαίσιο ταξινόμησης με στόχο τον εντοπισμό αμπελοτεμαχίων, την εξαγωγή των γραμμών φύτευσης και το διαχωρισμό των διαφορετικών ποικιλιών αμπέλου. Η εφαρμογή της μεθοδολογίας υλοποιήθηκε σε δορυφορικά δεδομένα πολύ υψηλής ανάλυσης (*WorldView-2* και *Pleiades-1B*) σε τέσσερις κατεχοχίν οينوπαραγωγικές περιοχές της Ελλάδας, όπου διενεργήθηκαν ταυτόχρονα και επίγειες μετρήσεις στη φυλλική επιφάνεια των αμπελιών με φασματογράφο χειρός. Οι βασικές προεπεξεργασίες περιλάμβαναν τις απαραίτητες ραδιομετρικές και ατμοσφαιρικές διορθώσεις στις δορυφορικές εικόνες καθώς και τη συγχώνευση των πολυφασματικών με τις παγχρωματικές εικόνες. Κατά το πρώτο βήμα της μεθοδολογίας για τον εντοπισμό των αμπελοτεμαχίων, εφαρμόστηκε ένα αντικειμενοστραφές σχήμα ταξινόμησης που βασίστηκε σε κανόνες παραγωγής και ασαφή λογική, με αξιοποίηση φασματικών χαρακτηριστικών και χαρακτηριστικών υψής των αντικειμένων. Ακολούθησε ο εντοπισμός και εξαγωγή των γραμμών φύτευσης και ο διαχωρισμός του φυλλώματος από τα ενδιάμεσα υλικά, κυρίως το χώμα, με εφαρμογή αντικειμενοστραφούς επιβλεπόμενης ταξινόμησης, η οποία βασίστηκε στις φασματικές διαφορές της κόμης των αμπελιών και του χώματος. Στο τρίτο και πιο απαιτητικό βήμα εφαρμόστηκε επιβλεπόμενη ταξινόμηση του φυλλώματος με στόχο το διαχωρισμό των διαφορετικών ποικιλιών αμπέλου. Για το διαχωρισμό των ποικιλιών πραγματοποιήθηκαν πειράματα και στα χαμηλότερης χωρικής ανάλυσης πολυφασματικά δεδομένα, για λόγους ελέγχου και σύγκρισης. Η ποσοτική αξιολόγηση επέδειξε ότι η αναπτυχθείσα μεθοδολογία κατάφερε, σε όλες τις εικόνες, να εντοπίσει τα αμπελοτεμάχια με υψηλά ποσοστά πληρότητας (>89%) και ορθότητας (>88%). Αντίστοιχα η διαδικασία εξαγωγής των γραμμών φύτευσης αξιολογήθηκε με ποσοστά ακρίβειας πάνω από 96%. Για το διαχωρισμό ποικιλιών αμπέλου, αν και σε επίπεδο *rixel* όλες οι πειραματικές ταξινομήσεις κατέληξαν σε σχετικά χαμηλές ακρίβειες (<75%), σε επίπεδο αμπελοτεμαχίου η μεθοδολογία κατάφερε σε όλες τις περιπτώσεις να επιτύχει ποσοστά μεγαλύτερα του 83%. Η συνδυαστική μελέτη των αποτελεσμάτων του διαχωρισμού με τις φασματικές υπογραφές από τα επίγεια δεδομένα ανέδειξε ορισμένες ποικιλίες, όπως το *Merlot*, που παρουσίασαν διαχωρίσιμη συμπεριφορά τόσο στις ταξινομήσεις όσο και στις φασματικές υπογραφές. Από τη συνολική ποσοτική και ποιοτική αξιολόγηση της μεθοδολογίας και των αποτελεσμάτων επιβεβαιώνεται η αποτελεσματικότητα των προηγμένων τεχνικών ταξινόμησης τηλεπισκοπικών δεδομένων για τον εντοπισμό αμπελοκαλλιεργειών και το διαχωρισμό ποικιλιών αμπέλου και δημιουργούνται προσδοκίες για ανάπτυξη παρόμοιων εφαρμογών στην αμπελοργία αλλά και στη γεωργία ακριβείας γενικότερα.

Vineyard detection, vine canopy extraction and vine variety discrimination from very high resolution satellite data

Christina Karakizi

Master's Thesis

October 2015

ABSTRACT

In order to exploit operationally remote sensing data for precision agriculture applications, efficient and automated methods are required for the accurate detection of vegetation, crops and different crop varieties. To this end, we have designed, developed and evaluated an object-based classification framework towards the detection of vineyards, the vine canopy extraction and the vine variety discrimination. The validation of the developed methodology framework was carried out on very high resolution satellite data (*WorldView-2* and *Pleiades-1B*) at four different viticulture regions in Greece. Concurrent in-situ canopy reflectance observations were acquired from a portable spectroradiometer. The initial preprocessing step included radiometric and atmospheric corrections on the satellite imagery and also the pan-sharpening of the multispectral and panchromatic images. The detection of vineyards was addressed through an object-based image analysis (OBIA) approach based on rules, fuzzy logic, spectral and texture features. Then for the detection of vine rows (canopy), an OBIA supervised classification procedure followed, based mainly on the spectral differences between the vine canopy and the other materials *i.e.*, mainly soil. For the most challenging step of the vine variety discrimination a supervised classification procedure was employed on the detected canopy. This classification step was also applied on the lower resolution multispectral datasets for testing and comparison purposes. The performed quantitative evaluation indicated that the developed approach managed in all cases to detect vineyards with high completeness (>89%) and correctness (>88%) detection rates. Respectively the vine canopy extraction methodology was validated with Overall Accuracy (O.A.) rates of above 96%. The quantitative evaluation results for the vine variety discrimination achieved relatively low rates at pixel level, as they did not exceed 75%. However the validation at plot level (per parcel) resulted to O.A. rates of over 83% in all cases. The combined analysis of the discrimination results with the spectral signatures of the in-situ reflectance data indicated some varieties, like *Merlot*, that presented distinct behavior both on the classification procedures but also on their spectral signatures. To sum up, the performed quantitative and qualitative evaluation highlighted the effectiveness of advanced classification techniques, for the detection of vineyards and the discrimination of vine varieties, but also raised expectations for the development of similar applications in precision agriculture.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Αντικείμενο και Στόχοι της Εργασίας	1
1.2 Κίνητρο και Συνεισφορά της Εργασίας	2
2 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	3
2.1 Γεωργία και Αμπελουργία Ακριβείας.....	3
2.2 Τηλεπισκοπικά Δεδομένα και Τεχνικές στην Αμπελουργία Ακριβείας	5
3 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΕΣ	12
3.1 Συλλογή Δεδομένων.....	12
3.1.1 Περιοχές μελέτης.....	12
3.1.2 Εργασίες υπαίθρου	13
3.1.3 Πολυφασματικά τηλεπισκοπικά δεδομένα <i>WorldView-2</i> και <i>Pleiades-1B</i>	15
3.2 Προεπεξεργασίες Δεδομένων	20
3.2.1 Ραδιομετρική και ατμοσφαιρική διόρθωση εικόνων.....	20
3.2.2 Συγχώνευση πολυφασματικής και παγχρωματικής εικόνας (<i>Pan-sharpening</i>)	24
3.2.3 Παραγωγή δεδομένων ελέγχου (<i>Ground Truth</i>).....	29
4 ΒΑΣΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	31
4.1 Αντικειμενοστραφής Ανάλυση Εικόνας – Λογισμικό <i>eCognition</i>	31
4.1.1 Κατάτμηση.....	31
4.1.2 Χαρακτηριστικά (<i>Features</i>) αντικειμένων και ιεραρχία τάξεων	32
4.1.3 Ασαφής λογική (<i>Fuzzy Logic</i>)	34
4.1.4 Αλγόριθμοι ταξινόμησης	35
4.2 Ταξινομήσεις Εντοπισμού Αμπελοτεμαχίων	37
4.2.1 Σκελετός μεθοδολογίας ταξινομήσεων	37
4.2.2 Περιγραφή τάξεων μέσω κανόνων παραγωγής	40
4.2.3 Ομάδα χαρακτηριστικών για τον εντοπισμό αμπελοτεμαχίων	43
4.2.4 Παραμετροποίηση βασικών χαρακτηριστικών ταξινόμησης	45
4.3 Ταξινομήσεις Εξαγωγής Γραμμών Φύτευσης Αμπελιών	47
4.4 Ταξινομήσεις Διαχωρισμού Ποικιλιών Αμπέλου.....	51

5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ	56
5.1 Εντοπισμός Αμπελοτεμαχίων	56
5.1.1 Αξιολόγηση αξιοπιστίας και σταθερότητας ταξινομήσεων	56
- Μέτρα αξιολόγησης	56
- Αποτελέσματα	58
5.1.2 Αποτελέσματα και ποσοτική αξιολόγηση με χρήση δεδομένων ελέγχου	59
- Μέτρα αξιολόγησης	59
- Αποτελέσματα	61
5.2 Εξαγωγή Γραμμών Φύτευσης Αμπελιών	65
5.2.1 Μέτρα αξιολόγησης	65
5.2.2 Αποτελέσματα	66
5.3 Διαχωρισμός Ποικιλιών Αμπέλου	68
5.3.1 Μέτρα αξιολόγησης	68
5.3.2 Συνολικά αποτελέσματα	69
5.3.3 Αναλυτικά αποτελέσματα ανά εικόνα	72
- Τράπεζα <i>WV2</i>	72
- Μεγαπλάτανος <i>WV2</i>	77
- Νάουσα <i>WV2</i>	82
- Αμύνταιο <i>WV2</i>	87
- Αμύνταιο <i>Pleiades-1B</i>	92
5.3.4 Ανάλυση αναμείξεων και φασματικής συμπεριφοράς των ποικιλιών	97
6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	100
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	104
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	111
➤ Από Κεφ. 5.2.2	111
➤ Από Κεφ. 5.3.3	113
Πίνακας Σχημάτων	118
Πίνακας Πινάκων.....	121

1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το εισαγωγικό κεφάλαιο αρχικά καθορίζεται και αναλύεται το αντικείμενο και οι στόχοι της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας και μετέπειτα περιγράφεται το κίνητρο και η συνεισφορά της.

1.1 Αντικείμενο και Στόχοι της Εργασίας

Το βασικό αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας αποτέλεσε η διερεύνηση, ανάπτυξη, εφαρμογή και αξιολόγηση σύγχρονων τεχνολογικών μεθόδων και τεχνικών τηλεπισκόπησης, για τον εντοπισμό αμπελοτεμαχίων και ποικιλιών αμπέλου, με εφαρμογές στη γεωργία ακριβείας. Ειδικότερα, συλλέχθηκαν και αναλύθηκαν γεωχωρικά δεδομένα, με βασικό πυρήνα δορυφορικά δεδομένα πολύ υψηλής ανάλυσης, και αναπτύχθηκαν τεχνικές για την επεξεργασία τους και την παραγωγή αποτελεσμάτων με στόχο την επίλυση υπαρκτών προβλημάτων που αφορούν την καλλιέργεια των αμπελιών σε μεγάλες χωρικές κλίμακες. Επεκτείνοντας πρόσφατες ερευνητικές προσπάθειες [Καρακίζη, 2013; Karakizi et al., 2013; Karakizi et al. 2015] βασική επιδίωξη στην παρούσα εργασία αποτέλεσε η πλήρωση των μελλοντικών προτάσεων των πρότερων εργασιών αλλά και η υλοποίηση επιπλέον στόχων που προέκυψαν με την απόκτηση πληθώρας νέων δεδομένων και τη διερεύνηση νέων τεχνικών τηλεπισκόπησης και επεξεργασίας δεδομένων.

Πιο συγκεκριμένα, στόχος της εργασίας ήταν η ανάπτυξη, εφαρμογή και αξιολόγηση μεθοδολογίας αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης για: (i) τον εντοπισμό αμπελοτεμαχίων, (ii) τον εντοπισμό και την εξαγωγή των γραμμών φύτευσης των αμπελιών από τα υλικά (χώμα, πέτρες, βλάστηση κ.α.) ανάμεσα από τις γραμμές φύτευσης και τέλος (iii) το διαχωρισμό των διαφορετικών ποικιλιών αμπέλου σε πολυφασματικά, συγχωνευμένα (*pan-sharpened*), πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης, δορυφορικά δεδομένα, από δύο δέκτες (τέσσερις εικόνες *WorldView-2* και μία *Pleiades-1B*). Βασικός άξονας κατά την ανάπτυξη της μεθοδολογίας ήταν η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη τυποποίηση των διαδικασιών ταξινόμησης με απώτερο στόχο τη μελλοντική τους αυτοματοποίηση. Η εφαρμογή της μεθοδολογίας στα διαθέσιμα δεδομένα στόχευσε στην παραγωγή αποτελεσμάτων που θα αξιολογούνταν με υψηλούς δείκτες επιτυχίας, για κάθε στάδιο ταξινόμησης. Ως επιπλέον στόχος τέθηκε η μελέτη και ερμηνεία των αποτελεσμάτων και της αξιολόγησης για την εξαγωγή συμπερασμάτων τόσο για τα εγγενή τεχνικά χαρακτηριστικά της μεθοδολογίας αλλά και για τα αντικείμενα μελέτης, δηλαδή τις καλλιέργειες αμπέλου (ιδιότητες φυλλώματος, φασματικά χαρακτηριστικά ποικιλιών κ.α.)

1.2 Κίνητρο και Συνεισφορά της Εργασίας

Βασικό κίνητρο για τη διερεύνηση της εφαρμογής σύγχρονων τηλεπισκοπικών μεθόδων και τεχνικών σε θέματα αμπελοουργίας ακριβείας αποτέλεσε η ραγδαία ανάπτυξη σύγχρονων τηλεπισκοπικών αισθητήρων που έχει οδηγήσει στην παραγωγή ενός διαρκώς αυξανόμενου όγκου δεδομένων πολύ υψηλής χωρικής και φασματικής ανάλυσης. Ταυτόχρονα, επιπλέον κίνητρο αποτέλεσε η σύγχρονη τάση για υιοθέτηση πρακτικών υψηλής τεχνολογίας για τη βελτιστοποιημένη διαχείριση των γεωργικών διαδικασιών ως πλήρωση της ανάγκης καλλιεργητών, παραγωγών και οινολόγων να έχουν την εποπτική επίβλεψη του συνόλου των καλλιεργειών τους αλλά ταυτόχρονα να μελετούν τη διαφορετικότητα μέσα σε κάθε ένα αμπελοτεμάχιο ξεχωριστά.

Πιο συγκεκριμένα, η παρούσα εργασία συνεισφέρει στη διεθνή βιβλιογραφία σε τρία επίπεδα:

I. Ανάπτυξη, εφαρμογή και αξιολόγηση μεθοδολογίας αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης με κανόνες (*rule-based*) για τον **εντοπισμό τεμαχίων καλλιέργειας αμπέλου** σε πολυφασματικά, συγχωνευμένα (*pan-sharpened*), πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης, δορυφορικά δεδομένα.

II. Ανάπτυξη, εφαρμογή και αξιολόγηση μεθοδολογίας επιβλεπόμενης αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης για τον εντοπισμό και την **εξαγωγή των γραμμών φύτευσης** (*canopy detection*) των αμπελιών σε πολυφασματικά, συγχωνευμένα (*pan-sharpened*), πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης, δορυφορικά δεδομένα.

III. Ανάπτυξη, εφαρμογή και αξιολόγηση μεθοδολογίας επιβλεπόμενης αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης για το **διαχωρισμό ποικιλιών και κλώνων ποικιλιών αμπέλου** σε πολυφασματικά και σε συγχωνευμένα (*pan-sharpened*), πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης, δορυφορικά δεδομένα.

IV. Μελέτη και ανάλυση των **φασματικών ιδιοτήτων** των ποικιλιών αμπέλου και του βαθμού **διαχωριστικότητας** τους τόσο από τις υπογραφές των επίγειων δεδομένων όσο και από τη συμπεριφορά τους στις ταξινομήσεις.

2

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο πραγματοποιείται εισαγωγή στο αντικείμενο μελέτης της εργασίας και ανασκόπηση της σημαντικότερης βιβλιογραφίας που σχετίζεται με τη θεωρητική ανάλυση και κυρίως με την πρακτική εφαρμογή των τεχνικών της αμπελοργίας ακριβείας.

2.1 Γεωργία και Αμπελοργία Ακριβείας

Η γεωργία ακριβείας (*Precision Agriculture*) αποτελεί ένα σύστημα παραγωγής αγροτικών προϊόντων που στηρίζεται στη διαχείριση των εισροών σε μια καλλιέργεια σύμφωνα με τις πραγματικές ανάγκες της, τόσο χωρικά όσο και χρονικά. Τα συστήματα της γεωργίας ακριβείας στηρίζονται στις δυνατότητες που παρέχουν οι νέες τεχνολογίες για την αναγνώριση της χωρικής-χρονικής παραλλακτικότητας των αναγκών της καλλιέργειας και την ανάπτυξη συστημάτων μεταβλητών παροχών των εισροών. Σε αντίθεση με τις συμβατικές μεθόδους αγροτικής παραγωγής, όπου οι εισροές παρέχονται ενιαία στον αγρό, θεωρώντας ότι υπάρχει μια αποδεκτή ομοιογένεια στις εδαφολογικές ιδιότητες και τη γονιμότητα του εδάφους, την εδαφική υγρασία, τους πληθυσμούς των εντόμων, και τα χαρακτηριστικά των φυτών, η γεωργία ακριβείας διαχειρίζεται την καλλιέργεια σε μικρότερες περιοχές (διαχειριστικές ζώνες) που εμφανίζουν μια σχετική ομοιομορφία που ανταποκρίνεται περισσότερο στην πραγματικότητα [Ευαγγέλου και Τσαντήλας, 2011].

Η αμπελοργία ακριβείας (*Precision Viticulture*) εντάσσεται γενικότερα στις πρακτικές της γεωργίας ακριβείας (*Precision Agriculture*) με στόχο τη βελτιστοποίηση της καλλιέργειας αμπέλου. Η υγεία και η παραγωγικότητα του αμπελιού (*Vitis vinifera*) επηρεάζονται από ένα πλήθος φυσικών, βιολογικών και χημικών παραγόντων, συμπεριλαμβανομένων των χωρικών διακυμάνσεων στην τοπογραφία, των χαρακτηριστικών του εδάφους και της συχνότητας εμφάνισης ασθενειών και παρασίτων. Η διακύμανση αυτών των παραγόντων έχει ως αποτέλεσμα τη χωρική διακύμανση στην απόδοση παραγωγής και στην ποιότητα των σταφυλιών μέσα στο ίδιο τεμάχιο, που τις περισσότερες φορές οδηγεί σε συνολική μείωση της ποιότητας και της ποσότητας του παραγόμενου οίνου και κατά συνέπεια σε μείωση των οικονομικών εσόδων για τους παραγωγούς [Hall et al., 2003]. Ο κύριος στόχος της αμπελοργίας ακριβείας είναι η κατάλληλη διαχείριση των διακυμάνσεων, που προαναφέρθηκαν, στις καλλιέργειες αμπέλου σε συνδυασμό με την αύξηση των οικονομικών εσόδων και τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων [Arnó et al., 2009].

Η αμπελοργία ακριβείας αποτελεί μια συνεχή κυκλική διαδικασία [Bramley et al., 2003] που συνήθως περιλαμβάνει τη συλλογή δεδομένων, την ανάλυση των δεδομένων, τη

δημιουργία και σχεδιασμό διαφορετικών ζωνών διαχείρισης, τις αποφάσεις διαχείρισης και την αξιολόγηση των εφαρμοσμένων πρακτικών. Η πρακτική εφαρμογή των τεχνικών της αμπελοργιάς ακριβείας αξιοποιεί ποικίλες τεχνολογικές εξελίξεις όπως είναι οι αισθητήρες παρακολούθησης και καταγραφής της απόδοσης παραγωγής (*crop sensors-yield monitors*), οι τοπικοί και τηλεπισκοπικοί αισθητήρες, τα δορυφορικά και εναέρια δεδομένα, τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (*GIS*), το παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού (*GPS*), και συστήματα για την ανάλυση, ερμηνεία και επεξεργασία των δεδομένων.

Τα τελευταία 15 χρόνια οι πρακτικές της αμπελοργιάς ακριβείας έχουν αρχίσει να έχουν διαρκώς αυξανόμενο αντίκτυπο στον τομέα της καλλιέργειας αμπέλου σε όλο τον κόσμο. Η υιοθέτηση των τελευταίων επιστημονικών και τεχνολογικών εξελίξεων, καθώς επίσης και η ανάλυση οικονομικών κριτηρίων σχετικών με την ανταγωνιστικότητα στις αγορές, έχουν οδηγήσει σε σύγχρονες και ρεαλιστικές προσεγγίσεις στην αμπελοργιά ακριβείας, όπως επίσης και σε αυξανόμενο ερευνητικό ενδιαφέρον για την αμπελοργιά κυρίως σε κατεξοχήν οινοπαραγωγικές χώρες, στην Ευρώπη (Γαλλία, Ιταλία, Ισπανία, Ελλάδα), στις Η.Π.Α., στην Αυστραλία, στον Καναδά και στη Χιλή.

Οι πρώτες βιβλιογραφικές αναφορές περιλαμβάνουν εφαρμογές στις Η.Π.Α. [Wample et al.,1999] και στην Αυστραλία [Bramley & Proffitt,1999]. Τα επόμενα χρόνια πολλές εταιρίες και οργανισμοί που ασχολούνταν με τη γεωργία ακριβείας, ανέπτυξαν ενδιαφέρον για την αμπελοργιά ακριβείας, τάση που ενισχύθηκε μετά την είσοδο στην αγορά συσκευών που επέτρεπαν την παρακολούθηση και καταγραφή της απόδοσης παραγωγής (*yield monitors*) [Tagarakis et al.,2012]. Η διακύμανση της απόδοσης της παραγωγής αποτέλεσε αντικείμενο μελέτης για έρευνες στη Γαλλία, την Ισπανία, τη Χιλή και την Ελλάδα [Tisseyre et al.,2001; Ortega et al.,2003; Arnó et al.,2005;Tagarakis et al.,2006; Tagarakis et al.,2012]. Οι χάρτες απόδοσης παραγωγής και μετέπειτα οι ζώνες διαχείρισης μπορούν να σχηματιστούν με μετρήσεις βασισμένες στο έδαφος [Tagarakis et al.,2012]. Η "χαρτογράφηση" (*mapping*) της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους (*ECa*) έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές εργασίες και ερευνητικές μελέτες για το σχεδιασμό ζωνών διαχείρισης [Kitchen et al.,2005; Molin & Castro,2008; Moral et al.,2010], και κάποιες φορές συνδυασμένη με χάρτες υψομέτρου με χρήση *RTK-GPS* [Fridgen et al.,2004; Schepers et al.,2004].

Εκτός από τις μετρήσεις εδάφους, τα χαρακτηριστικά της κόμης φυλλώματος, η οποία μπορεί να μελετηθεί τηλεπισκοπικά, μπορούν να λειτουργήσουν ως ένας καλός δείκτης της απόδοσης παραγωγής και της ποιότητας του σταφυλιού [Hall et al.,2011]. Οι Zarco-Tejada et al. (2005) ανέπτυξαν μεθόδους παρακολούθησης της φυσιολογικής κατάστασης του αμπελιού, μέσω ακριβών εκτιμήσεων στα επίπεδα χλωροφύλλης, αξιοποιώντας, μεταξύ άλλων, δείκτες βλάστησης όπως ο *TCARI* (*Transformed Cab Absorption in Reflectance Index*) και ο *OSAVI* (*Optimised Soil-Adjusted Vegetation Index*). Ανάμεσα στους δείκτες βλάστησης ο περισσότερο χρησιμοποιούμενος είναι ο *NDVI* (*Normalized Difference Vegetation Index*), καθώς σχετίζεται με τις ιδιότητες της κόμης φυλλώματος (*canopy*) όπως είναι η περιεκτικότητα χλωροφύλλης, η συνολική βιομάζα και η έκταση φυλλώματος [Hansen & Schjoerring,2003], με την απόδοση παραγωγής, και επίσης με τα επίπεδα νερού,

τα χαρακτηριστικά φρούτων και τελικά την ποιότητα του κρασιού [Johnson et al.,2003].

Ο ακριβής χωρικός εντοπισμός των καλλιεργειών, η "χαρτογράφηση" (mapping) της απόδοσης παραγωγής των αμπελιών αλλά και των ιδιοτήτων εδάφους και των ασθενειών, η μελέτη των διαφορετικών ιδιοτήτων των ποικιλιών, οι ανάγκες των καλλιεργειών σε νερό και τα επίπεδα υγρασίας, είναι μερικά από τα ζητήματα παρακολούθησης των αμπελοκαλλιεργειών, των οποίων η μελέτη έχει καταστεί πλέον λειτουργικά και οικονομικά εφικτή χάριν στις πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις στην τηλεπισκόπηση.

2.2 Τηλεπισκοπικά Δεδομένα και Τεχνικές στην Αμπελουργία Ακριβείας

Οι πολυφασματικοί και υπερφασματικοί δέκτες προσαρμοσμένοι σε δορυφορικές, εναέριας και UAV πλατφόρμες είναι σήμερα η κύρια πηγή δεδομένων για τη γεωργία ακριβείας και τις εφαρμογές επίβλεψης καλλιεργειών σε μεγάλες κλίμακες. Ειδικότερα, η χρήση της τηλεπισκόπησης ως μέσο παρακολούθησης της ανάπτυξης των καλλιεργειών ξεκίνησε να προσελκύει το ενδιαφέρον ερευνητών και εμπορικών οργανισμών, καθώς προσφέρει τη δυνατότητα της οικονομικά αποδοτικής χρήσης γεωχωρικών δεδομένων κατάλληλων για την υποστήριξη των δραστηριοτήτων της αμπελουργίας ακριβείας [Lamb,2000]. Οι περισσότερες έρευνες πάνω στην αμπελουργία ακριβείας, που αξιοποιούν δείκτες βλάστησης, χρησιμοποιούν πολυφασματικά δορυφορικά ή εναέρια δεδομένα [Lamb et al.,2004; Hall et al.,2003; Acevedo-Opazo et al.,2008; Hall et al.,2011, Fiorillo et al.,2012] αλλά και επίγειους αισθητήρες σε μεγάλη εγγύτητα με την κόμη φυλλώματος (canopy) του αμπελιού [Stamatiadis et al.,2010; Bramley et al.,2011].

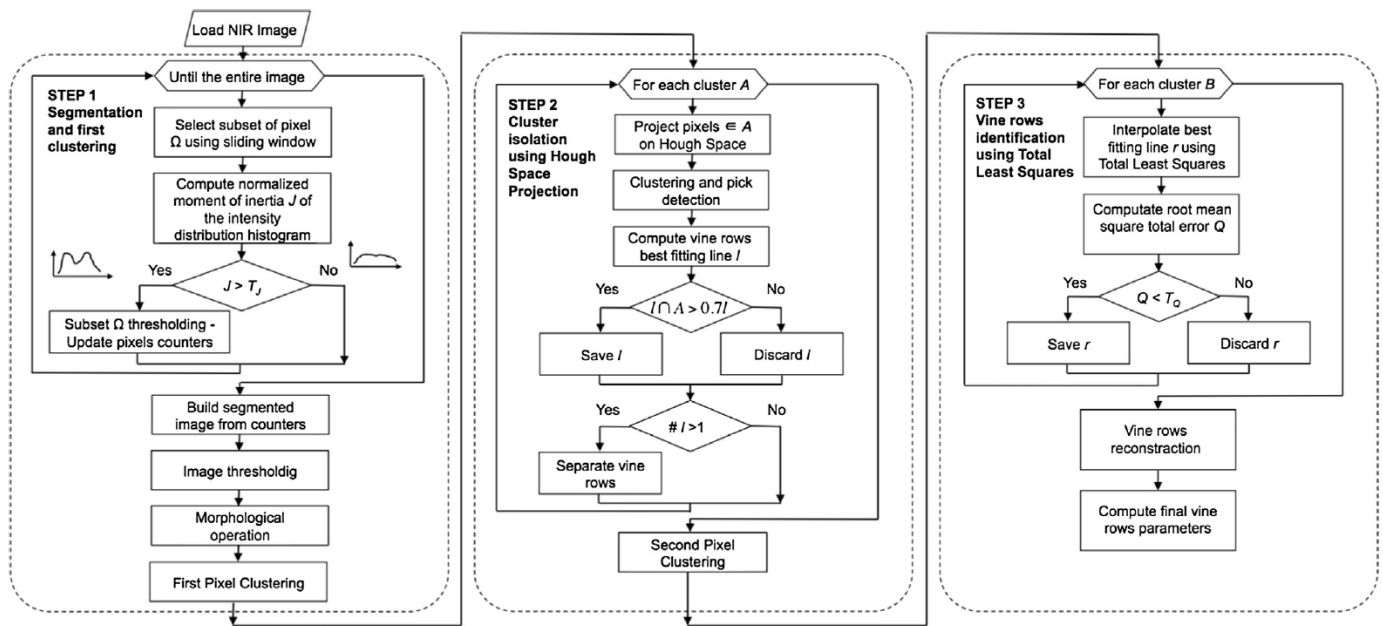
Παράγοντες όπως οι αυστηροί κανονισμοί για τις εναέριας πτήσεις καθώς και το υψηλό κόστος που αυτές συνεπάγονται, καθιστούν τη χρήση δορυφορικών τηλεπισκοπικών δεδομένων, που πλέον προσφέρουν χωρική ανάλυση ως και 30cm, λειτουργικότερη για παραγωγή χαρτών βλάστησης και απόδοσης παραγωγής των καλλιεργειών. Συγχρόνως, οι πολιτικές των Η.Π.Α. και Ε.Ε. για ελεύθερη διάθεση δορυφορικών δεδομένων καθώς και οι εμπορικές εφαρμογές δορυφορικής παρακολούθησης της γης, έχουν ως αποτέλεσμα την παραγωγή ενός πρωτόγνωρου όγκου δεδομένων με επίπεδο λεπτομέρειας και ακρίβειας που διαρκώς βελτιώνεται.

Προκειμένου να αξιοποιηθούν λειτουργικά αυτά τα μεγάλα δεδομένα (*big data*) παρακολούθησης γης, για περιβαλλοντικές και γεωργικές εφαρμογές, είναι απαραίτητες οι αποτελεσματικές και κατά το δυνατόν αυτοματοποιημένες μεθοδολογίες επεξεργασίας, οι οποίες μπορούν να εντοπίσουν με ακρίβεια τη βλάστηση, τις καλλιέργειες και το είδος-ποικιλία της κάθε καλλιέργειας, στις τηλεπισκοπικές εικόνες. Η μελέτη και ανάλυση των δεδομένων ανά είδος και ποικιλία καλλιέργειας καθιστά δυνατή την παραγωγή έγκυρων προϊόντων, όπως χαρτών καλλιέργειας για την επιβοήθηση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων διαχείρισης [Justice and Becker-Reshef, 2007; Urretavizcaya et al., 2014].

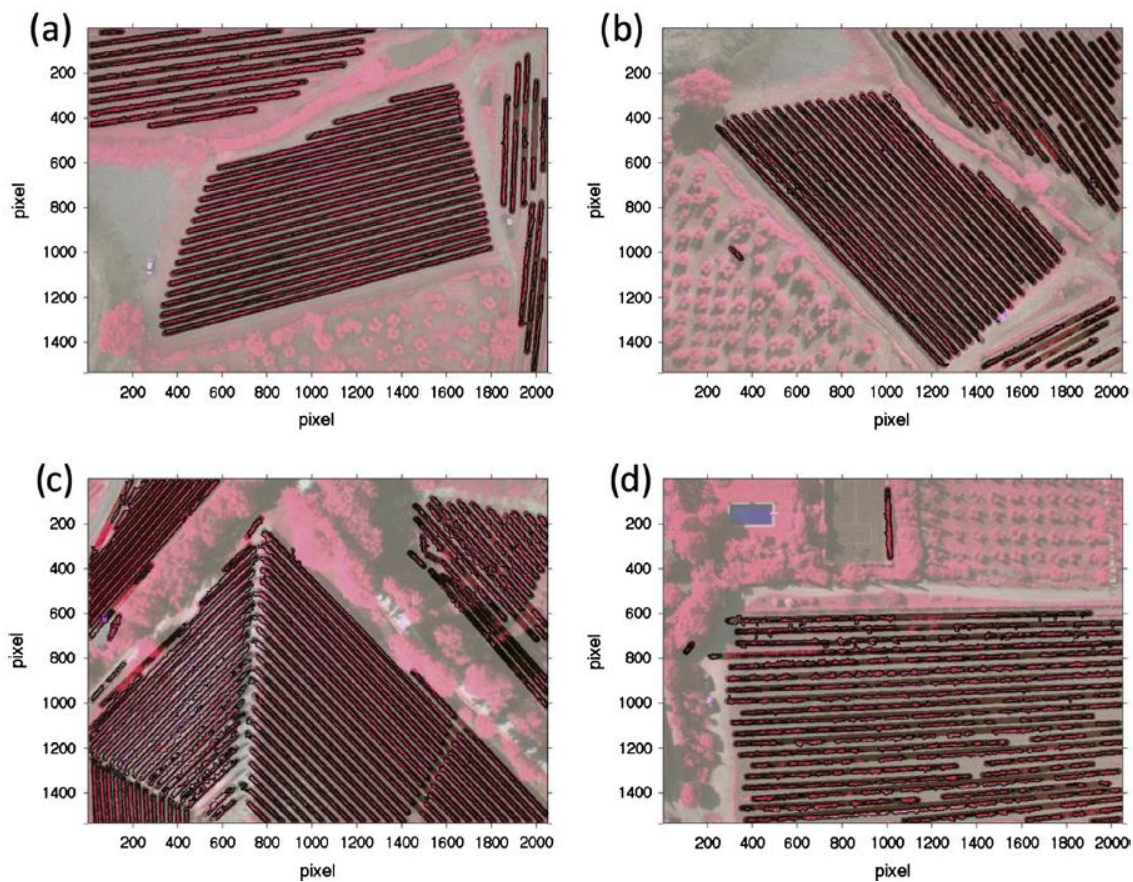
Για παραπάνω από 10 χρόνια οι ερευνητικές προσπάθειες [Bramley and Proffitt, 1999; Hall et al.,2002; Johnson et al., 2003] επικεντρώνονται στην αξιοποίηση των

δορυφορικών οπτικών δεδομένων σε διαφορετικές χωρικές, φασματικές και χρονικές αναλύσεις με στόχο την αποτελεσματική παρακολούθηση και ανάλυση των καλλιεργειών αμπέλου, μέσω τηλεπισκοπικών δεκτών και τεχνικών. Πιο συγκεκριμένα, εκτός από τη μελέτη των διακυμάνσεων μέσα στο ίδιο τεμάχιο καλλιέργειας και τη συσχετισμένη εκτίμηση της επίπτωσης της χωρικής μεταβλητότητας στη σύνθεση των παραγόμενων προϊόντων (σταφύλι, μούστος, κρασί) και στην απόδοση παραγωγής [Bramley and Hamilton, 2004; Zarco-Tejada et al., 2005; Acevedo-Orazo et al., 2008; Hall et al., 2011; Meggio et al., 2010], η έρευνα επίσης στοχεύει και στον εντοπισμό και την ταξινόμηση των καλλιεργειών όπως και στην εξαγωγή των γραμμών φύτευσης αυτών, σε τηλεπισκοπικά δεδομένα [Pena-Barragán et al., 2011; Cruz-Ramírez et al., 2012; Löw et al., 2013; Conrad et al., 2014]. Ωστόσο, παρά όλες τις πρόσφατες ερευνητικές προσπάθειες για την ανάπτυξη μεθοδολογίας για την αναγνώριση των καλλιεργειών και την εξαγωγή γραμμών φύτευσης σε μεσαίες [Delenne et al., 2010; Pedroso et al., 2010; Vaudour et al., 2010] και υψηλές χωρικές αναλύσεις [Rabatel et al., 2008; Comba et al., 2015], η ανάπτυξη ενός αποτελεσματικού σχήματος ταξινόμησης για τον εντοπισμό αμπελοκαλλιεργειών και την εξαγωγή γραμμών φύτευσης, σε δεδομένα υψηλής ανάλυσης, παραμένει ακόμα μια πρόκληση.

Προς αυτή την κατεύθυνση οι Comba et al. (2015) ανέπτυξαν μια μεθοδολογία εντοπισμού των γραμμών φύτευσης των αμπελιών σε εναέριες εικόνες ενός εγγύς υπέρυθρου καναλιού (NIR), χωρικής ανάλυσης 0,056m, με χρήση ενός UAV Mikrokopter (Hexa-II) και της -προσηρητημένης σε αυτό- κάμερας (Tetracam ADC-lite). Η μέθοδος αυτή αρχικά προτείνει μια προκαταρκτική ανίχνευση pixels που εν δυνάμει απεικονίζουν το φύλλωμα των αμπελιών, εφαρμόζοντας κατώφλια στις τιμές φωτεινότητας των εικονοστοιχείων και τη δημιουργία αντικειμένων στις εικόνες που βασίζεται στην αντίθεση μεταξύ των γειτονικών εικονοστοιχείων (*local neighboring window segmentation procedure*). Προκειμένου να εξαλειφθούν λανθασμένες ενοποιήσεις σε κοινή ομάδα/αντικείμενο εικονοστοιχείων που ανήκουν σε διαφορετικές γραμμές φύτευσης αμπελιών, ακολουθεί μια διαδικασία σαφέστερου καθορισμού των ενοτήτων των εικονοστοιχείων (*cluster isolation*). Η διαδικασία αυτή βασίζεται σε αρχικό καθορισμό των γεωμετρικών παραμέτρων που περιγράφουν ορθότερα κάθε ομάδα εικονοστοιχείων με χρήση τεχνικών ομαδοποίησης στο Διάστημα Παραμέτρων Hough (HPS). Σε επόμενο βήμα εφαρμόζεται η μέθοδος των Ελαχίστων Τετραγώνων (TLS), προκειμένου βάσει των γεωμετρικών παραμέτρων να απορριφθούν τα εικονοστοιχεία βλάστησης που δεν απεικονίζουν αμπέλια και να προσδιοριστεί βέλτιστη εκτίμηση της ευθυγραμμισμένης σειράς εικονοστοιχείων που απεικονίζουν την εκάστοτε γραμμή φύτευσης. Στο σχήμα 2.1 παρουσιάζεται η βασική δομή της μεθοδολογίας από το συγκεκριμένο επιστημονικό άρθρο. Τα αποτελέσματα σε εφαρμογή της μεθοδολογίας σε τέσσερις NIR εικόνες, συγκρίθηκαν με δεδομένα ελέγχου και πάνω από το 95% των γραμμών φύτευσης εντοπίστηκαν ορθά. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.2.



Σχήμα 2.1 – Η δομή μεθοδολογίας για το επιστημονικό άρθρο των Comba et al. (2015) για την εξαγωγή γραμμών φύτευσης αμπελιών



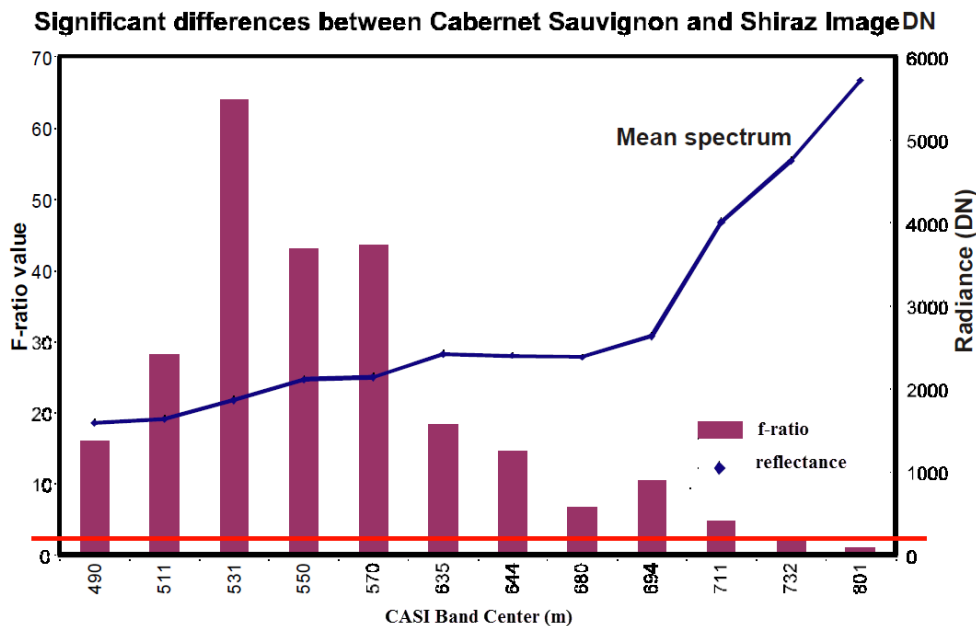
Σχήμα 2.2 – Τα τελικά αποτελέσματα για τον εντοπισμό γραμμών φύτευσης αμπελιών σε τέσσερις NIR εικόνες, στο επιστημονικό άρθρο των Comba et al. (2015).

Ταυτόχρονα, ως ένα ακόμη πιο περίπλοκο πρόβλημα προκύπτει ο ακριβής διαχωρισμός των διαφορετικών ποικιλιών αμπέλου σε τηλεπισκοπικά δεδομένα. Ο διαχωρισμός αυτός ενέχει υψηλή σημασία για τους καλλιεργητές, τους παραγωγούς κρασιού, τους αγρονόμους, τους μηχανικούς και τις δημόσιες αρχές για μια πληθώρα λόγων όπως η παραγωγή χαρτών και βάσεων δεδομένων καλλιεργούμενων ποικιλιών ανά περιοχή, ο εντοπισμός λαθών φύτευσης, οι πιστοποιήσεις ετικετών οίνων, ο σχεδιασμός κ.α. Πιο συγκεκριμένα σε επίπεδο αμπελοτεμαχίου, η ανάγκη για διάκριση ανάμεσα σε διαφορετικές ποικιλίες αμπέλου, προκύπτει ως ένα χρήσιμο εργαλείο για τον εντοπισμό λανθασμένων φυτεύσεων και για τη διαχείριση διαφορετικών ποικιλιών μέσα στο ίδιο τεμάχιο. Σε τοπικό επίπεδο, ο διαχωρισμός ποικιλιών επιτρέπει τη "χαρτογράφηση" των ποικιλιών αμπέλου για μια ευρύτερη περιοχή, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σκοπούς απογραφής ή σχεδιασμού. Για παράδειγμα στην οινοπαραγωγική περιοχή Bordeaux της Γαλλίας, οι ενώσεις οινοπαραγωγών χρειάζονται εργαλεία που θα βοηθήσουν την πιστοποίηση των αμπελοφυτειών. Οι προδιαγραφές των ετικετών κρασιού περιλαμβάνουν περιορισμούς στο ποσοστό καλλιέργειας κάθε ποικιλίας καθώς και στην πυκνότητα φύτευσης των φυτών. Η "χαρτογράφηση" ποικιλιών λοιπόν αποτελεί μια πολύτιμη βοήθεια και για την πιστοποίηση της οινικής παραγωγής [Ferreiro-Armán et al., 2006].

Επιπρόσθετα η εν δυνάμει ποιότητα του σταφυλιού/οίνου και αντίστοιχα η οικονομική αξία αυτών των παραγώγων έχει άμεση εξάρτηση με την ποικιλία [Clarke and Rand, 2010; Diago et al., 2013]. Έτσι τα διάφορα παράγωγα σε μορφή χαρτών (όπως η φυλλική επιφάνεια, η ευρωστία, η ωριμότητα κ.α.) θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τους και να βελτιστοποιούνται ανάλογα με την ποικιλία [Pérez-Lamela et al., 2007; Bramley, 2010; Clavijo et al., 2010; Santesteban et al., 2013; Ramos and Martinez-Casasnovas, 2014; Song et al., 2014]. Προς αυτή την κατεύθυνση, εφαρμόστηκαν και εφαρμόζονται κλασσικές αναλυτικές μέθοδοι για το διαχωρισμό διαφορετικών ποικιλιών αμπέλου ή άλλων φυτών, όπως η αμπελομετρία [Galet, 1979], η μέθοδος υγρής χημείας (*wet chemistry*) και χημικών μετρήσεων [Kruzlicova et al., 2014], η πολυφαινολική στατιστική ανάλυση [Sen & Tokatli, 2014; M. Figueiredo-González et al., 2012] ή η ανάλυση DNA [Sefc et al., 2001]. Ορισμένες εργασίες επίσης, εφάρμοσαν εργαστηριακά πειράματα βασισμένα στην φασματική ανάκλαση των φύλλων ή των καρπών και μεθοδολογίες στατιστικής ανάλυσης για το διαχωρισμό διαφορετικών ποικιλιών αμπέλου [Diago et al., 2013] και φραουλών [Sanchez et al., 2012]. Για την αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος, η αξιοποίηση και αξιολόγηση μη επεμβατικών τηλεπισκοπικών τεχνικών δεν έχει μελετηθεί εκτενώς.

Οι περισσότερες τηλεπισκοπικές μέθοδοι που έχουν εφαρμοστεί για το διαχωρισμό ποικιλιών αμπέλου έχουν αξιοποιήσει κυρίως εναέρια πολυφασματικά δεδομένα από επανδρωμένα αεροσκάφη. Οι Lacar et al. (2001) πειραματίστηκαν με το διαχωρισμό δύο ποικιλιών αμπέλου, του *Cabernet Sauvignon* και του *Syrah*. Χρησιμοποιώντας δεδομένα του υπερφασματικού αισθητήρα *CASI (Compact Airborne Spectrographic Imager)*, πάνω από έναν αμπελώνα στην *Barossa Valley* της Νότιας Αυστραλίας. Αρχικά δημιουργήθηκε μια μάσκα με την υλοποίηση ενός πολυγώνου που περιείχε μόνο την περιοχή ενδιαφέροντος και μετέπειτα μια δεύτερη μάσκα που αξιοποίησε ένα κατώφλι στο δείκτη *NDVI* για το διαχωρισμό των γραμμών των αμπελιών με τα υπόλοιπα στοιχεία όπως το χώμα. Οι μάσκες χρησιμοποιήθηκαν σε συνδυασμό για να εντοπιστούν με σαφήνεια οι περιοχές που θα χρησιμοποιούνταν για την ταξινόμηση. Για την ανάλυση της φασματικής απόκρισης των ποικιλιών συλλέχθηκαν

80 δείγματα από κάθε ποικιλία και αναλύθηκαν με το F-τεστ ANOVA που συγκρίνει τις μέσες τιμές των καναλιών και βρίσκει σε ποια κανάλια υπάρχουν οι μεγαλύτερες διαφορές (Σχήμα 2.3). Οι ταξινομήσεις έγιναν με τη μέθοδο της Μέγιστης Πιθανοφάνειας (*maximum likelihood*). Στην πρώτη ταξινόμηση χρησιμοποιήθηκαν τα 12 φασματικά κανάλια στο Εγγύς Υπέρυθρο και μετέπειτα υλοποιήθηκε και δεύτερη ταξινόμηση χρησιμοποιώντας μόνον 7 κανάλια, τα οποία από την φασματική ανάλυση είχαν αποδειχθεί τα πιο σημαντικά για το διαχωρισμό των ποικιλιών. Η ποσοτική εκτίμηση της ακρίβειας έγινε σε επίπεδο γραμμής, δηλαδή κάθε γραμμή ταξινομήθηκε στην ποικιλία στην οποία είχαν ταξινομηθεί τα περισσότερα της εικονοστοιχεία. Η ταξινόμηση με τα 12 κανάλια ταξινόμησε κατά 91,5% στη σωστή ποικιλία τις γραμμές και η δεύτερη ταξινόμηση δε βελτίωσε περαιτέρω το ποσοστό.



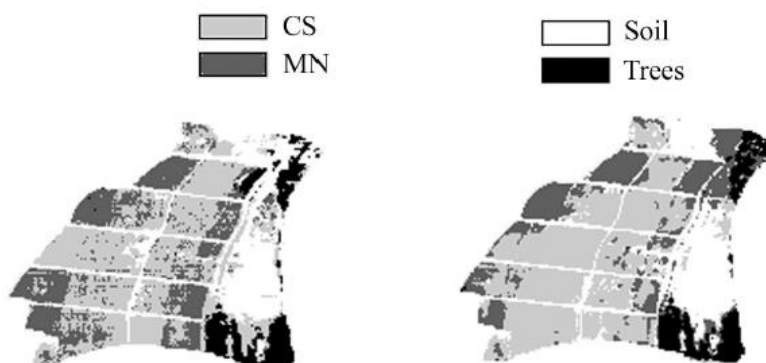
Σχήμα 2.3 – Τα αποτελέσματα για το F-test, από το επιστημονικό άρθρο των Lacar et al. (2001), για τη φασματική ανάλυση των δύο ποικιλιών. Η κόκκινη οριζόντια γραμμή που τοποθετείται στο F-critical (3.90), καθορίζει τα κανάλια στα οποία οι φασματικές διαφορές είναι σημαντικές για τις διαφορετικές ποικιλίες. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στη μέση ανακλαστικότητα (*reflectance*) των εικονοστοιχείων.

Σε ένα παρόμοιο πειραματικό σχήμα οι Ferreiro-Armán et al. (2006) χρησιμοποίησαν ένα *dataset* CASI (144 φασματικά και χωρική ανάλυση 3m) για την απεικόνιση αμπελώνων της οινοπαραγωγικής περιοχής Pessac-Léognan στο Bordeaux της Γαλλίας, σε προσπάθεια διαχωρισμού των καλλιεργούμενων ποικιλιών. Για την εξέταση της διαχωριστικής ικανότητας του αισθητήρα ανάμεσα στις ποικιλίες έγιναν πριν από τις ταξινομήσεις εκτιμήσεις χρησιμοποιώντας την ανάλυση κύριων συνιστωσών (*Principal Component Analysis - PCA*) και τη γραμμική διαχωριστική ανάλυση (*Linear Discriminant Analysis - LDA*) [Fisher et al., 1936; Duda et. al., 2000]. Οι αναλύσεις αυτές επέδειξαν ότι ο διαχωρισμός ανάμεσα σε δύο ποικιλίες (*Cabernet Sauvignon* και *Merlot Noir*) ήταν εφικτός σε μεγάλο βαθμό, ενώ ανάμεσα σε τέσσερις (*Merlot Noir*, *Cabernet Sauvignon*, *Cabernet Franc* και *Sauvignon*) σε μικρότερο βαθμό. Υλοποιήθηκαν επιβλεπόμενες ταξινομήσεις με τις τεχνικές *multi-layer perceptron - MLP* [McCullogh & Pitts, 1943; Werbos, 1974], *radial basis function*

neural networks με χρήση *self-organizing map (SOM-RBF)* [Kohonen, 1997; Mekkaia et al., 2002] και *Gaussian kernel support vector machines - SVM* [Vapnik, 1995]. Η ταξινόμηση έγινε ανάμεσα στις κατηγορίες: *Cabernet Sauvignon*, *Merlot Noir*, Χώμα και Δέντρα. Η συνολική ακρίβεια (και από τις 3 τεχνικές) που επετεύχθη ήταν κοντά στο 90%, με τα περισσότερα λάθη στις ταξινομήσεις να αφορούν την ανάμειξη των *Cabernet Sauvignon* και *Merlot Noir*.

Επιπρόσθετα ένα χρόνο αργότερα η ίδια ομάδα [Ferreiro-Arman et al., 2007] με χρήση εναέριων δεδομένων του *CASI-2* στην ίδια περιοχή επιχείρησε το διαχωρισμό των ποικιλιών *Cabernet Sauvignon*, *Cabernet Frank* και *Merlot Noir*, κάθε φορά ανά δύο. Σε αυτή την εργασία χρησιμοποιήθηκαν δύο εικόνες του υπερφασματικού δέκτη *CASI-2*. Η πρώτη λήψη έγινε τον Αύγουστο του 2005 με σταθερές συνθήκες φωτισμού, πάνω από τον τομέα *Château Luchey-Halde*. Αξιοποιήθηκε το μέγιστο του ραδιομετρικού εύρους του αισθητήρα χρησιμοποιώντας 144 κανάλια στο εύρος 400-950nm και με ραδιομετρική ανάλυση 10nm, ενώ η χωρική ανάλυση ήταν 3m. Η δεύτερη λήψη έγινε τον Ιούλιο του 2006 με επίπεδα φωτεινότητας που δεν ήταν σταθερά, πάνω από τον τομέα *Château Couhins*. Η χωρική ανάλυση ήταν 3m, ενώ χρησιμοποιήθηκαν 48 φασματικά κανάλια στο εύρος 407,8-942,2nm και με ραδιομετρική ανάλυση 6,3nm. Για την ταξινόμηση της πρώτης εικόνας δημιουργήθηκαν δύο *datasets*, που ουσιαστικά διέφεραν στις περιοχές από τις οποίες είχαν επιλεγεί τα εικονοστοιχεία εκπαίδευσης και τα εικονοστοιχεία ελέγχου/αξιολόγησης. Η πρώτη εικόνα είχε σταθερά επίπεδα φωτεινότητας και οι ταξινομήσεις για τα δύο *datasets* συμπεριλάμβαναν τις ποικιλίες *Cabernet Sauvignon* και *Merlot Noir*. Για τη δεύτερη εικόνα στην οποία τα επίπεδα φωτεινότητας ποίκιλλαν, έγινε προσπάθεια διαχωρισμού ανάμεσα στις ποικιλίες *Cabernet Sauvignon*, *Cabernet Frank* και *Merlot Noir*, κάθε φορά ανά δύο. Για κάθε ζευγάρι ποικιλιών ανά δύο εξετάστηκε η ικανότητα διαχωρισμού σε τμήματα με διαφορετικά επίπεδα φωτεινότητας, και συγκεκριμένα για κάθε ποικιλία δημιουργήθηκαν τρεις εκδόσεις, η σκοτεινή, η φωτεινή και η ανάμεικτη.

Data Set	κ (%)	OA (%)
1	86.8	90.5
2	83.6	88.2



Σχήμα 2.4 – Τα μέτρα ακρίβειας και οι ταξινομημένοι χάρτες για την ταξινόμηση της πρώτης εικόνας, με σταθερά επίπεδα φωτεινότητας, στο επιστημονικό άρθρο των Ferreiro-Arman et al. (2007).

Η ταξινόμηση της πρώτης εικόνας έτρεξε ανάμεσα στις κατηγορίες *Cabernet Sauvignon*, *Merlot Noir*, Χώμα και Δέντρα, με χρήση της τεχνικής "Gaussian kernel support vector machines - SVM". Τα αποτελέσματα για αυτή την περίπτωση σταθερού φωτισμού παρουσίασαν ποσοστά συνολικής ακρίβειας πάνω από 88,2% (Σχήμα 2.4). Για την ταξινόμηση της δεύτερης εικόνας εξετάστηκαν όλοι οι συνδυασμοί ανά δύο ανάμεσα στις τρεις εκδόσεις (σκοτεινή, φωτεινή, ανάμεικτη) για κάθε μία από τις τρεις ποικιλίες με τις τεχνικές ταξινόμησης: α) k-Εγγύτερος γείτονας [Fix & Hodges, 1951] σε συνδυασμό με SAM, β) k- Εγγύτερος γείτονας σε συνδυασμό με HN, γ) SVM, και δ) SVM σε συνδυασμό με HN. Η τεχνική ταξινόμησης SVM έδωσε καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με την k-Εγγύτερος γείτονας. Για τη μέθοδο ταξινόμησης k-Εγγύτερος γείτονας τα αποτελέσματα ήταν καλύτερα σε συνδυασμό με την τεχνική HN σε σχέση με την τεχνική SAM. Τα ποσοστά συνολικής ακρίβειας σε κάθε περίπτωση συνδυασμού εκδοχής ποικιλιών και τεχνικής ταξινόμησης ήταν πάνω από 82,6 %. Τα προβλήματα που σχετίζονται με τα λανθασμένα αποτελέσματα ταξινομήσεων συνδέθηκαν με την επιρροή του χρώματος και τη διακύμανση στην ποσότητα της βιομάζας τω φυτών εξαιτίας της χαμηλής χωρικής ανάλυσης.

Προς αυτή την κατεύθυνση, αλλά αξιοποιώντας δορυφορικά δεδομένα πολύ υψηλής ανάλυσης, στην παρούσα εργασία, σχεδιάστηκε, αναπτύχθηκε και αξιολογήθηκε μια μεθοδολογία τηλεπισκοπικής ταξινόμησης με στόχο τον εντοπισμό αμπελοτεμαχίων, την εξαγωγή των γραμμών φύτευσης των αμπελιών και τέλος το διαχωρισμό ανάμεσα στις διαφορετικές ποικιλίες αμπέλου. Για την ανάπτυξη της μεθοδολογίας επιλέχθηκε η αντικειμενοστραφής ανάλυση εικόνας που έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς σε πληθώρα διεθνών εργασιών [Blaschke, 2010; Tzotsos et al., 2011; Pu & Laundry, 2011; Ancu et al., 2013; Dupuy et al., 2013; de Castilho Bertani, 2013; Torres-Sánchez, 2015]. Η αντικειμενοστραφής ανάλυση εικόνας έχει επίσης επιδείξει αξιόλογα αποτελέσματα και σε διπλωματικές και μεταπτυχιακές εργασίες που έχουν γίνει στο πλαίσιο του Ε.Μ.Π. και αφορούν μελέτη βλάστησης, καλλιεργειών και άλλων περιβαλλοντικών στοιχείων [Σιακαβάρα Κ., 2011; Δεκάβάλλα, 2011; Φώτη, 2011; Μπαχλαβάς, 2011; Αϊνάλη Α., 2012; Καρακίζη, 2013; Αργυροπούλου, 2013] αλλά και μελέτη ανθρωπογενών παραγόντων [Σαμοΐλη, 2008; Μιχαηλίδου, 2011; Μαραγκουδάκης, 2014].



ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΕΣ

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται αρχικά η συλλογή δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία και μετέπειτα η μεθοδολογία των βασικών προεπεξεργασιών που ακολούθησαν, πριν την εφαρμογή της κύριας μεθοδολογίας.

3.1 Συλλογή Δεδομένων

Πριν από οποιαδήποτε επεξεργασία ήταν απαραίτητη η συλλογή των δεδομένων που θα αξιοποιούνταν για την εξαγωγή αποτελεσμάτων. Η συλλογή δεδομένων αφορούσε τις καταγραφές και μετρήσεις στο πεδίο και την παραλαβή των δορυφορικών εικόνων *WorldView-2* και *Pleiades-1B*, για τα έτη 2012, 2013 και 2014. Όλες οι διαδικασίες υλοποιήθηκαν μέσα στο χρονικό εύρος ± 2 εβδομάδες πριν την έναρξη του περκασμού (*véraison*), χρονικό στάδιο που θεωρείται ότι είναι το βέλτιστο για τη διενέργεια εφαρμογών αμπελουργίας ακριβείας [*Lamb et al., 2004*]. Ο περκασμός είναι το στάδιο ωρίμανσης του αμπελιού, κατά το οποίο η ρόγα του σταφυλιού μεγαλώνει και αρχίζει να αποκτά εντονότερο χρώμα. Το σύνολο των εργασιών υλοποιήθηκε σε τέσσερις κατεξοχήν οινοπαραγωγικές περιοχές της Ελλάδας, βασικά χαρακτηριστικά των οποίων περιγράφονται στην επόμενη παράγραφο.

3.1.1 Περιοχές μελέτης

Η συλλογή δεδομένων υλοποιήθηκε σε τέσσερις διαφορετικές οινοπαραγωγικές περιοχές από την κεντρική ως τη βόρεια Ελλάδα. Όλες οι περιοχές ανήκουν σε συγκεκριμένες ζώνες προστατευόμενης ονομασίας προέλευσης (ΠΟΠ) ή ζώνες προστατευόμενης γεωγραφικής ένδειξης (ΠΓΕ).

Η πρώτη περιοχή μελέτης, το οροπέδιο της Τράπεζας, βρίσκεται στο βόρειο τμήμα της Πελοποννήσου, μέσα στη ζώνη οίνων ΠΓΕ Πλαγιάς Αιγιαλείας, σε υψόμετρο περίπου 800μ. Οκτώ διαφορετικές ποικιλίες καλλιεργούνται στην περιοχή, εκ των οποίων το *Syrah* και το *Sauvignon Blanc* θεωρούνται οι σημαντικότερες για την οινοποίηση. Η δεύτερη περιοχή μελέτης, ο Μεγαπλάτανος, βρίσκεται στην κεντρική ηπειρωτική Ελλάδα, μέσα στη ζώνη οίνων ΠΓΕ Κοιλιάδα Αταλάντης, σε υψόμετρο περίπου 60μ. Πάνω από 20 διαφορετικές ποικιλίες καλλιεργούνται στη συγκεκριμένη περιοχή. Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης εργασίας εστίασαμε στη μελέτη έξι εξ' αυτών, συμπεριλαμβανομένων των ευρέως καλλιεργούμενων *Chardonnay*, Ρομπόλα και *Cabernet Sauvignon*. Η τρίτη περιοχή μελέτης, η Νάουσα, βρίσκεται στη δυτική Μακεδονία, μέσα στη ζώνη οίνων ΠΟΠ Νάουσα, και συγκεκριμένα κοντά στον οικισμό Γιαννακοχώρι. Το υψόμετρο της περιοχής είναι περίπου 200μ. πάνω από τη στάθμη της θάλασσας. Πάνω από 10 ποικιλίες καλλιεργούνται στην περιοχή, εκ των οποίων το Ξινόμαυρο, το *Merlot* και το *Syrah* αξιοποιούνται ως επί το πλείστον στην

παραγωγή κρασιού. Η τέταρτη περιοχή μελέτης, το Αμύνταιο, βρίσκεται στο βορειοδυτικό άκρο της Μακεδονίας, κοντά στον οικισμό του Αμυνταίου και μέσα στη ζώνη οίνων ΠΟΠ Αμυνταίου. Στην περιοχή καλλιεργούνται πολλές ποικιλίες αμπέλου, εκ των οποίων επικεντρωθήκαμε στη μελέτη των *Syrah*, *Tannat* και *Monterulciano*.



Σχήμα 3.1 - Οι περιοχές μελέτης στον ελλαδικό χώρο.

3.1.2 Εργασίες υπαίθρου

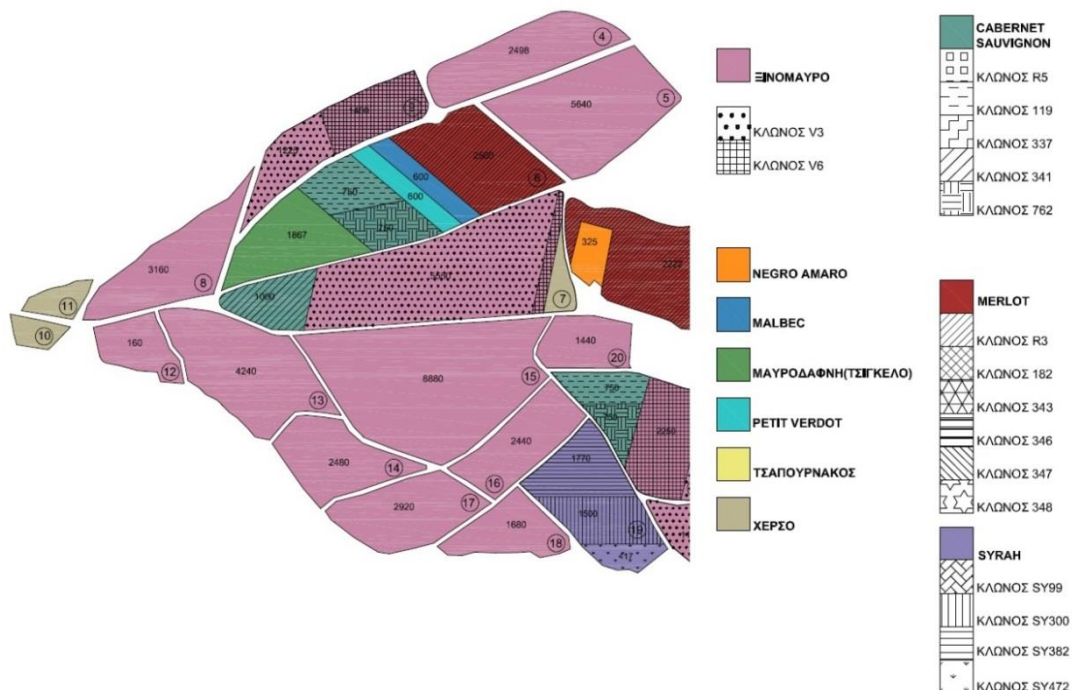
Η συλλογή δεδομένων μέσω των εργασιών υπαίθρου περιλάμβανε τη δημιουργία αυτοσχεδίων-κροκί για τις θέσεις των αμπελοτεμαχίων και τις ποικιλίες καλλιέργειας αμπέλου καθώς και τις καταγραφές με φασματογράφο χειρός. Οι μέρες διεξαγωγής της συλλογής δεδομένων επιλέχθηκαν να είναι μέσα στο διάστημα που ο δορυφόρος έκανε λήψη των εικόνων, ώστε τόσο οι συνθήκες καταγραφής όσο και το χρονικό στάδιο στη ζωή του αμπελιού, να μην διαφέρουν σημαντικά.

Η δημιουργία των αυτοσχεδίων έγινε με επιτόπου σχεδιασμό και τη βοήθεια/υπόδειξη των ανθρώπων των συνεργαζόμενων οινοποιείων. Σε ορισμένες περιοχές υπήρχαν διαθέσιμοι χάρτες από τα οινοποιεία με τη θέση των αμπελοτεμαχίων και τις φυτεμένες ποικιλίες-κλώνους, οι οποίοι κατά τις εργασίες πεδίου επιβεβαιώθηκαν ή/και επικαιροποιήθηκαν.

3. Δεδομένα και Προπεξεργασίες



(α)



(β)

Σχήμα 3.2 - (α) Αυτοσχέδιο-κροκί που δημιουργήθηκε κατά τη συλλογή δεδομένων για την περιοχή του Μεγαπλάτανου και (β) τμήμα του χάρτη υπάρχουσας κατάστασης ποικιλιών-κλώνων, που δόθηκε από το οινοποιείο Κυρ Γιάννη, για την περιοχή Αμύνταιο.

Εκτός από τη δημιουργία αυτοσχεδίων έγιναν εκατοντάδες καταγραφές ποικιλιών αμπέλου αλλά και άλλων στοιχείων με χρήση του φασματογράφου χειρός. Ο φασματογράφος που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο GER 1500 της Spectra Vista Corporation με ραδιομετρικό εύρος από 350nm έως 1050nm και 512 κανάλια. Το όργανο αυτό χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή της ανακλώμενης ακτινοβολίας των αντικειμένων και κυρίως των διαφορετικών ποικιλιών αμπέλου. Εκτός από τις διαφορετικές ποικιλίες καταγράφηκαν και διαφορετικές καταστάσεις υγείας και διαφορετικά επίπεδα στρες του αμπελιού.

Συνήθως η καταγραφή περιλάμβανε ένα τετράγωνο 5cm X 5cm, στο οποίο γινόταν προσπάθεια καταγραφής αμιγούς φυλλώματος χωρίς τα στοιχεία του υποβάθρου. Για την αποφυγή χονδροειδών σφαλμάτων κατά την διαδικασία συλλογής δεδομένων συνέβαλαν τόσο το laser στόχευσης του οργάνου, όσο και η προεπιλεγμένη ρύθμιση καταγραφής μέσου όρου πολλαπλών μετρήσεων ο οποίος καταγράφεται στην μνήμη ως τελική τιμή. Στην προκειμένη περίπτωση, επιλέχθηκε μέσος όρος 3 μετρήσεων.

Η λαμπερτιανή πλάκα χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή της ακτινοβολίας αναφοράς (*irradiance*) στις περιοχές των στόχων απαιτούμενο δεδομένο για τον υπολογισμό της ανακλαστικότητας (*reflectance*) που υπολογίστηκε κατά την μετέπειτα επεξεργασία, επιτρέποντας την ανεξαρτησία των αποτελεσμάτων από τις τοπικές ατμοσφαιρικές συνθήκες (ηλιοφάνεια, θερμοκρασία, υγρασία) [Οικονόμου,2014]. Επιπρόσθετα το όργανο συνδεόταν με σύστημα *GPS* ώστε να υπάρχουν διαθέσιμες πληροφορίες και για τη χωρική θέση κάθε καταγραφής.

3.1.3 Πολυφασματικά τηλεπισκοπικά δεδομένα *WorldView-2* και *Pleiades-1B*

Ο κορμός των δεδομένων για την παρούσα εργασία ήταν οι δορυφορικές εικόνες από τους δορυφορικούς αισθητήρες πολύ υψηλής ανάλυσης *WorldView-2* και *Pleiades-1B*. Στις επόμενες παραγράφους παρατίθενται κάποια βασικά χαρακτηριστικά των δορυφόρων.

Χαρακτηριστικά του δορυφόρου *WorldView-2*

Χωρική Ανάλυση	0.50 m παγχρωματικό 2 m πολυφασματικό
Φασματικό Εύρος	Παγχρωματικό: 450-800nm Παράκτιο Μπλε: 400-550 nm Μπλε: 450-510 nm Πράσινο: 510-580 nm Κίτρινο: 585-625 nm Κόκκινο: 630-690 nm Οριακό Κόκκινο: 705-745 nm Εγγύς Υπέρυθρο 1: 770-895 nm Εγγύς Υπέρυθρο 2: 860-1040 nm
Ραδιομετρική Ανάλυση	11bits
Μορφή Συμπίεσης Εικόνας	<i>GeoTIFF</i>
Συχνότητα Επανεπίσκεψης	1,1 ημέρες
Μέγιστη Έκταση Συλλογής σε ένα πέρασμα	- 96 x 110 km (μονοεικονική) - 48 x 110 km (στέρεο)

Πίνακας 3.1 - Βασικά χαρακτηριστικά του δορυφόρου *WorldView-2*.

- Δορυφορικός Αισθητήρας WorldView-2

Ο δορυφόρος αυτός ξεχωρίζει σε σχέση με τους άλλους καθώς είναι ο πρώτος δορυφόρος πολύ υψηλής ευκρίνειας με οχτώ πολυφασματικά κανάλια. Ο WV2 παρέχει χωρική ανάλυση παγχρωματικής εικόνας 0.5m και πολυφασματικής 2m. Το ύψος πτήσης του δορυφόρου είναι 770 χλμ. Το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς που χρησιμοποιείται στις εικόνες είναι το WGS 84 (*World Geodetic System*). Ο δορυφόρος αυτός εκτός από τα συνήθη τέσσερα κανάλια Μπλε (*Blue*), Πράσινο (*Green*), Κόκκινο (*Red*) και Εγγύς Υπέρυθρο (*NIR*) κατακερματίζει περισσότερο το φάσμα και προσφέρει τέσσερα νέα κανάλια τα Παράκτιο Μπλε (*Coastal Blue*), το Κίτρινο (*Yellow*), το Οριακό Κόκκινο (*Red-Edge*) και δεύτερο εγγύς υπέρυθρο (*NIR2*).

Κάθε κανάλι του WV2 ενδείκνυται για διαφορετικές εφαρμογές και τα νέα κανάλια έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να προσφέρουν επιπλέον δυνατότητες στην ερμηνεία των εικόνων (Σχήμα 3.3). Το παγχρωματικό κανάλι έχει εύρος από 450-800nm.

Coastal Blue (400-450 nm)

- 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

Blue (450-510 nm)

- 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

Green (510-580 nm)

- 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

Red (630-690 nm)

- 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

Red-Edge (705-745 nm)

- 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

NIR1 (770-895 nm)

- 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

Yellow (585-625 nm)

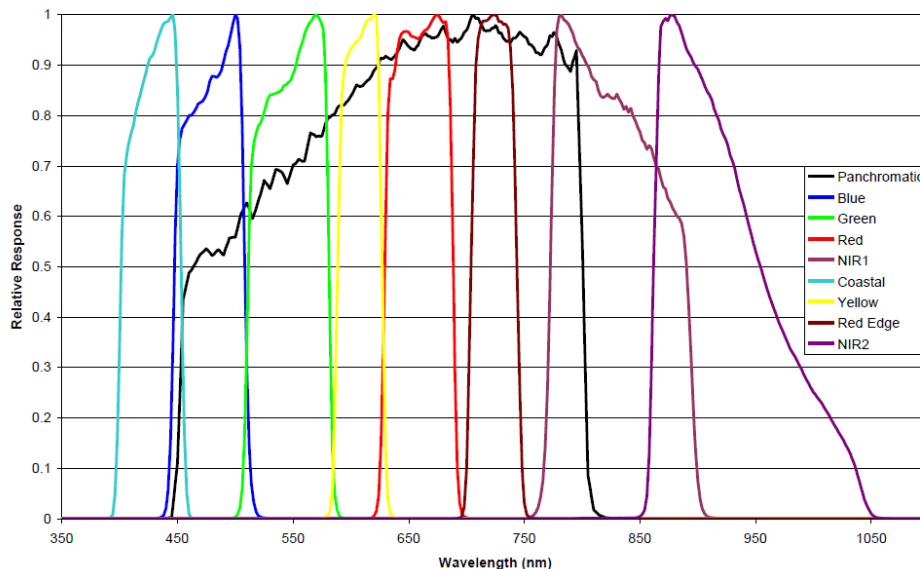
- Νέο κανάλι
- Σημαντικό για την ταξινόμηση χαρακτηριστικών
- Ανιχνεύει το 'κιτρίνισμα' της βλάστησης

NIR2 (860-1040 nm)

- Νέο κανάλι
- Επικαλύπτεται με το NIR1 αλλά επηρεάζεται λιγότερο από την ατμοσφαιρική επίδραση
- Δίνει τη δυνατότητα για ευρύτερη ανάλυση βλάστησης και μελέτη βιομάζας

Σχήμα 3.3 - Το εύρος μήκους κύματος και τα χαρακτηριστικά των 8 καναλιών του δορυφόρου *WorldView-2*. Πηγή : <http://www.satimagingcorp.com>

Η σχετική φασματική απόκριση για τα κανάλια του δορυφορικού αισθητήρα *WorldView-2* παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.4.



Σχήμα 3.4 - Η σχετική φασματική απόκριση για τα κανάλια του δορυφορικού αισθητήρα *WorldView-2*. Πηγή : <http://www.satimagingcorp.com>

- Δορυφορικός Αισθητήρας *Pleiades-1B*

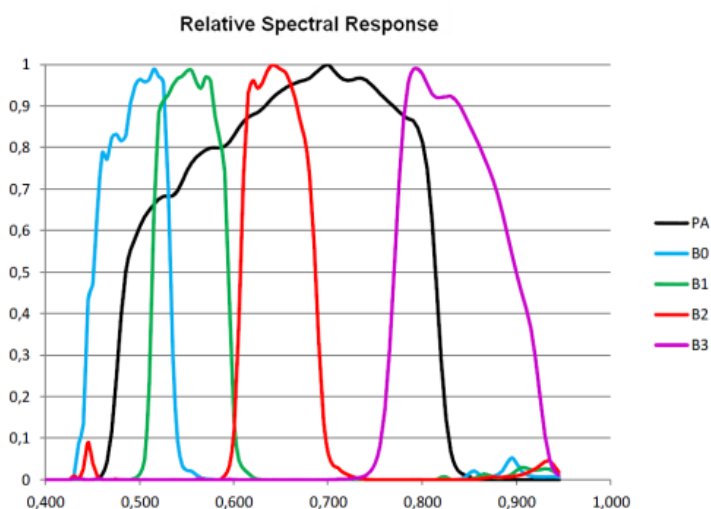
Ο δορυφορικός αισθητήρας *Pleiades-1B* ξεκίνησε τη λειτουργία του στις 2 Δεκεμβρίου του 2012. Αποτελεί σύστημα προηγμένης τεχνολογίας και σε συνδυασμό με τον *Pleiades-1A* επιτρέπει την καθημερινή επανεπίσκεψη σε οποιοδήποτε μέρος του πλανήτη, κάνοντας τον ιδανικό για τη χαρτογράφηση μεγάλων περιοχών. Αξιοσημείωτη είναι επίσης, για του δορυφόρους *Pleiades-1*, η ευελιξία που προσφέρουν επιτρέποντας κλίσεις απεικόνισης από το ναδίρ και πολλούς τρόπους (*modes*) συλλογής όπως είναι οι στερεοσκοπικές απεικονίσεις. Το ύψος πτήσης του δορυφόρου είναι 694 χλμ.

Ο *Pleiades-1B* παρέχει ανάλυση παγχρωματικής εικόνας 0.50m και πολυφασματικής 2m. Το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς που χρησιμοποιείται στις εικόνες είναι το *WGS 84 (World Geodetic System)*. Ο αισθητήρας του κατακερματίζει το φασματικό

εύρος σε τέσσερα κανάλια: Μπλε (*Blue*), Πράσινο (*Green*), Κόκκινο (*Red*) και Εγγύς Υπέρυθρο (*NIR*). Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά του δορυφορικού αισθητήρα *Pleiades-1B*.

Χαρακτηριστικά του αισθητήρα <i>Pleiades-1B</i>	
Ημερομηνία Εκτόξευσης	2 Δεκεμβρίου 2012
Χωρική Ανάλυση	0.50 m παγχρωματικό 2 m πολυφασματικό
Φασματικό Εύρος	Παγχρωματικό: 480-830 nm Μπλε: 430-550 nm Πράσινο: 490-610 nm Κόκκινο: 600-720 nm Εγγύς Υπέρυθρο: 750-950 nm
Ραδιομετρική Ανάλυση	16bits
Μορφή Συμπίεσης Εικόνας	GeoTIFF
Γωνία Λήψης	Ικανός για λήψη υπό οποιαδήποτε γωνία
Συχνότητα Επανεπίσκεψης	Καθημερινή
Έκταση Καθημερινής Συλλογής	- 100 000 00 sq.km. - 100 km x 100 km (μωσαϊκό) - 20 km x 280 km (στέρεο)

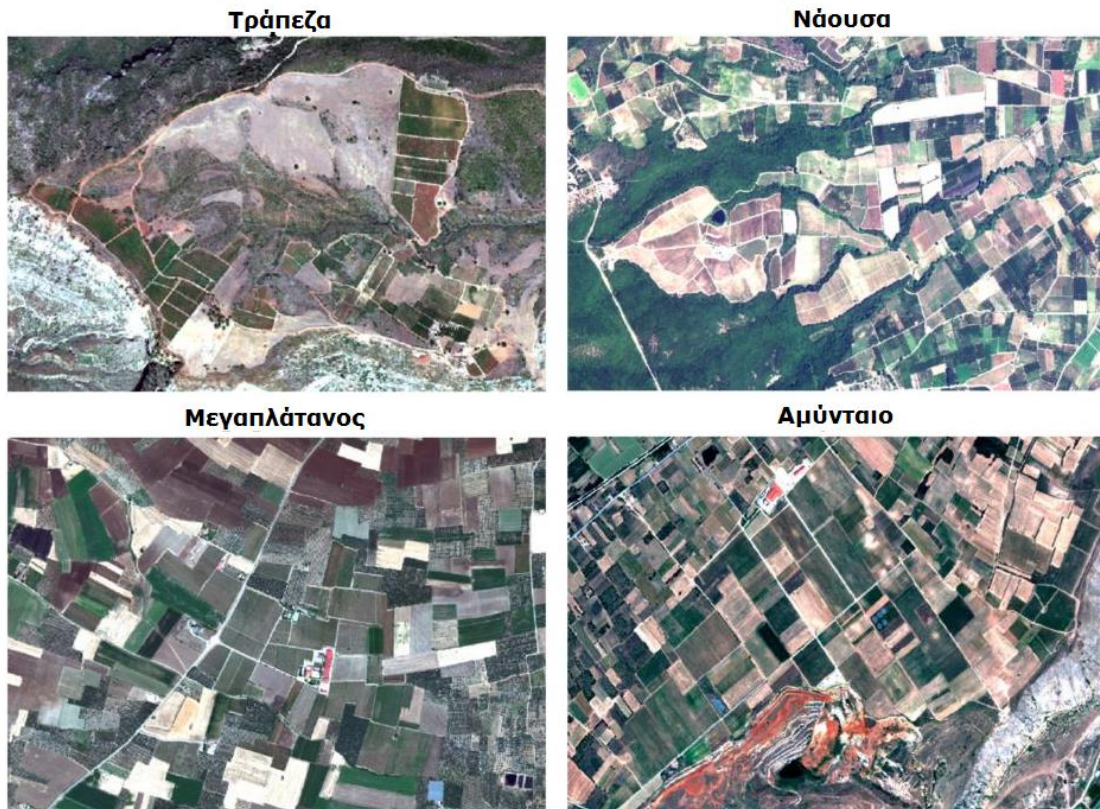
Πίνακας 3.2 - Βασικά χαρακτηριστικά του δορυφόρου *Pleiades-1B*.



Σχήμα 3.5 - Η σχετική φασματική απόκριση για τα κανάλια του δορυφόρου *Pleiades-1B*. Πηγή : <http://www.satimagingcorp.com>

Η σχετική φασματική απόκριση για τα κανάλια του αισθητήρα *Pleiades-1B* παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.5.

Η αμερικάνικη εταιρία *DigitalGlobe* παρείχε, μετά από σχετικό αίτημα, στο εργαστήριο Τηλεπισκόπησης της Σ.Α.Τ.Μ. τέσσερις παγχρωματικές και τέσσερις πολυφασματικές εικόνες του δορυφορικού αισθητήρα *WorldView-2* για τις περιοχές μελέτης. Πιο συγκεκριμένα το 2012 έγινε λήψη των εικόνων για την Τράπεζα και το Μεγαπλάτανο και το 2013 για τη Νάουσα και το Αμύνταιο.



Σχήμα 3.6 - Τμήματα των δορυφορικών εικόνων *WorldView-2* για τις τέσσερις περιοχές μελέτης σε φυσικά έγχρωμα σύνθετα.

Αντίστοιχα μετά από σχετικό αίτημα, η γαλλική εταιρία *Astrium (Airbus Defence and Space)* παρείχε στο εργαστήριο μια παγχρωματική και μια πολυφασματική εικόνα του δορυφορικού αισθητήρα *Pleiades-1B* για την περιοχή του Αμυνταίου, για το έτος 2014. Στον πίνακα 3.3 παρουσιάζονται βασικά χαρακτηριστικά και μεταδεδομένα των πέντε διαθέσιμων δορυφορικών εικόνων.

Χαρακτηριστικά και Μεταδεδομένα Δορυφορικών Εικόνων

Δορυφορική Εικόνα	Αριθμός Καναλιών	Ημερομηνία & Ώρα Λήψης	Γραμμές x Στήλες (pixels)	Κέντρο φ, λ
Τράπεζα WV2	8 (Multi) 1 (Pan)	31.07.2012 09:41:41	2877 x 2613 11508 x 10452	38° 9' 24.85" , 22° 12' 33.25"
Μεγαπλάτα νος WV2	8 (Multi) 1 (Pan)	31.07.2012 09:41:23	2859 x 2573 11436 x 10292	38°40'25.41" , 23° 1'13.67"
Νάουσα WV2	8 (Multi) 1 (Pan)	29.07.2013 10:01:08	2503 x 2607 10012 x 10428	40°39'34.12" , 22° 4'15.34"
Αμύνταιο WV2	8 (Multi) 1 (Pan)	01.08.2013 09:50:36	5451 x 7085 21804 x 28340	40°39'42.04" , 21° 43'44.48"
Αμύνταιο Pleiades-1B	4(Multi) 1 (Pan)	07.08.2014 09:31:05	2119 x 1843 8478 x 7371	40°40'32.72" , 21° 42'51.99"

Πίνακας 3.3 - Βασικά χαρακτηριστικά και μεταδεδομένα των δορυφορικών εικόνων.

3.2 Προεπεξεργασίες Δεδομένων

Ως προεπεξεργασίες ορίζονται οι απαραίτητες επεξεργασίες που προηγήθηκαν της βασικής μεθοδολογίας. Αυτές περιλαμβάνουν βελτιωτικές επεμβάσεις στις δορυφορικές εικόνες με αρχική τη ραδιομετρική και ατμοσφαιρική διόρθωση των πολυφασματικών δορυφορικών εικόνων. Μετά τις βασικές αυτές διορθώσεις οι πολυφασματικές εικόνες συγχωνεύτηκαν (*pan-sharpening*) με τις παγχρωματικές και έτσι παρήχθησαν πέντε νέες εικόνες που θα χρησιμοποιούνταν στις ταξινομήσεις. Οι συγχωνευμένες πλέον εικόνες περικόπηκαν σε νέες διαστάσεις που απεικόνιζαν την ειδικότερη περιοχή που μελετούταν. Ως επιπρόσθετη επεξεργασία περιγράφεται η παραγωγή των δεδομένων ελέγχου μέσω ψηφιοποίησης, βάσει των δεδομένων που συλλέχθηκαν κατά τις εργασίες πεδίου και αφορούσαν τη θέση και ποικιλία καλλιέργειας των αμπελοτεμαχίων.

3.2.1 Ραδιομετρική και ατμοσφαιρική διόρθωση εικόνων

Κατά την ατμοσφαιρική διόρθωση διενεργούνται οι απαραίτητες, πριν την ανάλυση των δορυφορικών εικόνων, διορθώσεις ώστε να εξαλειφθεί η αλλοίωση που προκαλεί στην ακτινοβολία η επίδραση της ατμόσφαιρας η οποία παρεμβάλλεται μεταξύ του στόχου και του δέκτη.

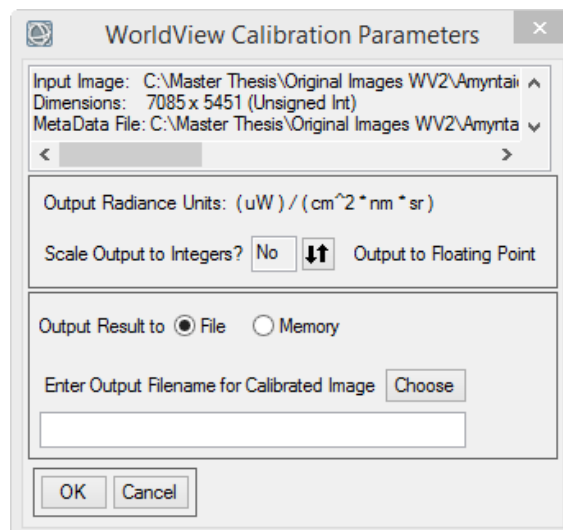
Η επίδραση της ατμόσφαιρας στην ηλιακή ακτινοβολία που ανακλάται σε μια επιφάνεια έχει ως αποτέλεσμα μέρος της ακτινοβολίας να σκεδαστεί, να απορροφηθεί ένα άλλο και το υπόλοιπο να φτάσει στο δορυφορικό αισθητήρα. Η επιφάνεια του εδάφους δεν δέχεται όμως μόνο την άμεση ακτινοβολία του ήλιου αλλά και τη διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία η οποία προέρχεται από τη σκέδαση της άμεσης ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα πριν αυτή φτάσει στο έδαφος. Η διάχυτη ακτινοβολία φτάνει στον δορυφορικό αισθητήρα είτε κατευθείαν από την ατμόσφαιρα είτε ανακλώμενη στην επιφάνεια του εδάφους και σε νέφη ως ακτινοβολία διαδρομής. Η ακτινοβολία που φτάνει στο δορυφορικό αισθητήρα, αποτελεί το άθροισμα όλων των

παραπάνω συνιστωσών. Ουσιαστικά η διόρθωση αυτή αποσκοπεί στη παραγωγή εικόνων ανακλαστικότητας (*reflectance*), με αφαίρεση των επιδράσεων της ατμόσφαιρας επί της καταγεγραμμένης έντασης της ανακλώμενης ακτινοβολίας, από την οποία προκύπτει η πρωτογενής εικόνα του δορυφόρου

Στο πρακτικό τμήμα, οι διαδικασίες των ατμοσφαιρικών διορθώσεων για τις πέντε πολυφασματικές δορυφορικές εικόνες υλοποιήθηκαν στο λογισμικό *ENVI (Exelis)* και πιο συγκεκριμένα με χρήση του εργαλείου *Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes (FLAASH™)*. Πριν την ατμοσφαιρική διόρθωση οι εικόνες διορθώθηκαν ραδιομετρικά μέσω της ραδιομετρικής βαθμονόμησης (*radiometric calibration*) ούτως ώστε οι πρωτογενείς ψηφιακές τιμές που αντιπροσωπεύουν τη σχετική ακτινοβολία (*relative radiance*) να μετατραπούν σε τιμές απόλυτης ακτινοβολίας (*absolute radiance*).

Ακολούθως παρουσιάζονται τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την ατμοσφαιρική διόρθωση των δορυφορικών εικόνων στο περιβάλλον *ENVI*.

1. Εισαγωγή της πολυφασματικής εικόνας στο περιβάλλον *ENVI*.
2. Επεξεργασία των στοιχείων της εικόνας ώστε κάθε κανάλι να χαρακτηρίζεται από το κέντρο του φασματικού του εύρους
3. Ραδιομετρική διόρθωση/καλιμπράρισμα με χρήση του αρχείου μεταδεδομένων της πολυφασματικής εικόνας και παράγωγη εικόνα σε τιμές *Floating Point* και σε μονάδες $[(\mu W) / (cm^2 * nm * sr)]$, ώστε να είναι κατάλληλο για εισαγωγή στο *FLAASH* (Σχήμα 3.7).

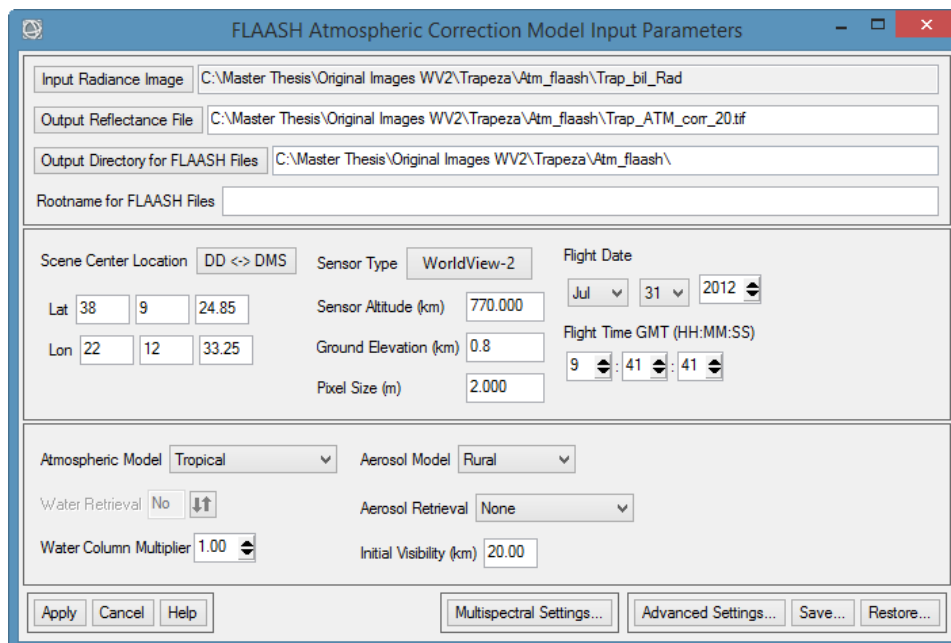


Σχήμα 3.7 - Στιγμιότυπο από το ραδιομετρικό καλιμπράρισμα με χρήση του αρχείου μεταδεδομένων της πολυφασματικής εικόνας, στο περιβάλλον *ENVI*.

4. Μετατροπή της ραδιομετρικά διορθωμένης εικόνας σε αρχείο τύπου *BIL* ώστε να μπορεί να εισαχθεί στο *FLAASH*.

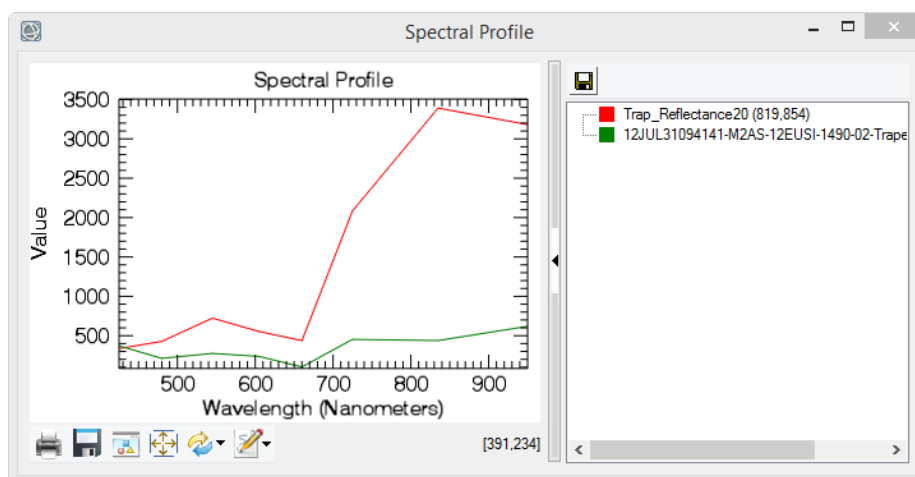
3. Δεδομένα και Προεπεξεργασίες

5. Ατμοσφαιρική διόρθωση της εικόνας με το εργαλείο *FLAASH* και την κατάλληλη παραμετροποίηση, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.8.



Σχήμα 3.8 - Στιγμιότυπο από το εργαλείο *FLAASH* και την κατάλληλη παραμετροποίηση για την ατμοσφαιρική διόρθωση πολυφασματικής εικόνας, στο περιβάλλον *ENVI*.

6. Με το εργαλείο *Spectral Profile* ελέγχονται οι καμπύλες της αρχικής και της τελικής ατμοσφαιρικά διορθωμένης εικόνας για εικονοστοιχεία με γνωστές φασματικές συμπεριφορές (π.χ. υγιής βλάστηση) και αναλόγως τα αποτελέσματα επιλέγεται να ακολουθήσει ή όχι νέα διόρθωση με άλλη παραμετροποίηση (Σχήμα 3.9).



Σχήμα 3.9 - Στιγμιότυπο από το εργαλείο *Spectral Profile* του *FLAASH* όπου παρουσιάζεται η φασματική καμπύλη εικονοστοιχείου που απεικονίζει υγιή βλάστηση για την ατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα (κόκκινο) και για την αρχική πολυφασματική εικόνα (πράσινο). Είναι εμφανές ότι η διόρθωση αποκατέστησε τις τιμές φωτεινότητας στα φασματικά κανάλια, καθώς η φασματική καμπύλη της διορθωμένης εικόνας ακολουθεί την αναμενόμενη κατανομή στα αντίστοιχα μήκη κύματος για ένα εικονοστοιχείο βλάστησης.

Μετά από αρκετές δοκιμές παραμετροποίησης, κυρίως αλλάζοντας την παράμετρο *Initial Visibility*, που σχετίζεται με την οπτική «καθαρότητα» της σκηνής και την παρουσία νεφών σε αυτή, παρήχθησαν πέντε νέες ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες (Σχήμα 3.10).

Τράπεζα WV2 2012

RAW



ATM. COR. (I.V. 20)



Μεγαπλάτανος WV2 2012

RAW



ATM. COR. (I.V. 20)



Νάουσα WV2 2013

RAW



ATM. COR. (I.V. 30)



fusion, pan-sharpening, resolution merge, image integration ή *multi-sensor data fusion* [Vijayaraj et al.,2006; Kumar et al., 2009]. Η συγχώνευση εικόνων μπορεί να αναφέρεται σε συγχώνευση εικόνων από διαφορετικούς δέκτες (*multi-sensor data fusion*), συγχώνευση διαφορετικών τύπου εικόνων (π.χ. οπτικές με SAR) αλλά και στη συγχώνευση της πολυφασματικής με την παγχρωματική εικόνα (*pan-sharpening*).

Το *pan-sharpening* αποτελεί μια περίπτωση συγχώνευσης εικόνας και αναφέρεται στη διαδικασία δημιουργίας μιας νέας εικόνας από τη συγχώνευση της παγχρωματικής εικόνας υψηλής χωρικής ανάλυσης με την πολυφασματική εικόνα χαμηλότερης χωρικής ανάλυσης. Η παράγωγη εικόνα φέρει περισσότερη πληροφορία εφόσον συνδυάζει την ανώτερη φασματική ανάλυση της πολυφασματικής εικόνας με την ανώτερη χωρική ανάλυση της παγχρωματικής. Η τεχνική αδυναμία των να παράγουν εικόνα υψηλής χωρικής αλλά και φασματικής ανάλυσης, έχει καταστήσει τη διαδικασία του *pan-sharpening* ευρέως χρησιμοποιούμενη σε πολλές εφαρμογές. Το *pan-sharpening* εφαρμόζεται σε βάση *pixel-by-pixel* και τις περισσότερες φορές σε εικόνες που έχουν παραχθεί από τον ίδιο δέκτη/πλατφόρμα, στον ίδιο χρόνο ή με ελάχιστη χρονική διαφορά [Yuhendra et al.,2012].

Στη συγκεκριμένη εργασία η τεχνική της συγχώνευσης εικόνας υλοποιήθηκε στο λογισμικό *ERDAS IMAGINE 2011*. Πριν την εισαγωγή των εικόνων στο λογισμικό *Erdas*, οι ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες που παρήχθησαν μέσω του *FLAASH* σε μορφή *16bit signed integer*, αποθηκεύτηκαν σε *format 16bit unsigned integer* ώστε να μπορούν να συγχωνευθούν ορθά με τις αντίστοιχες παγχρωματικές εικόνες που ήταν στο ίδιο *format*. Οι παγχρωματικές και πολυφασματικές εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα στη συγκεκριμένη εργασία, είχαν ληφθεί την ίδια στιγμή και από τον ίδιο καταγραφέα (*sensor*), και έτσι η τεχνική ήταν δυνατό να εφαρμοστεί απευθείας χωρίς περαιτέρω "εγγραφή" (*registration*). Η διαδικασία ξεκινά με την επαναδειγματοληψία (*resampling*) της πολυφασματικής εικόνας στην παγχρωματική, προκειμένου οι προς συγχώνευση εικόνες να αποκτήσουν το ίδιο μέγεθος εικονοστοιχείου (*pixel*). Στη συνέχεια ακολουθούν μαθηματικοί μετασχηματισμοί, που διαφέρουν ανάλογα με τη μέθοδο που εφαρμόζεται.

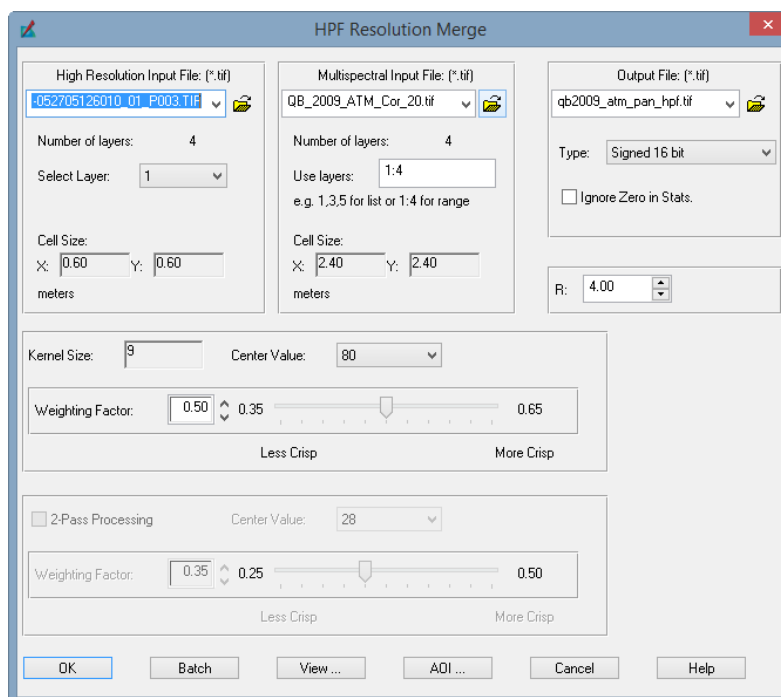
Το λογισμικό προσφέρει πληθώρα διαφορετικών μεθόδων για τη διενέργεια συγχώνευσης εικόνων. Από αυτές εφαρμόστηκαν οι μέθοδοι *Ehler, Modified IHS, High Pass filter, Wavelet-PCA, Principal Components* και *Hyperspherical Color Space*.

Η μέθοδος *Ehler* σχηματίστηκε ειδικά για συγχώνευση εικόνων που διατηρεί τα ραδιομετρικά χαρακτηριστικά [Ling et al.,2007]. Η μέθοδος *Modified IHS (M-IHS)* [Siddiqui,2003; Kumar et al.,2011], αποτελεί μια σημαντικά βελτιωμένη παραλλαγή των παραδοσιακών μεθόδων *IHS*. Η μέθοδος λειτουργεί υπολογίζοντας τη φασματική επικάλυψη μεταξύ κάθε ενός από τα πολυφασματικά κανάλια με το υψηλής ανάλυσης παγχρωματικό κανάλι και δίνοντας βάρη στη συγχώνευση ανάλογα με τα σχετικά μήκη κύματος [ERDAS IMAGINE Help Guide,2011].

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 *resampling* [Schowengerdt,1998]. Η

3. Δεδομένα και Προεπεξεργασίες

διαδικασία περιλαμβάνει μια συνέλιξη χρησιμοποιώντας ένα υπεραποκρίσιμο φίλτρο (*HPF*) επί των δεδομένων υψηλής ανάλυσης και στη συνέχεια συνδυάζοντας αυτά με τα πολυφασματικά δεδομένα χαμηλότερης ανάλυσης.



Σχήμα 3.11 - Στιγμιότυπο από το εργαλείο *Pan Sharpen - HPF Resolution Merge* και την κατάλληλη παραμετροποίηση για το *pan-sharpening* εικόνων , στο περιβάλλον *Erdas Imagine*.

Η μέθοδος *Wavelet-PCA* χρησιμοποιεί μικρά διακριτά τμήματα του κύματος (*wavelets*) [ERDAS IMAGINE Help Guide,2011]. Στη μέθοδο αυτή το εκάστοτε *wavelet* μετατρέπεται σε κύριες συνιστώσες και η πρώτη συνιστώσα συγχωνεύεται με την παγχρωματική εικόνα. Έπειτα, 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)* υπολογίζει τις κύριες συνιστώσες, αλλάζει το εύρος τιμών της εικόνας υψηλής ανάλυσης στο εύρος της πρώτης κύριας συνιστώσας και κατόπιν εφαρμόζει αντίστροφο μετασχηματισμό κυρίων συνιστωσών [ERDAS IMAGINE Help Guide,2011].

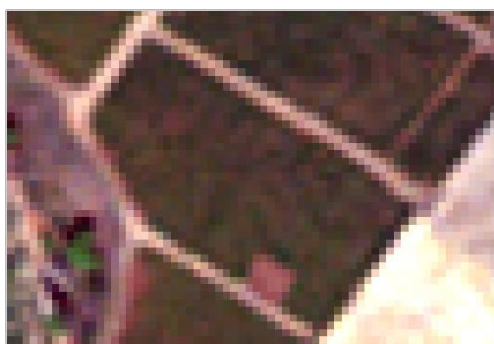
Η μέθοδος συγχώνευσης εικόνας *Hyperspherical Color Sharpening (HCS)*, σχεδιάστηκε από την *DigitalGlobe* ειδικά για τον αισθητήρα του *WV2* με τα οκτώ κανάλια. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος δέχεται αρχικά οποιοδήποτε αριθμό καναλιών, και μετέπειτα διενεργούνται ποσοτικές συγκρίσεις χρώματος χρησιμοποιώντας διαφορετικούς συνδυασμούς καναλιών από την αρχική πολυφασματική εικόνα [Padwick et al.,2010]. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στη μετατροπή μεταξύ του "αρχικού χώρου χρώματος" της εικόνας (*native color space*) στον "υπερσφαιρικό χώρο χρώματος" (*hyperspherical color space*), ως ευθύς και αντίστροφος μετασχηματισμός συντεταγμένων χρώματος.

Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης εργασίας, έγιναν πολλές δοκιμές στην παραμετροποίηση της κάθε μεθόδου ώστε να παραχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα.

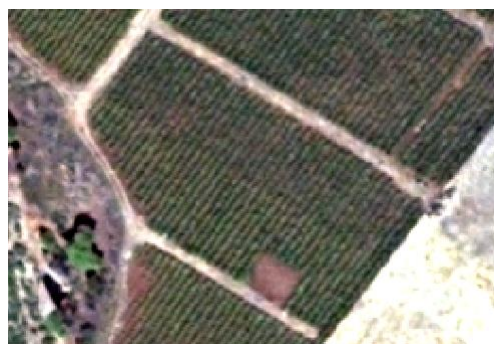
Οι μέθοδοι που έδωσαν τόσο χωρικά όσο και φασματικά ικανοποιητικό αποτέλεσμα ήταν η μέθοδος *High Pass filter* και η *Hyperspherical Color Sharpening*. Από αυτές τις δύο μεθόδους τελικά επιλέχθηκε να εφαρμοστεί η *HPF* καθώς έδινε αποτελέσματα που διατηρούσαν τη φασματική πιστότητα ενώ ταυτόχρονα ενίσχυαν σημαντικά το γραμμικό πρότυπο των αμπελοκαλλιεργειών. Η ενίσχυση του συγκεκριμένου χαρακτηριστικού ήταν κρίσιμη για την επιτυχημένη εφαρμογή της μετέπειτα μεθοδολογίας εντοπισμού των αμπελιών και διαχωρισμού των γραμμών φύτευσης από τα γύρω υλικά (χώμα, πέτρες κ.α.). Στο Σχήμα 3.12 παρουσιάζονται τμήματα από τις ατμοσφαιρικά διορθωμένες πολυφασματικές εικόνες πριν και μετά το *pan-sharpening*.

Τράπεζα WV2 2012

Ατμοσφαιρικά Διορθωμένη



HPF Pan-Sharpended



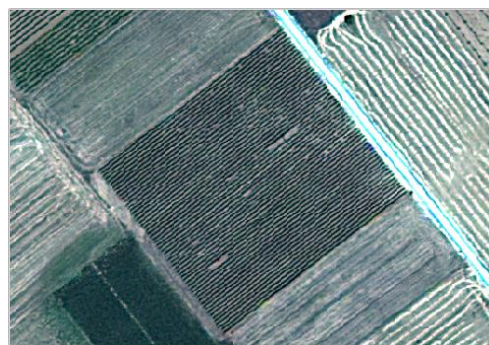
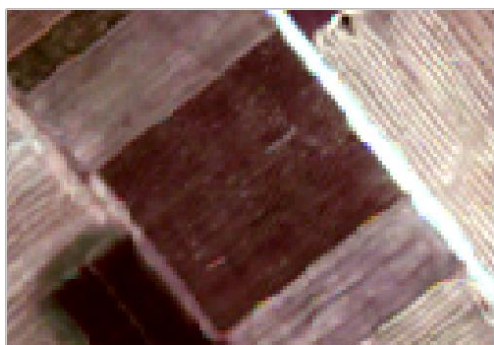
Μεγαπλάτανος WV2 2012



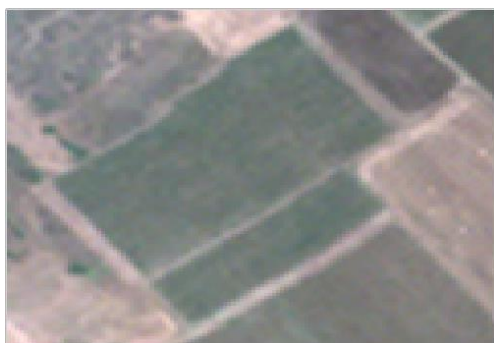
Νάουσα WV2 2013



Αμύνταιο WV2 2013



Αμύνταιο Pleiades-1B 2014



Σχήμα 3.12 - Τμήματα από τις ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες πριν (αριστερά) και μετά το *pan-sharpening* με τη μέθοδο HPF (δεξιά).

Μετά από τη διαδικασία συγχώνευσης, οι δορυφορικές εικόνες περικόπηκαν (*crop*) σε μικρότερες διαστάσεις, προκειμένου αφενός να απεικονίζουν την ειδικότερη περιοχή μελέτης για κάθε περιοχή, ενώ ταυτόχρονα μειώθηκε σημαντικά το μέγεθος του ως ηλεκτρονικό αρχείο.

Περιοκομμένη Δορυφορική Εικόνα	Γραμμές x Στήλες (pixels)	Μέγεθος (MB)
Τράπεζα WV2	2468 x 3474	130
Μεγαπλάτανος WV2	3126 x 4459	212
Νάουσα WV2	1984x 3660	110
Αμύνταιο WV2	3022 x 4860	224
Αμύνταιο Pleiades-1B	3990 x 7241	220

Πίνακας 3.4 - Οι διαστάσεις και το μέγεθος ηλεκτρονικού αρχείου για τις πέντε περιοκομμένες *pan-sharpened* δορυφορικές εικόνες.

3.2.3 Παραγωγή δεδομένων ελέγχου (*Ground Truth*)

Η παραγωγή των δεδομένων ελέγχου έγινε μετά από ενδεδειγμένη διαδικασία ψηφιοποίησης στο λογισμικό *Quantum GIS* (εκδ. 1.8.0 *Lisboa*). Τα πρωτογενή δεδομένα ελέγχου που ψηφιοποιήθηκαν προέρχονταν από τις εργασίες πεδίου και συγκεκριμένα ήταν τα αυτοσχέδια όπου είχαν σημειωθεί οι θέσεις των αμπελοτεμαχίων και οι ποικιλίες που καλλιεργούνταν σε αυτά. Χρησιμοποιήθηκαν επίσης, όπου ήταν διαθέσιμοι από τα οιοποποιεία, ήδη υπάρχοντες χάρτες με τη θέση των αμπελοτεμαχίων και τις φυτεμένες ποικιλίες/κλώνους.

Η ψηφιοποίηση των δεδομένων ελέγχου έγινε πάνω στις συγχωνευμένες (*pan-sharpened*) εικόνες των περιοχών μελέτης (Τράπεζας και Μεγαπλατάνου) και για το σύνολο των αμπελοτεμαχίων τα οποία μελετήθηκαν στο πλαίσιο της συγκεκριμένης εργασίας.

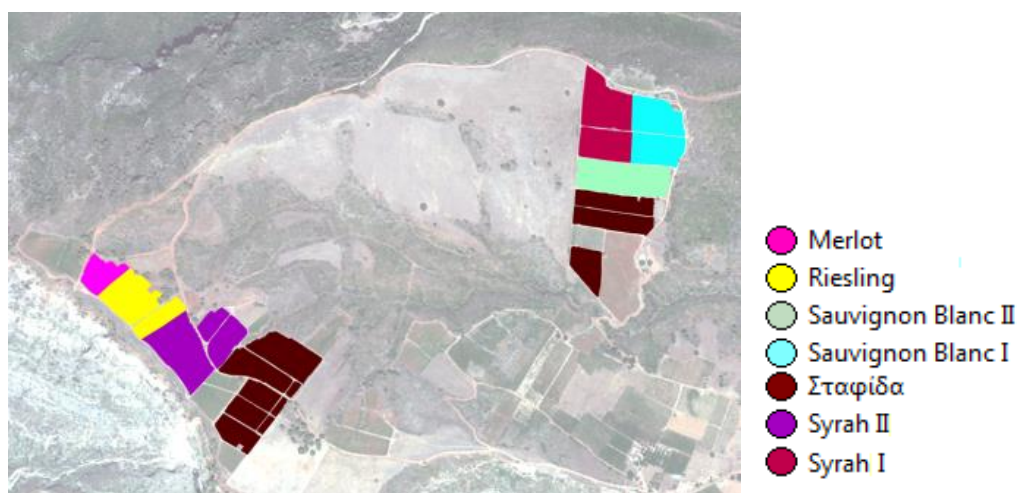
Αρχικά ψηφιοποιήθηκαν τα δεδομένα ελέγχου για τη θέση των αμπελοτεμαχίων σε κάθε εικόνα. Ουσιαστικά σχεδιάστηκε ένα διανυσματικό επίπεδο (*shapefile layer*) που περιλάμβανε τα αμπελοτεμάχια των εικόνων. Για την πλειονότητα των αμπελοτεμαχίων ήταν γνωστή η ύπαρξη και θέση τους από τα αυτοσχέδια των εργασιών πεδίου. Όμως ψηφιοποιήθηκαν και άλλα αμπελοτεμάχια, τα οποία αναγνωρίστηκαν με βεβαιότητα στις εικόνες με φωτοερμηνεία.



Σχήμα 3.13 - Τα δεδομένα ελέγχου για τη θέση των αμπελοτεμαχίων (με πράσινο χρώμα) στην εικόνα WV2 της Νάουσας (πάνω) και την εικόνα WV2 του Αμυνταίου (κάτω).

3. Δεδομένα και Προεπεξεργασίες

Για πολλά από τα αμπελοτεμάχια που ψηφιοποιήθηκαν ήταν γνωστή η ποικιλία που καλλιεργούταν. Μετά την ψηφιοποίηση των συνολικών αμπελοτεμαχίων για τις περιοχές μελέτης, επιλέγονταν τα αμπελοτεμάχια, που από τις διαθέσιμες πληροφορίες περιείχαν την ίδια καλλιέργεια ποικιλίας, και με απλή αντιγραφή δημιουργούταν κάθε φορά ένα νέο διανυσματικό επίπεδο που αφορούσε την εκάστοτε ποικιλία. Δημιουργήθηκαν έτσι διανυσματικά αρχεία για τα αμπελοτεμάχια των ποικιλιών που μετέπειτα συμμετείχαν στις ταξινομήσεις.



Σχήμα 3.14 - Τα δεδομένα ελέγχου για τις κατηγορίες ποικιλιών που χρησιμοποιήθηκαν στις ταξινομήσεις διαχωρισμού ποικιλιών, στην περιοχή της Τράπεζας.

4

ΒΑΣΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η βασική μεθοδολογία που εφαρμόστηκε στην παρούσα εργασία ακολούθησε τον εξής σκελετό: I. Εντοπισμός των αμπελοτεμαχίων στις ατμοσφαιρικά διορθωμένες *pan-sharpened* δορυφορικές εικόνες, II. Εξαγωγή των γραμμών φύτευσης (*canopy*) των αμπελιών στα εντοπισμένα αμπελοτεμάχια και III. Διαχωρισμός των διαφορετικών ποικιλιών αμπέλου πάνω στις εντοπισμένες γραμμές φύτευσης. Ο σκελετός της μεθοδολογίας βασίστηκε στην εφαρμογή ταξινομήσεων πάνω στις δορυφορικές εικόνες.

Από τις διάφορες μεθόδους ταξινόμησης επιλέχθηκε η μέθοδος της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης εικόνας (*object based image analysis- OBIA*), δεδομένου ότι έχει παράξει αξιόλογα αποτελέσματα σε πρόσφατες εργασίες ταξινόμησης, ανίχνευσης και εντοπισμού αντικειμένων [*Blaschke, 2010; Tzotsos et al., 2011 ; Pu & Laundry, 2011; Μιχαηλίδου, 2011; Αϊνάλη, 2012 ; Καρακίζη, 2013*].

4.1 Αντικειμενοστραφής Ανάλυση Εικόνας – Λογισμικό *eCognition*

Βασική ιδέα πάνω στην οποία στηρίζεται η αντικειμενοστραφής ανάλυση είναι ότι οι απαραίτητες πληροφορίες για την επεξεργασία, ανάλυση και ερμηνεία μιας εικόνας δεν περιέχονται εξολοκλήρου στα μεμονωμένα εικονοστοιχεία αλλά σε νοηματικά αντικείμενα ή τμήματα της εικόνας και τις αλληλοσυσχετίσεις τους [*Baatz & Schape, 1999; Δερζέκος & Αργιαλάς, 2002; Blaschke et al., 2008; Blaschke, 2009*]. Ουσιαστικά η στοιχειώδης μονάδα της εικόνας παύει να είναι το εικονοστοιχείο (*pixel*), το οποίο αντικαθίσταται από ομάδες *pixels* που σχηματίζουν ένα αντικείμενο (*object*). Έτσι δημιουργούνται σημασιολογικά αντικείμενα τα οποία μπορούν να σχηματίζουν πολύπλοκες σχέσεις μεταξύ τους και να εσωκλείουν πληθώρα ποσοτικών και ποιοτικών πληροφοριών.

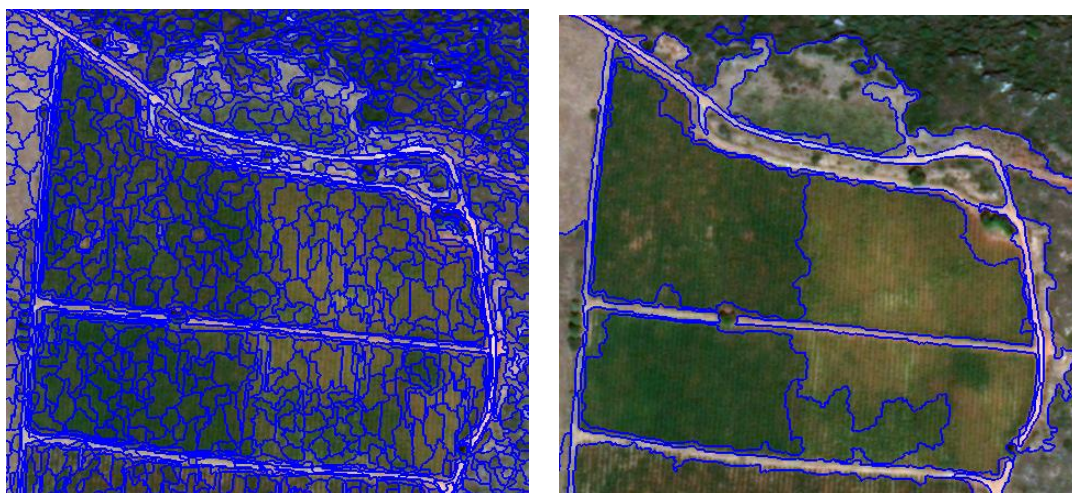
Οι ταξινομήσεις αντικειμενοστραφούς ανάλυσης για τη συγκεκριμένη εργασία έγιναν στο περιβάλλον του *eCognition*. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε η έκδοση *Developer 8.7*, του εν λόγω λογισμικού που είναι από τα σημαντικότερα εργαλεία για αυτού του είδους ανάλυση [*Benz et al., 2004*].

4.1.1 Κατάτμηση

Απαραίτητη προεπεξεργασία για την ταξινόμηση σύμφωνα με την αντικειμενοστραφή ανάλυση, είναι η διαδικασία της κατάτμησης. Η κατάτμηση αποτελεί τη διαδικασία σχηματισμού των αντικειμένων από ομαδοποιήσεις *pixels* με συγκεκριμένα κοινά χαρακτηριστικά. Για τη δημιουργία αντικειμένων στο λογισμικό *eCognition* χρησιμοποιείται η μέθοδος *multiresolution segmentation*, δηλαδή η κατάτμηση

πολλών επιπέδων. Η κατάτμηση πολλών επιπέδων, είναι μία διαδικασία συνένωσης των εικονοστοιχείων που αναπτύχθηκε με σκοπό την εξαγωγή ομοιογενών αντικειμένων βάσει των τιμών των διάφορων χαρακτηριστικών σε επίπεδο εικονοστοιχείου αλλά και βάσει του σχήματός τους σε οποιαδήποτε επίπεδο ανάλυσης επιλεχθεί. Ξεκινά με αντικείμενα που αποτελούνται από ένα εικονοστοιχείο τα οποία στη συνέχεια συνενώνονται με επαναλήψεις δημιουργώντας μεγαλύτερες οντότητες, με βάση την ανώτερη τιμή ετερογένειας που έχει εισάγει ο χρήστης με την παράμετρο κλίμακας [User Guide eCognition Developer 8.7.,2011].

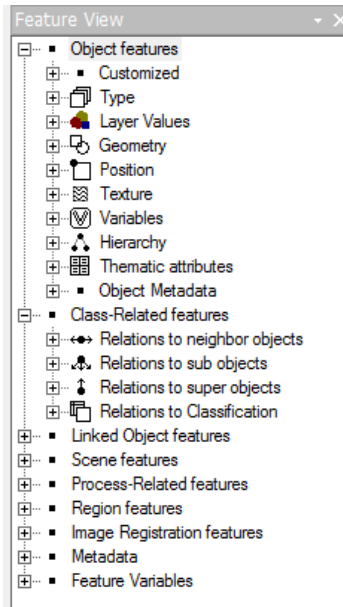
Ο χρήστης εκτός από την παράμετρο κλίμακας (*scale parameter*) εισάγει βάρη στα επίπεδα/κανάλια της κάθε εικόνας, ανάλογα με τη συμμετοχή που επιθυμεί να έχουν στην κατάτμηση, και επιπλέον τις παραμέτρους του κριτηρίου ομοιογένειας (*Composition of homogeneity Criterion*). Η σύνθεση του κριτηρίου ομοιογένειας χρησιμοποιείται για την ελαχιστοποίηση της ετερογένειας. Το eCognition υπολογίζει εσωτερικά τρία κριτήρια: Το χρώμα (*Color*), την ομαλότητα (*Smoothness*) και το συμπαγές του σχήματος (*Compactness*). Στον τομέα του *Color* καθορίζεται η βαρύτητα που δίνεται στα φασματικά χαρακτηριστικά των εικονοστοιχείων που απαρτίζουν το παραγόμενο αντικείμενο. Όσο μεγαλύτερη τιμή δίνεται στο *Color* τόσο μικρότερη είναι η τιμή βαρύτητας που δίνεται στο τελικό σχήμα (*Shape*), και αντίστροφα.



Σχήμα 4.1 - Επίπεδα κατατμήσεων διαφορετικής κλίμακας στο λογισμικό eCognition.

4.1.2 Χαρακτηριστικά (*Features*) αντικειμένων και ιεραρχία τάξεων

Μετά την παραγωγή των αρχικών πρωτογενών αντικειμένων, όπως προκύπτουν από την κατάτμηση, το eCognition προσφέρει ένα σύνολο εργαλείων για την αξιοποίηση των διάφορων χαρακτηριστικών αυτών των αντικειμένων (όπως είναι η φωτεινότητα, οι μέσες τιμές διάφορων καναλιών, η υφή, το μέγεθος, η γειτνίαση με άλλα αντικείμενα κ.α.).

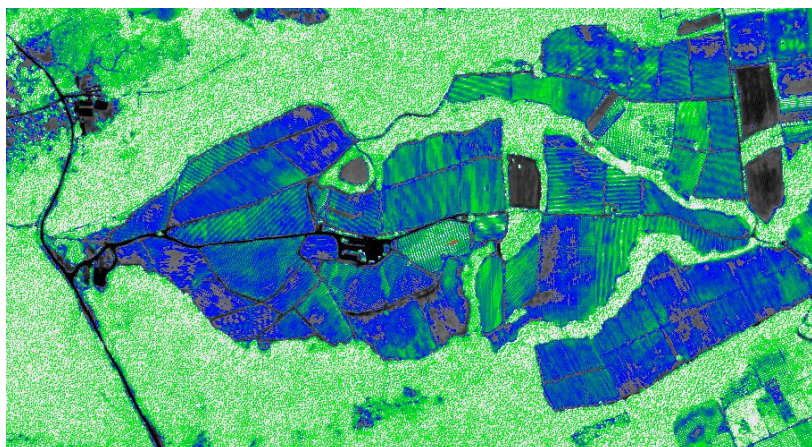


Σχήμα 4.2 - Το εργαλείο *Feature View* και τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα που διαθέτει, στο λογισμικό *eCognition*.

Για την παραμετροποίηση των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων, αξιοποιήθηκε το εργαλείο "Άποψη Χαρακτηριστικών Γνωρισμάτων" (*Feature View*). Αυτό το εργαλείο επιτρέπει στις ιδιότητες των αντικειμένων της εικόνας να απεικονίζονται με έναν γραφικό τρόπο και επομένως παρέχει μια οπτική ερμηνεία στην ιδιαιτερότητα ενός χαρακτηριστικού πρωτογενούς αντικειμένου σε όλα τα αντικείμενα της εικόνας. Οποιοδήποτε χαρακτηριστικό γνώρισμα που είναι διαθέσιμο για την ταξινόμηση στο *eCognition*, μπορεί να απεικονιστεί με το *Feature View*. Το *Feature View* είναι ένα ισχυρό εργαλείο εύρεσης διαφορών στα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των αντικειμένων της εικόνας [Tutorial_Askisi_6,2013].

Επόμενο βήμα είναι η δημιουργία της Ιεραρχίας Τάξεων (*Class Hierarchy*). Η ιεραρχία τάξεων περιέχει όλες τις κατηγορίες προς ταξινόμηση σε μια ιεραρχικά δομημένη μορφή. Οι σχέσεις που ορίζονται σε αυτήν έχουν διπλή σημασία, η μία αφορά την κληροδοσία χαρακτηριστικών από τη μητρική κατηγορία στις θυγατρικές και η άλλη τις εννοιολογικές ομάδες στις οποίες ανήκει η κάθε κατηγορία. Οι σχέσεις αυτές περιγράφονται στα πεδία Κληρονομιά (*Inheritance*) και Ομάδες (*Groups*) αντίστοιχα [Καρακίζη, 2013].

Στο πλαίσιο των εφαρμογών για τη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε αποκλειστικά η ιεραρχία κληροδότησης, που είναι ένας μηχανισμός με τον οποίο μεταφέρονται ιδιότητες μέσω μίας ιεραρχίας, από κατηγορίες γονείς σε κατηγορίες παιδιά (ή αλλιώς υποκατηγορίες).



Σχήμα 4.3 - Στιγμιότυπο από την οπτικοποίηση του χαρακτηριστικού γνωρίσματος Δείκτης MSAVI, για τιμές από 0.6 ως 0.9, με χρήση του εργαλείου Feature View, στο λογισμικό eCognition.

4.1.3 Ασαφής λογική (Fuzzy Logic)

Σημαντική δυνατότητα που προσφέρει η αντικειμενοστραφής ανάλυση είναι η ταξινόμηση εικόνας βάσει ασαφούς λογικής (*Fuzzy Logic*). Η ταξινόμηση με βάση την ασαφή λογική στηρίζεται στη μετατροπή της δυαδικής λογικής των απόλυτων «ΝΑΙ/ΑΛΗΘΕΣ» και «ΟΧΙ/ΨΕΥΔΕΣ» σε διάστημα τιμών συμμετοχής $[0,1]$ με το μηδέν να αντιστοιχεί στο απόλυτο όχι και το 1 στο απόλυτο ναι, ενώ συμμετέχουν και οι ενδιάμεσες τιμές [Zadeh, 1965].

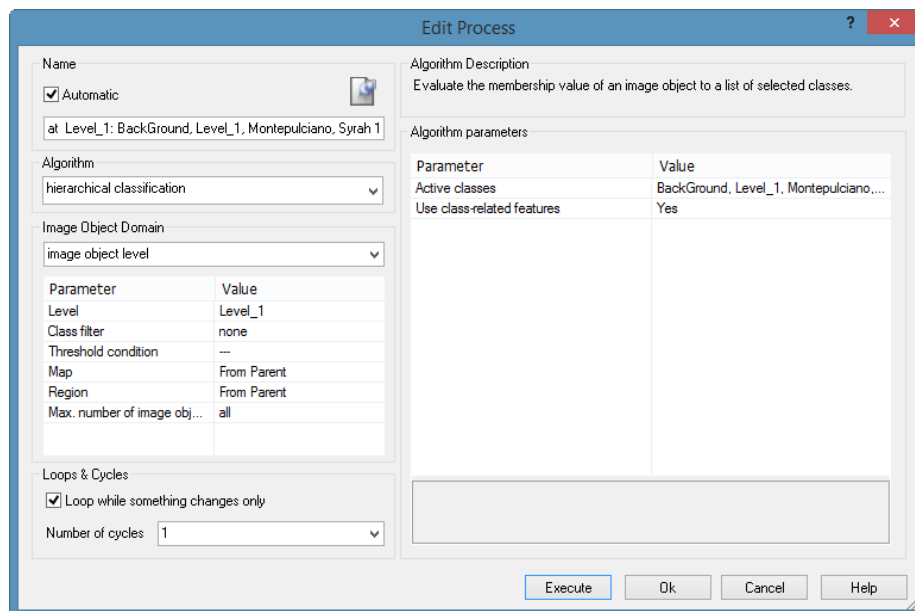
Στο eCognition η ασαφής λογική στην ταξινόμηση αντικειμένων, εμφανίζεται με τη μορφή ασαφών συναρτήσεων συμμετοχής (κανόνων παραγωγής) ή με μια ασαφή εκδοχή του αλγορίθμου του Εγγύτερου Γείτονα (*Nearest Neighbor*) στην περιγραφή της κλάσης. Έτσι, για κάθε αντικείμενο υπολογίζεται η τιμή συμμετοχής του σε όλες τις θεματικές κατηγορίες και κατατάσσεται σε οποία παίρνει την υψηλότερη τιμή συμμετοχής. Η διαδικασία της ταξινόμησης είναι επαναληπτική με αριθμό επαναλήψεων/κύκλων που ορίζεται από τον χρήστη.

Η προσέγγιση ταξινόμησης με ασαφή λογική επιλέχθηκε για την ανάλυση και ταξινόμηση των εικόνων καθώς λόγω των εγγενών χαρακτηριστικών της παρέιχε σημαντικά πλεονεκτήματα στις πολύπλοκες περιπτώσεις ταξινόμησης για την αναγνώριση των αμπελοτεμαχίων και το διαχωρισμό των ποικιλιών αμπέλου.

Ειδικότερα η δυνατότητα που προσφέρει το λογισμικό να μεταφράζονται οι τιμές ιδιοτήτων σε ασαφείς τιμές, τις θέτει εύκολες προς διαχείριση και επιτρέπει το συνδυασμό τους. Επιπρόσθετα καθιστά δυνατό το σχηματισμό σύνθετων χαρακτηριστικών γνωρισμάτων μέσω ιεραρχιών περιγραφής κατηγοριών και μαθηματικών λογικών τελεστών (*AND, OR, NOT κ.τ.λ.*), και την παραμετροποίηση αυτών μέσω μαθηματικών συναρτήσεων.

4.1.4 Αλγόριθμοι ταξινόμησης

Ο αλγόριθμος ταξινόμησης που χρησιμοποιήθηκε στο πλαίσιο της συγκεκριμένης εργασίας είναι αυτός της Ιεραρχικής Ταξινόμησης (*Hierarchical Classification algorithm*). Ο αλγόριθμος αυτός βασίζεται στη λογική της ιεραρχία κληροδότησης. Συγκεκριμένα οι κατηγορίες που περιέχουν ενεργές κατηγορίες-παιδιά στην ιεραρχία κληροδότησης, δεν εφαρμόζονται στην ταξινόμηση. Οι κατηγορίες-παιδιά κληρονομούν από τις κατηγορίες-γονείς τα χαρακτηριστικά τους και έχουν και άλλα επιπρόσθετα χαρακτηριστικά, οπότε διαιρούν σε πολλές, την κατηγορία-γονέα. Αν υπάρχουν αντικείμενα που θα ταξινομούταν στην κατηγορία-γονέα, αλλά σε καμία από τις κατηγορίες-παιδιά που υποδιαιρείται, δεν ταξινομούνται ούτε στην κατηγορία-γονέα ούτε σε καμία από τις κατηγορίες-παιδιά. Επιπρόσθετα ο αλγόριθμος της "Ιεραρχικής Ταξινόμησης", επιτρέπει την ταξινόμηση αντικειμένων σε κάποια κατηγορία μόνο όταν όλα τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα που υπάρχουν στην περιγραφή της μπορούν να εφαρμοστούν [User Guide eCognition Developer 8.7.,2011].



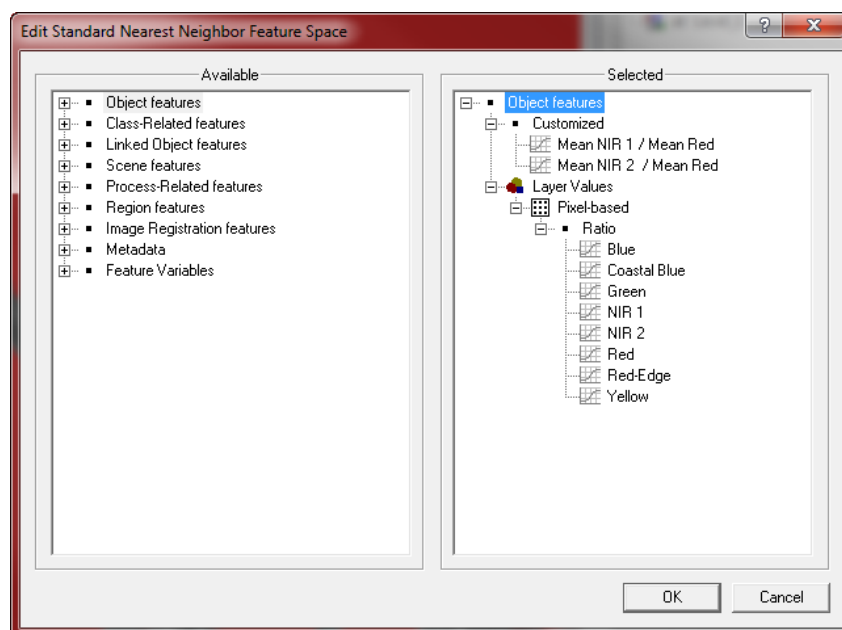
Σχήμα 4.4 - Στιγμιότυπο από το παράθυρο εφαρμογής του *Hierarchical Classification algorithm*, στο λογισμικό *eCognition*.

Ο εντοπισμός των αμπελοτεμαχιών επιχειρήθηκε με ταξινομήσεις που αξιοποίησαν την περιγραφή των κλάσεων με τη μορφή ασαφών συναρτήσεων συμμετοχής (κανόνων παραγωγής). Τα δύο τελευταία βήματα του σκελετού της μεθοδολογίας (εξαγωγή γραμμών φύτευσης και διαχωρισμός ποικιλιών) υλοποιήθηκαν με χρήση της ασαφούς εκδοχής του αλγορίθμου του Εγγύτερου Γείτονα (*Nearest Neighbor - NN*) στην περιγραφή των κατηγοριών/κλάσεων.

Η ταξινόμηση με τον αλγόριθμο του *NN* απαιτεί αρχικά, την εκπαίδευση του συστήματος δίνοντας του συγκεκριμένα αντιπροσωπευτικά αντικείμενα ως δείγματα για κάθε κατηγορία. Ο αλγόριθμος ακολούθως εξετάζει κάθε ένα από τα τμήματα προς ταξινόμηση και ανιχνεύει σε ποιο από τα δείγματα που έχουν υποδειχθεί πλησιάζει περισσότερο. Κάθε τμήμα ταξινομείται στην κατηγορία, στην οποία ανήκει

το δείγμα που βρίσκεται εγγύτερα του. Συγκεκριμένα, ο ταξινομητής *NN* επιστρέφει μια τιμή ανάμεσα στο 0 και το 1, ανάλογα με το "Διάστημα Χαρακτηριστικών Γνωρισμάτων" (*feature space distance*), του εκάστοτε αντικείμενου από τον εγγύτερο γείτονα του. Η τιμή συμμετοχής είναι 1 όταν το αντικείμενο παρουσιάζεται ως ταυτόσημο με το δείγμα, ως προς κάποιο/κάποια χαρακτηριστικά. Αν το αντικείμενο διαφέρει από το δείγμα, το "Διάστημα Χαρακτηριστικών Γνωρισμάτων" παίρνει ενδιάμεσες τιμές, βασιζόμενες στην ασαφή λογική, ανάλογα με την απόσταση του χαρακτηριστικού από το εγγύτερο δείγμα μιας κλάσης. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τα χαρακτηριστικά, τα οποία θα συμμετέχουν στον υπολογισμό του διαστήματος χαρακτηριστικών γνωρισμάτων [*User Guide eCognition Developer 8.7.,2011*].

Το λογισμικό περιέχει δύο τύπους εκφράσεων εγγύτερων γειτόνων: τον εγγύτερο γείτονα (*Nearest neighbor, NN*) και τον προκαθορισμένο εγγύτερο γείτονα (*standard nearest neighbor, standard NN*). Η κύρια διαφορά μεταξύ αυτών των εκφράσεων είναι ότι ο εγγύτερος γείτονας (συνεπώς και το "διάστημα χαρακτηριστικών γνωρισμάτων" του), μπορεί να καθοριστεί για κάθε ανεξάρτητη κατηγορία. Αντίθετα, το "διάστημα χαρακτηριστικών γνωρισμάτων" του προκαθορισμένου εγγύτερου γείτονα ισχύει για ολόκληρο το πρόγραμμα και με αυτόν τον τρόπο και για όλες τις κατηγορίες στις οποίες εφαρμόζεται [*Tutorial_Askisi_6,2013*]. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε ο προκαθορισμένος εγγύτερος γείτονας (*standard nearest neighbor, standard NN*).



Σχήμα 4.5 - Στιγμιότυπο από την περιγραφή των χαρακτηριστικών που συμμετέχουν στην ταξινόμηση με *NN*, όπως προέκυψαν από το εργαλείο *Feature Space Optimization*, στο λογισμικό *eCognition*.

Για την εύρεση των καταλληλότερων χαρακτηριστικών που θα χρησιμοποιούνταν στον *standard NN* για το διαχωρισμό ποικιλιών, αξιοποιήθηκε το εργαλείο του *eCognition* "Βελτιστοποίηση διαστήματος χαρακτηριστικών γνωρισμάτων" (*Feature Space Optimization*). Το εργαλείο αυτό βοηθά στην εύρεση του καταλληλότερου συνδυασμού χαρακτηριστικών για το διαχωρισμό των κλάσεων σε συνδυασμό με τον

αλγόριθμο *NN*. Συγκρίνει τα χαρακτηριστικά των επιλεγμένων κλάσεων έτσι ώστε να βρει τον κατάλληλο συνδυασμό χαρακτηριστικών, ο οποίος παράγει την "καλύτερη απόσταση διαχωρισμού" (*Best Separation Distance*) ανάμεσα στα δείγματα των διαφορετικών τάξεων [*User Guide eCognition Developer 8.7., 2011*].

4.2 Ταξινομήσεις Εντοπισμού Αμπελοτεμαχίων

Ο πρώτος βασικός στόχος της παρούσας εργασίας ήταν ο εντοπισμός αμπελοτεμαχίων στις συγχωνευμένες δορυφορικές εικόνες πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης. Οι ταξινομήσεις εντοπισμού επιλέχθηκε να γίνουν στις συγχωνευμένες (*pan-sharpened*) εικόνες καθώς η χρήση τους έναντι των πολυφασματικών, κατέληξε σε αποτελέσματα μεγαλύτερης ακρίβειας στην πρόσφατη εργασία που καταπιάστηκε με το ίδιο θέμα [*Καρακίζη, 2013*].

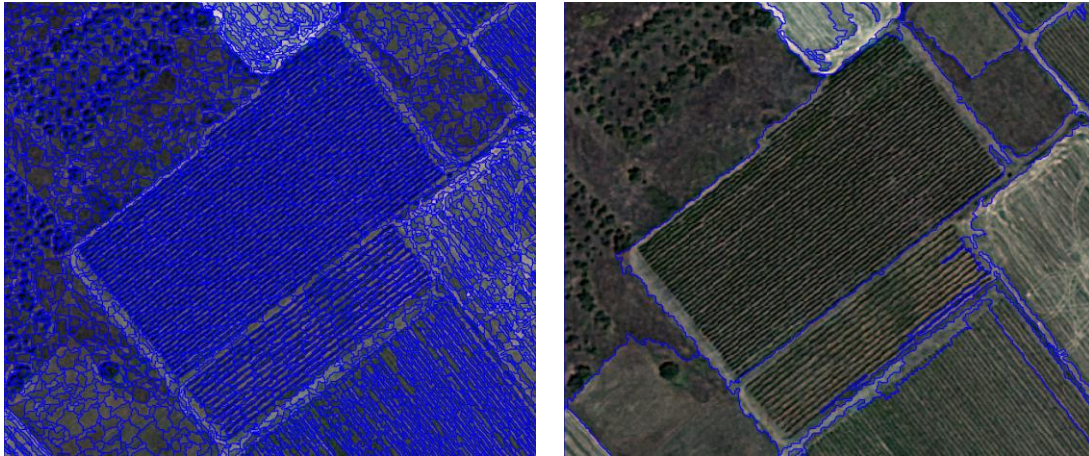
Βασική επιδίωξη του όλου σχεδιασμού των ταξινομήσεων ήταν ο καθορισμός μιας γενικευμένης ομάδας χαρακτηριστικών (*features*) που με ανάλογη παραμετροποίηση στην εκάστοτε εικόνα, θα εντόπιζαν επιτυχώς τα αμπελοτεμάχια. Κατ' αυτόν τον τρόπο οι διαδικασίες εντοπισμού των αμπελώνων τυποποιούνται όσο το δυνατόν περισσότερο. Συγκεκριμένα μετά από περαιτέρω πειραματισμό, δοκιμές και τροποποιήσεις στη γενικευμένη ομάδα 10 χαρακτηριστικών που είχε εφαρμοστεί στην προπτυχιακή διπλωματική εργασία [*Καρακίζη, 2013*], προέκυψε μια νέα ομάδα-σκελετός οκτώ χαρακτηριστικών. Η ομάδα των οκτώ χαρακτηριστικών απεδείχθη ικανή να εντοπίσει με υψηλά ποσοστά επιτυχίας τα αμπελοτεμάχια και στις πέντε εικόνες και για τους δύο δορυφορικούς δέκτες (*WV2* και *Pleiades-1B*).

Στις επόμενες παραγράφους αναπτύσσεται αναλυτικά η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τις ταξινομήσεις αντικειμενοστραφούς ανάλυσης για τον εντοπισμό αμπελοτεμαχίων καθώς και περιγράφεται η ομάδα-σκελετός των οκτώ (8) χαρακτηριστικών.

4.2.1 Σκελετός μεθοδολογίας ταξινομήσεων

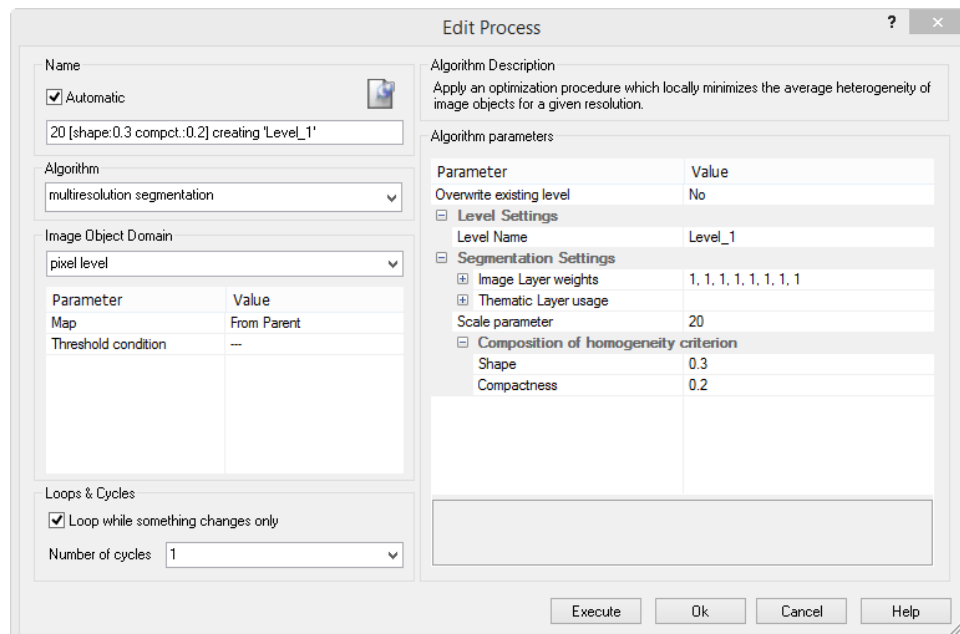
Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε στις ταξινομήσεις για τον εντοπισμό των αμπελοτεμαχίων, διατήρησε κοινό σκελετό και για τις πέντε εικόνες. Πριν την ταξινόμηση προηγήθηκε η διαδικασία της κατάτμησης, δηλαδή η υποδιαίρεση της εικόνας σε επιμέρους περιοχές. Για τη δημιουργία αντικειμένων στο λογισμικό χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος *multiresolution segmentation*, δηλαδή η κατάτμηση πολλαπλών επιπέδων. Για τον εντοπισμό των αμπελοτεμαχίων στις συγχωνευμένες εικόνες *WV2* και *Pleiades-1B*, ο εντοπισμός επετεύχθη σε δύο επίπεδα κατάτμησης.

Το κατώτερο επίπεδο κατάτμησης *Level_1*, σε όλες τις περιπτώσεις, αποτέλεσε το πιο λεπτόκκοκο επίπεδο κατάτμησης, με κλίμακα κατάτμησης ίση με 20. Σε αυτό το επίπεδο αποφασίστηκε ότι θα παραχθεί το τελικό αποτέλεσμα της ταξινόμησης, ώστε τα αντικείμενα να μην εμφανίζουν υψηλό βαθμό ετερογένειας. Το *Level_2*, αποτέλεσε επίπεδο κατάτμησης μεγαλύτερων αντικειμένων, σε κλίμακες που κυμαίνονταν από 200 ως 500 και δημιούργησε αντικείμενα μεγέθους όσο περίπου ένα αμπελοτεμάχιο, μέγεθος επαρκές ώστε να παρέχει τις αναγκαίες πληροφορίες για την ορθή κατάταξη τους σε κατηγορίες. Ο κύριος κορμός της ταξινόμησης υλοποιήθηκε σε αυτό το επίπεδο.



Σχήμα 4.6 - Τα επίπεδα κατάτμησης *Level_1* σε κλίμακα 20 (αριστερά) και *Level_2* σε κλίμακα 355 (δεξιά) σε μεγεθυμένο τμήμα της WV2 εικόνας στο Αμύνταιο.

Όπως περιγράφηκε και σε προηγούμενες παραγράφους, η παραμετροποίηση της κατάτμησης πέρα από την κλίμακα αφορούσε επίσης την απόδοση βαρών για τη συμμετοχή των καναλιών στην κατάτμηση, όπως επίσης και την παραμετροποίηση του κριτηρίου της ομοιογένειας (*Shape*, *Compactness*). Αποφασίστηκε σε κάθε περίπτωση κατάτμησης τα κανάλια να συμμετέχουν εξ' ίσου στη διαδικασία, δηλαδή αποδόθηκε σε όλα βάρος ίσο με 1. Οι άλλες παράμετροι καθορίστηκαν μετά από πολλές δοκιμές για την επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος σε κάθε περίπτωση εικόνας (Πίνακας 4.1).

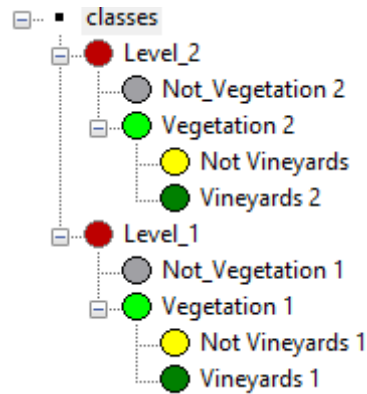


Σχήμα 4.7 - Η παραμετροποίηση του αλγορίθμου πολλαπλής κατάτμησης για το *Level_1* (πάνω), για τον εντοπισμό αμπελοτεμαχίων στη WV2 εικόνας της Νάουσας.

	Τράπεζα WV2	Μεγαπλάτανος WV2	Νάουσα WV2	Αμύνταιο WV2	Αμύνταιο Pleiades- 1B
Level_1					
Scale Parameter	20	20	20	20	20
Image Layer Weights	8 x 1 (Εξίσου)	8 x 1 (Εξίσου)	8 x 1 (Εξίσου)	8 x 1 (Εξίσου)	4 x 1 (Εξίσου)
Shape	0.3	0.4	0.3	0.9	0.4
Compactness	0.3	0.2	0.2	0.9	0.6
Level_2					
Scale Parameter	400	500	400	355	200
Image Layer Weights	8 x 1 (Εξίσου)	8 x 1 (Εξίσου)	8 x 1 (Εξίσου)	8 x 1 (Εξίσου)	4 x 1 (Εξίσου)
Shape	0.7	0.4	0.5	0.7	0.8
Compactness	0.9	0.9	0.7	0.8	1

Πίνακας 4.1 - Η παραμετροποίηση του αλγορίθμου πολλαπλής κατάτμησης για τις ταξινομήσεις εντοπισμού αμπελοτεμαχίων στις πέντε εικόνες.

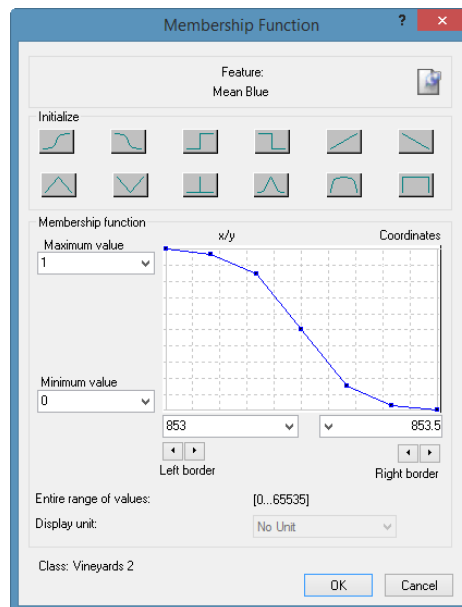
Το επόμενο βήμα μετά την κατάτμηση ήταν η δημιουργία της ιεραρχίας τάξεων (*Class Hierarchy*). Όπως αναλύθηκε και σε προηγούμενες παραγράφους, χρησιμοποιήθηκε αποκλειστικά η ιεραρχία κληροδότησης, που είναι ένας μηχανισμός με τον οποίο μεταφέρονται ιδιότητες μέσω μίας ιεραρχίας, από κατηγορίες γονείς σε κατηγορίες παιδιά (ή αλλιώς υποκατηγορίες). Η βασική λογική για τη δομή της ιεραρχίας τάξεων ήταν ένας αρχικός διαχωρισμός των αντικειμένων του *Level_2* σε αντικείμενα που δεν απεικονίζουν βλάστηση (*Not Vegetation 2*) και σε αυτά που απεικονίζουν (*Vegetation 2*), και ύστερα ένας ειδικότερος διαχωρισμός των τελευταίων, σε αμπέλια (*Vineyards 2*) και όχι αμπέλια (*Not Vineyards 2*). Στο επίπεδο αντικειμένων μικρότερης κλίμακας *Level_1* γίνεται εκ νέου ένας διαχωρισμός των αντικειμένων του σε αντικείμενα που δεν απεικονίζουν βλάστηση (*Not Vegetation 1*) και σε αυτά που απεικονίζουν (*Vegetation 1*), ενώ τα αμπελοτεμάχια προβάλλονται σε αυτό το επίπεδο από την κατηγορία *Vineyards 2*. Η μορφή της ιεραρχίας τάξεων για τις ταξινομήσεις εντοπισμού αμπελοτεμαχίων στις εικόνες παρουσιάζεται στο σχήμα 4.8.



Σχήμα 4.8 - Η ιεραρχία τάξεων για τις ταξινομήσεις εντοπισμού αμπελοτεμαχίων στις πέντε εικόνες.

4.2.2 Περιγραφή τάξεων μέσω κανόνων παραγωγής

Για τον εντοπισμό των αμπελοτεμαχίων και το διαχωρισμό τους από τα υπόλοιπα αντικείμενα εφαρμόστηκαν τεχνικές που βασίζονται στη χρήση ασαφούς λογικής στην περιγραφή των κατηγοριών/κλάσεων. Οι περιγραφές των κλάσεων γίνονται με την εφαρμογή ασαφών συναρτήσεων και λογικών τελεστών στα χαρακτηριστικά των αντικειμένων που ανήκουν σε κάποια κατηγορία.



Σχήμα 4.9 - Στιγμιότυπο από την παραμετροποίηση συνάρτησης του χαρακτηριστικού Mean Blue με χρήση ασαφούς λογικής στο λογισμικό eCognition.

Ο αρχικός διαχωρισμός για τον εντοπισμό της βλάστησης τόσο στο Level_2 όσο και στο Level_1 υλοποιήθηκε με ένα κατώφλι στην τιμή του δείκτη NDVI, ο οποίος

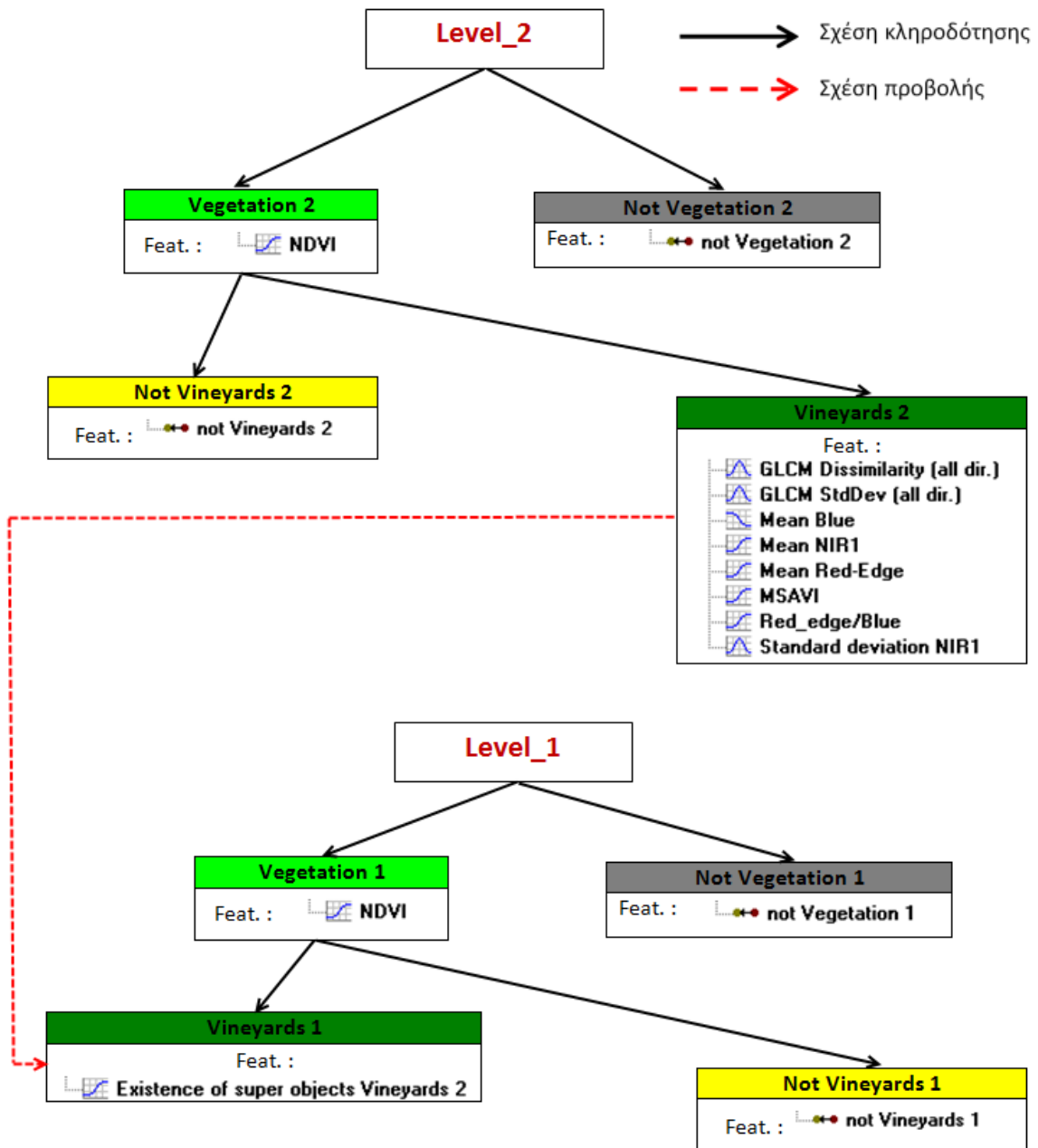
δημιουργήθηκε ως προσαρμοσμένο αριθμητικό χαρακτηριστικό. Ο *NDVI* [Tucker,1979] δηλαδή ο Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης (*Normalised Difference Vegetation Index*) είναι ο γνωστότερος και ευρύτερα χρησιμοποιούμενος δείκτης βλάστησης. Βασίζεται στην αντίθεση ανάμεσα στη μέγιστη απορρόφηση στο κόκκινο, λόγω χλωροφύλλης, και τη μέγιστη ανάκλαση στο υπέρυθρο, που προκαλείται από την κυτταρική/κυψελική δομή των φύλλων (*leaf cellular structure*).

Ο μαθηματικός του τύπος είναι :

$$NDVI = \frac{(R_{800} - R_{670})}{(R_{800} + R_{670})} = \frac{(NIR1 - Red)}{(NIR1 + Red)} \text{ WV2 και } \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)} \text{ Pleiades - 1B}$$

Όλες οι κλάσεις που ονομάζονται "*Not_.....*", προέκυψαν από το χαρακτηριστικό όχι ομοιότητα με κάποια άλλη κλάση (*Not similarity to classes*), και ουσιαστικά εσωκλείουν όλα τα αντικείμενα που δεν ανήκουν στην ανταγωνιστική με αυτή κλάση. Η κλάση *Vineyards 1* κληρονομεί πληροφορίες για την ύπαρξη αμπελοτεμαχίων από την κλάση *Vineyards 2* μέσω ασαφούς συνάρτησης συμμετοχής για το χαρακτηριστικό " Ύπαρξη Υπεραντικειμένων " (*Existence of super objects*). Η συνάρτηση συμμετοχής για αυτό το χαρακτηριστικό συνήθως παίρνει τιμές μεγαλύτερες του 0.64 καθώς σε εφαρμογές ταξινόμησης θεωρείται ότι είναι ασφαλής η προβολή από μια τάξη σε μία άλλη όταν υπάρχει σχετική επικάλυψη πάνω από 64-65%.

Όπως προαναφέρθηκε, ο κύριος κορμός της ταξινόμησης υλοποιήθηκε στο δεύτερο επίπεδο *Level_2*, με χρήση των οκτώ χαρακτηριστικών/κανόνων για τον εντοπισμό των αμπελοτεμαχίων. Η δομή της ιεραρχίας τάξεων, οι κανόνες παραγωγής που χαρακτηρίζουν κάθε κατηγορία, καθώς και οι σχέσεις μεταξύ των κατηγοριών, παρουσιάζονται εποπτικά στο Σχήμα 4.10. Στην επόμενη παράγραφο περιγράφονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά/κανόνες που χρησιμοποιήθηκαν για τον εντοπισμό των αμπελοτεμαχίων στις εικόνες, ως κανόνες παραγωγής της κλάσης *Vineyards 2*.



Σχήμα 4.10 - Η δομή της ταξινόμησης για τον εντοπισμό αμπελοτεμαχίων στις πέντε εικόνες. Για την εικόνα του Αμυνταίου του δορυφόρου Pleiades-1B όπου παρουσιάζεται ως χαρακτηριστικό το Mean Red-Edge χρησιμοποιήθηκε αντίστοιχα το Mean Red.

4.2.3 Ομάδα χαρακτηριστικών για τον εντοπισμό αμπελοτεμαχίων

Η γενικευμένη ομάδα χαρακτηριστικών, που χρησιμοποιήθηκε ως ομάδα κανόνων παραγωγής για την κατηγορία *Vineyards 2*, προέκυψε μετά από πειραματισμούς, παρατήρηση και ανάλυση των αρχικών ταξινομήσεων καθώς και με αξιοποίηση της ενδιάμεσης αξιολόγησης των αποτελεσμάτων. Ως αρχικό υπόβαθρο χρησιμοποιήθηκε η γενικευμένη ομάδα 10 κανόνων που είχε χρησιμοποιηθεί στην προπτυχιακή διπλωματική εργασία για τον εντοπισμό αμπελοτεμαχίων σε εικόνες *WV2* δύο περιοχών μελέτης [Καρακίζη, 2013]. Βασική επιδίωξη αποτέλεσε η απλοποίηση της ομάδας ούτως ώστε να μπορεί να εφαρμοστεί με επιτυχία σε μεγαλύτερο πλήθος εικόνων (και διαφορετικών δεκτών) ενώ ταυτόχρονα μειώνεται και ο χρόνος εκτέλεσης των ταξινομήσεων.

Πιο συγκεκριμένα, η προϋπάρχουσα ομάδα των 10 κανόνων περιλάμβανε χαρακτηριστικά φασματικά, γεωμετρικά και υψής. Επιδιώχθηκε στη νέα βελτιωμένη ομάδα να μην συμπεριληφθούν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (π.χ. *area*, *compactness*, *length/width*), καθώς παρατηρήθηκε ότι οι τιμές που έπαιρναν βασίζονταν σε μεγάλο βαθμό στο σχηματισμό των αντικειμένων κατά την κατάτμηση. Πιο συγκεκριμένα σε κάποια εικόνα μπορεί τα αμπελοτεμάχια να είχαν μεγαλύτερο μέγεθος απ' ότι σε κάποια άλλη και έτσι να διέφεραν σημαντικά οι τιμές που έπαιρναν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι τα χαρακτηριστικά αυτά δεν ενδείκνυνται για εφαρμογή στην ταξινόμηση πλήθους διαφορετικών εικόνων καθώς θα ήταν δύσκολη η εύρεση ενός εύρους τιμών που θα χαρακτήριζε τα αμπελοτεμάχια σε όλες τις εικόνες. Βάσει αυτής της λογικής επιλέχθηκαν οκτώ κανόνες φασματικών χαρακτηριστικών και χαρακτηριστικών υψής ως κανόνες παραγωγής για την κατηγορία *Vineyards 2*.

Τα οκτώ (8) βασικά χαρακτηριστικά που επιλέχθηκαν είναι τα εξής :

- [1] **Mean Blue:** Φασματικό χαρακτηριστικό αντικειμένου που αντιστοιχεί στη μέση τιμή φωτεινότητας στο κανάλι *Blue*.
- [2] **Mean Red-Edge** ή **Mean Red:** Φασματικό χαρακτηριστικό αντικειμένου που αντιστοιχεί στη μέση τιμή φωτεινότητας στο κανάλι *Red-Edge* για τις τέσσερις εικόνες *WV2*. Για την εικόνα του Αμυνταίου του δορυφόρου *Pleiades-1B* χρησιμοποιήθηκε αντίστοιχα η μέση τιμή φωτεινότητας στο κανάλι *Red*.
- [3] **Mean NIR1:** Φασματικό χαρακτηριστικό αντικειμένου που αντιστοιχεί στη μέση τιμή φωτεινότητας στο κανάλι *NIR1*.
- [4] **Mean Red-Edge / Mean Blue** ή **Mean Red / Mean Blue:** Φασματικό χαρακτηριστικό αντικειμένου που αντιστοιχεί στο λόγο μέσων τιμών φωτεινότητας του καναλιού *Red-Edge* προς το κανάλι *Blue*, για τις τέσσερις εικόνες *WV2*. Για την εικόνα του Αμυνταίου του δορυφόρου *Pleiades-1B* χρησιμοποιήθηκε αντίστοιχα ο λόγος με αριθμητή τη μέση τιμή φωτεινότητας στο κανάλι *Red*.
- [5] **Standard Deviation NIR1:** Φασματικό χαρακτηριστικό αντικειμένου που αντιστοιχεί στην τυπική απόκλιση των τιμών φωτεινότητας στο κανάλι *NIR1*.

- [6] **MSAVI**: Φασματικό χαρακτηριστικό αντικειμένου που αντιστοιχεί σε δείκτη βλάστησης με προσαρμογή εδάφους. Εισήχθη στο *eCognition* ως προσαρμοσμένο αριθμητικό χαρακτηριστικό (*Customised Arithmetic Feature*).

Ο *Soil-Adjusted Vegetation Index - SAVI [Huete, 1988]* είναι ο πρωταρχικός δείκτης με χαρακτηριστικά προσαρμογής εδάφους, ο οποίος περιλαμβάνει έναν παράγοντα προσαρμογής L , για το υπόβαθρο του φυλλώματος, ελαχιστοποιώντας έτσι τις επιδράσεις του υποβάθρου,.

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 στην εξίσωση του *MSAVI*.

Ο μαθηματικός του τύπος είναι :

$$\begin{aligned} MSAVI &= \frac{1}{2} \left[2 * R_{800} + 1 - \sqrt{(2 * R_{800} + 1)^2 - 8 * (R_{800} - R_{670})} \right] \\ &= \frac{1}{2} \left[2 * NIR1 + 1 - \sqrt{(2 * NIR1 + 1)^2 - 8 * (NIR1 - Red)} \right] \text{ WV2} \\ \text{και } \frac{1}{2} \left[2 * NIR + 1 - \sqrt{(2 * NIR + 1)^2 - 8 * (NIR1 - Red)} \right] \text{ Pleiades - 1B} \end{aligned}$$

- [7] **GLCM Dissimilarity**: Χαρακτηριστικό που περιγράφει την υφή του αντικειμένου. Ανήκει στα χαρακτηριστικά υφής *Haralick (Texture after Haralick)*, τα οποία υπολογίζουν την υφή χρησιμοποιώντας πληροφορίες από τον πίνακα σύμπτωσης των επιπέδων του γκρι *GLCM (gray level co-occurrence matrix)*.

Ο *GLCM* αποτελεί μια καταμέτρηση του πόσο συχνά εμφανίζονται σε μια απεικόνιση διαφορετικοί συνδυασμοί επιπέδων του γκρι στα *pixels*. Για να υπάρχει σταθερότητα όσον αφορά τις διευθύνσεις, υπολογίζεται, πριν τον υπολογισμό της υφής, το άθροισμα και των τεσσάρων διευθύνσεων (0° , 45° , 90° , 135°). Το χαρακτηριστικό *GLCM Dissimilarity* είναι όμοιο με αυτό της αντίθεσης, δηλαδή είναι ένα μέτρο της τοπικής διακύμανσης των τόνων στην εικόνα, το οποίο όμως αυξάνεται γραμμικά [*Reference Book eCognition Developer 8.7.,2011*].

- [8] **GLCM Std. Dev.** : Χαρακτηριστικό που περιγράφει την υφή του αντικειμένου. Ανήκει στα χαρακτηριστικά υφής *Haralick (Texture after Haralick)*, τα οποία υπολογίζουν την υφή χρησιμοποιώντας πληροφορίες από τον πίνακα σύμπτωσης των επιπέδων του γκρι *GLCM*, όπως περιγράφηκε παραπάνω.

Το χαρακτηριστικό *GLCM Std. Dev.* χρησιμοποιεί τον *GLCM* και ως εκ τούτου, ασχολείται ειδικά με τους συνδυασμούς των γειτονικών και των *pixels* αναφοράς. Έτσι, διαφέρει από τη συμβατική τυπική απόκλιση των τιμών του γκρι στην εικόνα. Η τυπική απόκλιση είναι ένα μέτρο της διασποράς των τιμών γύρω από τη μέση τιμή [*Reference Book eCognition Developer 8.7.,2011*].

Τα πέντε πρώτα φασματικά χαρακτηριστικά σχετίζονται όλα με τιμές έντασης κανάλιων που αναδεικνύουν τις καλλιέργειες είτε λόγω της μεγάλης απορρόφησης (όπως στο *Blue*), είτε λόγω της μεγάλης ανάκλασης (όπως στο *NIR*). Ο δείκτης




MSAVI αποτελεί κατεξοχήν χρησιμοποιούμενο δείκτη σε εφαρμογές βλάστησης και καλλιεργειών. Τέλος οι δυο (2) κανόνες υψής αποδείχθηκαν ιδιαίτερα αποτελεσματικοί στο διαχωρισμό των αμπελοκαλλιεργειών από τις υπόλοιπες καλλιέργειες καθώς αξιοποίησαν το γραμμικό πρότυπο των αμπελιών.

4.2.4 Παραμετροποίηση βασικών χαρακτηριστικών ταξινόμησης
























































Τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων επηρεάζονται πρωταρχικά από τις κατατμήσεις και την επιλογή των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων που περιγράφουν τις κλάσεις της ιεραρχίας τάξεων. Όλα όμως αυτά τα μεταβλητά μεγέθη δύνανται να παράξουν επιτυχημένα αποτελέσματα μόνο υπό την κατάλληλη παραμετροποίηση. Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης εργασίας υιοθετήθηκε ένας κοινός σκελετός κανόνων για τις ταξινομήσεις και των πέντε εικόνων, με άξονα την κατά το δυνατόν μεγαλύτερη τυποποίηση. Προς αυτή την κατεύθυνση καταγράφονται και μελετώνται οι τιμές και τα εύρη των παραμέτρων επεξεργασίας.

Η παραμετροποίηση παρουσιάζεται στον επόμενο πίνακα που περιλαμβάνει τις ταξινομήσεις που περιγράφηκαν στις προηγούμενες παραγράφους. Στον πίνακα έχουν συμπεριληφθεί στην πρώτη στήλη οι κλάσεις οι οποίες συμμετέχουν στις ταξινομήσεις με κανόνες παραγωγής που χρησιμοποιούν συναρτήσεις συμμετοχής. Έτσι δεν έχουν συμπεριληφθεί οι κλάσεις "Not_.....", που προέκυψαν από το χαρακτηριστικό όχι ομοιότητα με κάποια άλλη κλάση (*Not similarity to classes*), και ουσιαστικά εσωκλείουν όλα τα αντικείμενα που δεν ανήκουν στην ανταγωνιστική με αυτή κλάση.

Στον Πίνακα 4.2 η δεύτερη στήλη περιέχει τα βασικά μεταβλητά μεγέθη που καθορίζουν κάθε ταξινόμηση, δηλαδή την κλίμακα ταξινόμησης (*Segmentation Scale*) και τα διάφορα χαρακτηριστικά γνωρίσματα (*Features*), ανά επίπεδο (*Level*). Η πρώτη στήλη του πίνακα περιέχει την κατηγορία/κλάση στην οποία την περιγραφή ανήκει το αντίστοιχο χαρακτηριστικό της δεύτερης στήλης. Οι επόμενες στήλες περιέχουν τις τιμές που πήραν οι συγκεκριμένες μεταβλητές στις πέντε διαφορετικές ταξινομήσεις που πραγματοποιήθηκαν. Όπως περιγράφηκε σε προηγούμενες παραγράφους, στο λογισμικό *eCognition* η ασαφής λογική στην ταξινόμηση αντικειμένων, εμφανίζεται με τη μορφή ασαφών συναρτήσεων συμμετοχής (κανόνων παραγωγής). Στο πλαίσιο εκτέλεσης των συγκεκριμένων ταξινομήσεων χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθες συναρτήσεις συμμετοχής:

- I.  Συνάρτηση που υποδηλώνει τη σχέση "Μεγαλύτερο από". Κατά την παραμετροποίηση δίνεται η τιμή για το αριστερό και δεξί όριο για την τιμή που μπορεί να πάρει ένα χαρακτηριστικό. Πάνω από το δεξί όριο η συνάρτηση συμμετοχής ασαφούς λογικής παίρνει τιμή 1 και κάτω από το αριστερό όριο, παίρνει τιμή 0. Στον πίνακα τα δύο όρια δίνονται στη μορφή A-Δ.
- II.  Συνάρτηση που υποδηλώνει τη σχέση "Μικρότερο από". Κατά την παραμετροποίηση δίνεται η τιμή για το αριστερό και δεξί όριο για την τιμή που μπορεί να πάρει ένα χαρακτηριστικό. Πάνω από το δεξί όριο η συνάρτηση συμμετοχής ασαφούς λογικής παίρνει τιμή 0 και κάτω από το αριστερό όριο, παίρνει τιμή 1. Στον πίνακα τα δύο όρια δίνονται στη μορφή A-Δ.
- III.  Συνάρτηση που υποδηλώνει εύρος τιμών ανάμεσα σε δύο όρια "Από... ως". Στον πίνακα τα δύο όρια δίνονται στη μορφή A ως Δ.

4. Βασική Μεθοδολογία

Κλάση	Μεταβλητές	Συγχωνευμένη Δορυφορική Εικόνα				
		Τράπεζα WV2	Μεγαπλάτανος WV2	Νάουσα WV2	Αμύνταιο WV2	Αμύνταιο Pleiades-1B
Level_1						
	Segmentation Scale	20	20	20	20	20
Παραμετροποίηση & Συνάρτηση Συμμετοχής						
<i>Vegetation 1</i>	NDVI	 0.30-0.32	 0.20-0.21	 0.30-0.31	 0.26-0.28	 0.28-0.29
<i>Vineyards 1</i>	Existence of super objects <i>Vineyards 2</i>	 0.65-0.66	 0.64-0.65	 0.64-0.65	 0.64-0.65	 0.64-0.65
Level_2						
	Segmentation Scale	400	500	400	355	200
Παραμετροποίηση & Συνάρτηση Συμμετοχής						
<i>Vegetation 2</i>	NDVI	 0.30-0.32	 0.20-0.21	 0.30-0.40	 0.26-0.28	 0.28-0.29
<i>Vineyards 2</i>	Mean Blue	 959-960	 720-721	 750-751	 1022 ως 1290	 853-853.5
<i>Vineyards 2</i>	Mean Red-Edge	 2200-2250	 2019 ως 2669	 2050 ως 2486	 1780 ως 2910	 * 1545-1546
<i>Vineyards 2</i>	Mean NIR1	 3019-3020	 2770 ως 4350	 2410 ως 3810	 2619 ως 4607	 1481 ως 4063
<i>Vineyards 2</i>	Mean Red-Edge / Mean Blue	 2.71-2.72	 2.4 ως 3.7	 2 ως 5	 1.6-1.7	 * 1.2-2.15
<i>Vineyards 2</i>	Standard Deviation NIR1	 283 ως 575	 320 ως 832	 720-721	 522-523	 465 ως 1482
<i>Vineyards 2</i>	MSAVI	 0.58-0.59	 0.5 ως 0.9	 0.56 ως 0.82	 0.43 ως 0.81	 0.46 ως 0.91
<i>Vineyards 2</i>	GLCM Dissimilarity	 18 ως 32	 18.9-19	 20-20.5	 22.9 ως 49	 24.9-25
<i>Vineyards 2</i>	GLCM Std. Dev	 24 ως 39	 26.5 ως 37.6	 27.4-27.5	 31.55 ως 34.72	 32.98-32.99

* Χρησιμοποιήθηκαν αντίστοιχα τα χαρακτηριστικά *Mean Red* και *Mean Red / Mean Blue*.

Πίνακας 4.2 - Η παραμετροποίηση για τις ταξινομήσεις εντοπισμού αμπελοτεμαχίων.

Από τον πίνακα παρατηρείται ότι οι τιμές των ορίων για όλες τις εικόνες και των δυο διαφορετικών δεκτών παρουσιάζουν στις περισσότερες περιπτώσεις μεγάλη

εγγύτητα. Λαμβάνοντας μάλιστα υπόψιν ότι το εύρος τιμών που δύνανται να πάρουν αυτές οι μεταβλητές είναι σημαντικά μεγαλύτερο από τις διαφορές τους στις τιμές των ορίων, δημιουργούνται αισιόδοξες προσδοκίες για τη δυνατότητα καθορισμού ενός εύρους παραμετροποίησης για καθένα από αυτά, σε εφαρμογές παρόμοιας φύσης. Πιο συγκεκριμένα με διενέργεια ταξινομήσεων που ακολουθούν την ίδια μεθοδολογία με στόχο των εντοπισμό αμπελοτεμαχίων σε μεγαλύτερο πλήθος δεδομένων, θα ήταν δυνατή η εύρεση ενός διαστήματος τιμών στις οποίες θα μπορούσε να περιοριστεί η αναζήτηση παραμετροποίησης κάθε χαρακτηριστικού και ως εκ τούτου να απλοποιηθεί σημαντικά η διαδικασία σε μελλοντικές ταξινομήσεις.

4.3 Ταξινομήσεις Εξαγωγής Γραμμών Φύτευσης Αμπελιών

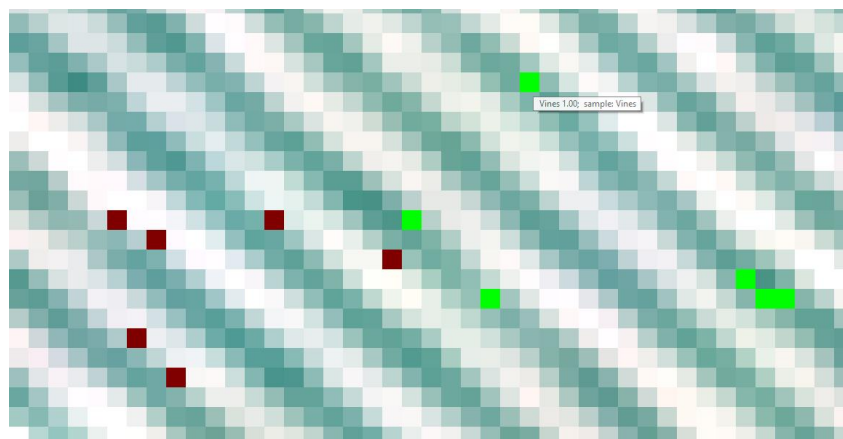
Το δεύτερο βήμα της συγκεκριμένη μεθοδολογίας αποτέλεσε ο εντοπισμός των γραμμών φύτευσης των εντοπισμένων αμπελιών και ο διαχωρισμός τους από τα ενδιάμεσα υλικά (κυρίως το χώμα, χόρτα, πέτρες) ανάμεσα στις γραμμές. Στο στάδιο αυτό επιχειρείται η εξαγωγή των γραμμών φύτευσης ούτως ώστε στο επόμενο βήμα, στην προσπάθεια διαχωρισμού των ποικιλιών αμπέλου, η ταξινόμηση να “τρέξει” μόνο στη φυλλική επιφάνεια (*canopy*) του αμπελιού. Με τον τρόπο αυτό επιδιώκεται να εξαιρεθεί η επίδραση των υπόλοιπων υλικών, στην ταξινόμηση των διαφορετικών ποικιλιών αμπέλου.

Πριν τις ταξινομήσεις προηγήθηκε η διαδικασία της κατάτμησης, δηλαδή η υποδιαίρεση της εικόνας σε επιμέρους περιοχές. Η κατάτμηση έγινε στα ήδη εντοπισμένα αμπελοτεμάχια (κλάση *Vineyards*) σε ένα επίπεδο μικρής κλίμακας και με την κατάλληλη παραμετροποίηση με σκοπό να δημιουργηθούν αντικείμενα που να περιλαμβάνουν μόνο φύλλωμα αμπελιού (κλάση *Vines*) ή μόνο χώμα (κλάση *Soil*). Στον πίνακα 4.3 παρουσιάζεται η παραμετροποίηση για τα επίπεδα κατάτμησης στις ταξινομήσεις εξαγωγής γραμμών φύτευσης των πέντε εικόνων.

	Τράπεζα WV2	Μεγαπλάτανος WV2	Νάουσα WV2	Αμύνταιο WV2	Αμύνταιο Pleiades- 1B
<i>Επίπεδο ταξινόμησης εξαγωγής γραμμών φύτευσης</i>					
Scale Parameter	2	3	2	2	2
Image Layer Weights	8 x 1 (Εξίσου)	Bands 1,2,4,6 x 1 Bands 3,5,7,8 x 3	8 x 1 (Εξίσου)	8 x 1 (Εξίσου)	4 x 1 (Εξίσου)
Shape	0.5	0.2	0.5	0.5	0.5
Compactness	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

Πίνακας 4.3 - Η παραμετροποίηση του αλγορίθμου πολλαπλής κατάτμησης για τις ταξινομήσεις εξαγωγής γραμμών φύτευσης στις πέντε εικόνες.

Οι ταξινομήσεις σε αυτό το βήμα υλοποιήθηκαν με χρήση της ασαφούς εκδοχής του αλγορίθμου του Εγγύτερου Γείτονα (*Nearest Neighbor - NN*) στην περιγραφή των κατηγοριών/κλάσεων. Αρχικά έγινε εκπαίδευση του συστήματος δίνοντας του συγκεκριμένα αντιπροσωπευτικά αντικείμενα ως δείγματα για κάθε κατηγορία, και στη συγκεκριμένη περίπτωση δείγματα από τη φυλλική επιφάνεια των αμπελιών και από τα ενδιάμεσα υλικά των γραμμών φύτευσης.



Σχήμα 4.11 - Στιγμιότυπο από την επιλογή χαρακτηριστικών δειγμάτων για την εκπαίδευση του NN στο λογισμικό eCognition.

Για την εύρεση των καταλληλότερων χαρακτηριστικών που θα χρησιμοποιούνταν στον *standard NN* για το διαχωρισμό ποικιλιών, αξιοποιήθηκε το εργαλείο του *eCognition Feature Space Optimization*, όπως περιγράφηκε σε προηγούμενες παραγράφους. Μετά από πολλούς πειραματισμούς βρέθηκε μια ομάδα χαρακτηριστικών, κατάλληλα για τον επιτυχημένο διαχωρισμό του φυλλώματος του αμπελιού με το χώμα με χρήση του *NN*, σε όλες τις εικόνες.

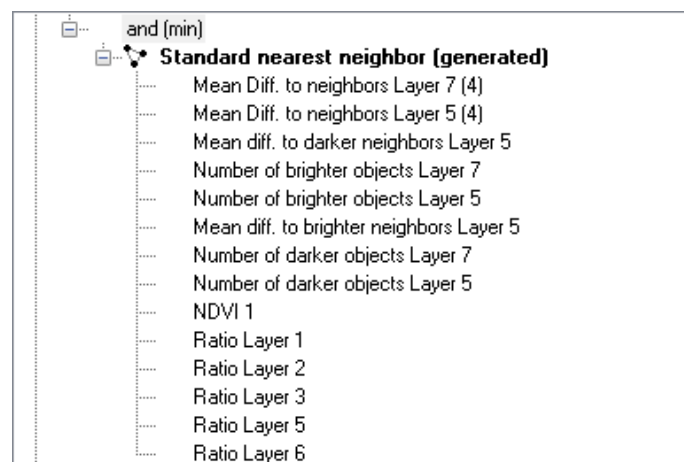
Εφόσον επιχειρείται φασματικός (*spectral*) διαχωρισμός χρησιμοποιήθηκαν χαρακτηριστικά αμιγούς φασματικού χαρακτήρα και πιο συγκεκριμένα τα:

- ✓ **Mean Layer:** Η μέση τιμή φωτεινότητας ενός αντικειμένου σε ένα συγκεκριμένο κανάλι της εικόνας
- ✓ **Brightness:** Η συνολική φωτεινότητα ενός αντικειμένου από όλα τα κανάλια.
- ✓ **Ratio Layer:** Το ποσοστό που το εκάστοτε κανάλι συμμετέχει στη συνολική φωτεινότητα του αντικειμένου
- ✓ **NDVI:** Ο Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης (*Normalised Difference Vegetation Index*).
- ✓ **Min. pixel value:** Η τιμή του εικονοστοιχείου με τη μικρότερη τιμή φωτεινότητας σε ένα συγκεκριμένο κανάλι της εικόνας.

Εκτός όμως από τα παραπάνω χαρακτηριστικά αξιοποιήθηκαν και φασματικά χαρακτηριστικά της κατηγορίας “*To neighbors*” που ουσιαστικά περιγράφουν τη φασματική σχέση ενός αντικειμένου με τα γειτονικά του αντικείμενα, με όρους τιμών

φωτεινότητας των καναλιών. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν στην περιγραφή του NN τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- ✓ **Mean diff. to neighbors:** Εκφράζει τη μέση διαφορά στις τιμές φωτεινότητας, σε ένα συγκεκριμένο κανάλι, ανάμεσα στο αντικείμενο και στα γειτονικά αντικείμενα. Δίνεται και περίμετρος σε πλήθος γειτονικών εικονοστοιχείων για τον υπολογισμό (στη συγκεκριμένη περίπτωση υπολογίστηκαν με περίμετρο 4 pixels).
- ✓ **Number of brighter objects:** Εκφράζει το πλήθος των άμεσα γειτονικών (με κοινό όριο) αντικειμένων που έχουν υψηλότερη τιμή φωτεινότητας, σε ένα συγκεκριμένο κανάλι, από το αντικείμενο.
- ✓ **Number of darker objects:** Εκφράζει το πλήθος των άμεσα γειτονικών αντικειμένων που έχουν χαμηλότερη τιμή φωτεινότητας, σε ένα συγκεκριμένο κανάλι, από το αντικείμενο.
- ✓ **Mean diff. to brighter neighbors:** Εκφράζει τη διαφορά στις τιμές φωτεινότητας, σε ένα συγκεκριμένο κανάλι, ανάμεσα στο αντικείμενο και στα πιο φωτεινά από αυτό άμεσα γειτονικά αντικείμενα.
- ✓ **Mean diff. to darker neighbors:** Εκφράζει τη διαφορά στις τιμές φωτεινότητας, σε ένα συγκεκριμένο κανάλι, ανάμεσα στο αντικείμενο και στα πιο σκοτεινά από αυτό άμεσα γειτονικά αντικείμενα.
- ✓ **Rel. border to brighter neighbors:** Περιγράφει το βαθμό στον οποίο ένα αντικείμενο περιβάλλεται από πιο φωτεινά άμεσα γειτονικά αντικείμενα. Υπολογίζεται ως ο λόγος του πλήθους των άμεσα γειτνιαζόντων φωτεινότερων αντικειμένων προς το σύνολο των άμεσα γειτνιαζόντων αντικειμένων.



Σχήμα 4.12 - Στιγμιότυπο από την περιγραφή των χαρακτηριστικών που συμμετέχουν στην ταξινόμηση με NN, για την τάξη Vines, στην ταξινόμηση της WV2 εικόνας της Τράπεζας, στο λογισμικό eCognition.

Για την ταξινόμηση κάθε μιας από τις πέντε εικόνες αξιοποιήθηκε το εργαλείο του eCognition *Feature Space Optimization*, με αρχική εισαγωγή των χαρακτηριστικών που περιγράφηκαν παραπάνω για όλα τα κανάλια κάθε εικόνας. Το εργαλείο αυτό

βρήκε σε κάθε περίπτωση τον καταλληλότερο συνδυασμό χαρακτηριστικών από τα παραπάνω καθώς και τα καταλληλότερα κανάλια για κάθε χαρακτηριστικό, για το διαχωρισμό των κλάσεων *Vines* και *Soil* σε κάθε εικόνα. Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζεται ο συνδυασμός χαρακτηριστικών και καναλιών που χρησιμοποιήθηκε στον υπολογισμό του αλγορίθμου *NN* για τις επιβλεπόμενες ταξινομήσεις των πέντε εικόνων.

Τράπεζα WV2	Μεγαπλάτανος WV2	Νάουσα WV2	Αμύνταιο WV2	Αμύνταιο Pleiades-1B
<i>Χαρακτηριστικά NN για την εξαγωγή γραμμών φύτευσης</i>				
Ratio Layer: Coastal Blue, Blue, Green, Red, Red-Edge	Mean Layer: Coastal Blue, Red, NIR 1	Brightness	Mean Layer: Coastal Blue, Red, Red-Edge, NIR 1, NIR 2	Brightness
Mean diff. to neighbors: Red, NIR 1	Ratio Layer: Coastal Blue, Blue, Green, Yellow, Red, Red-Edge	Mean Layer: Coastal Blue, Blue, Yellow, Red, NIR 1, NIR 2	Ratio Layer: Coastal Blue, Blue, Green, Yellow, Red, Red-Edge, NIR 1, NIR 2	Mean Layer: Blue, Green, Red, NIR
Number of brighter objects: Red, NIR 1	Min pixel value: Red, NIR 1	Ratio Layer: Coastal Blue, Blue, Green, Yellow, Red, Red-Edge, NIR 1, NIR 2	Min pixel value: Red, NIR 1	Ratio Layer: Blue, Green, Red, NIR
Number of darker objects: Red, NIR 1	Mean diff. to neighbors: Red, NIR 1	Min pixel value: Red, NIR 1	Mean diff. to neighbors: Red, NIR 1	Min pixel value: Red, NIR
Mean diff. to brighter neighbors: Red	Number of brighter objects: Red, NIR 1	Mean diff. to neighbors: Red, NIR 1	Number of brighter objects: Red, NIR 1	Mean diff. to neighbors: Red, NIR
Mean diff. to darker neighbors: Red	Number of darker objects: Red, NIR 1	Number of brighter objects: Red, NIR 1	Number of darker objects: Red, NIR 1	Number of brighter objects: Red, NIR 1
NDVI	Mean diff. to brighter neighbors: Red, NIR 1	Mean diff. to brighter neighbors: Red, NIR 1	Mean diff. to brighter neighbors: Red, NIR 1	Number of darker objects: Red, NIR 1
	Mean diff. to darker neighbors: Red	Mean diff. to darker neighbors: Red, NIR 1	Mean diff. to darker neighbors: Red	Mean diff. to brighter neighbors: Red, NIR
	NDVI	Rel. border to brighter	NDVI	Mean diff. to darker

		neighbors: Red, NIR 1		neighbors: NIR
		NDVI		Rel. border to brighter neighbors: Red, NIR
				NDVI

Πίνακας 4.4 - Τα χαρακτηριστικά που συμμετέχουν στον υπολογισμό του αλγορίθμου του εγγύτερου γείτονα για τις επιβλεπόμενες ταξινομήσεις εξαγωγής των γραμμών φύτευσης των αμπελιών.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η επιλογή των χαρακτηριστικών της κατηγορίας “*To neighbors*” έπαιξε καθοριστικό ρόλο στο σχεδιασμό μιας αποτελεσματικής μεθοδολογίας, καθώς αυτά τα χαρακτηριστικά ουσιαστικά αξιοποίησαν τις φασματικές διαφορές στην επαναλαμβανόμενη εναλλαγή μεταξύ γραμμών φύτευσης αμπελιών και γραμμών χώματος.

4.4 Ταξινομήσεις Διαχωρισμού Ποικιλιών Αμπέλου

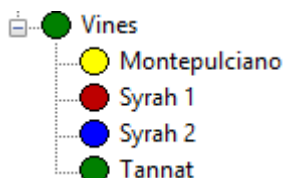
Το τρίτο βήμα της συγκεκριμένη μεθοδολογίας αποτέλεσε ο διαχωρισμός των διαφορετικών ποικιλιών αμπέλου πάνω στις εντοπισμένες γραμμές φύτευσης των αμπελώνων, μέσω ταξινόμησης. Το στάδιο αυτό αποτελεί γενικότερα μια περίπλοκη ερευνητική πρόκληση καθώς επιχειρείται ο διαχωρισμός ποικιλιών που ανήκουν στο ίδιο είδος φυτού, δηλαδή παρουσιάζουν εξαιρετικά όμοια φασματική συμπεριφορά.

Πριν τις ταξινομήσεις προηγήθηκε η διαδικασία της κατάτμησης, δηλαδή η υποδιαίρεση της εικόνας σε επιμέρους περιοχές. Η κατάτμηση έγινε στην τάξη *Vines*, δηλαδή στις ήδη εντοπισμένες γραμμές φύτευσης για ένα επίπεδο σχετικά μικρής κλίμακας. Στον πίνακα 4.5 παρουσιάζεται η παραμετροποίηση για τα επίπεδα κατάτμησης στις ταξινομήσεις εξαγωγής γραμμών φύτευσης των πέντε εικόνων.

	Τράπεζα WV2	Μεγαπλάτανος WV2	Νάουσα WV2	Αμύνταιο WV2	Αμύνταιο Pleiades-1B
<i>Επίπεδο ταξινόμησης διαχωρισμού ποικιλιών</i>					
Scale Parameter	5	5	5	10	5
Image Layer Weights	8 x 1 (Εξίσου)	8 x 1 (Εξίσου)	8 x 1 (Εξίσου)	8 x 1 (Εξίσου)	8 x 1 (Εξίσου)
Shape	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Compactness	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

Πίνακας 4.5 - Η παραμετροποίηση του αλγορίθμου πολλαπλής κατάτμησης για τις επιβλεπόμενες ταξινομήσεις διαχωρισμού ποικιλιών αμπέλου

Οι επιβλεπόμενες ταξινομήσεις και σε αυτό το βήμα υλοποιήθηκαν με χρήση της ασαφούς εκδοχής του αλγορίθμου του Εγγύτερου Γείτονα (*Nearest Neighbor - NN*) στην περιγραφή των κατηγοριών/κλάσεων. Αρχικά έγινε εκπαίδευση του συστήματος δίνοντας του συγκεκριμένα αντιπροσωπευτικά αντικείμενα ως δείγματα για κάθε κατηγορία-ποικιλία. Τα πλήθος των δειγμάτων ήταν περίπου το 1-3% επί των δεδομένων ελέγχου για κάθε κατηγορία-ποικιλία.



Σχήμα 4.13 – Οι κλάσεις/ποικιλίες στην ιεραρχία τάξεων για τις ταξινομήσεις διαχωρισμού ποικιλιών αμπέλου στην εικόνα *Pleiades-1B* του Αμυνταίου.

Για την εύρεση των καταλληλότερων χαρακτηριστικών που θα χρησιμοποιούνταν στον *standard NN* για το διαχωρισμό ποικιλιών, αξιοποιήθηκε ξανά το εργαλείο του *eCognition Feature Space Optimization*. Οι ταξινομήσεις σε αυτό το βήμα βασίζονται στο φασματικό διαχωρισμό ανάμεσα στις διαφορετικές ποικιλίες αμπέλου. Μετά από πολλούς πειραματισμούς βρέθηκε μια ομάδα φασματικών χαρακτηριστικών κατάλληλα για τις ταξινομήσεις διαχωρισμού. Τα χαρακτηριστικά αυτά ήταν τα:

- ✓ **Mean Layer:** Η μέση τιμή φωτεινότητας ενός αντικειμένου σε ένα συγκεκριμένο κανάλι της εικόνας
- ✓ **Brightness:** Η συνολική φωτεινότητα ενός αντικειμένου από όλα τα κανάλια.
- ✓ **Ratio Layer:** Το ποσοστό που το εκάστοτε κανάλι συμμετέχει στη συνολική φωτεινότητα του αντικειμένου
- ✓ **NDVI:** Ο δείκτης κανονικοποιημένης διαφοράς βλάστησης (*Normalised Difference Vegetation Index*).
- ✓ **MSAVI:** Ο δείκτης βλάστησης με προσαρμογή εδάφους (*Modified Soil-Adjusted Vegetation Index*)
- ✓ **Λόγοι Mean Layer:** Λόγοι μέσων τιμών φωτεινότητας ενός αντικειμένου για δύο κανάλια της εικόνας

Για την ταξινόμηση κάθε μιας από τις πέντε εικόνες αξιοποιήθηκε το εργαλείο του *eCognition Feature Space Optimization*, με αρχική εισαγωγή των παραπάνω χαρακτηριστικών. Το εργαλείο αυτό πρότεινε σε κάθε περίπτωση τον καταλληλότερο συνδυασμό χαρακτηριστικών από τα παραπάνω καθώς και τα καταλληλότερα κανάλια για κάθε χαρακτηριστικό, για το διαχωρισμό των διαφορετικών ποικιλιών αμπέλου σε κάθε εικόνα. Η επιλογή των καταλληλότερων καναλιών και λόγων για το διαχωρισμό των ποικιλιών υποβοηθήθηκε επίσης από τη μελέτη των υπερφασματικών δεδομένων από το φασματοραδιόμετρο χειρός. Πιο συγκεκριμένα από τη συνδυαστική μελέτη των φασματικών υπογραφών κάθε ποικιλίας εντοπίστηκαν τα σημεία του φάσματος στα οποία διέφεραν περισσότερο και μετέπειτα συσχετίστηκαν με τα αντίστοιχα δορυφορικά κανάλια.

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζεται ο συνδυασμός χαρακτηριστικών και καναλιών που χρησιμοποιήθηκε για τις επιβλεπόμενες ταξινομήσεις των πέντε εικόνων.

Τράπεζα WV2	Μεγαπλάτανος WV2	Νάουσα WV2	Αμύνταιο WV2	Αμύνταιο Pleiades-1B
<i>Χαρακτηριστικά NN για το διαχωρισμό ποικιλιών</i>				
Mean Layer: Red	Mean Layer: Coastal Blue, Red	Brightness	Mean Layer: Coastal Blue, Red, Red-Edge, NIR 1, NIR 2	Brightness
Ratio Layer: Coastal Blue, Blue, Green, Yellow, Red, Red- Edge, NIR 1, NIR 2	Ratio Layer: Coastal Blue, Blue, Green, Yellow, Red, Red-Edge, NIR 1, NIR 2	Mean Layer: Coastal Blue, Red-Edge, NIR 1, NIR 2	Ratio Layer: Coastal Blue, Yellow, Red, Red- Edge, NIR 1, NIR 2	Mean Layer: Blue, Green, NIR
Mean NIR 1 / Mean Blue Mean NIR 1 / Mean Red Mean NIR 2 / Mean Red	Mean NIR 1 / Mean Blue	Ratio Layer: Coastal Blue, Blue, Green, Yellow, Red, Red- Edge, NIR 1, NIR 2	Mean NIR 1 / Mean Red	Ratio Layer: Blue, Green, Red, NIR
NDVI	NDVI	NDVI	NDVI	NDVI
			MSAVI	

Πίνακας 4.6 - Τα χαρακτηριστικά που συμμετέχουν στον υπολογισμό του αλγορίθμου του εγγύτερου γείτονα για τις επιβλεπόμενες ταξινομήσεις διαχωρισμού ποικιλιών αμπέλου.

Σε κάθε περιοχή μελέτης διενεργήθηκαν πολλές ταξινομήσεις με στόχο τη διερεύνηση της αποτελεσματικότητας της μεθοδολογίας για διαχωρισμό ανάμεσα σε διαφορετικό πλήθος ποικιλιών ή διαφορετικών κλώνων ποικιλιών. Επιχειρήθηκε η μελέτη των ποικιλιών που ήταν ευρέως καλλιεργούμενες σε κάθε περιοχή και επίσης επιδιώχθηκε να μελετώνται και οι ίδιες ποικιλίες σε διαφορετικές περιοχές. Πιο συγκεκριμένα υλοποιήθηκε διαχωρισμός με ταξινομήσεις ανάμεσα σε τρεις ως και επτά ποικιλίες-κλώνους τη φορά. Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται οι ποικιλίες-κλώνοι που συμμετείχαν στις ταξινομήσεις των εικόνων.

	Τράπεζα WV2	Μεγαπλάτανος WV2	Νάουσα WV2	Αμύνταιο WV2 & Pleiades-1B
1	Merlot	Merlot	Merlot	Montepulciano
2	Riesling	Cabernet Sauvignon	Cabernet Sauvignon	Tannat
3	Sauvignon Blanc clone I	Sauvignon Blanc	Ξινόμαυρο	Syrah clone I
4	Sauvignon Blanc clone I	Chardonnay	Syrah	Syrah clone II
5	Σταφίδα	Ρομπόλα		
6	Syrah clone I	Syrah		
7	Syrah clone II			

Πίνακας 4.7 – Οι ποικιλίες και οι κλώνοι ποικιλιών που συμμετείχαν στις επιβλεπόμενες ταξινομήσεις διαχωρισμού ποικιλιών αμπέλου.

Ταξινομήσεις ελέγχου

Αξίζει να σημειωθεί ότι για το συγκεκριμένο βήμα, αποφασίστηκε η ίδια ακριβώς μεθοδολογία διαχωρισμού να εφαρμοστεί και στα ατμοσφαιρικά διορθωμένα πολυφασματικά δορυφορικά δεδομένα. Η απόφαση αυτή ελήφθη καθώς η συμβολή του *pan-sharpening* στα δορυφορικά δεδομένα για το φασματικό διαχωρισμό θα μπορούσε να θεωρηθεί αμφιλεγόμενη. Πιο συγκεκριμένα ο διαχωρισμός στην εντοπισμένη φυλλική επιφάνεια του αμπελιού θεωρητικά αναμένεται να δώσει πιο αξιόπιστα αποτελέσματα καθώς η επίδραση των ενδιάμεσων υλικών εξαλείφεται. Παρόλα αυτά όμως η διαδικασία συγχώνευσης του *pan-sharpening* ακόμα κι αν έχει γίνει με την καταλληλότερη παραμετροποίηση του ιδανικού αλγορίθμου παραμορφώνει σε κάποιο βαθμό τη φασματική πληροφορία της αρχικής εικόνας. Η διενέργεια των ταξινομήσεων διαχωρισμού τόσο στις συγχωνευμένες όσο και στις πολυφασματικές εικόνες δίνει τη δυνατότητα σύγκρισης για την καταλληλότητα χρήσης των εκάστοτε δεδομένων.

Ειδικότερα, για τις ταξινομήσεις στα πολυφασματικά δεδομένα, απομονώθηκαν από τις ατμοσφαιρικά διορθωμένες πολυφασματικές εικόνες τα αμπελοτεμάχια που μελετήθηκαν στις ταξινομήσεις διαχωρισμού με χρήση των ψηφιοποιημένων δεδομένων ελέγχου για κάθε εικόνα, στο λογισμικό *Matlab* με απλή άλγεβρα εικόνων. Έτσι παρήχθησαν πέντε νέες εικόνες που περιείχαν φασματική πληροφορία μόνο στις θέσεις των αμπελοτεμαχίων προς μελέτη. Μετέπειτα εισήχθησαν στο λογισμικό *eCognition* όπου και αρχικά δημιουργήθηκε ένα λεπτόκοκκο επίπεδο κατάτμησης με την ίδια παραμετροποίηση και για τις πέντε εικόνες (*Scale Parameter=2*, *Image Layer Weights=1-εξίσου*, *Shape=0.6*, *Compactness=0.7*). Ο αρχικός διαχωρισμός αφορούσε τη δημιουργία μίας κατηγορίας που θα περιείχε τα αμπέλια (*Vineyards*) και μίας που θα περιλάμβανε όλα τα υπόλοιπα αντικείμενα (*Not Vineyards*). Ο διαχωρισμός αυτός ήταν απλός καθώς η κατηγορία *Not Vineyards* θα έπρεπε να περιλαμβάνει όλα τα pixels που είχαν απεικονιστεί μαύρα και έτσι έγινε με χρήση του χαρακτηριστικού γνωρίσματος *Brightness*. Συγκεκριμένα όπου το χαρακτηριστικό αυτό είχε τιμή μηδέν (0), το αντικείμενο κατατάσσεται στην κατηγορία *Not Vineyards*.

Η κατηγορία *Vineyards* προέκυψε από το χαρακτηριστικό όχι ομοιότητα με την κλάση *Not Vineyards* (*not Not Vineyards*), και ουσιαστικά εσωκλείει όλα τα αντικείμενα που δεν ανήκουν στην κλάση *Not Vineyards*, δηλαδή τα αμπελοτεμάχια προς μελέτη. Επόμενο βήμα ήταν οι επιβλεπόμενες ταξινομήσεις που ακολούθησαν ακριβώς την ίδια μεθοδολογία (Εγγύτερο Γείτονα με τα ίδια χαρακτηριστικά ανά περιοχή) με τις ταξινομήσεις στις εντοπισμένες γραμμές φύτευσης για κάθε εικόνα, όπως περιγράφηκαν στις προηγούμενες παραγράφους.

5

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Μετά την εφαρμογή της μεθοδολογίας στα διαθέσιμα δεδομένα, προέκυψε ένα σύνολο αποτελεσμάτων και ακολούθησαν διαδικασίες ενδεδειγμένης αξιολόγησης για την αποτελεσματικότητα των τεχνικών που αναπτύχθηκαν, των πειραματικών αποτελεσμάτων που προέκυψαν αλλά και των παρατηρήσεων που προέκυψαν από αυτά. Εκτός απ την αρχική ποιοτική αξιολόγηση με οπτική παρατήρηση, υλοποιήθηκε ποσοτική αξιολόγηση για τις ταξινομήσεις εντοπισμού αμπελοτεμαχίων, εξαγωγής γραμμών φύτευσης και διαχωρισμού ποικιλιών αμπέλου. Στις επόμενες παραγράφους περιγράφονται αναλυτικά οι μέθοδοι αξιολόγησης των αποτελεσμάτων για κάθε στάδιο της μεθοδολογίας.

5.1 Εντοπισμός Αμπελοτεμαχίων

5.1.1 Αξιολόγηση αξιοπιστίας και σταθερότητας ταξινομήσεων

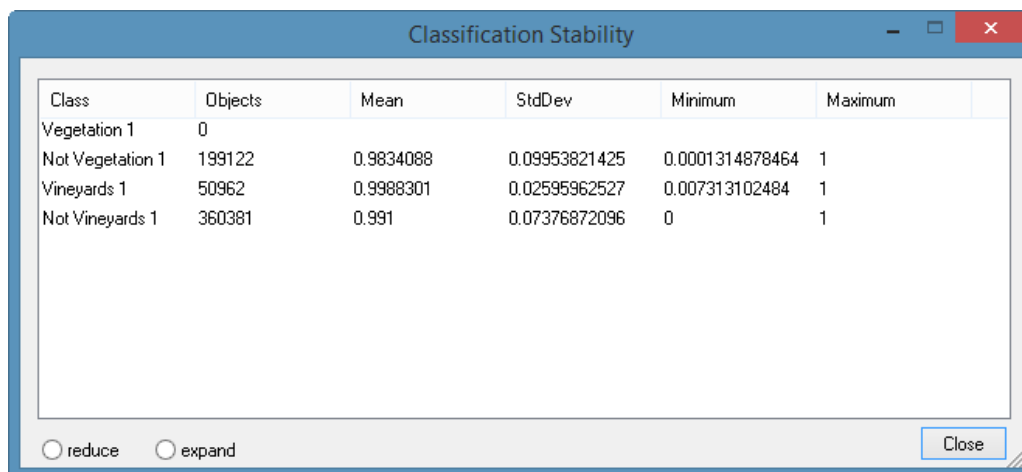
- Μέτρα αξιολόγησης

Πριν τη διενέργεια ποσοτικής αξιολόγησης των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης αξιολογήθηκε η αξιοπιστία και σταθερότητα των πέντε ταξινομήσεων. Η αξιολόγηση αυτή έγινε μέσα στο πρόγραμμα. Χρησιμοποιήθηκαν δύο από τα εργαλεία εκτίμησης ακρίβειας (*Accuracy Assessment*) και συγκεκριμένα η Σταθερότητα Ταξινόμησης (*Classification Stability*) και το Καλύτερο Αποτέλεσμα Ταξινόμησης (*Best Classification Result*).

Λόγω της χρήσης ασαφούς λογικής στις ταξινομήσεις, ένα αντικείμενο μπορεί να έχει βαθμό συμμετοχής σε παραπάνω από μία τάξεις. Η Σταθερότητα της Ταξινόμησης εξυπηρετεί τη διερεύνηση των διαφορών μεταξύ του μέγιστου βαθμού συμμετοχής σε μια κλάση και του αμέσως μεγαλύτερου σε κάποια άλλη. Η διαφορά αυτή αποτελεί ένδειξη για την ασάφεια και αστάθεια με την οποία τα αντικείμενα έχουν ταξινομηθεί στις κατηγορίες. Εάν η διαφορά μεταξύ της καλύτερης και της δεύτερης καλύτερης συμμετοχής είναι μικρή (στο διάστημα 0-1), σημαίνει ότι το αποτέλεσμα της ταξινόμησης είναι ασταθές, καθώς το αντικείμενο το "διεκδικούν" τουλάχιστον δύο (2) κλάσεις.

Στο σχήμα 5.1 που ακολουθεί, στη πρώτη στήλη (*Class*) αναγράφονται οι κατηγορίες της ταξινόμησης του επιπέδου που εξετάζεται. Στη δεύτερη στήλη (*Objects*) αναγράφεται το πλήθος των αντικειμένων που ταξινομήθηκαν σε αυτή την κατηγορία. Στην τρίτη στήλη (*Mean*) αναγράφεται η μέση τιμή των διαφορών ανάμεσα στην καλύτερη και δεύτερη καλύτερη τιμή του βαθμού συμμετοχής, ενώ η τέταρτη στήλη (*StdDev*) παρουσιάζει την τυπική απόκλιση των διαφορών. Η πέμπτη (*Minimum*) και

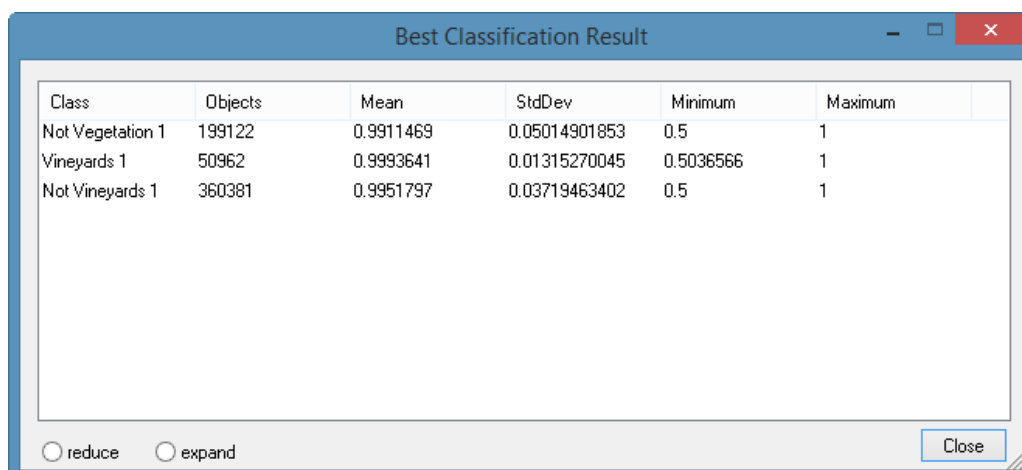
έκτη στήλη (*Maximum*) καταγράφουν την ελάχιστη και τη μέγιστη τιμή των διαφορών, αντίστοιχα.



Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
Vegetation 1	0				
Not Vegetation 1	199122	0.9834088	0.09953821425	0.0001314878464	1
Vineyards 1	50962	0.9988301	0.02595962527	0.007313102484	1
Not Vineyards 1	360381	0.991	0.07376872096	0	1

Σχήμα 5.1 - Στιγμιότυπο από το παράθυρο στατιστικών αποτελεσμάτων της Σταθερότητας Ταξινόμησης, για την ταξινόμηση στην εικόνα WV2 στην Τράπεζα, στο λογισμικό eCognition.

Σύμφωνα με την ασαφή λογική τα αντικείμενα ταξινομούνται στην κατηγορία στην οποία έχουν το μεγαλύτερο βαθμό συμμετοχής. Το εργαλείο Καλύτερο Αποτέλεσμα Ταξινόμησης, υπολογίζεται στατιστικά ως ο μέγιστος βαθμός συμμετοχής των αντικειμένων.



Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
Not Vegetation 1	199122	0.9911469	0.05014901853	0.5	1
Vineyards 1	50962	0.9993641	0.01315270045	0.5036566	1
Not Vineyards 1	360381	0.9951797	0.03719463402	0.5	1

Σχήμα 5.2 - Στιγμιότυπο από το παράθυρο στατιστικών αποτελεσμάτων του Καλύτερου Αποτελέσματος Ταξινόμησης, για την ταξινόμηση στην εικόνα WV2 στην Τράπεζα, στο λογισμικό eCognition.

Η μέση τιμή για τους μέγιστους βαθμούς σε κάθε κατηγορία φαίνονται στο παράδειγμα του σχήματος 5.2 στη στήλη *Mean*. Οι υπόλοιπες στήλες ακολουθούν την ίδια δομή με αυτή που περιγράφηκε στην αμέσως προηγούμενη παράγραφο για το εργαλείο *Classification Stability*.

- Αποτελέσματα

Η αξιοπιστία και σταθερότητα εξετάστηκε μέσω των στατιστικών στοιχείων των δύο εργαλείων για τις κατηγορίες του επιπέδου *Level_1*, όπου και εξήχθη το τελικό αποτέλεσμα των ταξινομήσεων των πέντε εικόνων (η κατηγορία *Vegetation 1* δεν περιλαμβάνεται καθώς εφόσον φέρει απογόνους δεν ταξινομείται κανένα αντικείμενο σε εκείνη). Όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 5.1 οι μέσες τιμές των διαφορών για τη Σταθερότητα Ταξινόμησης παίρνουν πολύ υψηλές τιμές στο διάστημα 0-1, δηλαδή οι ταξινομήσεις αξιολογούνται ως ιδιαίτερα σταθερές.

Classification Stability Mean	Τράπεζα WV2	Μεγαπλάτανος WV2	Νάουσα WV2	Αμύνταιο WV2	Αμύνταιο Pleiades-1B
Not Vegetation 1	0.983	0.992	0.989	0.976	0.994
Vineyards 1	0.999	0.999	0.999	0.998	0.999
Not Vineyards 1	0.991	0.997	0.999	0.998	0.988

Πίνακας 5.1 – Οι μέσες τιμές των διαφορών για τη Σταθερότητα Ταξινόμησης (*Classification Stability*) για τις ταξινομήσεις των πέντε εικόνων.

Αντίστοιχα στον πίνακα 5.2 παρουσιάζονται οι επίσης εξαιρετικά υψηλές μέσες τιμές για το Καλύτερο Αποτέλεσμα Ταξινόμησης, υποδηλώνοντας έτσι ότι τα αντικείμενα έχουν ταξινομηθεί με σαφήνεια σε κατηγορίες καθώς έχουν υψηλούς βαθμούς συμμετοχής, δηλαδή ικανοποιούν σε μεγάλο βαθμό τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των κατηγοριών στις οποίες κατατάχθηκαν.

Best Classification Result Mean	Τράπεζα WV2	Μεγαπλάτανος WV2	Νάουσα WV2	Αμύνταιο WV2	Αμύνταιο Pleiades-1B
Not Vegetation 1	0.991	0.995	0.994	0.987	0.997
Vineyards 1	0.999	1	0.999	0.998	0.999
Not Vineyards 1	0.995	0.998	0.999	0.998	0.994

Πίνακας 5.2 – Οι μέσες τιμές για το Καλύτερο Αποτέλεσμα Ταξινόμησης (*Best Classification Result*) για τις ταξινομήσεις των πέντε εικόνων.

Μετά τον έλεγχο της αξιοπιστίας και σταθερότητας των ταξινομήσεων, τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων αξιολογήθηκαν ποσοτικά σε σύγκριση με ψηφιοποιημένα δεδομένα ελέγχου.

5.1.2 Αποτελέσματα και ποσοτική αξιολόγηση με χρήση δεδομένων ελέγχου

- Μέτρα αξιολόγησης

Η ποσοτική αξιολόγηση των ταξινομήσεων εντοπισμού αμπελοτεμαχίων υλοποιήθηκε μετά από υπολογισμό βιβλιογραφικά καθιερωμένων δεικτών ποιότητας. Οι βιβλιογραφικά καθιερωμένοι δείκτες ποιότητας ουσιαστικά εκφράζουν πόσο ολοκληρωμένο (δείκτης πληρότητας) και πόσο σωστό (δείκτης ορθότητας) είναι το εξαγόμενο αποτέλεσμα [Wiedemann et al., 1998; Doucette et al., 2004; Karantzalos & Argialas, 2009; Karakίζη, 2013].

Οι ψηφιοποιημένες εικόνες των δεδομένων ελέγχου και οι αντίστοιχες ταξινομημένες εικόνες εισήχθησαν στο λογισμικό *Matlab* και μετατράπηκαν σε δυαδική μορφή, δηλαδή όπου τα εικονοστοιχεία απεικόνιζαν αμπελοτεμάχια είχαν την τιμή 1 (λευκό) και όλα τα υπόλοιπα την τιμή 0 (μαύρο). Με απλή άλγεβρα εικόνων, ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε υπολογίζει αρχικά, για κάθε αποτέλεσμα ταξινόμησης συνδυασμένο με την αντίστοιχη εικόνα δεδομένων ελέγχου, τρεις (3) ομάδες εικονοστοιχείων (*pixels*) :

- Τα "Αληθώς Θετικά" (*True Positive, TP*): Είναι ο αριθμός των *pixels* που έχουν ταξινομηθεί σωστά. Ουσιαστικά είναι τα *pixels* που ταξινομήθηκαν στην κατηγορία αμπελοτεμάχια και όντως είναι, σύμφωνα με τα δεδομένα ελέγχου.

- Τα "Λανθασμένα Θετικά" (*False Positive, FP*): Είναι ο αριθμός των *pixels* που έχουν, από λάθη της ταξινόμησης, ανιχνευτεί ως αμπελοτεμάχια. Ουσιαστικά είναι τα *pixels* που ταξινομήθηκαν στην κατηγορία αμπελοτεμάχια, ενώ σύμφωνα με τα δεδομένα ελέγχου, δεν είναι.

- Τα "Λανθασμένα Αρνητικά" (*False Negative, FN*) : Είναι ο αριθμός των *pixels* που, από λάθη της ταξινόμησης δεν έχουν ανιχνευτεί ως αμπελοτεμάχια. Ουσιαστικά είναι τα *pixels* που δεν ταξινομήθηκαν στην κατηγορία αμπελοτεμάχια, ενώ σύμφωνα με τα δεδομένα ελέγχου, είναι.

Με βάση τις παραπάνω ομάδες υπολογίζονται οι τρεις (3) δείκτες ποιότητας των αποτελεσμάτων των ταξινομήσεων σε σχέση με τα δεδομένα ελέγχου:

- Ο δείκτης της Πληρότητας (*Completeness*) : Ο δείκτης της πληρότητας εκφράζει το ποσοστό των δεδομένων ελέγχου που έχουν ταξινομηθεί ως αμπελοτεμάχια από την ταξινόμηση. Υπολογίζεται με τη σχέση :

$$\text{Πληρότητα} = \frac{\text{Σωστά ταξινομημένα} - \text{ως αμπελοτεμάχια} - \text{pixels (TP)}}{\text{Pixels Δεδομένων Ελέγχου (TP + FN)}}$$

- Ο δείκτης της Ορθότητας (*Correctness*) : Ο δείκτης της ορθότητας εκφράζει κατά πόσο τα *pixels* που ταξινομήθηκαν στην κατηγορία αμπελοτεμάχια είναι όντως αμπελοτεμάχια σύμφωνα με τα δεδομένα ελέγχου.

Υπολογίζεται με τη σχέση :

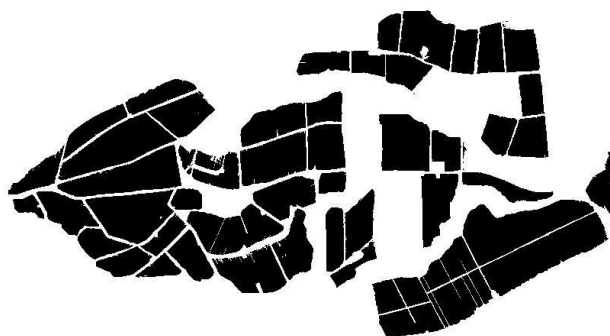
$$\text{Ορθότητα} = \frac{\text{Σωστά ταξινομημένα} - \text{ως αμπελοτεμάχια} - \text{pixels (TP)}}{\text{Σύνολο ταξινομημένων} - \text{ως αμπελοτεμάχια} - \text{pixels (TP + FP)}}$$

- Ο δείκτης της Ποιότητας (*Quality*) : Ο δείκτης της ποιότητας προσδιορίζει ένα γενικευμένο δείκτη που συνδυάζει τις μετρήσεις για την πληρότητα και την ορθότητα των αποτελεσμάτων. Υπολογίζεται με τη σχέση :

$$\text{Ποιότητα} = \frac{TP}{TP + FP + FN}$$

Στο σχήμα 5.3 παρουσιάζονται σε δυαδική μορφή τα "Αληθώς Θετικά", τα "Λανθασμένα Θετικά" και τα "Λανθασμένα Αρνητικά" εικονοστοιχεία, για την ταξινόμηση στη WV2 εικόνα της περιοχής της Νάουσας, σε δυαδική μορφή.

TP



FP



FN



Σχήμα 5.3. – Τα "Αληθώς Θετικά" (TP) σημεία, τα "Λανθασμένα Θετικά" (FP) και τα "Λανθασμένα Αρνητικά" (FN) εικονοστοιχεία, για την ταξινόμηση στη WV2 εικόνα της περιοχής της Νάουσας, σε δυαδική μορφή. Η απεικόνιση γίνεται με ανεστραμμένα χρώματα.

- Αποτελέσματα

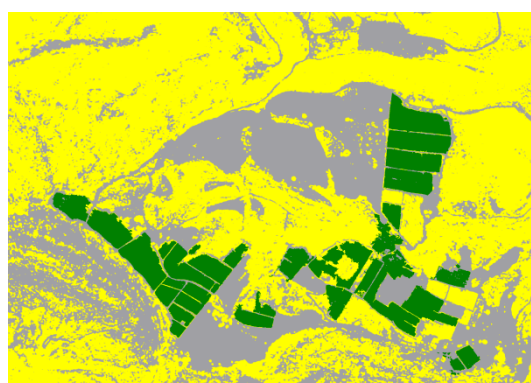
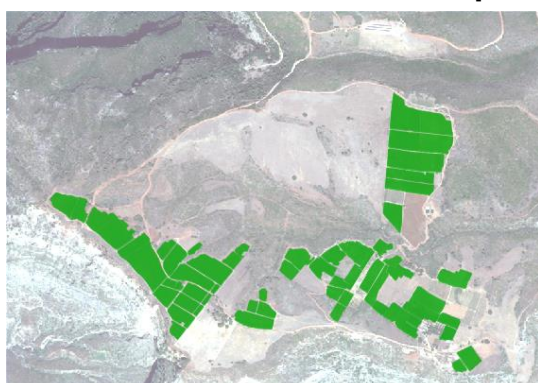
Ο εντοπισμός αμπελοτεμαχίων επιχειρήθηκε στις πέντε ατμοσφαιρικά διορθωμένες συγχωνευμένες (*pan-sharpened*) εικόνες. Το τελικό αποτέλεσμα αποτελεί ουσιαστικά σε κάθε περίπτωση έναν χάρτη ταξινόμησης που περιλαμβάνει τις κατηγορίες για τα αμπελοτεμάχια (*Vineyards 1*), τα αντικείμενα βλάστησης που δεν είναι αμπελοτεμάχια (*Not Vineyards 1*) και τα αντικείμενα που δεν απεικονίζουν βλάστηση (*Not Vegetation 1*). Τα αποτελέσματα των εικόνων ταξινόμησης μαζί με τα δεδομένα ελέγχου για τη θέση των αμπελοτεμαχίων παρουσιάζονται στο σχήμα 5.4.

Με μια ενδελεχή παρατήρηση του Σχήματος 5.4 μπορεί κανείς να διαπιστώσει ότι η ανεπτυγμένη μεθοδολογία φαίνεται να έχει εντοπίσει στη μεγαλύτερη έκταση τους τα αμπέλια στις πέντε εικόνες. Με απλή φωτοερμηνεία εντοπίζονται περιοχές με περιορισμένη έκταση λανθασμένων αποτελεσμάτων ταξινόμησης στην κατηγορία των αμπελοτεμαχίων, κάποιων αντικειμένων που απεικονίζουν συνήθως πυκνή βλάστηση. Αντίστοιχα κάποια αμπελοτεμάχια που είτε ήταν πολύ νεαρά (έχουν μικρή μάζα φυλλώματος), είτε δεν ήταν υγιείς καλλιέργειες (δεν ανακλούν αρκετά στο πράσινο και στο εγγύς υπέρυθρο), δεν ταξινομήθηκαν στην κατηγορία αμπέλια.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

ΤΑΞΙΝΟΜΗΜΕΝΗ ΕΙΚΟΝΑ

Τράπεζα WV2



Μεγαπλάτανος WV2



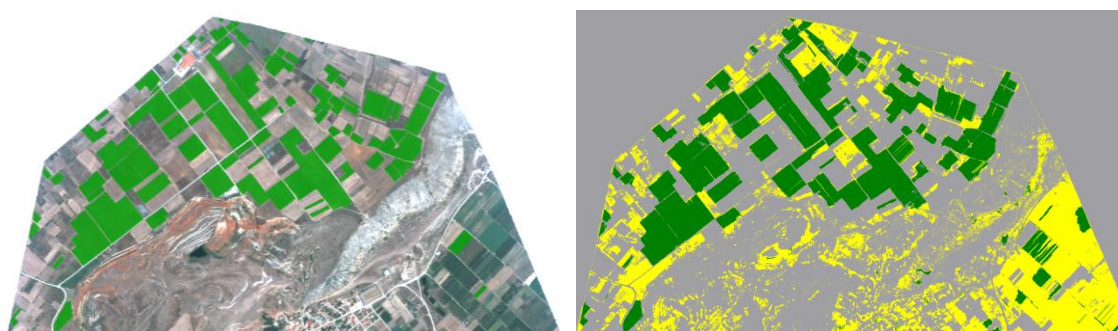
Νάουσα WV2



Αμύνταιο WV2

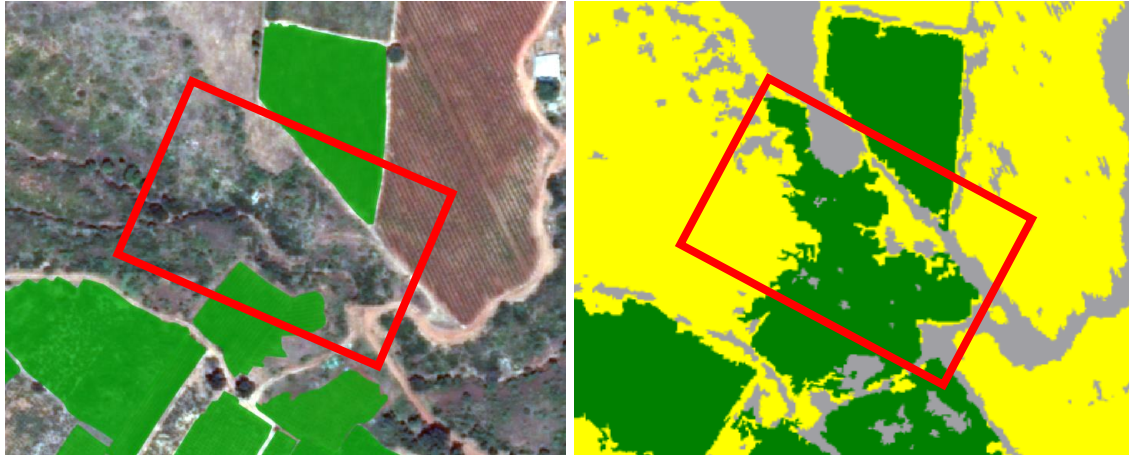


Αμύνταιο Pleiades-1B



Σχήμα 5.4 – Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης για τον εντοπισμό αμπελοτεμαχίων στις πέντε εικόνες (δεξιά) και τα δεδομένα ελέγχου (πράσινο χρώμα) για τις θέσεις των αμπελοτεμαχίων (αριστερά). Στις ταξινομημένες εικόνες με πράσινο χρώμα απεικονίζονται τα εντοπισμένα αμπελοτεμάχια, με κίτρινο τα άλλα είδη βλάστησης και με γκρι τα αντικείμενα που δεν απεικονίζουν βλάστηση.

Αυτές οι ιδιαιτερότητες στις φασματικές υπογραφές δημιούργησαν λάθη ταξινόμησης αλλά και ορισμένα λάθη στην κατάτμηση. Παράλληλα όπως αναμενόταν, παρατηρούνται μικρές διαφορές ανάμεσα στα δεδομένα ελέγχου και στους ταξινομημένους χάρτες στα όρια των αμπελοτεμαχίων, που σχετίζονται τόσο με την κατάτμηση όσο και με την ταξινόμηση.



Σχήμα 5.5 – Περίπτωση λανθασμένης ταξινόμησης αντικειμένων βλάστησης ως αμπελοτεμάχια (*error of commission*), στην εικόνα WV2 στην Τράπεζα. Στο κόκκινο πλαίσιο επισημαίνεται η περιοχή λανθασμένης ταξινόμησης στην εικόνα ταξινόμησης και στην εικόνα δεδομένων ελέγχου.



Σχήμα 5.6 – Περίπτωση λανθασμένης ταξινόμησης αντικειμένων που απεικονίζουν αμπέλια βλάστησης ως απλή βλάστηση (*error of omission*) στην εικόνα WV2 στην Νάουσα. Στο κόκκινο πλαίσιο επισημαίνεται η περιοχή λανθασμένης ταξινόμησης στην εικόνα ταξινόμησης και στην εικόνα δεδομένων ελέγχου.

Εκτός από την ποιοτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων με οπτική παρατήρηση πραγματοποιήθηκε και ποσοτική με χρήση των βιβλιογραφικά καθιερωμένων δεικτών ποιότητας που εκφράζουν την πληρότητα, ορθότητα και ποιότητα, με την

οποία πραγματοποιήθηκε ο εντοπισμός. Τα αποτελέσματα της ποσοτικής αξιολόγησης για τις πέντε ταξινομήσεις παρουσιάζονται στον πίνακα 5.3.

Αποτελέσματα Ταξινομήσεων Εντοπισμού					
Δείκτες Ποιότητας	Τράπεζα WV2	Μεγαπλάτανος WV2	Νάουσα WV2	Αμύνταιο WV2	Αμύνταιο Pleiades-1B
Πληρότητα	91%	96%	94%	89%	94%
Ορθότητα	94%	93%	93%	89%	88%
Ποιότητα	90%	90%	88%	80%	83%

Πίνακας 5.3 – Η ποσοτική αξιολόγηση για τις ταξινομήσεις εντοπισμού αμπελοτεμαχίων.

Τα αποτελέσματα της ποσοτικής αξιολόγησης σε όλες τις περιπτώσεις παρουσιάζουν υψηλά ποσοστά για τους δείκτες ποιότητας και έτσι η ανεπτυγμένη μεθοδολογία αξιολογείται ως ιδιαίτερα αποτελεσματική. Τα δεδομένα ελέγχου εντοπίστηκαν σχεδόν στην ολότητα τους (δείκτης πληρότητας) με ποσοστά πάνω από 89% και αντίστοιχα η ορθότητα των αποτελεσμάτων πήρε τιμές πάνω του 88%. Η ανεπτυγμένη μεθοδολογία για τον εντοπισμό αμπελοτεμαχίων στις ατμοσφαιρικά διορθωμένες *pan-sharpened* εικόνες οδήγησε σε αποτελέσματα που αξιολογήθηκαν με επίσης υψηλά ποσοστά του δείκτη ποιότητας (>80%). Οι δείκτες ποιότητας παρουσιάζουν ελαφρώς χαμηλότερες τιμές για την περιοχή του Αμυνταίου τόσο για την WV2 όσο και για την Pleiades-1B εικόνα. Αυτό αποδίδεται στο ότι οι συγκεκριμένες εικόνες απεικονίζουν μεγαλύτερο τμήμα καλλιεργούμενων εκτάσεων με πολύ μεγάλο πλήθος αμπελοτεμαχίων και άλλων καλλιεργειών και έτσι το πρόβλημα του εντοπισμού προκύπτει ως πολυπλοκότερο. Επιπρόσθετα δεν παρουσιάζεται κάποια σημαντική διαφορά στους δείκτες ποιότητας για τις εικόνες των δύο διαφορετικών δορυφόρων.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι δείκτες ποιότητας για τον εντοπισμό στις συγχωνευμένες εικόνες WV2 της Τράπεζας και του Μεγαπλάτανου, οι οποίες είχαν ταξινομηθεί με μια πρωιμότερη εκδοχή της μεθοδολογίας [Καρακίζη, 2013], επιτυγχάνουν στην παρούσα εφαρμογή τιμές, σε σύγκριση με την προηγούμενη εργασία, αυξημένες κατά 1%-10%. Η τελευταία παρατήρηση επιβεβαιώνει ότι η παρούσα προσέγγιση που περιλαμβάνει αρχικές ατμοσφαιρικές διορθώσεις και έναν επανασχεδιασμό της ομάδας γενικευμένων χαρακτηριστικών για τον εντοπισμό αμπελοτεμαχίων, καταλήγει σε πιο επιτυχημένα αποτελέσματα.

5.2 Εξαγωγή Γραμμών Φύτευσης Αμπελιών

5.2.1 Μέτρα αξιολόγησης

Για την αξιολόγηση του δεύτερου βήματος της μεθοδολογίας χρησιμοποιήθηκε ένα από τα εργαλεία ποσοτικής αξιολόγησης του λογισμικό *eCognition*. Το εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο "Πίνακας Λάθους βασισμένος σε Μάσκα Επίγειου Ελέγχου" (*Error Matrix based on TTA Mask*). Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί περιοχές εκπαίδευσης ως αναφορά για την αξιολόγηση της ποιότητας της ταξινόμησης. Η δημιουργία της μάσκας επιγείου ελέγχου γίνεται με επιλογή δειγμάτων, στις θέσεις που υποδεικνύουν τα δεδομένα ελέγχου.

Λόγω της φύσης του συγκεκριμένου βήματος, που θα απαιτούσε μια εξαιρετικά χρονοβόρα διαδικασία για ψηφιοποίηση κάθε γραμμής φύτευσης σε όλες τις εικόνες, συλλέχθηκαν δειγματοληπτικά δείγματα από τις δύο κατηγορίες (αμπέλια και χώμα) τα οποία μετατράπηκαν σε μάσκα ελέγχου, με την επιλογή *Create TTA Mask from Samples*, που προσφέρει το λογισμικό. Αξίζει να σημειωθεί πως δόθηκε μεγάλη προσοχή το ίδιο δείγμα να μη συμμετέχει και στην εκπαίδευση του αλγορίθμου ταξινόμησης και στη μάσκα ελέγχου.

Το αποτέλεσμα της σύγκρισης της ταξινόμησης με τη μάσκα επιγείου ελέγχου παρουσιάζεται ως πίνακας συσχέτισης με διάφορα μέτρα ακρίβειας. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.7 η πρώτη στήλη του πίνακα στο πεδίο *Confusion Matrix* εμφανίζει τις κατηγορίες που αξιολογούνται (*User*). Στις ακόλουθες στήλες, παρουσιάζονται οι αριθμοί των εικονοστοιχείων που καλύπτονται από τη μάσκα επιγείου ελέγχου (*Reference Class*) για κάθε κατηγορία. Το άθροισμα για κάθε κατηγορία στη μάσκα επιγείου ελέγχου παρουσιάζεται στην τελευταία σειρά. Συνεπώς, η τελευταία στήλη παρουσιάζει το πλήθος όλων των εικονοστοιχείων που έχουν ταξινομηθεί [*Tutorial_Askisi_6,2013*].

Στο πεδίο *Accuracy* παρουσιάζονται καθορισμένες μετρικές, σε ποσοστά, που σχετίζονται με την ακρίβεια. Από αυτές ο δείκτης *Producer* σχετίζεται με την πληρότητα της ταξινόμησης και εκφράζει το σφάλμα παράλειψης (*omission error*). Συγκεκριμένα εξετάζει κατά πόσο τα pixels που ορίστηκαν στη μάσκα επιγείου ελέγχου ως κλάση A, έχουν καταταχθεί από την ταξινόμηση στην κλάση A. Ο δείκτης *User* σχετίζεται με την ορθότητα της ταξινόμησης και εκφράζει το σφάλμα ένταξης (*commission error*). Συγκεκριμένα εξετάζει κατά πόσο τα pixels που ταξινομήθηκαν ως κλάση A, ανήκουν όντως σύμφωνα με τη μάσκα επιγείου ελέγχου στην κλάση. Ο δείκτης *Overall Accuracy* αποτελεί μια γενικευμένη ένδειξη για την ακρίβεια της ταξινόμησης καθώς αφορά όλες τις κατηγορίες που συμμετέχουν σε αυτή. Πιο συγκεκριμένα υπολογίζεται ως το πηλίκο με αριθμητή το άθροισμα της διαγωνίου του πίνακα (ορθώς ταξινομημένα αντικείμενα στις κλάσεις), προς το άθροισμα της τελευταίας στήλης (σύνολο ταξινομημένων αντικειμένων).

Error Matrix based on Samples			
User Class \ Sample	Vines	Soil	Sum
Confusion Matrix			
Vines	84	3	87
Soil	2	86	88
unclassified	0	0	0
Sum	86	89	
Accuracy			
Producer	0.9767442	0.9662921	
User	0.9655172	0.9772727	
Hellden	0.971	0.9717514	
Short	0.9438202	0.945	
KIA Per Class	0.9537526	0.9321968	
Totals			
Overall Accuracy	0.9714286		
KIA	0.9428515		

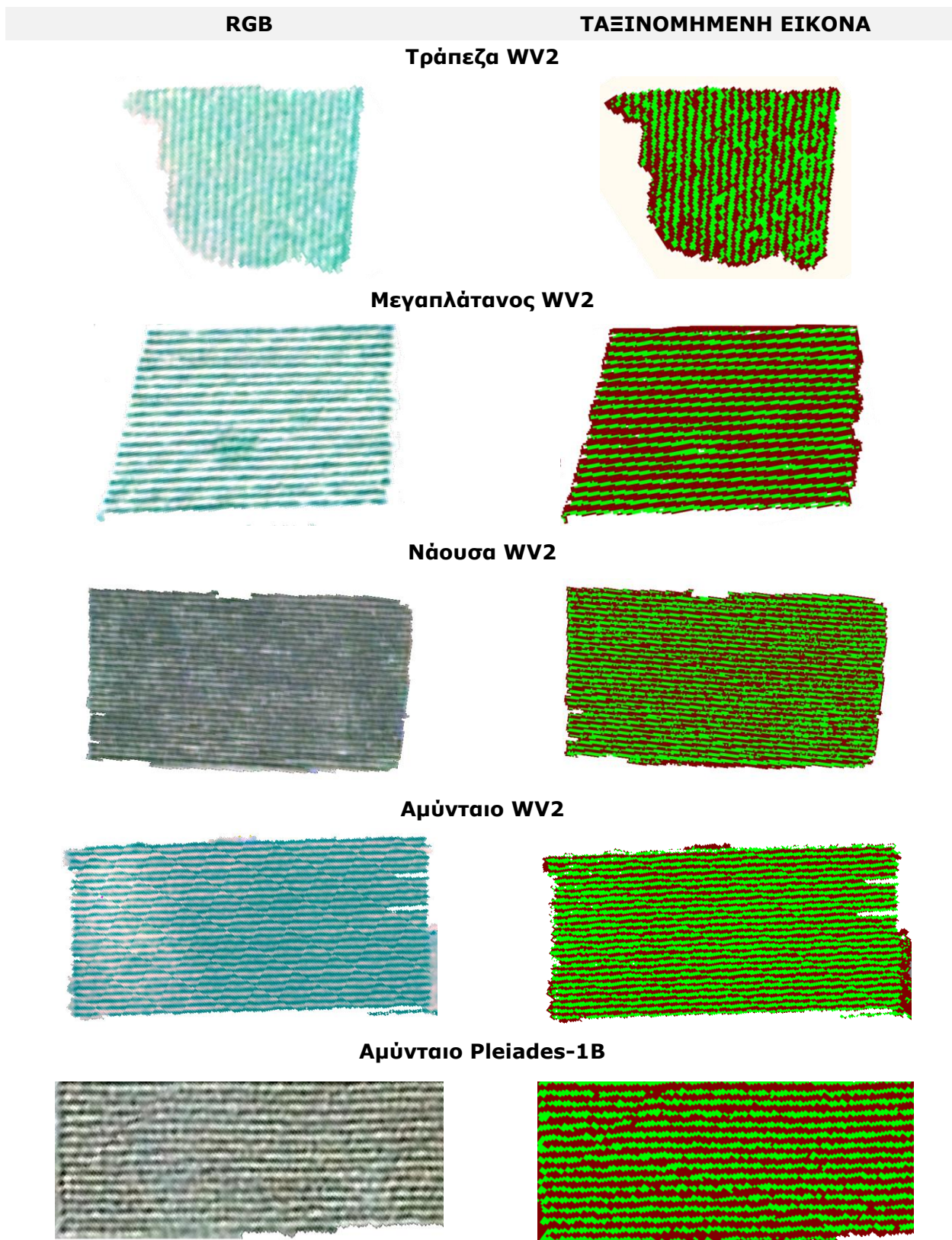
Σχήμα 5.7 – Ο πίνακας συσχέτισης για την αξιολόγηση με βάση τη μάσκα επιγείου ελέγχου για την ταξινόμηση εξαγωγής γραμμών φύτευσης αμπελιών, στην WV2 εικόνα της Τράπεζας.

5.2.2 Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα για την εφαρμογή του συγκεκριμένου βήματος της μεθοδολογίας ταξινόμησαν τα ήδη εντοπισμένα αμπελοτεμάχια, σε αντικείμενα που απεικονίζουν αμπέλια και σε αντικείμενα που απεικονίζουν χώμα (ή/και άλλα υλικά ενδιάμεσως των γραμμών φύτευσης). Στο Σχήμα 5.8 παρουσιάζεται για κάθε εικόνα ένα αμπελοτεμάχιο σε φυσικό έγχρωμο σύνθετο (αριστερά) και στην ταξινομημένη εικόνα. Για λόγους ενάργειας δεν παρουσιάζονται ολόκληρες οι ταξινομημένες εικόνες, οι οποίες βρίσκονται στο Παράρτημα, του παρόντος τεύχους.

Όπως παρατηρείται στο σχήμα ο ταξινομητής φαίνεται να έχει διαχωρίσει επιτυχημένα την κόμη (*canopy*) του φυλλικού τοιχώματος των αμπελιών με τα υλικά (κυρίως χώμα) ενδιάμεσως των γραμμών φύτευσης. Στις εικόνες RGB με πιο σκούρους πράσινους τόνους απεικονίζονται οι γραμμές φύτευσης και με πιο ανοιχτόχρωμους τόνους το χώμα.

Πέρα από την οπτική παρατήρηση και αξιολόγηση υλοποιήθηκε και ποσοτική αξιολόγηση με χρήση του πίνακα συσχέτισης με βάση τη μάσκα επιγείου ελέγχου. Στον Πίνακα 5.4 η επιτυχία των ταξινομήσεων εκφράζεται από τους δείκτες ποιότητας, όπως περιγράφηκαν στην προηγούμενη παράγραφο. Οι τιμές των δεικτών για το δειγματοληπτικό έλεγχο επισημαίνουν ιδιαίτερα επιτυχημένα αποτελέσματα για τις ταξινομήσεις. Πιο συγκεκριμένα, σε κάθε ταξινόμηση όλες οι μετρικές πήραν τιμές άνω του 96%.



Σχήμα 5.8 – Αποτελέσματα ταξινόμησης για την εξαγωγή των γραμμών φύτευσης των αμπελιών σε εντοπισμένα αμπελοτεμάχια (δεξιά) και τα φυσικά έγχρωμα σύνθετα RGB των αντίστοιχων αμπελοτεμαχίων (αριστερά). Στις ταξινομημένες εικόνες με πράσινο χρώμα απεικονίζεται η κόμη (canopy) φυλλικού τοιχώματος των αμπελιών και με καφέ τα ενδιάμεσα υλικά (κυρίως χώμα).

Αποτελέσματα Ταξινομήσεων Εξαγωγής Γραμμών Φύτευσης					
Accuracy Metric	Τράπεζα WV2	Μεγαπλάτανος WV2	Νάουσα WV2	Αμύνταιο WV2	Αμύνταιο Pleiades-1B
<i>Producer</i>	98%	100%	100%	96%	98%
<i>User</i>	97%	99%	100%	96%	100%
<i>Overall</i>	97%	99%	100%	96%	99%

Πίνακας 5.4 – Ποσοτική αξιολόγηση για τις ταξινομήσεις εξαγωγής γραμμών φύτευσης αμπελιών.

5.3 Διαχωρισμός Ποικιλιών Αμπέλου

5.3.1 Μέτρα αξιολόγησης

Στο τελευταίο και πιο περίπλοκο στάδιο της αναπτυχθείσας μεθοδολογίας επιχειρείται ο διαχωρισμός των διαφορετικών ποικιλιών αμπέλου που συναντώνται στις περιοχές. Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των επιβλεπόμενων ταξινομήσεων διαχωρισμού αξιοποιήθηκαν τα δεδομένα ελέγχου που είχαν παραχθεί μετά από ψηφιοποίηση για όλα τα αμπελοτεμάχια με γνωστή την ποικιλία που καλλιεργούταν.

Συγκεκριμένα, έγινε εισαγωγή των εικόνων ταξινόμησης στο περιβάλλον *Matlab* και εικόνων δεδομένων ελέγχου όπως αυτά είχαν προκύψει από την ψηφιοποίηση αμπελοτεμαχίων για τις συγκεκριμένες ποικιλίες. Μετέπειτα εξεταζόταν για την εκάστοτε ομάδα αμπελοτεμαχίων που αντιστοιχούσε σε μια ποικιλία-κατηγορία (εικόνα δεδομένων ελέγχου) σε ποιες κατηγορίες και με τι αριθμό *pixel* είχε ταξινομηθεί σε αυτές η εντοπισμένη φυλλική κόμη (*canopy*). Με τον τρόπο αυτό δημιουργήθηκε ένα πίνακας συσχέτισης (*Confusion Matrix*) με μονάδα το εικονοστοιχείο (*pixel*). Υπολογίστηκε επίσης ο δείκτης *Overall Accuracy*, ως το πηλίκο με αριθμητή το άθροισμα της διαγωνίου του πίνακα (ορθώς ταξινομημένα αντικείμενα στις κλάσεις), προς το σύνολο ταξινομημένων αντικειμένων. Η συγκεκριμένη προσέγγιση θεωρείται ιδιαίτερα υποβοηθητική και για την μελέτη των αναμειγξων ανάμεσα στις διαφορετικές κλάσεις που συνήθως υποδηλώνει παρόμοιες φασματικές συμπεριφορές για τις ποικιλίες.

Πέρα όμως από την παραπάνω τυπική μεθοδολογία ελέγχου της ταξινόμησης με τον πίνακα συσχέτισης με βάση τα *pixels*, αποφασίστηκε η αξιολόγηση να υλοποιηθεί και στο πιο γενικευμένο επίπεδο του αμπελοτεμαχίου (*plot level*). Πιο συγκεκριμένα εξετάστηκαν τα εντοπισμένα εικονοστοιχεία των γραμμών φύτευσης ανά ένα αμπελοτεμάχιο προκειμένου να διαπιστωθεί σε ποια κλάση είχαν ταξινομηθεί τα περισσότερα εξ'αυτών (*majority voting*). Η κλάση που επιτύγχανε το μεγαλύτερο ποσοστό, ονομάτιζε (*label*) εν τέλει το αμπελοτεμάχιο ως αμπελοτεμάχιο καλλιέργειας της συγκεκριμένης ποικιλίας. Μετέπειτα η κατάταξη του κάθε αμπελοτεμαχίου απ' τη διαδικασία του *majority voting*, συγκρινόταν με τα δεδομένα ελέγχου και δημιουργήθηκε ένας νέος πίνακας συσχέτισης σε επίπεδο αμπελοτεμαχίου. Η συγκεκριμένη προσέγγιση θεωρείται πιο κοντά στην πραγματική

κατάσταση, καθώς στις περιοχές αυτές οι ποικιλίες συνήθως φυτεύονται σε επίπεδο αμπελοτεμαχίου.

Με τον ίδιο ακριβώς τρόπο αξιολογήθηκαν και τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων ελέγχου, που διενεργήθηκαν όχι στα εικονοστοιχεία των εντοπισμένων γραμμών φύτευσης, αλλά απευθείας στα εικονοστοιχεία των αμπελοτεμαχίων των πολυφασματικών (2m) εικόνων.

5.3.2 Συνολικά αποτελέσματα

Για την αξιολόγηση της ανεπτυγμένης μεθοδολογίας με στόχο το διαχωρισμό ποικιλιών αμπέλου, έγιναν διάφορες εφαρμογές σε όλες τις εικόνες των περιοχών μελέτης, δοκιμάζονταν το διαχωρισμό ανάμεσα σε 3,4,5,6 και 7 ποικιλίες-κλώνους τη φορά. Τα ίδια πειράματα πραγματοποιήθηκαν τόσο στις *pansharpened* (0,5m) εικόνες και πιο συγκεκριμένα πάνω στις γραμμές φύτευσης των αμπελιών, όπως και στις πολυφασματικές (2m) εικόνες, προκειμένου να υπάρξει μια σύγκριση για τις δυο μεθοδολογίες.

Στον Πίνακα 5.5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για το μέτρο του *Overall Accuracy*, που αποτελεί μια γενικευμένη ένδειξη για την ακρίβεια της ταξινόμησης καθώς αφορά όλες τις κατηγορίες που συμμετέχουν σε αυτή, για όλες τις ταξινομήσεις που διενεργήθηκαν. Παρουσιάζονται τα ποσοστά σε επίπεδο εικονοστοιχείου (*pixel level*) και σε επίπεδο αμπελοτεμαχίου (*plot level*).

Αποτελέσματα Ταξινομήσεων Διαχωρισμού Ποικιλιών Αμπέλου													
Εικόνα	Τράπεζα WV2				Μεγαπλάτανος WV2			Νάουσα WV2		Αμύνταιο WV2		Αμύνταιο Pleiades-1B	
	# ποικιλιών	4	5	6	7	4	5	6	3	4	3	4	3
<i>on detected canopy - 0.5m</i>													
<i>O.A. pixel-level</i>	75%	72%	61%	51%	56%	47%	38%	59%	51%	50%	52%	53%	59%
<i>O.A. plot-level</i>	100%	100%	100%	91%	100%	100%	92%	86%	85%	100%	100%	100%	100%
<i>on multi image- 2m</i>													
# ποικιλιών	4	5	6	7	4	5	6	3	4	3	4	3	4
<i>O.A. pixel-level</i>	75%	72%	61%	52%	69%	56%	45%	56%	50%	62%	64%	61%	65%
<i>O.A. plot-level</i>	100%	100%	100%	95%	94%	96%	94%	91%	83%	100%	100%	100%	100%

Πίνακας 5.5 – Ποσοτική αξιολόγηση για τις ταξινομήσεις διαχωρισμού ποικιλιών αμπελιών.

Σε κάθε περίπτωση ταξινόμησης παρατηρείται ότι τα ποσοστά *O.A.* σε επίπεδο εικονοστοιχείου δεν ξεπέρασαν το 75% (Τράπεζα WV2 - 4 ποικιλίες) επιδεικνύοντας

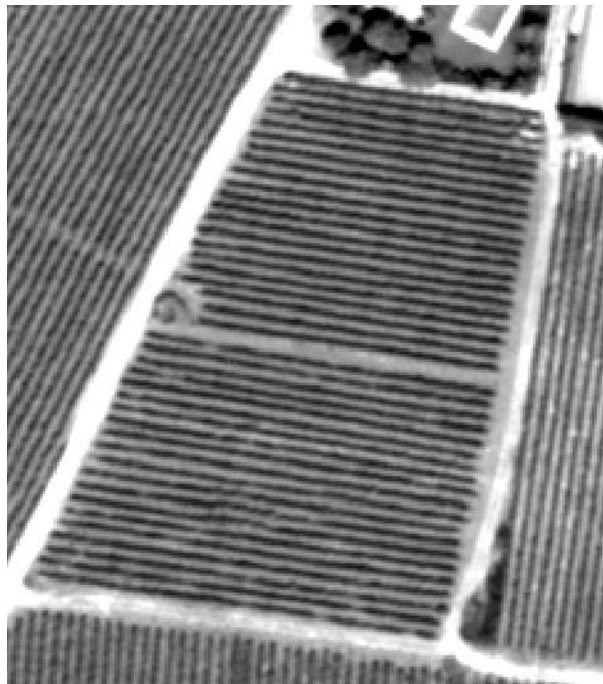
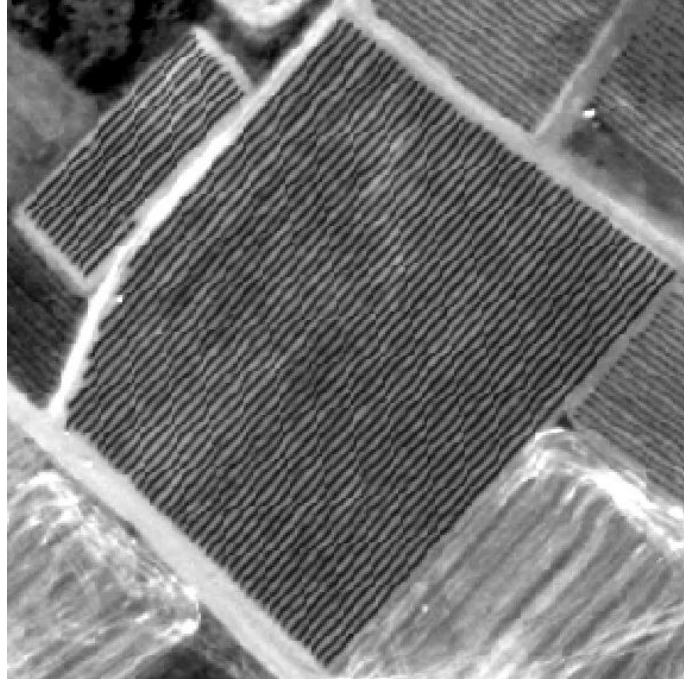
έτσι τη δυσκολία διαχωρισμού διαφορετικών ποικιλιών του ίδιου είδους, που αναπόφευκτα ομοιάζουν φασματικά και έτσι παρουσιάζουν αναμειξεις μεταξύ τους. Το χαμηλότερο ποσοστό έφθασε το 38% για την ταξινόμηση 6 ποικιλιών στο Μεγαπλάτανο. Όπως αναμενόταν στις περισσότερες περιπτώσεις (πλην του Αμυνταίου) όσο αυξανόταν ο αριθμός των ποικιλιών τα ποσοστά Ο.Α. έπαιρναν χαμηλότερες τιμές. Για τις δύο εικόνες του Αμυνταίου, διαφορετικών δορυφορικών δεκτών, που ουσιαστικά είχαν την ίδια χωρική ανάλυση, αλλά φασματικά ο WV2 προσέφερε τέσσερα επιπλέον κανάλια σε σχέση με τον *Pleiades-1b*, τα ποσοτικά αποτελέσματα για το διαχωρισμό των ίδιων ποικιλιών στα ίδια αμπελοτεμάχια, ήταν αριθμητικά παραπλήσια.

Αξίζει να σημειωθεί ότι για δύο εικόνες (Τράπεζα WV2, Νάουσα WV2) στην πλειονότητα των ταξινομήσεων τα ποσοστά Ο.Α. σε επίπεδο εικονοστοιχείου πήραν ίσες ή ελαφρώς υψηλότερες τιμές στις ταξινομήσεις στις γραμμές φύτευσης σε σχέση με τις ταξινομήσεις στην πολυφασματική εικόνα. Αντίθετα στις άλλες τρεις περιπτώσεις τα ποσοστά Ο.Α. σε επίπεδο εικονοστοιχείου πήραν υψηλότερες τιμές για τις ταξινομήσεις στις πολυφασματικές εικόνες. Τα αποτελέσματα αυτά θα μπορούσαν να θεωρηθούν εν μέρει αντιφατικά καθώς ο διαχωρισμός στην εντοπισμένη φυλλική επιφάνεια του αμπελιού θεωρητικά αναμένεται να δώσει πιο αξιόπιστα αποτελέσματα καθώς η επίδραση των ενδιάμεσων υλικών εξαλείφεται. Παρόλα αυτά όμως η διαδικασία συγχώνευσης του *pan-sharpening* παραμορφώνει σε κάποιο βαθμό τη φασματική πληροφορία της αρχικής εικόνας, στην οποία θα μπορούσε να αποδοθεί και η χειρότερη απόδοση της μεθοδολογίας στα *pan-sharpened datasets*.

Εκτός από τη φασματική αλλοίωση που προκαλεί το *pan-sharpening*, παρατηρήθηκε για τις δυο εικόνες WV2 (Μεγαπλάτανος, Αμύνταιο) ένα επιπλέον στοιχείο που συσχετίστηκε με την χαμηλότερη απόδοση της μεθοδολογίας στα *pan-sharpened* δεδομένα. Η παγχρωματική εικόνα, και για τις δύο περιοχές, παρουσίαζε κάποιες διαγραμμισμένες περιοχές, εξαιτίας κάποιου προβλήματος κατά την καταγραφή, οι οποίες μεταφέρθηκαν και στη συγχωνευμένη εικόνα. Στο Σχήμα 5.9 παρουσιάζονται αμπελοτεμάχια σε τμήματα των παγχρωματικών εικόνων του Αμυνταίου και του Μεγαπλάτανου. Στο Αμύνταιο παρατηρείται εντονότερα το πρόβλημα της καταγραφής με διπλή “διαγράμμιση” που σχηματίζει ρόμβους, ενώ στο Μεγαπλάτανο παρατηρείται λιγότερο έντονα ένα μοτίβο πλάγιας διαγράμμισης. Το πρόβλημα αυτό αλλοίωσε σε ορισμένα εικονοστοιχεία τις τιμές φωτεινότητας των καναλιών και διαπιστώθηκε ότι στις ίδιες περιοχές προέκυπταν πολλά λανθασμένα αποτελέσματα στις ταξινομήσεις.

Στον Πίνακα 5.5 παρατηρείται ότι η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων στο γενικευμένο επίπεδο του αμπελοτεμαχίου (*plot-level*) εξάλειψε σε μεγάλο ποσοστό τις αναμειξεις του *pixel level* μεταξύ των ποικιλιών και μέσω της διαδικασίας του *majority voting* τα περισσότερα αμπελοτεμάχια ταξινομήθηκαν στη σωστή ποικιλία καλλιέργειας. Τα ποσοτικά αποτελέσματα για όλες τις ταξινομήσεις πήραν τιμές Ο.Α. άνω του 83%. Στην πλειονότητα των περιπτώσεων (16/23) η προτεινόμενη μεθοδολογία συνέδεσε τη σωστή ποικιλία σε κάθε αμπελοτεμάχιο που εξεταζόταν. Είναι επίσης αξιοσημείωτο ότι σε αυτό το επίπεδο αξιολόγησης μίκρυνε και η διαφορά ανάμεσα στα αποτελέσματα της εκάστοτε ταξινόμησης (κυρίως για τον Μεγαπλάτανο και το Αμύνταιο), στις γραμμές φύτευσης και στις πολυφασματικές εικόνες. Εποπτικά

μπορεί κανείς να το αντιληφθεί εξαγοντας τον Μ.Ο. του Ο.Α. για τις ταξινομήσεις σε *pixel level* στις γραμμές φύτευσης που ισούται με 56% και στις πολυφασματικές εικόνες με 61%, ενώ σε *plot level* και στις δύο περιπτώσεις επιτυγχάνεται ένας Μ.Ο. ίσος με 96%. Η τελευταία παρατήρηση συνδέεται με το ότι η γενίκευση της αξιολόγησης εξάλειψε εν μέρει και τις αναμείξεις που είχαν προκληθεί λόγω του προβλήματος καταγραφής που είχε μεταφερθεί στις συγχωνευμένες εικόνες.



Σχήμα 5.9 - Αμπελοτεμάχια στη παγχρωματική εικόνα του Αμυνταίου (πάνω) και του Μεγαπλάτανου (κάτω). Και στις δύο περιπτώσεις παρατηρούνται “διαγραμμίσεις” από κάποιο τεχνικό σφάλμα κατά την καταγραφή.

5.3.3 Αναλυτικά αποτελέσματα ανά εικόνα

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα για τις ταξινομήσεις των διαφορετικών ποικιλιών αμπέλου με τις ταξινομημένες εικόνες και με τα αποτελέσματα της ποσοτικής αξιολόγησης σε επίπεδο εικονοστοιχείου και σε επίπεδο αμπελοτεμαχίου. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων θα γίνει ανά εικόνα που ταξινομήθηκε, ενώ σε κάθε περίπτωση παράλληλα με τα αποτελέσματα του διαχωρισμού στις εντοπισμένες γραμμές φύτευσης παρουσιάζονται και τα αντίστοιχα αποτελέσματα των ταξινομήσεων ελέγχου στην πολυφασματικές εικόνες χαμηλότερης χωρικής ανάλυσης.

- Τράπεζα WV2

Στην περιοχή της Τράπεζας μελετήθηκαν και συμμετείχαν στις ταξινομήσεις επτά διαφορετικές ποικιλίες ή κλώνοι ποικιλιών και συγκεκριμένα οι: *Merlot*, *Riesling*, *Sauvignon Blanc* κλώνος I, *Sauvignon Blanc* κλώνος II, *Syrah* κλώνος I, *Syrah* κλώνος II, Σταφίδα. Υλοποιήθηκαν ταξινομήσεις με τέσσερις, πέντε, έξι και επτά ποικιλίες/κλώνους τη φορά.

Στο Σχήμα 5.10 παρουσιάζονται οι ταξινομημένες εικόνες για το διαχωρισμό και στους δύο τύπους εικόνων. Με οπτική παρατήρηση επισημαίνεται ότι όσο αυξάνεται ο αριθμός των ποικιλιών που συμμετέχουν στην ταξινόμηση παρατηρούνται περισσότερες λανθασμένες περιπτώσεις ταξινομήσεων. Οι ποικιλίες *Merlot*, *Sauvignon Blanc* (I, II) και *Syrah* I παρουσιάζονται στην μεγαλύτερη έκταση τους ορθά εντοπισμένες ενώ αναμείξεις και λάθη ταξινομήσεων εντοπίζονται κυρίως στα αμπελοτεμάχια των ποικιλιών *Syrah* II, *Riesling* και Σταφίδα. Οι ταξινομημένοι χάρτες για το διαχωρισμό πάνω στο *canopy* της *pan-sharpened* εικόνας και της πολυφασματικής παρουσιάζουν μεγάλη ομοιότητα οπτικά, γεγονός που εκφράζεται και στα ποσοστά *Overall Accuracy* (O.A.) που είναι εξαιρετικά παραπλήσια.

Περισσότερες πληροφορίες για τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων δίνει η μελέτη των πινάκων συσχέτισης των αποτελεσμάτων με τα δεδομένα ελέγχου. Για λόγους ευκολίας της ανάγνωσης του παρόντος τεύχους παρουσιάζονται οι πίνακες συσχέτισης (σε *pixel* και *plot level*) για τις ταξινομήσεις με το μεγαλύτερο πλήθος ποικιλιών. Οι πίνακες και των ολιγοπληθέστερων ταξινομήσεων παρατίθενται στο παράρτημα. Σε όλες τις περιπτώσεις ταξινομήσεων τα ποσοτικά αποτελέσματα παρουσίασαν υψηλή ομοιότητα ανάμεσα στα δύο *datasets* (*pan-sharpened* και *multi*) σχετικά με τις καλύτερα εντοπισμένες ποικιλίες και τις αναμείξεις ανάμεσα στις διαφορετικές ποικιλίες.

Επιβεβαιώνοντας τις οπτικές παρατηρήσεις οι πίνακες συσχέτισης παρουσιάζουν υψηλότερα ποσοστά εντοπισμού και χαμηλά ποσοστά αναμείξεων για τις ποικιλίες *Merlot*, *Sauvignon Blanc* (I, II) και *Syrah* I. Χαμηλότερα ποσοστά εντοπισμού επιτυγχάνουν οι ποικιλίες *Syrah* II, *Riesling* και Σταφίδα. Πιο συγκεκριμένα η ποικιλία *Syrah* II παρουσίασε υψηλά ποσοστά αναμείξεων (>20%) με το *Riesling* και τη Σταφίδα. Αξιοσημείωτο είναι επίσης ότι οι διαφορετικοί κλώνοι των ίδιων ποικιλιών δεν παρουσίασαν σημαντικά ποσοστά αναμείξεων (<15%). Ο κλώνος *Syrah* I παρουσίασε σχεδόν σε όλες τις ταξινομήσεις αναμείξεις και με τους δύο κλώνους του *Sauvignon Blanc*, με ποσοστά της τάξης του 12%. Στα γενικευμένα αποτελέσματα σε επίπεδο αμπελοτεμαχίου τα αποτελέσματα ήταν 100% επιτυχημένα για τις

ταξινομήσεις ανάμεσα σε τέσσερις, πέντε και έξι ποικιλίες-κλώνους, ενώ για τις ταξινομήσεις με επτά ποικιλίες, 2 από τα 3 αμπελοτεμάχια καλλιέργειας *Syrah II* ταξινομήθηκαν λανθασμένα ως Σταφίδα στις εντοπισμένες γραμμές φύτευσης της συγχωνευμένης εικόνας, και αντίστοιχα 1 από τα 3 στην πολυφασματική εικόνα. Τα ποσοστά *Overall Accuracy* και για τις τέσσερις ταξινομήσεις των δύο διαφορετικών προσεγγίσεων ήταν σχεδόν ίσα.

Διαχωρισμός Ποικιλιών στην WV2 της Τράπεζας

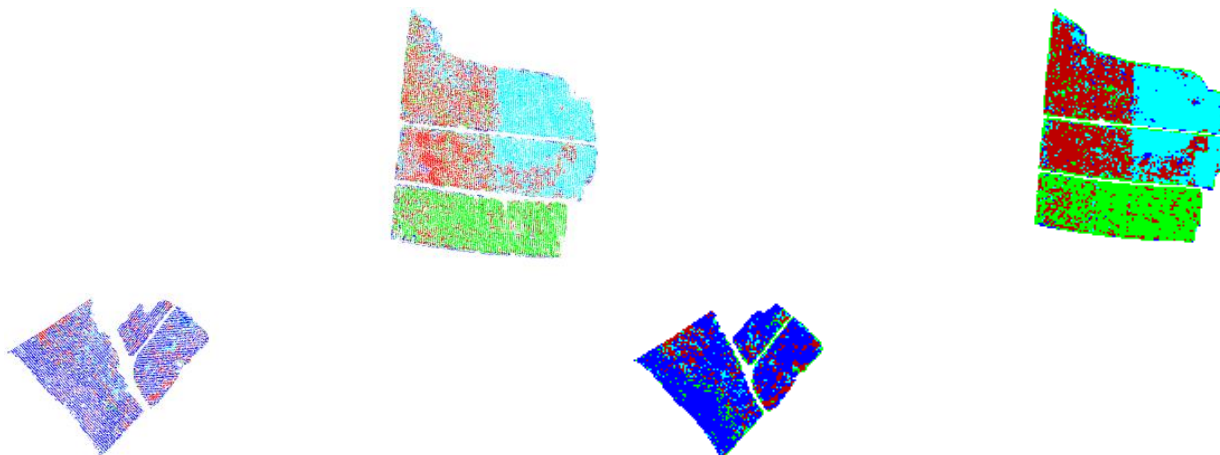
On detected canopy (0.5m)

On multi image (0.2m)

Ποικιλιών: 4

OA: 75% (pixel), 100% (plot)

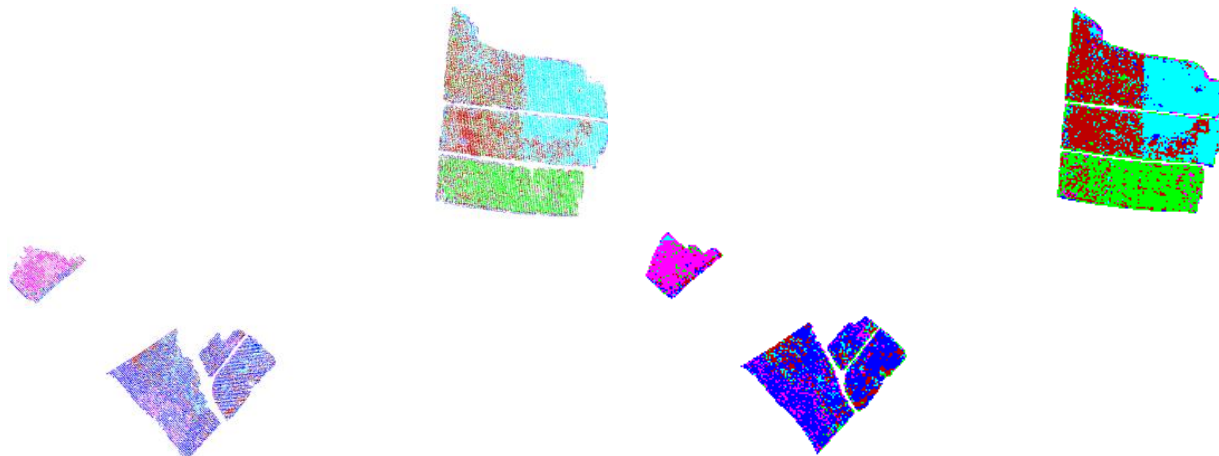
OA: 75% (pixel), 100% (plot)

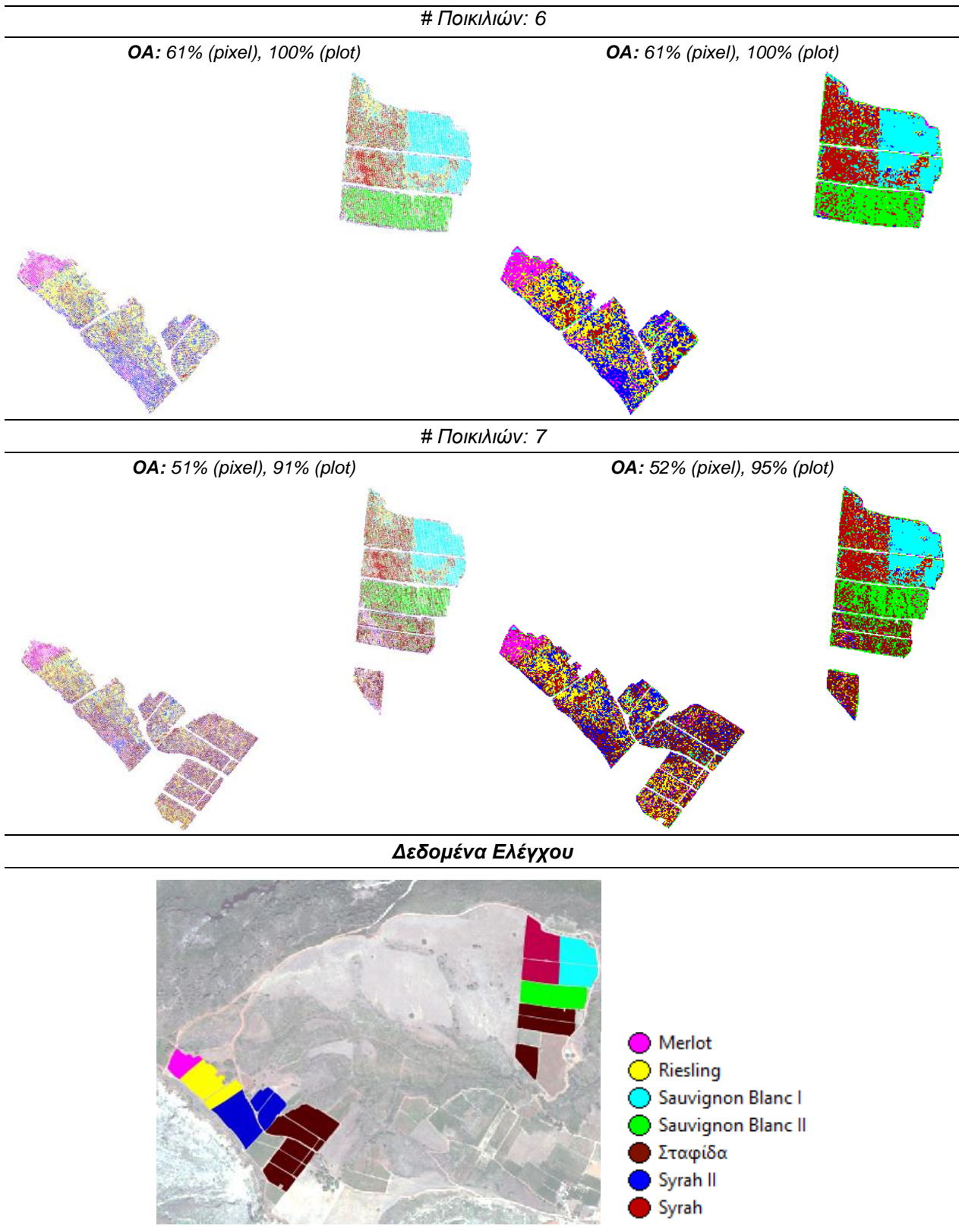


Ποικιλιών: 5

OA: 72% (pixel), 100% (plot)

OA: 72% (pixel), 100% (plot)





Σχήμα 5.10 – Οι ταξινομημένες εικόνες για τις ταξινομήσεις διαχωρισμού ποικιλιών αμπέλου στην WV2 εικόνα της Τράπεζας. Δεξιά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα στην εντοπισμένη φυλλική κόμη των αμπελοτεμαχίων και δεξιά στην πολυφασματική εικόνα. Η τελευταία εικόνα παρουσιάζει τα δεδομένα ελέγχου.

Αποτελέσματα Διαχωρισμού στη WV2 της Τράπεζας (*on detected canopy - 0.5m*)

Pixel-level (%)								Plot-level (# of plots)							
Classified as								Classified as							
Ground Truth	<i>Syrah I</i>	<i>Syrah II</i>	<i>Merlot</i>	<i>Sauvignon Blanc II</i>	<i>Sauvignon Blanc I</i>	<i>Riesling</i>	Σταφίδα	Ground Truth	<i>Syrah I</i>	<i>Syrah II</i>	<i>Merlot</i>	<i>Sauvignon Blanc II</i>	<i>Sauvignon Blanc I</i>	<i>Riesling</i>	Σταφίδα
<i>Syrah I</i>	47%	3%	1%	9%	16%	9%	15%	<i>Syrah I</i>	2	0	0	0	0	0	0
<i>Syrah II</i>	7%	31%	3%	0%	4%	20%	35%	<i>Syrah II</i>	0	1	0	0	0	0	2
<i>Merlot</i>	4%	5%	59%	5%	0%	8%	20%	<i>Merlot</i>	0	0	1	0	0	0	0
<i>Sauvignon Blanc II</i>	3%	11%	7%	60%	2%	1%	18%	<i>Sauvignon Blanc II</i>	0	0	0	1	0	0	0
<i>Sauvignon Blanc I</i>	6%	2%	1%	1%	83%	5%	2%	<i>Sauvignon Blanc I</i>	0	0	0	0	2	0	0
<i>Riesling</i>	13%	22%	1%	0%	7%	37%	19%	<i>Riesling</i>	0	0	0	0	0	2	0
Σταφίδα	6%	14%	7%	7%	2%	12%	51%	Σταφίδα	0	0	0	0	0	0	11
Overall Classification Accuracy	51%							Overall Classification Accuracy	91%						

Πίνακας 5.6 – Οι πίνακες συσχέτισης (σε επίπεδο εικονοστοιχείου και επίπεδο αμπελοτεμαχίου) για την ταξινόμηση διαχωρισμού ανάμεσα σε επτά διαφορετικές ποικιλίες-κλώνους, πάνω στις εντοπισμένες γραμμές φύτευσης, για την WV2 εικόνα της Τράπεζας.

Αποτελέσματα Διαχωρισμού στη WV2 της Τράπεζας (*on multi image- 2m*)

Pixel-level								Plot-level							
Classified as								Classified as							
Ground Truth	<i>Syrah I</i>	<i>Syrah II</i>	<i>Merlot</i>	<i>Sauvignon Blanc II</i>	<i>Sauvignon Blanc I</i>	<i>Riesling</i>	Σταφίδα	Ground Truth	<i>Syrah I</i>	<i>Syrah II</i>	<i>Merlot</i>	<i>Sauvignon Blanc II</i>	<i>Sauvignon Blanc I</i>	<i>Riesling</i>	Σταφίδα
<i>Syrah I</i>	64%	2%	1%	10%	8%	6%	9%	<i>Syrah I</i>	2	0	0	0	0	0	0
<i>Syrah II</i>	8%	33%	3%	2%	3%	23%	29%	<i>Syrah II</i>	0	2	0	0	0	0	1
<i>Merlot</i>	3%	4%	58%	4%	2%	13%	17%	<i>Merlot</i>	0	0	1	0	0	0	0
<i>Sauvignon Blanc II</i>	13%	1%	3%	66%	0%	0%	17%	<i>Sauvignon Blanc II</i>	0	0	0	1	0	0	0
<i>Sauvignon Blanc I</i>	9%	3%	2%	4%	74%	4%	4%	<i>Sauvignon Blanc I</i>	0	0	0	0	2	0	0
<i>Riesling</i>	12%	22%	5%	1%	4%	36%	19%	<i>Riesling</i>	0	0	0	0	0	2	0
Σταφίδα	6%	16%	4%	9%	3%	14%	48%	Σταφίδα	0	1	0	0	0	0	10
Overall Classification Accuracy	52%							Overall Classification Accuracy	95%						

Πίνακας 5.7 – Οι πίνακες συσχέτισης (σε επίπεδο εικονοστοιχείου και επίπεδο αμπελοτεμαχίου) για την ταξινόμηση διαχωρισμού ανάμεσα σε επτά διαφορετικές ποικιλίες-κλώνους, στην πολυφασματική εικόνα WV2 της Τράπεζας.

- Μεγαπλάτανος WV2

Στην περιοχή του Μεγαπλάτανου μελετήθηκαν και συμμετείχαν στις ταξινομήσεις έξι διαφορετικές ποικιλίες ή κλώνοι ποικιλιών και συγκεκριμένα οι: *Sauvignon Blanc*, *Syrah*, *Chardonnay*, *Merlot*, Ρομπόλα και *Cabernet Sauvignon*. Υλοποιήθηκαν ταξινομήσεις με τέσσερις, πέντε, έξι και επτά ποικιλίες/κλώνους τη φορά τόσο στη συγχωνευμένη εικόνα με τις εντοπισμένες γραμμές φύτευσης όσο και στη πολυφασματική εικόνα.

Στο Σχήμα 5.11 παρουσιάζονται οι ταξινομημένες εικόνες για το διαχωρισμό και στους δύο τύπους εικόνων. Με απλή οπτική παρατήρηση διαπιστώνεται ότι όσο αυξάνεται ο αριθμός των ποικιλιών που συμμετέχουν στην ταξινόμηση το φαινόμενο των αναμειξιών είναι εντονότερο. Η ποικιλία *Merlot* φαίνεται να εντοπίζεται σε όλες τις περιπτώσεις ταξινομήσεων επιτυχημένα, ενώ αναμειξίες και λάθη ταξινομήσεων εντοπίζονται στα αμπελοτεμάχια όλων των υπολοίπων ποικιλιών. Οι ταξινομημένοι χάρτες για το διαχωρισμό πάνω στις γραμμές φύτευσης της *pan-sharpened* εικόνας και της πολυφασματικής παρουσιάζουν σημαντική ομοιότητα οπτικά.

Όσον αφορά την *Overall Accuracy* (O.A.) σε επίπεδο εικονοστοιχείου παρατηρείται ότι οι ταξινομήσεις στις πολυφασματικές εικόνες επιτυγχάνουν υψηλότερα ποσοστά. Όπως περιγράφηκε και στην παράγραφο 5.3.1, μετά από ενδελεχή παρατήρηση των αποτελεσμάτων, διαπιστώθηκε ότι η παγχρωματική εικόνα παρουσίαζε κάποιες διαγραμμισμένες περιοχές, εξαιτίας κάποιου προβλήματος κατά την καταγραφή, οι οποίες μεταφέρθηκαν και στην συγχωνευμένη εικόνα. Στις περιοχές αυτές διαπιστώθηκε ότι προέκυπταν πολλά λανθασμένα αποτελέσματα στις ταξινομήσεις. Στο Σχήμα 5.12 παρουσιάζεται μια τέτοια περίπτωση, σε δύο αμπελοτεμάχια *Cabernet Sauvignon*, για το διαχωρισμό ανάμεσα σε πέντε ποικιλίες. Είναι εμφανές ότι στις περιοχές που εμφανίζεται η διαγράμμιση, δηλαδή η καταγραφή των τιμών φωτεινότητας είναι αλλοιωμένη, προκύπτουν και λάθη ταξινόμησης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση βλέπουμε ότι σε αυτά τα σημεία πολλά εικονοστοιχεία έχουν λανθασμένα ταξινομηθεί ως *Chardonnay*. Στη γενίκευση αξιολόγησης των αποτελεσμάτων σε επίπεδο αμπελοτεμαχίων διαπιστώνεται ότι το πρόβλημα αυτό δεν επηρέασε την επιτυχία των αποτελεσμάτων και μάλιστα στις 2 από τις 3 περιπτώσεις οι ταξινομήσεις στη συγχωνευμένη εικόνα κατέληξαν σε υψηλότερα ποσοστά ακρίβειας.

Περισσότερες πληροφορίες για τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων δίνει η μελέτη των πινάκων συσχέτισης των αποτελεσμάτων με τα δεδομένα ελέγχου. Για λόγους ευκολίας της ανάγνωσης του παρόντος τεύχους παρουσιάζονται οι πίνακες συσχέτισης (σε *pixel* και *plot level*) για τις ταξινομήσεις με το μεγαλύτερο πλήθος ποικιλιών. Οι πίνακες και των ολιγοπληθέστερων ταξινομήσεων παρατίθενται στο παράρτημα. Σε όλες τις περιπτώσεις ταξινομήσεων τα ποσοτικά αποτελέσματα παρουσίασαν υψηλή ομοιότητα ανάμεσα στα δύο datasets (*pan-sharpened multi*) σχετικά με τις καλύτερα εντοπισμένες ποικιλίες και τις αναμειξίες ανάμεσα στις διαφορετικές ποικιλίες.

Διαχωρισμός Ποικιλιών στην WV2 του Μεγαπλάτανου

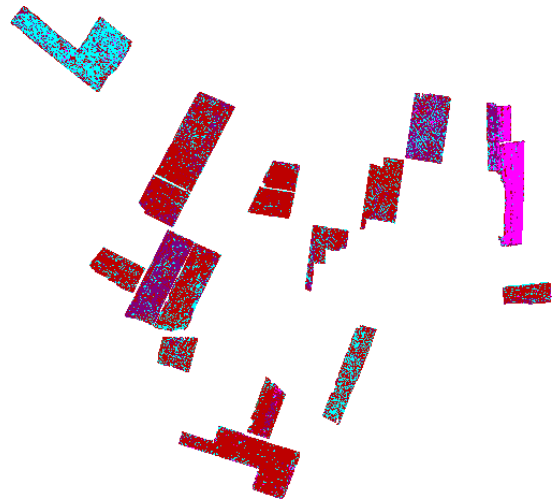
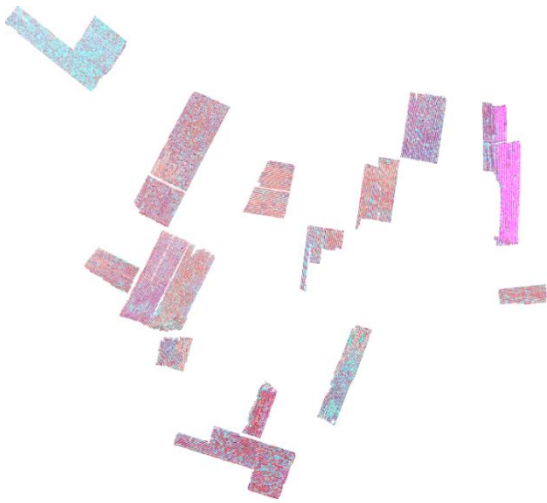
On detected canopy (0.5m)

On multi image (0.2m)

Ποικιλιών: 4

OA: 56% (pixel), 100% (plot)

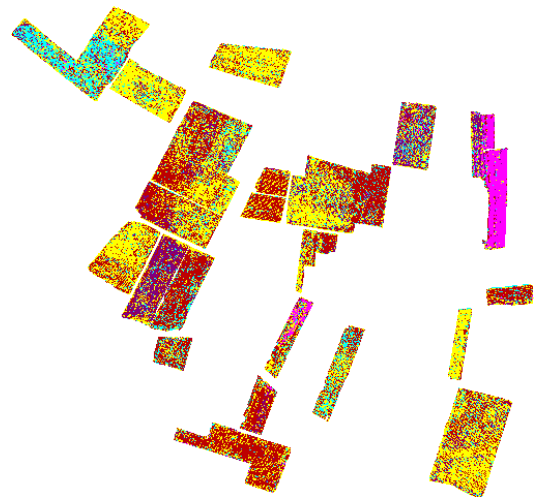
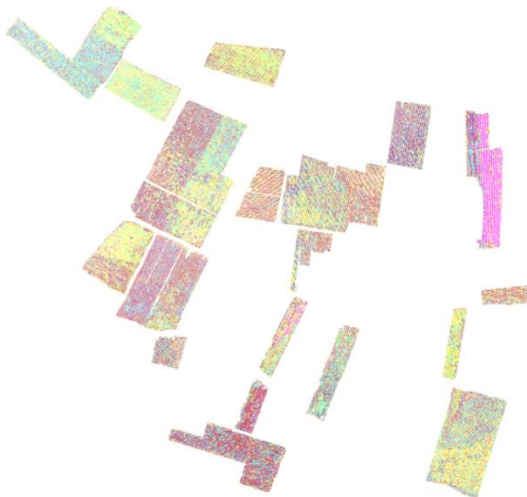
OA: 69% (pixel), 94% (plot)



Ποικιλιών: 5

OA: 47% (pixel), 100% (plot)

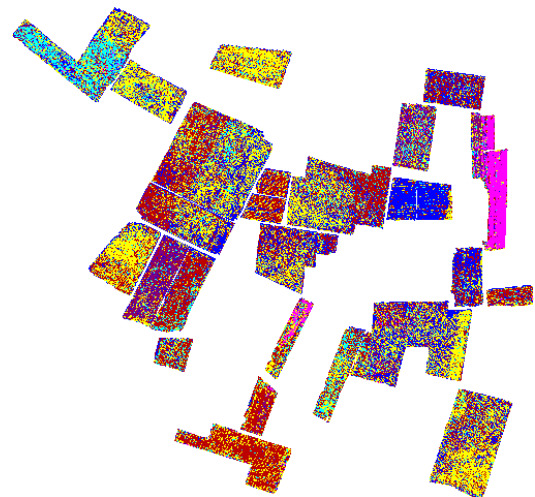
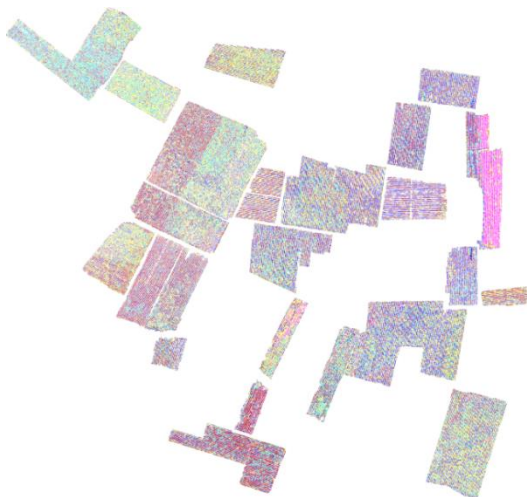
OA: 56% (pixel), 96% (plot)



Ποικιλιών: 6

OA: 38% (pixel), 92% (plot)

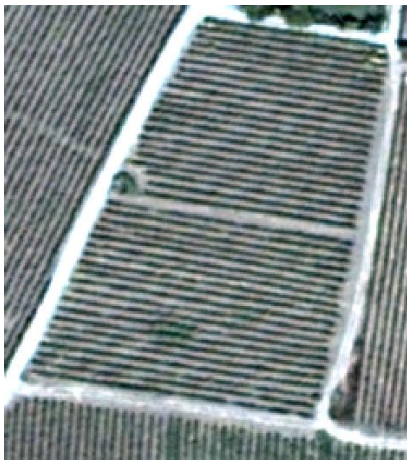
OA: 45% (pixel), 94% (plot)



Δεδομένα Ελέγχου



Σχήμα 5.11 – Οι ταξινομημένες εικόνες για τις ταξινομήσεις διαχωρισμού ποικιλιών αμπέλου στην WV2 εικόνα του Μεγαπλάτανου. Δεξιά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα στην εντοπισμένη φυλλική κόμη των αμπελοτεμαχίων και δεξιά στην πολυφασματική εικόνα. Η τελευταία εικόνα παρουσιάζει τα δεδομένα ελέγχου.



Σχήμα 5.12 – Περίπτωση λανθασμένα ταξινομημένων αντικειμένων (δεξιά) λόγω του προβλήματος καταγραφής του δέκτη, σε δύο αμπελοτεμάχια Cabernet Sauvignon στην WV2 εικόνα του Μεγαπλάτανου. Αριστερά παρουσιάζεται το αντίστοιχο τμήμα της συγχωνευμένης εικόνας σε φυσικό έγχρωμο σύνθετο.

5. Αποτελέσματα και Αξιολόγηση

Αποτελέσματα Διαχωρισμού στη WV2 του Μεγαπλάτανου (on detected canopy - 0.5m)													
<i>Pixel-level (%)</i>							<i>Plot-level (# of plots)</i>						
Classified as							Classified as						
Ground Truth	<i>Sauvignon Blanc</i>	<i>Cabernet Sauvignon</i>	<i>Merlot</i>	<i>Syrah</i>	<i>Chardonnay</i>	<i>Ρομπόλα</i>	Ground Truth	<i>Sauvignon Blanc</i>	<i>Cabernet Sauvignon</i>	<i>Merlot</i>	<i>Syrah</i>	<i>Chardonnay</i>	<i>Ρομπόλα</i>
<i>Sauvignon Blanc</i>	36%	16%	0%	17%	21%	11%	<i>Sauvignon Blanc</i>	2	0	0	0	0	0
<i>Cabernet Sauvignon</i>	13%	38%	0%	18%	15%	15%	<i>Cabernet Sauvignon</i>	0	8	0	0	0	2
<i>Merlot</i>	2%	2%	75%	4%	14%	2%	<i>Merlot</i>	0	0	2	0	0	0
<i>Syrah</i>	13%	21%	4%	40%	10%	12%	<i>Syrah</i>	0	0	0	3	0	0
<i>Chardonnay</i>	18%	14%	1%	9%	37%	21%	<i>Chardonnay</i>	0	0	0	0	10	0
<i>Ρομπόλα</i>	13%	20%	1%	9%	22%	35%	<i>Ρομπόλα</i>	0	0	0	0	1	6
Overall Classification Accuracy	38%						Overall Classification Accuracy	92%					

Πίνακας 5.8 – Οι πίνακες συσχέτισης (σε επίπεδο εικονοστοιχείου και επίπεδο αμπελοτεμαχίου) για την ταξινόμηση διαχωρισμού ανάμεσα σε έξι διαφορετικές ποικιλίες-κλώνους, πάνω στις εντοπισμένες γραμμές φύτευσης, για την WV2 εικόνα του Μεγαπλάτανου.

Αποτελέσματα Διαχωρισμού στη WV2 του Μεγαπλάτανου (<i>on multi image- 2m</i>)													
Pixel-level (%)							Plot-level (# of plots)						
Classified as							Classified as						
Ground Truth	<i>Sauvignon Blanc</i>	<i>Cabernet Sauvignon</i>	<i>Merlot</i>	<i>Syrah</i>	<i>Chardonnay</i>	<i>Ρομπόλα</i>	Ground Truth	<i>Sauvignon Blanc</i>	<i>Cabernet Sauvignon</i>	<i>Merlot</i>	<i>Syrah</i>	<i>Chardonnay</i>	<i>Ρομπόλα</i>
<i>Sauvignon Blanc</i>	38%	16%	1%	7%	24%	14%	<i>Sauvignon Blanc</i>	1	0	0	0	1	0
<i>Cabernet Sauvignon</i>	7%	53%	0%	6%	20%	13%	<i>Cabernet Sauvignon</i>	0	9	0	0	1	0
<i>Merlot</i>	1%	5%	86%	3%	4%	1%	<i>Merlot</i>	0	0	2	0	0	0
<i>Syrah</i>	10%	14%	6%	40%	17%	13%	<i>Syrah</i>	0	0	0	3	0	0
<i>Chardonnay</i>	9%	20%	1%	5%	47%	17%	<i>Chardonnay</i>	0	0	0	0	10	0
<i>Ρομπόλα</i>	6%	20%	0%	6%	25%	43%	<i>Ρομπόλα</i>	0	1	0	0	0	5
Overall Classification Accuracy	38%						Overall Classification Accuracy	92%					

Πίνακας 5.9 – Οι πίνακες συσχέτισης (σε επίπεδο εικονοστοιχείου και επίπεδο αμπελοτεμαχίου) για την ταξινόμηση διαχωρισμού ανάμεσα σε έξι διαφορετικές ποικιλίες-κλώνους, στην πολυφασματική εικόνα WV2 του Μεγαπλάτανου.

Πιο συγκεκριμένα η ποικιλία *Merlot* αποδείχθηκε σημαντικά διαχωρίσιμη από τις υπόλοιπες επιτυγχάνοντας σε όλες τις ταξινομήσεις ποσοστά πληρότητας εντοπισμού πάνω από 75% για τις ταξινομήσεις στο *canopy* και πάνω από 86% για τις ταξινομήσεις στην πολυφασματική εικόνα. Στις ταξινομήσεις και των δύο εικόνων οι ποικιλίες *Syrah* και *Sauvignon Blanc* παρουσίασαν αναμειξεις της τάξης του 15%-30% με την κλάση *Cabernet Sauvignon*. Η ποικιλία *Chardonnay* παρουσίασε αναμειξεις κυρίως με τις κλάσεις *Cabernet Sauvignon*, *Sauvignon Blanc* και Ρομπόλα. Η Ρομπόλα εντοπίστηκε με χαμηλά ποσοστά πληρότητας (<45%) και στις δύο εικόνες και παρουσίασε αναμειξεις (13%-25%) με τα αμπέλια *Cabernet Sauvignon* και *Chardonnay*.

Η γενικευμένη αξιολόγηση των ταξινομήσεων σε επίπεδο αμπελοτεμαχίου, επέδειξε σημαντικά βελτιωμένα ποσοτικά αποτελέσματα (O.A.>92%). Πιο συγκεκριμένα στις *canopy* ταξινομήσεις με τέσσερις και πέντε ποικιλίες, όλα τα αμπελοτεμάχια χαρακτηρίστηκαν με τη σωστή ποικιλία που καλλιεργούταν σε αυτά μέσω της διαδικασίας του *majority voting*. Για τις ταξινομήσεις στην πολυφασματική εικόνα, όταν η ταξινόμηση έτρεχε ανάμεσα σε τέσσερις ποικιλίες, 1 από τα 2 αμπελοτεμάχια *Sauvignon Blanc* χαρακτηρίστηκε λανθασμένα ως *Cabernet Sauvignon*, ενώ όταν στην ταξινόμηση συμμετείχε επιπλέον και η ποικιλία *Chardonnay* 1 από τα 2 αμπελοτεμάχια *Sauvignon Blanc* και 1 από τα 10 *Cabernet Sauvignon* ταξινομήθηκαν ως *Chardonnay*. Οι δύο αυτές λανθασμένες ταξινομήσεις διατηρήθηκαν και στην ταξινόμηση της πολυφασματικής εικόνας με έξι ποικιλίες, ενώ προστέθηκε και ένας λανθασμένος χαρακτηρισμός 1 από τα 6 αμπελοτεμαχίου Ρομπόλας ως *Cabernet Sauvignon*. Για την πολυπληθέστερη ταξινόμηση στις γραμμές φύτευσης των αμπελιών, 2 από τα 10 αμπελοτεμάχια *Cabernet Sauvignon* ταξινομήθηκαν ως Ρομπόλα, και 1 από τα 6 αμπελοτεμάχια Ρομπόλα ως *Chardonnay*.

- Νάουσα WV2

Στην περιοχή της Νάουσας μελετήθηκαν και συμμετείχαν στις ταξινομήσεις τέσσερις διαφορετικές ποικιλίες ή κλώνοι ποικιλιών και συγκεκριμένα οι: *Syrah*, *Merlot*, *Cabernet Sauvignon* και Ξινόμαυρο. Υλοποιήθηκαν ταξινομήσεις με τρεις και τέσσερις ποικιλίες/κλώνους τη φορά τόσο στη συγχωνευμένη εικόνα με τις εντοπισμένες γραμμές φύτευσης όσο και στην πολυφασματική εικόνα.

Στο Σχήμα 5.13 παρουσιάζονται οι ταξινομημένες εικόνες για το διαχωρισμό και στους δύο τύπους εικόνων. Τα αμπέλια της ποικιλίας *Merlot* για ακόμη μια φορά φαίνεται να εντοπίζονται με μεγαλύτερη πληρότητα σε σχέση με τις υπόλοιπες ποικιλίες που παρουσιάζουν περισσότερες αναμειξεις. Οι ταξινομημένοι χάρτες για το διαχωρισμό πάνω στις γραμμές φύτευσης της *pan-sharpened* εικόνας και της πολυφασματικής παρουσιάζουν σημαντική ομοιότητα οπτικά σχετικά με τις περιοχές που εντοπίζονται τα λάθη της ταξινόμησης. Αυτό εκφράζεται και στην *Overall Accuracy* (O.A.) που παίρνει παραπλήσιες τιμές.

Διαχωρισμός Ποικιλιών στην WV2 της Νάουσας

Ποικιλιών: 3

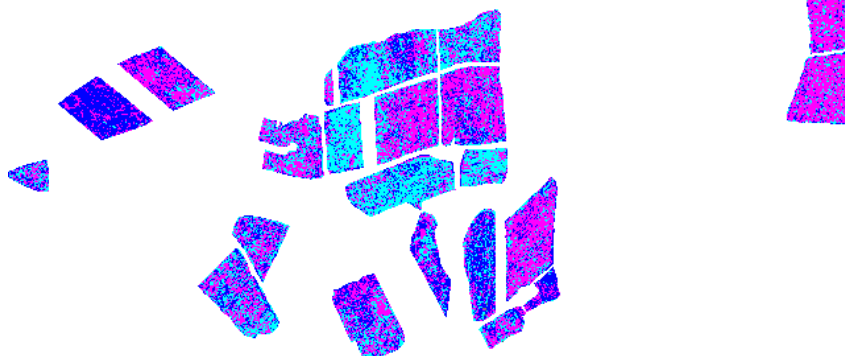
On detected canopy (0.5m)

OA: 59% (pixel), 86% (plot)



On multi image (0.2m)

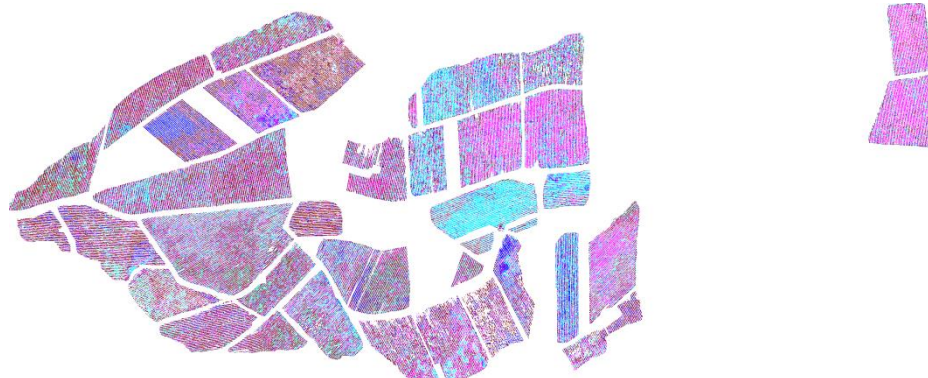
OA: 56% (pixel), 90% (plot)

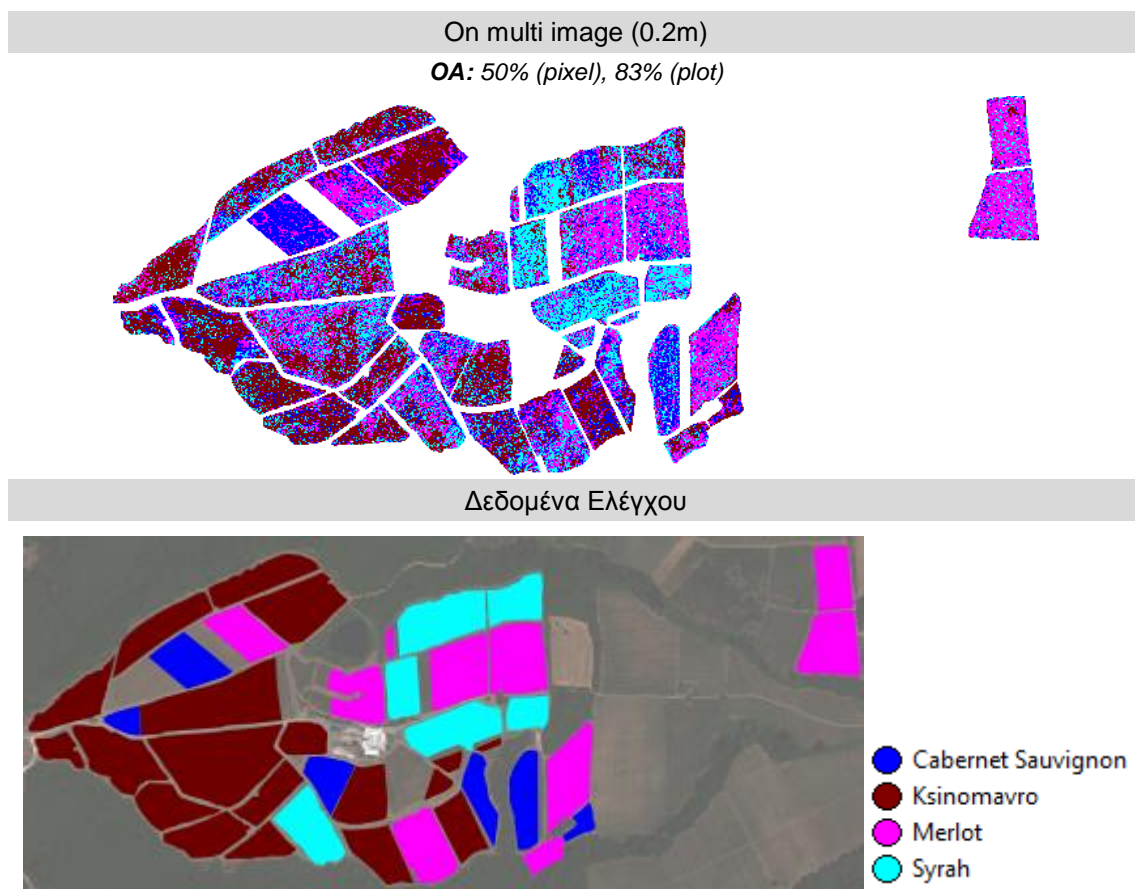


Ποικιλιών: 4

On detected canopy (0.5m)

OA: 51% (pixel), 85% (plot)





Σχήμα 5.13 – Οι ταξινομημένες εικόνες για τις ταξινομήσεις διαχωρισμού ποικιλιών αμπέλου στην WV2 εικόνα της Νάουσας. Παρουσιάζονται εναλλάξ τα αποτελέσματα στην εντοπισμένη φυλλική κόμη των αμπελοτεμαχίων και στην πολυφασματική εικόνα, για ταξινόμηση με συμμετοχή τριών και τεσσάρων ποικιλιών τη φορά. Η τελευταία εικόνα παρουσιάζει τα δεδομένα ελέγχου.

Περισσότερες πληροφορίες για τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων δίνει η μελέτη των πινάκων συσχέτισης των αποτελεσμάτων με τα δεδομένα ελέγχου. Η αξιολόγηση σε επίπεδο εικονοστοιχείου, κατέδειξε και ποσοτικά ότι οι ποικιλίες στην περιοχή παρουσίασαν αρκετές αναμειξεις, καθώς καμία δεν ξεπέρασε σε πληρότητα το 65%. Τα ποσοστά σε αυτό το επίπεδο αξιολόγησης παρουσιάζονται ελαφρώς μειωμένα για τις ταξινομήσεις στην πολυφασματική εικόνα. Η ποικιλία *Merlot*, σε κάθε περίπτωση ταξινόμησης, εντοπίστηκε με υψηλότερα ποσοστά πληρότητας από τις υπόλοιπες. Οι ποικιλίες *Cabernet Sauvignon* και *Syrah* παρουσιάζονται συσχετισμένες (ποσοστά αναμειξεων περίπου στο 20%). Αυτές οι δύο ποικιλίες παρουσίασαν επίσης αρκετά λανθασμένα ταξινομημένα εικονοστοιχεία των Δεδομένων Ελέγχου τους ως *Merlot* (20%-25%). Το Ξινόμαυρο παρουσίασε αναμειξεις με όλες τις ποικιλίες με ποσοστά από 11%-26%.

Η γενικευμένη αξιολόγηση των ταξινομήσεων σε επίπεδο αμπελοτεμαχίου, επέδειξε σημαντικά βελτιωμένα ποσοτικά αποτελέσματα (O.A.>83%). Πιο συγκεκριμένα στην ταξινόμηση ανάμεσα σε τρεις ποικιλίες, για την *pan-sharpened* εικόνα, όλα τα αμπελοτεμάχια χαρακτηρίστηκαν σωστά εκτός από 3 από τα 5 *Cabernet Sauvignon* που κατηγοριοποιήθηκαν ως *Syrah*. Αντίστοιχα για διαχωρισμό ανάμεσα σε τρεις ποικιλίες, για την πολυφασματική εικόνα, 1 από τα 5 *Cabernet Sauvignon* αμπελοτεμάχια και 1 από τα 6 *Syrah* χαρακτηρίστηκαν ως *Merlot*.

Αποτελέσματα Διαχωρισμού στη WV2 της Νάουσας (on detected canopy - 0.5m)

<i>Pixel-level (%)</i>				<i>Plot-level (# of plots)</i>			
Classified as				Classified as			
Ground Truth	<i>Cabernet Sauvignon</i>	<i>Merlot</i>	<i>Syrah</i>	Ground Truth	<i>Cabernet Sauvignon</i>	<i>Merlot</i>	<i>Syrah</i>
<i>Cabernet Sauvignon</i>	48%	25%	27%	<i>Cabernet Sauvignon</i>	2	0	3
<i>Merlot</i>	14%	62%	24%	<i>Merlot</i>	0	10	0
<i>Syrah</i>	15%	25%	60%	<i>Syrah</i>	0	0	6
Overall Classification Accuracy	59%			Overall Classification Accuracy	86%		

Αποτελέσματα Διαχωρισμού στη WV2 της Νάουσας (on multi image - 2m)

<i>Pixel-level (%)</i>				<i>Plot-level (# of plots)</i>			
Classified as				Classified as			
Ground Truth	<i>Cabernet Sauvignon</i>	<i>Merlot</i>	<i>Syrah</i>	Ground Truth	<i>Cabernet Sauvignon</i>	<i>Merlot</i>	<i>Syrah</i>
<i>Cabernet Sauvignon</i>	53%	27%	20%	<i>Cabernet Sauvignon</i>	4	1	0
<i>Merlot</i>	20%	59%	20%	<i>Merlot</i>	0	10	0
<i>Syrah</i>	22%	25%	53%	<i>Syrah</i>	0	1	5
Overall Classification Accuracy	56%			Overall Classification Accuracy	90%		

Πίνακας 5.10 – Οι πίνακες συσχέτισης (σε επίπεδο εικονοστοιχείου και επίπεδο αμπελοτεμαχίου) για την ταξινόμηση διαχωρισμού ανάμεσα σε τρεις διαφορετικές ποικιλίες-κλώνους, στη συγχωνευμένη (γραμμές φύτευσης) και στην πολυφασματική εικόνα WV2 της Νάουσας.

5. Αποτελέσματα και Αξιολόγηση

Αποτελέσματα Διαχωρισμού στη WV2 της Νάουσας (on detected canopy - 0.5m)									
<i>Pixel-level (%)</i>					<i>Plot-level (# of plots)</i>				
Classified as					Classified as				
Ground Truth	<i>Cabernet Sauvignon</i>	<i>Merlot</i>	<i>Syrah</i>	<i>Ξινόμαυρο</i>	Ground Truth	<i>Cabernet Sauvignon</i>	<i>Merlot</i>	<i>Syrah</i>	<i>Ξινόμαυρο</i>
<i>Cabernet Sauvignon</i>	37%	17%	20%	26%	<i>Cabernet Sauvignon</i>	2	0	1	2
<i>Merlot</i>	10%	52%	18%	20%	<i>Merlot</i>	0	8	0	2
<i>Syrah</i>	12%	19%	51%	18%	<i>Syrah</i>	0	0	6	0
<i>Ξινόμαυρο</i>	13%	20%	14%	52%	<i>Ξινόμαυρο</i>	0	0	1	18
Overall Classification Accuracy	51%				Overall Classification Accuracy	85%			

Αποτελέσματα Διαχωρισμού στη WV2 της Νάουσας (on multi image - 2m)									
<i>Pixel-level (%)</i>					<i>Plot-level (# of plots)</i>				
Classified as					Classified as				
Ground Truth	<i>Cabernet Sauvignon</i>	<i>Merlot</i>	<i>Syrah</i>	<i>Ξινόμαυρο</i>	Ground Truth	<i>Cabernet Sauvignon</i>	<i>Merlot</i>	<i>Syrah</i>	<i>Ξινόμαυρο</i>
<i>Cabernet Sauvignon</i>	49%	25%	17%	9%	<i>Cabernet Sauvignon</i>	3	2	0	0
<i>Merlot</i>	17%	54%	18%	11%	<i>Merlot</i>	0	10	0	0
<i>Syrah</i>	19%	20%	47%	13%	<i>Syrah</i>	0	1	5	0
<i>Ξινόμαυρο</i>	17%	19%	14%	49%	<i>Ξινόμαυρο</i>	0	1	3	15
Overall Classification Accuracy	50%				Overall Classification Accuracy	83%			

Πίνακας 5.11 – Οι πίνακες συσχέτισης (σε επίπεδο εικονοστοιχείου και επίπεδο αμπελοτεμαχίου) για την ταξινόμηση διαχωρισμού ανάμεσα σε τέσσερις διαφορετικές ποικιλίες-κλώνους, στη συγχωνευμένη (γραμμές φύτευσης) και στην πολυφασματική εικόνα WV2 της Νάουσας.

Για τις ταξινομήσεις στην πολυφασματική εικόνα, όταν η ταξινόμηση έτρεχε ανάμεσα σε τέσσερις ποικιλίες, 2 από τα 5 αμπελοτεμάχια *Cabernet Sauvignon*, 1 από τα 6 *Syrah* και 1 από τα 19 αμπελοτεμάχια Ξινόμαυρο, χαρακτηρίστηκαν λανθασμένα ως *Merlot*. Επιπρόσθετα 3 αμπελοτεμάχια Ξινόμαυρο κατηγοριοποιήθηκαν ως *Syrah*. Για τις ταξινομήσεις στις γραμμές φύτευσης των αμπελιών με τέσσερις ποικιλίες, 2 από τα 5 αμπελοτεμάχια *Cabernet Sauvignon* και 2 από τα 10 *Merlot* κατηγοριοποιήθηκαν μέσω της διαδικασίας *majority voting* στην κλάση Ξινόμαυρο. Επιπλέον 1 αμπελοτεμάχιο *Cabernet Sauvignon* και 1 από τα 19 αμπελοτεμάχια Ξινόμαυρο ταξινομήθηκαν ως *Syrah*.

- Αμύνταιο WV2

Στην περιοχή του Αμυνταίου μελετήθηκαν και συμμετείχαν στις ταξινομήσεις τέσσερις διαφορετικές ποικιλίες ή κλώνοι ποικιλιών και συγκεκριμένα οι: *Syrah* (κλώνος I και II), *Montepulciano* και *Tannat*. Υλοποιήθηκαν ταξινομήσεις με τρεις και τέσσερις ποικιλίες/κλώνους τη φορά τόσο στη συγχωνευμένη εικόνα με τις εντοπισμένες γραμμές φύτευσης όσο και στη πολυφασματική εικόνα.

Στο Σχήμα 5.14 παρουσιάζονται οι ταξινομημένες εικόνες για το διαχωρισμό και στους δύο τύπους εικόνων. Τα αμπελοτεμάχια όλων των ποικιλιών παρουσιάζουν αρκετές αναμειξεις μετά την ταξινόμηση. Έντονο πρόβλημα αναμειξεων φαίνεται να παρουσιάζει το αμπελοτεμάχιο *Tannat* για την ταξινόμηση στην πολυφασματική εικόνα, καθώς μεγάλο τμήμα του φαίνεται ταξινομημένο ως *Syrah II*. Γενικότερα οι περιοχές που παρατηρούνται οι αναμειξεις και οι ποικιλίες μπερδεύονται από τον ταξινομητή, παρουσιάζουν οπτική ομοιότητα για τις ταξινομημένες εικόνες στις γραμμές φύτευσης και στην πολυφασματική εικόνα.

Όπως και στην περίπτωση του Μεγαπλάτανου, για την *Overall Accuracy* (O.A.) σε επίπεδο εικονοστοιχείου παρατηρείται ότι οι ταξινομήσεις στις πολυφασματικές εικόνες επιτυγχάνουν υψηλότερα ποσοστά (περίπου 10%). Το τελευταίο αποδίδεται και πάλι στο πρόβλημα καταγραφής της παγχρωματικής εικόνας, το οποίο μεταφέρθηκε και στη συγχωνευμένη εικόνα. Στις περιοχές αυτές διαπιστώθηκε ότι προέκυπταν πολλά λανθασμένα αποτελέσματα στις ταξινομήσεις. Στο Σχήμα 5.15 παρουσιάζεται μια τέτοια περίπτωση, σε ένα αμπελοτεμάχιο *Syrah I*. Παρατηρείται ότι η διπλή διαγράμμιση που εντοπίζεται στη συγχωνευμένη εικόνα και σχηματίζει ρόμβους, σχετίζεται και με τα λάθη της ταξινόμησης. Στη γενίκευση αξιολόγησης των αποτελεσμάτων σε επίπεδο αμπελοτεμαχίων διαπιστώνεται ότι το πρόβλημα αυτό δεν επηρέασε την επιτυχία των αποτελεσμάτων καθώς σε όλες τις περιπτώσεις ταξινομήσεων όλα τα αμπελοτεμάχια χαρακτηρίστηκαν με τη σωστή ποικιλία καλλιέργειας.

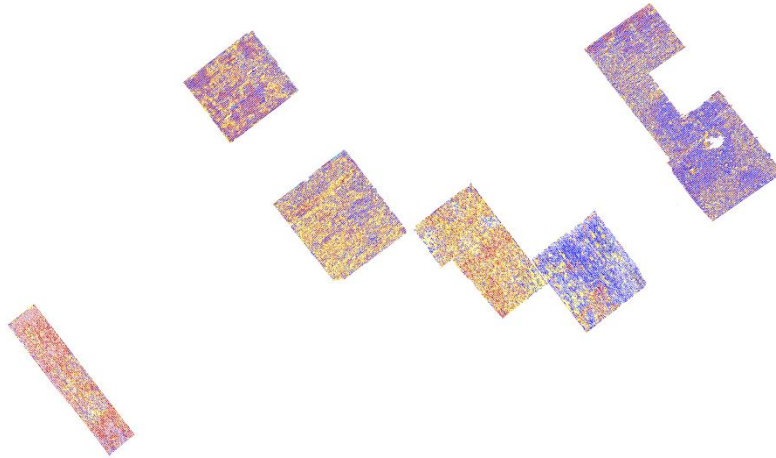
Η αναλυτικότερη μελέτη των πινάκων συσχέτισης (σε *pixel* και *plot level*) των αποτελεσμάτων με τα δεδομένα ελέγχου, δίνει περισσότερες πληροφορίες για τις ταξινομήσεις.

Διαχωρισμός Ποικιλιών στην WV2 του Αμυνταίου

Ποικιλιών: 3

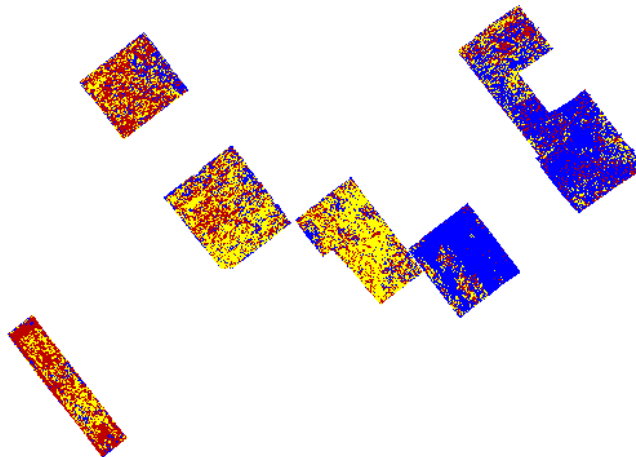
On detected canopy (0.5m)

OA: 50% (pixel), 100% (plot)



On multi image (0.2m)

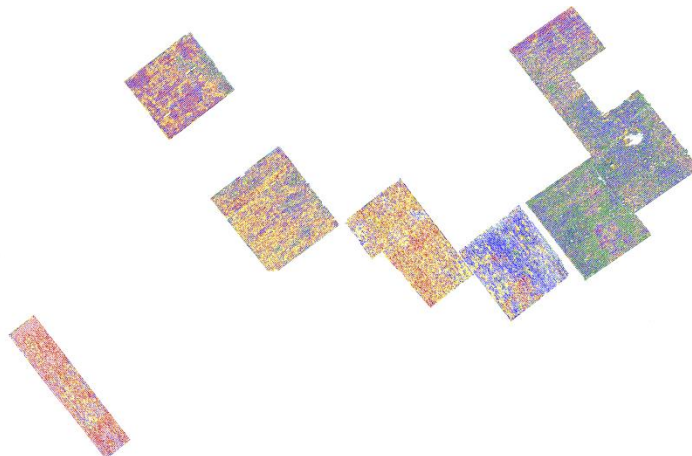
OA: 52% (pixel), 100% (plot)

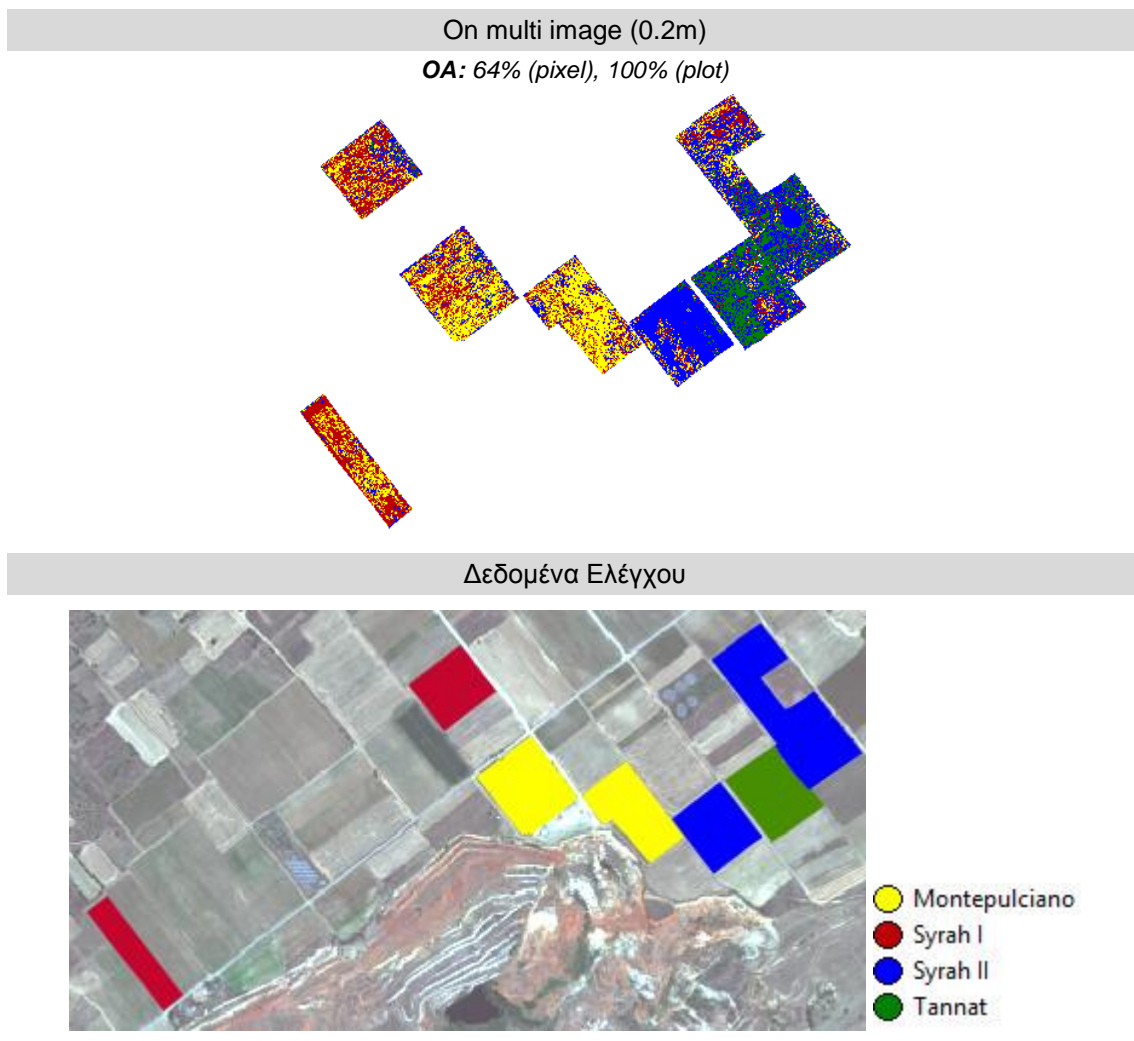


Ποικιλιών: 4

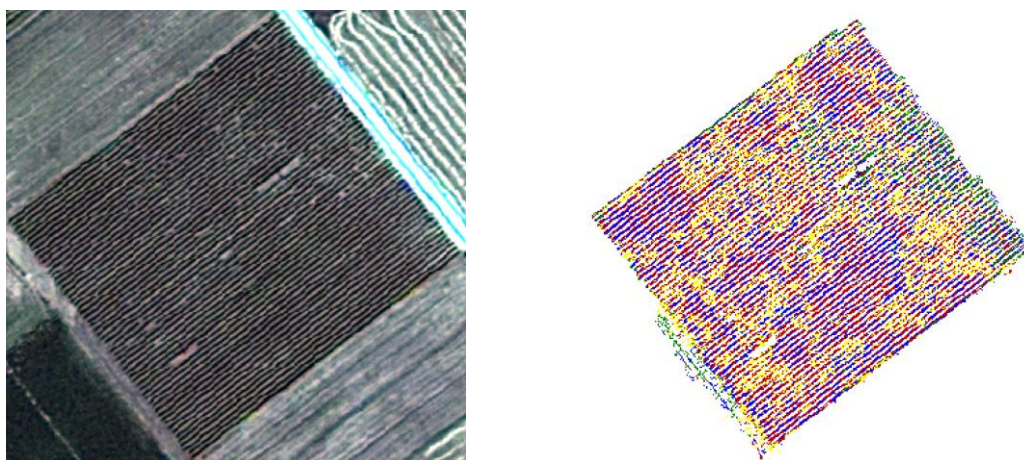
On detected canopy (0.5m)

OA: 62% (pixel), 100% (plot)





Σχήμα 5.14 – Οι ταξινομημένες εικόνες για τις ταξινομήσεις διαχωρισμού ποικιλιών αμπέλου στην WV2 εικόνα του Αμυνταίου. Παρουσιάζονται εναλλάξ τα αποτελέσματα στην εντοπισμένη φυλλική κόμη των αμπελοτεμαχίων και στην πολυφασματική εικόνα, για ταξινόμηση με συμμετοχή τριών και τεσσάρων ποικιλιών τη φορά. Η τελευταία εικόνα παρουσιάζει τα δεδομένα ελέγχου.



Σχήμα 5.15 – Περίπτωση λανθασμένα ταξινομημένων αντικειμένων (δεξιά) λόγω και του προβλήματος καταγραφής του δέκτη, σε ένα αμπελοτεμάχιο Syrah I στην WV2 εικόνα του Αμυνταίου. Αριστερά παρουσιάζεται το αντίστοιχο τμήμα της συγχωνευμένης εικόνας σε φυσικό έγχρωμο σύνθετο.

5. Αποτελέσματα και Αξιολόγηση

Αποτελέσματα Διαχωρισμού στη WV2 του Αμυνταίου (on detected canopy - 0.5m)							
<i>Pixel-level (%)</i>				<i>Plot-level (# of plots)</i>			
Classified as				Classified as			
Ground Truth	<i>Syrah I</i>	<i>Syrah II</i>	<i>Montepulciano</i>	Ground Truth	<i>Syrah I</i>	<i>Syrah II</i>	<i>Montepulciano</i>
<i>Syrah I</i>	54%	24%	22%	<i>Syrah I</i>	2	0	0
<i>Syrah II</i>	25%	55%	20%	<i>Syrah II</i>	0	2	0
<i>Montepulciano</i>	36%	22%	42%	<i>Montepulciano</i>	0	0	2
Overall Classification Accuracy	50%			Overall Classification Accuracy	100%		

Αποτελέσματα Διαχωρισμού στη WV2 του Αμυνταίου (on multi image - 2m)							
<i>Pixel-level (%)</i>				<i>Plot-level (# of plots)</i>			
Classified as				Classified as			
Ground Truth	<i>Syrah I</i>	<i>Syrah II</i>	<i>Montepulciano</i>	Ground Truth	<i>Syrah I</i>	<i>Syrah II</i>	<i>Montepulciano</i>
<i>Syrah I</i>	54%	16%	30%	<i>Syrah I</i>	2	0	0
<i>Syrah II</i>	15%	72%	13%	<i>Syrah II</i>	0	2	0
<i>Montepulciano</i>	26%	18%	56%	<i>Montepulciano</i>	0	0	2
Overall Classification Accuracy	62%			Overall Classification Accuracy	100%		

Πίνακας 5.12 – Οι πίνακες συσχέτισης (σε επίπεδο εικονοστοιχείου και επίπεδο αμπελοτεμαχίου) για την ταξινόμηση διαχωρισμού ανάμεσα σε τρεις διαφορετικές ποικιλίες-κλώνους, στη συγχωνευμένη (γραμμές φύτευσης) και στην πολυφασματική εικόνα WV2 του Αμυνταίου

Αποτελέσματα Διαχωρισμού στη WV2 του Αμυνταίου (on detected canopy - 0.5m)									
<i>Pixel-level (%)</i>					<i>Plot-level (# of plots)</i>				
Classified as					Classified as				
Ground Truth	<i>Syrah I</i>	<i>Syrah II</i>	<i>Montepulciano</i>	<i>Tannat</i>	Ground Truth	<i>Syrah I</i>	<i>Syrah II</i>	<i>Montepulciano</i>	<i>Tannat</i>
<i>Syrah I</i>	53%	22%	21%	4%	<i>Syrah I</i>	2	0	0	0
<i>Syrah II</i>	19%	43%	15%	22%	<i>Syrah II</i>	0	2	0	0
<i>Montepulciano</i>	35%	20%	40%	4%	<i>Montepulciano</i>	0	0	2	0
<i>Tannat</i>	18%	28%	8%	46%	<i>Tannat</i>	0	0	0	1
Overall Classification Accuracy	52%				Overall Classification Accuracy	85%			
Αποτελέσματα Διαχωρισμού στη WV2 του Αμυνταίου (on multi image - 2m)									
<i>Pixel-level (%)</i>					<i>Plot-level (# of plots)</i>				
Classified as					Classified as				
Ground Truth	<i>Syrah I</i>	<i>Syrah II</i>	<i>Montepulciano</i>	<i>Tannat</i>	Ground Truth	<i>Syrah I</i>	<i>Syrah II</i>	<i>Montepulciano</i>	<i>Tannat</i>
<i>Syrah I</i>	54%	15%	30%	2%	<i>Syrah I</i>	2	0	0	0
<i>Syrah II</i>	12%	60%	12%	16%	<i>Syrah II</i>	0	2	0	0
<i>Montepulciano</i>	26%	18%	55%	1%	<i>Montepulciano</i>	0	0	2	0
<i>Tannat</i>	9%	42%	6%	43%	<i>Tannat</i>	0	0	0	1
Overall Classification Accuracy	64%				Overall Classification Accuracy	100%			

Πίνακας 5.13 – Οι πίνακες συσχέτισης (σε επίπεδο εικονοστοιχείου και επίπεδο αμπελοτεμαχίου) για την ταξινόμηση διαχωρισμού ανάμεσα σε τέσσερις διαφορετικές ποικιλίες-κλώνους, στη συγχωνευμένη (γραμμές φύτευσης) και στην πολυφασματική εικόνα WV2 του Αμυνταίου

Στους πίνακες 5.12 και 5.13 παρατηρείται ότι στις περισσότερες περιπτώσεις τα ποσοστά πληρότητας είναι υψηλότερα για τις ταξινομήσεις στις πολυφασματικές εικόνες, ειδικά στην περίπτωση του *Syrah II*, που οι διαφορές πλησιάζουν το 20%. Σχετικά με τις αναμειξίες η ποικιλία *Syrah I*, παρουσιάζεται συσχετισμένη με την *Montepulciano*, με υψηλά ποσοστά αναμειξεων σε κάθε ταξινόμηση (22%-36%). Με μικρότερα ποσοστά αναμειξεων (12%-22%) συνδέθηκε το *Montepulciano* με τον δεύτερο κλώνο του *Syrah*. Οι δυο κλώνοι του *Syrah* παρουσίασαν αναμειξίες της τάξης του 22% στις ταξινομήσεις στις γραμμές φύτευσης και της τάξης του 15% σε αυτές για την πολυφασματική εικόνα. Η ποικιλία *Tannat*, και στις δύο προσεγγίσεις, παρουσιάζεται υψηλώς συσχετισμένη με το *Syrah II*. Ειδικά στην ταξινόμηση της πολυφασματικής εικόνας, το 42% των δεδομένων ελέγχου του *Tannat*, έχει ταξινομηθεί εσφαλμένα ως *Syrah II*, αλλά και πάλι το υψηλότερο ποσοστό το πέτυχε η σωστή ποικιλία (43%).

Στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων στο γενικευμένο επίπεδο του αμπελοτεμαχίου, τα αποτελέσματα ήταν 100% επιτυχημένα, καθώς όλα τα αμπελοτεμάχια σε όλες τις ταξινομήσεις χαρακτηρίστηκαν σωστά.

- Αμύνταιο *Pleiades-1B*

Στην περιοχή του Αμυνταίου, όπως και στην περίπτωση της εικόνας *WV2*, μελετήθηκαν και συμμετείχαν στις ταξινομήσεις τέσσερις διαφορετικές ποικιλίες ή κλώνοι ποικιλιών και συγκεκριμένα οι: *Syrah* (κλώνος I και II), *Montepulciano* και *Tannat*. Υλοποιήθηκαν ταξινομήσεις με τρεις και τέσσερις ποικιλίες/κλώνους τη φορά στη συγχωνευμένη και στη πολυφασματική εικόνα.

Στο Σχήμα 5.16 παρουσιάζονται οι ταξινομημένες εικόνες για το διαχωρισμό και στους δύο τύπους εικόνων. Τα αμπελοτεμάχια όλων των ποικιλιών παρουσιάζουν αρκετές αναμειξίες μετά την ταξινόμηση. Αντίθετα με τις ταξινομήσεις στην εικόνα *WV2* του 2013, στη συγκεκριμένη του 2014, οι ταξινομήσεις δεν παρουσιάζουν έντονο πρόβλημα αναμειξεων για το αμπελοτεμάχιο *Tannat*, το οποίο και στις δύο περιπτώσεις φαίνεται στο μεγαλύτερο τμήμα του σωστά εντοπισμένο. Γενικότερα οι περιοχές που παρατηρούνται οι αναμειξίες και οι ποικιλίες μπερδεύονται από τον ταξινομητή, παρουσιάζουν συνάφεια για τις ταξινομημένες εικόνες στις γραμμές φύτευσης και στην πολυφασματική εικόνα. Παρ'όλα αυτά στις ταξινομήσεις στη συγχωνευμένη εικόνα το πρόβλημα των αναμειξεων παρουσιάζεται σε μεγαλύτερες εκτάσεις, γεγονός που εκφράζεται και στα ποσοστά *Overall Accuracy (O.A.)* σε επίπεδο εικονοστοιχείου. Στη γενίκευση αξιολόγησης των αποτελεσμάτων σε επίπεδο αμπελοτεμαχίων διαπιστώνεται ότι η διαφορά αυτή εξαλείφεται, καθώς σε όλες τις περιπτώσεις ταξινομήσεων όλα τα αμπελοτεμάχια χαρακτηρίστηκαν με τη σωστή ποικιλία καλλιέργειας.

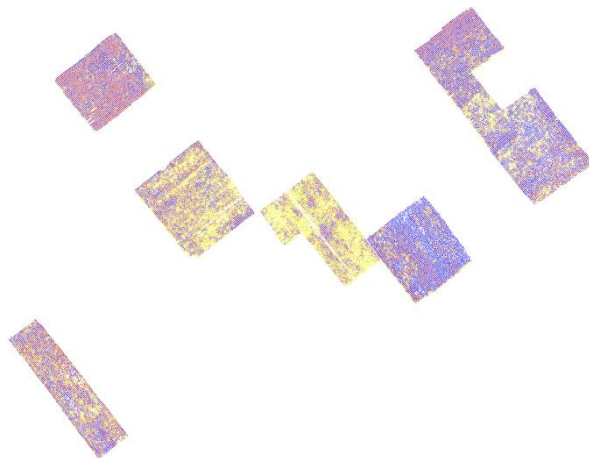
Η αναλυτικότερη μελέτη των πινάκων συσχέτισης (σε *pixel* και *plot level*) των αποτελεσμάτων με τα δεδομένα ελέγχου, δίνει περισσότερες πληροφορίες για τις ταξινομήσεις. Στους πίνακες 5.14 και 5.15 παρατηρείται ότι στις περισσότερες περιπτώσεις ποικιλιών τα ποσοστά πληρότητας είναι υψηλότερα (περίπου 10%) για τις ταξινομήσεις στις πολυφασματικές εικόνες.

Διαχωρισμός Ποικιλιών στην Pleiades -1B του Αμυνταίου

Ποικιλιών: 3

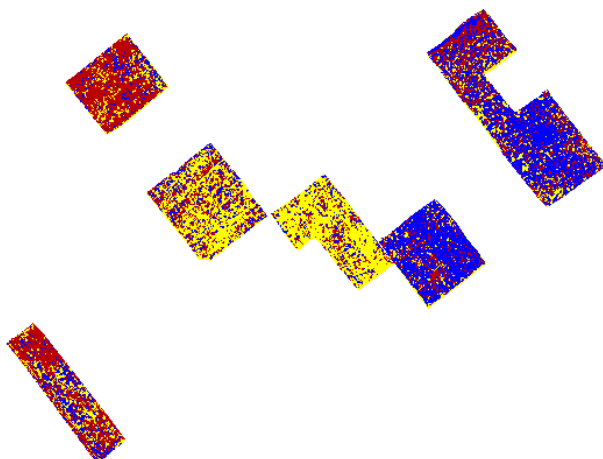
On detected canopy (0.5m)

OA: 53% (pixel), 100% (plot)



On multi image (0.2m)

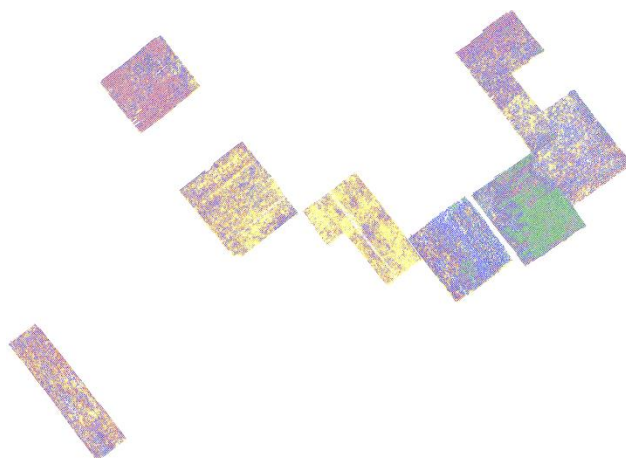
OA: 61% (pixel), 100% (plot)

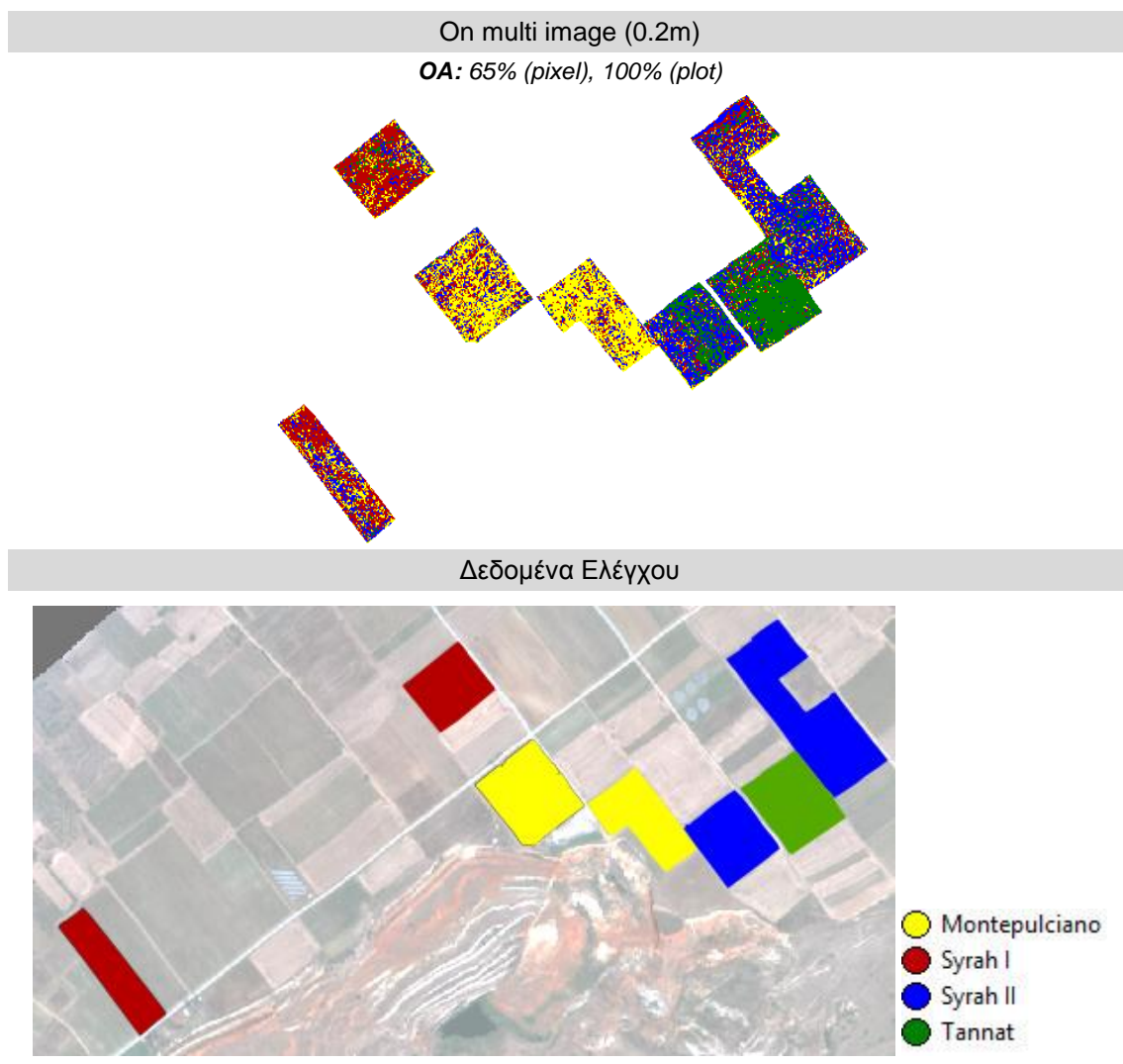


Ποικιλιών: 4

On detected canopy (0.5m)

OA: 59% (pixel), 100% (plot)





Σχήμα 5.16 – Οι ταξινομημένες εικόνες για τις ταξινομήσεις διαχωρισμού ποικιλιών αμπέλου στην Pleiades-1b εικόνα του Αμυνταίου. Παρουσιάζονται εναλλάξ τα αποτελέσματα στην εντοπισμένη φυλλική κόμη των αμπελοτεμαχίων και στην πολυφασματική εικόνα, για ταξινόμηση με συμμετοχή τριών και τεσσάρων ποικιλιών τη φορά. Η τελευταία εικόνα παρουσιάζει τα δεδομένα ελέγχου.

Σχετικά με τις αναμείξεις οι δύο κλώνοι του *Syrah*, παρουσιάζονται συσχετισμένοι με υψηλά ποσοστά αναμείξεων στις ταξινομήσεις στις γραμμές φύτευσης (24%-36%) και χαμηλότερα ποσοστά σε αυτές στην πολυφασματική εικόνα (18%-25%). Το *Montepulciano* παρουσιάζει αναμείξεις σε όλες τις ταξινομήσεις και με τους δυο κλώνους του *Syrah*, με ποσοστά της τάξης του 20%. Η ποικιλία *Tannat*, όπως και στην εικόνα *WV2*, παρουσιάζεται συσχετισμένη με το *Syrah II*, ενώ παρουσιάζει μικρά ποσοστά αναμείξεων με όλες τις άλλες ποικιλίες (<15%). Ειδικά στην ταξινόμηση της συγχωνευμένης εικόνας, το 30% των δεδομένων ελέγχου του *Tannat*, έχει ταξινομηθεί εσφαλμένα ως *Syrah II*. Στην ταξινόμηση στην πολυφασματική εικόνα το ποσοστό αυτό μειώνεται στο 16% και έτσι το *Tannat* αποκτά το ψηλότερο ποσοστό πληρότητας, ίσο με 70%. Στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων στο γενικευμένο επίπεδο του αμπελοτεμαχίου, τα αποτελέσματα ήταν 100% επιτυχημένα, καθώς όλα τα αμπελοτεμάχια σε όλες τις ταξινομήσεις χαρακτηρίστηκαν σωστά.

Αποτελέσματα Διαχωρισμού στην Pleiades -1B του Αμυνταίου (on detected canopy - 0.5m)							
<i>Pixel-level (%)</i>				<i>Plot-level (# of plots)</i>			
Classified as				Classified as			
Ground Truth	<i>Syrah I</i>	<i>Syrah II</i>	<i>Montepulciano</i>	Ground Truth	<i>Syrah I</i>	<i>Syrah II</i>	<i>Montepulciano</i>
<i>Syrah I</i>	46%	36%	18%	<i>Syrah I</i>	2	0	0
<i>Syrah II</i>	28%	55%	17%	<i>Syrah II</i>	0	2	0
<i>Montepulciano</i>	23%	21%	56%	<i>Montepulciano</i>	0	0	2
Overall Classification Accuracy	53%			Overall Classification Accuracy	100%		

Αποτελέσματα Διαχωρισμού στην Pleiades -1B του Αμυνταίου (on multi image - 2m)							
<i>Pixel-level (%)</i>				<i>Plot-level (# of plots)</i>			
Classified as				Classified as			
Ground Truth	<i>Syrah I</i>	<i>Syrah II</i>	<i>Montepulciano</i>	Ground Truth	<i>Syrah I</i>	<i>Syrah II</i>	<i>Montepulciano</i>
<i>Syrah I</i>	59%	20%	21%	<i>Syrah I</i>	2	0	0
<i>Syrah II</i>	25%	60%	14%	<i>Syrah II</i>	0	2	0
<i>Montepulciano</i>	20%	17%	62%	<i>Montepulciano</i>	0	0	2
Overall Classification Accuracy	61%			Overall Classification Accuracy	100%		

Πίνακας 5.14 – Οι πίνακες συσχέτισης (σε επίπεδο εικονοστοιχείου και επίπεδο αμπελοτεμαχίου) για την ταξινόμηση διαχωρισμού ανάμεσα σε τρεις διαφορετικές ποικιλίες-κλώνους, στη συγχωνευμένη (γραμμές φύτευσης) και στην πολυφασματική εικόνα Pleiades -1B του Αμυνταίου

5. Αποτελέσματα και Αξιολόγηση

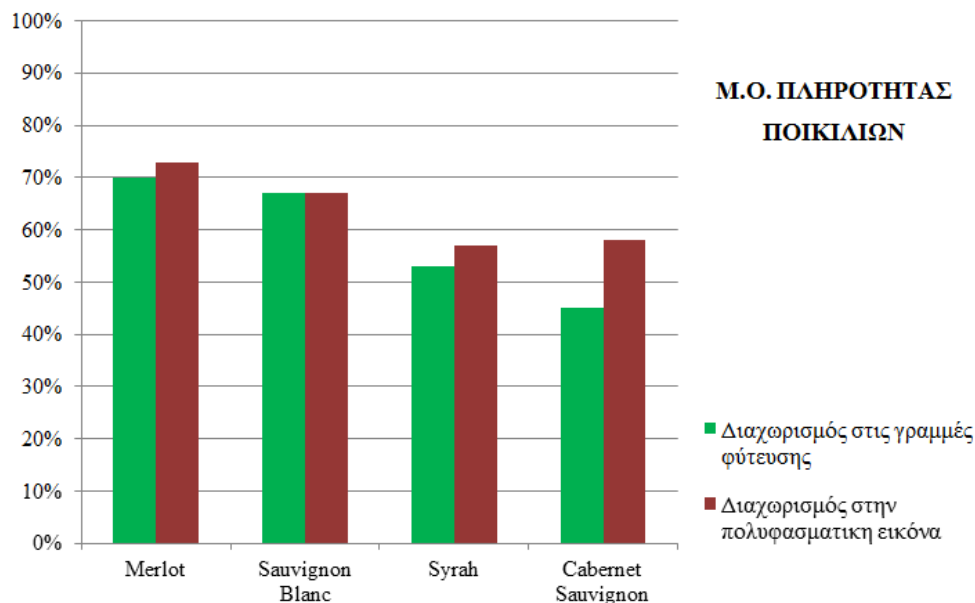
Αποτελέσματα Διαχωρισμού στην Pleiades -1B του Αμυνταίου (on detected canopy - 0.5m)									
<i>Pixel-level (%)</i>					<i>Plot-level (# of plots)</i>				
Classified as					Classified as				
Ground Truth	<i>Syrah I</i>	<i>Syrah II</i>	<i>Montepulciano</i>	<i>Tannat</i>	Ground Truth	<i>Syrah I</i>	<i>Syrah II</i>	<i>Montepulciano</i>	<i>Tannat</i>
<i>Syrah I</i>	44%	34%	18%	4%	<i>Syrah I</i>	2	0	0	0
<i>Syrah II</i>	24%	48%	15%	13%	<i>Syrah II</i>	0	2	0	0
<i>Montepulciano</i>	23%	20%	56%	1%	<i>Montepulciano</i>	0	0	2	0
<i>Tannat</i>	13%	30%	2%	55%	<i>Tannat</i>	0	0	0	1
Overall Classification Accuracy	59%				Overall Classification Accuracy	85%			

Αποτελέσματα Διαχωρισμού στην Pleiades -1B του Αμυνταίου (on multi image - 2m)									
<i>Pixel-level (%)</i>					<i>Plot-level (# of plots)</i>				
Classified as					Classified as				
Ground Truth	<i>Syrah I</i>	<i>Syrah II</i>	<i>Montepulciano</i>	<i>Tannat</i>	Ground Truth	<i>Syrah I</i>	<i>Syrah II</i>	<i>Montepulciano</i>	<i>Tannat</i>
<i>Syrah I</i>	56%	18%	20%	6%	<i>Syrah I</i>	2	0	0	0
<i>Syrah II</i>	21%	47%	13%	19%	<i>Syrah II</i>	0	2	0	0
<i>Montepulciano</i>	20%	17%	62%	2%	<i>Montepulciano</i>	0	0	2	0
<i>Tannat</i>	10%	16%	4%	70%	<i>Tannat</i>	0	0	0	1
Overall Classification Accuracy	65%				Overall Classification Accuracy	100%			

Πίνακας 5.15 – Οι πίνακες συσχέτισης (σε επίπεδο εικονοστοιχείου και επίπεδο αμπελοτεμαχίου) για την ταξινόμηση διαχωρισμού ανάμεσα σε τέσσερις διαφορετικές ποικιλίες-κλώνους, στη συγχωνευμένη (γραμμές φύτευσης) και στην πολυφασματική εικόνα Pleiades -1B του Αμυνταίου

5.3.4 Ανάλυση αναμειξεων και φασματικής συμπεριφοράς των ποικιλιών

Η μελέτη των αναμειξεων, κυρίως σε επίπεδο εικονοστοιχείου, που προέκυψαν κατά το διαχωρισμό των διαφορετικών ποικιλιών, ειδικά εκείνων που συναντώνται σε παραπάνω από μία περιοχή μελέτης, εξάγει ορισμένα συμπεράσματα για τη φασματική συμπεριφορά των ποικιλιών-κλώνων που μελετήθηκαν στις περιοχές μελέτης. Από αυτές, η φασματική συμπεριφορά της ποικιλίας *Merlot* ξεχώρισε καθώς στην πλειονότητα των ταξινομήσεων που συμμετείχε (σε τρεις περιοχές μελέτης), κατάφερε να εντοπιστεί με ορισμένα από τα υψηλότερα ποσοστά πληρότητας. Επίσης, η ποικιλία *Sauvignon Blanc* εντοπίστηκε με πολύ υψηλά ποσοστά πληρότητας (72%-87%) στην Τράπεζα, ενώ με χαμηλότερα στο Μεγαπλάτανο (36%-57%). Αξιοσημείωτο είναι ότι οι δύο διαφορετικοί κλώνοι για το *Syrah* και για το *Sauvignon Blanc* στην Τράπεζα παρουσίασαν πολύ χαμηλά ποσοστά αναμειξεων. Αντίθετα οι δύο κλώνοι *Syrah* στις ταξινομήσεις και των δύο εικόνων του Αμυνταίου παρουσίασαν αναμειξεις (18%-36%). Η ποικιλία *Syrah* γενικότερα σε όλες τις ταξινομήσεις κατάφερε να κρατήσει μια μέση απόδοση στην πληρότητα, χωρίς να εντοπίζεται με πολύ υψηλά ή πολύ χαμηλά ποσοστά. Στο Σχήμα 5.17 παρουσιάζονται οι Μέσοι Όροι πληρότητας εντοπισμού από όλες τις ταξινομήσεις που συμμετείχαν για τις τέσσερις πιο συχνά χρησιμοποιημένες στις ταξινομήσεις ποικιλίες (οι κλώνοι έχουν ενσωματωθεί). Το *Merlot* όπως επισημάνθηκε και παραπάνω επιτυγχάνει ένα υψηλό Μ.Ο. πληρότητας εντοπισμού ίσο με 70% για τις ταξινομήσεις στις γραμμές φύτευσης και ίσο με 73% για αυτές στην πολυφασματική εικόνα. Ακολουθεί το *Sauvignon Blanc* που και στους δύο τύπους διαχωρισμού καταφέρνει ένα Μ.Ο. ίσο με 67% και μετέπειτα το *Syrah* με 53% και 57%, στις γραμμές φύτευσης και στις πολυφασματικές εικόνες αντίστοιχα. Η ποικιλία *Cabernet Sauvignon* εντοπίστηκε κατά μέσο όρο με πάνω από 10% χαμηλότερα ποσοστά πληρότητας στις γραμμές φύτευσης (45%) σε σχέση με τις ταξινομήσεις στις πολυφασματικές εικόνες (58%).



Σχήμα 5.17 – Οι μέσοι όροι πληρότητας εντοπισμού για τις τέσσερις πιο συχνά χρησιμοποιημένες στις ταξινομήσεις ποικιλίες.

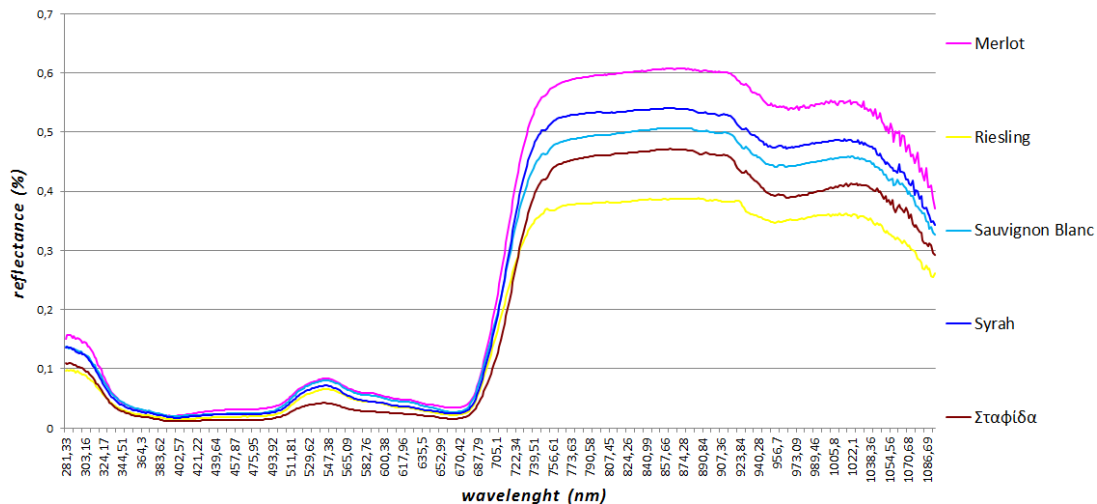
Οι παρατηρήσεις σχετικά με τη φασματική συμπεριφορά και τις ιδιότητες των ποικιλιών-κλώνων από τις ταξινομήσεις στις δορυφορικές εικόνες συγκρίθηκαν επιπρόσθετα και με τα δεδομένα ανακλώμενης ακτινοβολίας (*reflectance*) που προέκυψαν με τη χρήση του φασματοραδιομέτρου χειρός από μετρήσεις στη φυλλική επιφάνεια (*canopy*) των μελετώμενων ποικιλιών (στη συγκεκριμένη ανάλυση δεν υπήρχε διαχωρισμός σε κλώνους) σε κάθε περιοχή μελέτης [Οικονόμου, 2014].

Στο Σχήμα 5.18 παρατηρούμε ότι οι φασματικές υπογραφές των ποικιλιών που μελετήθηκαν σε όλες τις περιοχές παρουσιάζουν ευδιάκριτες διαφορές στις τιμές ανακλαστικότητας, ιδιαίτερα μετά τα 750nm, στο ξεκίνημα δηλαδή του Εγγύς Υπέρουθρου. Για την περιοχή της Τράπεζας η ποικιλία *Merlot* παρουσίασε τις υψηλότερες τιμές ανακλαστικότητας απέχοντας αρκετά από τις τιμές των υπολοίπων, ειδικά στην περιοχή του φάσματος μετά τα 750nm. Ταυτόχρονα, η ποικιλία αυτή πέτυχε υψηλά ποσοστά εντοπισμού και χαμηλά ποσοστά αναμείξεων. Οι ποικιλίες *Syrah*, *Sauvignon Blanc* και Σταφίδα παρουσιάζουν μια σχετική εγγύτητα, αλλά παραμένουν διαχωρίσιμες βάσει των τιμών ανακλαστικότητας. Στην ταξινόμηση ένας κλώνος του *Syrah* παρουσίασε σημαντικά ποσοστά αναμείξεων με το *Riesling* που όπως βλέπουμε στο διάγραμμα παίρνει τις χαμηλότερες τιμές μετά το Εγγύς Υπέρουθρο. Σε μεγάλα τμήματα του φάσματος όμως πριν τα 700nm οι τιμές για το *Riesling* και το *Syrah* βρίσκονται σε μεγάλη εγγύτητα.

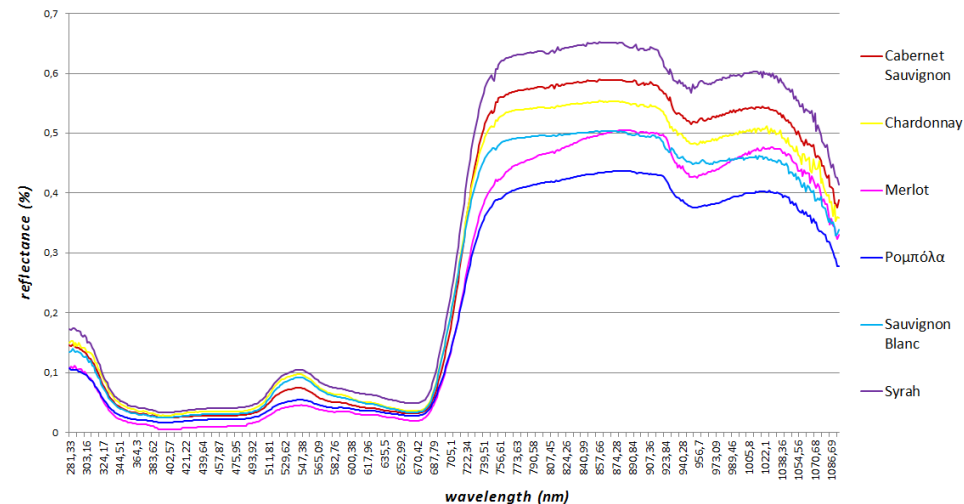
Στο Μεγαπλάτανο παρατηρούμε ότι η ποικιλία *Syrah* παρουσίασε τις υψηλότερες τιμές ανακλαστικότητας. Αντίθετα ειδικά στην περιοχή του φάσματος μετά τα 750nm η ποικιλία Ρομπόλα πήρε τις χαμηλότερες τιμές από όλες τις υπόλοιπες. Παρ'όλα αυτά ο ταξινομητής δεν κατάφερε να αξιοποιήσει αυτή τη διαφοροποίηση που παρατηρείται στα επίγεια δεδομένα και η ποικιλία Ρομπόλα ήταν απ αυτές που εντοπίστηκαν με τα χαμηλότερα ποσοστά πληρότητας. Οι ποικιλίες *Sauvignon Blanc*, *Cabernet Sauvignon* και *Chardonnay*, παρουσιάζουν εγγύτητα στις τιμές και επίσης παρουσίασαν αναμειξεις μεταξύ τους και στις ταξινομήσεις. Η ποικιλία *Merlot* ήταν εκείνη που απεδείχθη σημαντικά διαχωρίσιμη στις διαδικασίες ταξινόμησης και παράλληλα στο διάγραμμα του σχήματος 5.17 παρατηρείται ότι ενώ οι άλλες πέντε ποικιλίες ακολουθούν κοινό μοτίβο στην πορεία της καμπύλης τους, η καμπύλη του *Merlot* διαφοροποιείται σε ορισμένα τμήματα (380-500nm και 800-1000nm).

Στη Νάουσα υπήρχαν διαθέσιμα επίγεια υπερφασματικά δεδομένα για τις ποικιλίες *Cabernet Sauvignon*, Ξινόμαυρο και *Merlot*. Στο Σχήμα 5.18 παρατηρείται ότι η ποικιλία *Cabernet Sauvignon* παρουσίασε τις υψηλότερες τιμές ανακλαστικότητας. Οι ταξινομήσεις σε αυτή την περιοχή παρουσίασαν υψηλά ποσοστά αναμείξεων για όλες τις ποικιλίες. Με μεγαλύτερα ποσοστά πληρότητας εντοπίστηκε η ποικιλία *Merlot* που όμως στο διάγραμμα παρουσιάζει σημαντικά συσχετισμένες τιμές ανακλαστικότητας με το Ξινόμαυρο. Επιπρόσθετα στις ταξινομήσεις και των δύο εικόνων του Αμυνταίου παρατηρήθηκαν αναμειξεις ανάμεσα σε κλώνους του *Syrah* με το *Tannat* και το *Montepulciano*, ενώ οι δύο τελευταίες ποικιλίες είχαν μόνο πολύ χαμηλά ποσοστά αναμείξεων μεταξύ τους. Στο Σχήμα 5.18 επιβεβαιώνεται ότι το *Syrah* παίρνει ενδιάμεσες τιμές ανάμεσα στις σχετικώς απομακρυσμένες υπογραφές του *Montepulciano* και του *Tannat*. Ειδικότερα στο διάστημα 281-730nm η φασματική υπογραφή του *Syrah* παρουσιάζει μεγάλη εγγύτητα με του *Montepulciano*.

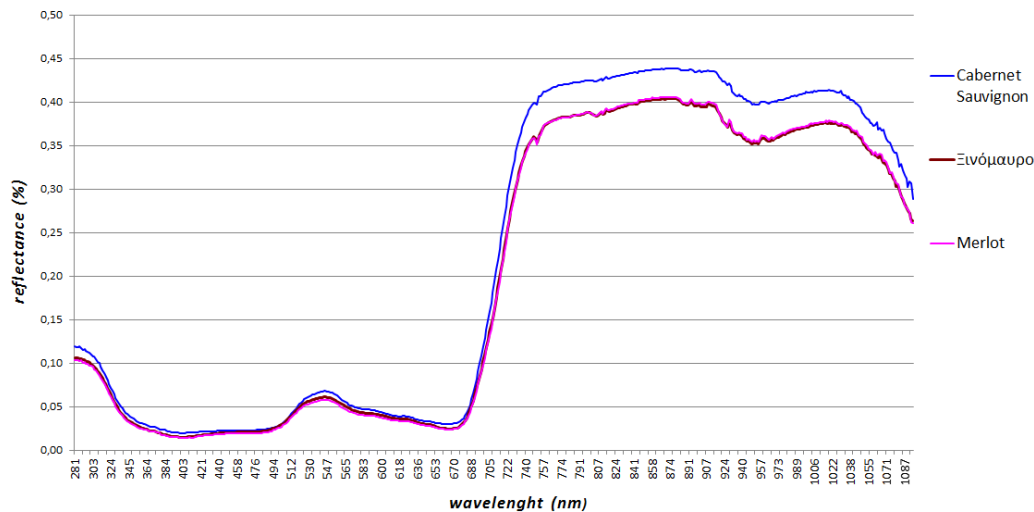
Διάγραμμα Ανακλαστικότητα ποικιλιών στην Τράπεζα



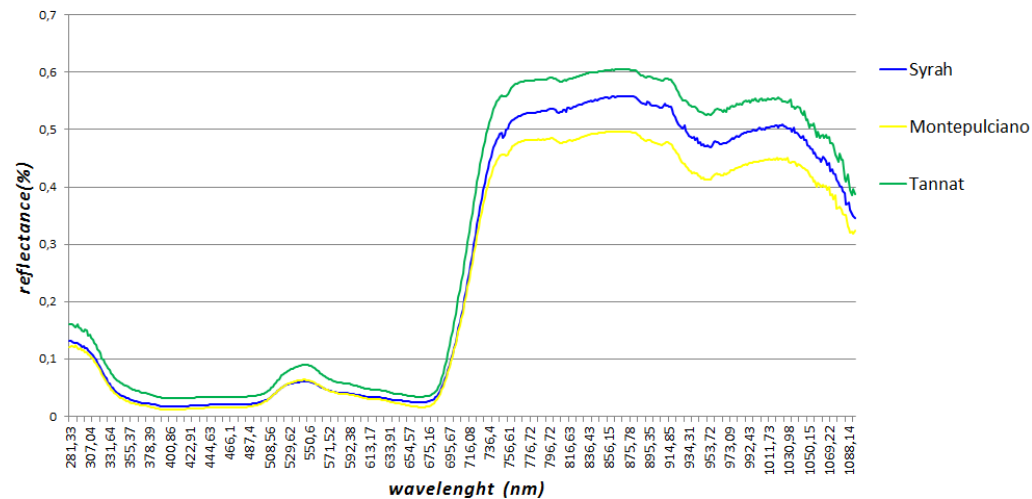
Διάγραμμα Ανακλαστικότητα ποικιλιών στο Μεγαπλάτανο



Διάγραμμα Ανακλαστικότητα ποικιλιών στην Νάουσα



Διάγραμμα Ανακλαστικότητα ποικιλιών στο Αμύνταιο



Σχήμα 5.18 – Διαγράμματα ανακλαστικότητα από τα δεδομένα του φασματοραδιομέτρου χειρός για τις μελετώμενες ποικιλίες σε κάθε περιοχή.

6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Με βάση την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων προκύπτει ότι οι στόχοι που τέθηκαν αρχικά (παρ. 1.2) εκπληρώθηκαν σε σημαντικό βαθμό. Πιο συγκεκριμένα αναπτύχθηκε και αξιολογήθηκε με υψηλά επίπεδα ακρίβειας ένα πλαίσιο αντικειμενοστραφών ταξινομήσεων για τον εντοπισμό αμπελοτεμαχίων, την εξαγωγή των γραμμών φύτευσης και το διαχωρισμό ποικιλιών αμπέλου σε δορυφορικά δεδομένα δύο διαφορετικών δορυφορικών δεκτών (*WorldView-2* και *Pleiades-1B*).

Για το πρώτο σκέλος της μεθοδολογίας αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε σε πέντε πολυφασματικές συγχωνευμένες εικόνες ένα κοινό σχήμα αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης, με υψηλό βαθμό τυποποίησης, με στόχο τον **εντοπισμό τεμαχίων αμπελοκαλλιέργειών**. Η αντικειμενοστραφής ανάλυση εικόνας, απεδείχθη ιδιαίτερα αποτελεσματική για την ανάπτυξη της μεθοδολογίας καθώς χρησιμοποίησε εκτός από φασματικά, και χαρακτηριστικά υψής των αντικείμενων, γνωρίσματα που εξορισμού δεν υφίστανται στην ανάλυση που βασίζεται στα εικονοστοιχεία. Ειδικότερα τα χαρακτηριστικά υψής αξιοποίησαν το γραμμικό πρότυπο των αμπελοκαλλιεργειών που ήταν ανιχνεύσιμο στις συγχωνευμένες (0.5m χωρική ανάλυση) εικόνες. Επιπρόσθετα, η προσέγγιση της μεθοδολογίας με τη χρήση μιας κοινής ομάδας κανόνων παραγωγής απεδείχθη κατάλληλη για εφαρμογή και αποδοτική στην ταξινόμηση όλων των εικόνων. Επιπρόσθετα, η παραμετροποίηση των χαρακτηριστικών στις διαφορετικές ταξινομήσεις παρουσίασε σε αρκετές περιπτώσεις εγγύτητα στα εύρη τιμών. Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων υλοποιήθηκε με χρήση δεδομένων ελέγχου που περιλάμβαναν το 100% των αμπελοτεμαχίων σε κάθε εικόνα. Η ανεπτυγμένη μεθοδολογία για τον εντοπισμό αμπελοτεμαχίων στις ατμοσφαιρικά διορθωμένες *pan-sharpened* εικόνες οδήγησε σε αποτελέσματα που αξιολογήθηκαν με υψηλά ποσοστά πληρότητας (>89%), ορθότητας (>88%) και ποιότητας (>80%). Δεν παρουσιάστηκε κάποια αξιοσημείωτη διαφορά στους δείκτες ποιότητας για τις εικόνες του Αμυνταίου των δύο διαφορετικών δορυφόρων, γεγονός που θα μπορούσε να υποδηλώνει ότι τα τέσσερα επιπλέον φασματικά κανάλια του *WorldView-2*, έναντι των *Pleiades-1B*, στην ίδια χωρική ανάλυση, δεν είχαν κάποια σημαντική συνεισφορά στην αποτελεσματικότητα της μεθοδολογίας.

Για το δεύτερο σκέλος της μεθοδολογίας, δηλαδή τον **εντοπισμό των γραμμών φύτευσης** στα εντοπισμένα αμπελοτεμάχια και το διαχωρισμό τους από τα ενδιάμεσα υλικά, αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε μια μεθοδολογία αντικειμενοστραφούς επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Η ταξινόμηση κάθε εικόνας βασίστηκε στον αλγόριθμο του Εγγύτερου Γείτονα και, στην εκάστοτε περίπτωση, στον καταλληλότερο συνδυασμό μιας ομάδας φασματικών χαρακτηριστικών. Καθοριστική σημασία στην αποτελεσματικότητα της μεθοδολογίας έπαιξε η

δυνατότητα που προσέφερε η αντικειμενοστραφής ανάλυση εικόνας να αξιοποιηθούν τα χαρακτηριστικά της κατηγορίας “*To neighbors*”, που ουσιαστικά περιγράφουν τη φασματική σχέση ενός αντικειμένου με τα γειτονικά του αντικείμενα, με όρους τιμών φωτεινότητας των καναλιών. Αυτά τα χαρακτηριστικά ουσιαστικά εντόπισαν και ανέδειξαν για το διαχωρισμό, τις φασματικές διαφορές στην επαναλαμβανόμενη εναλλαγή μεταξύ γραμμών φύτευσης αμπελιών και γραμμών χώματος. Η αποτελεσματικότητα της εφαρμογής της μεθοδολογίας ελέγχθηκε με δειγματοληπτικό έλεγχο και για τις δύο κατηγορίες. Στους πίνακες σύγχυσης που προέκυψαν οι μετρικές *Producer*, *User* και *Overall Accuracy* πήραν τιμές άνω του 96%, επιβεβαιώνοντας την αποτελεσματικότητα των ταξινομήσεων.

Το τρίτο σκέλος της προτεινόμενης μεθοδολογίας, δηλαδή ο **διαχωρισμός ποικιλιών αμπέλου** μέσω αντικειμενοστραφούς επιβλεπόμενης ταξινόμησης αποτέλεσε τον πολυπλοκότερο στόχο για τη συγκεκριμένη εργασία, δεδομένης της ομοιότητας στη φασματική συμπεριφορά διαφορετικών ποικιλιών του ίδιου είδους φυτού. Στο γενικότερο πλαίσιο των διεθνών προσεγγίσεων πάνω στο ζήτημα του διαχωρισμού ποικιλιών αμπέλου με τηλεπισκοπικές μεθόδους, αποτέλεσε καινοτόμο εγχείρημα, καθώς χρησιμοποιήθηκαν πολυφασματικά δορυφορικά δεδομένα και επίσης επιχειρήθηκαν ταξινομήσεις ανάμεσα σε μεγάλο πλήθος ποικιλιών-κλώνων, έναντι των υπερφασματικών εναέριων δεδομένων που έχουν χρησιμοποιηθεί για το διαχωρισμό ποικιλιών, συνήθως ανά δύο (2), σε ανάλογες ερευνητικές εργασίες [Lacar et al.,2001; Ferreiro-Armán et al.,2006; Ferreiro-Armán et al.,2007].

Τη δυσκολία του εγχειρήματος επέδειξαν τα ποσοστά Ο.Α. σε επίπεδο εικονοστοιχείου που δεν ξεπέρασαν το 75% (Τράπεζα *WV2* - 4 ποικιλίες). Στις περισσότερες περιπτώσεις (πλην του Αμυνταίου) όσο αυξανόταν ο αριθμός των ποικιλιών τα ποσοστά Ο.Α. έπαιρναν χαμηλότερες τιμές. Όπως και στο πρώτο στάδιο της μεθοδολογίας δεν παρουσιάστηκε κάποια αξιοσημείωτη διαφορά στα ποσοστά ακρίβειας για τις εικόνες του Αμυνταίου των δύο διαφορετικών δορυφόρων, γεγονός που θα μπορούσε να υποδηλώνει ότι τα περισσότερα φασματικά κανάλια του *WorldView-2*, δεν είχαν ούτε σε αυτό το βήμα κάποια σημαντική συνεισφορά στην αποτελεσματικότητα της μεθοδολογίας. Επιπρόσθετη παρατήρηση από το σύνολο των ταξινομήσεων που διενεργήθηκαν, συμπεριλαμβανομένων και των ταξινομήσεων ελέγχου στις πολυφασματικές εικόνες, ήταν ότι η ποσοτική αξιολόγηση σε επίπεδο εικονοστοιχείου πέτυχε υψηλότερα ποσοστά ακρίβειας στις πολυφασματικές εικόνες, για την πλειονότητα των ταξινομήσεων. Το αποτέλεσμα αυτό αποδίδεται εν μέρει στη διαδικασία συγχώνευσης του *pan-sharpening*, που παραμορφώνει σε κάποιο βαθμό τη φασματική πληροφορία της αρχικής εικόνας. Επιπρόσθετα, για δυο εικόνες *WV2* (Μεγαπλάτανος, Αμύνταιο) ένα επιπλέον στοιχείο συσχέτιστηκε με την χαμηλότερη απόδοση της μεθοδολογίας στα *pan-sharpened* δεδομένα. Η παγχρωματική εικόνα, και για τις δύο περιοχές, παρουσίαζε κάποιες διαγραμματισμένες περιοχές με αλλοιωμένες τιμές φωτεινότητας στα εικονοστοιχεία, εξαιτίας προβλήματος κατά την καταγραφή. Το πρόβλημα αυτό μεταφέρθηκε και στη συγχωνευμένη εικόνα.

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων στο γενικευμένο επίπεδο του αμπελοτεμαχίου, που θεωρείται πιο αντιπροσωπευτική της πραγματικής κατάστασης, εξάλειψε σε μεγάλο ποσοστό τις αναμειξεις του *pixel level* μεταξύ των ποικιλιών και έτσι τα περισσότερα αμπελοτεμάχια ταξινομήθηκαν στη σωστή ποικιλία καλλιέργειας. Τα

ποσοτικά αποτελέσματα για όλες τις ταξινομήσεις πήραν τιμές Ο.Α. άνω του 83%, με ένα γενικό Μ.Ο. ίσο με 96%. Είναι επίσης αξιοσημείωτο ότι σε αυτό το επίπεδο αξιολόγησης τα αποτελέσματα της εκάστοτε ταξινόμησης, στις γραμμές φύτευσης και στις πολυφασματικές εικόνες, παρουσίασαν παραπλήσιες τιμές. Με βάση τα αποτελέσματα που παρήχθησαν στο πλαίσιο αυτής της εργασίας, κρίνεται επιτυχημένο και το τελευταίο στάδιο της προτεινόμενης μεθοδολογίας.

Εκτός όμως από τα ποσοτικά αποτελέσματα αξιολόγησης της μεθοδολογίας για το διαχωρισμό ποικιλιών αμπέλου, από τη μελέτη των αποτελεσμάτων προκύπτουν και ορισμένα συμπεράσματα για τις φασματικές ιδιότητες των ποικιλιών-κλώνων που συμμετείχαν στις ταξινομήσεις. Η ποικιλία *Merlot* ήταν αυτή που ξεχώρισε παρουσιάζοντας ιδιαίτερη φασματική συμπεριφορά στην πλειονότητα των ταξινομήσεων που συμμετείχε. Οι ποικιλίες *Syrah* και *Sauvignon Blanc* κατάφεραν επίσης τις περισσότερες φορές να εντοπιστούν με σχετικώς υψηλά ποσοστά πληρότητας, ενώ αντίθετα ποικιλίες όπως η Ρομπόλα, το *Riesling* και το *Cabernet Sauvignon* παρουσίασαν περισσότερες αναμείξεις και αντίστοιχα χαμηλότερα ποσοστά πληρότητας. Οι παρατηρήσεις αυτές συσχετίστηκαν επιπρόσθετα με τα δεδομένα ανακλώμενης ακτινοβολίας (*reflectance*) που προέκυψαν με τη χρήση του φασματοραδιομέτρου χειρός από μετρήσεις στη φυλλική επιφάνεια (*canopy*) των μελετώμενων ποικιλιών. Σε πολλές περιπτώσεις, τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από τις αναμείξεις και τα ποσοστά πληρότητας των ταξινομήσεων επιβεβαιώθηκαν και από τη μελέτη των διαγραμμάτων ανακλαστικότητας των επίγειων δεδομένων.

Ακολουθούν ορισμένες προτάσεις που θα μπορούσαν να αφορούν τη βελτίωση ή/και επέκταση της παρούσας εργασίας:

- Εφαρμογή και αξιολόγηση του συγκεκριμένου σχήματος μεθοδολογίας σε μεγαλύτερο πλήθος δεδομένων από ποικίλους δέκτες.
- Μελέτη και εφαρμογή διαφορετικών προσεγγίσεων, μεθοδολογιών και λογισμικών για τις αρχικές ατμοσφαιρικές διορθώσεις των δορυφορικών εικόνων.
- Εκτενής ανάλυση της παραμετροποίησης των κανόνων παραγωγής του εντοπισμού αμπελοτεμαχίων στο πλαίσιο ανάλυσης ευαισθησίας (*sensitivity analysis*), προκειμένου να καταδειχθεί η βαρύτητα κάθε χαρακτηριστικού γνωρίσματος αλλά και να καθοριστεί ένα εύρος διακύμανσης τιμών για το κάθε χαρακτηριστικό (ενδεχομένως ανά δορυφορικό δέκτη), που συνδέεται με τον εντοπισμό των αμπελοτεμαχίων
- Μελέτη και εφαρμογή πιο εξελιγμένων αλγορίθμων για τις επιβλεπόμενες ταξινομήσεις (όπως *Support Vector Machines*, *Random forest*, *Neural networks*)
- Εκτενέστερη μελέτη της φασματικής συμπεριφοράς κάθε ποικιλίας κλώνου (ενδεχομένως ανά δορυφορικό δέκτη) με στόχο τη δημιουργία βιβλιοθηκών φασματικών υπογραφών που θα εισάγονται ως γνώση στο σύστημα που διενεργούνται οι ταξινομήσεις.

- Συνδυασμός ενός σχήματος ταξινόμησης σαν το προτεινόμενο με άλλες τεχνικές αμπελουργίας ακριβείας, όπως η παραγωγή χαρτών τηλεπισκοπικών δεικτών και η στατιστική ανάλυση υπερφασματικών δεδομένων, με στόχο τη δημιουργία ενός εργαλείου γεωπληροφορικής που θα διαχειρίζεται κατάλληλα την παρακολούθηση των καλλιεργειών αμπέλου.
- Σε γενικότερο πλαίσιο, η τακτική συνεργασία με τους "ειδικούς" του αμπελιού, δηλαδή το γεωπόνο, οινολόγο, αμπελουργό, οινοποιό, με στόχο τη σύνδεση και φυσική/βιολογική ερμηνεία των αποτελεσμάτων και τον επαναπροσδιορισμό των στόχων και αναγκών του μελετώμενου ζητήματος.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Διεθνής Βιβλιογραφία

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. Arkun, S.A., Dunk, I.J., Ranson, S.M., 2001. **Hyperspectral remote sensing for vineyard management**, *Proceeding of the Symposium on Precision Agriculture Research in Australasia*.
3. Avci, U.Z.D., Karaman, M., Ozelkan, E., Kumral, M., Budakoglu, M., 2014. **OBIA based hierarchical image classification for industrial lake water**. *Science of the Total Environment*, vol. 487, pp. 565-573.
4. Baatz, M., Schape, A., 1999. **Object- Oriented and Multi-Scale Image Analysis in Semantic Networks**, *Proceedings of 2nd International Symposium: Operationalization of Remote Sensing, ITC, Netherlands*.
5. Benz, U.C., Hofmann, P., Willhauck, G., Lingenfelder, I., Heynen, M., 2004. **Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information**, *Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, vol. 58, pp. 239 – 258.
6. Blaschke, T., 2010. **Object based image analysis for remote sensing**, *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 65, pp. 2-16.
7. Blaschke, T., Lang, S., Hay, G.J., 2008. **Object-Based Image Analysis: Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications**, 834 p.
8. Bramley, R. G. V. , 2003. **Smarter thinking on soils survey**, *Australian and New Zealand Wine Industry Journal*, vol. 18, pp. 88–94.
9. Bramley, R. G. V., & Proffitt, A. P. B., 1999. **Managing variability in viticultural production**, *Australian and New Zealand Grapegrower and Winemaker*, vol. 427, pp. 11–16.
10. Bramley, R. G. V., Trought, M. C. T., & Praat, J. P., 2011. **Vineyard variability in Marlborough, New Zealand: Characterizing variation**, *Australian Journal of Grape and Wine Research*, vol. 17, pp. 72–78.
11. Bramley, R., Hamilton, R., 2004. **Understanding variability in winegrape production systems**. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, vol. 10, pp. 32–45.
12. Bramley, R.G.V., 2010. **Precision Viticulture: managing vineyard variability for improved quality outcomes**, *Managing wine quality : Viticulture and wine quality (ISBN)*, vol. 1, pp. 445-480.
13. Bramley, R.G.V., Ouzman, J., Boss, P.K., 2011. **Variation in vine vigour, grape yield and vineyard soils and topography as indicators of variation in the chemical composition of grapes, wine and wine sensory attributes**, *Australian Journal of Grape and Wine Research*, vol. 17, Issue 2, pp. 217–229.
14. Clarke, O., Rand, M., 2010. **Grapes Wines: A Comprehensive Guide to Varieties and Flavours**. *Sterling Epicure, New York, USA*.
15. Clavijo, A., Calderón, I., Paneque, P., 2010. **Diversity of saccharomyces and non-saccharomyces yeasts in three red grape varieties cultured in the serrania de ronda (Spain) vine-growing region**. *International Journal of Food Microbiology*, vol. 143 (3), pp. 241–245.
16. Comba, L., Gay, P., Primicerio, J., Aimonino, D. R., 2015. **Vineyard detection from unmanned aerial systems images**. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol.114, pp.78 – 87.

17. Comba, L., Gay, P., Primiciero, J., Aimonino, D.R., 2015. **Vineyard detection from unmanned aerial systems images**, *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 114, pp.78–87.
18. Conrad, C., Dech, S., Dubovyk, O., Fritsch, S., Klein, D., Löw, F., Schorchtd, G., Zeidlerb, J., 2014. **Derivation of temporal windows for accurate crop discrimination in heterogeneous croplands of uzbekistan using multitemporal rapideye images**. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol.103, pp. 63–74.
19. Cruz- Ramírez, M., Hervás-Martinez, C., Jurado-Expósito, M., López- Granados, F., 2012. **A multi-objective neural network based method for cover crop identification from remote sensed data**. *Expert Systems with Applications*, vol. 39 (11), pp. 10038–10048.
20. de Castilho Bertani, T., de Fátima Rossetti, D., Albuquerque, P.C.G., 2013. **Object-based classification of vegetation and terrain topography in Southwestern Amazonia (Brazil) as a tool for detecting ancient fluvial geomorphic features**. *Computers & Geosciences*, vol. 60, pp. 41-50.
21. Delenne, C., Durrieu, S., Rabatel, G., Deshayes, M., 2010. **From pixel to vine parcel: A complete methodology for vineyard delineation and characterization using remote-sensing data**, *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 70, pp. 78–83.
22. Diago, P., Fernandes, A., Millan, B., Tardaguila, J., Melo-Pinto, P., 2013. **Identification of grapevine varieties using leaf spectroscopy and partial least squares**. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 99, pp. 7-13.
23. Doucette, P., P. Agouris, and A. Stefanidis, 2004. **Automation and digital photogrammetric workstations**, *Manual of Photogrammetry, Fifth edition (C. McGlone, editor)*, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, pp. 949–981.
24. Duda, R., Hart, P., Stork, D., 2000. **Pattern Classification (Second Edition)**, Wiley, New York .
25. Dupuya, S., Lainéa, G., Tassin, J., Sarrailh, J.M., 2013. **Characterization of the horizontal structure of the tropical forest canopy using object-based LiDAR and multispectral image analysis**. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 25, pp. 76-86.
26. Ehler, M., Klonus, S., Astrand, P.J., Rosso, P., 2010. **Multi-sensor for pansharpning in remote sensing**. *Int. J. Image Data Fusion* 1 (1), pp. 25–45.
27. **ERDAS IMAGINE Help Guide**, 2011.
28. Ferreiro-Armán, M., Alba-Castro, J. L., Homayouni, S., Da Costa, J. P., Martín-Herrero, J., 2007. **Vine variety discrimination with airborne imaging spectroscopy**, *Proc. SPIE Remote Sensing and Modeling of Ecosystems for Sustainability IV*, vol. 667909.
29. Ferreiro-Armán, M., Da Costa, J. P., Homayouni, S., Martín -Herrero, J. , 2006. **Hyperspectral image analysis for precision viticulture**, *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 4142, pp. 730-741.
30. Figueiredo-González, M., Martínez-Carballo, E., Cancho-Grande, B., Santiago, J.L., Martínez, M.C., Simal-Gándara J., 2012. **Pattern recognition of three Vitis vinifera L. red grapes varieties based on anthocyanin and flavonol profiles, with correlations between their biosynthesis pathways**, *Food Chemistry*, vol. 130, pp. 9–19.
31. 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.
32. Fisher, R. A., 1936. **The use of multiple measures in taxonomic problems**, *Annals of Eugenics* , vol. 7, pp. 179–188.

33. Fix, E., Hodges, J. L., 1951. **Discriminatory analysis, non-parametric discrimination**, *Tech. Rep. 4, USAF School of Aviation Medicine, Randolph Field, Texas*.
34. Fridgen, J. J., Kitchen, N. R., Sudduth, K. A., Drummond, S. T., Wiebold, W. J., & Fraisse, C. W., 2004. **Management zone analyst (MZA): Software for subfield management zone delineation**, *Agronomy Journal*, vol. 96, pp. 100–108.
35. Galet, P., 1979. **A practical ampelography: grapevine identification**. Comstock Publishing (Cornell University Press), Ithaca, USA.
36. Hall, A., Lamb, D. W., Holzappel, 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.
37. 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.
38. 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.
39. Hansen, P. M., & Schjoerring, J. K., 2003. **Reflectance measurement of canopy biomass and nitrogen status in wheat crops using normalized difference vegetation indices and partial least squares regression**, *Remote Sensing Environment*, vol. 86, pp. 542–553.
40. Johnson, L. F., Pierce, L., DeMartino, J., Youkhana, S., Nemani, R., Bosch, D., 2003. **Image-Based Decision Tools for Vineyard Management**, *ASAE Annual International Meeting*.
41. 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*, vol. 38, pp. 33–44.
42. Justice, C., Becker-Reshef, I., 2007. **Report from the workshop on developing a strategy for global agricultural monitoring in the framework of group on earth observations (GEO)**. In: *Proceedings of SPIE Remote Sensing and Modeling of Ecosystems for Sustainability IV. UN FAO*.
43. Karakizi C., Karantzalos K., Kandylikis Z., Makris G., Georgopoulos A., 2013. **VINEYARD DETECTION and VINE VARIETY DISCRIMINATION from high resolution SATELLITE DATA**, *9th European Conference on Precision Agriculture*, Lleida, Spain.
44. Karakizi, C. & Karantzalos, K., 2015. **DETECTING AND CLASSIFYING VINE VARIETIES FROM VERY HIGH RESOLUTION MULTISPECTRAL DATA**, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Society, the International Geoscience and Remote Sensing Symposium 2015 (IGARSS 2015)*, Milan, Italy.
45. Karantzalos, K., Argialas, D., 2009. **A Region-based Level Set Segmentation for Automatic Detection of Man-made Objects from Aerial and Satellite Images**, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 75, No. 6, pp. 667–677.
46. Karantzalos, K., Paragios, N., 2010. **Large-Scale Building Reconstruction Through Information Fusion and 3-D Priors**, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote*, vol. 48, No. 5, pp. 2283–2296.
47. 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.
48. Kitchen, N. R., Sudduth, K. A., Myers, D. B., Drummond, S. T., & Hong, S. Y., 2005. **Delineating productivity zones on claypan soil fields apparent soil electrical conductivity**, *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 46, pp. 285–308.
49. Kohonen, T., 1997. **Self-organizing Maps**, *Springer-Verlag*.

50. 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).
51. 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.
52. Lacar, F.M., Lewis, M. M., Grierson, I.T., 2001. **Use of hyperspectral imagery for mapping grape varieties in the Barossa Valley, South Australia**, *Proceedings of the Int. Geoscience and Remote Sensing Symposium, Sydney, Australia*, vol. 6, pp. 2875 - 2877.
53. Lamb, D. W., Weedon, M. M., & Bramley, R. G. V., 2004. **Using remote sensing to predict 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*, vol. 10, pp. 46–54.
54. Lamb, D.W., 2000. **The use of qualitative airborne multispectral imaging for managing agricultural crops – a case study in south-eastern Australia**, *Australian Journal of Experimental Agriculture*, vol. 40, pp. 725-38.
55. 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.
56. Löw, F., Michel, U., Dech, S., Conrad, C., 2013. **Impact of feature selection on the accuracy and spatial uncertainty of per-field crop classification using support vector machines**. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 85, pp.102–119.
57. 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*, vol. 114, Issue 9, pp. 1968–1986.
58. Mekkaia, Z., Mesbahi, L., Lakehal, M., 2002. **Initializing of RBF centers by SOM algorithms**, *MS'2002 Int. Conf. on Modelling and Simulation in Technical and Social Sciences, Girona, Spain*, pp. 713–723.
59. Molin, J. P., & Castro, C. N., 2008. **Establishing management zones using soil electrical conductivity and other soil properties by the fuzzy clustering technique**, *Scientia Agricola*, vol. 65(6), pp. 567–573.
60. Moral, F. J., Terron, J. M., & Marques da Silva, J. R., 2010. **Delineation of management zones using mobile measurements of soil apparent electrical conductivity and multivariate geostatistical techniques**, *Soil and Tillage Research*, vol. 106(2), pp. 335–343..
61. Padwick, C., Deskevich, M., Pacifici, F., & Smallwood, S., 2010. **WorldView 2 pan-sharpening**, *ASPRS 2010, Annual Conference*. San Diego, California.
62. Pedroso, M., Taylor, J., Tisseyre, B., Charnomordic, B., Guillaume, S., 2010. **A segmentation algorithm for the delineation of agricultural management zones**. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 70 (1), pp. 199–208.
63. Pena-Barragán, J. M., Ngugi, M. K., Plant, R. E., Six, J., 2011. **Object-based crop identification using multiple vegetation indices, textural features and crop phenology**. *Remote Sensing of Environment*, vol. 115, pp. 1301–1316.
64. Pérez-Lamela, C., García-Falcón, M.S., Simal-Gándara, J., Orriols-Fernández, I., 2007. **Influence of grape variety, vine system and enological treatments on the colour stability of young red wines**. *Food Chemistry*, vol. 101 (2), pp. 601–606.
65. Pu, P., Landry, S., & Yu, Q., 2011. **Object-based urban detailed land cover classification with high spatial resolution IKONOS imagery**, *International Journal of Remote Sensing*, vol. 32(12), pp. 3285–3308.

66. Pu, R., Landry, S., 2012. **A comparative analysis of high spatial resolution IKONOS and WorldView-2 imagery for mapping urban tree species**, *Remote Sensing of Environment*, vol. 124, pp. 516-533.
67. Ramos, M., Martinez-Casasnovas, J., 2014. **Soil water variability and its influence on transpirable soil water fraction with two grape varieties under different rainfall regimes**. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol.185 (1), pp. 253–262.
68. **Reference Book eCognition Developer 8.7.**, 2011, 438 p.
69. Sanchez, M., De la Haba, J., Benitez-Lopez, M., Fernandez-Novales, J., Garrido-Varo, A., Perez-Marin, D., 2012. **Non-destructive characterization and quality control of intact strawberries based on nir spectral data**. *Journal of Food Engineering*, vol. 110, pp. 102–108.
70. Santesteban, L., Guillaume, S., Royo, J., Tisseyre, B., 2013. **Are precision agriculture tools and methods relevant at the whole-vineyard scale?** *Precision Agriculture*, vol.14 (1), pp. 2–17.
71. Schepers, A. R., Shanahan, J. F., Liebig, M. A., Schepers, J. S., Johnson, S. H., & Luchiari, A., 2004. **Appropriateness of management zones for characterizing spatial variability of soil properties and irrigated corn yields across years**, *Agronomy Journal*, vol. 96, pp. 195–203.
72. Schowengerdt, R.A., 1998. **Reconstruction of multispatial, multispectral image data using spatial frequency content**, *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, vol. 46 (10), pp. 1325–1334.
73. Sefc, K., Lefort, F., Grando, M., Scott, K., Steinkellner, H., Thomas, M., 2001. **Microsatellite markers for grapevine: a state of the art**. In: *Molecular Biology Biotechnology of Grapevine*. K.A. Roubelakis-Angelakis (ed.), Kluwer Academic Publishers.
74. Sen, I., Tokatli, F., 2014. **Authenticity of wines made with economically important grape varieties grown in Anatolia by their phenolic profiles**. *Food Control*, vol. 46, pp. 446-454.
75. Siddiqui, Y., 2003. **The modified IHS methods for using satellite imagery**, In: *Proc. American Soc. Photogrammetry and Remote Sensing, Anchorage, Alaska*.
76. Song, J., Smart, R., Damberg, R., Sparrow, A., R.B., W., Wang, H. a. Q. M., 2014. **Pinot noir wine composition from different vine vigour zones classified by remote imaging technology**. *Food Chemistry*, vol. 153, pp. 52–59.
77. Stamatiadis, S., Taskos, D., Tsalida, E., Christoforides, C., Tsalidas, C., & Schepers, J. S., 2010. **Comparison of passive and active canopy sensors for the estimation of vine biomass production**, *Precision Agriculture*, vol. 11, pp. 306–315.
78. Tagarakis, A., Liakos, V., Fountas, S., Koundouras, S., Gemtos, T. A., 2012. **Management zones delineation using fuzzy clustering techniques in grapevines**, *Precision Agriculture*, vol. 14, Issue 1, pp. 18-39.
79. Tagarakis, A., Xatzinikos, A., Fountas, S., Gemtos, T., 2006. **Delineation of management zones in precision viticulture**, In N. Dalezios, M. Salampasis, & S. Tzortzios (Eds.), *Proceedings of the international conference HAICTA (information systems in sustainable agriculture, agroenvironment and food technology)*, pp. 547–554.
80. Tisseyre, B., Mazzoni, C., Ardoin, N., Clipet, C., 2001. **Yield and harvest quality measurement in precision viticulture - Application for a selective vintage**, In G. Grenier & S. Blackmore (Eds.), *Proceedings of the third European conference on precision agriculture*, pp.133–138.
81. Torres-Sánchez, J., López-Granados, F., Peña, J.M., 2015. **An automatic object-based method for optimal thresholding in UAV images: Application for vegetation detection in herbaceous crops**. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 114, pp. 43-52.

82. **Tutorial_Askisi_6**, 2013, βοήθημα άσκησης για το μάθημα Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση της Σ.Α.Τ.Μ., 44 p.
83. Tzotsos, A., Karantzalos, K., Argialas, D., 2011. **Object Based Image Analysis through Scale Space Filtering**, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 66, Issue 1, pp. 2-16.
84. Tzotsos, A., Karantzalos, K., Argialas, D., 2013. **Multi-scale segmentation and classification of remote sensing imagery using advanced edge and scale-space features**, *In Weng Q. (Eds), Scale Issues in Remote Sensing, John Wiley and Sons (in press)*.
85. Urretavizcaya, I., Santesteban, L., Tisseyre, B., Guillaume, S., Miranda, C., Royo, J., 2014. **Oenological significance of vineyard management zones delineated using early grape sampling**. *Precision Agriculture*, vol.15 (1), pp. 111– 129.
86. **User Guide eCognition Developer 8.7.**, 2011, 256 p.
87. Vaudour, E., Carey, V.A., Gilliot, J.M., 2010. **Digital zoning of South African viticultural terroirs using bootstrapped decision trees on morphometric data and multitemporal SPOT images**, *Remote Sensing of Environment*, vol. 114, pp. 2940–2950.
88. 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.
89. Wample, R. L., Mills, L., & Davenport, J. R., 1999. **Use of precision farming practices in grape production**, *In P. Robert, R. H. Rust & W. E. Larson (Eds.), Proceedings of the IV international conference on precision agriculture*, pp. 897–905.
90. Wiedemann, C., Heipke, C., Mayer, H. and S. Hinz, 1998. **Automatic extraction and evaluation of road networks from MOMS-2P imagery**, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 30(3/1), pp. 285–291.
91. Yuhendra, Ilham Alimuddin, Josaphat Tetuko Sri Sumantyo, Hiroaki Kuze, 2012. **Assessment of pan-sharpening methods applied to image fusion of remotely sensed multi-band data**, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 18, pp.165–175.
92. Zadeh, L.A., 1965. **Fuzzy sets**, *Information and Control*, vol. 8 (3), pp. 338–353.
93. Zarco-Tejada, P. J., Berjon, A., López-Lozano, R., Miller, J. R., Martín, P., Cachorro, V., Gonzalez e, 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*, vol. 99, pp. 271–287.
94. Zarco-Tejada, P.J., Berjon, A., Lopez-Lozano, R., Miller, J. R. Martin, P., Cachorro, V., Gonzalez, 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*, vol. 99, pp. 271 – 287.

Ελληνική Βιβλιογραφία

95. Αϊνάλη, Α. , 2012. **Σύγκριση δορυφορικών δεδομένων πολύ υψηλής ανάλυσης IKONOS και WorldView2 στην ταξινόμηση τύπων βλάστησης με την ανάπτυξη Αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης: Εφαρμογή στην περιοχή Άνω Καλαμά του Δήμου Πωγωνίου**, *Μεταπτυχιακή Εργασία στο Δ.Π.Μ.Σ. Γεωπληροφορική της Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π.*
96. Αργιαλάς, Δ., 1998, **Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση**.
97. Αργυροπούλου, Ε., 2013. **Αυτόματη αναγνώριση ρηξιγενών ζωνών με αντικειμενοστρεφή ανάλυση σε ψηφιακό μοντέλο υποθαλάσσιου αναγλύφου**,

- στην περιοχή του Βορείου Αιγαίου, Διπλωματική Εργασία στον τομέα Τοπογραφίας της Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π.
98. Δεκαβάλλα, Μ., 2011. **Αναγνώριση και ταξινόμηση κατολισθήσεων με αντικειμενοστραφή ανάλυση τηλεπισκοπικών δεδομένων**, Μεταπτυχιακή Εργασία στο Δ.Π.Μ.Σ. Γεωπληροφορική της Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π.
 99. Δερζέκος, Π., Αργιαλάς, Δ., 2002. **Διερεύνηση της Χρήσης Αντικειμενοστραφούς Ανάλυσης Δεδομένων Ikonos για τη Μελέτη του Αστικού Πράσινου**, Πρακτικά 2ου Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, ΕΜΠ Αθήνα.
 100. Ευαγγέλου, Ε. και Τσαντήλας, Χ., 2011. **Γεωργία Ακριβείας: το μελλοντικό σύστημα παραγωγής αγροτικών προϊόντων - Πρόγραμμα HYDROSENSE - Μια ερευνητική προσπάθεια στον ελληνικό χώρο**, ΕΘΙΑΓΕ, Τριμηνιαία Έκδοση του Εθνικού Ιδρύματος Αγροτικής Έρευνας.
 101. Καρακίζη, Χ., 2013. **Αμπελουργία Ακριβείας: Εντοπισμός αμπελοτεμαχίων και Διαχωρισμός ποικιλιών αμπέλου με Τηλεπισκοπικές μεθόδους**, Διπλωματική Εργασία στον τομέα Τοπογραφίας της Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π.
 102. Μαραγκουδάκης, Α., 2014. **Ανίχνευση και Εξαγωγή των Αδιαπέραστων Επιφανειών με Ανάπτυξη Βάσης Γνώσης σε Περιβάλλον Αντικειμενοστραφούς Ανάλυσης Ψηφιακών Τηλεπισκοπικών Δεδομένων**, Διπλωματική Εργασία στον τομέα Τοπογραφίας της Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π.
 103. Μιχαηλίδου, Σ., 2011. **Αυτόματη ανίχνευση μεταβολών κτισμάτων στο περιαστικό χώρο από δορυφορικές απεικονίσεις πολύ υψηλής διακριτικής ικανότητας μέσω ανάπτυξης ασαφούς βάσης γνώσης σε αντικειμενοστραφές περιβάλλον ανάλυσης εικόνων**, Διπλωματική Εργασία στον τομέα Τοπογραφίας της Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π.
 104. Μπαχλαβάς, Α., 2011. **Δημιουργία χάρτη επικινδυνότητας δασικών πυρκαγιών με χρήση αντικειμενοστραφούς ανάλυσης τηλεπισκοπικών και χαρτογραφικών δεδομένων σε επίπεδο χώρας**, Διπλωματική Εργασία στον τομέα Τοπογραφίας της Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π.
 105. Οικονόμου, Μ., 2014. **Ανάλυση, συσχέτιση και αξιολόγηση τηλεπισκοπικών δεδομένων από δορυφόρους, μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα και φασματοραδιόμετρα πεδίου, με εφαρμογές στη γεωργία ακριβείας**, Διπλωματική Εργασία στον τομέα Τοπογραφίας της Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π.
 106. Σαμοΐλη, Σ., 2008. **Αυτόματη Αναγνώριση Οχημάτων Από Πολυφασματικά & Υψομετρικά Δεδομένα LiDAR Με Αντικειμενοστραφή Ανάλυση**, Διπλωματική Εργασία στον τομέα Τοπογραφίας της Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π.
 107. Σιακαβάρα, Κ., 2011. **Αυτόματη Εξαγωγή Τοπογραφικών και Γεωμορφολογικών Χαρακτηριστικών Πυθμένα από Ψηφιακά Χωροθετημένα Βυθομετρικά Μοντέλα Πυθμένα με Αντικειμενοστραφή Ανάλυση Εικόνας**, Διπλωματική Εργασία στον τομέα Τοπογραφίας της Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π.
 108. Φώτη, Ε., 2011. **ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΣΤΡΑΦΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΗΝ ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΧΡΗΣΕΩΝ / ΚΑΛΥΨΕΩΝ ΓΗΣ ΣΕ ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΩΝ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΕΠΙΔΟΤΗΣΕΩΝ**, Διπλωματική Εργασία στον τομέα Τοπογραφίας της Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

➤ Από Κεφ. 5.2.2

Αποτελέσματα ταξινομήσεων εξαγωγής γραμμών φύτευσης αμπελιών

Τράπεζα WV2



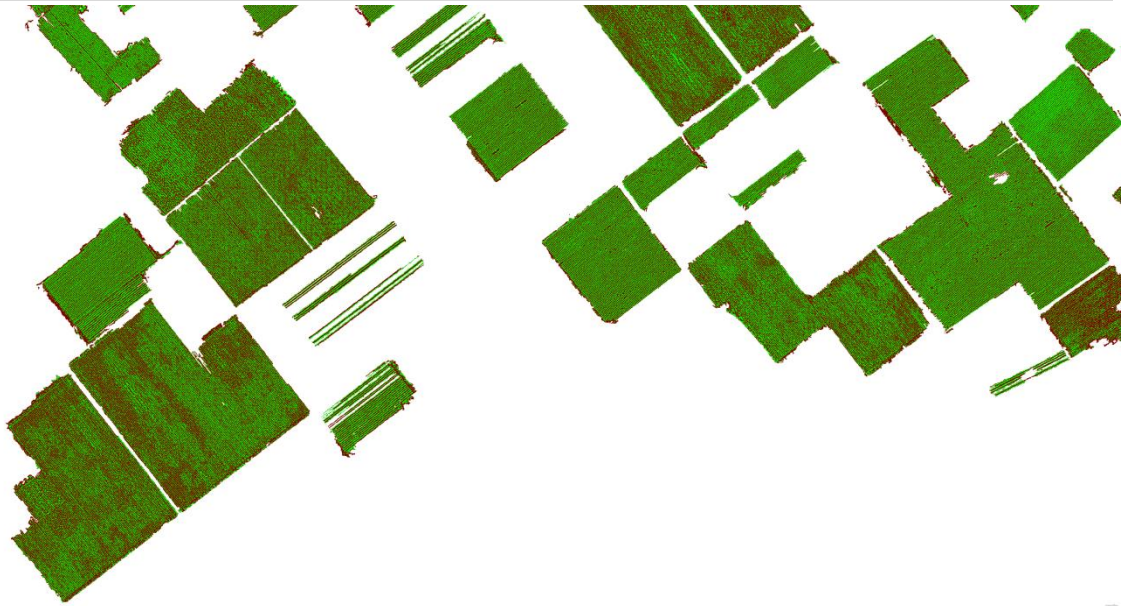
Μεγαπλάτανος WV2



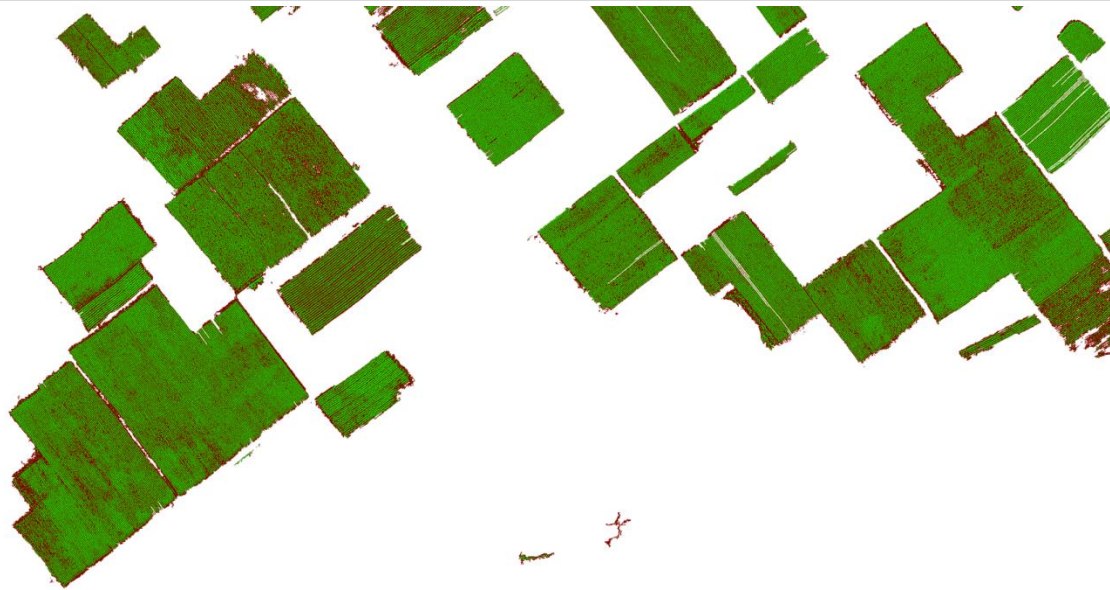
Νάουσα WV2



Αμύνταιο WV2



Αμύνταιο Pleiades-1B



➤ Από Κεφ. 5.3.3

- Τράπεζα WV2

Ποικιλιών: 4

Αποτελέσματα Διαχωρισμού στη WV2 της Τράπεζας (on detected canopy - 0.5m)

<i>Pixel-level (%)</i>					<i>Plot-level (# of plots)</i>				
Classified as					Classified as				
Ground Truth	<i>Syrah I</i>	<i>Syrah II</i>	<i>Sauvignon Blanc II</i>	<i>Sauvignon Blanc I</i>	Ground Truth	<i>Syrah I</i>	<i>Syrah II</i>	<i>Sauvignon Blanc II</i>	<i>Sauvignon Blanc I</i>
<i>Syrah I</i>	60%	7%	12%	20%	<i>Syrah I</i>	2	0	0	0
<i>Syrah II</i>	15%	75%	2%	8%	<i>Syrah II</i>	0	3	0	0
<i>Sauvignon Blanc II</i>	14%	4%	79%	2%	<i>Sauvignon Blanc II</i>	0	0	1	0
<i>Sauvignon Blanc I</i>	8%	4%	1%	87%	<i>Sauvignon Blanc I</i>	0	0	0	2
Overall Classification Accuracy	75%				Overall Classification Accuracy	100%			

Αποτελέσματα Διαχωρισμού στη WV2 της Τράπεζας (on multi image - 2m)

<i>Pixel-level (%)</i>					<i>Plot-level (# of plots)</i>				
Classified as					Classified as				
Ground Truth	<i>Syrah I</i>	<i>Syrah II</i>	<i>Sauvignon Blanc II</i>	<i>Sauvignon Blanc I</i>	Ground Truth	<i>Syrah I</i>	<i>Syrah II</i>	<i>Sauvignon Blanc II</i>	<i>Sauvignon Blanc I</i>
<i>Syrah I</i>	71%	4%	11%	13%	<i>Syrah I</i>	2	0	0	0
<i>Syrah II</i>	14%	72%	6%	7%	<i>Syrah II</i>	0	3	0	0
<i>Sauvignon Blanc II</i>	16%	1%	81%	2%	<i>Sauvignon Blanc II</i>	0	0	1	0
<i>Sauvignon Blanc I</i>	10%	5%	6%	79%	<i>Sauvignon Blanc I</i>	0	0	0	2
Overall Classification Accuracy	75%				Overall Classification Accuracy	100%			

Αποτελέσματα Διαχωρισμού στη WV2 της Τράπεζας (on detected canopy - 0.5m)

Pixel-level (%)						Plot-level (# of plots)					
Classified as						Classified as					
Ground Truth	<i>Syrah I</i>	<i>Syrah II</i>	<i>Merlot</i>	<i>Sauvignon Blanc II</i>	<i>Sauvignon Blanc I</i>	Ground Truth	<i>Syrah I</i>	<i>Syrah II</i>	<i>Merlot</i>	<i>Sauvignon Blanc II</i>	<i>Sauvignon Blanc I</i>
<i>Syrah I</i>	60%	7%	1%	12%	20%	<i>Syrah I</i>	2	0	0	0	0
<i>Syrah II</i>	14%	69%	7%	1%	8%	<i>Syrah II</i>	0	3	0	0	0
<i>Merlot</i>	5%	13%	72%	8%	2%	<i>Merlot</i>	0	0	1	0	0
<i>Sauvignon Blanc II</i>	13%	4%	8%	73%	2%	<i>Sauvignon Blanc II</i>	0	0	0	1	0
<i>Sauvignon Blanc I</i>	8%	4%	1%	1%	86%	<i>Sauvignon Blanc I</i>	0	0	0	0	2
Overall Classification Accuracy	72%					Overall Classification Accuracy	100%				

Αποτελέσματα Διαχωρισμού στη WV2 της Τράπεζας (on multi image - 2m)

Pixel-level (%)						Plot-level (# of plots)					
Classified as						Classified as					
Ground Truth	<i>Syrah I</i>	<i>Syrah II</i>	<i>Merlot</i>	<i>Sauvignon Blanc II</i>	<i>Sauvignon Blanc I</i>	Ground Truth	<i>Syrah I</i>	<i>Syrah II</i>	<i>Merlot</i>	<i>Sauvignon Blanc II</i>	<i>Sauvignon Blanc I</i>
<i>Syrah I</i>	71%	4%	2%	10%	13%	<i>Syrah I</i>	2	0	0	0	0
<i>Syrah II</i>	14%	65%	11%	3%	7%	<i>Syrah II</i>	0	3	0	0	0
<i>Merlot</i>	6%	8%	75%	7%	3%	<i>Merlot</i>	0	0	1	0	0
<i>Sauvignon Blanc II</i>	15%	1%	4%	78%	1%	<i>Sauvignon Blanc II</i>	0	0	0	1	0
<i>Sauvignon Blanc I</i>	10%	4%	2%	5%	78%	<i>Sauvignon Blanc I</i>	0	0	0	0	2
Overall Classification Accuracy	72%					Overall Classification Accuracy	100%				

Ποικιλιών: 6

Αποτελέσματα Διαχωρισμού στη WV2 της Τράπεζας (on detected canopy - 0.5m)

<i>Pixel-level (%)</i>							<i>Plot-level (# of plots)</i>						
Classified as							Classified as						
Ground Truth	<i>Syrah I</i>	<i>Syrah II</i>	<i>Merlot</i>	<i>Sauvignon Blanc II</i>	<i>Sauvignon Blanc I</i>	<i>Riesling</i>	Ground Truth	<i>Syrah I</i>	<i>Syrah II</i>	<i>Merlot</i>	<i>Sauvignon Blanc II</i>	<i>Sauvignon Blanc I</i>	<i>Riesling</i>
<i>Syrah I</i>	55%	4%	1%	11%	17%	11%	<i>Syrah I</i>	2	0	0	0	0	0
<i>Syrah II</i>	11%	49%	7%	1%	4%	28%	<i>Syrah II</i>	0	3	0	0	0	0
<i>Merlot</i>	4%	8%	68%	7%	1%	12%	<i>Merlot</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Sauvignon Blanc II</i>	13%	3%	8%	72%	2%	1%	<i>Sauvignon Blanc II</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Sauvignon Blanc I</i>	6%	2%	1%	1%	83%	6%	<i>Sauvignon Blanc I</i>	0	0	0	0	2	0
<i>Riesling</i>	14%	29%	3%	1%	8%	46%	<i>Riesling</i>	0	0	0	0	0	2
Overall Classification Accuracy	61%						Overall Classification Accuracy	100%					

Αποτελέσματα Διαχωρισμού στη WV2 της Τράπεζας (on multi image - 2m)

<i>Pixel-level (%)</i>							<i>Plot-level (# of plots)</i>						
Classified as							Classified as						
Ground Truth	<i>Syrah I</i>	<i>Syrah II</i>	<i>Merlot</i>	<i>Sauvignon Blanc II</i>	<i>Sauvignon Blanc I</i>	<i>Riesling</i>	Ground Truth	<i>Syrah I</i>	<i>Syrah II</i>	<i>Merlot</i>	<i>Sauvignon Blanc II</i>	<i>Sauvignon Blanc I</i>	<i>Riesling</i>
<i>Syrah I</i>	67%	3%	2%	10%	12%	7%	<i>Syrah I</i>	2	0	0	0	0	0
<i>Syrah II</i>	10%	45%	8%	2%	4%	31%	<i>Syrah II</i>	0	3	0	0	0	0
<i>Merlot</i>	4%	6%	65%	6%	3%	17%	<i>Merlot</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Sauvignon Blanc II</i>	15%	1%	4%	78%	1%	0%	<i>Sauvignon Blanc II</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Sauvignon Blanc I</i>	10%	4%	2%	5%	76%	4%	<i>Sauvignon Blanc I</i>	0	0	0	0	2	0
<i>Riesling</i>	14%	27%	10%	1%	5%	43%	<i>Riesling</i>	0	0	0	0	0	2
O.A.	61%						O.A.	100%					

- Μεγαπλάτανος WV2

Ποικιλιών: 4

Αποτελέσματα Διαχωρισμού στη WV2 του Μεγαπλάτανου (on detected canopy - 0.5m)

<i>Pixel-level (%)</i>					<i>Plot-level (# of plots)</i>				
Classified as					Classified as				
Ground Truth	<i>Sauvignon Blanc</i>	<i>Cabernet Sauvignon</i>	<i>Merlot</i>	<i>Syrah</i>	Ground Truth	<i>Sauvignon Blanc</i>	<i>Cabernet Sauvignon</i>	<i>Merlot</i>	<i>Syrah</i>
<i>Sauvignon Blanc</i>	51%	26%	0%	22%	<i>Sauvignon Blanc</i>	2	0	0	0
<i>Cabernet Sauvignon</i>	21%	56%	1%	23%	<i>Cabernet Sauvignon</i>	0	10	0	0
<i>Merlot</i>	3%	5%	85%	7%	<i>Merlot</i>	0	0	2	0
<i>Syrah</i>	18%	28%	5%	50%	<i>Syrah</i>	0	0	0	3
Overall Classification Accuracy	56%				Overall Classification Accuracy	100%			

Αποτελέσματα Διαχωρισμού στη WV2 του Μεγαπλάτανου (on multi image - 2m)

<i>Pixel-level (%)</i>					<i>Plot-level (# of plots)</i>				
Classified as					Classified as				
Ground Truth	<i>Sauvignon Blanc</i>	<i>Cabernet Sauvignon</i>	<i>Merlot</i>	<i>Syrah</i>	Ground Truth	<i>Sauvignon Blanc</i>	<i>Cabernet Sauvignon</i>	<i>Merlot</i>	<i>Syrah</i>
<i>Sauvignon Blanc</i>	57%	31%	2%	11%	<i>Sauvignon Blanc</i>	1	1	0	0
<i>Cabernet Sauvignon</i>	13%	76%	1%	11%	<i>Cabernet Sauvignon</i>	0	10	0	0
<i>Merlot</i>	2%	6%	88%	5%	<i>Merlot</i>	0	0	2	0
<i>Syrah</i>	16%	25%	7%	53%	<i>Syrah</i>	0	0	0	3
Overall Classification Accuracy	69%				Overall Classification Accuracy	94%			

Ποικιλιών: 5

Αποτελέσματα Διαχωρισμού στη WV2 του Μεγαπλατάνου (on detected canopy - 0.5m)

<i>Pixel-level (%)</i>						<i>Plot-level (# of plots)</i>					
Classified as						Classified as					
Ground Truth	<i>Sauvignon Blanc</i>	<i>Cabernet Sauvignon</i>	<i>Merlot</i>	<i>Syrah</i>	<i>Chardonnay</i>	Ground Truth	<i>Sauvignon Blanc</i>	<i>Cabernet Sauvignon</i>	<i>Merlot</i>	<i>Syrah</i>	<i>Chardonnay</i>
<i>Sauvignon Blanc</i>	39%	18%	0%	18%	24%	<i>Sauvignon Blanc</i>	2	0	0	0	0
<i>Cabernet Sauvignon</i>	15%	45%	0%	20%	19%	<i>Cabernet Sauvignon</i>	0	10	0	0	0
<i>Merlot</i>	2%	3%	76%	5%	14%	<i>Merlot</i>	0	0	2	0	0
<i>Syrah</i>	15%	24%	4%	45%	12%	<i>Syrah</i>	0	0	0	3	0
<i>Chardonnay</i>	22%	18%	1%	11%	48%	<i>Chardonnay</i>	0	0	0	0	10
Overall Classification Accuracy	47%					Overall Classification Accuracy	100%				

Αποτελέσματα Διαχωρισμού στη WV2 του Μεγαπλατάνου (on multi image - 2m)

<i>Pixel-level (%)</i>						<i>Plot-level (# of plots)</i>					
Classified as						Classified as					
Ground Truth	<i>Sauvignon Blanc</i>	<i>Cabernet Sauvignon</i>	<i>Merlot</i>	<i>Syrah</i>	<i>Chardonnay</i>	Ground Truth	<i>Sauvignon Blanc</i>	<i>Cabernet Sauvignon</i>	<i>Merlot</i>	<i>Syrah</i>	<i>Chardonnay</i>
<i>Sauvignon Blanc</i>	41%	19%	2%	8%	30%	<i>Sauvignon Blanc</i>	1	0	0	0	1
<i>Cabernet Sauvignon</i>	9%	59%	0%	7%	25%	<i>Cabernet Sauvignon</i>	0	9	0	0	1
<i>Merlot</i>	1%	5%	86%	4%	4%	<i>Merlot</i>	0	0	2	0	0
<i>Syrah</i>	11%	17%	6%	43%	22%	<i>Syrah</i>	0	0	0	3	0
<i>Chardonnay</i>	10%	25%	1%	6%	57%	<i>Chardonnay</i>	0	0	0	0	10
Overall Classification Accuracy	56%					Overall Classification Accuracy	96%				

Πίνακας Σχημάτων

Σχήμα 2.1 – Η δομή μεθοδολογίας για το επιστημονικό άρθρο των Comba et al. (2015) για την εξαγωγή γραμμών φύτευσης αμπελιών	7
Σχήμα 2.2 – Τα τελικά αποτελέσματα για τον εντοπισμό γραμμών φύτευσης αμπελιών σε τέσσερις NIR εικόνες, στο επιστημονικό άρθρο των Comba et al. (2015).	7
Σχήμα 2.3 – Τα αποτελέσματα για το F-test, από το επιστημονικό άρθρο των Lacar et al. (2001), για τη φασματική ανάλυση των δύο ποικιλιών. Η κόκκινη οριζόντια γραμμή που τοποθετείται στο F-critical (3.90), καθορίζει τα κανάλια στα οποία οι φασματικές διαφορές είναι σημαντικές για τις διαφορετικές ποικιλίες. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στη μέση ανακλαστικότητα (reflectance) των εικονοστοιχείων.	9
Σχήμα 2.4 – Τα μέτρα ακρίβειας και οι ταξινομημένοι χάρτες για την ταξινόμηση της πρώτης εικόνας, με σταθερά επίπεδα φωτεινότητας, για το επιστημονικό άρθρο των Ferreira-Arman et al. (2007).....	10
Σχήμα 3.1 - Οι περιοχές μελέτης στον ελλαδικό χώρο.	13
Σχήμα 3.2 - (α) Αυτοσχέδιο-κροκί που δημιουργήθηκε κατά τη συλλογή δεδομένων για την περιοχή του Μεγαπλάτανου και (β) τμήμα του χάρτη υπάρχουσας κατάστασης ποικιλιών-κλώνων, που δόθηκε από το οίνοποιείο Κυρ Γιάννη, για την περιοχή Αμύνταιο.	14
Σχήμα 3.3 - Το εύρος μήκους κύματος και τα χαρακτηριστικά των 8 καναλιών του δορυφόρου WorldView-2. Πηγή : http://www.satimagingcorp.com	17
Σχήμα 3.4 - Η σχετική φασματική απόκριση για τα κανάλια του δορυφορικού αισθητήρα WorldView-2. Πηγή : http://www.satimagingcorp.com	17
Σχήμα 3.5 - Η σχετική φασματική απόκριση για τα κανάλια του δορυφόρου Pleiades-1B. Πηγή : http://www.satimagingcorp.com	18
Σχήμα 3.6 - Τμήματα των δορυφορικών εικόνων WorldView-2 για τις τέσσερις περιοχές μελέτης σε φυσικά έγχρωμα σύνθετα.	19
Σχήμα 3.7 - Στιγμιότυπο από το ραδιομετρικό καλιμπράρισμα με χρήση του αρχείου μεταδεδομένων της πολυφασματικής εικόνας, στο περιβάλλον ENVI	21
Σχήμα 3.8 - Στιγμιότυπο από το εργαλείο FLAASH και την κατάλληλη παραμετροποίηση για την ατμοσφαιρική διόρθωση πολυφασματικής εικόνας, στο περιβάλλον ENVI	22
Σχήμα 3.9 - Στιγμιότυπο από το εργαλείο Spectral Profile του FLAASH όπου παρουσιάζεται η φασματική καμπύλη εικονοστοιχείου που απεικονίζει υγιή βλάστηση για την ατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα (κόκκινο) και για την αρχική πολυφασματική εικόνα (πράσινο). Είναι εμφανές ότι η διόρθωση αποκατέστησε τις τιμές φωτεινότητας στα φασματικά κανάλια, καθώς η φασματική καμπύλη της διορθωμένης εικόνας ακολουθεί την αναμενόμενη κατανομή στα αντίστοιχα μήκη κύματος για ένα εικονοστοιχείο βλάστησης.	22
Σχήμα 3.10 - Στιγμιότυπα από τις αρχικές (αριστερά) και τις ατμοσφαιρικά διορθωμένες (δεξιά) πολυφασματικές εικόνες WV2 και Pleiades-1B.	24
Σχήμα 3.11 - Στιγμιότυπο από το εργαλείο Pan Sharpen - HPF Resolution Merge και την κατάλληλη παραμετροποίηση για το pan-sharpening εικόνων , στο περιβάλλον Erdas Imagine.	26
Σχήμα 3.12 - Τμήματα από τις ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες πριν (αριστερά) και μετά το pan-sharpening με τη μέθοδο HPF (δεξιά).	28

Σχήμα 3.13 - Τα δεδομένα ελέγχου για τη θέση των αμπελοτεμαχίων (με πράσινο χρώμα) στην εικόνα WV2 της Νάουσας (πάνω) και την εικόνα WV2 του Αμυνταίου (κάτω).	29
Σχήμα 3.14 - Τα δεδομένα ελέγχου για τις κατηγορίες ποικιλιών που χρησιμοποιήθηκαν στις ταξινομήσεις διαχωρισμού ποικιλιών, στην περιοχή της Τράπεζας.	30
Σχήμα 4.1 - Επίπεδα κατατμήσεων διαφορετικής κλίμακας στο λογισμικό eCognition.	32
Σχήμα 4.2 - Το εργαλείο Feature View και τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα που διαθέτει, στο λογισμικό eCognition.	33
Σχήμα 4.3 - Στιγμιότυπο από την οπτικοποίηση του χαρακτηριστικού γνωρίσματος Δείκτης MSAVI , για τιμές από 0.6 ως 0.9, με χρήση του εργαλείου Feature View, στο λογισμικό eCognition.....	34
Σχήμα 4.4 - Στιγμιότυπο από το παράθυρο εφαρμογής του Hierarchical Classification algorithm, στο λογισμικό eCognition.....	35
Σχήμα 4.5 - Στιγμιότυπο από την περιγραφή των χαρακτηριστικών που συμμετέχουν στην ταξινόμηση με NN, όπως προέκυψαν από το εργαλείο Feature Space Optimization, στο λογισμικό eCognition.	36
Σχήμα 4.6 - Τα επίπεδα κατάτμησης Level_1 σε κλίμακα 20 (αριστερά) και Level_2 σε κλίμακα 355 (δεξιά) σε μεγεθυμένο τμήμα της WV2 εικόνας στο Αμύνταιο.	38
Σχήμα 4.7 - Η παραμετροποίηση του αλγορίθμου πολλαπλής κατάτμησης για το Level_1 (πάνω), για τον εντοπισμό αμπελοτεμαχίων στη WV2 εικόνας της Νάουσας.....	38
Σχήμα 4.8 - Η ιεραρχία τάξεων για τις ταξινομήσεις εντοπισμού αμπελοτεμαχίων στις πέντε εικόνες.	40
Σχήμα 4.9 - Στιγμιότυπο από την παραμετροποίηση συνάρτησης του χαρακτηριστικού Mean Blue με χρήση ασαφούς λογικής στο λογισμικό eCognition.	40
Σχήμα 4.10 - Η δομή της ταξινόμησης για τον εντοπισμό αμπελοτεμαχίων στις πέντε εικόνες. Για την εικόνα του Αμυνταίου του δορυφόρου Pleiades-1B όπου παρουσιάζεται ως χαρακτηριστικό το Mean Red-Edge χρησιμοποιήθηκε αντίστοιχα το Mean Red.....	42
Σχήμα 4.11 - Στιγμιότυπο από την επιλογή χαρακτηριστικών δειγμάτων για την εκπαίδευση του NN στο λογισμικό eCognition.....	48
Σχήμα 4.12 - Στιγμιότυπο από την περιγραφή των χαρακτηριστικών που συμμετέχουν στην ταξινόμηση με NN, για την τάξη Vines, στην ταξινόμηση της WV2 εικόνας της Τράπεζας, στο λογισμικό eCognition.	49
Σχήμα 4.13 – Οι κλάσεις/ποικιλίες στην ιεραρχία τάξεων για τις ταξινομήσεις διαχωρισμού ποικιλιών αμπέλου στην εικόνα Pleiades-1B του Αμυνταίου.	52
Σχήμα 5.1 - Στιγμιότυπο από το παράθυρο στατιστικών αποτελεσμάτων της Σταθερότητας Ταξινόμησης, για την ταξινόμηση στην εικόνα WV2 στην Τράπεζα, στο λογισμικό eCognition.	57
Σχήμα 5.2 - Στιγμιότυπο από το παράθυρο στατιστικών αποτελεσμάτων του Καλύτερου Αποτελέσματος Ταξινόμησης, για την ταξινόμηση στην εικόνα WV2 στην Τράπεζα, στο λογισμικό eCognition.	57
Σχήμα 5.3. – Τα "Αληθώς Θετικά" (TP) σημεία, τα "Λανθασμένα Θετικά" (FP) και τα "Λανθασμένα Αρνητικά" (FN) εικονοστοιχεία, για την ταξινόμηση στη WV2 εικόνα της περιοχής της Νάουσας, σε δυαδική μορφή. Η απεικόνιση γίνεται με ανεστραμμένα χρώματα.	61

- Σχήμα 5.4** – Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης για τον εντοπισμό αμπελοτεμαχίων στις πέντε εικόνες (δεξιά) και τα δεδομένα ελέγχου (πράσινο χρώμα) για τις θέσεις των αμπελοτεμαχίων (αριστερά). Στις ταξινομημένες εικόνες με πράσινο χρώμα απεικονίζονται τα εντοπισμένα αμπελοτεμάχια, με κίτρινο τα άλλα είδη βλάστησης και με γκρι τα αντικείμενα που δεν απεικονίζουν βλάστηση. 62
- Σχήμα 5.5** – Περίπτωση λανθασμένης ταξινόμησης αντικειμένων βλάστησης ως αμπελοτεμάχια (error of commission), στην εικόνα WV2 στην Τράπεζα. Στο κόκκινο πλαίσιο επισημαίνεται η περιοχή λανθασμένης ταξινόμησης στην εικόνα ταξινόμησης και στην εικόνα δεδομένων ελέγχου. 63
- Σχήμα 5.6** – Περίπτωση λανθασμένης ταξινόμησης αντικειμένων που απεικονίζουν αμπέλια βλάστησης ως απλή βλάστηση (error of omission) στην εικόνα WV2 στην Νάουσα. Στο κόκκινο πλαίσιο επισημαίνεται η περιοχή λανθασμένης ταξινόμησης στην εικόνα ταξινόμησης και στην εικόνα δεδομένων ελέγχου. 63
- Σχήμα 5.7** – Ο πίνακας συσχέτισης για την αξιολόγηση με βάση τη μάσκα επιγείου ελέγχου για την ταξινόμηση εξαγωγής γραμμών φύτευσης αμπελιών, στην WV2 εικόνα της Τράπεζας. 66
- Σχήμα 5.8** – Αποτελέσματα ταξινόμησης για την εξαγωγή των γραμμών φύτευσης των αμπελιών σε εντοπισμένα αμπελοτεμάχια (δεξιά) και τα φυσικά έγχρωμα σύνθετα RGB των αντίστοιχων αμπελοτεμαχίων (αριστερά). Στις ταξινομημένες εικόνες με πράσινο χρώμα απεικονίζεται η κόμη (canopy) φυλλικού τοιχώματος των αμπελιών και με καφέ τα ενδιάμεσα υλικά (κυρίως χώμα). 67
- Σχήμα 5.9** - Αμπελοτεμάχια στη παγχρωματική εικόνα του Αμυνταίου (πάνω) και του Μεγαπλάτανου (κάτω). Και στις δύο περιπτώσεις παρατηρούνται “διαγραμμίσεις” από κάποιο τεχνικό σφάλμα κατά την καταγραφή. 71
- Σχήμα 5.10** – Οι ταξινομημένες εικόνες για τις ταξινομήσεις διαχωρισμού ποικιλιών αμπέλου στην WV2 εικόνα της Τράπεζας. Δεξιά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα στην εντοπισμένη φυλλική κόμη των αμπελοτεμαχίων και δεξιά στην πολυφασματική εικόνα. Η τελευταία εικόνα παρουσιάζει τα δεδομένα ελέγχου. 74
- Σχήμα 5.11** – Οι ταξινομημένες εικόνες για τις ταξινομήσεις διαχωρισμού ποικιλιών αμπέλου στην WV2 εικόνα του Μεγαπλάτανου. Δεξιά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα στην εντοπισμένη φυλλική κόμη των αμπελοτεμαχίων και δεξιά στην πολυφασματική εικόνα. Η τελευταία εικόνα παρουσιάζει τα δεδομένα ελέγχου. 79
- Σχήμα 5.12** – Περίπτωση λανθασμένα ταξινομημένων αντικειμένων (δεξιά) λόγω του προβλήματος καταγραφής του δέκτη, σε δύο αμπελοτεμάχια Cabernet Sauvignon στην WV2 εικόνα του Μεγαπλάτανου. Αριστερά παρουσιάζεται το αντίστοιχο τμήμα της συγχωνευμένης εικόνας σε φυσικό έγχρωμο σύνθετο. 79
- Σχήμα 5.13** – Οι ταξινομημένες εικόνες για τις ταξινομήσεις διαχωρισμού ποικιλιών αμπέλου στην WV2 εικόνα της Νάουσας. Παρουσιάζονται εναλλάξ τα αποτελέσματα στην εντοπισμένη φυλλική κόμη των αμπελοτεμαχίων και στην πολυφασματική εικόνα, για ταξινόμηση με συμμετοχή τριών και τεσσάρων ποικιλιών τη φορά. Η τελευταία εικόνα παρουσιάζει τα δεδομένα ελέγχου. 84
- Σχήμα 5.14** – Οι ταξινομημένες εικόνες για τις ταξινομήσεις διαχωρισμού ποικιλιών αμπέλου στην WV2 εικόνα του Αμυνταίου. Παρουσιάζονται εναλλάξ τα αποτελέσματα στην εντοπισμένη φυλλική κόμη των αμπελοτεμαχίων και στην πολυφασματική εικόνα, για ταξινόμηση με συμμετοχή τριών και τεσσάρων ποικιλιών τη φορά. Η τελευταία εικόνα παρουσιάζει τα δεδομένα ελέγχου. 89

Σχήμα 5.15 – Περίπτωση λανθασμένα ταξινομημένων αντικειμένων (δεξιά) λόγω και του προβλήματος καταγραφής του δέκτη, σε ένα αμπελοτεμάχιο Syrah I στην WV2 εικόνα του Αμυνταίου. Αριστερά παρουσιάζεται το αντίστοιχο τμήμα της συγχωνευμένης εικόνας σε φυσικό έγχρωμο σύνθετο. 89

Σχήμα 5.16 – Οι ταξινομημένες εικόνες για τις ταξινομήσεις διαχωρισμού ποικιλιών αμπέλου στην Pleiades-1b εικόνα του Αμυνταίου. Παρουσιάζονται εναλλάξ τα αποτελέσματα στην εντοπισμένη φυλλική κόμη των αμπελοτεμαχίων και στην πολυφασματική εικόνα, για ταξινόμηση με συμμετοχή τριών και τεσσάρων ποικιλιών τη φορά. Η τελευταία εικόνα παρουσιάζει τα δεδομένα ελέγχου..... 94

Σχήμα 5.17 – Οι μέσοι όροι πληρότητας εντοπισμού για τις τέσσερις πιο συχνά χρησιμοποιημένες στις ταξινομήσεις ποικιλίες. 97

Σχήμα 5.18 – Διαγράμματα ανακλαστικότητας από τα δεδομένα του φασματοραδιομέτρου χειρός για τις μελετώμενες ποικιλίες σε κάθε περιοχή..... 99

Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 3.1 - Βασικά χαρακτηριστικά του δορυφόρου WorldView-2. 15

Πίνακας 3.2 - Βασικά χαρακτηριστικά του δορυφόρου Pleiades-1B. 18

Πίνακας 3.3 - Βασικά χαρακτηριστικά και μεταδεδομένα των δορυφορικών εικόνων. 20

Πίνακας 3.4 - Οι διαστάσεις και το μέγεθος ηλεκτρονικού αρχείου για τις πέντε περικομμένες ran-sharpened δορυφορικές εικόνες..... 28

Πίνακας 4.1 - Η παραμετροποίηση του αλγορίθμου πολλαπλής κατάτμησης για τις ταξινομήσεις εντοπισμού αμπελοτεμαχίων στις πέντε εικόνες..... 39

Πίνακας 4.2 - Η παραμετροποίηση για τις ταξινομήσεις εντοπισμού αμπελοτεμαχίων. 46

Πίνακας 4.3 - Η παραμετροποίηση του αλγορίθμου πολλαπλής κατάτμησης για τις ταξινομήσεις εξαγωγής γραμμών φύτευσης στις πέντε εικόνες. 47

Πίνακας 4.4 - Τα χαρακτηριστικά που συμμετέχουν στον υπολογισμό του αλγορίθμου του εγγύτερου γείτονα για τις επιβλεπόμενες ταξινομήσεις εξαγωγής των γραμμών φύτευσης των αμπελιών. 51

Πίνακας 4.5 - Η παραμετροποίηση του αλγορίθμου πολλαπλής κατάτμησης για τις επιβλεπόμενες ταξινομήσεις διαχωρισμού ποικιλιών αμπέλου..... 51

Πίνακας 4.6 - Τα χαρακτηριστικά που συμμετέχουν στον υπολογισμό του αλγορίθμου του εγγύτερου γείτονα για τις επιβλεπόμενες ταξινομήσεις διαχωρισμού ποικιλιών αμπέλου. 53

Πίνακας 4.7 – Οι ποικιλίες και οι κλώνοι ποικιλιών που συμμετείχαν στις επιβλεπόμενες ταξινομήσεις διαχωρισμού ποικιλιών αμπέλου. 54

Πίνακας 5.1 – Οι μέσες τιμές των διαφορών για τη Σταθερότητα Ταξινόμησης (Classification Stability) για τις ταξινομήσεις των πέντε εικόνων. 58

Πίνακας 5.2 – Οι μέσες τιμές για το Καλύτερο Αποτέλεσμα Ταξινόμησης (Best Classification Result) για τις ταξινομήσεις των πέντε εικόνων..... 58

Πίνακας 5.3 – Η ποσοτική αξιολόγηση για τις ταξινομήσεις εντοπισμού αμπελοτεμαχίων.... 64

Πίνακας 5.4 – Ποσοτική αξιολόγηση για τις ταξινομήσεις εξαγωγής γραμμών φύτευσης αμπελιών. 68

Πίνακας 5.5 – Ποσοτική αξιολόγηση για τις ταξινομήσεις διαχωρισμού ποικιλιών αμπελιών. 69

- Πίνακας 5.6** – Οι πίνακες συσχέτισης (σε επίπεδο εικονοστοιχείου και επίπεδο αμπελοτεμαχίου) για την ταξινόμηση διαχωρισμού ανάμεσα σε επτά διαφορετικές ποικιλίες-κλώνους, πάνω στις εντοπισμένες γραμμές φύτευσης, για την WV2 εικόνα της Τράπεζας. .. 75
- Πίνακας 5.7** – Οι πίνακες συσχέτισης (σε επίπεδο εικονοστοιχείου και επίπεδο αμπελοτεμαχίου) για την ταξινόμηση διαχωρισμού ανάμεσα σε επτά διαφορετικές ποικιλίες-κλώνους, στην πολυφασματική εικόνα WV2 της Τράπεζας. 76
- Πίνακας 5.8** – Οι πίνακες συσχέτισης (σε επίπεδο εικονοστοιχείου και επίπεδο αμπελοτεμαχίου) για την ταξινόμηση διαχωρισμού ανάμεσα σε έξι διαφορετικές ποικιλίες-κλώνους, πάνω στις εντοπισμένες γραμμές φύτευσης, για την WV2 εικόνα του Μεγαπλάτανου. 80
- Πίνακας 5.9** – Οι πίνακες συσχέτισης (σε επίπεδο εικονοστοιχείου και επίπεδο αμπελοτεμαχίου) για την ταξινόμηση διαχωρισμού ανάμεσα σε έξι διαφορετικές ποικιλίες-κλώνους, στην πολυφασματική εικόνα WV2 του Μεγαπλάτανου. 81
- Πίνακας 5.10** – Οι πίνακες συσχέτισης (σε επίπεδο εικονοστοιχείου και επίπεδο αμπελοτεμαχίου) για την ταξινόμηση διαχωρισμού ανάμεσα σε τρεις διαφορετικές ποικιλίες-κλώνους, στη συγχωνευμένη (γραμμές φύτευσης) και στην πολυφασματική εικόνα WV2 της Νάουσας. 85
- Πίνακας 5.11** – Οι πίνακες συσχέτισης (σε επίπεδο εικονοστοιχείου και επίπεδο αμπελοτεμαχίου) για την ταξινόμηση διαχωρισμού ανάμεσα σε τέσσερις διαφορετικές ποικιλίες-κλώνους, στη συγχωνευμένη (γραμμές φύτευσης) και στην πολυφασματική εικόνα WV2 της Νάουσας. 86
- Πίνακας 5.12** – Οι πίνακες συσχέτισης (σε επίπεδο εικονοστοιχείου και επίπεδο αμπελοτεμαχίου) για την ταξινόμηση διαχωρισμού ανάμεσα σε τρεις διαφορετικές ποικιλίες-κλώνους, στη συγχωνευμένη (γραμμές φύτευσης) και στην πολυφασματική εικόνα WV2 του Αμυνταίου. 90
- Πίνακας 5.13** – Οι πίνακες συσχέτισης (σε επίπεδο εικονοστοιχείου και επίπεδο αμπελοτεμαχίου) για την ταξινόμηση διαχωρισμού ανάμεσα σε τέσσερις διαφορετικές ποικιλίες-κλώνους, στη συγχωνευμένη (γραμμές φύτευσης) και στην πολυφασματική εικόνα WV2 του Αμυνταίου. 91
- Πίνακας 5.14** – Οι πίνακες συσχέτισης (σε επίπεδο εικονοστοιχείου και επίπεδο αμπελοτεμαχίου) για την ταξινόμηση διαχωρισμού ανάμεσα σε τρεις διαφορετικές ποικιλίες-κλώνους, στη συγχωνευμένη (γραμμές φύτευσης) και στην πολυφασματική εικόνα Pleiades - 1B του Αμυνταίου. 95
- Πίνακας 5.15** – Οι πίνακες συσχέτισης (σε επίπεδο εικονοστοιχείου και επίπεδο αμπελοτεμαχίου) για την ταξινόμηση διαχωρισμού ανάμεσα σε τέσσερις διαφορετικές ποικιλίες-κλώνους, στη συγχωνευμένη (γραμμές φύτευσης) και στην πολυφασματική εικόνα Pleiades -1B του Αμυνταίου. 96