

ΣΥΧΓΡΟΝΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

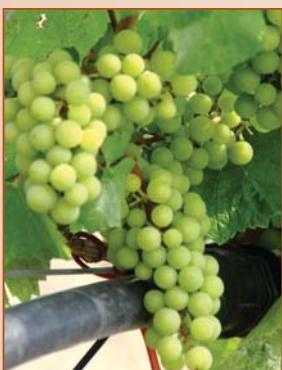
ΣΤΗΝ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΤΟΥ ΑΜΠΕΛΟΥΡΓΟΥ



Εικόνα 1. Κτήμα Γεροβασιλείου: Τρισδιάστατο νέφος σημείων (point cloud), από το οποίο προκύπτει η καθ' ύψος πληροφορία και το μοντέλο εδάφους. Οι αιωρούμενοι κώνοι αναπαριστούν σημεία λήψης των επιμέρους φωτογραφιών που ελήφθησαν και χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του ορθοφωτοχάρτη.

Χαρτογράφηση ζωνών ωρίμανσης σταφυλιών οινοποίησης με χρήση εικόνων πολυφασματικής κάμερας προσαρμοσμένης σε μη επανδρωμένο αεροσκάφος

Γιώργος Ιατρού⁽¹⁾, Sandra Gewehr⁽¹⁾, Μιλτιάδης Ιατρού⁽¹⁾ και Ζώης Ζαρταλούδης⁽²⁾



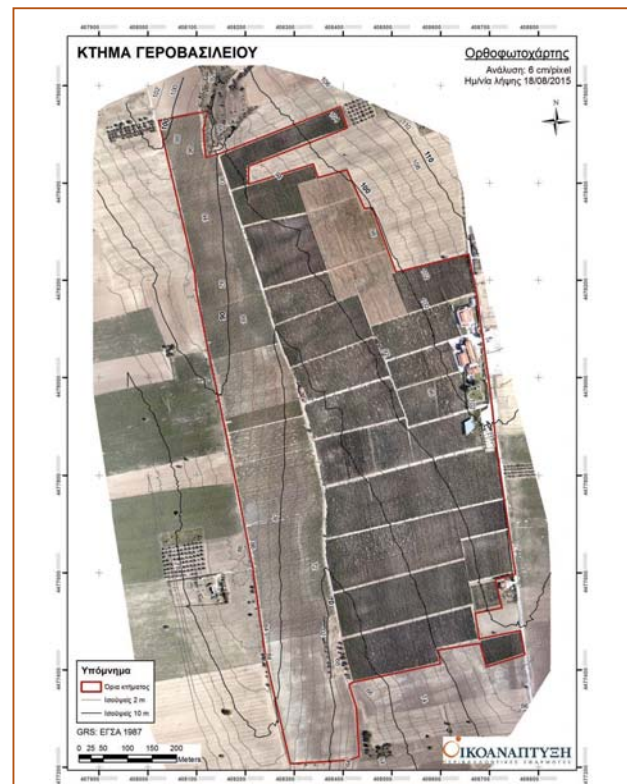
Η διάγνωση της ωρίμανσης του καρπού σε οινοποιήσιμες ποικιλίες σταφυλιών είναι μια σημαντική παράμετρος για τον οινοπαραγωγό, διότι το στάδιο ωρίμανσης του καρπού καθορίζει και το χρόνο συγκομιδής. Ωστόσο με το τρέχον επίπεδο μεθόδων καθορισμού της ωρίμανσης του καρπού, που περιλαμβάνει τη μέτρηση βασικών παραμέτρων της ωρίμανσης, όπως τα σάκχαρα και το pH, η όλη διαδικασία είναι χρονοβόρα και επίπονη. Πέραν όμως τούτου τα δεδομένα που συλλέγονται δεν περιέχουν χωρική πληροφορία, αφού συνήθως γίνεται μίξη των δειγμάτων από διάφορα πρέμνα εντός του αγροτεμαχίου.

Η πρόσφατη ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας των ελαφρών μη επανδρωμένων πτητικών αεροσκαφών (Unmanned Aerial Vehicles – UAV), με σημαντική ευελιξία χρήσης και μεγάλη πτητική αυτονομία, σε συνδυασμό με τη χρήση νέων υπερελαφρών αισθητήρων με δυνατότητα ταυτόχρονης αποτύπωσης καλλιεργείων σε διαφορετικά μήκη κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, μπορούν να δώσουν νέα διάσταση και προοπτική στην αμπελοργία ακριβείας.

Σήμερα έχουμε τη δυνατότητα να λαμβάνουμε πολυφασματικές αποτυπώσεις καλλιεργείων σε πραγματικό χρόνο, σε μεγάλες εκτάσεις και με πολύ υψηλή χωρική (5-15 cm / pixel) και φασματική ανάλυση (5-10 nm). Παράλληλα το κόστος μπορεί να είναι πλέον προσιτό για τον παραγωγό. Ο σύγχρονος παραγωγός μπορεί να έχει στη διάθεσή του ψηφιακές χωρικές πληροφορίες από το αγροτεμάχιό του κατ' απαίτηση (σε πραγματικό χρόνο), που να αντανακλούν τις φυσιολογικές μεταβολές που συμβαίνουν με βάση τις διαχειριστικές επεμβάσεις που εφαρμόζει. Οι πληροφορίες αυτές μπορούν να αφορούν τη διάγνωση του φυσιολογικού stress και της παθολογίας της καλλιέργειας, του σταδίου ανάπτυξης, της ωρίμανσης, του χρόνου συγκομιδής κ.α.

Ιδιαίτερα σε καλλιέργειες υψηλής προσόδου, όπως οι αμπελώνες οινοποιήσιμων ποικιλιών, οι παραπάνω τηλεσκοπικές προσεγγίσεις μπορούν να δώσουν έγκαιρα πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με τη χωρική παραλλακτικότητα της ωρίμανσης και του χρόνου συγκομιδής, που αποτελούν τις πλέον κρίσιμες καλλιεργητικές παραμέτρους στην αμπελοργία. Επιπλέον θα μπορούσαν να εξαχθούν πληροφορίες σχετικά με τις ανάγκες σε άρδευση, πρόβλεψη παραγωγής, πρόβλεψη φυσιολογικού και φυτοπαθολογικού stress, οι ανάγκες σε λίπανση, και να καθοριστούν ζώνες διαχείρισης.

Οι πληροφορίες αυτές είναι προϊόντα πειραματισμού και αλγορίθμων συσχε-



Εικόνα 2. Κτήμα Γεροβασιλείου: Έγχρωμος ορθοφωτοχάρτης ανάλυσης 6 σπ/pixel και ισοδιάστασης 2.0 μ

τισης τηλεσκοπικών δεδομένων και δεδομένων πεδίου, εξειδικεύονται συνήθως ανά καλλιέργεια, ποικιλία ή και αγροτεμάχιο και απαιτούν πέρα από γνώσεις διαχείρισης γεωχωρικών δεδομένων και ανάλυσης εικόνας, γνώση της φυσιολογίας της καλλιέργειας και πώς αυτή μπορεί να αποτυπωθεί από τα διάφορα μήκη κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Πειραματική εφαρμογή για τον καθορισμό ζωνών ωρίμανσης σε αμπελώνια

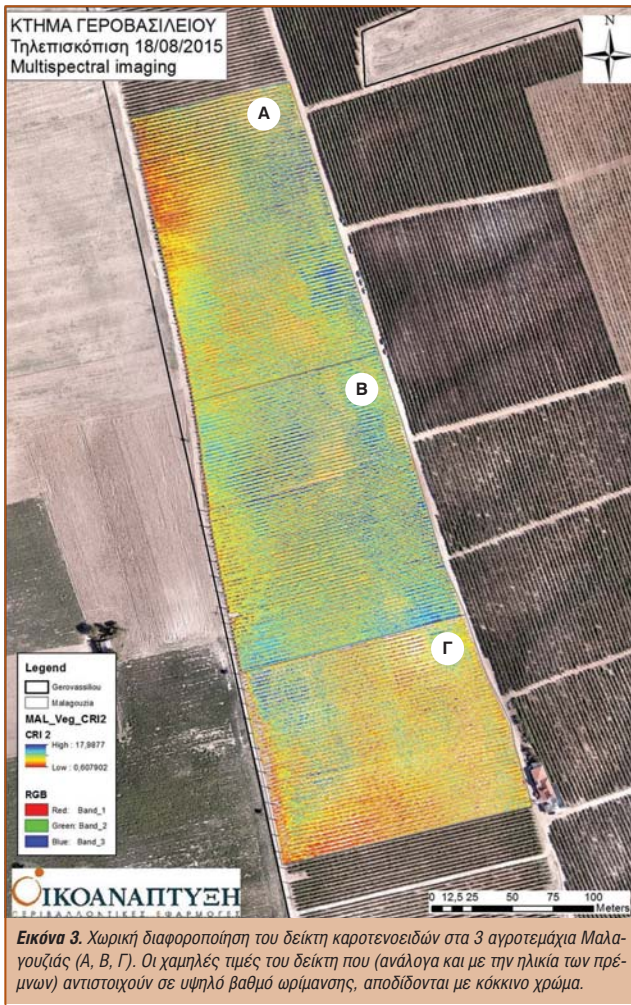
Κατά την καλλιεργητική περίοδο 2015, η Οικοανάπτυξη Α.Ε. πραγματοποίησε πειραματικές πτήσεις μη επανδρωμένου αεροσκάφους σταθερής πτέρυ-

γας (Sensefly, eBee Ag), στον αμπελώνα του κτήματος Γεροβασιλείου (<http://www.gerovassiliou.gr/el/>) στην Επανομή Θεσσαλονίκης. Το αεροσκάφος ήταν ορατού φάσματος (RGB) και πολυφασματικό αισθητήρα (B, R, RE, NIR).

Στόχος των πτήσεων ήταν:

A. Η παραγωγή έγχρωμου ορθοφωτοχάρτη ισοδιάστασης 2.0 μ (Εικ. 1 και Εικ. 2).

B. Η εξακρίβωση της δυνατότητας της πολυφασματικής λήψης να ανιχνεύσει τη χωρική παραλλακτικότητα της ωρίμανσης της ποικιλίας Μαλαγουζιά.



Εικόνα 3. Χωρική διαφοροποίηση του δείκτη καροτενοειδών στα 3 αγροτεμάχια Μαλαγουζιάς (Α, Β, Γ). Οι χαμηλές τιμές του δείκτη που (ανάλογα και με την ηλικία των πρέμνων) αντιστοιχούν σε υψηλό βαθμό ωρίμανσης, αποδίδονται με κόκκινο χρώμα.

Πρόκειται για λευκά ελληνική ποικιλία, με εξαιρετικά ποιοτικά χαρακτηριστικά που έχει διασωθεί χάρη στις προσπάθειες του Βαγγέλη Γεροβασιλείου, ο οποίος την οιονοίωσε για πρώτη φορά τη δεκαετία του '70. Σκοπός του πειράματος αυτού ήταν να προσδιοριστεί η χωρική παραλλακτικότητα του βαθμού ωρίμανσης των σταφυλιών, ώστε να μπορεί γίνει ξεχωριστή συγκομιδή από ζώνες στις οποίες ο καρπός τους είχε ωριμάσει νωρίτερα. Τελικός στόχος της ζωι-

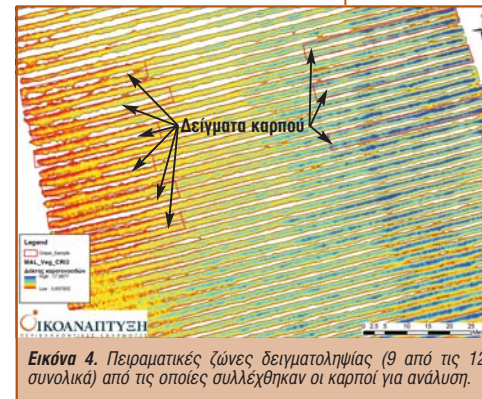
κής συγκομιδής είναι να παράγεται κρασί με υψηλότερα ποιοτικά χαρακτηριστικά και αλκοολικό βαθμό.

Αποτελέσματα

Έγινε η πειραματική υπόθεση ότι η ωρίμανση του καρπού θα συσχετιστεί με ένα δείκτη καροτενοειδών. Τα καροτενοειδή είναι χρωστικές του φυτού (κίτρινες, κόκκινες και πορτοκαλί), οι οποίες όμως καλύπτονται από τις κλωροφύλλες, και δεν είναι ορα-

τές δια γυμνού οφθαλμού. Γίνονται ορατές μόνο όταν αποσυντίθενται οι κλωροφύλλες, π.χ. το φθινόπωρο κατά την πτώση των φύλλων ή εξαιτίας ενός παράγοντα στρες του φυτού που προκαλεί ζημιά στο φωτοσυνθετικό μηχανισμό. Οι πολυφασματικές κάμερες έχουν τη δυνατότητα να διακρίνουν τις μεταβολές των καροτενοειδών (π.χ. την αύξησή τους κατά τη διαδικασία της ωρίμανσης), ακόμα και αν αυτές δεν είναι ορατές με γυμνό μάτι. Έτσι, προσαρμόστηκε η πολυφασματική κάμερα ώστε να καταγράφει στα κανάλια αυτά που προσδιορίζουν τη συγκέντρωση των καροτενοειδών στα φύλλα του αμπελιού.

Η χωρική διαφοροποίηση του δείκτη καροτενοειδών, όπως αυτή αποτυπώθηκε στις 18.08.2015, παρουσιάζεται στην (Εικ. 3). Πρόκειται για τρία αγροτεμάχια (Α, Β, Γ) συνολικής έκτασης 40 στρ. φυτεμένα με πρέμνα ποικιλίας Μαλαγουζιάς ηλικίας 5, 12 και 3 ετών αντίστοιχα. Οι χαμηλές τιμές του δείκτη αντιστοιχούν σε υψηλό βαθμό ωρίμανσης και αποδίδονται με κόκκινο χρώμα. Το μεσαίο αγροτεμάχιο (Β) έχει πρέμνα αρκετά μεγαλύτερης ηλικίας σε σύγκριση με τα άλλα δύο και παρουσιάζει μια σχετικά πιο ομοιόμορφη ωρίμανση. Αυτό οφείλεται στο ότι τα 12ετή πρέμνα έχουν μεγαλύτερο ριζικό σύστημα και επηρεάζονται λιγότερο από τη γεωγραφική μορφολογία και το επίπεδο άρδευσης, με αποτέλεσμα να μην διαφέρουν σημαντικά στο επίπεδο ευρωστίας τους και άρα στην ωρίμανσή τους. Πρέπει να αναφέρουμε το γεγονός ότι το αγροτεμάχιο αυτό έχει γενικά χαμηλότερες συγκεντρώσεις καροτενοειδών (υψηλό δείκτη καροτενοειδών που αποδίδονται με μπλε χρώμα στον χάρτη) δε σημαίνει απαραίτητα ότι τα πρέμνα αυτά είναι πιο καθυστερημένα σε ωρίμανση, καθώς ο δείκτης των καροτενοειδών επηρεάζεται και από την ευρωστία, το μέγεθος και την ηλικία των πρέμνων, και άρα η ερμηνεία των αποτελεσμάτων πάντοτε πρέπει να γίνεται σε επίπεδο αγροτεμαχίου. Με βάση τη χαρτογράφηση του δείκτη



Εικόνα 4. Πειραματικές ζώνες δειγματοληψίας (9 από τις 12 συνολικά) από τις οποίες συλλέχθηκαν οι καρποί για ανάλυση.

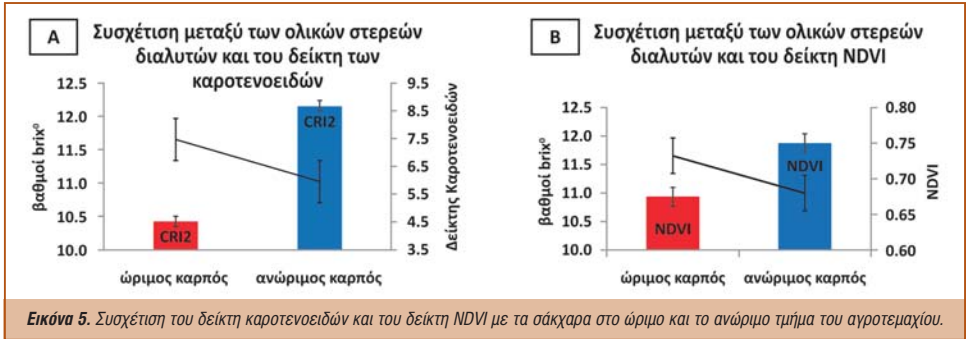
καροτενοειδών ορίσθηκαν στο αγροτεμάχιο Α δώδεκα ζώνες δειγματοληψίας, έξι ζώνες στην περιοχά χαμηλών τιμών (ώριμος καρπός - κόκκινη περιοχά του χάρτη) και έξι ζώνες στην περιοχά υψηλών τιμών (ανώριμος καρπός - μπλε περιοχά του χάρτη) από τις οποίες συλλέχθηκαν ρώγες για ανάλυση σακκάρων και pH (Εικ. 4). Στη συνέχεια συσχετίστηκαν τα πειραματικά δεδομένα αγρού με τα φασματοσκοπικά και συγκεκριμένα με τις τιμές του δείκτη καροτενοειδών (CR12), αλλά και του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης (NDVI).

Στην (Εικ. 5) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης διακύμανσης (ANOVA) μεταξύ τηλεπισκοπικών δεδομένων και δεδομένων εδάφους των 12 δειγματοληπτικών ζωνών. Όπως ήταν αναμενόμενο, οι τιμές του brin^x παρουσιάζονται μειωμένες στο ανώριμο τμήμα του αγροτεμαχίου (5Α,



5Β). Ανάλογες μεταβολές παρουσιάζουν οι φασματοσκοπικοί δείκτες: Ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (NDVI) μειώνεται σημαντικά στα «ώριμα» πρέμνα σε σχέση με τα «ανώριμα» (5Β), όμως σε μικρότερο βαθμό σε σχέση με το δείκτη των καροτενοειδών (5Α) (ο δείκτης καροτενοειδών συσχετίζεται αντίστροφα με τη συγκέντρωσή τους). Γενικά, διαπιστώθηκε ότι στα τμήματα του αγροτεμαχίου που η συγκέντρωση των καροτενοειδών ήταν υψηλότερη, αυξήθηκε τόσο η συγκέντρωση των ολικών στερεών διαλυτών, δηλαδή το Brin^x (που συσχετίζεται με τα σάκαρα

του καρπού), όσο και το pH. Έγινε ξεχωριστή συγκομιδή των τμημάτων του αγροτεμαχίου και τα σταφύλια που συγκομίστηκαν από τα πρέμνα που είχαν υψηλότερες συγκεντρώσεις καροτενοειδών έδωσαν κρασί υψηλότερου αλκοολικού βαθμού (13,5% κατ' όγκο), ενώ τα σταφύλια που συγκομίστηκαν από τα πρέμνα με χαμηλότερες συγκεντρώσεις καροτενοειδών έδωσαν κρασί χαμηλότερου αλκοολικού βαθμού (12% κατ' όγκο). Τα παραπάνω δεδομένα αποτελούν ικανοποιητικές ενδείξεις της σχέσης φασματοσκοπικών δεδομένων υψηλής ανάλυσης και παραγόντων ωρίμανσης



Εικόνα 5. Συσχέτιση του δείκτη καροτενοειδών και του δείκτη NDVI με τα σάκαρα στο ώριμο και το ανώριμο τμήμα του αγροτεμαχίου.



του καρπού. Όμως οι στατιστικές διαφοροποιήσεις των δεικτών μας δείχνουν ότι το φαινόμενο είναι πολυπαραγοντικό και η πρόβλεψή του με τη συσχέτιση των τηλεσκοπικών δεδομένων απαιτεί τη χρήση μοντέλων πολλαπλής παλινδρόμησης και όχι απλά γραμμικά μοντέλα.

Στη συνέχεια επιχειρήθηκε να καθορισθεί ένα μοντέλο με το οποίο θα μπορεί να γίνεται πρόβλεψη του βαθμού ωρίμανσης του καρπού με βάση τους τηλεσκοπικούς δείκτες χρησιμοποιώντας στατιστικές τεχνικές. Έτσι εφαρμόστηκαν εξισώσεις πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης (multiple linear regression), η μηχανή υποστήριξης διανύσματος (support vector machine), μη γραμμικά μοντέλα παλινδρόμησης (non linear models), ανάλυση κυρίων συνιστωσών (principal component analysis) και ανάλυση μερικών ελαχίστων τετραγώνων (partial least squares).

Από τα μοντέλα που δημιουργήθηκαν με βάση τις διάφορες στατιστικές τεχνικές, το μοντέλο που δημιουργήθηκε με τη μηχανή υποστήριξης διανύ-

σματος (support vector machine) έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα πρόβλεψης των τιμών των ολικών στερεών διαλυτών και του pH. Έτσι δημιουργήθηκε ένας αλγόριθμος ώστε με τηλεσκοπικές λήψεις να είναι δυνατό να προσδιορισθεί η συγκέντρωση των σακχάρων και του pH στον καρπό των πρέμνων και ο χρόνος συγκομιδής.

Ο αλγόριθμος που δημιουργήθηκε εξειδικεύεται ανά ποικιλία και αγροτεμάχιο και απαιτεί ελάχιστα δεδομένα πεδίου από τον αμπελουργό. Αρκούν μετρήσεις brix^ο από 2 σειρές κάθε αγροτεμαχίου, ώστε να γίνεται βαθμονόμηση του αλγόριθμου, με σκοπό να προσδιορίζεται η πιθανή χωρική ετερογένεια μιας ποικιλίας. Η χρήση του αλγόριθμου είναι πολύ σημαντική, διότι επιτρέπει στον παραγωγό να γνωρίζει τι ποσοστό του καρπού από τα πρέμνα του αγροτεμαχίου έχει επιτύχει την κατάλληλη συγκέντρωση σακχάρων και άρα να προσδιορίσει το χρόνο συγκομιδής, ώστε να επιτευχθεί ο ιδανικός αλκοολικός βαθμός και η ποιότητα του κρασιού.

Συμπεράσματα

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει δεδομένα επιχειρώντας να επισφαιρίσει τη σημασία της χρήσης τηλεσκοπικών εικόνων στη διάγνωση της ωρίμανσης των πρέμνων ενός αμπελώνα και παράλληλα προσπαθεί μέσα στα πλαίσια αυτά να εξηγήσει ότι είναι απαραίτητη η ερμηνεία των τηλεσκοπικών πληροφοριών με τη χρήση ειδικών εξισώσεων (αλγορίθμων) για τη μεγιστοποίηση των πλεονεκτημάτων της τηλεσκοπικής καταγραφής στη γεωργική πρακτική.

Ο αλγόριθμος που δημιουργήθηκε παράγει προβλεπόμενες τιμές ολικών στερεών διαλυτών (brix^ο). Με βάση τις προβλεπόμενες τιμές ο αμπελουργός θα είναι πλέον σε θέση να:

- α. συγκομίσει ζωνικά, ανάλογα με τις επιχειρησιακές του δυνατότητες (δεξαμενές οινοποίησης, εργατικό δυναμικό), προσδιορίζοντας επιπρόσθετα το χρόνο συγκομιδής της κάθε ζώνης, με βάση το μέσο βέλτιστο brix^ο των πρέμνων της ζώνης.

- β. συγκομίσει με βάση το μέσο βέλτιστο brix^ο του αγροτεμαχίου ή του αμπελώνα, απομονώνοντας πιθανές ζώνες πρέμνων πολύ καθυστερημένης ωρίμανσης. Δηλαδή όταν το ποσοστό των πρέμνων που έχουν καρπό με υψηλά επίπεδα σακχάρων προσεγγίσει ένα όριο ώστε να επιτευχθεί κρασί υψηλού αλκοολικού βαθμού και ποιότητας, τότε ο παραγωγός συλλέγει τον καρπό από το αγροτεμάχιο για οινοποίηση.

- γ. εμπλένει ο παραγωγός έχοντας στα χέρια του τη χαρτογράφηση των τιμών του αλγορίθμου ωρίμανσης μπορεί σε δεύτερο χρόνο να διερευνήσει εστιασμένα τα πιθανά αίτια της διαφοροποίησης της ωρίμανσης (π.χ. εδαφολογικοί παράγοντες, άρδευση) και να προβεί σε διορθωτικές ενέργειες.

Ευχαριστίες

Ευχαριστούμε πολύ τον κ. Βαγγέλη Γεροβασιλείου, τον κ. Αργύρη Γερο-

βασιλείου, τον κ. Αργύρη Αργυρίου και την κα. Αλεξάνδρα Παπαδάκη, από το κτήμα Γεροβασιλείου, για τη βοήθεια που μας προσέφεραν στην πραγματοποίηση αυτής της εργασίας.

Βιβλιογραφία

Hall, A., Lamb, D.W., Holzappel, B. and Louis, J. (2002), Optical remote sensing applications in viticulture - a review. Australian Journal of Grape and Wine Research, 8: 36-47.

Lamb, D.W., Weedon, M.M. and Bramley, R.G.V. (2004), Using remote sensing to predict grape phenolics and colour at harvest in a Cabernet Sauvignon vineyard: Timing observations against vine phenology and optimising image resolution. Australian Journal of Grape and Wine Research, 10: 46-54.

Matese, A., Gennaro, S. F. (2015), Technology in precision viticulture: a state of the art review. International Journal of Wine Research vol. Volume 7 p. 69-81

Gitelson, A.A., Merzlyak, M.N., and Chivkunova, O.B. 2001. Optical

properties and nondestructive estimation of anthocyanin content in plant leaves. Photochemistry and Photobiology, 74:38-45.

Gitelson, A.A., Zur, Y., Chivkunova, O.B., and Merzlyak, M.N. 2002. Assessing Carotenoid Content in Plant Leaves with Reflectance Spectroscopy. Photochemistry and Photobiology 75:272-81.

Gitelson, A.A., Vi a, A., Ciganda, V., Rundquist, D.C., and Arkebauer, T.J. 2005 Remote estimation of canopy chlorophyll content in crops. Geophysical Research Letters.32: L08403.

Gitelson, A.A. 2012. Nondestructive estimation of foliar pigment (chlorophylls, carotenoids, and anthocyanins) contents: evaluating a semianalytical three-band model. Pages 141-165 in: Hyperspectral remote sensing of vegetation. P.S. Thenkabail, G.J. Lyon, A. Huete, eds. Boca Raton, FL, CRS Press.

(1) Οικονομική Α.Ε., www.ecodev.gr
 (2) Αγροοικολογία Ε.Ε., www.agroecosystem.gr
 *ΠΗΓΗ ΦΩΤΟ: «Οικονομική Α.Ε.»