

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΑΜΠΕΛΩΝΕΣ

Α. Χ. Ταγαράκης^{1✉}, Κ. Μπινιάρη², Ι. Δασκαλάκης², Μ. Σταυρακάκη², Δ. Παλιοκώστας², Δ. Κατέρης¹, Α. Μπαλαφούτης¹ & Δ. Μπόχτης¹

¹Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης (ΕΚΕΤΑ), Ινστιτούτο Βιο-Οικονομίας και Αγρο-Τεχνολογίας (iBO), Δ. Γεωργιάδου 118, 38333, Βόλος

²Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής, Εργαστήριο Αμπελογονίας, Ιερά Οδός 75, 11855, Αθήνα

✉ a.tagarakis@certh.gr

Περίληψη

Η διαχείριση των αμπελώνων σύμφωνα με τις πρακτικές της Γεωργίας Ακριβείας (ΓΑ) μπορεί να αποδειχθεί πολύτιμο εργαλείο στα χέρια των σύγχρονων αμπελουργών. Η Αμπελουργία Ακριβείας (ΑΑ), δηλαδή η εφαρμογή της ΓΑ στην αμπελουργία, έχει προσελκύσει σημαντικό ενδιαφέρον από αμπελουργούς και επιστήμονες τις τελευταίες δεκαετίες, κυρίως έπειτα από την ανάπτυξη και τη διαθεσιμότητα ψηφιακών τεχνολογιών αφιερωμένων σε γεωργικές εφαρμογές. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή πρακτικών ΑΑ και ψηφιακών τεχνολογιών και η χρήση τους για τον καθορισμό ζωνών διαχείρισης και την εκτίμηση της κατάστασης των πρέμνων από μελέτη που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του έργου «AGROSYS» σε πειραματικό αμπελώνα του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών στα Σπάτα Αττικής, σε αμπέλια της ποικιλίας Σαββατιανό (*Vitis vinifera* L.). Τα αρχικά αποτελέσματα έδειξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές σε βασικές φυσιολογικές και ποιοτικές παραμέτρους των πρέμνων και των σταφυλιών μεταξύ των διαφορετικών ζωνών διαχείρισης που ορίστηκαν σύμφωνα με χαρτογραφήσεις και τεχνικές ΓΑ. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει τη σημασία και τα πιθανά οφέλη της διαχείρισης της τοπικής χωρικής μεταβλητότητας σε εμπορικούς αμπελώνες.

Λέξεις κλειδιά: Αμπελουργία Ακριβείας, φυσιολογία αμπέλου, χωρική παραλλακτικότητα, ζώνες διαχείρισης

MANAGING LOCAL FIELD VARIABILITY IN VITICULTURE

A.C. Tagarakis^{1✉}, K. Biniari², I. Daskalakis², M. Stavrakaki², D. Palaiokostas², D. Kateris¹, A. Balafoutis¹, D. Bochtis¹

¹ Institute for Bio-Economy and Agri-Technology (iBO), Centre of Research and Technology-Hellas (CERTH), 6th Km Charilaou-Thermi Rd., 57001, Thessaloniki, Greece

² Agricultural University of Athens, Department of Crop Science, Laboratory of Viticulture, 75 Iera Odos Street, GR-11855 Athens, Greece

✉ a.tagarakis@certh.gr

ABSTRACT

Managing vineyards according to Precision Agriculture (PA) practices can prove to be a valuable tool in the hands of modern viticulturists. Precision Viticulture (PV), naming the application of PA in viticulture, has attracted significant interest from growers and scientists over the last decades, mainly following the development and availability of digital technologies dedicated to agricultural applications. In this study, the results from the application of PV practices and digital technologies, and their use for defining management

zones and assessing vine status are presented. The research was carried out within the framework of the “AGROSYS” project in an experimental vineyard of the Agricultural University of Athens in Spata, Attica, on vines of the Savatiano variety (*Vitis vinifera* L.). The initial results showed statistically significant differences in key physiological and quality parameters of vines and grapes between the different management zones defined through mapping and PA techniques. This finding highlights the importance and potential benefits of managing local spatial variability in commercial vineyards.

Keywords: Precision Viticulture, Vine Physiology, Spatial Variability, Management Zones

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διαχείριση των αμπελιών σύμφωνα με τις πρακτικές της Γεωργίας Ακριβείας (ΓΑ) μπορεί να αποτελέσει σημαντικό πλεονέκτημα στα χέρια των σύγχρονων αμπελουργών. Η Αμπελουργία Ακριβείας (ΑΑ), δηλαδή η εφαρμογή της ΓΑ στην αμπελουργία, έχει προσελκύσει σημαντικό ενδιαφέρον από αμπελουργούς και επιστήμονες τις τελευταίες δεκαετίες, κυρίως έπειτα από την ανάπτυξη και τη διαθεσιμότητα ψηφιακών τεχνολογιών αφιερωμένων σε γεωργικές εφαρμογές. (Ferro and Catania, 2023). Οι πιο διαδεδομένοι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται στο πλαίσιο της εφαρμογής της ΑΑ, είναι RGB, πολυφασματικοί, υπερφασματικοί, θερμικοί και LiDAR (Ferro and Catania, 2023). Ανάμεσα σε όλες αυτές τις επιλογές αισθητήρων, υπάρχει η δυνατότητα μέτρησης παραμέτρων του φυτού και του αγρού είτε με εναέρια συστήματα με τους αισθητήρες τοποθετημένους σε μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAVs), είτε με επίγεια συστήματα, προσαρμοσμένα σε μη επανδρωμένα επίγεια οχήματα (UGVs), καθώς και άλλα οχήματα ή σε φορητές συσκευές.

Ένα εξίσου σημαντικό σύστημα που χρησιμοποιείται στη ΓΑ είναι οι αισθητήρες χαρτογράφησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) του εδάφους, οι οποίοι παρέχουν τη δυνατότητα εκτίμησης της χωρικής παραλλακτικότητας του εδάφους με υψηλή ανάλυση. Οι ιδιότητες του εδάφους παρουσιάζουν σημαντική χωρική παραλλακτικότητα ακόμη και σε μικρούς αμπελώνες. Θεωρούνται παράμετροι χρονικά αμετάβλητες, οδηγώντας στη δημιουργία ζωνών διαχείρισης που είναι πιο σταθερές με την πάροδο του χρόνου (Tagarakis et al., 2011). Η διαχείριση της χωρικής παραλλακτικότητας ενδέχεται να αποτελεί το κλειδί για τη βέλτιστη διαχείριση των αμπελώνων, αξιοποιώντας ζώνες διαχείρισης με διαφορετικές ιδιότητες ως προς την απόδοση και τη σύσταση των σταφυλιών (Tagarakis et al., 2013; Serrano et al., 2023). Ανάμεσα στις παραμέτρους του εδάφους, η EC έχει αποδειχθεί αποτελεσματική για την οριοθέτηση ζωνών διαχείρισης και έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς (Kitchen et al., 2005; Tagarakis et al., 2013; Serrano et al., 2023), ιδίως μετά τη διάθεση των σχετικών εργαλείων ανίχνευσης και χαρτογράφησης. Η αξιοποίηση της EC είναι ιδανική για τέτοιες εφαρμογές στην αμπελοκαλλιέργεια, καθώς σχετίζεται με βασικές ιδιότητες του εδάφους, όπως η σύσταση και η αλατότητα (Corwin and Plant, 2005), καθώς και με ιδιότητες των πρέμνων (Tagarakis et al., 2013; Tagarakis et al., 2014).

Για την οριοθέτηση ζωνών διαχείρισης σε αμπελώνες έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες μέθοδοι ανάλυσης. Μία από τις πιο συχνές πρακτικές για τη σύντηξη των διαφορετικών επιπέδων πληροφοριών χαρτογράφησης του αγρού και την οριοθέτηση ζωνών διαχείρισης είναι η χρήση τεχνικών ασαφούς ομαδοποίησης (fuzzy clustering) (Tagarakis et al., 2013; González-Fernández et al., 2019). Μία άλλη μεθοδολογία για την οριοθέτηση ζωνών διαχείρισης περιλαμβάνει την εφαρμογή ανάλυσης κύριων συνιστωσών (PCA) στα χωρικά δεδομένα που συλλέγονται από τον αγρό (Tagarakis et al., 2011). Ωστόσο, η ανάλυση fuzzy

clustering έχει αποδειχθεί πιο ακριβής σε σχετική μελέτη στην αμπελοκαλλιέργεια (González-Fernández et al., 2019).

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή πρακτικών Αμπελουργίας Ακριβείας (AA) και ψηφιακών τεχνολογιών σε έναν εμπορικό αμπελώνα στην περιοχή της Αττικής στην Ελλάδα, στο πλαίσιο μελέτης που πραγματοποιήθηκε στο έργο «AGROSYS». Ο κύριος στόχος ήταν η διερεύνηση της δυνατότητας διαφορετικών αισθητήρων, εναέριων ή επίγειων, για τη χαρτογράφηση της χωρικής παραλλακτικότητας των εδαφικών χαρακτηριστικών και φυσιολογικών παραμέτρων των αμπελών. Παράλληλα μελετήθηκε, η εκτίμηση της επίδρασής των ιδιοτήτων και των χαρακτηριστικών του εδάφους στις ιδιότητες των πρέμνων και των σταφυλιών από μετρήσεις εντός της καλλιεργητικής περιόδου.

2. ΥΛΙΚΑ-ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Πειραματικός αμπελώνας

Η μελέτη πραγματοποιήθηκε το καλοκαίρι του 2024 σε εμπορικό αμπελώνα στην περιοχή της Αττικής (23.9059097°E, 37.9872950°N). Η πειραματική έκταση ήταν 35 στρέμματα, τμήμα ενός αμπελώνα 260 στεμμάτων που καλλιεργείται με την παραδοσιακή ελληνική ποικιλία Σαββατιανό (*Vitis vinifera* L.).



2.2 Χαρτογράφηση της χωρικής παραλλακτικότητας εδάφους και τοπογραφικού ανάγλυφου

Η φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους (ECa) χαρτογραφήθηκε αρχικά με τον ηλεκτρομαγνητικό αισθητήρα EM38-MK2 (Geonics LTD, Ontario, Canada), τοποθετημένο σε ειδικά κατασκευασμένο τροχήλατο έλκηθρο συρόμενο από όχημα, το οποίο ακολούθησε παράλληλες διαδρομές μεταξύ των γραμμών του αμπελώνα ανά 12 m. Για την παραγωγή του ψηφιακού μοντέλου εδάφους αξιοποιήθηκαν μετρήσεις από RTK-GNSS (Stonex, MI, Italy).

2.3 Οριοθέτηση ζωνών διαχείρισης και μετρήσεις καλλιέργειας

Οι ιδιότητες του εδάφους και του ανάγλυφου αναλύθηκαν με χρήση του αλγορίθμου ασαφούς ομαδοποίησης (Fuzzy clustering) και δημιουργήθηκαν ζώνες διαχείρισης, βάσει των οποίων ορίστηκαν τα πειραματικά τεμάχια. Σε κάθε τεμάχιο επιλέχθηκαν τρία αντιπροσωπευτικά πρέμνα, τα οποία μετρήθηκαν ως προς τη φυσιολογική και φαινοτυπική τους κατάσταση με χειροκίνητες μεθόδους και ψηφιακές τεχνολογίες. Συγκεκριμένα, η ανάπτυξη των πρέμνων μετρήθηκε με χρήση πολυφασματικών αισθητήρων με επίγεια και εναέρια συστήματα. Για τον σκοπό αυτό, ο πολυφασματικός αισθητήρας CropCircle (Holland Scientific Inc., Lincoln, NE, USA) τοποθετήθηκε σε μη επανδρωμένο επίγειο όχημα (UGV) Thorvald (SAGA Robotics SA, Oslo, Norway), το οποίο κινήθηκε κατά μήκος των γραμμών με τον αισθητήρα σε απόσταση 0,5 m από την πλαϊνή κόμη των πρέμνων. Συμπληρωματικά, οι ιδιότητες της άνω κόμης χαρτογραφήθηκαν με το μη επανδρωμένο εναέριο όχημα MAVIC 3M (DJI Technology Co., Ltd., Shenzhen, China), εξοπλισμένο με πολυφασματικό αισθητήρα και GNSS υψηλής ακρίβειας (RTK). Επιπλέον, η θερμοκρασία του φυλλώματος μετρήθηκε με φορητή θερμική (IR) κάμερα (FLIR Systems, Inc.). Οι επίγειες μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε δύο στάδια ανάπτυξης των πρέμνων, στον περκασμό (*veraison*) και στη συγκομιδή, ενώ οι μετρήσεις με UAV έγιναν μόνο στη συγκομιδή, λόγω δυσμενών καιρικών συνθηκών (ισχυροί

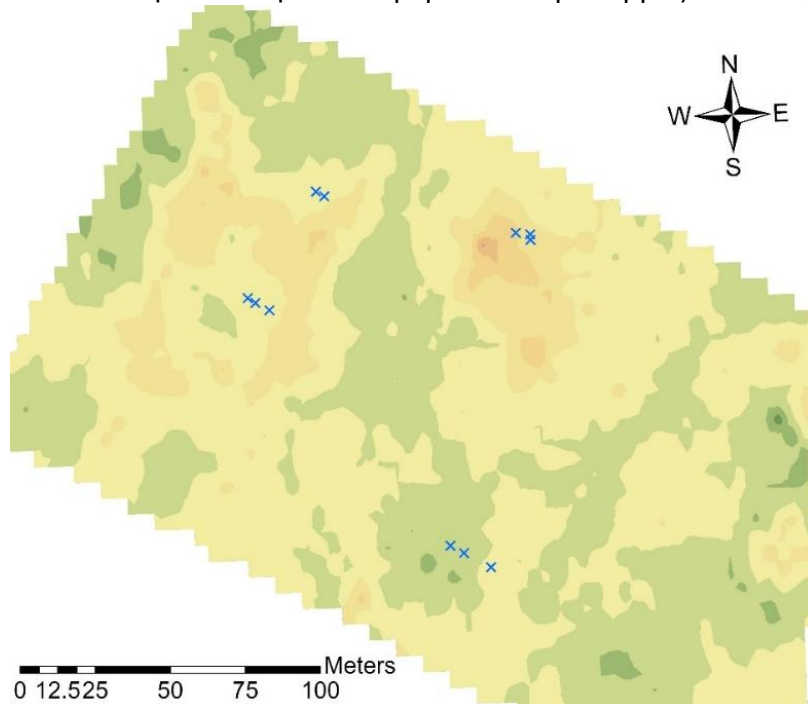
άνεμοι) κατά τον περκασμό. Οι φυσιολογικές παράμετροι των πρέμνων μετρήθηκαν τις ίδιες χρονικές στιγμές.

2.4 Στατιστική ανάλυση

Για τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό JASP (JASP Team, 2024, έκδοση 0.19.3), προκειμένου να εξαχθούν περιγραφικά στατιστικά, ανάλυση της παραλλακτικότητας (ANOVA) και ανάλυση συσχέτισης (Pearson's Correlation). Στην ANOVA εφαρμόστηκαν δοκιμές Post Hoc (Tukey) για την ανίχνευση σημαντικών διαφορών μεταξύ των μετρούμενων παραμέτρων εντός των ζωνών.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η χωρική ανάλυση των παραμέτρων εδάφους και τοπογραφικού ανάγλυφου οδήγησε στο διαχωρισμό του πειραματικού αμπελώνα σε τέσσερις ζώνες. Από κάθε ζώνη επιλέχθηκαν τρία πρέμνα για τη διενέργεια μετρήσεων (Εικ. 1). Η αρχική ανάλυση έδειξε ότι οι δείκτες βλάστησης NDVI και NDRE, από τα επίγεια και εναέρια συστήματα, εμφάνισαν υψηλή παραλλακτικότητα, σε αντίθεση με τις μετρήσεις θερμοκρασίας του φυλλώματος. Αυτό αποδίδεται στο σημαντικά μικρότερο εύρος των μετρήσεων με τη θερμική κάμερα, το οποίο υποδεικνύει την ικανότητα των πρέμνων να προσαρμόζονται στις περιβαλλοντικές συνθήκες.



Σχήμα 1. Ζώνες διαχείρισης παραγόμενες από την ανάλυση ασαφούς ομαδοποίησης των εδαφικών παραμέτρων.

Η ανάλυση της παραλλακτικότητας (ANOVA) μεταξύ των ζωνών ανέδειξε την απόκριση των πρέμνων στη χωρική παραλλακτικότητα των εδαφικών και τοπογραφικών παραμέτρων. Στην ανάλυση, οι ζώνες που προέκυψαν από την ECa και το υψόμετρο χρησιμοποιήθηκαν ως παράγοντας, ενώ οι παράμετροι των πρέμνων (φυσιολογικές και ποιοτικές) που μετρήθηκαν στα στάδια περκασμού και ωρίμανσης χρησιμοποιήθηκαν ως εξαρτημένες μεταβλητές. Τα αποτελέσματα της ANOVA έδειξαν ότι χαρακτηριστικά όπως το βάρος και το μήκος ραγών, καθώς και ποιοτικές παράμετροι όπως τα διαλυτά στερεά (Brix), οι συνολικές φιανόλες, το γαλλικό οξύ, το ασκορβικό οξύ και το τρυγικό οξύ εμφάνισαν στατιστικά σημαντικές

διαφορές μεταξύ των ζωνών. Αντίστοιχα αποτελέσματα παρατηρήθηκαν για τη θερμοκρασία φυλλώματος και τις μετρήσεις NDVI με UAV.

Πίνακας 1. Συσχέτιση των μετρούμενων παραμέτρων (Pearson's Correlation).

Pearson's Correlations		Pearson's r	p
UAV NDVI (harvest)	- NDVI (harvest)	0.706 *	0.015
UAV NDVI (harvest)	- Percentage of skin weight per berry (%)	0.657 *	0.02
UAV NDVI (harvest)	- Tartaric acid/ must	0.602 *	0.038
UAV NDVI (harvest)	- Ascorbic acid/ must	-0.609 *	0.035
UAV NDVI (harvest)	- E-transpiration (harvest)	0.667 *	0.018
UAV NDVI (harvest)	- gs - stomatal conductance (harvest)	0.595 *	0.041
UAV NDVI (harvest)	- Chlorophyll (harvest)	0.87 ***	< .001
NDRE (harvest)	- Total soluble solids (Brix)	0.696 *	0.017
NDRE (harvest)	- Tartaric acid/ must	0.677 *	0.022
NDRE (harvest)	- Malic acid/ must	0.602 *	0.05
Thermal (harvest)	- Weight of grape (gr)	-0.6 *	0.039
Thermal (harvest)	- Length of grape (cm)	-0.616 *	0.033
Thermal (veraison)	- NDRE (veraison)	-0.706 *	0.01
Thermal (veraison)	- NDVI (veraison)	-0.698 *	0.012
Thermal (veraison)	- Percentage of skin weight per berry (%)	-0.707 *	0.022
Thermal (veraison)	- Fumaric acid/ must	0.701 *	0.024
Thermal (veraison)	- Chlorophyll (veraison)	-0.647 *	0.043
Thermal (veraison)	- length of grape (cm)	-0.801 **	0.005
Thermal (veraison)	- E(transpiration)	-0.814 **	0.004
Thermal (veraison)	- gs - stomatal conductance (harvest)	-0.821 **	0.004

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

Επίσης μελετήθηκε η συσχέτιση των φυσιολογικών παραμέτρων με τις μετρήσεις των ψηφιακών συστημάτων, ώστε να αξιολογηθεί η δυνατότητά τους για αυτοματοποιημένη εκτίμηση της κατάστασης των πρέμνων. Η ανάλυση έδειξε ότι ο NDVI από το εναέριο σύστημα UAV συσχετίστηκε στατιστικώς σημαντικά ($p < .05$) με το NDVI του επίγειου αισθητήρα ($r=0.706$), υποδεικνύοντας τη συνάφεια των δύο συστημάτων, αν και χαρτογραφούσαν διαφορετικά μέρη της φυτοκόμης (πλαϊνή με το επίγειο και κορυφή με το εναέριο σύστημα). Επιπλέον, το UAV NDVI συσχετίστηκε με παραμέτρους ποιότητας και φυσιολογίας, με την υψηλότερη τιμή να παρατηρείται για το περιεχόμενο σε χλωροφύλλη ($r=0.87$, $p<0.001$). Οι μετρήσεις με τον αισθητήρα CropCircle συσχετίστηκαν με παραμέτρους ποιότητας (Brix, τρυγικό και μηλικό οξύ). Μόνο το NDRE έδειξε σημαντική συσχέτιση με παραμέτρους καλλιέργειας κατά τη συγκομιδή. Στον περκασμό, οι δείκτες NDRE και NDVI συσχετίστηκαν αρνητικά με τη θερμοκρασία φυλλώματος ($r=-0.706$, $p<.05$ και $r=-0.698$, $p<.05$ αντίστοιχα), ως ένδειξη της δυνατότητας των δεικτών για την ανίχνευση υδατικού στρες των πρέμνων. Η συσχέτιση αυτή παρατηρήθηκε μόνο στον περκασμό λόγω υψηλών θερμοκρασιών και της έλλειψης βροχοπτώσεων. Αντίθετα, οι βροχοπτώσεις πριν τη συγκομιδή εξάλειψαν τα φαινόμενα στρες. Οι μετρήσεις της θερμοκρασίας φυλλώματος συσχετίστηκαν επίσης με φυσιολογικά χαρακτηριστικά όπως το βάρος και το μήκος ραγών, με υψηλότερη συσχέτιση στον περκασμό ($r=-0.801$, $p<0.1$). Σημαντικές συσχετίσεις παρατηρήθηκαν επίσης με παραμέτρους όπως το ποσοστό βάρους φλοιού ανά ράγα, το

φουμαρικό οξύ, η χλωροφύλλη, το μήκος ραγών, η διαπνοή (E) και η στοματική αγωγιμότητα (gs). Οι δύο τελευταίες εμφάνισαν ισχυρή αρνητική συσχέτιση ($r=-.814$ και $r=-.821$, $p<0.01$), επιβεβαιώνοντας τη δυνατότητα ποσοτικοποίησης του υδατικού στρες με χρήση θερμικών αισθητήρων. Το αρνητικό πρόσημο εξηγείται από το κλείσιμο των στομάτων σε κατάσταση θερμικής και υδατικής καταπόνησης, που μειώνει τη φυσιολογική δραστηριότητα. Το αποτέλεσμα αυτό επιβεβαιώνεται και σε άλλες μελέτες (Venios et al., 2020; Ferro and Catania, 2023).

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα της μελέτης υποδεικνύουν τη σημασία του terroir στην ανάπτυξη των πρέμνων, την επίδρασή του στην απόδοση και την ποιότητα των σταφυλιών και του παραγόμενου οίνου. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές στις φυσιολογικές και ποιοτικές παραμέτρους μεταξύ των ζωνών υπογραμμίζουν τα οφέλη της διαχείρισης της τοπικής χωρικής παραλλακτικότητας σε εμπορικούς αμπελώνες. Επιπλέον, αναδείχθηκε η δυναμική των UAV και UGV για την παρακολούθηση της φυσιολογικής κατάστασης των πρέμνων και την πρόβλεψη ποιοτικών παραμέτρων των σταφυλιών. Απαιτούνται περαιτέρω μελέτες για τον εμπλουτισμό των δεδομένων και τη διερεύνηση των επιδράσεων των εδαφικών και τοπογραφικών παραμέτρων στα πρέμνα σε διαφορετικές εδαφοκλιματικές συνθήκες.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του έργου «ΑΓΡΟΣΥΣ – Ανάπτυξη αυτόνομου συνεργατικού ρομποτικού Συστήματος αμπελουργίας ακριβείας που ενσωματώνει Ηλεκτροκίνητα επίγεια και εναέρια Μη Επανδρωμένα Οχήματα και μικρής κλίμακας ηλιακούς σταθμούς φόρτισης» (Κωδικός έργου: ΤΑΕΔΚ-06184), στο πλαίσιο της Δράσης «Ερευνώ – Δημιουργώ – Καινοτομώ», του Εθνικού Σχεδίου Ανάκαμψης και Ανθεκτικότητας Ελλάδα 2.0, που συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση και το ΕΣΠΑ 2021-2027.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Corwin D. L. and Plant R. E., 2005. *Editorial: Applications of apparent soil electrical conductivity in precision agriculture*. Computers and Electronics in Agriculture, 46, 1–10.
- Ferro M.V. and Catania P., 2023. *Technologies and Innovative Methods for Precision Viticulture: A Comprehensive Review*. Horticulturae, 9, 399. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9030399>
- González-Fernández A.B., Rodríguez-Pérez J.R., Sanz-Ablanedo E., Valenciano J.B. and Marcelo V., 2019. *Delineating vineyard zones by fuzzy K-means algorithm based on grape sampling variables*. Scientia Horticulturae, 243, 559-566. ISSN 0304-4238, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.09.012>.
- Kitchen N. R., Sudduth K. A., Myers D. B., Drummond S. T. and Hong S. Y., 2005. *Delineating productivity zones on claypan soil fields apparent soil electrical conductivity*. Computers and Electronics in Agriculture, 46, 285–308.
- Tagarakis A., Koundouras S., Papageorgiou E. I., Dikopoulou Z., Fountas S. and Gemtos T., 2014. *A fuzzy inference system to model grape quality in vineyards*. Precision Agriculture 15 (5), 555-578.
- Tagarakis A., Liakos V., Fountas S., Koundouras S. and Gemtos T., 2013. *Management zones delineation using fuzzy clustering techniques in grapevines*. Precision Agriculture 14(1), 18-39. DOI 10.1007/s11119-012-9275-4.

- Tagarakis A., Liakos V., Fountas S., Koundouras S. and Gemtos T., 2011. *Using Soil and Landscape Properties to Delineate Management Zones in Vines*. Journal of Agricultural Machinery Science (Tarım Makinaları Bilimi Dergisi) 7(1), 33-38.
- Venios X., Korkas E., Nisiotou A. and Banilas, 2020. *Grapevine Responses to Heat Stress and Global Warming*. Plants 2020, 9, 1754; doi:10.3390/plants9121754.