



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

**ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ &
ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ**

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**Εφαρμογή γεωργίας ακριβείας σε καλλιέργεια επιτραπέζιων
σταφυλιών**

Ευάγγελος Κ. Αναστασίου

Επιβλέπων Καθηγητής:

Σπυρίδων Φουντάς

ΑΘΗΝΑ

2020



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ &
ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Εφαρμογή γεωργίας ακριβείας σε καλλιέργεια επιτραπέζιων σταφυλιών

“Application of precision agriculture on table grapes cultivation”

Ευάγγελος Κ. Αναστασίου

Μέλη Συμβουλευτικής Επιτροπής

Σπυρίδων Φουντάς | Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΠΑ (Επιβλέπων)

Γεώργιος Ξανθόπουλος | Επίκουρος Καθηγητής ΓΠΑ

Κωνσταντίνος Αρβανίτης | Καθηγητής ΓΠΑ

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής

Διονύσιος Καλύβας | Καθηγητής ΓΠΑ

Θωμάς Μπαρτζάνας | Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΠΑ

Αικατερίνη Μπινιάρη | Επίκουρος Καθηγήτρια ΓΠΑ

Αθανάσιος Μπαλαφούτης | Ερευνητής Γ' ΕΚΕΤΑ

Εφαρμογή Γεωργίας Ακριβείας σε Καλλιέργεια Επιτραπέζιων Σταφυλιών*Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής**Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας***Περίληψη**

Η Γεωργία Ακριβείας (ΓΑ) αποτελεί μια σχετικά καινούρια πρακτική καλλιέργειας, η οποία μπορεί να βοηθήσει στην αειφορία της γεωργικής παραγωγής, και στην αντιμετώπιση των σύγχρονων προκλήσεων της γεωργίας. Σκοπός της παρούσας διατριβής, ήταν η εφαρμογή γεωργίας ακριβείας σε επιτραπέζια σταφύλια, με τη χρήση αισθητήρων τηλεπισκόπησης και μεθόδων ανάλυσης γεωχωρικών δεδομένων για τη μη καταστροφική εκτίμηση ποιοτικών και ποσοτικών παραμέτρων της απόδοσης, και τη δημιουργία ζωνών διαχείρισης.

Η μελέτη πραγματοποιήθηκε σε εμπορικό αμπελώνα έκτασης 1.4 εκταρίων, στην ευρύτερη περιοχή της Κορίνθου στην Ελλάδα για τα έτη 2015, 2016 και 2017. Ο αμπελώνας χωρίστηκε σε 36 υποτεμάχια, από όπου πραγματοποιήθηκαν συλλογές δειγμάτων εδάφους και ραγών για εργαστηριακές αναλύσεις. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με τη χρήση αισθητήρων τηλεπισκόπησης (δορυφόροι και αισθητήρας φυλλώματος εποχούμενοι σε γεωργικό ελκυστήρα), για την αξιολόγηση της πορείας ανάπτυξης των φυτών με τη χρήση δεικτών βλάστησης, και αισθητήρα ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής για τη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους. Παράλληλα, καταγράφηκαν τα μετεωρολογικά δεδομένα, με σκοπό την αξιολόγηση της επίδρασής τους στη χωροχρονική παραλλακτικότητα της τελικής ποιότητας και ποσότητας παραγωγής των επιτραπέζιων σταφυλιών.

Τα αποτελέσματα της χωροχρονικής ανάλυσης των μετεωρολογικών και εδαφικών δεδομένων, έδειξαν ότι οι κλιματολογικές συνθήκες αποτελούν τον πιο σημαντικό παράγοντα, που επηρεάζει την παραγόμενη ποσότητα και ποιότητα, ενώ από τις παραμέτρους του εδάφους, το ποσοστό της ιλύος, της άμμου και της διαθέσιμης υγρασίας επηρέασε την παραγόμενη ποσότητα για τα τρία έτη. Εντούτοις η ανάλυση της επίδρασης της κάθε εδαφικής παραμέτρου ανά καλλιεργητικό έτος, παρουσίασε διαφορετικό βαθμό συσχέτισης τόσο για τα ποσοτικά όσο και για τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της παραγωγής.

Παράλληλα αξιολογήθηκε η χωροχρονική σταθερότητα των ζωνών διαχείρισης σε επίπεδο υποτεμαχίου, από όπου και διαπιστώθηκε ότι εμφανίζεται διαφορετική τάση χωροχρονικής σταθερότητας για κάθε εξετασθείσα καλλιεργητική παράμετρο, ενώ οι ζώνες διαχείρισης για επιλεκτική συγκομιδή, βάσει της ωριμότητας και της απόδοσης, παρουσίασαν χαμηλή χωρική και χρονική σταθερότητα.

Επιπρόσθετα πραγματοποιήθηκε σύγκριση ανάμεσα στην επίγεια και δορυφορική τηλεπισκόπηση για την μη καταστροφική εκτίμηση παραμέτρων ποιότητας και ποσότητας του επιτραπέζιου

σταφυλιού, η οποία έδειξε ότι η επίγεια τηλεπισκόπηση διακρίνεται από έγκαιρη και μεγαλύτερη ακρίβεια εκτίμησης των χαρακτηριστικών απόδοσης των καλλιεργειών, συγκριτικά με τις αντίστοιχες δορυφορικές εκτιμήσεις.

Πραγματοποιήθηκε σύγκριση ανάμεσα σε απλούς και σωρευτικούς δείκτες βλάστησης οι όποιοι βασίστηκαν στο GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index) και παρουσίασαν υψηλότερους συντελεστές συσχέτισης με την απόδοση ανά εκτάριο, τη διάμετρο ράγας και τα σάκχαρα συγκριτικά με άλλους δείκτες βλάστησης.

Τα δεδομένα από τον αισθητήρα φυλλώματος και τον αισθητήρα ηλεκτρικής αγωγιμότητας, χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη μεθοδολογίας σύντηξης δεδομένων υψηλής ανάλυσης μέσω πολυπαραγοντικής γεωστατιστικής ανάλυσης για τον καθορισμό ζωνών διαχείρισης. Από την προηγούμενη ανάλυση προέκυψε ότι ο αμπελώνας εμφανίζει μικρής έκτασης παραλλακτικότητα ανά έτος, η οποία μπορεί να διαχειριστεί μόνο με πρακτικές διαφορικής εφαρμογής υψηλής ανάλυσης, και όχι με καθορισμό ζωνών διαχείρισης.

Από τις προαναφερθείσες αναλύσεις και τα εξαχθέντα αποτελέσματα, είναι κατανοητό ότι η ΓΑ μπορεί να επιτελέσει σημαντικό ρόλο στην αειφόρο διαχείριση αμπελώνων, και στη παραγωγή υψηλής ποιότητας και ποσότητας επιτραπέζιων σταφυλιών, αρκεί να ληφθούν υπόψιν περιορισμοί που απορρέουν από την εφαρμογή της.

Μελλοντική έρευνα για την περαιτέρω διερεύνηση της εφαρμογής ΓΑ σε επιτραπέζια σταφύλια, θα πρέπει να περιλαμβάνει την εφαρμογή διαφορικών καλλιεργητικών πρακτικών (π.χ. άρδευση, λίπανση), την αξιολόγηση πρόσθετων εξειδικευμένων τύπων αισθητήρων (π.χ. LIDAR), και την επίδραση και πρόσθετων κλιματικών παραμέτρων (π.χ. ώρες ηλιοφάνειας, UV ακτινοβολία) στη χωροχρονική παραλλακτικότητα των χαρακτηριστικών των επιτραπέζιων σταφυλιών, καθώς και την αξιολόγηση διαφορετικών μεθόδων σύντηξης δεδομένων. Τέλος, η μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να περιλαμβάνει αξιολόγηση της επίδρασης της χωρικής και χρονικής παραλλακτικότητας στη μετασυλλεκτική διαχείριση του προϊόντος, και στην ανάλυση του κύκλου ζωής της παραγωγής των επιτραπέζιων σταφυλιών.

Επιστημονική Περιοχή: Γεωργική Μηχανική

Λέξεις Κλειδιά: γεωργία ακριβείας, τηλεπισκόπηση, ανάλυση γεωχωρικών δεδομένων, σύντηξη δεδομένων, δείκτες βλάστησης, δημιουργία ζωνών διαχείρισης, ποιότητα παραγωγής, ποσότητα παραγωγής, επιτραπέζια σταφύλια

Application of Precision Agriculture on Table Grapes Cultivation

Department of Natural Resources and Agricultural Engineering

Laboratory of Agricultural Engineering

Abstract

Precision Agriculture (PA) is a relatively new farming practice that can help sustain agricultural production and meet the current challenges of agriculture. The purpose of this dissertation was the application of precision agriculture in table grapes, using remote sensing sensors and methods of geospatial data analysis for the non-destructive assessment of qualitative and quantitative parameters of yield, and the delineation of management zones.

The study was carried out in a commercial vineyard of 1.4 hectares, in the greater area of Corinth in Greece for the years 2015, 2016 and 2017. The vineyard was divided into 36 sub-plots, in which sampling of soil and grape berries were performed for laboratory analysis. In addition, measurements were made using remote sensing sensors (satellites and canopy sensors mounted on an agricultural tractor) to assess plant growth using vegetation indices, and an electromagnetic induction sensor to measure soil electrical conductivity. At the same time, the meteorological data were recorded, in order to evaluate their effect on the spatio-temporal variability of the final quality and quantity of production of table grapes.

The results of the spatio-temporal analysis of meteorological and soil data showed that climatic conditions are the most important factor, which affects the quantity and quality produced, while from the soil parameters, the percentage of silt, sand and available moisture affected the quantity produced for the three years. However, the analysis of the effect of each soil parameter per crop year, showed a different degree of correlation for both quantitative and qualitative characteristics of production.

At the same time, the spatio-temporal stability of the management zones at sub-plot level was evaluated, from which it was found that there is a different trend of spatio-temporal stability for each cultivated parameter examined, while the stability of the management zones for selective harvest, based on maturity and yield, was low.

In addition, a comparison was made between proximal and satellite remote sensing for the non-destructive estimation of quality and quantity parameters of table grapes, which showed that proximal remote sensing is distinguished by timely and greater accuracy in estimating crop yield characteristics, when compared to satellite remote sensing.

A comparison was made between simple and cumulative vegetation indices based on the GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index) and presented higher correlation coefficients with yield per hectare, berry diameter and sugars compared to other indices.

The data from the canopy sensor and the electrical conductivity sensor were used to develop a high-resolution data fusion methodology through multifactorial geostatistical analysis to determine management zones. The previous analysis showed that the vineyard presents small area variability per year, which can be managed only by high resolution variable rate application practices, and not by delineation of management zones.

From the above analysis and the results obtained, it is understood that PA can play an important role in the sustainable management of vineyards, and in the production of high quality and quantity of table grapes, as long as the limitations arising from its application are taken into account.

Future research to further investigate the application of PA to table grapes should include the application of variable rate application farming practices (eg irrigation, fertilization), the evaluation of additional specialized types of sensors (e.g. LIDAR), and the effect of additional climatic parameters (eg sunshine hours, UV radiation) in the spatio-temporal variability of the characteristics of table grapes, as well as the evaluation of different data fusion methods. Finally, future research could include an assessment of the effect of spatial and temporal variability on post-harvest product management, and on the analysis of the life cycle of table grape production.

Scientific Area: Agricultural Engineering

Keywords: precision agriculture, remote sensing, geospatial data analysis, data fusion, vegetation indices, management zones delineation, yield quality, yield quantity, table grapes

Copyright © Ευάγγελος Κωνσταντίνου Αναστασίου, 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All Rights Reserved

Κατάλογος Δημοσιεύσεων

Δημοσιεύσεις σε Διεθνή Επιστημονικά Περιοδικά

1	Anastasiou, E., Tsiropoulos, Z., Balafoutis, T., Fountas, S., Templalexis, C., Lentzou, D., & Xanthopoulos, G. (2017). Spatiotemporal stability of management zones in a table grapes vineyard in Greece. <i>Advances in Animal Biosciences</i> , 8(2), 510-514. Web of Science journal.
2	Anastasiou, E., Balafoutis, A., Darra, N., Psiroukis, V., Biniari, A., Xanthopoulos, G., & Fountas, S. (2018). Satellite and proximal sensing to estimate the yield and quality of table grapes. <i>Agriculture</i> , 8(7), 94. Impact Factor (2019): 2,072
3	Anastasiou, E., Castrignanò, A., Arvanitis, K., & Fountas, S. (2019). A multi-source data fusion approach to assess spatial-temporal variability and delineate homogeneous zones: A use case in a table grape vineyard in Greece. <i>Science of The Total Environment</i> , 684, 155-163. Impact Factor (2019): 6,651

Δημοσιεύσεις σε Διεθνή Συνέδρια

1	Anastasiou, E., Balafoutis, A., Lentzou, D., Tsiropoulos, Z., Xanthopoulos, G., & Fountas, S. (2016). Validation of 5 spectral vegetation indices in estimating yield and quality parameters on table grapes using a side canopy sensor. <i>CIGR-AgEng Conference</i> , 26-29 June 2016, Aarhus, Denmark.
2	Anastasiou, E., Castrignanò, A., & Fountas, S. (2018). A multi-source data fusion approach to assess spatial-temporal variability and delineate homogeneous zones in a vineyard in Greece. In <i>EGU General Assembly Conference Abstracts</i> (Vol. 20, p. 18518).

*“Σὰ βγεῖς στὸν πηγαμὸ γιὰ τὴν Ἰθάκη,
νὰ εὐχέσαι νᾶναι μακρὺς ὁ δρόμος,
γεμάτος περιπέτειες, γεμάτος γνώσεις.”*

Κ. Π. Καβάφης ~ Ἰθάκη

*Στον Πατέρα μου, Κωνσταντίνο,
την Μητέρα μου, Φωτεινή
και την Αδερφή μου, Σταυρούλα*

Ευχαριστίες

Αν και η διεξαγωγή μιας διδακτορικής διατριβής αποτελεί ένα μοναχικό έργο, χαίρομαι ιδιαίτερα που στην περίπτωση της παρούσας διατριβής κάτι τέτοιο δεν πραγματοποιήθηκε, και για τον λόγο αυτό έχω πολλούς που θέλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου μέσα από αυτό το κείμενο.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή μου και μέντορα Δρ. Σπυρίδων Φουντά, ο οποίος με μύησε στα μυστικά της γεωργίας ακριβείας και της γεωργικής μηχανικής από το 2012 αλλά και ήταν ο λόγος να αναθεωρήσω πολλά πράγματα στην πορεία της ζωής μου προς το καλύτερο, έκτοτε. Όλα αυτά τα χρόνια υπήρξε καθοριστικός παράγοντας στην εξέλιξή μου ως επιστήμονας στον τομέα της γεωργίας ακριβείας, αλλά και ως άνθρωπος. Επιπλέον, θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για την αμέριστη οικονομική και ηθική συμπαράσταση που μου έδειξε όλα αυτά τα χρόνια, και για την τιμή που μου έκανε να με επιλέξει ως μέλος της ερευνητικής του ομάδας. Με αυτόν τον τρόπο, κατάφερα να συμμετέχω σε πλήθος διεθνών και εθνικών ερευνητικών προγραμμάτων, συνεδρίων και δημοσιεύσεων, και να αποκτήσω πολλές εμπειρίες που θα μου φανούν χρήσιμες στην πορεία της ζωής μου.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Δρ. Γεώργιο Ξανθόπουλο, του οποίου η συμβολή ήταν καθοριστική για την ορθή διεξαγωγή των πειραμάτων στον πειραματικό αγρό και στο εργαστήριο αλλά και για την στατιστική επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων. Αυτό μου επέτρεψε την δημοσίευση εργασιών υψηλής ποιότητας, ενώ μου επέτρεψε να μάθω περισσότερα για την σημασία της προ-συλλεκτικής και μετα-συλλεκτικής διαχείρισης των καλλιεργειών.

Ιδιαίτερη τιμή, θεωρώ την συμμετοχή του Καθηγητή Δρ. Κωνσταντίνου Αρβανίτη στην τριμελή επιτροπή της αξιολόγησής μου ως υποψήφιο διδάκτορα, τον οποίο ευχαριστώ. Η συμβολή του στην επίβλεψη και διόρθωση της παρούσας μελέτης αλλά και των ερευνητικών εργασιών ήταν καθοριστική.

Ευχαριστώ ιδιαίτερος τον Ερευνητή Γ' του iBO/EKETA Δρ. Αθανάσιο Μπαλαφούτη και μέλος της επταμελούς μου επιτροπής, του οποίου η συμβολή ήταν ιδιαίτερη σημαντική για την σωστή εκτέλεση του πειράματος που οδήγησε σε δημοσιεύσεις σε επιστημονικά περιοδικά και συνέδρια. Παράλληλα τον ευχαριστώ ιδιαίτερος για το ωραίο κλίμα που υπήρχε κατά την διάρκεια της παραμονής μου στο εργαστήριο.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες πρέπει να αποδώσω στην Καθηγήτρια Δρ. Αικατερίνη Μπινιάρη για την συνεισφορά της στο κομμάτι της φυσιολογίας της αμπέλου η οποία αποδείχτηκε καθοριστική στη συγγραφή μιας ερευνητικής εργασίας με υψηλό αριθμό ετεροαναφορών.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της επταμελούς επιτροπής, Καθηγητές Δρ. Διονύσιο Καλύβα και Δρ. Θωμά Μπαρτζάνα για τη σημαντική συμβολή τους στη διόρθωση της παρούσας διατριβής.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την Δρ. Annamaria Castrignanò, διευθύντρια του CRA στο Μπάρι της Ιταλίας για την σημαντική της συμβολή στην συγγραφή μιας υψηλής ποιότητας ερευνητικής εργασίας, η οποία δημοσιεύθηκε στο επιστημονικό περιοδικό Science of the Total Environment. Επιπλέον, θα ήθελα να την ευχαριστήσω για την μετάδοση της γνώσης της και της αγάπης για την γεωστατιστική επιστήμη, αλλά και για την φιλοξενία της κατά τα δύο διαστήματα της παραμονής μου στο Μπάρι στην Ιταλία.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες πρέπει να αποδώσω στον παραγωγό Δημήτριο Θεοδώρου, ο οποίος παραχώρησε την έκταση για την εκτέλεση των πειραμάτων μου, ενώ βοήθησε ενεργά στην πραγματοποίηση των μετρήσεων. Αξίζει να αναφέρω ότι επέδειξε μεγάλη υπομονή για την σωστή εκτέλεση των πειραμάτων και μετέδωσε τις γνώσεις του, αλλά και την αγάπη του για την ορθή καλλιέργεια των επιτραπέζιων σταφυλιών.

Αξίζει να αναφερθώ, και στην υποστήριξη που έλαβα από τον αγροτικό συνεταιρισμό Πήγασος Διατροφή του οποίου είναι μέλος ο κ. Δημήτρης Θεοδώρου. Για τον λόγο αυτό, ευχαριστώ ιδιαίτερα τον πρόεδρο του συνεταιρισμού κ. Μάρκο Λέγγα και την υπεύθυνη λειτουργίας του συνεταιρισμού κ. Φούλη Δούκα.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω το προσωπικό του εργαστηρίου Γεωργικής Μηχανολογίας και συγκεκριμένα τους κ. Σταματία Βουλγαράκη, κ. Ζήση Τσιρόπουλο, Δρ. Εσάμ Μοχάμεντ, κ. Διαμάντω Λέντζου, κ. Χαράλαμπο Τεμπλαλέξη, κ. Ευάγγελο Δημητρίου, Δρ. Χρήστο-Σπυρίδων Καραβά, κ. Αικατερίνη Κασιμάτη και κ. Νικολέτα Δάρρα για το καλό κλίμα συνεργασίας που υπήρχε στο εργαστήριο και για την βοήθειά τους στην εκτέλεση του πειράματος.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να αποδώσω στους κ. Άννα Μεσημέρη, κ. Αλέξανδρο Μικρούλη, κ. Σοφία Αποστολίδη, κ. Γεώργιο Κυριακόγκωνα, κ. Δημήτριο Αράπη, κ. Παναγιώτη Κωστόπουλο, κ. Ειρήνη Καραγιάννη, κ. Καλλιόπη Κουνάνη, κ. Ανδρέα Γιακουμάτο και κ. Φώτη Πανίτσα, για την βοήθειά τους στην εκτέλεση των μετρήσεων στον αμπελώνα και για τις εργαστηριακές αναλύσεις.

Μεγάλες ευχαριστίες θα ήθελα να αποδώσω στους γονείς μου Κωνσταντίνο και Φωτεινή Αναστασίου και την αδερφή μου Σταυρούλα, οι οποίοι με παρείχαν με αμέριστη ηθική και υλική συμπαράσταση και επέδειξαν μεγάλη υπομονή κατά την διάρκεια αυτών των ετών, κατανοώντας την προσωπική μου ανάγκη για εμβάθυνση των γνώσεων μου, απόκτηση νέων εμπειριών και προσωπική εξέλιξη. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους κοντινούς μου φίλους για την αμέριστη υποστήριξη κατά την διάρκεια όλων των ετών από την έναρξη της διδακτορικής μου διατριβής.

Πίνακας Περιεχομένων

1	Εισαγωγή	21
1.1	Ιστορική σημασία της Γεωργίας	21
1.2	Προκλήσεις στη διεθνή και ελληνική γεωργία	22
1.3	Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης.....	23
2	Γεωργία Ακριβείας	25
2.1	Ορισμός	25
2.2	Αισθητήρες – Μέθοδοι – Λογισμικό.....	26
2.2.1	Μεθοδολογίες ΓΑ	27
2.2.2	Γεωγραφικά Πληροφορικά Συστήματα και Γεωστατιστική.....	30
2.2.3	Ανάλυση μεγάλων δεδομένων	30
2.2.4	Μηχανική Μάθηση	31
2.2.5	Καθορισμός Ζωνών Διαχείρισης και Ανάπτυξη Χαρτών Εφαρμογής	31
2.3	Τεχνολογίες ΓΑ.....	32
2.3.1	Δορυφόροι γεωσκόπησης και δορυφορικά συστήματα παγκόσμιας πλοήγησης	33
2.3.2	Ρομποτικά Συστήματα	36
2.3.3	Αισθητήρες	38
2.3.4	Συστήματα Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT).....	44
2.3.5	Συστήματα λήψης αποφάσεων	45
2.3.6	Τεχνολογία Μεταβλητής Δόσης Εφαρμογής.....	46
2.4	Οφέλη.....	47
2.4.1	Οικονομικά Οφέλη	47
2.4.2	Περιβαλλοντικά Οφέλη	49
2.4.3	Κοινωνικά Οφέλη	49
2.5	Γεωργία Ακριβείας στην Ελλάδα.....	49
2.5.1	Γεωργία Ακριβείας σε Αροτραίες Καλλιέργειες στην Ελλάδα	50
2.5.2	Γεωργία Ακριβείας σε Δενδρώδεις Καλλιέργειες και Αμπελώνες στην Ελλάδα.	56
3	Σημασία της Αμπέλου για τον Κόσμο και την Ελλάδα.....	60
3.1	Φυσιολογία και Μέθοδοι Καλλιέργειας του Αμπελιού	60
3.1.1	Φυσιολογία του Αμπελιού	60
3.1.2	Ποικιλίες Αμπελιού	61
3.1.3	Εδαφοκλιματικές Απαιτήσεις Αμπελιού.....	61
3.1.4	Εγκατάσταση Αμπελώνα	63
3.1.5	Κλάδεμα.....	63
3.2	Αμπελουργία Ακριβείας.....	65
3.2.1	Αμπελουργία Ακριβείας για επιτραπέζιο σταφύλι	66
4	Ερευνητικό υπόβαθρο και στόχοι της διατριβής.....	67
5	Υλικά και Μέθοδοι	68
5.1	Περιγραφή αμπελώνα και διαίρεση αμπελώνα σε υποτεμάχια.....	68
5.2	Καλλιεργητικές Μεταχειρίσεις	69
5.3	Συλλογή και επεξεργασία κλιματικών δεδομένων.....	69
5.4	Συλλογή και ανάλυση εδαφολογικών δεδομένων.....	70
5.5	Μέτρηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας με το EM38.....	70
5.6	Μετρήσεις με χρήση φασματικών δεικτών βλάστησης και ημερομηνίες συλλογής 71	
5.6.1	Μετρήσεις με χρήση πολυφασματικού αισθητήρα φυλλώματος	71
5.6.2	Μετρήσεις με χρήση δορυφορικών εικόνων	73

5.6.3	Δείκτες Βλάστησης.....	74
5.7	Μετρήσεις Ποσοτικών και Ποιοτικών Χαρακτηριστικών.....	76
5.7.1	Μετρήσεις στον αμπελώνα	76
5.7.2	Εργαστηριακές μετρήσεις.....	77
5.8	Μεθοδολογία Σύντηξης Δεδομένων Υψηλής Ανάλυσης για Καθορισμό Ζωνών Διαχείρισης	81
5.8.1	Χωρική Υποστήριξη αισθητήρων φυλλώματος και ηλεκτρικής αγωγιμότητας.....	82
5.8.2	Ανάλυση Δεδομένων	82
5.9	Επεξεργασία δεδομένων και στατιστική ανάλυση.....	85
6	Αποτελέσματα	86
6.1	Περιγραφική Στατιστική	86
6.1.1	Καιρικά Δεδομένα	86
6.1.2	Εδαφολογικά Δεδομένα	89
6.1.3	Φασματικά Δεδομένα	92
6.1.4	Δεδομένα Παραγωγής.....	102
6.2	Αξιολόγηση της χωροχρονικής παραλλακτικότητας των εδαφοκλιματικών συνθηκών ως προς την παραγόμενη ποσότητα και ποιότητα.....	108
6.2.1	Καιρός σε συνδυασμό με Παραγωγή.....	108
6.2.2	Έδαφος σε συνδυασμό με Παραγωγή.....	113
6.2.3	Συμπεράσματα	118
6.3	Χωροχρονική σταθερότητα των ζωνών διαχείρισης που καθορίστηκαν με την χρήση δειγματοληψίας που πραγματοποιήθηκε σε υποτεμάχια	120
6.3.1	Συμπεράσματα	123
6.4	Σύγκριση μη καταστροφικής εκτίμησης της ποσότητας και ποιότητας παραγωγής με την χρήση επίγειας και δορυφορικής τηλεπισκόπησης	124
6.4.1	Συσχέτιση κατά Pearson για τα τρία έτη της μελέτης	124
6.4.2	Ανάλυση Παλινδρόμησης για τα τρία έτη της μελέτης.....	126
6.4.3	Συμπεράσματα	129
6.5	Αξιολόγηση απλών και σωρευτικών δεικτών βλάστησης στην εκτίμηση των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών του επιτραπέζιου σταφυλιού	133
6.5.1	Απλοί ΔΒ	133
6.5.2	Σωρευτικοί ΔΒ.....	134
6.5.3	Συμπεράσματα	137
6.6	Καθορισμός ζωνών διαχείρισης για την καλλιέργεια με την χρήση επίγειων δεδομένων υψηλής ανάλυσης.....	138
6.6.1	Συμπεράσματα	143
7	Σύνοψη Αποτελεσμάτων - Γενικά Συμπεράσματα - Προτάσεις Μελλοντικής Έρευνας.....	145
7.1	Εισαγωγή.....	145
7.2	Ειδικά Συμπεράσματα	146
7.2.1	Αξιολόγηση της χωροχρονικής παραλλακτικότητας των εδαφοκλιματικών συνθηκών ως προς την παραγόμενη ποσότητα και ποιότητα.....	146
7.2.2	Χωροχρονική σταθερότητα των ζωνών διαχείρισης που καθορίστηκαν μέσω της δειγματοληψίας σε υποτεμάχια.	146
7.2.3	Σύγκριση μη καταστροφικής εκτίμησης της ποσότητας και ποιότητας παραγωγής με την χρήση επίγειας και δορυφορικής τηλεπισκόπησης	147
7.2.4	Αξιολόγηση απλών και σωρευτικών δεικτών βλάστησης στην εκτίμηση των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών του επιτραπέζιου σταφυλιού.....	147
7.2.5	Καθορισμός ζωνών διαχείρισης για την καλλιέργεια με την χρήση επίγειων δεδομένων υψηλής ανάλυσης.....	147

7.3	Γενικό Συμπέρασμα	148
7.4	Προτάσεις Μελλοντικής Έρευνας.....	148
8	Βιβλιογραφία	151
8.1	Αγγλική	151
8.2	Ελληνική	181
8.3	Πηγές από το διαδίκτυο	181
9	Παράρτημα	183
9.1	Περιγραφική Στατιστική και Αποτελέσματα Μετρήσεων	183
9.2	Χάρτες Αποτελεσμάτων.....	192
9.3	Χάρτες υψηλής χωρικής ανάλυσης.....	217

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1	Οι Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης και σε κόκκινο πλαίσιο οι στόχοι που αφορούν τον γεωργικό τομέα.	24
Εικόνα 2	Πυλώνες Κλιματικά-Έξυπνης Γεωργίας (Donie, 2019).....	24
Εικόνα 3	Κύκλος διαχείρισης των εκτάσεων στα πλαίσια της γεωργίας ακριβείας (Προσαρμογή από Hexastep, 2015, Πηγή: https://www.hexastep.pt/index.php/en/business-solutions-2/m-agriculture , Accessed: 01/09/2020).	27
Εικόνα 4	Χαρακτηριστικά δορυφόρων με ενεργούς και παθητικούς αισθητήρες (Πηγή: https://unstats.un.org/bigdata/taskteams/satellite/UNGWG_Satellite_Task_Team_Report_WhiteCover.pdf , Accessed: 01/09/2020).	34
Εικόνα 5	Αρχή λειτουργίας παθητικών και ενεργών αισθητήρων γεωσκόπησης (Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Remote_sensing)	35
Εικόνα 6	Αρχή λειτουργίας των δορυφορικών συστημάτων παγκόσμιας πλοήγησης (Pérez Ruiz and Upadhyaya, 2012).....	36
Εικόνα 7	Αρχιτεκτονική, υποσυστήματα και σύστημα ελέγχου για χρήση ΣΜηΕΑ στη γεωργία ακριβείας (Shamshiri et al., 2018).	37
Εικόνα 8	Σχηματική απεικόνιση συστημάτων παρακολούθησης που χρησιμοποιούνται στην ΓΑ (DFG, 2014).....	39
Εικόνα 9	Διαφορές ανάμεσα σε μονοχρωματικούς, RGB, πολυφασματικούς και υπερφασματικούς αισθητήρες (Mehta et al., 2018).	41
Εικόνα 10	Αρχή λειτουργίας θερμικής κάμερας (Πηγή: https://thermogears.com/guide-choose-best-thermal-imaging-cameras/).....	42
Εικόνα 11	Αρχή λειτουργίας LiDAR για χρήση σε δενδρώδεις καλλιέργειες (Gené-Mola et al., 2020).....	43
Εικόνα 12	Αρχή λειτουργίας ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής και αισθητήρων ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής (Vereecken et al., 2019).....	44
Εικόνα 13	Πλαίσιο λειτουργίας τεχνολογίας IoT στην γεωργία (Ray, 2017).	45
Εικόνα 14	Σχηματική απεικόνιση τρόπου λειτουργίας ενός διαδικτυακού συστήματος λήψης αποφάσεων με δυνατότητες αυτόματης εκτέλεσης εργασιών (Tan, 2016).	46
Εικόνα 15	Σημαντικά φαινολογικά στάδια του αμπελιού (Προσαρμογή εικόνας από Eltom, 2013).	61
Εικόνα 16	Τοποθεσία πειραματικού αμπελώνα και κατανομή κελιών.	68
Εικόνα 17	Χαρτογράφηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας με την χρήση του αισθητήρα EM38. .	71
Εικόνα 18	Μήκη ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που χρησιμοποιήθηκαν στην διατριβή με το CropCircle ACS 470.	72
Εικόνα 19	Μέτρηση με χρήση αισθητήρα φυλλώματος Crop Circle ACS-470.....	72
Εικόνα 20	Ψευδοεικόνες από δορυφόρο Landsat 8 σε (a) 30 m και (b) 10 m ανάλυση μετά από επεξεργασία.	74

Εικόνα 21 Ηλεκτρονικός ζυγός PCB-440.....	77
Εικόνα 22 Αρχική εικόνα 50 ραγών στο πρόγραμμα ImageJ.....	78
Εικόνα 23 Αναγνώριση αντικειμένων ανάμεσα σε καθορισμένα όρια του χρωματικού χώρου RGB στο πρόγραμμα ImageJ.....	78
Εικόνα 24 Αναγνώριση ραγών με βάση την κυκλικότητα και τα όρια επιφανείας στο πρόγραμμα ImageJ.....	79
Εικόνα 25 Ψηφιακό διαθλασίμετρο SR400.....	79
Εικόνα 26 Ψηφιακό οξύμετρο GMK 708.....	80
Εικόνα 27 Ψηφιακό πεχάμετρο εφοδιασμένο με ηλεκτρόδιο CyberScan pH 500.....	80
Εικόνα 28 Ο αναλυτής υφής TA-XT2i εφοδιασμένος με τον δίσκο συμπίεσης.....	81
Εικόνα 29 Καταμερισμός υφής εδάφους κάθε υποτεμαχίου του πειραματικού αμπελώνα. ...	91
Εικόνα 30 Χάρτης χωρικής παραλλακτικότητας υφής εδάφους ανά υποτεμάχιο.....	91
Εικόνα 33 Βαθμός συμφωνίας ως προς την παραγωγή για τα έτη 2015 και 2016.....	122
Εικόνα 31 Χάρτης ηλεκτρικής αγωγιμότητας (mS m^{-1}). Η χρωματική κλίμακα βασίστηκε σε κλάσεις ίσων συχνοτήτων.....	140
Εικόνα 32 Χάρτες (α) του πρώτου χωρικού παράγοντα και (β) του δεύτερου χωρικού παράγοντα για την καλλιεργητική περίοδο του 2016, και (γ) του πρώτου χωρικού παράγοντα για την καλλιεργητική περίοδο του 2017 με την εφαρμογή του μοντέλου k-Bessel.	142
Εικόνα 34 Χωρική παραλλακτικότητα του δείκτη NDVI στο φαινολογικό στάδιο (α) BBCH 65, (β) BBCH 75, (γ) BBCH 79, (δ) BBCH 81, (ε) BBCH 85 και (στ) BBCH 89 (β) για το 2015.....	193
Εικόνα 35 Χωρική παραλλακτικότητα του δείκτη GNDVI1 στο φαινολογικό στάδιο (α) BBCH 65, (β) BBCH 75, (γ) BBCH 79, (δ) BBCH 81, (ε) BBCH 85 και (στ) BBCH 89 (β) για το 2015.....	194
Εικόνα 36 Χωρική παραλλακτικότητα του δείκτη GNDVI2 στο φαινολογικό στάδιο (α) BBCH 65, (β) BBCH 75, (γ) BBCH 79, (δ) BBCH 81, (ε) BBCH 85 και (στ) BBCH 89 (β) για το 2015.....	195
Εικόνα 37 Χωρική παραλλακτικότητα του δείκτη NDRE1 στο φαινολογικό στάδιο (α) BBCH 65, (β) BBCH 75, (γ) BBCH 79, (δ) BBCH 81, (ε) BBCH 85 και (στ) BBCH 89 (β) για το 2015.....	196
Εικόνα 38 Χωρική παραλλακτικότητα του δείκτη NDRE2 στο φαινολογικό στάδιο (α) BBCH 65, (β) BBCH 75, (γ) BBCH 79, (δ) BBCH 81, (ε) BBCH 85 και (στ) BBCH 89 (β) για το 2015.....	197
Εικόνα 39 Χωρική παραλλακτικότητα του δείκτη NDVI στο φαινολογικό στάδιο (α) BBCH 65, (β) BBCH 75, (γ) BBCH 79, (δ) BBCH 81, (ε) BBCH 85 και (στ) BBCH 89 (β) για το 2016.....	198
Εικόνα 40 Χωρική παραλλακτικότητα του δείκτη GNDVI1 στο φαινολογικό στάδιο (α) BBCH 65, (β) BBCH 75, (γ) BBCH 79, (δ) BBCH 81, (ε) BBCH 85 και (στ) BBCH 89 (β) για το 2016.....	199
Εικόνα 41 Χωρική παραλλακτικότητα του δείκτη GNDVI2 στο φαινολογικό στάδιο (α) BBCH 65, (β) BBCH 75, (γ) BBCH 79, (δ) BBCH 81, (ε) BBCH 85 και (στ) BBCH 89 (β) για το 2016.....	200
Εικόνα 42 Χωρική παραλλακτικότητα του δείκτη NDRE1 στο φαινολογικό στάδιο (α) BBCH 65, (β) BBCH 75, (γ) BBCH 79, (δ) BBCH 81, (ε) BBCH 85 και (στ) BBCH 89 (β) για το 2016.....	201
Εικόνα 43 Χωρική παραλλακτικότητα του δείκτη NDRE2 στο φαινολογικό στάδιο (α) BBCH 65, (β) BBCH 75, (γ) BBCH 79, (δ) BBCH 81, (ε) BBCH 85 και (στ) BBCH 89 (β) για το 2016.....	202

το 2015, (δ) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 65 έως BBCH 79 το 2016, (ε) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 81 έως BBCH 89 το 2015, (στ) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 65 έως BBCH 89 το 2016, (ζ) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 65 έως BBCH 79 το 2017, (η) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 81 έως BBCH 89 το 2017, και (θ) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 65 έως BBCH 89 το 2017.	212
Εικόνα 54 Χωρική παραλλακτικότητα (α) αργίλου, (β) ιλύος, (γ) άμμου, (δ) οργανικής ουσίας, (ε) διαθέσιμης υγρασίας, (στ) υδατοϊκανότητας, (ζ) σημείου μόνιμης μάρανσης, (η) pH εδάφους, (θ) ανθρακικού ασβεστίου, και (ι) ηλεκτρικής αγωγιμότητας.	213
Εικόνα 55 Χωρική παραλλακτικότητα (α) της παραγωγής, (β) της διαμέτρου της ράγας, (γ) του βάρους της ράγας, (δ) του pH, (ε) της ολικής οξύτητας, (στ) των σακχάρων, (ζ) της δύναμης παραμόρφωσης της ράγας, και (η) της δύναμης αποκοπής της ράγας από τον ποδίσκο, για το 2015.	214
Εικόνα 56 Χωρική παραλλακτικότητα (α) της παραγωγής, (β) της διαμέτρου της ράγας, (γ) του βάρους της ράγας, (δ) του pH, (ε) της ολικής οξύτητας, (στ) των σακχάρων, (ζ) της δύναμης παραμόρφωσης της ράγας, και (η) της δύναμης αποκοπής της ράγας από τον ποδίσκο, για το 2016.	215
Εικόνα 57 Χωρική παραλλακτικότητα (α) της παραγωγής, (β) της διαμέτρου της ράγας, (γ) του βάρους της ράγας, (δ) του pH, (ε) της ολικής οξύτητας, (στ) των σακχάρων, (ζ) της δύναμης παραμόρφωσης της ράγας, και (η) της δύναμης αποκοπής της ράγας από τον ποδίσκο, για το 2017.	216
Εικόνα 58 Χάρτες φασματικών μετρήσεων στα 670 nm κατά (α) την έναρξη του περκασμού (BBCH-81) το 2016, (β) την έναρξη του περκασμού (BBCH-81) το 2017, (γ) την μέση του περκασμού (BBCH-85) το 2016, (δ) την μέση του περκασμού (BBCH-85) το 2017, (ε) την συγκομιδή (BBCH-89) το 2016, και (ζ) την συγκομιδή (BBCH-89) το 2017.	217
Εικόνα 59 Χάρτες φασματικών μετρήσεων στα 730 nm κατά (α) την έναρξη του περκασμού (BBCH-81) το 2016, (β) την έναρξη του περκασμού (BBCH-81) το 2017, (γ) την μέση του περκασμού (BBCH-85) το 2016, (δ) την μέση του περκασμού (BBCH-85) το 2017, (ε) την συγκομιδή (BBCH-89) το 2016, και (ζ) την συγκομιδή (BBCH-89) το 2017.	218
Εικόνα 60 Χάρτες φασματικών μετρήσεων στα 760 nm κατά (α) την έναρξη του περκασμού (BBCH-81) το 2016, (β) την έναρξη του περκασμού (BBCH-81) το 2017, (γ) την μέση του περκασμού (BBCH-85) το 2016, (δ) την μέση του περκασμού (BBCH-85) το 2017, (ε) την συγκομιδή (BBCH-89) το 2016, και (ζ) την συγκομιδή (BBCH-89) το 2017.	219

Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 1 Δείκτες βλάστησης που χρησιμοποιούνται εν δυνάμει στην γεωργία (Xue and Su, 2017).	28
Πίνακας 2 Σύγκριση ανάμεσα στην πολυφασματική και υπερφασματική κάμερα (Προσαρμογή από Feng and Sun (2012) και Medium (2016)).	40
Πίνακας 3 Αντιστοίχιση μετρήσεων ευρωστίας φυλλώματος με φαινολογικά στάδια καλλιέργειας επιτραπέζιου σταφυλιού.	72
Πίνακας 4 Αντιστοίχιση ημερομηνιών λήψης δορυφορικών και επιτόπιων δεδομένων.	74
Πίνακας 5 Δείκτες βλάστησης που χρησιμοποιήθηκαν στην διδακτορική διατριβή με βάση τον αισθητήρα φυλλώματος CropCircle.	74
Πίνακας 6 Δείκτες βλάστησης που χρησιμοποιήθηκαν στην διδακτορική διατριβή με βάση τον δορυφόρο Landsat 8.	75
Πίνακας 7 Υπολογισμός των διαφορετικών σωρευτικών δεικτών βλάστησης για τις διαφορετικές φαινολογικές περιόδους.	76
Πίνακας 8 Κλιματικές παράμετροι για διάφορα φαινολογικά διαστήματα.	87

Πίνακας 9 Περιγραφική στατιστική ανάλυσης εδαφών από τα 36 υποτεμάχια του πειραματικού αγρού.....	89
Πίνακας 10 Περιγραφική στατιστική φασματικών δεικτών βλάστησης ανά φαινολογικό στάδιο για το 2015.....	92
Πίνακας 11 Περιγραφική στατιστική φασματικών δεικτών βλάστησης ανά φαινολογικό στάδιο για το 2016.....	93
Πίνακας 12 Περιγραφική στατιστική φασματικών δεικτών βλάστησης ανά φαινολογικό στάδιο για το 2017.....	94
Πίνακας 13 Περιγραφική στατιστική σωρευτικών φασματικών δεικτών βλάστησης ανά φαινολογικό στάδιο για το 2015.....	98
Πίνακας 14 Περιγραφική στατιστική σωρευτικών φασματικών δεικτών βλάστησης ανά φαινολογικό στάδιο για το 2016.....	98
Πίνακας 15 Περιγραφική στατιστική σωρευτικών φασματικών δεικτών βλάστησης ανά φαινολογικό στάδιο για το 2017.....	99
Πίνακας 16 Περιγραφική στατιστική δορυφορικών δεικτών βλάστησης για το έτος 2015..	100
Πίνακας 17 Περιγραφική στατιστική δορυφορικών δεικτών βλάστησης για το έτος 2016..	101
Πίνακας 18 Περιγραφική στατιστική δορυφορικών δεικτών βλάστησης για το έτος 2017..	101
Πίνακας 19 Περιγραφική στατιστική μετρήσεων παραγωγής και πορείας ανάπτυξης για το 2015.....	102
Πίνακας 20 Περιγραφική στατιστική μετρήσεων παραγωγής και πορείας ανάπτυξης για το 2016.....	103
Πίνακας 21 Περιγραφική στατιστική μετρήσεων παραγωγής και πορείας ανάπτυξης για το 2017.....	104
Πίνακας 22 Συγκεντρωτικές συσχετίσεις κατά Pearson ανάμεσα σε καιρικές παραμέτρους και ποσοτικά χαρακτηριστικά επιτραπέζιου σταφυλιού κατά την συγκομιδή για τα τρία έτη της μελέτης (2015, 2016 και 2017.....	108
Πίνακας 23 Συγκεντρωτικές συσχετίσεις κατά Pearson ανάμεσα σε καιρικές παραμέτρους και ποιοτικά χαρακτηριστικά επιτραπέζιου σταφυλιού κατά την συγκομιδή για τα τρία έτη της μελέτης (2015, 2016 και 2017).....	110
Πίνακας 24 Συγκεντρωτικές συσχετίσεις κατά Pearson ανάμεσα σε εδαφικές παραμέτρους και ποσοτικά χαρακτηριστικά του επιτραπέζιου σταφυλιού κατά την συγκομιδή για τα τρία έτη της μελέτης (2015, 2016 και 2017).	113
Πίνακας 25 Συγκεντρωτικές συσχετίσεις κατά Pearson ανάμεσα σε εδαφικές παραμέτρους και ποιοτικά χαρακτηριστικά του επιτραπέζιου σταφυλιού κατά την συγκομιδή για τα τρία έτη της μελέτης (2015, 2016 και 2017).	113
Πίνακας 26 Συσχετίσεις κατά Pearson ανάμεσα σε εδαφικές παραμέτρους και ποσοτικά χαρακτηριστικά του επιτραπέζιου σταφυλιού κατά την συγκομιδή για το 2015.....	114
Πίνακας 27 Συσχετίσεις κατά Pearson ανάμεσα σε εδαφικές παραμέτρους και ποιοτικά χαρακτηριστικά του επιτραπέζιου σταφυλιού κατά την συγκομιδή για το 2015.....	115
Πίνακας 28 Συσχετίσεις κατά Pearson ανάμεσα σε εδαφικές παραμέτρους και ποσοτικά χαρακτηριστικά του επιτραπέζιου σταφυλιού κατά την συγκομιδή για το 2016.....	115
Πίνακας 29 Συσχετίσεις κατά Pearson ανάμεσα σε εδαφικές παραμέτρους και ποιοτικά χαρακτηριστικά του επιτραπέζιου σταφυλιού κατά την συγκομιδή για το 2016.....	116
Πίνακας 30 Συσχετίσεις κατά Pearson ανάμεσα σε εδαφικές παραμέτρους και ποσοτικά χαρακτηριστικά του επιτραπέζιου σταφυλιού κατά την συγκομιδή για το 2017.....	117
Πίνακας 31 Συσχετίσεις κατά Pearson ανάμεσα σε εδαφικές παραμέτρους και ποιοτικά χαρακτηριστικά του επιτραπέζιου σταφυλιού κατά την συγκομιδή για το 2017.....	118
Πίνακας 32 Περιγραφική στατιστική έτους 2015.....	121
Πίνακας 33 Περιγραφική στατιστική έτους 2016.....	121
Πίνακας 34 Περιγραφική στατιστική έτους 2017.....	121

Πίνακας 37 Βαθμός συμφωνίας ανάμεσα στην ίδια παράμετρο για τα έτη 2015 και 2016. .	122
Πίνακας 38 Βαθμός συμφωνίας της παραγωγής με τον δείκτη ωρίμασης και με τον δείκτη ποιότητας Σάκχαρα x Διάμετρος Ράγας.....	123
Πίνακας 41 Πίνακας συσχετίσεων κατά Pearson ανάμεσα σε δορυφορικούς ΔΒ και σε παραμέτρους απόδοσης και ποιότητας επιτραπέζιου σταφυλιού για διαφορετικά φαινολογικά στάδια.....	124
Πίνακας 42 Πίνακας συσχετίσεων κατά Pearson ανάμεσα σε επίγειους ΔΒ και σε παραμέτρους απόδοσης και ποιότητας επιτραπέζιου σταφυλιού για διαφορετικά φαινολογικά στάδια.....	125
Πίνακας 43 Μοντέλα παλινδρόμησης για τις παραμέτρους που συσχετίστηκαν με τον Δ GNDVI κατά το στάδιο της τεχνολογικής ωρίμασης (BBCH-89).	126
Πίνακας 44 Μοντέλα παλινδρόμησης για τις παραμέτρους που συσχετίστηκαν με τον E GNDVI κατά το στάδιο της μέσης του περκασμού (BBCH-85).	128
Πίνακας 45 Συνολικές συσχετίσεις κατά Pearson ανάμεσα σε απλούς δείκτες βλάστησης και παραμέτρους παραγωγής για έξι διαφορετικά φαινολογικά στάδια για τα τρία έτη της μελέτης (2015, 2016 και 2017).	133
Πίνακας 46 Παλινδρομικά μοντέλα ανάμεσα σε απλούς δείκτες βλάστησης και παραμέτρους παραγωγής.	134
Πίνακας 47 Συνολικές συσχετίσεις κατά Pearson για τα τρία έτη της μελέτης, ανάμεσα σε σωρευτικούς δείκτες βλάστησης και παραμέτρους παραγωγής για τις διαφορετικές φαινολογικές περιόδους.	135
Πίνακας 48 Παλινδρομικά μοντέλα ανάμεσα σε σωρευτικούς δείκτες βλάστησης και παραμέτρους παραγωγής.	136
Πίνακας 33 Περιγραφική στατιστική της ανάκλασης στα 670 nm, 730 nm και 760 nm για την έναρξη του περκασμού (BBCH-81), την μέση του περκασμού (BBCH-85) και την τεχνολογική ωρίμαση (BBCH-89) για το 2016 και 2017 και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους.	138
Πίνακας 34 Διαρθρωτική σύνθεση του πρώτου και δεύτερου παράγοντα για το 2016 και του πρώτου παράγοντα για το 2017 με την αντίστοιχη ιδιοτιμή και την επεξηγούμενη παραλλακτικότητα (%).	142
Πίνακας 47 Περιγραφική στατιστική μετρήσεων Crop Circle ACS 470 ανά φάσμα φακού και φαινολογικό στάδιο για όλα τα έτη.	183
Πίνακας 48 Περιγραφική στατιστική μετρήσεων Crop Circle ACS 470 ανά φάσμα φακού και φαινολογικό στάδιο για το 2015.	184
Πίνακας 49 Περιγραφική στατιστική μετρήσεων Crop Circle ACS 470 ανά φάσμα φακού και φαινολογικό στάδιο για το 2016.	185
Πίνακας 50 Περιγραφική στατιστική μετρήσεων Crop Circle ACS 470 ανά φάσμα φακού και φαινολογικό στάδιο για το 2017.	186
Πίνακας 51 Περιγραφική στατιστική επίγειων δεικτών βλάστησης ανά φαινολογικό στάδιο για όλα τα έτη.	186
Πίνακας 52 Περιγραφική στατιστική σωρευτικών δεικτών βλάστησης για όλα τα έτη.	187
Πίνακας 53 Περιγραφική στατιστική δορυφορικών δεικτών βλάστησης για όλα τα έτη.	188
Πίνακας 54 Περιγραφική στατιστική μετρήσεων παραγωγής και πορείας ανάπτυξης ανά φαινολογικό στάδιο για όλα τα έτη.....	188
Πίνακας 55 Αποτελέσματα αναλύσεων εδάφους για κάθε υποτεμάχιο.	190

Πίνακας Γραφημάτων

Γράφημα 1 Μετεώγραμμα πειραματικού αγρού για το έτος 2015.	86
---	----

Γράφημα 2 Μετεώγραμμο πειραματικού αγρού για το έτος 2016.	87
Γράφημα 3 Μετεώγραμμο πειραματικού αγρού για το έτος 2017.	87
Γράφημα 4 Οι πορείες ανάπτυξης των φασματικών δεικτών βλάστησης που μετρήθηκαν με την χρήση του αισθητήρα φυλλώματος CropCircle και συγκεκριμένα (α) του NDVI, (β) του GNDVI1, (γ) του GNDVI2, (δ) του NDRE1, και (ε) του NDRE2 από το στάδιο της άνθησης έως την τεχνολογική ωρίμαση για τα έτη 2015, 2016 και 2017.	97
Γράφημα 5 Οι πορείες ανάπτυξης των φασματικών δεικτών βλάστησης που μετρήθηκαν από τον δορυφόρο Landsat 8 και συγκεκριμένα (α) του NDVI και (β) του GNDVI από το στάδιο της έναρξης του περκασμού έως την τεχνολογική ωρίμαση για τα έτη 2015, 2016 και 2017.	102
Γράφημα 6 Οι πορείες ανάπτυξης των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών της ράγας και συγκεκριμένα (α) του pH, (β) της ολικής οξύτητας, (γ) των σακχάρων, (δ) της διαμέτρου, (ε) του βάρους, (στ) της πυκνότητας, (ζ) της συμπίεσης, και (η) του δείκτη ωρίμανσης από την έναρξη του περκασμού έως την τεχνολογική ωρίμαση για τα έτη 2015, 2016 και 2017.	107
Γράφημα 7 Διαγράμματα διασποράς του Δ GNDVI BBCH-89 για (α) την απόδοση, (β) την αποκοπή της ράγας, (γ) το pH, (δ) τα σάκχαρα, (ε) την διάμετρο της ράγας, και (ζ) την συμπίεση της ράγας.	127
Γράφημα 8 Διαγράμματα διασποράς του Ε GNDVI BBCH-85 για (α) την απόδοση, (β) την αποκοπή της ράγας, (γ) το pH, (δ) τα σάκχαρα, (ε) την διάμετρο της ράγας, και (ζ) την συμπίεση της ράγας.	129

1 Εισαγωγή

1.1 Ιστορική σημασία της Γεωργίας

Η γεωργία αποτελεί ένα σύνθετο τομέα, όπου ενσωματώνει την παραγωγή διαφόρων προϊόντων (τρόφιμα, ζωοτροφές, ίνες, βιομάζα και έλαια), την αγροτική ανάπτυξη, και τη διαχείριση των φυσικών και μη πόρων (ορυκτά καύσιμα, ηλεκτρισμός, χημικά και βιοχημικά προϊόντα φυτοπροστασίας, νερό και έδαφος) (Iglesias et al., 2011). Η ιστορία της γεωργίας ξεκίνησε πριν περίπου 14,000 έτη (~ 12,000 π.Χ.) προς το τέλος της εποχής των παγετώνων, όπου οι άνθρωποι έμαθαν να καλλιεργούν, και με αυτόν τον τρόπο άρχισαν οι κοινωνίες να βασίζονται στις καλλιέργειες φυτικών ειδών και στην εκτροφή των ζωϊκών ειδών (Zvevibil and Pluciennik, 2011). Έκτοτε, η γεωργία εξελίχθηκε στο πέρασμα των χρόνων αποτελώντας μία από τις κύριες ασχολίες των ανθρώπινων κοινωνιών, με αποτέλεσμα πάνω από το 50% των ανθρώπων να κατοικούν σε αγροτικές περιοχές έως το 2006 (Ritchie and Roser, 2019), το οποίο ποσοστό έφτασε στο 44.3 % το 2019 (Demographia, 2020). Πράγματι, τεχνολογίες όπως το άροτρο, οι γεωργικοί ελκυστήρες, οι χημικές φυτοπροστατευτικές ουσίες και η γενετική βελτίωση συνέβαλλαν στην ανάπτυξη της γεωργίας σε παγκόσμιο επίπεδο (Binswanger, 1986; Gepts, 2002; Lal et al., 2007; Thrall et al., 2011). Αποκορύφωμα όλων αυτών, ήταν η Πράσινη Επανάσταση η οποία οδήγησε στην καταπολέμηση της πείνας, της φτώχειας και της έλλειψης τροφίμων, η οποία κυρίως οφειλόταν στην αστικοποίηση, στην αύξηση του πληθυσμού της Γης και στην ανεπαρκή παραγωγή αγροτικών προϊόντων (Ameen and Raza, 2018).

Αντίστοιχα και για την Ελλάδα, η σημασία της γεωργίας για την ανάπτυξή της υπήρξε μεγάλη από τα αρχαία χρόνια έως τη σημερινή εποχή. Συγκεκριμένα, οι αρχαίοι Έλληνες συνέδεσαν την επιτυχία ή την αποτυχία των καλλιεργειών με θεούς και μύθους όπως τον μύθο της θεάς της γεωργίας, Δήμητρας και της κόρης της, Περσεφόνης. Στην αρχαία Ελλάδα καλλιεργήθηκε ένας τεράστιος αριθμός ειδών όπως δημητριακών, οσπρίων, βοτάνων, φρούτων και λαχανικών (π.χ. ελιές, σταφύλια, σύκα, αμύγδαλα, φακές, κριθάρι και σιτάρι, μεταξύ άλλων καλλιεργειών). Σχεδόν τέσσερις στους πέντε ανθρώπους είχαν σχέση με τη γεωργία στην αρχαία Ελλάδα (Thibodeau, 2016). Οι Βυζαντινοί, ως διάδοχοι της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας στη νοτιοανατολική περιοχή της Μεσογείου, ενδιαφέρθηκαν επίσης για τη γεωργία και καλλιεργήσαν έναν ακόμη μεγαλύτερο αριθμό ειδών σε σύγκριση με τους αρχαίους Έλληνες, εξαιτίας της μεταφοράς εξωτικών φυτών από την Ασία και την Αφρική. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο βυζαντινός αυτοκράτορας Κωνσταντίνος VII ο Πορφυρογέννητος δημοσίευσε τα «Γεωπονικά», που αποτελούσε μια συλλογή γεωργικών εθίμων που περιλάμβαναν καλλιεργητικές πρακτικές από όλη την αυτοκρατορία, αναγνωρίζοντας έτσι τη σημασία της γεωργίας

στην οικονομία (Decker, 2008). Στον μεταπολεμικό αγώνα μετά τον 2ο Παγκόσμιο Πόλεμο, η Ελλάδα είδε δραματικές αλλαγές στον αγροτικό τομέα με ανθρώπους που μετακινούνται από αγροτικές περιοχές προς τις πόλεις. Επιπλέον, η Ελλάδα προσχώρησε στην Ευρωπαϊκή Ένωση και ο γεωργικός της τομέας άρχισε να μειώνει το μερίδιό του στην ελληνική οικονομία, με το ισοζύγιο των εισαγωγών-εξαγωγών να είναι αρνητικό από το 1981 και έπειτα. Τέλος, η μηχανοποίηση των γεωργικών εκμεταλλεύσεων αυξήθηκε ταχέως, και έτσι άρχισαν να χρησιμοποιούνται περισσότεροι ελκυστήρες και παρελκόμενα στη γεωργία, και να υιοθετούνται νέες τεχνικές καλλιέργειας (άρδευση, χρήση φυτοπροστατευτικών ουσιών, λίπανση) μετά τη δεκαετία του 1950 (Petmezas, 2006).

1.2 Προκλήσεις στη διεθνή και ελληνική γεωργία

Η Πράσινη Επανάσταση δημιούργησε πολλά προβλήματα, τα οποία έγιναν αντιληπτά ύστερα από πολλά έτη σε παγκόσμιο επίπεδο. Συγκεκριμένα, η Πράσινη Επανάσταση δημιούργησε προβλήματα όπως η υποβάθμιση των εδαφών, του υδροφόρου ορίζοντα αλλά και των επιφανειακών υδάτων, η καταστροφή του φυσικού περιβάλλοντος για δημιουργία καλλιεργήσιμων εκτάσεων, η μείωση των ωφέλιμων εντόμων και της βιοποικιλότητας, η αύξηση των προβλημάτων υγείας στις αγροτικές περιοχές εξαιτίας των χημικών σκευασμάτων, η αύξηση της κοινωνικοοικονομικής ανισότητας ανάμεσα στους παραγωγούς και η μείωση των φυσικών πόρων (Zeigler and Mohanty, 2010; Kumar, 2014).

Αυτά τα προβλήματα, που ήδη αντιμετωπίζει η γεωργία, αναμένεται να ενταθούν εξαιτίας νέων προκλήσεων που καλείται να αντιμετωπίσει η ανθρωπότητα. Συγκεκριμένα, οι πιο σημαντικές προκλήσεις είναι η κλιματική αλλαγή, η αύξηση του πληθυσμού, η αύξηση της ζήτησης σε φυσικούς πόρους και ο επικίνδυνος για το περιβάλλον τρόπος και ρυθμός ανάπτυξης. Ειδικά, ο ανθρώπινος πληθυσμός αναμένεται να ανέλθει στα 10 δισεκατομμύρια έως το 2050 και αναμένεται να φτάσει τα 13 δισεκατομμύρια έως το 2100, ενώ παράλληλα θα είναι κυρίως συγκεντρωμένος σε αστικές και περιφερειακές περιοχές, και όχι σε αγροτικές (Hoornweg, and Pope, 2017). Επιπλέον, η κλιματική αλλαγή αναμένεται να οδηγήσει σε αύξηση της θερμοκρασίας (έως 6 °C αν δεν ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα) (Rogelj et al., 2016), αναμένοντας να προκαλέσει i) συχνά ακραία καιρικά φαινόμενα (καταιγίδες, ξηρασία κτλ), ii) αύξηση των προσβολών από έντομα, iii) μείωση της βιοποικιλότητας, iv) αλλαγή των κατάλληλων ενδιατημάτων για φυτικά και ζωικά είδη, v) μείωση της παραγωγικότητας των φυτικών ειδών, vi) υποβάθμιση ποσότητας και ποιότητας των υδάτων, vii) μείωση των ποσοτήτων φρέσκου νερού, viii) αλλαγή της κατάλληλης εποχής για καλλιέργεια, ix) αύξηση των απειλών για τα οικοσυστήματα (π.χ. πυρκαγιές), x) υποβάθμιση της ποιότητας των εδαφών, και xi) αλλαγή στους τόπους κατοικίας των ανθρώπων (Khalid et al, 2017). Επιπρόσθετα,

οι παραπάνω προκλήσεις οδηγούν στην ανάγκη για αξιοποίηση περισσότερων φυσικών πόρων για τη γεωργική παραγωγή (Balatsky et al., 2015). Τέλος, ο μη αειφόρος τρόπος ανάπτυξης που γνώρισε η ανθρωπότητα από την βιομηχανική επανάσταση και έπειτα, η οποία βασίστηκε στην μέτρηση μόνο του οικονομικού αποτελέσματος, αποτελεί την αιτία για πολέμους, την υποβάθμιση του περιβάλλοντος, την υποβάθμιση της ανθρώπινης υγείας, τη μείωση της διαθεσιμότητας των φυσικών πόρων και την κοινωνικοοικονομική ανισότητα. Όλα αυτά θέτουν υπό αμφισβήτηση το μέλλον των επόμενων γενεών (Mohan Das Gandhi et al., 2006; Mawle, 2010; Tomislav, 2018).

Πέραν όλων των προαναφερθέντων προκλήσεων που αντιμετωπίζει η γεωργία σε παγκόσμιο επίπεδο, ο γεωργικός τομέας στην Ελλάδα καλείται να ανταπεξέλθει της οικονομικής κρίσης που ξεκίνησε το 2009 αλλά και της υπογεννητικότητας, του γερασμένου εργατικού δυναμικού, του μικρού κλήρου και της αστυφιλίας που έχουν οδηγήσει σε ερημοποίηση των αγροτικών περιοχών, σε μειωμένο εισόδημα για τους παραγωγούς και σε μειωμένη προσφορά εργατικών χεριών (Anthopoulou et al., 2017; Mavridis, 2018).

1.3 Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης

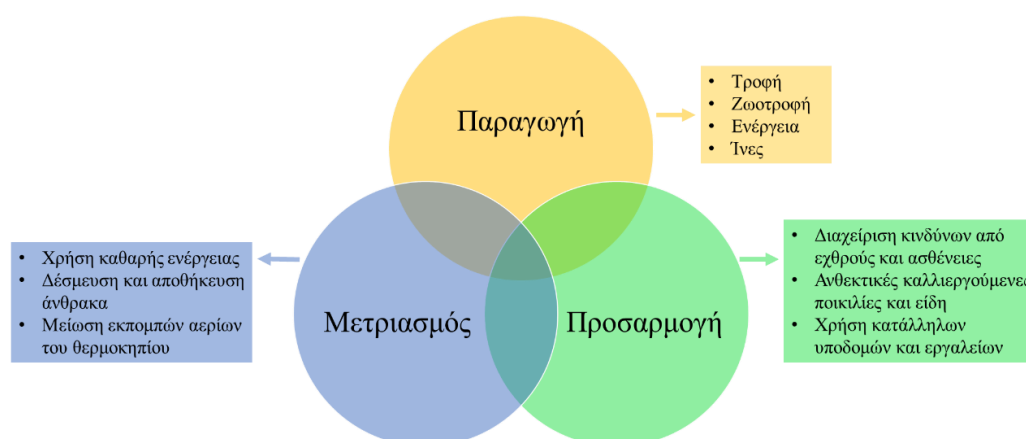
Αντιλαμβανόμενα τα παραπάνω προβλήματα και προκλήσεις που δημιουργήθηκαν από την βιομηχανική επανάσταση και έπειτα, τόσο στον τομέα της γεωργίας, όσο και σε άλλους τομείς της οικονομίας, τα Ενωμένα Έθνη αποφάσισαν να θεσπίσουν, στα πλαίσια της «Ατζέντας 2030», τους Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης (Sustainable Development Goals – SDGs) με χρονικό ορίζοντα επίτευξης το 2030. Οι Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης αφορούν ένα σύνολο 17 κεντρικών στόχων που αποτελείται από 169 υποστόχους που έχουν σαν σκοπό την επίτευξη ενός καλύτερου μέλλοντος για όλο τον πλανήτη σε όλο το φάσμα των δραστηριοτήτων του ανθρώπου με σεβασμό για τον άνθρωπο και το περιβάλλον. Από το σύνολο των 17 στόχων, τουλάχιστον 13 στόχοι έχουν αναγνωριστεί ότι συνδέονται άμεσα ή έμμεσα με τον αγροτικό τομέα (Stafford-Smith et al., 2017; Nhemachena et al., 2018; Campbell et al., 2018) (Εικόνα 1).



Εικόνα 1 Οι Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης και σε κόκκινο πλαίσιο οι στόχοι που αφορούν τον γεωργικό τομέα.

Στα πλαίσια της επίτευξης των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης, κρίθηκε απαραίτητο να δοθεί περισσότερη έμφαση και στη βιώσιμη αγροτική παραγωγή για την καταπολέμηση των σύγχρονων προκλήσεων. Πράγματι, νέα θεωρητικά πλαίσια αναπτύχθηκαν για τη βιώσιμη αγροτική παραγωγή, όπως η Κλιματικά-Εξυπνη Γεωργία και η Βιώσιμη Εντατικοποίηση της Γεωργίας. Συγκεκριμένα, ο γενικός στόχος της Κλιματικά-Εξυπνης Γεωργίας είναι να στηρίζει τις προσπάθειες (από τοπικό σε παγκόσμιο επίπεδο) για τη βιώσιμη χρήση γεωργικών συστημάτων με σκοπό την επίτευξη της διατροφικής και επισιτιστικής ασφάλειας για όλους τους ανθρώπους ανά πάσα στιγμή, ενσωματώνοντας την απαραίτητη προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή και επιτυγχάνοντας τον πιθανό μετριασμό των συνεπειών της γεωργίας στην κλιματική αλλαγή (Dowie, 2019) (Εικόνα 2).

ΠΥΛΩΝΕΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ-ΕΞΥΠΝΗΣ ΓΕΩΡΓΙΑΣ



Εικόνα 2 Πυλώνες Κλιματικά-Εξυπνης Γεωργίας (Dowie, 2019).

Για την επίτευξη αυτού του σκοπού έχουν καθοριστεί οι εξής τρεις στόχοι: 1) βιώσιμη αύξηση της γεωργικής παραγωγικότητας για την υποστήριξη δίκαιων αυξήσεων των εισοδημάτων, της επισιτιστικής ασφάλειας και της ανάπτυξης, 2) προσαρμογή και ενίσχυση της ανθεκτικότητας στην αλλαγή του κλίματος από επίπεδο αγροκτήματος έως επίπεδο χώρας, και 3) ανάπτυξη ευκαιριών για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τη γεωργία σε σχέση με τις προηγούμενες γεωργικές πρακτικές (Lipper et al., 2014). Αντίστοιχα, η Βιώσιμη Εντατικοποίηση της Γεωργίας θεωρείται μια διαδικασία με την οποία βελτιώνεται η γεωργική παραγωγικότητα χωρίς να έχει αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, κατά προτίμηση δημιουργώντας κοινωνικά και περιβαλλοντικά οφέλη (Dicks et al., 2019). Κατά συνέπεια, τόσο η Κλιματικά-Εξυπνη Γεωργία όσο και η Βιώσιμη Εντατικοποίηση Γεωργία σαν έννοιες αλληλοσυμπληρώνονται με τη διαφορά να βρίσκεται στο ότι η πρώτη παρέχει το υπόβαθρο για τη λειτουργία της δεύτερης (Campbell et al., 2014).

2 Γεωργία Ακριβείας

2.1 Ορισμός

Η Γεωργία Ακριβείας (ΓΑ) αποτελεί ένα υποπλαίσιο-εφαρμογή της Κλιματικά-Εξυπνης Γεωργίας, που έχει σαν σκοπό την αύξηση της γεωργικής παραγωγής, με ταυτόχρονη μείωση των επιπτώσεων της στο περιβάλλον, αλλά και με την προσαρμογή της στην κλιματική αλλαγή. Αρκετοί ορισμοί έχουν δοθεί για να οριοθετήσουν την έννοια της ΓΑ. Συγκεκριμένα, ο Blackmore (1994) όρισε τη ΓΑ ως τον όρο που χρησιμοποιείται για να περιγράψει την αναζήτηση της αυξημένης αποτελεσματικότητας κατά τη διαχείριση των γεωργικών δραστηριοτήτων. Οι Lowenberg-DeBoer και Swinton (1997) όρισαν τη ΓΑ ως τον ψηφιακό έλεγχο που εφαρμόζεται για τη συλλογή δεδομένων, την επεξεργασία της πληροφορίας και την υποστήριξη αποφάσεων που αφορούν τη χρονική και χωρική τοποθέτηση των εισροών στη γεωργική παραγωγή. Οι Cook and Bramley (1998) όρισαν τη ΓΑ ως τον όρο που δόθηκε στις μεθόδους διαχείρισης των καλλιεργειών που αναγνωρίζουν και διαχειρίζονται τις χωρικές και χρονικές μεταβολές που πραγματοποιούνται στο σύστημα έδαφος-φυτό-ατμόσφαιρα μέσα σε έναν αγρό. Οι Pierce and Nowak (1999) όρισαν τη ΓΑ ως την εφαρμογή τεχνολογιών και αρχών για τη διαχείριση της χωρικής και χρονικής παραλλακτικότητας που συνδέονται με όλες τις πτυχές της γεωργικής παραγωγής για τον σκοπό της βελτίωσης της απόδοσης της καλλιέργειας και της ποιότητας του περιβάλλοντος. Οι Bongiovanni και Lowenberg-Deboer (2004) όρισαν τη ΓΑ ως τη μέθοδο με την οποία πραγματοποιείται η εφαρμογή της σωστής μεταχείρισης στο σωστό μέρος στη σωστή στιγμή. Ο Shrinivasan (2006) όρισε τη ΓΑ ως μία ολιστική και περιβαλλοντικά φιλική στρατηγική με την οποία οι αγρότες μπορούν να

μεταβάλλουν τη χρήση των εισροών και των καλλιεργητικών μεθόδων (περιλαμβάνοντας την εφαρμογή σπόρων, λιπασμάτων, εντομοκτόνων, νερού, επιλογής ποικιλιών, φύτευσης, κατεργασίας εδάφους, συγκομιδής) με σκοπό την αντιστοίχισή τους με την παραλλακτικότητα των εδαφικών και καλλιεργητικών συνθηκών στον αγρό. Οι Chartuni et al. (2007) όρισαν τη ΓΑ ως το σύνολο των τεχνικών που σαν σκοπό έχουν να βελτιώσουν τη χρήση των γεωργικών εισροών (σπόροι, γεωργικά χημικά και διορθωτικές μεταχειρίσεις) βασισμένες στην ποσοτικοποίηση της χωρικής και χρονικής παραλλακτικότητας του αγρού. Οι Gebbers and Adamchuk (2010) όρισαν τη ΓΑ σαν ένα σύνολο τεχνολογιών που συνδυάζει αισθητήρες, πληροφοριακά συστήματα, βελτιωμένα μηχανήματα και καλά πληροφορημένη διαχείριση για την βελτιστοποίηση της παραγωγής λαμβάνοντας υπόψιν την παραλλακτικότητα και τις αβεβαιότητες μέσα σε γεωργικά συστήματα. Οι Zhang και Kovacs (2012) όρισαν τη ΓΑ ως την εφαρμογή γεωχωρικών τεχνικών και αισθητήρων για την αναγνώριση της παραλλακτικότητας στον αγρό και για την αντιμετώπισή της με την χρήση εναλλακτικών στρατηγικών. Οι Shannon et al. (2018) όρισαν τη ΓΑ ως την τεχνολογία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση του κέρδους ενώ παράλληλα μειώνει τις επιπτώσεις της γεωργίας στο περιβάλλον. Τέλος, η Διεθνής Εταιρία Γεωργίας Ακριβείας (International Society of Precision Agriculture – ISPA), όρισε τη ΓΑ ως τη στρατηγική διαχείρισης η οποία συλλέγει, επεξεργάζεται και αναλύει χρονικά, χωρικά και άλλα δεδομένα τα οποία συνθέτει με άλλες πληροφορίες για την υποστήριξη αποφάσεων διαχείρισης σύμφωνα με την εκτιμώμενη παραλλακτικότητα για βελτιστοποίηση των εισροών, της παραγωγικότητας, της ποιότητας, του κέρδους και της αειφορίας της γεωργικής παραγωγής (ISPA, 2018).

2.2 Αισθητήρες – Μέθοδοι – Λογισμικό

Από τους παραπάνω ορισμούς, είναι κατανοητό ότι η ΓΑ αποτελεί μια κυκλική διαδικασία η οποία περιλαμβάνει τη συλλογή δεδομένων, την ανάλυση τους, τη λήψη αποφάσεων διαχείρισης της καλλιέργειας και την αξιολόγηση των εφαρμοζόμενων πρακτικών (Bramley et al., 2003). Πράγματι, η ΓΑ μπορεί να εφαρμοστεί από ένα πλήθος διαφορετικών τεχνολογιών και μεθοδολογιών οι οποίες αναπτύχθηκαν σχετικά πρόσφατα αν και σαν ιδέα υπήρξε από το 1920 για σημειακή εφαρμογή λιπάσματος (Mulla and Khosla, 2016). Συγκεκριμένα, στη ΓΑ χρησιμοποιούνται τεχνολογίες και μεθοδολογίες όπως τα παγκόσμια δορυφορικά συστήματα εντοπισμού θέσης (Global Navigation Satellite Systems – GNSS), ο καθορισμός ζωνών διαχείρισης, η γεωστατιστική και τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών, η τηλεπισκόπηση, τα συστήματα μεταβλητών εισροών (για λίπανση, ψεκασμό και άρδευση), τα συστήματα διαδικτύου των πραγμάτων (Internet of Things – IoT), τα συστήματα υποστήριξης λήψης αποφάσεων, η διαχείριση στόλου μηχανημάτων, η ανάλυση μεγάλου όγκου δεδομένων, οι αισθητήρες εδάφους και καλλιέργειας, η τεχνητή νοημοσύνη, τα συστήματα

εφαρμογής μεταβλητής δόσης εισροών (λίπανση, άρδευση, φυτοπροστασία), τα Συστήματα Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣΜηΕΑ), τα επίγεια ρομποτικά συστήματα, οι αισθητήρες παραγωγής και τα συστήματα αυτόματης πλοήγησης (Stombaugh and Shearer, 2000; Lamb and Brown, 2001; Zhang et al., 2002; Mondal and Tewari, 2007; Ruiz-Garcia et al., 2009; Liaghat and Balasundram, 2010; Zhang and Kovacs, 2012; Awasthi and Reddy, 2013; Hajjaj and Sahari, 2014; Abdullahi et al., 2015; Behmann et al., 2015; Mulla and Khosla, 2016; Lindblom et al., 2017).

Μια αποτύπωση της κυκλικής διαδικασίας που εφαρμόζεται στη ΓΑ παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.



Εικόνα 3 Κύκλος διαχείρισης των εκτάσεων στα πλαίσια της γεωργίας ακριβείας (Προσαρμογή από Hexastep, 2015, Πηγή: <https://www.hexastep.pt/index.php/en/business-solutions-2/m-agriculture>, Accessed: 01/09/2020).

2.2.1 Μεθοδολογίες ΓΑ

Από το προαναφερθέντα γίνεται αντιληπτό ότι για την ορθή εφαρμογή της ΓΑ απαιτείται ένα σύνολο μεθοδολογιών οι οποίες μπορούν να διαχειριστούν τον όγκο, την ποιότητα και τον αριθμό των δεδομένων που παράγονται με σκοπό να υποστηρίξουν τη ορθή λήψη αποφάσεων από τους συντελεστές του γεωργικού τομέα. Αυτές οι μεθοδολογίες περιγράφονται παρακάτω.

2.2.1.1 Τηλεπισκόπηση

Η τηλεπισκόπηση (Remote Sensing) αποτελεί μια από τις σημαντικότερες μεθοδολογίες για την παρακολούθηση των καλλιεργειών καθώς πληροί το κριτήριο της διαρκούς και ταχείας παρακολούθησης διαφόρων παραμέτρων της καλλιέργειας. Η τηλεπισκόπηση μπορεί να οριστεί ως η εξ αποστάσεως απόκτηση πληροφορίας για ένα αντικείμενο (Weiss et al., 2020). Από τον ορισμό αυτό είναι κατανοητό ότι η τηλεπισκόπηση αποτελεί μια μη καταστροφική και κατά συνέπεια ταχεία μέθοδο αξιολόγησης παραμέτρων που σχετίζονται με τις καλλιεργούμενες εκτάσεις. Η τηλεπισκόπηση στηρίζεται στην ταυτοποίηση και διαχωρισμό αντικειμένων (3-D) και επιφανειών

(2-D) βάσει της αντανακλόμενης και εκλυόμενης ακτινοβολίας από αυτά στις διάφορες περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (Aggarwal, 2004).

Για το σκοπό αυτό η τηλεπισκόπηση υιοθετεί αισθητήρες εποχούμενους σε επίγεια ρομποτικά συστήματα, γεωργικά μηχανήματα, ΣΜηΕΑ, δορυφόρους και αεροπλάνα (Mulla, 2013). Βάσει των φορέων που χρησιμοποιεί κατά περίπτωση, η τηλεπισκόπηση κατηγοριοποιείται σε επίγεια, εναέρια και δορυφορική (Babaeian et al., 2019), ενώ ανάλογα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και του σκοπού που χρησιμοποιείται, διακρίνεται σε οπτική, θερμική, και τηλεπισκόπηση μικροκυμάτων η οποία πραγματοποιείται με τη χρήση παθητικών ή ενεργών αισθητήρων (Zhu et al., 2018).

Με βάση τις παραπάνω αρχές λειτουργίας καθώς και τους αισθητήρες που αναπτύχθηκαν, η τηλεπισκόπηση έχει ευρέως υιοθετηθεί στην εκτίμηση σημαντικών παραμέτρων που σχετίζονται με την ανάπτυξη και απόδοση των καλλιεργειών. Συγκεκριμένα έχει χρησιμοποιηθεί στην πρόβλεψη του καιρού, την εδαφική υγρασία, τις ιδιότητες του εδάφους, τη φαινολογία και πορεία ανάπτυξης της καλλιέργειας, τη μορφολογία της φυτοκόμης και των ιδιοτήτων της, την ταυτοποίηση εχθρών και ασθενειών, τη βιομάζα, τη διαχείριση της καλλιέργειας, και την ποσότητα και ποιότητα της παραγωγής (Steven and Clark, 2013; Babaeian et al., 2019; Weiss et al., 2020).

2.2.1.2 Δείκτες Βλάστησης

Από τις παραπάνω κατηγορίες η οπτική τηλεπισκόπηση αποτελεί την πιο διαδεδομένη μέθοδο η οποία βασίζεται στους δείκτες βλάστησης (ΔΒ). Οι ΔΒ αποτελούν έναν τρόπο ποσοτικής και ποιοτικής αξιολόγησης εδαφικών επιφανειών που καλύπτονται με βλάστηση και βασίζονται σε μετρήσεις του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Οι ΔΒ αποτελούν ποσοτικές μέθοδοι μέτρησης της ευρωστίας των φυτών οι οποίοι βασίζονται σε συνδυασμούς φασματικών περιοχών του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος με τη χρήση αριθμητικών πράξεων των τιμών ανάκλασης (Bannari et al., 1995). Οι ΔΒ παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευαισθησία και κατά συνέπεια μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα από τις απλές τιμές ανάκλασης και για αυτόν τον λόγο χρησιμοποιούνται ευρέως. Οι ΔΒ κυρίως βασίζονται σε μετρήσεις που πραγματοποιούνται στο υπεριώδες, στο ορατό και στο υπέρυθρο φάσμα. Αυτό συμβαίνει γιατί οι εκπομπές της ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερες σε αυτά τα φάσματα όταν υγιή φύλλα είναι υπό μελέτη (Glenn et al., 2008; Xue and Su, 2017). Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται κάποιοι ενδεικτικοί ΔΒ.

Πίνακας 1 Δείκτες βλάστησης που χρησιμοποιούνται εν δυνάμει στην γεωργία (Xue and Su, 2017).

Δείκτης Βλάστησης (ΔΒ)	Ορισμός
EXG	2 * Green – Red – Blue

Δείκτης Βλάστησης (ΔΒ)	Ορισμός
GDVI	$NIR - Green$
GNDVI	$\frac{NIR - Green}{NIR + Green}$
GRVI	$\frac{NIR}{Green}$
MSAVI2	$0.5 * [(2NIR + 1) - \sqrt{(2NIR + 1)^2 - 8(NIR - Red)}]$
NDVI	$\frac{NIR - Red}{NIR + Red}$
NDRE	$\frac{NIR - RE}{NIR + RE}$
NGRDI	$\frac{Green - Red}{Green + Red}$
RVI	$\frac{Red}{NIR}$
SR	$\frac{NIR}{Red}$
VARI	$\frac{(Green - Red)}{(Green + Red + Blue)}$
VDVI	$\frac{2 * Green - Red - Blue}{2 * Green + Red + Blue}$

Όπου NIR, RE, Red, Green και Blue είναι οι τιμές ανάκλασης στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου, ακραίου ερυθρού, ερυθρού, πράσινου και μπλε του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Από τους πιο πάνω ΔΒ, ο πιο σημαντικός είναι ο δείκτης κανονικοποιημένης διαφοράς βλάστησης NDVI. Ο NDVI αποτελεί έναν από τους πρώτους ΔΒ που χρησιμοποιήθηκαν σε πληθώρα καλλιεργειών, όπως δενδρώδεις, κηπευτικές και βιομηχανικές καλλιέργειες, για την εκτίμηση πολλών παραμέτρων που σχετίζονται με τα φυτά, όπως βιομάζα, δείκτης φυλλικής επιφάνειας, βιοτική και αβιοτική καταπόνηση, παραγωγή, κ.ά. Ο υπολογισμός του NDVI βασίζεται στις φασματικές περιοχές του ερυθρού και εγγύς υπέρυθρου και μπορεί να πάρει τιμές από -1 ως +1, από τις οποίες οι τιμές που είναι μεγαλύτερες από 0.3 αντιστοιχούν σε επιφάνειες που φέρουν βλάστηση. Ο δείκτης βλάστησης παρουσιάζει μειωμένη ακρίβεια στην εκτίμηση των παραμέτρων στην περίπτωση πολύ πυκνής βλάστησης εξαιτίας του κορεσμού που υφίσταται. Για τον λόγο αυτό, αναπτύχθηκαν εναλλακτικοί ΔΒ όπως ο NDRE που υπολογίζονται σε άλλες περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (Inman et al., 2008; Turvey and McLaurin, 2012; Yeom et al., 2019).

2.2.2 Γεωγραφικά Πληροφορικά Συστήματα και Γεωστατιστική

Τα Γεωγραφικά Πληροφορικά Συστήματα (Geographical Information Systems - GIS) αποτελούν συστήματα τα όποια έχουν ως σκοπό τη διαχείριση δεδομένων που περιέχουν και χωρική πληροφορία. Τα GIS προσφέρουν δυνατότητες οπτικοποίησης των δεδομένων (δεδομένα εικόνες και διανυσματικά δεδομένα), αποθήκευσης δεδομένων και δημιουργίας χαρτών. Τα συστήματα αυτά μπορούν να επεξεργαστούν πληροφορίες της ΓΑ κατά τέτοιο τρόπο, ώστε προσφέρουν δυνατότητες βελτιστοποίησης των γεωργικών πρακτικών και ελαχιστοποίησης των πιθανοτήτων επανάληψης λαθών (Nazarov et al., 2019).

Βασικός πυλώνας της χρήσης των GIS αποτελεί η γεωστατιστική, η οποία αποτελεί κλάδο της στατιστικής που ασχολείται με χωρικά και χωροχρονικά δεδομένα. Η γεωστατιστική παρέχει τα εργαλεία εκείνα που απαιτούνται για την ποσοτικοποίηση της χωρικής παραλλακτικότητας των περιβαλλοντικών παραμέτρων που βασίζονται σε χωρικές αυτοσυσχετίσεις και κατά συνέπεια να επιτρέψει τη δημιουργία χαρτών με τη χρήση γεωχωρικών δεδομένων που βρίσκονται σε διάσπαρτα σημεία (Oliver, 2010; Buttafuoco and Lucà, 2016). Από τον παραπάνω ορισμό, είναι κατανοητό ότι η γεωστατιστική εφαρμόζεται κυρίως σε περιπτώσεις όπου τα σημεία δειγματοληψίας είναι ασυνεχή, όπως σε περιπτώσεις δειγματοληψίας εδάφους οι οποίες αποτελούν χρονοβόρες και κοστοβόρες διαδικασίες (Houlong et al., 2016). Επιπλέον, η γεωστατιστική έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσει και συνεχή δεδομένα όπως είναι τα δεδομένα από ΣΜηΕΑ για να προσφέρει μοντέλα υψηλότερης ακρίβειας (Carrillo et al., 2016; Anderson et al., 2019).

2.2.3 Ανάλυση μεγάλων δεδομένων

Από τα όσα αναφέρθηκαν, γίνεται κατανοητό ότι η ΓΑ βασίζεται στην καταγραφή πλήθους δεδομένων για τη ορθή λήψη απόφασης σε διαχειριστικό επίπεδο. Πράγματι, ένα πλήθος αισθητήρων καθώς και τεχνολογιών όπως το διαδίκτυο των πραγμάτων και οι υπολογιστικές υποδομές νέφους συντέλεσαν στην παραγωγή μεγάλου όγκου δεδομένων και κατ' επεκταση την ανάγκη αποθήκευσης και επεξεργασίας των δεδομένων αυτών, με εξειδικευμένες τεχνολογίες ανάλυσης όπως αυτή της ανάλυσης μεγάλων δεδομένων (big data analytics). Με τον όρο ανάλυση μεγάλων δεδομένων, ορίζονται οι πρακτικές εκείνες που επιτρέπουν την εξαγωγή πληροφοριών από μεγάλο όγκο και διαφορετικού είδους δεδομένων τα οποία αποθηκεύονται, φιλτράρονται και επεξεργάζονται με υψηλή ταχύτητα (Kamilaris et al., 2017; Wolfert et al., 2017). Η χρήση πολυπληθών δεδομένων μπορεί να προσφέρει πλήθος δυνατοτήτων στη γεωργία όπως ταχεία επιλογή ποικιλιών/υβριδίων που να είναι κατάλληλα για παραγωγή σε ακραίες εδαφοκλιματικές συνθήκες, η εφαρμογή διαχείρισης αγροκτήματος σύμφωνα με τις ανάγκες της ΓΑ για παραγωγή με το βέλτιστο κοινωνικοοικονομικό και περιβαλλοντικό αποτύπωμα, και η δυνατότητα για αξιόπιστη

ιγνηλασιμότητα όλων των σταδίων παραγωγής, επεξεργασίας και κατανάλωσης ενός αγροτικού προϊόντος (Weersink et al., 2018).

2.2.4 Μηχανική Μάθηση

Η μηχανική μάθηση (machine learning) μπορεί να οριστεί ως ο επιστημονικός τομέας που ασχολείται με τη μάθηση των μηχανικών συστημάτων χωρίς τη συνεχή απαίτηση προγραμματισμού (Samuel, 1959). Αν και οι McQueen et al. (1995) ήταν από τους πρώτους που εφάρμοσαν μηχανική μάθηση στη γεωργία, αυτή η μεθοδολογία άρχισε να χρησιμοποιείται ευρέως πρόσφατα. Αυτό οφείλεται στη ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας που προσφέρει την κατάλληλη υπολογιστική δύναμη για την ταχεία επεξεργασία πολυπληθών δεδομένων. Σήμερα, η ανάλυση πολυπληθών δεδομένων αλλά και η χρήση αισθητήρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν από το ευρύ κοινό. Η μηχανική μάθηση απαιτεί τη χρήση αρχικών δεδομένων (π.χ. δεδομένα από απεικονίσεις) τα οποία χρησιμοποιούνται στην ανάπτυξη αλγορίθμων μηχανικής μάθησης οι οποίοι μπορούν να εκπαιδεύσουν το σύστημα με κατάλληλες μεθοδολογίες στην αναγνώριση απαιτούμενων χαρακτηριστικών. Η εφαρμογή της μηχανικής μάθησης είναι ιδιαίτερα σημαντική στη γεωργία έχοντας χρησιμοποιηθεί στην εκτίμηση της παραγόμενης ποσότητας και ποιότητας σε διάφορες καλλιέργειες, στην αναγνώριση ειδών, ασθενειών και ζιζανίων αλλά και στη διαχείριση του υδατικού και εδαφικού δυναμικού (Kamilaris and Prenafeta-Boldú, 2018). Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται στη μηχανική μάθηση περιλαμβάνουν δεδομένα εικόνας, κλιματικά δεδομένα, φασματικά δεδομένα, δεδομένα εδάφους κ.ά. (Liakos et al., 2018).

2.2.5 Καθορισμός Ζωνών Διαχείρισης και Ανάπτυξη Χαρτών Εφαρμογής

Ο καθορισμός ζωνών διαχείρισης (management zone delineation) αποτελεί έναν από τους κύριους στόχους της ΓΑ. Με τον όρο ζώνη διαχείρισης, ορίζεται η περιοχή ενός αγρού η οποία παρουσιάζει ομοιογένεια ως προς συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και κατά συνέπεια είναι κατάλληλη για να εφαρμοστεί ίδια δόση εισροής στην καλλιέργεια (π.χ. νερού, φυτοπροστατευτικού προϊόντος κ.ά.) (Doerge, 2000). Για τον καθορισμό ζωνών διαχείρισης, απαιτούνται πληροφορίες/δεδομένα (π.χ. δεδομένα αποδόσεων, ευρωστίας καλλιέργειας, εδάφους), τα οποία επεξεργάζονται με τις προαναφερθείσες μεθοδολογίες, και οπτικοποιούνται στη μορφή χαρτών μέσω των γεωγραφικών πληροφοριακών συστημάτων GIS. Κατά αυτόν τον τρόπο, στους χάρτες περιέχονται πληροφορίες όπως είναι η έκταση που καταλαμβάνει η κάθε ζώνη διαχείρισης καθώς και τα όριά της. Επιπλέον, ο κάθε χάρτης που περιέχει τις ζώνες διαχείρισης μπορεί με κατάλληλη επεξεργασία να μετατραπεί σε πληροφοριακό χάρτη εκάστοτε εφαρμογής (prescription map) όπου αναγράφονται οι δόσεις εφαρμογής ανά ζώνη. Τελικά, οι χάρτες εφαρμογής μπορούν να χρησιμοποιηθούν από γεωργικά

μηχανήματα ικανά να «διαβάσουν» τους χάρτες εφαρμογής και να εφαρμόσουν την αντίστοιχη δόση ανά ζώνη (μηχανήματα μεταβλητής δόσης εφαρμογής) (Nawar et al., 2017).

2.3 Τεχνολογίες ΓΑ

Οι τεχνολογίες της ΓΑ μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις βασικές κατηγορίες με βάση τον σκοπό που επιτελούν. Συγκεκριμένα, όπως αναφέρουν οι Balafoutis et al. (2017) “οι Schwarz et al. (2011) χώρισαν τις τεχνολογίες ΓΑ i) σε τεχνολογίες που ασχολούνται με την πλοήγηση των διάφορων οχημάτων (όπως είναι τα συστήματα αυτόματης πλοήγησης), ii) σε τεχνολογίες καταγραφής δεδομένων (όπως είναι οι μετεωρολογικοί σταθμοί, οι αισθητήρες μέτρησης της παραγωγής, οι δορυφόροι τηλεπισκόπησης) και iii) σε τεχνολογίες εκτέλεσης εργασιών (όπως είναι οι λιπασματοδιανομείς και τα ψεκαστικά μηχανήματα διαφορικής δόσης)”.

Αντίστοιχα με τους Balafoutis et al. (2017), οι Bhakta et al. (2019) κατηγοριοποίησαν τις τεχνολογίες σε τρεις μεγάλες κατηγορίες (τεχνολογίες συλλογής δεδομένων, τεχνολογίες ανάλυσης δεδομένων και λήψης αποφάσεων, και τεχνολογίες μεταβλητής δόσης εφαρμογής) ανάλογα με τον σκοπό που επιτελούν. Συγκεκριμένα, οι τεχνολογίες συλλογής δεδομένων έχουν ως σκοπό την καταγραφή δεδομένων περιλαμβάνοντας τεχνολογίες όπως τα παγκόσμια δορυφορικά συστήματα πλοήγησης, οι τεχνολογίες τηλεπισκόπησης με τη χρήση των πολυφασματικών καμερών, οι εν κινήσει αισθητήρες (on-the-go sensors) και οι αισθητήρες μέτρησης της ποσότητας και της ποιότητας παραγωγής. Οι τεχνολογίες ανάλυσης δεδομένων και λήψης αποφάσεων αναφέρονται σε τεχνολογίες που περιλαμβάνουν το φιλτράρισμα των δεδομένων και το μετασχηματισμό τους σε χρήσιμη πληροφορία για τους παραγωγούς και τους γεωπόνους. Τέτοιες τεχνολογίες είναι τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS), το διαδίκτυο των πραγμάτων, οι τεχνολογίες μηχανικής μάθησης και τεχνητής νοημοσύνης και οι τεχνολογίες υπολογιστικού νέφους. Τέλος, οι τεχνολογίες μεταβλητής δόσης εφαρμογής αφορούν στις τεχνολογίες που επιτρέπουν την εφαρμογή μεταβλητών δόσεων εισροών όπως είναι το νερό, τα φυτοπροστατευτικά προϊόντα και τα λιπάσματα με σκοπό τη βελτιστοποίηση της εφαρμογής ως προς το κόστος και την αποτελεσματικότητα. Οι τεχνολογίες αυτές περιλαμβάνουν ψεκαστικά μηχανήματα, λιπασματοδιανομείς και αρδευτικά συγκροτήματα μεταβλητής δόσης εφαρμογής.

Σύμφωνα με τους Saiz-Rubio and Rovira-Más (2020), οι τεχνολογίες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε πέντε στάδια σύμφωνα με τη ροή της πληροφορίας στα πλαίσια ενός συστήματος ΓΑ. Αυτά τα στάδια περιλαμβάνουν την καλλιέργεια, την εφαρμογή λογισμικού, τα δεδομένα, την απόφαση και την ενέργεια. Με το στάδιο της καλλιέργειας, οι Saiz-Rubio and Rovira-Más (2020) αναφέρονται στη ροή της πληροφορίας που περιέχει την παραλλακτικότητα στην

καλλιεργούμενη έκταση και με την οποία επιτυγχάνεται η δημιουργία ζωνών διαχείρισης. Με την σειρά της η δημιουργία ζωνών διαχείρισης επιτρέπει τη βελτίωση των κοινωνικοοικονομικών και περιβαλλοντικών δεικτών μέσα από την εφαρμογή της Κλιματικά-Έξυπνης Γεωργίας. Αξίζει να αναφερθεί ότι αυτό το στάδιο αποτελεί την αρχή και το τέλος του κύκλου της ροής της πληροφορίας. Αντίστοιχα, το στάδιο της εφαρμογής λογισμικού αναφέρεται στη ροή της πληροφορίας που έχει σχέση με το σύστημα στο οποίο φέρονται διάφοροι αισθητήρες όπως είναι οι δορυφόροι, τα ΣΜηΕΑ, τα επίγεια ρομποτικά συστήματα αλλά και τα επανδρωμένα αεροσκάφη και γεωργικά μηχανήματα. Το στάδιο των δεδομένων περιλαμβάνει τη διαχείριση δεδομένων μεγάλου όγκου, το διαδίκτυο των πραγμάτων, τη χαρτογράφηση, τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS) και τα συστήματα διαχείρισης αγροκτημάτων (FMIS). Στη συνέχεια, η ροή της πληροφορίας μετακινείται στο στάδιο της απόφασης όπου η επεξεργασία της πραγματοποιείται με τη χρήση τεχνητής νοημοσύνης (AI) και την χρήση συστημάτων υποστήριξης λήψης αποφάσεων (DSS). Τέλος, στο στάδιο της ενέργειας η πληροφορία κινείται για την εκτέλεση των πρακτικών σύμφωνα με τις αρχές της ΓΑ όπου διάφορα μηχανήματα εφαρμόζουν διαφορετικές καλλιεργητικές πρακτικές (άρδευση, λίπανση, φυτοπροστασία, συγκομιδή, κτλ.)

Παρακάτω ακολουθεί συνοπτική περιγραφή των τεχνολογιών που εφαρμόζονται στην ΓΑ.

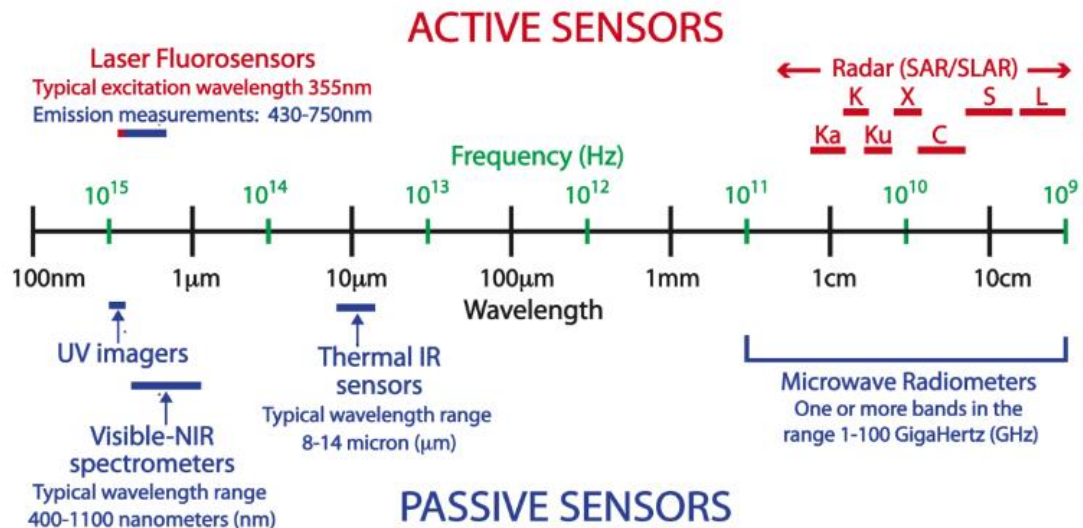
2.3.1 Δορυφόροι γεωσκόπησης και δορυφορικά συστήματα παγκόσμιας πλοήγησης

Οι δορυφόροι αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της ΓΑ. Διακρίνονται σε δύο είδη, στους δορυφόρους γεωσκόπησης και στους δορυφόρους που χρησιμοποιούνται για την πλοήγηση. Το κάθε είδος δορυφόρου έχει τις δικές του υποκατηγορίες.

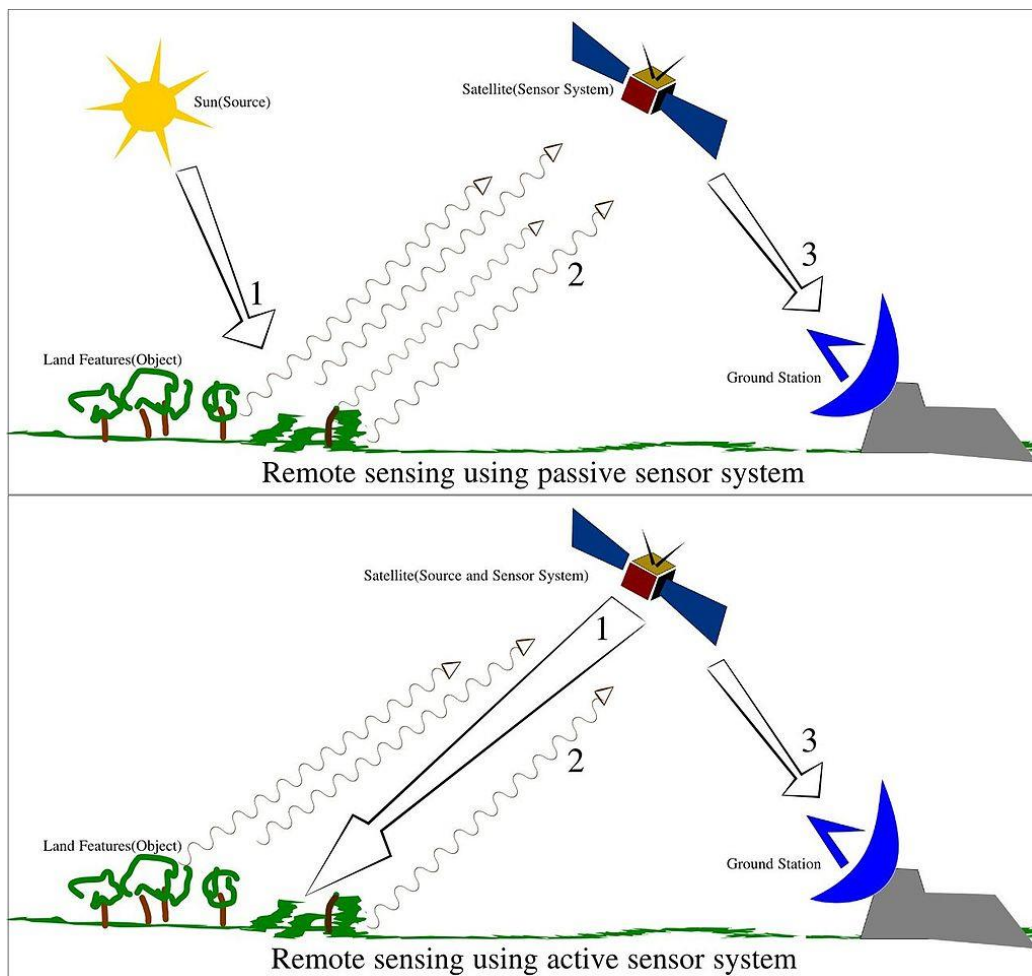
2.3.1.1 Δορυφόροι γεωσκόπησης

Οι δορυφόροι γεωσκόπησης (earth observation satellites) αποτελούν μία από τις σημαντικότερες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στη ΓΑ. Η κατηγοριοποίησή τους μπορεί να γίνει με βάση το ύψος της τροχιάς τους, τον σκοπό τους και τον τύπο αισθητήρα τον οποίο φέρουν. Με βάση το ύψος της τροχιάς τους, κατηγοριοποιούνται σε δορυφόρους χαμηλού, μέσου, υψηλού ύψους τροχιάς και γεωσύγχρονης τροχιάς. Με βάση τον σκοπό τους, διακρίνονται σε μετεωρολογικούς δορυφόρους, περιβαλλοντικούς δορυφόρους και δορυφόρους χαρτογράφησης. Τέλος, με βάση τον τύπο του αισθητήρα που φέρουν για τις συγκεκριμένες μετρήσεις, διακρίνονται σε δορυφόρους ενεργών αισθητήρων και σε δορυφόρους παθητικών αισθητήρων. Η διαφορά ανάμεσα στους δύο τύπους αισθητήρων είναι ότι οι δορυφόροι με ενεργούς αισθητήρες διαθέτουν πηγή εκπομπής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, έτσι ώστε ο αισθητήρας λαμβάνει το επιστρεφόμενο σήμα, ενώ οι δορυφόροι με παθητικούς αισθητήρες βασίζονται σε εξωτερική πηγή ακτινοβολίας (π.χ. Ήλιος) και

έτσι λαμβάνουν τα σήματα που είναι διαθέσιμα στο περιβάλλον. Οι παθητικοί αισθητήρες που χρησιμοποιούνται στους δορυφόρους περιλαμβάνουν αισθητήρες (π.χ. σπεκτρο-ραδιόμετρο) που μετρούν στο ορατό, στο υπεριώδες, στο υπέρυθρο και στα μικροκύματα. Αντίστοιχα, οι ενεργοί αισθητήρες που χρησιμοποιούνται στους δορυφόρους γεωσκόπησης περιλαμβάνουν αισθητήρες RADAR (Radio detection and ranging) και αισθητήρες Laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) (Εικόνα 4 και Εικόνα 5).



Εικόνα 4 Χαρακτηριστικά δορυφόρων με ενεργούς και παθητικούς αισθητήρες (Πηγή: https://unstats.un.org/bigdata/taskteams/satellite/UNGWG_Satellite_Task_Team_Report_WhiteCover.pdf, Accessed: 01/09/2020).



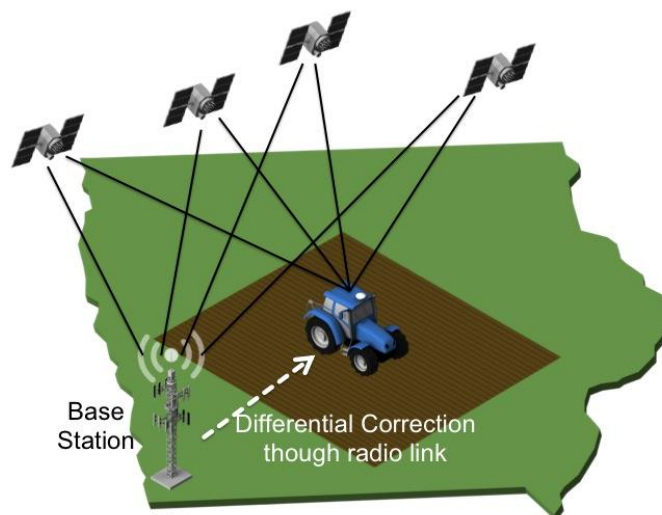
Εικόνα 5 Αρχή λειτουργίας παθητικών και ενεργών αισθητήρων γεωσκόπησης (Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Remote_sensing)

Οι δορυφόροι γεωσκόπησης έχουν εκτεταμένη χρήση στη γεωργία και έχουν χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση πολλών παραμέτρων της καλλιέργειας όπως βιομάζα, χλωροφύλλη, φαινολογικό στάδιο καλλιέργειας, δείκτη φυλλικής επιφάνειας, ποσότητα και ποιότητα παραγωγής αλλά και την εκτίμηση ακραίων καιρικών φαινομένων, ευνοϊκών συνθηκών ανάπτυξης της καλλιέργειας, ευνοϊκών συνθηκών ανάπτυξης εχθρών και μυκήτων, και γονιμότητας του εδάφους. Μέσα από αυτές τις παραμέτρους γίνεται εκτίμηση της καταπόνησης που μπορεί να υφίσταται η καλλιέργεια τόσο από βιοτικούς παράγοντες (εχθροί, ασθένειες, ζιζάνια) όσο και από αβιοτικούς (έλλειψη νερού, θρεπτικών στοιχείων, χαλάζι, διάβρωση εδάφους) (Wójtowicz et al., 2016, Hazaymeh and Hassan, 2016, Gitelson, 2018, Shanmugapriya et al., 2019, Karthikeyan et al., 2020).

2.3.1.2 Δορυφορικά συστήματα παγκόσμιας πλοήγησης

Σημαντικό ρόλο στην εφαρμογή της ΓΑ παρουσιάζουν τα δορυφορικά συστήματα παγκόσμιας πλοήγησης (Global Navigation Satellite Systems), τα οποία αποτελούνται από ένα πλήθος δορυφόρων, στο οποίο ο κάθε δορυφόρος εκπέμπει σήμα με τη θέση στην οποία βρίσκεται, και το οποίο χρησιμοποιείται από δέκτες δορυφορικών συστημάτων παγκόσμιας πλοήγησης για να

υπολογίσουν την αντίστοιχη θέση τους στην επιφάνεια της γης. Αυτή την στιγμή υπάρχουν τέσσερα δορυφορικά συστήματα παγκόσμιας πλοήγησης, τα οποία είναι το Galileo (Ευρωπαϊκή Ένωση), το GPS (Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής), το Glonass (Ρωσία) και το BeiDou (Κίνα) (Perez-Ruiz and Upadhyaya, 2012). Οι δέκτες παρουσιάζουν διαφορετικά επίπεδα ακρίβειας, το οποίο επηρεάζεται από τα βοηθητικά συστήματα ενίσχυσης ακρίβειας που μπορεί να φέρουν, καθώς και από τον αριθμό των διαφορετικών δορυφορικών συστημάτων παγκόσμιας πλοήγησης που υποστηρίζουν (Kabir et al., 2016). Έτσι, διακρίνονται σε χαμηλής ακρίβειας (με ακρίβεια μέτρου), σε μέσης (με ακρίβεια δεκάτου) και υψηλής (με ακρίβεια εκατοστού). Ανάλογα την ακρίβεια που παρέχουν, τα δορυφορικά συστήματα παγκόσμιας πλοήγησης έχουν χρησιμοποιηθεί μαζί με άλλες τεχνολογίες για χαρτογράφηση και διαχείριση εκτάσεων, για αυτόματη και υποβοηθούμενη καθοδήγηση γεωργικών μηχανημάτων και ρομποτικών συστημάτων, και για εφαρμογή διαφορικής δόσης αγροτικών εισροών (νερού, σπόρου, λιπάσματος και φυτοπροστατευτικών προϊόντων), αλλά και για εκτέλεση γεωργικών εργασιών (Noack, 2011, Hu et al., 2015, Wei et al., 2017).



Εικόνα 6 Αρχή λειτουργίας των δορυφορικών συστημάτων παγκόσμιας πλοήγησης (Pérez Ruiz and Upadhyaya, 2012).

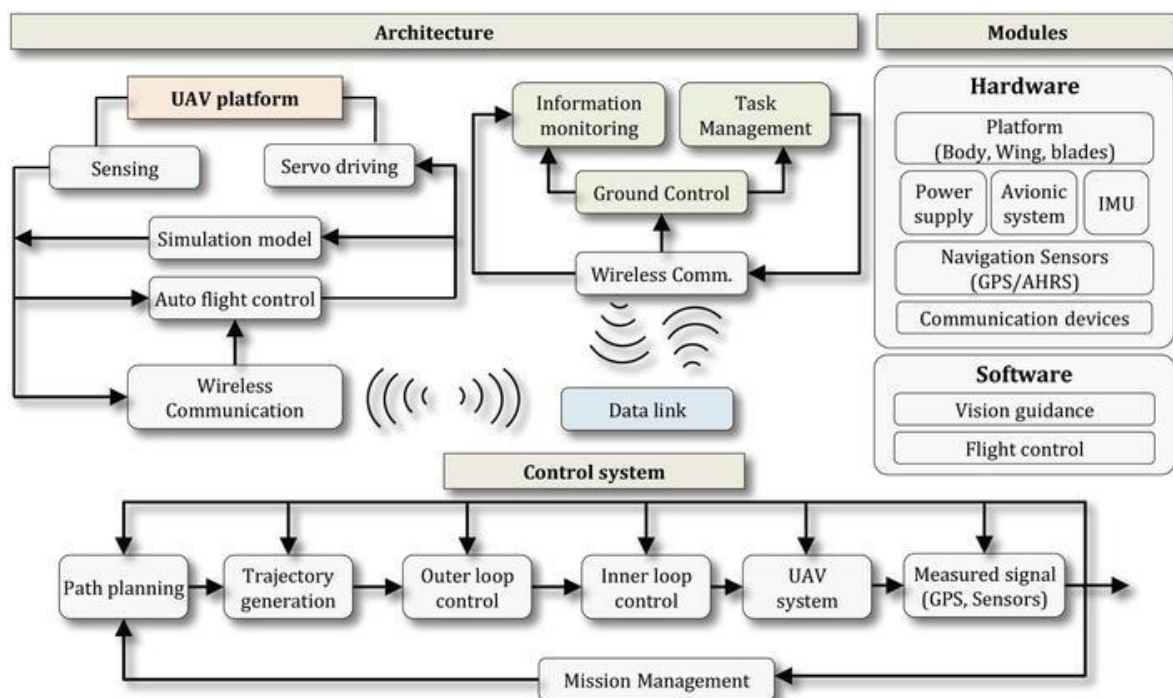
2.3.2 Ρομποτικά Συστήματα

Η ανάγκη για εντατικοποίηση της αυτοματοποίησης της γεωργίας εξαιτίας της ανάγκης για μεγαλύτερη παραγωγή, αλλά και έλλειψης εξειδικευμένου εργατικού δυναμικού, οδήγησε στην ανάπτυξη ρομποτικών συστημάτων προσαρμοσμένων στις ανάγκες της γεωργίας. Ως ρομποτικά συστήματα, ορίζονται τα συστήματα τα οποία μπορούν να εκτελέσουν με αυτοματοποιημένο τρόπο μια σειρά ενεργειών, ενώ γεωργικά ρομποτικά συστήματα, ορίζονται τα συστήματα τα οποία υποστηρίζουν ή υλοποιούν γεωργικές δραστηριότητες (Vougioukas, 2019). Τα γεωργικά ρομποτικά

συστήματα διακρίνονται σε εναέρια ή επίγεια, ενώ η σύγχρονη τεχνολογία επιτρέπει την συνεργασία μεταξύ τους, ανεξαρτήτως τύπου (Aravid et al., 2017).

2.3.2.1 Εναέρια αγροτικά ρομποτικά συστήματα

Τα εναέρια ρομποτικά συστήματα ή Συστήματα Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣΜηΕΑ) αποτελούν μια σχετικά καινούργια τεχνολογία για την ΓΑ, με τον κύριο ρόλο της να είναι η μεταφορά και λειτουργία αισθητήρων για την παρακολούθηση των γεωργικών εκτάσεων (π.χ. χαρτογράφηση ζιζανίων, αναγνώριση προσβολών από εχθρούς και ασθένειες, εκτίμηση απόδοσης, διαχείριση άρδευσης), ενώ πρόσφατα έχουν χρησιμοποιηθεί και για άλλες χρήσεις, όπως ψεκασμό των καλλιεργειών. Τα ΣΜηΕΑ διακρίνονται σε σταθερής πτέρυγας, σε τύπου ελικοπτερού, και σε πολυκόπτερα (με 2 ή παραπάνω στροφεία). Επίσης, υπάρχουν και αντίστοιχες κατηγορίες με βάση το ωφέλιμο φορτίο που μπορούν να φέρουν, αλλά και το ύψος λειτουργίας τους. Σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των δορυφόρων αποτελούν η μεγαλύτερη ανάλυση των πληροφοριών που συλλέγουν, και η συλλογή δεδομένων ακόμα και σε συνθήκες νέφωσης. Αντίστοιχα, μειονεκτήματά τους έναντι των δορυφόρων αποτελούν ο μικρός χρόνος λειτουργίας, και η μικρή έκταση που μπορούν να καλύψουν (Natu and Kulkarni, 2016, Mogili and Deepak, 2018, Tsouros et al., 2019, Barbedo, 2019). Τα ΣΜηΕΑ αποτελούνται από ένα πλήθος υποσυστημάτων (αισθητήρες, λογισμικό, σερβοκινητήρες), τα οποία χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία πτητικού σχεδίου, την εκτέλεση, τον έλεγχο και την ασφάλεια της πτήσης (Shamishiri et al., 2018).



Εικόνα 7 Αρχιτεκτονική, υποσυστήματα και σύστημα ελέγχου για χρήση ΣΜηΕΑ στη γεωργία ακριβείας (Shamshiri et al., 2018).

2.3.2.2 Επίγεια αγροτικά ρομποτικά συστήματα

Όπως και τα ΣΜηΕΑ, έτσι και τα επίγεια αγροτικά ρομποτικά συστήματα αποτελούν μια καινούρια τεχνολογία για τη ΓΑ. Τα επίγεια ρομποτικά συστήματα μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες, σε μικρά ρομποτικά συστήματα αλλά και σε τροποποιημένους γεωργικούς ελκυστήρες (Blackmore et al., 2004). Η διαφορά τους είναι ότι τα πρώτα αναπτύχθηκαν εξ ολοκλήρου για να λειτουργούν ως ρομπότ, ενώ στους τροποποιημένους γεωργικούς ελκυστήρες εγκαταστάθηκαν συστήματα (π.χ. σύστημα αυτόματης οδήγησης, σύστημα μηχανικής όρασης), τα οποία επιτρέπουν τη λειτουργία τους αυτοματοποιημένα χωρίς χειριστή. Τα επίγεια αγροτικά ρομποτικά συστήματα έχουν χρησιμοποιηθεί για να φέρουν αισθητήρες για την παρακολούθηση της καλλιέργειας (πορεία ανάπτυξης, εκτίμηση παραγωγής, προσβολή από εχθρούς και ασθένειες), και για την εκτέλεση καλλιεργητικών εργασιών όπως σπορά, φύτευση, μεταφύτευση, ψεκασμός, λίπανση, κατεργασία εδάφους, μηχανική ζιζανιοκτονία και συγκομιδή (Reddy et al., 2016, Bechar and Vigneault. 2016, Aravind et al., 2017).

2.3.3 Αισθητήρες

Η ΓΑ αποτελεί μία μορφή γεωργίας η οποία έχει υψηλές απαιτήσεις σε πληροφορία κατά τη διάρκεια όλης της παραγωγικής διαδικασίας. Αυτό είναι εφικτό με τη χρήση αισθητήρων. Ως αισθητήρας, ορίζεται το σύστημα ή μέρος κάποιου ολοκληρωμένου συστήματος που έχει σαν σκοπό την παρακολούθηση συμβάντων ή αλλαγών που πραγματοποιούνται στο περιβάλλον του και το οποίο έχει τη δυνατότητα να στείλει αυτήν την πληροφορία σε άλλα ηλεκτρονικά συστήματα. Στη ΓΑ, οι αισθητήρες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με τον σκοπό τους σε αισθητήρες εδάφους, καλλιέργειας, κλίματος και μηχανημάτων και ανάλογα με την απόσταση από τον στόχο σε αισθητήρες επαφής, εγγύς αισθητήρες (σταθερούς και εποχούμενους), εναέριους αισθητήρες και αισθητήρες που βρίσκονται στο διάστημα. Επιπλέον, ανάλογα με τον τύπο τους χαρακτηρίζονται σε μηχανικούς, χημικούς, οπτικούς, ηλεκτρικούς, ακουστικούς, πνευματικούς αισθητήρες και αισθητήρες εικόνας και ραδιενέργειας (Gebbers, 2014). Μια σχηματική απεικόνιση ενός ολοκληρωμένου συστήματος παρακολούθησης του περιβάλλοντος με χρήση αισθητήρων παρουσιάζεται στην Εικόνα 8.



Εικόνα 8 Σχηματική απεικόνιση συστημάτων παρακολούθησης που χρησιμοποιούνται στην ΓΑ (DFG, 2014).

Οι αισθητήρες έχουν χρησιμοποιηθεί για ένα πλήθος μέτρησης παραμέτρων, που άμεσα ή έμμεσα συνδέονται με τις καλλιέργειες και τις καλλιεργητικές εργασίες που πραγματοποιούνται σε αυτές, όπως είναι η αξιολόγηση θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος, το ποσοστό οργανικής ουσίας, η εδαφική υγρασία, η βιομάζα, η ποσότητα και ποιότητα παραγωγής, η κατανάλωση καυσίμων, η συμπίεση του εδάφους, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, η προσβολή από ζιζάνια, εχθρούς και ασθένειες, η εξατμισοδιαπνοή, η καταπόνηση από βιολογικούς και αβιολογικούς παράγοντες, η θερμοκρασία και η υγρασία αέρα και φυλλώματος, η ταχύτητα ανέμου, η βροχόπτωση κ.ά. (Adamchuk et al., 2004, Rajares et al., 2013, Pongnumkul et al., 2015). Παρακάτω πραγματοποιείται αναφορά στους βασικούς αισθητήρες που χρησιμοποιούνται στην ΓΑ.

2.3.3.1 Αισθητήρες Εικόνας

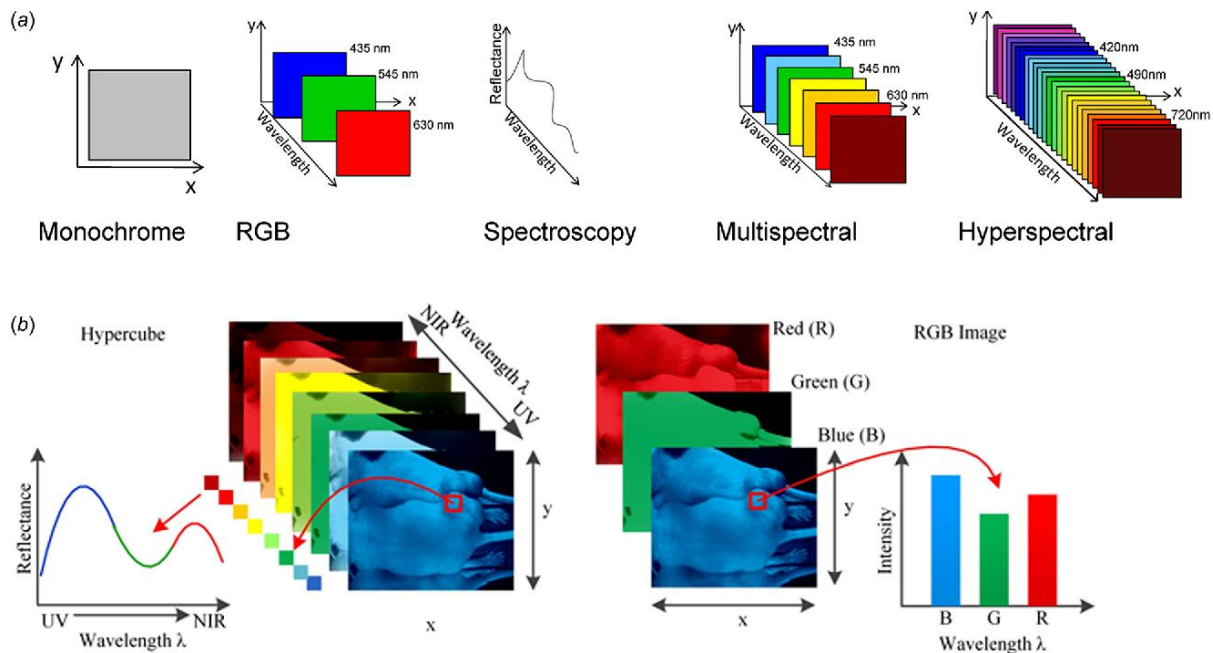
Οι αισθητήρες εικόνας έχουν την ικανότητα να «αναγνωρίζουν» την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και να την μετατρέπουν σε πληροφορία, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη αποτύπωση εικόνας. Οι κάμερες αποτελούν ολοκληρωμένα συστήματα, τα οποία ενσωματώνουν αισθητήρα εικόνας ικανό

να καταγράφει εικόνες. Οι κάμερες που χρησιμοποιούνται κυρίως στην ΓΑ διακρίνονται σε πολυφασματικές, υπερφασματικές και θερμικές κάμερες. Οι πολυφασματικές κάμερες μπορούν να αποτυπώσουν το περιβάλλον εργασίας τους σε έναν περιορισμένο αριθμό φασμάτων (3 έως 15) στις περιοχές του ορατού και του υπέρυθρου φάσματος. Έτσι, είναι δυνατόν να παραχθούν με αυτήν τη μέθοδο, δείκτες βλάστησης οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της βιομάζας, για τη διάκριση μεταξύ των ειδών, την ωρίμαση των φυτών, την κατάσταση των θρεπτικών, την αποτελεσματικότητα της φωτοσύνθεσης ή του υδατικού περιεχομένου, αλλά και για τον εντοπισμό ασθενειών και προσβολών από έντομα. Οι πιο γνωστές πολυφασματικές κάμερες είναι οι RGB κάμερες, οι οποίες υποστηρίζουν τρία φάσματα. Οι RGB κάμερες συνδυάζουν τα χρώματα κόκκινο, πράσινο και μπλε για να αποτυπώσουν το εύρος χρωμάτων το οποίο υπάρχει στο περιβάλλον, ενώ αποτελούν ευρέως διαδεδομένες χαμηλού κόστους κάμερες οι οποίες έχουν χρησιμοποιηθεί σε πειράματα μη καταστροφικής εκτίμησης παραμέτρων καλλιέργειας αλλά και μετασυλλεκτικά για την εκτίμηση της ποιότητας των νωπών σπαραλαχανικών (Manolopoulou et al. 2010, Xanthopoulos et al. 2016, Travlos et al., 2017). Οι υπερφασματικές κάμερες σε αντίθεση με τις πολυφασματικές, μπορούν να παράγουν εικόνες σε εκατοντάδες θέσεις του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, με αποτέλεσμα να μπορούν να παράγουν μεγαλύτερο αριθμό δεικτών βλάστησης και να προσφέρουν μεγαλύτερες δυνατότητες στην εκτίμηση παραμέτρων σχετικών με την καλλιέργεια (Mohan and Venkatesan, 2020) (Πίνακας 2 και Εικόνα 9).

Πίνακας 2 Σύγκριση ανάμεσα στην πολυφασματική και υπερφασματική κάμερα (Προσαρμογή από Feng and Sun (2012) και Medium (2016).

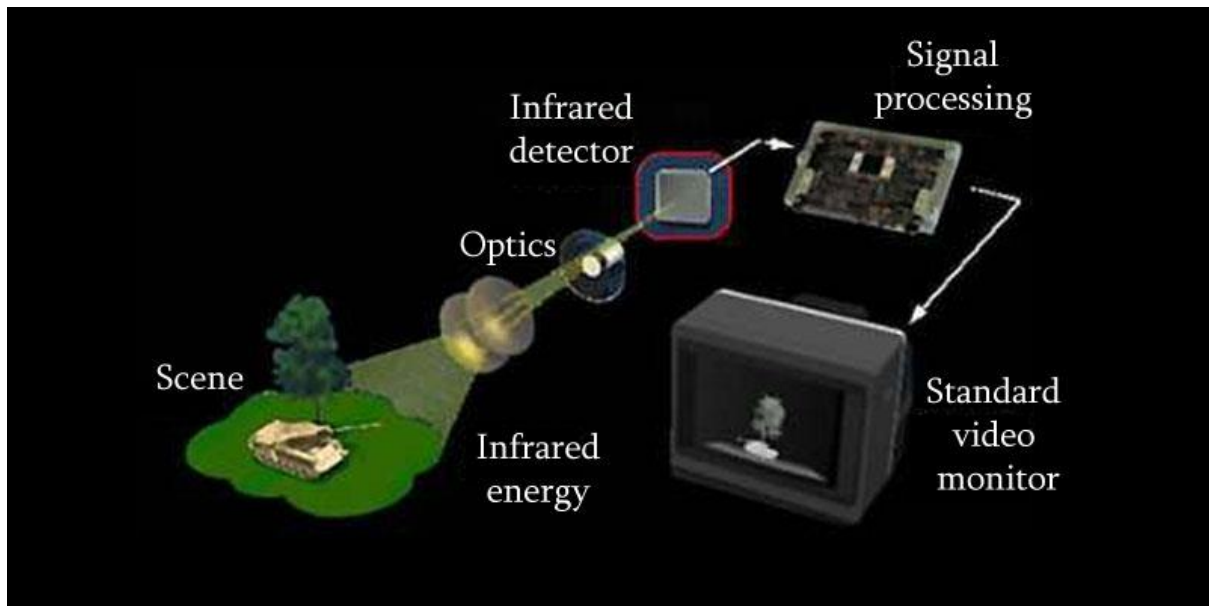
Χαρακτηριστικά	Πολυφασματική Κάμερα	Υπερφασματική Κάμερα
Χωρική Πληροφορία	Ναι	Ναι
Φασματική Πληροφορία	Περιορισμένη	Ναι
Πληροφορία από πολλαπλά στοιχεία	Περιορισμένη	Ναι
Ευελιξία στην εξαγωγή φασματικής πληροφορίας	Περιορισμένη	Ναι
Αναγνώριση εχθρών και ασθενειών	Όχι	Ναι
Αναγνώριση ζιζανίων	Περιορισμένη	Ναι
Αναγνώριση έλλειψης φωσφόρου και καλίου	Όχι	Ναι
Αναγνώριση αζώτου	Περιορισμένη	Ναι
Εκτίμηση ποιότητας και ποσότητας παραγωγής	Περιορισμένη	Ναι

Χαρακτηριστικά	Πολυφασματική Κάμερα	Υπερφασματική Κάμερα
Αναγνώριση σταδίου ωριμότητας καλλιέργειας	Όχι	Ναι
Ευρωστία καλλιέργειας	Ναι	Ναι



Εικόνα 9 Διαφορές ανάμεσα σε μονοχρωματικούς, RGB, πολυφασματικούς και υπερφασματικούς αισθητήρες (Mehta et al., 2018).

Οι θερμικές κάμερες είναι κάμερες οι οποίες έχουν τη δυνατότητα να παράγουν εικόνες σχετικές με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Αυτό πραγματοποιείται εξαιτίας της δυνατότητάς τους να λειτουργούν σε μεγάλο μήκος κύματος υπέρυθρη ακτινοβολία μέχρι 14000 nm, με αποτέλεσμα να αντλαμβάνονται τη θερμική ακτινοβολία που εκπέμπει ο στόχος με τη χρήση του κατάλληλου αισθητήρα (βολόμετρο) που φέρουν. Οι θερμικές κάμερες έχουν χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη της υδατικής καταπόνησης των φυτών, για τον εντοπισμό ασθενειών και παθογόνων και για την πορεία ωρίμασης των καρπών (Araus and Cairns, 2014, Mastrodimos et al., 2019) (Εικόνα 10).



Εικόνα 10 Αρχή λειτουργίας θερμικής κάμερας (Πηγή: <https://thermogears.com/guide-choose-best-thermal-imaging-cameras/>)

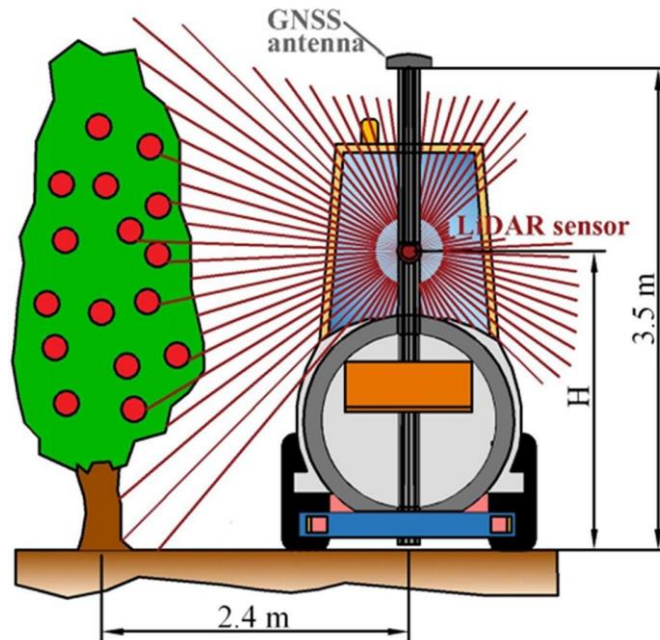
2.3.3.2 Φασματικοί Αισθητήρες

Οι φασματικοί αισθητήρες μπορούν να ανιληφθούν ποσοτικά και ποιοτικά το ανακλώμενο φως από επιφάνειες και τις μετατρέπουν σε ηλεκτρικό σήμα. Μετρούν το φως στο ορατό (400-700 nm) και στο υπέρυθρο φάσμα (700-2500 nm), αλλά δεν απεικονίζουν το περιβάλλον όπως κάνουν οι πολυφασματικές και οι υπερφασματικές κάμερες. Χρησιμοποιούνται ευρέως στη γεωργία γιατί οι μετρήσεις τους σχετίζονται με τη φυσιολογία και την ανάπτυξη των φυτών. Αυτοί οι αισθητήρες μπορούν να είναι είτε παθητικοί είτε ενεργοί. Οι παθητικοί φασματικοί αισθητήρες χρησιμοποιούν το φως του ήλιου ενώ οι ενεργοί αισθητήρες φέρουν πηγές φωτός που παράγουν ακτινοβολία για τη διεξαγωγή των μετρήσεων. Για αυτόν τον λόγο, οι ενεργοί φασματικοί αισθητήρες εξαρτώνται λιγότερο από τις καιρικές συνθήκες. Στο εμπόριο υπάρχουν πολλοί τύποι φασματικών αισθητήρων των δύο κατηγοριών, όπως σπεκτροόμετρα, σπεκτροραδιόμετρα και αισθητήρες βλάστησης (Erdle et al., 2011). Συγκεκριμένα, τα σπεκτροόμετρα χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση του φασματικού περιεχομένου της προσπίπτουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, ενώ τα σπεκτροραδιόμετρα χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της έντασης της ακτινοβολίας σε πολλαπλά φάσματα (Zhu et al., 2017). Οι αισθητήρες φυλλώματος αποτελούν υποκατηγορία των παραπάνω τύπων, οι οποίοι υποστηρίζουν τα κατάλληλα φάσματα τα οποία είναι χρήσιμα στην αξιολόγηση των φυτικών ειδών.

2.3.3.3 LiDAR

Οι αισθητήρες τύπου LiDAR (Light Detection and Ranging) μετρούν την απόσταση από τον στόχο μέσω ακτίνων λέιζερ. Εκπέμπουν μια δέσμη ακτίνων λέιζερ, και μετρούν το χρόνο επιστροφής μετά την ανάκλαση του σήματος για να εκτιμήσουν την απόσταση. Η τεχνολογία αυτή έχει

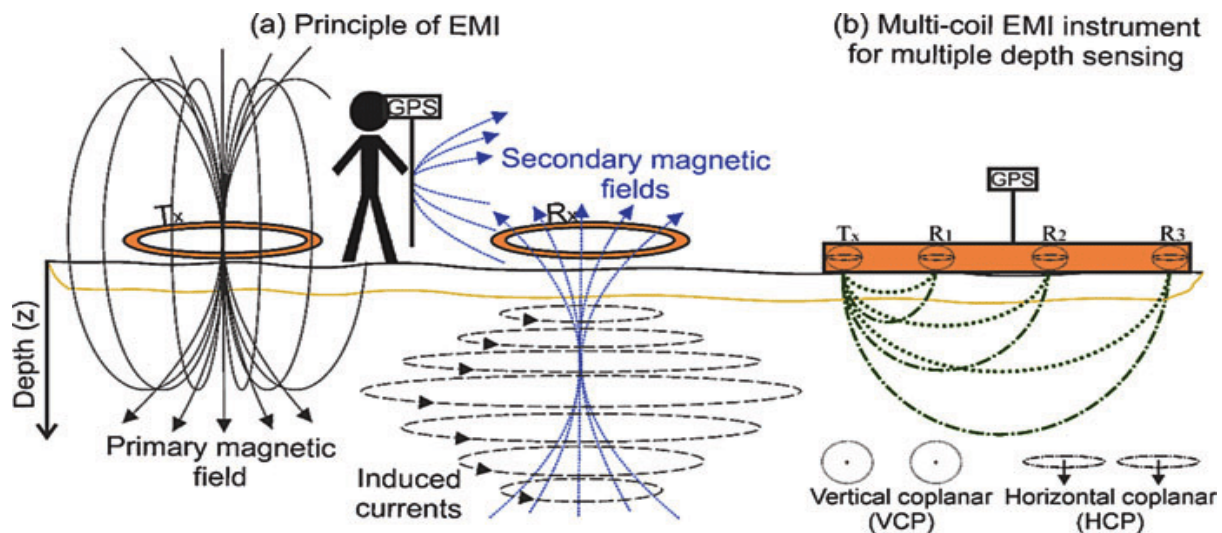
χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων φυτών αλλά και για την εκτίμηση παραμέτρων που σχετίζονται με το φύλλωμα (π.χ. δείκτης φυλλικής επιφάνειας), τον όγκο, το ύψος, την βιομάζα των φυτών και την παραγωγή (Koenig et al., 2015, Murray et al., 2019, Gené-Mola et al., 2020) (Εικόνα 11).



Εικόνα 11 Αρχή λειτουργίας LiDAR για χρήση σε δενδρώδεις καλλιέργειες (Gené-Mola et al., 2020)

2.3.3.4 Αισθητήρες Ηλεκτρομαγνητικής Επαγωγής

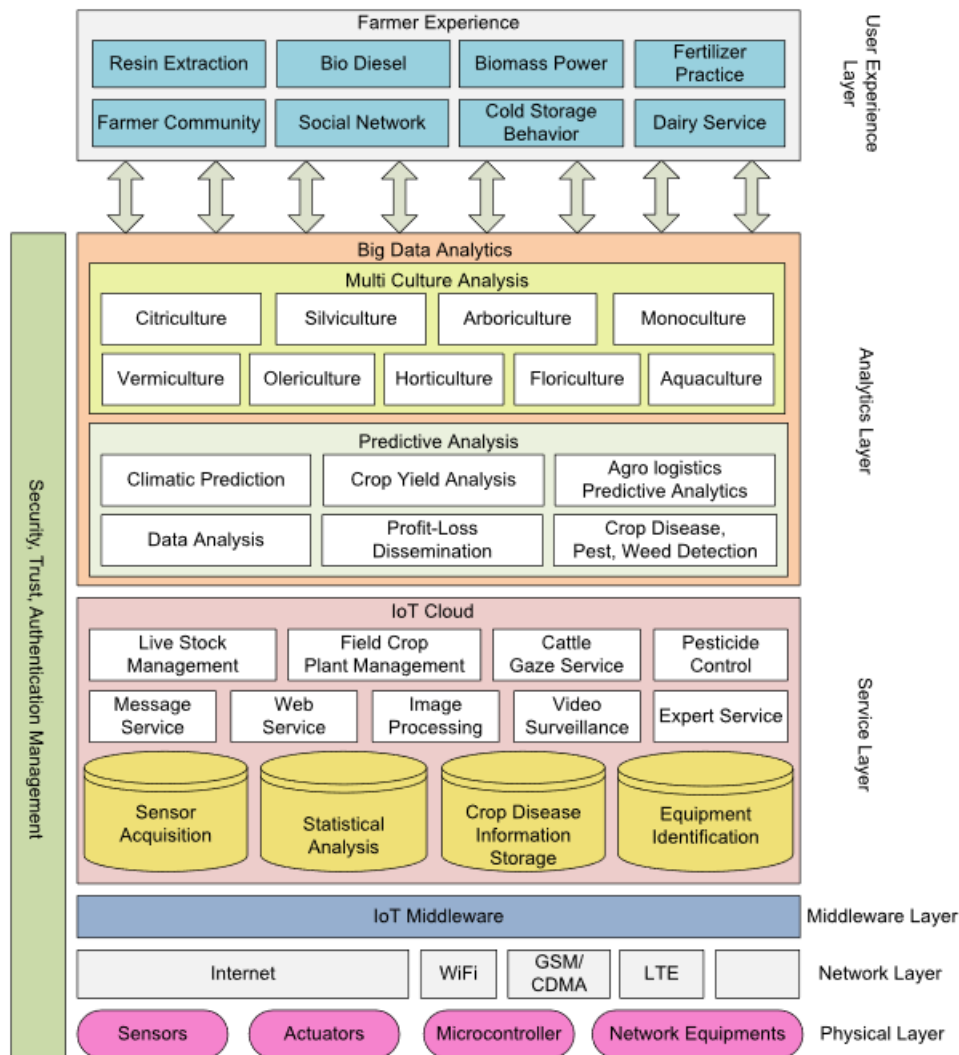
Ο αισθητήρας ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής αποτελεί έναν από τους πιο βασικούς αισθητήρες για τη χαρτογράφηση παραμέτρων που σχετίζονται με το έδαφος. Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στη δημιουργία ηλεκτρομαγνητικού πεδίου από ένα πηνίο-πομπό, το οποίο βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια του εδάφους, και το οποίο προκαλεί τη δημιουργία μικρών ρευμάτων στο έδαφος τα οποία με τη σειρά τους δημιουργούν δευτερόνιο μαγνητικό πεδίο. Ένα πηνίο-δέκτης, που βρίσκεται στην άλλη άκρη του αισθητήρα, ανταποκρίνεται στα σήματα που στέλνονται τόσο από το πρωτεύον όσο και από το δευτερόνιο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που δημιουργείται (Sudduth et al., 2001) (Εικόνα 12). Ο αισθητήρας ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής αποτελεί έναν μη καταστροφικό τρόπο μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους, η οποία έμμεσα προσφέρει πληροφορίες για την υγρασία, την υφή, την αλατότητα και τη γονιμότητα του εδάφους. Με αυτόν τον τρόπο, η χαρτογράφηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας βοηθά στον καθορισμό ζωνών διαχείρισης για άρδευση και λίπανση (Badewa et al., 2018, Altdorff et al., 2018, Gupta et al., 2019, Vereecken et al., 2019).



Εικόνα 12 Αρχή λειτουργίας ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής και αισθητήρων ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής (Vereecken et al., 2019).

2.3.4 Συστήματα Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT)

Μια από τις πιο επαναστατικές τεχνολογίες που αναπτύχθηκαν πρόσφατα και επηρέασαν σε μεγάλο βαθμό τη ΓΑ, είναι η τεχνολογία Internet of Things (IoT – Διαδίκτυο των Πραγμάτων). Με τον όρο IoT ορίζεται το δίκτυο επικοινωνίας πληθώρας συσκευών, όπως οικιακών συσκευών, αυτοκινήτων καθώς και κάθε αντικείμενου που ενσωματώνει ηλεκτρονικά μέσα, λογισμικό, αισθητήρες και συνδεσιμότητα σε δίκτυο, ώστε να επιτρέπεται η σύνδεση και η ανταλλαγή δεδομένων. Με βάση τον ορισμό, οι τεχνολογίες IoT μπορούν να προσφέρουν μόνιμη παρακολούθηση και έλεγχο της καλλιέργειας από απόσταση με τη χρήση των κατάλληλων αισθητήρων. Πράγματι, αισθητήρες όπως μετεωρολογικοί σταθμοί, ροόμετρα, υγρασιόμετρα εδάφους και φυλλώματος χρησιμοποιούνται για να παρακολουθήσουν και να προβλέψουν παραμέτρους που αφορούν την καλλιέργεια, το κλίμα, το έδαφος αλλά και τα γεωργικά μηχανήματα που εκτελούν εργασίες με σκοπό την έγκαιρη και έγκυρη λήψη αποφάσεων. Παράλληλα, η χρήση συστημάτων IoT με ελεγκτές, όπως ηλεκτροβάνες και διακόπτες, επιτρέπει τον απομακρυσμένο έλεγχο συστημάτων άρδευσης και υδρολίπανσης αλλά και τον έλεγχο γεωργικών μηχανημάτων (π.χ. ψεκαστικά μηχανήματα), και ρομποτικών συστημάτων (Talavera et al., 2017, Ray, 2017). Παράδειγμα του πλαισίου λειτουργίας της τεχνολογίας IoT στη γεωργία παρουσιάζεται στην Εικόνα 13. Σε αυτήν την εικόνα φαίνεται πως τα δεδομένα τα οποία συλλέγονται από τα εγκατεστημένα συστήματα (αισθητήρες, ελεγκτές κ.ά.) μεταφέρονται μέσα από διάφορα δίκτυα στο διαδικτυακό νέφος του IoT. Εκεί, τα δεδομένα επεξεργάζονται και μετασχηματίζονται σε χρήσιμες πληροφορίες οι οποίες στο τέλος μεταφέρονται στον παραγωγό προς λήψη των κατάλληλων αποφάσεων διαχείρισης του αγροκτήματος.

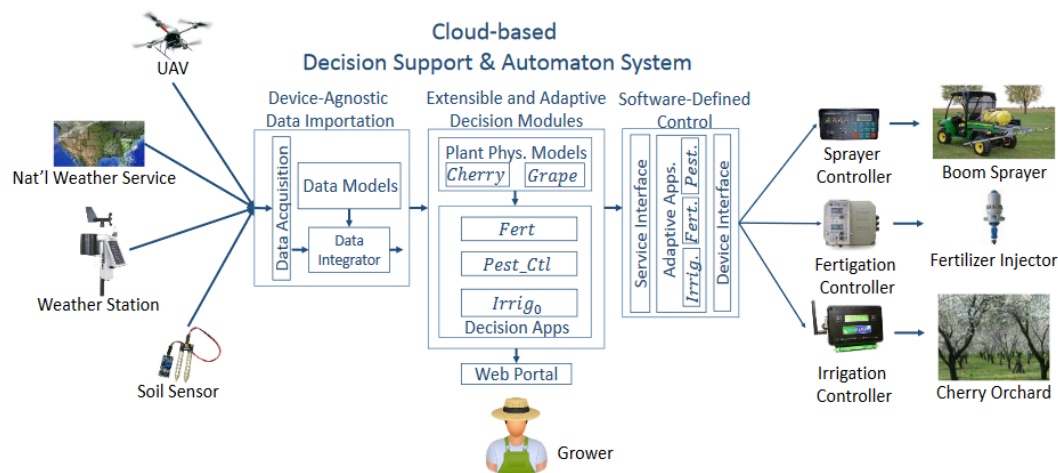


Εικόνα 13 Πλαίσιο λειτουργίας τεχνολογίας IoT στην γεωργία (Ray, 2017).

2.3.5 Συστήματα λήψης αποφάσεων

Μια άλλη τεχνολογία που ωφελεί την εφαρμογή ΓΑ είναι τα συστήματα λήψης αποφάσεων (Decision Support Systems – DSS). Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν υπολογιστικά μοντέλα και βάσεις δεδομένων με σκοπό να παρέχουν απαραίτητες πληροφορίες για την λήψη αποφάσεων στα πλαίσια της βέλτιστης διαχείρισης (Manos et al., 2004). Πράγματι, τα DSS έχουν βοηθήσει τους αγροτικούς φορείς στην λήψη αποφάσεων που αφορούν την παρακολούθηση της καλλιέργειας, όπως πρόβλεψη εχθρών και ασθενειών για εφαρμογή φυτοπροστατευτικών προϊόντων, εκτίμηση αναγκών της καλλιέργειας σε φυτοθρεπτικές ουσίες και νερό, πρόβλεψη παραγωγής για τη διαχείριση της καθώς και σε άλλα (Navarro- Hellín et al., 2016, Gutiérrez et al., 2019, Kukar et al., 2019). Για να επιτελέσουν τον σκοπό τους, τα DSS χρησιμοποιούν πληροφορίες από όλες τις τεχνολογίες που αναφέρθηκαν παραπάνω όπως από δορυφόρους, συστήματα IoT και φασματικούς αισθητήρες, καθώς και δεδομένα τα οποία εισάγονται από τον χρήστη και μπορούν να προβληθούν σε περιβάλλοντα GIS. Τέλος, εξελιγμένα DSS έχουν δυνατότητες αυτόματης εκτέλεσης κάποιων

γεωργικών εργασιών, όπως άρδευσης (Tan, 2016, Meshram et al., 2017, Sharma, 2018, Aiello et al., 2018, Wolters et al., 2019) (Εικόνα 14).



Εικόνα 14 Σχηματική απεικόνιση τρόπου λειτουργίας ενός διαδικτυακού συστήματος λήψης αποφάσεων με δυνατότητες αυτόματης εκτέλεσης εργασιών (Tan, 2016).

2.3.6 Τεχνολογία Μεταβλητής Δόσης Εφαρμογής

Η τεχνολογία μεταβλητής δόσης εφαρμογής αποτελεί το μέσο υλοποίησης της ΓΑ. Συγκεκριμένα, τα μηχανήματα που φέρουν τεχνολογία μεταβλητής δόσης εφαρμογής έχουν ενσωματωμένα ολοκληρωμένα συστήματα, τα οποία απαρτίζονται από αισθητήρες, ελεγκτές και υπολογιστές, και έχουν τη δυνατότητα να προσαρμόζουν δυναμικά τη δόση εφαρμογής της εισροής (νερό, λίπασμα, σπόρος, φυτοπροστατευτικό προϊόν) ανάλογα με τη χωρική παραλλακτικότητα (Roberson, 2000).

Η τεχνολογία μεταβλητής δόσης εφαρμογής διακρίνεται σε τεχνολογία που χρησιμοποιεί αισθητήρες και σε τεχνολογία που χρησιμοποιεί χάρτες εφαρμογής. Στην πρώτη κατηγορία, το γεωργικό μηχάνημα φέρει αισθητήρες (π.χ. φασματικούς αισθητήρες) που αναγνωρίζουν τη χωρική παραλλακτικότητα και μεταφέρουν το σήμα στον ελεγκτή για να προσαρμόσει την κατάλληλη δόση εφαρμογής ανά σημείο. Αντίστοιχα, η δεύτερη κατηγορία τεχνολογίας χρησιμοποιεί χάρτες εφαρμογής, που έχουν προφορτωθεί στο υπολογιστικό σύστημα του μηχανήματος. Συγκεκριμένα, το γεωργικό μηχάνημα που πρέπει να φέρει την τεχνολογία δορυφορικής πλοήγησης, επικοινωνεί στον υπολογιστή την τοπογραφική του θέση στον αγρό, και ο υπολογιστής εν συνεχεία επικοινωνεί στον ελεγκτή τη δόση που πρέπει να εφαρμοστεί με βάση τον προφορτωμένο χάρτη εφαρμογής. Σημαντική διαφορά στις δυο κατηγορίες της τεχνολογίας μεταβλητής δόσης εφαρμογής είναι ότι η πρώτη απαιτεί υψηλότερο κόστος χρήσης εξαιτίας του κόστους των αισθητήρων που ενσωματώνονται στο μηχάνημα, ενώ η δεύτερη κατηγορία απαιτεί εξειδικευμένη γνώση από τον παραγωγό ή τον γεωπόνο πάνω στην δημιουργία χαρτών εφαρμογής και στην εισαγωγή τους στο

σύστημα. Μια ακόμη διαφορά είναι ότι η δόση εφαρμογής στην πρώτη κατηγορία καθορίζεται από την χρήση μόνο μίας πηγής πληροφορίας (π.χ. φασματική ανάκλαση), ενώ στην δεύτερη η δόση εφαρμογής μπορεί να καθοριστεί από πολλές πηγές πληροφορίας (π.χ. φασματική ανάκλαση, ηλεκτρική αγωγιμότητα, κλίση εδάφους) (Taylor and Fulton, 2010, Grisso et al., 2011).

Σήμερα, υπάρχει ένα πλήθος γεωργικών μηχανημάτων που είναι διαθέσιμα στους παραγωγούς και έχουν ενσωματωμένη τεχνολογία μεταβλητής δόσης εφαρμογής, τόσο για ποώδεις όσο και για δενδρώδεις καλλιέργειες. Αυτά τα μηχανήματα περιλαμβάνουν λιπασματοδιανομείς (Forouzanmehr and Loghavi, 2010), ψεκαστικά μηχανήματα (Llorens et al., 2011), σπαρτικές μηχανές (Jeschke et al., 2015) και αρδευτικά συστήματα (Sanchez et al., 2017), τα οποία επιτυγχάνουν εξοικονόμηση στις αντίστοιχες εισροές.

2.4 Οφέλη

Η χρήση μεθόδων και τεχνολογιών ΓΑ έχει αποδειχτεί ότι προσφέρει σημαντικά οφέλη σχετικά με την οικονομία, το περιβάλλον και την κοινωνία. Αυτά τα οφέλη μπορούν να προέλθουν από την εφαρμογή της ΓΑ με βάση τις διαφορετικές ανάγκες των φυτών, τόσο χωρικά όσο και χρονικά. Στις παρακάτω υποενότητες, αναλύονται τα οικονομικά, περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη που μπορεί να προκύψουν από την εφαρμογή ΓΑ.

2.4.1 Οικονομικά Οφέλη

Πολλές έρευνες έχουν αποδείξει τη σημαντική μείωση των εισροών, που επιτυγχάνει η εφαρμογή ΓΑ σε όλα τα είδη καλλιέργειας που υπάρχουν. Παρακάτω, παρουσιάζονται ενδεικτικά κάποιες έρευνες με τα οφέλη που παρατηρήθηκαν από την εφαρμογή ΓΑ.

2.4.1.1 Άρδευση Ακριβείας

Η εφαρμογή ΓΑ για την ορθή διαχείριση του νερού έχει επιτρέψει την εξοικονόμηση σημαντικών ποσοτήτων νερού. Οι Sadler et al. (2005) κάνουν λόγο για μέση εξοικονόμηση νερού έως 20% σε ποώδεις καλλιέργειες όταν εφάρμοσαν ζώνες διαχείρισης. Οι Karasekreter et al. (2013) όταν εφάρμοσαν μηχανική μάθηση για τον προγραμματισμό της άρδευσης σε καλλιέργεια φράουλας, πέτυχαν εξοικονόμηση νερού έως 20.5%. Οι Erin et al. (2018) αναφέρουν εξοικονόμηση νερού έως 85% σε καλλιέργεια αμυγδάλου σε σχέση με τις υπάρχουσες γεωργικές πρακτικές, όταν χρησιμοποίησαν σύστημα υποστήριξης λήψης αποφάσεων για άρδευση με δεδομένα πραγματικού χρόνου. Οι Bellvert et al. (2020) πέτυχαν εξοικονόμηση νερού έως 25% σε οινοποιήσιμα σταφύλια, με την χρήση ενός συστήματος υποστήριξης λήψης αποφάσεων που χρησιμοποιεί καιρικά δεδομένα και δεδομένα που έχουν σχέση με την καλλιέργεια.

2.4.1.2 Ψεκασμός Ακριβείας

Πολλές έρευνες έχουν δείξει σημαντική εξοικονόμηση φυτοπροστατευτικών ουσιών κατά τη χρήση ψεκαστικών μηχανημάτων με δυνατότητα μεταβλητής δόσης εφαρμογής τόσο σε δενδρώδεις όσο και σε αροτραίες καλλιέργειες. Συγκεκριμένα, οι Wandkar et al. (2018) αναφέρουν ότι η εξοικονόμηση σε φυτοπροστατευτική ουσία μπορεί να φτάσει έως 80% σε δενδρώδεις καλλιέργειες και αμπελώνες, όταν πραγματοποιηθεί ψεκασμός με μηχανήμα που φέρει αισθητήρες φυλλώματος για την ρύθμιση της δόσης. Αντίστοιχα, ο Dammer (2016) ανέφερε ότι υπήρξε εξοικονόμηση έως 43% σε ποσότητα ζιζανιοκτόνων σε καλλιέργεια καρότων. Τέλος, οι Campos et al. (2020) εξοικονόμησαν έως 38% σε ποσότητα ψεκαστικού υγρού σε καλλιέργειες αμπελιού όταν πραγματοποίησαν ψεκασμό με βάση ζώνες διαχείρισης που είχαν καθορίσει με χρήση εναέριας τηλεπισκόπησης. Οι ίδιοι αναφέρουν ότι δεν παρουσιάστηκαν διαφορές στο ποσοστό κάλυψης του ψεκαστικού υγρού στο φύλλωμα, αλλά και στο ποσοστό έντασης προσβολής από ωίδιο.

2.4.1.3 Λίπανση Ακριβείας

Η λίπανση με χρήση μεθόδων και τεχνολογιών μεταβλητής δόσης εφαρμογής έχει επιδείξει σημαντικά οικονομικά οφέλη ως προς το κόστος της καλλιέργειας. Συγκεκριμένα, οι Abbas et al. (2016) εξοικονόμησαν έως 42% ποσότητα λιπάσματος σε καλλιέργειες άγριου μύρτιλλου, όταν εφάρμοσαν μεταβλητή δόση λίπανση βασισμένη στην χρήση χαρτών εφαρμογής. Οι Yu et al. (2019) πέτυχαν μείωση της λίπανση αζώτου κατά 16.9% συγκριτικά με συμβατική λίπανση σε καλλιέργεια βαμβακιού, όταν χρησιμοποίησαν μεταβλητή δόση λίπανσης βασιζόμενοι σε αισθητήρες φυλλώματος. Οι Vizzari et al. (2019) εξοικονόμησαν έως 50% αζωτούχο λίπασμα σε καλλιέργεια σιταριού, όταν εφάρμοσαν μεταβλητή δόση με βάση δορυφορικές απεικονίσεις.

2.4.1.4 Σπορά και Κατεργασία Ακριβείας

Η κατεργασία του εδάφους και η σπορά αποτελούν τις γεωργικές εφαρμογές που παρουσιάζουν περιορισμένο αριθμό ερευνών στον τομέα της ΓΑ. Όμως, αρκετοί ερευνητές έχουν διαπιστώσει οφέλη από την εφαρμογή της σε αυτές τις εργασίες. Οι Corassa et al. (2018) αναφέρουν ότι μπορεί να επιτευχθεί εξοικονόμηση έως 18% στην ποσότητα σπόρων από την εφαρμογή μεταβλητής δόσης σπόρων. Οι Hörbe et al. (2013) σε πειράματα μεταβλητής δόσης εφαρμογής σπόρου αναφέρουν εξοικονόμηση έως 12% στην ποσότητα σπόρου καλαμποκιού, η οποία τελικά οδήγησε σε αύξηση της παραγωγής.

Όσον αφορά την κατεργασία εδάφους ακριβείας, οι Goruku et al. (2001) ανέφεραν ότι με εφαρμογή μεταβλητού βάθους κατεργασίας μπορεί να επιτευχθεί εξοικονόμηση καυσίμου έως 28%. Οι Fox et al. (2018) ανέφεραν εξοικονόμηση καυσίμου κατά 52%, όταν εφάρμοσαν βαθιά άροση με παρελκόμενο που υποστήριζε μεταβλητό βάθος κατεργασίας.

2.4.2 Περιβαλλοντικά Οφέλη

Από τα παραπάνω είναι κατανοητό ότι η ΓΑ προσφέρει μεγάλη εξοικονόμηση σε αγροτικές εισροές (νερό, λιπάσματα, φυτοπροστατευτικά προϊόντα, σπόροι, καύσιμα). Πέραν του μικρότερου κόστους παραγωγής που προσφέρει, η ΓΑ επίσης προσφέρει σημαντικά οφέλη για το περιβάλλον. Για παράδειγμα, η άρδευση ακριβείας αποδείχθηκε ότι μειώνει τη ρύπανση του υδροφόρου ορίζοντα, αλλά και των επιφανειακών υδάτων από άζωτο και φώσφορο εξαιτίας της μειωμένης διήθησής τους, που προκαλείται από την μειωμένη δόση άρδευσης (McDowell, 2017, Bohman et al., 2020). Αντίστοιχο όφελος για το περιβάλλον προσφέρουν η εφαρμογή μεταβλητής δόσης λίπανσης και ψεκασμού, η οποία αποτρέπει την ρύπανση του υδάτων (επιφανειακά και υπόγεια) από λιπάσματα (Basso et al., 2016, Vizzari et al., 2019) και επικίνδυνες φυτοπροστατευτικές ουσίες (Dou et al., 2018), επειδή γίνεται εφαρμογή μόνο της απαραίτητης ποσότητας. Επίσης, ο ψεκασμός ακριβείας μειώνει τη διασπορά του ψεκαστικού νέφους, η οποία είναι επιβλαβής για φυτικούς και ζωϊκούς οργανισμούς που δεν είναι στόχοι (Bourodimos et al., 2019, Campos et al., 2019, Torrent et al., 2020). Επιπλέον, η χρήση της ΓΑ συνεισφέρει στη μείωση της διάβρωσης του εδάφους και γενικά της υποβάθμισης της γονιμότητάς του (Spekken et al., 2016, Cillis et al., 2018). Τέλος, η χρήση τεχνολογιών ΓΑ έχει θετική επίδραση στο μετριασμό του φαινομένου του θερμοκηπίου εξαιτίας της μειωμένης έκλυσης αερίων του θερμοκηπίου (CO₂, CH₄, N₂O), που προκαλείται από τις μειωμένες εισροές (Balafoutis et al., 2017).

2.4.3 Κοινωνικά Οφέλη

Η εφαρμογή της ΓΑ έχει σημαντικό αντίκτυπο στην κοινωνία. Η ΓΑ συνεισφέρει στην παραγωγή και κατανάλωση ασφαλέστερων αγροτικών προϊόντων ως προς τη συγκέντρωση υπολειμμάτων φυτοπροστατευτικών ουσιών (De Baerdemaeker, 2013), αλλά και στη διατροφική ασφάλεια (Gebbers and Adamchuk, 2010). Επιπλέον, η εφαρμογή των γεωργικών πρακτικών στη σωστή δόση και στη χρονική περίοδο οδηγεί στην παραγωγή καλύτερης ποιότητας προϊόντων (Dhole and Pitambar, 2019). Τέλος, η ΓΑ προάγει την ευζωία, αφού ο χρόνος που χρειάζεται για να πραγματοποιηθούν οι γεωργικές εργασίες είναι μικρότερος σε σύγκριση με τη συμβατική γεωργία (Bora et al., 2012).

2.5 Γεωργία Ακριβείας στην Ελλάδα

Η εφαρμογή μεθόδων και τεχνολογιών ΓΑ στην Ελλάδα βρίσκεται ακόμα σε αρχικό στάδιο. Οι αρχικές μελέτες παρουσιάζουν μεγάλες δυνατότητες εφαρμογής τεχνολογιών και μεθόδων ΓΑ σε μεγάλο αριθμό καλλιεργειών, λόγω της μεγάλης χωρικής και χρονικής μεταβλητότητας των εδαφών, των καιρικών συνθηκών, των αποδόσεων και των παραμέτρων ποιότητας που υπάρχουν στις ελληνικές περιοχές. Όλο και περισσότεροι αγρότες στην Ελλάδα μαθαίνουν για τα οφέλη που μπορεί

να τους προσφέρει η γεωργία ακριβείας, όσον αφορά την εξοικονόμηση κόστους, την απόδοση των καλλιεργειών, την ποιότητα και τα περιβαλλοντικά οφέλη (Balafoutis et al., 2017b, Anastasiou et al., 2017b). Οι Kountios et al. (2018) πραγματοποίησαν έρευνα σε δείγμα 110 νέων Ελλήνων αγροτών στη Βόρεια Ελλάδα, και αναφέρουν ότι οι νέοι αγρότες είναι ενήμεροι για τα οφέλη της ΓΑ, αλλά χρειάζονται καλύτερη εκπαίδευση από τις εταιρίες που παρέχουν τις τεχνολογίες. Στην ίδια έρευνα, οι νέοι αγρότες δήλωσαν ότι πρέπει να πειστούν για τα οφέλη από την εφαρμογή της ΓΑ για να την υιοθετήσουν, και αυτό μπορεί να γίνει κυρίως μέσα από επιδείξεις στον αγρό, από τη δημιουργία κατάλληλων διαδικτυακών εφαρμογών και ιστότοπων που να παρέχουν πληροφορίες σχετικές με τη ΓΑ και από τα κοινωνικά δίκτυα. Οι Koutridi et al. (2018) σε έρευνα που πραγματοποίησαν σε 375 άτομα στην Κεντρική Ελλάδα, βρήκαν ότι το 16.3% γνώριζε τον όρο ΓΑ κυρίως από δράσεις εταιριών και γεωργικών συμβούλων, ενώ το επίπεδο εκπαίδευσης, όπως και η συμβολή των γεωργικών συμβούλων ήταν καθοριστικοί παράγοντες για την υιοθέτηση των συστημάτων ΓΑ. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι Barnes et al. (2019) διαπίστωσαν ότι μόνο το 13.5%, σε δείγμα 200 Ελλήνων αγροτών, δήλωσε ότι χρησιμοποιεί εξοπλισμό μεταβλητής δόσης, ενώ το 51% δεν χρησιμοποιεί κανένα εξοπλισμό ΓΑ, και το υπόλοιπο (35.5%) δήλωσε ότι χρησιμοποιεί μόνο συστήματα καθοδήγησης. Εντούτοις, χρειάζονται περαιτέρω ενέργειες για την υιοθέτηση ΓΑ από τους αγρότες στην Ελλάδα, τη μείωση του κόστους παραγωγής και την υποστήριξη της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας. Στα παρακάτω υποκεφάλαια γίνεται αναφορά σε μελέτες ΓΑ που πραγματοποιήθηκαν σε συνθήκες αγρού στην Ελλάδα την τελευταία δεκαετία, με σκοπό να αναδείξει τις δυνατότητες της εγχώριας επιστημονικής έρευνας στον επιστημονικό αυτό τομέα.

2.5.1 Γεωργία Ακριβείας σε Αροτραίες Καλλιέργειες στην Ελλάδα

Οι Stamatiadis et al. (2010) αξιολόγησαν τη χρήση επίγειου αισθητήρα φυλλώματος για την ανίχνευση των καταπονήσεων του βαμβακιού σε νερά και θρεπτικά στοιχεία. Ο πειραματικός αγρός χωρίστηκε σε 27 υποτεμάχια, με κάθε υποτεμάχιο τυχαία εκχωρημένο για να λάβει μια από τις τρεις ποσότητες λίπανσης σε θειική αμμωνία $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ (60, 110 ή 160 kg αμμωνιακό άζωτο $[\text{NH}_4\text{-N}] \text{ ha}^{-1}$) σε κάθε ένα από τα τρία επίπεδα άρδευσης (νερό περίπου 40, 30 ή 22 cm). Το άζωτο δεν είχε καμία επίδραση στην τελική απόδοση, επειδή υπήρχαν επαρκή επίπεδα στο έδαφος καθ' όλη την περίοδο, και ως αποτέλεσμα τα διαφορετικά επίπεδα αζώτου δεν παρουσίαζαν κάποια συσχέτιση με τις τιμές NDVI. Εντούτοις, οι τιμές NDVI του επίγειου αισθητήρα φυλλώματος συσχετίστηκαν αρνητικά με την απόδοση χρήσης νερού από το βαμβάκι. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η καταπόνηση των φυτών και η γήρανσή τους οδηγούν σε χαμηλότερη συγκέντρωση της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη και αυξημένη έκφραση των βοηθητικών χρωστικών των φύλλων (π.χ. καροτίνες και ξανθοφύλλες), που αυξάνουν την ανακλαστικότητα στο ορατό φάσμα. Σύμφωνα

με τους Stamatiadis et al. (2010), παρόλο που οι φασματικοί δείκτες βλάστησης, όπως το NDVI, συνήθως δεν διαθέτουν διαγνωστική ικανότητα για τον εντοπισμό συγκεκριμένου τύπου καταπόνησης (π.χ. σε νερό ή θρεπτικά), θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν από τους αγρότες και τους γεωργικούς συμβούλους για την αξιολόγηση του επιπέδου υδατικής καταπόνησης, όταν το νερό είναι ο μόνος περιοριστικός παράγοντας.

Οι Parageorgiou et al. (2011) χρησιμοποίησαν μεθόδους γεωργίας ακριβείας σε βαμβάκι έκτασης 4.3 εκταρίων. Η έκταση χωρίστηκε σε υποτεμάχια 16 m x 26 m, στα οποία διεξήχθη δειγματοληψία εδάφους στο κεντρικό σημείο κάθε υποτεμαχίου. Χρησιμοποιήθηκε μηχανή VERIS για τη μέτρηση της φαινομενικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους, ενώ οι αισθητήρες παρακολούθησης απόδοσης προσαρμόστηκαν εκ νέου σε συμβατική βαμβακοσυλλεκτική για τη συλλογή στοιχείων απόδοσης 6 διαδοχικών ετών. Όλα τα δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη μιας νέας προσέγγισης προσομοίωσης και μοντελοποίησης βασισμένης στην τεχνική μαλακών υπολογισμών των ασαφών γνωστικών χαρτών (Fuzzy Cognitive Maps - FCMs) προκειμένου να προβλεφθούν οι αποδόσεις του βαμβακιού. Για το σκοπό αυτό, όλα τα συλλεχθέντα δεδομένα υπέστησαν χωρική παρεμβολή για να παραχθεί χάρτης διακριτικής ικανότητας 10 m × 10 m που αντιστοιχεί σε μονάδα διαχείρισης πεδίου (υποτεμάχιο). Η μέθοδος παρεμβολής της αντίστροφης απόστασης χρησιμοποιήθηκε για την απόδοση και την ηλεκτρική αγωγιμότητα λόγω της πυκνής δειγματοληψίας δεδομένων, ενώ η μέθοδος kriging χρησιμοποιήθηκε για τους χάρτες ιδιοτήτων εδάφους εξαιτίας της αραιής χωρικής δειγματοληψίας στο πλέγμα. Αυτοί οι χάρτες χρησιμοποιήθηκαν ως εισροές στην κατασκευή ασαφών συνόλων και στη διαδικασία προσομοίωσης του εργαλείου FCM για την πρόβλεψη της απόδοσης βαμβακιού και στην εγκάρσια επικύρωση του μοντέλου για λόγους σύγκρισης με τους άλλους αλγόριθμους πρόβλεψης συγκριτικής αξιολόγησης. Τα FCM πέτυχαν υψηλό συσχετισμό μεταξύ της εκτιμώμενης και της πραγματικής απόδοσης. Σύμφωνα με τους συγγραφείς, τα FCM μπορούν να καταγράψουν την κατανόηση των ενδιαφερομένων μερών και τις αντιλήψεις τους σχετικά με τις απαιτήσεις απόδοσης βαμβακιού της γεωργίας ακριβείας. Το κύριο πλεονέκτημα του προτεινόμενου εργαλείου πρόβλεψης FCM ήταν η επαρκής απλότητα και ερμηνεία για τους αγρότες κατά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων, γεγονός που το καθιστούσε βολικό εργαλείο για τον προσδιορισμό της παραγωγής βαμβακιού.

Οι Fountas et al. (2013) ανέπτυξαν πενετρόμετρο με σύστημα GPS που φέρεται σε γεωργικό ελκυστήρα, με σκοπό την μελέτη της χωρικής παραλλακτικότητας της συμπίεσης του εδάφους σε αγρό που καλλιεργείται με αροτραίες καλλιέργειες, σύμφωνα με μεθόδους συμβατικής κατεργασίας, μειωμένης κατεργασίας και ακαλλιέργειας. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της αξιολόγησης του συστήματος, οι περιοχές του αγρού που εφαρμόστηκε ακαλλιέργεια παρουσίασαν υψηλότερες τιμές

συμπύεσης σε σχέση με τις περιοχές του αγρού που εφαρμόστηκαν άλλα συστήματα κατεργασίας, το οποίο ήταν σε συμφωνία με άλλες μελέτες.

Οι Chatzinikos et al. (2013) αξιολόγησαν μια πλατφόρμα ανίχνευσης η οποία βασίζεται σε ένα σαρωτή λέιζερ και μπορεί να τοποθετηθεί σε έναν ελκυστήρα, ως εργαλείο για το ύψος των καλλιεργειών και τη μέτρηση της βιομάζας σε καλλιέργειες ηλίανθου, σόγιας και σίτου. Διαπίστωσαν ότι οι συσχετισμοί των μετρήσεων λέιζερ με το ύψος της καλλιέργειας και τη βιομάζα ήταν πολύ υψηλές ($R^2 > 0.83$), που υπερέβαιναν το 0.90 σε κάποιες περιπτώσεις. Σύμφωνα με τους συγγραφείς, τα δεδομένα που συλλέγονται από τον αισθητήρα μπορούν να βοηθήσουν τους αγρότες να εκτιμήσουν τα χαρακτηριστικά των καλλιεργειών, και να τους επιτρέψουν να αναδιαμορφώσουν στρατηγικές διαχείρισης για ψεκασμό και λίπανση εντός του ίδιου αγρού κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου.

Οι Stamatiadis et al. (2013) χρησιμοποίησαν δορυφορικές εικόνες υπερυψηλής ανάλυσης (WorldView-2) για την εκτίμηση των ιδιοτήτων του ορυκτού εδάφους, όπως η οργανική ύλη, η υφή του εδάφους, η περιεκτικότητα σε νερό, η αλατότητα και η κάλυψη των υπολειμμάτων των καλλιεργειών σε τρεις αγρούς 10 ha στην Ελλάδα. Οι συγγραφείς διαπίστωσαν ισχυρή συσχέτιση μεταξύ της ανάκλασης της πράσινης / NIR περιοχής του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και του συνολικού εδαφικού αζώτου, της οργανικής ουσίας και των ανθρακικών αλάτων που υπήρχαν στους τρεις αγρούς με τον μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης ($r = -0.74$) να καταγράφεται μεταξύ της ανακλασιμότητας των δορυφόρων στο NIR και της περιεκτικότητας σε άζωτο. Αυτά τα αποτελέσματα βρέθηκαν σε συμφωνία με προηγούμενες μελέτες, στις οποίες τα περιεχόμενα του εδάφους σε άνθρακα και άζωτο έχουν προβλεφθεί επίσης με φασματοσκοπία εργαστηρίου VNIR, καθώς και με ολικό άζωτο και οργανικό άνθρακα σε εδάφη με ετερογενή μητρικά πετρώματα, αν και ήταν δύσκολη η οριοθέτηση ειδικών ζωνών απορρόφησης για οργανικές λειτουργικές ομάδες που περιέχουν άζωτο. Τέλος, οι συγγραφείς κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η ανάκλαση NIR των εικόνων υψηλής ανάλυσης ήταν ικανή να ποσοτικοποιήσει όχι μόνο την παραλλακτικότητα εντός του αγρού στο σύνολο του εδάφους, αλλά και την παραλλακτικότητα μεταξύ των αγρών. Αυτή η μέθοδος θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη διαφορική λίπανση αζώτου από τους αγρότες.

Οι Fountas et al. (2015) μελέτησαν τη χωρική παραλλακτικότητα ενός μικρού αγρού (0.8 ha) καλλιεργούμενου με καρπούζια στην Ελλάδα. Διαπίστωσαν υψηλή παραλλακτικότητα στην ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους και τις παραμέτρους απόδοσης, ενώ βρήκαν αρνητική συσχέτιση μεταξύ της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους, και των παραμέτρων απόδοσης και ποιότητας. Δεδομένου ότι πολλές μελέτες συσχέτισαν την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους με

τη διαθέσιμη χωρητικότητα νερού, η οποία με τη σειρά της επηρεάζει την ποιότητα του προϊόντος, οι Fountas et al. (2015) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η οριοθέτηση των ζωνών διαχείρισης για την εφαρμογή μεταβλητού ποσοστού νερού άρδευσης θα ωφελούσε τους αγρότες παρέχοντάς τους αυξημένη απόδοση χρήσης νερού.

Οι Milonas et al. (2016) μελέτησαν τη χωρική και χρονική κατανομή δύο σημαντικών παρασίτων της βαμβακοκαλλιέργειας (Πράσινο σκουλήκι - *Helicoverpa armigera* και Ρόδινο σκουλήκι - *Pectinophora gossypiella*). Συγκεκριμένα, παρακολούθησαν τον πληθυσμό ενθλιπών εντόμων που είχαν συλληφθεί σε παγίδες φερομόνης, που είχαν εγκατασταθεί κυρίως στα αγροτεμάχια με βαμβάκι. Οι συγγραφείς διαπίστωσαν διαφορετική χωρική κατανομή των παρασίτων σύμφωνα με την εβδομάδα δειγματοληψίας, ενώ δήλωσαν ότι η προσέγγισή τους μπορεί να οδηγήσει στην οριοθέτηση των ζωνών που εμφανίζουν υψηλές συλλήψεις, οι οποίες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την λήψη αποφάσεων που αφορά τις καλλιεργητικές πρακτικές.

Οι Travlos et al. (2017) συνέκριναν τους δείκτες βλάστησης NDVI και NDRE που καταγράφηκαν από έναν φασματικό αισθητήρα φυλλώματος, με τον δείκτη βλάστησης NGRDI που προήλθε από μια εμπορική κάμερα RGB (ανάλυση 10 Megapixels), σε δύο διαφορετικές καλλιέργειες οσπρίων (κουκιά και βίκος). Τα αποτελέσματα NDVI και NDRE υπολογίστηκαν αυτόματα από τον φασματικό αισθητήρα φυλλώματος, ενώ το NGRDI κάθε εικόνας που λήφθηκε από την εμπορική κάμερα υπολογίστηκε με τη χρήση ενός λογισμικού επεξεργασίας εικόνας (Image J). Οι συγγραφείς διαπίστωσαν υψηλές συσχετίσεις μεταξύ του NGRDI και των άλλων δεικτών φασματικής βλάστησης ($r = 0.67$ για το NDVI), καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι οι εμπορικές κάμερες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως φθηνές εναλλακτικές λύσεις για την εκτίμηση της ανάπτυξης των καλλιεργειών. Επιπλέον, οι συγγραφείς κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι εμπορικές κάμερες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της ανάπτυξης των καλλιεργειών, αλλά η αποτελεσματικότητά τους επηρεάζεται σημαντικά από τον τύπο ανάπτυξης των καλλιεργειών και την παρουσία ζιζανίων ή όχι.

Οι Stamatiadis et al. (2017) ανέπτυξαν έναν λιπασματοδιανομέα διαφορικής λίπανσης υψηλής ανάλυσης, ο οποίος χρησιμοποιεί αισθητήρες φυλλώματος Crop Circle ACS-430 για την προσαρμογή της αζωτούχας λίπανσης. Το σύστημα δοκιμάστηκε σε αγρό έκτασης 2.4 ha καλλιεργούμενο με χειμερινή καλλιέργεια σιταριού στην Ελλάδα, χρησιμοποιώντας τέσσερις διαφορετικές μεταχειρίσεις (δηλ. (i) καμία εφαρμογή αζώτου πριν από την προετοιμασία ή κατά τη διάρκεια της περιόδου, (ii) μόνο εφαρμογή βασικής λίπανσης με 100 kg N / ha, (iii) τρέχουσα πρακτική των καλλιεργητών - ομοιόμορφη βασική και επιφανειακή εφαρμογή N με 100+112 kg N /

ha κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, και (iv) διαφορική βασική λίπανση με 100 kg N/ha + διαφορική επιφανειακή λίπανση) με τρεις επαναλήψεις. Τα υψηλότερα έσοδα σε σχέση με το κόστος των λιπασμάτων στις εφαρμογές της διαφορικής λίπανσης, επιτεύχθηκαν όταν την συνέκριναν με την εφαρμογή της βασικής λίπανσης και με την τρέχουσα πρακτική των αγροτών (υψηλότερα κατά 68 €/ha και 118 €/ha, αντίστοιχα). Επιπλέον, η πραγματική απόδοση ανά μονάδα αζώτου στη διαφορική λίπανση ήταν ίση με τη βασική λίπανση (2.60 €/ha), αλλά πολύ καλύτερη από αυτή της τρέχουσας καλλιεργητικής πρακτικής των αγροτών (1.53 €/ha). Οι συγγραφείς συμπέραναν ότι η διαφορική λίπανση υψηλής ανάλυσης ήταν ανώτερη όσον αφορά τα περιβαλλοντικά οφέλη και την κερδοφορία, καθώς και ως προς την ελάχιστη αβεβαιότητα που μπορεί να προκληθεί στον παραγωγό από την χρήση τέτοιων μεθόδων.

Οι Papadopoulos et al. (2017) συνέκριναν τις χωροχρονικές τάσεις του NDVI μεταξύ ενός επίγειου αισθητήρα φυλλώματος, ο οποίος παρήγαγε σημειακά δεδομένα με στήριγμα 10 cm και μια πολυφασματική κάμερα τοποθετημένη σε ΣΜηΕΑ, η οποία παρήγαγε δεδομένα βασισμένα σε εικονοστοιχεία 10 cm. Η μελέτη διεξήχθη σε δύο αγρούς, καλλιεργούμενους με βαμβάκι. Η ανάλυση των τιμών NDVI από ΣΜηΕΑ αφορούσε μόνο εκείνα τα εικονοστοιχεία που επικαλύπτονταν στις προαναφερθείσες μετρήσεις με τον επίγειο αισθητήρα. Οι συγγραφείς βρήκαν υψηλή συσχέτιση μεταξύ των δεδομένων που συλλέχθηκαν από την πολυφασματική κάμερα που ήταν τοποθετημένη σε ΣΜηΕΑ και των δεδομένων που συλλέχθηκαν με τον επίγειο αισθητήρα ($r = 0.83$). Βάσει αυτών των αποτελεσμάτων, οι συγγραφείς κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι μετρήσεις από αέρος κατά τη διάρκεια μιας περιόδου καλλιέργειας μπορούν να βοηθήσουν τους παραγωγούς να αναγνωρίσουν και να διαχειριστούν εγκαίρως τις περιοχές ειδικών συνθηκών, εφόσον τα ΣΜηΕΑ παρέχουν υψηλής ανάλυσης δεδομένα σε έρευνες που πραγματοποιούνται σε σύντομη χρονική συχνότητα.

Οι Pantazi et al. (2017) παρουσίασαν μια μεθοδολογία για τη χαρτογράφηση ενός ζιζανίου (γαϊδουράγκαθο) σε ένα αγρό που ήταν σε καθεστώς αγρανάπαισης χρησιμοποιώντας πολυφασματικές εικόνες από ΣΜηΕΑ και ιεραρχικούς ταξινομητές αυτο-οργάνωσης (hierarchical self organizing classifiers) που θεωρούνται ως των βασικότερων αρχιτεκτονικών τεχνητών νευρωνικών δικτύων (ANN). Οι συγγραφείς αξιολόγησαν τρεις διαφορετικούς ταξινομητές (συγκεκριμένα τα μοντέλα CP-ANN, XY-Fs και SKN) που χρησιμοποιούσαν σε σύνολα δεδομένων διαφορετικών φασματικών ζωνών (πράσινο, κόκκινο και NIR). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι μπορούσαν να διαχωρίσουν το γαϊδουράγκαθο από τα άλλα είδη ζιζανίων με ακρίβεια 98%. Οι συγγραφείς κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι ταξινομητές αυτο-οργάνωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την χαρτογράφηση με χρήση ΣΜηΕΑ σε διάφορες λειτουργίες,

συμπεριλαμβανομένων των εφαρμογών ζιζανιοκτονίας με διαφορεική δόση για τον έλεγχο των ζιζανίων.

Οι Navrozidis et al. (2018) μελέτησαν τη χρήση δορυφορικών εικόνων και επίγειου φασματόμετρου για την αναγνώριση της ασθένειας του στεμφυλίου (*Stemphylium vesicarium* Wallr.) σε καλλιέργειες σπαραγγιών στην Ελλάδα. Οι συγγραφείς χρησιμοποίησαν τους φασματικούς δείκτες βλάστησης NDVI και SAVI που προέκυψαν από την ανάλυση των δεδομένων που προήλθαν από τους δορυφόρους PLEIADES-1A VHR και LANDSAT 8 OLI, για την εκτίμηση του ποσοστού μόλυνσης. Οι δορυφορικές εικόνες από LANDSAT 8 OLI κατέληξαν σε μεγαλύτερη ακρίβεια στην πρόβλεψη της ασθένειας ($R^2 = 0.85$ για το SAVI), ενώ οι δορυφορικές εικόνες από τον δορυφόρο PLEIADES-1A VHR πέτυχαν πολύ χαμηλότερη ακρίβεια ($R^2 < 0.30$) εξαιτίας των μικτών εικονοστοιχείων και της ανεπαρκούς χωρικής ανάλυσης για τις καλλιέργειες σπαραγγιού. Όσον αφορά τη χρήση του επίγειου φασματόμετρου, επετεύχθη πολύ υψηλή ακρίβεια για την εκτίμηση της μόλυνσεως από την ασθένεια (μέχρι $R^2 = 0.82$). Οι συγγραφείς κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η χρήση των προαναφερθεισών τεχνολογιών μπορεί να προσφέρει υψηλό κόστος εξοικονόμησης σε φυτοχημικά, όταν εφαρμόζονται σε φυτοπροστασία ακριβείας.

Οι Papadopoulos et al. (2018) αξιολόγησαν την απόδοση ενός επίγειου αισθητήρα φυλλώματος και μιας φωτογραφικής κάμερας για τη χαρτογράφηση της κάλυψης ζιζανίων μεταξύ των γραμμών σε τέσσερις αγρούς με καλλιέργεια βαμβακιού. Για το λόγο αυτό, συνδύασαν τα αποτελέσματα του δείκτη NDRE με τις εικόνες που προήλθαν από μια εμπορική κάμερα (Nikon D300S, 12 Megapixels) τοποθετημένη σε τρίποδο με σταθερό ύψος. Αναπτύχθηκε μια γραμμική σχέση μεταξύ των δεδομένων των δύο αισθητήρων (με συντελεστή προσδιορισμού $R^2 = 0.74$), η οποία χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία χάρτη κάλυψης ζιζανίων στους αγρούς. Σύμφωνα με τη μελέτη τους, η προσέγγισή τους μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αναπτυχθούν χάρτες για εφαρμογές ζιζανιοκτόνων με διαφορεική δόση.

Οι Falagas and Karantzos (2019) ανέπτυξαν αλγόριθμο για την εκτίμηση της παραγωγής βαμβακιού που χρησιμοποιεί μετεωρολογικά δεδομένα και δορυφορικά δεδομένα Sentinel-2. Το μοντέλο WOFOST χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας και της παραγωγής τα οποία συνέβαλαν στην εκπαίδευση του τελικού αλγορίθμου. Τελικά, ο αλγόριθμος εκτίμησε την παραγωγή βαμβακιού με ακρίβεια μεγαλύτερη του 82%.

Οι Angelopoulou et al. (2020) χρησιμοποίησαν επίγεια τηλεπισκόπηση με τη μέτρηση των δεικτών NDVI και NDRE για να εκτιμήσουν και να αξιολογήσουν μη καταστροφικά ποσοτικά χαρακτηριστικά βιολογικής καλλιέργειας καμελίνας (*Camelina sativa* L. Crantz). Η καμελίνα είχε

καλλιεργηθεί με χρήση διαφορετικών πρακτικών κατεργασίας εδάφους και εφαρμογής οργανικής λίπανσης. Σύμφωνα με την μελέτη τους, ο δείκτης NDRE παρουσίασε την υψηλότερη συσχέτιση με την απόδοση της καλλιέργειας ($r = 0.84$), ενώ οι υψηλότερες συσχετίσεις ανάμεσα στους δείκτες βλάστησης και τα ποσοτικά χαρακτηριστικά καταγράφηκαν κατά τα στάδια της ανάπτυξης των φύλλων και της έναρξης της άνθησης.

Οι Evangelou et al. (2020) αξιολόγησαν τη μεταβλητή δόση λίπανσης με κοκκώδες άζωτο εφαρμόζοντας έως 51% λιγότερη ποσότητα σε καλλιέργεια καλαμποκιού στην Κεντρική Ελλάδα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματά τους, η αποτελεσματικότητα χρήσης αζώτου βελτιώθηκε έως 30% ενώ τα επίπεδα νιτρικών στο έδαφος ήταν μειωμένα έως 70%. Παράλληλα, η μεταβλητή δόση εφαρμογής επέτρεψε επιστροφή από τη χρήση άζωτου έως 92 €/ha.

2.5.2 Γεωργία Ακριβείας σε Δενδρώδεις Καλλιέργειες και Αμπελώνες στην Ελλάδα

Οι Ampatzidis et al. (2008) πρότειναν ένα αυτοματοποιημένο σύστημα χαμηλού κόστους για την αντιστοίχιση των συγκομισθέντων σταφυλιών με τα πρέμνα με σκοπό την αξιολόγηση της παραγωγικότητάς τους. Η αντιστοίχιση μεταξύ συγκομιζόμενης παραγωγής και αμπέλων πραγματοποιήθηκε χωρίς την καταγραφή σφαλμάτων (238 τελάρα αναγνωρίστηκαν σε σύνολο 238 τελάρων), αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις ο αγρός παρουσίαζε υψηλή παραλλακτικότητα στην απόδοση. Τέλος, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ενδέχεται να χρειαστούν ορισμένες αλλαγές στην πρακτική της συλλογής για την ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων μέτρησης, και ότι αυτή η μέθοδος είναι κατάλληλη για τη χαρτογράφηση της απόδοσης των επιτραπέζιων σταφυλιών, με σκοπό την εφαρμογή λίπανσης σε διαφορετικές δόσεις.

Οι Aggeloroulou et al. (2010) μελέτησαν τη παραλλακτικότητα της πυκνότητας της ανθοφορίας σε έναν οπωρώνα μήλων. Οι συγγραφείς χρησιμοποίησαν ανάλυση εικόνων, σε εικόνες που λήφθηκαν με εμπορική κάμερα RGB, για να συσχετίσουν την κατανομή της πυκνότητας ανθοφορίας και αυτήν της απόδοσης της καλλιέργειας. Το σφάλμα εκτίμησης του μοντέλου απόδοσης της καλλιέργειας ήταν 18%, και οι συγγραφείς κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η μέθοδος θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της απόδοσης της καλλιέργειας, με σκοπό τον διαφορικό έλεγχο των καλλιεργητικών εισροών όπως είναι η εφαρμογή των λιπασμάτων. Τέλος, διατύπωσαν ότι η χρήση του μοντέλου θα μπορούσε να βοηθήσει τους αγρότες να επιτύχουν θετικό οικονομικό και περιβαλλοντικό αντίκτυπο καθώς και να βελτιώσει την ποιότητα των παραγόμενων φρούτων.

Οι Fountas et al. (2011) πραγματοποίησαν έρευνα ΓΑ σε έναν ελαιώνα στην Πελοπόννησο. Σκοπός τους ήταν να οριοθετήσουν τις ζώνες διαχείρισης για τη λίπανση με διαφορεική δόση εφαρμογής σε

ελαιόδεντρα. Για τον λόγο αυτό, χαρτογράφησαν την απόδοση και τις ιδιότητες του εδάφους σε έναν ελαιώνα όπου οι ελιές συλλέγονται με το χέρι για παραγωγή ελαιολάδου. Συλλέχθηκαν δείγματα εδάφους από διάφορες περιοχές στο ελαιώνα για εργαστηριακή ανάλυση, και μετρήθηκε την παραγωγή κάθε ελαιόδενδρου, για να καθοριστούν οι ζώνες διαχείρισης για εφαρμογή λίπανσης με διαφορεική δόση. Οι οριοθετημένες ζώνες διαχείρισης για εφαρμογές φωσφόρου, καλίου και ασβεστίου βοήθησαν τον αγρότη να εφαρμόσει χειροκίνητα αυτές τις εισροές με διαφορεική δόση, και να επιτύχει εξοικονόμηση έως και 100% επί του ποσού των εισροών, σε σύγκριση με μία ομοιόμορφη εφαρμογή.

Οι Tagarakis et al. (2013) επεξεργάστηκαν δεδομένα εδάφους, τοπογραφικά δεδομένα και δεδομένα από τον δείκτη βλάστησης NDVI με μεθόδους ασαφούς λογικής (fuzzy logic) για να καθορίσουν ζώνες διαχείρισης ως προς την ποιότητα και την ποσότητα των σταφυλιών, σε έναν εμπορικό αμπελώνα στην Κεντρική Ελλάδα. Βρήκαν, ότι υπήρξε πάνω από 50% συμφωνία ανάμεσα στις ζώνες διαχείρισης που δημιουργήθηκαν από τα παραπάνω δεδομένα, με τις ζώνες διαχείρισης που δημιουργήθηκαν με βάση την ποιότητα και ποσότητα του αμπελώνα. Παράλληλα, βρήκαν πάνω από 79% συμφωνία ανάμεσα στις ζώνες διαχείρισης που αφορούσαν την ποσότητα με την ποιότητα για τα δύο έτη των μετρήσεων (2009 και 2010).

Οι Aggeloroulou et al. (2013) χρησιμοποίησαν πολυπαραγοντική προσέγγιση για να δημιουργήσουν ζώνες διαχείρισης σε εμπορικό μηλεώνα στην Κεντρική Ελλάδα. Οι ζώνες διαχείρισης βασίστηκαν σε δεδομένα εδάφους, ποσότητας και ποιότητας. Η πολυπαραγοντική προσέγγιση περιλάμβανε την εφαρμογή γεωχωρικής ανάλυσης με χρήση cokriging, όπου τελικά ο μηλεώνας χωρίστηκε σε 4 διακριτές ζώνες διαχείρισης. Οι ζώνες διαχείρισης παρουσίασαν σχετικά σταθερή χωρική παραλλακτικότητα παρόλη την διαφορετική επίδραση του καιρού που υπήρξε ανάμεσα στα τρία έτη της μελέτης.

Οι Liakos et al. (2015) σε μελέτη που πραγματοποίησαν σε μηλεώνα στην Κεντρική Ελλάδα, προσπάθησαν να συσχετίσουν τον δείκτη βλάστησης NDVI με την παραγωγή. Στην μελέτη αυτή, βρέθηκε ότι υπάρχει ισχυρή θετική συσχέτιση ανάμεσα στον NDVI και στην παραγωγή κατά την περίοδο του Ιουνίου. Συγκεκριμένα, βρήκαν ότι το άνω φύλλωμα του δέντρου της μηλιάς παρουσιάζει υψηλότερες τιμές NDVI σε σχέση με το χαμηλότερο και ότι σε περιόδους παρενιαυτοφορίας, ο δείκτης βλάστησης παρουσιάζει σημαντικά χαμηλότερες τιμές επειδή σκιάζονται από το φύλλωμα των γειτονικών δένδρων.

Οι Karakizi et al. (2016) χρησιμοποίησαν αντικειμενοστραφή ανάλυση (Object-Based Image Analysis – OBIA) για δορυφορικές εικόνες προερχόμενες από τον δορυφόρο WorldView-2 σε

τέσσερις διαφορετικές αμπελουργικές περιοχές της Ελλάδας, για την ανίχνευση αμπελώνων και τη διαφοροποίηση των ποικιλιών αμπέλου. Η μεθοδολογία τους περιελάμβανε τη χρήση φασματικών και χωρικών χαρακτηριστικών, καθώς και κατάλληλους κανόνες, κλίμακες σύνθεσης και σύνολα παραμέτρων. Οι συγγραφείς πέτυχαν συνολική ακρίβεια άνω του 89% για την ανίχνευση αμπελώνων, 96% για την εξαγωγή αμπελώνα, και 85% για διάκριση ποικιλίας αμπέλου. Σύμφωνα με τη μελέτη τους, μια διεξοδική ανάλυση δορυφορικής ευαισθησίας ανά δορυφόρο μπορεί να αποτελέσει τη βάση για αποτελεσματικά επιχειρησιακά εργαλεία για ανάλυση δεδομένων βασισμένη σε κάθε ποικιλία της αμπέλου.

Οι Vatsanidou et al. (2017) εφάρμοσαν διαφορετική αζωτούχα λιπάση σε σπυράκια με καλλιέργεια αχλαδιού. Χρησιμοποίησαν δεδομένα ποιοτικής και ποσοτικής απόδοσης καθώς και δεδομένα εδάφους από δειγματοληψία εδάφους και αισθητήρα ηλεκτρικής αγωγιμότητας για τον προσδιορισμό των ζωνών διαχείρισης. Με βάση αυτή την μέθοδο πέτυχαν εξοικονόμηση αζωτούχων λιπασμάτων κατά 56% και 50% για τα 2 χρόνια της μελέτης, με τις περιοχές χαμηλής απόδοσης να αυξάνουν την απόδοσή τους το επόμενο έτος κατά 51%, ενώ δεν παρατηρήθηκε καμία επίδραση στις περιοχές υψηλής απόδοσης.

Οι Balafoutis et al. (2017) διεξήγαγαν ανάλυση κύκλου ζωής (Life Cycle Assessment) σε δύο αμπελώνες στους οποίους εφαρμόστηκαν άρδευση και λίπανση σε μεταβλητές δόσεις. Οι συγγραφείς οριοθέτησαν τις ζώνες διαχείρισης χρησιμοποιώντας δεδομένα από έναν επίγειο αισθητήρα φυλλώματος και ένα αισθητήρα μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους. Διαπίστωσαν ότι το αποτύπωμα άνθρακα των προϊόντων ήταν έως 28% μικρότερο σε σύγκριση με τις συμβατικές πρακτικές. Ο κύριος λόγος για αυτό, ήταν η μικρότερη ποσότητα λιπασμάτων (εξοικονόμηση έως και 45%) και νερού (εξοικονόμηση έως 16%) λόγω του υψηλού ενεργειακού κόστους παραγωγής και εφαρμογής. Οι συγγραφείς συμπέραναν ότι η εφαρμογή ΓΑ στους αμπελώνες μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη εκτός από την εξοικονόμηση κόστους.

Οι Liakos et al. (2017) χρησιμοποίησαν εμπορική κάμερα RGB και πολυφασματική κάμερα με σκοπό να αξιολογήσουν την χωρική παραλλακτικότητά της ανθοφορίας, και την επίδρασή της στην παραγωγή σε καλλιέργεια μηλιάς στην Κεντρική Ελλάδα. Βρήκαν ότι η πολυφασματική κάμερα παρουσίασε καλύτερες συσχετίσεις με την παραγωγή σε σχέση με την εμπορική κάμερα, αν και υπήρξε διαφοροποίηση ανάμεσα στις χρονιές εξαιτίας της διαφορετικής επίδρασης του καιρού ($r = 0.859$ για το 2010 και $r = 0.827$ για το 2011).

Οι Tagarakis et al. (2018) αξιολόγησαν τη χρήση ενός 2D σαρωτή λέιζερ στη χαρτογράφηση κληματίδων πριν από το κλάδεμα μέσω του αριθμού των χτυπημάτων ανά σάρωση, για να οριοθετήσουν τις ζώνες διαχείρισης. Ο σαρωτής λέιζερ τοποθετήθηκε σε βάση στο πίσω μέρος του γεωργικού ελκυστήρα και σάρωσε κάθετα στις σειρές των πρέμων, με αποτέλεσμα να πετύχει πυκνότητα σάρωσης ανά 0.8 m (ή 1.25 σαρώσεις / m). Οι συγγραφείς διαπίστωσαν υψηλές συσχετίσεις μεταξύ του βάρους κλαδέματος και των μετρήσεων του σαρωτή λέιζερ ($r > 0.7$) και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο 2D σαρωτής λέιζερ μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένας εναλλακτικός αισθητήρας για τη χαρτογράφηση της ευρωστίας της αμπέλου καθώς και άλλων παραμέτρων (π.χ. απόδοσης).

Οι Moysiadis et al. (2019) συνδύασαν ΣΜηΕΑ και επίγειο αγροτικό ρομποτικό σύστημα για την λήψη εικόνων οι οποίες στη συνέχεια επεξεργάστηκαν μέσω μηχανικής μάθησης, με σκοπό την αναγνώριση των θέσεων και των χαρακτηριστικών των δένδρων σε τρεις καρδεάνες στην Κεντρική Ελλάδα. Βρήκαν ότι η αναγνώριση που επιτυγχάνεται όταν το φύλλωμα είναι πλήρως ανεπτυγμένο έχει ποσοστό ακρίβειας 100%, σε αντίθεση με την περίοδο που πέφτει το φύλλωμα ή όταν υπάρχει πλήρη φυλλόπτωση που έχει ακρίβεια 85.7% και 32.7% αντίστοιχα.

Οι Kandylakis et al. (2020) αξιοποίησαν δεδομένα από πολυφασματική και υπέρυθρη κάμερα, τα οποία λήφθηκαν από ΣΜηΕΑ, για την μη καταστροφική εκτίμηση της υδατικής καταπόνησης αμπελώνων στην Κεντρική και Ανατολική Μακεδονία. Σύμφωνα με τα αποτελέσματά τους, επιτευχθεί υψηλή συσχέτιση ($R^2 > 0.80$) στην εκτίμηση της υδατικής καταπόνησης όταν τα αριθμητικά μοντέλα λάμβαναν υπόψιν την ποικιλία και τους κλώνους.

Οι Liakos et al. (2020) πραγματοποίησαν πείραμα μεταβλητής δόσης εφαρμογής αζώτου σε καλλιέργεια μηλιάς στην Κεντρική Ελλάδα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι με μείωση της ποσότητας έως 63.4%, δεν υπήρξε σημαντική μείωση της ποσότητας και ποιότητας παραγωγής της μηλιάς ενώ υπήρξε μείωση του κόστους λίπανσης έως 7.6%.

Οι Karydas et al. (2020) ανέπτυξαν αλγόριθμο για την εκτίμηση της συγκέντρωσης σε αντιοξειδωτικά σε καλλιέργεια κερασιάς στην Βόρεια Ελλάδα. Για την ανάπτυξη του αλγορίθμου, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από πολυφασματική κάμερα που φέρονταν σε ΣΜηΕΑ, καθώς και δεδομένα εδάφους και κλίματος και μηχανική μάθηση. Οι συγγραφείς διαπίστωσαν ότι με την χρήση του μοντέλου και των απαραίτητων δεδομένων είναι δυνατή η εφαρμογή επιλεκτικής συγκομιδής που θα επιτρέπει την παραγωγή προϊόντων με μεγάλες συγκεντρώσεις σε αντιοξειδωτικά και κατά συνέπεια καλύτερη τιμή πώλησης.

3 Σημασία της Αμπέλου για τον Κόσμο και την Ελλάδα

Η καλλιέργεια της αμπέλου αποτελεί μία από τις σημαντικότερες καλλιέργειες του κόσμου, με ιστορία χιλιάδων ετών. Αυτό συνέβη γιατί το αμπέλι μπορεί να προσφέρει ένα πλήθος παραγόμενων προϊόντων τα οποία είναι χρήσιμα για τον άνθρωπο, όπως το να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή επιτραπέζιων σταφυλιών, σταφίδων, χυμού, οίνου, ξυδιού, ελαίου, μη αλκοολούχου οίνου και εκχυλισμάτων σταφυλιού (Vislocky and Fernandez, 2013). Επιπλέον, τα οφέλη που προσφέρει η κατανάλωση προϊόντων αμπελιού στην υγεία του ανθρώπου έχουν αποτυπωθεί σε πλήθος ερευνών. Συγκεκριμένα, οι φυτοχημικές ουσίες που βρίσκονται στα προϊόντα της αμπέλου έχουν αποδειχθεί ότι προστατεύουν την καρδιά, το ήπαρ και τον κύκλο ζωής των κυττάρων, ενώ έχουν αντιμικροβιακές, αντιφλεγμονώδεις, αντικαρκινогόνες, αντιδιαβητικές και αντιοξειδωτικές δράσεις (Yang and Xiao, 2013).

Η άμπελος έχει ως περιοχή καταγωγής, την περιοχή στην οποία βρίσκονται η Γεωργία και η Αρμενία, ενώ αναφέρεται ότι αναπτύχθηκε ως είδος πριν από ένα εκατομμύριο έτη. Η καλλιέργειά της για ανθρώπινη κατανάλωση, ξεκίνησε περίπου το 4000 π.Χ. στην ίδια περιοχή. Έκτοτε, μέσω πολλών λαών (όπως Φοίνικες, Αιγύπτιοι, Έλληνες), εξαπλώθηκε η καλλιέργεια της σε πολλές περιοχές του πλανήτη (Haarala and Haarala, 2004).

Το 2016 η αμπελοκαλλιέργεια κάλυψε περίπου 75.5 εκατομμύρια στρέμματα παγκοσμίως, ενώ συνολικά παράχθηκαν περίπου 75.5 εκατομμύρια τόνοι σταφυλιών για όλες τις χρήσεις, 27.6 εκατομμύρια τόνοι επιτραπέζιων σταφυλιών, και 1.4 εκατομμύρια τόνοι αποξηραμένων σταφίδων (OIV, 2016). Συγκεκριμένα για την Ελλάδα, η συνολική έκταση αντιστοιχούσε σε περίπου 1 εκατομμύριο στρέμματα, στα οποία παράχθηκαν 1 εκατομμύριο τόνοι σταφυλιών για όλες τις χρήσεις, 265 χιλιάδες τόνοι επιτραπέζιων σταφυλιών και 28 χιλιάδες τόνοι αποξηραμένων σταφίδων (OIV, 2016).

3.1 Φυσιολογία και Μέθοδοι Καλλιέργειας του Αμπελιού

3.1.1 Φυσιολογία του Αμπελιού

Το αμπέλι είναι ένα πολυετές αγγειόσπερμο φυτό που ανήκει στην τάξη των Ραμνωδών και στην οικογένεια των Αμπελοειδών. Η οικογένεια των Αμπελοειδών αποτελείται από ξυλώδη και αναρριχώμενα φυτά, τα οποία φέρουν έλικες και ταξιανθίες απέναντι από τα φύλλα. Το είδος ταξιανθίας που παρουσιάζουν είναι βότρυς, και ο καρπός ονομάζεται σταφύλι, και αποτελείται από πολλές ράγες. Τα σταφύλια μπορεί να έχουν χρώμα λευκό, κόκκινο και μαύρο ανάλογα την ποικιλία (Strik, 2011). Τα πιο σημαντικά είδη της οικογένειας είναι το *Vitis vinifera* και το *Vitis labrusca*. Το πρώτο αποτελεί το πιο ευρέως διαδεδομένο είδος παγκοσμίως, ενώ το δεύτερο φύτεται στην Βόρεια

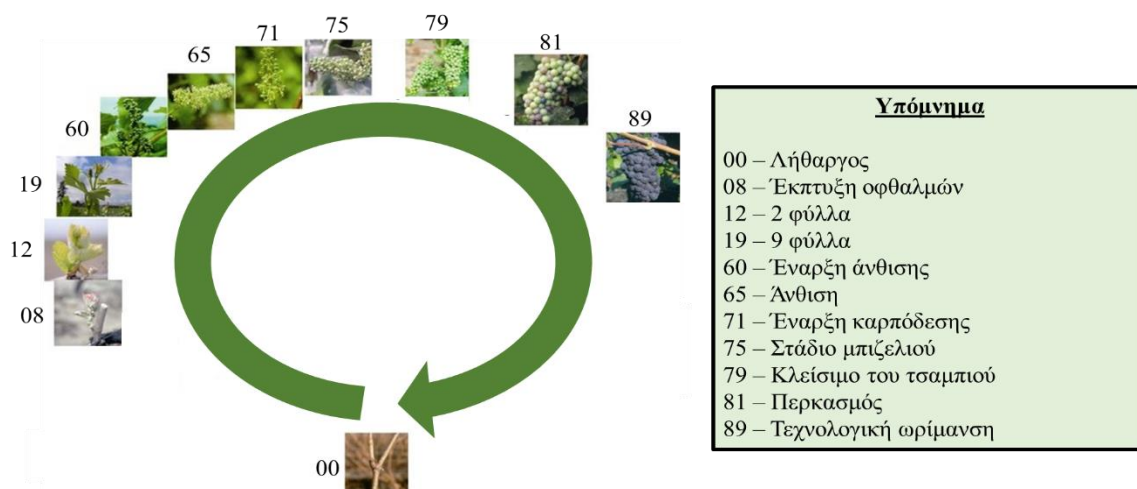
Αμερική και παρουσιάζει μεγαλύτερη ανθεκτικότητα απέναντι σε εχθρούς και ασθένειες σε σχέση με το πρώτο (Creasy and Creasy, 2018).

3.1.2 Ποικιλίες Αμπελιού

Σύμφωνα με τον ΟΙV, υπήρχαν πάνω από 10,000 καταγεγραμμένες ποικιλίες το 2017. Ο μεγάλος αριθμός ποικιλιών οφείλεται στην συστηματική καλλιέργεια του αμπελιού από την αρχαιότητα, στην μεγάλη εξάπλωση της καλλιέργειας του αμπελιού σε όλη την Γη, και στην υψηλή γενετική παραλλακτικότητα που παρουσιάζει το αμπέλι, η οποία προέρχεται από μεταλλάξεις και ανασυνδυασμούς γόνων (Καραγιαννοπούλου, 2018).

3.1.2.1 Φαινολογικά Στάδια Αμπελιού

Υπάρχουν αρκετές κλίμακες που περιγράφουν τα φαινολογικά στάδια του αμπελιού, όμως η πιο ευρέως διαδεδομένη κλίμακα είναι η BBCH. Σύμφωνα με αυτήν, ο κύκλος της αμπέλου χαρακτηρίζεται από 10 φαινολογικά στάδια από τα οποία τα 7 είναι τα βασικότερα. Αυτά είναι i) η έκπτυξη των οφθαλμών (bud burst), ii) η ανάπτυξη των φύλλων, iii) η εμφάνιση των ταξιανθιών (inflorescence), iv) η άνθιση (flowering), v) η καρπόδεση (fruit set), vi) η ωρίμανση των ραγών/περκασμός και vii) η γήρανση των φυτών (senescence) (Lorenz et al, 1995). Κάποια από τα στάδια παρουσιάζονται στην Εικόνα 15.



Εικόνα 15 Σημαντικά φαινολογικά στάδια του αμπελιού (Προσαρμογή εικόνας από Eltom, 2013).

3.1.3 Εδαφοκλιματικές Απαιτήσεις Αμπελιού

3.1.3.1 Θερμοκρασία

Το αμπέλι αναπτύσσεται σε ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών ενώ παρουσιάζει τη βέλτιστη ανάπτυξη σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 25 - 32 °C με ελάχιστη θερμοκρασία για έναρξη της ανάπτυξης, τους 10 °C (Sluys, 2006). Επιπλέον, το αμπέλι εισέρχεται σε κατάσταση ληθάργου τον χειμώνα σε μη τροπικές περιοχές με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγάλη αντοχή σε χαμηλές θερμοκρασίες, που μπορούν να φτάσουν ακόμη και του - 45 °C. Όμως, σε περίπτωση παγετού που

συμβαίνει μετά την έκπτυξη των οφθαλμών, το αμπέλι αντέχει σε ελάχιστη θερμοκρασία έως $-3.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ανάλογα το στάδιο ανάπτυξής του (Creasy and Creasy, 2018).

Αξίζει να αναφερθεί ότι έχουν αναπτυχθεί δείκτες που χρησιμοποιούν τις μετρήσεις της θερμοκρασίας για την πρόβλεψη των φαινολογικών σταδίων και κατά συνέπεια για τον προγραμματισμό των εργασιών (π.χ. κορυφολόγημα, συγκομιδή), με πιο σημαντικό δείκτη τις βαθμοημέρες (Growing Degree Days) (Molitor et al., 2014). Ο υπολογισμός των βαθμοημερών γίνεται από την παρακάτω εξίσωση.

$$\text{GDD} = \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} - T_{\text{base}}$$

Όπου, T_{\max} είναι η μέγιστη θερμοκρασία ημέρα ($^{\circ}\text{C}$), T_{\min} είναι η ελάχιστη θερμοκρασία ημέρας ($^{\circ}\text{C}$) και T_{base} είναι η θερμοκρασία βάσης ($^{\circ}\text{C}$).

Ο συνολικός αριθμός των βαθμοημερών επηρεάζεται από το είδος της ποικιλίας και μπορεί να ξεπεράσει τις $1600\text{ }^{\circ}\text{C GDD}$ με θερμοκρασία βάσης τους $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Reynolds et al., 1995, de Cortázar-Atauri et al., 2009).

3.1.3.2 Έδαφος

Το έδαφος αποτελεί τον πιο σημαντικό παράγοντα για την επιλογή εγκατάστασης ενός αμπελώνα, γιατί προσφέρει στήριξη, θρεπτικά στοιχεία και νερό με αποτέλεσμα να επηρεάζει άμεσα την παραγόμενη ποσότητα και ποιότητα. Αν και παγκοσμίως, η καλλιέργεια της αμπέλου πραγματοποιείται σε ένα πλήθος διαφορετικών εδαφών, οι αποδόσεις διαφέρουν σημαντικά, και αυτό οφείλεται τόσο στην συμβολή του κλίματος όσο και στις καλλιεργούμενες ποικιλίες και υποκείμενα (Creasy and Creasy, 2018). Επιπλέον, η τιμή του pH επηρεάζει σημαντικά στην διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων με το ιδανικό εύρος για την αμπελοκαλλιέργεια να είναι μεταξύ 5.5 και 8.0 (Nesbitt, 2018). Τέλος, το αμπέλι εμφανίζει μέτρια ανοχή στην αλατότητα του εδάφους, με αποτέλεσμα να προκαλείται μείωση της παραγωγής (50% μείωση παραγωγής στα 6.7 mmhos/cm και 100% μείωση παραγωγής 12 mmhos/cm) (FAO, Aragüés et al., 2014).

3.1.3.3 Θρεπτικά Στοιχεία

Τα μακροστοιχεία (N, P, K, Ca, Mg, S) και τα ιχνοστοιχεία (Fe, Mn, Mo, Cu, Zn, B) είναι απαραίτητα για την ορθή ανάπτυξη της καλλιέργειας του αμπελιού καθώς χρειάζονται για την εκτέλεση όλων των φυσιολογικών διεργασιών που συμβαίνουν στο φυτό (Ashley, 2011). Έτσι, οι ποσότητες των θρεπτικών που αφαιρούνται εξαιτίας της παραγωγής θα πρέπει να συμπληρώνονται για να υπάρξει η ίδια απόδοση την επόμενη χρονιά με την βιβλιογραφία να αναφέρει ότι για κάθε τόνο παραγόμενου σταφυλιού αφαιρούνται 3.9 kg N , $0.6\text{ kg P}_2\text{O}_5$ και $6.2\text{ kg K}_2\text{O}$ (Tandon, 2004). Η

προτεινόμενη δόση λίπανσης είναι 10 έως 16 kg/στρέμμα N, 4 έως 6 kg/ στρέμμα P και 16 έως 23 kg/ στρέμμα K με τη μεγαλύτερη ποσότητα N να απαιτείται κατά την άνοιξη και κατά την περίοδο της άνθησης (FAO).

3.1.3.4 Νερό

Οι ανάγκες σε νερό της καλλιέργειας κυμαίνονται από 500 έως 1200 mm και εξαρτώνται από το κλίμα και την διάρκεια του βιολογικού κύκλου (FAO). Για υψηλή παραγωγή είναι απαραίτητη η επάρκεια σε νερό κατά το στάδιο της ανάπτυξης και της άνθησης. Οι συνθήκες υδατικής καταπόνησης προκαλούν στο αμπέλι, μειωμένη απόδοση, μικρότερα σταφύλια, αυξημένη πιθανότητα εγκαύματος καθώς και επιταχύνση της έκπτυξης των οφθαλμών κατά τον λήθαργο (Fernandez-Silva et al., 2018).

3.1.4 Εγκατάσταση Αμπελώνα

Για την σωστή εγκατάσταση ενός αμπελώνα με την κατάλληλη ποικιλία είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη ο τύπος του εδάφους, η κλίση, το μικροκλίμα (θερμοκρασία, υγρασία, άνεμος), το σύστημα μόρφωσης, οι αποστάσεις φύτευσης, ο προσανατολισμός των φυτών, ο μηχανολογικός εξοπλισμός (γεωργικοί ελκυστήρες, μηχανήματα φυτοπροστασίας, κατεργασίας εδάφους, λίπανσης, άρδευσης, κλαδέματος και συγκομιδής) που θα χρησιμοποιηθεί, και το κόστος εγκατάστασης. Η πυκνότητα φύτευσης ενός αμπελώνα μπορεί να διαφέρει σημαντικά και να κυμαίνεται από 100 πρέμνα ανά στρέμμα έως και 900 πρέμνα ανά στρέμμα (Creasy and Creasy, 2018), ενώ υπάρχουν 29 συστήματα μόρφωσης αμπελιού (Wikipedia,2020).

3.1.5 Κλάδεμα

Το κλάδεμα αποτελεί μια πολύ βασική εργασία για την καλλιέργεια του αμπελιού καθώς με αυτήν την εργασία ρυθμίζεται η βλάστηση και κατά συνέπεια η τελική παραγόμενη ποσότητα και ποιότητα των σταφυλιών (Fredes et al., 2010). Το κλάδεμα διακρίνεται σε κλάδεμα διαμόρφωσης και σε κλάδεμα καρποφορίας, με το πρώτο να πραγματοποιείται κατά τα πρώτα χρόνια από την εγκατάσταση με σκοπό την διαμόρφωση του σχήματος του αμπελιού για την παραγωγική του αξιοποίηση. Το κλάδεμα καρποφορίας διακρίνεται σε χειμερινό και θερινό κλάδεμα.

3.1.5.1 Χειμερινό Κλάδεμα

Το χειμερινό κλάδεμα έχει σαν σκοπό να ελέγξει τον αριθμό των οφθαλμών που θα βλαστήσουν αλλά και τον αριθμό των κληματίδων. Ο αριθμός των οφθαλμών που θα διατηρηθούν στο πρέμνο επηρεάζεται από το σύστημα μόρφωσης και την ποικιλία. Έτσι, το χειμερινό κλάδεμα επιδρά στην τελική παραγόμενη ποσότητα και ποιότητα του αμπελιού (Qiu et al., 2019).

3.1.5.2 *Θερινό Κλάδεμα*

Το θερινό κλάδεμα διακρίνεται σε α) βλαστολόγημα, β) κορυφολόγημα, γ) ξεφύλλισμα, δ) χαραγή και ε) αφαίρεση σταφυλιών (Καραγιαννοπουλου, 2018).

3.1.5.3 *Βλαστολόγημα*

Το βλαστολόγημα αναφέρεται στην απομάκρυνση μη παραγωγικών βλαστών από το πρέμνο. Οι μη παραγωγικοί βλαστοί περιλαμβάνουν τους λαίμαργους, οι οποίοι είναι βλαστοί που εκπτύχθηκαν από λανθάνοντες οφθαλμούς που βρίσκονται στο πρέμνο, αλλά και βλαστούς οι οποίοι δεν φέρουν ταξιανθίες. Σκοπός του βλαστολογήματος είναι η αφαίρεση των βλαστών που επιβαρύνουν την ανάπτυξη του αμπελιού με συνέπεια να οδηγούν σε μειωμένη παραγόμενη ποσότητα και ποιότητα. Ως αποτέλεσμα, με το βλαστολόγημα πραγματοποιείται καλύτερη ισορροπία ανάμεσα στους βλαστούς και στους καρπούς και κατά συνέπεια επιτυγχάνεται αυξημένη ποσότητα και ποιότητα παραγωγής (Καραγιαννοπουλου, 2018, Martelloni et al., 2019).

3.1.5.4 *Κορυφολόγημα*

Ως κορυφολόγημα χαρακτηρίζεται το κλάδεμα των κορυφών των κληματίδων. Το κορυφολόγημα έχει ως σκοπό την αποκοπή της μεταφοράς των χυμών του αμπελιού προς την κορυφή, και κατά συνέπεια προς την ανάπτυξη της βλάστησης του αμπελιού. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η μεταφορά των χυμών των φυτών προς τα σταφύλια, και κατά συνέπεια ενισχύονται τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά της παραγωγής. Η ένταση και ο αριθμός των κορυφολογημάτων επηρεάζεται από τον ρυθμό ανάπτυξης των φυτών καθώς και από την επιδιωκόμενη τελική ποιότητα και ποσότητα της παραγωγής (Vanderlinde et al., 2017, Καραγιαννοπουλου, 2018).

3.1.5.5 *Ξεφύλλισμα*

Το ξεφύλλισμα έχει σαν σκοπό την αφαίρεση φύλλων για την βελτίωση του μικροκλίματος στο αμπέλι με σκοπό το καλύτερο αερισμό των σταφυλιών και την έκθεσή τους στον ήλιο. Έτσι, βελτιώνεται η τελική ποιότητα της παραγωγής (π.χ. χρώμα ραγών, ανθοκύανες) και μειώνεται η προσβολή από μυκητολογικές ασθένειες (Mosetti et al., 2016, Καραγιαννοπουλου, 2018).

3.1.5.6 *Χαραγή*

Χαραγή ή χαράκωμα ονομάζεται η τεχνική κατά την οποία το πρέμνο χαράζεται περιφερειακά στην βάση του. Σκοπός αυτής της τεχνικής είναι να μειωθεί η μεταφορά των χυμών που περιέχουν τα προϊόντα της φωτοσύνθεσης προς τις ρίζες και να αποθηκευτούν στα σταφύλια. Έτσι, ενισχύονται τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά των σταφυλιών (π.χ. χρώμα, μέγεθος ράγας, ποσοστό καρπόδεσης) ενώ παράλληλα μπορεί να επιτευχθεί προώμιση της παραγωγής (Καραγιαννοπουλου, 2018, Tiyagi et al., 2020).

3.1.5.7 Αφαίρεση Σταφυλιών

Η αφαίρεση σταφυλιών πραγματοποιείται σε αμπελώνες με υψηλές παραγωγές και έχει σαν σκοπό την βελτίωση της ποιότητας (π.χ. αύξηση συγκέντρωσης σακχάρων, μείωση ολικής οξύτητας, αύξηση διαμέτρου ράγας) ενώ επιτυγχάνεται πρωΐμιση της παραγωγής. Η πρακτική εφαρμόζεται σε σταφύλια που είναι όψιμα, κακοσηματισμένα ή βρίσκονται σε ακατάλληλες θέσεις (van Schalkwyk et al., 1995, Καραγιαννοπούλου, 2018).

3.2 Αμπελουργία Ακριβείας

Με βάση τα παραπάνω, αποδεικνύεται ότι η καλλιέργεια του αμπελιού εμφανίζει αρκετές ιδιαιτερότητες και ανάγκες στον τρόπο καλλιέργειας οι οποίες πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για την βέλτιστη παραγωγή από άποψη ποσότητας και ποιότητας. Όμως, ο συμβατικός τρόπος καλλιέργειας δεν μπορεί να καλύψει πλήρως αυτές τις ανάγκες. Η λύση προέρχεται από την εφαρμογή τεχνολογιών ΓΑ στο αμπέλι. Η Αμπελουργία Ακριβείας (ΑΑ) θεωρείται ως η εφαρμογή της ΓΑ στους αμπελώνες. Η ΑΑ είναι μια συνεχής κυκλική διαδικασία (Bramley et al., 2003) που αποτελείται από τη συλλογή δεδομένων πεδίου, την ανάλυσή τους και τις αποφάσεις που λαμβάνονται από τη διαχείριση και την αξιολόγηση των εφαρμοσμένων πρακτικών. Ο κύριος στόχος της ΑΑ είναι η διαχείριση της παραλλακτικότητας των αμπελώνων με τον καθορισμό ζωνών διαχείρισης. Εντός των οριοθετημένων ζωνών διαχείρισης, η επίδραση του εδάφους και άλλων αβιοτικών παραγόντων στις παραμέτρους του αμπελιού (απόδοση, ευρωστία, σύνθεση σταφυλιών) θεωρείται παρόμοια (Kitchen et al., 2005), όπως και οι παράμετροι της ποιότητας και της ποσότητας των σταφυλιών (Keller, 2010).

Σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό του Οίνου και του Αμπελιού (OIV, 2019), η ΑΑ προσφέρει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

1. Βελτιωμένη εγκατάσταση αμπελώνων
2. Στοχευμένη διαχείριση της καλλιέργειας
3. Μείωση κόστους καλλιέργειας (άμεσα ή έμμεσα)
4. Αυξημένη αιφορία για την αμπελοκαλλιέργεια
5. Βελτίωση του τρόπου δειγματοληψίας και σχεδιασμού πειραμάτων
6. Εφαρμογή ζωνών διαχείρισης

Ωστόσο, θα πρέπει να αναφερθεί ότι υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί στην εφαρμογή ΑΑ όπως:

1. Απαιτείται η κατανόηση της φύσης και των οδηγών της μεταβλητότητας και παροχή σύνδεσης με τον τύπο του προϊόντος (σύνθεση σταφυλιών και κρασιού) για την μεγιστοποίηση των πλεονεκτημάτων της ΑΑ

2. Τα γενικά κριτήρια ή συστάσεις για την αμπελοκαλλιέργεια πρέπει να προσαρμόζονται σε κάθε τύπο προϊόντος και δεν μπορούν να γενικευτούν σε διαφορετικές συνθήκες
3. Απαιτείται χρήση εξοπλισμού υψηλής τεχνολογίας
4. Απαιτείται η εφαρμογή ΑΑ να είναι αποτελεσματική ως προς το τελικό κόστος της καλλιέργειας

3.2.1 Αμπελουργία Ακριβείας για επιτραπέζιο σταφύλι

Αν και η αμπελουργία ακριβείας έχει προχωρήσει όσον αφορά τα οινοποιήσιμα σταφύλια, παραμένει σε αρχικό επίπεδο στα επιτραπέζια σταφύλια με περιορισμένο αριθμό μελετών. Αυτό συμβαίνει επειδή επηρεάζεται από παράγοντες όπως η χειρωνακτική συγκομιδή, το πλήθος των διαφορετικών ποικιλιών και τα συστήματα διαμόρφωσης που δεν επιτρέπουν την πλήρη εκμηχάνιση της καλλιέργειας, αλλά και οι διαφορετικές αναγκές ως προς το παραγόμενο προϊόν. Συγκεκριμένα, η τιμή του επιτραπέζιου σταφυλιού κρίνεται από τη συγκέντρωση σε σάκχαρα, τη σχέση σάκχαρα προς οξύτητα, το χρώμα και το μέγεθος.

Οι υπάρχουσες μελέτες δείχνουν ότι η εφαρμογή αμπελουργίας ακριβείας σε επιτραπέζια σταφύλια θα έχει μεγάλο οικονομικό, κοινωνικό και περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Συγκεκριμένα, οι Wulfsohn et al. (2012) χρησιμοποίησαν τον δείκτη NDVI για την εκτίμηση της παραγωγής σε επιτραπέζια σταφύλια. Οι Er-Raki et al. (2013) χρησιμοποίησαν τον δείκτη NDVI για να αξιολογήσουν τις ανάγκες σε νερό σε καλλιέργεια επιτραπέζιου σταφυλιού. Σε παρόμοια μελέτη, οι Alsina et al. (2013) έδειξαν ότι η εναέρια τηλεπισκόπηση σε καλλιέργεια επιτραπέζιου σταφυλιού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση του υδατικού δυναμικού και για την εφαρμογή καλύτερου προγραμματισμού άρδευσης. Οι Mastrodimos et al. (2019) χρησιμοποίησαν θερμική κάμερα για την μη καταστροφική αναγνώριση της προσβολής από τον μύκητα *Aspergillus carbonarius* που εκκλύει την επικίνδυνη για την υγεία οχρατοξίνη Α σε επιτραπέζια σταφύλια. Οι Tuccio et al. (2020) με την χρήση αισθητήρα φθορισμού αξιολόγησαν μη καταστροφικά τα επίπεδα ανθοκυανών στην ερυθρή επιτραπέζια ποικιλία σταφυλιών Crimson Seedless.

4 Ερευνητικό υπόβαθρο και στόχοι της διατριβής

Η παρούσα διατριβή έχει ως κύριο στόχο την αξιολόγηση της εφαρμογής διαφόρων μεθόδων και τεχνολογιών ΓΑ σε καλλιέργεια επιτραπέζιων σταφυλιών ποικιλίας Σουλτανίνας/Thompson seedless (*Vitis vinifera* L. cv. Thompson Seedless). Η επιλογή της συγκεκριμένης ποικιλίας βασίστηκε στη δυναμικότητά της ως εξαγωγίμο προϊόν, αλλά και στην άρρηκτη σύνδεσή της με την οικονομική ανάπτυξη της Ελλάδας από τον 19^ο αιώνα και έπειτα.

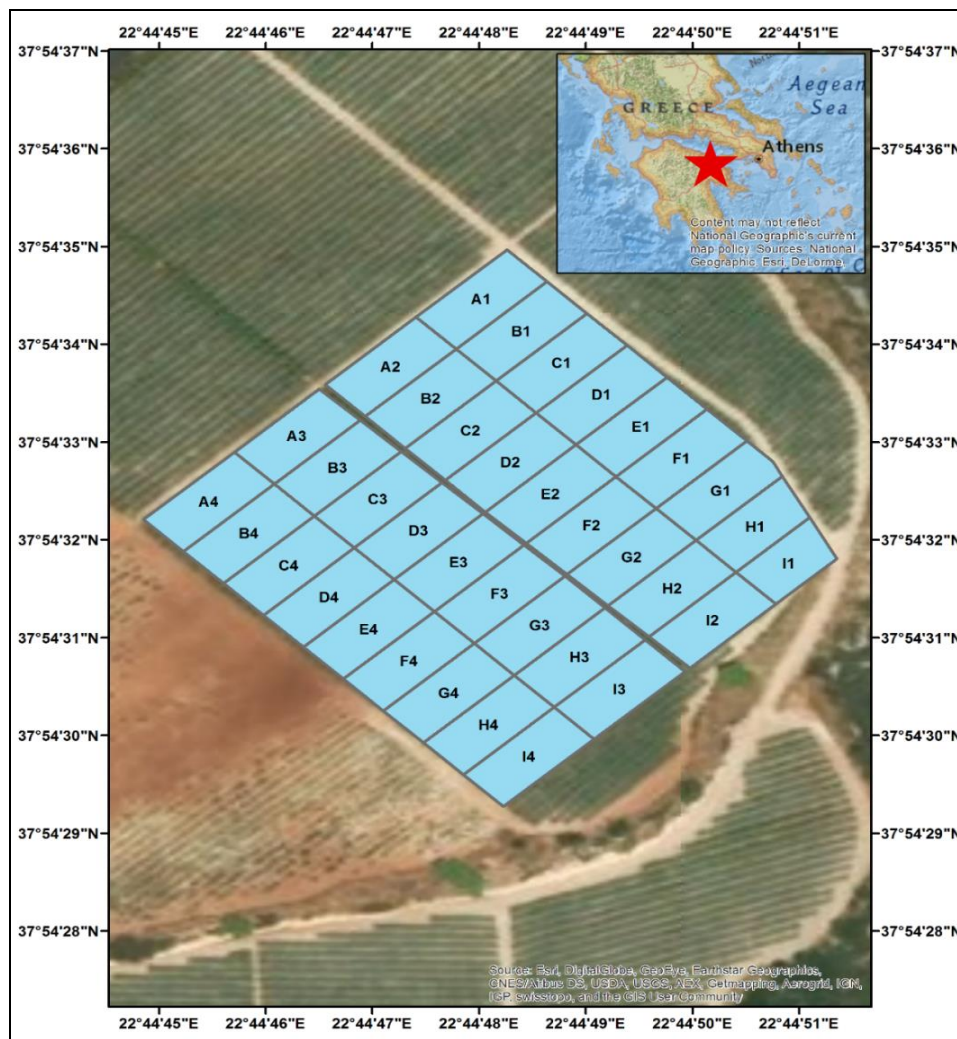
Για την επίτευξη του παραπάνω στόχου, κρίθηκε αναγκαίο να πραγματοποιηθούν οι εξής επιμέρους στόχοι:

- Αξιολόγηση της επίδρασης των εδαφοκλιματικών συνθηκών στη χωροχρονική παραλλακτικότητα της παραγόμενης ποσότητας και ποιότητας
- Αξιολόγηση της χωροχρονικής σταθερότητας των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών του αμπελιού που καθορίστηκαν με την υιοθέτηση υποτεμαχίων
- Αξιολόγηση επίγειων και δορυφορικών δεδομένων στη μη καταστροφική εκτίμηση ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών της αμπέλου
- Αξιολόγηση δεικτών βλάστησης στη μη καταστροφική εκτίμηση ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών της αμπέλου
- Αξιολόγηση της χωροχρονικής σταθερότητας ζωνών διαχείρισης που καθορίστηκαν με τη χρήση ετερογενών δεδομένων υψηλής ανάλυσης

5 Υλικά και Μέθοδοι

5.1 Περιγραφή αμπελώνα και διαίρεση αμπελώνα σε υποτεμάχια

Η μελέτη πραγματοποιήθηκε σε έναν εμπορικό αμπελώνα επιτραπέζιων σταφυλιών που βρίσκεται στη νότια Ελλάδα στην περιοχή της Στιμάγκας Κορινθίας κατά τα έτη καλλιέργειας 2015, 2016 και 2017 (37° 54.5320' N, 22° 44.7980' E, Κόρινθος, Ελλάδα) (Εικόνα 16). Ο αμπελώνας φυτεύτηκε το 2006 με την ποικιλία Thompson Seedless (*Vitis vinifera L. cv. Thompson Seedless*) σε 1.4 εκτάρια. Η ποικιλία ενοφθαλμίστηκε σε υποκείμενο 1103 Paulsen. Η καλλιέργεια των επιτραπέζιων σταφυλιών πραγματοποιήθηκε σε σύστημα μόρφωσης τύπου V, ενώ οι αποστάσεις φύτευσης της αμπέλου ήταν 1.8 m επί των σειρών και 2.6 m μεταξύ των σειρών. Ο αμπελώνας χωρίστηκε σε 36 υποτεμάχια (έκτασης από 298 τ.μ. έως 404 τ.μ.) για να λειτουργήσουν ως περιοχές κανονικοποιημένης δειγματοληψίας για τη χωρική ανάλυση του αμπελώνα.



Εικόνα 16 Τοποθεσία πειραματικού αμπελώνα και κατανομή κελιών.

5.2 Καλλιεργητικές Μεταχειρίσεις

Ο αμπελώνας έλαβε πολλές ετήσιες καλλιεργητικές μεταχειρίσεις με σκοπό την επίτευξη υψηλής στρεμματικής απόδοσης αλλά και σε ποιότητα. Οι επεμβάσεις περιλάμβαναν την εφαρμογή φυτοπροστατευτικών ουσιών (μυκητοκτόνα, εντομοκτόνα, ρυθμιστές ανάπτυξης, και διαφυλλικά, υδατοδιαλυτά και κοκκώδη λιπάσματα), άρδευση, διαχείριση φυλλικής επιφάνειας (κλάδεμα, κορυφολόγημα και ξεφύλλισμα) και κατεργασία εδάφους για καταπολέμηση ζιζανίων και για βελτίωση της δομής του εδάφους. Συγκεκριμένα, ο αμπελώνας αρδεύτηκε με περίπου 300 mm ανά έτος, ενώ πραγματοποιήθηκαν 20 ψεκασμοί για το 2015, 15 για το 2016 και 16 για το 2017. Παράλληλα πραγματοποιήθηκαν έξι επεμβάσεις διαχείρισης της φυτοκόμης και δύο κατεργασίας εδάφους πριν την συγκομιδή για κάθε έτος.

5.3 Συλλογή και επεξεργασία κλιματικών δεδομένων

Κλιματικά δεδομένα συγκεντρώθηκαν από μετεωρολογικό σταθμό μέσα από το καταγραφικό δεδομένων SynField (Synelixix, Χαλκίδα, Ελλάδα) που ήταν εγκατεστημένος στον εμπορικό αμπελώνα. Ο μετεωρολογικός σταθμός ήταν ο VantagePro (Davis Instruments Corp., Hayward, USA) ο οποίος συλλέγει δεδομένα βροχόπτωσης, θερμοκρασίας, υγρασίας, έντασης και κατεύθυνσης αέρα.

Τα δεδομένα θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκαν στον υπολογισμό των βαθμομερών. όπως φαίνεται στην παρακάτω εξίσωση.

$$GDD = \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} - T_{\text{base}}$$

όπου, T_{\max} είναι η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$), T_{\min} η ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$) και T_{base} η θερμοκρασία βάσης ($^{\circ}\text{C}$).

Ο συνολικός αριθμός των βαθμομερών υπολογίστηκε με θερμοκρασία βάσης τους 10°C για την συνολική καλλιεργητική περίοδο από το άνοιγμα των οφθαλμών [BBCH-08] έως την τεχνολογική ωρίμαση [BBCH-89] αλλά και για τις περιόδους ανοίγματος των οφθαλμών - τεχνολογική ωρίμαση [BBCH 08 – BBCH 89], άνοιγμα οφθαλμών – άνθηση [BBCH 08 – BBCH 65], άνθηση – περκασμός [BBCH 65 – BBCH 81], περκασμός – τεχνολογική ωρίμαση [BBCH 81 – BBCH 89] (Reynolds et al., 1995, De Cortázar-Atauri et al., 2009). Το άνοιγμα των οφθαλμών έλαβε χώρα στις 17/3/2015, 18/3/2016 και 17/3/2017 αντίστοιχα για τα τρία έτη της μελέτης.

5.4 Συλλογή και ανάλυση εδαφολογικών δεδομένων

Η συλλογή εδαφικών δειγμάτων έλαβε χώρα από το κέντρο κάθε υποτεμαχίου (36 δείγματα σε σύνολο) με σκοπό την ανάλυση βασικών εδαφικών παραμέτρων (κοκκομετρική σύσταση του εδάφους, ανθρακικά άλατα, οργανική ουσία, pH, αγωγιμότητα) τον Μάιο του 2015. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε ανάλυση εδαφικής σύστασης με τη μέθοδο Bouyoucos (Bouyoucos, 1962). Η οργανική ουσία μετρήθηκε με την μέθοδο Walkley – Black (Walkey and Black, 1934) ενώ τα ανθρακικά άλατα με την μέθοδο Bernard. Για τον προσδιορισμό της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και του pH χρησιμοποιήθηκαν τα όργανα μέτρησης GMH 3430 (GHM-GREISINGER s.r.o., Prague, Czech Republic) και το Kedida pH meter CT-6020 (Kedida pH meter CT-6020, Shenzhen, China) αντίστοιχα μετά από κατάλληλη προετοιμασία του μείγματος εδάφους με απεσταγμένο νερό σε αναλογία 1:1. Το μείγμα αναδεύονταν ανά δέκα λεπτά για μία ώρα και στη συνέχεια έγινε η λήψη των μετρήσεων με την βύθιση των οργάνων στο εδαφικό διάλυμα.

5.5 Μέτρηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας με το EM38

Χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας EM38 (Geonics Ltd., Ontario, Canada) για την χαρτογράφηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του αμπελώνα σε βάθος 1 m. Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε μια φορά κατά την έναρξη των μετρήσεων στις 25/5/2020, με σκοπό την χαρτογράφηση της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας του αμπελώνα (Εικόνα 17). Ο αισθητήρας συνδέθηκε με έναν αισθητήρα DGPS για γεωαναφορά των συλλεγόμενων δεδομένων. Ο αισθητήρας EM38 στερεώθηκε σε ένα πλαστικό έλικητρο το οποίο ήταν συνδεδεμένο με έναν αμπελουργικό ελκυστήρα μέσω ενός μη μεταλλικού σχοινιού το οποίο κινήθηκε κατά μήκος των σειρών του αμπελώνα. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε μετά από τα γεγονότα βροχοπτώσεων στις αρχές της άνοιξης, προκειμένου να διατηρηθεί η υγρασία του εδάφους κοντά στο επίπεδο της υδατοϊκανότητας. Η έρευνα εδάφους EMI βασίζεται στην αρχή ότι ένα πηνίο-πομπός, σε ένα συγκεκριμένο ύψος από το έδαφος, παράγει ένα πρωτογενές μαγνητικό πεδίο που μεταβάλλεται χρονικά στο υπέδαφος. Οι διακυμάνσεις στο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο προκαλούν ένα δευτερεύον μαγνητικό πεδίο, το οποίο καταγράφεται από ένα πηνίο-δέκτη στον αισθητήρα. Η αναλογία μεταξύ του μεγέθους του δευτερεύοντος μαγνητικού πεδίου και αυτού του πρωτεύοντος μαγνητικού πεδίου επιτρέπει τον υπολογισμό της φαινομενικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους κοντά στον δέκτη (Castrignanò et al., 2017). Ο λόγος για τη διεξαγωγή μίας μόνο μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας οφειλόταν στο ότι σε πολλές μελέτες αποδείχθηκε σταθερότητα στα πρότυπα των χαρακτηριστικών του εδάφους, όταν μετρήθηκαν υπό παρόμοιες συνθήκες υγρασίας κατά τη διάρκεια διαδοχικών ετών (Liao et al., 2014, Martini et al., 2017).



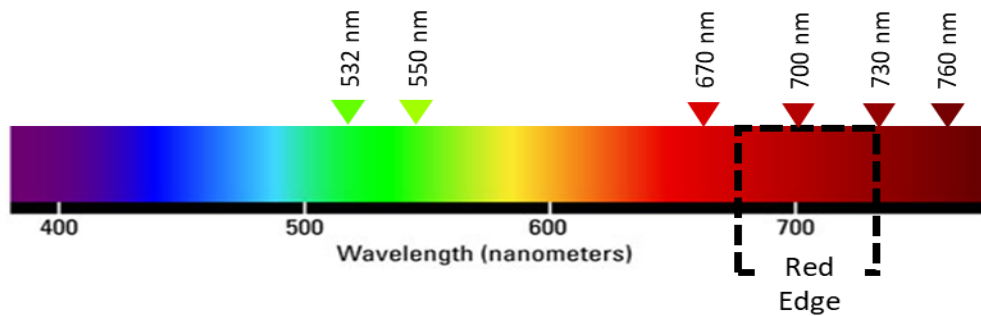
Εικόνα 17 Χαρτογράφηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας με την χρήση του αισθητήρα EM38.

5.6 Μετρήσεις με χρήση φασματικών δεικτών βλάστησης και ημερομηνίες συλλογής

Για την μη καταστροφική αξιολόγηση της ευρωστίας του αμπελώνα πραγματοποιήθηκε συλλογή δεδομένων με τη χρήση πολυφασματικού αισθητήρα φυλλώματος καθώς και χρήση δορυφορικών εικόνων.

5.6.1 Μετρήσεις με χρήση πολυφασματικού αισθητήρα φυλλώματος

Χρησιμοποιήθηκε ο ενεργός αισθητήρας φυλλώματος Crop Circle (ACS-470, Holland Scientific Inc., Lincoln, USA). Ο αισθητήρας έχει τη δυνατότητα εναλλαγής των φακών του με σκοπό τις μετρήσεις σε διαφορετικό φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Επιπλέον, ο αισθητήρας ενσωματώνει πηγή φωτός για τη μη επίδραση του ηλιακού φωτός κατά τη διεξαγωγή των μετρήσεων. Συγκεκριμένα για τους σκοπούς του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν έξι διαφορετικοί φακοί που ανταποκρίνονταν σε διαφορετικά μήκη ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (532 nm - Πράσινο, 550 nm - Πράσινο, 670 nm - Κόκκινο, 700 nm , 730 nm και 760 nm - Εγγύς Υπέρυθρο) (Εικόνα 18). Η ζώνη μήκους κύματος NIR επιλέχθηκε λόγω της υψηλής ανάκλασης σε υγιή φύλλα και της σχέσης της με πολλά δομικά χαρακτηριστικά των φύλλων (Vescovo et al., 2012). Η κόκκινη ζώνη μήκους κύματος παρουσιάζει ισχυρές κορυφές απορρόφησης για την εκτίμηση της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη (Wu et al., 2008), ενώ η ακραία κόκκινη ζώνη έδειξε υψηλότερη ακρίβεια στην εκτίμηση των παραμέτρων καλλιέργειας, και μεγαλύτερη ευαισθησία στην ανίχνευση των πιέσεων των καλλιεργειών, ιδίως της καταπόνησης από έλλειψη αζώτου στους αμπελώνες σε σύγκριση με την κόκκινη ζώνη (Zarco-Tejada et al., 2005). Η πράσινη ζώνη έχει συνδεθεί με σημαντικά χαρακτηριστικά των φυτών (ευρωστία, συγκεντρώσεις ανθοκυάνης, χλωροφύλλης και καροτενοειδών (Huang et al., 2018; Peter et al., 2020).



Εικόνα 18 Μήκη ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που χρησιμοποιήθηκαν στην διατριβή με το CropCircle ACS 470.-

Ο αισθητήρας ήταν τοποθετημένος σε αμπελουργικό ελκυστήρα και είχε ύψος 1.5 m από την επιφάνεια του εδάφους, ενώ απείχε 1.2 m οριζόντια από την επιφάνεια του φυλλώματος των αμπελιών (Εικόνα 19). Ο αισθητήρας χρησιμοποιήθηκε για τη σάρωση της περιοχής του πλευρικού φυλλώματος των επιτραπέζιων σταφυλιών προκειμένου να εκτιμηθεί η ευρωστία της καλλιέργειας από την εγγύς ανίχνευση.



Εικόνα 19 Μέτρηση με χρήση αισθητήρα φυλλώματος Crop Circle ACS-470.

Τέλος, οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε διαφορετικές ημερομηνίες που ανταποκρίνονταν σε διαφορετικά φαινολογικά στάδια της καλλιέργειας του επιτραπέζιου σταφυλιού με σκοπό την παρακολούθηση της ανάπτυξης της καλλιέργειας (Πίνακας 3).

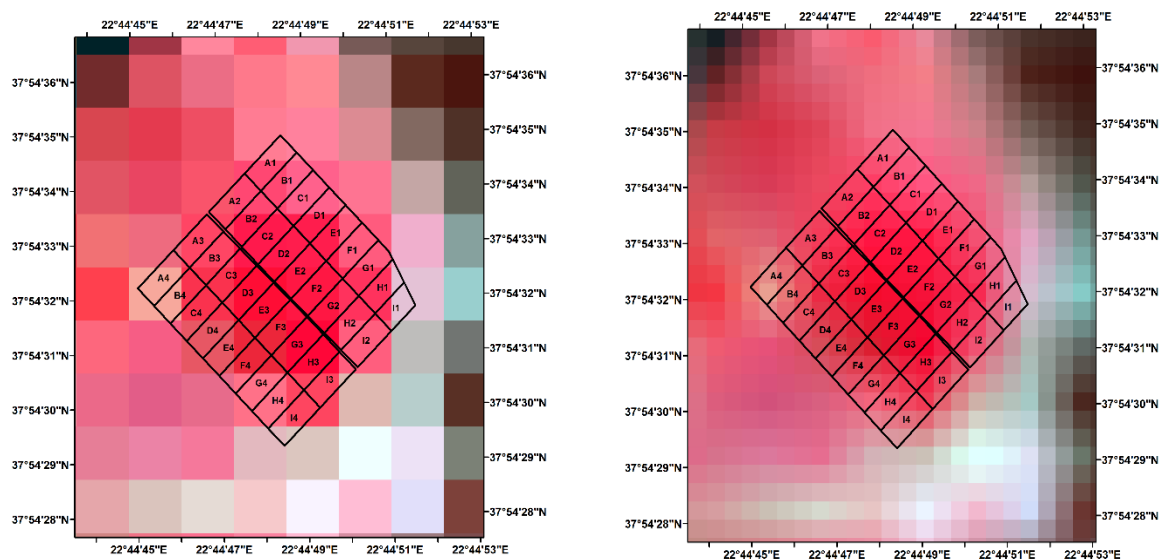
Πίνακας 3 Αντιστοίχιση μετρήσεων ευρωστίας φυλλώματος με φαινολογικά στάδια καλλιέργειας επιτραπέζιου σταφυλιού

2015	2016	2017	Φαινολογικό Στάδιο Επιτραπέζιου Σταφυλιού
23/05/2015	08/05/2016	16/05/2017	Άνθηση (BBCH-65)
10/06/2015	05/06/2016	11/06/2017	Ράγες σε μέγεθος μπιζελιού (BBCH-75)

2015	2016	2017	Φαινολογικό Στάδιο Επιτραπέζιου Σταφυλιού
23/06/2015	22/06/2016	22/06/2017	Κλείσιμο του σταφυλιού (BBCH-79)
18/07/2015	16/07/2016	17/07/2017	Έναρξη περκασμού (BBCH-81)
30/07/2015	02/08/2016	26/07/2017	Μέση περκασμού (BBCH-85)
15/08/2015			
01/09/2015	17/08/2016	16/08/2017	Τεχνολογική Ωρίμαση (BBCH-89)

5.6.2 Μετρήσεις με χρήση δορυφορικών εικόνων

Η αξιολόγηση της ευρωστίας των φυτών και κατά συνέπεια και της ποιοτικής τους και ποσοτικής τους απόδοσης πραγματοποιήθηκε και με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων. Για τον σκοπό αυτό συλλέχθηκαν δορυφορικά δεδομένα του δορυφόρου Landsat 8 από τον ιστοτόπο του EarthExplorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) που αποτελεί διαδικτυακή πύλη της υπηρεσίας γεωλογικών ερευνών των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (USGS). Τα δορυφορικά δεδομένα είχαν ήδη υποστεί ατμοσφαιρική διόρθωση (προϊόντα επιπέδου L2), ενώ επεξεργάστηκαν με τη μέθοδο της αναδειγματοληψίας για να έχουν ανάλυση (10 m x 10 m) με τη χρήση του πανχρωματικού καναλιού σύμφωνα με την μέθοδο των Zhang et al. (2018) (Εικόνα 20). Σκοπός της διαδικασίας αυτής ήταν η αντιστοίχιση με τα αποτελέσματα των δορυφόρων Sentinel 2 της ευρωπαϊκής υπηρεσίας διαστήματος (ESA). Σύμφωνα με τους Zhang et al. (2018) δεν παρουσιάζονται στατιστικές σημαντικές διαφορές στα αποτελέσματα των δορυφορικών εικόνων Landsat 8 που έχουν υποστεί αναδειγματοληψία στα 10 μέτρα ανάλυση με αυτά που λαμβάνονται από τους δορυφόρους Sentinel 2. Επιπλέον, πολλοί ερευνητές έχουν ασχοληθεί με την σύνθεση δορυφορικών δεδομένων από τους δύο τύπους των δορυφόρων με σκοπό την καλύτερη παρακολούθηση περιοχών (Shakun et al., 2017; Stumph et al., 2018; Bannari, 2019).



Εικόνα 20 Ψευδοεικόνες από δορυφόρο Landsat 8 σε (a) 30 m και (b) 10 m ανάλυση μετά από επεξεργασία.

Τα δορυφορικά δεδομένα αντιστοιχούσαν στα στάδια της έναρξης του περκασμού, της μέσης του περκασμού και της τεχνολογικής ωρίμασης. Η επιλογή αυτών των σταδίων βασίστηκε στα αποτελέσματα πολλών ερευνών, όπου προέκυψε το συμπέρασμα ότι οι υψηλότερες συσχετίσεις των ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών του αμπελιού παρουσιάζονται στα στάδια του περκασμού και έπειτα (Lamb et al., 2001; Lamb et al., 2004; Hall and Wilson, 2013; Fountas et al., 2014; Marciniak et al., 2015; Meyers et al., 2020). Η αντιστοίχιση ανάμεσα στις ημερομηνίες των δορυφορικών δεδομένων με τα επίγεια δεδομένα παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4 Αντιστοίχιση ημερομηνιών λήψης δορυφορικών και επίγειων δεδομένων.

Έτος	Ημερομηνία Λήψης Δορυφορικών Δεδομένων Αμπελώνα	Ημερομηνία Λήψης Επίγειων Δεδομένων στον Αμπελώνα
2015	16/07/2015	18/07/2015
	01/08/2015	30/07/2015
	02/09/2015	01/09/2015
2016	18/07/2016	16/07/2016
	03/08/2016	02/08/2016
	19/08/2016	17/08/2016
2017	14/07/2017	09/07/2017
	30/07/2017	26/07/2017
	15/08/2017	16/08/2017

5.6.3 Δείκτες Βλάστησης

5.6.3.1 Απλοί Δείκτες Βλάστησης

Για την παραγωγή των δεικτών βλάστησης με σκοπό την μη καταστροφική εκτίμηση ποσοτικών και ποιοτικών παραμέτρων της καλλιέργειας του επιτραπέζιου σταφυλιού χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από τον πολυφασματικό αισθητήρα φυλλώματος και από τον δορυφόρο. Συγκεκριμένα, προέκυψαν οι δείκτες βλάστησης NDVI, NDRE και GNDVI οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν για τους σκοπούς της διατριβής (Πίνακας 5 και Πίνακας 6).

Πίνακας 5 Δείκτες βλάστησης που χρησιμοποιήθηκαν στην διδακτορική διατριβή με βάση τον αισθητήρα φυλλώματος CropCircle.

Δείκτης Βλάστησης	Τύπος	Συγγραφέας
Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης	$NDVI = \frac{(\rho_{760} - \rho_{670})}{(\rho_{760} + \rho_{670})}$	Huete et al., 1997

Δείκτης Βλάστησης	Τύπος	Συγγραφέας
Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης στο Πράσινο Φάσμα 1	$GNDVI1 = \frac{(\rho_{760} - \rho_{550})}{(\rho_{760} + \rho_{550})}$	Chang et al., 2003
Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης στο Πράσινο Φάσμα 2	$GNDVI2 = \frac{(\rho_{760} - \rho_{532})}{(\rho_{760} + \rho_{532})}$	Chang et al., 2003
Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης στο Φάσμα του Ερυθρού Άκρου 1	$NDRE1 = \frac{(\rho_{760} - \rho_{730})}{(\rho_{760} + \rho_{730})}$	Rodriguez et al., 2006
Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης στο Φάσμα του Ερυθρού Άκρου 2	$NDRE2 = \frac{(\rho_{760} - \rho_{700})}{(\rho_{760} + \rho_{700})}$	Rodriguez et al., 2006

Πίνακας 6 Δείκτες βλάστησης που χρησιμοποιήθηκαν στην διδακτορική διατριβή με βάση τον δορυφόρο Landsat 8.

Δείκτης Βλάστησης	Τύπος	Συγγραφέας
Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης	$NDVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{RED})}{(\rho_{NIR} + \rho_{RED})}$	Huete et al., 1997
Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης στο Πράσινο	$GNDVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{GREEN})}{(\rho_{NIR} + \rho_{GREEN})}$	Chang et al., 2003

5.6.3.2 Σωρευτικοί Δείκτες Βλάστησης

Για τους σκοπούς της διατριβής, πραγματοποιήθηκε εκτίμηση των σωρευτικών δεικτών βλάστησης οι οποίοι βασίστηκαν στους δείκτες βλάστησης που μετρήθηκαν με τον αισθητήρα φυλλώματος CropCircle. Το πλεονέκτημα των σωρευτικών ΔΒ είναι ότι λαμβάνεται υπόψη η μεταβλητή φύση της καλλιεργητικής περιόδου, με αποτέλεσμα την καλύτερη συσχέτιση με την απόδοση της καλλιέργειας και την ποιότητα (Sun et al. 2017, Mirasi et al. 2019).

Οι σωρευτικοί ΔΒ υπολογίστηκαν με διανυσματική ανάλυση των μέσων τιμών των ΔΒ όπως περιγράφεται από τους Ricotta et al. (1999) με σκοπό την κανονικοποίηση της βαρύτητας των τιμών στο τελικό αποτέλεσμα. Οι σωρευτικών ΔΒ υπολογίστηκαν για τα φαινολογικά στάδια πριν από τον περκασμό (BBCH-65, BBCH-75, BBCH-79), μετά τον περκασμό (BBCH-81, BBCH-85, BBCH-89) και σε όλα τα φαινολογικά στάδια που μετρήθηκαν για κάθε υποτεμάχιο. Αυτό έγινε για να εκτιμηθεί η επίδραση της διακύμανσης της ευρωστίας του αμπελιού πριν και μετά τον περκασμό στις συσχετίσεις με την τελική απόδοση και τα χαρακτηριστικά της ποιότητας.

Πίνακας 7 Υπολογισμός των διαφορετικών σωρευτικών δεικτών βλάστησης για τις διαφορετικές φαινολογικές περιόδους.

Σωρευτικός Δείκτης Βλάστησης	Τύπος Υπολογισμού
BBCH 65 - BBCH 89	
$\Sigma \text{NDVI}_{\text{BBCH}65-89}$	$(\text{NDVI}_{\text{BBCH}-65}^2 + \text{NDVI}_{\text{BBCH}-75}^2 + \text{NDVI}_{\text{BBCH}-79}^2 + \text{NDVI}_{\text{BBCH}-81}^2 + \text{NDVI}_{\text{BBCH}-85}^2 + \text{NDVI}_{\text{BBCH}-89}^2)^{0.5}$
$\Sigma \text{GNDVI1}_{\text{BBCH}65-89}$	$(\text{GNDVI1}_{\text{BBCH}-65}^2 + \text{GNDVI1}_{\text{BBCH}-75}^2 + \text{GNDVI1}_{\text{BBCH}-79}^2 + \text{GNDVI1}_{\text{BBCH}-81}^2 + \text{GNDVI1}_{\text{BBCH}-85}^2 + \text{GNDVI1}_{\text{BBCH}-89}^2)^{0.5}$
$\Sigma \text{GNDVI2}_{\text{BBCH}65-89}$	$(\text{GNDVI2}_{\text{BBCH}-65}^2 + \text{GNDVI2}_{\text{BBCH}-75}^2 + \text{GNDVI2}_{\text{BBCH}-79}^2 + \text{GNDVI2}_{\text{BBCH}-81}^2 + \text{GNDVI2}_{\text{BBCH}-85}^2 + \text{GNDVI2}_{\text{BBCH}-89}^2)^{0.5}$
$\Sigma \text{NDRE1}_{\text{BBCH}65-89}$	$(\text{NDRE1}_{\text{BBCH}-65}^2 + \text{NDRE1}_{\text{BBCH}-75}^2 + \text{NDRE1}_{\text{BBCH}-79}^2 + \text{NDRE1}_{\text{BBCH}-81}^2 + \text{NDRE1}_{\text{BBCH}-85}^2 + \text{NDRE1}_{\text{BBCH}-89}^2)^{0.5}$
$\Sigma \text{NDRE2}_{\text{BBCH}65-89}$	$(\text{NDRE2}_{\text{BBCH}-65}^2 + \text{NDRE2}_{\text{BBCH}-75}^2 + \text{NDRE2}_{\text{BBCH}-79}^2 + \text{NDRE2}_{\text{BBCH}-81}^2 + \text{NDRE2}_{\text{BBCH}-85}^2 + \text{NDRE2}_{\text{BBCH}-89}^2)^{0.5}$
BBCH 65 - BBCH 79	
$\Sigma \text{NDVI}_{\text{BBCH}65-79}$	$(\text{NDVI}_{\text{BBCH}-65}^2 + \text{NDVI}_{\text{BBCH}-75}^2 + \text{NDVI}_{\text{BBCH}-79}^2)^{0.5}$
$\Sigma \text{GNDVI1}_{\text{BBCH}65-79}$	$(\text{GNDVI1}_{\text{BBCH}-65}^2 + \text{GNDVI1}_{\text{BBCH}-75}^2 + \text{GNDVI1}_{\text{BBCH}-79}^2)^{0.5}$
$\Sigma \text{GNDVI2}_{\text{BBCH}65-79}$	$(\text{GNDVI2}_{\text{BBCH}-65}^2 + \text{GNDVI2}_{\text{BBCH}-75}^2 + \text{GNDVI2}_{\text{BBCH}-79}^2)^{0.5}$
$\Sigma \text{NDRE1}_{\text{BBCH}65-79}$	$(\text{NDRE1}_{\text{BBCH}-65}^2 + \text{NDRE1}_{\text{BBCH}-75}^2 + \text{NDRE1}_{\text{BBCH}-79}^2)^{0.5}$
$\Sigma \text{NDRE2}_{\text{BBCH}65-79}$	$(\text{NDRE2}_{\text{BBCH}-65}^2 + \text{NDRE2}_{\text{BBCH}-75}^2 + \text{NDRE2}_{\text{BBCH}-79}^2)^{0.5}$
BBCH 81- BBCH 89	
$\Sigma \text{NDVI}_{\text{BBCH}81-89}$	$(\text{NDVI}_{\text{BBCH}-81}^2 + \text{NDVI}_{\text{BBCH}-85}^2 + \text{NDVI}_{\text{BBCH}-89}^2)^{0.5}$
$\Sigma \text{GNDVI1}_{\text{BBCH}81-89}$	$(\text{GNDVI1}_{\text{BBCH}-81}^2 + \text{GNDVI1}_{\text{BBCH}-85}^2 + \text{GNDVI1}_{\text{BBCH}-89}^2)^{0.5}$
$\Sigma \text{GNDVI2}_{\text{BBCH}81-89}$	$(\text{GNDVI2}_{\text{BBCH}-81}^2 + \text{GNDVI2}_{\text{BBCH}-85}^2 + \text{GNDVI2}_{\text{BBCH}-89}^2)^{0.5}$
$\Sigma \text{NDRE1}_{\text{BBCH}81-89}$	$(\text{NDRE1}_{\text{BBCH}-81}^2 + \text{NDRE1}_{\text{BBCH}-85}^2 + \text{NDRE1}_{\text{BBCH}-89}^2)^{0.5}$
$\Sigma \text{NDRE2}_{\text{BBCH}81-89}$	$(\text{NDRE2}_{\text{BBCH}-81}^2 + \text{NDRE2}_{\text{BBCH}-85}^2 + \text{NDRE2}_{\text{BBCH}-89}^2)^{0.5}$

5.7 Μετρήσεις Ποσοτικών και Ποιοτικών Χαρακτηριστικών

5.7.1 Μετρήσεις στον αμπελώνα

Για τις ανάγκες της δειγματοληψίας ο πειραματικός αγρός (1.4 εκτάρια) διαιρέθηκε σε 36 υποτεμάχια, όπως αναφέρθηκε. Λήφθησαν 50 ράγες από κάθε υποτεμάχιο τρεις φορές κατά την διάρκεια του περκασμού έως την τεχνολογική ωρίμαση, με σκοπό την παρακολούθηση της πορείας ωρίμασης. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία στην έναρξη του περκασμού (κλίμακα BBCH – 81), στη μέση του περκασμού (κλίμακα BBCH – 85) και στην τεχνολογική ωρίμαση των επιτραπέζιων σταφυλιών (κλίμακα BBCH – 89). Το μέγεθος της παραγωγής εκτιμήθηκε κατά τη διάρκεια της συγκομιδής, μετρώντας το συνολικό αριθμό των τελάρων ανά υποτεμάχιο και πολλαπλασιάζοντας τον με το μέσο καθαρό βάρος των συγκομιζόμενων επιτραπέζιων σταφυλιών ανά τελάρο.

5.7.2 Εργαστηριακές μετρήσεις

Οι αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο αφορούσαν τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά. Συγκεκριμένα, μετρήθηκαν το βάρος 50 ραγών, η διάμετρος των 50 ραγών, ο όγκος των 50 ραγών, τα ολικά διαλυτά στερεά συστατικά, η ολική οξύτητα, ο δείκτης οξύτητας (pH), η δύναμη συμπίεσης ράγας (ελαστική παραμόρφωση) και η δύναμη αποκοπής ράγας.

5.7.2.1 Βάρος 50 Ραγών

Ο προσδιορισμός του βάρους των 50 ραγών πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του ηλεκτρονικού ζυγού PCB-440 (KERN & SOHN GmbH, Balingen, Germany) με ακρίβεια ± 0.01 g (Εικόνα 21).



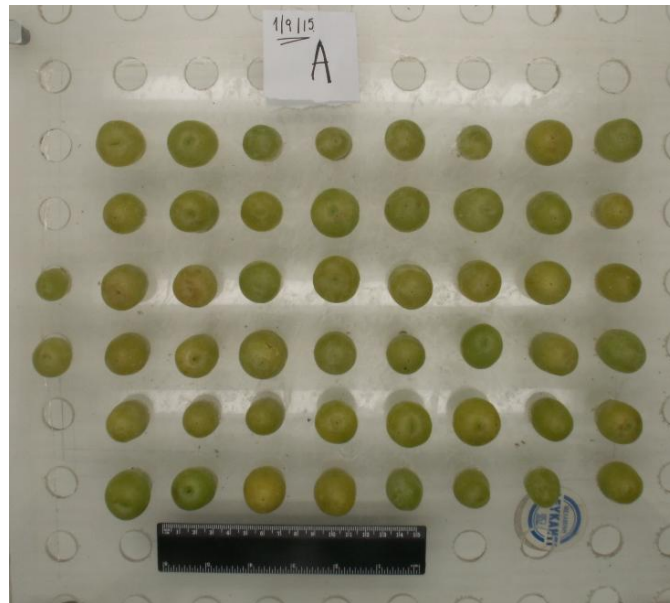
Εικόνα 21 Ηλεκτρονικός ζυγός PCB-440.

5.7.2.2 Διάμετρος Ράγας

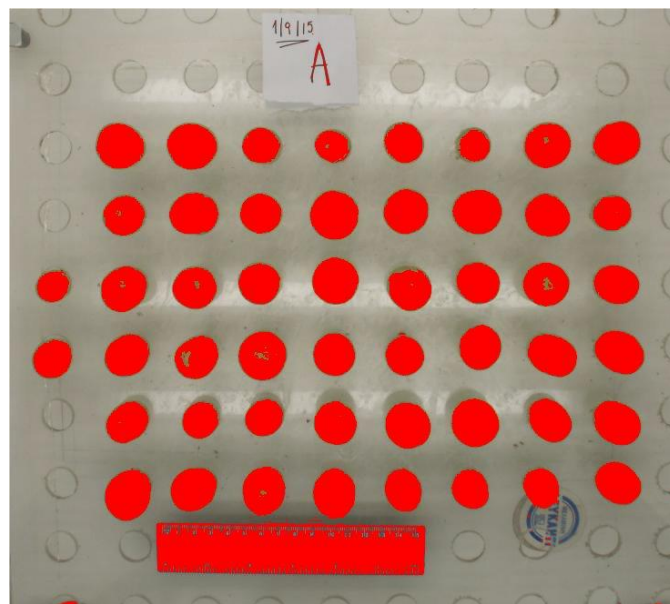
Ο υπολογισμός της μέσης διαμέτρου των 50 ραγών κάθε κελιού πραγματοποιήθηκε με τη χρήση ανάλυσης εικόνας. Συγκεκριμένα, οι ράγες τοποθετήθηκαν σε κατάλληλα διαμορφωμένη διαφανή επιφάνεια και φωτογραφήθηκαν με την χρήση της ψηφιακής κάμερας Dimage Z2 (Konica Minolta, Tokyo, Japan) και ανάλυσης εικόνας 4 MP.

Η διάμετρος των ραγών μετρήθηκε με την μέθοδο της ανάλυσης εικόνας στο πρόγραμμα ImageJ 1.46 (Research Services Branch, NIH, MD, USA). Συγκεκριμένα, όλες οι εικόνες ανά δειγματοληψία εισήχθησαν στο λογισμικό όπου αναγνωρίστηκαν από το πρόγραμμα με τη χρήση καθορισμένων ορίων του χρωματικού χώρου RGB. Ενώ μέσω γνωστής κλίμακας υπολογίστηκε η διάμετρος για κάθε ράγα της εικόνας, καθώς και με την οριοθέτηση αντικειμένων που παρουσιάζουν κυκλικότητα πάνω από 0.5 και επιφάνεια πάνω από 10 mm². Η μέτρηση της διαμέτρου των ραγών πραγματοποιήθηκε μέσα από την εκτέλεση της εντολής του υπολογισμού της διαμέτρου Feret. Η διάμετρος Feret αποτελεί ένα μέτρο μεγέθους αντικειμένου κατά μήκος μιας καθορισμένης κατεύθυνσης. Γενικά, μπορεί να οριστεί ως η απόσταση μεταξύ των δύο παράλληλων επιπέδων που περιορίζουν το αντικείμενο κάθετα προς την κατεύθυνση αυτή. Ως εκ τούτου ονομάζεται επίσης η διάμετρος της καλίμπρας, που αναφέρεται στη μέτρηση του μεγέθους του αντικειμένου με μία

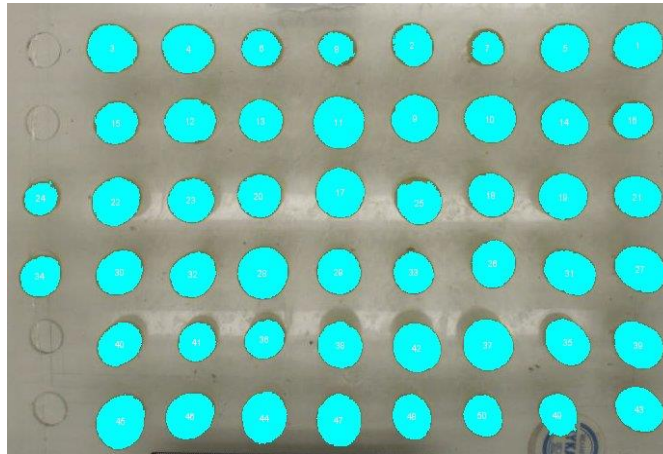
διάμετρο. Η διαδικασία επεξεργασίας των εικόνων με τις 50 ράγες παρουσιάζεται στις παρακάτω εικόνες (Εικόνα 22, Εικόνα 23 και Εικόνα 24).



Εικόνα 22 Αρχική εικόνα 50 ραγών στο πρόγραμμα ImageJ.



Εικόνα 23 Αναγνώριση αντικειμένων ανάμεσα σε καθορισμένα όρια του χρωματικού χώρου RGB στο πρόγραμμα ImageJ.



Εικόνα 24 Αναγνώριση ραγών με βάση την κυκλικότητα και τα όρια επιφανείας στο πρόγραμμα ImageJ.

5.7.2.3 Εκτίμηση ολικών διαλυτών στερεών συστατικών

Η μέτρηση των ολικών διαλυτών στερεών συστατικών (TSS-Total Soluble Solids) έγινε με ψηφιακό διαθλασίμετρο (μοντέλο SR-400) (Εικόνα 25) με ακρίβεια ± 0.25 °Brix και διακριτική ικανότητα $\pm 0.1\%$ °Brix. Για τη λήψη του δείγματος χυμού σταφυλιού, πραγματοποιήθηκε η ίδια μέθοδος με αυτή της μέτρησης της οξύτητας. Για τον υπολογισμό των ολικών διαλυτών στερεών συστατικών, ο χυμός διηθήθηκε σε διηθητικό χαρτί ώστε να μην υπάρχουν στερεά υπολείμματα, τα οποία θα οδηγούσαν σε λανθασμένη μέτρηση. Η βαθμονόμηση του οργάνου στην έναρξη της μέτρησης έγινε με τη χρήση απιονισμένου νερού (0 °Brix).



Εικόνα 25 Ψηφιακό διαθλασίμετρο SR400.

5.7.2.4 Μέτρηση Ολικής Οξύτητας

Η μέτρηση της ολικής οξύτητας πραγματοποιήθηκε με ψηφιακό οξύμετρο GMK-708 (G-won Hitech Co., Seoul, South Korea) (Εικόνα 26) ακρίβειας $\pm 0.05\%$ και σφάλμα διακριτικής ικανότητας $\pm 0.01\%$. Για τη λήψη χυμού σταφυλιού, οι 50 ράγες τοποθετούνταν στον αποχυμωτή και στη συνέχεια ζυγίζονταν το βάρος του χυμού. Αμέσως μετά λαμβανόταν δείγμα χυμού 0.33 ml με πιπέτα

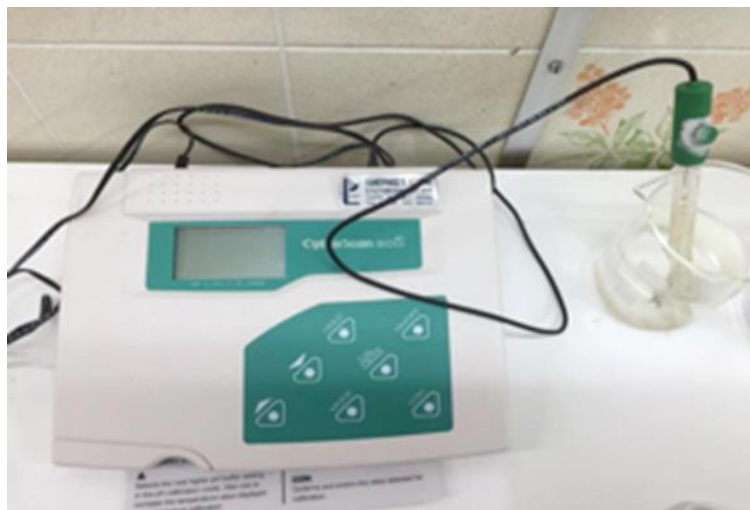
και ακολουθούσε αραιώση σε 20 ml απιονισμένου νερού. Η βαθμονόμηση του οργάνου γινόταν στην έναρξη των μετρήσεων με απιονισμένο νερό.



Εικόνα 26 Ψηφιακό οξύμετρο GMK 708.

5.7.2.5 Δείκτης οξύτητας – pH

Η μέτρηση του pH έγινε με τη βοήθεια ψηφιακού πεχάμετρου CyberScan pH 500 (Eutech Instruments Pte Ltd, Singapore) (Εικόνα 27) το οποίο ήταν εφοδιασμένο με ηλεκτρόδιο που περιείχε διάλυμα KCl 3.5M που στο κάτω άκρο έφερε σφαίρα υάλου. Το πεχάμετρο βυθιζόταν στο χυμό αφού είχε καθαριστεί πρώτα και αμέσως μετά τη λήψη της μέτρησης καθαριζόταν με απεσταγμένο νερό.



Εικόνα 27 Ψηφιακό πεχάμετρο εφοδιασμένο με ηλεκτρόδιο CyberScan pH 500.

5.7.2.6 Μέτρηση Συμπύεσης και Αποκοπής Ράγας

Σε δείγμα 25 ραγών, μετρήθηκε η δύναμη συμπίεσης θέτοντας ως όριο παραμόρφωσης το 1.0 mm και σταθερή ταχύτητα κίνησης 2 mm/min, και σε δείγμα 25 ραγών η δύναμη αποκοπής της κάθε ράγας από τον μίσχο με το όργανο μέτρησης Texture Analyser TA-XT2i (Stable Micro Systems Ltd, Surrey, United Kingdom) εφοδιασμένο με δίσκο συμπίεσης διαμέτρου 7 cm (Εικόνα 28). Η

μέτρηση αυτή πραγματοποιήθηκε σε κάθε στάδιο της πορείας ωρίμασης των ραγών. Επιπλέον, με το ίδιο όργανο μετρήθηκε και η δύναμη αποκοπής του μίσχου από την ράγα, τοποθετώντας ένα ειδικό εξάρτημα (τσιμπίδα) που επέτρεπε την ασφαλή αποκοπή του μίσχου χωρίς να γλιστράει μέχρι την ολοκληρωτική εξαγωγή του από την ράγα. Αυτή η μέτρηση πραγματοποιήθηκε κατά το στάδιο της τεχνολογικής ωρίμασης της ράγας.



Εικόνα 28 Ο αναλυτής υφής TA-XT2i εφοδιασμένος με τον δίσκο συμπίεσης.

5.7.2.7 Υπολογισμός Δείκτη Ωρίμασης Ράγας

Ο δείκτης ωρίμασης είναι σημαντικός για την αγορά επιτραπέζιων σταφυλιών και υπολογίστηκε διαιρώντας τα σάκχαρα με την ολική οξύτητα, όπως παρουσιάζεται στην παρακάτω εξίσωση (Muñoz-Robredo et al., 2011, Lo'ay, 2017).

$$\text{Δείκτης Ωρίμανσης} = \frac{\text{Συγκέντρωση σε Σάκχαρα}}{\text{Ολική Οξύτητα}}$$

5.8 Μεθοδολογία Σύντηξης Δεδομένων Υψηλής Ανάλυσης για Καθορισμό Ζωνών Διαχείρισης

Θεωρήθηκε σημαντικό να διερευνηθεί η δυνατότητα καθορισμού ζωνών διαχείρισης από ετερογενή δεδομένα υψηλής ανάλυσης, μέσα από την ανάπτυξη και εφαρμογή κατάλληλης μεθοδολογίας. Στις παρακάτω υποενότητες περιγράφεται η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε.

5.8.1 Χωρική Υποστήριξη αισθητήρων φυλλώματος και ηλεκτρικής αγωγιμότητας

Οι αισθητήρες Crop Circle και EM38 που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα είχαν διαφορετική χωρική υποστήριξη κατά τη διάρκεια του πειράματος. Συγκεκριμένα, η χωρική υποστήριξη του Crop Circle ήταν ένα σημείο διαμέτρου 0.4 m ενώ ο αισθητήρας EM38 είχε ένα σημείο διαμέτρου περίπου 1.0 m ως χωρική υποστήριξη. Η διάμετρος του σημείου του αισθητήρα Crop Circle εξαρτάται από την απόσταση του αισθητήρα από το αμπέλι, ενώ στον αισθητήρα EM38 η χωρική υποστήριξη καθορίζεται περίπου από την απόσταση μεταξύ των πηνίων του πομπού και του δέκτη. Ως εκ τούτου, αποφασίστηκε να αναφερθούν όλες οι εκτιμήσεις στο ίδιο μπλοκ 1.0 m x 1.0 m στην επιφάνεια χρησιμοποιώντας block cokriging και factorial block cokriging, για τη σύντηξη των δεδομένων και την περαιτέρω επεξεργασία τους.

5.8.2 Ανάλυση Δεδομένων

Η προσέγγιση που χρησιμοποίησαν οι Castrignanò et al., 2017 ακολουθήθηκε για την ανάλυση του ετερογενούς συνόλου δεδομένων. Αυτή η προσέγγιση ενσωματώνει τις ακόλουθες (γεω)στατιστικές διαδικασίες:

1. Διερευνητική ανάλυση δεδομένων

Τα βασικά στατιστικά δεδομένα υπολογίστηκαν για τις μεταβλητές της μελέτης, για να χαρακτηριστεί ο τύπος κατανομής των δεδομένων, και να αποφασιστεί εάν τα δεδομένα πρέπει να υποβληθούν σε αναμόρφωση (κανονικοποίηση) κατά Gauss.

2. Δείγμα μετεγκατάστασης δεδομένων

Για την εκτέλεση της πολυπαραγοντικής ανάλυσης στα διαφορετικά δεδομένα των αισθητήρων, που συλλέχθηκαν σε διαφορετικούς χρόνους, οι θέσεις συλλογής των ραδιομετρικών δεδομένων μετατοπίστηκαν στις πλησιέστερες θέσεις μέτρησης του EM38.

3. Μοντελοποίηση αναμόρφωσης κατά Gauss

Η αναμόρφωση των δεδομένων κατά Gauss πραγματοποιήθηκε για την ομαλοποίηση και τυποποίηση όλων των μεταβλητών σε μηδενική μέση τιμή και ενοποιημένη διακύμανση. Η αναμόρφωση κατά Gauss βοηθά στην επίλυση προβλημάτων, όπως i) εφαρμογή πολυπαραγοντικής προσέγγισης δεδομένων με διαφορετικό μέγεθος και μονάδα, και ii) εκτίμηση μοντέλων βαριογραμμμάτων με ακραία σημεία που προκαλούν πολύ υψηλή στρέβλωση της κατανομής. Η αναμόρφωση κατά Gauss είναι μια μαθηματική συνάρτηση, η οποία μετατρέπει μια μεταβλητή Y , με μια τυποποιημένη κατανομή Gauss, σε μια νέα μεταβλητή Z με οποιαδήποτε κατανομή:

$$Z(\mathbf{x}) = \varphi[Y(\mathbf{x})] \quad (1)$$

όπου x είναι το διάνυσμα των συντεταγμένων της θέσης. Η συνάρτηση $\varphi[Y(x)]$ πρέπει να είναι γνωστή κάθε τιμή κατά Gauss, και υπολογίζεται λύνοντας την πολυωνυμική συνάρτηση:

$$\varphi[Y(\mathbf{x})] = \sum_{i=0}^K \psi_i H_i[Y(\mathbf{x})] \quad (2)$$

όπου τα $H_i[Y(\mathbf{x})]$ καλούνται ως πολυώνυμα Hermite. Στην πράξη, το πολυωνυμικό ανάπτυγμα περικόπτεται σε μια γενικά υψηλή τάξη (k) (30-100) και τείνει να παρουσιάζει αντιστοιχία ένα-προς-ένα εντός του διαστήματος που ορίζεται από την ελάχιστη και τη μέγιστη τιμή του δείγματος. Η εφαρμογή του μοντέλου συνίσταται στον υπολογισμό των συντελεστών ψ_i του αναπτύγματος. Προκειμένου να μετασχηματιστεί η αρχική μεταβλητή σε μεταβλητή κατά Gauss, η συνάρτηση αναμόρφωσης πρέπει να αντιστραφεί (Castrignanò et al., 2017).

4. Εφαρμογή Συ-Χωρικού Γραμμικού Μοντέλου

Ένα συ-χωρικό γραμμικό μοντέλο (LMC) προσαρμόστηκε, για κάθε έτος ξεχωριστά, στα άμεσα και σταυρο-βαριογράμματα των 10 μετασχηματισμένων μεταβλητών κατά Gauss που περιλαμβάνουν: μεταβλητή ηλεκτρικής αγωγιμότητας εδάφους και 9 ραδιομετρικές μεταβλητές που αντιστοιχούν στις τρεις φασματικές ζώνες σε καθεμία από τις τρεις ημερομηνίες παρακολούθησης. Το LMC θεωρεί όλες τις n μελετημένες μεταβλητές ως αποτέλεσμα των ιδίων ανεξάρτητων φυσικών διεργασιών, που δρουν σε διαφορετικές χωρικές κλίμακες u . Τα $n(n+1)/2$ απλά και σταυρό-ημιβαριογράμματα των μεταβλητών μοντελοποιούνται με έναν γραμμικό συνδυασμό N_S τυποποιημένων ημιβαριογραμμάτων της μονάδας sill, $g^u(h)$, όπου h είναι το διάνυσμα υστέρησης και $g(h)$ μία από τις εγκεκριμένες μαθηματικές συναρτήσεις για το βαρόγραμμα (Wackernagel, 2003). Χρησιμοποιώντας τον πίνακα σημείωσης, το LMC μπορεί να γραφτεί ως:

$$\Gamma(h) = \sum_{u=1}^{N_S} B^u g^u(h) \quad (3)$$

όπου $\Gamma(h) = [\gamma_{ij}(h)]$ είναι η συμμετρική μήτρα της $n \times n$ τάξης, όπου τα διαγώνια και τα μη διαγώνια στοιχεία αντιπροσωπεύουν απλά και σταυρό-βαριογράμματα αντίστοιχα, $B^u = [b_{ij}^u]$ ονομάζεται η συ-χωρική μήτρα για κλίμακα u και η οποία πρέπει να είναι συμμετρικά θετική ημι-ορισμένη

μήτρα $n \times n$ τάξης με πραγματικά στοιχεία b_{ij}^u , τα οποία αντιπροσωπεύουν τα sills των βαριογραμμμάτων.

5. Block (Co)kriging και Αλλαγή Χωρικής Υποστήριξης

Όλα τα βαριογράμματα κανονικοποιήθηκαν (κατά μέσο όρο), προκειμένου να ληφθεί υπόψη η αλλαγή της χωρικής υποστήριξης, η οποία προκαλεί μείωση στην διακύμανση του sill του block βαριογράμματος (Castrignanò et al., 2017). Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε το block cokriging για την πρόβλεψη και για τη σωστή αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκύπτουν κατά την αλλαγή της χωρικής υποστήριξης. Το block cokriging μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίλυση των προβλημάτων που προκύπτουν από την αλλαγή της χωρικής υποστήριξης σημείο ανά σημείο αλλά και σημείο ανά block, αν και μπορεί εύκολα να επεκταθεί για να λύσει οποιοδήποτε είδος προβλημάτων που αφορούν την αλλαγή της χωρικής υποστήριξης. Η πρόβλεψη block cokriging στο μπλοκ B μπορεί να υπολογιστεί με:

$$Z(B) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i) \quad (4)$$

όπου τα βέλτιστα βάρη λ_i επιτυγχάνονται με την επίλυση εξισώσεων συστήματος cokriging που προκύπτουν από την ελαχιστοποίηση της πρόβλεψης του μέσου τετραγώνου σφάλματος, που υπόκειται σε περιορισμό αμεροληψίας. Η κύρια διαφορά μεταξύ σημειακού και block (co)kriging, συνίσταται στον υπολογισμό των κανονικοποιημένων βαριογραμμμάτων.

6. Factorial block cokriging

Τελικά, εφαρμόστηκε factorial block cokriging για να αναλυθεί η δομή συσχέτισης μεταξύ των μεταβλητών εφαρμόζοντας ανάλυση βασικών συστατικών (PCA) σε κάθε μήτρα συ-χωρικής ανάλυσης για συγκεκριμένη χωρική κλίμακα u . Σε κάθε κλίμακα (εξαιρουμένου του nugget) διατηρήθηκαν μόνο οι χωρικοί παράγοντες, που αντιστοιχούν σε ιδιοτιμές μεγαλύτερες από ένα, επειδή εξήγησαν ένα ποσοστό διακύμανσης μεγαλύτερο από αυτό που εξηγείται από κάθε μεταβλητή που τυποποιήθηκε για μοναδιαία διακύμανση. Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε παρεμβολή στους χωρικούς παράγοντες χρησιμοποιώντας ένα τροποποιημένο σύστημα cokriging (Castrignanò et al., 2000, Wackernagel, 2013), στο ίδιο πλέγμα block για cokriging. Η χαρτογράφηση των διατηρούμενων χωρικών παραγόντων παρέχει μια συνθετική απεικόνιση της κοινής συμπεριφοράς των μεταβλητών και των χωρικών σχέσεων τους σε διαφορετικές χωρικές κλίμακες.

Όλες οι γεωστατιστικές τεχνικές εφαρμόστηκαν στα μετασχηματισμένα δεδομένα. Στο τέλος, οι εκτιμήσεις αναμορφώθηκαν στις αρχικές τιμές των μεταβλητών μέσω των συναρτήσεων αναμόρφωσης που είχαν προηγουμένως υπολογιστεί.

5.9 Επεξεργασία δεδομένων και στατιστική ανάλυση

Ο έλεγχος των δεδομένων πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό Excel 2016 της πλατφόρμας εφαρμογών Office 2016 (Microsoft Inc., Redmond, USA). Επίσης σε αυτό το λογισμικό πραγματοποιήθηκε η επεξεργασία τους σε κατάλληλη μορφή για χρήση σε λογισμικά στατιστικής επεξεργασίας και δημιουργίας χαρτών αλλά και για την δημιουργία των δεικτών βλάστησης. Συγκεκριμένα, οι χάρτες δημιουργήθηκαν χρησιμοποιώντας το λογισμικό ArcGIS 10.2 (ESRI Inc., Redlands, USA) για τα τρία χρόνια μελέτης. Η στατιστική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με το στατιστικό λογισμικό Statgraphics 16 (StatPoint Technologies Inc., Warrenton, USA). Η στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε περιλάμβανε περιγραφική στατιστική, συσχέτιση κατά Pearson και μοντέλα παλινδρόμησης.

Επιπλέον, για τον καθορισμό ζωνών διαχείρισης χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά Management Zone Analyst 1.0.1 (MZA) (University of Missouri, Columbia, USA) και Isatis 2017.1 (Geovariances, Avon Cedex, France). Συγκεκριμένα, στο Isatis πραγματοποιήθηκε γεωστατιστική ανάλυση που περιελάμβανε περιγραφική στατιστική και παραγοντική ανάλυση και εφαρμογή block cokriking και factorial block cokriking. Τέλος, μέσω του Isatis έγινε προβολή των χαρτών των ζωνών διαχείρισης.

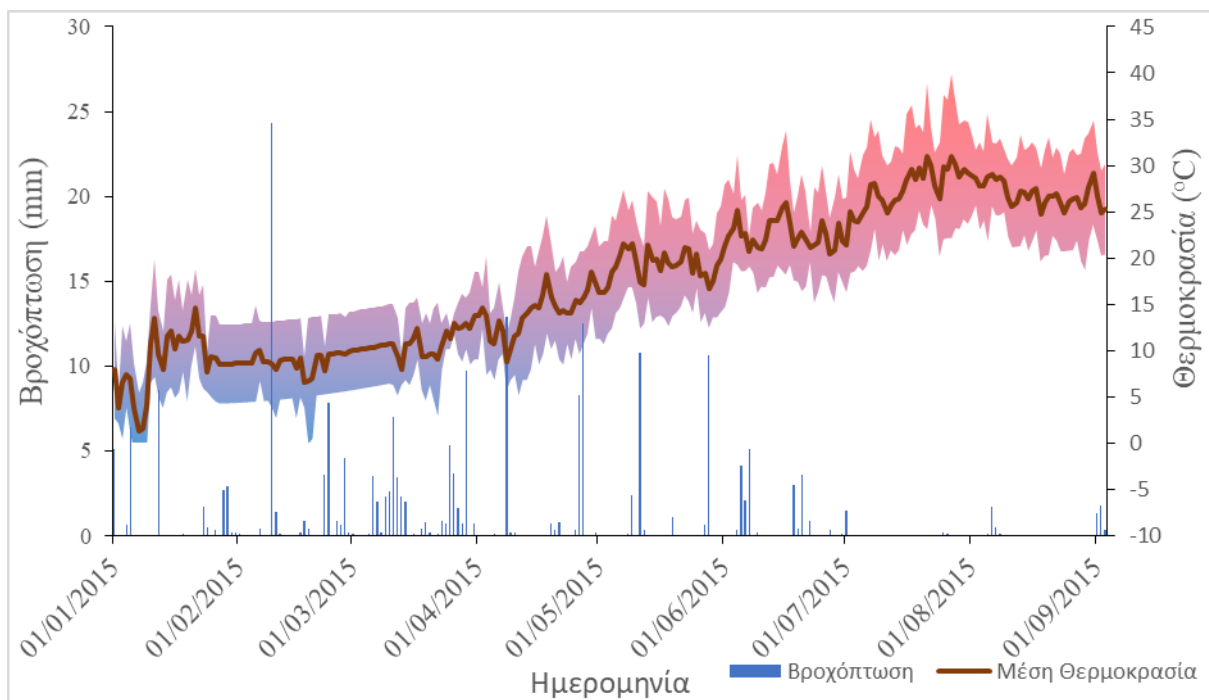
6 Αποτελέσματα

6.1 Περιγραφική Στατιστική

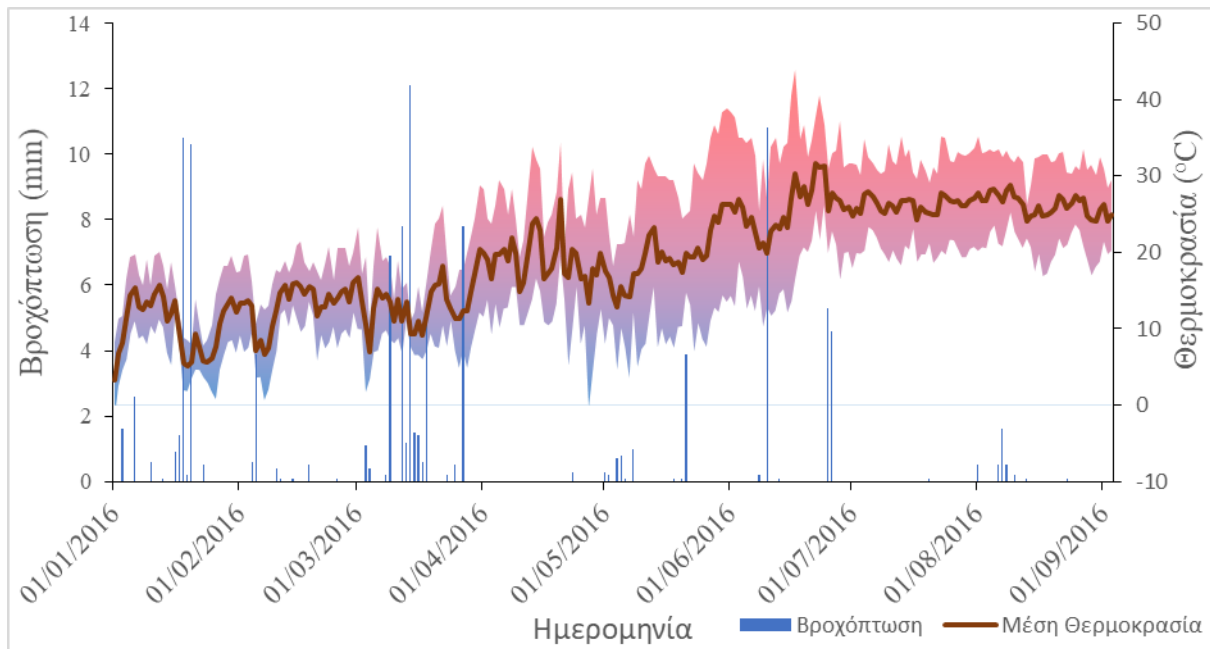
Τα αποτελέσματα της περιγραφικής στατιστικής για τις διάφορες κατηγορίες παραμέτρων που μετρήθηκαν στον πειραματικό αγρό παρουσιάζονται στα παρακάτω υποκεφάλαια.

6.1.1 Καιρικά Δεδομένα

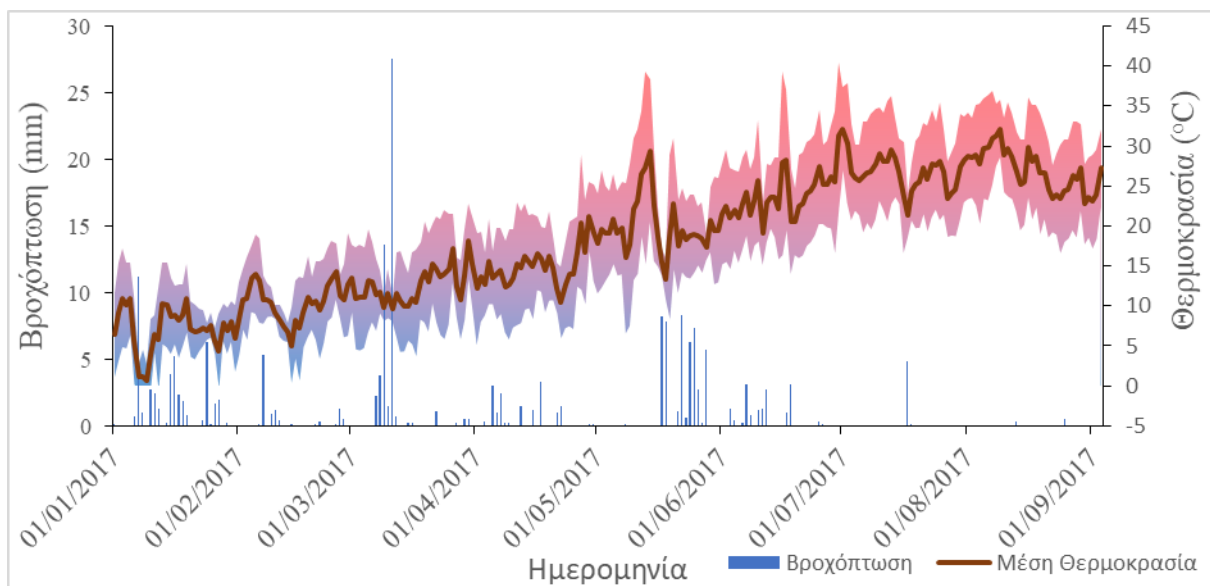
Στα παρακάτω γραφήματα παρατίθενται τα μετεωγράμματα της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης για τα τρία έτη των μετρήσεων (Γράφημα 1, Γράφημα 2 και Γράφημα 3). Παράλληλα, στον Πίνακα 8 παρουσιάζονται τα σημαντικότερα μετεωρολογικά δεδομένα και οι βαθμομέρες για όλη την καλλιεργητική περίοδο αλλά και για τα σημαντικότερα φαινολογικά διαστήματα (άνοιγμα των οφθαλμών [BBCH-08] έως την τεχνολογική ωρίμαση [BBCH-89] αλλά και για τις περιόδους άνοιγμα οφθαλμών – τεχνολογική ωρίμαση [BBCH 08 – BBCH 89], άνοιγμα οφθαλμών – άνθηση [BBCH 08 – BBCH 65], άνθηση – περκασμός [BBCH 65 – BBCH 81], περκασμός – τεχνολογική ωρίμαση [BBCH 81 – BBCH 89]).



Γράφημα 1 Μετεωγράμμα πειραματικού αγρού για το έτος 2015.



Γράφημα 2 Μετεώγραμα πειραματικού αγρού για το έτος 2016.



Γράφημα 3 Μετεώγραμα πειραματικού αγρού για το έτος 2017.

Πίνακας 8 Κλιματικές παράμετροι για διάφορα φαινολογικά διαστήματα.

Κλιματικές Παράμετροι	Φαινολογικά Διαστήματα			
	BBCH 08 – BBCH 65	BBCH 65 – BBCH 79	BBCH 81 – BBCH 89	BBCH 08 – BBCH 89

2015				
Βαθμοημέρες	394.4	729.1	850.7	1974.2
Μέγιστη Θερμοκρασία (°C)	20.0	28.2	33.0	26.2
Ελάχιστη Θερμοκρασία (°C)	10.6	17.9	22.4	16.2
Μέση Θερμοκρασία (°C)	15.3	23.0	27.7	21.2
Βροχόπτωση (mm)	76.0	32.8	5.8	114.6
2016				
Βαθμοημέρες	414.8	1011.3	540.4	1966.5
Μέγιστη Θερμοκρασία (°C)	24.2	32.5	32.2	29.7
Ελάχιστη Θερμοκρασία (°C)	10.1	15.6	20.5	14.8
Μέση Θερμοκρασία (°C)	17.1	24.1	26.4	22.2
Βροχόπτωση (mm)	17.9	26.1	3.5	46.5
2017				
Βαθμοημέρες	425.8	843.5	557.6	1826.9
Μέγιστη Θερμοκρασία (°C)	22.4	29.2	33.0	27.4
Ελάχιστη Θερμοκρασία (°C)	10.2	17.5	21.9	15.5
Μέση Θερμοκρασία (°C)	16.3	23.4	27.4	21.5
Βροχόπτωση (mm)	18.2	68.5	5.2	87.1

Από τα παραπάνω αποτελέσματα, είναι κατανοητό ότι οι τρεις χρονιές που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις παρουσίασαν διαφορές μεταξύ τους. Συγκεκριμένα, όσον αφορά τη χρονική περίοδο από την έκπτυξη των οφθαλμών μέχρι την άνθηση, οι ελάχιστες θερμοκρασίες ήταν παραπλήσιες (10.2 – 10.6 °C) ενώ οι μέγιστες θερμοκρασίες εμφάνισαν μεγαλύτερο εύρος (από 20 έως 24.2 °C). Όμως, η βροχόπτωση που πραγματοποιήθηκε σε αυτό το διάστημα ήταν σημαντικά διαφορετική με το 2015 να είναι 76 mm έναντι 17.9 mm για το 2016 και 18.2 mm για το 2017. Παραπλήσιες ήταν και οι τιμές των βαθμοημερών για αυτό το διάστημα και για τα τρία έτη (394.4 για το 2015, 414.8 για το 2016 και 425.8 για το 2017).

Σχετικά με το φαινολογικό διάστημα από την άνθηση έως τον περκασμό, η μέση μέγιστη θερμοκρασία για το 2016 ήταν υψηλή (32.5 °C), σε σύγκριση με το 2015 και το 2017, όπου ήταν χαμηλότερη από 30 °C (28.2 °C και 29.2 °C αντίστοιχα). Αυτή η διαφορά παρουσιάζεται και στις βαθμοημέρες αυτής της περιόδου (1011.3 για το 2016 έναντι 729.1 για το 2015 και 843.5 για το 2017). Αντίστοιχα, η μέση ελάχιστη θερμοκρασία ήταν χαμηλότερη για το 2016 (15.7 °C) σε σχέση με τα άλλα έτη που εμφάνισαν παραπλήσιες τιμές (17.9 °C για το 2015 και 17.5 °C για το 2017). Τέλος, το 2017 ήταν η πιο βροχερή χρονιά για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα με 68.5 mm έναντι 32.8 mm για το 2015 και 26.1 mm για το 2016.

Όσον αφορά το χρονικό διάστημα από τον περκασμό έως την τεχνολογική ωρίμαση, παρατηρείται ότι οι κλιματολογικές συνθήκες και στα τρία έτη είναι παραπλήσιες, χωρίς να παρουσιάζουν

σημαντικές διαφορές όπως φαίνεται και στον Πίνακα 5. Αξίζει να αναφερθεί, ότι η συγκομιδή το 2015 πραγματοποιήθηκε στις 2 Σεπτεμβρίου, το οποίο χρονικό σημείο είναι δυο εβδομάδες αργότερα σε σχέση με την συγκομιδή του 2016 και του 2017. Αυτό συνέβη εξαιτίας του μειωμένου ρυθμού αύξησης των σακχάρων στο σταφύλι σε σχέση με τα άλλα έτη, με αποτέλεσμα την καθυστέρηση της συγκομιδής έτσι ώστε να πληροί τα εμπορικά κριτήρια. Ο μειωμένος ρυθμός μπορεί να οφείλεται σε διαταραχή συσσώρευσης σακχάρων, το οποίο αυτήν τη στιγμή μελετάται για την ακριβή αιτία που το προκαλεί. Έρευνες αναφέρουν ότι μπορεί να οφείλεται σε παθογόνους οργανισμούς (Kong et al., 2020), σε ανατομικά προβλήματα που προκαλούνται από τον μεταβολισμό των θρεπτικών στοιχείων (Crespo-Martinez et al., 2019), αλλά και στις καιρικές συνθήκες (Krasnow et al., 2010).

Συνολικά μπορεί να αναφερθεί ότι υπήρξαν διαφορετικές καιρικές συνθήκες για κάθε έτος με διαφορετικά ειδικά χαρακτηριστικά για τα διαφορετικά φαινολογικά διαστήματα. Συγκεκριμένα, στο 2016 παρουσιάστηκε το μεγαλύτερο θερμοκρασιακό εύρος (14.9 °C) για όλη την παραγωγική περίοδο σε σχέση με το 2015 (10 °C) και το 2017 (11.9 °C). Αξίζει να αναφερθεί ότι το 2016 ήταν το έτος με τη μεγαλύτερη μέση μέγιστη θερμοκρασία (29.7 °C), που ήταν υψηλότερο έως 3.5 °C σε σύγκριση με το 2015 και το 2017. Αντίστοιχα, το 2015 σημειώθηκε η μεγαλύτερη ποσότητα βροχής με 114.6 mm, με το 2016 να είναι το πιο άνυδρο έτος με 46.5 mm, ενώ το 2017 η συνολική βροχόπτωση ήταν 87.1 mm.

6.1.2 Εδαφολογικά Δεδομένα

Η περιγραφική στατιστική της εδαφολογικής ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε για τα 36 υποτεμάχια παρουσιάζεται στον Πίνακα 9, ενώ στην Εικόνα 29 παρουσιάζεται με κόκκινα σημεία η υφή του εδάφους για κάθε υποτεμάχιο στο τρίγωνο μηχανικής σύστασης, και στην Εικόνα 30 αντίστοιχα ο χάρτης με την υφή του εδάφους ανά υποτεμάχιο. Αναλυτικά τα αποτελέσματα για κάθε δειγματοληψία εδάφους παρουσιάζονται στο Παράρτημα.

Πίνακας 9 Περιγραφική στατιστική ανάλυσης εδαφών από τα 36 υποτεμάχια του πειραματικού αγρού.

Παράμετρος	Ελάχιστη	Μέγιστη	Μέση	Τυπική	CV (%)
	Τιμή	Τιμή	Τιμή	Απόκλιση	
Άργιλος (%)	18.50	48.80	33.36	5.76	17.27
Άμμος (%)	20.60	74.90	40.11	12.09	30.15
Ιλύς (%)	6.60	41.70	26.53	9.34	35.20
Οργανική Ουσία (%)	0.273	4.37	1.70	0.99	58.34
Διαθέσιμο Νερό (%)	10.30	17.70	12.75	1.42	11.17
Υδατοϊκανότητα (%)	26.80	41.60	33.64	0.57	10.08
Σημείο Μόνιμης Μάρανσης (%)	14.20	29.20	20.89	0.51	14.67
Ανθρακικό Ασβέστιο (CaCO ₃) (%)	34.44	83.16	63.48	8.65	13.62
pH	7.28	8.17	7.58	0.16	2.10

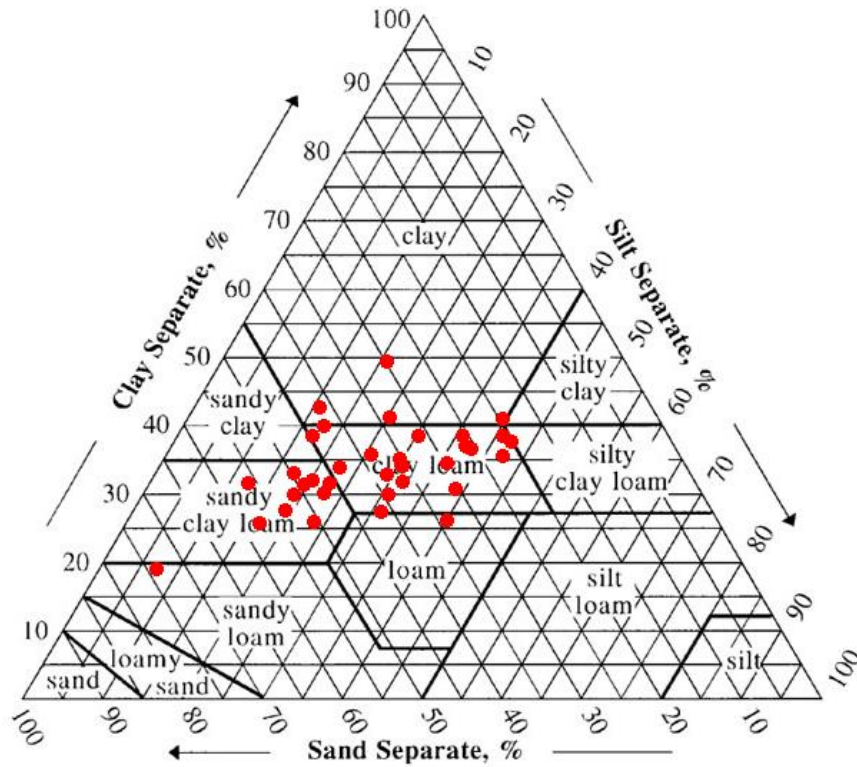
Παράμετρος	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση	CV (%)
Ηλεκτρική Αγωγιμότητα Εδάφους (mS/m)	34.00	141.00	64.33	26.4	41.04

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, στον πειραματικό αγρό υπάρχουν έξι διαφορετικοί τύποι εδαφών που περιλαμβάνουν βαριάς (αργιλώδη, αργιλοπηλώδη), μέσης (αμμοαργιλοπηλώδη, πηλώδη, αμμοαργιλώδη) και ελαφριάς σύστασης εδάφη (αμμοπηλώδη). Ο κυρίαρχος τύπος εδάφους για τον πειραματικό αγρό είναι το αργιλοπηλώδες με δεύτερο σημαντικότερο το αμμοαργιλοπηλώδες.

Συγκεκριμένα, για τις παραμέτρους του εδάφους, η άργιλος εμφάνισε ποσοστά που κυμάνθηκαν από 18.50 % έως 48.80 %, η άμμος από 20.60 % έως 74.90 % και η ιλύς από 6.60 % έως 41.70 % ενώ η οργανική ουσία είχε ελάχιστη τιμή τα 0.273 % έως το 4.37% στα 36 δείγματα που συλλέχθηκαν. Από τα παραπάνω, είναι κατανοητό ότι τα δείγματα εμφάνισαν μεγάλη παραλλακτικότητα μεταξύ τους, με τη μεγαλύτερη να εμφανίζεται στην οργανική ουσία (58.34 %) και τη χαμηλότερη στην άργιλο (17.27 %).

Από την παραπάνω ανάλυση, προέκυψε ότι το διαθέσιμο νερό κυμάνθηκε από 10.30 % έως 17.70 %, εμφανίζοντας μικρή σχετικά παραλλακτικότητα (11.17 %), ενώ το σημείο μόνιμης μάρανσης και η υδατοϊκανότητα κυμάνθηκαν από 14.20 % έως 29.20 % (14.67 % ποσοστό παραλλακτικότητας) και 26.80 % έως 41.60 % (10.08 % παραλλακτικότητα) αντίστοιχα.

Όσον αφορά το ποσοστό ανθρακικού ασβεστίου στο έδαφος, ήταν από 34.44 % έως 83.16 %, παρουσιάζοντας σχετικά μικρή παραλλακτικότητα (13.62 %), ενώ το pH ήταν ουδέτερο προς ελαφρά βασικό (από 7.28 έως 8.17), με πολύ χαμηλή παραλλακτικότητα (2.10 %). Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους εμφάνισε υψηλή παραλλακτικότητα με 41.04 %, ενώ το εύρος της κυμάνθηκε από 34 έως 141 mS/m.

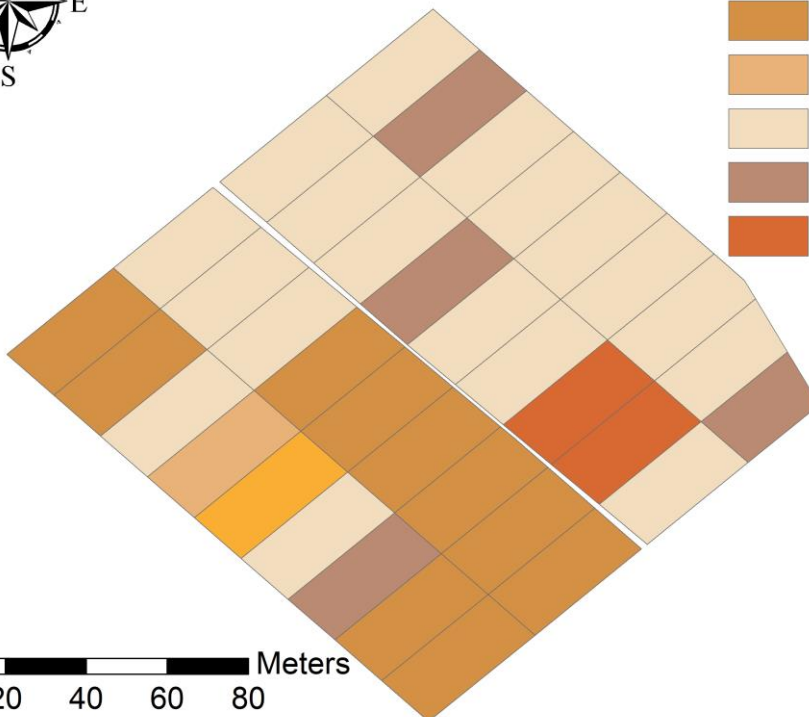


Εικόνα 29 Καταμερισμός υφής εδάφους κάθε υποτεμαχίου του πειραματικού αμπελώνα.



Υφή Εδάφους

- Αμμοαργιλώδες
- Αμμοαργιλοπηλώδες
- Αμμοπηλώδες
- Αργιλοπηλώδες
- Αργιλώδες
- Πηλώδες



Εικόνα 30 Χάρτης χωρικής παραλλακτικότητας υφής εδάφους ανά υποτεμάχιο.

6.1.3 Φασματικά Δεδομένα

6.1.3.1 Δεδομένα από Φασματικό Αισθητήρα Φυλλώματος

6.1.3.1.1 Απλοί Δείκτες Βλάστησης

Η περιγραφική στατιστική των απλών ΔΒ που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στους επόμενους πίνακες και διαγράμματα.

Πίνακας 10 Περιγραφική στατιστική φασματικών δεικτών βλάστησης ανά φαινολογικό στάδιο για το 2015.

Παράμετρος	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση	CV (%)
NDVI BBCH-65	0.748	0.814	0.791	0.014	1.76
GNDVI1 BBCH-65	0.579	0.694	0.654	0.024	3.62
GNDVI2 BBCH-65	0.801	0.941	0.884	0.035	3.99
NDRE1 BBCH-65	0.293	0.326	0.309	0.008	2.53
NDRE2 BBCH-65	0.709	0.801	0.770	0.019	2.47
NDVI BBCH-75	0.772	0.843	0.837	0.016	1.87
GNDVI1 BBCH-75	0.624	0.733	0.718	0.022	3.09
GNDVI2 BBCH-75	0.844	0.926	0.882	0.018	2.06
NDRE1 BBCH-75	0.268	0.427	0.323	0.033	10.11
NDRE2 BBCH-75	0.747	0.824	0.810	0.015	1.83
NDVI BBCH-79	0.681	0.844	0.758	0.043	5.64
GNDVI1 BBCH-79	0.451	0.836	0.589	0.082	13.66
GNDVI2 BBCH-79	0.852	0.982	0.943	0.039	4.20
NDRE1 BBCH-79	0.207	0.482	0.343	0.047	13.80
NDRE2 BBCH-79	0.624	0.872	0.720	0.057	7.81
NDVI BBCH-81	0.785	0.832	0.817	0.013	1.56
GNDVI1 BBCH-81	0.582	0.760	0.661	0.043	6.49
GNDVI2 BBCH-81	0.635	0.790	0.703	0.039	5.47
NDRE1 BBCH-81	0.304	0.341	0.322	0.009	2.71
NDRE2 BBCH-81	0.712	0.840	0.768	0.031	3.98
NDVI BBCH-85	0.764	0.824	0.810	0.013	1.59
GNDVI1 BBCH-85	0.339	0.709	0.547	0.074	13.47
GNDVI2 BBCH-85	0.408	0.736	0.590	0.067	11.25
NDRE1 BBCH-85	0.258	0.333	0.302	0.019	6.33
NDRE2 BBCH-85	0.473	0.792	0.665	0.062	9.39
NDVI BBCH-89	0.753	0.808	0.785	0.015	1.90
GNDVI1 BBCH-89	0.535	0.742	0.644	0.049	7.76
GNDVI2 BBCH-89	0.588	0.770	0.687	0.046	6.71
NDRE1 BBCH-89	0.222	0.328	0.288	0.022	7.83
NDRE2 BBCH-89	0.645	0.811	0.736	0.040	5.51

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα για το 2015, ο δείκτης GNDVI2 παρουσίασε την υψηλότερη μέση τιμή για τα φαινολογικά στάδια από την άνθηση μέχρι το κλείσιμο των σταφυλιών (BBCH-65

έως BBCH-79) συγκριτικά με τους άλλους τέσσερις δείκτες βλάστησης. Στα επόμενα φαινολογικά στάδια που αφορούν την έναρξη του περκασμού έως την τεχνολογική ωρίμαση του επιτραπέζιου σταφυλιού (BBCH-81 έως BBCH-89), ο δείκτης NDVI παρουσίασε τις υψηλότερες μέσες τιμές ανάμεσα στους πέντε υπό μέτρηση δείκτες βλάστησης. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από τον καταβολισμό που υφίστανται τα φύλλα κατά την γήρανση, και συγκεκριμένα από την μείωση των συγκεντρώσεων των χλωροφυλλών και των καροτενοειδών. Πιο ειδικά, η μείωση της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης είναι ταχύτερη σε σχέση με τη μείωση στη συγκέντρωση των καροτενοειδών, με αποτέλεσμα να μεταχρωματίζεται το φύλλο (Biswal, 1995) και η ανάκλαση στην πράσινη περιοχή να είναι υψηλότερη σε σχέση με την κόκκινη περιοχή εξαιτίας της διαφοράς στη συγκέντρωση των συστατικών των φύλλων (Féret et al., 2017, Kuska et al., 2018, Cui et al., 2019), και κατά συνέπεια ο δείκτης NDVI να έχει υψηλότερες τιμές σε σχέση με τον δείκτη GNDVI1 και GNDVI2. Επιπλέον, οι Ding et al. (2010) παρουσίασαν την ιδέα της μετακίνησης του ποσοστού ανάκλασης στην «πράσινη κορυφή» και στην «κόκκινη κοιλάδα», η οποία οφείλεται στα διαφορετικά φαινολογικά στάδια αλλά και στις διαφορετικές συγκεντρώσεις συστατικών των φύλλων (π.χ. χλωροφύλλης), που μπορεί να δικαιολογηθεί από βιοτικές και αβιοτικές καταπονήσεις που υφίσταται η καλλιέργεια. Όσον αφορά τα εύρη του συντελεστή παραλλακτικότητας, αυτά κυμάνθηκαν από 1.56% έως 13.8% υποδηλώνοντας μικρό ποσοστό παραλλακτικότητας ανάμεσα στα διαφορετικά υποτεμάχια κατά την διάρκεια του έτους.

Πίνακας 11 Περιγραφική στατιστική φασματικών δεικτών βλάστησης ανά φαινολογικό στάδιο για το 2016

Παράμετρος	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση	CV (%)
NDVI BBCH-65	0.710	0.812	0.799	0.017	2.12
GNDVI1 BBCH-65	0.229	0.703	0.643	0.089	13.80
GNDVI2 BBCH-65	0.669	0.864	0.812	0.033	4.05
NDRE1 BBCH-65	0.247	0.267	0.256	0.005	2.03
NDRE2 BBCH-65	0.688	0.882	0.838	0.035	4.17
NDVI BBCH-75	0.829	0.852	0.843	0.006	0.67
GNDVI1 BBCH-75	0.475	0.655	0.604	0.031	5.13
GNDVI2 BBCH-75	0.686	0.822	0.734	0.030	4.09
NDRE1 BBCH-75	0.330	0.467	0.362	0.024	6.64
NDRE2 BBCH-75	0.752	0.851	0.787	0.022	2.76
NDVI BBCH-79	0.705	0.931	0.820	0.047	5.78
GNDVI1 BBCH-79	0.491	0.641	0.601	0.035	5.79
GNDVI2 BBCH-79	0.535	0.809	0.681	0.067	9.80
NDRE1 BBCH-79	0.068	0.792	0.361	0.168	46.49
NDRE2 BBCH-79	0.606	0.839	0.732	0.057	7.73
NDVI BBCH-81	0.698	0.838	0.801	0.032	4.06

Παράμετρος	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση	CV (%)
GNDVI1 BBCH-81	0.658	0.691	0.674	0.008	1.16
GNDVI2 BBCH-81	0.369	0.812	0.690	0.088	12.68
NDRE1 BBCH-81	0.000	0.356	0.244	0.071	29.31
NDRE2 BBCH-81	0.351	0.834	0.711	0.109	15.40
NDVI BBCH-85	0.717	0.811	0.773	0.025	3.19
GNDVI1 BBCH-85	0.571	0.718	0.652	0.035	5.38
GNDVI2 BBCH-85	0.622	0.794	0.701	0.034	4.79
NDRE1 BBCH-85	0.326	0.380	0.354	0.012	3.38
NDRE2 BBCH-85	0.676	0.826	0.729	0.031	4.29
NDVI BBCH-89	0.623	0.836	0.779	0.040	5.16
GNDVI1 BBCH-89	0.390	0.716	0.607	0.072	11.83
GNDVI2 BBCH-89	0.429	0.756	0.658	0.071	10.73
NDRE1 BBCH-89	0.332	0.398	0.368	0.017	4.73
NDRE2 BBCH-89	0.530	0.783	0.716	0.050	7.04

Σε αντίθεση με το 2015, κατά το έτος 2016, ο δείκτης NDVI παρουσίασε τις υψηλότερες μέσες τιμές για όλα τα φαινολογικά στάδια του αμπελιού εκτός από το στάδιο της άνθησης (BBCH -65), όπου η υψηλότερη τιμή παρουσιάστηκε από τον δείκτη NDRE2. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην χαμηλότερη ανάκλαση του φύλλου στα 700 nm σε σχέση με τις άλλες φασματικές περιοχές, η οποία προκλήθηκε από την καταπόνηση των φυτών (Kuska et al., 2018) εξαιτίας της υψηλής για την εποχή θερμοκρασίας. Ο συντελεστής παραλλακτικότητας παρουσίασε μεγαλύτερη διακύμανση (από 2.03% έως 46.49%) σε σχέση με το 2015. Αυτό κυρίως οφείλεται στο δείκτη NDRE1 κατά τα στάδια κλεισίματος του σταφυλιού (BBCH-79) και έναρξης του περκασμού (BBCH-81), τα οποία αφορούν την περίοδο εμφάνισης υψηλών θερμοκρασιών για την εποχή. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η περιοχή του ακραίου κόκκινου παρουσιάζει ραγδαία μεταβολή της ανάκλασης, η οποία εντείνεται σε περιπτώσεις καταπόνησης όπως είναι η θερμική, και η οποία οδηγεί σε διαφορετικές συγκεντρώσεις των συστατικών των φύλλων (π.χ. χλωροφύλλη) (Filella and Penuelas, 1998).

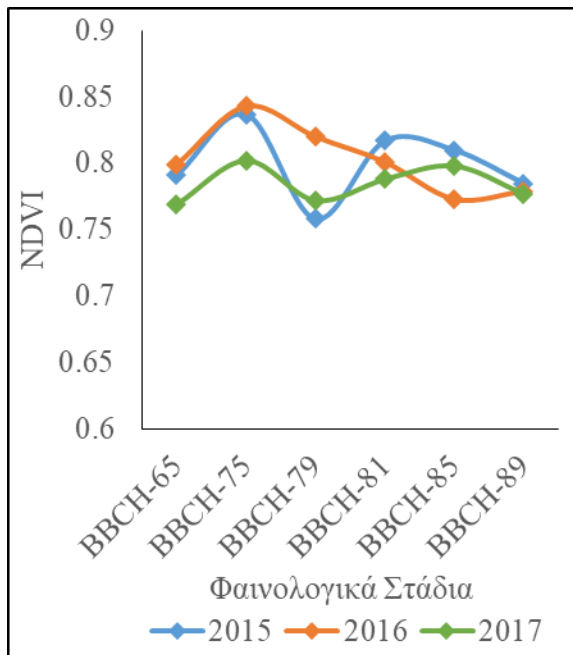
Πίνακας 12 Περιγραφική στατιστική φασματικών δεικτών βλάστησης ανά φαινολογικό στάδιο για το 2017.

Παράμετρος	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση	CV (%)
NDVI BBCH-65	0.731	0.824	0.769	0.022	2.80
GNDVI1 BBCH-65	0.533	0.706	0.630	0.046	7.37
GNDVI2 BBCH-65	0.259	0.753	0.655	0.104	15.83
NDRE1 BBCH-65	-0.178	0.420	0.269	0.116	43.06
NDRE2 BBCH-65	0.547	0.732	0.688	0.039	5.65
NDVI BBCH-75	0.721	0.850	0.802	0.022	2.79

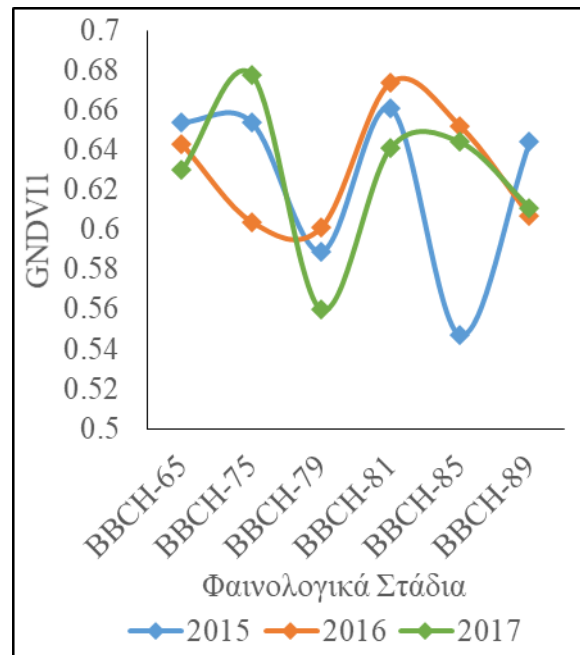
Παράμετρος	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση	CV (%)
GNDVI1 BBCH-75	0.571	0.749	0.678	0.043	6.34
GNDVI2 BBCH-75	0.567	0.752	0.680	0.042	6.23
NDRE1 BBCH-75	0.123	0.426	0.287	0.078	27.36
NDRE2 BBCH-75	0.637	0.752	0.726	0.021	2.90
NDVI BBCH-79	0.686	0.787	0.772	0.017	2.20
GNDVI1 BBCH-79	0.279	0.704	0.560	0.077	13.65
GNDVI2 BBCH-79	0.295	0.704	0.570	0.073	12.76
NDRE1 BBCH-79	0.176	0.219	0.200	0.012	5.81
NDRE2 BBCH-79	0.408	0.766	0.666	0.064	9.55
NDVI BBCH-81	0.688	0.815	0.788	0.025	3.23
GNDVI1 BBCH-81	0.502	0.747	0.641	0.063	9.81
GNDVI2 BBCH-81	0.502	0.746	0.641	0.063	9.80
NDRE1 BBCH-81	0.207	0.244	0.225	0.011	5.10
NDRE2 BBCH-81	0.621	0.819	0.735	0.049	6.72
NDVI BBCH-85	0.776	0.815	0.798	0.010	1.27
GNDVI1 BBCH-85	0.543	0.684	0.644	0.031	4.84
GNDVI2 BBCH-85	0.553	0.690	0.648	0.031	4.76
NDRE1 BBCH-85	0.264	0.406	0.318	0.030	9.44
NDRE2 BBCH-85	0.628	0.753	0.718	0.027	3.81
NDVI BBCH-89	0.728	0.812	0.777	0.019	2.38
GNDVI1 BBCH-89	0.470	0.771	0.611	0.065	10.57
GNDVI2 BBCH-89	0.473	0.770	0.618	0.063	10.21
NDRE1 BBCH-89	0.284	0.414	0.350	0.034	9.63
NDRE2 BBCH-89	0.466	0.801	0.674	0.064	9.43

Όσον αφορά το 2017, ο δείκτης NDVI παρουσίασε τις υψηλότερες μέσες τιμές σε σχέση με τους υπόλοιπους τέσσερις ΔΒ για όλα τα φαινολογικά στάδια στα οποία υπήρξε μέτρηση. Αντίστοιχα, ο συντελεστής παραλλακτικότητας παρουσίασε διακύμανση από 1.27% έως 43.06%, με τη μεγαλύτερη τιμή να παρουσιάζεται κατά το στάδιο της άνθησης (BBCH-65) για τον δείκτη NDRE1. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην καταπόνηση που είχε η καλλιέργεια εξαιτίας των ακραίων καιρικών συνθηκών για την εποχή (υψηλή θερμοκρασία).

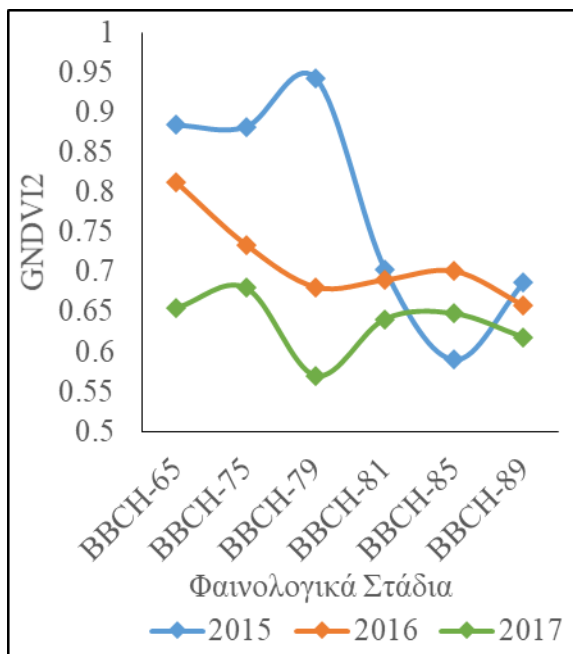
Στο παρακάτω Γράφημα 4 παρουσιάζονται η εξέλιξη των δεικτών βλάστησης που μετρήθηκαν με την χρήση του επίγειου αισθητήρα φυλλώματος για τα διάφορα φαινολογικά στάδια.



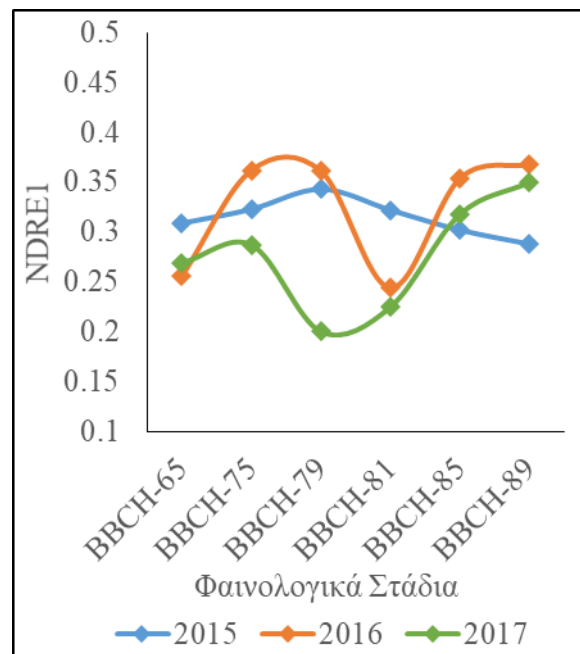
(α)



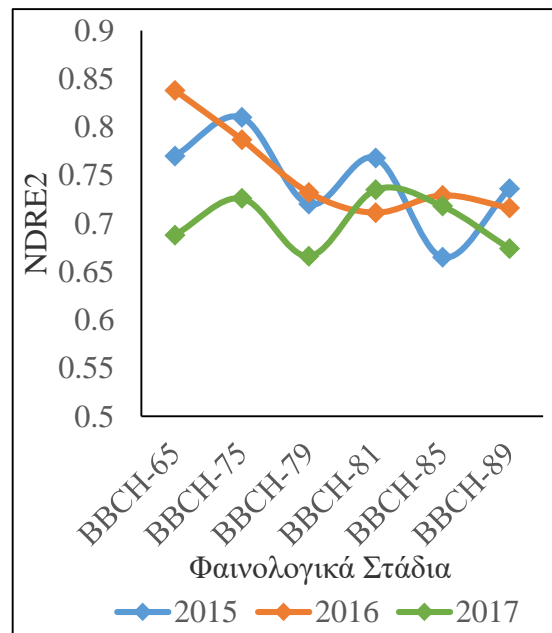
(β)



(γ)



(δ)



(ε)

Γράφημα 4 Οι πορείες ανάπτυξης των φασματικών δεικτών βλάστησης που μετρήθηκαν με την χρήση του αισθητήρα φυλλώματος CropCircle και συγκεκριμένα (α) του NDVI, (β) του GNDVI1, (γ) του GNDVI2, (δ) του NDRE1, και (ε) του NDRE2 από το στάδιο της άνθησης έως την τεχνολογική ωρίμαση για τα έτη 2015, 2016 και 2017.

Σύμφωνα με το παραπάνω γράφημα, ο κάθε δείκτης βλάστησης παρουσιάζει ανομοιογένεια στο μοτίβο κατά τα διάφορα φαινολογικά στάδια, αλλά και ανάμεσα στα έτη. Επιπλέον, σε όλες τις περιπτώσεις οι δείκτες βλάστησης για το κάθε στάδιο παρουσιάζουν διαφορετικές απόλυτες τιμές ανά έτος, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει ξεκάθαρο μοτίβο. Ακόμη, οι τιμές των δεικτών NDVI, GNDVI2 και NDRE2 παρουσίασαν μικρότερη διακύμανση το 2016. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι πραγματοποιήθηκε κορυφολόγηση κατά το φαινολογικό στάδιο του κλεισίματος του σταφυλιού (BBCH-79) και κατά την μέση του περκασμού (BBCH-85), και για αυτόν τον λόγο παρουσιάζονται οι μειώσεις των απόλυτων τιμών των δεικτών βλάστησης σε αυτά τα στάδια εκτός από την περίπτωση του GNDVI2 το 2015. Αυτό μπορεί να αιτιολογηθεί από την υψηλή συγκέντρωση συστατικών των φύλλων (χλωροφύλλη, καροτενοειδή) και κατά συνέπεια την μικρή ανάκλαση στα 550 nm (Cui et al., 2019).

6.1.3.1.2 Σωρευτικοί Δείκτες Βλάστησης

Η περιγραφική στατιστική των σωρευτικών ΔΒ ανά περίοδο που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στους επόμενους πίνακες και διαγράμματα.

Πίνακας 13 Περιγραφική στατιστική σωρευτικών φασματικών δεικτών βλάστησης ανά φαινολογικό στάδιο για το 2015.

Παράμετρος	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση	CV (%)
Σ NDVI BBCH-(65-89)	1.917	2.005	1.952	0.020	1.03
Σ GNDVI1 BBCH-(65-89)	1.483	1.635	1.574	0.034	2.17
Σ GNDVI2 BBCH-(65-89)	1.870	2.001	1.937	0.030	1.53
Σ NDRE1 BBCH-(65-89)	0.705	0.855	0.767	0.035	4.59
Σ NDRE2 BBCH-(65-89)	1.771	1.882	1.830	0.027	1.45
Σ NDVI BBCH-(65-79)	1.317	1.428	1.377	0.025	1.79
Σ GNDVI1 BBCH-(65-79)	1.044	1.247	1.138	0.044	3.86
Σ GNDVI2 BBCH-(65-79)	1.485	1.601	1.562	0.030	1.92
Σ NDRE1 BBCH-(65-79)	0.493	0.654	0.563	0.039	6.93
Σ NDRE2 BBCH-(65-79)	1.258	1.397	1.331	0.032	2.43
Σ NDVI BBCH-(81-89)	1.339	1.422	1.392	0.018	1.29
Σ GNDVI1 BBCH-(81-89)	1.000	1.161	1.082	0.041	3.83
Σ GNDVI2 BBCH-(81-89)	1.077	1.221	1.154	0.037	3.24
Σ NDRE1 BBCH-(81-89)	0.480	0.551	0.526	0.018	3.45
Σ NDRE2 BBCH-(81-89)	1.183	1.316	1.261	0.034	2.68

Οι σωρευτικοί ΔΒ παρουσίασαν αντίστοιχο μοτίβο με αυτό των απλών/μονού σταδίου ΔΒ για το 2015. Συγκεκριμένα, ο σωρευτικός δείκτης GNDVI2 παρουσίασε την υψηλότερη μέση τιμή για την περίοδο από την άνθηση έως το κλείσιμο των σταφυλιών (BBCH-65 έως BBCH-79), ενώ για την περίοδο από την έναρξη του περκασμού έως την τεχνολογική ωρίμαση (BBCH-81 έως BBCH-89), η υψηλότερη μέση τιμή παρουσιάστηκε από τον σωρευτικό δείκτη NDVI. Για τη συνολική περίοδο μετρήσεων ο δείκτης NDVI παρουσίασε υψηλότερη μέση τιμή από τον δείκτη GNDVI2. Αυτό οφείλεται στις υψηλότερες μέσες τιμές του δείκτη NDVI που εμφανίστηκαν στην περίοδο του περκασμού έως την τεχνολογική ωρίμαση. Αξίζει να αναφερθεί ότι ο συντελεστής παραλλακτικότητας των ΔΒ δεν εμφάνισε σημαντική διακύμανση, με το εύρος τους να κυμαίνεται από 1.03% έως 6.93%.

Πίνακας 14 Περιγραφική στατιστική σωρευτικών φασματικών δεικτών βλάστησης ανά φαινολογικό στάδιο για το 2016.

Παράμετρος	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση	CV (%)
Σ NDVI BBCH-(65-89)	1.868	2.029	1.968	0.030	1.55
Σ GNDVI1 BBCH-(65-89)	1.406	1.620	1.549	0.052	3.37
Σ GNDVI2 BBCH-(65-89)	1.631	1.887	1.755	0.056	3.21
Σ NDRE1 BBCH-(65-89)	0.728	1.041	0.821	0.080	9.80
Σ NDRE2 BBCH-(65-89)	1.719	1.950	1.851	0.054	2.93

Παράμετρος	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση	CV (%)
Σ NDVI BBCH-(65-79)	1.337	1.493	1.423	0.031	2.18
Σ GNDVI1 BBCH-(65-79)	0.771	1.147	1.070	0.065	6.07
Σ GNDVI2 BBCH-(65-79)	1.162	1.387	1.291	0.050	3.87
Σ NDRE1 BBCH-(65-79)	0.446	0.905	0.584	0.117	19.95
Σ NDRE2 BBCH-(65-79)	1.227	1.434	1.364	0.042	3.09
Σ NDVI BBCH-(81-89)	1.299	1.415	1.359	0.030	2.20
Σ GNDVI1 BBCH-(81-89)	1.004	1.194	1.119	0.045	4.00
Σ GNDVI2 BBCH-(81-89)	1.038	1.335	1.187	0.067	5.67
Σ NDRE1 BBCH-(81-89)	0.489	0.629	0.570	0.032	5.64
Σ NDRE2 BBCH-(81-89)	1.066	1.359	1.249	0.065	5.18

Αντίστοιχο μοτίβο με των απλών ΔΒ εμφανίστηκε για τους σωρευτικούς για το 2016, με τον σωρευτικό NDVI να εμφανίζει τις υψηλότερες μέσες τιμές για όλες τις περιόδους. Αξίζει να αναφερθεί ότι οι μέσες τιμές για τους περισσότερους σωρευτικούς ΔΒ ήταν υψηλότερες για την περίοδο από την άνθηση έως το κλείσιμο του σταφυλιού (BBCH-65 έως BBCH-79), σε σχέση με την περίοδο από την έναρξη του περκασμού έως την τεχνολογική ωρίμαση (BBCH-81 έως BBCH-89). Αυτό οφείλεται στην καταπόνηση που εμφανίστηκε στην καλλιέργεια εξαιτίας της υψηλής θερμοκρασίας η οποία ξεκίνησε κατά το στάδιο κλεισίματος του σταφυλιού. Αντίστοιχα, ο συντελεστής παραλλακτικότητας εμφάνισε υψηλότερη διακύμανση σε σχέση με το 2015 παρουσιάζοντας εύρος από 1.55% έως 19.95%. Ο υψηλότερος συντελεστής παραλλακτικότητας καταγράφηκε στο σωρευτικό δείκτη NDRE1 για την περίοδο έναρξης της άνθησης έως το κλείσιμο του σταφυλιού (BBCH-65 έως BBCH-79), με την υδατική καταπόνηση εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών που πραγματοποιήθηκε αυτήν την περίοδο να δικαιολογεί αυτό το ποσοστό.

Πίνακας 15 Περιγραφική στατιστική σωρευτικών φασματικών δεικτών βλάστησης ανά φαινολογικό στάδιο για το 2017.

Παράμετρος	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση	CV (%)
Σ NDVI BBCH-(65-89)	1.873	1.971	1.922	0.023	1.20
Σ GNDVI1 BBCH-(65-89)	1.412	1.666	1.544	0.061	3.92
Σ GNDVI2 BBCH-(65-89)	1.454	1.689	1.565	0.059	3.79
Σ NDRE1 BBCH-(65-89)	0.520	0.823	0.697	0.071	10.15
Σ NDRE2 BBCH-(65-89)	1.640	1.821	1.722	0.042	2.44
Σ NDVI BBCH-(65-79)	1.287	1.417	1.353	0.026	1.92
Σ GNDVI1 BBCH-(65-79)	0.882	1.196	1.084	0.067	6.15
Σ GNDVI2 BBCH-(65-79)	0.933	1.231	1.108	0.075	6.76
Σ NDRE1 BBCH-(65-79)	0.249	0.630	0.452	0.101	22.33

Παράμετρος	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση	CV (%)
Σ NDRE2 BBCH-(65-79)	1.081	1.268	1.204	0.038	3.16
Σ NDVI BBCH-(81-89)	1.302	1.394	1.365	0.018	1.30
Σ GNDVI1 BBCH-(81-89)	0.954	1.212	1.097	0.057	5.22
Σ GNDVI2 BBCH-(81-89)	0.957	1.215	1.103	0.056	5.10
Σ NDRE1 BBCH-(81-89)	0.457	0.604	0.525	0.034	6.48
Σ NDRE2 BBCH-(81-89)	1.101	1.325	1.231	0.050	4.03

Για το έτος 2017, οι σωρευτικοί ΔΒ παρουσίασαν αντίστοιχο μοτίβο με τους απλούς ΔΒ του 2017. Οι υψηλότερες μέσες τιμές καταγράφηκαν από τον σωρευτικό δείκτη NDVI και για τις τρεις περιόδους. Σε αντίθεση με το 2016, οι περισσότεροι σωρευτικοί ΔΒ παρουσίασαν υψηλότερες τιμές για την περίοδο της έναρξης του περκασμού έως την τεχνολογική ωρίμαση. Ενώ, όπως και στο 2016 έτσι και στο 2017, ο σωρευτικός δείκτης NDRE1 παρουσίασε τον υψηλότερο συντελεστή παραλλακτικότητας για την περίοδο από την άνθηση έως το κλείσιμο του σταφυλιού (BBCH-65 έως BBCH-79).

6.1.3.2 Δορυφορικοί Δείκτες Βλάστησης

Η περιγραφική στατιστική των δορυφορικών ΔΒ που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στους επόμενους πίνακες και διαγράμματα.

Πίνακας 16 Περιγραφική στατιστική δορυφορικών δεικτών βλάστησης για το έτος 2015.

Παράμετρος	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση	CV (%)
Δ NDVI BBCH-81	0.535	0.722	0.649	0.051	7.80%
Δ GNDVI BBCH-81	0.587	0.680	0.643	0.023	3.62%
Δ NDVI BBCH-85	0.527	0.696	0.635	0.046	7.26%
Δ GNDVI BBCH-85	0.575	0.664	0.632	0.024	3.78%
Δ NDVI BBCH-89	0.535	0.744	0.670	0.056	8.40%
Δ GNDVI BBCH-89	0.594	0.693	0.659	0.027	4.10%

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των δορυφορικών ΔΒ για το έτος 2015, ο δείκτης NDVI παρουσίασε μεγαλύτερο συντελεστή παραλλακτικότητας για τα τρία φαινολογικά στάδια σε σχέση με τον δείκτη GNDVI. Επιπλέον, οι τιμές του δείκτη NDVI ήταν υψηλότερες σε σχέση με τον δείκτη GNDVI. Αυτό οφείλεται στην υψηλότερη ανάκλαση που πραγματοποιείται στην πράσινη περιοχή σε σύγκριση με την κόκκινη (Thenkabail et al., 2000), η οποία είναι τυπική στα φύλλα (Gitelson and Merzylak, 1996).

Πίνακας 17 Περιγραφική στατιστική δορυφορικών δεικτών βλάστησης για το έτος 2016.

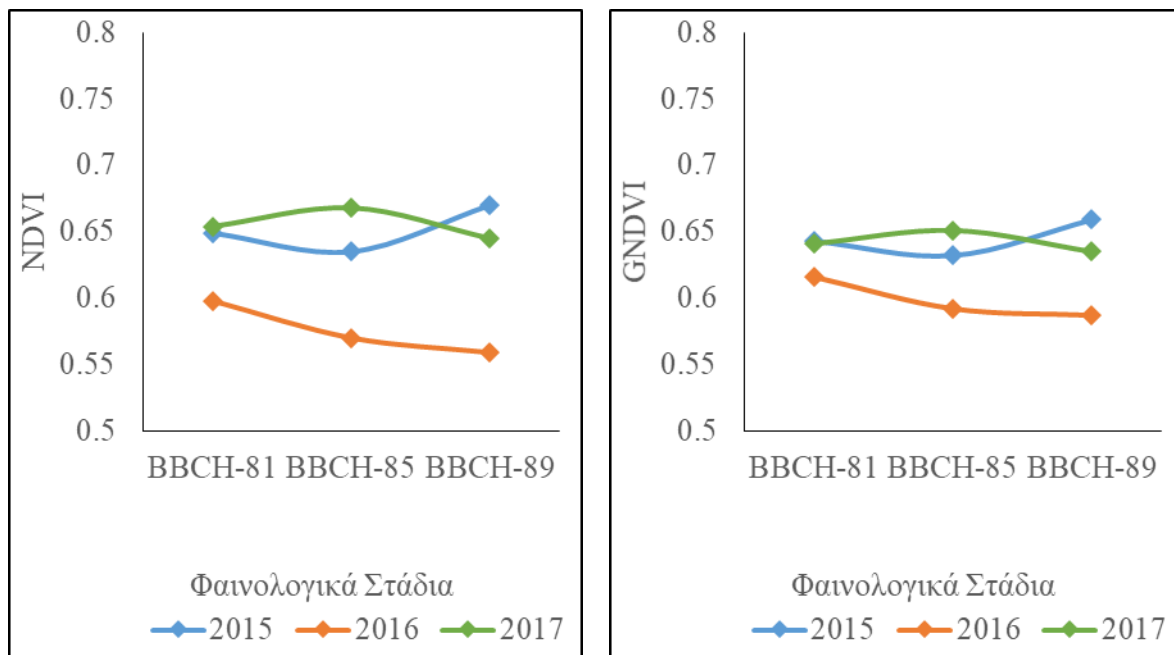
Παράμετρος	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση	CV (%)
Δ NDVI BBCH-81	0.489	0.667	0.598	0.047	7.92%
Δ GNDVI BBCH-81	0.535	0.659	0.616	0.032	5.15%
Δ NDVI BBCH-85	0.474	0.636	0.570	0.044	7.73%
Δ GNDVI BBCH-85	0.520	0.635	0.592	0.030	5.05%
Δ NDVI BBCH-89	0.470	0.629	0.559	0.045	8.13%
Δ GNDVI BBCH-89	0.516	0.632	0.587	0.031	5.25%

Αντίστοιχα για το 2016, ο δείκτης βλάστησης GNDVI σημείωσε τις υψηλότερες τιμές σε σύγκριση με τον δείκτη NDVI, ενώ ο συντελεστής παραλλακτικότητας ήταν υψηλότερος στον δείκτη NDVI. Οι υψηλότερες μέσες τιμές μπορούν να δικαιολογηθούν από την χαμηλότερη ανάκλαση που παρουσιάστηκε στο πράσινο φάσμα σε σχέση με το κόκκινο. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην καταπόνηση που παρουσίασε η καλλιέργεια και κατά συνέπεια η επίδρασή της στα συστατικά των φύλλων, όπως η μικρότερη συγκέντρωση σε χλωροφύλλη (Ding et al., 2010, Khayatnezhad and Gholamin, 2012, Hailemichael et al., 2016, Gao et al., 2020).

Πίνακας 18 Περιγραφική στατιστική δορυφορικών δεικτών βλάστησης για το έτος 2017.

Παράμετρος	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση	CV (%)
Δ NDVI BBCH-81	0.568	0.706	0.654	0.037	5.68%
Δ GNDVI BBCH-81	0.586	0.670	0.641	0.022	3.45%
Δ NDVI BBCH-85	0.558	0.729	0.668	0.045	6.72%
Δ GNDVI BBCH-85	0.574	0.687	0.651	0.029	4.39%
Δ NDVI BBCH-89	0.530	0.705	0.645	0.046	7.18%
Δ GNDVI BBCH-89	0.550	0.674	0.635	0.031	4.96%

Όπως φαίνεται και στον παραπάνω πίνακα, ο δείκτης NDVI παρουσίασε υψηλότερες τιμές σε σχέση με τον GNDVI, καθώς και υψηλότερες τιμές στον συντελεστή παραλλακτικότητας. Αυτά τα αποτελέσματα είναι σε συμφωνία με τα αποτελέσματα των δορυφορικών ΔΒ για το 2015.



(α)

(β)

Γράφημα 5 Οι πορείες ανάπτυξης των φασματικών δεικτών βλάστησης που μετρήθηκαν από τον δορυφόρο Landsat 8 και συγκεκριμένα (α) του NDVI και (β) του GNDVI από το στάδιο της έναρξης του περκασμού έως την τεχνολογική ωρίμαση για τα έτη 2015, 2016 και 2017.

Σύμφωνα με το παραπάνω γράφημα, οι δύο ΔΒ που μετρήθηκαν με την χρήση δορυφόρου παρουσιάζουν ομοιογένεια στο μοτίβο κατά τα διάφορα φαινολογικά στάδια για τα τρία έτη. Επιπλέον, σε όλες τις περιπτώσεις οι δείκτες βλάστησης για το κάθε στάδιο παρουσιάζουν διαφορετικές απόλυτες τιμές ανά έτος. Οι μικρότερες απόλυτες τιμές παρουσιάστηκαν και για τους δύο δείκτες το 2016.

6.1.4 Δεδομένα Παραγωγής

Η παραλλακτικότητα στις καιρικές και εδαφικές συνθήκες επηρέασαν σημαντικά τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά της παραγωγής ανά έτος αλλά και στο σύνολό της. Αυτό παρουσιάζεται στους παρακάτω πίνακες και γραφήματα.

Πίνακας 19 Περιγραφική στατιστική μετρήσεων παραγωγής και πορείας ανάπτυξης για το 2015.

Παράμετρος	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση	CV (%)
Έναρξη Περκασμού					
pH_BBCH 81	2.69	3.03	2.89	0.07	2.35
Σάκχαρα (°Brix)_ BBCH 81	6.50	10.20	8.41	0.87	10.31
Ολική Οξύτητα (%)_ BBCH 81	0.42	1.50	0.95	0.31	32.64
Διάμετρος Ράγας (mm)_ BBCH 81	20.55	24.97	22.46	0.88	3.90
Βάρος Ράγας (gr)_ BBCH 81	5.66	11.38	7.73	0.97	12.51
Πυκνότητα Ράγας (kg/m ³)_ BBCH	0.94	1.70	1.28	0.13	10.26

Παράμετρος	Ελάχιστη	Μέγιστη	Μέση	Τυπική	CV
	Τιμή	Τιμή	Τιμή	Απόκλιση	(%)
81					
Δείκτης Ωρίμανσης_ BBCH 81	4.33	24.29	10.24	4.61	45.04
Συμπίεση Ράγας (N/mm)_ BBCH 81	1.75	3.84	2.44	0.49	19.87
Μέση Περκασμού					
pH_ BBCH 85	3.10	3.36	3.23	0.07	2.03
Σάκχαρα (°Brix)_ BBCH 85	10.50	13.20	11.85	0.71	6.02
Ολική Οξύτητα (%)_ BBCH 85	0.33	0.58	0.43	0.06	14.94
Διάμετρος Ράγας (mm)_ BBCH 85	21.70	26.30	24.42	1.01	4.13
Βάρος Ράγας (gr)_ BBCH 85	5.12	11.00	9.62	1.02	10.58
Πυκνότητα Ράγας (kg/m ³)_ BBCH 85	0.64	1.52	1.26	0.13	10.25
Δείκτης Ωρίμανσης_ BBCH 85	20.19	37.65	28.02	4.62	16.47
Συμπίεση Ράγας (N/mm)_ BBCH 85	2.13	2.79	2.43	0.19	7.62
Μέση Περκασμού					
pH_ BBCH 87	3.43	3.91	3.60	0.12	3.26
Σάκχαρα (°Brix)_ BBCH 87	13.20	17.60	15.53	0.93	5.96
Ολική Οξύτητα (%)_ BBCH 87	0.25	0.42	0.37	0.04	10.21
Διάμετρος Ράγας (mm)_ BBCH 87	22.89	26.00	24.77	0.71	2.85
Μέσο Βάρος Ράγας (gr)_ BBCH 87	9.96	12.46	11.49	0.64	5.61
Πυκνότητα Ράγας (kg/m ³)_ BBCH 87	1.15	1.24	1.20	0.02	1.51
Δείκτης Ωρίμανσης_ BBCH 87	33	62.31	42.24	6.48	15.35
Συμπίεση Ράγας (N/mm)_ BBCH 87	1.81	2.89	2.31	0.29	12.40
Τεχνολογική Ωρίμαση					
pH_ BBCH 89	3.56	3.93	3.79	0.08	2.16
Σάκχαρα (°Brix)_ BBCH 89	15.70	20.90	18.15	1.20	6.63
Ολική Οξύτητα (%)_ BBCH 89	0.10	0.39	0.21	0.06	28.47
Διάμετρος Ράγας (mm)_ BBCH 89	24.05	27.88	25.74	0.77	3.01
Μέσο Βάρος Ράγας (gr)_ BBCH 89	10.97	13.91	12.56	0.83	6.62
Πυκνότητα Ράγας (kg/m ³)_ BBCH 89	1.08	1.31	1.19	0.06	4.74
Δείκτης Ωρίμανσης_ BBCH 89	45.14	209.00	91.83	28.46	30.99
Συμπίεση Ράγας (N/mm)_ BBCH 89	1.91	3.23	2.48	0.33	13.43
Αποκοπή Ράγας (N)_ BBCH 89	8.89	14.37	11.67	1.42	12.15
Απόδοση (kg/ha)_ BBCH 89	14082	38432	25204	5366	21.29

Πίνακας 20 Περιγραφική στατιστική μετρήσεων παραγωγής και πορείας ανάπτυξης για το 2016.

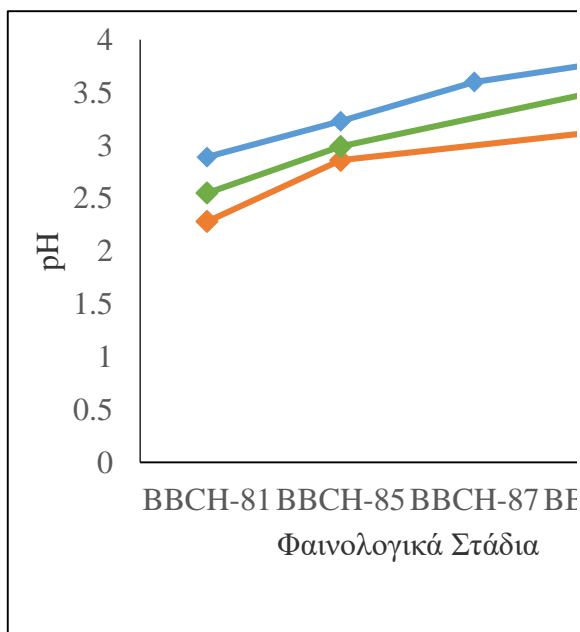
Παράμετρος	Ελάχιστη	Μέγιστη	Μέση	Τυπική	CV
	Τιμή	Τιμή	Τιμή	Απόκλιση	(%)
Έναρξη Περκασμού					
pH_ BBCH 81	1.10	2.80	2.28	0.40	17.47
Σάκχαρα (°Brix)_ BBCH 81	8.70	13.00	11.12	0.94	8.45
Ολική Οξύτητα (%)_ BBCH 81	0.18	0.66	0.37	0.09	24.16
Διάμετρος Ράγας (mm)_ BBCH 81	16.08	21.48	18.95	1.12	5.93

Παράμετρος	Ελάχιστη	Μέγιστη	Μέση	Τυπική	CV (%)
	Τιμή	Τιμή	Τιμή	Απόκλιση	
Βάρος Ράγας (gr)_ BBCH 81	2.52	5.95	4.28	0.74	17.22
Πυκνότητα Ράγας (kg/m ³)_ BBCH 81	1.07	2.02	1.28	0.25	19.81
Δείκτης Ωρίμανσης_ BBCH 81	15.82	62.22	31.55	8.80	27.89
Συμπίεση Ράγας (N/mm)_ BBCH 81	1.06	1.76	1.37	0.16	11.83
Μέση Περκασμού					
pH_ BBCH 85	2.60	3.10	2.86	0.11	3.79
Σάκχαρα (°Brix)_ BBCH 85	13.30	18.50	15.57	1.29	8.28
Ολική Οξύτητα (%)_ BBCH 85	0.18	0.35	0.26	0.04	16.95
Διάμετρος Ράγας (mm)_ BBCH 85	18.09	21.40	19.82	0.82	4.16
Βάρος Ράγας (gr)_ BBCH 85	3.75	6.54	5.36	0.68	12.70
Πυκνότητα Ράγας (kg/m ³)_ BBCH 85	1.06	1.45	1.19	0.10	8.77
Δείκτης Ωρίμανσης_ BBCH 85	38.00	96.32	60.93	12.88	21.15
Συμπίεση Ράγας (N/mm)_ 85	1.07	2.32	1.60	0.25	15.54
Τεχνολογική Ωρίμανση					
pH_ BBCH 89	2.90	3.60	3.14	0.13	4.26
Σάκχαρα (°Brix)_ BBCH 89	16.10	23.20	19.54	1.37	6.99
Ολική Οξύτητα (%)_ BBCH 89	0.18	0.29	0.22	0.03	12.04
Διάμετρος Ράγας (mm)_ BBCH 89	18.76	22.60	20.90	0.85	4.08
Βάρος Ράγας (gr)_ BBCH 89	4.67	7.86	6.18	0.74	11.98
Πυκνότητα Ράγας (kg/m ³)_ BBCH 89	1.10	1.50	1.18	0.09	7.82
Δείκτης Ωρίμανσης_ BBCH 89	63.70	111.67	88.49	12.63	14.28
Συμπίεση Ράγας (N/mm)_ BBCH 89	1.13	2.06	1.44	0.22	15.08
Αποκοπή Ράγας (N)_ BBCH 89	4.27	8.89	5.77	0.93	16.02
Απόδοση (kg/ha)_ BBCH 89	5195	30974	20401	6430	31.52

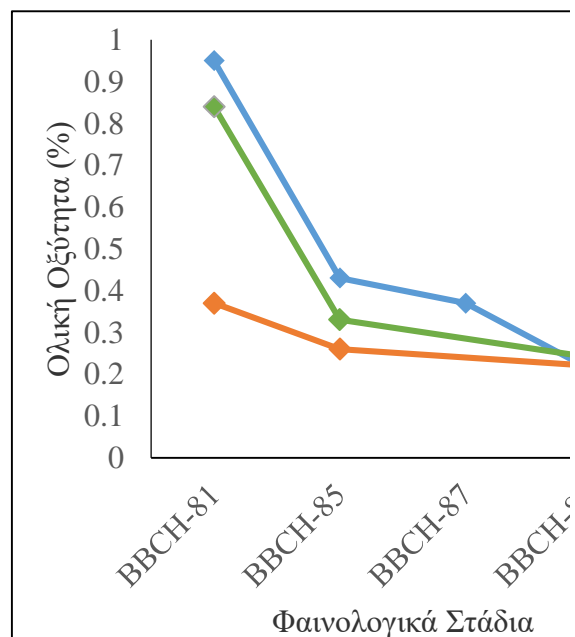
Πίνακας 21 Περιγραφική στατιστική μετρήσεων παραγωγής και πορείας ανάπτυξης για το 2017.

Παράμετρος	Ελάχιστη	Μέγιστη	Μέση	Τυπική	CV (%)
	Τιμή	Τιμή	Τιμή	Απόκλιση	
Έναρξη Περκασμού					
pH_ BBCH 81	2.10	2.90	2.55	0.21	8.10
Σάκχαρα (°Brix)_ BBCH 81	4.90	9.40	7.04	0.80	11.35
Ολική Οξύτητα (%)_ BBCH 81	0.40	1.32	0.84	0.19	22.75
Διάμετρος Ράγας (mm)_ BBCH 81	16.75	20.82	18.18	0.88	4.81
Βάρος Ράγας (gr)_ BBCH 81	3.67	5.28	4.53	0.39	8.64
Πυκνότητα Ράγας (kg/m ³)_ BBCH 81	1.04	1.21	1.13	0.04	3.82
Δείκτης Ωρίμανσης_ BBCH 81	5.23	19.25	9.00	3.18	35.34
Συμπίεση Ράγας (N/mm)_ BBCH 81	1.54	3.13	2.33	0.40	17.35
Μέση Περκασμού					
pH_ BBCH 85	2.70	3.20	2.99	0.11	3.82
Σάκχαρα (°Brix)_ BBCH 85	10.80	14.60	12.90	0.91	7.01

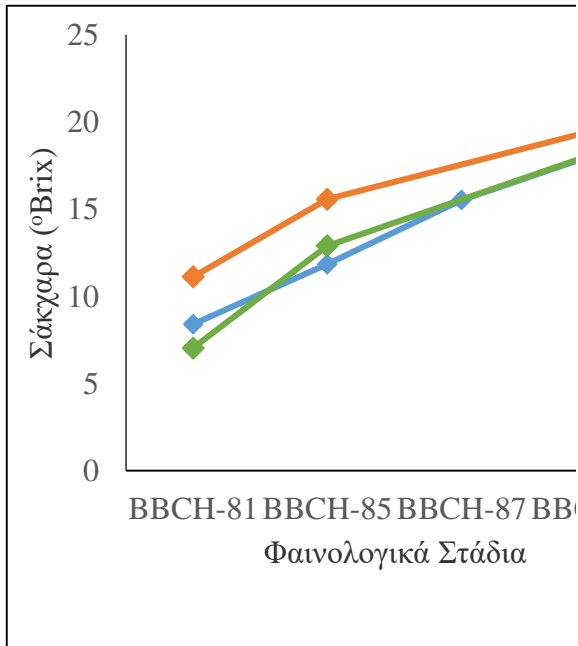
Παράμετρος	Ελάχιστη	Μέγιστη	Μέση	Τυπική	CV (%)
	Τιμή	Τιμή	Τιμή	Απόκλιση	
Ολική Οξύτητα (%)_ BBCH 85	0.20	0.61	0.33	0.08	24.90
Διάμετρος Ράγας (mm)_ BBCH 85	18.86	22.97	21.14	0.95	4.49
Βάρος Ράγας (gr)_ BBCH 85	5.26	8.37	6.86	0.71	10.36
Πυκνότητα Ράγας (kg/m ³)_ BBCH 85	1.07	1.76	1.16	0.12	10.31
Δείκτης Ωρίμανσης_ BBCH 85	20.16	61.30	40.72	9.72	23.86
Συμπύεση Ράγας (N/mm)_ BBCH 85	1.31	2.09	1.72	0.19	11.08
Τεχνολογική Ωρίμανση					
pH_ BBCH 89	3.30	3.90	3.53	0.14	3.92
Σάκχαρα (°Brix)_ BBCH 89	16.90	19.80	18.20	0.73	4.01
Ολική Οξύτητα (%)_ BBCH 89	0.15	0.37	0.24	0.05	19.66
Διάμετρος Ράγας (mm)_ BBCH 89	20.82	23.30	22.00	0.64	2.89
Βάρος Ράγας (gr)_ BBCH 89	6.56	9.76	7.86	0.70	8.86
Πυκνότητα Ράγας (kg/m ³)_ BBCH 89	1.10	1.19	1.14	0.02	1.92
Δείκτης Ωρίμανσης_ BBCH 89	47.57	121.33	80.24	15.46	19.27
Συμπύεση Ράγας (N/mm)_ BBCH 89	1.51	2.35	1.89	0.22	11.70
Αποκοπή Ράγας (N)_ BBCH 89	4.55	10.06	7.56	1.23	16.27
Απόδοση (kg/ha)_ BBCH 89	4518	26939	16229	4533	27.93



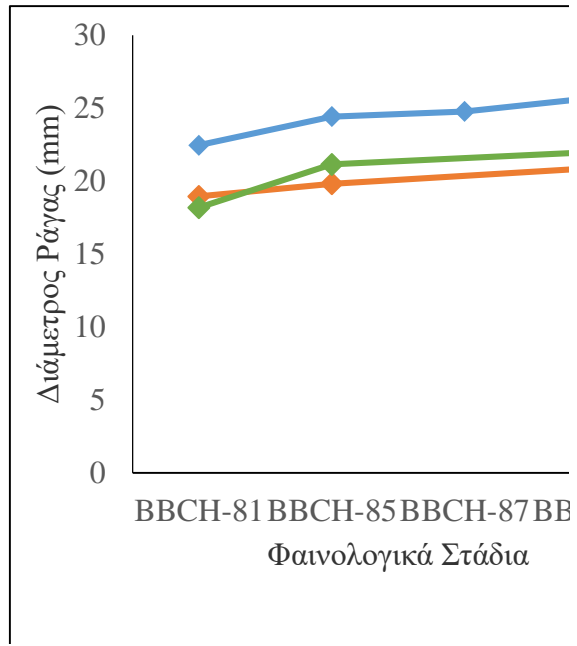
(α)



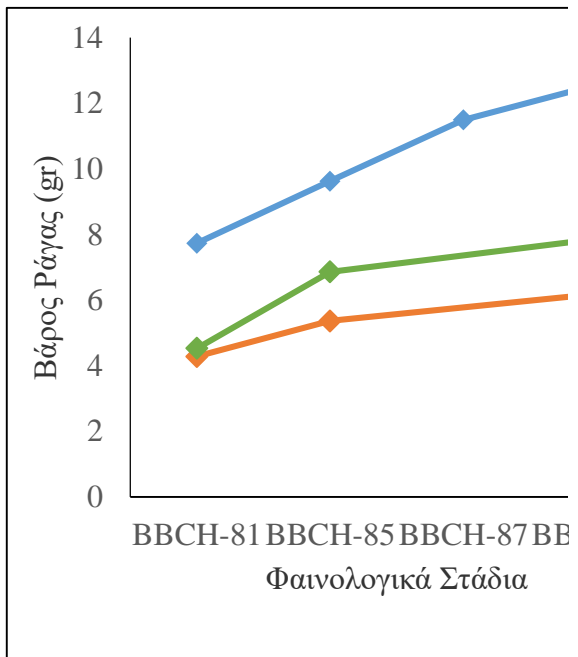
(β)



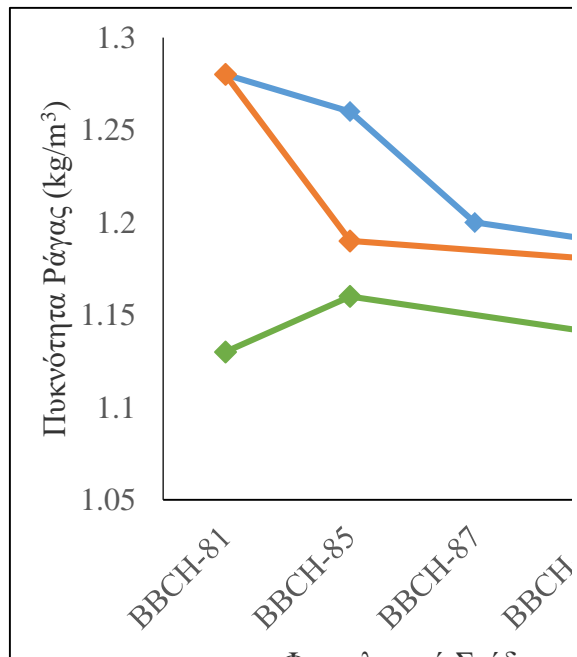
(γ)



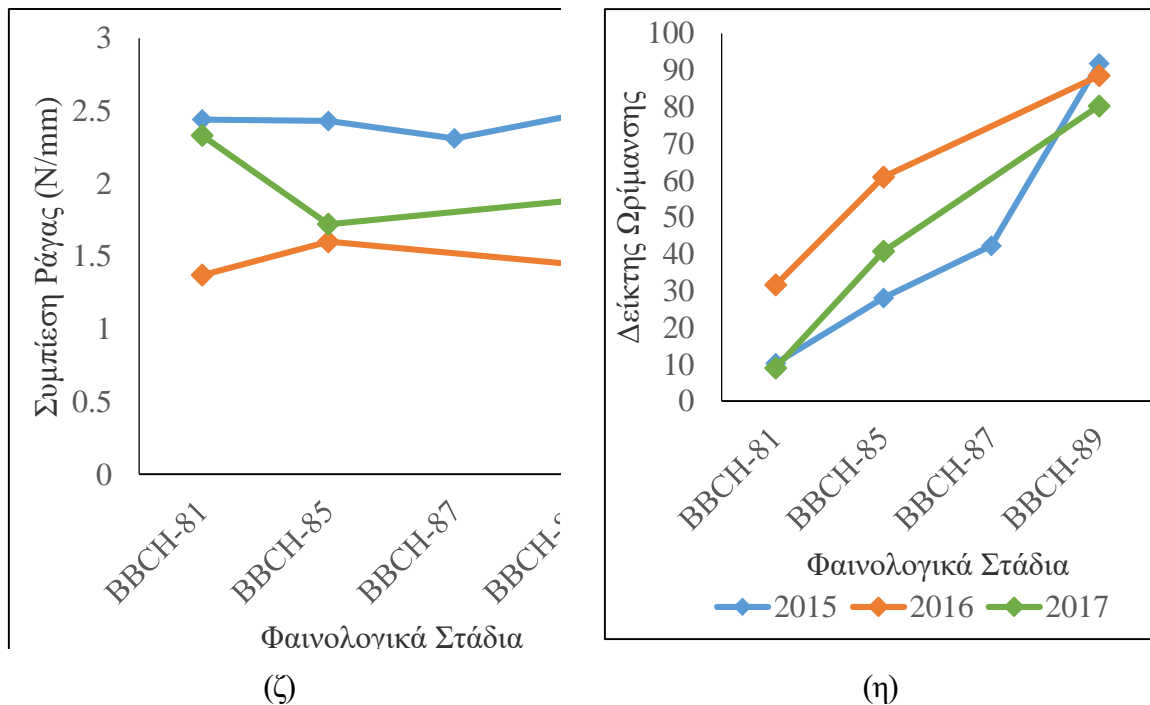
(δ)



(ε)



(στ)



Γράφημα 6 Οι πορείες ανάπτυξης των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών της ράγας και συγκεκριμένα (α) του pH, (β) της ολικής οξύτητας, (γ) των σακχάρων, (δ) της διαμέτρου, (ε) του βάρους, (στ) της πυκνότητας, (ζ) της συμπίεσης, και (η) του δείκτη ωρίμανσης από την έναρξη του περκασμού έως την τεχνολογική ωρίμανση για τα έτη 2015, 2016 και 2017.

Από τους παραπάνω πίνακες και γραφήματα προκύπτει ότι το καλύτερο έτος όσον αφορά τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά ήταν το 2015, παρουσιάζοντας τις καλύτερες τιμές σε σχέση με τα αποτελέσματα των άλλων δύο ετών, εκτός από την συγκέντρωση των σακχάρων η οποία ήταν υψηλότερη το 2016. Συγκριτικά για τα άλλα δύο έτη, η παραγωγή του επιτραπέζιου σταφυλιού το 2016 παρουσίασε χαμηλότερα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά, εκτός από την συγκέντρωση σε σάκχαρα και την πυκνότητα.

Όσον αφορά την παραγόμενη ποσότητα ανά εκτάριο, η υψηλότερη τιμή ήταν το 2015 με 25,204 kg/ha, ενώ το 2016 και το 2017 σημείωσε σημαντικά μικρότερες τιμές (20,401 kg/ha και 16,229 kg/ha αντίστοιχα). Παρόμοια ήταν η εικόνα και για την δύναμη αποκοπής της ράγας, όπου το 2015 εμφάνισε την υψηλότερη τιμή για τα τρία έτη με 11.67 N, με τη μόνη διαφορά ότι το 2017 παρουσίασε υψηλότερη τιμή σε σχέση με το 2016 (7.56 N έναντι 5.77 N).

6.2 Αξιολόγηση της χωροχρονικής παραλλακτικότητας των εδαφοκλιματικών συνθηκών ως προς την παραγόμενη ποσότητα και ποιότητα

6.2.1 Καιρός σε συνδυασμό με Παραγωγή

Στους πίνακες Πίνακας 22 και Πίνακας 23 παρουσιάζονται οι συσχετίσεις των καιρικών παραμέτρων ανάμεσα στα ποιοτικά και στα ποσοτικά χαρακτηριστικά των επιτραπέζιων σταφυλιών.

Πίνακας 22 Συγκεντρωτικές συσχετίσεις κατά Pearson ανάμεσα σε καιρικές παραμέτρους και ποσοτικά χαρακτηριστικά επιτραπέζιου σταφυλιού κατά την συγκομιδή για τα τρία έτη της μελέτης (2015, 2016 και 2017).

Παράμετρος	Διάμετρος Ράγας	Βάρος Ράγας	Πυκνότητα Ράγας	Απόδοση
Βαθμομημέρες BBCH08 - BBCH89	0.274**	0.245*	0.326**	0.471**
Βαθμομημέρες BBCH81 - BBCH89	0.927**	0.943**	0.171	0.483**
Βαθμομημέρες BBCH08 - BBCH65	-0.791**	-0.789**	-0.267**	-0.556**
Βαθμομημέρες BBCH65 - BBCH79	-0.861**	-0.897**	0.011	-0.246*
Μέγιστη Θερμοκρασία BBCH08 - BBCH89	-0.830**	-0.867**	0.036	-0.208*
Μέγιστη Θερμοκρασία BBCH81 - BBCH89	0.639**	0.682**	-0.140	0.025
Μέγιστη Θερμοκρασία BBCH08 - BBCH65	-0.921**	-0.950**	-0.057	-0.346**
Μέγιστη Θερμοκρασία BBCH65 - BBCH79	-0.777**	-0.817**	0.071	-0.150
Ελάχιστη Θερμοκρασία BBCH08 - BBCH89	0.889**	0.922**	0.015	0.286**
Ελάχιστη Θερμοκρασία BBCH81 - BBCH89	0.815**	0.853**	-0.046	0.191**
Ελάχιστη Θερμοκρασία BBCH08 - BBCH65	0.940**	0.961**	0.134	0.442**
Ελάχιστη Θερμοκρασία BBCH65 - BBCH79	0.723**	0.764**	-0.101	0.098
Μέση Θερμοκρασία BBCH08 - BBCH89	-0.779**	-0.818**	0.070	-0.151
Μέση Θερμοκρασία BBCH81 - BBCH89	0.767**	0.807**	-0.077	0.139
Μέση Θερμοκρασία BBCH08 - BBCH65	-0.915**	-0.945**	-0.048	-0.332**
Μέση Θερμοκρασία BBCH65 - BBCH79	-0.830**	-0.867**	0.036	-0.207*
Βροχόπτωση BBCH08 - BBCH89	0.860**	0.896**	-0.011	0.246*
Βροχόπτωση BBCH81 - BBCH89	0.790**	0.829**	-0.063	0.163
Βροχόπτωση BBCH08 - BBCH65	0.919**	0.933**	0.184	0.495**

Βροχόπτωση BBCH65 – BBCH79	-0.148	-0.114	-0.319**	-0.424**
-------------------------------	--------	--------	----------	----------

** Η συσχέτιση παρουσιάζει στατιστικώς σημαντική διαφορά σε επίπεδο $p < 0.01$.

* Η συσχέτιση παρουσιάζει στατιστικώς σημαντική διαφορά σε επίπεδο $p < 0.05$.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Πίνακα 22, υπήρξαν πολύ ισχυρές συσχετίσεις ($p < 0.01$) των κλιματικών παραμέτρων με τα ποσοτικά χαρακτηριστικά των επιτραπέζιων σταφυλιών για τις διαφορετικές περιόδους μέτρησης. Συγκεκριμένα για την διάμετρο της ράγας, οι υψηλότερες συσχετίσεις πραγματοποιήθηκαν με τις βαθμομημέρες για την περίοδο της έναρξης του περκασιμού έως την τεχνολογική ωρίμαση (BBCH 81- BBCH 89) ($r = 0.927$, $p < 0.01$), με την μέγιστη θερμοκρασία για την περίοδο από την έκπτυξη των οφθαλμών έως την άνθηση (BBCH 08- BBCH 65) ($r = - 0.921$, $p < 0.01$), για την ελάχιστη θερμοκρασία για την περίοδο από την έκπτυξη των οφθαλμών έως την άνθηση (BBCH 08- BBCH 65) ($r = 0.940$, $p < 0.01$), για την μέση θερμοκρασία για την περίοδο από την έκπτυξη των οφθαλμών έως την άνθηση (BBCH 08- BBCH 65) ($r = - 0.915$, $p < 0.01$), και με την βροχόπτωση για την περίοδο από την έκπτυξη των οφθαλμών έως την άνθηση (BBCH 08- BBCH 65) ($r = 0.919$, $p < 0.01$).

Αντίστοιχα αποτελέσματα υπήρξαν και για το βάρος της ράγας για τις ίδιες περιόδους με τις συσχετίσεις να είναι $r = 0.943$, $p < 0.01$ (για Βαθμομημέρες την περίοδο BBCH81 - BBCH89), $r = - 0.950$, $p < 0.01$ (για μέγιστη θερμοκρασία την περίοδο BBCH08 - BBCH65), $r = 0.961$, $p < 0.01$ (για ελάχιστη θερμοκρασία την περίοδο BBCH08 - BBCH65), $r = - 0.945$, $p < 0.01$ (για μέση θερμοκρασία την περίοδο BBCH08 - BBCH65), και $r = 0.933$, $p < 0.01$ (για βροχόπτωση την περίοδο BBCH08 - BBCH65).

Όσον αφορά την πυκνότητα της ράγας, παρουσιάστηκαν οι υψηλότερες συσχετίσεις μόνο ανάμεσα στις βαθμομημέρες για την περίοδο από την έκπτυξη των οφθαλμών έως την τεχνολογική ωρίμαση (BBCH 08 – BBCH 89) με $r=0.326$ ($p < 0.01$), και για την βροχόπτωση για την περίοδο από την άνθηση έως το κλείσιμο του σταφυλιού (BBCH 65 – BBCH 79) με $r = - 0.319$ ($p < 0.01$).

Σχετικά με την απόδοση της παραγωγής, οι συσχετίσεις κατά Pearson παρουσίασαν το ίδιο μοτίβο εκτός από τις συσχετίσεις με τις βαθμομημέρες. Οι συσχετίσεις αυτές, ήταν λιγότερο ισχυρές σε σχέση με τις συσχετίσεις που παρουσιάστηκαν στη διάμετρο της ράγας και στο βάρος της ράγας με τις μετεωρολογικές παραμέτρους. Συγκεκριμένα, η απόδοση παρουσίασε τις υψηλότερες συσχετίσεις με τις βαθμομημέρες για την περίοδο από την έκπτυξη των οφθαλμών έως την άνθηση ($r = - 0.556$, $p < 0.01$), με τη μέγιστη θερμοκρασία για την περίοδο από την έκπτυξη των οφθαλμών έως την άνθηση (BBCH 08 - BBCH 65) ($r = - 0.346$, $p < 0.01$), για την ελάχιστη θερμοκρασία για την περίοδο από την έκπτυξη των οφθαλμών έως την άνθηση (BBCH 08 - BBCH 65) ($r = 0.442$, $p < 0.01$), για την μέση

θερμοκρασία για την περίοδο από την έκπτυξη των οφθαλμών έως την άνθηση (BBCH 08 - BBCH 65) ($r = -0.332$, $p < 0.01$), και με την βροχόπτωση για την περίοδο από την έκπτυξη των οφθαλμών έως την άνθηση (BBCH 08 - BBCH 65) ($r = 0.495$, $p < 0.01$). Από τα παραπάνω φαίνεται πόσο σημαντική είναι η περίοδος από την έκπτυξη των οφθαλμών έως την άνθηση. Συγκεκριμένα, οι υψηλές μέγιστες και μέσες θερμοκρασίες σε αυτήν την περίοδο επιδρούν αρνητικά στα ποσοτικά χαρακτηριστικά της παραγωγής, ενώ ο υψηλός αριθμός βαθμομερών αυτήν την περίοδο επιδρά και αυτός αρνητικά. Αντιθέτως, οι υψηλές για την εποχή ελάχιστες θερμοκρασίες και η βροχόπτωση επιδρούν θετικά στη διάμετρο της ράγας, το βάρος της ράγας και την παραγωγή. Αυτό συμφωνεί με την έρευνα που έκαναν άλλοι ερευνητές (Dunn and Martin, 2000, Pagay and Collins, 2017) όπου διαπίστωσαν ότι οι καιρικές συνθήκες οι οποίες λαμβάνουν μέρος σε αυτήν την περίοδο της καλλιέργειας επιδρούν στην άνθηση και κατά συνέπεια στα τελικά ποσοτικά χαρακτηριστικά της παραγωγής.

Πίνακας 23 Συγκεντρωτικές συσχετίσεις κατά Pearson ανάμεσα σε καιρικές παραμέτρους και ποιοτικά χαρακτηριστικά επιτραπέζιου σταφυλιού κατά την συγκομιδή για τα τρία έτη της μελέτης (2015, 2016 και 2017).

Παράμετρος	pH	Σάκχαρα	Ολική Οξύτητα	Συμπύεση Ράγας	Αποκοπή Ράγας
Βαθμομέρες BBCH08 - BBCH89	-0.102	0.241*	-0.164	0.059	0.192*
Βαθμομέρες BBCH81 - BBCH89	0.765**	-0.283**	-0.161	0.789**	0.873**
Βαθμομέρες BBCH08 - BBCH65	-0.509**	0.099	0.189	-0.596**	-0.715**
Βαθμομέρες BBCH65 - BBCH79	-0.912**	0.463**	0.078	-0.840**	-0.851**
Μέγιστη Θερμοκρασία BBCH08 - BBCH89	-0.909**	0.476**	0.065	-0.825**	-0.826**
Μέγιστη Θερμοκρασία BBCH81 - BBCH89	0.834**	-0.499**	-0.002	0.707**	0.663**
Μέγιστη Θερμοκρασία BBCH08 - BBCH65	-0.894**	0.414**	0.113	-0.855**	-0.894**
Μέγιστη Θερμοκρασία BBCH65 - BBCH79	-0.896**	0.490**	0.045	-0.796**	-0.782**
Ελάχιστη Θερμοκρασία BBCH08 - BBCH89	0.910**	-0.447**	-0.092	0.850**	0.872**
Ελάχιστη Θερμοκρασία BBCH81 - BBCH89	0.906**	-0.481**	-0.059	0.818**	0.814**
Ελάχιστη Θερμοκρασία BBCH08 - BBCH65	0.823**	-0.334**	-0.147	0.825**	0.894**
Ελάχιστη Θερμοκρασία BBCH65 - BBCH79	0.875**	-0.497**	-0.027	0.763**	0.737**
Μέση Θερμοκρασία BBCH08 - BBCH89	-0.896**	0.489**	0.046	-0.797**	-0.784**
Μέση Θερμοκρασία BBCH81 - BBCH89	0.892**	-0.491**	-0.041	0.790**	0.774**
Μέση Θερμοκρασία	-0.899**	0.422**	0.108	-0.855**	-0.890**

Παράμετρος	pH	Σάκχαρα	Ολική Οξύτητα	Συμπύεση Ράγας	Αποκοπή Ράγας
BBCH08 - BBCH65					
Μέση Θερμοκρασία BBCH65 – BBCH79	-0.909**	0.476**	0.065	-0.825**	-0.826**
Βροχόπτωση BBCH08 - BBCH89	0.912**	-0.463**	-0.078	0.840**	0.851**
Βροχόπτωση BBCH81 - BBCH89	0.900**	-0.487**	-0.049	0.804**	0.793**
Βροχόπτωση BBCH08 - BBCH65	0.742**	-0.265**	-0.166	0.773**	0.862**
Βροχόπτωση BBCH65 – BBCH79	0.226*	-0.299**	0.149	0.059	-0.069

** Η συσχέτιση παρουσιάζει στατιστικώς σημαντική διαφορά σε επίπεδο $p < 0.01$.

* Η συσχέτιση παρουσιάζει στατιστικώς σημαντική διαφορά σε επίπεδο $p < 0.05$.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 23, οι συσχετίσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών με τις μετεωρολογικές παραμέτρους δεν παρουσίασε μία συγκεκριμένη ακολουθία όπως συνέβη με τα ποσοτικά χαρακτηριστικά. Ειδικά, οι υψηλότερες συσχετίσεις του pH ήταν με τις βαθμομέρες για την περίοδο της άνθησης έως το κλείσιμο των σταφυλιών (BBCH 65 - BBCH 79) με $r = -0.912$ ($p < 0.01$), με την μέγιστη θερμοκρασία από την έκπτυξη των οφθαλμών έως την τεχνολογική ωρίμαση (BBCH 08 - BBCH 89) με $r = -0.909$ ($p < 0.01$), με την ελάχιστη θερμοκρασία από την έκπτυξη των οφθαλμών έως την τεχνολογική ωρίμαση (BBCH 08 - BBCH 89) με $r = 0.910$ ($p < 0.01$), με την μέση θερμοκρασία από την άνθηση έως το κλείσιμο των σταφυλιών (BBCH 65 - BBCH 79) με $r = -0.909$ ($p < 0.01$), και με την βροχόπτωση από την έκπτυξη των οφθαλμών έως την τεχνολογική ωρίμαση (BBCH 08 - BBCH 89) με $r = 0.912$ ($p < 0.01$). Αυτό έρχεται σε συμφωνία με τους Van Leeuwen and Destrac-Irvine (2017), οι οποίοι ανέφεραν ότι το pH επηρεάζεται από τις πολλές καλλιεργητικές πρακτικές που συμβαίνουν στον αμπελώνα, αν και αναμένεται να αυξηθεί σε θερμό και ξηρό καιρό.

Τα σάκχαρα παρουσίασαν μικρότερες συσχετίσεις με τις μετεωρολογικές παραμέτρους σε σύγκριση με το pH, ενώ και οι περίοδοι των φαινολογικών σταδίων που παρουσίασαν τις υψηλότερες συσχετίσεις ήταν διαφορετικές. Συγκεκριμένα, τα σάκχαρα παρουσίασαν την υψηλότερη συσχέτιση με τις βαθμομέρες για την περίοδο από την άνθηση έως το κλείσιμο των σταφυλιών (BBCH 65 - BBCH 79) με $r = 0.463$ ($p < 0.01$), με την μέγιστη θερμοκρασία για την περίοδο από την έναρξη του περκασμού έως την τεχνολογική ωρίμαση (BBCH 81 - BBCH 89) με $r = -0.499$ ($p < 0.01$), με την ελάχιστη θερμοκρασία για την περίοδο από την έναρξη της άνθησης έως το κλείσιμο των σταφυλιών (BBCH 65 - BBCH 79) με $r = -0.497$ ($p < 0.01$), με την μέση θερμοκρασία για την περίοδο από την έναρξη του περκασμού έως την τεχνολογική ωρίμαση (BBCH 81 - BBCH 89) με $r = -0.491$ ($p < 0.01$), και με την βροχόπτωση για την ίδια περίοδο με $r = -0.487$ ($p < 0.01$). Αυτό έρχεται σε συμφωνία με τους Drappier et al. (2019) που αναφέρουν ότι οι διαφορετικές θερμοκρασίες έχουν

διαφορετική επίδραση στο μεταβολισμό των φυτών και κατά συνέπεια στην συγκέντρωση των σακχάρων, και ότι σε συνθήκες καύσωνα ο ρυθμός παραγωγής σακχάρων μειώνεται. Επιπλέον, άλλες έρευνες αναφέρουν ότι η αυξημένη ποσότητα βροχόπτωσης επιδρά αρνητικά στην συγκέντρωση των σακχάρων (Brock et al., 2013, Irimia et al., 2015).

Η ολική οξύτητα δεν παρουσίασε καμία συσχέτιση με καμία καιρική παράμετρο, υποδηλώνοντας ότι δεν επηρεάζεται από τη θερμοκρασία ή από τη βροχόπτωση. Σύμφωνα με τους Duchêne et al. (2020) η οξύτητα μπορεί να επηρεαστεί από τις καλλιεργητικές πρακτικές με αποτέλεσμα να μην επηρεάζεται από τις κλιματικές συνθήκες.

Η συμπίεση της ράγας παρουσίασε υψηλή συσχέτιση με τις βαθμομημέρες για την περίοδο από την έναρξη της άνθησης έως το κλείσιμο των σταφυλιών (BBCH 65 - BBCH 79) με $r = -0.840$ ($p < 0.01$), με την μέγιστη θερμοκρασία για την περίοδο από την έκπτυξη των οφθαλμών έως την άνθηση (BBCH 08 - BBCH 65) με $r = 0.850$ ($p < 0.01$), με την ελάχιστη θερμοκρασία για την περίοδο από την έκπτυξη των οφθαλμών έως την τεχνολογική ωρίμαση (BBCH 08 - BBCH 89) με $r = -0.497$ ($p < 0.01$), με την μέση θερμοκρασία για την περίοδο από την έκπτυξη των οφθαλμών έως την άνθηση (BBCH 08 - BBCH 65) με $r = -0.855$ ($p < 0.01$), και με τη βροχόπτωση για την ίδια περίοδο από την έκπτυξη των οφθαλμών έως την τεχνολογική ωρίμαση (BBCH 08 - BBCH 89) με $r = 0.840$ ($p < 0.01$). Αυτά τα ευρήματα έρχονται σε συμφωνία με τους Zufferey et al. (2015), οι οποίοι αναφέρουν ότι υψηλές για την εποχή θερμοκρασίες και βροχοπτώσεις μπορούν να προκαλέσουν μεταβολή της συμπίεσης στην ελαστική ζώνη των ραγών εξαιτίας της μεταβολής της υδραυλικής αγωγιμότητας στην ράχη των τσαμπιών και στον ποδίσκο των σταφυλιών.

Τέλος, η αποκοπή της ράγας παρουσίασε ισχυρή θετική συσχέτιση με τις βαθμομημέρες για την περίοδο από την έναρξη του περκασμού έως την τεχνολογική ωρίμαση (BBCH 81 - BBCH 89) με $r = 0.873$ ($p < 0.01$), με την μέγιστη θερμοκρασία παρουσίασε ισχυρή αρνητική συσχέτιση για την περίοδο από την έκπτυξη των οφθαλμών έως την άνθηση (BBCH 08 - BBCH 65) με $r = -0.894$ ($p < 0.01$), με την ελάχιστη θερμοκρασία παρουσίασε ισχυρή θετική συσχέτιση για την ίδια περίοδο με $r = 0.894$ ($p < 0.01$), με την μέση θερμοκρασία παρουσίασε ισχυρή αρνητική συσχέτιση για την ίδια περίοδο $r = -0.890$ ($p < 0.01$), όπως και με την βροχόπτωση παρουσιάστηκε ισχυρή θετική συσχέτιση για την ίδια περίοδο με $r = 0.862$ ($p < 0.01$). Αυτά τα ευρήματα έρχονται σε συμφωνία με τους Conde et al. (2007) και Zufferey et al. (2015), οι οποίοι αναφέρουν ότι ο ποδίσκος των σταφυλιών, και κατά συνέπεια η δύναμη αποκοπής της ράγας επηρεάζεται από τις καιρικές συνθήκες. Συγκεκριμένα, αναφέρουν ότι οι καιρικές συνθήκες επηρεάζουν το μέγεθος των κυττάρων που βρίσκονται στην ράχη των τσαμπιών και στον ποδίσκο των ραγών του σταφυλιού, με

αποτέλεσμα να επηρεάζεται η κίνηση του νερού και των οργανικών και ανόργανων συστατικών και η γενική λειτουργία του αγωγού ιστού.

6.2.2 Έδαφος σε συνδυασμό με Παραγωγή

6.2.2.1 Έδαφος σε συνδυασμό με Παραγωγή για όλα τα έτη

Στους πίνακες Πίνακας 24 και Πίνακας 25 παρουσιάζονται οι συσχετίσεις κατά Pearson ανάμεσα στις παραμέτρους του εδάφους και στα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά της καλλιέργειας για τα τρία έτη της μελέτης.

Πίνακας 24 Συγκεντρωτικές συσχετίσεις κατά Pearson ανάμεσα σε εδαφικές παραμέτρους και ποσοτικά χαρακτηριστικά του επιτραπέζιου σταφυλιού κατά την συγκομιδή για τα τρία έτη της μελέτης (2015, 2016 και 2017).

Παράμετρος	Διάμετρος Ράγας	Βάρος Ράγας	Ποκνότητα Ράγας	Απόδοση
Άργιλος	0.000	0.012	0.050	0.042
Άμμος	0.047	0.048	-0.076	-0.225*
Ίλύς	-0.060	-0.069	0.067	0.265*
Οργανική Ουσία	0.011	0.028	-0.004	-0.165
Διαθέσιμη Υγρασία	-0.037	-0.016	0.010	0.194*
Ανθρακικό Ασβέστιο	-0.003	-0.011	-0.045	0.163
pH	0.099	0.052	0.081	-0.128
Ηλεκτρική Αγωγιμότητα Εδάφους	-0.076	-0.041	0.018	0.017

** Η συσχέτιση παρουσιάζει στατιστικώς σημαντική διαφορά σε επίπεδο $p < 0.01$.

* Η συσχέτιση παρουσιάζει στατιστικώς σημαντική διαφορά σε επίπεδο $p < 0.05$.

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, μόνο η άμμος, η ιλύς και η διαθέσιμη υγρασία παρουσίασαν συσχετίσεις με τα ποσοτικά χαρακτηριστικά του επιτραπέζιου σταφυλιού και πιο συγκεκριμένα με την απόδοση της παραγωγής, για όλα τα έτη. Συγκεκριμένα, η άμμος παρουσίασε αρνητική συσχέτιση με την απόδοση ($r = -0.225$, $p < 0.05$), υποδηλώνοντας ότι υψηλότερο ποσοστό άμμου έχει ως συνέπεια χαμηλότερη απόδοση, ενώ η ιλύς και η διαθέσιμη υγρασία παρουσίασαν θετική συσχέτιση ($r = 0.265$ και $r = 0.194$ για $p < 0.05$ αντίστοιχα), υποδηλώνοντας την αύξηση της παραγωγής με αύξηση του ποσοστού ιλύος και διαθέσιμης υγρασίας. Αυτό συμφωνεί με άλλες έρευνες (Renouf et al., 2010, Echeverría et al., 2017), όπου βρήκαν ότι εδάφη με υψηλή διαθέσιμη υγρασία, όπως εδάφη που έχουν υψηλό ποσοστό ιλύος, έχουν την ικανότητα να υποστηρίζουν μεγαλύτερη παραγωγή σε σχέση με ελαφρά εδάφη (εδάφη με υψηλό ποσοστό άμμου).

Πίνακας 25 Συγκεντρωτικές συσχετίσεις κατά Pearson ανάμεσα σε εδαφικές παραμέτρους και ποιοτικά χαρακτηριστικά του επιτραπέζιου σταφυλιού κατά την συγκομιδή για τα τρία έτη της μελέτης (2015, 2016 και 2017).

Παράμετρος	pH	Σάκχαρο	Ολική Οξύτητα	Συμπύεση Ράγας	Αποκοπή Ράγας
Άργιλος	-0.029	-0.004	0.040	0.004	0.045
Άμμος	0.149	0.040	-0.008	-0.063	-0.058

Παράμετρος	pH	Σάκχαρα	Ολική Οξύτητα	Συμπύεση Ράγας	Αποκοπή Ράγας
Ίλύς	-0.176	-0.050	-0.015	0.079	0.047
Οργανική Ουσία	0.166	-0.005	0.059	-0.034	-0.047
Διαθέσιμη Υγρασία	-0.064	-0.139	0.067	0.105	0.014
Ανθρακικό Ασβέστιο	-0.078	0.009	0.089	0.066	-0.016
pH	0.099	-0.103	-0.072	-0.106	-0.015
Ηλεκτρική Αγωγιμότητα Εδάφους	0.025	0.064	0.032	0.044	-0.050

** Η συσχέτιση παρουσιάζει στατιστικώς σημαντική διαφορά σε επίπεδο $p < 0.01$.

* Η συσχέτιση παρουσιάζει στατιστικώς σημαντική διαφορά σε επίπεδο $p < 0.05$.

Από τον παραπάνω πίνακα, διαπιστώθηκε ότι για τα τρία έτη της μελέτης δεν παρουσιάστηκαν συσχετίσεις ανάμεσα στις εδαφικές παραμέτρους και στα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται κατανοητό ότι οι στοχευμένες καλλιεργητικές πρακτικές εξαλείφουν σε μεγάλο βαθμό την επίδραση των εδαφικών παραμέτρων στα ποιοτικά χαρακτηριστικά της καλλιέργειας του επιτραπέζιου σταφυλιού όπως γίνεται και στο οινοποιήσιμο (Fountas et al., 2014).

6.2.2.2 Έδαφος σε συνδυασμό με Παραγωγή 2015

Στους πίνακες Πίνακας 26 και Πίνακας 27 παρουσιάζονται οι συσχετίσεις κατά Pearson ανάμεσα στις παραμέτρους του εδάφους και στα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά της καλλιέργειας για το 2015.

Πίνακας 26 Συσχετίσεις κατά Pearson ανάμεσα σε εδαφικές παραμέτρους και ποσοτικά χαρακτηριστικά του επιτραπέζιου σταφυλιού κατά την συγκομιδή για το 2015.

Παράμετρος	Διάμετρος Ράγας	Βάρος Ράγας	Ποικνότητα Ράγας	Απόδοση
Αργίλος	0.229	0.257	-0.018	0.266
Άμμος	-0.019	-0.019	-0.014	-0.395*
Ίλύς	-0.116	-0.134	0.029	0.347*
Οργανική Ουσία	-0.064	-0.001	-0.132	-0.222
Διαθέσιμη Υγρασία	-0.104	0.123	-0.049	0.289
Ανθρακικό Ασβέστιο	0.070	-0.001	-0.022	0.166
pH	0.068	0.048	0.305	-0.034
Ηλεκτρική Αγωγιμότητα Εδάφους	-0.162	-0.160	-0.227	-0.070

** Η συσχέτιση παρουσιάζει στατιστικώς σημαντική διαφορά σε επίπεδο $p < 0.01$.

* Η συσχέτιση παρουσιάζει στατιστικώς σημαντική διαφορά σε επίπεδο $p < 0.05$.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 26 για το 2015 καταγράφηκαν σημαντικές συσχετίσεις ανάμεσα στην άμμο και την ιλύ ως προς την απόδοση. Οι συσχετίσεις ακολούθησαν αντίστοιχο μοτίβο με αυτό της ανάλυσης κατά Pearson ανάμεσα στις εδαφικές παραμέτρους και στα ποσοτικά χαρακτηριστικά για τα τρία έτη. Δηλαδή, η παραγωγή παρουσίασε αρνητική συσχέτιση με την άμμο ($r = -0.395$, $p < 0.05$) και θετική με την ιλύ ($r = 0.347$, $p < 0.05$). Αυτό επιβεβαιώνει άλλες έρευνες όπου εδάφη με

υψηλή διαθέσιμη υγρασία, όπως εδάφη που έχουν υψηλό ποσοστό ιλύος, έχουν την ικανότητα να υποστηρίζουν μεγαλύτερη παραγωγή σε σχέση με ελαφρά εδάφη (εδάφη με υψηλό ποσοστό άμμου) (Renouf et al., 2010, Echeverría et al., 2017).

Πίνακας 27 Συσχετίσεις κατά Pearson ανάμεσα σε εδαφικές παραμέτρους και ποιοτικά χαρακτηριστικά του επιτραπέζιου σταφυλιού κατά την συγκομιδή για το 2015.

Παράμετρος	pH	Σάκχαρα	Ολική Οξύτητα	Συμπύεση Ράγας	Αποκοπή Ράγας
Άργιλος	-0.195	0.016	-0.101	0.097	0.124
Άμμος	0.574**	-0.055	-0.037	-0.250	-0.275
Ιλύς	-0.622**	0.061	0.111	0.264	0.280
Οργανική Ουσία	0.567**	-0.241	0.080	-0.207	-0.200
Διαθέσιμη Υγρασία	-0.206	-0.093	0.179	0.169	0.077
Ανθρακικό Ασβέστιο	-0.269	0.070	-0.043	0.084	0.148
pH	0.455**	-0.075	-0.200	-0.189	-0.112
Ηλεκτρική Αγωγιμότητα Εδάφους	-0.101	-0.232	0.104	-0.080	-0.157

** Η συσχέτιση παρουσιάζει στατιστικώς σημαντική διαφορά σε επίπεδο $p < 0.01$.

* Η συσχέτιση παρουσιάζει στατιστικώς σημαντική διαφορά σε επίπεδο $p < 0.05$.

Ο Πίνακας 27 παρουσιάζει τις συσχέτισεις των εδαφικών παραμέτρων με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του επιτραπέζιου σταφυλιού. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, μερικοί εδαφικοί παράμετροι έχουν συσχετιστεί μόνο με το pH των επιτραπέζιων σταφυλιών και πιο συγκεκριμένα η άμμος ($r = 0.574$, $p < 0.01$), η ιλύς ($r = -0.622$, $p < 0.01$), η οργανική ουσία ($r = 0.567$, $p < 0.01$) και το pH του εδάφους ($r = 0.455$, $p < 0.01$). Το pH του σταφυλιού αναφέρεται στη συγκέντρωση των ελευθέρων ιόντων υδρογόνου (H^+) που προκύπτουν από τις μεταβολικές δράσεις που συντελούνται στο σταφύλι. Έτσι, οι δράσεις αυτές είναι πιο έντονες όταν η διαθεσιμότητα των στοιχείων είναι υψηλή, όπως όταν υπάρχει κατάλληλο pH για κάθε ποικιλία (Kering and Kaps, 2004), υψηλή οργανική ουσία (Assimakoroulou and Tsougrianis, 2012). Επιπλέον, σε συνθήκες όπου υπάρχει υδατική καταπόνηση, όπως μπορεί να συμβαίνει σε εδάφη με υψηλό ποσοστό άμμου και χαμηλό ποσοστό ιλύος, το pH του σταφυλιού αυξάνει (Ginestar et al., 1998).

6.2.2.3 Έδαφος σε συνδυασμό με Παραγωγή 2016

Στους πίνακες Πίνακας 28 και Πίνακας 29 παρουσιάζονται οι συσχέτισεις κατά Pearson ανάμεσα στις παραμέτρους του εδάφους και στα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά της καλλιέργειας για το 2016.

Πίνακας 28 Συσχετίσεις κατά Pearson ανάμεσα σε εδαφικές παραμέτρους και ποσοτικά χαρακτηριστικά του επιτραπέζιου σταφυλιού κατά την συγκομιδή για το 2016.

Παράμετρος	Διάμετρος Ράγας	Βάρος Ράγας	Ποικνότητα Ράγας	Απόδοση
Άργιλος	-0.049	-0.111	0.110	0.011

Παράμετρος	Διάμετρος Ράγας	Βάρος Ράγας	Πυκνότητα Ράγας	Απόδοση
Άμμος	0.135	0.414*	-0.172	-0.204
ΐλύς	-0.144	-0.467**	0.156	0.257
Οργανική Ουσία	0.106	0.265	0.040	-0.208
Διαθέσιμη Υγρασία	-0.079	-0.294	0.126	0.219
Ανθρακικό Ασβέστιο	-0.147	-0.053	-0.047	0.206
pH	0.398*	0.346*	-0.042	-0.156
Ηλεκτρική Αγωγιμότητα Εδάφους	-0.215	-0.174	0.151	-0.031

** Η συσχέτιση παρουσιάζει στατιστικώς σημαντική διαφορά σε επίπεδο $p < 0.01$.

* Η συσχέτιση παρουσιάζει στατιστικώς σημαντική διαφορά σε επίπεδο $p < 0.05$.

Το 2016 καταγράφησαν συσχετίσεις ανάμεσα σε εδαφικές παραμέτρους και ποσοτικά χαρακτηριστικά των σταφυλιών (Πίνακας 28). Συγκεκριμένα, το pH του εδάφους συσχετίστηκε θετικά με την διάμετρο ($r = 0.398$, $p < 0.05$) και το βάρος της ράγας ($r = 0.346$, $p < 0.05$), ενώ η άμμος και η ίλύς συσχετίστηκαν και αυτές με τον βάρος της ράγας ($r = 0.414$, $p < 0.05$ και $r = -0.467$, $p < 0.01$ αντίστοιχα). Η θετική συσχέτιση του εδαφικού pH οφείλεται στην αυξημένη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων για την ποικιλία που επέτρεψαν την αύξηση της διαμέτρου και του βάρους της ράγας, η οποία προήλθε και από την εφαρμογή των κατάλληλων φυτορρυθμιστικών ουσιών. Αντίστοιχα, το βάρος της ράγας εμφανίστηκε αυξημένο στην περίπτωση του όταν εδάφους με υψηλό ποσοστό άμμου, ενώ αντίθετα εμφανίστηκε μειωμένο στα εδάφη με υψηλό ποσοστό ίλως. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στα ελαφρά εδάφη αναπτύσσονται πιο αραιοί βόστρυχοι, και κατά συνέπεια μεγαλύτερης πυκνότητας ράγες (Cheng et al., 2014).

Πίνακας 29 Συσχετίσεις κατά Pearson ανάμεσα σε εδαφικές παραμέτρους και ποιοτικά χαρακτηριστικά του επιτραπέζιου σταφυλιού κατά την συγκομιδή για το 2016.

Παράμετρος	pH	Σάκχαρα	Ολική Οξύτητα	Συμπύεση Ράγας	Αποκοπή Ράγας
Άργιλος	-0.194	-0.044	0.163	-0.077	0.168
Άμμος	0.526**	0.296	-0.183	-0.053	0.106
ΐλύς	-0.562**	-0.356*	0.136	0.116	-0.241
Οργανική Ουσία	0.515**	0.272	-0.094	-0.068	0.097
Διαθέσιμη Υγρασία	-0.271	-0.339*	0.165	0.194	-0.278
Ανθρακικό Ασβέστιο	-0.212	-0.072	0.115	0.273	-0.150
pH	0.245	-0.041	-0.089	-0.332*	0.224
Ηλεκτρική Αγωγιμότητα Εδάφους	0.206	0.206	-0.082	0.196	0.062

** Η συσχέτιση παρουσιάζει στατιστικώς σημαντική διαφορά για επίπεδο $p < 0.01$.

* Η συσχέτιση παρουσιάζει στατιστικώς σημαντική διαφορά για επίπεδο $p < 0.05$.

Όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 29, το pH του σταφυλιού παρουσίασε θετική συσχέτιση με την άμμο ($r = 0.526$, $p < 0.01$), αρνητική με την ίλύ ($r = -0.562$, $p < 0.01$), και θετική με την οργανική

ουσία ($r = 0.515$, $p < 0.01$). Όπως αναφέρθηκε και για το 2015, αυτές οι συσχετίσεις οφείλονται στον διαφορετικό βαθμό υδατικής καταπόνησης και διαθεσιμότητας θρεπτικών στοιχείων που είχε η καλλιέργεια, εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών και της χαμηλής βροχόπτωσης που παρουσιάστηκε στο καλλιεργητικό έτος, και οδήγησε σε υψηλότερο pH στα σταφύλια. Επιπλέον, τα σάκχαρα παρουσίασαν αρνητικές συσχετίσεις κατά Pearson με την ιλύ και την διαθέσιμη υγρασία ($r = -0.356$ και $r = -0.339$ για $p < 0.01$ αντίστοιχα). Αυτό εξηγείται από την συγκέντρωση των σακχάρων στο σταφύλι η οποία αυξάνει σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης, ενώ είναι μειωμένη σε συνθήκες μη καταπόνησης (Porro et al., 2010, Chaves et al., 2010, Zarrouk et al., 2016).

6.2.2.4 Έδαφος σε συνδυασμό με Παραγωγή 2017

Στους πίνακες Πίνακας 30 και Πίνακας 31 παρουσιάζονται οι συσχετίσεις κατά Pearson ανάμεσα στις παραμέτρους του εδάφους και στα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά της καλλιέργειας για το 2017.

Πίνακας 30 Συσχετίσεις κατά Pearson ανάμεσα σε εδαφικές παραμέτρους και ποσοτικά χαρακτηριστικά του επιτραπέζιου σταφυλιού κατά την συγκομιδή για το 2017.

Παράμετρος	Διάμετρος Ράγας	Βάρος Ράγας	Ποκνότητα Ράγας	Απόδοση
Αργίλος	-0.210	-0.045	0.044	-0.146
Άμμος	0.334*	0.166	0.066	-0.232
Ιλύς	-0.303	-0.188	-0.112	0.390*
Οργανική Ουσία	0.052	0.062	0.130	-0.168
Διαθέσιμη Υγρασία	-0.159	-0.028	-0.309	0.198
Ανθρακικό Ασβέστιο	0.084	-0.073	-0.161	0.227
pH	0.428*	0.210	0.138	-0.301
Ηλεκτρική Αγωγιμότητα Εδάφους	-0.312	-0.120	0.109	0.202

** Η συσχέτιση παρουσιάζει στατιστικώς σημαντική διαφορά σε επίπεδο $p < 0.01$.

* Η συσχέτιση παρουσιάζει στατιστικώς σημαντική διαφορά σε επίπεδο $p < 0.05$.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 30, μόνο η διάμετρος της ράγας και η παραγωγή παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικές συσχετίσεις με κάποιες από τις εδαφικές παραμέτρους. Συγκεκριμένα, η άμμος και το pH του εδάφους εμφάνισαν θετική συσχέτιση με τη διάμετρο της ράγας ($r = 0.334$ και $r = 0.428$ για $p < 0.05$ αντίστοιχα), ενώ η ιλύς εμφάνισε θετική με την παραγωγή ($r = 0.390$, $p < 0.05$). Οι θετικές συσχετίσεις, όπως αναφέρθηκαν και για το 2016, οφείλονται στην υψηλή διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων ποικιλία (Kering and Kaps, 2004), αλλά και στο γεγονός ότι σε ελαφρά εδάφη παρουσιάζονται αραιά τσαμπιά από σταφύλια (Cheng et al., 2014). Σχετικά με την συσχέτιση που εμφανίστηκε ανάμεσα στην ιλύ και στην παραγωγή αυτό οφείλεται στην ικανότητα εδαφών που συγκρατούν περισσότερη υγρασία να υποστηρίζουν μεγαλύτερη παραγωγή (Echeverría et al., 2017).

Πίνακας 31 Συσχετίσεις κατά Pearson ανάμεσα σε εδαφικές παραμέτρους και ποιοτικά χαρακτηριστικά του επιτραπέζιου σταφυλιού κατά την συγκομιδή για το 2017.

Παράμετρος	pH	Σάκχαρα	Ολική Οξύτητα	Συμπύεση Ράγας	Αποκοπή Ράγας
Άργιλος	0.119	0.036	0.162	-0.040	0.035
Άμμος	0.105	-0.247	0.131	-0.006	-0.155
Ίλύς	-0.209	0.298	-0.270	0.033	0.179
Οργανική Ουσία	0.225	-0.141	0.132	0.145	-0.159
Διαθέσιμη Υγρασία	-0.024	0.041	-0.123	0.275	0.217
Ανθρακικό Ασβέστιο	-0.131	0.067	0.266	0.060	-0.165
pH	0.127	-0.354*	0.091	-0.118	-0.142
Ηλεκτρική Αγωγιμότητα Εδάφους	0.020	0.342*	0.009	0.228	-0.204

** Η συσχέτιση παρουσιάζει στατιστικώς σημαντική διαφορά σε επίπεδο $p < 0.01$.

* Η συσχέτιση παρουσιάζει στατιστικώς σημαντική διαφορά σε επίπεδο $p < 0.05$.

Για το 2017, οι εδαφικές παράμετροι που εμφάνισαν συσχετίσεις με ποιοτικά χαρακτηριστικά ήταν το pH και η ηλεκτρική αγωγιμότητα (Πίνακας 31). Ειδικά, αυτές οι δύο παράμετροι εμφάνισαν συσχέτιση μόνο με τα σάκχαρα ($r = -0.354$ και $r = 0.342$ για $p < 0.05$ αντίστοιχα). Όπως είναι γνωστό, η διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων που συνεισφέρουν στις μεταβολικές δραστηριότητες της καλλιέργειας, και κατά συνέπεια τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά της παραγωγής, επηρεάζονται από το pH του εδάφους το οποίο με την σειρά του επηρεάζεται από το κλίμα (Zhang et al., 2019), και την ποικιλία που έχει διαφορετικά εύρη pH για την αποτελεσματική αξιοποίηση των θρεπτικών του εδάφους (Himelrick, 1991). Στη συγκεκριμένη χρονιά (2017), το αυξημένο εδαφικό pH, εξαιτίας των κλιματικών συνθηκών της καλλιεργητικής περιόδου, οδήγησε σε περιορισμό της διαθεσιμότητας των θρεπτικών στοιχείων που είναι απαραίτητα για τις μεταβολικές διεργασίες. Αντίστοιχα, η υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους, η οποία μεταβάλλεται με την ποσότητα άρδευσης και βροχόπτωσης που εμφανίζεται μέσα σε ένα έτος, έχει συνδυαστεί με την αυξημένη δυνατότητα κίνησης του νερού στο έδαφος, και κατά συνέπεια με την κίνηση των θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος και της απορρόφησής τους από τα φυτά (Yu and Kurtural, 2020). Έτσι, η υψηλή διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων οδήγησε σε υψηλότερη συγκέντρωση σακχάρων στο σταφύλι.

6.2.3 Συμπεράσματα

Σε αυτήν την μελέτη αξιολογήθηκε η επίδραση των καιρικών συνθηκών και των εδαφικών παραμέτρων στα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά του επιτραπέζιου σταφυλιού που παρουσιάζει παραλλακτικότητα στο έδαφος. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης, οι καιρικές συνθήκες αποτελούν τον πιο σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει σημαντικά την παραγόμενη ποσότητα και ποιότητα ενώ από τις παραμέτρους του εδάφους, το ποσοστό της ιλύος, της άμμου και

της διαθέσιμης υγρασίας επηρέασε την παραγόμενη ποσότητα σταφυλιών για τα τρία καλλιεργητικά έτη που εξετάστηκαν. Όμως, όταν αναλύεται η επίδραση της κάθε παραμέτρου του εδάφους ανά έτος τότε παρουσιάζονται διαφορετικοί βαθμοί συσχέτισης για τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά. Αυτό το φαινόμενο οφείλεται στις διαφορετικές καιρικές συνθήκες που επικρατούν, και στις καλλιεργητικές πρακτικές που εφαρμόζονται. Όπως αναφέρουν και άλλες έρευνες (Fountas et al., 2014, Shafi et al., 2019), οι καλλιεργητικές πρακτικές τείνουν να εξαλείφουν την χωρική παραλλακτικότητα που προκαλείται από τις εδαφικές και καιρικές παραμέτρους. Επιπλέον, η επίδραση των καλλιεργητικών πρακτικών στην εξάλειψη της χωρικής παραλλακτικότητας επηρεάζεται από τις ετήσιες καιρικές συνθήκες.

Οι επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής είναι όλο και πιο έντονες κάθε έτος. Για αυτόν τον λόγο, είναι απαραίτητη η γνώση της συνδυασμένης επίδρασης που επιτελούν οι καιρικές και εδαφικές παράμετροι στη χωρική και χρονική παραλλακτικότητα της ποσότητας και ποιότητας της παραγωγής της κάθε καλλιέργειας. Με αυτόν τον τρόπο, μπορούν να προγραμματιστούν και εφαρμοστούν οι κατάλληλες καλλιεργητικές πρακτικές που θα μειώσουν την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην απόδοση και ποιότητα της παραγωγής.

6.3 Χωροχρονική σταθερότητα των ζωνών διαχείρισης που καθορίστηκαν με την χρήση δειγματοληψίας που πραγματοποιήθηκε σε υποτεμάχια

Anastasiou, E., Tsiropoulos, Z., Balafoutis, T., Fountas, S., Templalexis, C., Lentzou, D., & Xanthopoulos, G. (2017). Spatiotemporal stability of management zones in a table grapes vineyard in Greece. *Advances in Animal Biosciences*, 8(2), 510-514. Web of Science journal.

Η ανάλυση με τη χρήση του προγράμματος MZA έδειξε ότι δύο ζώνες διαχείρισης θεωρήθηκαν ως ο πιο σταθερός αριθμός ζωνών έναντι των τριών και τεσσάρων ζωνών διαχείρισης εναλλακτικά, καθώς η υπόθεση των δύο ζωνών διαχείρισης παρουσίασε τόσο τον χαμηλότερο δείκτη απόδοσης ασάφειας (0.0071) όσο και την ομαλοποιημένη εντροπία ταξινόμησης (0.004), σε σύγκριση με τις τρεις (0.0293 και 0.0156 αντίστοιχα) και τις τέσσερις ζώνες διαχείρισης (0.0206 και 0.0145 αντίστοιχα).

Η παραγωγή επιτραπέζιων σταφυλιών παρουσίασε υψηλότερη απόδοση σε όρους ποσότητας και ποιότητας το 2015 σε σύγκριση με το έτος συγκομιδής 2016 και το 2017, όπως παρουσιάστηκαν σε πίνακες προηγούμενης ενότητας. Συγκεκριμένα, η μέση απόδοση ήταν 5 και 9 τόνους ανά εκτάριο υψηλότερη κατά τη διάρκεια του 2015 σε σχέση με το 2016 και το 2017 αντίστοιχα, ενώ το βάρος της ράγας ήταν σχεδόν διπλάσιο το 2015. Ακόμη, η μέση διάμετρος της ράγας ήταν σημαντικά μεγαλύτερη το 2015 σε σύγκριση με το 2016 και το 2017, όπως και το pH. Τα σάκχαρα ήταν χαμηλότερα το 2015 σε σύγκριση με το 2016, και εμφάνισαν παρόμοια τιμή με το 2017. Ο δείκτης ωρίμασης και η τιτλοδοτούμενη οξύτητα ήταν σχεδόν οι ίδιες μεταξύ αυτών των δύο ετών συγκομιδής. Ο δείκτης ωρίμασης και η ολική οξύτητα παρουσίασαν επίσης την υψηλότερη παραλλακτικότητα το 2015 (CV = 31% και 28%) σε σύγκριση με το 2016 (CV = 14% και 12% αντίστοιχα) και το 2017 (CV = 19% και 20% αντίστοιχα). Οι παράμετροι που αφορούν την κατανάλωση της ράγας (συμπίεση ράγας και αποκοπή ράγας) ήταν μεγαλύτερες το 2015 σε σύγκριση με το 2016 και το 2017, πράγμα που σημαίνει ότι οι ράγες κατά τη διάρκεια της πρώτης συγκομιδής ήταν πιο τραγανές και αποσπάστηκαν σε πολύ λιγότερο βαθμό από το μίσχο τους σε σχέση με τις ράγες των άλλων δύο ετών (Πίνακας 32, Πίνακας 33 και Πίνακας 34).

Ο κύριος λόγος για τη διαφορετική απόδοση των αμπελώνων κατά τη διάρκεια των τριών χρόνων της μελέτης ήταν η διαφορά των καιρικών συνθηκών, αφού ο αγρότης ακολούθησε τις ίδιες καλλιεργητικές πρακτικές σε όλα τα χρόνια. Το 2016 και το 2017, καταγράφηκαν θερμότερες και ξηρότερες κλιματολογικές συνθήκες. Αυτές οι κλιματολογικές συνθήκες οδήγησαν σε χαμηλότερη ευρωστία λόγω της εκτεταμένης καταπόνησης των καλλιεργειών. Οι συνθήκες καταπόνησης του νερού επηρέασαν όχι μόνο τη συνολική απόδοση αλλά και άλλες παραμέτρους.

Πίνακας 32 Περιγραφική στατιστική έτους 2015.

Παράμετρος	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση	CV (%)
Απόδοση (kg/ha)	14,082	38,432	25,204	5366	21%
Βάρος Ράγας (g)	10.97	13.79	12.59	0.79	6%
Διάμετρος Ράγας (mm)	24.05	27.88	25.74	0.78	3%
pH	3.56	3.93	3.79	0.08	2%
Σάκχαρα (°Brix)	15.7	20.9	18.2	1.2	7%
Ολική Οξύτητα (%)	0.10	0.39	0.21	0.06	28%
Δείκτης Ωρίμασης	45	209	92	28	31%
Συμπίεση Ράγας (N/mm)	1.91	3.23	2.48	0.33	13%
Αποκοπή Ράγας (N)	8.89	14.37	11.67	1.42	12%

Πίνακας 33 Περιγραφική στατιστική έτους 2016.

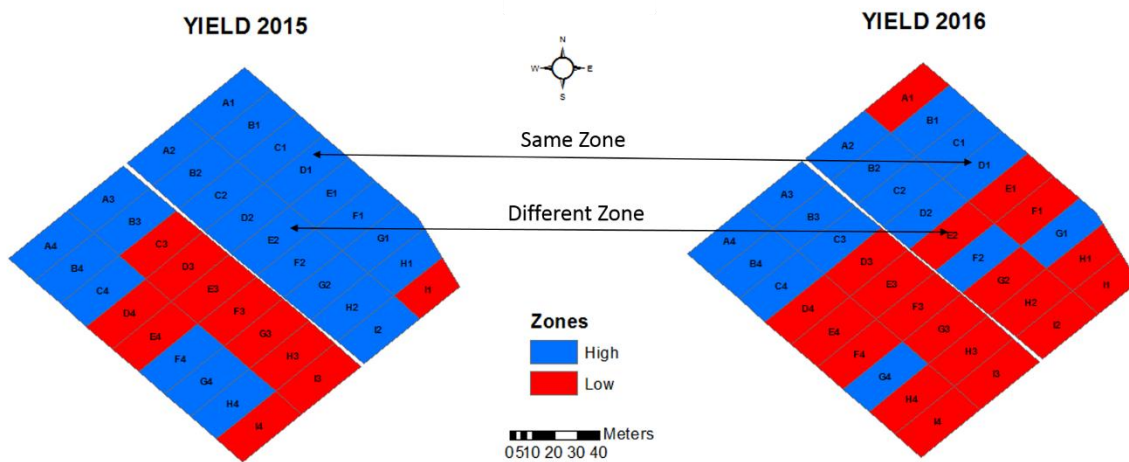
Παράμετρος	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση	CV (%)
Απόδοση (kg/ha)	5,195	30,974	20,401	6430	32%
Βάρος Ράγας (g)	4.67	7.86	6.18	0.74	12%
Διάμετρος Ράγας (mm)	18.76	22.60	20.90	0.85	4%
pH	2.90	3.60	3.14	0.13	4%
Σάκχαρα (°Brix)	16.1	23.2	19.5	1.4	7%
Ολική Οξύτητα (%)	0.18	0.29	0.22	0.03	12%
Δείκτης Ωρίμασης	64	112	88	13	14%
Συμπίεση Ράγας (N/mm)	1.13	2.06	1.44	0.22	15%
Αποκοπή Ράγας (N)	4.27	8.89	5.77	0.93	16%

Πίνακας 34 Περιγραφική στατιστική έτους 2017.

Παράμετρος	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση	CV (%)
Απόδοση (kg/ha)	4,518	26,939	16,229	4,533	28%
Βάρος Ράγας (g)	6.56	9.76	7.86	0.70	9%
Διάμετρος Ράγας (mm)	20.82	23.30	22.00	0.64	3%
pH	3.30	3.90	3.53	0.14	4%
Σάκχαρα (°Brix)	16.90	19.80	18.20	0.73	4%
Ολική Οξύτητα (%)	0.15	0.37	0.24	0.05	20%
Δείκτης Ωρίμασης	48	121	80	15	19%
Συμπίεση Ράγας (N/mm)	1.51	2.35	1.89	0.22	12%
Αποκοπή Ράγας (N)	4.55	10.06	7.56	1.23	16%

Διαπιστώθηκε διαφορετικός βαθμός συμφωνίας μεταξύ των παραμέτρων της καλλιέργειας και για τα τρία έτη, όπως φαίνεται στον Πίνακα 35. Μόνο η απόδοση και το pH παρουσίασαν υψηλό βαθμό συμφωνίας ανάμεσα στα τρία έτη. Η διάμετρος της ράγας και τα σάκχαρα που θεωρούνται ως οι σημαντικότερες ποιοτικές παράμετροι για την αγορά και τον παραγωγό παρουσίασαν υψηλό βαθμό συμφωνίας μόνο ανάμεσα στα έτη 2015 και 2017 (69% και 58% αντίστοιχα). Αυτή η τάση δείχνει

ότι η οριοθέτηση των ζωνών διαχείρισης με βάση την ποιότητα των επιτραπέζιων σταφυλιών, μεταποτίστηκε μεταξύ των τριών ετών συγκομιδής και συνεπώς η οριοθέτηση θα πρέπει να προσαρμόζεται δυναμικά σε κάθε καλλιεργητική περίοδο. Ωστόσο, αυτές οι παράμετροι επηρεάζονται επίσης από καλλιεργητικές πρακτικές όπως η χρήση ρυθμιστών ανάπτυξης της καλλιέργειας. Επομένως, η εφαρμογή μεταβλητού ρυθμού εφαρμογής ρυθμιστών ανάπτυξης καλλιεργειών μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερη συμφωνία των ζωνών διαχείρισης και κατά συνέπεια σε υψηλότερη σταθερότητα.



Εικόνα 31 Βαθμός συμφωνίας ως προς την παραγωγή για τα έτη 2015 και 2016.

Πίνακας 35 Βαθμός συμφωνίας ανάμεσα στην ίδια παράμετρο για τα έτη 2015 και 2016.

Παράμετρος	Βαθμός Συμφωνίας		
	2015-2016	2015-2017	2016-2017
Απόδοση (kg/ha)	69%	75%	78%
Βάρος Ράγας (g)	67%	58%	47%
Διάμετρος Ράγας (mm)	53%	69%	39%
pH	69%	53%	50%
Σάκχαρο (°Brix)	42%	58%	50%
Ολική Οξύτητα (%)	44%	58%	58%
Δείκτης Ωρίμασης	53%	44%	53%
Σάκχαρο x Διάμετρος Ράγας	44%	75%	53%
Συμπίεση Ράγας (N/mm)	50%	47%	64%
Αποκοπή Ράγας (N)	31%	64%	33%

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 36, υπήρξε μικρή συμφωνία μεταξύ της απόδοσης και του δείκτη ωρίμασης μεταξύ των τριών ετών (<50%). Αυτό δείχνει ότι η επιλεκτική συγκομιδή με βάση τον διαφορετικό χρόνο συγκομιδής δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε αυτό τον αμπελώνα. Ωστόσο, υπήρξε πάνω από 50% συμφωνία μεταξύ της απόδοσης και της ποιότητας της παραγωγής (σάκχαρο x

διάμετρο ράγας) για κάθε έτος. Κατά συνέπεια, η χωρική επιλεκτική συγκομιδή με βάση αυτές τις παραμέτρους θα ήταν πιο κερδοφόρα για τον αγρότη.

Πίνακας 36 Βαθμός συμφωνίας της παραγωγής με τον δείκτη ωρίμασης και με τον δείκτη ποιότητας Σάκχαρο x Διάμετρος Ράγας.

Παραγωγή με	2015	2016	2017
Δείκτης Ωρίμασης	31%	47%	50%
Σάκχαρο x Διάμετρος Ράγας	64%	50%	64%

6.3.1 Συμπεράσματα

Οι καιρικές συνθήκες παρουσίασαν διαφορετική επίδραση στη χωρική και χρονική σταθερότητα των ζωνών διαχείρισης για κάθε παράμετρο της καλλιέργειας. Συγκεκριμένα, οι παράμετροι ποιότητας των επιτραπέζιων σταφυλιών παρουσίασαν την χαμηλότερη χωροχρονική σταθερότητα σε σύγκριση με τις παραμέτρους απόδοσης και την ευρωστία. Επιπλέον, οι ζώνες διαχείρισης για επιλεκτική συγκομιδή με βάση την ωριμότητα και την απόδοση παρουσίασαν και αυτές χαμηλή χωρική και χρονική σταθερότητα, υποδεικνύοντας ότι η επεξεργασία των επιτραπέζιων σταφυλιών μετά την συγκομιδή σχετικά με τις ανάγκες κάθε υποτεμαχίου χρειάζεται περαιτέρω έρευνα. Αντίθετα, υπάρχει μεγαλύτερη χωροχρονική σταθερότητα μεταξύ της απόδοσης και της ποιότητας των επιτραπέζιων σταφυλιών (συνολικά διαλυτά στερεά x διάμετρο ράγας) που σημαίνει ότι είναι ευκολότερο να χειριστεί την απόδοση και από την άποψη της ποιότητας. Αυτή η μελέτη κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η οριοθέτηση των ζωνών διαχείρισης στα επιτραπέζια σταφύλια είναι μια περίπλοκη διαδικασία που πρέπει να λάβει υπόψη μια σειρά παραμέτρων για την παραγωγή χωροχρονικά σταθερών ζωνών διαχείρισης και συνεπώς απαιτούνται περαιτέρω μελέτες.

6.4 Σύγκριση μη καταστροφικής εκτίμησης της ποσότητας και ποιότητας παραγωγής με την χρήση επίγειας και δορυφορικής τηλεπισκόπησης

Anastasiou, E., Balafoutis, A., Darra, N., Psiroukis, V., Biniari, A., Xanthopoulos, G., & Fountas, S. (2018). Satellite and proximal sensing to estimate the yield and quality of table grapes. *Agriculture*, 8(7), 94. Impact Factor (2019): 2,072

6.4.1 Συσχέτιση κατά Pearson για τα τρία έτη της μελέτης

6.4.1.1 Δορυφορικοί ΔΒ σε συνδυασμό με Χαρακτηριστικά Επιτραπέζιου Σταφυλιού

Η απόδοση δεν παρουσίασε στατιστικώς σημαντική συσχέτιση με τον NDVI και τον GNDVI σε κανένα φαινολογικό στάδιο. Η αποκοπή της ράγας συσχετίστηκε θετικά και με τους δύο ΔΒ και είχε την υψηλότερη συσχέτιση κατά το στάδιο της τεχνολογικής ωρίμασης (BBCH-89). Επιπλέον, ο GNDVI παρουσίασε την υψηλότερη συσχέτιση ($r = 0.536$, $p < 0.01$) μεταξύ των δύο διαφορετικών ΔΒ με την αποκόλληση της ράγας. Το ίδιο μοτίβο συσχετίσεων παρουσιάστηκε για το pH, με τον GNDVI να παρουσιάζει ξανά την υψηλότερη συσχέτιση ($r = 0.537$, $p < 0.01$). Και οι δύο ΔΒ συσχετίστηκαν αρνητικά με τα σάκχαρα, με την υψηλότερη συσχέτιση να παρουσιάζεται κατά την μέση του περκασμού (BBCH-85) ($r = -0.362$ και $r = -0.373$, $p < 0.01$ για NDVI και GNDVI, αντίστοιχα). Δεν υπήρχε συσχέτιση μεταξύ της ολικής οξύτητας και των ΔΒ που προήλθαν από δορυφορική τηλεπισκόπηση. Η διάμετρος της ράγας συσχετίστηκε και με τους δύο ΔΒ μόνο στο στάδιο της τεχνολογικής ωρίμασης, με τον GNDVI να παρουσιάζει την υψηλότερη συσχέτιση ($r = 0.522$, $p < 0.01$). Η συμπίεση της ράγας συσχετίστηκε και στα τρία στάδια συγκομιδής και με τους δύο ΔΒ, ενώ παρουσίασε με τον GNDVI παρουσίασε την υψηλότερη συσχέτιση κατά το στάδιο της τεχνολογικής ωρίμασης με $r = 0.629$ ($p < 0.01$). Η αναλογία σακχάρων προς ολική οξύτητα δεν παρουσίασε οποιαδήποτε συσχέτιση με τους ΔΒ για τα διαφορετικά φαινολογικά στάδια. Συμπερασματικά, κατά τη συγκομιδή, ο GNDVI παρουσίασε σημαντικές συσχετίσεις για επίπεδο $p < 0.01$ με την αποκοπή της ράγας, το pH, τα σάκχαρα, την διάμετρο της ράγας και την συμπίεση της ράγας, υποδεικνύοντας ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της πολλαπλών παραμέτρων απόδοσης και ποιότητας της καλλιέργειας (Πίνακας 37).

Πίνακας 37 Πίνακας συσχετίσεων κατά Pearson ανάμεσα σε δορυφορικούς ΔΒ και σε παραμέτρους απόδοσης και ποιότητας επιτραπέζιου σταφυλιού για διαφορετικά φαινολογικά στάδια.

Δορυφορικοί ΔΒ	Απόδοση	Αποκοπή Ράγας	pH	Σάκχαρα	Ολική Οξύτητα	Διάμετρος Ράγας	Συμπίεση Ράγας	Σάκχαρα/ Ολική Οξύτητα
Δ NDVI BBCH-81	-0.016	0.140	0.155	-0.307**	-0.043	0.131	0.222*	-0.011
Δ GNDVI BBCH-81	0.083	0.153	0.161	-0.281*	-0.056	0.172	0.244*	-0.013
Δ NDVI	-0.136	0.182	0.254**	-0.362**	0.020	0.128	0.278**	-0.085

Δορυφορικοί ΔΒ	Απόδοση	Αποκοπή Ράγας	pH	Σάκχαρα	Ολική Οξύτητα	Διάμετρος Ράγας	Συμπύεση Ράγας	Σάκχαρα/Ολική Οξύτητα
BBCH-85 Δ GNDVI	-0.069	0.225*	0.306**	-0.373**	0.033	0.181	0.338**	-0.097
BBCH-85 Δ NDVI	0.048	0.459**	0.471**	-0.335**	0.008	0.424**	0.551**	-0.022
BBCH-89 Δ GNDVI	0.150	0.536**	0.537**	-0.322**	0.006	0.522**	0.629**	-0.009
BBCH-89								

** Η συσχέτιση παρουσιάζει στατιστικώς σημαντική διαφορά για επίπεδο $p < 0.01$.

* Η συσχέτιση παρουσιάζει στατιστικώς σημαντική διαφορά για επίπεδο $p < 0.05$.

6.4.1.2 Επίγειοι ΔΒ σε συνδυασμό με Χαρακτηριστικά Επιτραπέζιου Σταφυλιού

Και οι δύο ΔΒ παρουσίασαν συσχετίσεις με παραμέτρους του επιτραπέζιου σταφυλιού για τα στάδια της καλλιέργειας BBCH-81 (έναρξη περκασμού) και BBCH-85 (μέση περκασμού), ενώ δεν υπήρξε συσχέτιση κατά το στάδιο της τεχνολογικής ωρίμασης (BBCH-89). Η αποκοπή της ράγας παρουσίασε αρνητική συσχέτιση με τον GNDVI στα στάδια καλλιέργειας BBCH-81 και BBCH-85, και θετική με τον NDVI κατά το BBCH-85. Το ίδιο μοτίβο συσχετίσεων παρουσιάστηκε για το pH. Επιπλέον, οι ΔΒ συσχετίστηκαν με τα σάκχαρα κατά τη διάρκεια των σταδίων καλλιέργειας BBCH-81 και BBCH-85 με την υψηλότερη συσχέτιση να παρουσιάζεται για τον NDVI στο BBCH-85 ($r = -0.255$) και για τον GNDVI στο BBCH-81 ($r = 0.497$). Αντίθετα, δεν υπήρξε συσχέτιση μεταξύ ολικής οξύτητας και ΔΒ σε όλα τα υπό μελέτη φαινολογικά στάδια. Η διάμετρος της ράγας συσχετίστηκε με τον NDVI (στάδια καλλιέργειας BBCH-85 και BBCH-89) και τον GNDVI (στάδια καλλιέργειας BBCH-81 και BBCH-85) παρουσιάζοντας την υψηλότερη συσχέτιση με τον τελευταίο στο στάδιο BBCH-85 ($r = -0.682$, $p < 0.01$). Η συμπύεση της ράγας παρουσίασε την υψηλότερη συσχέτιση με τον GNDVI κατά την μέση του περκασμού. Ο λόγος σακχάρων προς ολικής οξύτητας παρουσίασε σημαντική συσχέτιση μόνο με τον NDVI στην έναρξη του περκασμού ($r = 0.208$, $p < 0.05$) (Πίνακας 38). Τέλος, ο GNDVI κατά την μέση του περκασμού παρουσίασε σημαντικούς συσχετισμούς για επίπεδο $p < 0.01$ με την αποκοπή της ράγας, το pH, τα σάκχαρα, την διάμετρο της ράγας και την συμπύεση της ράγας, υποδεικνύοντας ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση πολλαπλών παραμέτρων καλλιέργειας επιτραπέζιου σταφυλιού που σχετίζονται με την απόδοση και την ποιότητα μερικές εβδομάδες πριν από τη συγκομιδή.

Πίνακας 38 Πίνακας συσχετίσεων κατά Pearson ανάμεσα σε επίγειους ΔΒ και σε παραμέτρους απόδοσης και ποιότητας επιτραπέζιου σταφυλιού για διαφορετικά φαινολογικά στάδια.

Δορυφορικοί ΔΒ	Απόδοση	Αποκοπή Ράγας	pH	Σάκχαρα	Ολική Οξύτητα	Διάμετρος Ράγας	Συμπύεση Ράγας	Σάκχαρα/Ολική Οξύτητα
E NDVI	0.259**	-0.037	-0.163	0.241*	-0.173	0.014	-0.009	0.208*
BBCH-81								
E GNDVI	0.085	-0.400**	-0.627**	0.497**	-0.066	-0.395**	-0.444**	0.160
BBCH-81								
E NDVI	0.218*	0.488**	0.524**	-0.255**	-0.041	0.465**	0.549**	0.037
BBCH-85								
E GNDVI	-0.423**	-0.572**	-0.493**	0.321**	0.169	-0.682**	-0.565**	-0.121

Δορυφορικοί ΔΒ	Απόδοση	Αποκοπή Ράγας	pH	Σάκχαρα	Ολική Οξύτητα	Διάμετρος Ράγας	Συμπίεση Ράγας	Σάκχαρα/Ολική Οξύτητα
BBCH-85 E NDVI	-0.115	-0.108	-0.146	0.102	0.002	-0.196*	-0.156	0.014
BBCH-89 E GNDVI BBCH-89	-0.077	0.108	0.153	-0.039	-0.086	0.110	0.039	0.142

** Η συσχέτιση παρουσιάζει στατιστικώς σημαντική διαφορά για επίπεδο $p < 0.01$.

* Η συσχέτιση παρουσιάζει στατιστικώς σημαντική διαφορά για επίπεδο $p < 0.05$.

6.4.2 Ανάλυση Παλινδρόμησης για τα τρία έτη της μελέτης

Ο GNDVI που μετρήθηκε με την χρήση δορυφόρου κατά την τεχνολογική ωρίμαση (BBCH-89) παρουσίασε τις υψηλότερες συσχετίσεις σε σύγκριση με τους άλλους δορυφορικούς ΔΒ για τα διάφορα υπό μελέτη φαινολογικά στάδια. Για το λόγο αυτό, πραγματοποιήθηκε ανάλυση παλινδρόμησης χρησιμοποιώντας αυτόν τον ΔΒ προκειμένου να εκτιμηθεί η δυνατότητά του να χρησιμοποιηθεί στην εκτίμηση της απόδοσης και των ποιοτικών χαρακτηριστικών των επιτραπέζιων σταφυλιών. Αντίστοιχα, ο επίγειος GNDVI κατά την μέση του περκασμού (BBCH-85) εμφάνισε τις υψηλότερες συσχετίσεις σχετικά με την εκτίμηση της απόδοσης και των ποιοτικών χαρακτηριστικών των επιτραπέζιων σταφυλιών και χρησιμοποιήθηκε στην ανάπτυξη μοντέλων γραμμικής παλινδρόμησης μόνο για τα χαρακτηριστικά που είχαν σημαντικούς συσχετισμούς κατά Pearson.

6.4.2.1 Δορυφορικός GNDVI BBCH-89 σε συνδυασμό με Χαρακτηριστικά Επιτραπέζιου Σταφυλιού

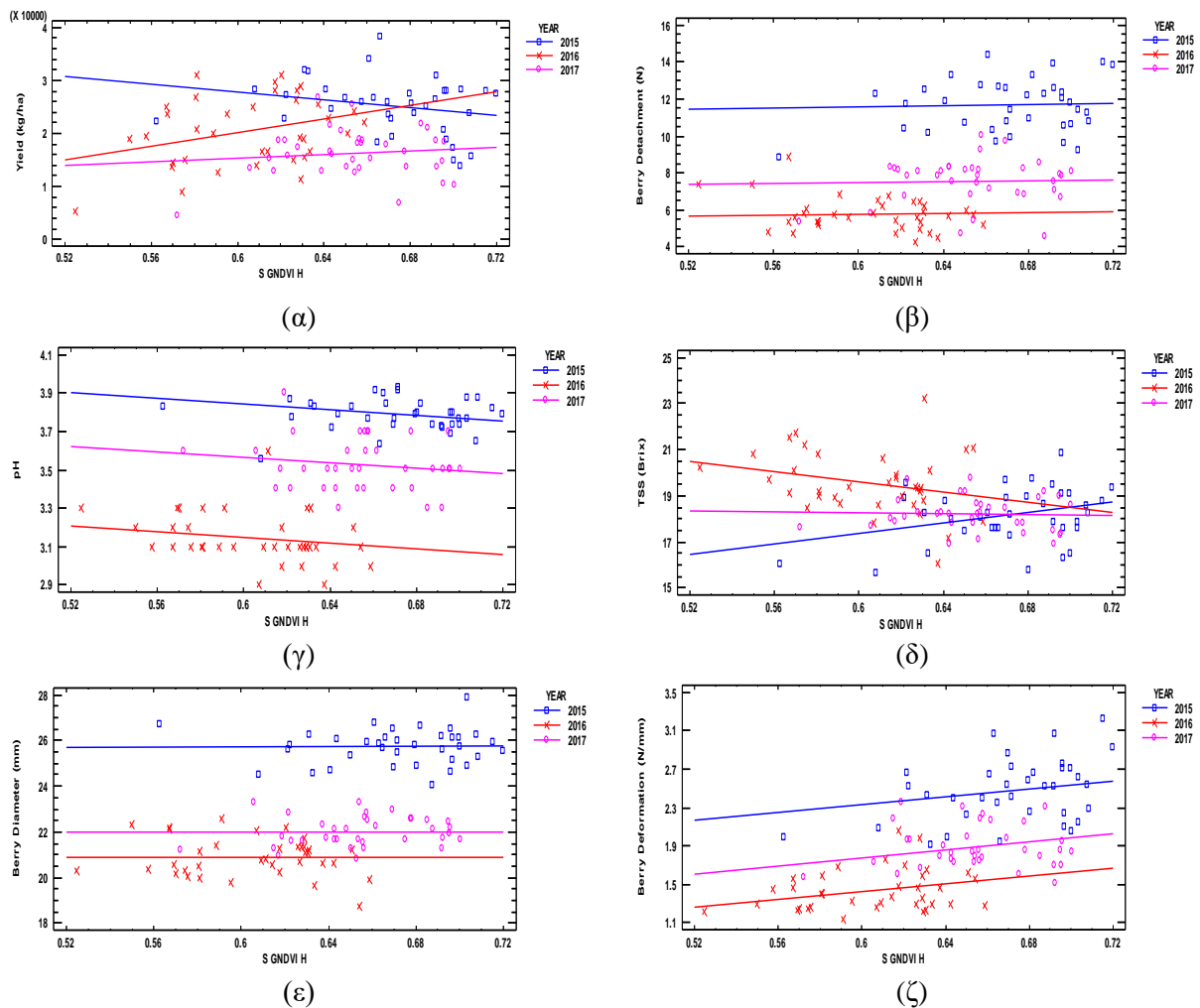
Τα μοντέλα παλινδρόμησης μεταξύ του δορυφορικού GNDVI και των επιτραπέζιων σταφυλιών παρουσίασαν διαφορετικά επίπεδα ακρίβειας. Συγκεκριμένα, το πιο κατάλληλο μοντέλο ήταν για την εκτίμηση της διαμέτρου της ράγας (προσαρμοσμένος $R^2 = 88\%$), ενώ η ακρίβεια των άλλων μοντέλων ήταν μεταξύ 28% και 83%. Το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης που αναπτύχθηκε για τα σάκχαρα είχε συντελεστή προσδιορισμού $R^2 = 28\%$, ενώ το μοντέλο διαμέτρου ράγας είχε συντελεστή προσδιορισμού $R^2 = 88\%$. Όσον αφορά την παραγωγή των επιτραπέζιων σταφυλιών, το μοντέλο παλινδρόμησης εμφάνισε συντελεστή προσδιορισμού ίσο με 33% (Πίνακας 39 και Γράφημα 7).

Πίνακας 39 Μοντέλα παλινδρόμησης για τις παραμέτρους που συσχετίστηκαν με τον Δ GNDVI κατά το στάδιο της τεχνολογικής ωρίμασης (BBCH-89).

Μοντέλο Παλινδρόμησης	Έτος	Προσαρμοσμένος συντελεστής προσδιορισμού R^2	Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα
Απόδοση= $50389 - 37530 \cdot \Delta \text{ GNDVI BBCH-89}$	2015		
Απόδοση= $-18473 + 64276 \cdot \Delta \text{ GNDVI BBCH-89}$	2016	33%	5382 kg/ha
Απόδοση= $5379 + 16583 \cdot \Delta \text{ GNDVI BBCH-89}$	2017		
Αποκοπή Ράγας= $-2.14 + 20.95 \cdot \Delta \text{ GNDVI BBCH-89}$	2015		
Αποκοπή Ράγας= $13.86 - 13.77 \cdot \Delta \text{ GNDVI BBCH-89}$	2016	83%	1.13 N
Αποκοπή Ράγας= $0.24 + 11.52 \cdot \Delta \text{ GNDVI BBCH-89}$	2017		

Μοντέλο Παλινδρόμησης	Έτος	Προσαρμοσμένος συντελεστής προσδιορισμού R ²	Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα
$\rho H = 4.31 - 0.79 * \Delta \text{ GNDVI BBCH-89}$	2015		
$\rho H = 3.61 - 0.79 * \Delta \text{ GNDVI BBCH-89}$	2016	83%	0.12
$\rho H = 4.03 - 0.79 * \Delta \text{ GNDVI BBCH-89}$	2017		
Σάκχαρα = $6.12 + 18.27 * \Delta \text{ GNDVI BBCH-89}$	2015		
Σάκχαρα = $25.15 - 9.55 * \Delta \text{ GNDVI BBCH-89}$	2016	28%	1.10 °Brix
Σάκχαρα = $16.71 + 2.34 * \Delta \text{ GNDVI BBCH-89}$	2017		
Διάμετρος Ράγας = $24.7 + 1.5 * \Delta \text{ GNDVI BBCH-89}$	2015		
Διάμετρος Ράγας = $20 + 1.5 * \Delta \text{ GNDVI BBCH-89}$	2016	88%	0.8 mm
Διάμετρος Ράγας = $21 + 1.5 * \Delta \text{ GNDVI BBCH-89}$	2017		
Συμπίεση Ράγας = $0.21 + 3.44 * \Delta \text{ GNDVI BBCH-89}$	2015		
Συμπίεση Ράγας = $-0.58 + 3.44 * \Delta \text{ GNDVI BBCH-89}$	2016	77%	0.24 N/mm
Συμπίεση Ράγας = $-0.3 + 3.44 * \Delta \text{ GNDVI BBCH-89}$	2017		

*Οι τιμές του προσαρμοσμένου συντελεστή προσδιορισμού R² και του μέσου τετραγωνικού σφάλματος αναφέρονται και στα τρία χρόνια της μελέτης.



Γράφημα 7 Διαγράμματα διασποράς του $\Delta \text{ GNDVI BBCH-89}$ για (α) την απόδοση, (β) την αποκοπή της ράγας, (γ) το pH, (δ) τα σάκχαρα, (ε) την διάμετρο της ράγας, και (ζ) την συμπίεση της ράγας.

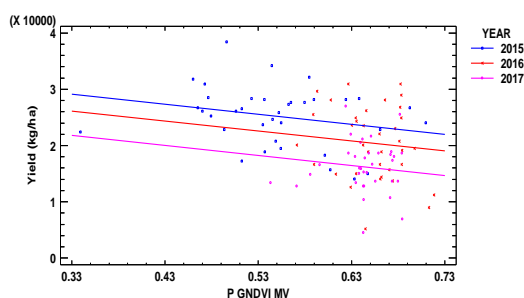
6.4.2.2 Επίγειος GNDVI BBCH-85 σε συνδυασμό με Χαρακτηριστικά Επιτραπέζιου Σταφυλιού

Τα μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης της απόδοσης επιτραπέζιου σταφυλιού και των ποιοτικών χαρακτηριστικών με τον GNDVI που προέκυψε από επίγεια τηλεπισκόπηση στην μέση του περκασμού (BBCH-85) παρουσίασαν συντελεστές προσδιορισμού που κυμάνθηκαν μεταξύ 26% και 89%. Το μοντέλο παλινδρόμησης που προέκυψε για την εκτίμηση της διαμέτρου της ράγας είχε τον υψηλότερο συντελεστή προσδιορισμού με $R^2 = 89\%$ και το χαμηλότερο ήταν για την εκτίμηση των σακχάρων ($R^2 = 26\%$). Το μοντέλο εκτίμησης της παραγωγής εμφάνισε συντελεστή προσδιορισμού 31% (Πίνακας 40 και Γράφημα 8).

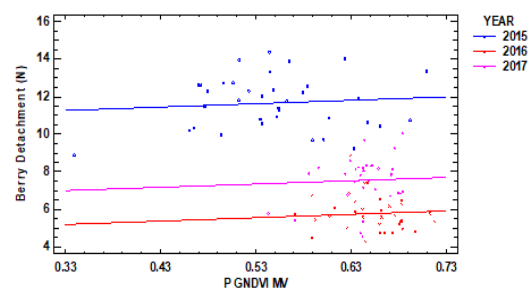
Πίνακας 40 Μοντέλα παλινδρόμησης για τις παραμέτρους που συσχετίστηκαν με τον E GNDVI κατά το στάδιο της μέσης του περκασμού (BBCH-85).

Μοντέλο Παλινδρόμησης	Έτος	Προσαρμοσμένος συντελεστής προσδιορισμού R^2	Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα
Παραγωγή= 34965 - 17742*E GNDVI BBCH-85	2015		
Παραγωγή= 31970 - 17742* E GNDVI BBCH-85	2016	31%	5450 kg/ha
Παραγωγή= 27654 - 17742* E GNDVI BBCH-85	2017		
Αποκοπή Ράγας= 10.68 + 1.78* E GNDVI BBCH-85	2015		
Αποκοπή Ράγας= 4.61 + 1.78* E GNDVI BBCH-85	2016	81%	1.21 N
Αποκοπή Ράγας= 6.41 + 1.78* E GNDVI BBCH-85	2017		
ρH= 3.64 + 0.27* E GNDVI BBCH-85	2015		
ρH= 2.97 + 0.27* E GNDVI BBCH-85	2016	83%	0.12
ρH= 3.34 + 0.27* E GNDVI BBCH-85	2017		
Σάκχαρα= 15.78 + 4.31* E GNDVI BBCH-85	2015		
Σάκχαρα= 16.74 + 4.31* E GNDVI BBCH-85	2016	26%	1.12 °Brix
Σάκχαρα = 15.43 + 4.31* E GNDVI BBCH-85	2017		
Διάμετρος Ράγας= 27.4 - 3* E GNDVI BBCH-85	2015		
Διάμετρος Ράγας= 22.8 - 3* E GNDVI BBCH-85	2016	89%	0.7 mm
Διάμετρος Ράγας= 23.9 - 3* E GNDVI BBCH-85	2017		
Συμπίεση Ράγας= 2.66 - 0.33* E GNDVI BBCH-85	2015		
Συμπίεση Ράγας= 1.65 - 0.33* E GNDVI BBCH-85	2016	72%	0.21 N/mm
Συμπίεση Ράγας = 2.1 - 0.33* E GNDVI BBCH-85	2017		

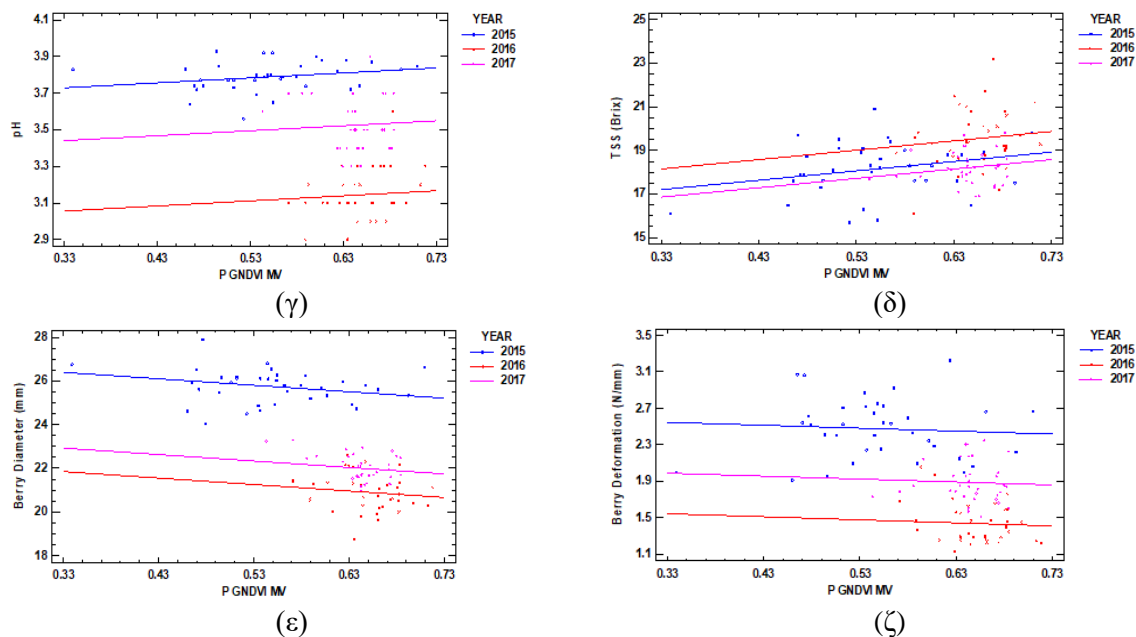
*Οι τιμές του προσαρμοσμένου συντελεστή προσδιορισμού R^2 και του μέσου τετραγωνικού σφάλματος αναφέρονται και στα τρία χρόνια της μελέτης.



(α)



(β)



Γράφημα 8 Διαγράμματα διασποράς του E GNDVI BBCH-85 για (α) την απόδοση, (β) την αποκοπή της ράγας, (γ) το pH, (δ) τα σάκχαρα, (ε) την διάμετρο της ράγας, και (ζ) την συμπίεση της ράγας.

6.4.3 Συμπεράσματα

Σε αυτή τη μελέτη, πραγματοποιήθηκε μια αξιολόγηση διαφορετικών μεθόδων τηλεπισκόπησης (δορυφορική και επίγεια) για την εκτίμηση των χαρακτηριστικών της απόδοσης των καλλιεργειών κατά τη διάρκεια τριών καλλιεργητικών περιόδων (2015, 2016 και 2017) σε έναν εμπορικό αμπελώνα επιτραπέζιων σταφυλιών που καλλιεργήθηκε με ποικιλία σταφυλιών Thompson Seedless. Υπολογίστηκαν δύο διαφορετικοί φασματικοί δείκτες βλάστησης, με βάση τις φασματικές πληροφορίες που προήλθαν από τις διαφορετικές μεθόδους. Η στατιστική ανάλυση έδειξε ότι η επίγεια τηλεπισκόπηση οδήγησε σε μεγαλύτερη ακρίβεια στην εκτίμηση των χαρακτηριστικών της απόδοσης των καλλιεργειών σε σύγκριση με τις εκτιμήσεις που προέρχονται από την δορυφορική. Η επίγεια τηλεπισκόπηση παρείχε υψηλότερους συσχετισμούς νωρίτερα κατά την καλλιεργητική περίοδο από την δορυφορική, υποδηλώνοντας ότι η πρώτη μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για την έγκαιρη εκτίμηση της απόδοσης και της ποιότητας του επιτραπέζιου σταφυλιού.

Συγκεκριμένα, όλα τα χαρακτηριστικά απόδοσης και ποιότητας των επιτραπέζιων σταφυλιών παρουσίασαν υψηλές τιμές παραλλακτικότητας εκτός από τη διάμετρο της ράγας και τη συγκέντρωση σε σάκχαρα. Αξίζει να σημειωθεί ότι η εμπορική αξία των επιτραπέζιων σταφυλιών Thompson βασίζεται στην συγκέντρωση σε σάκχαρα και στη διάμετρο της ράγας. Λόγω αυτού, πολλές γεωργικές εργασίες, όπως η εφαρμογή ρυθμιστών ανάπτυξης της καλλιέργειας μέσα από τον ψεκάσμό, επικεντρώνονται στην παραγωγή ομογενοποιημένων προϊόντων σύμφωνα με τις προαναφερθείσες παραμέτρους. Οι ΔΒ παρουσίασαν συσχετίσεις με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά απόδοσης και ποιότητας. Συγκεκριμένα, συσχετίστηκαν μόνο με την απόδοση, την αποκόλληση της

ράγας, τη διάμετρο, την παραμόρφωση της ράγας, το pH και τη συγκέντρωση σε σάκχαρα. Παρόμοια αποτελέσματα έχουν βρεθεί και από άλλους ερευνητές (Fountas et al., 2014, Martinez Casasnovas, 2012), ενώ δεν έχουν υπάρξει άλλες μελέτες που να παρουσιάζουν συσχετίσεις ανάμεσα στους ΔΒ με την παραμόρφωση και την αποκόλληση της ράγας. Ωστόσο, ο συσχετισμός αυτών των δύο παραμέτρων με άλλα χαρακτηριστικά απόδοσης και ποιότητας είναι επίσης σύμφωνος με άλλες μελέτες σχετικά με τις μηχανικές ιδιότητες της ράγας των σταφυλιών (Escigi et al., 2017, Giacosa et al., 2014, Fernandez et al., 2015). Αναλυτικά, οι ΔΒ που βασίστηκαν σε δορυφορική τηλεπισκόπηση παρουσίασαν θετικούς συσχετισμούς με όλα τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά, εκτός από τα σάκχαρα, σε όλα τα στάδια ανάπτυξης, ενώ υπήρχαν συσχετίσεις μεταξύ ΔΒ που βασίστηκαν σε επίγεια τηλεπισκόπηση με τις ίδιες μεταβλητές αλλά για τα διαφορετικά στάδια συγκομιδής. Αυτό εξηγείται από τις πολυάριθμες επεμβάσεις (π.χ. κλάδεμα) που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης της αμπέλου και επηρέασαν το πλευρικό φύλλωμα του αμπελιού. Αυτή η μελέτη ευθυγραμμίζεται με τους Fountas et al. (2014) οι οποίοι δήλωσαν ότι πολλές αγροτικές εργασίες σε αμπελώνες, όπως σε αυτόν τον αμπελώνα, μπορεί να επηρεάσουν τους συσχετισμούς των ΔΒ με τις παραμέτρους απόδοσης και ποιότητας των σταφυλιών.

Επιπλέον, οι υψηλότεροι συσχετισμοί μεταξύ των ΔΒ και της απόδοσης του επιτραπέζιου σταφυλιού και των ποιοτικών χαρακτηριστικών του, παρουσιάστηκαν σε διαφορετικά στάδια καλλιέργειας για καθεμία από τις δύο μεθόδους τηλεπισκόπησης. Συγκεκριμένα, οι ΔΒ που προέκυψαν από την επίγεια τηλεπισκόπηση παρουσίασαν τους υψηλότερους συσχετισμούς με τα χαρακτηριστικά της απόδοσης επιτραπέζιου σταφυλιού κατά τη διάρκεια του περκασμού, ενώ οι ΔΒ που βασίστηκαν στην δορυφορική τηλεπισκόπηση παρουσίασαν τις υψηλότερες συσχετίσεις τους κατά τη συγκομιδή. Το τελευταίο είναι σύμφωνο με τους Sun et al. (2017), οι οποίοι διαπίστωσαν ότι το καλύτερο στάδιο καλλιέργειας για την εκτίμηση της απόδοσης σταφυλιών κρασιού από δεδομένα που προέρχονται από δορυφόρους ήταν λίγο πριν από τη συγκομιδή, ενώ οι Garcia- Estévez et al. (2017) διαπίστωσαν ότι η υψηλότερη συσχέτιση του NDVI που προέκυψε από την επίγεια τηλεπισκόπηση με τις παραμέτρους απόδοσης των σταφυλιών σε οινοποιήσιμη ποικιλία ήταν κατά τον περκασμό. Έτσι, τα δεδομένα υψηλότερης ανάλυσης, όπως τα δεδομένα που προέρχονται από επίγεια τηλεπισκόπηση, μπορούν να παρέχουν πιο έγκαιρες εκτιμήσεις απόδοσης και ποιότητας σε σύγκριση με τα μέσης ανάλυσης δεδομένα τηλεπισκόπησης όπως αυτά που προέρχονται από δορυφόρους. Ο Landsat 8, με τη μικρή χωρική ανάλυση των 30 μέτρων, αποτελεί μια καλή και φθηνή προσέγγιση, αλλά οι νέοι δορυφόροι, όπως ο Sentinel 2, που παρέχουν ελεύθερα διαθέσιμα δεδομένα υψηλότερης ανάλυσης, αναμένεται να διευκολύνουν αυτήν τη διαδικασία. Επιπλέον, αυτό

εξηγείται από τη φυσιολογία των αμπέλων. Συγκεκριμένα, τα φύλλα αμπέλου αναπτύσσονται καθώς μεγαλώνουν οι βλαστοί αμπέλου, με αποτέλεσμα τα πιο ώριμα φύλλα να βρίσκονται κοντά στον κορμό. Αυτό σημαίνει ότι τα πιο φωτοσυνθετικά ενεργά φύλλα βρίσκονται κοντά στον κορμό στην αρχή της ανάπτυξης της αμπέλου, ενώ καθώς το αμπέλι γερνάει, αυτά τα φύλλα βρίσκονται στην άκρη του βλαστού (Escalona et al., 2003, Bertamini and Nedunchezian, 2003). Κατά συνέπεια, τα φύλλα που βρίσκονται στο πλευρικό φύλλωμα, τα οποία μετρώνται με την επίγεια τηλεπισκόπηση, έχουν υψηλότερες τιμές ευρωστίας νωρίτερα κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου σε σύγκριση με τους ΔΒ που βασίζονται σε δορυφορικά δεδομένα, και οι οποίοι μετρούν τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα των φύλλων που βρίσκονται στην κορυφή. Αυτό είναι μια ένδειξη ότι η χρήση της επίγεια τηλεπισκόπησης μπορεί να παρουσιάσει νωρίτερα και πιο ακριβείς εκτιμήσεις των σημαντικών χαρακτηριστικών απόδοσης και ποιότητας χωρίς να επηρεάζεται από την αντανάκλαση του εδάφους και την χαμηλότερη ανάλυση, όπως συμβαίνει με τους ΔΒ που βασίζονται σε δορυφορικά δεδομένα.

Ακόμη διαπιστώθηκε ότι ο GNDVI από δορυφορικά δεδομένα κατά τη συγκομιδή παρείχε συγκρίσιμα αποτελέσματα, και σε ορισμένες περιπτώσεις καλύτερα, για την εκτίμηση της απόδοσης του επιτραπέζιου σταφυλιού και των ποιοτικών χαρακτηριστικών σε σύγκριση με τους ΔΒ που βασίστηκαν στην επίγεια τηλεπισκόπηση. Αυτό το εύρημα έρχεται σε συμφωνία με τους Tattaris et al. (2016), οι οποίοι βρήκαν ότι οι δορυφορικές εικόνες παρείχαν καλύτερα αποτελέσματα στην εκτίμηση της απόδοσης σε σύγκριση με την εναέρια και την επίγεια τηλεπισκόπηση. Αυτό παρουσιάστηκε επίσης από τους Yang et al. (2013) που διαπίστωσαν ότι η χρήση δορυφορικών εικόνων υψηλής ανάλυσης μπορεί να παρέχει συγκρίσιμα αποτελέσματα με εναέρια δεδομένα υψηλότερης ανάλυσης.

Τέλος, υπήρξαν υψηλότεροι συσχετισμοί μεταξύ του GNDVI που προέρχεται από δορυφορικά δεδομένα και του GNDVI που προέρχεται από επίγεια τηλεπισκόπηση, με τα χαρακτηριστικά απόδοσης του επιτραπέζιου σταφυλιού σε σύγκριση με το NDVI. Οι Hall and Wilson (2013) διαπίστωσαν ότι ΔΒ, όπως ο EVI (Enhanced Vegetation Index), αποδίδουν καλύτερα από τον NDVI στην εκτίμηση των χαρακτηριστικών απόδοσης κρασιού, υποστηρίζοντας έτσι τα ευρήματα αυτής της μελέτης. Επιπλέον, ο κορεσμός του NDVI που πραγματοποιείται σε υψηλές τιμές παρουσιάζει χαμηλότερους συσχετισμούς με παραμέτρους της καλλιέργειας, όπως η βιομάζα της αμπέλου και ο συντελεστής καλλιέργειας, με αποτέλεσμα χαμηλότερες εκτιμήσεις των χαρακτηριστικών της απόδοσης της καλλιέργειας και της εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών (Junges et al., 2017, Er-Raki et al., 2013). Κατά συνέπεια, υπάρχει ανάγκη αξιολόγησης της απόδοσης των διαφορετικών ΔΒ

προκειμένου να χρησιμοποιηθεί η καταλληλότερη μέθοδος σύμφωνα με την υπό μέτρηση μεταβλητή.

Αυτός ο τύπος μελέτης είναι πολύτιμος, καθώς η εφαρμογή μη καταστροφικών μεθόδων για την εκτίμηση των ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών διαφόρων καλλιεργειών αυξάνονται λόγω των οφελών που παρέχουν στους τελικούς χρήστες (αγρότες, σύμβουλοι καλλιεργειών, δημόσιοι φορείς κ.λπ.). Απαιτείται περαιτέρω έρευνα για την αξιολόγηση νέων δεικτών φασματικής βλάβστησης και αναλύσεων δειγματοληψίας χρησιμοποιώντας διαφορετικές μεθόδους ανίχνευσης (π.χ. σύγκριση ΔB από εναέρια τηλεπισκόπηση με χρήση μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων με ΔB από επίγεια και δορυφορική τηλεπισκόπηση).

6.5 Αξιολόγηση απλών και σωρευτικών δεικτών βλάστησης στην εκτίμηση των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών του επιτραπέζιου σταφυλιού

Anastasiou, E., Balafoutis, A., Lentzou, D., Tsiropoulos, Z., Xanthopoulos, G., & Fountas, S. (2016). Validation of 5 spectral vegetation indices in estimating yield and quality parameters on table grapes using a side canopy sensor. CIGR-AgEng Conference, 26-29 June 2016, Aarhus, Denmark.

6.5.1 Απλοί ΔΒ

Οι συσχετίσεις κατά Pearson ανάμεσα στους απλούς ΔΒ και τις παραμέτρους ποιότητας και ποσότητας του επιτραπέζιου σταφυλιού κατά το στάδιο της συγκομιδής παρουσιάζονται στον Πίνακα 41.

Πίνακας 41 Συνολικές συσχετίσεις κατά Pearson ανάμεσα σε απλούς δείκτες βλάστησης και παραμέτρους παραγωγής για έξι διαφορετικά φαινολογικά στάδια για τα τρία έτη της μελέτης (2015, 2016 και 2017).

Απλός Δείκτης Βλάστησης	pH	Σάκχαρα (°Brix)	Ολική Οξύτητα (%)	Διάμετρος Ράγας (mm)	Απόδοση (kg/ha)
NDVI_BBCH 65	-0.224	0.100	-0.237	0.034	0.333
GNDVI1_BBCH 65	-0.014	-0.031	-0.195	0.115	0.318
GNDVI2_BBCH 65	0.134	0.107	-0.253	0.478	0.553
NDRE1_BBCH 65	0.205	-0.100	-0.283	0.344	0.199
NDRE2_BBCH 65	-0.462	0.363	-0.174	-0.138	0.351
NDVI_BBCH 75	-0.240	0.323	-0.157	0.063	0.291
GNDVI1_BBCH 75	0.731	-0.301	-0.111	0.715	0.225
GNDVI2_BBCH 75	0.541	-0.142	-0.181	0.795	0.489
NDRE1_BBCH 75	-0.315	0.179	-0.149	-0.102	0.082
NDRE2_BBCH 75	0.123	0.178	-0.160	0.441	0.451
NDVI_BBCH 79	-0.597	0.066	0.007	-0.418	0.079
GNDVI1_BBCH 79	-0.040	-0.085	-0.207	0.065	0.018
GNDVI2_BBCH 79	0.466	-0.162	-0.209	0.753	0.554
NDRE1_BBCH 79	-0.237	0.006	0.014	0.110	0.409
NDRE2_BBCH 79	-0.132	-0.047	-0.158	0.115	0.294
NDVI_BBCH 81	0.127	0.094	-0.211	0.253	0.213
GNDVI1_BBCH 81	-0.130	0.272	-0.107	0.031	0.152
GNDVI2_BBCH 81	0.085	0.281	-0.116	0.216	0.110
NDRE1_BBCH 81	0.489	-0.024	-0.239	0.599	0.301
NDRE2_BBCH 81	0.334	0.073	-0.062	0.317	-0.035
NDVI_BBCH 85	0.524	-0.255	-0.041	0.465	0.218
GNDVI1_BBCH 85	-0.493	0.321	0.169	-0.682	-0.423
GNDVI2_BBCH 85	-0.608	0.370	0.160	-0.665	-0.296
NDRE1_BBCH 85	-0.661	0.308	0.016	-0.607	-0.195
NDRE2_BBCH 85	-0.455	0.245	0.201	-0.568	-0.277
NDVI_BBCH 89	0.015	0.105	-0.107	0.017	0.009
GNDVI1_BBCH 89	0.163	-0.020	-0.135	0.166	0.005
GNDVI2_BBCH 89	0.092	0.067	-0.161	0.202	0.115
NDRE1_BBCH 89	-0.702	0.220	0.072	-0.787	-0.322
NDRE2_BBCH 89	0.028	0.139	-0.139	0.154	0.238

Τιμές με έντονη γραφή εμφανίζουν στατιστικώς σημαντική διαφορά για επίπεδο $p=0.05$. Τιμές με πλάγια γραφή χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη των μαθηματικών μοντέλων του Πίνακα 42.

Το pH παρουσίασε την ισχυρότερη συσχέτιση με το GNDVI1 στο στάδιο του μπιζελιού ($r = 0.731$), τα σάκχαρα με το GNDVI2 κατά την μέση του περκασμού ($r = 0.370$), η ολική οξύτητα κατά το στάδιο της άνθησης με το NDRE1 ($r = -0.283$), η διάμετρος της ράγας με το GNDVI2 για το στάδιο του μπιζελιού ($r = 0.795$) και η απόδοση με το GNDVI2 για το στάδιο του κλεισίματος του σταφυλιού ($r = 0.554$). Αυτά τα ευρήματα συμφωνούν με άλλες μελέτες που παρουσιάζουν ότι διαφορετικοί ΔΒ μπορούν να εκτιμήσουν με διαφορετική ακρίβεια διάφορα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά των σταφυλιών σε διαφορετικά φαινολογικά στάδια της καλλιέργειας (Meggio et al., 2010, Van Beek et al., 2015).

Τα μοντέλα παλινδρόμησης της απόδοσης επιτραπέζιου σταφυλιού και των παραμέτρων ποιότητας με τους σωρευτικούς ΔΒ μπορούν να εξηγήσουν το 8 με 67% της διακύμανσης των παραμέτρων των σταφυλιών (Πίνακας 42). Το μοντέλο παλινδρόμησης για την διάμετρο της ράγας είχε την καλύτερη εφαρμογή ($R^2 = 0.67$) και το μοντέλο για την ολική οξύτητα την μικρότερη ($R^2 = 0.08$). Το μοντέλο εκτίμησης της απόδοσης εξήγησε το 31% της διακύμανσης και τα μοντέλα εκτίμησης των σακχάρων και του pH είχαν 15% και 54% αντίστοιχα.

Πίνακας 42 Παλινδρομικά μοντέλα ανάμεσα σε απλούς δείκτες βλάστησης και παραμέτρους παραγωγής.

Παλινδρομικό Μοντέλο	R^2	RMSE
Απόδοση = $4378 + 22320 \times \text{GNDVI2}_{\text{BBCH } 79}$	0.31	4396 kg/ha
Διάμετρος Ράγας = $\sqrt{(172.12 + 599.31 \times \text{GNDVI2}_{\text{BBCH } 75}^2)}$	0.67	1.1 mm
Σάκχαρα = $1 / (0.04129051544 + \frac{0.008089865107}{\text{GNDVI2}_{\text{BBCH } 95}})$	0.15	0.9 °Brix
Ολική Οξύτητα = $0.28 - 0.19 \times \text{NDRE1}_{\text{BBCH } 65}$	0.08	0.05 %
pH = $e^{(0.863 + 0.860 \times (\text{GNDVI1}_{\text{BBCH } 75}^2))}$	0.54	0.003

6.5.2 Σωρευτικοί ΔΒ

Οι συσχετίσεις κατά Pearson ανάμεσα στους σωρευτικούς ΔΒ και τις παραμέτρους ποιότητας και ποσότητας του επιτραπέζιου σταφυλιού κατά το στάδιο της συγκομιδής, παρουσιάζονται στον Πίνακα 43.

Πίνακας 43 Συνολικές συσχετίσεις κατά Pearson για τα τρία έτη της μελέτης, ανάμεσα σε σωρευτικούς δείκτες βλάστησης και παραμέτρους παραγωγής για τις διαφορετικές φαινολογικές περιόδους.

Σωρευτικός Δείκτης Βλάστησης	pH	Σάκχαρα (°Brix)	Ολική Οξύτητα (%)	Διάμετρος Ράγας (mm)	Απόδοση (kg/ha)
BBCH 65 - BBCH 89					
Σ NDVI _{BBCH65-89}	-0.294	0.162	-0.233	0.006	0.370
Σ GNDVI1 _{BBCH65-89}	0.059	0.064	-0.253	0.125	0.083
Σ GNDVI2 _{BBCH65-89}	0.301	0.056	-0.234	0.626	0.516
Σ NDRE1 _{BBCH65-89}	-0.281	0.112	-0.190	0.071	0.339
Σ NDRE2 _{BBCH65-89}	-0.182	0.311	-0.176	0.108	0.329
BBCH 65 – BBCH 79					
Σ NDVI _{BBCH65-79}	-0.551	0.185	-0.124	-0.247	0.257
Σ GNDVI1 _{BBCH65-79}	0.308	-0.210	-0.267	0.425	0.270
Σ GNDVI2 _{BBCH65-79}	0.413	-0.079	-0.234	0.736	0.584
Σ NDRE1 _{BBCH65-79}	-0.180	0.023	-0.145	0.171	0.373
Σ NDRE2 _{BBCH65-79}	-0.258	0.210	-0.208	0.112	0.444
BBCH 81- BBCH 89					
Σ NDVI _{BBCH81-89}	0.343	-0.008	-0.208	0.389	0.239
Σ GNDVI1 _{BBCH81-89}	-0.319	0.362	-0.021	-0.377	-0.235
Σ GNDVI2 _{BBCH81-89}	-0.234	0.420	-0.075	-0.122	-0.031
Σ NDRE1 _{BBCH81-89}	-0.336	0.269	-0.160	-0.267	-0.033
Σ NDRE2 _{BBCH81-89}	0.036	0.270	-0.025	0.038	-0.033

Τιμές με έντονη γραφή εμφανίζουν στατιστικώς σημαντική διαφορά για επίπεδο $p=0.05$. Τιμές με πλάγια γραφή χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη των μαθηματικών μοντέλων του Πίνακα 44.

Για το pH η ισχυρότερη συσχέτιση ήταν με το Σ NDVI για την περίοδο πριν τον περκασμό ($r = -0.551$), για τα σάκχαρα με το Σ GNDVI2 για την περίοδο μετά τον περκασμό ($r = 0.420$), για την ολική οξύτητα με το Σ GNDVI1 για τις μετρήσεις από την άνθηση μέχρι την συγκομιδή ($r = -0.253$), για την διάμετρο ράγας για την περίοδο από την άνθηση μέχρι την συγκομιδή με το Σ GNDVI2 ($r = 0.736$) και για την απόδοση με το Σ GNDVI2 για την περίοδο πριν τον περκασμό ($r = 0.584$). Οι ισχυρότεροι συσχετισμοί ήταν με το Σ GNDVI και όχι το Σ NDVI ή το Σ NDRE. Αυτά τα ευρήματα συμφωνούν με άλλες μελέτες που δείχνουν ότι η απόδοση άλλων ΔΒ μπορεί να είναι καλύτερη σε σύγκριση με τους κλασικούς φασματικούς ΔΒ, όπως το NDVI (Hall and Wilson 2013, Anastasiou et al. 2018). Επιπλέον, οι ισχυρότεροι συσχετισμοί με χαρακτηριστικά απόδοσης ήταν για διαφορετικούς σωρευτικούς ΔΒ (Πίνακας 43). Ο τελευταίος συμφωνεί με το αποτέλεσμα των Anastasiou et al. (2018) που διαπίστωσαν ότι διαφορετικοί ΔΒ έχουν διαφορετική ακρίβεια ως προς τα χαρακτηριστικά απόδοσης των επιτραπέζιων σταφυλιών.

Τα μοντέλα παλινδρόμησης της απόδοσης επιτραπέζιου σταφυλιού και των παραμέτρων ποιότητας με τους σωρευτικούς ΔΒ μπορούν να εξηγήσουν το 20 με 60% της διακύμανσης των παραμέτρων των σταφυλιών (Πίνακας 44). Το μοντέλο παλινδρόμησης για την διάμετρο της ράγας είχε την καλύτερη εφαρμογή ($R^2 = 0.60$) και τα μοντέλα για τα σάκχαρα και την ολική οξύτητα την μικρότερη ($R^2 = 0.20$). Το μοντέλο εκτίμησης της απόδοσης εξήγησε το 45% της διακύμανσης και το μοντέλο εκτίμησης του pH εξήγησε το 42%. Αυτά τα αποτελέσματα έρχονται σε αντίθεση με αυτά των Anastasiou et al. (2018) που βρήκαν μεγαλύτερους συντελεστές προσδιορισμού κατά τη μοντελοποίηση των παραμέτρων ποιότητας επιτραπέζιου σταφυλιού, όπως με την διάμετρο ράγας και τα σάκχαρα, με ΔΒ που αφορούσαν ένα μόνο στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι συγκεκριμένα στάδια καλλιέργειας, και οι συνθήκες ευρωστίας σε αυτά τα στάδια επηρεάζουν διαφορετικά την τελική παραγωγή (Sipiora and Granda, 1998, Intrigliolo and Castel, 2010). Η ποιότητα ειδικότερα μπορεί να ευθυγραμμιστεί περισσότερο με τις συνθήκες σε συγκεκριμένα στάδια, παρά χρησιμοποιώντας τους σωρευτικούς ΔΒ κατά τα διαφορετικά στάδια της καλλιέργειας. Αντιθέτως, η απόδοση της καλλιέργειας μπορεί να εξηγηθεί καλύτερα μέσω μιας σωρευτικής προσέγγισης.

Πίνακας 44 Παλινδρομικά μοντέλα ανάμεσα σε σωρευτικούς δείκτες βλάστησης και παραμέτρους παραγωγής.

Παλινδρομικό Μοντέλο	R ²	RMSE
Απόδοση = $-5764.59 + 11679.57 \times \Sigma \text{GNDVI2}_{(\text{BBCH65-79})}$	0.45	3640 kg/ha
Διάμετρος Ράγας = $\sqrt{(253.84 + 51.86 \times \Sigma \text{GNDVI2}_{(\text{BBCH65-79})}^2)}$	0.60	1.2 mm
Σάκχαρα = $11.39 + 3.65 \times \Sigma \text{GNDVI2}_{(\text{BBCH81-89})}$	0.20	0.7 °Brix
Ολική Οξύτητα = $0.56 - 0.09 \times \Sigma \text{GNDVI1}_{(\text{BBCH65-89})}$	0.20	0.02 %
pH = $1/(0.951 - 0.551 \times \ln \Sigma \text{NDVI}_{(\text{BBCH65-79})})$	0.42	0.01

Οι σωρευτικοί ΔΒ που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή τη μελέτη οδήγησαν σε διαφορετικές επιδόσεις, με τους σωρευτικούς ΔΒ που βασίστηκαν στο GNDVI να έχουν τους ισχυρότερους συσχετισμούς με τις περισσότερες μεταβλητές (απόδοση, διάμετρος ράγας, σάκχαρα και ολική οξύτητα). Αυτό συμφωνεί με τους Anastasiou et al. (2018) οι οποίοι διαπίστωσαν ότι το GNDVI που μετρήθηκε με την χρήση επίγειων και δορυφορικών δεδομένων παρήγαγε καλύτερα αποτελέσματα από το NDVI. Σύμφωνα με τη μελέτη τους, αυτό μπορεί να εξηγηθεί από τον κορεσμό των τιμών NDVI, το οποίο οδήγησε σε μικρότερες εκτιμήσεις των παραμέτρων της σοδειάς. Επιπλέον, οι σωρευτικοί ΔΒ είχαν χαμηλότερη ακρίβεια από ότι οι απλοί ΔΒ μονού σταδίου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι διάφορες γεωργικές εργασίες (π.χ. άρδευση, βλαστολόγημα) που πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας μειώνουν την χωρική παραλλακτικότητα και με αυτόν τον τρόπο

εξομαλύνουν τις τιμές των σωρευτικών ΔΒ. Τέλος, αυτή η μελέτη συμφωνεί με εκείνη των Sun et al. (2017) και Mirasi et al. (2019) που βρήκαν ότι οι σωρευτικοί ΔΒ μπορούν να εκτιμήσουν κάποια χαρακτηριστικά των καλλιεργειών καλύτερα, όπως η απόδοση, σε σύγκριση με την μονή μέτρηση κατά το στάδιο της συγκομιδής.

6.5.3 Συμπεράσματα

Σε αυτήν τη μελέτη, πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση των απλών και σωρευτικών ΔΒ, που μετρήθηκαν με επίγεια τηλεπισκόπηση σε μια εμπορική καλλιέργεια επιτραπέζιου σταφυλιού, που καλλιεργήθηκε με σταφύλια ποικιλίας Thompson Seedless. Οι ΔΒ χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση των ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών της καλλιέργειας κατά τη διάρκεια τριών καλλιεργητικών περιόδων (2015, 2016 και 2017). Οι ΔΒ που βασίστηκαν στο GNDVI παρουσίασαν υψηλότερους συσχετισμούς με την απόδοση, την διάμετρο ράγας και τα σάκχαρα σε σύγκριση με άλλους ΔΒ. Επιπλέον, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι σωρευτικοί ΔΒ έχουν τη δυνατότητα να γίνουν ένα εργαλείο για την αξιολόγηση των παραμέτρων του επιτραπέζιου σταφυλιού και έτσι να χρησιμοποιηθούν στην οριοθέτηση της ζώνης διαχείρισης για επιλεκτική συγκομιδή. Ωστόσο, οι σωρευτικοί ΔΒ πρέπει να χρησιμοποιούνται προσεκτικά, καθώς ενδέχεται να παρουσιάσουν περιορισμένα αποτελέσματα στην εκτίμηση συγκεκριμένων παραμέτρων σε σύγκριση με τους απλούς ΔΒ, όταν πραγματοποιούνται πολλές γεωργικές εργασίες στο πεδίο.

6.6 Καθορισμός ζωνών διαχείρισης για την καλλιέργεια με την χρήση επίγειων δεδομένων υψηλής ανάλυσης

Anastasiou, E., Castrignanò, A., Arvanitis, K., & Fountas, S. (2019). A multi-source data fusion approach to assess spatial-temporal variability and delineate homogeneous zones: A use case in a table grape vineyard in Greece. *Science of The Total Environment*, 684, 155-163. Impact Factor (2019): 6,651

Anastasiou, E., Castrignanò, A., & Fountas, S. (2018). A multi-source data fusion approach to assess spatial-temporal variability and delineate homogeneous zones in a vineyard in Greece. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* (Vol. 20, p. 18518).

Η βασική στατιστική ανάλυση των επιλεγμένων μεταβλητών από τον αισθητήρα φυλλώματος και τον αισθητήρα ηλεκτρικής αγωγιμότητας εδάφους, που τελικά θα χρησιμοποιηθούν για την οριοθέτηση του πεδίου, παρουσιάζονται στον Πίνακα 45 Περιγραφική στατιστική της ανάκλασης στα 670 nm, 730 nm και 760 nm για την έναρξη του περκασμού (BBCH-81), την μέση του περκασμού (BBCH-85) και την τεχνολογική ωρίμαση (BBCH-89) για το 2016 και 2017 και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους. Πίνακας 45.

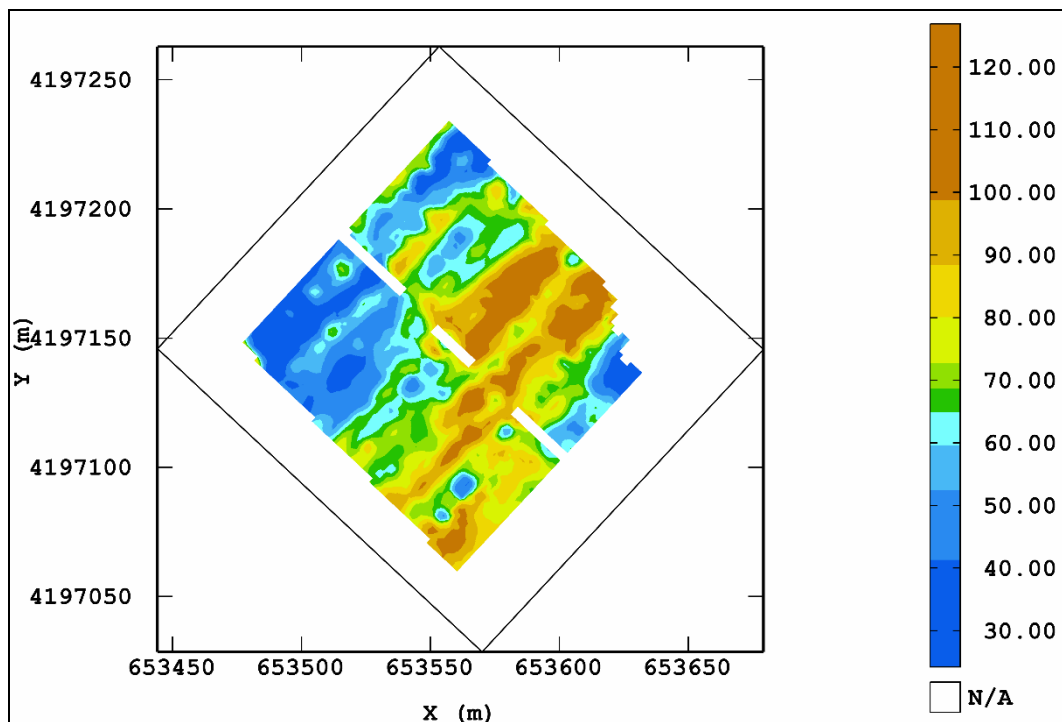
Η διερευνητική ανάλυση των δεδομένων αποκάλυψε σημαντική χωρική διακύμανση και γενικά μεγάλες αποκλίσεις από την κανονική κατανομή. Δεδομένου ότι οι περισσότερες μεταβλητές έδειξαν μεγάλη απόκλιση από την κανονική κατανομή, όλες οι μεταβλητές μετατράπηκαν σε μεταβλητές κατά Gauss και τυποποιήθηκαν σε μέση τιμή 0 και διακύμανση 1 πριν από την εφαρμογή γεωστατιστικής, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν σε όλες τις διαδοχικές διαδικασίες της βαριογραφίας και της πρόβλεψης. Η ανάλυση αυτή πραγματοποιήθηκε για τα δύο χρόνια του πειράματος, το 2016 και 2017, που υπήρχε πλήρης σειρά δεδομένων με σκοπό την διερεύνηση της σταθερότητας ζωνών διαχείρισης ανάμεσα σε έτη που παρουσιάζουν παρόμοια καιρικά χαρακτηριστικά.

Πίνακας 45 Περιγραφική στατιστική της ανάκλασης στα 670 nm, 730 nm και 760 nm για την έναρξη του περκασμού (BBCH-81), την μέση του περκασμού (BBCH-85) και την τεχνολογική ωρίμαση (BBCH-89) για το 2016 και 2017 και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους.

Μεταβλητή	Έτος(η)	Ελάχιστο	Μέγιστο	Διάμεσος	Μέσος	Τυπική Απόκλιση	Ασσυμετρία	Κύρτωση
Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (mS m ⁻¹)	2016							
	2017	23.63	180.88	69.34	67.38	21.57	0.54	3.33
Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα								
670nm BBCH-81 2016	2016	0.01	0.24	0.09	0.09	0.03	0.67	4.98
670nm BBCH-85 2016	2016	0.02	0.47	0.14	0.14	0.05	0.79	4.70
670nm BBCH-89 2016	2016	0.00	0.90	0.14	0.13	0.06	2.05	16.54
730nm	2016	0.02	1.00	0.51	0.50	0.17	0.20	3.53

Μεταβλητή	Έτος(η)	Ελάχιστο	Μέγιστο	Διάμεσος	Μέσος	Τυπική Απόκλιση	Ασσυμετρία	Κύρτωση
BBCH-81 2016								
730nm	2016	0.03	1.00	0.56	0.54	0.18	0.22	2.93
BBCH-85 2016								
730nm	2016	0.01	1.00	0.52	0.51	0.20	0.19	2.51
BBCH-89 2016								
760nm	2016	0.02	1.00	0.44	0.42	0.16	0.65	3.86
BBCH-81 2016								
760nm	2016	0.03	1.00	0.58	0.57	0.19	0.07	2.74
BBCH-85 2016								
760nm	2016	0.01	1.00	0.55	0.55	0.21	0.04	2.40
BBCH-89 2016								
670nm	2017	0.01	0.31	0.11	0.10	0.04	0.72	3.40
BBCH-81 2017								
670nm	2017	0.03	0.26	0.13	0.12	0.03	0.26	3.46
BBCH-85 2017								
670nm	2017	0.00	0.43	0.13	0.12	0.05	0.88	6.06
BBCH-89 2017								
730nm	2017	0.00	1.00	0.52	0.50	0.24	0.13	2.08
BBCH-81 2017								
730nm	2017	0.10	1.00	0.69	0.71	0.18	-0.50	2.82
BBCH-85 2017								
730nm	2017	0.01	1.00	0.64	0.66	0.22	-0.38	2.52
BBCH-89 2017								
760nm	2017	0.01	1.00	0.46	0.44	0.23	0.36	2.32
BBCH-81 2017								
760nm	2017	0.09	1.36	0.52	0.53	0.14	-0.15	4.65
BBCH-85 2017								
760nm	2017	0.01	0.97	0.46	0.46	0.16	-0.33	2.86
BBCH-89 2017								

Τα προσαρμοσμένα LMCs, μετά την κανονικοποίηση, αποτελούνταν από τις ίδιες τρεις βασικές δομές αλλά με διαφορετικά εύρη για τα δύο έτη. Συγκεκριμένα, για την εκτίμηση του pugget εφαρμόστηκε σφαιρικό μοντέλο με εύρος ίσο με 8.21 m και 10.91 m το 2016 και το 2017, ενώ μοντέλο k Bessel εφαρμόστηκε για την εκτίμηση της χωρικής παραλλακτικότητας με εύρος ίσο με 46.32 m και 29.7 m το 2016 και το 2017, αντίστοιχα. Και για τα δύο χρόνια η δομή k-Bessel σε μεγαλύτερο εύρος επικράτησε στα άλλα δύο συστατικά ως προς τη χωρική διακύμανση αλλά με διαφορετική αναλογία. Το 2016 η διάκριση μεταξύ των δύο χωρικών δομών ήταν σαφέστερη όσον αφορά τόσο το εύρος όσο και τη διακύμανση σε σχέση με το 2017. Στην πραγματικότητα, στο δεύτερο έτος, οι δύο μικρές και μεγάλες αποστάσεις διέφεραν λιγότερο, και η συνολική διαφορά κατανεμήθηκε πιο ομοιόμορφα μεταξύ των τριών συστατικών, καθώς υπολογίστηκε από τις σωρευτικές τιμές των ιδιοτιμών κάθε χωρικής κλίμακας. Αυτές οι διαφορές στα δύο μοντέλα αφήνουν να κατανοήσει κανείς ότι η διάταξη του χωρικού μοτίβου θα μπορούσε να ήταν διαφορετική στα δύο έτη, ενώ στην πραγματικότητα η διάταξη το 2016 παρουσιάστηκε πιο δομημένη σε σύγκριση με αυτή του 2017.



Εικόνα 32 Χάρτης ηλεκτρικής αγωγιμότητας (mS m^{-1}). Η χρωματική κλίμακα βασίστηκε σε κλάσεις ίσων συχνοτήτων.

Ο χάρτης ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους παρουσίασε μερικά χωρικά μοτίβα με μια τάση μεγαλύτερων τιμών να εμφανίζεται στο ανατολικό μισό του χωραφιού, πιθανότατα καταλογιζόμενες στις διαφορές στην υφή του εδάφους (Εικόνα 32). Όσον αφορά τους θεματικούς χάρτες των φασματικών δεδομένων, το 2016 ο χάρτης του τελευταίου σταδίου εμφανίζεται καλύτερα δομημένος και με τρόπο που αντιστρέφεται από τον χάρτη της ηλεκτρικής αγωγιμότητας για όλες τις φασματικές ζώνες. Μια εξήγηση αυτού μπορεί να είναι ότι τα εδάφη με λεπτή υφή είχαν αρνητικό αντίκτυπο στη ευρωστία του φυτού. Όσον αφορά τους χάρτες της καλλιεργητικής περιόδου του 2017, φαίνονται πιο θορυβώδεις σε σύγκριση με αυτούς της προηγούμενης περιόδου. Επιπλέον, το 2017 ακόμη και ο χάρτης που αντιστοιχεί στην τεχνολογική ωρίμαση χαρακτηρίζεται κυρίως από τυχαία παραλλακτικότητα. Αυτό το χαρακτηριστικό των χαρτών του 2017 μπορεί να εξηγηθεί εν μέρει από το γεγονός ότι τα επιτραπέζια σταφύλια έλαβαν πολλές καλλιεργητικές πρακτικές στο φύλλωμα, προκειμένου να διαχειριστεί σωστά την ανάπτυξη της καλλιέργειας, η οποία προκάλεσε καταστροφική επίδραση της παραλλακτικότητας του φυλλώματος. Αυτό οφείλεται εν μέρει και στο υψηλότερο καθεστώς υγρασίας του εδάφους, λόγω της υψηλότερης συχνότητας βροχόπτωσης, που προκάλεσε ένα είδος ομογενοποίησης της χωρικής διακύμανσης της υγρασίας του εδάφους (Or και Hanks, 1992). Αυτό το αποτέλεσμα παρατηρήθηκε και σε άλλες μελέτες (Kazmierski et al., 2011; Fountas et al., 2014; Anastasiou et al., 2018). Σχετικά με την φασματική ζώνη, οι χάρτες που αντιστοιχούν στην περιοχή του ακραίου κόκκινου φαίνονται οι καλύτεροι δομημένοι ακόμη και στα

αρχικά στάδια, τουλάχιστον για την καλλιεργητική περίοδο του 2016. Αυτό το αποτέλεσμα επιβεβαιώνει τη χρησιμότητα της χρήσης αυτής της φασματικής ζώνης ως αποτελεσματικού δείκτη ευρωστίας στη ΓΑ (Delegido et al., 2013).

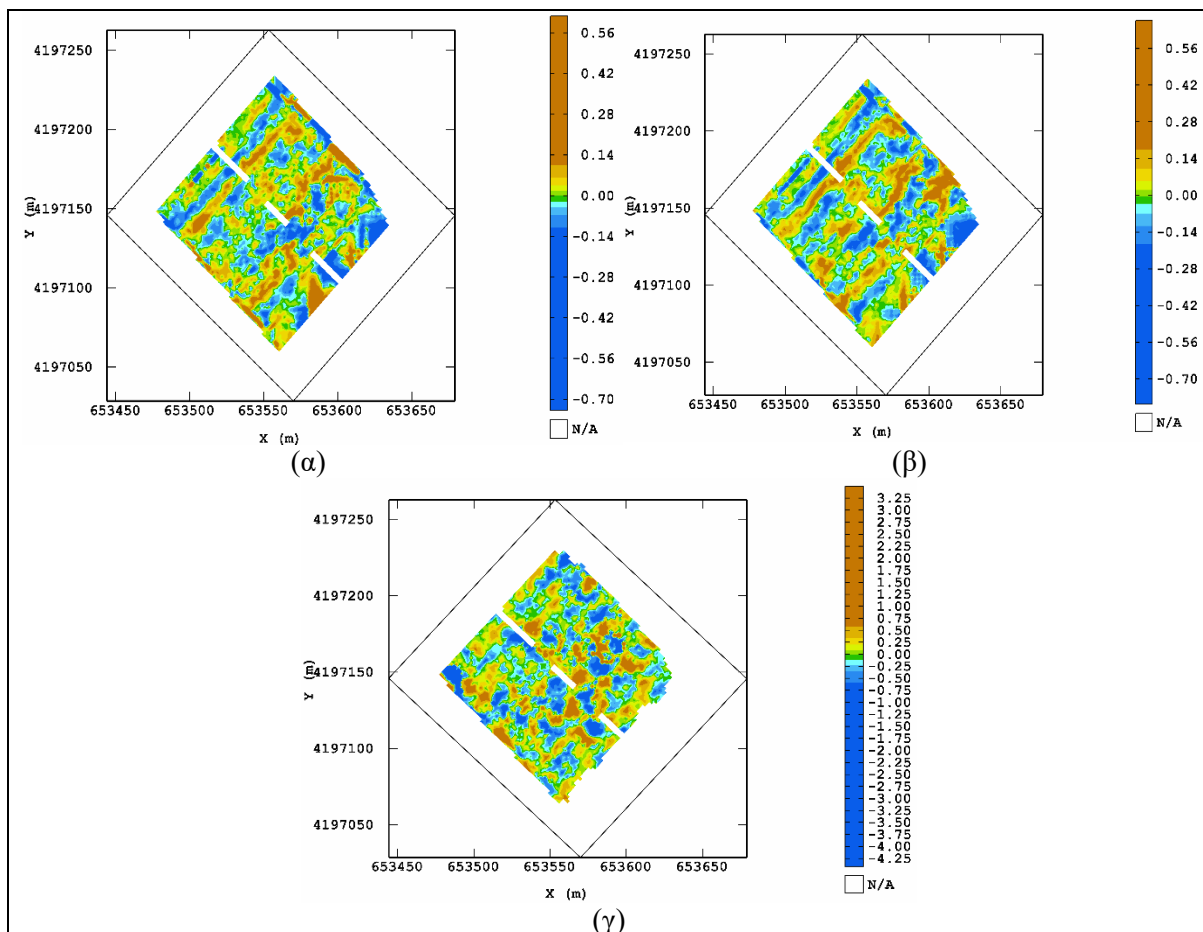
Προκειμένου να ληφθούν συνθετικοί δείκτες διακύμανσης που εξαρτώνται από την χωρική κλίμακα, και οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την οριοθέτηση των αμπελώνων σε ομοιογενείς ζώνες, διατηρήθηκαν μόνο οι δύο πρώτοι χωρικοί παράγοντες το 2016 και ο πρώτος χωρικός παράγοντας το 2017 της δομής k-Bessel, επειδή αντιστοιχούσαν σε τιμές ιδιοτιμών μεγαλύτερες από ένα. Όπως μπορεί να συναχθεί από τους συντελεστές φόρτωσης των παραγόντων (Πίνακας 46), όλες οι μεταβλητές είναι θετικές και ίσες στον πρώτο παράγοντα το 2016, αλλά με μικρότερο βαθμό την ανάκλαση στην φασματική ζώνη 670 nm για τα τρία φαινολογικά στάδια παρακολούθησης. Αυτό το αποτέλεσμα θα μπορούσε να κατευθύνει την επιλογή των πιο σχετικών φασματικών ζωνών για την παρακολούθηση της κατάστασης του αμπελού. Ενώ ο πρώτος παράγοντας εξηγεί περισσότερο από το 46% της διακύμανσης σε κλίμακα περίπου 46 m, ο δεύτερος παράγοντας αντιπροσωπεύει μόνο το 33% της διακύμανσης στην ίδια κλίμακα. Ο δεύτερος παράγοντας επηρεάζεται θετικά κυρίως από την ηλεκτρική αγωγιμότητα, και αρνητικά και σε μικρότερο βαθμό από την ανάκλαση των τριών φασματικών ζωνών κατά το φαινολογικό στάδιο της τεχνολογικής ωρίμασης (BBCH-89). Αυτό το αποτέλεσμα θα μπορούσε να ερμηνευθεί ως αρνητική επίδραση της λεπτότερης υφής του εδάφους στο τελευταίο στάδιο ανάπτυξης του αμπελιού πριν την συγκομιδή.

Όσον αφορά την καλλιεργητική περίοδο του 2017, μόνο ο πρώτος παράγοντας που διατηρήθηκε σε κλίμακα περίπου 30 μέτρων εξηγεί περίπου το 67% της διακύμανσης σε αυτήν την κλίμακα. Ο παράγοντας κυριαρχείται από τη μεταβλητή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και, αν και σε πολύ μικρότερο βαθμό, από την ανάκλαση στην φασματική ζώνη 760 nm κατά το φαινολογικό στάδιο της έναρξης του περκασμού, πράγμα που σημαίνει ότι η λεπτότερη υφή μπορεί να είχε θετικό αντίκτυπο στο LAI στο αρχικό στάδιο ανάπτυξης.

Η διαφορετική συμπεριφορά των δύο καλλιεργητικών περιόδων συγκομιδής να εξηγηθεί από το γεγονός ότι υπήρξε υψηλότερη βροχόπτωση το 2017 σε σύγκριση με το 2016, όπως παρουσιάστηκε σε προηγούμενη ενότητα. Έτσι, η υψηλή υγρασία του εδάφους προκάλεσε χωρική μεταβλητότητα που σχετίζεται με διαφορετικές διηλεκτρικές ιδιότητες του εδάφους (Or και Hanks, 1992, Lück et al., 2009).

Πίνακας 46 Διαρθρωτική σύνθεση του πρώτου και δεύτερου παράγοντα για το 2016 και του πρώτου παράγοντα για το 2017 με την αντίστοιχη ιδιοτιμή και την επεξηγούμενη παραλλακτικότητα (%).

Παράμετρος	Παράγοντας 1 2016	Παράγοντας 2 2016	Παράγοντας 1 2017
Ηλεκτρική Αγωγιμότητα Εδάφους	0.3521	0.8600	0.9789
670nm BBCH-81	0.2329	-0.0350	0.0996
670nm BBCH-85	0.1846	-0.0740	-0.039
670nm BBCH-89	0.1749	-0.3312	-0.0388
730nm BBCH-81	0.3677	-0.0024	0.0468
730nm BBCH-85	0.3591	-0.0777	-0.0416
730nm BBCH-89	0.3612	-0.2586	0.055
760nm BBCH-81	0.3792	0.0298	0.1091
760nm BBCH-85	0.3376	-0.0949	0.0119
760nm BBCH-89	0.3237	-0.2475	0.0994
Ιδιοτιμή	1.5684	1.1048	1.5789
Παραλλακτικότητα (%)	46.48	32.74	66.76



Εικόνα 33 Χάρτες (α) του πρώτου χωρικού παράγοντα και (β) του δεύτερου χωρικού παράγοντα για την καλλιεργητική περίοδο του 2016, και (γ) του πρώτου χωρικού παράγοντα για την καλλιεργητική περίοδο του 2017 με την εφαρμογή του μοντέλου k-Bessel.

Οι χάρτες της Εικόνα 33 αντιπροσωπεύουν γραφικά τη σύντηξη των αποτελεσμάτων των δύο αισθητήρων για κάθε έτος, διαχωρίζοντας τον αμπελώνα σε ζώνες με διαφορετικές φασματικές και διηλεκτρικές ιδιότητες του εδάφους.

Στην πραγματικότητα, οι δύο χάρτες της σεζόν του 2016 μοιάζουν αρκετά με ένα σύνολο χωρικών δομών παράλληλων προς την κατεύθυνση των σειρών αμπέλου. Ωστόσο, τέτοιες δομές ορίζονται καλύτερα στο χάρτη του δεύτερου παράγοντα λόγω της μεγαλύτερης επιρροής της μεταβλητής της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους. Ο χάρτης που αντιστοιχεί στην καλλιεργητική περίοδο 2017 φαίνεται πολύ πιο θορυβώδης σε σύγκριση με τους δύο προηγούμενους, πιθανότατα λόγω του διαφορετικού μετεωρολογικού μοτίβου κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Σε κάθε περίπτωση και στα δύο χρόνια, είναι δύσκολο να οριοθετηθούν μεγάλες περιοχές με ομοιογενή χαρακτηριστικά που υποβάλλονται σε διαφορετική διαχείριση. Σε τέτοιες συνθήκες, η τεχνολογία μεταβλητής εφαρμογής υψηλής ανάλυσης θα πρέπει να προτιμάται από τη διαχείριση σε ομοιογενείς ζώνες για τα αποδεδειγμένα αυξημένα οφέλη που μπορεί να προσφέρει στους αμπελοκαλλιεργητές (Tisseyre et al., 2008, Llorens et al., 2010).

6.6.1 Συμπεράσματα

Μια προσέγγιση σύντηξης δεδομένων για το συνδυασμό χωρικών και χρονικών δεδομένων από έναν αισθητήρα φυλλώματος με δυνατότητα μέτρησης σε πολλές φασματικές ζώνες και έναν αισθητήρα ηλεκτρικής αγωγιμότητας εδάφους, η οποία βασίστηκε σε πολυπαραγοντικές γεωστατιστικές τεχνικές, περιγράφηκε και εφαρμόστηκε σε αγρό με καλλιέργεια επιτραπέζιου σταφυλιού. Ένα σύνολο διαφόρων γεωστατιστικών τεχνικών χρησιμοποιήθηκε για να ληφθεί υπόψη η διαφορετική θέση και χωρική υποστήριξη των μετρήσεων από τους δύο αισθητήρες, και να καθοριστούν οι διαφορετικές ομοιογενείς ζώνες του αμπελώνα. Στην πραγματικότητα, λόγω της ιδιαίτερης διαχείρισης της καλλιέργειας, ο αμπελώνας χαρακτηρίστηκε κυρίως από τυχαία μικρο-παραλλακτικότητα, η οποία οδηγεί κάποιον να προτιμά την εφαρμογή διαφορετικής εφαρμογής καλλιεργητικών πρακτικών από τον καθορισμό ζωνών διαχείρισης για το κάθε έτος. Σε κάθε περίπτωση, η ενοποιημένη χρήση διαφορετικών αισθητήρων μπορεί να αποδειχθεί χρήσιμη για τη διαχείριση συγκεκριμένων τοποθεσιών σε οποιαδήποτε χωρική κλίμακα.

Η ζήτηση για σύντηξη διαφορετικών χωρικών και χρονικών δεδομένων αυξάνεται όχι μόνο από ειδικούς στη γεωργία αλλά και από αγρότες. Έτσι, πρέπει να αναπτυχθούν καινοτόμα και πιο ισχυρά εργαλεία και μέθοδοι για την απευθείας χωρική διαχείριση. Η γεωστατιστική μπορεί να προσφέρει ισχυρή λύση στην ανάλυση χωρικών δεδομένων με τη σύντηξη πολυπαραγοντικών δεδομένων που καταγράφηκαν σε διαφορετικές τοποθεσίες με διαφορετική χωρική υποστήριξη, όπως πραγματοποιήθηκε σε αυτήν τη μελέτη. Σε ορισμένες περιπτώσεις, απαιτούνται πιο σύνθετες μη

γραμμικές προσεγγίσεις, αλλά σε κάθε περίπτωση ένα μέτρο πρόβλεψης της αβεβαιότητας, όπως μπορεί να προσφέρει αποτελεσματικά η γεωστατιστική, είναι απαραίτητο.

7 Σύνοψη Αποτελεσμάτων - Γενικά Συμπεράσματα - Προτάσεις Μελλοντικής Έρευνας

7.1 Εισαγωγή

Οι σύγχρονες προκλήσεις που αντιμετωπίζει ο γεωργικός τομέας είναι πολλές, και κάποιες από αυτές απορρέουν από το παρελθόν. Συγκεκριμένα, προκλήσεις όπως η κλιματική αλλαγή, η αύξηση του πληθυσμού, και της ζήτησης σε φυσικούς πόρους, η ποσοτική και ποιοτική υποβάθμιση των φυσικών πόρων (έδαφος, υδροφόρος ορίζοντας, επιφανειακά ύδατα), η συνεχής υποβάθμιση του φυσικού περιβάλλοντος και της βιοποικιλότητας, η αύξηση των προβλημάτων υγείας στις αγροτικές περιοχές και της κοινωνικοοικονομικής ανισότητας, ενισχύουν την άποψη ότι η αλλαγή στον τρόπο καλλιέργειας δεν είναι απλώς μια τάση εκμοντερνισμού αλλά μια απαίτηση των καιρών η οποία θα κατατάξει τον γεωργικό χώρο ισότιμα στα πλαίσια της 4^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης. Η οποία με την σειρά της χαρακτηρίζεται από την ευφυή εκμάθηση/αυτό-εκπαίδευση των ίδιων των Μηχανών (Machine Learning), την επιστήμη των Δεδομένων (Data Science) και την Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence) που συνδυαστικά δημιουργούν προκλήσεις και ευκαιρίες. Η γεωργία ακριβείας αποτελεί έναν πολλά υποσχόμενο νέο τρόπο καλλιέργειας, που βασίζεται στην εφαρμογή και αξιοποίηση των νέων τεχνολογιών και μεθόδων επεξεργασίας δεδομένων. Απώτερος στόχος της γεωργίας ακριβείας είναι ο καθορισμός ζωνών διαχείρισης και η εφαρμογή διαφορικών καλλιεργητικών πρακτικών (άρδευση, λίπανση, κλάδεμα, συγκομιδή) με σκοπό την αποτελεσματικότερη αξιοποίηση των πόρων για την επίτευξη κοινωνικής, οικονομικής και περιβαλλοντικής αειφορίας.

Στην παρούσα διατριβή μελετήθηκε η χωρική και χρονική παραλλακτικότητα των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών σε μια εμπορική καλλιέργεια επιτραπέζιου σταφυλιού με τη χρήση καταστροφικών και μη καταστροφικών μεθόδων εκτίμησης των ποιοτικών χαρακτηριστικών της. Συγκεκριμένα, μελετήθηκε η χωρική και χρονική παραλλακτικότητα της καλλιέργειας που οφείλεται στις καιρικές και εδαφικές συνθήκες με σκοπό να αξιολογηθεί η επίδρασή της στην τελική ποιότητα και ποσότητα της παραγωγής του επιτραπέζιου σταφυλιού. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση της σταθερότητας που παρουσιάζουν οι ζώνες διαχείρισης ως προς τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά της καλλιέργειας σε επίπεδο υποτεμαχίων. Στη συνέχεια, αξιολογήθηκε η χρήση επίγειων αισθητήρων φυλλώματος και δορυφορικών απεικονίσεων μέσα από τον υπολογισμό δύο δεικτών βλάστησης σε τρία διαφορετικά φαινολογικά στάδια για την παρακολούθηση της καλλιέργειας, και την μη καταστροφική εκτίμηση των ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών της καλλιέργειας του επιτραπέζιου σταφυλιού. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε η

αξιολόγηση πέντε σωρευτικών δεικτών βλάστησης για τρεις διαφορετικές περιόδους της καλλιέργειας ως προς την ικανότητά τους να εκτιμούν μη καταστροφικά ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά του επιτραπέζιου σταφυλιού. Τέλος, προτάθηκε, εφαρμόστηκε και αξιολογήθηκε μια μεθοδολογία για τη δημιουργία ζωνών διαχείρισης με εφαρμογή σύντηξης δεδομένων από επίγειους αισθητήρες φυλλώματος και ηλεκτρικής αγωγιμότητας υψηλής ανάλυσης και διαφορετικής χωρικής υποστήριξης.

7.2 Ειδικά Συμπεράσματα

7.2.1 Αξιολόγηση της χωροχρονικής παραλλακτικότητας των εδαφοκλιματικών συνθηκών ως προς την παραγόμενη ποσότητα και ποιότητα

Τα κλιματολογικά χαρακτηριστικά είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας για την παραγωγή υψηλής ποιότητας και ποσότητας επιτραπέζιου σταφυλιού και η επίδρασή των χαρακτηριστικών αυτών διαφέρει ανάλογα με το φαινολογικό στάδιο το οποίο διανύει η καλλιέργεια. Η επίδραση των εδαφικών παραγόντων στα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά της παραγωγής επηρεάζεται από την εφαρμογή των καλλιεργητικών πρακτικών, των οποίων η αποτελεσματικότητα με τη σειρά της επηρεάζεται από τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν. Συγκεκριμένα, οι περισσότερες καλλιεργητικές εργασίες που λαμβάνουν χώρα στο επιτραπέζιου σταφυλιού τείνουν να εξαλείψουν την παραλλακτικότητα που προκαλείται από το έδαφος, αλλά τα ακραία καιρικά φαινόμενα που συντελούνται ανά έτος και σε διαφορετικό φαινολογικό στάδιο μπορούν να επιδράσουν αρνητικά ή θετικά σε αυτό το φαινόμενο.

7.2.2 Χωροχρονική σταθερότητα των ζωνών διαχείρισης που καθορίστηκαν μέσω της δειγματοληψίας σε υποτεμάχια.

Η μελέτη της χωροχρονικής σταθερότητας των ζωνών διαχείρισης που χωρίστηκαν σε επίπεδο υποτεμαχίου για τα τρία έτη της μελέτης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η χωροχρονική σταθερότητα των ζωνών επηρεάζεται σημαντικά από τις καιρικές συνθήκες του κάθε έτους. Το κάθε ποιοτικό και ποσοτικό χαρακτηριστικό παρουσίασε διαφορετική ένταση και έκταση χωρικής και χρονικής σταθερότητας καθιστώντας αναξιόπιστο τον αρχικό καθορισμό των ζωνών διαχείρισης. Επίσης, ο δείκτης NDVI παρουσίασε διαφορετικό βαθμό αξιοπιστίας ως προς τον μη καταστροφικό χαρακτηρισμό των ζωνών διαχείρισης σε ζώνες χαμηλής και υψηλής παραγωγικότητας ως προς τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά οδηγώντας στο συμπέρασμα ότι ίσως η εφαρμογή διαφορετικών δεικτών βλάστησης να παρουσιάσει καλύτερο βαθμό αξιοπιστίας.

7.2.3 Σύγκριση μη καταστροφικής εκτίμησης της ποσότητας και ποιότητας παραγωγής με την χρήση επίγειας και δορυφορικής τηλεπισκόπησης

Μια άλλη παράμετρος που διερευνήθηκε αφορούσε τη σύγκριση δεικτών βλάστησης που είχαν μετρηθεί με διαφορετικούς αισθητήρες και συσχεκκριμένα αξιολογήθηκαν δύο δείκτες βλάστησης, μέσω δορυφορικής και επίγειας τηλεπισκόπησης, ως προς τη μη καταστροφική εκτίμηση των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών της καλλιέργειας. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης, η επίγεια τηλεπισκόπηση παρουσιάστηκε πιο αποτελεσματική ως προς τον χρόνο εκτίμησης, αλλά η δορυφορική είχε μεγαλύτερη ακρίβεια στην εκτίμηση των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών της καλλιέργειας. Επιπλέον, οι δείκτες παρουσίασαν διαφορετικό βαθμό αξιοπιστίας με τον δείκτη GNDVI να παρουσιάζει υψηλότερες συσχετίσεις σε σύγκριση με τον NDVI για τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά του επιτραπέζιου σταφυλιού. Τα προηγούμενα αποτελέσματα συμφωνούν με άλλες μελέτες οι οποίες διαπίστωσαν ότι ο κορεσμός του εν λόγω δείκτη έχει ως αποτέλεσμα την μειωμένη ακρίβεια στις μετρήσεις.

7.2.4 Αξιολόγηση απλών και σωρευτικών δεικτών βλάστησης στην εκτίμηση των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών του επιτραπέζιου σταφυλιού

Επίσης, αποφασίστηκε περαιτέρω διερεύνηση της επίγειας τηλεπισκόπησης και πιο συγκεκριμένα με την αξιολόγηση πέντε απλών δεικτών βλάστησης σε 6 διαφορετικά φαινολογικά στάδια και πέντε σωρευτικών δεικτών βλάστησης για τρεις διαφορετικές περιόδους της καλλιέργειας. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, οι δείκτες βλάστησης που βασίστηκαν στο GNDVI παρουσίασαν τους υψηλότερους συσχετισμούς. Ακόμη, υπήρξε διαφορετική ακρίβεια στην εκτίμηση ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών της καλλιέργειας του επιτραπέζιου σταφυλιού ανάλογα με τον τύπο του δείκτη και το φαινολογικό στάδιο ή την φαινολογική περίοδο που κάλυπτε. Επιπλέον, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι σωρευτικοί δείκτες βλάστησης έχουν το δυναμικό να αποτελέσουν ένα εργαλείο για την αξιολόγηση των παραμέτρων του επιτραπέζιου σταφυλιού και έτσι να χρησιμοποιηθούν στην οριοθέτηση της ζώνης διαχείρισης για επιλεκτική συγκομιδή. Ωστόσο, οι σωρευτικοί δείκτες βλάστησης πρέπει να εφαρμόζονται προσεκτικά, καθώς ενδέχεται να παρουσιάσουν περιορισμένα αποτελέσματα στην εκτίμηση συγκεκριμένων παραμέτρων (π.χ. σάκχαρα, ολική οξύτητα) όταν πραγματοποιούνται πολλές γεωργικές εργασίες στο πεδίο σε μια καλλιεργητική περίοδο.

7.2.5 Καθορισμός ζωνών διαχείρισης για την καλλιέργεια με την χρήση επίγειων δεδομένων υψηλής ανάλυσης

Τέλος, πραγματοποιήθηκε μελέτη για τον καθορισμό ζωνών διαχείρισης εφαρμογής μεθόδων σύντηξης υψηλής ανάλυσης δεδομένων από επίγειους αισθητήρες φυλλώματος, και ηλεκτρικής

αγωγιμότητας που είχαν διαφορετική χωρική υποστήριξη. Η μελέτη έλαβε χώρα σε διάστημα δύο καλλιεργητικών ετών που εμφάνιζαν παρόμοια καιρικά χαρακτηριστικά (2016 και 2017), δεδομένου ότι σε άλλο κεφάλαιο της παρούσας διατριβής, αποδείχθηκε ότι τα κλιματολογικά χαρακτηριστικά επηρεάζουν σημαντικά τη σταθερότητα των ζωνών διαχείρισης σε επίπεδο υποτεμαχίων. Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης έδειξαν ότι η σύντηξη δεδομένων αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη μέθοδο για τον καθορισμό ζωνών διαχείρισης σε έναν αγρό. Όμως, η αποτελεσματικότητα του καθορισμού των ζωνών διαχείρισης καθορίζεται από τις καλλιεργητικές πρακτικές που εφαρμόζονται και τις κλιματολογικές συνθήκες. Έτσι, σε περιπτώσεις όπου εμφανίζεται τυχαία μικρο-παραλλακτικότητα είναι αδύνατος ο καθορισμός ζωνών διαχείρισης και προτείνεται η εφαρμογή διαφορικών γεωργικών πρακτικών σε επίπεδο υψηλής ανάλυσης και όχι ζώνης.

7.3 Γενικό Συμπέρασμα

Με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας διδακτορικής διατριβής, είναι κατανοητό ότι η ΓΑ αποτελεί μια χρήσιμη προσέγγιση με ξεκάθαρα οφέλη για την περιβαλλοντική και οικονομική βελτιστοποίηση της παραγωγής επιτραπέζιων σταφυλιών. Όμως, για την πλήρη αξιοποίηση της ΓΑ στα επιτραπέζια σταφύλια πρέπει να ληφθούν υπόψη σημαντικές παράμετροι που μπορούν να επηρεάσουν την αποτελεσματικότητά της. Συγκεκριμένα, οι κλιματικές και εδαφικές συνθήκες επηρεάζουν σημαντικά την χωροχρονική παραλλακτικότητα που εμφανίζουν τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά ανά έτος. Επιπλέον, η σύντηξη υψηλής ανάλυσης δεδομένων αλλά και η χρήση δεδομένων που προέρχονται από δειγματοληψία πλέγματος στην καλλιέργεια των επιτραπέζιων σταφυλιών, δεν οδηγούν σε σταθερές ζώνες διαχείρισης. Αυτό οφείλεται στις πολλές καλλιεργητικές πρακτικές που πραγματοποιούνται σε έναν αμπελώνα και οδηγούν σε μείωση της εγγενούς παραλλακτικότητας που υπάρχει εξαιτίας του εδάφους, αλλά και των διαφορετικών κλιματολογικών συνθηκών που επικρατούν ανά έτος. Ακόμη, ο κατάλληλος χρόνος για τη μη καταστροφική εκτίμηση των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών των επιτραπέζιων σταφυλιών επηρεάζεται από την πλατφόρμα που θα χρησιμοποιηθεί (επίγεια ή δορυφορική). Τέλος, η ακρίβεια στη μη καταστροφική εκτίμηση των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών των επιτραπέζιων σταφυλιών διαφέρει ανά δείκτη βλάστησης, φαινολογικό στάδιο στο οποίο πραγματοποιείται η μέτρηση και τρόπου χρήσης των δεικτών βλάστησης (απλοί ή σωρευτικοί).

7.4 Προτάσεις Μελλοντικής Έρευνας

Από την παρουσίαση των παραπάνω αποτελεσμάτων, προκύπτει η ανάγκη για περαιτέρω έρευνα στην εφαρμογή μεθόδων και τεχνολογιών γεωργίας ακριβείας σε πολυετείς καλλιέργειες υψηλής αξίας όπως είναι αυτή των επιτραπέζιων σταφυλιών.

Συγκεκριμένα, θα πρέπει να μελετηθεί περαιτέρω η επίδραση και άλλων κλιματικών παραμέτρων στο επιτραπέζιο σταφύλι στη φυσιολογία και την παραγωγή σε συνδυασμό με τις καλλιεργητικές πρακτικές που εφαρμόζονται (Wilmanns, 1993, Tissot et al., 2019). Με αυτόν τον τρόπο, είναι δυνατόν να αξιολογηθεί ποσοτικά και ποιοτικά η επίδραση της κάθε καλλιεργητικής πρακτικής κάτω από το πλαίσιο της γεωργίας ακριβείας και να οδηγήσουν με αυτόν τον τρόπο στην εφαρμογή πιο στοχευμένων χωροχρονικών γεωργικών πρακτικών που να επιτρέπουν την αντιμετώπιση των συνεπειών της κλιματικής αλλαγής στην καλλιέργεια.

Επίσης, πρέπει να αξιολογηθεί η μη καταστροφική εκτίμηση ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών της καλλιέργειας του επιτραπέζιου σταφυλιού με την χρήση άλλων αισθητήρων. Συγκεκριμένα, θα μπορούσαν να αξιολογηθούν αισθητήρες LiDAR, υπερηχητικοί αισθητήρες, θερμικοί αισθητήρες, υπερφασματικοί αισθητήρες και αισθητήρες βίντεο και εικόνες οι οποίοι θα μπορούσαν να προσφέρουν καλύτερα δεδομένα ως προς την ευρωστία των φυτών και την ποσότητα και ποιότητα της παραγωγής. Αυτοί οι αισθητήρες έχουν χρησιμοποιηθεί σε οινοποιήσιμα σταφύλια προσφέροντας πολύ καλά αποτελέσματα στην αξιολόγηση της φυτοκόμης και στα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά (Llorens et al., 2011, Lloret et al., 2011, Zarco-Tejada et al., 2013, Bellvert et al., 2014, Fuentes et al., 2014).

Επιπλέον, πρέπει να μελετηθεί περαιτέρω η εφαρμογή τεχνικών σύντηξης δεδομένων που να περιλαμβάνουν και άλλους τύπους δεδομένων, όπως καιρικά δεδομένα, δεδομένα LiDAR, για τον καθορισμό διαφορετικών ζωνών διαχείρισης (Xue et al., 2019). Σε αυτό το πλαίσιο θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν και τεχνικές μηχανικής μάθησης με σκοπό τον ακριβή καθορισμό των ζωνών διαχείρισης (Seng et al., 2018). Οι παραπάνω τεχνικές έχουν αποδείξει την αξία τους στην οινοποιήσιμη αμπελουργία και δύναται να δοκιμαστούν σε επιτραπέζια σταφύλια, λαμβάνοντας ταυτόχρονα υπόψιν το μεγαλύτερο αριθμό γεωργικών πρακτικών που εφαρμόζονται.

Θα πρέπει να γίνει ιδιαίτερη αναφορά στην ανάγκη μελέτης της εφαρμογής διαφορετικών γεωργικών πρακτικών στην καλλιέργεια του επιτραπέζιου σταφυλιού και στην επίδρασή τους στην ποσότητα και ποιότητα, αλλά και στο περιβάλλον μέσα από ανάλυση κύκλου ζωής. Η εφαρμογή διαφορετικής άρδευσης (Nadav and Schweitzer, 2017), διαφορετικής λίπανσης (Gatti et al., 2020), διαφορεικού ψεκασμού (Gil et al., 2007) και διαφορετικού κλαδέματος (Bates et al., 2018) έχει αποδεδειγμένα οφέλη στην εξοικονόμηση των πόρων, στην προστασία του περιβάλλοντος και την καλύτερη διαχείριση της καλλιέργειας οινοποιήσιμων σταφυλιών. Σε αυτό το πλαίσιο θα πρέπει να αναφερθεί και η ανάγκη για μελέτη της μεταβλητής συγκομιδής. Η επιλεκτική συγκομιδή έχει παρουσιάσει

σημαντικά οικονομικά οφέλη στις οινοποιήσιμες ποικιλίες αμπελιού (Bramley et al., 2011) και θα ήταν σημαντική η διερεύνησή της σε καλλιέργεια επιτραπέζιου σταφυλιού.

Τέλος, θα πρέπει να διερευνηθεί η επίδραση της χωρικής και χρονικής παραλλακτικότητας στη μετασυλλεκτική διαχείριση του προϊόντος. Έχει πραγματοποιηθεί περιορισμένος αριθμός ερευνών που να συνδέει την γεωργία ακριβείας και την μετασυλλεκτική διαχείριση των προϊόντων (Ge et al., 2006), και μια τέτοια μελέτη θα μπορούσε να συντελέσει στην κατανόηση της δράσης των κλιματολογικών χαρακτηριστικών, των εδαφικών χαρακτηριστικών και των καλλιεργητικών πρακτικών στην μετασυλλεκτική ποιότητά και συντηρησιμότητα των επιτραπέζιων σταφυλιών.

8 Βιβλιογραφία

8.1 Αγγλική

Abbas, A., Zaman, Q., Schumann, A. W., Brewster, G., Farooque, A., Donald, R., & Jameel, M. W. (2016). Effect of split variable rate fertilization on wild blueberry plant growth and berry yield. *Applied Engineering in Agriculture*, 32(6), 675-683.

Abdullahi, H. S., Mahieddine, F., & Sheriff, R. E. (2015). Technology impact on agricultural productivity: A review of precision agriculture using unmanned aerial vehicles. In Proceedings of the International Conference on Wireless and Satellite Systems, Bradford, UK, 6–7 July 2015; pp. 388–400.

Adamchuk, V. I., Hummel, J. W., Morgan, M. T., & Upadhyaya, S. K. (2004). On-the-go soil sensors for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 44(1), 71-91.

Aggarwal, S. (2004). Principles of remote sensing. In M.V.K. Sivakumar, P.S. Roy, K. Harmsen, & S.K. Saha (Eds.), *Satellite remote sensing and GIS applications in agricultural meteorology* (pp. 23–38). Dehra Dun: World Meteorological Organisation, Switzerland.

Aggelopoulou, K., Castrignanò, A., Gemtos, T., & Benedetto, D. D. (2013). Delineation of management zones in an apple orchard in Greece using a multivariate approach. *Computers and Electronics in Agriculture*, 90, 119–130.

Aggelopoulou, A. D., Bochtis, D., Fountas, S., Swain, K. C., Gemtos, T. A., & Nanos, G. D. (2011). Yield prediction in apple orchards based on image processing. *Precision Agriculture*, 12(3), 448-456.

Aiello, G., Giovino, I., Vallone, M., Catania, P., & Argento, A. (2018). A decision support system based on multisensor data fusion for sustainable greenhouse management. *Journal of Cleaner Production*, 172, 4057-4065.

Alsina, M. M., Cheng, T., Riaño, D., Whiting, M., Ustin, S., & Smart, D. R. (2013). Water status detection in California table grapes: from leaf to airborne. In J.V. Stafford (Ed.), *Precision Agriculture'13: Proceedings of the 9th European Conference on Precision Agriculture*, pp. 225-231. Wageningen Academic Publishers, Wageningen.

Altdorff, D., Galagedara, L., Nadeem, M., Cheema, M., & Unc, A. (2018). Effect of agronomic treatments on the accuracy of soil moisture mapping by electromagnetic induction. *Catena*, 164, 96-106.

- Ameen, A., & Raza, S. (2018). Green Revolution: A Review. *International Journal of Advances in Scientific Research*, 3(12), 129.
- Ampatzidis, Y., Tzelepis, G., & Vougioukas, S. (2008). A low-cost identification system for yield mapping during manual vine harvesting. In Proceedings of the International Conference on Agricultural Engineering & Industry Exhibition, Hersonissos (Crete), Greece, 23–25 June.
- Anastasiou, E., Balafoutis, A., Darra, N., Psiroukis, V., Biniari, A., Xanthopoulos, G., & Fountas, S. (2018). Satellite and proximal sensing to estimate the yield and quality of table grapes. *Agriculture*, 8(7), 94.
- Anastasiou, E., Tsiropoulos, Z., Balafoutis, T., Fountas, S., Templalexis, C., Lentzou, D., & Xanthopoulos, G. (2017)b. Spatiotemporal stability of management zones in a table grapes vineyard in Greece. *Advances in Animal Biosciences*, 8(2), 510-514.
- Anderson, N. T., Underwood, J. P., Rahman, M. M., Robson, A., & Walsh, K. B. (2019). Estimation of fruit load in mango orchards: tree sampling considerations and use of machine vision and satellite imagery. *Precision Agriculture*, 20(4), 823-839.
- Angelopoulou, F., Anastasiou, E., Fountas, S., & Bilalis, D. (2020). Evaluation of Organic Camelina Crop Under Different Tillage Systems and Fertilization Types Using Proximal Remote Sensing. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Horticulture*, 77(1), 1-6.
- Anthopoulou, T., Kaberis, N., & Petrou, M. (2017). Aspects and experiences of crisis in rural Greece. Narratives of rural resilience. *Journal of Rural Studies*, 52, 1–11.
- Aragüés, R., Medina, E. T., Clavería, I., Martínez-Cob, A., & Faci, J. (2014). Regulated deficit irrigation, soil salinization and soil sodification in a table grape vineyard drip-irrigated with moderately saline waters. *Agricultural Water Management*, 134, 84-93.
- Araus, J. L., & Cairns, J. E. (2014). Field high-throughput phenotyping: the new crop breeding frontier. *Trends in plant science*, 19(1), 52-61.
- Aravind, K. R., Raja, P., & Pérez Ruiz, M. (2017). Task-based agricultural mobile robots in arable farming: A review. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 15 (1), 1-16.
- Ashley, R. (2011). Grapevine nutrition-an Australian perspective. Foster's Wine Estates Americas.

- Assimakopoulou, A., & Tsougrianis, C. (2012). Correlation between yield, must attributes and nutritional status of the greek red wine grape variety “Agiorgitiko”. *Journal of Plant Nutrition*, 35(7), 1022–1036.
- Awasthi, A., & Reddy, S. R. N. (2013). Monitoring for precision agriculture using wireless sensor network-a review. *Global Journal of Computer Science and Technology*, 13(7).
- Babaeian, E., Sadeghi, M., Jones, S. B., Montzka, C., Vereecken, H., & Tuller, M. (2019). Ground, proximal, and satellite remote sensing of soil moisture. *Reviews of Geophysics*, 57(2), 530-616.
- Badewa, E., Unc, A., Cheema, M., Kavanagh, V., & Galagedara, L. (2018). Soil moisture mapping using multi-frequency and multi-coil electromagnetic induction sensors on managed Podzols. *Agronomy*, 8(10), 224.
- Balafoutis, A., Beck, B., Fountas, S., Vangeyte, J., van der Wal, T., Soto, I., Gómez-Barbero, M., Barnes, A., & Eory, V. (2017)b.Precision agriculture technologies positively contributing to GHG emissions mitigation, farm productivity and economics. *Sustainability*, 9 (8), 1339.
- Balafoutis, A., Koundouras, S., Anastasiou, E., Fountas, S., & Arvanitis, K. (2017). Life cycle assessment of two vineyards after the application of precision viticulture techniques: a case study. *Sustainability*, 9(11), 1997.
- Balatsky, A., Balatsky, G., & Borysov, S. (2015). Resource demand growth and sustainability due to increased world consumption. *Sustainability*, 7(3), 3430-3440.
- Bannari, A. (2019). Synergy Between Sentinel-MSI and Landsat-OLI to Support High Temporal Frequency for Soil Salinity Monitoring in an Arid Landscape. In *Research Developments in Saline Agriculture* (pp. 67-93). Springer, Singapore.
- Bannari, A., Morin, D., Bonn, F., & Huete, A. R. (1995). A review of vegetation indices. *Remote Sensing Reviews*, 13(1-2), 95–120.
- Barbedo, J. G. A. (2019). A review on the use of unmanned aerial vehicles and imaging sensors for monitoring and assessing plant stresses. *Drones*, 3(2), 40.
- Barnes, A.P., Soto, I., Eory, V., Beck, B., Balafoutis, A., Sánchez, B., Vangeyte, J., Fountas, S., van der Wal, T., & Gómez-Barbero, M., (2019). Exploring the adoption of precision agricultural technologies: a cross regional study of EU farmers. *Land Use Policy*, 80, 163-174.

- Basso, B., Dumont, B., Cammarano, D., Pezzuolo, A., Marinello, F., & Sartori, L. (2016). Environmental and economic benefits of variable rate nitrogen fertilization in a nitrate vulnerable zone. *Science of the Total Environment*, 545, 227-235.
- Bates, T., Dresser, J., Eckstrom, R., Badr, G., Betts, T., & Taylor, J. (2018). Variable-rate mechanical crop adjustment for crop load balance in ‘Concord’ vineyards. In *2018 IoT Vertical and Topical Summit on Agriculture-Tuscany (IOT Tuscany)*, 1-4.
- Bechar, A., & Vigneault, C. (2016). Agricultural robots for field operations: Concepts and components. *Biosystems Engineering*, 149, 94-111.
- Behmann, J., Mahlein, A. K., Rumpf, T., Römer, C., & Plümer, L. (2015). A review of advanced machine learning methods for the detection of biotic stress in precision crop protection. *Precision Agriculture*, 16(3), 239-260.
- Bellvert, J., Mata, M., Vallverdú, X., Paris, C., & Marsal, J. (2020). Optimizing precision irrigation of a vineyard to improve water use efficiency and profitability by using a decision-oriented vine water consumption model. *Precision Agriculture*.
- Bellvert, J., Zarco-Tejada, P. J., Girona, J., & Fereres, E. J. P. A. (2014). Mapping crop water stress index in a ‘Pinot-noir’ vineyard: comparing ground measurements with thermal remote sensing imagery from an unmanned aerial vehicle. *Precision Agriculture*, 15(4), 361-376.
- Bertamini, M., & Nedunchezian, N. (2003). Photosynthetic functioning of individual grapevine leaves (*Vitis vinifera* L. cv. Pinot noir) during ontogenesy in the field. *Vitis*, 42, 13-17.
- Bhakta, I., Phadikar, S., & Majumder, K. (2019). State-of-the-art technologies in precision agriculture: a systematic review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(11), 4878-4888.
- Binswanger, H. (1986). Agricultural mechanization: a comparative historical perspective. *The World Bank Research Observer*, 1(1), 27-56.
- Biswal, B. (1995). Carotenoid catabolism during leaf senescence and its control by light. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 30(1), 3-13.
- Blackmore, B., Fountas, S., Tang, L., & Have, H. (2004). Systems requirements for a small autonomous tractor. *Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development*, Manuscript PM 04 001, July, 1-13.
- Blackmore, S. (1994). Precision farming: an introduction. *Outlook on agriculture*, 23(4), 275-280.

- Bock, A., Sparks, T. H., Estrella, N., & Menzel, A. (2013). Climate-induced changes in grapevine yield and must sugar content in Franconia (Germany) between 1805 and 2010. *PLoS one*, 8(7), e69015.
- Bohman, B. J., Rosen, C. J., & Mulla, D. J. (2020). Impact of variable rate nitrogen and reduced irrigation management on nitrate leaching for potato. *Journal of Environmental Quality*, 49(2), 281-291.
- Bongiovanni, R., & Lowenberg-Deboer, J. (2004). Precision Agriculture and Sustainability. *Precision Agriculture*, 5(4), 359–387.
- Bora, G. C., Nowatzki, J. F., & Roberts, D. C. (2012). Energy savings by adopting precision agriculture in rural USA. *Energy, Sustainability and Society*, 2(1), 22.
- Bourodimos, G., Koutsiaras, M., Psiroukis, V., Balafoutis, A., & Fountas, S. (2019). Development and Field Evaluation of a Spray Drift Risk Assessment Tool for Vineyard Spraying Application. *Agriculture*, 9(8), 181.
- Bouyoucos, G. J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils 1. *Agronomy journal*, 54(5), 464-465.
- Bramley, R. G. V., Ouzman, J., & Thornton, C. (2011). Selective harvesting is a feasible and profitable strategy even when grape and wine production is geared towards large fermentation volumes. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 17(3), 298-305.
- Bramley, R., Pearse, B., & Chamberlain, P. (2003). Being profitable precisely-a case study of precision viticulture from Margaret River. *Australian and New Zealand Grapegrower and Winemaker*, 473a, 84-87.
- Buttafuoco, G., & Lucà, F. (2016). The Contribution of Geostatistics to Precision Agriculture. *Annals of Agricultural & Crop Sciences*, 1(2), 1008.
- Campbell, B. M., Hansen, J., Rioux, J., Stirling, C. M., & Twomlow, S. (2018). Urgent action to combat climate change and its impacts (SDG 13): transforming agriculture and food systems. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 34, 13-20.
- Campbell, B. M., Thornton, P., Zougmore, R., Van Asten, P., & Lipper, L. (2014). Sustainable intensification: What is its role in climate smart agriculture?. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 8, 39-43.

- Campos, J., Llop, J., Gallart, M., García-Ruiz, F., Gras, A., Salcedo, R., & Gil, E. (2019). Development of canopy vigour maps using UAV for site-specific management during vineyard spraying process. *Precision Agriculture*, 20(6), 1136-1156.
- Carrillo, E., Matese, A., Rousseau, J., & Tisseyre, B. (2016). Use of multi-spectral airborne imagery to improve yield sampling in viticulture. *Precision Agriculture*, 17(1), 74-92.
- Castrignanò, A., Buttafuoco, G., Quarto, R., Vitti, C., Langella, G., Terribile, F., & Venezia, A. (2017). A combined approach of sensor data fusion and multivariate geostatistics for delineation of homogeneous zones in an agricultural field. *Sensors*, 17(12), 2794.
- Castrignanò, A., Giugliarini, L., Risaliti, R., & Martinelli, N. (2000). Study of spatial relationships among some soil physico-chemical properties of a field in central Italy using multivariate geostatistics. *Geoderma*, 97(1-2), 39-60.
- Chang, J., Clay, D. E., Dalsted, K., Clay, S., & O'Neill, M. (2003). Corn (*Zea mays* L.) yield prediction using multispectral and multirate reflectance. *Agronomy journal*, 95(6), 1447-1453.
- Chartuni, E., de Assis de Carvalho, F., Marcal, D., & Ruz, E. (2007). Precision agriculture: New tools to improve technology management in agricultural enterprises. In *Communica*, , 1st ed. , 2nd stage ; January–April , 2007 , 24 – 31
- Chatzinikos, A., Gemtos, T. A., & Fountas, S. (2013). The use of a laser scanner for measuring crop properties in three different crops in Central Greece. In J.V. Stafford (Ed.), *Precision Agriculture '13: Proceedings of the 9th European Conference on Precision Agriculture* pp. 129–136. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers.
- Chaves, M. M., Zarrouk, O., Francisco, R., Costa, J. M., Santos, T., Regalado, A. P., Rodrigues, M. L., & Lopes, C. M. (2010). Grapevine under deficit irrigation: hints from physiological and molecular data. *Annals of Botany*, 105(5), 661-676.
- Cheng, G., He, Y. N., Yue, T. X., Wang, J., & Zhang, Z. W. (2014). Effects of climatic conditions and soil properties on Cabernet Sauvignon berry growth and anthocyanin profiles. *Molecules*, 19(9), 13683-13703.
- Cillis, D., Maestrini, B., Pezzuolo, A., Marinello, F., & Sartori, L. (2018). Modeling soil organic carbon and carbon dioxide emissions in different tillage systems supported by precision agriculture technologies under current climatic conditions. *Soil and Tillage Research*, 183, 51-59.

- Conde, C., Silva, P., Fontes, N., Dias, A. C. P., Tavares, R. M., Sousa, M. J., Agasse, ., Delrot, S., & Gerós, H. (2007). Biochemical changes throughout grape berry development and fruit and wine quality. *Food*, 1, 1–22.
- Cook, S. E., & Bramley, R. G. V. (1998). Precision agriculture—opportunities, benefits and pitfalls of site-specific crop management in Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 38(7), 753-763.
- Corassa, G. M., Amado, T. J., Strieder, M. L., Schwalbert, R., Pires, J. L., Carter, P. R., & Ciampitti, I. A. (2018). Optimum soybean seeding rates by yield environment in southern Brazil. *Agronomy Journal*, 110(6), 2430-2438.
- Creasy, G. L., and Creasy, L.L., 2018. Grapes. CABI.
- Crespo-Martínez, S., Sobczak, M., Róžańska, E., Forneck, A., & Griesser, M. (2019). The role of the secondary phloem during the development of the grapevine Berry Shriveling ripening disorder. *Micron*, 116, 36-45.
- Cui, B., Zhao, Q., Huang, W., Song, X., Ye, H., & Zhou, X. (2019). A new integrated vegetation index for the estimation of winter wheat leaf chlorophyll content. *Remote Sensing*, 11(8), 974.
- Dammer, K. H. (2016). Real-time variable-rate herbicide application for weed control in carrots. *Weed Research*, 56(3), 237-246.
- De Baerdemaeker, J. (2013). Precision agriculture technology and robotics for good agricultural practices. *IFAC Proceedings Volumes*, 46(4), 1-4.
- de Cortázar-Atauri, I. G., Brisson, N., & Gaudillere, J. P. (2009). Performance of several models for predicting budburst date of grapevine (*Vitis vinifera* L.). *International Journal of Biometeorology*, 53(4), 317-326.
- Decker, M. (2008). Agriculture and agricultural technology. In Jeffreys, E., Haldon, J., & Cormack, R. (eds): *The Oxford Handbook of Byzantine Studies*. Oxford University Press.
- Delegido, J., Verrelst, J., Meza, C. M., Rivera, J. P., Alonso, L., & Moreno, J. (2013). A red-edge spectral index for remote sensing estimation of green LAI over agroecosystems. *European Journal of Agronomy*, 46, 42-52.
- Demographia. 2020. *Demographia World Urban Areas, 16th Annual Edition*. Retrieved 18 September 2020. <http://demographia.com/db-worldua.pdf>

- DFG (2014). Long-Term Perspectives and Infrastructure in Terrestrial Research in Germany – A Systemic Approach. Strategy Paper. German Research Foundation, Bonn, Germany
- Dhole, A., & Pitambara, M. (2019). Nanobiosensors: A Novel Approach in Precision Agriculture. In Panpatter, D.G., & Jhala, Y. (eds): *Nanotechnology for Agriculture*, pp. 241-262. Springer, Singapore.
- Dicks, L. V., Rose, D. C., Ang, F., Aston, S., Birch, A. N. E., Boatman, N., Bowles, E.L., Chadwick, D., Dinsdale, A., Durham, S., Elliott, J., Firbank, L., Humphreys, S., Jarvis, P., Jones, D., Kindred, D., Knight, S.M., Lee, M.R.F., Leifert, C., Lobley, M., Matthews, K., Midmer, A., Moore, M., Morris, C., Mortimer, S., Murray, C.T., Norman, K., Ramsden, S., Roberts, D., Smith, L.G., Soffe, R., Stoate, C., Taylor, B., Tinker, D., Topliff, M., Wallace, J., Williams, S., Wilson, P., Winter, M., and Sutherland, W.J. (2019). What agricultural practices are most likely to deliver “sustainable intensification” in the UK?. *Food and Energy Security*, 8(1), e00148.
- Ding, Y.J., Li, M.Z., Li, S.Q. & An, D.K. (2010). Predicting chlorophyll content of greenhouse tomato with ground-based remote sensing. In *Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Remote Sensing Technology, Techniques, and Applications III*; International Society for Optics and Photonics: Bellingham, WA, USA, 2010; Volume 7857, p. 785715.
- Doerge, T.A. (2000). Management zone concepts. *Site-specific Management Guidelines*, SSMG-2:4. Potash & Phosphate Institute, Norcross, GA.
- Dou, H., Zhang, C., Li, L., Hao, G., Ding, B., Gong, W., & Huang, P. (2018). Application of variable spray technology in agriculture. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 186(5), 012007.
- Dovie, D. B. K. (2019). Case for equity between Paris Climate agreement's Co-benefits and adaptation. *Science of the Total Environment*, 656, 732-739.
- Drappier, J., Thibon, C., Rabot, A., & Geny-Denis, L. (2019). Relationship between wine composition and temperature: Impact on Bordeaux wine typicity in the context of global warming. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(1), 14-30.
- Duchêne, É., Dumas, V., Butterlin, G., Jaegli, N., Rustenholz, C., Chauveau, A., Bérard, A., Le Paslier, M. C., Gaillard I., & Merdinoglu, D. (2020). Genetic variations of acidity in grape berries are controlled by the interplay between organic acids and potassium. *Theoretical and Applied Genetics*, 133(3), 993-1008.

- Dunn, G. M., & Martin, S. R. (2000). Do temperature conditions at budburst affect flower number in *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon?. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 6(2), 116-124.
- Echeverría, G., Ferrer, M., & Mirás-Avalos, J. (2017). Effects of soil type on vineyard performance and berry composition in the Río de la Plata coast (Uruguay). *Oeno One*, 51(3), 251-261.
- Eltom, M. A. M. (2013). Influence of temperature and carbohydrate availability on the bunch architecture of *Vitis vinifera* L. sauvignon blanc (Doctoral dissertation, Lincoln University).
- Erdle, K., Mistele, B., & Schmidhalter, U. (2011). Comparison of active and passive spectral sensors in discriminating biomass parameters and nitrogen status in wheat cultivars. *Field Crops Research*, 124(1), 74-84.
- Er-Raki, S., Rodriguez, J. C., Garatuza-Payan, J., Watts, C. J., & Chehbouni, A. (2013). Determination of crop evapotranspiration of table grapes in a semi-arid region of Northwest Mexico using multi-spectral vegetation index. *Agricultural Water Management*, 122, 12-19.
- Escalona, J. M., Flexas, J., Bota, J., & Medrano, H. (2003). Distribution of leaf photosynthesis and transpiration within grapevine canopies under different drought conditions. *Vitis*, 42(2), 57-64.
- Esgici, R., Özdemir, G., Pekitkan, G., Eliçin, K., Öztürk, F., & Sessiz, A. (2017). Engineering properties of the Şire grape (*Vitis vinifera* L. cv.). *Scientific Papers-Series B, Horticulture*, 61, 195-203.
- Evangelou, E., Stamatiadis, S., Schepers, J. S., Glampedakis, A., Glampedakis, M., Dercas, N., Tsadilas, C., & Nikoli, T. (2020). Evaluation of sensor-based field-scale spatial application of granular N to maize. *Precision Agriculture*, 1-19.
- Falagas, A., & Karantzalos, K. (2019). A cotton yield estimation model based on agrometeorological and high resolution remote sensing data. In J.V. Stafford (Ed.), *Precision Agriculture '19: Proceedings of the 12th European Conference on Precision Agriculture*, pp. 469 - 475. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers.
- Feng, Y. Z., & Sun, D. W. (2012). Application of hyperspectral imaging in food safety inspection and control: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52(11), 1039-1058.
- Féret, J. B., Gitelson, A. A., Noble, S. D., & Jacquemoud, S. (2017). PROSPECT-D: Towards modeling leaf optical properties through a complete lifecycle. *Remote Sensing of Environment*, 193, 204-215.

- Fernandes, J. C., Cobb, F., Tracana, S., Costa, G. J., Valente, I., Goulao, L. F., & Amâncio, S. (2015). Relating water deficiency to berry texture, skin cell wall composition, and expression of remodeling genes in two *Vitis vinifera* L. varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(15), 3951-3961.
- Fernandes-Silva, A., Oliveira, M., Paço, T. A., & Ferreira, I. (2018). Deficit irrigation in Mediterranean fruit trees and grapevines: Water stress indicators and crop responses. *Irrigation in Agroecosystems*. IntechOpen. London, United Kingdom.
- Filella, I., & Penuelas, J. (1994). The red edge position and shape as indicators of plant chlorophyll content, biomass and hydric status. *International Journal of Remote Sensing*, 15(7), 1459-1470.
- Forouzanmehr, E., & Loghavi, M. (2012). Design, development and field evaluation of a map-based variable rate granular fertilizer application control system. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 14(4), 255-261.
- Fountas, S., Aggelopoulou, K., Bouloulis, C., Nanos, G. D., Wulfsohn, D., Gemtos, T. A., Paraskevopoulos, A., & Galanis, M. (2011). Site-specific management in an olive tree plantation. *Precision Agriculture*, 12(2), 179-195.
- Fountas, S., Anastasiou, E., Balafoutis, A., Koundouras, S., Theoharis, S., & Theodorou, N. (2014). The influence of vine variety and vineyard management on the effectiveness of canopy sensors to predict winegrape yield and quality. In *Proceedings of the International Conference of Agricultural Engineering*, Zurich, Switzerland, 6–10 July 2014; p. 8.
- Fountas, S., Anastasiou, E., Xanthopoulos, G., Lambrinos, G., Manolopoulou, E., Apostolidou, S., Lentzou, D., Tsiropoulos, Z., & Balafoutis, A. (2015). Precision agriculture in watermelons. In J.V. Stafford (Ed.), *Precision Agriculture '15: Proceedings of the 10th European Conference on Precision Agriculture*, pp. 399 - 403. Wageningen Academic Publishers.
- Fountas, S., Paraforos, D., Cavalaris, C., Karamoutis, C., Gemtos, T. A., Abu-Khalaf, N., & Tagarakis, A. (2013). A five-point penetrometer with GPS for measuring soil compaction variability. *Computers and Electronics in Agriculture*, 96, 109–116.
- Fox, J.W., Khali-lian, A., Han, Y.J., Williams, P.B., Nafchi, A.M., Maja, J.M., Marshall, M.W. & Barnes, E.M. (2018). Real-Time, Variable-Depth Tillage for Managing Soil Compaction in Cotton Production. *Open Journal of Soil Science*, 8, 147-161.

- Fredes, C., Moreno, Y., Farias, S. O. O., & Von Bennewitz, E. (2010). Vine balance: a study case in Carménère grapevines. *Ciencia e investigación agraria: revista latinoamericana de ciencias de la agricultura*, 37(1), 143-150.
- Fuentes, S., Poblete-Echeverría, C., Ortega-Farias, S., Tyerman, S., & De Bei, R. (2014). Automated estimation of leaf area index from grapevine canopies using cover photography, video and computational analysis methods. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 20(3), 465-473.
- Gandhi, N.M.D., Selladurai, V., & Santhi, P. (2006). Unsustainable development to sustainable development: a conceptual model. *International Journal of Management of Environment Quality*, 17(6), 654-672.
- Gao, D., Sun, Q., Hu, B., & Zhang, S. (2020). A framework for agricultural pest and disease monitoring based on internet-of-things and unmanned aerial vehicles. *Sensors*, 20(5), 1487.
- García-Estévez, I., Quijada-Morín, N., Rivas-Gonzalo, J. C., Martínez-Fernández, J., Sánchez, N., Herrero-Jiménez, C. M., & Escribano-Bailón, M. T. (2017). Relationship between hyperspectral indices, agronomic parameters and phenolic composition of *Vitis vinifera* cv Tempranillo grapes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(12), 4066-4074.
- Gatti, M., Schippa, M., Garavani, A., Squeri, C., Frioni, T., Dosso, P., & Poni, S. (2020). High potential of variable rate fertilization combined with a controlled released nitrogen form at affecting cv. Barbera vines behavior. *European Journal of Agronomy*, 112, 125949.
- Ge, Y., Thomasson, J. A., & Sui, R. (2006). Variability of in-season soil moisture content and post-harvest cotton fiber quality in irrigated and dry-land cotton fields. In Proceedings of Beltwide Cotton Conference, pp. 2134-2142. Memphis, Tennessee: National Cotton Council.
- Gebbers, R. (2014). Current crop and soil sensors for precision agriculture. In Congresso Brasileiro de Agricultura de precisao, Sao Pedro.
- Gebbers, R., & Adamchuk, V. I. (2010). Precision agriculture and food security. *Science*, 327(5967), 828-831.
- Gené-Mola, J., Gregorio, E., Cheein, F. A., Guevara, J., Llorens, J., Sanz-Cortiella, R., Escolà, A., & Rosell-Polo, J. R. (2020). Fruit detection, yield prediction and canopy geometric characterization using LiDAR with forced air flow. *Computers and Electronics in Agriculture*, 168, 105121.
- Gepts, P. (2002). A Comparison between Crop Domestication, Classical Plant Breeding, and Genetic Engineering. *Crop Science*, 42(6), 1780.

- Giacosa, S., Torchio, F., Segade, S. R., Giust, M., Tomasi, D., Gerbi, V., & Rolle, L. (2014). Selection of a mechanical property for flesh firmness of table grapes in accordance with an OIV ampelographic descriptor. *American Journal of Enology and Viticulture*, 65(2), 206-214.
- Gil, E., Escolà, A., Rosell, J. R., Planas, S., & Val, L. (2007). Variable rate application of plant protection products in vineyard using ultrasonic sensors. *Crop Protection*, 26(8), 1287-1297.
- Ginestar, C., Eastham, J., Gray, S., & Iland, P. (1998). Use of sap-flow sensors to schedule vineyard irrigation. II. Effects of post-veraison water deficits on composition of Shiraz grapes. *American Journal of Enology and Viticulture*, 49(4), 421-428.
- Gitelson, A. A. (2018). Recent Developments in Remote Estimation of Crop Biophysical and Biochemical Properties at Various Scales. In Thenkbail, P.S., Lyon, J.G., & Huete, A. (Eds) *Biophysical and Biochemical Characterization and Plant Species Studies*, pp. 3-24. CRC Press.
- Gitelson, A. A., & Merzlyak, M. N. (1996). Signature analysis of leaf reflectance spectra: algorithm development for remote sensing of chlorophyll. *Journal of Plant Physiology*, 148(3-4), 494-500.
- Glenn, E. P., Huete, A. R., Nagler, P. L., & Nelson, S. G. (2008). Relationship between remotely-sensed vegetation indices, canopy attributes and plant physiological processes: What vegetation indices can and cannot tell us about the landscape. *Sensors*, 8(4), 2136-2160.
- Gorucu, S., Khalilian, A., Han, Y. J., Dodd, R. B., Wolak, F. J., & Keskin, M. (2001). Variable depth tillage based on geo-referenced soil compaction data in coastal plain region of South Carolina. *ASAE*, 1, 1-11.
- Grisso, R. D., Alley, M. M., Thomason, W. E., Holshouser, D. L., & Roberson, G. T. (2011). *Precision Farming Tools: Variable-Rate Application*. Virginia Cooperative Extension: Blacksburg, VA, USA.
- Gupta, S., Kumar, M., & Priyadarshini, R. (2019). Electrical Conductivity Sensing for Precision Agriculture: A Review. In *Harmony Search and Nature Inspired Optimization Algorithms*, pp. 647-659. Springer, Singapore.
- Gutiérrez, F., Htun, N. N., Schlenz, F., Kasimati, A., & Verbert, K. (2019). A review of visualisations in agricultural decision support systems: An HCI perspective. *Computers and Electronics in Agriculture*, 163, 104844.
- Haapala, K. J., & Haapala, K. A. (2004). Wine 202: Adding a Bit of Scientific Rigor To the Art of Understanding and Appreciating Fine Wines. *Journal of the Washington Academy of Sciences*, 1-20.

- Hailemichael, G., Catalina, A., González, M. R., & Martin, P. (2016). Relationships between water status, leaf chlorophyll content and photosynthetic performance in Tempranillo vineyards. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 37(2), 149-156.
- Hajjaj, S. S. H., & Sahari, K. S. M. (2014). Review of research in the area of agriculture mobile robots. In *The 8th International Conference on Robotic, Vision, Signal Processing & Power Applications* (pp. 107-117). Springer, Singapore.
- Hall, A., & Wilson, M. A. (2013). Object-based analysis of grapevine canopy relationships with winegrape composition and yield in two contrasting vineyards using multitemporal high spatial resolution optical remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 34(5), 1772-1797.
- Hannah Ritchie and Max Roser (2019) - "Urbanization". Published online at OurWorldInData.org. Retrieved from: '<https://ourworldindata.org/urbanization>' [Online Resource]
- Hazaymeh, K., & Hassan, Q. K. (2016). Remote sensing of agricultural drought monitoring: A state of art review. *Aims Environmental Science*, 3(4), 604.
- Himelrick, D. G. (1991). Growth and nutritional responses of nine grape cultivars to low soil pH. *HortScience*, 26(3), 269-271.
- Hoornweg, D., and Pope, K. (2017). Population predictions for the world's largest cities in the 21st century. *Environment and Urbanization*, 29(1), 195-216.
- Hörbe, T. D. A., Amado, T. J. C., Ferreira, A. D. O., & Alba, P. J. (2013). Optimization of corn plant population according to management zones in Southern Brazil. *Precision Agriculture*, 14(4), 450-465.
- Houlong, J., Daibin, W., Chen, X., Shuduan, L., Hongfeng, W., Chao, Y., Najia, L., Yiyin, C., & Lina, G. (2016). Comparison of kriging interpolation precision between grid sampling scheme and simple random sampling scheme for precision agriculture. *Eurasian Journal of Soil Science*, 5(1), 62-73.
- Hu, J., Gao, L., Bai, X., Li, T., & Liu, X. (2015). Review of research on automatic guidance of agricultural vehicles. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 31(10), 1-10.
- Huang, W., Zhou, X., Kong, W., & Ye, H. (2018). Monitoring Crop Carotenoids Concentration by Remote Sensing. In Zepka, L.Q., Jacob-Lopes, E., & De Rosso, V.V. (Eds.): *Progress in Carotenoid Research*, 197. IntechOpen

- Huete, A. R., Liu, H. Q., Batchily, K. V., & Van Leeuwen, W. J. D. A. (1997). A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 59(3), 440-451.
- Iglesias, A., Quiroga, S., Moneo, M., and Garrote, L. (2011). From climate change impacts to the development of adaptation strategies: Challenges for agriculture in Europe. *Climatic Change*, 112(1), 143-168.
- Inman, D., Khosla, R., Reich, R., & Westfall, D. G. (2008). Normalized difference vegetation index and soil color-based management zones in irrigated maize. *Agronomy Journal*, 100(1), 60-66.
- Intrigliolo, D. S., & Castel, J. R. (2010). Response of grapevine cv. 'Tempranillo' to timing and amount of irrigation: water relations, vine growth, yield and berry and wine composition. *Irrigation Science*, 28(2), 113.
- Irimia, L. M., Patriche, C. V., Bucur, G. M., Quenol, H., & Cotea, V. V. (2015). Spatial Distribution of Grapes Sugar Content and its Correlations with Climate Characteristics and Climate Suitability in the Huși (Romania) Wine Growing Region. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 43(1), 250-258.
- Jeschke, M., Carter, P., Bax, P., & Schon, R. (2015). Putting variable-rate seeding to work on your farm. *Crop Insights*, 25, 1-4.
- Junges, A. H., Fontana, D. C., Anzanello¹, R., & Bremm, C. (2017). Normalized difference vegetation index obtained by ground-based remote sensing to characterize vine cycle in Rio Grande do Sul, Brazil. *Ciência e Agrotecnologia*, 41(5), 543-553.
- Kabir, M. S. N., Song, M. Z., Sung, N. S., Chung, S. O., Kim, Y. J., Noguchi, N., & Hong, S. J. (2016). Performance comparison of single and multi-GNSS receivers under agricultural fields in Korea. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 9(1), 27-35.
- Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2018). Deep learning in agriculture: A survey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 147, 70-90.
- Kamilaris, A., Kartakoullis, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2017). A review on the practice of big data analysis in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 143, 23-37.
- Kandylakis, Z., Falagas, A., Karakizi, C., & Karantzalos, K. (2020). Water Stress Estimation in Vineyards from Aerial SWIR and Multispectral UAV Data. *Remote Sensing*, 12(15), 2499.

- Karakizi, C., Oikonomou, M., & Karantzalos, K. (2016). Vineyard detection and vine variety discrimination from very high resolution satellite data. *Remote Sensing*, 8(3), 235.
- Karasekreter, N., Başçiftçi, F., & Fidan, U. (2013). A new suggestion for an irrigation schedule with an artificial neural network. *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*, 25(1), 93-104.
- Karthikeyan, L., Chawla, I., & Mishra, A. K. (2020). A Review of Remote Sensing Applications in Agriculture for Food Security: Crop Growth and Yield, Irrigation, and Crop Losses. *Journal of Hydrology*, 124905.
- Karydas, C., Iatrou, M., Kouretas, D., Patouna, A., Iatrou, G., Lazos, N., Gewehr, S., Tseni, X., Tekos, F., Zartaloudis, Z., Mainos, E., & Mourelatos, S. (2020). Prediction of Antioxidant Activity of Cherry Fruits from UAS Multispectral Imagery Using Machine Learning. *Antioxidants*, 9, 156.
- Kazmierski, M., Glémas, P., Rousseau, J., & Tisseyre, B. (2011). Temporal stability of within-field patterns of NDVI in non irrigated Mediterranean vineyards. *Oeno One*, 45(2), 61-73.
- Keller, M. (2010). Managing grapevines to optimise fruit development in a challenging environment: a climate change primer for viticulturists. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 16, 56-69.
- Kering, Maru & Kaps, Martin. (2004). Soil pH Affects Growth and Nutrient Content of Grapes. *HortScience*, 39, 827B-827.
- Khalid, S., Azad, S., Naz, A., Rahman, Z., and Iqbal, A. (2017). Climate Change: A Review of the Current Trends and Major Environmental Effects. *Science, Technology and Development*, 36(3), 160-176.
- Khayatnezhad, M., & Gholamin, R. (2012). The effect of drought stress on leaf chlorophyll content and stress resistance in maize cultivars (*Zea mays*). *African Journal of Microbiology Research*, 6(12), 2844-2848.
- Kitchen, N. R., Sudduth, K. A., Myers, D. B., Drummond, S. T., & Hong, S. Y. (2005). Delineating productivity zones on claypan soil fields using apparent soil electrical conductivity. *Computers and Electronics in Agriculture*, 46(1-3), 285-308.
- Kizer, E., Ko-Madden, C., Dreschsler, K., Meyers, J., Jiang, C., de S. Santos, R., & Upadhyaya S.K. (2018). A precision irrigation scheme to manage plant water status using leaf monitors in almonds. *Amazonian Journal of Plant Research*, 2(1), 113-116.

- Koenig, K., Höfle, B., Hämmerle, M., Jarmer, T., Siegmann, B., & Lilienthal, H. (2015). Comparative classification analysis of post-harvest growth detection from terrestrial LiDAR point clouds in precision agriculture. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 104, 112-125.
- Kong, Q., An, P., Xu, Z., Zhang, R., Qi, J., & Ren, X. (2020). New insights into the alleviating role of *Melaleuca alternifolia* oil on metabolites pathway disorder of grapes caused by *Aspergillus niger*, verified by corresponding key genes expression. *Food Chemistry*, 127083.
- Kountios, G., Bournaris, T., Papadavid, G., Michailidis, A., & Klavdianou, A. P. (2018). Exploring educational needs of young farmers in precision agriculture in Serres, Greece, and the perspective of innovative agricultural educational programs. *Journal for International Business and Entrepreneurship Development*, 11(1), 4.
- Koutridi, E., Christopoulou, O., & Duquenne, M. N. (2018). Perceptions and Attitudes of Greek Farmers Towards Adopting Precision Agriculture: Case Study Region of Central Greece. In Berbel, J., Bournaris, T., Manos, B., Matsatsinis, N., & Viaggi, D. (Eds.): *Multicriteria Analysis in Agriculture*, pp. 223-266. Springer, Cham.
- Krasnow, M., Matthews, M., Smith, R., Benz, J., Weber, E., & Shackel, K. (2010). Distinctive symptoms differentiate four common types of berry shrivel disorder in grape. *California Agriculture*, 64(3), 155-159.
- Kukar, M., Vračar, P., Košir, D., Pevec, D., & Bosnić, Z. (2019). AgroDSS: A decision support system for agriculture and farming. *Computers and Electronics in Agriculture*, 161, 260-271.
- Kumar, V. (2014). Economic benefits and ecological cost of Green Revolution: A case study of Haryana, India. *International Journal of Enhanced Research in Educational Development*, 2(6), 21-31.
- Kuska, M. T., Behmann, J., & Mahlein, A. K. (2018). Potential of hyperspectral imaging to detect and identify the impact of chemical warfare compounds on plant tissue. *Pure and Applied Chemistry*, 90(10), 1615-1624.
- Lal, R., Reicosky, D. C., and Hanson, J. D. (2007). Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming. *Soil and Tillage Research*, 93(1), 1–12.
- Lamb, D. W., & Brown, R. B. (2001). Pa—precision agriculture: Remote-sensing and mapping of weeds in crops. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 78(2), 117-125.

- Lamb, D. W., Weedon, M. M., & Bramley, R. G. V. (2004). Using remote sensing to predict grape phenolics and colour at harvest in a Cabernet Sauvignon vineyard: Timing observations against vine phenology and optimising image resolution. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 10(1), 46-54.
- Lamb, D., Hall, A., & Louis, J. (2001). Airborne remote sensing of vines for canopy variability and productivity. *Australian Grapegrower and Winemaker*, 449a, 89-94.
- Liaghat, S., & Balasundram, S. K. (2010). A review: The role of remote sensing in precision agriculture. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 5(1), 50-55.
- Liakos, K. G., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S., & Bochtis, D. (2018). Machine learning in agriculture: A review. *Sensors*, 18(8), 2674.
- Liakos, V., Smith, E., Fountas, S., Nanos, G., Kalfountzos, D., & Gemtos, T. (2020). On-Farm Evaluation of Variable Rate Fertilizer Applications Using Yield-Based Mathematical Formulae in a Greek Apple Orchard. *International Journal of Fruit Science*, 1-18.
- Liakos, V., Tagarakis, A., Aggelopoulou, K., Fountas, S., Nanos, G. D., & Gemtos, T. (2017). In-season prediction of yield variability in an apple orchard. *European Journal of Horticultural Science*, 82, 251-259.
- Liakos, V., Tagarakis, A., Fountas, S., Nanos, G. D., Tsiropoulos, Z., & Gemtos, T. (2015). Use of NDVI to predict yield variability in a commercial apple orchard. In J.V. Stafford (Ed.): *Precision Agriculture'15: Proceedings of the 10th European Conference on Precision Agriculture*, pp. 188-197. Wageningen Academic Publishers.
- Liao, K. H., Zhu, Q., & Doolittle, J. (2014). Temporal stability of apparent soil electrical conductivity measured by electromagnetic induction techniques. *Journal of Mountain Science*, 11(1), 98-109.
- Lindblom, J., Lundström, C., Ljung, M., & Jonsson, A. (2017). Promoting sustainable intensification in precision agriculture: review of decision support systems development and strategies. *Precision Agriculture*, 18(3), 309-331.
- Lipper, L., Thornton, P., Campbell, B. M., Baedeker, T., Braimoh, A., Bwalya, M., Caron, P., Cattaneo, A., Garrity, D., Henry, K., Hottle, R., Jackson, L., Jarvis, A., Kossam, F., Mann, W., McCarthy, N., Meybeck, A., Neufeldt, H., Remington, T., Sen, P.T., Sessa, R., Shula, R., Tibu, A., and Torquebiau, E. F. (2014). Climate-smart agriculture for food security. *Nature Climate Change*, 4(12), 1068–1072.

- Llorens, J., Gil, E., & Llop, J. (2011). Ultrasonic and LIDAR sensors for electronic canopy characterization in vineyards: Advances to improve pesticide application methods. *Sensors*, 11(2), 2177-2194.
- Llorens, J., Gil, E., Llop, J., & Escolà, A. (2010). Variable rate dosing in precision viticulture: Use of electronic devices to improve application efficiency. *Crop Protection*, 29(3), 239-248.
- Lloret, J., Bosch, I., Sendra, S., & Serrano, A. (2011). A wireless sensor network for vineyard monitoring that uses image processing. *Sensors*, 11(6), 6165-6196.
- Lo'ay, A. A. (2017). Preharvest salicylic acid and delay ripening of 'superior seedless' grapes. *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(3), 227-230.
- Lorenz, D. H., Eichhorn, K. W., Bleiholder, H., Klose, R., Meier, U., & Weber, E. (1995). Growth Stages of the Grapevine: Phenological growth stages of the grapevine (*Vitis vinifera* L. ssp. *vinifera*)—Codes and descriptions according to the extended BBCH scale. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 1(2), 100-103.
- Lowenberg-DeBoer, J. and Swinton, S. (1997). Economics of site-specific management in agronomic crops. In Pierce, F., & Sadler, R. (Eds): *The State of Site-Specific Management for Agriculture*, pp. 369 – 396. ASA-CSSA-SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
- Lück, E., Gebbers, R., Ruehlmann, J., & Spangenberg, U. (2009). Electrical conductivity mapping for precision farming. *Near Surface Geophysics*, 7(1), 15-26.
- Manolopoulou, H., Xanthopoulos, G., Douros, N., & Lambrinos, G., 2010. Modified atmosphere packaging storage of green bell peppers: Quality criteria. *Biosystems Engineering*, 106(4), 535-543.
- Manos, B. D., Ciani, A., Bourmaris, T., Vassiliadou, I., & Papathanasiou, J. (2004). A taxonomy survey of decision support systems in agriculture. *Agricultural Economics Review*, 5(389-2016-23416), 80-94.
- Marciniak, M., Brown, R., Reynolds, A. G., & Jollineau, M. (2015). Use of remote sensing to understand the terroir of the Niagara Peninsula. Applications in a Riesling vineyard. *OENO One*, 49(1), 1-26.
- Martelloni, L., Raffaelli, M., Frasconi, C., Fontanelli, M., Peruzzi, A., & D'Onofrio, C. (2019). Using Flaming as an Alternative Method to Vine Suckering. *Agronomy*, 9(3), 147.

- Martínez Casasnovas, J. A., Agelet Fernández, J., Arnó Satorra, J., & Ramos Martín, M. C. (2012). Analysis of vineyard differential management zones and relation to vine development, grape maturity and quality. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 10(2), 326-337.
- Martini, E., Werban, U., Zacharias, S., Pohle, M., Dietrich, P., & Wollschläger, U. (2017). Repeated electromagnetic induction measurements for mapping soil moisture at the field scale: Validation with data from a wireless soil moisture monitoring network. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(1), 495.
- Mastrodimos, N., Lentzou, D., Templalexis, C., Tsitsigiannis, D. I., & Xanthopoulos, G. (2019). Development of thermography methodology for early diagnosis of fungal infection in table grapes: The case of *Aspergillus carbonarius*. *Computers and Electronics in Agriculture*, 165, 104972.
- Mavridis, S. (2018). Greece's Economic and Social Transformation 2008–2017. *Social Sciences*, 7(1), 9.
- Mawle, A. (2010). Climate change, human health, and unsustainable development. *Journal of Public Health Policy*, 31(2), 272-277.
- McDowell, R. W. (2017). Does variable rate irrigation decrease nutrient leaching losses from grazed dairy farming?. *Soil Use and Management*, 33(4), 530-537.
- McQueen, R. J., Garner, S. R., Nevill-Manning, C. G., & Witten, I. H. (1995). Applying machine learning to agricultural data. *Computers and Electronics in Agriculture*, 12(4), 275–293.
- Meggio, F., Zarco-Tejada, P. J., Núñez, L. C., Sepulcre-Cantó, G., González, M. R., & Martín, P. (2010). Grape quality assessment in vineyards affected by iron deficiency chlorosis using narrow-band physiological remote sensing indices. *Remote Sensing of Environment*, 114(9), 1968-1986.
- Mehta, N., Shaik, S., Devireddy, R., & Gartia, M. R. (2018). Single-cell analysis using hyperspectral imaging modalities. *Journal of Biomechanical Engineering*, 140(2), 20802.
- Meshram, S. C., Gawande, A. D., & Ingole, K. R. (2017). Providing revolution with Decision Support System in Field of Agriculture. *International Journal of Advance Research in Computer Science and Management Studies*, 5(5), 50-55.
- Meyers, J. M., Dokoozlian, N., Ryan, C., Bioni, C., & Vanden Heuvel, J. E. (2020). A New, Satellite NDVI-Based Sampling Protocol for Grape Maturation Monitoring. *Remote Sensing*, 12(7), 1159.

- Milonas, P., Gogou, C., Papadopoulou, A., Fountas, S., Liakos, V., & Papadopoulos, N. T. (2016). Spatio-Temporal Distribution of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) and *Pectinophora gossypiella* (Saunders)(Lepidoptera: Gelechiidae) in a Cotton Production Area. *Neotropical Entomology*, 45(3), 240-251.
- Mirasi, A., Mahmoudi, A., Navid, H., Valizadeh Kamran, K., & Asoodar, M. A. (2019). Evaluation of sum-NDVI values to estimate wheat grain yields using multi-temporal Landsat OLI data. *Geocarto International*, 1-16.
- Mogili, U. R., & Deepak, B. B. V. L. (2018). Review on application of drone systems in precision agriculture. *Procedia computer science*, 133, 502-509.
- Mohan, A., & Venkatesan, M. (2020). Spatial data-based prediction models for crop yield analysis: A systematic review. In Krishna, P.V., & Obaidat, M.S. (Eds.): *Emerging Research in Data Engineering Systems and Computer Communications*, pp. 341-352. Springer, Singapore.
- Molitor, D., Junk, J., Evers, D., Hoffmann, L., & Beyer, M. (2014). A high-resolution cumulative degree day-based model to simulate phenological development of grapevine. *American Journal of Enology and Viticulture*, 65(1), 72-80.
- Mondal, P., & Tewari, V. K. (2007). Present status of precision farming: A review. *International Journal of Agricultural Research*, 2(1), 1-10.
- Mosetti, D., Herrera, J. C., Sabbatini, P., Green, A., Alberti, G., Peterlunger, E., Lisjak, K., & Castellarin, S. D. (2016). Impact of leaf removal after berry set on fruit composition and bunch rot in 'Sauvignon blanc'. *Vitis*, 55(2), 57-64.
- Moysiadis, V., Katikaridis, D., Vasileiadis, G., Kalaitzidis, D., Papazisis, P., Tagarakis, A. C., & Bochtis, D. (2019). Combined UGV and UAV Perception of Field Areas As Operational Environments. In Proceeding of XXXVIII CIOSTA & CIGR V International Conference, pp. 41-46. June 24-26 2019, Rhodes Island, Greece
- Mulla, D. J. (2013). Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems Engineering*, 114(4), 358-371.
- Mulla, D., & Khosla, R. (2016). Historical evolution and recent advances in precision farming. Soil specific farming. CRS Press, Boca Raton, FL.

- Muñoz-Robredo, P., Robledo, P., Manríquez, D., Molina, R., & Defilippi, B. G. (2011). Characterization of sugars and organic acids in commercial varieties of table grapes. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 71(3), 452.
- Murray, J., Fennell, J. T., Blackburn, G. A., Whyatt, J. D., & Li, B. (2019). The novel use of proximal photogrammetry and terrestrial LiDAR to quantify the structural complexity of orchard trees. *Precision Agriculture*, 21, 473-483.
- Nadav, I., & Schweitzer, A. (2017). VRDI-Variable Rate Drip Irrigation in Vineyards. *Advances in Animal Biosciences*, 8(2), 569.
- Natu, A. S., & Kulkarni, S. C. (2016). Adoption and utilization of drones for advanced precision farming: A review. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, 4(5), 563-565.
- Navarro-Hellín, H., Martínez-del-Rincon, J., Domingo-Miguel, R., Soto-Valles, F., & Torres-Sánchez, R. (2016). A decision support system for managing irrigation in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 124, 121-131.
- Nawar, S., Corstanje, R., Halcro, G., Mulla, D., & Mouazen, A. M. (2017). Delineation of soil management zones for variable-rate fertilization: A review. *Advances in Agronomy*, 143, 175-245.
- Nazarov, D., Shvedov, V., & Lyashenko, E. (2019). The Implementation and Effectiveness of geographic information systems and Location Intelligence technology in digital agriculture. *Advances Intelligent Systems Research*, 167, 443-446.
- Nesbitt, A., Dorling, S., & Lovett, A. (2018). A suitability model for viticulture in England and Wales: opportunities for investment, sector growth and increased climate resilience. *Journal of Land Use Science*, 13(4), 414-438.
- Nhemachena, C., Matchaya, G., Nhemachena, C., Karuaihe, S., Muchara, B., and Nhlengethwa, S. (2018). Measuring baseline agriculture-related sustainable development goals index for Southern Africa. *Sustainability*, 10(3), 849.
- Noack, P. O. (2011). Location based automation and information management in agriculture—review and outlook. *Agricultural Engineering Today*, 35(1), 10-15.
- Oliver, M. A. (Ed.). (2010). *Geostatistical applications for precision agriculture*. Springer Science & Business Media.

- Or, D., & Hanks, R. J. (1992). Soil water and crop yield spatial variability induced by irrigation nonuniformity. *Soil Science Society of America Journal*, 56(1), 226-233.
- Pagay, V., & Collins, C. (2017). Effects of timing and intensity of elevated temperatures on reproductive development of field-grown Shiraz grapevines. *Oeno One*, 51(4).
- Pajares, G., Peruzzi, A., & Gonzalez-de-Santos, P. (2013). Sensors in Agriculture and Forestry. *Sensors*, 13(9), 12132–12139.
- Pantazi, X. E., Tamouridou, A. A., Alexandridis, T. K., Lagopodi, A. L., Kashefi, J., & Moshou, D. (2017). Evaluation of hierarchical self-organising maps for weed mapping using UAS multispectral imagery. *Computers and Electronics in Agriculture*, 139, 224-230.
- Papadopoulos, A. V., Kati, V., Chachalis, D., Kotoulas, V., & Stamatiadis, S. (2018). Weed mapping in cotton using ground-based sensors and GIS. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(10), 622.
- Papadopoulos, A., Kalivas, D., & Theocharopoulos, S. (2017). Spatio-temporal monitoring of cotton cultivation using ground-based and airborne multispectral sensors in GIS environment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(7), 323.
- Papageorgiou, E. I., Markinos, A. T., & Gemtos, T. A. (2011). Fuzzy cognitive map based approach for predicting yield in cotton crop production as a basis for decision support system in precision agriculture application. *Applied Soft Computing*, 11(4), 3643-3657.
- Perez-Ruiz, M., & Upadhyaya, S.K. (2012) GNSS in precision agricultural operations. In: *New Approach of Indoor and Outdoor Localization Systems*, CH-1. In Tech Europe, Janeza Trdine 9, 51000 Rijeka, Croatia, p. 3e26.
- Peter, B. G., Messina, J. P., Carroll, J. W., Zhi, J., Chimonyo, V., Lin, S., & Snapp, S. S. (2020). Multi-Spatial Resolution Satellite and sUAS Imagery for Precision Agriculture on Smallholder Farms in Malawi. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 86(2), 107-119.
- Petmezas, S. D. (2006). Agriculture and economic growth in Greece. In *XIV International Economic History Congress*, Helsinki, Finland.
- Pierce, F. J., & Nowak, P. (1999). Aspects of precision agriculture. *Advances in Agronomy*, 67, 1-85.
- Pongnumkul, S., Chaovalit, P., & Surasvadi, N. (2015). Applications of smartphone-based sensors in agriculture: a systematic review of research. *Journal of Sensors*, 195308.

- Porro, D., Ramponi, M., Tomasi, T., Rolle, L., & Poni, S. (2010). Nutritional implications of water stress in grapevine and modifications of mechanical properties of berries. *Acta horticulturae*, 868(868), 73-80.
- Qiu, Z., Chen, G., & Qiu, D. (2019). Pruning and dormancy breaking make two sustainable grape-cropping productions in a protected environment possible without overlap in a single year. *PeerJ*, 7, e7412.
- Ray, P. P. (2017). Internet of things for smart agriculture: Technologies, practices and future direction. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, 9(4), 395-420.
- Reddy, N. V., Reddy, A. V. V., Pranavadithya, S., & Kumar, J. J. (2016). A critical review on agricultural robots. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 7(4), 183-188.
- Renouf, V., Trégoat, O., Roby, J. P., & Van Leeuwen, C. (2010). Soils, rootstocks and grapevine varieties in prestigious Bordeaux vineyards and their impact on yield and quality. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 44(3), 127-134.
- Reynolds, A. G., Wardle, D. A., Hall, J. W., & Dever, M. (1995). Fruit maturation of four *Vitis vinifera* cultivars in response to vineyard location and basal leaf removal. *American Journal of Enology and Viticulture*, 46(4), 542-558.
- Ricotta, C., Avena, G., & De Palma, A. (1999). Mapping and monitoring net primary productivity with AVHRR NDVI time-series: statistical equivalence of cumulative vegetation indices. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54(5-6), 325-331.
- Roberson, G. T. (2000). Precision agriculture technology for horticultural crop production. *HortTechnology*, 10(3), 448-451.
- Rodriguez, D., Fitzgerald, G. J., Belford, R., & Christensen, L. K. (2006). Detection of nitrogen deficiency in wheat from spectral reflectance indices and basic crop eco-physiological concepts. *Australian Journal of Agricultural Research*, 57(7), 781-789.
- Rogelj, J., Den Elzen, M., Höhne, N., Fransen, T., Fekete, H., Winkler, H., Schaeffer, R., Sha, F., Riahi, K., & Meinshausen, M. (2016). Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2 C. *Nature*, 534(7609), 631.
- Ruiz-Garcia, L., Lunadei, L., Barreiro, P., & Robla, I. (2009). A review of wireless sensor technologies and applications in agriculture and food industry: state of the art and current trends. *Sensors*, 9(6), 4728-4750.

- Sadler, E. J., Evans, R., Stone, K. C., & Camp, C. R. (2005). Opportunities for conservation with precision irrigation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 60(6), 371-378.
- Saiz-Rubio, V., & Rovira-Más, F. (2020). From Smart Farming towards Agriculture 5.0: A Review on Crop Data Management. *Agronomy*, 10(2), 207.
- Samuel, A. L. (1959). Some studies in machine learning using the game of checkers. *IBM Journal of Research and Development*, 3(3), 210-229.
- Sanchez, L. A., Sams, B., Alsina, M. M., Hinds, N., Klein, L. J., & Dokoozlian, N. (2017). Improving vineyard water use efficiency and yield with variable rate irrigation in California. *Advances in Animal Biosciences*, 8(2), 574-577.
- Seng, K. P., Ang, L. M., Schmidtke, L. M., & Rogiers, S. Y. (2018). Computer vision and machine learning for viticulture technology. *IEEE Access*, 6, 67494-67510.
- Shafi, U., Mumtaz, R., García-Nieto, J., Hassan, S. A., Zaidi, S. A. R., & Iqbal, N. (2019). Precision agriculture techniques and practices: From considerations to applications. *Sensors*, 19(17), 3796.
- Shamshiri, R. R., Hameed, I. A., Balasundram, S. K., Ahmad, D., Weltzien, C., & Yamin, M. (2018). Fundamental research on unmanned aerial vehicles to support precision agriculture in oil palm plantations. *Agricultural Robots-Fundamentals and Application*, 91-116.
- Shanmugapriya, P., Rathika, S., Ramesh, T., & Janaki, P. (2019). Applications of Remote Sensing in Agriculture—A Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8, 2270-2283.
- Shannon, D. K., Clay, D. E., & Sudduth, K. A., (2018). An Introduction to Precision Agriculture. In: Shannon DK, Clay DE & Kitchen NR (Eds.): *Precision Agriculture Basics*, pp. 1 – 12. ASA-CSSA-SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
- Sharma, Y. (2018). GIS Based Decision Support Systems In Agriculture. *International Journal of Advanced Multidisciplinary Scientific Research*, 1, 1-9.
- Sipiora, M. J., & Granda, M. J. G. (1998). Effects of pre-veraison irrigation cutoff and skin contact time on the composition, color, and phenolic content of young Cabernet Sauvignon wines in Spain. *American Journal of Enology and Viticulture*, 49(2), 152-162.
- Skakun, S., Roger, J. C., Vermote, E. F., Masek, J. G., & Justice, C. O. (2017). Automatic sub-pixel co-registration of Landsat-8 Operational Land Imager and Sentinel-2A Multi-Spectral Instrument

images using phase correlation and machine learning based mapping. *International Journal of Digital Earth*, 10(12), 1253-1269.

Sluys, S. L. (2006). Climatic influences on the grapevine: A study of viticulture in the Waipara Basin. University of Canterbury

Spekken, M., De Bruin, S., Molin, J. P., & Sparovek, G. (2016). Planning machine paths and row crop patterns on steep surfaces to minimize soil erosion. *Computers and Electronics in Agriculture*, 124, 194-210.

Srinivasan, A. (Ed.). (2006). *Handbook of precision agriculture: principles and applications*. CRC press.

Stafford-Smith, M., Griggs, D., Gaffney, O., Ullah, F., Reyers, B., Kanie, N., Stigson, B., Shrivastava, P., Leach, M., and O'Connell, D. (2017). Integration: the key to implementing the Sustainable Development Goals. *Sustainability Science*, 12(6), 911-919.

Stamatiadis, S., Evangelou, L., Blanta, A., Tsadilas, C., Tsitouras, A., Chroni, C., Christophides, C., Tsantila, E., Samaras, V., Dalezios, N., & Dimogiannis, D. (2013). Satellite Visible–Near Infrared Reflectance Correlates to Soil Nitrogen and Carbon Content in Three Fields of the Thessaly Plain (Greece). *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 44(1-4), 28-37.

Stamatiadis, S., Schepers, J. S., Evangelou, E., Tsadilas, C., Glampedakis, A., Glampedakis, M., Dercas, N., Spyropoulos, N., Dalezios, N.R., & Eskridge, K. (2017). Variable-rate nitrogen fertilization of winter wheat under high spatial resolution. *Precision Agriculture*, 19(3), 570-587.

Stamatiadis, S., Tsadilas, C., & Schepers, J. S. (2010). Ground-based canopy sensing for detecting effects of water stress in cotton. *Plant and Soil*, 331(1-2), 277-287.

Steven, M. D., & Clark, J. A. (Eds.). (2013). *Applications of remote sensing in agriculture*. Elsevier.

Stombaugh, T. S., & Shearer, S. (2000). Equipment technologies for precision agriculture. *Journal of Soil and Water Conservation*, 55(1), 6-11.

Strik BC 2011. Growing Table Grapes. State University, Extension Service, Corvallis.

Stumpf, A., Michéa, D., & Malet, J. P. (2018). Improved Co-Registration of Sentinel-2 and Landsat-8 Imagery for Earth Surface Motion Measurements. *Remote Sensing*, 10(2), 160.

- Sudduth, K. A., Drummond, S. T., & Kitchen, N. R. (2001). Accuracy issues in electromagnetic induction sensing of soil electrical conductivity for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 31(3), 239-264.
- Sun, L., Gao, F., Anderson, M. C., Kustas, W. P., Alsina, M. M., Sanchez, L., Sams, B., McKee, L., Dulaney, W., White, W. A., Alfieri, J. G., Prueger, J. H., Melton, F., & Post, K. (2017). Daily mapping of 30 m LAI and NDVI for grape yield prediction in California vineyards. *Remote Sensing*, 9(4), 317.
- Tagarakis, A. C., Koundouras, S., Fountas, S., & Gemtos, T. (2018). Evaluation of the use of LIDAR laser scanner to map pruning wood in vineyards and its potential for management zones delineation. *Precision Agriculture*, 19(2), 334-347.
- Tagarakis, A., Liakos, V., Fountas, S., Koundouras, S., & Gemtos, T. A. (2013). Management zones delineation using fuzzy clustering techniques in grapevines. *Precision Agriculture*, 14(1), 18-39.
- Talavera, J. M., Tobón, L. E., Gómez, J. A., Culman, M. A., Aranda, J. M., Parra, D. T., Quiroz, L. A., Hoyos, A. & Garreta, L. E. (2017). Review of IoT applications in agro-industrial and environmental fields. *Computers and Electronics in Agriculture*, 142, 283-297.
- Tan, L. (2016). Cloud-based decision support and automation for precision agriculture in orchards. *IFAC-PapersOnLine*, 49(16), 330-335.
- Tandon, H.L.S. (2004). *Fertilisers in Indian agriculture – from 20th to 21st century*. New Delhi, Fertiliser Development and Consultation Organisation.
- Tattaris, M., Reynolds, M. P., & Chapman, S. C. (2016). A direct comparison of remote sensing approaches for high-throughput phenotyping in plant breeding. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1131.
- Taylor, R., & Fulton, J. (2010). *Sensor-Based Variable Rate Application for Cotton*. Oklahoma Cooperative Extension Service. Oklahoma State University. Stillwater, Oklahoma.
- Thenkabail, P. S., Smith, R. B., & De Pauw, E. (2000). Hyperspectral vegetation indices and their relationships with agricultural crop characteristics. *Remote Sensing of Environment*, 71(2), 158-182.
- Thibodeau, P. (2016). Greek and Roman Agriculture. In Irby, G.L. (Ed.): *A Companion to Science, Technology, and Medicine in Ancient Greece and Rome*, pp. 517 – 532. Wiley Blackwell.
- Thrall, P. H., Oakeshott, J. G., Fitt, G., Southerton, S., Burdon, J. J., Sheppard, A., Russell, R.J., Zalucki, M., Heino, M., and Ford Denison, R. (2011). Evolution in agriculture: the application of

evolutionary approaches to the management of biotic interactions in agro-ecosystems. *Evolutionary Applications*, 4(2), 200-215.

Tisseyre, B., Mazzoni, C., & Fonta, H. (2008). Within-field temporal stability of some parameters in viticulture: Potential toward a site specific management. *OENO One*, 42(1), 27-39.

Tissot, C., Rouan, M., Le Roux, R., Neethling, E., de Resseguier, L., Petitjean, T., van Leewen, C., Quenol, H., Liviu, H., & Patriche, C. V. (2019). Simulating the Impact of Climate Change on Grapevine Behaviour and Viticultural Activities. In *Proceedings of the 21st GiESCO International Meeting: 'A Multidisciplinary Vision towards Sustainable Viticulture'*, pp. 61 – 64. June 23-28, Thessaloniki, Greece.

Tomislav, K. (2018). The Concept of Sustainable Development: From its Beginning to the Contemporary Issues. *Zagreb International Review of Economics & Business*, 21(1), 67-94.

Torrent, X., Gregorio, E., Rosell-Polo, J. R., Arnó, J., Peris, M., van de Zande, J. C., & Planas, S. (2020). Determination of spray drift and buffer zones in 3D crops using the ISO standard and new LiDAR methodologies. *Science of The Total Environment*, 714, 136666.

Travlos, I., Mikroulis, A., Anastasiou, E., Fountas, S., Bilalis, D., Tsiropoulos, Z., & Balafoutis, A. (2017). The use of RGB cameras in defining crop development in legumes. *Advances in Animal Biosciences*, 8(2), 224-228.

Tsouros, D. C., Bibi, S., & Sarigiannidis, P. G. (2019). A review on UAV-based applications for precision agriculture. *Information*, 10(11), 349.

Tuccio, L.; Cavigli, L.; Rossi, F.; Dichala, O.; Katsogiannos, F.; Kalfas, I.; Agati, G. Fluorescence-Sensor Mapping for the in Vineyard Non-Destructive Assessment of Crimson Seedless Table Grape Quality. *Sensors* 2020, 20, 983

Turvey, C. G., & Mclaurin, M. K. (2012). Applicability of the normalized difference vegetation index (NDVI) in index-based crop insurance design. *Weather, Climate, and Society*, 4(4), 271-284.

Tyagi, K., Maoz, I., Lewinsohn, E., Lerno, L., Ebeler, S. E., & Lichter, A. (2020). Girdling of table grapes at fruit set can divert the phenylpropanoid pathway towards accumulation of proanthocyanidins and change the volatile composition. *Plant Science*, 110495.

Van Beek, J., Tits, L., Somers, B., Deckers, T., Verjans, W., Bylemans, D., Janssens, P. & Coppin, P. (2015). Temporal dependency of yield and quality estimation through spectral vegetation indices in pear orchards. *Remote Sensing*, 7(8), 9886-9903.

- Van Leeuwen, C., & Destrac-Irvine, A. (2017). Modified grape composition under climate change conditions requires adaptations in the vineyard. *Oeno One*, 51(2), 147-154.
- Van Schalkwyk, D., Hunter, J.J., & Venter, J.J. (1995). Effect of Bunch Removal on Grape Composition and Wine Quality of *Vitis vinifera* L. cv. Chardonnay. *South African Journal for Enology and Viticulture*, 16(2), 15-25.
- Vanderlinde, G., Brighenti, A. F., Malinovski, L. I., Cipriani, R., Simon, S., Sander, G. F., Allebrandt, A.L., & Silva, A. L. (2017). Influence of the timing of shoot topping on yield and grape quality in 'Cabernet Sauvignon' and 'Merlot' cultivars. *Acta Hort.* 1157, 407-412
- Vatsanidou, A., Nanos, G. D., Fountas, S., Baras, J., Castrignano, A., & Gemtos, T. A. (2017). Nitrogen replenishment using variable rate application technique in a small hand-harvested pear orchard. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 15(4), 5.
- Vereecken, H., Pachepsky, Y., Bogaen, H., & Montzka, C. (2019). Upscaling issues in ecohydrological observations. *Observation and Measurement of Ecohydrological Processes*, 435-454.
- Vescovo, L., Wohlfahrt, G., Balzarolo, M., Pilloni, S., Sottocornola, M., Rodeghiero, M., & Gianelle, D. (2012). New spectral vegetation indices based on the near-infrared shoulder wavelengths for remote detection of grassland phytomass. *International Journal of Remote Sensing*, 33(7), 2178-2195.
- Vislocky, L. M., & Fernandez, M. L. (2013). Grapes and Grape Products. *Nutrition Today*, 48(1), 47-51.
- Vizzari, M., Santaga, F., & Benincasa, P. (2019). Sentinel 2-based nitrogen VRT fertilization in wheat: Comparison between traditional and simple precision practices. *Agronomy*, 9(6), 278.
- Vougioukas, S. G. (2019). Agricultural Robotics. *Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems*, 2(1), 365-392.
- Wackernagel, H. (2013). *Multivariate geostatistics: an introduction with applications*. Springer Science & Business Media.
- Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1), 29-38.

- Wandkar, S. V., Bhatt, Y. C., Jain, H. K., Nalawade, S. M., & Pawar, S. G. (2018). Real-Time Variable Rate Spraying in Orchards and Vineyards: A Review. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, 99(2), 385–390.
- Weersink, A., Fraser, E., Pannell, D., Duncan, E., & Rotz, S. (2018). Opportunities and challenges for Big Data in agricultural and environmental analysis. *Annual Review of Resource Economics*, 10, 19-37.
- Wei, S., Li, S., Zhang, M., Ji, Y., Xiang, M., & Li, M. (2017). Automatic navigation path search and turning control of agricultural machinery based on GNSS. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 33(1), 70-77.
- Weiss, M., Jacob, F., & Duveiller, G. (2020). Remote sensing for agricultural applications: A meta-review. *Remote Sensing of Environment*, 236, 111402.
- Wilmanns, O. (1993). Plant strategy types and vegetation development reflecting different forms of vineyard management 1. *Journal of Vegetation Science*, 4(2), 235-240.
- Wójtowicz, M., Wójtowicz, A., & Piekarczyk, J. (2016). Application of remote sensing methods in agriculture. *Communications in Biometry and Crop Science*, 11(1), 31-50.
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2017). Big data in smart farming—a review. *Agricultural Systems*, 153, 69-80.
- Wolters, S., Söderström, M., Piikki, K., & Stenberg, M. (2019). Near-real time winter wheat N uptake from a combination of proximal and remote optical measurements: how to refine Sentinel-2 satellite images for use in a precision agriculture decision support system. In J.V. Stafford (Ed.), *Precision Agriculture '19: Proceedings of the 12th European Conference on Precision Agriculture*, pp. 415 - 421. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers.
- Wu, C., Niu, Z., Tang, Q., & Huang, W. (2008). Estimating chlorophyll content from hyperspectral vegetation indices: Modeling and validation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148(8-9), 1230-1241.
- Wulfsohn, D., Zamora, F. A., Téllez, C. P., Lagos, I. Z., & García-Fiñana, M. (2012). Multilevel systematic sampling to estimate total fruit number for yield forecasts. *Precision Agriculture*, 13(2), 256-275.
- Xanthopoulos G., Manolopoulou H., & Lambrinos G. (2016). Comparative kinetics study and colour degradation for three leafy vegetables. *International Journal of Agricultural Science*, 1, 15-26.

- Xue, J., & Su, B. (2017). Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications. *Journal of Sensors*, 2017.
- Xue, J., Anderson, M., Gao, F., Sun, L., & Yang, Y. (2019). Mapping High Spatiotemporal Resolution Evapotranspiration in Agricultural Landscapes Using Multi-Sensor Data Fusion System. *AGUFM*, 2019, H23C-04.
- Yang, C., Everitt, J. H., Du, Q., Luo, B., & Chanussot, J. (2012). Using high-resolution airborne and satellite imagery to assess crop growth and yield variability for precision agriculture. *Proceedings of the IEEE*, 101(3), 582-592.
- Yang, J., & Xiao, Y.-Y. (2013). Grape Phytochemicals and Associated Health Benefits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(11), 1202–1225.
- Yeom, J., Jung, J., Chang, A., Ashapure, A., Maeda, M., Maeda, A., & Landivar, J. (2019). Comparison of vegetation indices derived from UAV data for differentiation of tillage effects in agriculture. *Remote Sensing*, 11(13), 1548.
- Yu, R., & Kurtural, S. K. (2020). Proximal sensing of soil electrical conductivity provides a link to soil-plant water relationships and supports the identification of plant water status zones in vineyards. *Frontiers in Plant Science*, 11, 244.
- Zarco-Tejada, P. J., Berjón, A., López-Lozano, R., Miller, J. R., Martín, P., Cachorro, V., Gonzalez, M., & De Frutos, A. (2005). Assessing vineyard condition with hyperspectral indices: Leaf and canopy reflectance simulation in a row-structured discontinuous canopy. *Remote Sensing of Environment*, 99(3), 271-287.
- Zarco-Tejada, P. J., Guillén-Climent, M. L., Hernández-Clemente, R., Catalina, A., González, M. R., & Martín, P. (2013). Estimating leaf carotenoid content in vineyards using high resolution hyperspectral imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV). *Agricultural and Forest Meteorology*, 171, 281-294.
- Zarrouk, O., Brunetti, C., Egipto, R., Pinheiro, C., Genebra, T., Gori, A., Lopes, C. M., Tattini, M., & Chaves, M. M. (2016). Grape ripening is regulated by deficit irrigation/elevated temperatures according to cluster position in the canopy. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1640.
- Zeigler, R. S., and Mohanty, S. (2010). Support for international agricultural research: current status and future challenges. *New Biotechnology*, 27(5), 565-572.

Zhang, C., & Kovacs, J. M. (2012). The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. *Precision Agriculture*, 13(6), 693–712.

Zhang, H.K., Roy, D.P., Yan, L., Li, Z., Huang, H., Vermote, E., Skakun, S., & Roger, J.-C. (2018). Characterization of Sentinel-2A and Landsat-8 top of atmosphere, surface, and nadir BRDF adjusted reflectance and NDVI differences. *Remote Sensing of the Environment*, 215, 482-494.

Zhang, N., Wang, M., & Wang, N. (2002). Precision agriculture—a worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture*, 36(2-3), 113-132.

Zhang, Y. Y., Wu, W., & Liu, H. (2019). Factors affecting variations of soil pH in different horizons in hilly regions. *Plos one*, 14(6), e0218563.

Zhu, L., Suomalainen, J., Liu, J., Hyypä, J., Kaartinen, H., & Haggren, H. (2018). A Review: Remote Sensing Sensors. Multi-Purposeful Application of Geospatial Data. InTechOpen: Rijeka, Croatia, 2018

Zufferey, V., Spring, J. L., Voinesco, F., Viret, O., & Gindro, K. (2015). Physiological and histological approaches to study berry shrivel in grapes. *OENO One*, 49(2), 113-125.

Zvelebil, M., & Pluciennik, M. (2011). Historical origins of agriculture. *The Role Food, Agriculture, Forestry and Fisheries in Human Nutrition*, 41-78.

8.2 Ελληνική

Καραγιαννοπούλου, Σ. (2018). Σημειώσεις Αμπελουργίας. Καλαμάτα. ΤΕΙ Πελοποννήσου.

8.3 Πηγές από το διαδίκτυο

FAO. Retrieved 18 September 2020. <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/grape/en/>

Hexastep, 2015. <https://www.hexastep.pt/index.php/en/business-solutions-2/m-agriculture>. Retrieved 18 September 2020.

https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%B9%CE%B1%CE%B4%CE%AF%CE%BA%CF%84%CF%85%CE%BF_%CF%84%CF%89%CE%BD_%CF%80%CF%81%CE%B1%CE%B3%CE%BC%CE%AC%CF%84%CF%89%CE%BD. Retrieved 18 September 2020.

<https://en.wikipedia.org/wiki/Camera>. Retrieved 18 September 2020.

https://en.wikipedia.org/wiki/Earth_observation_satellite. Retrieved 18 September 2020.

https://en.wikipedia.org/wiki/Feret_diameter. Retrieved 18 September 2020.

https://en.wikipedia.org/wiki/Image_sensor. Retrieved 18 September 2020.

<https://en.wikipedia.org/wiki/Robot>. Retrieved 18 September 2020.

<https://en.wikipedia.org/wiki/Sensor>. Retrieved 18 September 2020.

https://en.wikipedia.org/wiki/Vine_training. Retrieved 18 September 2020.

https://unstats.un.org/bigdata/taskteams/satellite/UNGWG_Satellite_Task_Team_Report_WhiteCover.pdf. Retrieved 18 September 2020.

<https://www.cbi.eu/market-information/fresh-fruit-vegetables/grapes/>. Retrieved 18 September 2020.

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>. Retrieved 18 September 2020.

ISPA, 2018. <https://www.ispag.org/about/definition>. Retrieved 18 September 2020.

Medium, 2016. <https://medium.com/remote-sensing-in-agriculture/multispectral-vs-hyperspectral-in-agriculture-9a2d96777031>. Retrieved 18 September 2020.

OIV, 2016. <http://www.oiv.int/en/statistiques/?year=2016&countryCode=oiv>. Retrieved 18 September 2020.

OIV, 2019. Retrieved 18 September 2020. <http://www.oiv.int/public/medias/6885/oiv-viti-593-2019-en.pdf>

OIV. Retrieved 18 September 2020. <http://www.oiv.int/public/medias/5888/en-distribution-of-the-worlds-grapevine-varieties.pdf>

9 Παράρτημα

9.1 Περιγραφική Στατιστική και Αποτελέσματα Μετρήσεων

Πίνακας 47 Περιγραφική στατιστική μετρήσεων Crop Circle ACS 470 ανά φάσμα φακού και φαινολογικό στάδιο για όλα τα έτη.

Παράμετρος	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση	CV (%)
532nm_BBCH-65	0.036	0.220	0.098	0.049	49.93%
550nm_BBCH-65	0.060	0.278	0.176	0.030	17.31%
670nm_BBCH-65	0.035	0.158	0.098	0.021	21.28%
700nm_BBCH-65	0.047	0.199	0.108	0.037	33.94%
730nm_BBCH-65	0.159	0.774	0.464	0.102	21.94%
760nm_BBCH-65	0.235	1.217	0.826	0.181	21.86%
532nm_BBCH-75	0.040	0.215	0.110	0.048	43.84%
550nm_BBCH-75	0.121	0.220	0.164	0.022	13.20%
670nm_BBCH-75	0.038	0.126	0.079	0.018	22.78%
700nm_BBCH-75	0.044	0.182	0.106	0.027	25.18%
730nm_BBCH-75	0.170	0.652	0.427	0.089	20.93%
760nm_BBCH-75	0.460	1.174	0.714	0.137	16.53%
532nm_BBCH-79	0.008	0.312	0.144	0.097	67.05%
550nm_BBCH-79	0.071	0.327	0.213	0.058	27.20%
670nm_BBCH-79	0.028	0.149	0.097	0.020	20.74%
700nm_BBCH-79	0.054	0.229	0.138	0.038	27.67%
730nm_BBCH-79	0.085	0.793	0.455	0.153	33.66%
760nm_BBCH-79	0.396	1.205	0.826	0.200	24.24%
532nm_BBCH-81	0.061	0.424	0.189	0.054	28.31%
550nm_BBCH-81	0.064	0.303	0.203	0.046	22.83%
670nm_BBCH-81	0.048	0.175	0.109	0.024	22.02%
700nm_BBCH-81	0.057	0.477	0.147	0.052	35.42%
730nm_BBCH-81	0.228	0.917	0.582	0.135	23.22%
760nm_BBCH-81	0.320	1.498	1.006	0.246	24.49%
532nm_BBCH-85	0.089	0.348	0.232	0.052	22.17%
550nm_BBCH-85	0.119	0.358	0.256	0.047	18.44%
670nm_BBCH-85	0.059	0.201	0.127	0.028	22.13%
700nm_BBCH-85	0.078	0.276	0.188	0.036	19.39%
730nm_BBCH-85	0.239	0.735	0.558	0.105	18.79%
760nm_BBCH-85	0.442	1.706	1.096	0.223	20.37%
532nm_BBCH-87*	0.129	0.304	0.216	0.032	14.82%
550nm_BBCH-87*	0.156	0.350	0.252	0.036	14.35%
670nm_BBCH-87*	0.114	0.174	0.139	0.018	13.07%
700nm_BBCH-87*	0.116	0.254	0.175	0.027	15.39%
730nm_BBCH-87*	0.473	0.758	0.632	0.064	10.09%
760nm_BBCH-87*	0.826	1.406	1.140	0.129	11.35%
532nm_BBCH-89	0.098	0.471	0.246	0.057	23.34%
550nm_BBCH-89	0.118	0.516	0.275	0.053	19.26%

Παράμετρος	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση	CV (%)
670nm_BBCH-89	0.089	0.210	0.146	0.025	17.21%
700nm_BBCH-89	0.106	0.339	0.204	0.044	21.64%
730nm_BBCH-89	0.304	0.756	0.582	0.098	16.90%
760nm_BBCH-89	0.663	1.554	1.158	0.184	15.85%

*Οι μετρήσεις αφορούν μόνο για το έτος 2015.

Πίνακας 48 Περιγραφική στατιστική μετρήσεων Crop Circle ACS 470 ανά φάσμα φακού και φαινολογικό στάδιο για το 2015.

Παράμετρος	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση	CV (%)
532nm_BBCH-65	0.036	0.063	0.050	0.007	13.18%
550nm_BBCH-65	0.122	0.225	0.173	0.025	14.20%
670nm_BBCH-65	0.064	0.130	0.097	0.016	16.48%
700nm_BBCH-65	0.080	0.136	0.108	0.013	12.49%
730nm_BBCH-65	0.288	0.620	0.440	0.082	18.76%
760nm_BBCH-65	0.542	1.172	0.833	0.161	19.30%
532nm_BBCH-75	0.040	0.062	0.055	0.004	7.93%
550nm_BBCH-75	0.126	0.211	0.151	0.017	10.92%
670nm_BBCH-75	0.066	0.121	0.082	0.011	12.98%
700nm_BBCH-75	0.082	0.128	0.096	0.009	9.44%
730nm_BBCH-75	0.362	0.563	0.463	0.048	10.45%
760nm_BBCH-75	0.726	1.174	0.902	0.094	10.45%
532nm_BBCH-79	0.008	0.043	0.022	0.010	46.47%
550nm_BBCH-79	0.071	0.197	0.162	0.024	14.49%
670nm_BBCH-79	0.074	0.109	0.090	0.009	10.12%
700nm_BBCH-79	0.054	0.122	0.102	0.013	12.50%
730nm_BBCH-79	0.223	0.542	0.336	0.092	27.28%
760nm_BBCH-79	0.470	1.042	0.675	0.153	22.69%
532nm_BBCH-81	0.149	0.262	0.198	0.028	13.97%
550nm_BBCH-81	0.173	0.303	0.232	0.032	13.96%
670nm_BBCH-81	0.084	0.175	0.120	0.020	16.67%
700nm_BBCH-81	0.110	0.191	0.148	0.020	13.71%
730nm_BBCH-81	0.380	0.782	0.600	0.082	13.68%
760nm_BBCH-81	0.753	1.498	1.170	0.161	13.78%
532nm_BBCH-85	0.136	0.297	0.229	0.046	20.04%
550nm_BBCH-85	0.152	0.338	0.260	0.053	20.35%
670nm_BBCH-85	0.059	0.141	0.096	0.015	15.19%
700nm_BBCH-85	0.104	0.234	0.180	0.038	20.92%
730nm_BBCH-85	0.239	0.595	0.485	0.069	14.22%
760nm_BBCH-85	0.442	1.112	0.899	0.130	14.47%
532nm_BBCH-87	0.129	0.304	0.216	0.032	14.82%
550nm_BBCH-87	0.156	0.350	0.252	0.036	14.35%
670nm_BBCH-87	0.114	0.174	0.139	0.018	13.07%
700nm_BBCH-87	0.116	0.254	0.175	0.027	15.39%
730nm_BBCH-87	0.473	0.758	0.632	0.064	10.09%
760nm_BBCH-87	0.826	1.406	1.140	0.129	11.35%
532nm_BBCH-89	0.125	0.272	0.218	0.031	14.44%

Παράμετρος	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση	CV (%)
550nm_BBCH-89	0.157	0.315	0.257	0.035	13.76%
670nm_BBCH-89	0.102	0.188	0.146	0.020	13.96%
700nm_BBCH-89	0.113	0.268	0.190	0.030	15.76%
730nm_BBCH-89	0.408	0.755	0.636	0.085	13.34%
760nm_BBCH-89	0.687	1.436	1.123	0.154	13.72%

Πίνακας 49 Περιγραφική στατιστική μετρήσεων Crop Circle ACS 470 ανά φάσμα φακού και φαινολογικό στάδιο για το 2016.

Παράμετρος	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση	CV (%)
532nm_BBCH-65	0.046	0.102	0.084	0.014	16.09%
550nm_BBCH-65	0.166	0.175	0.172	0.002	1.26%
670nm_BBCH-65	0.045	0.106	0.091	0.013	14.02%
700nm_BBCH-65	0.047	0.085	0.071	0.009	13.34%
730nm_BBCH-65	0.159	0.582	0.490	0.087	17.73%
760nm_BBCH-65	0.266	0.998	0.828	0.147	17.77%
532nm_BBCH-75	0.054	0.143	0.111	0.020	17.69%
550nm_BBCH-75	0.167	0.182	0.177	0.003	1.79%
670nm_BBCH-75	0.038	0.075	0.061	0.007	11.49%
700nm_BBCH-75	0.044	0.109	0.086	0.014	16.36%
730nm_BBCH-75	0.170	0.431	0.339	0.047	13.82%
760nm_BBCH-75	0.470	0.855	0.720	0.069	9.65%
532nm_BBCH-79	0.080	0.222	0.164	0.028	17.15%
550nm_BBCH-79	0.102	0.321	0.224	0.060	26.88%
670nm_BBCH-79	0.028	0.110	0.086	0.020	23.54%
700nm_BBCH-79	0.067	0.174	0.134	0.022	16.41%
730nm_BBCH-79	0.085	0.548	0.425	0.130	30.49%
760nm_BBCH-79	0.396	1.183	0.897	0.206	23.01%
532nm_BBCH-81	0.061	0.424	0.146	0.064	43.93%
550nm_BBCH-81	0.064	0.203	0.155	0.034	21.74%
670nm_BBCH-81	0.048	0.106	0.086	0.012	14.33%
700nm_BBCH-81	0.057	0.477	0.138	0.086	61.98%
730nm_BBCH-81	0.228	0.582	0.478	0.087	18.15%
760nm_BBCH-81	0.320	1.007	0.795	0.170	21.41%
532nm_BBCH-85	0.089	0.264	0.193	0.038	19.57%
550nm_BBCH-85	0.119	0.292	0.230	0.040	17.48%
670nm_BBCH-85	0.082	0.172	0.139	0.019	13.55%
700nm_BBCH-85	0.078	0.213	0.172	0.032	18.39%
730nm_BBCH-85	0.240	0.671	0.523	0.087	16.68%
760nm_BBCH-85	0.497	1.395	1.098	0.182	16.54%
532nm_BBCH-89	0.098	0.471	0.226	0.062	27.39%
550nm_BBCH-89	0.118	0.516	0.267	0.066	24.87%
670nm_BBCH-89	0.089	0.210	0.134	0.025	18.57%
700nm_BBCH-89	0.106	0.276	0.179	0.036	19.97%
730nm_BBCH-89	0.304	0.678	0.505	0.090	17.88%
760nm_BBCH-89	0.663	1.446	1.090	0.179	16.41%

Πίνακας 50 Περιγραφική στατιστική μετρήσεων Crop Circle ACS 470 ανά φάσμα φακού και φαινολογικό στάδιο για το 2017.

Παράμετρος	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση	CV (%)
532nm_BBCH-65	0.118	0.220	0.159	0.024	15.41%
550nm_BBCH-65	0.060	0.278	0.182	0.046	25.51%
670nm_BBCH-65	0.035	0.158	0.106	0.028	26.72%
700nm_BBCH-65	0.069	0.199	0.146	0.030	20.45%
730nm_BBCH-65	0.317	0.774	0.461	0.126	27.39%
760nm_BBCH-65	0.235	1.217	0.816	0.228	27.92%
532nm_BBCH-75	0.122	0.215	0.163	0.026	16.19%
550nm_BBCH-75	0.121	0.220	0.165	0.029	17.43%
670nm_BBCH-75	0.063	0.126	0.094	0.016	16.95%
700nm_BBCH-75	0.089	0.182	0.137	0.020	14.80%
730nm_BBCH-75	0.353	0.652	0.480	0.089	18.52%
760nm_BBCH-75	0.460	1.136	0.871	0.156	17.96%
532nm_BBCH-79	0.135	0.312	0.245	0.038	15.46%
550nm_BBCH-79	0.135	0.327	0.253	0.041	16.26%
670nm_BBCH-79	0.083	0.149	0.116	0.014	12.33%
700nm_BBCH-79	0.103	0.229	0.179	0.027	15.25%
730nm_BBCH-79	0.313	0.793	0.604	0.091	15.07%
760nm_BBCH-79	0.449	1.205	0.908	0.145	15.97%
532nm_BBCH-81	0.170	0.282	0.223	0.026	11.80%
550nm_BBCH-81	0.168	0.285	0.224	0.027	12.14%
670nm_BBCH-81	0.094	0.172	0.122	0.019	15.21%
700nm_BBCH-81	0.118	0.202	0.155	0.020	12.99%
730nm_BBCH-81	0.410	0.917	0.667	0.150	22.52%
760nm_BBCH-81	0.635	1.405	1.053	0.234	22.20%
532nm_BBCH-85	0.198	0.348	0.275	0.033	12.13%
550nm_BBCH-85	0.199	0.358	0.279	0.034	12.25%
670nm_BBCH-85	0.099	0.201	0.145	0.019	12.89%
700nm_BBCH-85	0.152	0.276	0.211	0.027	12.75%
730nm_BBCH-85	0.523	0.735	0.665	0.053	8.00%
760nm_BBCH-85	0.925	1.706	1.291	0.153	11.86%
532nm_BBCH-89	0.181	0.349	0.294	0.040	13.72%
550nm_BBCH-89	0.180	0.357	0.302	0.042	13.99%
670nm_BBCH-89	0.110	0.210	0.158	0.024	15.42%
700nm_BBCH-89	0.154	0.339	0.242	0.038	15.65%
730nm_BBCH-89	0.438	0.756	0.605	0.068	11.23%
760nm_BBCH-89	0.844	1.554	1.262	0.174	13.77%

Πίνακας 51 Περιγραφική στατιστική επίγειων δεικτών βλάστησης ανά φαινολογικό στάδιο για όλα τα έτη.

Παράμετρος	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση	CV (%)
NDVI BBCH-65	0.710	0.824	0.786	0.022	2.78%

Παράμετρος	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση	CV (%)
GNDVI1 BBCH-65	0.229	0.706	0.642	0.060	9.29%
GNDVI2 BBCH-65	0.259	0.941	0.783	0.116	14.78%
NDRE1 BBCH-65	-0.178	0.420	0.278	0.070	25.22%
NDRE2 BBCH-65	0.547	0.882	0.765	0.069	9.07%
NDVI BBCH-75	0.721	0.852	0.826	0.024	2.85%
GNDVI1 BBCH-75	0.475	0.749	0.665	0.056	8.44%
GNDVI2 BBCH-75	0.567	0.926	0.766	0.092	11.97%
NDRE1 BBCH-75	0.123	0.467	0.323	0.059	18.28%
NDRE2 BBCH-75	0.637	0.851	0.774	0.040	5.15%
NDVI BBCH-79	0.681	0.931	0.783	0.046	5.91%
GNDVI1 BBCH-79	0.279	0.836	0.588	0.070	11.91%
GNDVI2 BBCH-79	0.295	0.982	0.727	0.163	22.42%
NDRE1 BBCH-79	0.068	0.792	0.300	0.123	40.92%
NDRE2 BBCH-79	0.408	0.872	0.709	0.066	9.31%
NDVI BBCH-81	0.688	0.838	0.801	0.027	3.35%
GNDVI1 BBCH-81	0.502	0.760	0.660	0.046	6.99%
GNDVI2 BBCH-81	0.369	0.812	0.680	0.072	10.52%
NDRE1 BBCH-81	0.000	0.356	0.264	0.059	22.56%
NDRE2 BBCH-81	0.351	0.840	0.740	0.076	10.21%
NDVI BBCH-85	0.717	0.824	0.793	0.022	2.80%
GNDVI1 BBCH-85	0.339	0.718	0.615	0.068	11.11%
GNDVI2 BBCH-85	0.408	0.794	0.647	0.064	9.89%
NDRE1 BBCH-85	0.258	0.406	0.324	0.032	9.74%
NDRE2 BBCH-85	0.473	0.826	0.704	0.051	7.29%
NDVI BBCH-89	0.623	0.836	0.779	0.027	3.44%
GNDVI1 BBCH-89	0.390	0.771	0.618	0.063	10.26%
GNDVI2 BBCH-89	0.429	0.770	0.652	0.065	10.03%
NDRE1 BBCH-89	0.222	0.414	0.335	0.043	12.95%
NDRE2 BBCH-89	0.466	0.811	0.708	0.057	8.11%

Πίνακας 52 Περιγραφική στατιστική σωρευτικών δεικτών βλάστησης για όλα τα έτη.

Παράμετρος	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση	CV (%)
Σ NDVI BBCH-(65-89)	1.868	2.029	1.948	0.031	1.61%
Σ GNDVI1 BBCH-(65-89)	1.406	1.666	1.554	0.051	3.28%
Σ GNDVI2 BBCH-(65-89)	1.454	2.001	1.752	0.160	9.13%
Σ NDRE1 BBCH-(65-89)	0.520	1.041	0.762	0.082	10.81%
Σ NDRE2 BBCH-(65-89)	1.640	1.950	1.802	0.071	3.94%
Σ NDVI BBCH-(65-79)	1.287	1.493	1.384	0.040	2.87%
Σ GNDVI1 BBCH-(65-79)	0.771	1.247	1.098	0.066	6.04%
Σ GNDVI2 BBCH-(65-79)	0.933	1.601	1.319	0.193	14.64%
Σ NDRE1 BBCH-(65-79)	0.249	0.905	0.532	0.108	20.27%
Σ NDRE2 BBCH-(65-79)	1.081	1.434	1.300	0.079	6.10%

Σ NDVI BBCH-(81-89)	1.299	1.422	1.370	0.026	1.86%
Σ GNDVI1 BBCH-(81-89)	0.954	1.212	1.098	0.051	4.63%
Σ GNDVI2 BBCH-(81-89)	0.957	1.335	1.147	0.065	5.63%
Σ NDRE1 BBCH-(81-89)	0.457	0.629	0.540	0.036	6.62%
Σ NDRE2 BBCH-(81-89)	1.066	1.359	1.246	0.052	4.15%

Πίνακας 53 Περιγραφική στατιστική δορυφορικών δεικτών βλάστησης για όλα τα έτη.

Παράμετρος	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση	CV (%)
Δ NDVI BBCH-81	0.489	0.722	0.634	0.052	8.16%
Δ GNDVI BBCH-81	0.535	0.680	0.633	0.029	4.54%
Δ NDVI BBCH-85	0.474	0.729	0.624	0.061	9.70%
Δ GNDVI BBCH-85	0.520	0.687	0.625	0.037	5.91%
Δ NDVI BBCH-89	0.470	0.744	0.624	0.069	10.99%
Δ GNDVI BBCH-89	0.516	0.693	0.627	0.042	6.72%

Πίνακας 54 Περιγραφική στατιστική μετρήσεων παραγωγής και πορείας ανάπτυξης ανά φαινολογικό στάδιο για όλα τα έτη.

Παράμετρος	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση	CV (%)
pH_BBCH-81	1.10	3.03	2.57	0.36	14.08%
Σάκχαρα (°Brix)_BBCH-81	4.90	13.00	8.86	1.91	21.53%
Ολική Οξύτητα (%)_BBCH-81	0.18	1.50	0.72	0.33	45.66%
Πυκνότητα Ράγας (kg/m ³)_BBCH-81	0.94	2.02	1.23	0.18	14.69%
Διάμετρος Ράγας (mm)_BBCH-81	16.08	24.97	19.86	2.10	10.58%
Βάρος Ράγας (gr)_BBCH-81	2.52	11.38	5.51	1.74	31.62%
Συμπύεση Ράγας (N/mm)_BBCH-81	1.06	3.84	2.05	0.61	29.76%
pH_BBCH-85	2.60	3.36	3.03	0.18	6.01%
Σάκχαρα (°Brix)_BBCH-85	10.50	18.50	13.44	1.86	13.82%
Ολική Οξύτητα (%)_BBCH-85	0.18	0.61	0.34	0.10	27.76%
Μέση Διάμετρος Ράγας (mm)_BBCH-85	18.09	26.30	21.79	2.15	9.87%
Μέσο Βάρος Ράγας (gr)_BBCH-85	3.75	11.00	7.28	1.95	26.75%
Πυκνότητα Ράγας (kg/m ³)_BBCH-85	0.64	1.76	1.20	0.12	10.23%
Συμπύεση Ράγας (N/mm)_BBCH-85	1.07	2.79	1.92	0.42	22.07%
pH_BBCH-87*	3.43	3.91	3.60	0.12	3.26%
Σάκχαρα (°Brix)_BBCH-87*	13.20	17.60	15.53	0.93	5.96%
Ολική Οξύτητα (%)_BBCH-87*	0.25	0.42	0.37	0.04	10.21%
Διάμετρος Ράγας (mm)_BBCH-87*	22.89	26.00	24.77	0.71	2.85%

Παράμετρος	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση	CV (%)
Βάρος Ράγας (gr)_BBCH-87*	9.96	12.46	11.49	0.64	5.61%
Πυκνότητα Ράγας (kg/m ³)_BBCH-87*	1.15	1.24	1.20	0.02	1.51%
Συμπίεση Ράγας (N/mm)_BBCH-87*	1.81	2.89	2.31	0.29	12.40%
pH_BBCH-89	2.90	3.93	3.49	0.29	8.38%
Σάκχαρα (°Brix)_BBCH-89	15.70	23.20	18.63	1.29	6.95%
Ολική Οξύτητα (%)_BBCH-89	0.10	0.39	0.22	0.05	21.03%
Διάμετρος Ράγας (mm)_BBCH-89	18.76	27.88	22.88	2.22	9.68%
Ράγας (gr)_BBCH-89	4.67	13.91	8.87	2.81	31.70%
Πυκνότητα Ράγας (kg/m ³)_BBCH-89	1.08	1.50	1.17	0.07	5.72%
Συμπίεση Ράγας (N/mm)_BBCH-89	1.13	3.23	1.93	0.50	25.89%
Αποκοπή Ράγας (N)_BBCH-89	4.27	14.37	8.33	2.75	33.03%
Απόδοση (kg/ha)_BBCH-89	4518	38432	20612	6575	31.90%

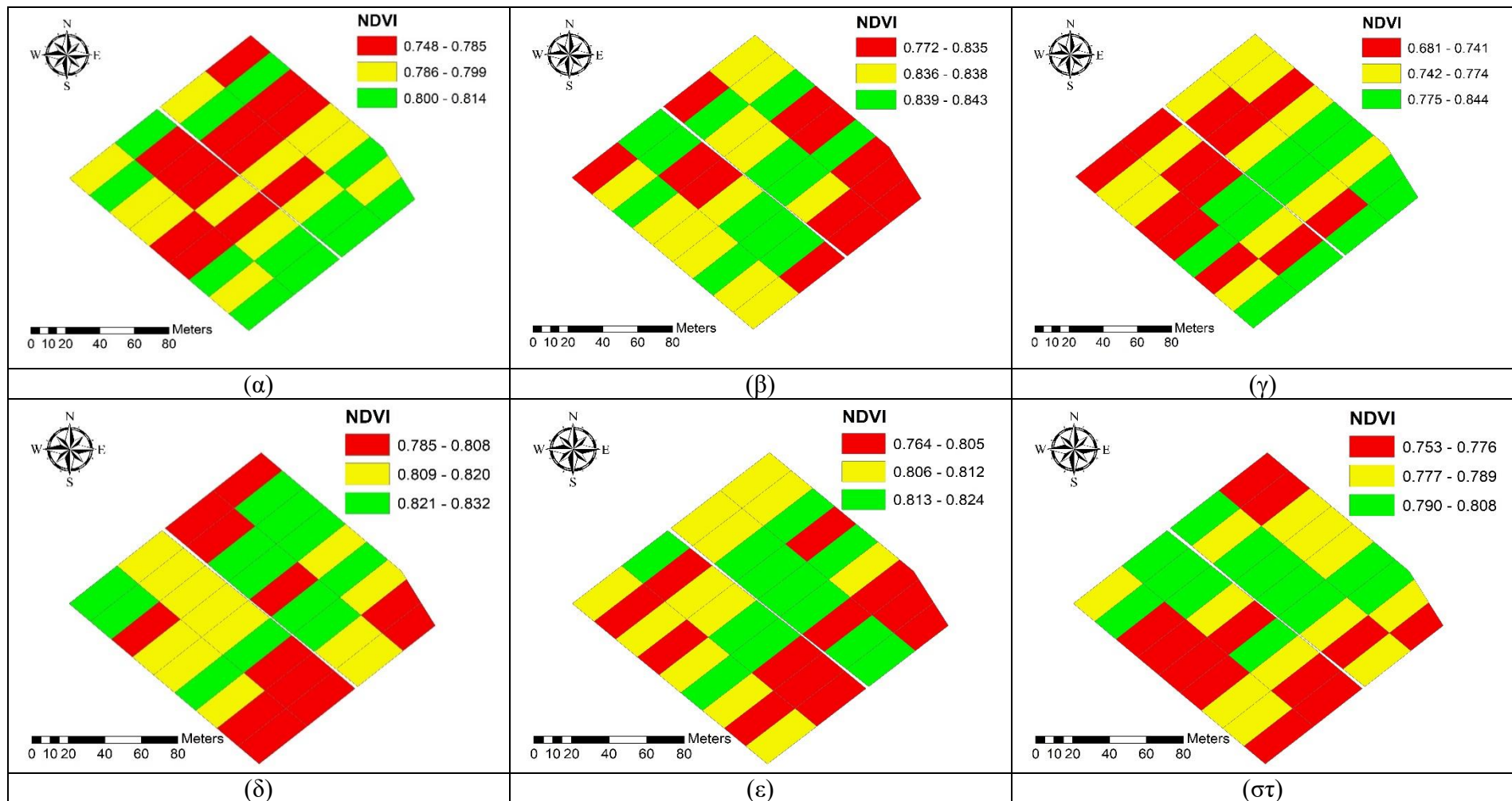
*Οι μετρήσεις αφορούν μόνο για το έτος 2015.

Πίνακας 55 Αποτελέσματα αναλύσεων εδάφους για κάθε υποτεμάχιο.

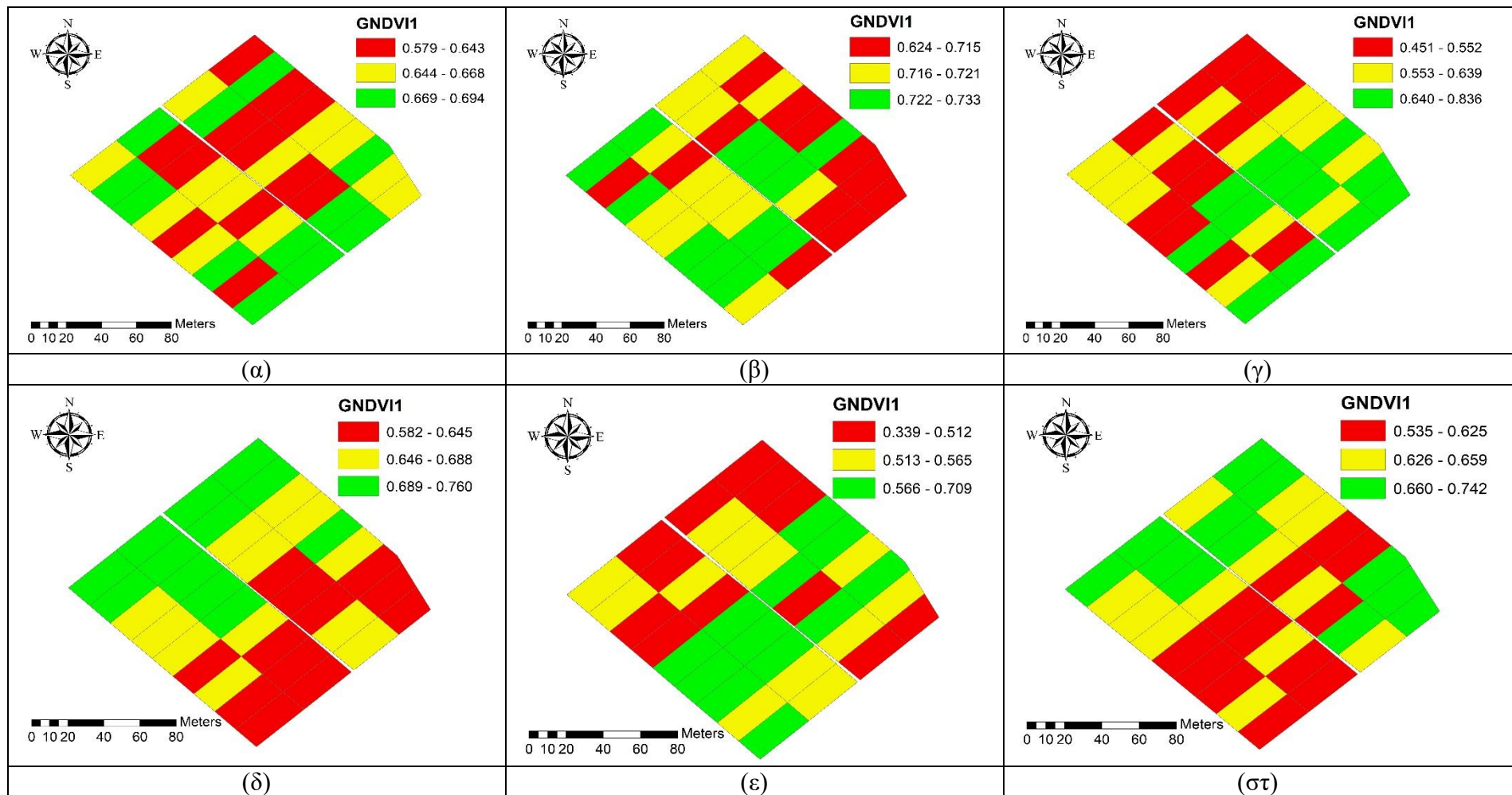
Παράμετροι													
Υποτεμάχιο	Άργιλος (%)	Άμμος (%)	Ιλύς (%)	Οργανική Ουσία (%)	Διαθέσιμη Υγρασία (%)	Υδατοϊκανότητα (%)	Σημείο Μόνιμης Μάρανσης (%)	Νερό Κορεσμού (%)	Κωδικός Υφής Εδάφους	Υφή Εδάφους	Ανθρακικό Ασβέστιο (CaCO ₃) (%)	pH	Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (mS/m)
A1	37.9	32.4	29.7	0.78	13.2	36.1	22.9	45.2	CL	Αργιλοπηλώδες	62.58	7.4	70
A2	38	21.8	40.2	2.223	14.5	37.7	23.2	48.9	CL	Αργιλοπηλώδες	65.1	7.34	101
A3	32.3	39.2	28.5	1.053	12.7	32.4	19.7	47.4	CL	Αργιλοπηλώδες	73.08	7.5	72
A4	30.9	50.4	18.7	3.198	11.8	32	20.2	45.6	SCL	Αμμοαργιλοπηλώδες	60.48	7.55	86
B1	40.5	20.6	38.9	0.273	14.1	38.5	24.4	46.8	C	Αργιλώδες	64.68	7.58	50
B2	36.5	27.2	36.3	0.858	13.9	36.3	22.4	45.9	CL	Αργιλοπηλώδες	71.4	7.59	58
B3	33.8	36.6	29.6	1.053	12.9	33.7	20.8	44.3	CL	Αργιλοπηλώδες	62.16	7.71	34
B4	29.7	48.4	21.9	2.223	11.8	30.9	19.1	44.3	SCL	Αμμοαργιλοπηλώδες	63.42	7.77	49
C1	38	26.9	35.1	0.468	13.8	36.6	22.8	45.5	CL	Αργιλοπηλώδες	61.32	7.59	52
C2	34	30.9	35.1	1.248	13.7	34.5	20.8	45.2	CL	Αργιλοπηλώδες	65.52	7.28	128
C3	33.4	44.6	22	0.975	11.8	32	20.2	42.9	CL	Αργιλοπηλώδες	73.92	7.4	92
C4	35.2	39.8	25	2.613	12.7	34.7	22	46.2	CL	Αργιλοπηλώδες	83.16	7.68	64
D1	37.2	21.2	41.6	0.663	14.6	36.9	22.3	46.4	CL	Αργιλοπηλώδες	60.48	7.58	52
D2	40.8	34.6	24.6	1.638	12.6	37.5	24.9	46.2	C	Αργιλώδες	65.1	7.43	54
D3	29.4	52.4	18.2	2.418	11.3	30	18.7	44.1	SCL	Αμμοαργιλοπηλώδες	69.72	7.46	43
D4	18.5	74.9	6.6	4.368	17.7	31.9	14.2	52.8	SL	Αμμοπηλώδες	54.18	7.73	53
E1	35.1	23.2	41.7	0.897	14.7	35.9	21.2	46	CL	Αργιλοπηλώδες	64.26	7.5	43
E2	31.2	37.8	31	1.131	13	32.1	19.1	43.7	CL	Αργιλοπηλώδες	68.88	7.46	49

Παράμετροι													
Υποτεμάχιο	Αργίλος (%)	Άμμος (%)	Λύς (%)	Οργανική Ουσία (%)	Διαθέσιμη Υγρασία (%)	Υδατοϊκανότητα (%)	Σημείο Μόνιμης Μίρανσης (%)	Νερό Κορεσμού (%)	Κωδικός Υφής Εδάφους	Υφή Εδάφους	Ανθρακικό Ασβέστιο (CaCO ₃) (%)	pH	Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (mS/m)
E3	25.4	51.8	22.8	1.443	11	26.9	15.9	42.2	SCL	Αμμοαργιλοπηλώδες	71.4	7.55	52
E4	37.9	45.8	16.3	2.418	11.8	35.4	23.6	45	SC	Αμμοαργιλώδες	53.76	7.58	69
F1	30.2	31.6	38.2	1.17	13.2	36.3	23.1	45.7	CL	Αργιλοπηλώδες	68.04	7.47	66
F2	33.6	36.5	29.9	0.975	12.8	33.6	20.8	44.1	CL	Αργιλοπηλώδες	66.78	7.52	46
F3	27	54.6	18.4	3.471	11.3	29.6	18.3	45.7	SCL	Αμμοαργιλοπηλώδες	56.28	7.71	66
F4	39.4	43.5	17.1	3.705	12.1	36.7	24.6	46.7	CL	Αργιλοπηλώδες	34.44	7.47	141
G1	29.4	40.4	30.2	0.858	12.7	30.6	17.9	42.8	CL	Αργιλοπηλώδες	57.12	7.62	42
G2	26.8	42.7	30.5	0.858	12.4	29.1	16.7	42.3	L	Πηλώδες	65.1	7.58	57
G3	32.5	50.7	16.8	2.808	11.4	32.5	21.1	44.7	SCL	Αμμοαργιλοπηλώδες	53.76	7.65	66
G4	42.2	42.7	15.1	2.613	11.8	37.7	25.9	45.8	C	Αργιλώδες	46.62	7.8	44
H1	36.2	26.6	37.2	1.443	14	36	22	46.5	CL	Αργιλοπηλώδες	60.48	7.61	55
H2	25.7	35	39.3	1.17	14	30.3	16.3	43.6	L	Πηλώδες	67.2	7.37	127
H3	31.5	48.9	19.6	2.379	11.7	32	20.3	44.4	SCL	Αμμοαργιλοπηλώδες	69.72	7.55	100
H4	25.1	58.7	16.2	1.131	10.3	26.8	16.5	43.4	SCL	Αμμοαργιλοπηλώδες	69.72	7.68	39
I1	48.8	31	20.2	1.053	12.4	41.6	29.2	47.9	C	Αργιλώδες	68.88	7.68	45
I2	34.6	36.4	29	1.248	13	34.4	21.4	44.7	CL	Αργιλοπηλώδες	70.14	7.58	54
I3	31	47	22	1.911	11.8	31.3	19.5	43.9	SCL	Αμμοαργιλοπηλώδες	53.76	8.17	36
I4	31.1	57.2	11.7	2.535	10.5	30.4	19.9	43.4	SCL	Αμμοαργιλοπηλώδες	62.58	7.67	61

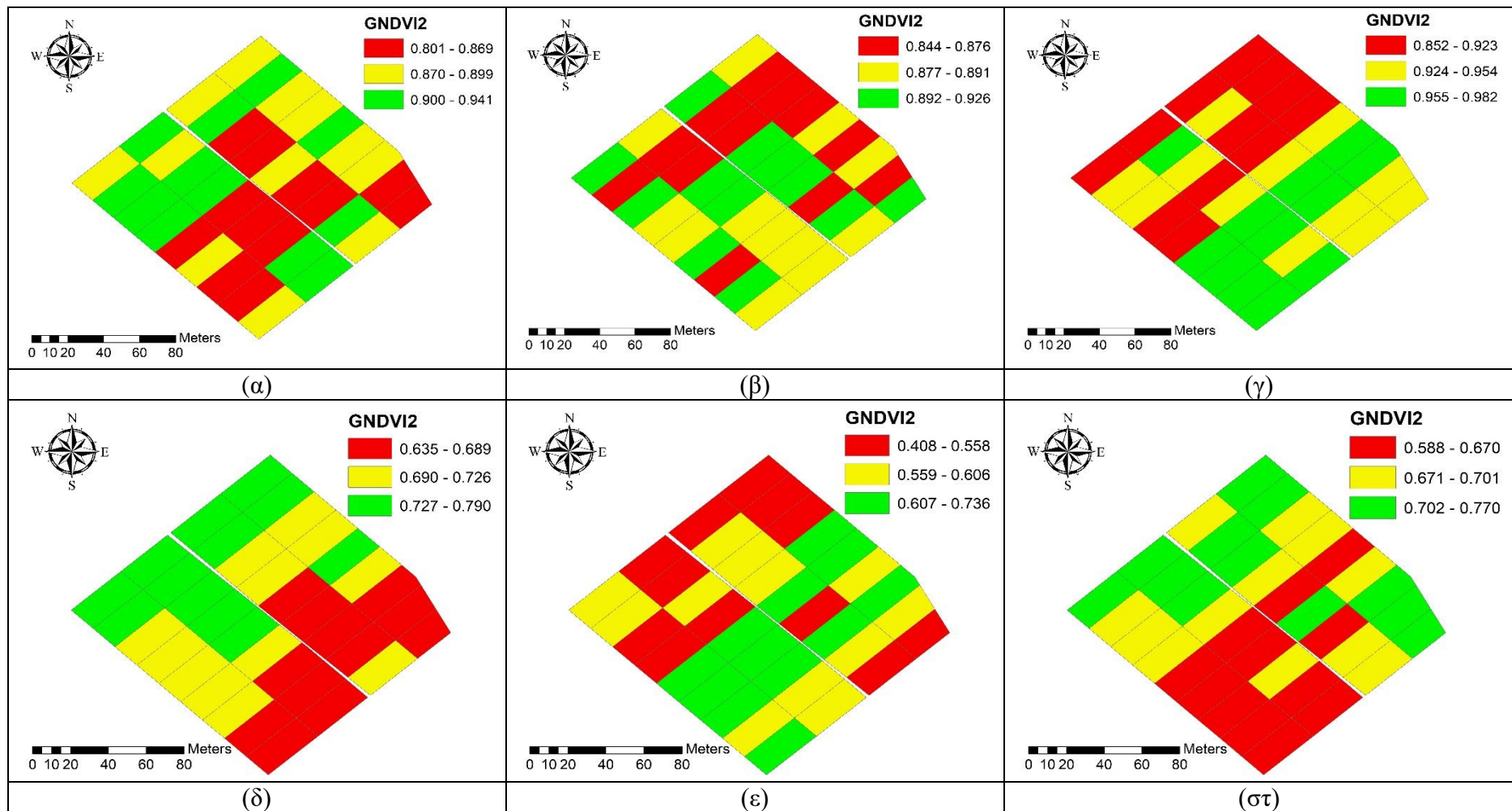
9.2 Χάρτες Αποτελεσμάτων



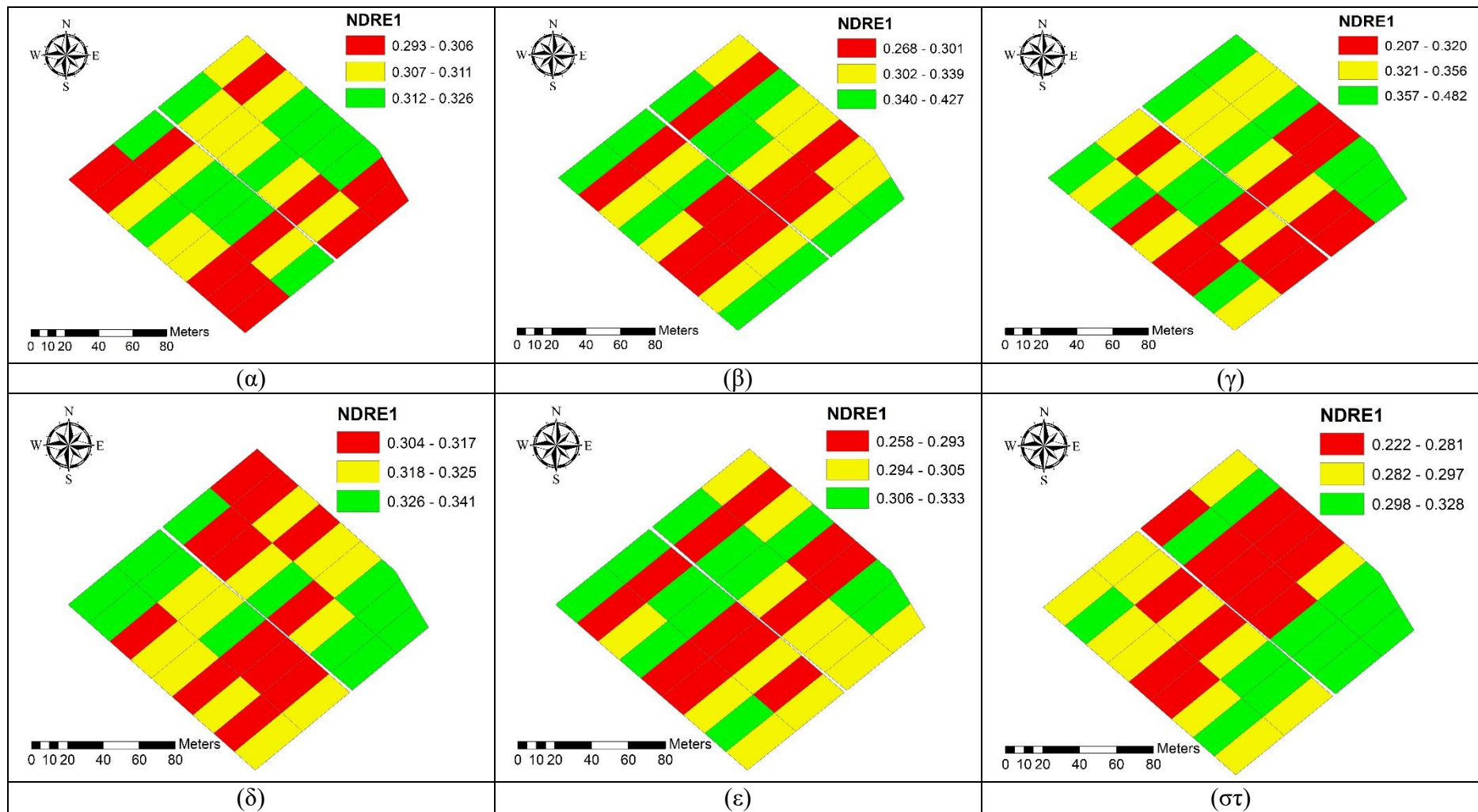
Εικόνα 34 Χωρική παραλλακτικότητα του δείκτη NDVI στο φαινολογικό στάδιο (α) BBCH 65, (β) BBCH 75, (γ) BBCH 79, (δ) BBCH 81, (ε) BBCH 85 και (στ) BBCH 89 (β) για το 2015.



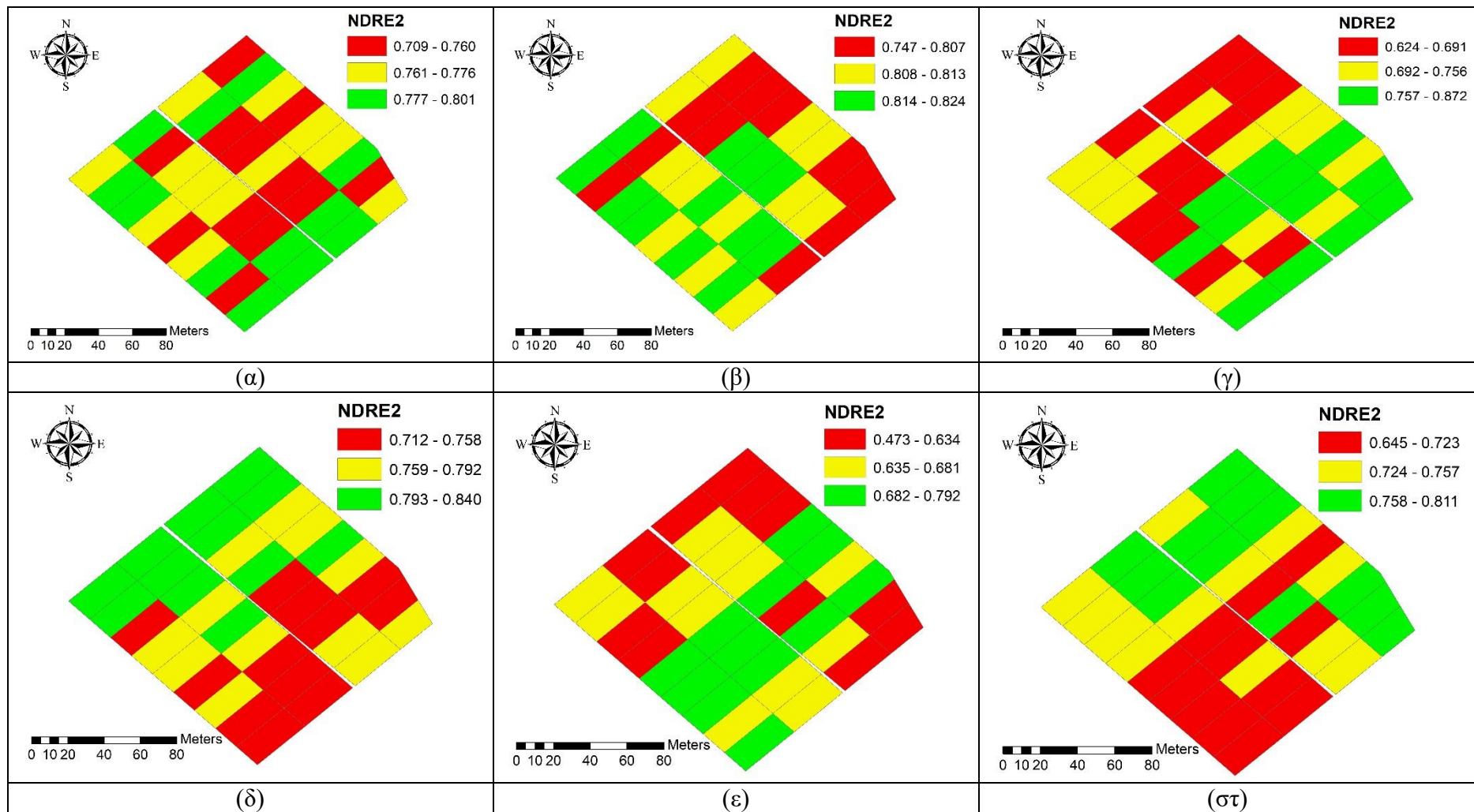
Εικόνα 35 Χωρική παραλλακτικότητα του δείκτη GNDVI1 στο φαινολογικό στάδιο (α) BBCH 65, (β) BBCH 75, (γ) BBCH 79, (δ) BBCH 81, (ε) BBCH 85 και (στ) BBCH 89 (β) για το 2015.



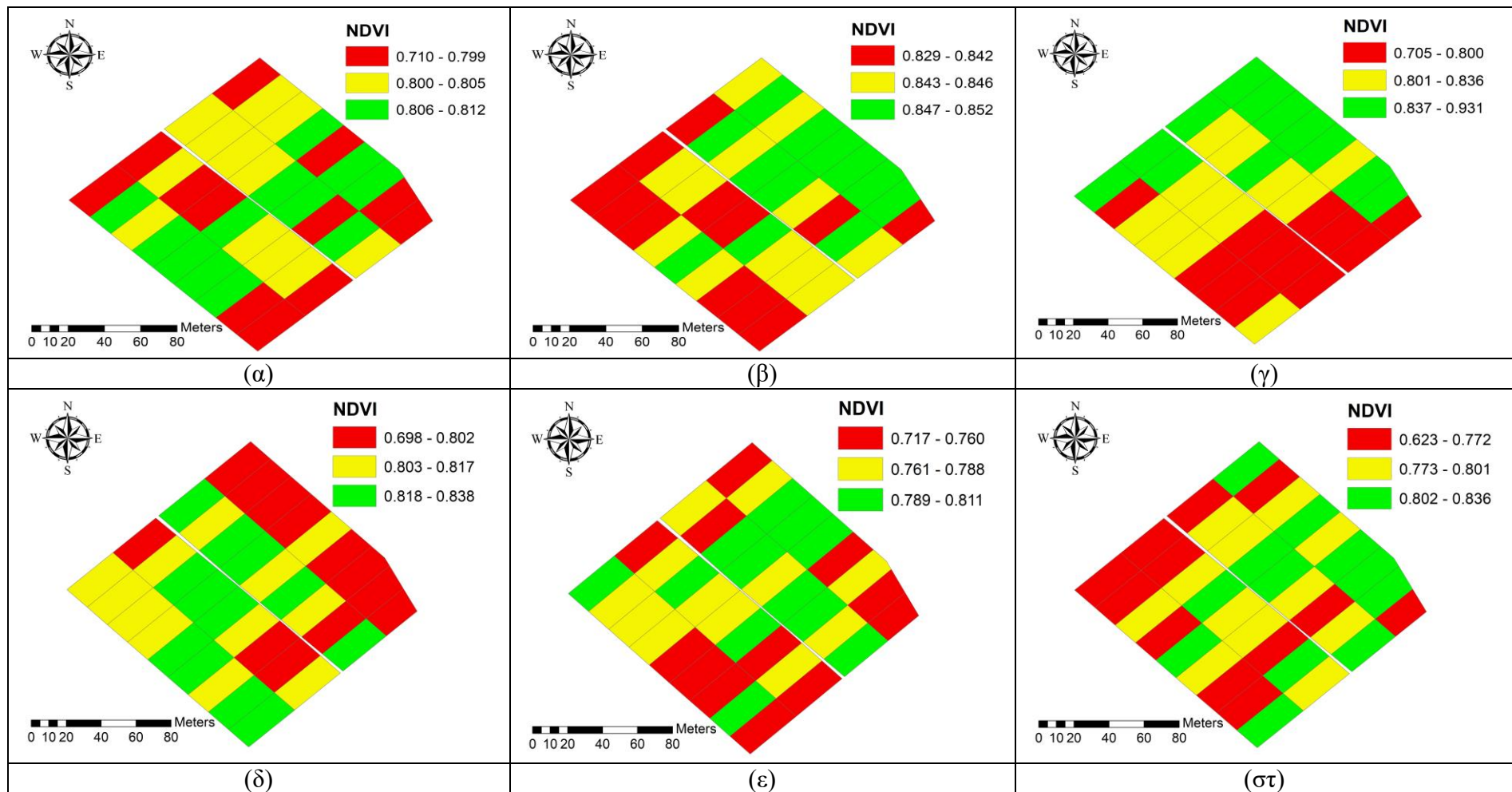
Εικόνα 36 Χωρική παραλλακτικότητα του δείκτη GNDVI2 στο φαινολογικό στάδιο (α) BBCH 65, (β) BBCH 75, (γ) BBCH 79, (δ) BBCH 81, (ε) BBCH 85 και (στ) BBCH 89 (β) για το 2015.



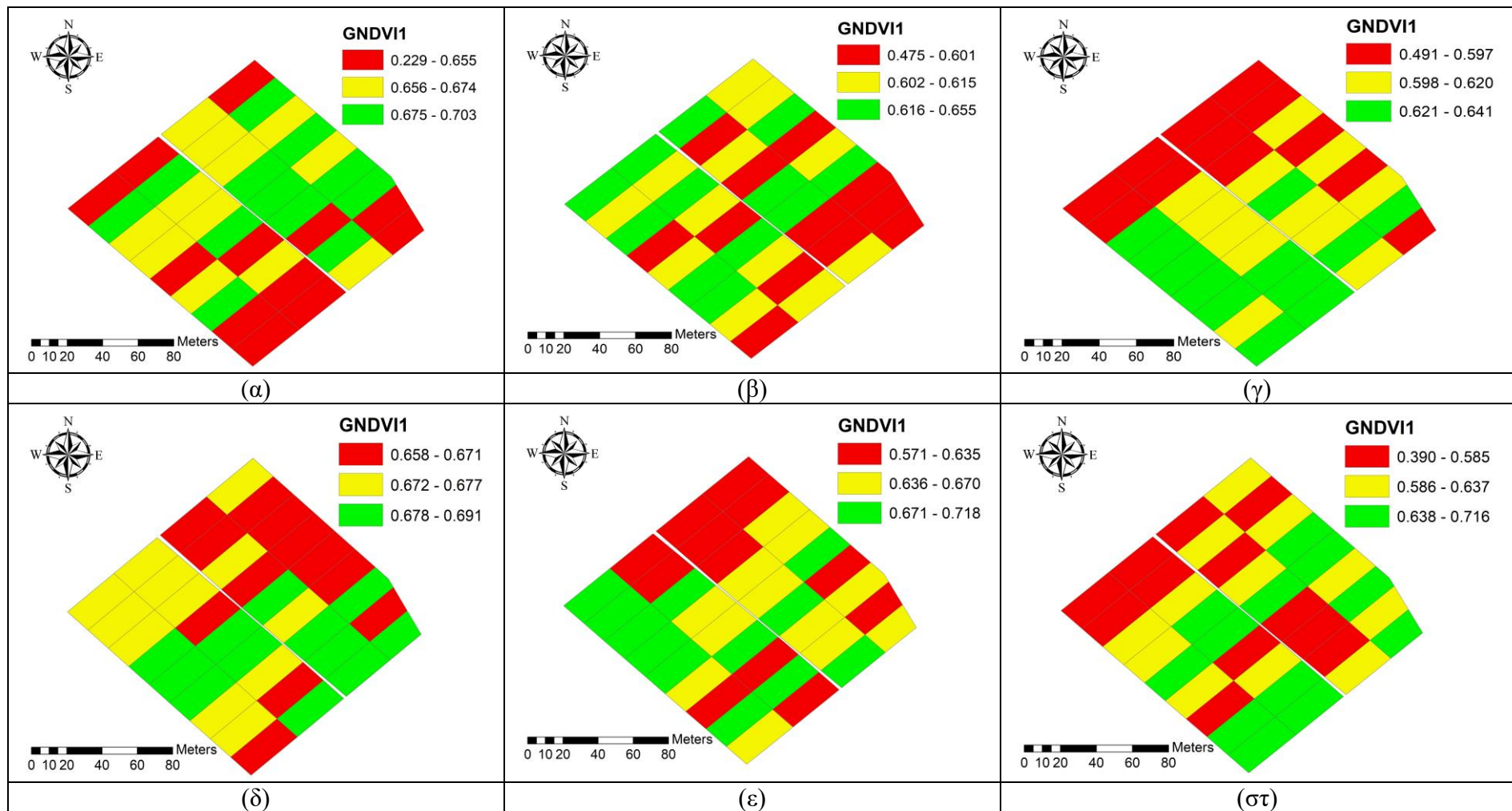
Εικόνα 37 Χωρική παραλλακτικότητα του δείκτη NDRE1 στο φαινολογικό στάδιο (α) BBCH 65, (β) BBCH 75, (γ) BBCH 79, (δ) BBCH 81, (ε) BBCH 85 και (στ) BBCH 89 (β) για το 2015.



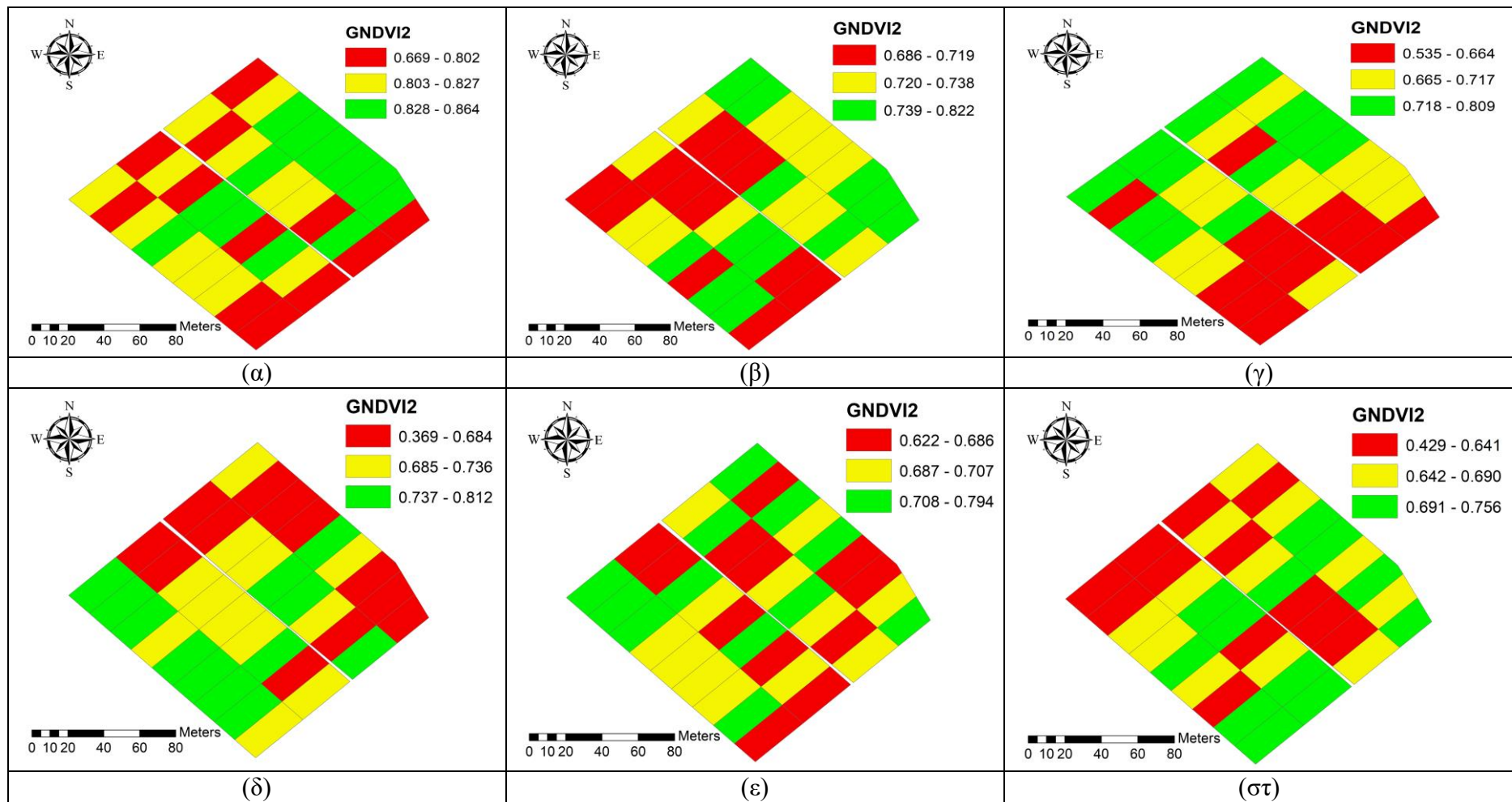
Εικόνα 38 Χωρική παραλλακτικότητα του δείκτη NDRE2 στο φαινολογικό στάδιο (α) BBCH 65, (β) BBCH 75, (γ) BBCH 79, (δ) BBCH 81, (ε) BBCH 85 και (στ) BBCH 89 (β) για το 2015.



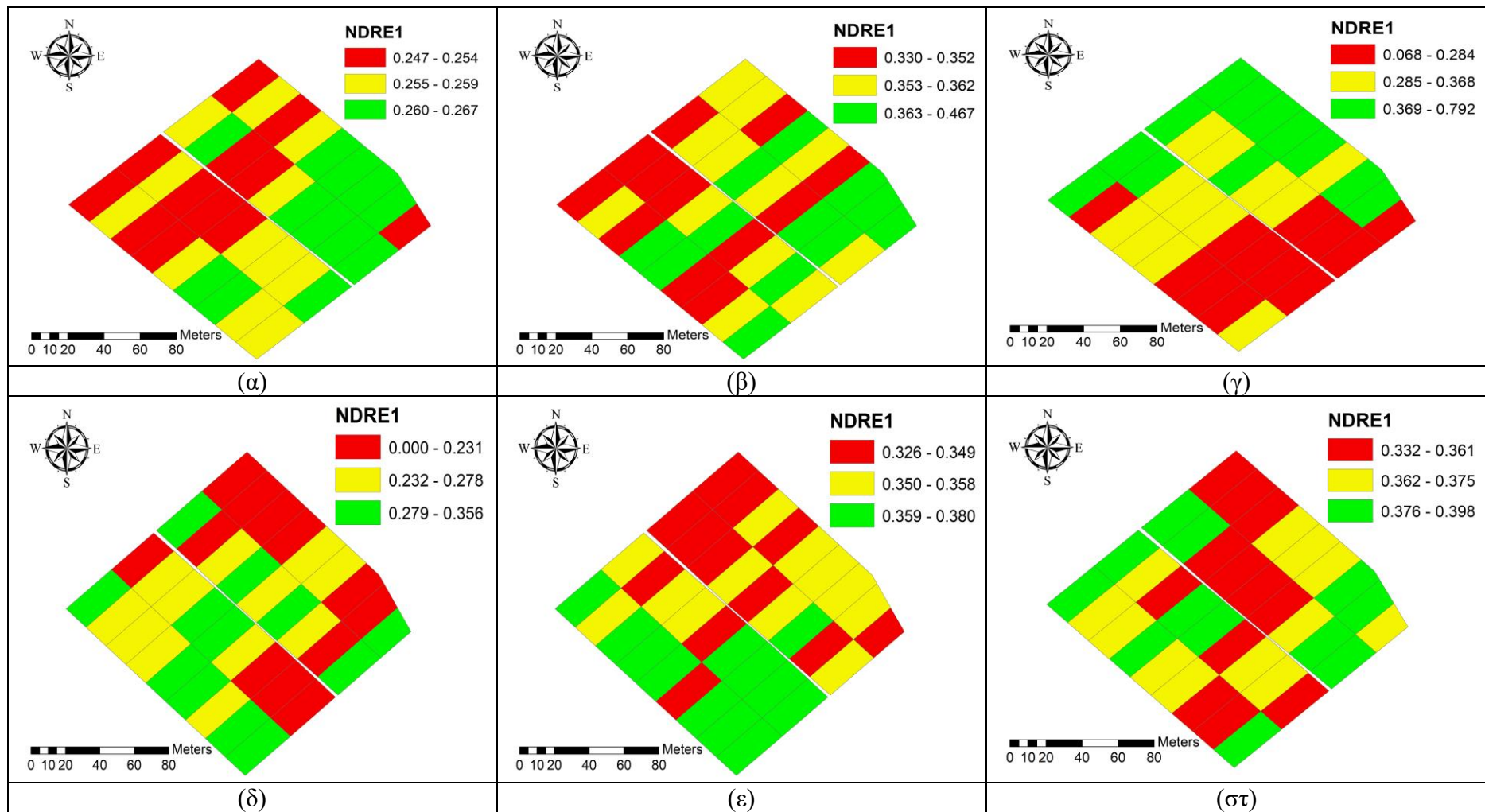
Εικόνα 39 Χωρική παραλλακτικότητα του δείκτη NDVI στο φαινολογικό στάδιο (α) BBCH 65, (β) BBCH 75, (γ) BBCH 79, (δ) BBCH 81, (ε) BBCH 85 και (στ) BBCH 89 (β) για το 2016.



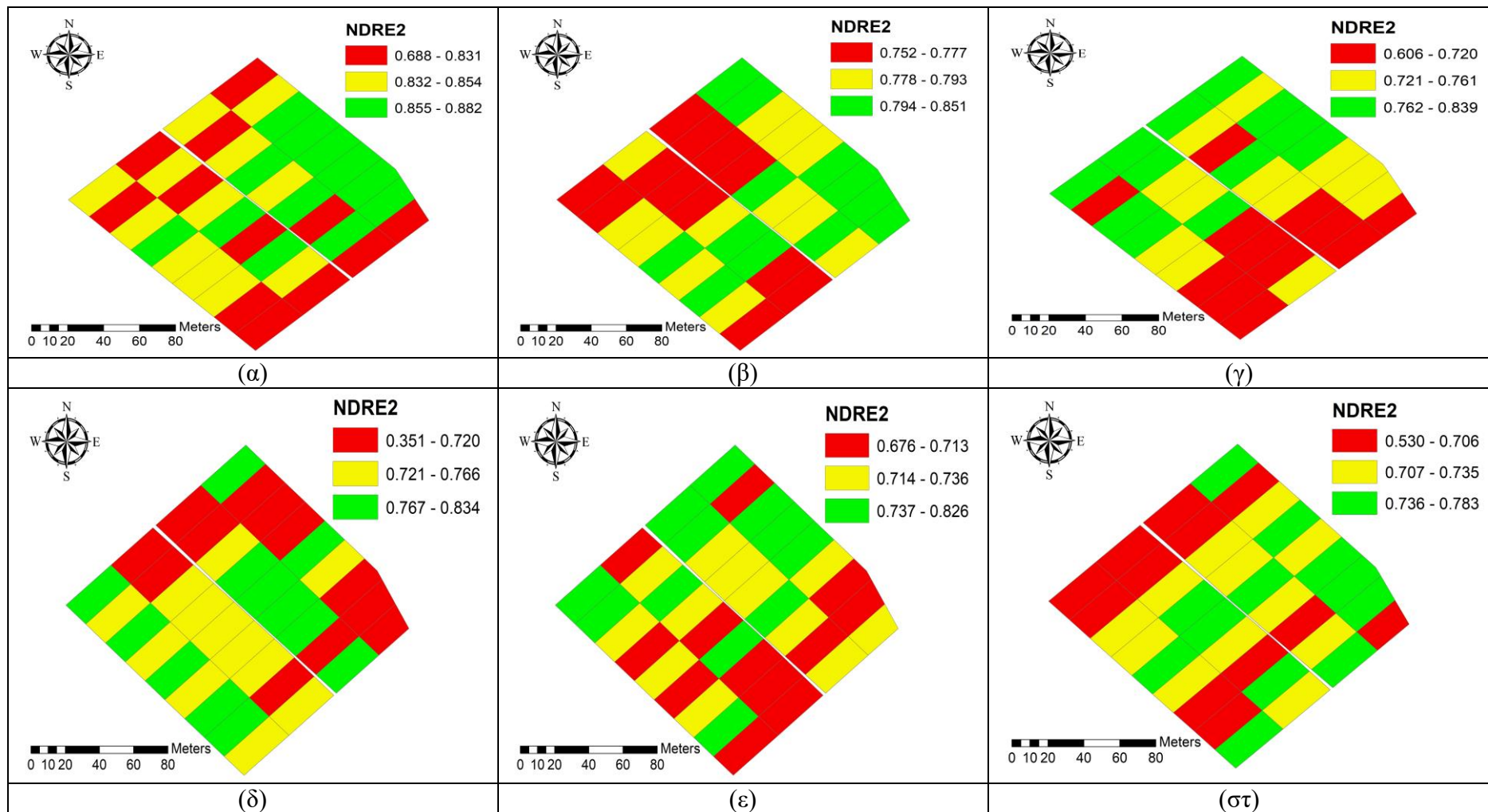
Εικόνα 40 Χωρική παραλλακτικότητα του δείκτη GNDVI1 στο φαινολογικό στάδιο (α) BBCH 65, (β) BBCH 75, (γ) BBCH 79, (δ) BBCH 81, (ε) BBCH 85 και (στ) BBCH 89 (β) για το 2016.



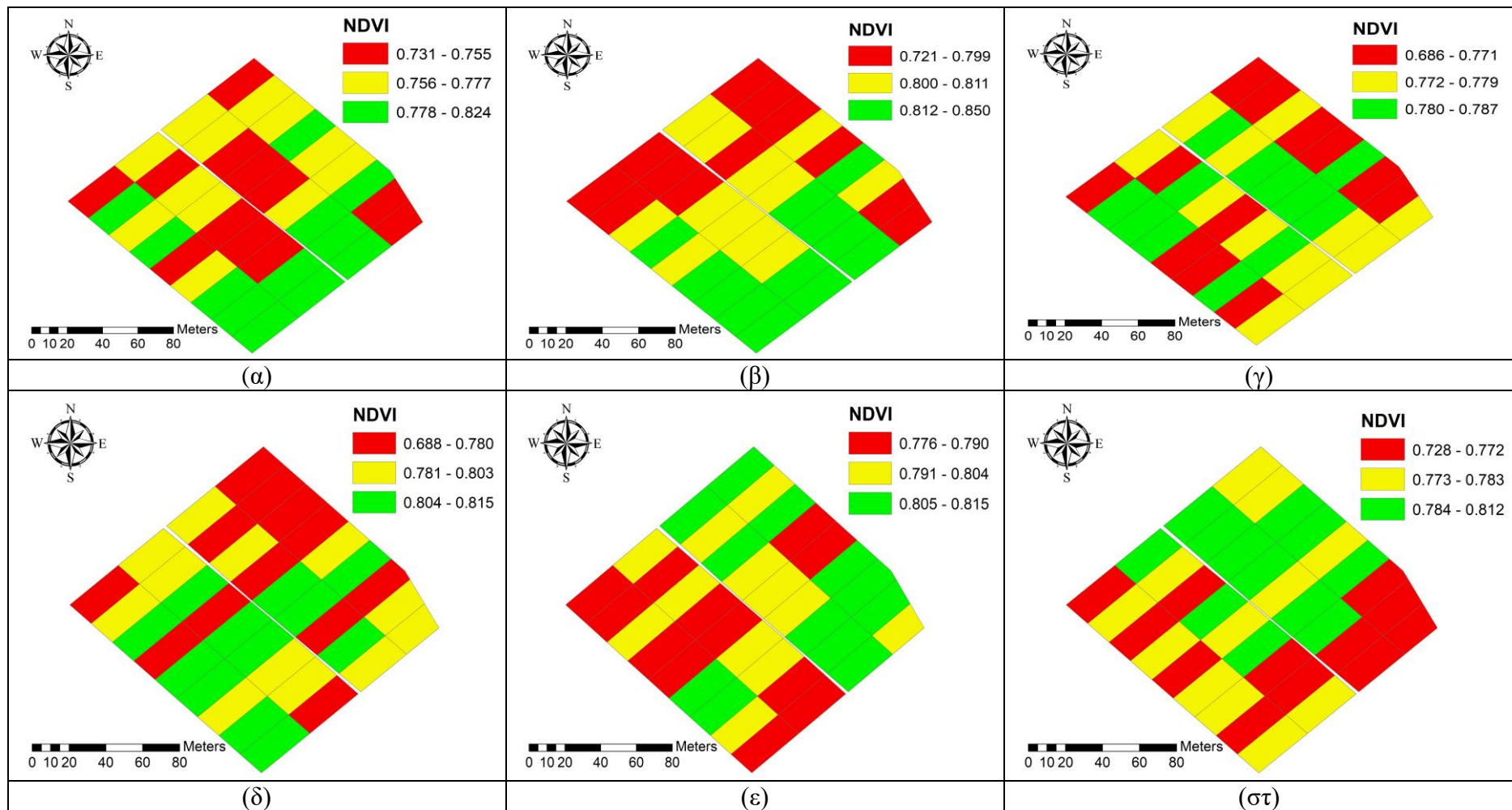
Εικόνα 41 Χωρική παραλλακτικότητα του δείκτη GNDVI2 στο φαινολογικό στάδιο (α) BBCH 65, (β) BBCH 75, (γ) BBCH 79, (δ) BBCH 81, (ε) BBCH 85 και (στ) BBCH 89 (β) για το 2016.



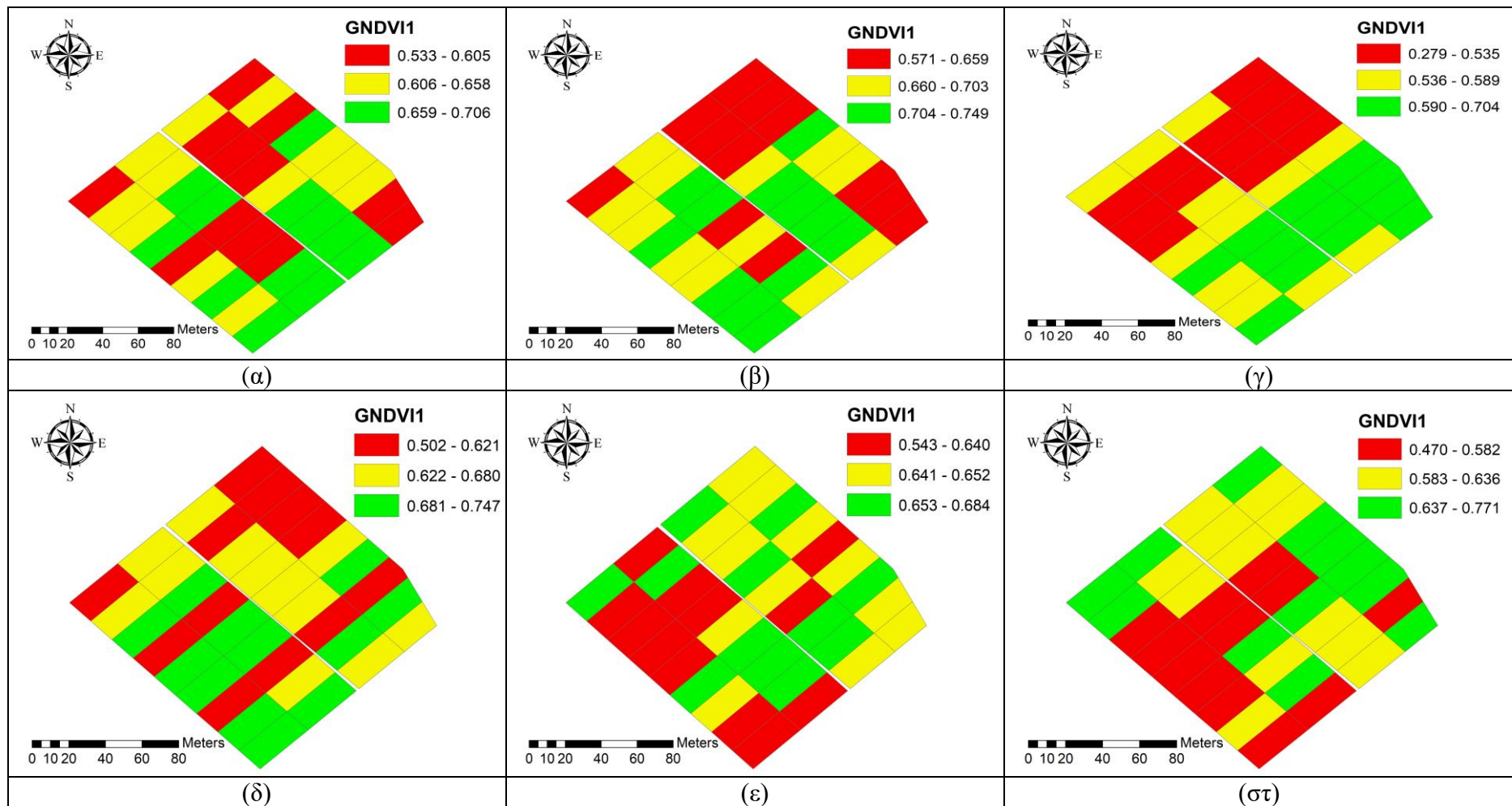
Εικόνα 42 Χωρική παραλλακτικότητα του δείκτη NDRE1 στο φαινολογικό στάδιο (α) BBCH 65, (β) BBCH 75, (γ) BBCH 79, (δ) BBCH 81, (ε) BBCH 85 και (στ) BBCH 89 (β) για το 2016.



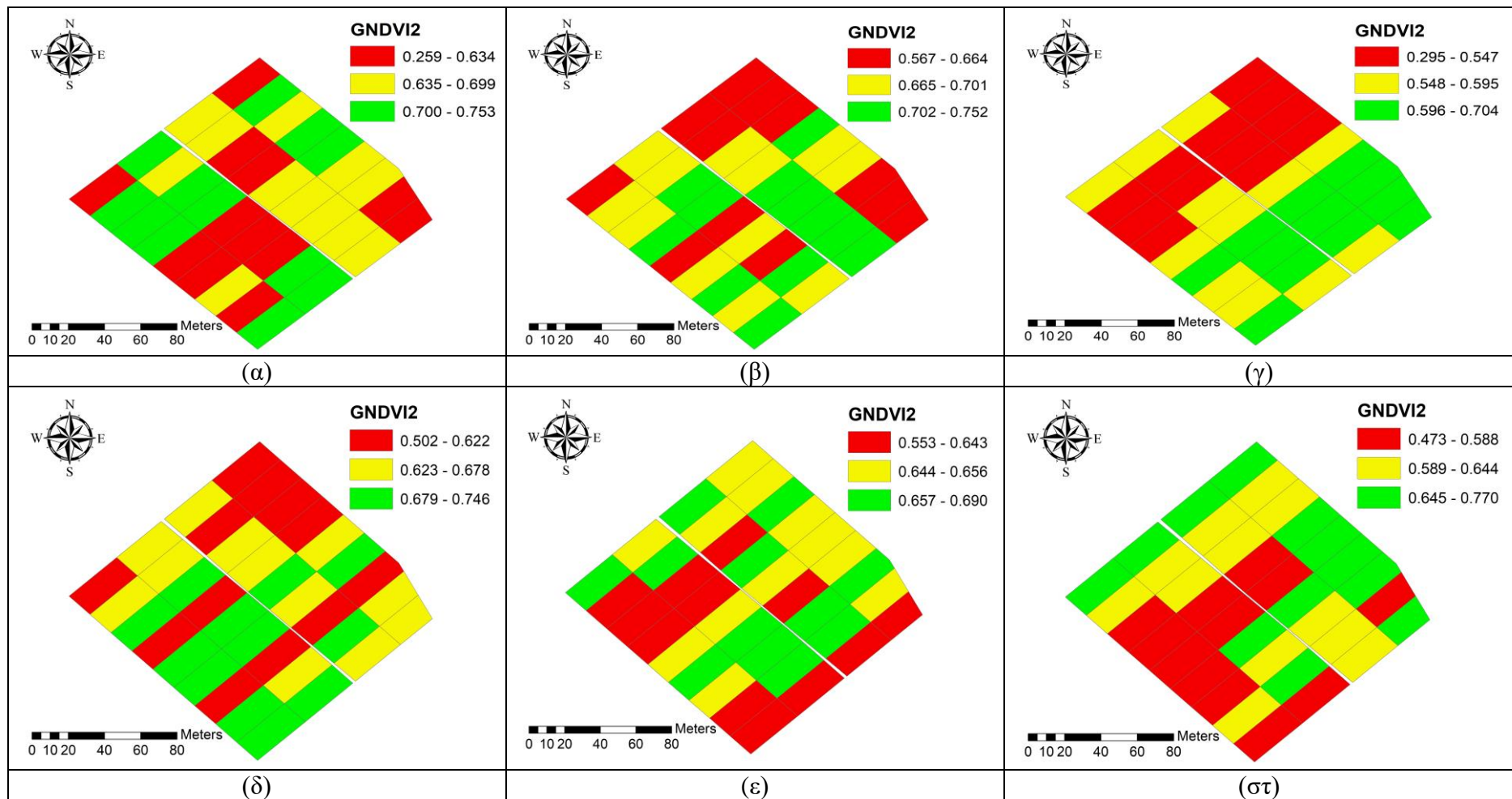
Εικόνα 43 Χωρική παραλλακτικότητα του δείκτη NDRE2 στο φαινολογικό στάδιο (α) BBCH 65, (β) BBCH 75, (γ) BBCH 79, (δ) BBCH 81, (ε) BBCH 85 και (στ) BBCH 89 (β) για το 2016.



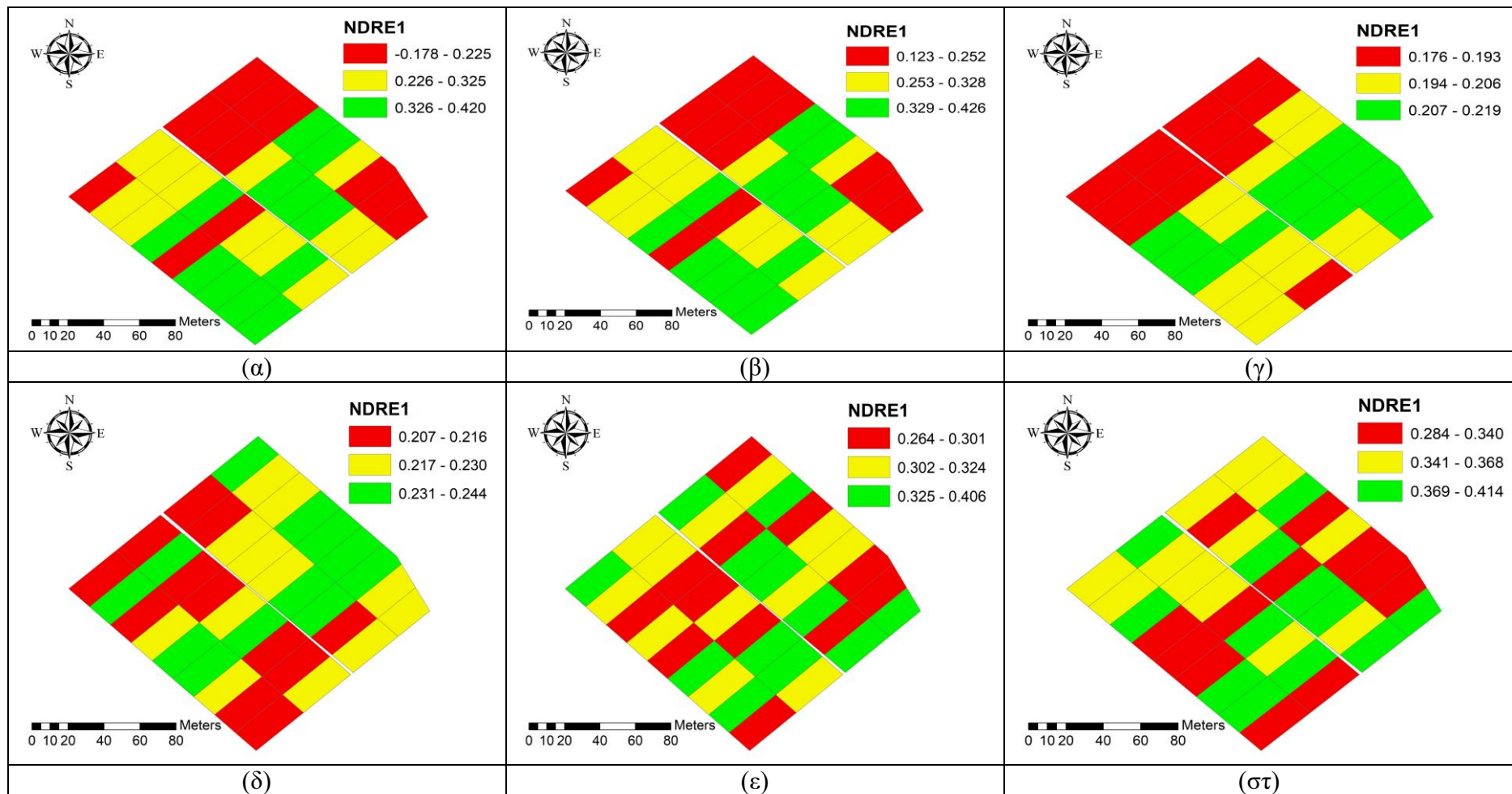
Εικόνα 44 Χωρική παραλλακτικότητα του δείκτη NDVI στο φαινολογικό στάδιο (α) BBCH 65, (β) BBCH 75, (γ) BBCH 79, (δ) BBCH 81, (ε) BBCH 85 και (στ) BBCH 89 (β) για το 2017.



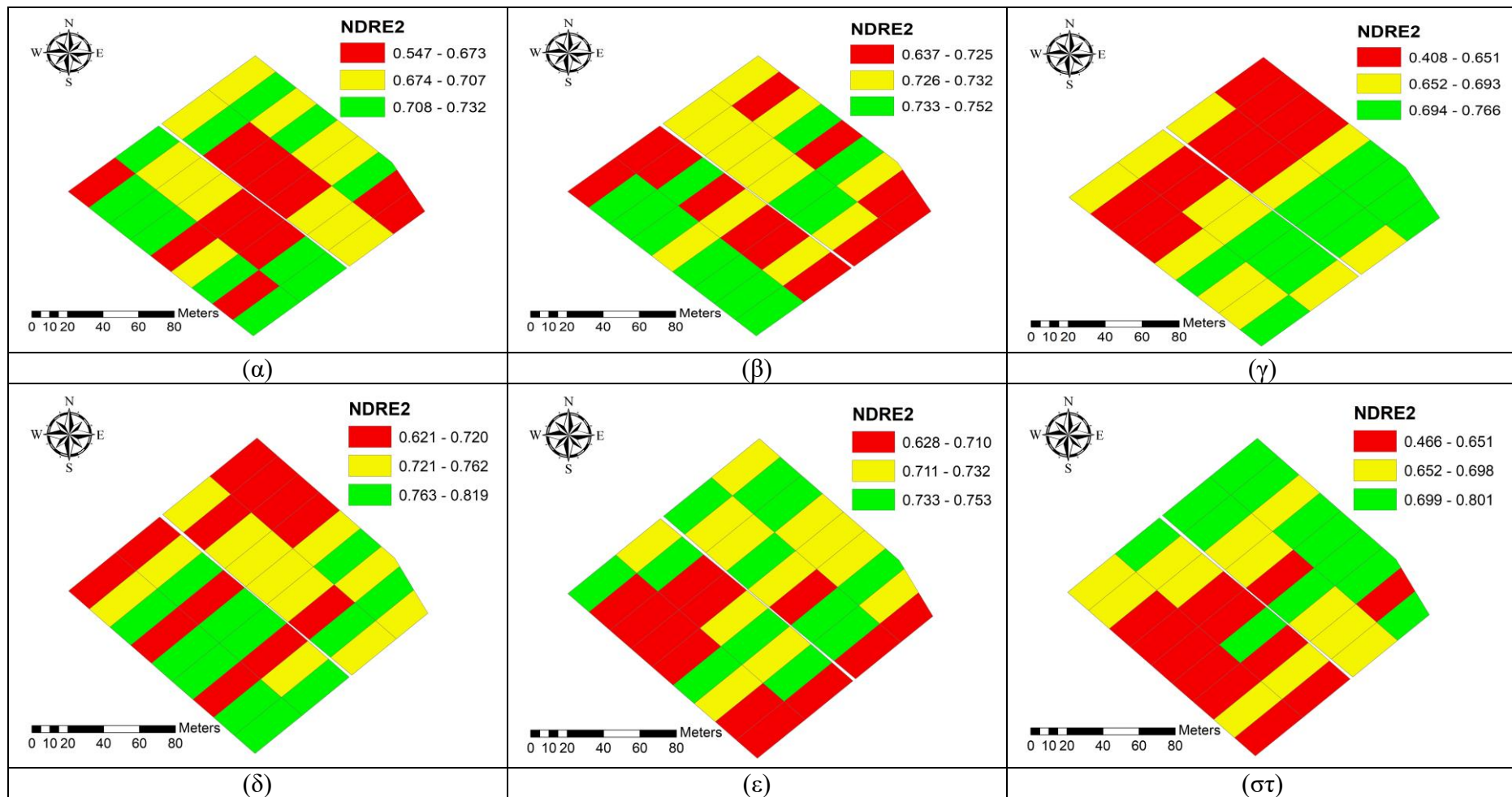
Εικόνα 45 Χωρική παραλλακτικότητα του δείκτη GNDVI1 στο φαινολογικό στάδιο (α) BBCH 65, (β) BBCH 75, (γ) BBCH 79, (δ) BBCH 81, (ε) BBCH 85 και (σ) BBCH 89 (β) για το 2017.



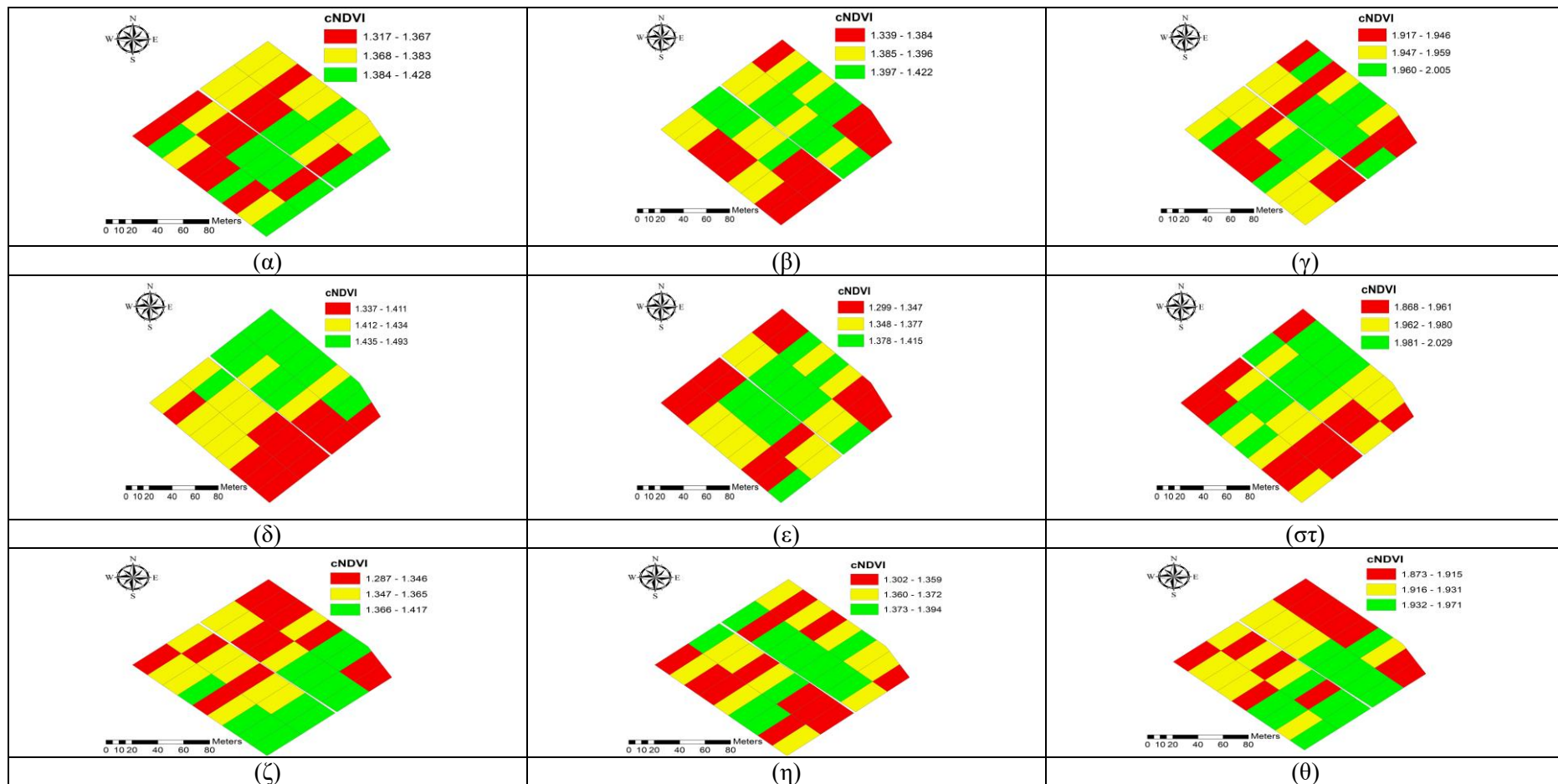
Εικόνα 46 Χωρική παραλλακτικότητα του δείκτη GNDVI2 στο φαινολογικό στάδιο (α) BBCH 65, (β) BBCH 75, (γ) BBCH 79, (δ) BBCH 81, (ε) BBCH 85 και (στ) BBCH 89 (β) για το 2017.



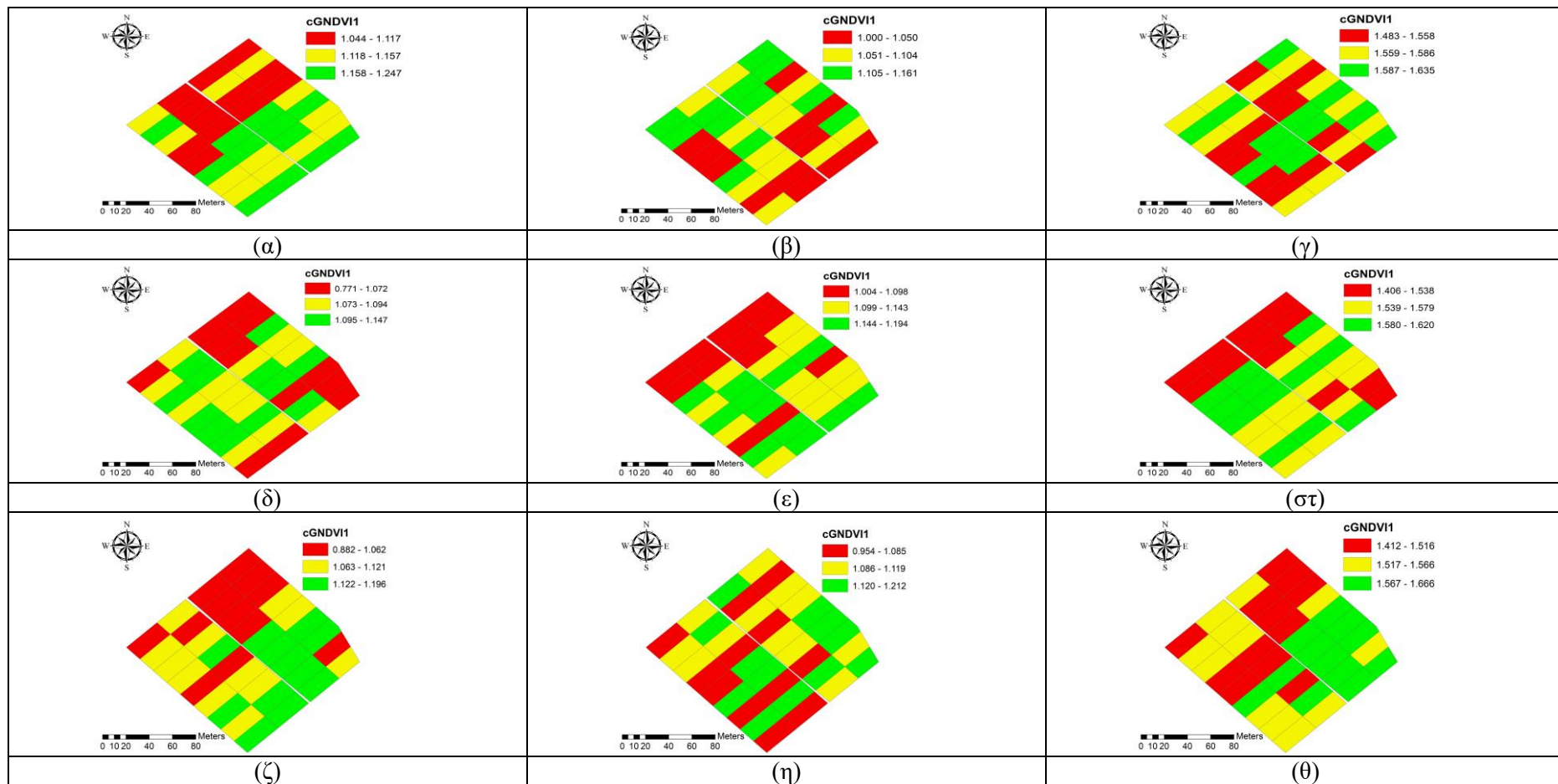
Εικόνα 47 Χωρική παραλλακτικότητα του δείκτη NDRE1 στο φαινολογικό στάδιο (α) BBCH 65, (β) BBCH 75, (γ) BBCH 79, (δ) BBCH 81, (ε) BBCH 85 και (στ) BBCH 89 (β) για το 2017.



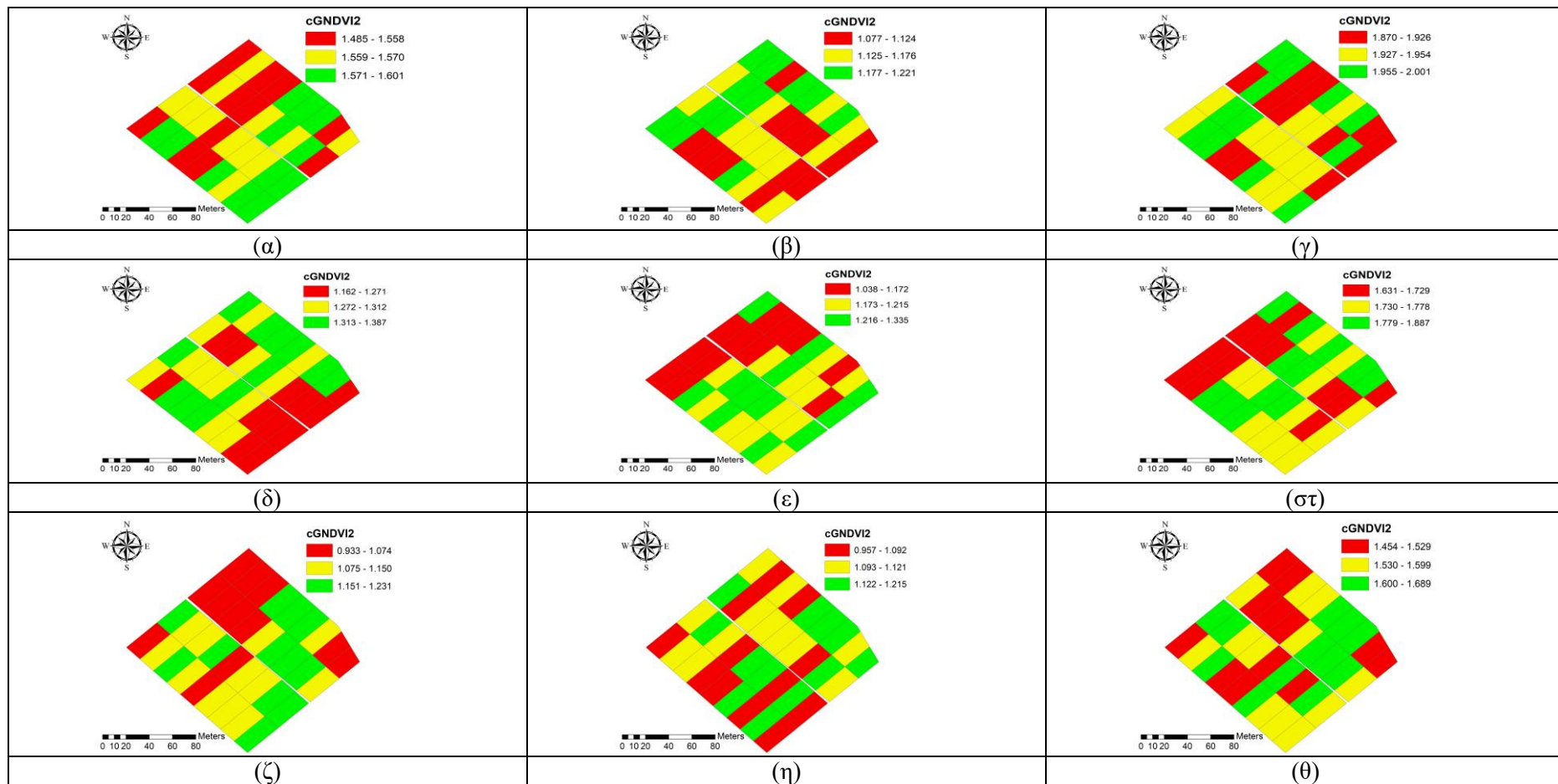
Εικόνα 48 Χωρική παραλλακτικότητα του δείκτη NDRE2 στο φαινολογικό στάδιο (α) BBCH 65, (β) BBCH 75, (γ) BBCH 79, (δ) BBCH 81, (ε) BBCH 85 και (σ) BBCH 89 (β) για το 2017.



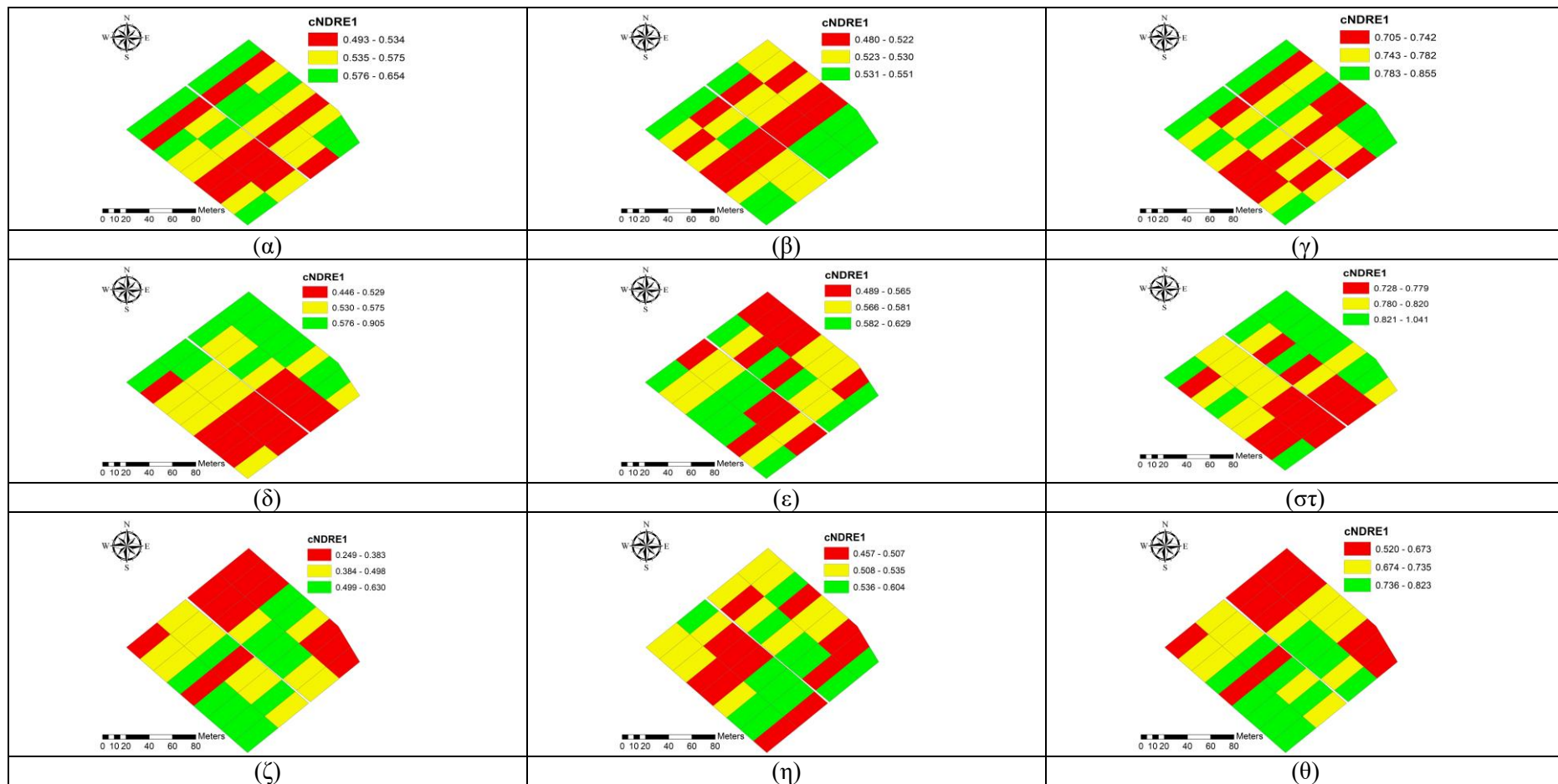
Εικόνα 49 Χωρική παραλλακτικότητα του σωρευτικού δείκτη NDVI για (α) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 65 έως BBCH 79 το 2015, (β) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 81 έως BBCH 89 το 2015, (γ) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 65 έως BBCH 89 το 2015, (δ) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 65 έως BBCH 79 το 2016, (ε) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 81 έως BBCH 89 το 2015, (στ) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 65 έως BBCH 89 το 2016, (ζ) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 65 έως BBCH 79 το 2017, (η) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 81 έως BBCH 89 το 2017, και (θ) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 65 έως BBCH 89 το 2017.



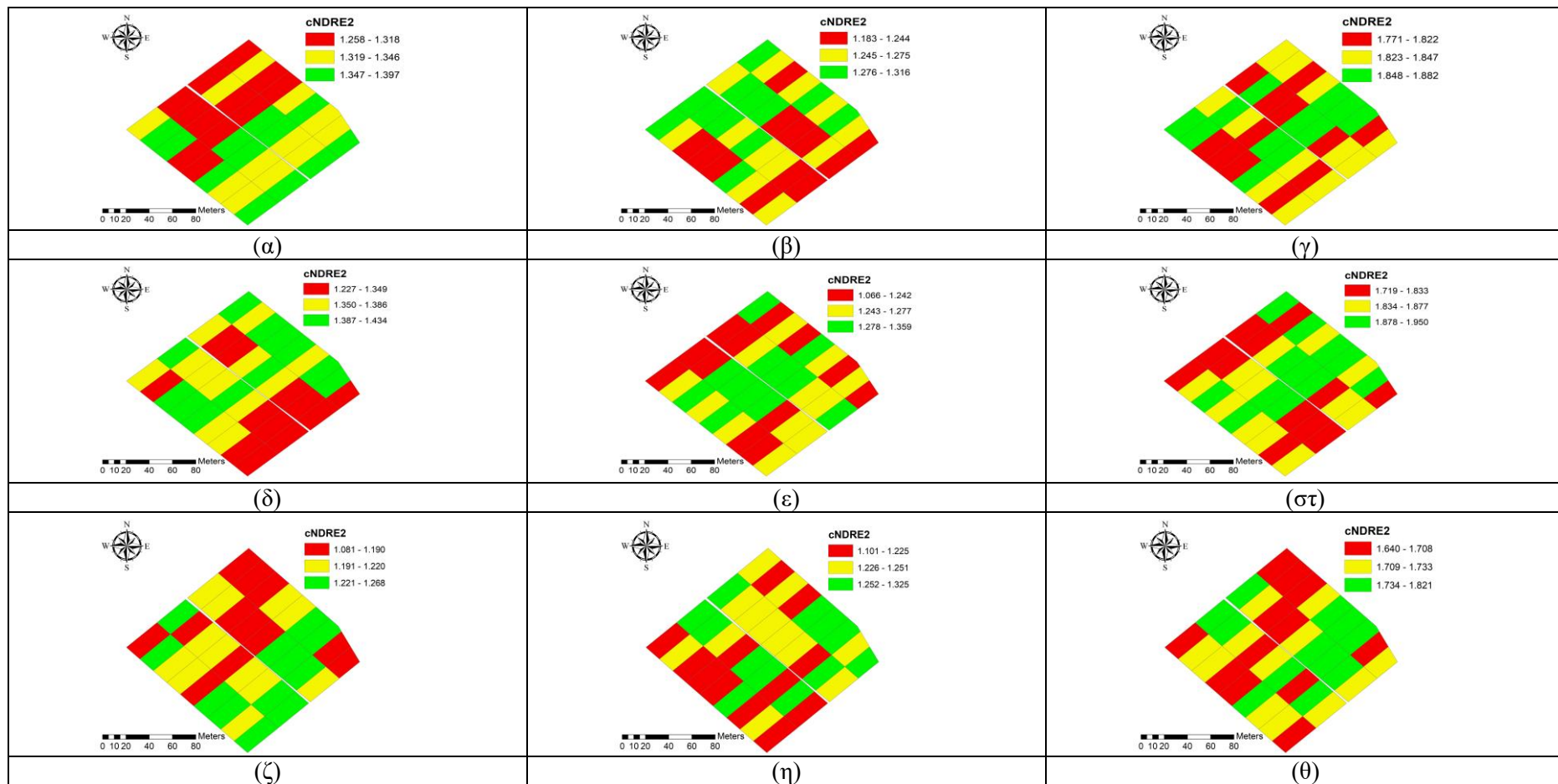
Εικόνα 50 Χωρική παραλλακτικότητα του σωρευτικού δείκτη GNDVI1 για (α) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 65 έως BBCH 79 το 2015, (β) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 81 έως BBCH 89 το 2015, (γ) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 65 έως BBCH 89 το 2015, (δ) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 65 έως BBCH 79 το 2016, (ε) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 81 έως BBCH 89 το 2015, (στ) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 65 έως BBCH 89 το 2016, (ζ) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 65 έως BBCH 79 το 2017, (η) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 81 έως BBCH 89 το 2017, και (θ) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 65 έως BBCH 89 το 2017.



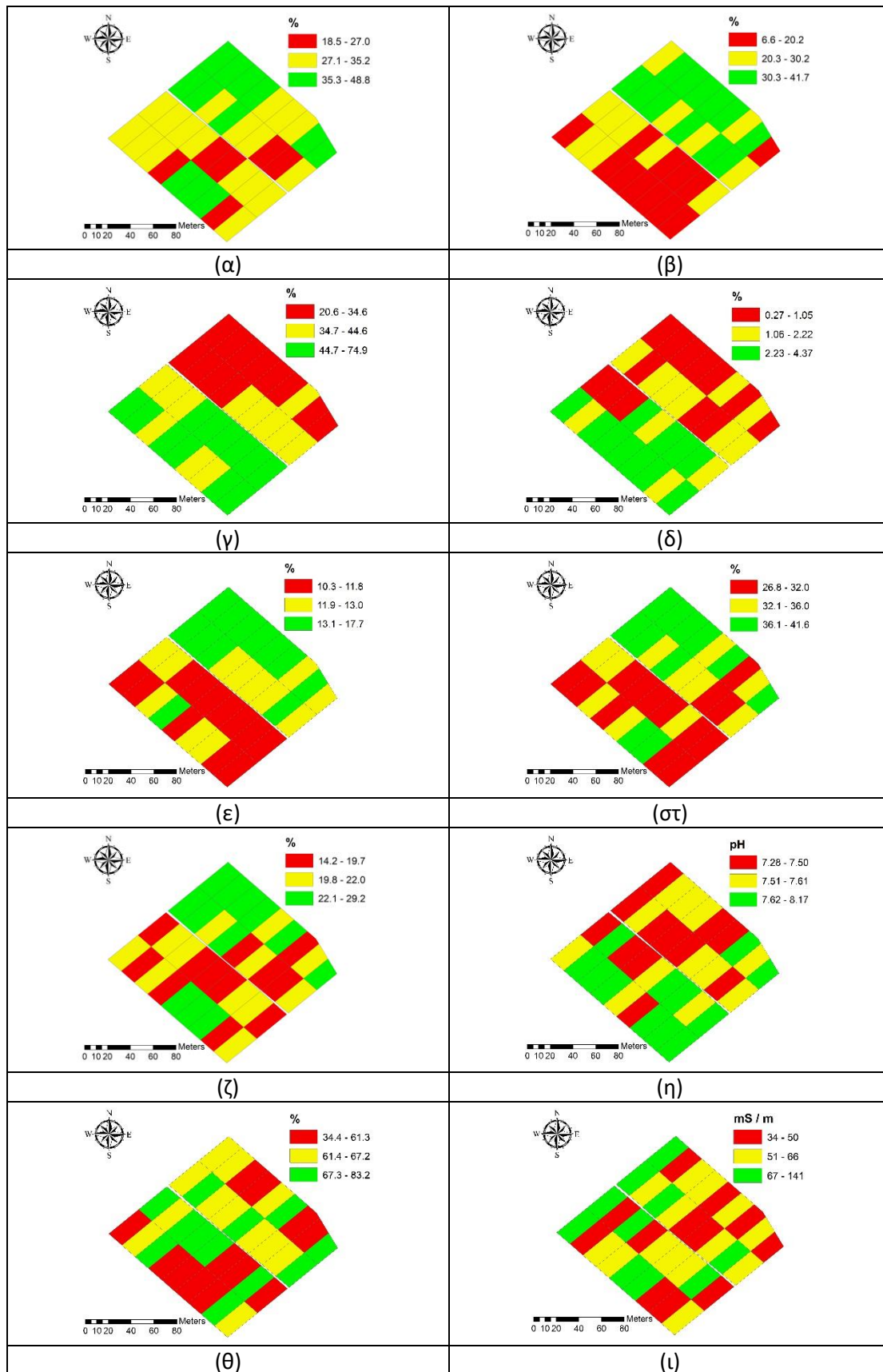
Εικόνα 51 Χωρική παραλλακτικότητα του σωρευτικού δείκτη GNDVI2 για (α) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 65 έως BBCH 79 το 2015, (β) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 81 έως BBCH 89 το 2015, (γ) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 65 έως BBCH 89 το 2015, (δ) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 65 έως BBCH 79 το 2016, (ε) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 81 έως BBCH 89 το 2015, (στ) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 65 έως BBCH 89 το 2016, (ζ) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 65 έως BBCH 79 το 2017, (η) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 81 έως BBCH 89 το 2017, και (θ) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 65 έως BBCH 89 το 2017.



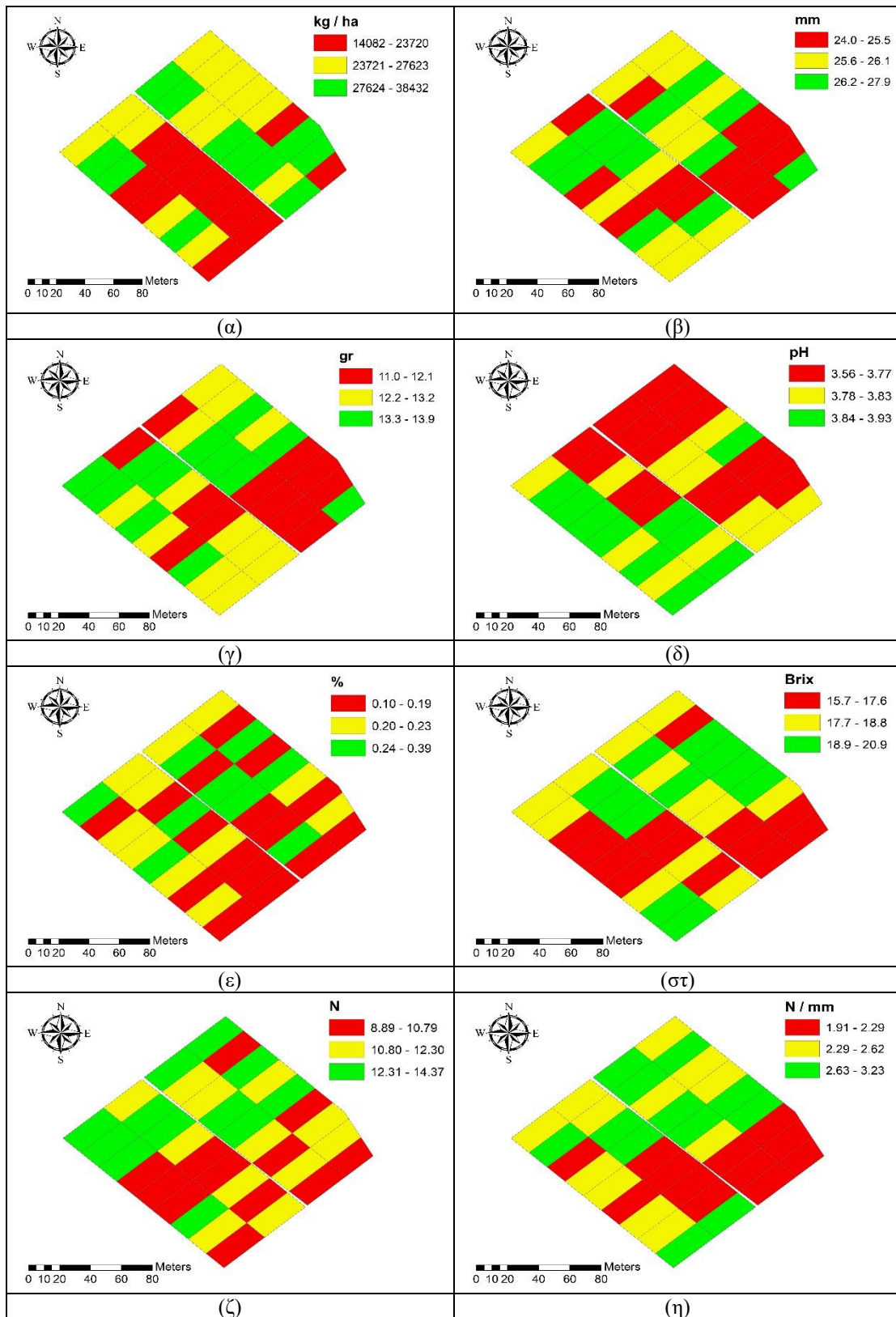
Εικόνα 52 Χωρική παραλλακτικότητα του σωρευτικού δείκτη NDRE1 για (α) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 65 έως BBCH 79 το 2015, (β) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 81 έως BBCH 89 το 2015, (γ) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 65 έως BBCH 89 το 2015, (δ) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 65 έως BBCH 79 το 2016, (ε) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 81 έως BBCH 89 το 2015, (στ) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 65 έως BBCH 89 το 2016, (ζ) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 65 έως BBCH 79 το 2017, (η) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 81 έως BBCH 89 το 2017, και (θ) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 65 έως BBCH 89 το 2017.



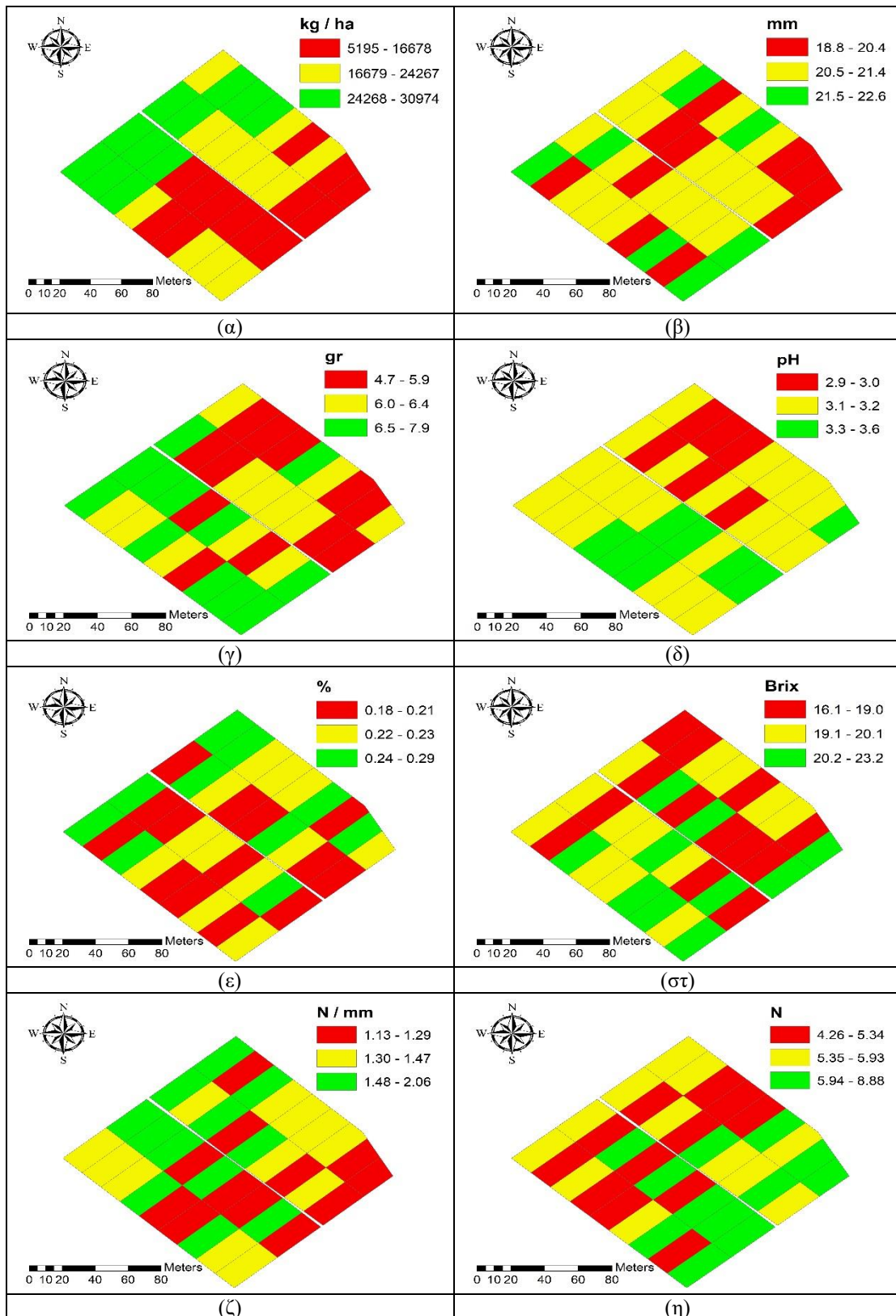
Εικόνα 53 Χωρική παραλλακτικότητα του σωρευτικού δείκτη NDRE2 για (α) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 65 έως BBCH 79 το 2015, (β) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 81 έως BBCH 89 το 2015, (γ) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 65 έως BBCH 89 το 2015, (δ) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 65 έως BBCH 79 το 2016, (ε) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 81 έως BBCH 89 το 2015, (στ) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 65 έως BBCH 89 το 2016, (ζ) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 65 έως BBCH 79 το 2017, (η) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 81 έως BBCH 89 το 2017, και (θ) τα φαινολογικά στάδια από BBCH 65 έως BBCH 89 το 2017.



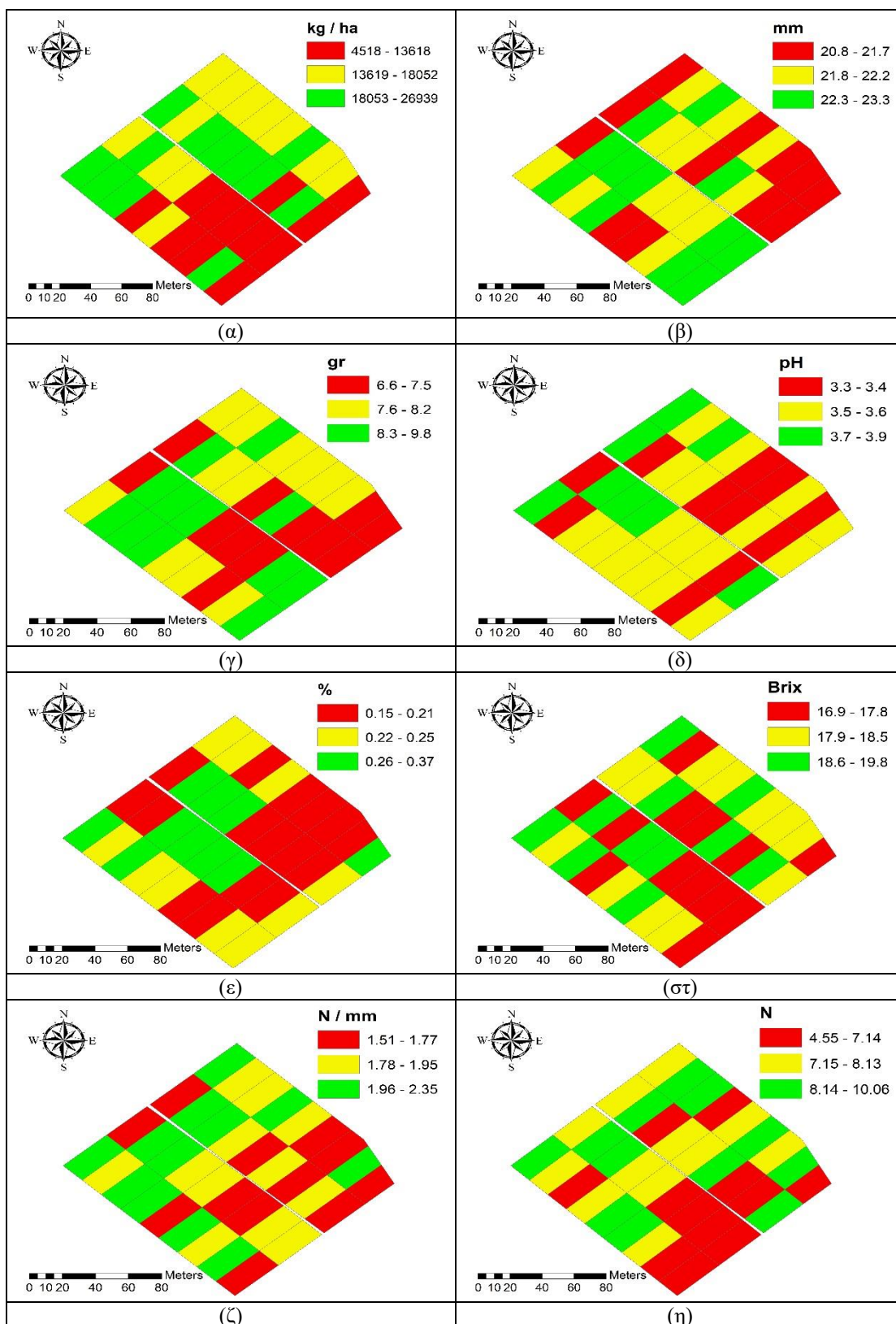
Εικόνα 54 Χωρική παραλλακτικότητα (α) αργίλου, (β) ιλύος, (γ) άμμου, (δ) οργανικής ουσίας, (ε) διαθέσιμης υγρασίας, (στ) υδατοϊκανότητας, (ζ) σημείου μόνιμης μάρανσης, (η) pH εδάφους, (θ) ανθρακικού ασβεστίου, και (ι) ηλεκτρικής αγωγιμότητας.



Εικόνα 55 Χωρική παραλλακτικότητα (α) της παραγωγής, (β) της διαμέτρους της ράγας, (γ) του βάρους της ράγας, (δ) του pH, (ε) της ολικής οξύτητας, (στ) των σακχάρων, (ζ) της δύναμης παραμόρφωσης της ράγας, και (η) της δύναμης αποκοπής της ράγας από τον ποδίσκο, για το 2015.

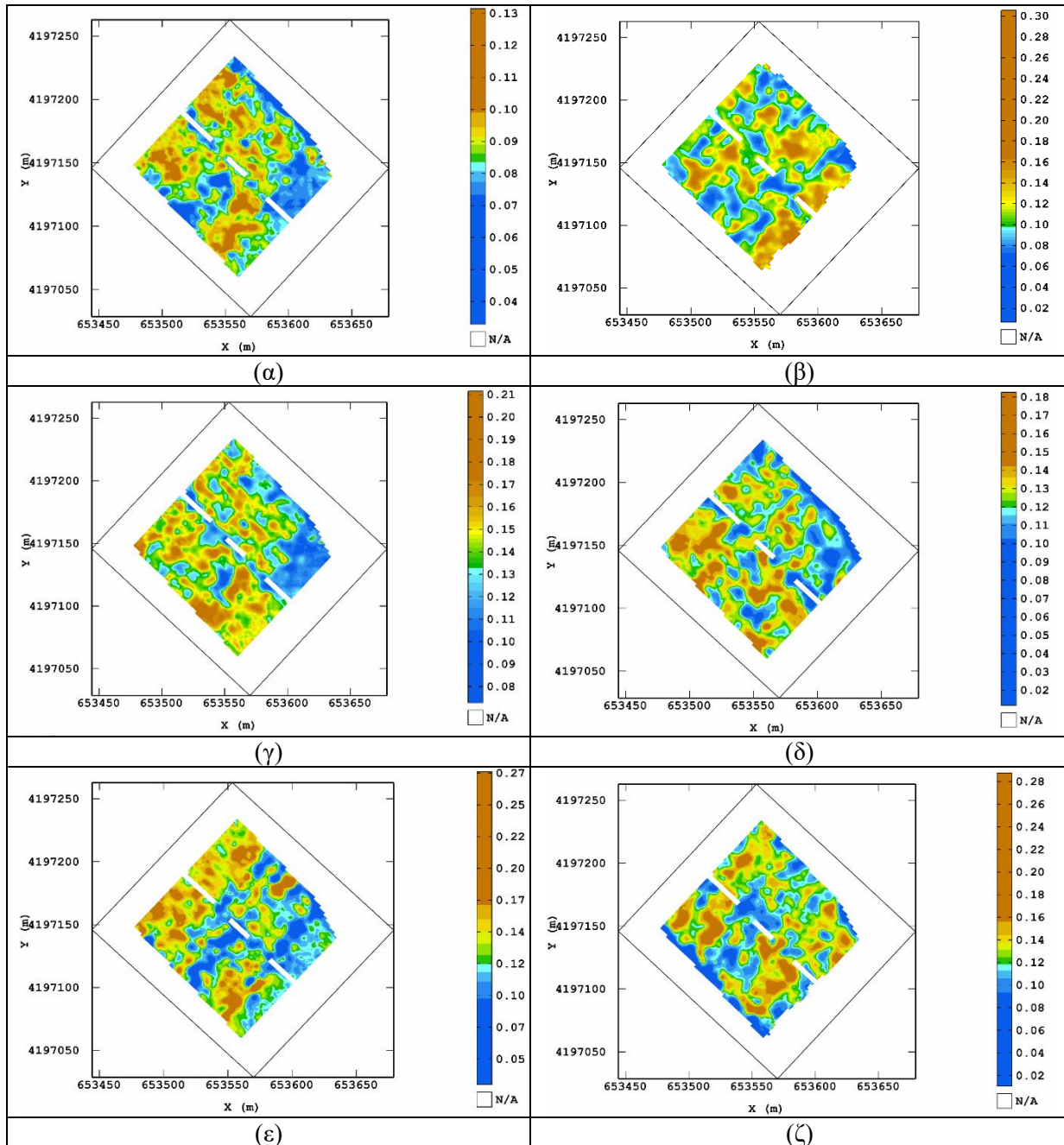


Εικόνα 56 Χωρική παραλλακτικότητα (α) της παραγωγής, (β) της διαμέτρου της ράγας, (γ) του βάρους της ράγας, (δ) του pH, (ε) της ολικής οξύτητας, (στ) των σακχάρων, (ζ) της δύναμης παραμόρφωσης της ράγας, και (η) της δύναμης αποκοπής της ράγας από τον ποδίσκο, για το 2016.

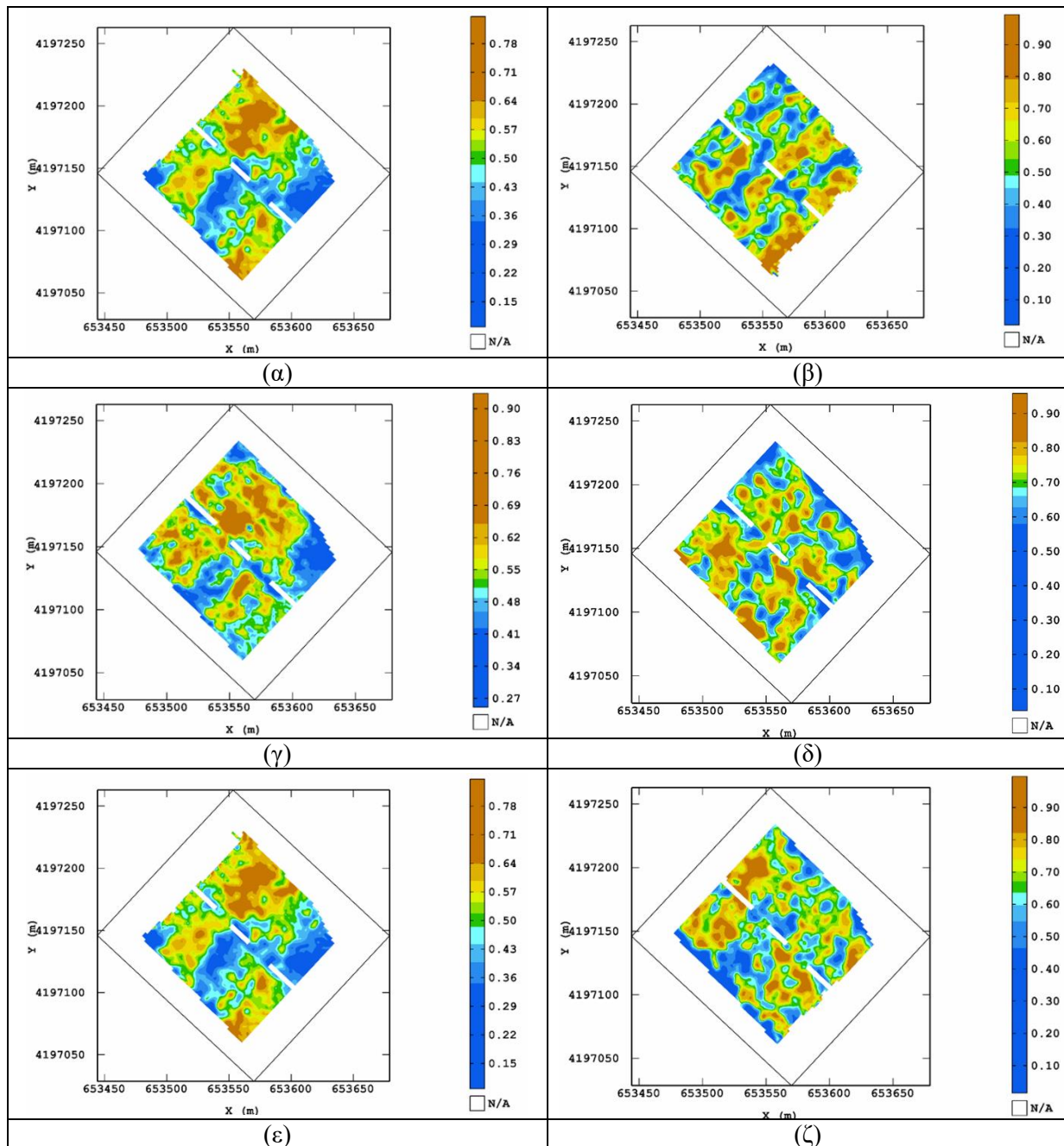


Εικόνα 57 Χωρική παραλλακτικότητα (α) της παραγωγής, (β) της διαμέτρου της ράγας, (γ) του βάρους της ράγας, (δ) του pH, (ε) της ολικής οξύτητας, (στ) των σακχάρων, (ζ) της δύναμης παραμόρφωσης της ράγας, και (η) της δύναμης αποκοπής της ράγας από τον ποδίσκο, για το 2017.

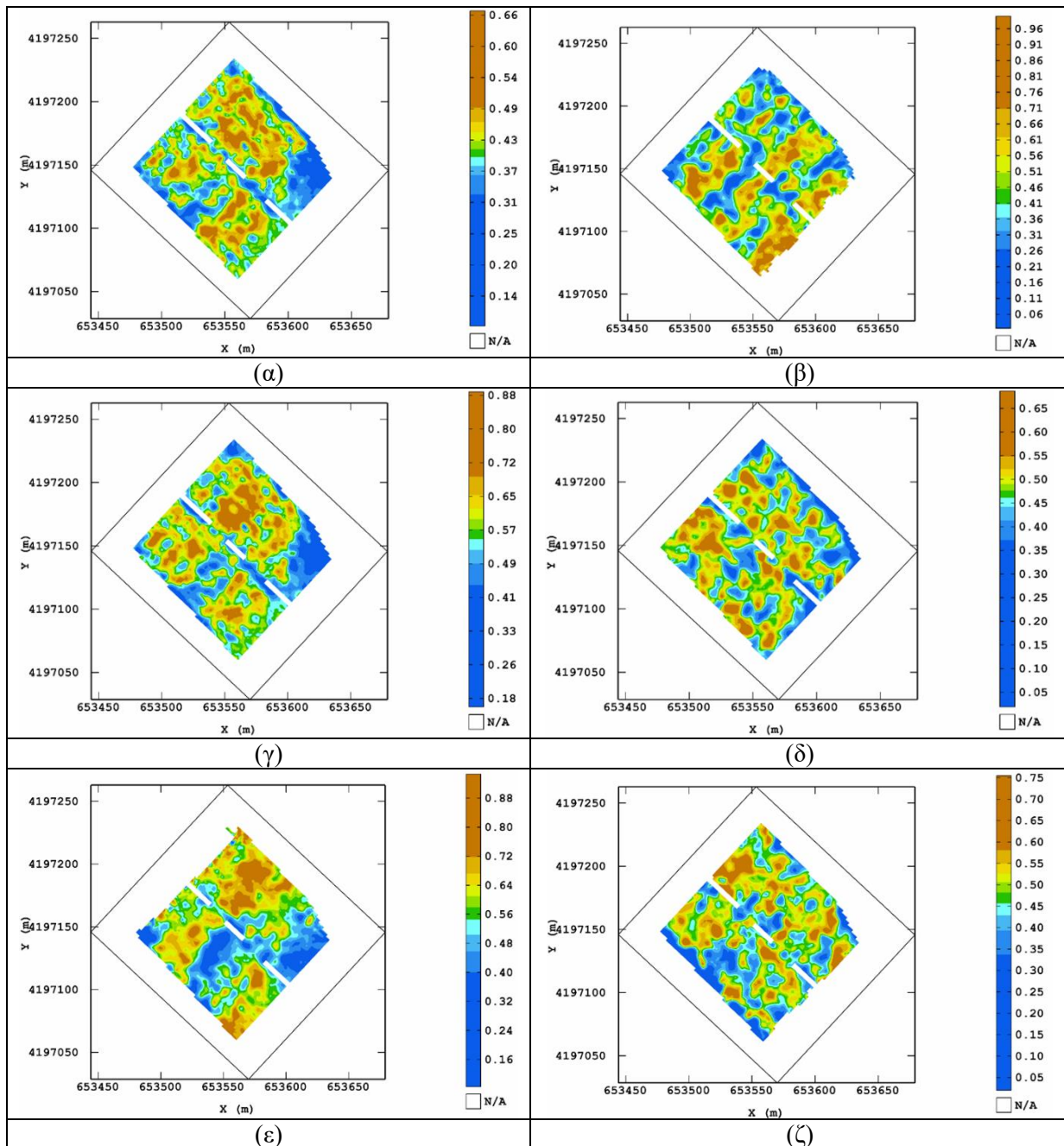
9.3 Χάρτες υψηλής χωρικής ανάλυσης



Εικόνα 58 Χάρτες φασματικών μετρήσεων στα 670 nm κατά (α) την έναρξη του περκασμού (BBCH-81) το 2016, (β) την έναρξη του περκασμού (BBCH-81) το 2017, (γ) την μέση του περκασμού (BBCH-85) το 2016, (δ) την μέση του περκασμού (BBCH-85) το 2017, (ε) την συγκομιδή (BBCH-89) το 2016, και (ζ) την συγκομιδή (BBCH-89) το 2017.



Εικόνα 59 Χάρτες φασματικών μετρήσεων στα 730 nm κατά (α) την έναρξη του περκασμού (BBCH-81) το 2016, (β) την έναρξη του περκασμού (BBCH-81) το 2017, (γ) την μέση του περκασμού (BBCH-85) το 2016, (δ) την μέση του περκασμού (BBCH-85) το 2017, (ε) την συγκομιδή (BBCH-89) το 2016, και (ζ) την συγκομιδή (BBCH-89) το 2017.



Εικόνα 60 Χάρτες φασματικών μετρήσεων στα 760 nm κατά (α) την έναρξη του περκασμού (BBCH-81) το 2016, (β) την έναρξη του περκασμού (BBCH-81) το 2017, (γ) την μέση του περκασμού (BBCH-85) το 2016, (δ) την μέση του περκασμού (BBCH-85) το 2017, (ε) την συγκομιδή (BBCH-89) το 2016, και (ζ) την συγκομιδή (BBCH-89) το 2017.