



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

Τμήμα Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ  
ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ σε σύμπραξη με  
το ΤΜΗΜΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ του Τ.Ε.Ι. ΧΑΛΚΙΔΑΣ

"Αυτοματισμοί στις Αρδεύσεις, στις Γεωργικές Κατασκευές και στην Εκμηχάνιση  
της Γεωργίας"

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

“Ανάλυση παραλλακτικότητας φυσιολογικών χαρακτηριστικών αμπελιού με την  
βοήθεια της γεωργίας ακριβείας”

“Variance analysis of physiological characteristics in vineyard using precision  
agriculture”

Τσιανόπουλος Γρηγόριος

Γεωπόνος Γ.Π.Α.

Επιβλέπων Καθηγητής : Δρ. Θεοφάνης Γέμτος

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Μάιος 2016

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

Τμήμα Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ  
ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ σε σύμπραξη με  
το ΤΜΗΜΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ του Τ.Ε.Ι. ΧΑΛΚΙΔΑΣ

"Αυτοματισμοί στις Αρδεύσεις, στις Γεωργικές Κατασκευές και στην Εκμηχάνιση  
της Γεωργίας"

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

“Ανάλυση παραλλακτικότητας φυσιολογικών χαρακτηριστικών αμπελιού με την  
βοήθεια της γεωργίας ακριβείας”

“Analysis of variance of physiological characteristics of vineyard with the help of  
precision agriculture”

Τσιανόπουλος Γρηγόριος

Γεωπόνος Γ.Π.Α.

Επιβλέπων Καθηγητής : Δρ. Θεοφάνης Γέμτος

Εξεταστική Επιτροπή :

- Θεοφάνης Γέμτος , Καθηγητής Π.Θ., επιβλέπων της ΜΔΕ
- Σπύρος Φουντάς, Επικ. Καθηγητής Γ.Π.Α.
- Στέφανος Κουνδουράς, Επικ. Καθηγητής Αμπελουργίας Α.Π.Θ.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Μάιος 2016

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω ευχαριστίες πρωτίστως στον Επίκουρο Καθηγητή κ. Σπύρο Φουντά, στον Επίκουρο Καθηγητή Αμπελουργίας του Α.Π.Θ. κ. Στέφανο Κουνδουρά και στον Καθηγητή κ. Θεοφάνη Γέμτο για την πολύτιμη βοήθεια τους ώστε να τελειώσω τη παρούσα εργασία, για την στήριξη τους στην δύσκολη προσπάθεια μου και την κατανόηση που έδειξαν στα προβλήματά και τις αδυναμίες μου, χωρίς την οποία δεν θα ήμουν σε θέση να περατώσω τις μεταπτυχιακές μου σπουδές.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους διδακτορικούς φοιτητές Άρη Ταγαράκη και Νικόλαο Θεοδώρου για τη βοήθεια και υποστήριξη που είχα κατά την διάρκεια της συγγραφής της παρούσης μεταπτυχιακής μελέτης, τον Κο Πανταζή Γεώργιο, Επίκουρο Καθηγητή του Εργαστηρίου Γενικής και Γεωργικής Υδραυλικής και Βελτιώσεων του Τομέα Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής του Α.Π.Θ., για την παραχώρηση ορισμένων πειραματικών μετρήσεων καθώς και τον κύριο Γεροβασιλείου για το κτήμα που προσέφερε.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Κο Μενεξέ Γεώργιο, Επίκουρο Καθηγητή Βιομετρίας και Γεωργικού Πειραματισμού του Α.Π.Θ. για την πολύτιμη βοήθεια του στην στατιστική επεξεργασία των δεδομένων και την καλή μου φίλη Σταματίνα Τριβιζάκη για την εμπύχωση και τελική διόρθωση του κειμένου.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω ολόψυχα τους δικούς μου ανθρώπους, την οικογένεια μου, την σύζυγό μου για την ανεξάντλητη υπομονή της και **μια μεγάλη συγνώμη στον μικρό μου Βασίλη για τον χρόνο που δεν του αφιέρωσα**. Υπόσχομαι όμως ότι θα προσπαθήσω να επανορθώσω.

Με αυτήν την εργασία κλείνει ο πρώτος κύκλος των γνώσεων που απέκτησα από την παρακολούθηση του προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος σε σύμπραξη με το Τμήμα Αυτοματισμού του Τ.Ε.Ι. της Χαλκίδας "Αυτοματισμοί στις Αρδεύσεις, στις Γεωργικές Κατασκευές και στην Εκμηχάνιση της Γεωργίας". Ένα Μεταπτυχιακό που διεύρυνε κατά πολύ τους ορίζοντές μου και με έφερε σε επαφή με πάρα πολλά αντικείμενα γεωπονικού ενδιαφέροντος τα οποία μέχρι τότε παρά την 12ετή εργασιακή εμπειρία μου αγνοούσα παντελώς. Σε κάθε μάθημα που

παρακολουθούσα, μάθαινα και κάτι καινούργιο που με βοήθησε να ανεβάσω το επίπεδό μου και παράλληλα να ανεβάσω το επίπεδο της δουλειάς μου.

Τελειώνοντας την παρούσα αρχίζει ο δεύτερος κύκλος. Έχοντας τις βάσεις, πρέπει όλα όσα έμαθα, να τα προσαρμόσω στις απαιτήσεις της δουλειάς μου και να προσπαθήσω να τα μεταφέρω στους αγρότες προσφέροντας ένα μικρό λιθαράκι σε αυτό που λέγεται Σύγχρονη Επαγγελματική Γεωργική Εκπαίδευση και Κατάρτιση.

Ιούνιος 2016

Στη Στεφανία και στο μικρό Βασίλη,  
για τις ώρες που ήμουν μακριά τους.

## Περιεχόμενα

|   |    |
|---|----|
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....   | 5  |
| ABSTRACT.....   | 6  |
| ΜΕΡΟΣ Α– ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ .....                                     | 8  |
| Κεφάλαιο 1. Αμπέλι .....  | 9  |
| 1.1 Γενικά για την άμπελο .....   | 9  |
| 1.2 Ιστορικά στοιχεία για την άμπελο .....                                  | 9  |
| 1.3 Συστηματική κατάταξη της αμπέλου.....                                   | 10 |
| 1.4 Γενικές απαιτήσεις της καλλιέργειας της αμπέλου .....                   | 11 |
| 1.5 Εδαφολογικές απαιτήσεις.....  | 11 |
| 1.6 Κυριότερα θρεπτικά στοιχεία που απαιτεί η καλλιέργεια της αμπέλου ..... | 16 |
| 1.7 Λίπανση.....  | 21 |
| 1.8 Άρδευση .....   | 21 |
| 1.9 Εχθροί – ασθένειες.....   | 22 |
| 1.10 Ποικιλίες.....   | 26 |
| 1.11 Παραγωγή και παράγοντες που την επηρεάζουν.....                        | 27 |
| 1.12 Ποιοτικά χαρακτηριστικά .....  | 30 |
| 1.13 Σύσταση ώριμου καρπού.....   | 31 |
| Κεφάλαιο 2. Γεωργία Ακριβείας.....  | 33 |
| 2.1 Γενικά για την Γεωργία Ακριβείας (PrecisionAgriculture) .....           | 33 |
| 2.2 Ιστορικά.....   | 34 |
| 2.3 Τεχνολογίες Γεωργίας Ακριβείας .....                                    | 35 |
| 2.3 Εφαρμογές σε καλλιέργειες υψηλής οικονομικής αξίας.....                 | 37 |
| 2.4 Χρήση Αισθητήρων .....  | 39 |
| 2.5 Αμπελουργία Ακριβείας.....  | 40 |
| 2.6 Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης – NDVI .....                        | 48 |
| ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ .....  | 52 |
| ΜΕΡΟΣ Β – ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....  | 53 |
| Κεφάλαιο 4. Υλικά και Μέθοδοι .....   | 54 |
| 4.1 Πειραματικός σχεδιασμός.....  | 54 |
| 4.2 Υλικά.....  | 59 |
| 4.3 Στατιστική επεξεργασία .....  | 64 |
| Κεφάλαιο 5. Αποτελέσματα και συζήτηση .....                                 | 66 |
| 5.1 Χωρική παραλλακτικότητα εδάφους.....                                    | 66 |
| 5.2 Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης – NDVI .....                        | 67 |
| Κεφάλαιο 6. Συμπεράσματα – Μελλοντική εργασία.....                          | 81 |
| Παράρτημα Πινάκων .....   | 84 |
| Παράρτημα Γραφημάτων .....  | 85 |
| Βιβλιογραφία .....  | 86 |



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή αναλύει την παραλλακτικότητα των φυσιολογικών χαρακτηριστικών αμπελιού με την βοήθεια της γεωργίας ακριβείας σε διαφορετικά επίπεδα άρδευσης κατόπιν πειραματικής εφαρμογής σε παραγωγικό αμπελώνα στην Επανομή Θεσσαλονίκης. Η μελέτη εξετάζει τη συμβολή της γεωργίας ακριβείας στην ποσότητα και στην ποιότητα του παραγόμενου οίνου σε διαφορετικά επίπεδα άρδευσης με απώτερο στόχο την ορθολογική χρήση των υδάτινων πόρων.

Συγκεκριμένα, κατά το έτος 2012, μελετήθηκε η συσχέτιση των τιμών του δείκτη NDVI με το υδατικό δυναμικό. Η συσχέτιση των τιμών του δείκτη NDVI με το υδατικό δυναμικό μελετήθηκε σε τρία διαφορετικά επίπεδα άρδευσης : α) άρδευση στο 100% της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας ETc (F), β) άρδευση στο 50% της εξατμισοδιαπνοής ETc (D) και γ) απουσία άρδευσης (N) τα οποία χωρίστηκαν σε τέσσερα (4) block. Πραγματοποιήθηκαν τρεις (3) μετρήσεις του δείκτη NDVI στη διάρκεια του καλοκαιριού και επτά (7) μετρήσεις υδατικού δυναμικού φύλλου (ΨL), με την χρήση θαλάμου πίεσης σε τρία (3) ώριμα φύλλα ανά πειραματική μονάδα (block), κατά τις βραδινές ώρες, πριν την ανατολή του ηλίου με θάλαμο πίεσης. Από τη στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων και ανάλυση των αποτελεσμάτων φάνηκε ότι υπάρχει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ του δείκτη NDVI και του Υδατικού Δυναμικού.

Ο δείκτης NDVI μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα σημαντικό εργαλείο στην αμπελουργία ακριβείας και να μας δείχνει την υδατική καταπόνηση του φυτού της αμπέλου και τότε αυτό πρέπει να αρδεύεται με απώτερο σκοπό την ορθολογική χρήση των υδάτινων πόρων.

## **ABSTRACT**

Current thesis analyzes the variability of typical vineyard characteristics by applying precision agriculture in different irrigation levels on experimentation in productive vineyard in Epanomi Thessaloniki. The study examines the contribution of precision agriculture in the quantity and quality of the wine produced in different irrigation levels with a view to rational use of water resources.

Specifically, in year 2012, the correlation of the index NDVI values with the water potential was examined. The correlation of the index values NDVI with water potential was studied in three different irrigation levels: a) sprinkling 100% evapotranspiration culture ETc (F), b) irrigation 50% evapotranspiration ETc (D) and c) irrigation absence (N) that were divided into four (4) block. Three (3) measurements of NDVI index were taken during summer and seven (7) aqueous leaf potential measurements (PSL), using pressure chamber in three (3) mature leaves per experimental unit (block), in the evening, before sunrise in pressure chamber. The statistical analysis of the measurements and analysis of the results showed a strong correlation between the NDVI index and Water Resources.

NDVI index can be used as an important tool in precision viticulture as it is related to water stress effect of vine plants and indicates the timeframe of irrigation with a view to rational use of water resources.



# ΜΕΡΟΣ Α – ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

## Κεφάλαιο 1.Αμπέλι

### 1.1 Γενικά για την άμπελο

Η καλλιέργεια της αμπέλου θεωρείται από τις πιο δυναμικές με αρκετά υψηλό κόστος εγκατάστασης και διαχείρισης. Η προσπάθεια για την εισαγωγή της γεωργίας ακριβείας δίνει πολλές ελπίδες ότι θα προσδώσει αρκετά οφέλη από την χρήση της.

Σύμφωνα με στοιχεία του 2000, οι συνολικές καλλιεργούμενες εκτάσεις με αμπέλι παγκοσμίως υπολογίζονται στα 78.885.000 στρέμματα με κυριότερες χώρες παραγωγής τις Ισπανία, Γαλλία, Ιταλία και Αργεντινή. Στην Ευρώπη, οι συνολικές καλλιεργούμενες εκτάσεις είναι περίπου 49.700.000 στρέμματα, η μεγαλύτερη έκταση παγκοσμίως, ενώ ακολουθεί η Ασία με 14.800.000 περίπου στρέμματα. Στην Ευρώπη, η Ισπανία καλλιεργεί περίπου 11.740.000, η Γαλλία 9.170.000 και η Ιταλία 9.080.000 στρέμματα. Η Ελλάδα κατέχει την 15η θέση με συνολική έκταση 1.290.000 στρέμματα (Νικολάου, 2005).

### 1.2 Ιστορικά στοιχεία για την άμπελο

Οι πρώτες ενδείξεις για την καλλιέργεια της Αμπέλου έχουν βρεθεί στο Ουρ της Μεσοποταμίας σε μια σκηνή που απεικόνιζε σπονδές προς τους θεούς πριν από 5.000 με 6.000 χρόνια. Από εκεί η χρήση του κρασιού φθάνει σιγά - σιγά και στην Μεσόγειο. Οι Αιγύπτιοι χρησιμοποίησαν κρασί για τις κηδείες, περίπου 3.000 χρόνια προ Χριστού.

Στην Ελλάδα ήδη από την προομηρική εποχή η πόση του κρασιού (οίνος με νερό) ήταν κάτι το συνηθισμένο ενώ αρκετές αναφορές υπάρχουν στην Ιλιάδα και στην Οδύσεια. Σύμφωνα με την ελληνική μυθολογία, ο Στάφυλος ήταν βοσκός του βασιλέα της Αιτωλίας, Οινέα. Καθώς έβοσκε τις κατσίκες του, παρατήρησε ότι μια από αυτές τρώγοντας συνέχεια ένα συγκεκριμένο καρπό πάχαινε περισσότερο από τις άλλες. Μάζεψε τότε αρκετούς και τους πρόσφερε στον βασιλιά του. Εκείνος παρασκεύασε ένα χυμό στον οποίο έδωσε το όνομα του (οίνος), στον δε καρπό έδωσε το όνομα του βοσκού του (σταφύλι). Σε άλλο μύθο, ο Στάφυλος ήταν γιος του

Διονύσου και της Αριάδνης ή ο οίνος ήταν δώρο του Διόνυσου προς τους ανθρώπους.

Με τις αποικίες των Ελλήνων το αμπέλι εξαπλώθηκε στην Νότια Ιταλία και από εκεί με τους Ρωμαίους εξαπλώθηκε σε σχεδόν όλη την αυτοκρατορία τους. Στην Γαλλία απέκτησε μεγάλη φήμη με τους Γαλάτες να κατασκευάζουν το βαρέλι που αντικαθιστά τους αμφορείς. Στην συνέχεια με την βελτίωση της επεξεργασίας του γυαλιού και την κατασκευή γυάλινων φιαλών κατέστη δυνατή η επέκταση της κατανάλωσης του κρασιού για να πάρει την έκταση που κατέχει σήμερα.

### 1.3 Συστηματική κατάταξη της αμπέλου

Η Ευρωπαϊκή Άμπελος είναι ένα από τα πολυάριθμα φυτά της οικογένειας *Vitaceae* τα οποία είναι φυτά αναρριχώμενα με πλούσιες διακλαδιζόμενες ξυλώδεις ρίζες, πλούσιες κληματίδες, φύλλα εναλλασσόμενα, ακέραια, 3 έως 7 -λοβά, με διακλαδιζόμενες ή απλές έλικες και ταξιανθίες σε σύνθετο βότρυ ή θυρσό σε θέση αντίθετη από αυτή των φύλλων.

Σα φυτό ανήκει στον κλάδο των σπερματοφυτων ή φανερώνγαμων φυτών και στον υποκλάδο των αγγειοσπέρμων. Ανήκει στην κλάση των δικοτυλήδωνων, της τάξης των *Ramnales*, Οικογένειας των *Vitaceae* (ονομαζόμενη και *Ampelidaceae*), του γένους *Euvitis* και είδους *Vitis Vinifera Linne* (Πίνακας 1). Πέραν της Ευρωπαϊκής Αμπέλου υπάρχει επίσης η Αμερικάνικη Άμπελος με 18 είδη και η Ασιατική άμπελος με 20 είδη.

Πίνακας 1. Συστηματική κατάταξη της αμπέλου

|                   |                         |
|-------------------|-------------------------|
| <b>Κλάση</b>      | <b>Dicotyledones</b>    |
| <b>Τάξη</b>       | <b>Ramnales</b>         |
| <b>Οικογένεια</b> | <b>Vitaceae</b>         |
| <b>Γένος</b>      | <b>Euvitis</b>          |
| <b>Είδος</b>      | <b>Vitis Vinifera L</b> |

(Πηγή: Νικολάου, 2005).

#### 1.4 Γενικές απαιτήσεις της καλλιέργειας της αμπέλου

Το φυτό της αμπέλου παρουσιάζει μεγάλη προσαρμοστικότητα σε διάφορες εδαφοκλιματικές συνθήκες. Συγκριτικά με τις υπόλοιπες δενδρώδεις καλλιέργειες οι απαιτήσεις της αμπέλου σε λίπανση είναι περιορισμένες (Βλάχος,1995). Αν και η κοιτίδα του φυτού της αμπέλου θεωρείται η περιοχή της Αρμενίας, της Γεωργίας και του Καυκάσου από νωρίς εξαπλώθηκε και διαδόθηκε στην Ελλάδα και στην περιοχή της Μικράς Ασίας και στην συνέχεια σε όλη την Μεσόγειο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το κλίμα της Μεσογείου χαρακτηρίζεται από αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του χειμώνα κυρίως στο βόρειο τμήμα αυτής και αρκετά ξηρές και θερμές συνθήκες το καλοκαίρι. Γενικά μπορεί να θεωρηθεί ότι το μεσογειακό κλίμα είναι ευνοϊκό για την ανάπτυξη και τη φυσιολογία της αμπέλου (Νικολάου, 2005).

Η άμπελος απαιτεί χαμηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του χειμώνα και σταδιακή καταπόνηση από έλλειψη ύδατος όσο πλησιάζει ο καρπός προς την ωρίμανση, δηλαδή κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (Νικολάου, 2005).

#### 1.5 Εδαφολογικές απαιτήσεις

Το έδαφος, πέραν του ρόλου της κλίσης που παίζει στο ύψος της παραγωγής και στην ποιότητα των παραγόμενων σταφυλιών, σημαντικό ρόλο παίζουν επίσης η δομή και η σύστασή του. Έτσι η πλήρης εδαφολογική ανάλυση πριν από την εγκατάσταση αλλά και μετά θεωρείται ένα καλό εργαλείο για την ικανοποιητική ποσοτική και ποιοτική παραγωγή.

Η δειγματοληψία εδάφους πρέπει να πραγματοποιείται σε ομοιογενή σημεία και σε βάθος 0 - 30 cm και 30 - 60 cm. Δειγματοληψίες από βαθύτερα στρώματα λαμβάνονται όταν υπάρχει ιδιαίτερος λόγος (Νικολάου 2005).

Οι εδαφικές αναλύσεις πρέπει να περιλαμβάνουν (Νικολάου, 2005):

- Μηχανική σύσταση - Δομή
- Οργανική ουσία
- pH
- Εναλλακτική ικανότητα

- Ελεύθερο και ενεργό ανθρακικό ασβέστιο
- Τα κυριότερα μακροστοιχεία
- Τα κυριότερα μικροστοιχεία

#### A) Μηχανική σύσταση - Δομή

Το έδαφος γενικά αποτελείται από αέρα, νερό και στερεά υλικά. Τα στερεά υλικά διακρίνονται σε οργανικά και ανόργανα. Το μέγεθος των στερεών ανόργανων υλικών γενικά διακρίνεται σε αυτό των μεγαλύτερων των δύο χιλιοστών που χαρακτηρίζονται χάλικες ή λίθοι (μεγαλύτερο των είκοσι χιλιοστών). Τα μικρότερα των δύο χιλιοστών στερεά υλικά κατατάσσονται με βάση του μεγέθους τους σε ομάδες που ονομάζονται κλάσματα μηχανικής συστάσεως ή μηχανικά κλάσματα του εδάφους (Πίνακας 2). Η διαδικασία προσδιορισμού της εκατοστιαίας αναλογίας των μηχανικών κλασμάτων ονομάζεται μηχανική ανάλυση του εδάφους και αποτελείται από τρία κλάσματα του εδάφους τα οποία είναι η άμμος, η ιλύς και η άργιλος. Η μηχανική ανάλυση του εδάφους μετριέται με το πυκνόμετρο Βουγιούκου.

Πίνακας 2. : Ταξινόμηση ανόργανων στερεών εδάφους.

| Χαρακτηρισμός | Διάμετρος ανόργανου στερεού |
|---------------|-----------------------------|
| Λίθοι         | > 20 mm                     |
| Χάλικες       | 2 mm – 20 mm                |
| Άμμος         | 2 mm -0,02 mm               |
| Ιλύς          | 0,02 mm -0,002 mm           |
| Άργιλος       | <0,002 mm                   |

Το κλάσμα με την μεγαλύτερη χημική ενεργότητα είναι αυτό της αργίλου το οποίο μέχρι ενός σημείου συντελεί στην γονιμότητα του εδάφους, ενώ σε μεγάλα ποσοστά συντελεί στον κακό αερισμό και στην μειωμένη κίνηση του νερού. Γενικά η άργιλος συμβάλλει στη γονιμότητα του εδάφους δια μέσου της συγκράτησης των ιόντων. Εδάφη με περιεκτικότητα σε άργιλο έως 25% παρουσιάζουν πολύ καλή συμπεριφορά επηρεάζοντας θετικά την ποιότητα του τελικού προϊόντος (Νικολάου, 2005).

Η άμμος γενικά χαρακτηρίζεται ως αδρανές υλικό και έχει την ιδιαιτερότητα ότι έχει μεγάλους πόρους μέσω των οποίων διευκολύνεται η είσοδος και η κίνηση του αέρα και του νερού και κατά συνέπεια το αμμώδες έδαφος στραγγίζει εύκολα που σημαίνει επίσης ότι έχει μικρή υδατοϊκανότητα.

Η ιλύς σε υγρή κατάσταση προσδίδει στο έδαφος συνεκτικότητα και πλαστικότητα, καθώς και ικανότητα προσροφήσεως κατιόντων, που μπορούν να αποδοθούν στο εδαφικό διάλυμα και να χρησιμοποιηθούν από το φυτό.

## B) Οργανική ουσία

Η οργανική ουσία είναι το κυριότερο στοιχείο που συντελεί στην βελτίωση του εδάφους και κατ' επέκταση στην γονιμότητά του. Αποτελείται από σύνολο ενώσεων του άνθρακα οι περισσότερες εκ των οποίων δεν έχουν καταταγεί κάπου συγκεκριμένα στην οργανική χημεία. Τα κλάσματα από τα οποία αποτελείται είναι ο χούμος, τα φουλβικά και τα χουμικά οξέα (Μήτσιος, 2000). Περιέχει καρβοξυλικές και φαινολικές ομάδες οι οποίες συμπεριφέρονται ως ασθενή οξέα απελευθερώνοντας ιόντα υδρογόνου. Κατά συνέπεια έχει την τάση να αυξάνει την οξύτητα του εδάφους σε μεγάλο ή μικρό βαθμό ανάλογα με τον τύπο του εδάφους (Tisdale *et al.*, 1993).

Γενικά βελτιώνει το πορώδες, αυξάνει την ικανότητα συγκράτησης υγρασίας, την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (I.A.K.) και τη ρυθμιστική ικανότητα του εδάφους, αυξάνει την ικανότητα συγκράτησης ύδατος, την ικανότητα συγκράτησης βασικών θρεπτικών στοιχείων (άζωτο, θείο, φώσφορος, Κάλιο) (Μήτσιος, 2000). Επίσης, παρέχει ενέργεια για την ανάπτυξη μικροβιακής δραστηριότητας, βελτιώνει τη δομή του εδάφους, ελαχιστοποιεί τη δημιουργία κρούστας αυξάνοντας παράλληλα τη διήθηση, ελαχιστοποιεί τις επιπτώσεις λόγω συμπίεσης του εδάφους και προστατεύει το έδαφος σε απότομες αλλαγές της οξύτητας, αλκαλικότητας και αλατότητας (Tisdale *et al.*, 1993). Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται οι κατηγορίες των εδαφών σύμφωνα με την περιεκτικότητα σε οργανική ουσία.

Πίνακας 3. Κατηγοριοποίηση των εδαφών σύμφωνα με την περιεκτικότητα σε οργανική ουσία.

| <b>ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ</b>  | <b>Οργανική ουσία (%)</b> |
|--------------------|---------------------------|
| <b>Πολύ υψηλή</b>  | <b>&gt; 6</b>             |
| <b>Υψηλή</b>       | <b>4,3 – 6</b>            |
| <b>Μέση</b>        | <b>2,1 – 4,2</b>          |
| <b>Χαμηλή</b>      | <b>1,0 – 2</b>            |
| <b>Πολύ χαμηλή</b> | <b>&lt;1</b>              |

(Πηγή: Μήτσιος, 2000).

### Γ) Η του εδάφους

Το pH του εδάφους είναι μια ένδειξη της οξύτητας ή της αλκαλικότητας του εδάφους και μετριέται σε μονάδες pH. Ως pH του εδάφους ορίζεται ο αρνητικός λογάριθμος της συγκέντρωσης ιόντων υδρογόνου. Η κλίμακα του pH είναι από 0 έως 14 και το σημείο με pH 7 θεωρείται ουδέτερο. Αν η ποσότητα των ιόντων υδρογόνου στο έδαφος αυξάνει τότε το pH του εδάφους μειώνεται και γίνεται έτσι όλο και πιο όξινο. Η πιο ακριβής μέθοδος προσδιορισμού pH του εδάφους είναι με πεχάμετρο. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται μερικοί περιγραφικοί όροι που συνδέονται με τις τιμές του pH του εδάφους.

Η τιμή του pH του εδάφους έχει να κάνει κυρίως με την διαλυτότητα των μετάλλων ή των θρεπτικών ουσιών. Δεκατέσσερα από τα δεκαεπτά ουσιώδη θρεπτικά συστατικά των φυτών λαμβάνονται από το έδαφος. Ένα θρεπτικό συστατικό για να χρησιμοποιηθεί από τα φυτά θα πρέπει πρώτα να διαλυθεί στο διάλυμα του εδάφους. Τα περισσότερα μέταλλα και θρεπτικά συστατικά είναι περισσότερο διαλυτά ή διαθέσιμα σε εδάφη που χαρακτηρίζονται από ελαφρώς όξινα ως ελαφρώς αλκαλικά. Εδάφη με τιμές pH ελαφρά εκτός αυτών των ορίων μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα στην θρέψη του φυτού ενώ ακραίες τιμές τα χαρακτηρίζουν ως τοξικά για τα φυτά. Το pH του εδάφους μπορεί επίσης να επηρεάσει την ανάπτυξη των φυτών από την επίδρασή της στη δραστηριότητα των ωφέλιμων βακτηρίων. Μικροοργανισμοί που αποσυνθέτουν οργανική ύλη του εδάφους παρεμποδίζονται σε ισχυρά όξινα εδάφη. Αυτό αποτρέπει την διάσπαση της οργανικής ύλης με αποτέλεσμα τη συσσώρευση της στο έδαφος.

Πίνακας 4. Περιγραφικοί όροι που συνδέονται με ορισμένες σειρές στο pH του εδάφους

| Χαρακτηρισμός                   | Τιμή pH      | Ενδεικτικά..   |
|---------------------------------|--------------|--|
| <b>Εξαιρετικά όξινο</b>         | < από<br>4,5 | Λεμόνι = 2.5, Ξύδι = 3, Στομάχι = 2, Σόδα = 2-4                |
| <b>Πολύ έντονα όξινο</b>        | 4,5-5,0      | Μπύρα = 4,5-5,0, Ντομάτες = 4,5                                |
| <b>Απόλυτα όξινο</b>            | 5,1-5,5      | Καρότα = 5, Σπαράγγια = 5.5, Βορικό οξύ = 5.2,<br>Λάχανο = 5,3 |
| <b>Μέτρια όξινο</b>             | 5,6-6,0      | Πατάτες = 5.6  |
| <b>Ελαφρώς όξινο</b>            | 6.1-6.5      | Σολομός = 6.2, Αγελαδινό γάλα = 6,5                            |
| <b>Ουδέτερο</b>                 | 6,6-7,3      | Σάλιο = 6,6-7,3, Αίμα = 7.3, Γαρίδες = 7,0                     |
| <b>ελαφρώς<br/>αλκαλικό</b>     | 7,4-7,8      | Αυγά = 7,6-7,8   |
| <b>Μέτρια αλκαλικό</b>          | 7.9 - 8.4    | Θαλασσινό νερό = 8.2, Όξινο ανθρακικό νάτριο = 8,4             |
| <b>Ισχυρά αλκαλικό</b>          | 8.5-9.0      | Βόρακας = 9,0  |
| <b>Πολύ ισχυρά<br/>αλκαλικό</b> | > από<br>9.1 | Γάλα μαγνησίας = 10.5 , αμμωνία = 11,1 ?<br>Ασβέστη = 12       |

Πηγή : SUNY College of Environmental Science and Forestry

Τα εδάφη τείνουν να γίνουν όξινα ως αποτέλεσμα :

1. της έκπλυσης με βρόχινο νερό βασικών ιόντων ( ασβέστιο, μαγνήσιο, κάλιο και νάτριο),
2. του διοξειδίου του άνθρακα που προκύπτει είτε από την αποσύνθεση οργανικής ύλης είτε από την αναπνοή της ρίζας, που διαλύεται στο νερό του εδάφους και σχηματίζει ένα ασθενές οργανικό οξύ,
3. σχηματισμού ισχυρών οργανικών και ανόργανων οξέων, όπως νιτρικό και θειικό οξύ, από σάπια οργανική ύλη και οξείδωση του αμμωνίου και του θείου που προέρχεται από τα λιπάσματα.

Βελτίωση όξινων εδαφών (αύξηση του pH του εδάφους) μπορεί να επιτευχθεί με την προσθήκη στο έδαφος διαφόρων υλικών που περιέχουν ασβέστιο σε διάφορες ποσότητες.

#### Δ) Εναλλακτική ικανότητα

Η Εναλλακτική ικανότητα του εδάφους διαχωρίζεται στην Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (I.A.K. – cation exchange capacity - CEC) και στην Ικανότητα Ανταλλαγής Ανιόντων (I.A.A.). Η I.A.K. όπως και η I.A.A. ενός εδάφους εκφράζεται σε centimole ανά κιλό εδάφους (cmole/Kg) και αποτελεί μέτρο του συνόλου των αρνητικών φορτίων αν μονάδα βάρους εδάφους (Αναλογίδης, 2000). Ενδεικτικά αναφέρεται η I.A.K. των αργίλων ότι κυμαίνεται από 3 ως και 150 cmoleKg<sup>-1</sup>, η δε οργανική ύλη του εδάφους από 70 ως 250 cmoleKg<sup>-1</sup>. Γενικά εδάφη με ψηλή I.A.K. παρουσιάζουν κατά κανόνα υψηλότερο δυναμικό γονιμότητας, επειδή συγκρατούν περισσότερα θρεπτικά κατιόντα (Αναλογίδης, 2000).

#### Ε) Ελεύθερο και ενεργό ανθρακικό ασβέστιο

Το αμπέλι γενικά προτιμά εδάφη μέσης σύστασης. Για την καλλιέργεια του αμπελιού, η τιμή του pH του εδάφους που θεωρείται ιδανική κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 6 – 7. Το αμπέλι δηλαδή αναπτύσσεται καλύτερα σε ουδέτερα εδάφη (Hofmann *et al.*, 2003). Σύμφωνα με άλλους επιστήμονες, η ιδανική τιμή του pH του εδάφους για την αμπελοκαλλιέργεια, κυμαίνεται μεταξύ 6,5 – 7,5. Το αμπέλι όμως αναπτύσσεται ικανοποιητικά και σε τιμές pH οι οποίες μπορεί να ξεφεύγουν από τα παραπάνω όρια. Όσον αφορά την περιεκτικότητα του εδάφους σε Ca μια ευρεία γκάμα από υποκείμενα συμβάλει στην προσαρμογή του φυτού σε αρκετούς τύπους εδαφών (Ρούμπος, 1996).

#### 1.6 Κυριότερα θρεπτικά στοιχεία που απαιτεί η καλλιέργεια της αμπέλου

Τα κύρια στοιχεία που απορροφά το φυτό της αμπέλου σε μεγάλες ποσότητες καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου είναι το άζωτο (N), ο φώσφορος (P), το κάλιο (K), το θείο (S), το ασβέστιο (Ca) και το μαγνήσιο (Mg). Παράλληλα απορροφά ιχνοστοιχεία όπως ο σίδηρος, ο χαλκός, το μαγνήσιο, το βόριο και ο ψευδάργυρος (Βλάχος, 1995) (Πίνακας 5).



Όταν κάποιο από τα παραπάνω στοιχεία θεωρηθεί ελλειμματικό στο έδαφος της καλλιέργειας τότε έχουμε συμπτώματα τροφοπενιών. Για παράδειγμα όταν υπάρχει έλλειψη αζώτου, καλίου, και φωσφόρου αναστέλλεται η αύξηση ενώ όταν υπάρχει έλλειψη μαγνησίου παρόλο που εμφανίζονται συμπτώματα δεν αναστέλλεται η αύξηση (Νικολάου, 2001). Οι πιο συνηθισμένες περιπτώσεις εμφάνισης τροφοπενιών στην καλλιέργεια της αμπέλου αφορούν την έλλειψη αζώτου, καλίου, ψευδαργύρου, βορίου, μαγνησίου, σιδήρου και φωσφόρου (Βλάχος, 1995).

Πίνακας 5. Ποσότητες των κυριότερων στοιχείων που προσλαμβάνονται από την άμπελο ανά στρ. και έτος (Kg)

|           |                  |   |
|-----------|------------------|---|
| <b>N</b>  | <b>4 - 7</b>     |   |
| <b>P</b>  | 0,4 - 1          | <b>1 – 2 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b> |
| <b>K</b>  | 4 - 7            | <b>5 – 8 K<sub>2</sub>O</b>             |
| <b>Ca</b> | 4 - 8            | <b>6 – 12 CaO</b>                       |
| <b>Mg</b> | <b>0,6 – 1,5</b> | <b>1 – 2,5 MgO</b>                      |

(Πηγή: Νικολάου, 2005).

#### 1.6.1 Μακροθρεπτικά στοιχεία

- Άζωτο

Το άζωτο θεωρείται από τα πιο σημαντικά στοιχεία για την ανάπτυξη του φυτού. Προσλαμβάνεται από το έδαφος κυρίως με την νιτρική αλλά και δευτερευόντως με την αμμωνιακή μορφή του. Μετέχει σε ενώσεις τεράστιας σημασίας για το φυτό όπως πρωτεΐνες και νουκλεϊκά οξέα (Νικολάου, 2005). Επηρεάζει σημαντικά την καλλιέργεια τόσο στην αύξηση και ανάπτυξη, όσο και στην απόδοση και ποιότητα των σταφυλιών (Ρούμπος, 1996). Η αζωτούχος λίπανση

επηρεάζει θετικά στην παραγωγή ανθικών καταβολών (Σταύρακας, 1997). Γενικά η επάρκεια αζώτου σε συνδυασμό πάντα με επάρκεια νερού και ευνοϊκών θερμοκρασιών συμβάλει ώστε τα φυτά της αμπέλου να έχουν :

- μεγάλη ταχύτητα αύξησης βλαστών,
- αυξημένο πάχος και μήκος βλαστών,
- αυξημένο μέγεθος φύλλων και φυλλικής επιφάνειας,
- καθυστέρηση της διακοπής της αύξησης των βλαστών και της ωρίμανσης των καρπών,
- σχετική καθυστέρηση της εκβλάστησης,
- αυξημένο αριθμό βλαστανόντων οφθαλμών,
- μεγαλύτερο αριθμό σταφυλιών και
- υψηλότερη παραγωγή (Ρούμπος, 1996, Νικολάου, 2005).

Αντίθετα, αυξημένη προσθήκη αζώτου στο έδαφος πέραν των αναγκών του φυτού έχει ως αποτέλεσμα τον περιορισμένο σχηματισμό ανθέων και συντελεί στη μείωση της παραγωγής (Σταύρακας, 1997). Επίσης εμφανίζονται προβλήματα όπως ανάπτυξη μυκητολογικών ασθενειών, επιβράδυνση της έκπτυξης των οφθαλμών, παράταση της ανάπτυξης της βλάστησης και επιβράδυνση της φυλλόπτωσης. Δημιουργούνται αυξημένες ανάγκες σε νερό, μειώνεται η ποιότητα των σταφυλιών ενώ δρα και ανταγωνιστικά ως προς το κάλιο (Ρούμπος, 1996).

- **Κάλιο**

Το κάλιο αποτελεί επίσης ένα βασικό στοιχείο για το φυτό της αμπέλου καθώς επηρεάζει την οικονομία του νερού στα φυτά. Μετέχει στην εξουδετέρωση των οργανικών οξέων και στην μετακίνηση των αποθεμάτων ενέργειας εντός του φυτού (Νικολάου, 2005). Γενικά βελτιώνει την ποιότητα των σταφυλιών, προάγει την αύξηση των πρέμνων, αυξάνει την αντοχή σε παγετούς, αυξάνει τον αριθμό των καλοσχηματισμένων οφθαλμών ενώ παράλληλα βελτιώνει τη γονιμότητά τους, επιταχύνει την έναρξη της ωρίμανσης, αυξάνει την καρπόδεση και τέλος αυξάνει το μέγεθος των ραγών (Ρούμπος, 1996). Η καλιούχος λίπανση παρουσιάζει παρόμοια αποτελέσματα με την αζωτούχο. Επηρεάζει θετικά στην παραγωγή ανθικών

καταβολών συμβάλλοντας με τον τρόπο αυτό στη μεγιστοποίηση της παραγωγής (Σταύρακας, 1997).

Υπερβολική καλιούχος λίπανση μπορεί να προκαλέσει τροφopenία μαγνησίου ενώ σε οινοποιήσιμες ποικιλίες μπορεί να προκαλέσει αύξηση του pH στο γλεύκος και στον οίνο που έχει αρνητικές συνέπειες στα παράγωγα της οινοποιίας (Νικολάου, 2005). Η τροφopenία καλίου εμφανίζεται κυρίως στα φύλλα και μπορεί να επιταθεί από την ξηρασία, το μαγνήσιο και την υπερβολική παραγωγή.

- Φωσφόρος

Ο φώσφορος είναι εξίσου σημαντικό στοιχείο της θρέψης του φυτού της αμπέλου. Αποτελεί σημαντικό συστατικό διαφόρων σημαντικών ενώσεων του φυτού όπως φωσφολιπίδια και νουκλειικά οξέα. Σε γενικές γραμμές δεν παρατηρείται έλλειψη φωσφόρου καθώς είναι στοιχείο το οποίο είναι δυσκίνητο στο έδαφος και διατηρείται για μεγάλο χρονικό διάστημα (Ρούμπος, 1996).

- Ασβέστιο.

Το ασβέστιο στο έδαφος συναντάται με την μορφή του ανθρακικού ασβεστίου ( $\text{CaCO}_3$ ). Μεγάλος αριθμός αμπελώνων που παράγουν προϊόντα υψηλής ποιότητας αναπτύσσονται σε ασβεστούχα εδάφη (Νικολάου, 2005). Εδάφη που περιέχουν  $\text{CaCO}_3$  σε ποσοστό μεγαλύτερο του 10% χαρακτηρίζονται ως ασβεστούχα (Μισοπολινός, 1996). Ο προσδιορισμός του ανθρακικού ασβεστίου στο έδαφος κρίνεται απαραίτητος (Νικολάου, 2005). Συγκέντρωση  $\text{CaCO}_3$  πέραν του 10% στο έδαφος προκαλεί προβλήματα διαθεσιμότητας ιχνοστοιχείων και άλλων βασικών στοιχείων. Συγκεκριμένα επηρεάζει σημαντικά τη διαθεσιμότητα του φωσφόρου επειδή συντελεί στην ανύψωση του pH του εδάφους. Επίσης προκαλεί μικρή διαθεσιμότητα σε ψευδάργυρο, σίδηρο και άζωτο. Ωστόσο, όλα τα παραπάνω προβλήματα διαθεσιμότητας γίνονται ολοένα και λιγότερο σοβαρά όσο αυξάνει η περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία (Μισοπολινός, 1996).

- Μαγνήσιο

Το μαγνήσιο παίζει σημαντικό ρόλο στις διεργασίες του φυτού καθώς είναι συστατικό της χλωροφύλλης. Η τροφopenία μαγνησίου εντοπίζεται αρχικά στα

φύλλα της βάσης του βλαστού (σε αντίθεση με την τροφοπενία καλίου) ενώ στον καρπό προκαλεί την ξήρανση της ράχης. Γενικά η επάρκεια μαγνησίου συντελεί στην αύξηση της περιεκτικότητας των σταφυλιών σε σάκχαρα, ενώ παράλληλα βοηθά και στη σύνθεση των πρωτεϊνών και των βιταμινών (Ρούμπος, 1996).

#### 1.6.2 Ιχνοστοιχεία

- Βόριο

Το βόριο είναι από τα σημαντικότερα ιχνοστοιχεία από πλευράς διαχείρισης του από τον παραγωγό. Και αυτό γιατί τα όρια από την έλλειψή του μέχρι την υπερεπάρκειά του είναι πολύ κοντά. Συγκεκριμένα κάτω από 0,5 ppm στο έδαφος θεωρείται ελλειμματικό ενώ πάνω από 1 ppm θεωρείται τοξικό. Σε φυσιολογικά επίπεδα παίζει σημαντικό ρόλο σε διάφορες διεργασίες του φυτού όπως η επιμήκυνση των ριζών ή στην εκβλάστηση των γυρεόκοκκων.

- Σίδηρος

Ο σίδηρος είναι εξίσου σημαντικό ιχνοστοιχείο για τη σύνθεση της χλωροφύλλης. Τροφοπενία σιδήρου έχει ως αποτέλεσμα την γνωστή εμφάνιση της χλώρωσης των φύλλων. Συνήθως η τροφοπενία σιδήρου δεν εμφανίζεται εξαιτίας της έλλειψής του από το έδαφος αλλά λόγω αδυναμίας της πρόσληψής του από το φυτό εξαιτίας παρουσίας υψηλών συγκεντρώσεων Ca ή υψηλού pH.

- Χαλκός

Ο χαλκός συμμετέχει στη φωτοσύνθεση και την αναπνοή καθώς περιέχεται σε διάφορα ένζυμα (Ρούμπος, 1996).

- Μαγγάνιο

Το μαγγάνιο συντελεί επίσης όπως και ο σίδηρος στον σχηματισμό της χλωροφύλλης στα φύλλα (Ρούμπος, 1996).

- Ψευδάργυρος

Ο ψευδάργυρος μετέχει στη σύνθεση πολλών ενζύμων και επιπλέον επηρεάζει την αύξηση και την καρποφορία των φυτών (Ρούμπος, 1996).

### 1.7 Λίπανση

Συνοπτικά για την πραγματοποίηση ορθολογικής λίπανσης σε ένα αμπελώνα θα πρέπει να:

- α) γνωρίζουμε τις ποσότητες των στοιχείων που αφαιρούνται μέσω της συγκομισθείσας παραγωγής,
- β) έχουμε μια πλήρη εδαφολογική ανάλυση για να γνωρίζουμε κατ' εκτίμηση τις ποσότητες των διαφόρων στοιχείων στο έδαφος,
- γ) έχουμε διαφυλλικές αναλύσεις για να γνωρίζουμε τι απορροφά το φυτό από το έδαφος,
- δ) λαμβάνουμε υπόψη τις διάφορες κλιματολογικές συνθήκες (π.χ. βροχόπτωση) που παίζουν ρόλο στην έκπλυση ή στην απορρόφηση των διαφόρων στοιχείων
- ε) λαμβάνεται υπόψη την κατεύθυνση του αμπελώνα (επιτραπέζια ή οινοποιήσιμη ποικιλία).

### 1.8 Άρδευση

Το φυτό της αμπέλου δεν παρουσιάζει μεγάλες απαιτήσεις σε νερό και έτσι έχει την δυνατότητα να καλλιεργηθεί σε πληθώρα οικολογικών συνθηκών με διαφορετικά βροχομετρικά ύψη. Ως όριο της αμπελοκαλλιέργειας μπορεί να θεωρηθεί βροχόπτωση της τάξης των 350mm βροχής (Νικολάου, 2001). Ένας αμπελώνας με φυτά μεγάλης ανάπτυξης (1 Kg ξύλου/πρέμνο) που έχει εγκατασταθεί σε βαθιά και γόνιμα εδάφη απαιτεί κατά την διάρκεια της βλαστικής περιόδου του περίπου 1000 - 1500 lt/φυτό ενώ για τον σχηματισμό 1kg ξηράς ουσίας απαιτούνται 250-700kg νερού (Σταύρακας, 1998). Για φυτά μικρής ανάπτυξης (400-500 g ξύλου / πρέμνο και παραγωγής περίπου 800-1000 kg/ στρέμμα) οι αντίστοιχες απαιτήσεις σε νερό είναι της τάξης των 500 lt/φυτό περίπου. Για να επιτύχει το φυτό να απορροφήσει τις προαναφερόμενες ποσότητες

νερού θα πρέπει να έχει αναπτύξει ένα πλούσιο και βαθύ ριζικό σύστημα σε βάθος περίπου 2,5 μέτρων. Η ανάπτυξη ενός πλούσιου και εκτεταμένου ριζικού συστήματος έχει ως αποτέλεσμα την δυνατότητα των φυτών να εκμεταλλευτούν ακόμα και πολύ μικρές ποσότητες εδαφικής υγρασίας (Chaves *et al.*, 2010).

Κατά την διάρκεια μια καλλιεργητικής περιόδου το φυτό της αμπέλου γενικά παρουσιάζει αυξημένες απαιτήσεις σε νερό ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου στις επιτραπέζιες ποικιλίες. Συγκεκριμένα κατά την περίοδο αυτή οι ανάγκες σε νερό ανέρχονται σε 150–250 m<sup>3</sup>/στρ., ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες, το έδαφος, την ποικιλία και τη διαμόρφωση των φυτών. Από την έναρξη της βλάστησης μέχρι την άνθιση, οι απαιτήσεις σε νερό μειώνονται σε 65 χιλιοστά, ενώ από την άνθιση έως την ωρίμανση οι απαιτήσεις ανέρχονται σε 85 χιλιοστά διαθέσιμης υγρασίας (Ρούμπος, 1996).

### 1.9 Εχθροί – ασθένειες

Μια πληθώρα εχθρών και ασθενειών προσβάλουν το φυτό της αμπέλου. Πολλοί εχθροί και ασθένειες προϋπήρχαν ενώ κάποιοι άλλοι εχθροί ή ασθένειες εμφανίστηκαν τα τελευταία χρόνια με την εντατικοποίηση και την γενίκευση της καλλιέργειας του αμπελιού.

Οι κυριότεροι εντομολογικοί εχθροί της αμπέλου είναι :

1. Η Ευδεμίδα του αμπελιού (*Lobesia botrana*, *Lepidoptera: Tortricidae*)  
Αποτελεί τον κυριότερο εχθρό. Κοινό όνομα “σκουλήκι των σταφυλιών” (Εικόνα 1).



Εικόνα 1 : Τέλειο έντομο Ευδεμίδας

2. Θρίπας. (*Frankliniella occidentalis*, *Drepanothripsreuteri*, *Thripstabaci*)

Προσβάλλει ιδιαίτερα την σουλτανίνα. Μπορεί να προκαλέσει ανασχέτιση της βλάστησης και βραχυγονάτωση, ενώ προκαλεί ζημίες κατά την περίοδο της άνθησης δημιουργώντας εσχάρωσεις στις ράγες, με αποτέλεσμα την παραγωγή υποβαθμισμένου προϊόντος (Εικόνα 2).



Εικόνα 2. Εσχάρωση σε ώριμες ράγες ποικιλίας Σουλτανίνα οφειλόμενη σε προσβολή από θρίπα.

3. Ερίνωση (*Eriophyes vitis*)

Είναι ένα άκαρι, η παρουσία του οποίου γίνεται αντιληπτή από τα χαρακτηριστικά συμπτώματα που προκαλεί στα φύλλα (φλύκταινες) (Εικόνα 3).



Εικόνα 3. Ερίνωση αμπελιού

4. Φυλλοξήρα (*Dactylosphaera vitifoliae*, *Shimer*)

Είναι μια πολυμορφική αφίδα που ήρθε στην Ευρώπη από την Αμερική. Προσβάλλει κυρίως το ριζικό σύστημα το οποίο το καταστρέφει τελείως και έτσι προκαλείται ολοσχερής ξήρανση του φυτού. Θεωρείται σοβαρός εχθρός της αμπέλου και λαμβάνονται ειδικά μέτρα για τον περιορισμό της (Εικόνα 4, 5).



Εικόνα 4: *Dactylospheera vitifoliae*, Shimer



Εικόνα 5. Προσβολή ρίζας από φυλλοξήρα

Οι κυριότερες ασθένειες του αμπελιού είναι :

1. Περονόσπορος (*Plasmopara viticola*)

Είναι μύκητας και θεωρείται η σπουδαιότερη ασθένεια του αμπελιού, ιδιαίτερα σε περιοχές με μεγάλο ύψος βροχοπτώσεων την περίοδο της άνοιξης. Προσβάλλει νεαρούς βλαστούς , ταξιανθίες και σταφύλια (Εικόνα 6).





Εικόνα 6. «Κηλίδες ελαίου» που οφείλονται σε προσβολή από περονόσπορο.

## 2. Βοτρύτης (*Botrytis cinerea*)

Οφείλεται σε μύκητα και προσβάλλει φύλλα, βλαστούς, ταξιανθίες και προκαλεί σήψη στους βότρες, γνωστή ως "τεφρά σήψη" (Εικόνα 7).



Εικόνα 7. Βοτρύτης

## 3. Ωίδιο (*Uncinola necator*)

Το ωίδιο οφείλεται σε μύκητα και αποτελεί σοβαρή ασθένεια κυρίως στις ξηροθερμικές περιοχές. Προσβάλλει όλα τα πράσινα μέρη του φυτού (Εικόνα 8).



Εικόνα 8.Ωίδιο

4. Ίσκα (*Fomesignarius* και *Stereumhirsutum*)

Το παθογόνο αίτιο είναι ένα σύμπλοκο μυκήτων που προκαλεί μια χαρακτηριστική χρόνια ασθένεια, με βραδεία εξέλιξη σε αμπελώνες κάποιας ηλικίας, συνήθως μετά το 10-12ο έτος της ηλικίας τους. Εκδηλώνεται σε διάσπαρτα πρέμνα με τη μορφή αποπληξίας (απότομη ξήρανση) ή σταδιακής αποξήρανσης (Εικόνα 9).



Εικόνα 9.Ίσκα

### 1.10 Ποικιλίες

Παγκοσμίως υπάρχουν πάρα πολλές ποικιλίες αμπέλου. Εντός του Ελλαδικού χώρου απαντάται ένας μεγάλος αριθμός γηγενών ποικιλιών ενώ παράλληλα υπάρχουν και πολλές εισαγόμενες ποικιλίες. Οι πρώτες ελληνικές

ποικιλίες διαμορφώθηκαν από αυτοφυείς τύπους αμπέλου που καλλιεργήθηκαν και βελτιώθηκαν δια της επιλογής (Σταύρακας, 1997).

Οι ποικιλίες της αμπέλου γενικά διακρίνονται σε :

- i. Επιτραπέζιες για την παραγωγή φρούτου,
- ii. Οινοποιήσιμες για την παραγωγή κρασιού (και τσίπουρου),
- iii. Πολλαπλής χρήσης: διπλής αν πρόκειται για επιτραπέζια χρήση και οινοποίηση, τριπλής χρήσης (π.χ. Σουλτανίνα) που επιπλέον μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή σταφίδας,
- iv. Υποκειμένων, για την παραγωγή υποκειμένων για εμβολιασμό, κατάλληλων για ειδικές εδαφοκλιματικές συνθήκες ή ανθεκτικών σε κάποιες ασθένειες,

Οι κυριότερες ποικιλίες, από πλευράς καλλιεργούμενων εκτάσεων, που απαντώνται στον Ελλαδικό χώρο είναι :

- i. Ερυθρές διεθνείς οινοποιήσιμες: Cabernet Sauvignon, Merlot, Syrah,
- ii. Λευκές διεθνείς οινοποιήσιμες: Chardonnay, Sauvignon Blanc,
- iii. Ελληνικές λευκές οινοποιήσιμες : Ασύρτικο, Μοσχοφίλερο, Αθήρι, Βηλάννα, Μαλαγουζιά, Μοσχάτο, Palomino, Ροδίτης, Ρομπόλα, Σαββατιανό,
- iv. Ελληνικές ερυθρές οινοποιήσιμες: Αγιωργήτικο, Ξινόμαυρο, Κρασάτο, Λημνιό, Λιάτικο, Μαντηλαριά, Μαυροδάφνη, Νεγκόσκα, Σταυρωτό.
- v. Επιτραπέζιες ποικιλίες : Αττική, Βικτώρια, Μοσχάτο Αμβούργου, Σουλτανίνα, Φράουλα, Cardinal.

Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης χρησιμοποιήθηκε η ποικιλία Syrah.

### *1.11 Παραγωγή και παράγοντες που την επηρεάζουν*

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν το ύψος της παραγωγής και την ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων στην καλλιέργεια της αμπέλου.

Το ύψος της παραγωγής και η ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων μπορούν να επηρεαστούν από :

1. Τις κλιματικές συνθήκες.

Δυσμενείς κλιματικές συνθήκες επιδρούν αρνητικά στην φωτοσύνθεση, στην αναπνοή και στην μετακίνηση σακχάρων. Αν κατά την περίοδο της ανθοφορίας

υπάρχουν έντονες βροχοπτώσεις και δυνατοί άνεμοι τότε μειώνεται η πυκνότητα του στιγματικού υγρού. Παρατηρήθηκε ότι η βλάστηση των γυρεόκοκκων γίνεται γρηγορότερα σε θερμοκρασία 26-32 °C από ότι σε χαμηλότερη θερμοκρασία (Winkler, 1962). Γενικά, το ποσοστό καρπόδεσης μειώνεται τόσο σε υψηλές όσο και σε χαμηλές θερμοκρασίες (Σταύρακας, 1999). Χαμηλές θερμοκρασίες και βροχοπτώσεις κατά την περίοδο της άνθησης έχουν ως αποτέλεσμα το πηλίδιο να παραμένει στο άνθος, να παρεμποδίζεται η γονιμοποίηση και να προκαλείται ανθόρροια (Βλάχος, 1990).

## 2. Το έδαφος.

Κατάλληλα εδάφη για την παραγωγή ποιοτικών σταφυλιών θεωρούνται τα μέτριας γονιμότητας, αμμοχαλικώδη και ελαφράς σύστασης με καλή στράγγιση τα οποία παράλληλα έχουν την ικανότητα να συγκρατούν επαρκή ποσότητα νερού. Επίσης, για ποιοτική αμπελουργία καλές ιδιότητες παρουσιάζουν τα μέσης σύστασης εδάφη στα οποία η περιεκτικότητα σε άργιλο βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα (Ρούμπος, 1996).

Η δομή και οι ιδιότητες του εδάφους, επηρεάζονται κατά ένα μεγάλο βαθμό και από το ανάγλυφο του εδάφους καθώς η ύπαρξη ή όχι κάποιας κλίσης του με το φαινόμενο της διάβρωσης μπορεί να επηρεάσει την γονιμότητά του. Κατάλληλες για την εγκατάσταση αμπελώνων είναι οι πλαγιές λόφων με μικρή κλίση επειδή στραγγίζουν ευκολότερα συγκριτικά με τα πεδινά. Για την περίπτωση των οινοποιήσιμων κυρίως ποικιλιών, το μειωμένο ύψος της παραγωγής έχει αποτέλεσμα την παραγωγή ποιοτικότερων σταφυλιών. Επίσης στις περιοχές αυτές, η πρωινή ομίχλη εξαφανίζεται γρηγορότερα με αποτέλεσμα καλύτερη και μεγαλύτερης διάρκειας ηλιοφάνεια. Έτσι οι πλαγιές των λόφων είναι πιο ηλιόλουστες και πιο προστατευμένες από τους ανέμους (Σταύρακας, 1997). Τα επικλινή εδάφη δεν αποτελούν θύλακες παγετού κάνοντας το μικροκλίμα ηπιότερο για την καλλιέργεια. Τέλος, το ανθρακικό ασβέστιο συντελεί στη βελτίωση της ποιότητας των σταφυλιών, αυξάνοντας την περιεκτικότητα του χυμού των σταφυλιών σε σάκχαρα και σε ουσίες οι οποίες προσδίδουν το πρωτογενές άρωμα του παραγόμενου οίνου (Ρούμπος, 1996).

3. Τις καλλιεργητικές φροντίδες, το χειμερινό κλάδεμα, το βλαστολόγημα, η αραίωση των ταξιανθιών, το κορυφολόγημα και η χαραγή-δακτυλίωση επιδρούν

στην εμφάνιση των φαινομένων της ανθόρροιας, της καρπόρροιας και της καρπόδεσης.

#### 4. Λίπανση.

Η τροφοπενία Β προκαλεί μείωση της ικανότητας βλάστησης των γυρεόκοκκων, η οποία έχει ως συνέπεια το χαρακτηριστικό σύμπτωμα που εμφανίζεται με έντονη ανθόρροια και ξήρανση των ταξιανθιών, αφού αποτυγχάνει η γονιμοποίηση των ανθέων, ενώ η ανθοφορία επηρεάζεται επίσης έντονα και από την αζωτούχο και καλιούχο λίπανση (Νικολάου, 1998). Η λίπανση με άζωτο και κάλιο επηρεάζει θετικά την έκπτυξη ανθικών καταβολών, ενώ σε περίπτωση υπερβολικής εφαρμογής αζώτου, παρατηρείται δυσμενής επίδραση στο σχηματισμό ανθέων (Σταύρακας 1997).

#### 5. Άρδευση.

Η άρδευση πρέπει να είναι προσεγμένη ιδιαίτερα κατά την περίοδο από την καρπόδεση έως τον περκασμό. Σε αυτό το στάδιο λαμβάνει χώρα : (α) η ανάπτυξη των βλαστικών και αναπαραγωγικών οργάνων δηλαδή του φυλλώματος, των κληματίδων και των ραγών και (β) η έντονη διαπνοή των φυτών.

#### 6. Παθολογικά αίτια.

Διάφορες προσβολές του φυτού από εχθρούς και ασθένειες όπως περονόσπορος, ωίδιο, ερίνωση, ευδεμίδα μπορούν να επηρεάσουν τη φωτοσυνθετική ικανότητα του φυτού. Ο περονόσπορος (*Plasmopara viticola*) καταστρέφει τα βοτρίδια των ταξιανθιών ή των νεαρών βότρυων και προκαλεί ζημιές στη φυλλική επιφάνεια (Θανασουλόπουλος, 1992). Το ωίδιο (*Uncinula necator*) όπως και η ερίνωση (*Eriophyes spp.*) προκαλούν επίσης μείωση της φωτοσύνθεσης. Πολλές ράγες που είναι προσβεβλημένες από ωίδιο ξεραίνονται και πέφτουν, αλλά κι εκείνες που θα μείνουν παραμένουν μικρές με παχύ και σκληρό φλοιό (Θανασουλόπουλος, 1992). Η ευδεμίδα (*Lobesia botrana*) προκαλεί άμεση ζημιά λόγω της καταστροφής των ραγών, ρυπάνσεως αυτών με τα αποχωρήματα και τους ιστούς της προνύμφης και έμμεση με τη σήψη των βότρυων από μύκητες ή άλλους μικροοργανισμούς που εγκαθίστανται στις τραυματισμένες ράγες και στη συνέχεια απλώνονται και σε υγιείς ράγες, ιδιαίτερα όταν ο καιρός είναι υγρός (Τζανακάκης, 1980).

## 1.12 Ποιοτικά χαρακτηριστικά

Οι παραπάνω προαναφερόμενοι παράγοντες όσον αφορά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά επηρεάζουν την περιεκτικότητα σε σάκχαρα, σε οξέα, τη χρώση των σταφυλιών και τις αρωματικές ουσίες των σταφυλιών.

### Περιεκτικότητα σε σάκχαρα

Ένα από τα κυριότερα ποιοτικά χαρακτηριστικά των σταφυλιών, είναι η περιεκτικότητά σε σάκχαρα. Τα βασικότερα σάκχαρα που συσσωρεύονται στις ράγες των σταφυλιών, είναι η γλυκόζη και η φρουκτόζη (Σταύρακας, 1997). Γενικά, υψηλή περιεκτικότητα σε σάκχαρα θεωρείται επιθυμητό χαρακτηριστικό για την παραγωγή οίνων υψηλής ποιότητας.

### Περιεκτικότητα σε οξέα

Η περιεκτικότητα των σταφυλιών σε οξέα θεωρείται εξίσου σημαντική με την περιεκτικότητα σε σάκχαρα. Τα οξέα διακρίνονται σε ανόργανα και οργανικά. Τα βασικότερα ανόργανα οξέα που εμφανίζονται στα σταφύλια, είναι το θειικό, το υδροχλωρικό και το φωσφορικό. Τα κυριότερα οργανικά είναι το μηλικό και το τρυγικό οξύ (Σταύρακας, 1997).

Όσο το σταφύλι πλησιάζει προς την ωρίμανση, η περιεκτικότητά του σε σάκχαρα αυξάνει, ενώ η περιεκτικότητα σε οξέα μειώνεται (Σταύρακας, 1997). Έτσι η ιδανική αναλογία σάκχαρα – οξέα του τελικού προϊόντος επιτυγχάνεται λίγο πριν την φυσιολογική ωρίμανση των σταφυλιών.

### Χρώση των σταφυλιών

Γενικά το χρώμα της φλούδας της ρώγας του σταφυλιού επηρεάζει άμεσα στο χρώμα του οίνου που θα παραχθεί. Επίσης στα σκουρόχρωμα σταφύλια όσο πιο σκούρο είναι το χρώμα τόσο μεγαλύτερο ποσοστό ωφέλιμων ουσιών στην υγεία. Τα σκούρα σταφύλια είναι πλούσια σε ρεσβερατρόλη ουσία που συνδυάζεται με αντιγηραντικές, αντικαρκινικές και άλλες ωφέλιμες ιδιότητες. Το χρώμα της ρώγας επηρεάζεται από τις λιπάνσεις, την ηλιοφάνεια, την θερμοκρασία και την θερμοπερίοδο. Σε πλούσιες αζωτούχες λιπάνσεις, η χρώση των σταφυλιών δεν είναι

ικανοποιητική. Σε περιπτώσεις έλλειψης αζώτου έχει παρατηρηθεί πρώιμη χρώση. Σε πολύ ψυχρές και σε πολύ θερμές περιοχές, παρατηρείται ανεπαρκής χρώση (Σταύρακας, 1997). Από πειράματα στη Γαλλία στην ποικιλία Μοσχάτο Αμβούργου, παρατηρήθηκε ότι οι βότρες οι οποίοι βρίσκονταν στη σκιά χρωματίζονταν καλύτερα από εκείνους που ήταν εκτεθειμένοι στον ήλιο (Champagnol, 1984).

Τέλος όσον αφορά τη θερμοπερίοδο, αυξημένη θερμοκρασία επιταχύνει τις μεταβολικές διαδικασίες ενώ μειωμένη θερμοκρασία μειώνει τη μετακίνηση και τον μεταβολισμό. Και στις δυο περιπτώσεις ο χρωματισμός των ραγών της σταφυλής είναι ελλιπής (Νικολάου, 2005). Έχει αποδειχθεί ότι τόσο οι υψηλές όσο και οι χαμηλές θερμοκρασίες έχουν αρνητικές επιπτώσεις σε ότι αφορά τη χρώση των σταφυλιών, ενώ παρόμοιο αποτέλεσμα φαίνεται να δίνει και η ηλιακή ακτινοβολία. Δηλαδή σε περιπτώσεις αυξημένης αλλά και σε περιπτώσεις μειωμένης ποσότητας ηλιακής ακτινοβολίας, η χρώση των σταφυλιών είναι μη ικανοποιητική (Σταύρακας, 1997).

Αρωματικές ουσίες σταφυλιών.

Το άρωμα των σταφυλιών οφείλεται στα αιθέρια έλαια τα οποία είναι ελαιώδεις ουσίες που ανήκουν στην κατηγορία των τερπενίων και σχηματίζονται κατά την διαδικασία της ωρίμανσης. Η βέλτιστη τιμή της περιεκτικότητας σε αιθέρια έλαια επιτυγχάνεται λίγο πριν τη φυσιολογική ωρίμανση. Έχει διαπιστωθεί ότι όταν επικρατούν συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών πριν την ωρίμανση, μειώνεται η ένταση αλλά και η ποιότητα του αρώματος. Επίσης σημαντικό ρόλο παίζει η θρέψη, η ισχύς και ο όγκος παραγωγής του φυτού. Πλούσιες λιπάνσεις, ιδίως αζωτούχες οι οποίες δίνουν ζωηρή βλάστηση και υψηλή παραγωγή, έχουν ως αποτέλεσμα την παραγωγή σταφυλιών φτωχών σε αρωματικές ουσίες (Σταύρακας, 1997).

### *1.13 Σύσταση ώριμου καρπού*

Ο ώριμος καρπός σταφυλιού περιέχει :

- Νερό σε αναλογία 75% - 80%,
- Σάκχαρα σε αναλογία 15% - 25% (φρουκτόζη και γλυκόζη),
- Αζωτούχες ουσίες σε αναλογία 1% (κυρίως στην φλούδα),

- Διάφορα οξέα (τρυγικό και κιτρικό σε αναλογία 3% - 8% ),
- Χρώμα,
- Αρωματικές ουσίες,
- Ανόργανα άλατα,
- Βιταμίνες,
- Ραδιενέργεια (Κούσουλας, 1995).

Τα βασικότερα στοιχεία του καρπού είναι το άζωτο (N), το κάλιο (K), ο φώσφορος (P), το θείο (S), το νάτριο (Na), το ασβέστιο (Ca), το μαγνήσιο (Mg), το μαγγάνιο (Mn), ο σίδηρος (Fe), ο χαλκός (Cu) και το χλώριο (Cl). Η φύση και η αναλογία τους στη σταφυλή εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το έδαφος του αμπελώνα. Στο γλεύκος περιέχονται κυρίως τα στοιχεία κάλιο (K), ασβέστιο (Ca), μαγνήσιο (Mg), μαγγάνιο (Mn) και σίδηρος (Fe). Οι αζωτούχες ενώσεις, ανόργανες και οργανικές, δεν έχουν καμιά επίδραση στο γλεύκος και στον οίνο, αποτελούν όμως θρεπτικά συστατικά των ζυμών της αλκοολικής ζύμωσης (Σταύρακας, 1997).

Κριτήρια για την ωριμότητα του καρπού αποτελούν η γεύση, το χρώμα, το άρωμα, το τραγανό της ρώγας, η αποκόλληση από τον βόστρυχο, το χρώμα και η σκληρότητα των κουκουτσιών, το χρώμα του μίσχου (Κούσουλας, 1995).



## Κεφάλαιο 2. Γεωργία Ακριβείας

Οι αμπελώνες μαζί με τις υπόλοιπες δενδρώδεις καλλιέργειες της χώρας – οπωροφόρα και ελιά – ανήκουν στην κατηγορία των μακροχρόνιων γεωργικών επενδύσεων. Η διαχείριση τους πρέπει να γίνεται σωστά όχι μόνο για την επίτευξη αποδεκτών οικονομικών αποτελεσμάτων αλλά και για την κάλυψη περαιτέρω απαιτήσεων από την κοινωνία όπως η προστασία του καταναλωτή, της υγείας του παραγωγού και του περιβάλλοντος. Ένα σημαντικό εργαλείο για την επίτευξη των παραπάνω στόχων είναι η γεωργία ακριβείας.

### 2.1 Γενικά για την Γεωργία Ακριβείας (*Precision Agriculture*)

Με τον όρο Γεωργία Ακριβείας ορίζουμε τη διαχείριση της χωρικής και χρονικής διαφοροποίησης των αγρών προκειμένου να βελτιωθεί η αποδοτικότητα των αγροκτημάτων και/ή να επιτευχθεί μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον από την μη ορθολογική χρήση των εισροών (Gemtos *et al.*, 2002). Έτσι στην γεωργία ακριβείας εξετάζουμε το/τα αγροτεμάχια και εφόσον σε αυτά εντοπίσουμε διαφοροποιήσεις στο δυναμικό παραγωγής και στις εδαφοκλιματικές συνθήκες εφαρμόζουμε σε κάθε επιμέρους τμήμα – ζώνη διαχείρισης διαφορετικά επίπεδα εισροών σύμφωνα με τις ανάγκες της εκάστοτε καλλιέργειας.

Είναι κατανοητό ότι η αναγκαιότητα και τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από την χρήση της γεωργίας ακριβείας είναι πολλά. Πιο συγκεκριμένα έχουμε πιο στοχευμένες και πιθανόν λιγότερες εισροές σε φυτοπροστατευτικά προϊόντα (Φ.Π.Π.), σε προϊόντα λίπανσης – θρέψης, σε εδαφοβελτιωτικά προϊόντα, ορθολογικότερη διαχείριση υδάτινων πόρων, πλήρη αποτίμηση της παραγωγής καθώς και πλήρη ιχνηλασιμότητα. Έτσι το παραγόμενο προϊόν ανταποκρίνεται πλήρως στις απαιτήσεις της αγοράς και της Ευρωπαϊκής Ένωσης η οποία τα τελευταία χρόνια έχει υιοθετήσει μια φιλοπεριβαλλοντική αγροτική πολιτική. Παράλληλα με τις μειωμένες εισροές σε πολλές περιπτώσεις προκύπτει επίσης μείωση του κόστους παραγωγής καθιστώντας το προϊόν μας εκτός από επώνυμο και ποιοτικό, οικονομικά ανταγωνιστικό σε σχέση με τα ίδια προϊόντα άλλων ανταγωνιστικών χωρών.

## 2.2 Ιστορικά

Η αλματώδης πρόοδος που έγινε τα τελευταία έτη στον τομέα της πληροφορικής και της επιστήμης των ηλεκτρονικών μας έδωσε την δυνατότητα ένα μέρος αυτής της προόδου να εφαρμοστεί και στην γεωργία. Η αρχή έγινε με την βελτίωση της ακριβείας των συστημάτων γεωγραφικού εντοπισμού (G.P.S. – Global Positioning System) και την κατασκευή αισθητήρων μέτρησης της παραγωγής. Οι δύο αυτές εφαρμογές συνδυάστηκαν σε μια θεριζοαλωνιστική και έτσι στην δεκαετία του 1980 επετεύχθη η πρώτη χαρτογράφηση της παραγωγής των σιτηρών στην οποία προσδιορίστηκε για κάθε γεωγραφική εντός του αγρού θέση της μηχανής, η ποσότητα και η υγρασία του συγκομισθέντος σπόρου (Stafford, 2000).

Από κει και έπειτα η εξέλιξη στον τομέα της γεωργίας υπήρξε αλματώδης με πρωτοπόρους τις Η.Π.Α. και τη Μεγάλη Βρετανία ενώ ακολούθησαν και άλλες χώρες της Βόρειας Ευρώπης, η Αργεντινή και η Αυστραλία (Gemtos *et al.*, 2002).

Πίνακας 6. Αριθμός μηχανών συγκομιδής με αισθητήρες παραγωγής

| Χώρα      | Αριθμός μηχανών συγκομιδής με αισθητήρες παραγωγής |
|-----------|--|
| Η.Π.Α.    | 45.000   |
| Αργεντινή | 1.000  |
| Αυστραλία | 800  |
| Αγγλία    | 400  |
| Δανία     | 400  |
| Γερμανία  | 150  |
| Σουηδία   | 150  |

Πηγή: Griffin *et al.*, 2004

### 2.3 Τεχνολογίες Γεωργίας Ακριβείας

Η γεωργία ακριβείας όπως έχει προαναφερθεί έχει σήμερα πολλές εφαρμογές σε διάφορες καλλιέργειες. Ενδεικτικά αναφέρονται αισθητήρες για χαρτογράφηση παραγωγής σε καλλιέργειες όπως η πατάτα (Campbell *et al.* 1994), τα ζαχαρότευτλα (Hoffman *et al.* 1995), η βιομηχανική τομάτα (Pelletier *et al.* 1999), το βαμβάκι (Wilkerson *et al.*, 1994, 2001, Tomasson *et al.*, 1999) κλπ. Τα τελευταία έτη έχουν εμφανιστεί συστήματα χαρτογράφησης παραγωγής σε καλλιέργειες φρούτων και λαχανικών. Αναφέρονται ενδεικτικά εφαρμογές για παραγωγή πιπεριάς (Qiuao *et al.*, 2005), ξηρών καρπών (Rains *et al.*, 2002, Velidis, 2001) και αμπελιών (Bramley 2002a, b).

Στόχος των παραπάνω εφαρμογών είναι ο εντοπισμός και η επιμέρους διαχείριση της παραλλακτικότητας που παρουσιάζουν οι ιδιότητες του εδάφους και κατ' επέκταση η καλλιέργεια, ώστε να αυξηθεί η αποδοτικότητα της και να μειωθούν οι εισροές οι οποίες συνήθως έχουν αρνητικές επιπτώσεις στο κόστος παραγωγής και στο φυσικό περιβάλλον.

Τα δομικά συστατικά ενός συστήματος γεωργίας ακριβείας, είναι η συλλογή και επεξεργασία δεδομένων, σε σχέση με την θέση τους στον αγρό, που επηρεάζουν την απόδοση της καλλιέργειας και η μεταβλητή, ανάλογα με την θέση στον αγρό, εφαρμογή εισροών σύμφωνα με τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των δεδομένων. Τα εργαλεία που είναι διαθέσιμα αποτελούνται από ένα ευρύ φάσμα τεχνικών και τεχνολογιών οι κυριότερες των οποίων είναι η τεχνολογία πληροφοριών, οι τεχνολογίες αισθητήρων και εφαρμογής τους και τέλος η γεωργική διαχείριση και τα οικονομικά (Gemtos *et al.*, 2002).

Για τον ακριβή εντοπισμό της θέσης στην οποία ο αγρός εμφανίζει κάποια παραλλακτικότητα είναι απαραίτητη η χρησιμοποίηση τεχνολογίας G.P.S. (Global Positioning System) και G.I.S. (Geographical Information System). Το G.P.S. είναι μια τεχνολογία η οποία εντοπίζει την ακριβή θέση ενός αντικειμένου βάση των συντεταγμένων του. Αποτελείται από μια συσκευή η οποία τοποθετείται πάνω στο αντικείμενο (π.χ. γεωργικό ελκυστήρα, θεριζοαλωνιστική) και επικοινωνεί με ένα σύστημα τουλάχιστον τριών δορυφόρων, οι οποίοι στέλνουν σήμα που λαμβάνει η

συσκευή προσδιορίζοντας τη θέση του πάνω στην γη. Το G.I.S. είναι ένα λογισμικό για την ανάγνωση και επεξεργασία γεωδεμένων δεδομένων.

Συνδυαστικά με τις προαναφερόμενες τεχνολογίες λειτουργούν και διάφοροι αισθητήρες. Οι αισθητήρες είναι ηλεκτρονικές συσκευές οι οποίες προσαρμόζονται στα μηχανήματα μαζί με την συσκευή G.P.S. και λαμβάνουν διάφορες μετρήσεις, σε σχέση πάντα με την θέση του μηχανήματος, οι οποίες αποθηκεύονται αυτόματα σε ψηφιακή μορφή σε κάποιο αποθηκευτικό μέσο. Η αποστολή του κάθε αισθητήρα ποικίλλει. Υπάρχουν αισθητήρες που όπως έχει προαναφερθεί προσαρμόζονται στη θεριζοαλωνιστική και μετρούν την υγρασία και το βάρος του καρπού. Άλλοι προσαρμόζονται στη βαμβακοσυλλεκτική μηχανή και υπολογίζουν το βάρος του συγκομισθέντος βαμβακιού. Άλλοι αισθητήρες δίνουν εντολή σε κάποιους ενεργοποιητές για την πραγματοποίηση κάποιας εφαρμογής, όπως για παράδειγμα η εφαρμογή ζιζανιοκτόνου μόνο στα σημεία στα οποία κάποιος άλλος αισθητήρας εντόπισε φυτά/ζιζάνια. Επίσης εφαρμογές όπως μέτρηση της ζωτικότητας του φύλλου με την τεχνολογία του Κανονικοποιημένου δείκτη Βλάστησης (Normalized Difference Vegetation Index, N.D.V.I.), η εφαρμογή της άρδευσης, η εφαρμογή φυτοπροστατευτικών προϊόντων (Φ.Π.Π.), η δειγματοληψία εδάφους και η εκτίμηση της γονιμότητάς του, γίνονται απλούστερες και ακριβέστερες με τη χρησιμοποίηση γεωγραφικών συστημάτων εντοπισμού σημείων (G.P.S.) που εξοπλίζουν τα μηχανήματα με τα οποία πραγματοποιείται η εκάστοτε λειτουργία (Gemtos *et al.*, 2002).

Η νέα αυτή τεχνολογία της γεωργίας ακριβείας παρέχει τα εργαλεία ενώ ο διαχειριστής αποφασίζει τον τρόπο που τα εργαλεία αυτά πρέπει να χρησιμοποιηθούν (Gemtos *et al.*, 2002).

Το κλειδί για την επιτυχημένη εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας είναι ο ορθός καθορισμός των ζωνών διαχείρισης εντός του αγρού. Οι ζώνες διαχείρισης είναι τμήματα του αγρού, εντός των οποίων οι ιδιότητες, η σύσταση του εδάφους και οι αβιοτικοί παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή είναι παρόμοιοι (Kitchen *et. al.*, 2005). Σε κάθε ζώνη διαχείρισης μπορεί να εφαρμοστεί μια κοινή πρακτική. Η πρακτική μεταβάλλεται ανάλογα με την παραλλακτικότητα που εμφανίζει ο αγρός σε εκείνο το σημείο και ανάλογα με τις απαιτήσεις της

καλλιέργειας επιτρέποντας έτσι στον παραγωγό να εφαρμόσει μεταβαλλόμενες εισροές και ιδιαίτερες καλλιεργητικές πρακτικές στην κάθε επιμέρους ζώνη.

### *2.3 Εφαρμογές σε καλλιέργειες υψηλής οικονομικής αξίας*

Τα μηχανήματα που μπορούν να συνδυαστούν με τα συστήματα της γεωργίας ακριβείας καθώς και τα ίδια αυτά συστήματα έχουν ένα σημαντικό κόστος κτήσης, το οικονομικό όφελος από την χρήση τους πολλές φορές δεν είναι εμφανές ενώ και η απόσβεσή τους δεν γίνεται σε σύντομο χρόνο. Επιπλέον για την χρήση τους απαιτείται υψηλό επίπεδο γνώσεων από πλευράς παραγωγού. Τα παραπάνω συνηγορούν στην επέκτασή της γεωργίας ακριβείας σε παραγωγούς μεγάλων εκτάσεων (Η.Π.Α.) καθώς και σε παραγωγούς που ασχολούνται με καλλιέργειες υψηλής οικονομικής αξίας. Στην δεύτερη περίπτωση η πλειοψηφία των παραγωγών διαθέτουν υψηλό επίπεδο γνώσεων, ενώ απαιτείται μικρότερος και οικονομικότερος εξοπλισμός ο οποίος μπορεί να αποσβεστεί σε σύντομο χρονικό διάστημα χωρίς πολλές λειτουργικές δαπάνες. Επιπλέον οι καλλιέργειες υψηλής οικονομικής αξίας είναι ως επί το πλείστον μακροχρόνιες - πολυετείς καλλιέργειες που ενδέχεται να ξεπερνούν τα 50 χρόνια παραγωγικής ζωής (ελιά, ακτινίδιο) και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία πιο σταθερών και μόνιμων ζωνών διαχείρισης.

Από τα τέλη της δεκαετίας του '90, η γεωργία ακριβείας άρχισε να εισέρχεται δυναμικά σε καλλιέργειες υψηλής αξίας, όπως δενδροκομικές καλλιέργειες και αμπελώνες. Η αρχή έγινε σε καλλιέργεια εσπεριδοειδών με χαρτογράφηση της παραγωγής. Χρησιμοποιήθηκε αυτόματο σύστημα καταγραφής της παραγωγής. Η πλατφόρμα συλλογής των παλετοκιβωτίων εξοπλίστηκε με δυναμοκυψέλες οι οποίες μετρούσαν αυτόματα το βάρος κάθε κιβωτίου που φορτώνονταν. Το φορτίο του κάθε κιβωτίου, αντιπροσώπευε την παραγωγή των δέντρων γύρω από το σημείο φόρτωσης. Ταυτόχρονα πραγματοποιούνταν καταγραφή της θέσης της πλατφόρμας με GPS. Ακολούθησε επεξεργασία των δεδομένων με ηλεκτρονικό υπολογιστή, ενώ στο τελικό στάδιο επεξεργασίας,

δημιουργήθηκαν οι χάρτες παραγωγής (Miller and Whitney, 1999, Whitney *et al.*, 2001).

Την ίδια περίπου εποχή έγινε και η πρώτη εισαγωγή της γεωργίας ακριβείας σε αμπελώνες στην Αυστραλία για τα έτη 1999 και 2000. Αποδείχθηκε ότι μπορούμε να εξάγουμε σημαντικά οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη από την εισαγωγή της γεωργίας ακριβείας χάρη στην κατάλληλη διαχείριση των ζωνών που εμφανίζονται εντός του αμπελώνα με σημαντική παραλλακτικότητα μεταξύ τους (Bramley *et al.*, 2001).

Σήμερα στην Ελλάδα, υπάρχουν μελέτες που καταδεικνύουν την ωφελιμότητα της γεωργίας ακριβείας σε καλλιέργειες υψηλής οικονομικής αξίας. Οι Αγγελοπούλου *et al.*, (2007) πραγματοποίησαν ανάλυση της χωρικής και χρονικής παραλλακτικότητας σε οπωρώνες μηλιάς στην Αγιά Λάρισας και στην Πτολεμαΐδα Κοζάνης. Έγινε χαρτογράφηση της παραγωγής και των ποιοτικών χαρακτηριστικών για τρία έτη. Βρέθηκε ότι οι μέσοι όροι της παραγωγής ήταν παρόμοιοι από έτος σε έτος. Η χωρική παραλλακτικότητα της παραγωγής, ήταν μεγαλύτερη από την παραλλακτικότητα των ποιοτικών χαρακτηριστικών. Στα ορεινά της Πτολεμαΐδας η παραγωγή ήταν χαμηλότερη ενώ η ποιότητα υψηλότερη σε αντίθεση με τα πεδινά της Αγιάς που η παραγωγή ήταν υψηλότερη ενώ η ποιότητα χαμηλότερη. Τέλος εξάχθηκε το συμπέρασμα ότι ο συνδυασμός των χαρτών παραγωγής ή ποιοτικών χαρακτηριστικών με τους αντίστοιχους χάρτες χρονικής παραλλακτικότητας, βοηθά στον καθορισμό ομογενών ζωνών διαχείρισης των αγρών.

Παρά την ελπιδοφόρο και ταχεία είσοδο της γεωργίας ακριβείας σε καλλιέργειες υψηλής οικονομικής αξίας διαπιστώθηκε ότι υπάρχουν κάποιες αντικειμενικές δυσκολίες στην πλήρη εφαρμογή της. Για την πλειοψηφία των δενδρωδών καλλιεργειών και για το σύνολο των αμπελώνων δεν υπάρχει μηχανική συγκομιδή με αποτέλεσμα την αδυναμία αυτόματης καταχώρησης της συγκομισθείσας ποσότητας σε σχέση με την θέση στον αγρό. Επίσης η εφαρμογή Φ.Π.Π. γίνεται με την χρήση αεροτουρμπίνας που ψεκάζει ψεκαστικό διάλυμα με πίεση και με σταγόνες μικρού ή υπέρμικρου όγκου. Αυτό καθιστά το ψεκαστικό διάλυμα ευάλωτο ακόμη και σε μικρές ριπές ανέμου οπότε μειώνεται αυτόματα η ακρίβεια της εφαρμογής. Επιπλέον η ορθή αντιμετώπιση αρκετών εχθρών και ασθενειών επιβάλλει τον καθολικό ψεκασμό πολλές φορές όχι μόνο του

αγροτεμαχίου αλλά όλων των αγροτεμαχίων μιας περιοχής με την συγκεκριμένη καλλιέργεια. Έτσι σε πολλές περιπτώσεις δεν μπορούμε να μιλάμε για ζώνες διαχείρισης.

Παρ' όλες όμως τις δυσκολίες που συναντά η εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας σε υψηλής αξίας καλλιέργειες όπως προαναφέρθηκε είναι πολλά υποσχόμενη και με περαιτέρω έρευνα μπορεί να λύσει αρκετά, και σε ικανοποιητικό βαθμό, προβλήματα που προέκυψαν κατά την προσπάθεια εφαρμογή της με απώτερο στόχο την προστασία του περιβάλλοντος, του χρήστη, του καταναλωτή και με καλύτερο οικονομικό αποτέλεσμα για τον παραγωγό.

## 2.4 Χρήση Αισθητήρων

Μία από τις τεχνολογίες που είναι απαραίτητη για την Γεωργία Ακριβείας είναι τα διάφορα είδη αισθητήρων, αρκετοί από τους οποίους συνδυάζονται με παγκόσμια συστήματα εντοπισμού θέσης (GPS). Η ενσωμάτωση τους στην γεωργία έχει δώσει τη δυνατότητα μιας διαφορετικής διαχείρισης σε διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας που δεν ήταν δυνατή πριν από μερικά χρόνια σε επίπεδο αγρού.

Η Γεωργία Ακριβείας σήμερα γενικά έχει στην διάθεσή της μια μεγάλη πληθώρα διαφόρων τύπων αισθητήρων όπως πολυφασματικούς αισθητήρες, αισθητήρες υπερύθρων, αισθητήρες υγρασίας εδάφους με σχετικά μικρό κόστος. Επιπλέον, η ανάπτυξη της ασύρματης τεχνολογίας επιτρέπει την καταγραφή και ανάλυση σε πραγματικό χρόνο των δεδομένων. Οι κύριες κατηγορίες γενικά των αισθητήρων που χρησιμοποιούνται στην Γεωργία Ακριβείας μόνοι τους ή σε συνδυασμό μεταξύ τους είναι οι εξής (Zhang and Wang, 2002):

1. Αισθητήρες παραγωγής.
2. Αισθητήρες θέσης (αγρού) (GPS)
3. Αισθητήρες εδάφους
4. Αισθητήρες φυτών.
5. Αισθητήρες ζιζανίων ή προσβολών.

## 2.5 Αμπελουργία Ακριβείας

Ως Αμπελουργία Ακριβείας ορίζεται η εφαρμογή της γεωργίας Ακριβείας σε αμπελώνες. Η πρώτη της εφαρμογή έγινε πράξη σε αμπελώνες στην Αυστραλία στην παραγωγή του 1999. Η εφαρμογή της απέδειξε ότι μπορεί να παρέχει σημαντικά οφέλη. Η αμπελουργία ακριβείας μπορεί να βελτιώσει συνολικά την διαχείριση της παραγωγής με σχετικά χαμηλό κόστος. Μέσω της μελέτης της παραλλακτικότητας του αγρού μπορεί να προσδιοριστεί η αντίστοιχη παραλλακτικότητα στη παραγωγή και στη ποιότητα των παραγόμενων σταφυλιών (Bramley *et al.*, 2001).

Πολλά ιδρύματα αγροτικής έρευνας καθώς και επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται στον τομέα της γεωργίας ακριβείας έδειξαν μεγάλο ενδιαφέρον με αποτέλεσμα την ταχύτατη ανάπτυξη συστημάτων, διαθέσιμων σε εμπορική κλίμακα, χαρτογράφησης της παραγωγής σε αμπελώνες κατά τη μηχανική συγκομιδή (Farmscan, 1999).

Στο Μονπελιέ της Γαλλίας, ερευνητές σε συνεργασία με τη βιομηχανία μηχανημάτων Pellenc, έχουν αναπτύξει έναν αισθητήρα παραγωγής – ποιότητας. (Tisseyre *et al.*, 2001). Η Χιλή αποτελεί μία από τις πρώτες χώρες που ενδιαφέρθηκαν για την εφαρμογή της αμπελουργίας ακριβείας στον τρύγο του 2001 (Ortega *et al.*, 2003). Η Ισπανία, πρωτοπόρος χώρα στην εφαρμογή της αμπελουργίας ακριβείας χρησιμοποιεί τα συστήματα αυτά για πρώτη φορά στον τρύγο του 2002 (Arnó *et al.*, 2005).

Η αμπελουργία ακριβείας περιλαμβάνει τη διαχείριση των αμπελώνων μέσω μιας επαναλαμβανόμενης κυκλικής διαδικασίας (Bramley *et al.*, 2003). Αρχικά καταγράφεται η παραγωγή του αγρού και των ποιοτικών χαρακτηριστικών παράλληλα με την χαρτογράφησή τους από αισθητήρες ή έπειτα από εργαστηριακή ανάλυση. Η παραλλακτικότητα της παραγωγής στα διάφορα σημεία του αγρού, μελετήθηκε διεξοδικά σε αμπελώνες της Αυστραλίας. Οι Bramley και Hamilton (2004), χαρτογράφησαν την παραγωγή σε αμπελώνες διαμορφωμένους για πραγματοποίηση μηχανικής συγκομιδής, εφοδιάζοντας τη μηχανή συγκομιδής με G.P.S. Διαπιστώθηκε ότι η παραγωγή κυμαινόταν μεταξύ 0,2-2 t/στρ., συμπεραίνοντας ότι η διαχείριση του αγρού κατά ζώνες μπορεί να αποδειχθεί



εξαιρετικά ωφέλιμη. Σε άλλη μελέτη, ο Bramley (2005) διαπίστωσε χωρική και χρονική παραλλακτικότητα στην ποιότητα των σταφυλιών για τα έτη 1999 – 2002.

Σε αμπελώνες στο Montpellier της Γαλλίας, με την βοήθεια της γεωργίας ακριβείας μετρήθηκε η παραγωγή των ποιοτικών χαρακτηριστικών των σταφυλιών και της μορφολογίας των πρεμνών. Η παραγωγή χαρτογραφήθηκε με την βοήθεια αισθητήρων που εγκαταστάθηκαν πάνω στη μηχανή συγκομιδής και η καταγραφή της εξέλιξης της φυσιολογίας των πρεμνών, έγινε με την βοήθεια δορυφορικών εικόνων (Tisseyre *et al.*, 2001). Επίσης χρησιμοποιήθηκε η τηλεπισκόπηση για τη δημιουργία ζωνών διαχείρισης με τη βοήθεια του δείκτη NDVI σε εικόνες που ελήφθησαν από δορυφόρο (Acevedo-Orazo *et al.*, 2007). Στην Καλιφόρνια των Η.Π.Α χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες με σκοπό τη χαρτογράφηση της πυκνότητας βλάστησης των πρέμνων (Dobronski *et al.*, 2002).

Στη Χιλή η γεωργία ακριβείας χρησιμοποιήθηκε για τη συσχέτιση της παραλλακτικότητας της παραγωγής, της ποιότητας και των ιδιοτήτων του εδάφους. Για τις αναλύσεις του εδάφους ακολουθήθηκε τυχαία δειγματοληψία σε ακανόνιστο πλέγμα. Αποδείχθηκε ότι υπάρχει συσχέτιση της παραγωγής και της ποιότητας με τις ιδιότητες του εδάφους. Εφαρμόστηκε επιλεκτική συγκομιδή σε διαφορετικές ημερομηνίες και μεταβαλλόμενη αζωτούχος λίπανση. Υπολογίστηκε ότι το οικονομικό όφελος από την πραγματοποίηση επιλεκτικής συγκομιδής, ανέρχεται σε 20 δολάρια ανά στρέμμα (Ortega *et al.*, 2003).

Γενικά στη Γεωργία Ακριβείας μπορεί να χρησιμοποιηθούν πολλά δεδομένα. Τα συνηθέστερα από αυτά είναι μετεωρολογικά στοιχεία, εδαφολογικά δεδομένα, όπως η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους, και τοπογραφικά δεδομένα όπως η κλίση του εδάφους.

Μετά την συλλογή των δεδομένων γίνεται η ερμηνεία και η αξιολόγησή τους, η οποία αποτυπώνεται σε χάρτες με την βοήθεια διαφόρων προγραμμάτων λογισμικού (surfer) με τελικό στόχο να προσδιοριστούν οι ζώνες διαχείρισης. Με βάση τις ζώνες ο παραγωγός επιλέγει ποιες μεταχειρίσεις, όπως το κλάδεμα, η λίπανση, το νερό ή η συγκομιδή, θα μεταβληθούν χωρικά. Βρέθηκε ότι η συγκομιδή των σταφυλιών σε περισσότερα από ένα χέρια, οδήγησε σε αύξηση της οικονομικής προσόδου της καλλιέργειας, λόγω βελτίωσης της ποιότητας των συγκομισμένων σταφυλιών (Bramley *et al.*, 2005).

Συμπερασματικά, η Γεωργία Ακριβείας έχει εφαρμογή στην αμπελουργία ακριβείας με μεγάλη επιτυχία. Κύριος της στόχος είναι η εύρεση της παραλλακτικότητας εντός του αμπελώνα με βάση την ανάλυση των δεδομένων που συνελέγησαν και την δημιουργία ζωνών διαχείρισης, οι οποίες θα συμβάλλουν στη σωστή ιδιαίτερη διαχείριση των διαφόρων τμημάτων του αμπελώνα ανάλογα με τις ιδιαίτερες απαιτήσεις της κάθε ζώνης. Έτσι, σε κάθε διαφορετική ζώνη αμπελώνα, θα εφαρμόζεται η κατάλληλη ποσότητα νερού, λιπασμάτων και ενδεχομένως φυτοπροστατευτικών προϊόντων και παράλληλα θα εφαρμόζονται οι κατάλληλες καλλιεργητικές φροντίδες και τεχνικές, όπως το κλάδεμα ή η συγκομιδή θα γίνεται την κατάλληλη περίοδο.

Με βάση τα παραπάνω γίνεται κατανοητό, ότι το πρώτο στάδιο, αυτό της συλλογής δεδομένων και της δημιουργίας ζωνών διαχείρισης είναι πολύ σημαντικό ώστε να βελτιστοποιηθεί η διαδικασία παραγωγής με ταυτόχρονη μείωση των εισροών και κατ' επέκταση των επιπτώσεων προς το περιβάλλον. Ο προσδιορισμός των ζωνών διαχείρισης εξαρτάται από τις μετρήσεις (ιδιότητες του εδάφους, παραγωγή, ποιοτικά χαρακτηριστικά, ηλεκτρική αγωγιμότητα, τοπογραφικό ανάγλυφο) που θα έχουμε στην διάθεσή μας. Στη Γεωργία Ακριβείας έχουν αναπτυχθεί συστήματα τα οποία συλλέγουν τα απαραίτητα δεδομένα και με κατάλληλη επεξεργασία εντοπίζουν την παραλλακτικότητα εντός του αγρού-αμπελώνα και βοηθούν στη δημιουργία ζωνών παραλλακτικότητας βοηθώντας έτσι τον παραγωγό στη λήψη των κατάλληλων αποφάσεων στη διαχείριση του αγρού, και την εφαρμογή μεταβλητών δόσεων εισροών (Tisseyre and McBratney, 2007). Ένα από αυτά είναι η χωρική μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους.

### *2.5.1. Ηλεκτρική Αγωγιμότητα Εδάφους*

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) γενικά δείχνει το πόσο εύκολα άγεται το ηλεκτρικό ρεύμα στο νερό του εδαφικού διαλύματος. Τα άλατα έχουν την ικανότητα να συμπεριφέρονται στο εδαφικό διάλυμα ως καλοί αγωγοί του ηλεκτρισμού. (Μήτσιος, 1996). Όσο περισσότερα είναι τα ελεύθερα υδατοδιαλυτά άλατα ενός εδαφικού διαλύματος τόσο το εδαφικό διάλυμα γίνεται καλύτερος αγωγός του

ηλεκτρικού ρεύματος άρα τόσο μεγαλύτερη η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο έδαφος (Gartley, 1995).

Η EC ενός υδατικού εκχυλίσματος του εδάφους μπορεί να δώσει μία κατά προσέγγιση ποσοτική εκτίμηση του συνόλου των υδατοδιαλυτών αλάτων του εδάφους. Ειδικότερα, EC ονομάζεται η ικανότητα ενός υλικού να συμπεριφέρεται ως αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος και εκφράζεται σε εκφράζεται σε mmhos/cm (25°C) ή σε βαθμούς Siemens (Διεθνές Σύστημα Μονάδων SI), όπου 1 deci-Siemens/meter (dS/m) = 1 mmhos/cm (Doerge *et al.* 1998).

Ο προσδιορισμός της EC περιλαμβάνει τη φυσική μέτρηση της αντίστασης των υλικών (R), η οποία εκφράζεται σε ohms. Η αντίσταση ενός υλικού είναι αντιστρόφως ανάλογη προς τη διατομική περιοχή του (A), και ανάλογη προς το μήκος του (L). Έτσι, το μέγεθος της μετρούμενης ηλεκτρικής αντίστασης εξαρτάται από τις διαστάσεις του κυττάρου αγωγιμότητας που χρησιμοποιείται, και από τα ηλεκτρόδια. Η ειδική αντίσταση (Rs), είναι η αντίσταση ενός κύβου του δείγματος, με ακμή 1 cm. Η ειδική αγωγιμότητα αναφέρεται σαν ηλεκτρική αγωγιμότητα (electrical conductance– EC):  $EC=1/R_s=K/R$  (Rhoades *et al.*, 1999).

Αντίστροφος ανάλογη της αντίστασης είναι η αγωγιμότητα (C) η οποία εκφράζεται σε αντίστροφη μονάδα των ohms, σε mhos. Όταν εφαρμόζεται η σταθερά του κυττάρου, η μετρούμενη αγωγιμότητα μετατρέπεται σε ειδική αγωγιμότητα, στη θερμοκρασία μέτρησης (στην περίπτωση μας στους 25°C).

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι ένας σημαντικός και αξιόπιστος δείκτης της ποιότητας-γονιμότητας του εδάφους. Επίσης, η ηλεκτρική αγωγιμότητα έχει συσχετισθεί με τον προσδιορισμό της αλατότητας του εδάφους, αν και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν μέτρο των διαλυτών θρεπτικών κατιόντων και ανιόντων (Smith and Doran, 1996).

Η αλατότητα του εδάφους επηρεάζει σημαντικά τις φυσικές, χημικές και βιολογικές ιδιότητες του εδάφους οι οποίες με την σειρά τους επηρεάζουν την διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων και την ανάπτυξη των φυτών γενικότερα.

## 2.5.2. Φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους

Φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους (ECa) ονομάζεται η ηλεκτρική αγωγιμότητα της μάζας του εδάφους, η οποία προσδιορίζεται στον αγρό (Rhoades *et al.* 1999). Τα ηλεκτρόνια έχουν την δυνατότητα να κινούνται μέσω του εδαφικού διαλύματος, εντός των μεγάλων πόρων, κατά μήκος των ορυκτών του εδάφους (ανταλλάξιμα ιόντα), και μέσω των εναλλασσόμενων στρωμάτων των εδαφικών τεμαχίων και του εδαφικού διαλύματος (Rhoades *et al.* 1989).

Αν και υπάρχουν πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν την παραλλακτικότητα της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους, οι μετρήσεις της ECa, έχουν συσχετισθεί με παράγοντες που περιορίζουν τη γονιμότητα του εδάφους, όπως η αλατότητα (Rhoades and Corwin, 1981). Η ECa ενοποιεί ένα ευρύτερο σύνολο παραγόντων που επηρεάζουν την παραγωγή μιας καλλιέργειας (Doerge *et al.*, 1999).

Η ECa προσδιορίζεται σήμερα πολύ εύκολα και οικονομικά και είναι μια από τις απλούστερες και οικονομικότερες μεθόδους που χρησιμοποιούνται στη γεωργία ακριβείας γενικά και στην Αμπελουργία Ακριβείας ειδικότερα. Υπάρχει η δυνατότητα να γίνει επιτόπια στον αγρό, και επιπλέον οι συσκευές μέτρησης της ECa συνδυάζονται με G.P.S., και δίνουν μετρήσεις οι οποίες χρησιμοποιούνται για την κατασκευή χαρτών μέσω διαφόρων λογισμικών (G.I.S., Surfer). Η παραλλακτικότητα της παραγωγής είναι πιθανόν να οφείλεται στην παραλλακτικότητα του αγρού. Η οποία να μπορεί να αποτυπωθεί με την παραλλακτικότητα της ECa (Μαρκινός *et al.*, 2003).

## 2.5.3. Μέθοδοι προσδιορισμού της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας

Η φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους μπορεί να προσδιορισθεί με δύο τρόπους :

- Μέτρηση της ECa με ηλεκτρομαγνητική επαγωγή
- Μέτρηση της ECa με ηλεκτρόδια επαφής

Και οι δύο μέθοδοι εφαρμόζονται επί του αγρού με ειδικούς αισθητήρες, εύκολα και συνήθως για τη δημιουργία χαρτών της ECa του εδάφους σε κάθε περιοχή μελέτης ( Doerge *et al.* , 1999).

Οι μετρήσεις που γίνονται με την ηλεκτρομαγνητική επαγωγή, πραγματοποιούνται με την εισαγωγή της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας στα γεωλογικά υλικά, χρησιμοποιώντας μια πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος που διαπερνά την επιφάνεια του εδάφους αλλά δεν κάνει φυσική επαφή. Το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που προκαλεί το εναλλασσόμενο ρεύμα μετριέται από έναν αισθητήρα – συσκευή. Η ένταση του δευτεροβάθμιου ηλεκτρομαγνητικού πεδίου είναι άμεσα ανάλογη προς την φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους (Doerge *et al.*, 1999).

Οι μετρήσεις που γίνονται με τα ηλεκτρόδια επαφής περιλαμβάνουν συσκευές που διοχετεύουν ηλεκτρικό ρεύμα στο έδαφος μέσω μεμονωμένων μεταλλικών ηλεκτροδίων που εισχωρούν στην επιφάνεια του εδάφους. Οι συσκευές αυτές μετρούν άμεσα την πτώση τάσης μεταξύ μιας πηγής ηλεκτρικού ρεύματος και ενός ηλεκτροδίου αισθητήρα. Και οι δύο μέθοδοι δίνουν αποτελέσματα αντίστοιχης ακριβείας (Doerge *et al.*, 1999).

#### 2.5.4. Αισθητήρες μέτρησης ηλεκτρικής αγωγιμότητας

Ένα βασικό εργαλείο με το οποίο μπορεί να προσδιορισθεί η φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα στον αγρό είναι ο αισθητήρας EM38 του οίκου Geonics limited (Εικόνα 10). Ο αισθητήρας έχει στα δύο άκρα του δύο πηνία (πομπός-δέκτης) τα οποία απέχουν μεταξύ τους απόσταση ενός μέτρου και λειτουργεί σε συχνότητα 14,6 kHz τροφοδοτούμενος από μπαταρία 9V (McNeill, 1992). Η λειτουργία του βασίζεται στην παραγωγή εναλλασσόμενου ρεύματος, το οποίο παράγεται από ένα μικρό πηνίο-πομπό το οποίο βρίσκεται στην πίσω άκρη του οργάνου. Με την είσοδο του παραγόμενου ρεύματος στο έδαφος δημιουργείται ένα πρωτεύον μαγνητικό πεδίο το οποίο με τη σειρά του παράγει ηλεκτρικό ρεύμα μικρότερης έντασης. Το παραγόμενο αυτό ρεύμα δημιουργεί ένα μικρότερο δευτερεύον μαγνητικό πεδίο. Τα δύο αυτά μαγνητικά πεδία λαμβάνονται από ένα

δεύτερο πηνίο-δέκτη το οποίο βρίσκεται στο πρόσθιο μέρος του οργάνου. Η αναλογία του πρωτεύοντος με το δευτερεύον μαγνητικό πεδίο είναι μια γραμμική συνάρτηση της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους (Geonics Limited, 2006).

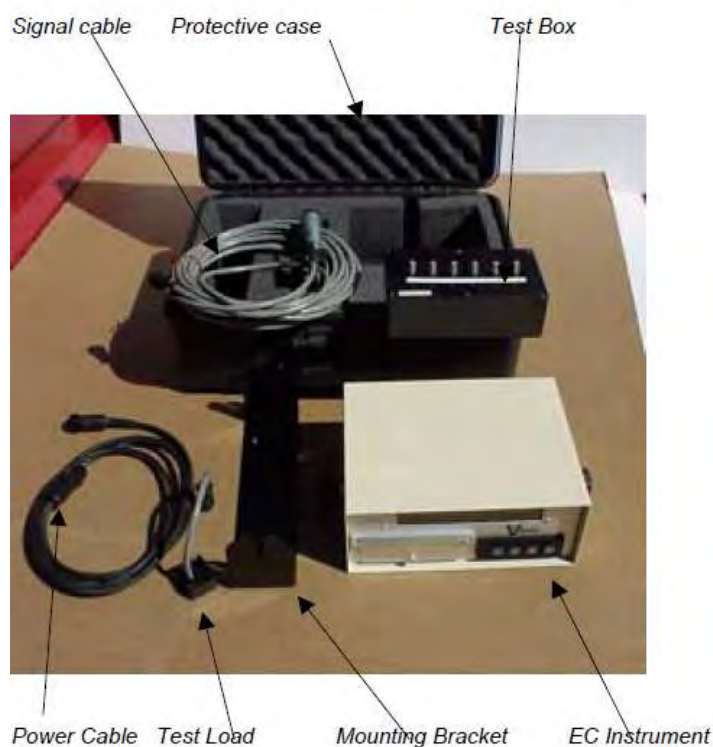
Ο αισθητήρας έχει τη δυνατότητα μέτρησης τόσο στην κατακόρυφη θέση λειτουργίας (η μικρή πλευρά του προς τα κάτω) όσο και στην οριζόντια θέση (η μεγάλη πλευρά παράλληλη προς την επιφάνεια του εδάφους). Στην κατακόρυφη θέση έχει δυνατότητα μέτρησης της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε βάθος 1,5 μέτρων ενώ στην οριζόντια θέση η ικανότητα μέτρησης φτάνει τα 0,75 μέτρα. Η ένδειξη της ECa που καταγράφεται με τον αισθητήρα αποτελεί το μέσο όρο των τιμών της ECa μιας κάθετης τομής του εδάφους. Οι τιμές των μετρήσεων της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του αισθητήρα καταγράφονται είτε σε data logger είτε σε ηλεκτρονικό υπολογιστή ενώ υπάρχει και η δυνατότητα σύνδεσης με G.P.S. ώστε να καθίσταται δυνατή και η καταγραφή της θέσης κάθε σημείου μέτρησης (McNeill, 1992).

Η σύνδεση του EM 38 με G.P.S. και ηλεκτρονικό υπολογιστή δίνει τη δυνατότητα να καταγραφούν και να αποθηκευτούν οι τιμές της ECa σε συνδυασμό με τις συντεταγμένες κάθε σημείου του χωραφιού. Έτσι το αρχείο με τα δεδομένα του αγρού, με την βοήθεια ειδικών λογισμικών (surfer) χρησιμοποιείται για την αποτύπωση των δεδομένων σε χάρτη που απεικονίζει τη φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα του χωραφιού και έτσι μπορεί να διαπιστωθεί η ύπαρξη παραλλακτικότητας εντός του αγρού και να προσδιορισθούν οι διάφορες ζώνες καλλιέργειας.



Εικόνα 10. Το EM38 του οίκου Geonics

The Veris EC Instrument Kit (PN 15161) includes the following:



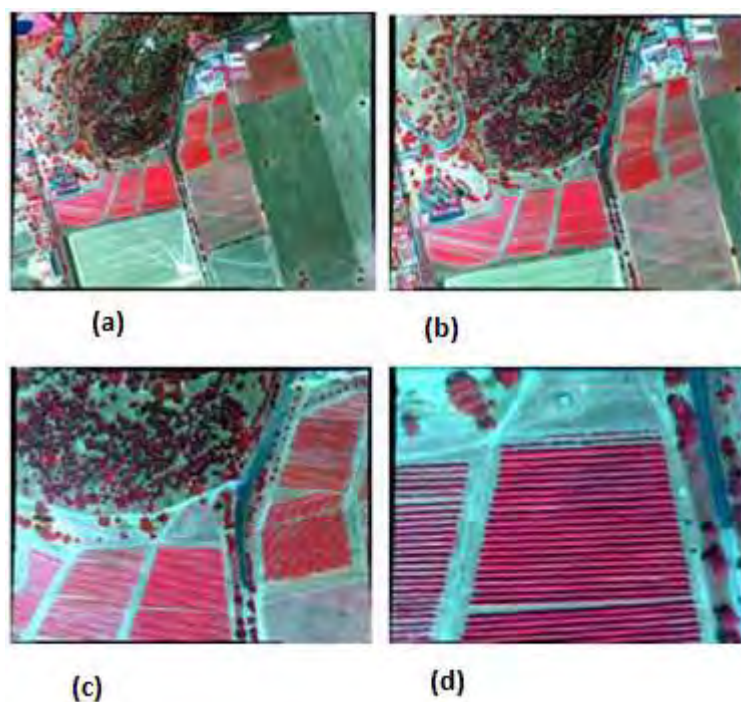
Εικόνα 11. Εξοπλισμός VERIS 2000XA.

Στην αμπελουργία χρησιμοποιείται το μοντέλο 'Veris2000XA' (Εικόνα11), το οποίο έχει διαστάσεις αρκετά μικρές (πλάτος 1,5 m) ώστε να χωράει μεταξύ των γραμμών του αμπελώνα. Το μοντέλο Veris 2000 XA<sup>®</sup> καταγράφει την ηλεκτρική αγωγιμότητα μόνο σε ένα βάθος εδαφικού προφίλ (από 0 έως 60 εκατοστά ή από 0 έως 90 εκατοστά). Στην συνέχεια, οι μετρήσεις τις ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε συνδυασμό με το γεωγραφικό στίγμα των σημείων στα οποία αναφέρονται,

μεταφέρονται σε ηλεκτρονικό υπολογιστή όπου με την βοήθεια του κατάλληλου λογισμικού μετατρέπονται σε ψηφιακό χάρτη.

## 2.6 Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης – NDVI

Ο δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) είναι μια σύνθετη πολυφασματική εικόνα (multispectral composite) (Εικόνες 12 a–d). Οι εικόνες - δείκτες (index images) δημιουργούνται συνδυάζοντας διαφορετικούς συνδυασμούς μονοχρωματικών εικόνων που λαμβάνονται από διαφορετικές κάμερες (Εικόνα 13).



Εικόνες 12 a-d. Πολυφασματική εναέρια εικόνα (ψευδούς χρώματος) του Πανεπιστημίου Charles Sturt University Wagga (Hall *et al.*, 2002).

Ο αμπελώνας Wagga ελήφθηκε τον Ιανουάριο 2001 σε τέσσερις διαφορετικές κλίμακες:

(a) Ύψος (altitude) = 2.25 km, μέγεθος εικονοστοιχείου = 1.5 m, περιοχή κάλυψης = 110 Ha,

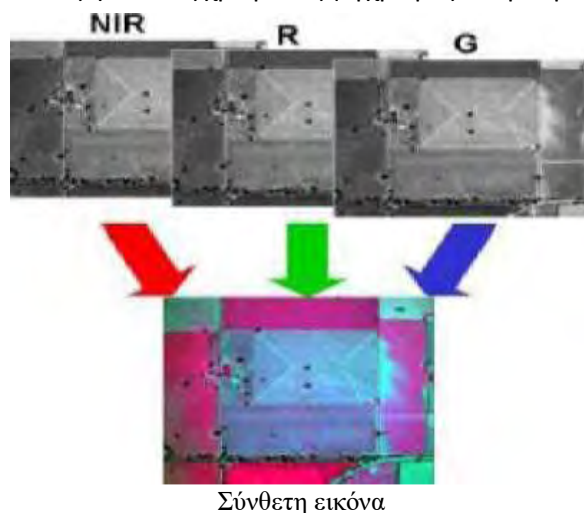
(b) Ύψος = 1.5 km, μέγεθος εικονοστοιχείου = 1.0 m, περιοχή κάλυψης = 49 Ha,

(c) Ύψος = 750 m, μέγεθος εικονοστοιχείου = 50 cm, περιοχή κάλυψης = 12 Ha

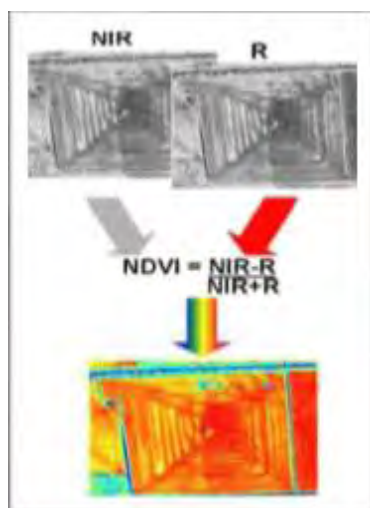
(d) Ύψος = 300 m, μέγεθος εικονοστοιχείου = 20 cm, περιοχή κάλυψης = 2 Ha.



Εικόνες ψευδούς χρώματος (έγχρωμες υπέρυθρες)



Εικόνα 13. Δημιουργία σύνθετης εικόνας από εικόνες ψευδούς χρώματος.



Εικόνα 14. Δημιουργία χάρτη NDVI με συνδυασμό των κατάλληλων καναλιών

Ο δείκτης αυτός χρησιμοποιείται ευρύτατα σήμερα σε μελέτες βλάστησης με τηλεπισκόπηση. Ο υπολογισμός του περιλαμβάνει την αναλογία ανάμεσα στο ποσό της ανακλώμενης ενέργειας στο NIR συγκρινόμενη με αυτή στο κόκκινο μέρος του φάσματος. Ο τύπος είναι:

Εξίσωση 1. Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς (Tucker, 1979).

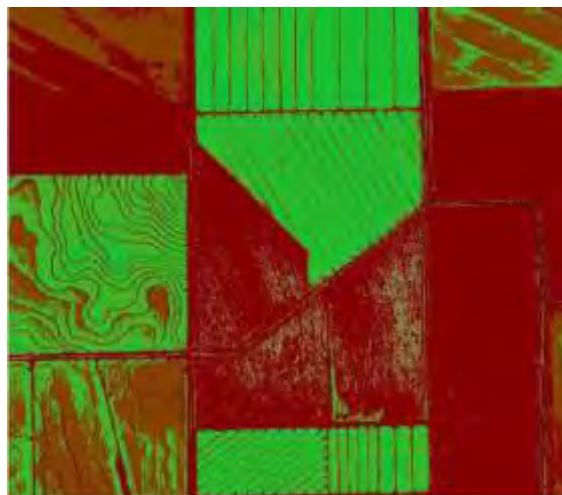
$$NDVI = \left( \frac{NIR - red}{NIR + red} \right)$$

όπου:

NIR = τιμή ανάκλασης στη συχνότητα του κοντινού υπέρυθρου

Red = τιμή ανάκλασης στη συχνότητα του ορατού κόκκινου

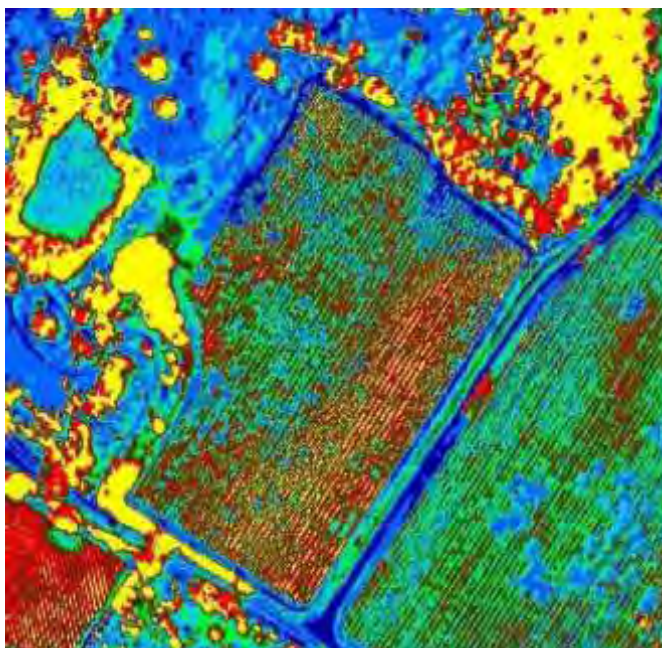
Η υγιής, απαλλαγμένη από αρρώστιες βλάστηση η οποία λαμβάνει άφθονη τροφοδοσία νερού αντανακλά στις κυματομορφές του κοντινού υπέρυθρου (near infra - red ή NIR) πολύ ισχυρά (Εικόνα 14). Όσο υψηλότερη η τιμή του NDVI τόσο ζωηρότερα αναπτύσσεται το φύλλωμα (Εικόνα 15). Μια χαμηλή τιμή είναι ένας πειστικός δείκτης είτε ασθένειας φυτού ή καταπόνησης του φυτού οφειλόμενη σε ανεπάρκεια νερού (Relling, 2001).



Εικόνα 15. Τμήμα NDVI μιας εικόνας IKONOS ευκρινώς διαχωρίζει τις περιοχές υγιούς βλάστησης (πράσινο), καταπονημένης βλάστησης (καφέ) και αφύτευτης αγροτικής έκτασης (κόκκινη) (Remote View, 2005).

Το ταξινομημένο προϊόν εικόνας NDVI (Εικόνα 16) παρέχει τα πολυφασματικά στοιχεία που παρουσιάζουν 9 ως 12 κατηγορίες διαφοροποίησης πυκνότητας φυλλωμάτων. Οι πιθανές δράσεις που σχετίζονται με την συγκομιδή (pre - harvest) περιλαμβάνουν τη διαχείριση νερού και φυλλωμάτων, τις ασθένειες και τον έλεγχο εχθρών των καλλιεργειών, την παρακολούθηση της θρέψης και δειγματοληψία σακχάρων. Οι εφαρμογές ελέγχου πορείας ωρίμανσης που

σχετίζονται με την συγκομιδή περιλαμβάνουν την κατάτμηση των αμπελώνων στους τομείς παρόμοιας πυκνότητας φυλλώματος, και την εκτίμηση της πιθανής συγκομιδής, όταν χρησιμοποιούνται από κοινού με επίγεια στοιχεία (Terra Spase 2005).



Εικόνα 16. Ταξινομημένη εικόνα NDVI που παρουσιάζει 9-12 κατηγορίες διαφοροποίησης πυκνότητας φυλλωμάτων

Ο δείκτης NDVI χρησιμοποιείται για να υπολογιστούν οι ιδιότητες της πράσινης βλάστησης, όπως ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας και η βιομάζα, μιας και έχει άμεση σχέση με τις φωτοσυνθετικές ιδιότητες της βλάστησης. Αναγνωρίζει το πόσο πράσινο είναι το φυτό και παίρνει τιμές από -1 έως 1, στις γεωργικές καλλιέργειες ( Phillips *et al.*, 2008).

Το NDVI συσχετίζεται με τη βιομάζα στα διάφορα σημεία του αγρού. Αν διαιρέσουμε τον δείκτη NDVI με τον αριθμό των ημερών από τη σπορά ή το φύτευμα μπορούμε να εκτιμήσουμε τη βιομάζα που παράγεται ανά ημέρα, που αποτελεί το ποσοστό αύξησης και συσχετίζεται με την τελική δυνατότητα παραγωγής.

Στην άμπελο, οι ιδιότητες του φυλλώματος σχετίζονται στενά με την παραγωγή και τη σύσταση των σταφυλιών (Smart and Robinson, 1991). Επομένως, η απόκτηση της πληροφορίας για την μεταβλητότητα στο χώρο των επιδόσεων των πρέμνων είναι εφικτή, καθώς οι ιδιότητες του φυλλώματος συνδέονται άμεσα με τα χαρακτηριστικά του ηλιακού φωτός που αντανακλάται από το φύλλωμα (Hall *et al.*,

2002). Το ανακλώμενο φως, φυσικό ή τεχνητό, καταγράφεται από ειδικούς ανιχνευτές (sensors) που βρίσκονται σε απόσταση ή κοντά στο φύλλωμα των πρέμνων. Μετά από κατάλληλη ερμηνεία, η αποκτώμενη πληροφορία μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην καλλιέργεια των αμπελώνων.

Η έρευνα που έχει πραγματοποιηθεί στη χώρα μας σχετικά με τη χρήση αισθητήρων που αποτυπώνουν το ανακλώμενο φως στους αμπελώνες έδειξε ότι μπορούν να δώσουν αξιόλογες πληροφορίες για τη βλάστηση και τις παραμέτρους της σύστασης της ρώγας όπως είναι η συγκέντρωση χρωστικών (Stamatiadis *et al.*, 2006, 2010). Παρότι η έρευνα αυτή πραγματοποιήθηκε σε αμπελώνες με έκταση από 5 ως 10 στρ., η παραλλακτικότητα που παρατηρήθηκε σε διάφορα χαρακτηριστικά των φυτών ήταν επαρκής για να δικαιολογήσει την εφαρμογή μεθόδων της Αμπελουργίας Ακριβείας.

#### 2.6.1. Αισθητήρες μέτρησης NDVI

Ο δείκτης NDVI μπορεί να μετρηθεί με διάφορους αισθητήρες, όπως ο Crop Circle. Ο Crop Circle είναι ένα εργαλείο διαχείρισης του αζώτου, το οποίο μπορεί να δώσει σημαντικά οικονομικά αποτελέσματα στον παραγωγό. Ο αισθητήρας crop circle χρησιμοποιεί μια ενεργή πηγή φωτός και έναν αισθητήρα για το NIR (υπέρυθρο) και το NAR (ορατό) φως που ανακλώνται από τα φυτά για να υπολογίσει το συντελεστή ανάκλασης του φυτού και με βάση αυτόν, τη βιομάζα και την κατάσταση του αζώτου. Μπορεί να σαρώσει τα φυτά και να προσδιορίσει μια μεταβλητή ποσότητα αζώτου για να εφαρμοστεί σε πραγματικό χρόνο. Τοποθετείται επάνω στο λιπασματοδιανομέα ή τον ελκυστήρα και κάθε φορά που γίνεται ένα πέρασμα δημιουργείται ένας χάρτης που παρουσιάζει τη παραλλακτικότητα του αζώτου στον αγρό. Ο χάρτης αυτός χρησιμοποιείται για την εφαρμογή διαφορετικής ποσότητας λιπάσματος ανά μονάδα επιφάνειας. Με το crop circle μπορεί να ρυθμιστεί να δοθεί η κατάλληλη δόση αζώτου στα φυτά.

## ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Ο σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής είναι να εντοπίσει και να αναλύσει την παραλλακτικότητα των φυσιολογικών χαρακτηριστικών του αμπελιού με την βοήθεια της γεωργίας ακριβείας σε διαφορετικά επίπεδα άρδευσης κατόπιν πειραματικής εφαρμογής άρδευσης σε παραγωγικό αμπελώνα. Με την προσέγγιση αυτή θα προσδιοριστούν τα οφέλη από την εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας στην ορθολογικότερη χρήση των υδάτινων πόρων και σε θέματα που σχετίζονται με την ποσότητα της συγκομιδής σε διαφορετικά επίπεδα άρδευσης.

## ΜΕΡΟΣ Β – ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### Κεφάλαιο 4. Υλικά και Μέθοδοι

#### 4.1 Πειραματικός σχεδιασμός

Το πείραμα συμπεριλήφθηκε στις δράσεις του προγράμματος SIRRIMED – Sustainable use of irrigation water in the Mediterranean Region (2010 - 2013) και πραγματοποιήθηκε στον αμπελώνα του κτήματος Γεροβασιλείου. Το κτήμα βρίσκεται στην περιοχή της Επανομής της Θεσσαλονίκης και καταλαμβάνει συνολική έκταση 560 στρεμμάτων. Το έδαφος στη συγκεκριμένη περιοχή χαρακτηρίζεται γενικά ως ασβεστολιθικό ή ασβεστούχο (Εικόνα 17).

Χρησιμοποιήθηκε η ποικιλία Syrah εμβολιασμένη σε υποκείμενο 1103Ρ. Το σχήμα διαμόρφωσης ήταν αμφίπλευρο γραμμικό, το κλάδεμα ήταν βραχύ στον 1 οφθαλμό και οι αποστάσεις φύτευσης 1,2 x 2,0 m.

Αρχικά καθορίστηκαν τα διαφορετικά τμήματα από τα οποία έγινε η συλλογή των δεδομένων, δηλαδή μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους με σκοπό την διερεύνηση της ύπαρξης ή όχι ζωνών παραλλακτικότητας, η μέτρηση της εδαφικής υγρασίας, η μέτρηση του δείκτη NDVI, η μέτρηση του υδατικού δυναμικού και η συλλογή των στοιχείων παραγωγής.



Εικόνα 17. Γενική άποψη κτήματος Γεροβασιλείου στην Επανομή Θεσσαλονίκης (Google Earth).



Εικόνα 18. Γενική άποψη του αμπελώνα και του οινοποιείου (<http://www.gerovassiliou.gr/el/κτήμα/αμπελώνας>).

Επιλέχθηκαν τρεις σειρές (plot) στις οποίες εφαρμόστηκαν τρία διαφορετικά επίπεδα άρδευσης:

- (α) άρδευση στο 100% της εξατμισοδιαπνοής (F),
- (β) άρδευση στο 50% της εξατμισοδιαπνοής (D) και
- (γ) χωρίς άρδευση (N).

Η άρδευση γινόταν μέσω μόνιμης εγκατάστασης με σταλάκτες παροχής 4 L/ώρα. Σε κάθε τμήμα μετρήθηκε ξεχωριστά ο δείκτης NDVI και το υδατικό δυναμικό. Έγινε η συγκομιδή και υπολογίσθηκε χωρικά ανά τμήμα το ύψος της παραγωγής. Από κάθε σειρά – μεταχείριση συνολικού μήκους περίπου 80 μέτρων χωρίστηκαν 4 τμήματα- που ήταν οι επαναλήψεις (blocks). Το κάθε τμήμα είχε μήκος 9 περίπου μέτρα το οποίο περιλάμβανε 8 φυτά. Σε κάθε πλευρά του κάθε τμήματος ορίστηκαν 9 μέτρα εκατέρωθεν ως περιθώριο (border) στα οποία δεν λήφθηκαν υπόψη οι μετρήσεις. Οι μετρήσεις που πάρθηκαν από τα από τις μεταχειρίσεις είχαν ως εξής : από την άκρη border – block 1 – border – block 2 – border – block 3 – border – block 4 - border. Τα blocks είναι αριθμημένα από την Β-ΒΔ πλευρά του αμπελώνα (Εικόνα 19, 20, 21-α,β).

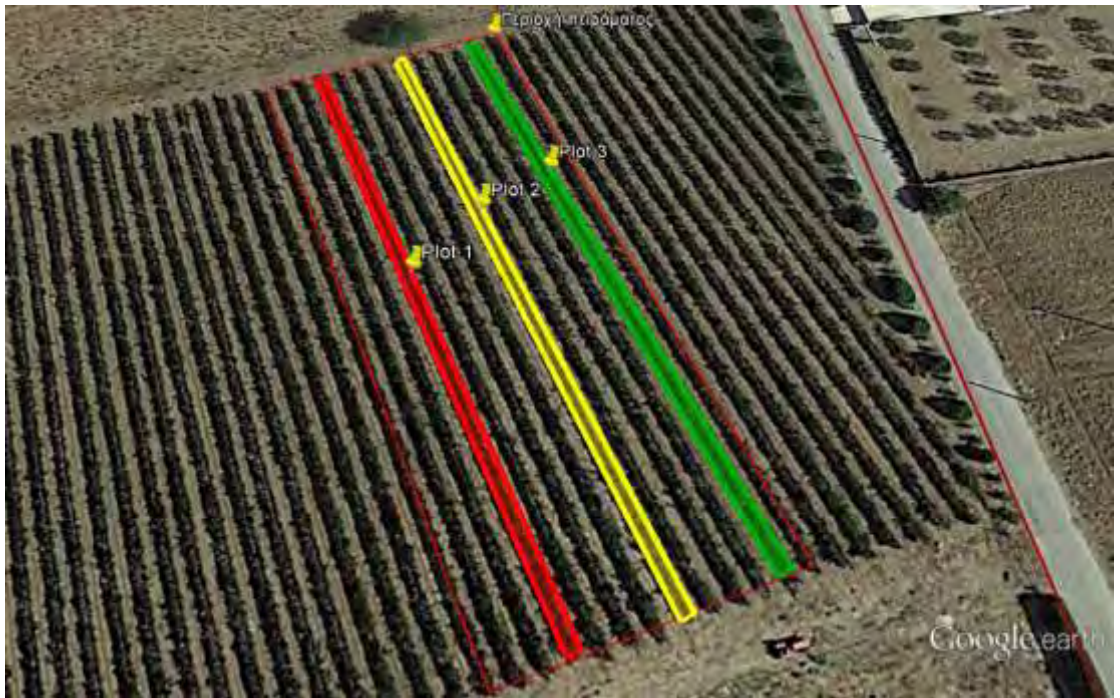


Εικόνα 19. Περιοχή πειράματος.



Εικόνα 20 : Περιοχή πειραματικών μετρήσεων (λεπτομέρεια).





Εικόνα 21α. Πειραματικά Plot.



Εικόνα 21b. Αποτύπωση σε εικόνα από το Google Earth των πειραματικών Block (όπου Br = Border=9 μέτρα και Bk = Block=9 μέτρα)

Στα πλαίσια του προγράμματος πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω μετρήσεις οι οποίες αξιοποιήθηκαν για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας :

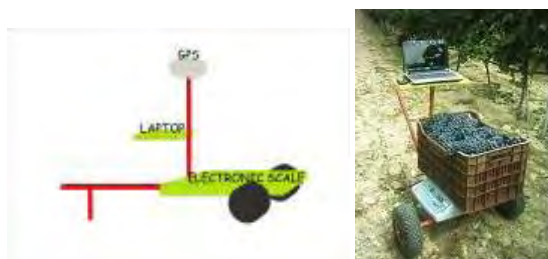
1. μία (1) μέτρηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας εδάφους,
2. τρεις (3) μετρήσεις του δείκτη NDVI στις 22/6/2012, 19/7/2012 και 29/8/2012,

3. μετρήσεις υγρασίας εδάφους για το διάστημα από 30/08/2012 ως 29/09/2012 στο plot D (50% της άρδευσης) με ασύρματους αισθητήρες υγρασίας εδάφους,
4. μετρήσεις υγρασίας εδάφους και στα τρία Plot με αισθητήρες Diviner 2000 για το διάστημα από 21/05/2012 ως 26/08/2012
5. μία (1) μέτρηση του ύψους παραγωγής και στα τρία plot.

Επιπλέον για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης πραγματοποιήθηκαν επτά (7) μετρήσεις υδατικού δυναμικού φύλλου (ΨL), με την χρήση θαλάμου πίεσης σε 3 ώριμα φύλλα ανά πειραματική μονάδα, κατά τις βραδινές ώρες, πριν την ανατολή του ηλίου, στις 7/7/2012, 13/7/2012, 22/7/2012, 29/7/2012, 7/8/2012, 13/8/2012 και 17/8/2012.

Την επεξεργασία των παραπάνω δεδομένων (ηλεκτρικής αγωγιμότητας, δείκτη NDVI, υδατικού δυναμικού και υγρασίας εδάφους) ακολούθησε η συσχέτιση με τα δεδομένα παραγωγής με στόχο την εξαγωγή συμπερασμάτων για το αν μπορεί η Αμπελουργία Ακριβείας να δώσει λύσεις αποτελεσματικής άρδευσης πέραν των κλασικών μεθόδων (υγρασιόμετρα εδάφους) με σκοπό την ευκολότερη λήψη αποφάσεων για τη διαχείριση της άρδευσης.

Η συγκομιδή έγινε τον Σεπτέμβριο του 2012. Κατά την διάρκεια της συγκομιδής, στα πλαίσια του συνολικού πειράματος, μετρήθηκαν η παραγωγή σε κιλά, ο αριθμός σταφυλιών ανά πρέμνο (Εικόνα 22) και ο αριθμός σταφυλιών ανά βλαστό.



Εικόνα 22.Επιτόπιος υπολογισμός παραγωγής ανά πρέμνο.

## 4.2 Υλικά

### 4.2.1 Αισθητήρας CropCircle

Για τη μέτρηση του NDVI χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας CropCircle (ACS-210, Holland Scientific Inc., Lincoln, NE), συνδεδεμένος με ένα D - GPS (Differential-GPS 106, Trimble Ltd., USA) για να καταγράφεται η θέση της κάθε μέτρησης. Ο data logger Geoscout (GLS-400, Holland Scientific Inc., Lincoln, NE) ρυθμίστηκε ώστε να καταγράφει μέτρηση κάθε μισό δευτερόλεπτο. Όλος ο εξοπλισμός τοποθετήθηκε πάνω σε ένα γεωργικό ελκυστήρα ώστε είναι σταθερός σε κατάλληλα ρυθμιζόμενο ύψος και απόσταση από τα φυτά. Συλλέχθηκαν δύο μετρήσεις, μία από το πλάι της σειράς και μια από πάνω.



Εικόνα 23.Crop circle

### 4.2.2 Αισθητήρας Diviner 2000

Η μέτρηση της εδαφικής υγρασίας στα τρία διαφορετικά επίπεδα άρδευσης, σε όλη τη διάρκεια του πειράματος, γινόταν με τη βοήθεια του οργάνου Diviner 2000 (Εικόνα 24). Το Diviner 2000 είναι φορητό όργανο μέτρησης υγρασίας, λειτουργεί με την μέθοδο FDR και έχει συχνότητα λειτουργίας περίπου τα 200 MHz (Sentek, 2007). Με τη μέθοδο FDR (frequency - domain reflectometry / ανακλωμέτρησης συχνότητας) η κατ' όγκο υγρασία υπολογίζεται μέσω της αλλαγής της διηλεκτρικής σταθεράς του εδάφους. Το έδαφος ως γνωστόν αποτελείται από τρεις διαφορετικές φάσεις (στερεά, υγρή, αέρια) και επομένως η τιμή της

διηλεκτρικής σταθεράς εξαρτάται από τη συμβολή της κάθε μιας από αυτές. Η μετατροπή του σήματος εξόδου του αισθητήρα (χρόνος – συχνότητα, εμπέδηση, φάση) σε περιεχόμενη εδαφική υγρασία στηρίζεται σε εμπειρικές σχέσεις βαθμονόμησης. Η μέθοδος βασίζεται στη μέτρηση της χωρητικότητας πυκνωτή (capacitance) του εδάφους ή τη διηλεκτρική σταθερά τα οποία ως γνωστό συσχετίζονται με την ογκομετρική εδαφική υγρασία.

Οι αισθητήρες που κάνουν χρήση της τεχνολογίας FDR τυγχάνουν γρήγορης αποδοχής λόγω του άμεσου χρόνου απόκρισης και της συνεχούς καταγραφής των μετρήσεων. Τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα χρήσης των αισθητήρων FDR είναι τα ακόλουθα (Γράβαλος κ.α., 2006, Παρασκευάς, 2010, Τερζίδης, 2014):

- Η υψηλή ακρίβεια που προσφέρουν μετά από επιτυχή βαθμονόμηση ( $+0.01\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ )
- Η δυνατότητα μέτρησης της υγρασίας σε εδάφη με υψηλή αλατότητα στα οποία άλλοι αισθητήρες (όπως οι TDR) αδυνατούν,
- Καλύτερη ακρίβεια σε σχέση με άλλους αισθητήρες (TDR),
- Δυνατότητα σύνδεσης με συμβατικούς data loggers
- Σχετικά χαμηλότερη τιμή σε σχέση με άλλους αισθητήρες (TDR) λόγω της χαμηλής τιμής που έχουν τα κυκλώματα χαμηλής συχνότητας που χρησιμοποιούν
- Η σχετική μικρή σφαίρα μέτρησης γύρω από τον αισθητήρα (ακτίνας περίπου 4 cm)
- Η ύπαρξη – για αξιόπιστες μετρήσεις – καλής επαφής μεταξύ εδάφους και αισθητήρα
- Η μεγαλύτερη ευαισθησία που παρουσιάζει σε σχέση με άλλους αισθητήρες (TDR) στις μεταβολές της θερμοκρασίας, του φαινόμενου ειδικού βάρους καθώς και στον εγκλωβισμένο αέρα του εδάφους
- Η ανάγκη για τοπική βαθμονόμηση



Εικόνα 24. Αισθητήρας μέτρησης εδαφικής υγρασίας (Diviner 2000)

Για τη μέτρηση της υγρασίας στον αγρό προαπαιτείται η εγκατάσταση σωλήνων PVC στο έδαφος. Μέσα σε αυτούς, ο αισθητήρας ολισθαίνει. Η εγκατάσταση έγινε στο κέντρο του πειραματικού αγρού με τη χρήση των οργάνων της κατασκευάστριας εταιρείας, κατακόρυφα στο έδαφος και σύμφωνα με τους κανόνες που αυτή προτείνει.

Η μέτρηση γίνεται με την τοποθέτηση του αισθητήρα μέσα στο σωλήνα PVC. Ο αισθητήρας με τη βοήθεια του χρήστη ολισθαίνει μέσα στο σωλήνα. Το όργανο παίρνει δύο μετρήσεις υγρασίας ανά 10cm, μία προς την κάθοδο και μία προς την άνοδο. Ο μέσος όρος αυτών των μετρήσεων εμφανίζεται στο τέλος της διαδικασίας αριθμητικά και γραφικά στο data logger του οργάνου. Οι μετρήσεις στο Diviner 2000: Βασίζονται στις αρχές της μέτρησης της εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο της διηλεκτρικής σταθεράς στην οποία ανήκει η μέθοδος των μικροκυμάτων.

Οι μετρήσεις γίνονται ανά 10 cm και η ακτίνα επιρροής έξω από το σωλήνα είναι 5 cm. Έτσι η μέτρηση των 10 cm αφορά τη στρώση 0-10 cm ή 5-15 cm ανάλογα με την εγκατάσταση του οργάνου. Με τα όργανα αυτά μπορούμε να μετρήσουμε την ογκομετρική εδαφική υγρασία ( $\theta_v$ ) σε βάθος μέχρι 1 m ανά 10 cm. Ουσιαστικά μετράται η συχνότητα (frequency) ( $F_s$ ) που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο έδαφος και τη συγκεκριμένη εδαφική υγρασία.

Πριν από τη χρήση του οργάνου στο έδαφος απαιτείται η μέτρηση της συχνότητας αυτής

- στον αέρα σε ένα άδειο δοχείο ( $F_a$ ) και
- σε δοχείο 200 l γεμάτο με νερό ( $F_w$ ).

Η μετατροπή των μετρήσεων με το όργανο σε κατ' όγκο υγρασία γίνεται με τη βοήθεια μιας κλιμακωτής συχνότητας (Scaled Frequency, SF) η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$SF = \frac{F_A - F_S}{F_A - F_W}$$

όπου τα F όπως ορίστηκαν προηγούμενα. Η τιμή του F κυμαίνεται από 120.000 (100% νερό) μέχρι 160.000 (100% αέρας).

Στη συνέχεια απαιτείται για τα σημεία στα οποία έγινε η μέτρηση της συχνότητας να μετρηθεί με βαρυμετρική μέθοδο η περιεχόμενη κατ' όγκο υγρασία του εδάφους ( $\theta_v$ ). Στη συνέχεια γίνεται συσχέτιση της  $\theta_v$  με την SF και παίρνεται η εξίσωση συσχέτισης η οποία μας δίνει απευθείας την κατ' όγκο περιεχόμενη υγρασία:

$$SF = a \cdot \theta_v^b + c \quad \text{ή} \quad \theta_v = \sqrt[b]{\frac{SF - c}{a}}$$

Οι τιμές των σταθερών  $a$ ,  $b$  και  $c$  στην περίπτωση που δεν γίνει τοπική βαθμονόμηση δίνονται από τον κατασκευαστή και είναι:  $a=0.2746$ ,  $b=0.3314$  και  $c=0$ .

#### 4.2.3 Ασύρματος Αισθητήρας

Στο Plot με το επίπεδο άρδευσης στο 50 % της εξατμισοδιαπνοής, για την μέτρηση της υγρασίας εγκαταστάθηκε επιπλέον ένας ασύρματος αισθητήρας μέτρησης της υγρασίας του εδάφους (soil moisture sensor) της εταιρείας © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., WATERMARK με σκοπό να εξετασθεί η πιθανότητα ενός αυτόματου προγραμματισμού άρδευσης του αμπελώνα στα πλαίσια του προγράμματος SIRRIMED.

#### 4.2.4 Υδατικό δυναμικό

Για την πραγματοποίηση ενός προγράμματος ορθολογικής διαχείρισης της άρδευσης ενός αμπελώνα πρέπει απαραίτητα να προσδιορισθεί η υδατική κατάσταση των φυτών με την βοήθεια ενός αξιόπιστου δείκτη - μεθόδου που

αντιπροσωπεύει τις υδατικές σχέσεις της καλλιέργειας. Ένας αρκετά αξιόπιστος δείκτης – μέθοδος παρακολούθησης της υδατικής κατάστασης των φυτών της αμπέλου είναι η μέτρηση του υδατικού δυναμικού.

Η τιμή του υδατικού δυναμικού είναι ένα μέτρο - δείκτης της ενδεχόμενης υδατικής κατάστασης – καταπόνησης ενός φυτού. Το υδατικό δυναμικό είναι ένας φυσιολογικός δείκτης που αντιπροσωπεύει τις εδαφικές και τις κλιματικές επιδράσεις στο φυτό από τις καλλιεργητικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Η χρήση μετρήσεων του υδατικού δυναμικού βάσης ( $\Psi_{dawn}$ ), της ημερήσιας διακύμανσης του υδατικού δυναμικού του φύλλου ( $\Psi_{leaf}$ ) και του υδατικού δυναμικού του βλαστού ( $\Psi_s$ ) αποτελούν αξιόπιστους δείκτες της υδατικής κατάστασης των φυτών. Στο πείραμα μετρήθηκε το  $\Psi_{dawn}$ , οι τιμές του οποίου σχετίζονται πιο άμεσα με την υδατική κατάσταση του εδάφους. Σε τιμές 0 MPa έως -0,2 MPa τα φυτά δεν παρουσιάζουν κάποια υδατική καταπόνηση, σε τιμές -0,2 MPa έως -0,5 MPa τα φυτά υπόκεινται σε κάποια ήπια υδατική καταπόνηση ενώ σε τιμές κάτω από -1 MPa τα φυτά παρουσιάζουν έντονα συμπτώματα έλλειψης νερού (Νικολάου Ν., 2006, Van Leuwen *et al.*, 2007). Σύμφωνα με την βιβλιογραφία, το Υδατικό Δυναμικό ( $\Psi_{dawn}$ ) είναι ένας από τους πιο αξιόπιστους δείκτες οι οποίοι μπορούν να υποδείξουν στρες των φυτών οφειλόμενο σε υποάρδευση. Η γνώση αυτή μπορεί να βοηθήσει τον παραγωγό να σχεδιάσει ένα χρονοδιάγραμμα επαρκούς άρδευσης και ασφαλούς διαχείρισης των υδατικών πόρων .

Πίνακας 7. Τιμές των τριών δεικτών υδατικού δυναμικού  $\Psi_{stem}$  σε σχέση με την ένταση της υδατικής καταπόνησης στην αμπέλο.

|                       | $\Psi_{stem}(MPa)$ | $\Psi_{leaf}(MPa)$ | $\Psi_{dawn}(MPa)$ |
|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Απουσία stress</b> | > -0,6             | > -0,9             | > -0,2             |
| <b>Ελαφρύ stress</b>  | -0,6 έως -0,9      | -0,9 έως -1,1      | -0,2 έως -0,3      |
| <b>Μέτριο stress</b>  | -0,9 έως -1,1      | -1,1 έως -1,3      | -0,3 έως -0,5      |
| <b>Έντονο stress</b>  | -1,1 έως -1,4      | -1,3 έως -1,4      | -0,5 έως -0,8      |
| <b>Σοβαρό stress</b>  | <-1,4              | <-1,4              | <-0,8              |

Οι μετρήσεις του  $\Psi_{dawn}$  πραγματοποιηθήκαν με τη χρήση θαλάμου πίεσης σε 3 φύλλα, κάθε πειραματικής μονάδας. Έγινε επιλογή υγιών, ακέραιων και πλήρους ανάπτυξης φύλλων. Στη συνέχεια τα επιλεγμένα φύλλα κοβόταν και μετά από κάθετη τομή στον μίσχο το φύλλο τοποθετούνταν στον θάλαμο πίεσης όπου διοχετευόταν αέριο άζωτο (Εικόνα 25). Με την εμφάνιση σταγόνας νερού από τον μίσχο γινόταν καταγραφή της μέτρησης της πίεσης του μονόμετρου (Scholander et al., 1965).



Εικόνα 25. Θάλαμος πίεσης

Η πίεση που χρειάζεται να ασκηθεί για την εμφάνιση σταγόνας νερού είναι ανάλογη της περιεκτικότητας των φυτικών ιστών του φύλλου σε νερό και επομένως μικρή περιεκτικότητα υγρασίας απαιτεί εφαρμογής υψηλότερων πιέσεων. Η μέτρηση της πίεσης έγινε σε μονάδες MPa.

#### 4.3 Στατιστική επεξεργασία

Τα αποτελέσματα επεξεργάστηκαν με την βοήθεια του προγράμματος SPSS (Version 22.0, SPSS Inc, IL, USA). Πιο συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκε στατιστική ανάλυση για την διερεύνηση της συσχέτισης μεταξύ του Δείκτη Κανονικοποιημένης Διαφοράς (N.D.V.I.) με το υδατικό δυναμικό φύλλου, την υγρασία εδάφους και το ύψος της παραγωγής. Τα αποτελέσματα υποβλήθηκαν σε ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) για διαπίστωση των διαφορών μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων για τις παραπάνω μεταβλητές. Για τους αισθητήρες υγρασίας εδάφους (1 σε κάθε μεταχείριση) πραγματοποιήθηκε διερεύνηση συσχέτισης με τις τιμές του υδατικού



δυναμικού και της τελικής παραγωγής. Στα αποτελέσματα συμπεριλήφθηκαν μόνο οι τιμές των μέσων όρων για κάθε πειραματική μονάδα. Οι συγκρίσεις των μέσων όρων έγιναν με την βοήθεια του Test Duncan στο επίπεδο σημαντικότητας  $p < 0.05$ .

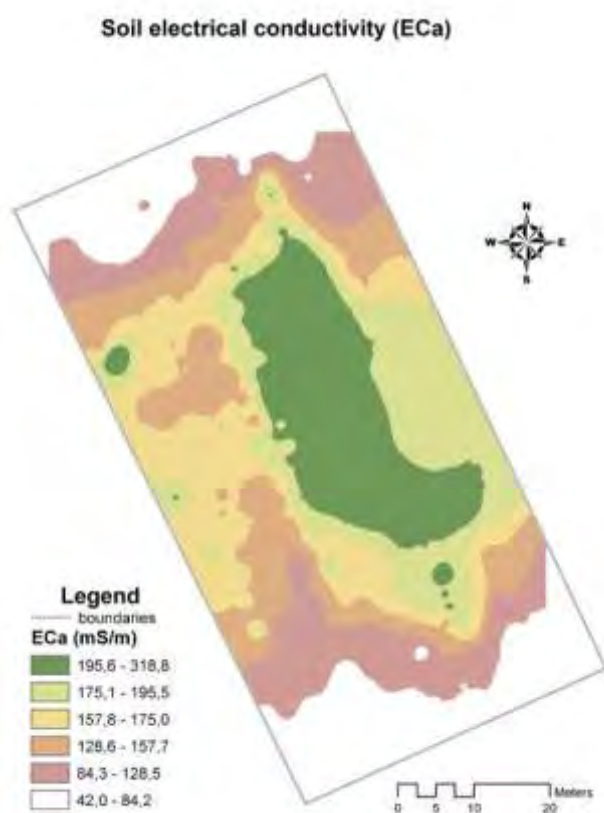
Τα δεδομένα των μετρήσεων εισήχθησαν στο πρόγραμμα Excel 2008 και έγινε μια πρώτη επεξεργασία των στοιχείων. Τα παραγόμενα αρχεία, που αφορούν τις μετρήσεις της EC και του NDVI επεξεργάστηκαν με το λογισμικό πακέτο Surfer® Software (Golden software, Inc. Colorado). Με την μέθοδο "εσωεκτίμησης" (interpolation kriging) έγινε ο υπολογισμός των τιμών μεταξύ των μετρήσεων και η μεταφορά τους σε κανονικό πλέγμα (grid) 5X5 m ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση των δεδομένων στη ίδια κλίμακα. Το εξαγόμενο από το Surfer αρχείο περιλαμβάνει όλα τα αρχικά στοιχεία συμπεριλαμβανομένων και των τιμών που δημιουργήθηκαν από το πρόγραμμα. Τα δεδομένα αυτά τροποποιήθηκαν σε αρχείο τύπου "dbf", το οποίο χρησιμοποιήθηκε για να παρεμβάλει τα στοιχεία στο λογισμικό 'ArcGIS' στο οποίο παρήχθησαν οι τελικοί χάρτες.

Οι μετρήσεις του NDVI αναλύθηκαν περαιτέρω και προσδιορίστηκε ο μέσος όρος ανά plot με την βοήθεια του Arcmap. Η συσχέτιση του Υδατικού Δυναμικού Φύλλου (Ψ<sub>dawn</sub>) με την παραγωγή και τη μέση υγρασία του εδάφους έγινε με το SPSS ώστε να διαπιστωθεί η ύπαρξη ή όχι διαφορών για τις τρεις μεταχειρίσεις άρδευσης.

## Κεφάλαιο 5. Αποτελέσματα και συζήτηση

### 5.1 Χωρική παραλλακτικότητα εδάφους

Η χωρική παραλλακτικότητα του εδάφους μελετήθηκε με τα δεδομένα της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (ECa). Με την επεξεργασία των δεδομένων με το ArcGIS προέκυψε η Εικόνα 26, στην οποία φαίνεται ότι το κεντροανατολικό κομμάτι του πειραματικού αγρού (αυτό που αντιστοιχεί στο μεσαίο και στο πλήρες επίπεδο άρδευσης) χαρακτηρίζεται από σχετικά υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα ενώ το κεντροδυτικό κομμάτι (που αντιστοιχεί στην απουσία άρδευσης) έχει ως επί το πλείστον μεσαίες τιμές. Οι χαμηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν στις αρχές των σειρών εκατέρωθεν. Αυτό σημαίνει ότι οι μεταχειρίσεις μας δεν γίνανε σε ίδιο έδαφος, δηλαδή εντός του πειραματικού αγρού παρουσιάζεται παραλλακτικότητα.



Εικόνα 26. Χάρτης ηλεκτρικής αγωγιμότητας πειραματικού αμπελώνα.

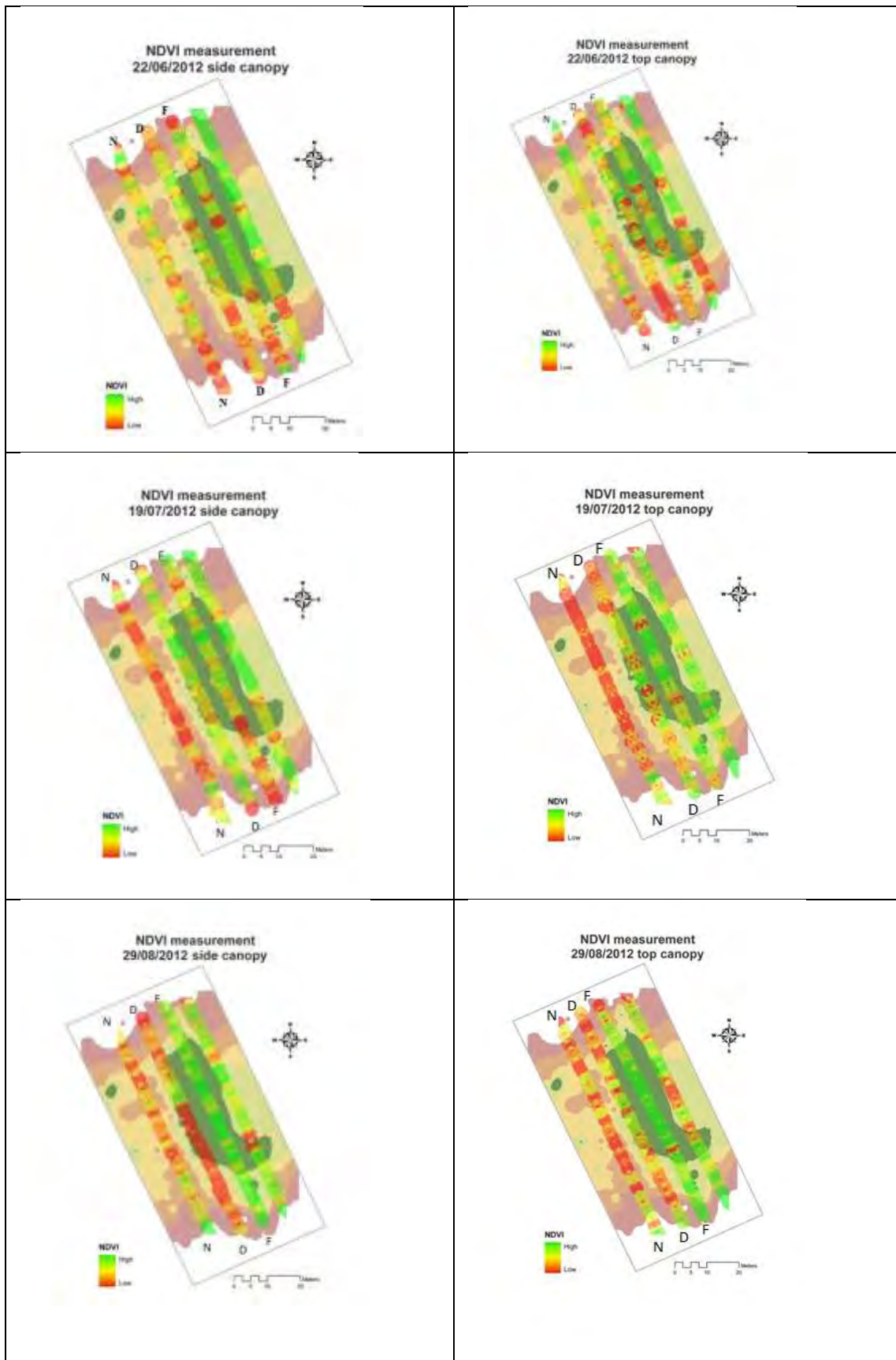
## 5.2 Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης – NDVI

Η συνολική χωρική αποτύπωση του N.D.V.I. όπως μετρήθηκε με το CropCircle σε τρία διαφορετικά στάδια ανάπτυξης του καρπού από το πλάι της σειράς και από επάνω αναλύθηκε επίσης ανά block. Τα block ψηφιοποιήθηκαν στο ArcGIS και υπολογίσθηκε ο μέσος όρος ανά block (Πίνακας 8).

Πίνακας 8. Μέση τιμή δείκτη NDVI ανά block (N : Απουσία άρδευσης, D : 50% της εξατμισοδιαπνοής, F : άρδευση στο 100% της εξατμισοδιαπνοής)

| Block | 22/06/2012 |       |              | 19/07/2012 |       |              | 29/08/2012 |       |           | ΣΥΝΟΛΙΚΗ<br>ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ |
|-------|------------|-------|--------------|------------|-------|--------------|------------|-------|-----------|-----------------------|
|       | Πάνω       | Πλάι  | ΜΕΣΗ<br>ΤΙΜΗ | Πάνω       | Πλάι  | ΜΕΣΗ<br>ΤΙΜΗ | Πάνω       | Πλάι  | ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ |                       |
| N1    | 0,727      | 0,729 | 0,728        | 0,668      | 0,700 | 0,684        | 0,671      | 0,690 | 0,681     | 0,681                 |
| N2    | 0,711      | 0,729 | 0,720        | 0,669      | 0,697 | 0,683        | 0,693      | 0,688 | 0,691     | 0,691                 |
| N3    | 0,706      | 0,730 | 0,718        | 0,689      | 0,697 | 0,693        | 0,660      | 0,685 | 0,673     | 0,673                 |
| N4    | 0,691      | 0,705 | 0,698        | 0,713      | 0,730 | 0,722        | 0,720      | 0,736 | 0,728     | 0,728                 |
| D1    | 0,710      | 0,733 | 0,721        | 0,692      | 0,739 | 0,716        | 0,681      | 0,675 | 0,678     | 0,678                 |
| D2    | 0,692      | 0,718 | 0,705        | 0,701      | 0,737 | 0,719        | 0,713      | 0,700 | 0,706     | 0,706                 |
| D3    | 0,695      | 0,726 | 0,710        | 0,707      | 0,723 | 0,715        | 0,692      | 0,612 | 0,652     | 0,652                 |
| D4    | 0,653      | 0,717 | 0,685        | 0,711      | 0,746 | 0,729        | 0,688      | 0,644 | 0,666     | 0,666                 |
| F1    | 0,702      | 0,719 | 0,711        | 0,735      | 0,728 | 0,731        | 0,737      | 0,745 | 0,741     | 0,741                 |
| F2    | 0,710      | 0,717 | 0,714        | 0,745      | 0,725 | 0,735        | 0,754      | 0,757 | 0,756     | 0,756                 |
| F3    | 0,705      | 0,736 | 0,721        | 0,715      | 0,714 | 0,715        | 0,753      | 0,758 | 0,755     | 0,755                 |
| F4    | 0,701      | 0,709 | 0,705        | 0,738      | 0,715 | 0,726        | 0,746      | 0,758 | 0,752     | 0,752                 |

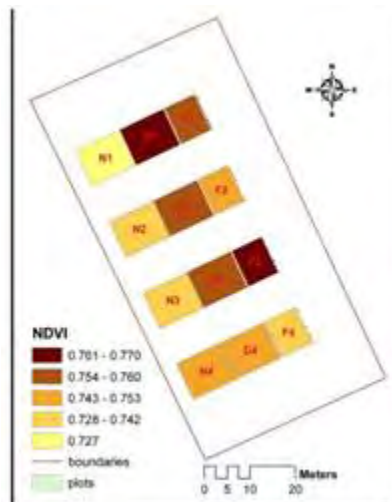
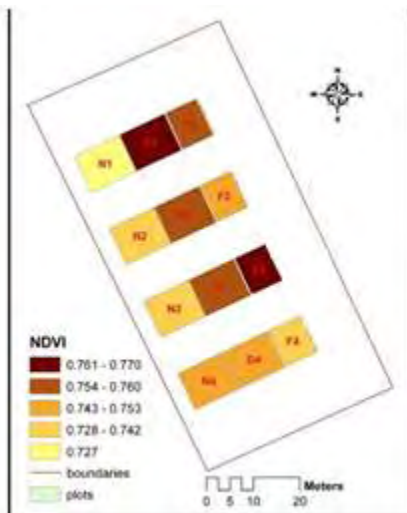
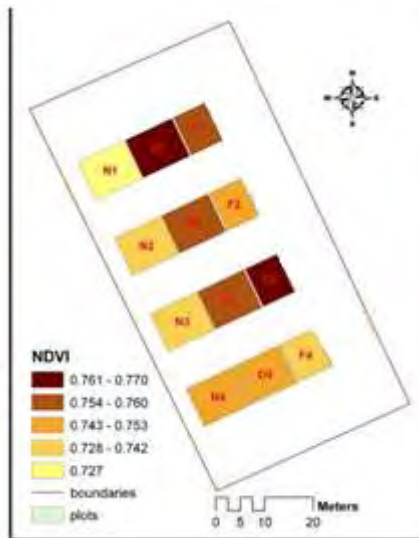
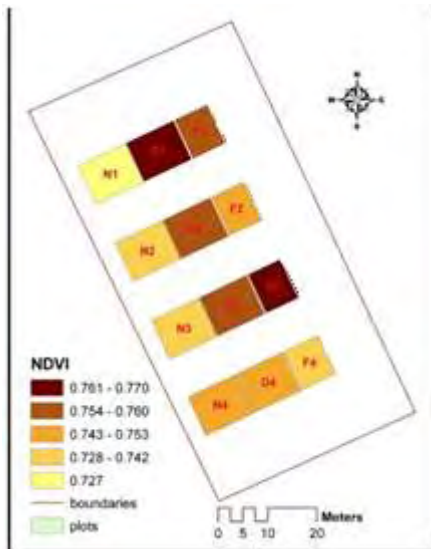
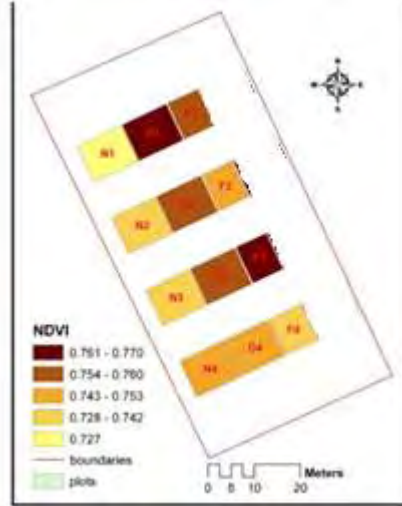
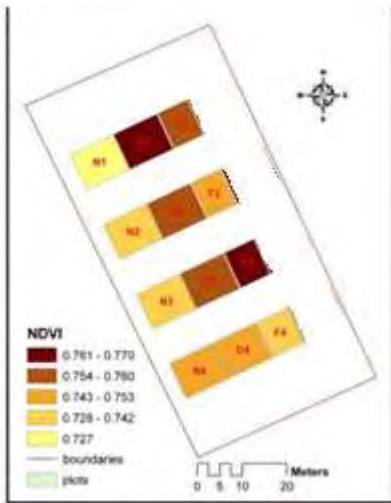
Η εισαγωγή και επεξεργασία των δεδομένων του πίνακα 8 με το πρόγραμμα ArcGIS αποτύπωσε τις μετρήσεις στους χάρτες που απεικονίζονται στις εικόνες 27Α, Β και Γ.



Εικόνα 27 Α, Β και Γ. Εξέλιξη του Κανονικοποιημένου Δείκτη Βλάστησης Αμπελιού (δείκτης NDVI)

Επιπλέον, από την ανάλυση του δείκτη NDVI ανά block προέκυψαν και οι ψηφιοποιημένες εικόνες που παρατίθενται στη συνέχεια (Εικόνες 28 Α, Β, Γ, Δ, Ε, ΣΤ).

Όπως φαίνεται στις εικόνες 27 (Α, Β, και Γ) και 28 (Α, Β, και Γ) το μη αρδευόμενο plot (1η σειρά από τα αριστερά – Σειρά Ν) έχει χαμηλότερες τιμές του δείκτη NDVI, ειδικά προς το τέλος της περιόδου – πριν την συγκομιδή (Αύγουστος) και για τις δύο μετρήσεις (πάνω και πλάι). Οι μετρήσεις που γίνανε στην αρχή και στο μέσο της περιόδου δεν δείχνουν διαφορές μεταξύ των μετρήσεων επειδή δεν περιορίστηκε η διαθεσιμότητα του νερού, πιθανόν λόγω ύπαρξης βροχοπτώσεων ή έλλειψης υψηλών θερμοκρασιών ή δεν είχε ακόμη αναπτυχθεί υδατική καταπόνηση στο μη αρδευόμενο τμήμα.



Εικόνες 28 Α, Β, Γ, Δ, Ε, ΣΤ. Ψηφιοποιημένη απεικόνιση του δείκτη NDVI ανά block.

### 5.2.1 Στατιστική επεξεργασία N.D.V.I.

Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων του πίνακα 8 έδωσε τα αποτελέσματα του Πίνακα 9.

Πίνακας 9. Αναλυτικά στατιστικά για τις μετρήσεις του Δείκτη NDVI ανά μεταχείριση και ημερομηνία.

| Επέμβαση          | Ημερομηνία | Μέσος όρος | Τυπική απόκλιση | 95% Confidence Interval |             |
|-------------------|------------|------------|-----------------|-------------------------|-------------|
|                   |            |            |                 | Lower Bound             | Upper Bound |
| N (No Irrigation) | 22/6/2012  | 0,716      | 0,006           | 0,702                   | 0,730       |
|                   | 19/7/2012  | 0,695      | 0,006           | 0,682                   | 0,709       |
|                   | 29/8/2012  | 0,693      | 0,010           | 0,671                   | 0,716       |
| D (50% της ETc)   | 22/6/2012  | 0,705      | 0,006           | 0,692                   | 0,719       |
|                   | 19/7/2012  | 0,720      | 0,006           | 0,706                   | 0,733       |
|                   | 29/8/2012  | 0,676      | 0,010           | 0,653                   | 0,698       |
| F (100% της ETc)  | 22/6/2012  | 0,712      | 0,006           | 0,699                   | 0,726       |
|                   | 19/7/2012  | 0,727      | 0,006           | 0,713                   | 0,741       |
|                   | 29/8/2012  | 0,751      | 0,010           | 0,728                   | 0,773       |

Στον Πίνακα 10 παρουσιάζεται η σύγκριση των μέσων όρων της NDVI εντός των μεταχειρίσεων. Από τις τιμές φαίνεται ότι η εποχική μεταβολή των τιμών του Δείκτη NDVI ανά μεταχείριση, δεν παρουσιάζει σημαντικές στατιστικές διαφορές μεταξύ των τριών ημερολογιακών μετρήσεων για τις μεταχειρίσεις N και F. Αντίθετα, στη D μεταχείριση μεταξύ της δεύτερης και της τρίτης ημερολογιακής μέτρησης που υπάρχει στατιστικώς σημαντική διαφορά της τάξης του 6%.

Πίνακας 10. Σύγκριση των τιμών του Δείκτη NDVI ανά ημερομηνία

| .Επέμβαση  | Ημερομηνία | Ημερομηνία | Μέση διαφορά του NDVI | Τυπική απόκλιση | Sig.(a)      | 95% Confidence Interval for Difference(a) |             |
|--|------------|------------|-----------------------|-----------------|--------------|---|-------------|
|  |            |            |                       |                 |              | Upper Bound                               | Lower Bound |
| N (No Irrigation)  | 22/6       | 19/7       | 0,021                 | 0,011           | 0,303        | -0,013                                    | 0,054       |
|  |            | 29/8       | 0,023                 | 0,013           | 0,336        | -0,015                                    | 0,062       |
|  | 19/7       | 22/6       | -0,021                | 0,011           | 0,303        | -0,054                                    | 0,013       |
|  |            | 29/8       | 0,002                 | 0,009           | 1,000        | -0,023                                    | 0,028       |
|  | 29/8       | 22/6       | -0,023                | 0,013           | 0,336        | -0,062                                    | 0,015       |
|  |            | 19/7       | -0,002                | 0,009           | 1,000        | -0,028                                    | 0,023       |
| D (50% της ETc)  | 22/6       | 19/7       | -0,014                | 0,011           | 0,731        | -0,048                                    | 0,019       |
|  |            | 29/8       | 0,030                 | 0,013           | 0,149        | -0,009                                    | 0,068       |
|  | 19/7       | 22/6       | 0,014                 | 0,011           | 0,731        | -0,019                                    | 0,048       |
|  |            | 29/8       | ,044(*)               | 0,009           | <b>0,002</b> | 0,018                                     | 0,070       |
|  | 29/8       | 22/6       | -0,030                | 0,013           | 0,149        | -0,068                                    | 0,009       |
|  |            | 19/7       | -,044(*)              | 0,009           | <b>0,002</b> | -0,070                                    | -0,018      |
| F (100% της ETc)   | 22/6       | 19/7       | -0,015                | 0,011           | 0,711        | -0,048                                    | 0,019       |
|  |            | 29/8       | -0,038                | 0,013           | 0,051        | -0,077                                    | 0,000       |
|  | 19/7       | 22/6       | 0,015                 | 0,011           | 0,711        | -0,019                                    | 0,048       |
|  |            | 29/8       | -0,024                | 0,009           | 0,069        | -0,050                                    | 0,002       |
|  | 29/8       | 22/6       | 0,038                 | 0,013           | 0,051        | 0,000                                     | 0,077       |
|  |            | 19/7       | 0,024                 | 0,009           | 0,069        | -0,002                                    | 0,050       |
| Based on estimated marginal means                        |            |            |                       |                 |              |   |             |
| *. The mean difference is significant at the 0,05 level. |            |            |                       |                 |              |   |             |
| a. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.      |            |            |                       |                 |              |   |             |

Πίνακας 11. Αναλυτικά στατιστικά αποτελέσματα για τις μετρήσεις του Δείκτη NDVI ανά ημερομηνία για τις τρεις μεταχειρίσεις

| Ημερομηνία | Επέμβαση          | Μέσος όρος | Τυπική απόκλιση | 95% Confidence Interval |             |
|------------|-------------------|------------|-----------------|-------------------------|-------------|
|            |                   |            |                 | Lower Bound             | Upper Bound |
| 22/6/12    | N (No Irrigation) | 0,716      | 0,006           | 0,702                   | 0,730       |
|            | D (50% της ETc)   | 0,705      | 0,006           | 0,692                   | 0,719       |
|            | F (100% της ETc)  | 0,712      | 0,006           | 0,699                   | 0,726       |
| 19/7/12    | N (No Irrigation) | 0,695      | 0,006           | 0,682                   | 0,709       |
|            | D (50% της ETc)   | 0,720      | 0,006           | 0,706                   | 0,733       |
|            | F (100% της ETc)  | 0,727      | 0,006           | 0,713                   | 0,741       |
| 29/8/12    | N (No Irrigation) | 0,693      | 0,010           | 0,671                   | 0,716       |
|            | D (50% της ETc)   | 0,676      | 0,010           | 0,653                   | 0,698       |
|            | F (100% της ETc)  | 0,751      | 0,010           | 0,728                   | 0,773       |



Σύμφωνα με τον Πίνακα 12, η τιμή του NDVI μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων δεν παρουσιάζει στατιστικώς σημαντική διαφορά κατά την πρώτη μέτρηση πιθανόν λόγω της υψηλής διαθεσιμότητας νερού του εδάφους στην αρχή της καλλιεργητικής περιόδου. Στις 19/07/2012, παρατηρείται στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ της N και της F μεταχείρισης σε ποσοστό 4,4 %. Αντίστοιχα, στην τρίτη μέτρηση, στις 29/08/2012 υπάρχει στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ της N και της F μεταχείρισης σε ποσοστό 7,72 % και μεταξύ της D και της F σε ποσοστό 10 %.

Πίνακας 12 : Συσχέτιση των τιμών του Δείκτη NDVI ανά μεταχείριση (N : No Irrigation, D : 50% της ETc, F : 100% της ETc ).

| Ημερομηνία   | Επέμβαση | Επέμβαση | Μέση διαφορά του NDVI | Τυπική απόκλιση | Sig.(a)      | 95% Confidence Interval for Difference (a) |             |
|--|----------|----------|-----------------------|-----------------|--------------|--|-------------|
|  |          |          |                       |                 |              | Upper Bound                                | Lower Bound |
| 22/6/12  | N        | D        | 0,011                 | 0,009           | 0,724        | -0,014                                     | 0,036       |
|  |          | F        | 0,004                 | 0,009           | 1,000        | -0,021                                     | 0,029       |
|  | D        | N        | -0,011                | 0,009           | 0,724        | -0,036                                     | 0,014       |
|  |          | F        | -0,007                | 0,009           | 1,000        | -0,032                                     | 0,018       |
|  | F        | N        | -0,004                | 0,009           | 1,000        | -0,029                                     | 0,021       |
|  |          | D        | 0,007                 | 0,009           | 1,000        | -0,018                                     | 0,032       |
| 19/7/12  | N        | D        | -0,024                | 0,009           | 0,059        | -0,050                                     | 0,001       |
|  |          | F        | -,032(*)              | 0,009           | <b>0,015</b> | -0,057                                     | -0,006      |
|  | D        | N        | 0,024                 | 0,009           | 0,059        | -0,001                                     | 0,050       |
|  |          | F        | -0,007                | 0,009           | 1,000        | -0,032                                     | 0,018       |
|  | F        | N        | ,032(*)               | 0,009           | <b>0,015</b> | 0,006                                      | 0,057       |
|  |          | D        | 0,007                 | 0,009           | 1,000        | -0,018                                     | 0,032       |
| 29/8/12  | N        | D        | 0,017                 | 0,014           | 0,740        | -0,024                                     | 0,059       |
|  |          | F        | -,058(*)              | 0,014           | 0,008        | -0,099                                     | -0,017      |
|  | D        | N        | -0,017                | 0,014           | 0,740        | -0,059                                     | 0,024       |
|  |          | F        | -,075(*)              | 0,014           | <b>0,001</b> | -0,117                                     | -0,034      |
|  | F        | N        | ,058(*)               | 0,014           | 0,008        | 0,017                                      | 0,099       |
|  |          | D        | ,075(*)               | 0,014           | <b>0,001</b> | 0,034                                      | 0,117       |
| Based on estimated marginal means                        |          |          |                       |                 |              |  |             |
| *. The mean difference is significant at the 0,05 level. |          |          |                       |                 |              |  |             |
| a. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.      |          |          |                       |                 |              |  |             |

## 5.2.2 Παραγωγή

Η παραγωγή ανά πρέμνο εκτιμήθηκε με συγκομιδή που πραγματοποιήθηκε με το χέρι και έγινε επί τόπου ζύγισμα. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 13. Όπως φαίνεται η παραγωγή στην N επέμβαση είναι υψηλότερη σε σχέση με τις άλλες παρεμβάσεις χωρίς όμως να είναι στατιστικώς σημαντική αυτή η τιμή.

Πίνακας 13 : Μέσες τιμές συγκομιδής ανά μεταχείριση.

| Επέμβαση                         | Μέσος όρος<br>(kg/πρέμνο) | Τυπική<br>απόκλιση. | 95% Confidence Interval |                |
|----------------------------------|---------------------------|---------------------|-------------------------|----------------|
|                                  |                           |                     | Lower<br>Bound          | Upper<br>Bound |
| N<br>(χωρίς άρδευση)             | 1,924                     | 0,160               | 1,561                   | 2,286          |
| D<br>(50% της εξατμισοδιαπνοής)  | 1,881                     | 0,160               | 1,518                   | 2,243          |
| F<br>(100% της εξατμισοδιαπνοής) | 1,893                     | 0,160               | 1,530                   | 2,255          |

Η ανάλυση των τιμών της παραγωγής φαίνεται στον Πίνακα 14. Η ανάλυση μεταξύ των επεμβάσεων δεν έδωσε στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων παρέμβασης που σημαίνει ότι πιθανόν το επίπεδο άρδευσης να μην παίζει σημαντικό ρόλο στο ύψος της παραγωγής σε οινοποιήσιμες ποικιλίες.

Πίνακας 14 : Σύγκριση μεταξύ των μέσων τιμών παραγωγής ανά μεταχείριση (N : No Irrigation, D : 50% της ETc, F : 100% της ETc ).

| Επέμβαση | Επέμβαση | Μέση διαφορά<br>του NDVI | Τυπική απόκλιση | Sig.  | 95% Confidence Interval |                |
|----------|----------|--------------------------|-----------------|-------|-------------------------|----------------|
|          |          |                          |                 |       | Upper<br>Bound          | Lower<br>Bound |
| N        | D        | 0,0431                   | 0,22655         | 0,853 | -0,4694                 | 0,5556         |
|          | F        | 0,0313                   | 0,22655         | 0,893 | -0,4812                 | 0,5437         |
| D        | N        | -0,0431                  | 0,22655         | 0,853 | -0,5556                 | 0,4694         |
|          | F        | -0,0119                  | 0,22655         | 0,959 | -0,5244                 | 0,5006         |
| F        | N        | -0,0313                  | 0,22655         | 0,893 | -0,5437                 | 0,4812         |
|          | D        | 0,0119                   | 0,22655         | 0,959 | -0,5006                 | 0,5244         |

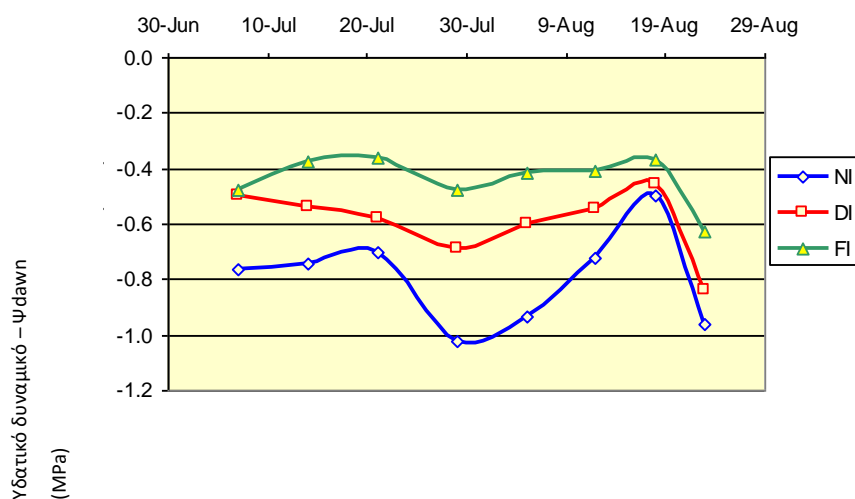
Based on observed means.

### 5.2.3 Υδατικό δυναμικό

Κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου πραγματοποιήθηκαν για κάθε μεταχείριση οκτώ μετρήσεις υδατικού δυναμικού (Πίνακας 15) .

Πίνακας 15. : Μετρήσεις υδατικού δυναμικού ( N : No Irrigation, D : 50% της ETc, F : 100% της ETc ).

| Επέμβαση | 07/07/2012 | 13/07/2012 | 22/07/2012 | 29/07/2012 | 07/08/2012 | 13/08/2012 | 17/08/2012 | 24/08/2012 |
|----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| N1       | -0,71      | -0,71      | -0,69      | -1,10      | -0,77      | -0,70      | -0,52      | -0,95      |
| N2       | -0,75      | -0,79      | -0,75      | -1,09      | -0,97      | -0,57      | -0,44      | -1,01      |
| N3       | -0,81      | -0,79      | -0,70      | -1,07      | -1,03      | -0,79      | -0,51      | -0,98      |
| N4       | -0,78      | -0,68      | -0,67      | -0,83      | -0,95      | -0,84      | -0,53      | -0,90      |
| D1       | -0,50      | -0,47      | -0,57      | -0,69      | -0,64      | -0,46      | -0,49      | -0,82      |
| D2       | -0,50      | -0,51      | -0,55      | -0,67      | -0,55      | -0,52      | -0,43      | -0,87      |
| D3       | -0,54      | -0,62      | -0,54      | -0,71      | -0,61      | -0,57      | -0,48      | -0,84      |
| D4       | -0,46      | -0,55      | -0,65      | -0,69      | -0,59      | -0,64      | -0,43      | -0,82      |
| F1       | -0,38      | -0,42      | -0,47      | -0,53      | -0,43      | -0,41      | -0,37      | -0,74      |
| F2       | -0,43      | -0,40      | -0,32      | -0,47      | -0,39      | -0,39      | -0,39      | -0,69      |
| F3       | -0,52      | -0,34      | -0,33      | -0,43      | -0,39      | -0,40      | -0,38      | -0,59      |
| F4       | -0,57      | -0,34      | -0,32      | -0,47      | -0,46      | -0,44      | -0,33      | -0,50      |



Γράφημα 1. Χρονική εξέλιξη κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου του Υδατικού Δυναμικού για τις τρεις μεταχειρίσεις (NI – απουσία άρδευσης, DI – άρδευση στο 50 % της εξατμισοδιαπνοής και FI – άρδευση στο 100 % τη εξατμισοδιαπνοής.

Από την στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων του υδατικού δυναμικού προέκυψε ο παρακάτω πίνακας 16.

Πίνακας 16 : Αναλυτικά στατιστικά αποτελέσματα για τις μετρήσεις του υδατικού δυναμικού ανά μεταχείριση και ανά ημερομηνία (N : No Irrigation, D : 50% της ETc, F : 100% της ETc ).

| Επέμβαση | Ημερομηνία | Μέσος όρος | Τυπική απόκλιση | 95% Confidence Interval |             |
|----------|------------|------------|-----------------|-------------------------|-------------|
|          |            |            |                 | Lower Bound             | Upper Bound |
| N        | 07/07/12   | -0,762     | 0,029           | -0,827                  | -0,697      |
|          | 13/07/12   | -0,743     | 0,028           | -0,806                  | -0,681      |
|          | 22/07/12   | -0,700     | 0,028           | -0,763                  | -0,637      |
|          | 29/07/12   | -1,024     | 0,039           | -1,112                  | -0,936      |
|          | 07/08/12   | -0,933     | 0,036           | -1,014                  | -0,853      |
|          | 13/08/12   | -0,725     | 0,041           | -0,817                  | -0,633      |
|          | 17/08/12   | -0,498     | 0,017           | -0,536                  | -0,461      |
|          | 24/08/12   | -0,960     | 0,033           | -1,036                  | -0,884      |
| D        | 07/07/12   | -0,500     | 0,029           | -0,565                  | -0,435      |
|          | 13/07/12   | -0,538     | 0,028           | -0,601                  | -0,476      |
|          | 22/07/12   | -0,580     | 0,028           | -0,643                  | -0,517      |
|          | 29/07/12   | -0,690     | 0,039           | -0,778                  | -0,602      |
|          | 07/08/12   | -0,598     | 0,036           | -0,679                  | -0,518      |
|          | 13/08/12   | -0,547     | 0,041           | -0,638                  | -0,455      |
|          | 17/08/12   | -0,460     | 0,017           | -0,497                  | -0,423      |
|          | 24/08/12   | -0,838     | 0,033           | -0,914                  | -0,763      |
| F        | 07/07/12   | -0,477     | 0,029           | -0,542                  | -0,412      |
|          | 13/07/12   | -0,374     | 0,028           | -0,437                  | -0,312      |
|          | 22/07/12   | -0,362     | 0,028           | -0,425                  | -0,299      |
|          | 29/07/12   | -0,477     | 0,039           | -0,564                  | -0,389      |
|          | 07/08/12   | -0,417     | 0,036           | -0,497                  | -0,336      |
|          | 13/08/12   | -0,412     | 0,041           | -0,503                  | -0,320      |
|          | 17/08/12   | -0,365     | 0,017           | -0,402                  | -0,328      |
|          | 24/08/12   | -0,629     | 0,033           | -0,705                  | -0,554      |

Όπως είναι αναμενόμενο οι χαμηλότερες τιμές του Υδατικού δυναμικού παρουσιάζονται στην μεταχείριση με την απουσία άρδευσης, ενώ οι υψηλότερες στην μεταχείριση με την άρδευση στο 100% της εξατμισοδιαπνοής. Η ανάλυση ANOVA έδειξε, όπως ήταν αναμενόμενο, σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων ανά ημερομηνία (Πίνακας 17).

Πίνακας 17. Σύγκριση τιμών υδατικού δυναμικού ( $\Psi_{dawn}$ ) ανά μεταχείριση και ανά ημερομηνία (N : No Irrigation, D : 50% της ETc, F : 100% της ETc ).

| Ημερομηνία | Επέμβαση | Επέμβαση | Μέση διαφορά | Τυπική απόκλιση | Sig. (a)     | 95% Confidence Interval for Difference(a) |             |
|------------|----------|----------|--------------|-----------------|--------------|---|-------------|
|            |          |          |              |                 |              | Upper Bound                               | Lower Bound |
| 07/07/12   | N        | D        | -,262(*)     | 0,041           | <b>0,000</b> | -0,381                                    | -0,143      |
|            |          | F        | -,285(*)     | 0,041           | <b>0,000</b> | -0,404                                    | -0,166      |
|            | D        | N        | ,262(*)      | 0,041           | <b>0,000</b> | 0,143                                     | 0,381       |
|            |          | F        | -0,023       | 0,041           | 1,000        | -0,142                                    | 0,096       |
|            | F        | N        | ,285(*)      | 0,041           | <b>0,000</b> | 0,166                                     | 0,404       |
|            |          | D        | 0,023        | 0,041           | 1,000        | -0,096                                    | 0,142       |
| 13/07/12   | N        | D        | -,205(*)     | 0,039           | <b>0,002</b> | -0,319                                    | -0,091      |
|            |          | F        | -,369(*)     | 0,039           | <b>0,000</b> | -0,484                                    | -0,255      |
|            | D        | N        | ,205(*)      | 0,039           | <b>0,002</b> | 0,091                                     | 0,319       |
|            |          | F        | -,164(*)     | 0,039           | 0,007        | -0,279                                    | -0,050      |
|            | F        | N        | ,369(*)      | 0,039           | <b>0,000</b> | 0,255                                     | 0,484       |
|            |          | D        | ,164(*)      | 0,039           | 0,007        | 0,050                                     | 0,279       |
| 22/07/12   | N        | D        | -,120(*)     | 0,039           | <b>0,042</b> | -0,236                                    | -0,004      |
|            |          | F        | -,338(*)     | 0,039           | <b>0,000</b> | -0,454                                    | -0,223      |
|            | D        | N        | ,120(*)      | 0,039           | <b>0,042</b> | 0,004                                     | 0,236       |
|            |          | F        | -,218(*)     | 0,039           | <b>0,001</b> | -0,334                                    | -0,103      |
|            | F        | N        | ,338(*)      | 0,039           | <b>0,000</b> | 0,223                                     | 0,454       |
|            |          | D        | ,218(*)      | 0,039           | <b>0,001</b> | 0,103                                     | 0,334       |
| 29/07/12   | N        | D        | -,334(*)     | 0,055           | <b>0,001</b> | -0,495                                    | -0,173      |
|            |          | F        | -,548(*)     | 0,055           | <b>0,000</b> | -0,709                                    | -0,386      |
|            | D        | N        | ,334(*)      | 0,055           | <b>0,001</b> | 0,173                                     | 0,495       |
|            |          | F        | -,213(*)     | 0,055           | <b>0,011</b> | -0,374                                    | -0,052      |
|            | F        | N        | ,548(*)      | 0,055           | <b>0,000</b> | 0,386                                     | 0,709       |
|            |          | D        | ,213(*)      | 0,055           | <b>0,011</b> | 0,052                                     | 0,374       |
| 07/08/12   | N        | D        | -,335(*)     | 0,050           | <b>0,000</b> | -0,483                                    | -0,187      |
|            |          | F        | -,517(*)     | 0,050           | <b>0,000</b> | -0,664                                    | -0,369      |
|            | D        | N        | ,335(*)      | 0,050           | <b>0,000</b> | 0,187                                     | 0,483       |
|            |          | F        | -,182(*)     | 0,050           | <b>0,017</b> | -0,329                                    | -0,034      |
|            | F        | N        | ,517(*)      | 0,050           | <b>0,000</b> | 0,369                                     | 0,664       |
|            |          | D        | ,182(*)      | 0,050           | <b>0,017</b> | 0,034                                     | 0,329       |
| 13/08/12   | N        | D        | -,178(*)     | 0,057           | <b>0,038</b> | -0,347                                    | -0,010      |

|          |   |   |          |       |              |        |        |
|----------|---|---|----------|-------|--------------|--------|--------|
|          |   | F | -,313(*) | 0,057 | <b>0,001</b> | -0,482 | -0,145 |
|          | D | N | ,178(*)  | 0,057 | <b>0,038</b> | 0,010  | 0,347  |
|          |   | F | -0,135   | 0,057 | 0,129        | -0,303 | 0,033  |
|          | F | N | ,313(*)  | 0,057 | <b>0,001</b> | 0,145  | 0,482  |
|          |   | D | 0,135    | 0,057 | 0,129        | -0,033 | 0,303  |
| 17/08/12 | N | D | -0,038   | 0,023 | 0,407        | -0,107 | 0,030  |
|          |   | F | -,133(*) | 0,023 | <b>0,001</b> | -0,202 | -0,065 |
|          | D | N | 0,038    | 0,023 | 0,407        | -0,030 | 0,107  |
|          |   | F | -,095(*) | 0,023 | 0,008        | -0,164 | -0,026 |
|          | F | N | ,133(*)  | 0,023 | <b>0,001</b> | 0,065  | 0,202  |
|          |   | D | ,095(*)  | 0,023 | 0,008        | 0,026  | 0,164  |
| 24/08/12 | N | D | -0,122   | 0,047 | 0,090        | -0,260 | 0,017  |
|          |   | F | -,331(*) | 0,047 | <b>0,000</b> | -0,470 | -0,192 |
|          | D | N | 0,122    | 0,047 | 0,090        | -0,017 | 0,260  |
|          |   | F | -,209(*) | 0,047 | <b>0,005</b> | -0,348 | -0,070 |
|          | F | N | ,331(*)  | 0,047 | <b>0,000</b> | 0,192  | 0,470  |
|          |   | D | ,209(*)  | 0,047 | <b>0,005</b> | 0,070  | 0,348  |

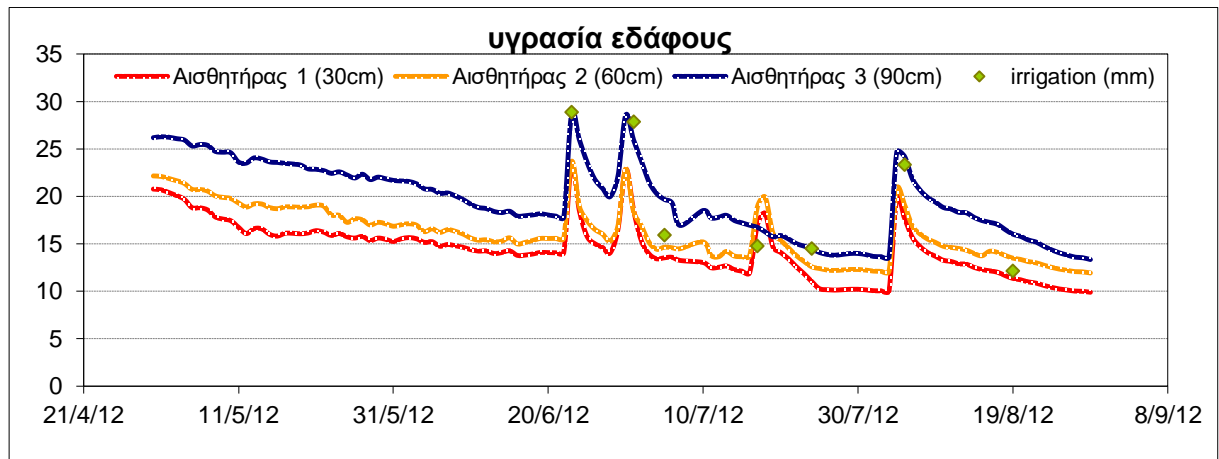
Based on estimated marginal means

\*. The mean difference is significant at the ,05 level.

a. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

#### 5.2.4 Υγρασία εδάφους

Οι μετρήσεις των αισθητήρων υγρασίας εδάφους κατέγραψαν σημαντικές διαφορές στην περιεκτικότητα σε υγρασία του εδάφους για τα τρία βάθη που προσδιορίστηκαν (Γράφημα 2). Ο αισθητήρας 3 (βαθύτερα στο έδαφος, μπλε γραμμή) κατέγραψε τις υψηλότερες τιμές κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, όπως αναμενόταν. Σε αντίθεση, ο αισθητήρας 1 (τοποθετημένος σε 30 εκατοστά βάθος, κόκκινη γραμμή) εμφάνισε τις χαμηλότερες τιμές κατά τη διάρκεια των ξηρών περιόδων και υψηλότερες τιμές όταν εφαρμόζεται άρδευση, η οποία υποδεικνύει ότι η επιφάνεια του εδάφους ξεραινεται λόγω της εξατμισοδιαπνοής πιο γρήγορα από ό, τι τα βαθύτερα στρώματα του εδάφους.



Γράφημα 2. Μετρήσεις υγρασίας σε τρία διαφορετικά βάθη εδάφους (30 cm, 60 cm και 90 cm).

Επίσης παρατηρούνται τρεις εξάρσεις στην υγρασία του εδάφους οι οποίες αντιστοιχούν στις τρεις αρδεύσεις που διεξήχθησαν. Ο βαθύτερος αισθητήρας (αισθητήρας 3) κατέγραψε τις υψηλότερες τιμές κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, ενώ ο αισθητήρας 1 (βάθος 30 cm) παρουσίασε τις χαμηλότερες τιμές. Σε γενικές γραμμές, η απόδοση του αισθητήρα ήταν ικανοποιητική και η βαθμονόμηση της περιεκτικότητας του εδάφους σε νερό οδήγησε σε αναμενόμενα αποτελέσματα της παρακολούθησης της υγρασίας του εδάφους.

#### 5.2.5 Συσχέτιση Δείκτη NDVI και Υδατικού Δυναμικού ( $\Psi_{dawn}$ )

Ο Δείκτης NDVI φαίνεται να έχει υψηλή συσχέτιση με το Υδατικό Δυναμικό και με την υγρασία του εδάφους ενώ αντίθετα δεν φαίνεται να έχει σχέση με το ύψος της παραγωγής. Αυτό σημαίνει ότι η μειωμένη υγρασία εδάφους που οφείλεται σε υποάρδευση ή απουσία άρδευσης επηρεάζει το Υδατικό Δυναμικό του φύλλου και τον Δείκτη NDVI (Πίνακας 18). Ένα φυτό καλά αρδευόμενο δεν εμφανίζει συμπτώματα ξηρασίας και αυτό αντανακλάται στο φύλλωμά του το οποίο είναι ζωηρότερο και κατά συνέπεια εμφανίζει υψηλότερες τιμές του δείκτη NDVI σε σχέση με ένα φυτό που έχει υποστεί κάποιας μορφής υδατική καταπόνηση.

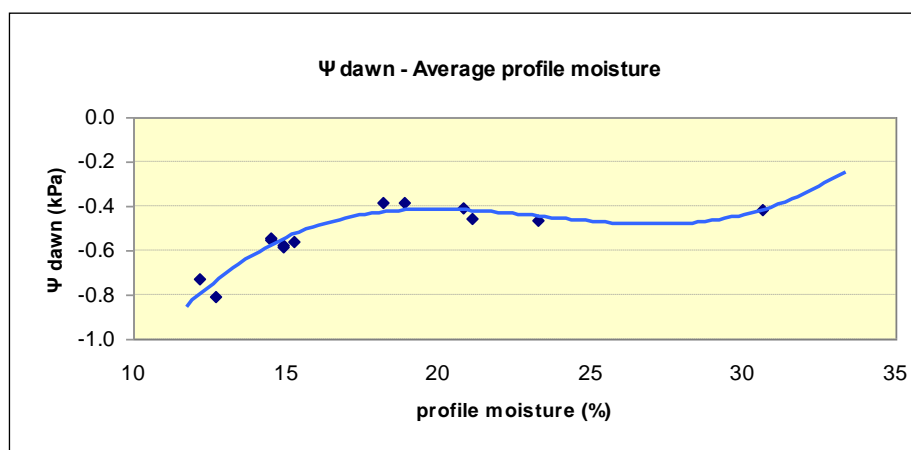
Πίνακας 18. Συσχέτιση Δείκτη Κανονικοποιημένης Διαφοράς (NDVI) – Υδατικού Δυναμικού ( $\Psi_{dawn}$ ) – υγρασίας εδάφους – Παραγωγής.

|                        | NDVI  | $\Psi_{dawn}$ | Παραγωγή |
|------------------------|-------|---------------|----------|
| NDVI                   | 1     |               |          |
| $\Psi_{dawn}$          | 0,802 | 1             |          |
| Παραγωγή               | -0,21 | -0,751        | 1        |
| Υγρασία εδάφους % κ.ο. | 0,474 | 0,906         | -0,956   |

Η εδαφική υγρασία μετρούμενη από τους αισθητήρες υγρασίας εδάφους, όπως είναι αναμενόμενο, έχει ισχυρή συσχέτιση με το Υδατικό Δυναμικό ενώ αντίθετα έχει αρνητική συσχέτιση με το ύψος της παραγωγής. Η εξίσωση που συνδέει το Υδατικό Δυναμικό με την μέση υγρασία εδάφους (γράφημα 4) και για τα τρία βάθη είναι ένα πολυώνυμο 3ου βαθμού

$$y = 0.0004x^3 - 0.0249x^2 + 0.5691x - 4.6784$$

$$R^2 = 0.9073$$



Γράφημα 3. Διάγραμμα συσχέτισης υδατικού δυναμικού ( $\Psi_{dawn}$ ) με την εδαφική υγρασία.



## 6. Συμπεράσματα – Μελλοντική εργασία

Με βάση τα προαναφερόμενα αποτελέσματα γενικά μπορούν να εξαχθούν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Το μη αρδευόμενο τμήμα του αμπελώνα εμφανίζει χαμηλότερες τιμές του Δείκτη Κανονικοποιημένης Διαφοράς (N.D.V.I.) ειδικότερα κατά τον μήνα Αύγουστο που πιθανόν να μειώνονται τα υδατικά αποθέματα του εδάφους ή να επικρατούν υψηλότερες θερμοκρασίες.
- Το μη αρδευόμενο τμήμα του αμπελώνα εμφανίζει χαμηλότερες τιμές του Δείκτη Κανονικοποιημένης Διαφοράς (NDVI) σε σχέση με τις άλλες δυο μεταχειρίσεις. Αυτό σημαίνει ότι ο αμπελώνας παρουσιάζει συμπτώματα έλλειψης νερού τα οποία δύναται να εντοπισθούν με ακρίβεια με την βοήθεια του δείκτη NDVI.
- Ο Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς (N.D.V.I.) παράλληλα μπορεί να δείξει τα επίπεδα της εδαφικής υγρασίας.
- Η εδαφική υγρασία μετρούμενη από αισθητήρες εδάφους έχει υψηλή συσχέτιση με το υδατικό δυναμικό της αμπέλου. Έτσι μπορεί να προσδιορισθεί η έλλειψη νερού και να ρυθμισθεί ανάλογα η άρδευση χωρίς να υπάρχουν φαινόμενα κατασπατάλησης νερού για τον συγκεκριμένο αμπελώνα.
- Η άρδευση του αμπελώνα μπορεί να προγραμματισθεί από τις μετρήσεις των αισθητήρων υγρασίας εδάφους. Αυτό με την σειρά του επιτρέπει τον απομακρυσμένο και αυτοματοποιημένο έλεγχο της άρδευσης σύμφωνα με τα κατώτατα όρια της υγρασίας του εδάφους.
- Η άρδευση του αμπελώνα μπορεί να ρυθμισθεί και με τις μετρήσεις του δείκτη NDVI πέραν της κλασσικής μεθόδου μέτρησης του υδατικού δυναμικού, η οποία μέθοδος χαρακτηρίζεται χρονοβόρα.
- Με τις μετρήσεις του δείκτη NDVI μπορούμε να εφαρμόσουμε μειωμένες δόσεις άρδευσης, αποφεύγοντας την χρονοβόρα μέτρηση του υδατικού δυναμικού, χωρίς να επηρεασθεί το ύψος της παραγωγής, εξοικονομώντας παράλληλα σημαντικούς υδάτινους πόρους για την γεωργία.

Από τα παραπάνω καταδεικνύεται σαφές ότι η Γεωργία Ακριβείας μπορεί να βελτιώσει το επίπεδο των καλλιεργητικών τεχνικών στην καλλιέργεια της αμπέλου και ειδικότερα στον τομέα της άρδευσης.

Πιο συγκεκριμένα με την αξιοποίηση των παραγόμενων χαρτών που προκύπτουν από την σημειακή μέτρηση της Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας μπορεί να διαπιστωθεί η ύπαρξη ή όχι ζωνών παραλλακτικότητας εντός του αγρού ώστε να γίνεται καλύτερη αξιοποίηση των ελεγχόμενων εισροών γενικά και του νερού ειδικότερα.

Με την αξιοποίηση των αισθητήρων υγρασίας μπορεί να προσδιορισθούν επακριβώς οι ανάγκες σε νερό ενός αμπελώνα και έτσι να γίνει στοχευόμενη και ακριβής χρονικά, ποσοτικά ή γεωγραφικά άρδευση εντός του αμπελώνα.

Με την αξιοποίηση των παραγόμενων χαρτών που προκύπτουν από την σημειακή μέτρηση του Δείκτη Κανονικοποιημένης Διαφοράς (NDVI) μπορεί να γίνει καλύτερη διαχείριση της άρδευσης ειδικά στο τέλος του καλοκαιριού με σκοπό την α) ορθολογικότερη άρδευση του αμπελώνα και κατ' επέκταση στην καλύτερη "εικόνα" του αμπελώνα και β) την εξοικονόμηση υδάτινων πόρων.

Είναι γνωστό ότι το νερό ως εισροή στην γεωργία τα επόμενα χρόνια θα παίξει σημαντικό ρόλο ειδικά εξαιτίας της έλλειψής του ή της ανισοκατανομής των βροχοπτώσεων κατά την διάρκεια του έτους λόγω της κλιματικής αλλαγής. Επιπλέον η ορθολογική του χρήση ή η εφαρμογή της υποάρδευσης, εφόσον αυτή δεν επηρεάζει την ποιότητα του παραγόμενου οίνου, θα μπορεί να συμβάλει στην προστασία επικλινών εδαφών από την διάβρωση που προκαλείται σε ορισμένες περιπτώσεις από την ακανόνιστη άρδευση ή την υπέρ – άρδευση.

Συνοψίζοντας η χρήση του Δείκτη Κανονικοποιημένης Διαφοράς (NDVI) μπορεί να αποτελέσει ένα σημαντικό βοηθητικό εργαλείο στα χέρια του σύγχρονου αμπελοκαλλιεργητή με την βοήθεια του οποίου θα μπορεί να καταγράφει και να αποτυπώνει την τρέχουσα εικόνα του αμπελώνα και να ρυθμίζει τις εισροές του στο επίπεδο της άρδευσης και όχι μόνο.

Ειδικά σήμερα με την ανάπτυξη της τεχνολογίας των τηλεκατευθυνόμενων μικρών ελικοπτέρων (drones) στα οποία μπορεί να προσαρμοστεί ο σχετικός εξοπλισμός για την μέτρηση του Δείκτη Κανονικοποιημένης Διαφοράς (NDVI)

θεωρείται ότι πλέον η μέτρηση του NDVI και η δημιουργία των σχετικών χαρτών σε μικρά τακτικά χρονικά διαστήματα θα είναι υπόθεση ρουτίνας.

Η αποδοχή και η υιοθέτηση αυτής της τεχνολογίας έχει να κάνει με το κόστος αγοράς, συντήρησης και εκπαίδευσης σχετικά με την χρήση της καθώς και με την γενικότερη κατάρτιση των αγροτών. ***Σήμερα, πολλές από τις τεχνολογίες είναι υψηλού κόστους, αλλά, όπως σε όλα τα ηλεκτρονικά συστήματα, το κόστος πέφτει συνεχώς, κάτι που θα κάνει τη νέα τεχνολογία πιο ελκυστική (Φουντάς, Γέμτος, Γεωργία ακριβείας, 2015).*** Στον τομέα όμως της αμπελοουργίας, η οργάνωση και το επίπεδο ειδικά των μεγάλων αμπελοκαλλιεργητών δεν θεωρείται πρόβλημα στην αποδοχή και υιοθέτηση μιας τέτοιας τεχνολογίας. Επιπλέον η ανάγκη για διατήρηση της ποιότητας και της μείωσης του κόστους στα πλαίσια του διεθνούς ανταγωνισμού καθώς και η τάση για ορθολογική χρήση των εισροών της γεωργίας με σκοπό την προστασία του παραγωγού, του καταναλωτή και του περιβάλλοντός μάλλον καθιστά επιτακτική την χρήση τεχνολογιών που συμβάλουν στην Γεωργία Ακριβείας.

Παράρτημα Πινάκων

| Α/α         | Περιγραφή   | Σελ. |
|-------------|---|------|
| Πίνακας 1.  | Συστηματική κατάταξη της αμπέλου  | 9    |
| Πίνακας 2.  | Ταξινόμηση ανόργανων στερεών εδάφους.   | 11   |
| Πίνακας 3.  | Κατηγοριοποίηση των εδαφών σύμφωνα με την περιεκτικότητα σε οργανική ουσία.   | 13   |
| Πίνακας 4.  | Περιγραφικοί όροι που συνδέονται με ορισμένες σειρές στο pH του εδάφους   | 14   |
| Πίνακας 5.  | Ποσότητες των κυριότερων στοιχείων που προσλαμβάνονται από την άμπελο ανά στρ. και έτος (Kg)                              | 16   |
| Πίνακας 6.  | Αριθμός μηχανών συγκομιδής με αισθητήρες παραγωγής  | 33   |
| Πίνακας 7.  | Τιμές των τριών δεικτών υδατικού δυναμικού $\Psi_{stem}$ σε σχέση με την ένταση της υδατικής καταπόνησης στην άμπελο.     | 62   |
| Πίνακας 8.  | Μέση τιμή δείκτη NDVI ανά block   | 66   |
| Πίνακας 9.  | Αναλυτικά στατιστικά για τις μετρήσεις του Δείκτη NDVI ανά μεταχείριση και ημερομηνία.                                    | 70   |
| Πίνακας 10. | Σύγκριση των τιμών του Δείκτη NDVI ανά ημερομηνία.  | 71   |
| Πίνακας 11. | Αναλυτικά στατιστικά αποτελέσματα για τις μετρήσεις του Δείκτη NDVI ανά ημερομηνία για τις τρεις μεταχειρίσεις            | 71   |
| Πίνακας 12. | Σύγκριση των τιμών του Δείκτη NDVI ανά μεταχείριση.   | 72   |
| Πίνακας 13. | Μέσες τιμές συγκομιδής ανά μεταχείριση.   | 73   |
| Πίνακας 14. | Σύγκριση μεταξύ των μέσων τιμών παραγωγής ανά μεταχείριση.  | 73   |
| Πίνακας 15. | Μετρήσεις υδατικού δυναμικού  | 74   |
| Πίνακας 16. | Αναλυτικά στατιστικά αποτελέσματα για τις μετρήσεις του υδατικού δυναμικού ανά μεταχείριση και ανά ημερομηνία.            | 75   |
| Πίνακας 17. | Σύγκριση τιμών υδατικού δυναμικού ( $\Psi_{dawn}$ ) ανά μεταχείριση και ανά ημερομηνία.                                   | 77   |
| Πίνακας 18. | Συσχέτιση Δείκτη Κανονικοποιημένης Διαφοράς (NDVI) – Υδατικού Δυναμικού ( $\Psi_{dawn}$ ) – υγρασίας εδάφους – Παραγωγής. | 78   |

Παράρτημα Γραφημάτων

| Α/α        | Περιγραφή   | Σελ. |
|------------|---|------|
| Γράφημα 1. | Χρονική εξέλιξη κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου του Υδατικού Δυναμικού για τις τρεις μεταχειρίσεις (NI – απουσία άρδευσης, DI – άρδευση στο 50 % της εξατμισοδιαπνοής και FI – άρδευση στο 100 % τη εξατμισοδιαπνοής. | 74   |
| Γράφημα 2. | Μετρήσεις υγρασίας σε τρία διαφορετικά βάθη εδάφους (30 cm, 60 cm and 90 cm).   | 78   |
| Γράφημα 3. | Διάγραμμα συσχέτισης υδατικού δυναμικού ( $\Psi_{dawn}$ ) με την εδαφική υγρασία.   | 79   |

## Βιβλιογραφία

- 1 Acevedo-Opazo C., Tisseyre B., Guillaume S., Ojeda H., (2007). Test of NDVI information for a relevant vineyard zoning related to vine water status. 6th European Conference on Precision Agriculture, Skiathos, Greece, pp. 547-554.
- 2 Arnó J., Bordes X., Ribes-Dasi M., Blanco R., Rosell J.R., Esteve J., (2005) Obtaining grape yield maps and analysis of within-field variability in Raimat (Spain). 5th European Conference on Precision Agriculture, Uppsala, Sweden, pp. 899-906.
- 3 Bramley R. G. V., Hamilton R. P., (2004). Understanding variability in wine grape production systems 1. Within vineyard variation in yield over several vintages. Australian Journal of Grape and Wine Research, 10, pp. 32-45.
- 4 Bramley R. G., V., (2005). Understanding variability in wine grape production systems 2. Within vineyard variation in quality over several vintages. Australian Journal of Grape and Wine Research, 11, pp. 33-42.
- 5 Bramley R., Pearse B., Chamberlain P., (2003). Being profitable precisely - a case study of precision viticulture from Margaret River. Australian Grape grower and Winemaker, 473a, pp. 84-87.
- 6 Bramley R.G.V., (2001). Progress in the development of Precision Viticulture - Variation in Yield, Quality and Soil Properties in Contrasting Australian Vineyards, In: L.D. Currie and P. Loganathan (eds). Precision tools for improving land management, Occasional report No. 14, Fertilizer and Lime Research Centre, Massey University, Palmerston North.
- 7 Campbell, R.H., Rawlings, S.L., Han, S. (1994). Monitoring methods for potato yield mapping. ASAE, ASAE, St Joseph, Michigan, pp. 943184.
- 9 Champagnol F., (1984). Le mode de conduit. Eléments de physiologie de la Vigne et de Viticulture général. Dehan, Montpellier, pp. 245-258.
- 10 Chaves M.M., Zarrouk O., Francisco R., Costa J.M., Santos T., Regalado A.P., Rodrigues M.L. and Lopes C.M., (2010). Grapevine under deficit irrigation: hints from physiological and molecular data. Ann. Bot. 105, pp. 661-676.
- 11 Doerge, T., (1998). Defining management zones for precision farming. Crop

- insights. Pioneer Hi-Bred, Johnston, IA.8 (21), pp. 21.
- 12 Drummond, P.E. Christy, C.D., Lund, E. D.,(2000). Using an automated penetrometer and soil EC probe to characterize the rooting zone. Proceedings of fifth international conference on Precision Agriculture (CD), Bloomington, MN, USA, pp. 34-54.
- 13 Gartley, K. (1995). Recommended soluble salts tests. In recommended soil testing procedures for the Northeastern United States. Second Edition. Northeastern Reg. Publ. 497, pp 70-75.
- 14 Gemtos T., Fountas S., Blackmore S. B., Greipentrog H. W., (2002). Precision farming experience in Europe and the Greek potential, 1st greek conference on information and communication technology in agriculture, Athens, Greece.
- 15 Geonics Limited, (2006). EM 38 Ground Conductivity Meter Operating Manual. Geonics Limited, Mississauga, ON, Canada.
- 16 Griffin, T.W., J. Lowenberg-DeBoer, D.M. Lambert, J. Peone, T. Payne, S.G. Daberkow,(2004). Adoption, Profitability, and Making Better Use of Precision Farming Data. Staff Paper #04-06. Department of Agricultural Economics, Purdue University.
- 17 Hall, A., Lamb, D., Holzapfel, B. and Louis, J. (2002). Optical remote sensing applications in viticulture - A review. Australian Journal of Grape and Wine Research, 8(1), pp. 36-47.
- 18 Hofman, A.R., Penigrahi, S.,Gregor, B.,Walker, J. (1995). In field monitoring sugar beets. ASAE, St Joseph, Michigan, pp. 95-2114,.
- 19 Hofmann, Kopfer, Werner, (2003). Αμπελουργία. Βιολογική καλλιέργεια. Εκδόσεις Ψύχαλου, Αθήνα.
- 20 <http://www.esf.edu/pubprog/brochure/soilph/soilph.htm>, SUNY College of Environmental Science and Forestry
- 21 Kitchen N.R., Sudduth K.A., Myers D.B., Drummond S.T., Hong S.Y., (2005) Delineating productivity zones on claypan soil fields apparent soil electrical conductivity. Computers and Electronics in Agriculture, 46, pp.285-308.
- 22 Mc Neil, J. D. (1992). Rapid accurate mapping of soil salinity by electromagnetic ground conductivity meters. In: G.C. Topp, W. D. Reynolds and R. E. Green (eds),

- advances in measurement of soil physical properties: Bringing theory into practice. ASA, CSSA and SSSA, Madison, WI., pp 209-229.
- 23 Miller W. M., Whitney J. D., (1999). Evaluation of weighing systems for citrus yield monitoring. *Applied Engineering in Agriculture*. 15 (6), pp. 609-614.
- 24 Ortega, R.A., Esser, A., Santibanez, O., (2003) Spatial variability of wine grape yield and quality in Chilean vineyards: economic and environmental impacts. In: J.V. Stafford and A. Werner (eds), *Proceedings of the Fourth European Conference on Precision Agriculture*, Berlin, Germany, pp. 499-506.
- 26 Pelletier, G, Upadyaya, K.S. (1999). Development of a tomato load/yield monitor. *Computers and Electronics in Agriculture* 23, pp. 103-107.
- 27 Phillips, L., Hansen, A., Flather, C., (2008). Evaluating the species energy relationship with the newest measures of ecosystem energy: NDVI versus MODIS primary production, 112, pp 4381-4392.
- 28 Qiuao, J., Sasao, A., Shibusawa, S., Kondo, N., Morimoto, E., (2005). Mapping Yield and Quality using the Mobile Fruit Grading Robot. *Biosystems engineering*, 90(2), pp. 135-142.
- 29 Rains, G.C., Thomas, D.L., Perry, C.D. (2002). Pecan mechanical harvesting parameters for yield mapping *Transaction of the ASAE*, 45(2) 281-285.
- 30 Relling, M. (2001), *The Use of Remote Sensing in Viticulture: A Literature Review*, GEOG 9012, Remote View.
- 31 Rhoades, J. D. N.A., Manteghi, P. J., Shouse, Alves, W. J. (1989). Soil electrical conductivity and soil salinity: new formulations and calibrations. *Soil Sci. Soc. AM J.*, 53, pp. 433-439.
- 32 Rhoades, J. D., Corwin, D. L., (1981). Determining soil electrical conductivity-depth relations using an inductive electromagnetic soil conductivity meter. *Soil Sci. Soc. AM. J.* 45, pp. 255-260.
- 33 Rhoades, J. D., Chanduri, F., Lesch, S., (1999). Methods and interpretation of electrical conductivity measurements. *Soil salinity assesement, FAO irrigation and drainage paper* 57.
- 34 Sentek, (2007). *Sentek Diviner 2000 User Guide*. Sentek, Stepney, Australia.
- 35 Smart, R., Robinson, M. (1991). *Sunlight into wine: a handbook for winegrape*



- canopy management. *Winetitles*.
- 36 Smith, J. L., Doran, J.W., (1996). Measurement and use of PH and electrical conductivity for soil quality analysis. In J. W. and A. j. Alice (eds) . *Methods for assessing soil quality* . SSSA spec. Publ. 49. SSSA, Madison, WI, pp. 169-185.
- 37 Stafford, J.V. (2000). Implementing Precision Agriculture in the 21st Century *J. Agr. Engng Res.* 76, pp. 267-275.
- 38 Stamatiadis, S., Taskos, D., Tsadila, E., Christofides, C., Tsadilas, C. and Schepers, J. S. (2010). Comparison of passive and active canopy sensors for the estimation of vine biomass production. *Precision Agriculture*, 11(3), pp. 306-315.
- 39 Stamatiadis, S., Taskos, D., Tsadilas, C., Christofides, C., Tsadila, E. and Schepers, J. S. (2006). Relation of ground-sensor canopy reflectance to biomass production and grape color in two merlot vineyards. *American Journal of Enology and Viticulture*, 57(4), pp. 415-422.
- 40 Tisdale, S. L., Nelson, W. L., Beaton, J. D., Halvin, J. L. (1993). *Soil Fertility and Fertilizers*. Fifth Edition, MacMillan Publishing Company.
- 41 Tisseyre, B., Mazzoni, C., Ardoin, N., Clipet, C., (2001) Yield and harvest quality measurement in precision viticulture - Application for a selective vintage. In: G. Grenier and S. Blackmore (eds.), *Proceedings of the Third European Conference on Precision Agriculture*, Montpellier, France, pp. 133-138.
- 42 Tisseyre, B., McBratney, A. B., (2007). A technical opportunity index based on mathematical morphology for site-specific management using yield monitor data: application to viticulture. *6th European Conference on Precision Agriculture*, Skiathos, Greece.
- 43 Tomasson, J.A., Penington, D.A., Pringle, H.C., Colombus, E.P., Tomson, S.J., Byler, R.K. (1999). Cotton mass flow measurements: Experiments with two optical devices. *Appl. Eng in Agric.* 15(1), pp. 11-17.
- 44 Van Leeuwen, C., Tregoeat, O., Chone, X., Bois, B., Pernet, D., Gaudillere, J.P., (2009). Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red Bordeaux wine. How can it be assessed for vineyard management purposes. *J. Int. Sci. Vigne Vin* 43, pp.121-134.

- 45 Velidis, G., Perry, C. D., Durrence, J. S., Thomas, D. L., Hill, R. W., Kwień, C. K., Rains, G. (2001). Field testing the peanut yield monitoring. In: Robert, P.C., Rust, R. H., Larson, W. E (Eds). Proceedings of the Third International Conference on Precision Agriculture, Minneapolis, USA, pp. 835-844.
- 46 Whitney, J. D., Ling, Q., Miller, W. M., Wheaton, T. A., (2001). A DG.P.S. yield monitoring system for Florida citrus. Applied Engineering in Agriculture. 17 (2), pp. 115-119.
- 47 Wilkerson, J.B., Kirby, J.S., Hart, W.E., Woma, A.R. (1994). Real time cotton flow sensor. ASAE, St Joseph, Michigan, pp. 94-1054,
- 48 Wilkerson J.B., Moody, F.H., Hart, W.E., Funk, P.A. (2001). Design and Evaluation of a Cotton Flow Rate Sensor. Transaction of the ASAE, 44(6), pp. 1415-1420.
- 49 Zhang, N.&M. Wang, (2002). "Precision agriculture—a worldwide overview." Computers and Electronics in Agriculture, 36(2-3), pp. 113-132.
- 50 Αγγελοπούλου, Α. Δ., Blackmore, S., Φουντάς, Σ., Γέμτος, Θ. Α., Νάνος, Γ. Δ., (2007). Μελέτη χωρικής και χρονικής παραλλακτικότητας παραγωγής και ποιότητας σε οπωρώνες μηλιάς. 5ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωργικής μηχανικής, Λάρισα.
- 51 Σταματιάδης, Στ. (2011). Πρόγραμμα Hydrosense, Αγρόκτημα, Γεωργία Ακριβείας, 8.
- 52 Αναλογίδης, Δ., (2000). Έδαφος, θρεπτικά στοιχεία και φυτική παραγωγή, Εκδόσεις Αγρότυπος, Αθήνα.
- 53 Βαγιάνου Ι., (1983). Πρακτική αμπελουργία – οινολογία, Εκδόσεις Ψυχάλου, Αθήνα.
- 54 Βλάχος Μ., (1986). Αμπελογραφία, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.
- 55 Βλάχος, Μ. Β., (1995). Σημειώσεις Μαθήματος Αμπελουργία ΙΙΙ, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.
- 56 Γέμτος, Θ., Φουντάς, Σ., Μαρκινός, Α., Αγγελοπούλου, Α., Χατζηνίκος, Α, Εφαρμογές και προοπτική Γεωργίας Ακριβείας στην Ελλάδα. Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Τμήμα Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωτεχνικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

- 57 Γράβαλος, Ι., Ντιούδης, Π., Φιλίντας, Αγ., Κατέρης, Δ., Δημητριάδης, Χ., (2006). Συγκριτική μελέτη αισθητήρων μέτρησης εδαφικής υγρασίας, 10ο Πανελλήνιο συνέδριο ΕΥΕ, Ξάνθη, pp. 837-844.
- 58 Χατζής, Αντ., (2011). Εγκατάσταση συστήματος αισθητήρων με βάση μετρήσεις γεωργίας ακριβείας, Τμήμα Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωτεχνικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Πτυχιακή μελέτη.
- 59 Στεργιόπουλος, Θ., (2000) Εφαρμογή των δικτύων αισθητήρων στη Γεωργία Ακριβείας, Τμήμα Μηχανικών Η/Υ, Τηλεπικοινωνιών & Δικτύων, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Διπλωματική εργασία.
- 60 Φτάκα, Αλ., (2006). Η γεωργία ακριβείας ως εργαλείο της γεωργικής πρακτικής για την αειφόρο ανάπτυξη, Τμήμα Περιβάλλοντος Πανεπιστημίου Αιγαίου, Διατριβή.
- 61 Θανασουλόπουλος, Κ., (1992). Μυκητολογικές ασθένειες δένδρων και αμπέλου, Εκδόσεις Ζήτη, σελ. 184-215.
- 62 Αμπατζίδης, Ι.Γ., Τζελέπης, Γ.Σ., Βουγιούκας, Σ.Γ., (2000). Σύστημα μέτρησης και ταυτοποίησης της παραγωγής επιτραπέζιων σταφυλιών κατά την παραδοσιακή συγκομιδή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Γεωπονική Σχολή, Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Θεσσαλονίκη.
- 63 Κούσουλας Κ., (1995), Αμπελουργία. Εκδόσεις Αγροτεχνική ΑΕ.
- 64 Μαρκινός, Α. Γέμτος, Θ., Τούλιος, Λ., Πατέρας, Δ., Ζέρβα, Γ., Παπαοικονόμου, Μ., (2003). Γεωργία Ακριβείας στο βαμβάκι: Συσχέτιση χαρτών παραγωγής και ηλεκτρικής αγωγιμότητας, Πρακτικά τρίτου συνεδρίου γεωργικής μηχανικής, σελ. 222-229.
- 65 Μήτσιος, Ι. Κ., (2000). Εδαφολογική μελέτη και εδαφολογικός χάρτης, Εκδόσεις Zymel, Αθήνα.
- 66 Μήτσιος, Ι. Κ., (1999). Εδαφολογία, Εκδόσεις Zymel, Αθήνα.
- 67 Μήτσιος, Ι. Κ., (2004). Γονιμότητα Εδαφών. Θρεπτικά στοιχεία φυτών (μακροθρεπτικά, μικροθρεπτικά) και Βαρέα Μέταλλα. Μέθοδοι και Εφαρμογές, Εκδόσεις Zymel, Αθήνα.
- 68 Μισοπολινός, Ν., (1996). Προβληματικά εδάφη. Εκδόσεις Γιαχούδη Γιαπούλη.
- 69 Νικολάου, Ν. Α., (2001). Θέματα και τεχνικές καλλιέργειας της Αμπέλου,

- Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.
- 70 Νικολάου, Ν. Α., (2005). Γενική Αμπελουργία, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.
- 71 Παπαδογιαννάκης, Ν., (2006). Ανάλυση τηλεπισκοπικών δορυφορικών εικόνων με την χρήση γεωγραφικών πληροφοριών στη διαχείριση αμπελώνων, Διατριβή, Τμήμα Περιβάλλοντος Πανεπιστημίου Αιγαίου.
- 72 Παρασκευάς, Χ., (2010). Πειραματική και θεωρητική μελέτη της κίνησης του νερού στην ακόρεστη ζώνη του εδάφους με χρήση λυσιμέτρων. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Ειδίκευση Γεωργικής Μηχανικής και Υδατικών Πόρων, Γεωπονική Σχολή, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- 73 Ρούμπος, Ι. (1996). Σύγχρονη αμπελουργία. Βιολογική και ολοκληρωμένη αντιμετώπιση των εχθρών και ασθενειών της αμπέλου. Εκδόσεις ΩΡΕΣ, Βόλος.
- 74 Σταύρακας, Δ.Ε., (1998). Μαθήματα γενικής αμπελουργίας, Εκδόσεις Α.Π.Θ.
- 75 Σταύρακας, Δ., Πατάκας, Α., Ζιώζιου, Ε., Νικολάου, Ν., (1999). Αραίωμα βοτρυών στην πρώιμη ποικιλία παραγωγής επιτραπέζιων σταφυλών Victoria. Πρακτικά 19ου Συνεδρίου της Ε.Ε.Ε.Ο., Ηράκλειο.
- 76 Τερζίδης, Ν., (2014). Υγρασία σε έδαφος καλλιεργούμενου με γρασίδι. Μετρήσεις και Υπολογισμοί ισοζυγίου νερού. Πτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Γεωπονίας Α.Π.Θ.
- 77 Τζανακάκης, Μ., (1980). Μαθήματα εφαρμοσμένης εντομολογίας, σελ. 353-356.
- 78 Φουντάς, Σ., Γέμτος, Θ., (2015). Γεωργία Ακριβείας. Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα.