



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

**ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΑΓΡΟΥ ΜΕ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ
ΦΕΡΟΜΕΝΟ ΣΕ ΓΕΩΡΓΙΚΟ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ ΚΑΙ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Νικολέτα Δάρρα

Επιβλέπων Καθηγητής

Σπυρίδων Φουντάς Αν. Καθηγητής Γ.Π.Α

Τμήμα

Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής

ΑΘΗΝΑ 2019



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

**ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΑΓΡΟΥ ΜΕ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ
ΦΕΡΟΜΕΝΟ ΣΕ ΓΕΩΡΓΙΚΟ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ ΚΑΙ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ**

**Comparison of field monitoring data retrieved from satellite images and
proximal sensor installed on tractor**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Τριμελής Επιτροπή

Σ. Φουντάς, Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΠΑ (επιβλέπων)

Δ. Καλύβας, Καθηγητής ΓΠΑ

Ε. Ψωμιάδης, ΕΔΙΠ ΓΠΑ

Περίληψη

Στην παρούσα μελέτη αξιοποιήθηκαν μέθοδοι Γεωργίας Ακριβείας σε καλλιέργεια επιτραπέζιου σταφυλιού (*Vitis vinifera* cv. Thompson Seedless), με στόχο την παρακολούθηση της χωρικής παραλλακτικότητας του αμπελώνα από την άνθιση έως τη συγκομιδή. Η μελέτη έλαβε χώρα στην ευρύτερη περιοχή του Κιάτου σε έναν εμπορικό αμπελώνα 14 στρεμμάτων κατά τη διάρκεια του έτους 2017. Στο πλαίσιο της έρευνας, πραγματοποιήθηκαν πειραματικές μετρήσεις για τον υπολογισμό του Δείκτη Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς (NDVI) και τη χαρτογράφηση της τελικής παραγωγής. Ο δείκτης NDVI υπολογίστηκε με τη χρήση δορυφορικών εικόνων (Sentinel 2) και του επίγειου αισθητήρα Crop Circle ACS 470, έτσι ώστε να αξιολογηθούν οι συσχετίσεις μεταξύ των δεικτών NDVI και της παραγωγής. Η παραγωγή του αγροτεμαχίου παρουσίασε υψηλό βαθμό χωρικής παραλλακτικότητας σε σχέση με το μέγεθος του, ενώ οι δείκτες NDVI παρουσίασαν διαφορετικούς βαθμούς συσχετίσεων σε διαφορετικές ημερομηνίες μέτρησης και μεθόδους τηλεπισκόπησης.

Λέξεις κλειδιά: Γεωργία Ακριβείας, επιτραπέζιο σταφύλι, δείκτης NDVI, τηλεπισκόπηση, χαρτογράφηση παραγωγής

ABSTRACT

In this study, Precision Agriculture methods were exploited in table grape vineyard (*Vitis vinifera* cv. Thompson Seedless) in order to monitor the spatial variation of the crop from veraison to harvest. The study took place in the district of Kiato and more specifically in a commercial vineyard of 14 acres during the year 2017. Experimental measurements were performed for the calculation of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the yield mapping. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was calculated by employing satellite imagery (Sentinel 2) and proximal sensing (Crop Circle ACS 470) to assess the correlation between the NDVI index and the yield of table grapes. The yield of the study area exhibited high degree of spatial variability considering the small size of the vineyard, while NDVI index revealed different degrees of correlations with different measurement dates and sensing methods.

Keywords: Precision Agriculture; table grape; NDVI index; remote sensing; yield mapping

Στην αδερφή μου!!

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση και συγγραφή της διατριβής αυτής, δράττομαι της ευκαιρίας να εκφράσω της ευχαρίστησή μου σε ανθρώπους που βρέθηκαν δίπλα μου κατά την διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω στον επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Σπύρο Φουντά, για την πολύτιμη καθοδήγηση του κατά την διάρκεια των σπουδών μου, χωρίς την οποία δεν θα ήταν δυνατή η ολοκλήρωση της διατριβής αυτής.

Επίσης, ευχαριστώ πολύ τα δύο άλλα μέλη της τριμελούς επιτροπής της διατριβής μου, Καθηγητή κ. Διονύση Καλύβα και τον Καθηγητή κ. Μανώλη Ψωμιάδη για την συμβολή τους στην επίβλεψη και διόρθωση της παρούσας μελέτης.

Περιεχόμενα

1	ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ	1
1.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.2	ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	2
1.3	ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	3
1.4	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΓΕΩΡΓΙΑΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ	6
1.4.1	ΔΕΚΤΕΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ GNSS	6
1.4.2	1.4.1.1 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ GPS ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ	9
1.4.3	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (GIS)	10
1.4.4	ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ	12
1.4.5	1.4.3.1. ΜΕΤΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΧΩΡΙΣ ΕΠΑΦΗ	12
1.4.6	1.4.3.2. ΜΕΤΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΕΠΑΦΗ	14
1.4.7	1.4.3.3. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ	14
1.4.8	ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ	16
1.4.9	ΤΗΛΕΜΑΤΙΚΗ	17
1.4.10	1.4.5.1. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ	18
1.4.11	ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ	19
2	ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ	20
2.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	20
2.2	ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ	20
2.3	ΔΟΜΗ ΠΟΛΥΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ	22
2.4	ΔΕΙΚΤΕΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ	24
2.5	ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ	35
2.5.1	ΕΝΕΡΓΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ (RADAR)	36
2.5.2	ΟΠΤΙΚΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	37
2.6	ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ	42
2.6.1	ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ	43
2.6.2	ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΕΣ ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ	44
2.7	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΓΕΩΡΓΙΑ	44
I.	Εκτίμηση Παραγωγής	45
II.	Τροφοπενίες φυτών	46
III.	Αξιολόγηση των απαιτήσεων νερού στα φυτά	46
IV.	Ανίχνευση ασθενειών και ζιζανίων	47
3	ΑΜΠΕΛΟΥΡΓΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	49
3.1	ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΕΣ ΕΚΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΣΗΜΑΣΙΑ	49
3.2	ΠΟΙΚΙΛΙΕΣ	51

3.2.1	ΕΠΙΤΡΑΠΕΖΙΕΣ ΠΟΙΚΙΛΙΕΣ	51
3.2.2	3.2.1.1. ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΠΟΙΚΙΛΙΕΣ	52
3.2.3	3.2.1.2. ΞΕΝΕΣ ΠΟΙΚΙΛΙΕΣ	54
3.2.4	ΠΟΙΚΙΛΙΕΣ ΟΙΝΟΠΟΙΗΣΗΣ	58
3.2.5	3.2.2.1 ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΠΟΙΚΙΛΙΕΣ ΟΙΝΟΠΟΙΗΣΗΣ	58
3.2.6	3.2.2.2. ΞΕΝΕΣ ΠΟΙΚΙΛΙΕΣ	61
3.3	ΈΔΑΦΟΣ ΚΑΙ ΘΡΕΨΗ	63
3.4	ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΕ ΝΕΡΟ	66
3.5	ΑΣΘΕΝΕΙΕΣ ΚΑΙ ΕΧΘΡΟΙ ΤΗΣ ΑΜΠΕΛΟΥ	66
3.5.1	ΜΥΚΗΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΑΣΘΕΝΕΙΕΣ	66
3.5.2	ΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΑΣΘΕΝΕΙΕΣ	70
3.5.3	ΕΝΤΟΜΑ	71
3.5.4	ΑΚΑΡΕΑ	72
3.5.5	ΜΗ ΠΑΡΑΣΙΤΙΚΕΣ ΑΣΘΕΝΕΙΕΣ	72
3.5.6	ΝΗΜΑΤΩΔΕΙΣ	73
4	ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	74
4.1	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΑΜΠΕΛΩΝΑ	74
4.2	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ CROP CIRCLE	75
4.2.1	ΓΕΩΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	76
4.2.2	4.2.1.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΩΡΙΚΗΣ ΑΥΤΟΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ	77
4.2.3	4.2.1.2. IDW	77
4.2.4	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ	78
4.3	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	79
4.4	ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	80
5	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	80
5.1	ΧΑΡΟΓΡΑΦΗΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	80
5.2	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ	83
5.3	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ CROPCIRCLE	84
5.4	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ CROPCIRCLE ΚΑΙ SENTINEL	88
5.4.1	ΣΥΝΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ	89
5.4.2	ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ	91
6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ	94
6.1	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	94
6.2	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	95
7	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	97

7.1	ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ	97
7.2	ΕΛΛΗΝΙΚΗ	101
7.3	ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ	102
8	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	103
9	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	1

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Τεχνικές προσδιορισμού θέσης (i) <i>Differential GPS</i> και (ii) <i>RTK GPS</i>	8
Εικόνα 2: Συστήματα μέτρησης ηλεκτρικής αγωγιμότητας χωρίς επαφή (i) <i>EM38</i> και (ii) <i>GEM-2</i>	13
Εικόνα 3: Απεικόνιση ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.....	20
Εικόνα 4: Χάρτης του δείκτη <i>NDVI</i> που απεικονίζει την υγιή βλάστηση (πράσινο) στην ευρύτερη περιοχή του Κιάτου.....	26
Εικόνα 5: Χάρτης του δείκτη <i>NDVI</i> σε περιβάλλον <i>Google Earth</i> , που απεικονίζει την υγιή βλάστηση (λευκό) στην ευρύτερη περιοχή του Κιάτου.....	27
Εικόνα 6 : Χάρτης του δείκτη <i>GNDVI</i> που απεικονίζει την υγιή βλάστηση (πράσινο) στην ευρύτερη περιοχή του Κιάτου.....	28
Εικόνα 7: Χάρτης του δείκτη <i>PVI</i> που απεικονίζει την υγιή βλάστηση (πράσινο) στην ευρύτερη περιοχή του Κιάτου.....	29
Εικόνα 8: Χάρτης του δείκτη <i>SAVI</i> που απεικονίζει την υγιή βλάστηση (πράσινο) στην ευρύτερη περιοχή του Κιάτου.....	30
Εικόνα 9: Χάρτης του δείκτη <i>MSAVI</i> που απεικονίζει την υγιή βλάστηση (πράσινο) στην ευρύτερη περιοχή του Κιάτου.....	31
Εικόνα 10: Χάρτης του δείκτη <i>MSAVI2</i> που απεικονίζει την υγιή βλάστηση στην ευρύτερη περιοχή του Κιάτου.....	32
Εικόνα 11 : Χαρακτηριστικά του πολυφασματικού αισθητήρα καταγραφής <i>MSI</i> του <i>Sentinel 2</i> (Immitzer et al.,2016).....	40
Εικόνα 12: Πλέγμα πλακιδίων δορυφορικών εικόνων <i>Sentinel 2</i> στον ελληνικό χώρο.....	41
Εικόνα 13: Σουλτανίνα.....	51
Εικόνα 14: Ραζακί.....	52
Εικόνα 15: Όψιμος Εδέσσης.....	52
Εικόνα 16: Μαλαγουζιά.....	52
Εικόνα 17: Αττική.....	53
Εικόνα 18: Σιδερίτης.....	53
Εικόνα 19: Φράουλα.....	53
Εικόνα 20: Μοσχάτο Αμβούργου.....	54
Εικόνα 21: <i>Perlette</i>	54
Εικόνα 22: <i>Calmeria</i>	54
Εικόνα 23: <i>Italia</i>	54
Εικόνα 24: <i>Superior Thompson seedless</i>	55
Εικόνα 25: <i>Cardinal</i>	55
Εικόνα 26: <i>Grimpson seedless</i>	56
Εικόνα 27: <i>Black Magic</i>	56
Εικόνα 28: <i>Red Globe</i>	56
Εικόνα 29: Ασύρτικο.....	57
Εικόνα 30: Μοσχάτο λευκό.....	57
Εικόνα 31: Μοσχάτο Αλεξανδρείας.....	58
Εικόνα 32: Μονεμβασιά.....	58
Εικόνα 33: Αγιωργίτικο.....	58
Εικόνα 34: Μοσχοφίλερο.....	59
Εικόνα 35: Ξινόμαυρο.....	59
Εικόνα 36: Μαυροδάφνη.....	60
Εικόνα 37: <i>Viognier</i>	60
Εικόνα 38: <i>Merlot</i>	60
Εικόνα 39: <i>Chardonnay</i>	61
Εικόνα 40: <i>Cabernet sauvignon</i>	62
Εικόνα 41: Περονόσπορος.....	66
Εικόνα 42: Περονόσπορος.....	66
Εικόνα 43: Ωίδιο.....	66
Εικόνα 44: Φώμοψη.....	67
Εικόνα 45: Τεφρά σήψη.....	67
Εικόνα 46: Ίσκα.....	68
Εικόνα 47: Ευτυπίωση.....	69
Εικόνα 48: Μολυσματικός εκφυλισμός.....	69

<i>Εικόνα 49: Ευδεμίδα της αμπέλου</i>	70
<i>Εικόνα 50: Θρίπας</i>	70
<i>Εικόνα 51: Φυλλοξήρα</i>	71
<i>Εικόνα 52: Ψευδόκοκοι</i>	71
<i>Εικόνα 53: Τετράνυχτοι</i>	71
<i>Εικόνα 54: Ξήρανση των βοτρυών</i>	72
<i>Εικόνα 55: Η περιοχή μελέτης</i>	73
<i>Εικόνα 56: Η περιοχή μελέτης σε περιβάλλον Google Earth χωρισμένο σε ένα πλέγμα 36 κελιών</i>	73
<i>Εικόνα 57: Crop Circle ACS-470 (i)Canopy Sensor (ii) GeoSCOUTGLS 400 datalogger (iii) GPS (iv)Μπαταρία</i>	75
<i>Εικόνα 58: Χάρτης παραγωγής για την ποικιλία Thompson seedless για το έτος 2017</i>	80
<i>Εικόνα 59:Υψομετρικός χάρτης του αγροτεμαχίου</i>	81
<i>Εικόνα 60: Χωρική παρεμβολή IDW των τιμών ανάκλασης στα εξής μήκη κύματος: (i)535 nm, (ii) 550 nm, (iii) 670 nm, (iv)700 nm, (v)730 nm, (vi)760 nm</i>	85
<i>Εικόνα 61: Zonal Statistics για τα εξής μήκη κύματος: (i)535 nm, (ii) 550 nm, (iii) 670 nm, (iv)700 nm, (v)730 nm, (vi)760 nm</i>	87

1 Γεωργία Ακριβείας

1.1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια, ολοένα και συχνότερα γίνεται λόγος για την έννοια της Γεωργίας Ακριβείας (Γ.Α.) και μάλιστα ένα σημαντικό κομμάτι της επιστημονικής έρευνας απασχολείται ενεργά στη διερεύνηση της Γεωργίας Ακριβείας και γενικότερα των Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών (Τ.Π.Ε.) στη γεωργία. Αναμφίβολα, η Γεωργία Ακριβείας αποτελεί αντικείμενο αιχμής και λαμβάνοντας υπόψη τα ιδιαίτερα διαρθρωτικά χαρακτηριστικά της ελληνικής γεωργίας σε συνδυασμό με την πρόσφατη οικονομική ύφεση της χώρας και τη χρόνια υστέρηση ανάπτυξης της υπαίθρου, κάθε έρευνα που σχετίζεται με την βελτίωση της παραγωγικότητας της ελληνικής γεωργίας αποκτά ιδιαίτερη σημασία και πρέπει να αντιμετωπίζεται προσεκτικά.

Η Γεωργία Ακριβείας είναι μια σχετικά νέα μέθοδος γεωργικής πρακτικής, η οποία χρησιμοποιεί πληροφορία με σαφήνεια προσδιορισμένη ως προς το χώρο και το χρόνο, προκειμένου να μεγιστοποιήσει την αποδοτικότητα των εισροών και να ελαχιστοποιήσει τις περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις (*Καρύδας και Συλλαίος, 2000*). Οι *Γέμτος κ.α. (2006)*, με τον όρο Γεωργία Ακρίβειας ορίζουν τη διαχείριση της χωρικής και χρονικής παραλλακτικότητας των αγρών, προκειμένου να βελτιωθεί η αποδοτικότητα των αγροκτημάτων ή και να επιτευχθεί η μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον από την ορθολογική χρήση των εισροών.

Σύμφωνα με τους *Blackmore et al. (2002)*, η Γεωργία Ακριβείας ορίζεται ως διαχείριση της χωροχρονικής μεταβλητότητας για τη βελτίωση των οικονομικών αποδόσεων και τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση κατάλληλων τεχνολογιών μέσα σε μια συνεκτική δομή διαχείρισης.

Είναι επομένως ένα σύστημα διαχείρισης αγροκτημάτων που χρησιμοποιεί την πληροφορική και την εφαρμοσμένη ηλεκτρονική, βοηθώντας έτσι το γεωργό στη λήψη αποφάσεων για τη καλύτερη διαχείριση του αγροκτήματος του. Ο όρος καλύτερη διαχείριση μπορεί να σημαίνει βελτίωση της οικονομικής απόδοσης του αγροκτήματος είτε με αύξηση της παραγωγής, είτε με μείωση των εισροών, είτε με συνδυασμό και των δύο. Επιπλέον μπορεί να επιτευχθεί βελτίωση των τυχόν αρνητικών επιπτώσεων της γεωργίας στο περιβάλλον, εφόσον εφαρμόζεται η αναγκαία ποσότητα εισροών σε κάθε σημείο του αγρού. Το χαρακτηριστικό είναι ότι αντί να γίνονται οι καλλιεργητικές φροντίδες με βάση τις μέσες τιμές παραγωγής και γονιμότητας του εδάφους, είναι δυνατή η εφαρμογή διαφορετικών δόσεων εισροών για κάθε τμήμα του αγρού, ανάλογα με τις πραγματικές του ανάγκες (*Γέμτος κ.α., 2003*).

1.2 Ιστορική αναδρομή

Στον διεθνή χώρο, όχι μόνο η ερευνητική προσπάθεια, αλλά και ο βαθμός εφαρμογής της γεωργίας ακριβείας έχουν ήδη αναπτυχθεί σε πολύ σημαντικό βαθμό. Οι τεχνικές γεωργίας ακριβείας εφαρμόζονται κυρίως σε εξαιρετικά παραγωγικές περιοχές της Ευρώπης (Δανία, Γαλλία, Γερμανία, Ηνωμένο Βασίλειο), στις Η.Π.Α. και στην Αυστραλία (STOA, 2013).

Οι πρώτες αναφορές σχετικά με την ανάγκη για διαχείριση της παραλλακτικότητας στο αγροτεμάχιο έγιναν ήδη από την αρχή του 20ού αιώνα από τους *Eden & Maskell (1928)* και *Linsley & Bauer (1929)*, ενώ κατά τη δεκαετία του 1980, οι *Johnson et al. (1983)* προχώρησαν στην περιγραφή μιας αυτόματης γεωργικής μηχανής ακρίβειας. Αρχικά, οι εφαρμογές ξεκίνησαν στις Η.Π.Α. και στη Βρετανία και ακολούθησαν σε άλλες χώρες, κυρίως στη Βόρεια και Νότια Αμερική, Ευρώπη και Αυστραλία. Πρώτη πραγματική εφαρμογή ήταν η κατασκευή συστήματος μίξης και διανομής λιπασμάτων σε κίνηση, που κατασκευάστηκε από την εταιρεία Soil Teq στις Η.Π.Α. (*Fairchild, 1988*) και το οποίο χρησιμοποιούσε πληροφορία από αεροφωτογραφία και εδαφικές αναλύσεις με βάση πλέγμα συντεταγμένων, για να παράγει ένα χάρτη εφαρμογής λιπασμάτων. Ο εντοπισμός της θέσης μέσα στο αγροτεμάχιο γίνονταν με στατικό υπολογισμό. Το 1992 στις Η.Π.Α., επετράπη λειτουργία ιδιωτικών συστημάτων διαστημικής Τηλεπισκόπησης, ενώ το 1993 πραγματοποιήθηκε στη Μινεσότα η πρώτη διεθνής συνάντηση με θέμα τη Γεωργία Ακρίβειας (First Workshop on Soil-specific Crop Management). Το 1994, επίσης στις Η.Π.Α., επετράπη ελεύθερη χρήση από τους πολίτες, δορυφορικών δεδομένων με χωρική ανάλυση ενός μέτρου, ενώ η πρώτη ευρωπαϊκή συνάντηση για τη Γεωργία Ακρίβειας πραγματοποιήθηκε στη Μ. Βρετανία, το 1997 (*Καρυδάς και Συλλαίος, 2000*).

Οι πρακτικές της Γεωργίας Ακρίβειας εφαρμόζονται εμπορικά κυρίως στα σιτηρά από τις αρχές της δεκαετίας του '90, ενώ στις άλλες καλλιέργειες ξεκίνησαν στο τέλος της δεκαετίας του '90 και τις αρχές του 2000 (*Griffin et al., 2004*). Η πρώτη εφαρμογή χαρτογράφησης της παραγωγής πραγματοποιήθηκε στα σιτηρά, όπου ο συνδυασμός μέτρησης της παραγωγής των σιτηρών, της υγρασίας του σπόρου και της θέσης της μηχανής έδωσε τη βάση για τη δημιουργία θεματικών χαρτών παραγωγής. Αρχικά η έρευνα επικεντρώθηκε στα σιτηρά, ενώ αργότερα άρχισαν να χρησιμοποιούνται αισθητήρες, σε καλλιέργειες βαμβακιού (*Tomasson et al., 1999; Vellidis et al., 2003*), σε ζαχαρότευτλα (*Hoffman et al., 1995*), σε βιομηχανική τομάτα (*Pelletier et al., 1999*), σε χορτοδοτικά φυτά (*Auernhammer et al., 1995; Kromer et al., 1999; Lee et al., 2005*) και σε φιστίκια (*Vellidis et al., 2001*). Τα τελευταία μάλιστα χρόνια έχουν εμφανιστεί συστήματα χαρτογράφησης παραγωγής σε καλλιέργειες φρούτων και λαχανικών. Στις δενδροκομικές καλλιέργειες γίνεται μεγάλη έρευνα στο Πανεπιστήμιο της Φλόριντα (ΗΠΑ) σε εσπεριδοειδή. Στο πλαίσιο αυτής της έρευνας έχουν αναπτυχθεί συστήματα χαρτογράφησης παραγωγής, εκτίμησης του όγκου της

κόμης των δένδρων με υπερήχους και συστήματα εφαρμογής λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων με μεταβλητές δόσεις (Zaman et al., 2006).

Σήμερα, η Γεωργία Ακριβείας στη Β. Αμερική και τη Δ. Ευρώπη είναι μια πραγματικότητα. Έως το 1998, το 15 % περίπου των γεωργών στη Μ. Βρετανία είχαν χρησιμοποιήσει μεθόδους Γεωργίας Ακριβείας και όπως δήλωσαν οι ίδιοι σε σχετική έρευνα του ίδιου έτους, οι προσδοκίες τους, σε γενικές γραμμές, επαληθεύτηκαν. Στις Η.Π.Α., πάνω από το 50% των καλλιεργούμενων εκτάσεων σε σιτηρά και βαμβάκι πραγματοποιείται με τη χρήση αισθητήρων μέτρησης της παραγωγής (Πίνακας 1) και κυρίως σε περιοχές όπου υπάρχουν προβλήματα λειψυδρίας (μεσοδυτικές και δυτικές πολιτείες), ανωμαλίες ή ιδιαιτερότητες ως προς διάφορα χαρακτηριστικά των εδαφών, ή έντονες ελλείψεις θρεπτικών στοιχείων, λόγω παρατεταμένης εξαντλητικής εκμετάλλευσης (Φουντάς & Γέμτος, 2008). Επίσης, υπάρχουν πολλές εφαρμογές στο αμπέλι στην Αυστραλία (Bramley και Hamilton, 2004, Bramley et al., 2005), Χιλή (Ortega et al., 2003), Γαλλία (Tisseyre et al., 2001) και Ισπανία (Arno et al., 2005). Τέλος, στην Ελλάδα, πρώτη εφαρμογή έχουμε στην περιοχή του Δαμασίου και της Ραψάνης στην κεντρική Ελλάδα όπου μετρήθηκε η παραλλακτικότητα στην παραγωγή, στην ποιότητα και στο έδαφος (Tagarakis et al., 2006, Χατζηνίκος, 2007) και σε αμπελώνες της Βόρειας Ελλάδας (Stamatiadis et al., 2007).

Πίνακας 1: Αριθμός μηχανών συγκομιδής με αισθητήρες παραγωγής.

Χώρα	Αριθμός μηχανών συγκομιδής με αισθητήρες παραγωγής	Έτος
Η.Π.Α.	30.000	2000
Αργεντινή	1.000	2003
Αυστραλία	800	2000
Αγγλία	400	2000
Δανία	400	2000
Γερμανία	150	2003
Σουηδία	150	2000

Πηγή: Griffin et al., 2004

1.3 Γεωργία ακριβείας στην Ελλάδα

Στη χώρα μας και γενικότερα στον Ευρωπαϊκό Νότο υπάρχει μια καθυστέρηση στην υιοθέτηση των συστημάτων αυτών. Αυτό αποδίδεται στις επικρατούσες συνθήκες που χαρακτηρίζονται:

- Από μικρές γεωργικές εκμεταλλεύσεις.
- Από γεωργούς με χαμηλό μορφωτικό επίπεδο.

- Από γεωργούς προσκολλημένους στις παραδοσιακές μεθόδους παραγωγής και στις επιδοτήσεις των προϊόντων.

- Από έλλειψη αναπτυγμένης τεχνολογίας εφαρμογής των μεθόδων Γεωργίας Ακρίβειας για τις καλλιέργειες του Ευρωπαϊκού Νότου, κυρίως για τα φρούτα και λαχανικά.

Παρόλα αυτά, είναι επιτακτική η ανάγκη μείωσης του κόστους παραγωγής μέσω της περαιτέρω εκμηχάνισης της γεωργίας και μείωσης των εργατικών ημερομισθίων, όπως συμβαίνει στις χώρες του Βορρά. Επίσης, ο αυξανόμενος καλλιεργούμενος κλήρος, όπως και η ανάγκη για ιχνηλασιμότητα των καλλιεργητικών επεμβάσεων θα έχουν ως άμεσο αποτέλεσμα τη χρησιμοποίηση πρακτικών, όπως η Γεωργία Ακρίβειας και στις χώρες του Ευρωπαϊκού Νότου, όπως η Ελλάδα (*Φουντάς & Γέμος, 2008*).

Στην Ελλάδα η εφαρμογή της Γεωργίας Ακρίβειας ξεκίνησε το έτος 2001 σε καλλιέργεια βαμβακιού. Το πρώτο πείραμα που πραγματοποιήθηκε ήταν χαρτογράφηση της παραγωγής στο βαμβάκι. Χαρτογράφηση της παραγωγής πραγματοποιήθηκε επί δύο συναπτά έτη, κατά την συλλεκτική περίοδο του 2001 και του 2002, σε αγροτεμάχιο στην περιοχή της Καρδίτσας. Επιπλέον στα χωράφια που χαρτογραφήθηκε η παραγωγή έγινε, την άνοιξη του 2002 και πριν τη σπορά, χαρτογράφηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Από την μελέτη των χαρτών παραγωγής του βαμβακιού διαπιστώθηκε μεγάλη παραλλακτικότητα της παραγωγής μέσα στο ίδιο χωράφι. Ακόμη και σε αγροτεμάχια μικρής έκτασης, οι ζώνες διαφορετικής παραγωγής ήταν εμφανείς. Παρατηρήθηκε ότι οι συστηματικοί παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή και αφορούν τη δομή και τις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους, καθορίζουν άμεσα την τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε κάθε σημείο του χωραφιού. Τέλος διαπιστώθηκε ότι συσχέτιση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας με την παραγωγή θα μπορούσε με λεπτομερέστερη έρευνα και σε διαδοχικά έτη να εξηγήσει την επιρροή των συστηματικών παραγόντων του εδάφους στη διαμόρφωση της τελικής απόδοσης. Παράλληλα φαίνεται ότι μπορεί να βοηθήσει στην επιλογή των ζωνών διαχείρισης ώστε να επιτευχθεί το βέλτιστο αποτέλεσμα (*Μαρκινός κ.α., 2003*).

Οι *Ράππος κ.α., (2004)* ήταν οι πρώτοι που διερεύνησαν τη δυνατότητα εφαρμογής των συστημάτων της Γεωργίας Ακρίβειας σε οπωρώνες μηλιάς. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε καλλιέργεια μηλιάς στην περιοχή Πύργων Πτολεμαΐδας και αφορούσε την χαρτογράφηση της παραγωγής, σε ένα αγροτεμάχιο έκτασης 8 στρ. σε δύο ποικιλίες, την Red Chief και την Fuji. Η χαρτογράφηση της παραγωγής πραγματοποιήθηκε μετρώντας τη μέση παραγωγή ανά πέντε δένδρα και καταγράφοντας τις γεωγραφικές συντεταγμένες στο κέντρο των πέντε δένδρων με τη χρήση ενός GPS χειρός. Επίσης μετρήθηκε διάμετρος του κορμού κάθε δέντρου και υπολογίσθηκε επιφάνεια διατομής του κορμού. Στη συνέχεια υπολογίστηκε παραγωγικότητα του κάθε δένδρου ως πηλίκο του βάρους των καρπών του δένδρου προς την επιφάνεια διατομής του κορμού σε g ανά cm². Τέλος, η ποιότητα των μήλων εκτιμήθηκε με 6 τυχαίους καρπούς σε κάθε σημείο μέτρησης. Από τα δεδομένα δημιουργήθηκαν χάρτες παραγωγής και χάρτες ποιοτικών

χαρακτηριστικών ανά ποικιλία και στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ παραγωγής και ποιότητας. Από τα αποτελέσματα διαπιστώθηκε ότι υπήρχε σημαντική παραλλακτικότητα στον αγρό και στην παραγωγή και στην ποιότητα, ενώ συχνά βρέθηκε αρνητική συσχέτιση μεταξύ της παραγωγής και μερικών ποιοτικών χαρακτηριστικών της ποικιλίας Fuji η οποία ήταν πιο παραγωγική και είχε καλύτερη ποιότητα καρπών από την ποικιλία Red Chief.

Επίσης, σε καλλιέργειες μηλιάς δημιουργήθηκαν χάρτες τάσης παραγωγής και ποιότητας σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε στην Πτολεμαΐδα Κοζάνης σε οπωρώνα 8 στρεμμάτων για τα έτη 2004, 2005 και 2006 και στην Αγιά Λάρισας σε οπωρώνα 50 στρεμμάτων για τα έτη 2005 και 2006. Και στους δύο αγρούς η κύρια ποικιλία ήταν Red Chief. Η χαρτογράφηση παραγωγής έγινε για τον οπωρώνα της Πτολεμαΐδας ζυγίζοντας την παραγωγή ανά 5 δένδρα και καταγράφοντας τις συντεταγμένες στο κέντρο των πέντε δένδρων με υπολογιστή παλάμης εφοδιασμένο με GPS. Για τον αγρό της Αγιάς έγινε ακριβώς η ίδια διαδικασία ζυγίζοντας την παραγωγή ανά 10 δένδρα. Για την εκτίμηση της ποιότητας (βάρος καρπού, χρώμα, σκληρότητα σάρκας, περιεκτικότητα χυμού σε διαλυτά στερεά συστατικά και οξύτητα χυμού) λήφθηκαν δείγματα καρπών και καταγράφηκαν οι συντεταγμένες των θέσεων λήψης των δειγμάτων και για τρία έτη. Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν χάρτες τάσης παραγωγής και ποιότητας που δείχνουν την μέση τιμή των μετρούμενων μεγεθών στα τρία έτη. Επίσης δημιουργήθηκαν χάρτες χρονικής παραλλακτικότητας που δείχνουν τη διαφορά στην παραγωγή και στην ποιότητα σε κάθε σημείο του αγρού από έτος σε έτος (Αγγελοπούλου κ.α., 2005).

Οι Αμπατζίδης κ.α., (2005) παρουσίασαν ένα αυτοματοποιημένο σύστημα ιχνηλασιμότητας εντός του αγρού για τον εντοπισμό των κιβωτίων γεμάτων με φρούτα και την συσχέτισή τους με τα δέντρα από όπου συγκομίστηκαν, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα πλαίσια της Γεωργίας Ακρίβειας. Το σύστημα αυτό δοκιμάστηκε κατά τη διάρκεια προσομοίωσης της παραδοσιακής διαδικασίας συγκομιδής οπωρώνων με τα χέρια. Ένας αναγνώστης RFID τοποθετήθηκε στην πλατφόρμα μεταφοράς ελκυστήρα και παθητικές ετικέτες RFID, οι οποίες περιέχουν μοναδικούς κωδικούς, επικολλήθηκαν στα κιβώτια όπου συλλέγονται οι καρποί και στα δέντρα. Διαπιστώθηκε ότι το προτεινόμενο σύστημα τροποποιεί ελάχιστα την διαδικασία της συγκομιδής χωρίς να επηρεάζει (αυξάνει) το χρόνο της αλλά το μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι το υψηλό κόστος των ετικετών.

Το 2006 σε οπωρώνα μηλιάς έγινε χαρτογράφηση παραγωγής, ποιοτικών χαρακτηριστικών των καρπών (βάρος καρπού, χρώμα καρπού, περιεκτικότητα σε διαλυτά στερεά συστατικά, σκληρότητα σάρκας και οξύτητα χυμού) και ηλεκτρικής αγωγιμότητας (ECa) του εδάφους. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε οπωρώνα μηλιάς στον Αετόλοφο Λάρισας (υψόμετρο 100μ.) και έκτασης 50 στρεμμάτων. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (ECa) του εδάφους μετρήθηκε με το Veris 3100 σε δυο διαφορετικά βάρη (0-30 cm & 0-90 cm). Από τα δεδομένα δημιουργήθηκαν χάρτες παραγωγής, ποιοτικών χαρακτηριστικών και χάρτες

ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους με το λογισμικό Surfer®. Στη συνέχεια έγινε προσπάθεια να καθοριστούν ζώνες διαχείρισης στον πειραματικό αγρό βάση της παραγωγής, διαφόρων ποιοτικών χαρακτηριστικών (οξύτητα, διαλυτά στερεά συστατικά, σκληρότητα σάρκας και βάρος καρπού) και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους. Από τα αποτελέσματα της μελέτης διαπιστώθηκε ότι οπωρώνας παρουσίασε σημαντική παραλλακτικότητα ως προς το έδαφος, την παραγωγή, και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών. Από την ύπαρξη αυτής της παραλλακτικότητας διαπιστώθηκε ότι αγρός είναι δυνατόν να χωριστεί σε διαφορετικές ζώνες διαχείρισης, όπου μπορούν να εφαρμοστούν μεταβλητές καλλιεργητικές φροντίδες σε κάθε ζώνη. Επιπλέον ανάλυση έδειξε ότι άριστος αριθμός ζωνών διαχείρισης στις οποίες μπορεί να χωριστεί οπωρώνας ήταν πέντε ή έξι, αλλά για την δημιουργία του τελικού χάρτη χρησιμοποιήθηκαν τρεις κλάσεις διότι είναι πιο εύκολο να πραγματοποιηθεί διαχείριση του αγρού σε τρεις ζώνες (Τάνος κ.α., 2005).

Τέλος, την τελευταία δεκαετία έχουν πραγματοποιηθεί περαιτέρω έρευνες σε οπωρώνες ελιάς (Fountas et.al 2011, Χατζηπαπαδόπουλος & Πρωτονοτάριος, 2017) και αχλαδιάς (Vatsanidou et.al, 2014) όπου αξιοποιήθηκαν εφαρμογές Γεωργίας Ακριβείας. Με βάση τα αποτελέσματα η χρήση αυτών των εφαρμογών συνέβαλε στην εξοικονόμηση λιπάσματος και νερού άρδευσης καθώς και στη βελτίωση του εδαφικού pH.

1.4 Τεχνολογίες Γεωργίας Ακριβείας

Η Γεωργία Ακριβείας στηρίζεται στις δυνατότητες που παρέχουν οι νέες τεχνολογίες για την αναγνώριση της χωρικής - χρονικής παραλλακτικότητας των αναγκών της καλλιέργειας και την ανάπτυξη συστημάτων μεταβλητών παροχών των εισροών. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιεί η γεωργία ακριβείας περιλαμβάνει από ηλεκτρονικούς υπολογιστές, παγκόσμια συστήματα εντοπισμού θέσης (GPS), γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS), συστήματα που επιτρέπουν την ακριβή χαρτογράφηση της παραγωγής, των εδαφικών ιδιοτήτων και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους καθώς και συστήματα τηλεματικής και συστήματα ελέγχου της εφαρμογής εισροών.

1.4.1 Δέκτες και συστήματα GNSS

Τα συστήματα αυτά αποτελούνται από ένα αριθμό δορυφόρων, σε συνεχή τροχιά γύρω από τη γη, οι οποίοι παρέχουν τις απαραίτητες πληροφορίες για τον υπολογισμό της θέσης ενός χρήστη. Για να χρησιμοποιηθεί ένα GNSS από ένα χρήστη χρειάζεται αυτός να είναι εξοπλισμένος με ένα δέκτη, ο οποίος θα λαμβάνει τα σήματα των δορυφόρων και θα παρέχει στον χρήστη την κατάλληλη πληροφορία (Φωτίου & Πικριδάς, 2012).

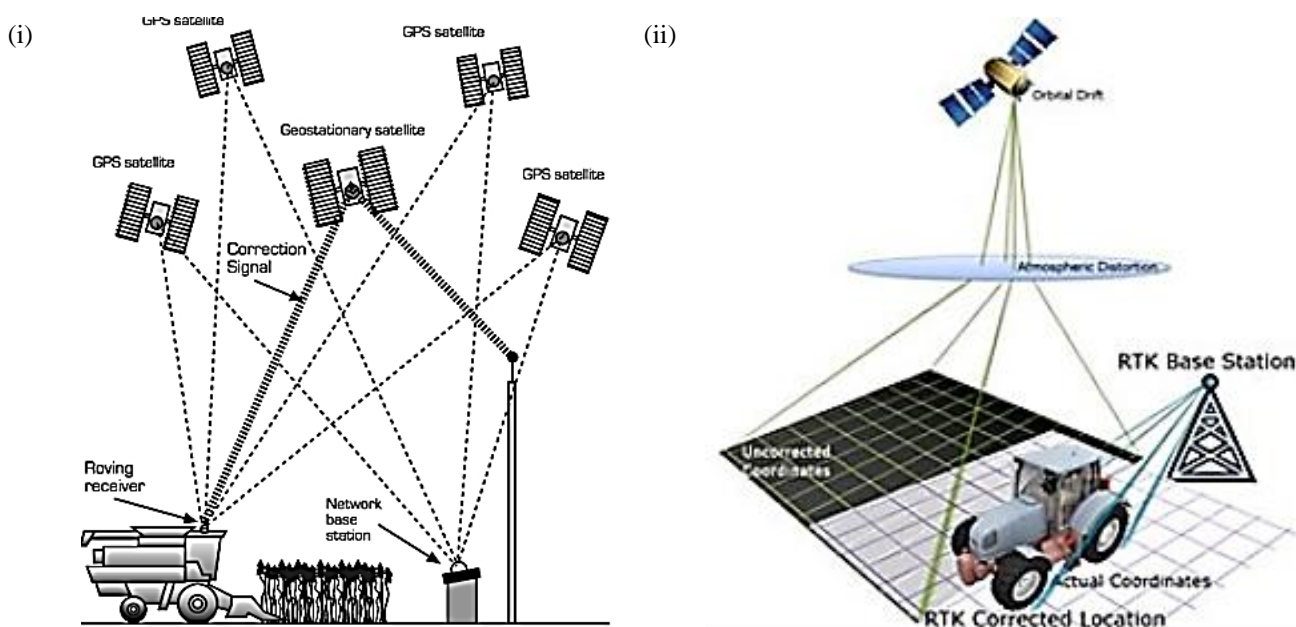
Συνολικά σήμερα υπάρχουν τέσσερα GNSS, εκ των οποίων τα δύο είναι πλήρους επιχειρησιακής ικανότητας (Full Operational Capability – FOC), ενώ τα άλλα δύο βρίσκονται ακόμα στο αρχικό τους στάδιο. Τα τέσσερα GNSS αποτελούνται από το Αμερικάνικο GPS, το Ρωσικό GLONASS, το Κινεζικό GOMPASS/BEIDOU και το Ευρωπαϊκό GALILEO.

Το Παγκόσμιο Σύστημα Καθορισμού Θέσης (GPS), το οποίο απαρτίζεται από 24 συνολικά δορυφόρους αναπτύχθηκε από το Αμερικάνικο Υπουργείο Άμυνας το 1970 και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του γεωγραφικού στίγματος οποιουδήποτε σημείου πάνω στην επιφάνεια της Γης. Οι δορυφόροι αυτοί βρίσκονται σε σταθερή τροχιά σε ύψος είκοσι χιλιάδων χιλιομέτρων από την επιφάνεια της γης, σε συγκεκριμένα γνωστά σημεία. Κάθε ένας από αυτούς τους δορυφόρους διαθέτει ατομικό ρολόι ακρίβειας και εκπέμπει ένα κωδικοποιημένο ηλεκτρομαγνητικό σήμα, το οποίο λαμβάνεται από τους δέκτες GPS που βρίσκονται στην επιφάνεια της γης και χρησιμοποιείται για τον ακριβή υπολογισμό της γεωγραφικής θέσης του δέκτη. Το σήμα που εκπέμπεται από κάθε δορυφόρο περιέχει πληροφορίες για την ταυτότητα του δορυφόρου και την ακριβή χρονική στιγμή που έγινε εκπομπή. Ο δέκτης GPS λαμβάνει τα ηλεκτρομαγνητικά σήματα των δορυφόρων και υπολογίζει τη χρονική υστέρηση στο σήμα που δέχεται, την οποία και χρησιμοποιεί για να μετρήσει την απόσταση του από κάθε δορυφόρο. Όταν δέχεται σήματα από τρεις δορυφόρους τουλάχιστον, ο δέκτης χρησιμοποιεί την γεωμετρική ανάλυση για να καθορίσει τη γεωγραφική του θέση (στίγμα) στην επιφάνεια της γης, που εκφράζεται σε γεωγραφικό μήκος (longitude) και γεωγραφικό πλάτος (latitude). Όταν λαμβάνει σήματα και από τέταρτο δορυφόρο μπορεί να υπολογίσει και το υψόμετρο (altitude, elevation) θέσης που βρίσκεται. Οι παλαιάς τεχνολογίας δέκτες GPS λαμβάνουν σήμα από περιορισμένο αριθμό δορυφόρων κάθε φορά, όμως υπάρχουν πλέον δέκτες πιο ακριβείς που μπορούν να λάβουν σήματα από 8 μέχρι 12 δορυφόρους ταυτόχρονα. Τέτοιοι δέκτες εφαρμόζονται τα τελευταία χρόνια στη γεωργία με αξιοσημείωτα αποτελέσματα. Τα συστήματα αυτά βρίσκουν μεγάλη εφαρμογή κυρίως στην κατεύθυνση των γεωργικών μηχανημάτων στο χωράφι, στην αυτοματοποίηση των οχημάτων μέσα στο χωράφι και στη χαρτογράφηση της παραγωγής (Μαράκης, 2009).

Ένας σημαντικός παράγοντας που δύναται να προκαλέσει προβλήματα στην ακρίβεια του συστήματος είναι η θέση του δέκτη. Ο δέκτης πρέπει να βρίσκεται σε μια θέση όπου δε θα επηρεάζεται από ψηλά κτίρια από άλλα αντικείμενα που προκαλούν ανάκλαση του σήματος του δορυφόρου πάνω σε αυτά και να μειώνει την ακρίβειά του. Επίσης, παρεμβολές στα δορυφορικά σήματα μπορεί να δημιουργηθούν από τμήματα του κινητήρα, όπως το ηλεκτρονικό σύστημα ανάφλεξης και το δυναμό, καθώς και από ηλεκτρομαγνητικά πεδία ασύρματων και κινητών τηλεφώνων, όταν η κεραία βρίσκεται πολύ κοντά σε αυτές τις πηγές ηλεκτρομαγνητικών πεδίων. Ωστόσο, τα προβλήματα αυτά μπορούν να προληφθούν με τη σωστή εγκατάσταση της κεραίας και τη σταθερή σύνδεση των καλωδίων.

Η διαφορική διόρθωση είναι ένας τρόπος εξάλειψης του σφάλματος που προκαλείται από τους διάφορους περιοριστικούς παράγοντες της ακρίβεια του GPS. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται επίγειος σταθμός με γνωστές συντεταγμένες και πομπό GPS ο οποίος υπολογίζει το βαθμό που επηρεάζεται το σήμα του δορυφόρου από τους διάφορους παράγοντες. Το σύστημα GPS που χρησιμοποιείται με τη μέθοδο αυτή λέγεται διαφορικό GPS (Differential GPS, dGPS, **Εικόνα 1**). Η ακρίβεια του συστήματος είναι από 30cm-1m.

Άλλη μια τεχνική προσδιορισμού θέσης είναι το RTK GPS, όπου ένας επίγειος σταθμός παρέχει τη διόρθωση σε πραγματικό χρόνο με ακρίβεια ακόμη και ενός εκατοστού. Αποτελείται από έναν σταθερό σταθμό, που λαμβάνει σήμα από τους δορυφόρους και εκπέμπει σήμα προς τον δέκτη GPS που κινείται. Ο δέκτης, εκτός από τα δεδομένα του σταθερού σταθμού, λαμβάνει και τις δικές του μετρήσεις που τις συνδυάζει, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται μεγάλη ακρίβεια στον προσδιορισμό θέσης (**Εικόνα 1**).



Εικόνα 1: Τεχνικές προσδιορισμού θέσης (i) Differential GPS και (ii) RTK GPS

Αξίζει να σημειωθεί ότι η ύπαρξη του αντίστοιχου Ρωσικού συστήματος ονομάζεται Global Orbiting Navigation Satellite System (GLONASS) και αποτελείται από 15 δορυφόρους σε τροχιές ύψους 19 χιλιάδων χιλιομέτρων περίπου. Επίσης και του Ευρωπαϊκού Global Navigation Satellite System (GNSS), που είναι προσπάθεια σύνδεσης και ολοκλήρωσης των δύο συστημάτων, καθώς και άλλων επίγειων διαστημικών σταθμών κ.λ.π. με στόχο την υποστήριξη κάθε είδους τεχνολογίας καθορισμού θέσης.

Τα τελευταία χρόνια γίνεται προσπάθεια από την Ε.Ε. και την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος (ESA), να λειτουργήσει το δικό της αυτόνομο σύστημα, το οποίο θα ονομάζεται GALILEO. Το σύστημα αυτό θα

λειτουργήσει με τη χρήση 30 δορυφόρων που θα βρίσκονται σε ύψος 24 χιλιάδων χιλιομέτρων. Το GALILEO, αποτελεί ένα προηγμένο σύστημα εντοπισμού θέσης που πήρε το όνομα του από το διάσημο Ιταλό αστρονόμο Galileo Galilei. Αν και υπήρξαν πολλά προβλήματα ως προς την κατασκευή και υποστήριξη, παρόλα αυτά χρηματοδοτήθηκε αδρά για να συνεχιστεί. Θα αποτελείται από ένα πλέγμα 30 δορυφόρων μέσης τροχιάς και χρόνος ζωής κάθε δορυφόρου εκτιμάται να είναι 12 χρόνια.

1.4.2 1.4.1.1 Εφαρμογές του GPS στη Γεωργία Ακρίβειας

Στη Γεωργία Ακρίβειας έχει μεγάλη σημασία η πληροφορία σχετικά με τη θέση ενός οχήματος καθώς κινείται στον αγρό και αυτό είναι δυνατό να γίνει χάρη στο GPS. Υπάρχουν διάφορες εφαρμογές του GPS στη Γεωργία Ακρίβειας όπως η δημιουργία περιγράμματος των αγρών, η παρακολούθηση των καλλιεργειών και η σύνδεση με τα σημεία του αγρού, η χαρτογράφηση εδάφους και η χαρτογράφηση παραγωγής (Φουντάς & Γέμτος, 2015). Ο εξοπλισμός περιλαμβάνει ένα δέκτη GPS ή DGPS, μια συσκευή για αποθήκευση της πληροφορίας (πχ ένας φορητός Η/Υ), και λογισμικό για τη δημιουργία και απεικόνιση των χαρτών. Ο δέκτης GPS με την κεραία του τοποθετούνται στο όχημα που κινείται στον αγρό.

Για τη δημιουργία περιγράμματος του αγρού, ο παραγωγός απλά περπατά ή οδηγεί γύρω από τον αγρό με το GPS και τον φορητό Η/Υ για να καταγράψει τα δεδομένα. Στη συνέχεια δίνει ένα όνομα στο περίγραμμα όμοιο με το όνομα του αγρού και αποθηκεύει τα δεδομένα. Με τον ίδιο εξοπλισμό που χρησιμοποιείται για το περίγραμμα ο παραγωγός περπατά στον αγρό και καταγράφει στη διάρκεια της βλαστικής περιόδου τις περιοχές που υπάρχουν ζιζάνια, προβλήματα με εχθρούς και ασθένειες προβλήματα με τροφωπενίες. Καταγράφοντας τις θέσεις που υπάρχουν τα παραπάνω προβλήματα, παραγωγός μπορεί να επιστρέφει και εφαρμόσει τα κατάλληλα αγροχημικά άλλες καλλιεργητικές φροντίδες.

Για τη χαρτογράφηση εδάφους το GPS χρησιμοποιείται για την καταγραφή της θέσης που λαμβάνονται τα δείγματα εδάφους και στην συνέχεια αφού γίνει ανάλυση των δειγμάτων στο εδαφολογικό εργαστήριο δημιουργούνται οι αντίστοιχοι χάρτες χρησιμοποιώντας κατάλληλο λογισμικό για την δημιουργία χαρτών. Για την χαρτογράφηση παραγωγής το GPS μαζί με αισθητήρες ροής του υλικού στη μηχανή και ένα σύστημα καταγραφής της ροής, του πλάτους εργασίας, της ταχύτητας εργασίας και της αντίστοιχης θέσης που προσαρμόζονται στις μηχανές συγκομιδής μπορεί να γίνει καταγραφή της παραγωγής σε κάθε θέση του αγρού και στη συνέχεια να δημιουργηθούν οι αντίστοιχοι χάρτες παραγωγής. Εκτός από την καταγραφή της θέσης ενός οχήματος το GPS μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να βοηθήσει στην πλοήγηση και την καθοδήγηση ενός οχήματος στον αγρό. Στη Γεωργία Ακρίβειας αυτόματα συστήματα καθοδήγησης

υποστηρίζουν ελκυστήρες, φορτηγά και συστήματα μη επανδρωμένων αεροσκαφών (ΣΜηΕΑ) για να κρατούν τα παραπάνω μεταφορικά μέσα σε παράλληλες διαδρομές στον αγρό χωρίς να αφήνουν κενά στις επικαλύψεις μεταξύ των παράλληλων διαδρομών (parallel swathing). Με τον τρόπο αυτό μπορούν να εφαρμοστούν χημικά στο έδαφος και στις καλλιέργειες χωρίς να υπάρχουν κενά που δεν έγινε εφαρμογή του χημικού επικαλύψεις που οδηγούν σε υπέρ-εφαρμογή οποία με τη σειρά της έχει σαν συνέπεια το μεγαλύτερο κόστος, την καταστροφή των καλλιεργειών και τον κίνδυνο ρύπανσης του περιβάλλοντος (Φουντάς & Γέμτος, 2015).

1.4.3 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS)

Η ανάγκη του ανθρώπου για συστηματική ταξινόμηση των ιδιαίτερων στοιχείων της γήινης επιφάνειας σχετικά με τη χωρική κατανομή, καθώς και η ζήτηση χαρτών εξειδικευμένων θεμάτων που αφορούσαν στη γήινη επιφάνεια, ήταν η αιτία που οδήγησε στην κατασκευή των πρώτων χαρτών. Οι χάρτες αυτοί αποτέλεσαν την πρώτη μορφή G.I.S. Η ανάπτυξη μεθόδων λήψης και ανάλυσης αεροφωτογραφιών και εικόνων Τηλεπισκόπησης είχαν ως αποτέλεσμα τη χαρτογράφηση με μεγαλύτερη ακρίβεια από ό,τι τα προηγούμενα χρόνια. Οι ίδιες μέθοδοι ήταν αυτές που έδωσαν στους επιστήμονες τεράστιες δυνατότητες όχι απλώς για έρευνα, αλλά και για σημαντική αύξηση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων που προκύπτανε από αυτή.

Σε ένα σύστημα Γεωργίας Ακρίβειας οι διάφορες πληροφορίες που αφορούν στον αγρό, αντιπροσωπεύονται από αριθμούς οι οποίοι περιγράφουν μετρήσεις κάποιων παραμέτρων, επιτόπιες παρατηρήσεις, εφαρμογή κάποιας εισροής με διαφοροποιούμενη δόση κλπ. Οι πληροφορίες αυτές με τη βοήθεια του GPS, συνοδεύονται με το γεωγραφικό στίγμα των αντίστοιχων σημείων του αγρού όπου αναφέρονται. Κατά τη δημιουργία ψηφιακών χαρτών μεγάλης ακρίβειας, όγκος των πληροφοριών είναι τεράστιος, έτσι ώστε η χρήση κάποιου λογισμικού για την επεξεργασία τους, είναι απαραίτητη. Το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών είναι ένα λογισμικό με τη βοήθεια του οποίου οι γεωδεμένες πληροφορίες οργανώνονται, αναλύονται και επεξεργάζονται. Οι πληροφορίες σε ένα GIS απεικονίζονται πάντοτε ως ψηφιακοί χάρτες του υπό εξέταση αγρού γιατί όλες οι πληροφορίες είναι προσδιορισμένες στο χώρο με τη βοήθεια του GPS. Πρόσθετα εργαλεία όπως στατιστικές αναλύσεις, προσομοιώσεις και άλλες αναλυτικές μέθοδοι, χρησιμοποιούνται από το GIS και βοηθούν στην εξαγωγή συμπερασμάτων και στη λήψη αποφάσεων. Πέρα από την χαρτογράφηση, οι βάσεις δεδομένων που συνδέονται με το GIS και τα εργαλεία του για το χειρισμό τους, καθιστούν το GIS πολύτιμο εργαλείο σε ένα σύστημα Γεωργίας Ακρίβειας. Σε ένα σύστημα GIS εισάγονται πληροφορίες όπως παραγωγή, ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους, περιεκτικότητα του εδάφους σε θρεπτικά συστατικά. Επίσης είναι δυνατόν να εισαχθούν

παρατηρήσεις (πχ προσβολές από έντομα, ζιζάνια στον αγρό), άλλες πληροφορίες όπως ένας χάρτης των σημείων δειγματοληψίας του εδάφους. Με τη συστηματική συλλογή δεδομένων δημιουργείται ένας αριθμός χαρτών που απεικονίζουν τη μεταβολή διαφόρων παραμέτρων του αγρού. Η ανάλυση των παραπάνω δεδομένων οδηγεί στην εξεύρεση των εντοπισμένων παραγόντων περιοριστικών της παραγωγής και με βάση τα στοιχεία αυτά γίνεται προσπάθεια διόρθωσης τους. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί πχ με μια εφαρμογή λιπάσματος με μεταβλητή δόση. Ένα GIS λογισμικό αποτελείται από τα παρακάτω στοιχεία:

- Ένα σύστημα εισαγωγής (data input) χωρικών δεδομένων το οποίο εισάγει και καταχωρεί πληροφορίες που προέρχονται από χάρτες, δορυφορικές εικόνες, πολυφασματικές φωτογραφίες κ.ά.
- Ένα σύστημα αποθήκευσης (data storage) και οργάνωσης βάσης δεδομένων .
- Ένα σύστημα εμφάνισης δεδομένων (data output) που περιλαμβάνει αποτελέσματα ανάλυσης που εμφανίζονται ή καταχωρούνται όπως πίνακες, χάρτες και σχήματα που εμφανίζονται στην οθόνη καταχωρούνται στη μνήμη του Η/Υ.
- Ένα σύστημα ανάλυσης δεδομένων που περιλαμβάνει όλα τα εργαλεία για την απομάκρυνση λαθών από τα δεδομένα, τον υπολογισμό επιφανειών, περιμέτρων, την αλλαγή κλίμακας χαρτών, τη γεωστατιστική ανάλυση των δεδομένων.
- Ένα σύστημα αλληλεπίδρασης (user interface) με το χρήστη που περιλαμβάνει μενού και εντολές που χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία του χρήστη με το πρόγραμμα. Υπάρχουν δύο μορφές απεικόνισης και αποθήκευσης των δεδομένων σε ένα σύστημα GIS: με διανυσματική μορφή (vector) και με μορφή κυψελίδων (raster).

Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα σημεία, οι γραμμές και τα πολύγωνα, ενώ στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν τα συνεχή δεδομένα αλλά σε κυψελώδη μορφή (grid). Τα δεδομένα που συγκεντρώνονται με τη μέθοδο της δειγματοληψίας είναι διανυσματικά, ενώ όσα συλλέγονται με αισθητήρες (π.χ. παραγωγής) είναι δεδομένα κυψελίδων.

Στη γεωργία ακριβείας οι χάρτες που παράγονται με την συμβολή του GIS, δείχνουν την παραλλακτικότητα ενός μετρούμενου μεγέθους στον αγρό. Για ένα αγρό μπορούν να προστεθούν διάφορες πληροφορίες σε επίπεδα (data layers) που στη συνέχεια συνδυάζονται και λαμβάνονται αποφάσεις για τον ορθότερο τρόπο διαχείρισης του αγρού. Τέτοιες πληροφορίες μπορεί να είναι οι εξής:

- Περίγραμμα του αγρού
- Χάρτης εδαφικών τύπων
- Σημεία δειγματοληψίας (απεικονίζονται τα σημεία από τα οποία πάρθηκαν οι μετρήσεις)

-
- Χάρτες θρεπτικών στοιχείων(φαίνεται περίσσεια έλλειψη στοιχείων σε συγκεκριμένα σημεία του αγρού)
 - Πληθυσμός ζιζανίων
 - Χάρτης στράγγισης
 - Χάρτης παραγωγής (απεικονίζεται παραλλακτικότητα στην παραγωγή).

Σε ένα λογισμικό GIS όπως αναφέρθηκε παραπάνω τα δεδομένα συνδέονται με την γεωγραφική θέση που έχουν ληφθεί. Υπάρχουν διάφορα συστήματα συντεταγμένων που χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση των δεδομένων σε ένα χάρτη. Τα δύο πιο κοινά χρησιμοποιούμενα συστήματα συντεταγμένων είναι το σύστημα γεωγραφικό μήκος (longitude) - γεωγραφικό πλάτος (latitude) και το μετρικό σύστημα (Universal Transverse Mercatur, UTM). Το μετρικό σύστημα κάνει προβολή ενός μέρους της γης σε μια επίπεδη επιφάνεια χάρτη. Το σύστημα γεωγραφικό μήκος- γεωγραφικό πλάτος μετρά δύο γωνίες από τον ισημερινό και από τον κεντρικό μεσημβρινό που περνάει από το Greenwich. Αυτές οι συντεταγμένες δίνονται σε μοίρες πρώτα λεπτά και δεύτερα λεπτά. Ένα δεύτερο λεπτό σε γεωγραφικό πλάτος είναι περίπου 30 μέτρα. Το μετρικό σύστημα μετατρέπει τις γωνίες (γεωγραφικό μήκος- πλάτος) σε ένα ορθογώνιο σύστημα συντεταγμένων βόρεια (northing) και ανατολικά (easting). Οι συντεταγμένες στο μετρικό σύστημα δίνονται σε μέτρα με τον κατακόρυφο άξονα να λέγεται northing και τον οριζόντιο easting. Όταν χρησιμοποιείται το μετρικό σύστημα το κατάλληλο επίπεδο αναφοράς στο οποίο προβάλλονται οι γωνίες (γεωγραφικό μήκος- πλάτος) πρέπει να είναι γνωστό.

1.4.4 Χαρτογράφηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους

Το πιο σημαντικό κομμάτι μέτρησης παραμέτρων εδάφους που είναι η χαρτογράφηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους με χρήση μηχανημάτων σε απευθείας χρόνο (real time). Οι αισθητήρες αυτοί είναι πολύ σημαντικοί, γιατί δίνουν μια γρήγορη απεικόνιση των αγροτεμαχίων και μπορούν να χρησιμεύσουν στη δημιουργία ζωνών διαχείρισης. Υπάρχουν δύο μέθοδοι εκτίμησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας εδάφους: με επαφή και χωρίς επαφή με ηλεκτρομαγνητικό πεδίο.

1.4.5 1.4.3.1. Μέτρηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας χωρίς επαφή

Κατά την μέθοδο αυτή ισχύει η αρχή της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής, καθώς το όργανο δεν έρχεται σε επαφή με το έδαφος. Η συσκευή αποτελείται από έναν πομπό που εκπέμπει ηλεκτρικό φορτίο και έναν δέκτη (στην άλλη άκρη) που απορροφά το ηλεκτρομαγνητικό φορτίο που προκύπτει ανάλογα με την ικανότητα του εδάφους να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα. Έτσι, όσο μεγαλύτερη αγωγιμότητα παρουσιάζει ένα

έδαφος, τόσο υψηλότερο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο προκύπτει. Στο σύστημα αυτό είναι πρακτικό να τοποθετείται σε μεταλλικό πλαίσιο για την καλύτερη μετάδοση του σήματος (Grisso et al, 2009) .

Έχουν αναπτυχθεί δύο συστήματα εφαρμογής μεθόδου ηλεκτρομαγνητικού πεδίου για μέτρηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας, που χρησιμοποιούνται ευρέως σε εφαρμογές γεωπονικής φύσεως και είναι το σύστημα EM38 και το σύστημα GEM-2 (Εικόνα 2) . Το σύστημα EM38 έχει δύο δέκτες και πομπό που λαμβάνει το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Η διαμόρφωση πομπού-δέκτη είναι στα 0,5 και στο 1 cm, έτσι ώστε να είναι εφικτές οι μετρήσεις σε βάθη 0,75 και 1,5 m. Αν περιστρέψουμε το όργανο ωστόσο σε οριζόντιο προσανατολισμό, μπορεί να πάρει και επιφανειακές παρατηρήσεις 0,375 με 0,75 m. Θεωρείται πρακτικό σύστημα, καθώς μπορούμε είτε να το τοποθετήσουμε στο γεωργικό ελκυστήρα είτε χειρωνακτικά να πάρουμε μετρήσεις ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Επίσης, έχει τη δυνατότητα αποθήκευσης, μεταφοράς και επεξεργασίας δεδομένων σε ολοκληρωμένο σύστημα χαρτογράφησης. Το σύστημα GEM-2 είναι ψηφιακό, αλλά ακολουθεί την αρχή λειτουργίας των ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων, ωστόσο τα κύρια πλεονεκτήματά του είναι ότι μπορούμε εμείς να καθορίσουμε τα βάθη μετρήσεων αγωγιμότητας (μέσω του καθορισμού ρυθμού συχνότητας) και ότι οι ενδείξεις μπορούν να φτάσουν ως 30 m βάθος σε περιπτώσεις που έχουμε έδαφος αντίστασης <math><100\text{ohm/m}</math>. Ακόμα, σαν σύστημα παρέχει επιπλέον δυνατότητες επεξεργασίας και ανάλυσης των αποτελεσμάτων και την δυνατότητα χαρτογράφησης. Είναι το ίδιο πρακτικό με το EM-38.



Εικόνα 2: Συστήματα μέτρησης ηλεκτρικής αγωγιμότητας χωρίς επαφή (i) EM38 και (ii) GEM-2

1.4.6 1.4.3.2. Μέτρηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας με επαφή

Με την μέθοδο της επαφής (contact method) μετρείται η πτώση δυναμικού μεταξύ ηλεκτροδίων στο έδαφος. Ο τρόπος αυτός προσφέρει ευκολία, ταχύτητα και χαμηλό κόστος. Υπάρχουν ηλεκτρόδια εφαρμοσμένα σε 2 ως 3 ζεύγη δίσκων, οι οποίοι είναι προσαρμοσμένοι σε εργαλιοδοκό και όλο σύστημα έλκεται από τον γεωργικό ελκυστήρα. Δύο δίσκοι με ηλεκτρόδια είναι φορείς ηλεκτρικού ρεύματος, δημιουργούν ηλεκτρικό πεδίο στο έδαφος και οι υπόλοιποι δίσκοι με τα ηλεκτρόδια τους λαμβάνουν το ρεύμα που προκύπτει ανάλογα με την αντίσταση του εδάφους. Ανάλογα το βάθος της μέτρησης ορίζουμε επιλέγουμε την απόσταση των δίσκων που εκπέμπουν ηλεκτρικό ρεύμα. Όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση των δίσκων-ηλεκτροδίων, τόσο μεγαλύτερο είναι το πλάτος του ηλεκτρικού πεδίου, άρα και το βάθος του. Συγκεκριμένα, το σύστημα ονομάζεται VERIS και ανάλογα με το βάθος μέτρησης που επιζητάμε και τις συνθήκες αγρού, υπάρχει το αντίστοιχο μοντέλο (Grisso et al, 2009). Τα ολοκληρωμένα συστήματα χαρτογράφησης ηλεκτρικής αγωγιμότητας που έχουν αναπτυχθεί από την εταιρεία Veris είναι το 3100, 3150, 2000XA, QuandEC1000 και Quand 2800. Η λειτουργία του Veris βασίζεται σε δύο αισθητήρες απορρόφησης του ηλεκτρικού πεδίου που υπάρχουν στην μέση, ενώ στα άκρα και εσωτερικά βρίσκονται οι πηγές ηλεκτρικού ρεύματος που δημιουργούν τα αντίστοιχα ηλεκτρικά πεδία (Grisso et al., 2009).

1.4.7 1.4.3.3. Εφαρμογές μετρήσεων ηλεκτρικής αγωγιμότητας στη γεωργία ακριβείας

Οι Jung et al. (2005) εξέτασαν τη συσχέτιση που μπορεί να έχει σε ορισμένα βάθη η ηλεκτρική αγωγιμότητα με εδαφικές παραμέτρους, όπως ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, οξύτητα, θρεπτικά κ.α. και βρήκαν ότι η μέτρηση της αγωγιμότητας είναι ένα τρόπος εκτίμησης εδαφικών παραμέτρων. Συγκεκριμένα, όσο μεγαλύτερο βάθος μέτρησης γίνεται (ως 30 cm), τόσο μεγαλύτερη συσχέτιση υπάρχει. Οι Domsch and Giebel (2004) έκαναν μια προσπάθεια να εκτιμήσουν την υφή εδαφών στη Γερμανία και, συγκεκριμένα, όσον αφορά την περιεκτικότητα τους σε άργιλο. Οι μετρήσεις έγιναν με ηλεκτρομαγνητική μέθοδο (EM38) και παρουσίασαν συσχέτιση ηλεκτρικής αγωγιμότητας με την υφή με συντελεστή συσχέτισης ως και 0,67 για βάθος 25 εκατοστά. Για ενδείξεις από 0-10 dS/m προκύπτουν αμμώδη ή πηλώδη εδάφη, από 10-20 ds/m αμμώδη ή αμμώπηλώδη και για 20-30 dS/m αμμοπηλώδη ή πηλώδη. Μέσω της χαρτογράφησης και εκτίμησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και της υφής του εδάφους έγιναν προσπάθειες να εξεταστεί η συσχέτιση των δύο παραγόντων.

Οι Lesch et al. (2005) μέσω της μέτρησης και δημιουργίας χάρτη ηλεκτρικής αγωγιμότητας και της μέτρησης μόλις 12 σημείων της υφής του εδάφους, κατάφεραν να κάνουν μοντέλο συσχέτισης ηλεκτρικής

αγωγιμότητας και % αργίλου με συντελεστή συσχέτισης R^2 0,76 και αντίστοιχο μοντέλο συσχέτισης με % άμμου και συντελεστή 0,79. Από απεικόνιση που ήταν διαθέσιμη για τη χαρτογράφηση αργίλου παρατηρούμε όντως ότι περιοχές υψηλής αγωγιμότητας είχαν υψηλότερο % σε άμμο, ενώ το αντίθετο συνέβαινε για περιοχές χαμηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

Οι *Moore and Walcott (2001)* με μέτρηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε εκτάσεις 66 εκταρίων εκτίμησαν σημαντική συσχέτιση με άργιλο, όσον αφορά την υφή του εδάφους ($r=0,99$) και ιδιαίτερη συσχέτιση με την οργανική ουσία του εδάφους με ($r=0,97$). Έτσι, γνωρίζοντας έμμεσα την υφή του εδάφους, μπορούμε σύμφωνα τους *Moore and Walcott (2001)* να εφαρμόσουμε μεταβλητές δόσεις λιπάσματος, καθώς τα αργιλώδη εδάφη συνήθως απαιτούν μεγαλύτερες δόσεις. Ακόμα, προσπάθησαν να συσχετίσουν χημικά στοιχεία με ηλεκτρική αγωγιμότητα. Αρχικά, χώρισαν οχτώ ζώνες διαφορετικής ηλεκτρικής αγωγιμότητα και πήραν τυχαία εδαφικά δείγματα από την κάθε ζώνη. Μέσα από αυτή τη διαδικασία προέκυψε υψηλή συσχέτιση της αγωγιμότητας με τις μέσες τιμές των συγκεντρώσεων σε άζωτο, φώσφορο, κάλιο και ψευδάργυρο (r από 0,95 ως 0,99). Ο ορισμός, ωστόσο, της μέσης τιμής των παραμέτρων αυτών βάζει ένα φρένο στον ενθουσιασμό της υψηλής συσχέτισης, καθώς η παραλλακτικότητα των χημικών στοιχείων στο έδαφος είναι υψηλή. Τέλος, μέσα από την τετραετή έρευνα προέκυψαν ενδιαφέροντα στοιχεία που αφορούν την συσχέτιση με την παραγωγή καλαμποκιού και σόγιας, καθώς παρατηρήθηκε κάποιες χρονιές αρνητική και άλλες θετική συσχέτιση, δείχνοντας ότι δεν είναι εύκολο να υπάρξει απόλυτη ερμηνεία της παραγωγής μέσω της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, καθώς ένας από τους κύριους παράγοντες διαμόρφωσης είναι το κλίμα.

Οι *Mueller et al. (2003)* προσπάθησαν να ερμηνεύσουν την παραλλακτικότητα που μπορεί να παρουσιάσει η ηλεκτρική αγωγιμότητα. Για το σκοπό αυτό εφάρμοσαν διάφορες γεωστατιστικές και παλινδρομικές αναλύσεις. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα συσχετίζεται με την περιεκτικότητα σε άργιλο ($R^2 = 0,40$), ωστόσο υπήρχαν τμήματα χωρικά και χρονικά, όπου ο βαθμός συσχέτισης ήταν ακόμα μεγαλύτερος και έφτανε ως $R^2 = 0,75$ για τον άργιλο, 0,76 για την περιεκτικότητα σε υγρασία, 0,67 για την συγκέντρωση ασβεστίου και 0,64 για την συγκέντρωση μαγνησίου. Ακόμα, για την εκτίμηση της παραλλακτικότητας της ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε σχέση με σύνολο παραμέτρων αναπτύχθηκε μοντέλο ταυτόχρονης συσχέτισης με πολλούς παραμέτρους, όπως με % πηλού, αργίλου, υγρασίας, με το pH, την κλίση και τη θερμοκρασία εδάφους και παρουσίασε ικανοποιητικό συντελεστή $R^2 = 0,70$.

Οι *Mertens et al. (2008)* έκαναν μετρήσεις ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε αγρό και προσπάθησαν να τις συσχετίσουν με διάφορες παραμέτρους εδάφους. Τρόπος αξιολόγησης της σύγκρισης ήταν στοιχεία των γεωτρήσεων που χρησιμοποιούνταν, στοιχεία αποδόσεων καλλιεργειών και χάρτες εδάφους παραδοσιακοί. Καθ' όλη την διάρκεια των μετρήσεων της ηλεκτρικής αγωγιμότητας πρόβλημα ήταν οι μεταβολές της υγρασίας του εδάφους, καθώς είχε ως αποτέλεσμα και τη μεταβολή της ηλεκτρικής

αγωγιμότητας. Ωστόσο, η μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας κατάφερε να συσχετιστεί σημαντικά με το ποσοστό αργίλου στο έδαφος ($r^2=0,72$). Η σύγκριση των μετρήσεων της ηλεκτρικής αγωγιμότητας με τους παραδοσιακούς εδαφολογικούς χάρτες αποκάλυψε κάποια θετικά και κάποια αρνητικά στοιχεία. Στα θετικά συγκαταλέγεται ότι με τα σύγχρονα συστήματα μέτρησης και χαρτογράφησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας η διαδικασία μέτρησης και αποτύπωσης της χωρικής παραλλακτικότητας διαφόρων εδαφικών παραμέτρων (μέσω συσχέτισης) είναι μια πολύ εύκολη και γρήγορη διαδικασία. Ωστόσο, σε σχέση με τους εδαφικούς χάρτες, οι μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι άμεσες, καθώς η ηλεκτρική αγωγιμότητα επηρεάζεται από ποικίλους παράγοντες. Τέλος, υπήρχε σημαντική συσχέτιση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας με τις αποδόσεις των καλλιεργειών.

1.4.8 Χαρτογράφηση εδαφικών ιδιοτήτων

Η κατανόηση της παραλλακτικότητας στο έδαφος είναι μια από τις παλαιότερες προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι αγρότες και οι επιστήμονες. Η τακτική δειγματοληψία και ανάλυση του εδάφους είναι η βάση για ένα πρόγραμμα λίπανσης με μεταβλητές δόσεις. Παρόλα αυτά στο παρελθόν όταν οι τιμές των λιπασμάτων ήταν χαμηλότερες ήταν πιο απλό η λίπανση να εφαρμοστεί ομοιόμορφα στον αγρό. Η δόση του λιπάσματος βασιζόταν στο μέσο όρο των εδαφικών ιδιοτήτων του αγρού. Η ανάπτυξη εξοπλισμού που βασίζεται στα ηλεκτρονικά για εφαρμογή λιπασμάτων και η ανάπτυξη του GPS έδωσε τη δυνατότητα στην ανάπτυξη αποτελεσματικών μεθόδων δειγματοληψίας και χαρτογράφησης με τις οποίες γίνεται ακριβής προσδιορισμός της χωρικής παραλλακτικότητας στο έδαφος. Τα θρεπτικά στοιχεία του εδάφους που είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών είναι:

Τα εδαφικά στοιχεία που χρειάζονται τα φυτά για την ανάπτυξή τους είναι:

- i. Τα κύρια στοιχεία (άζωτο (N), φώσφορος (P), κάλιο (K))
- ii. Τα δευτερεύοντα στοιχεία (ασβέστιο (Ca), μαγνήσιο (Mg), θείο (S))
- iii. Τα ιχνοστοιχεία (βόριο (B), χλώριο (Cl), χαλκός (Cu), σίδηρος (Fe), μαγγάνιο (Mn), ψευδάργυρος (Zn), και μολυβδαίνιο (Mo)).

Οι δύο πιο κύριες μέθοδοι δειγματοληψίας του εδάφους είναι:

- i. Δειγματοληψία πλέγματος (grid sampling) στην οποία γίνεται διαχωρισμός του αγρού σε τετράγωνα η ορθογώνια κελιά. Σε κάθε κελί λαμβάνονται δείγματα τα οποία αναμιγνύονται για να αντιπροσωπεύουν τις εδαφικές ιδιότητες του κελιού και στέλνονται στο εργαστήριο για ανάλυση. Με τον τρόπο αυτό γίνεται εκτίμηση των εδαφικών ιδιοτήτων σε μια κλίμακα μικρότερη από ολόκληρο το χωράφι.

ii. Δειγματοληψία με βάση τον τύπο του εδάφους (soil type sampling). Σε αυτήν την μέθοδο η δειγματοληψία γίνεται από τμήματα του αγρού που έχουν παρόμοιο τύπο εδάφους ή άλλα παρόμοια χαρακτηριστικά όπως οι ζώνες διαχείρισης. Για να γίνει αυτό ο παραγωγός βασίζεται σε εδαφολογικούς χάρτες. Αρκετά δείγματα συλλέγονται και αναμιγνύονται από κάθε περιοχή με διαφορετικό τύπο εδάφους. Η διαφορά με την προηγούμενη μέθοδο είναι ότι εδώ οι αποστάσεις μεταξύ των δειγμάτων δεν είναι ίδιες.

Αν κατά τη λήψη των δειγμάτων γίνεται ταυτόχρονα και καταγραφή της θέσης του δείγματος με GPS, στη συνέχεια με ένα κατάλληλο λογισμικό δημιουργούνται οι αντίστοιχοι θεματικοί χάρτες των εδαφικών ιδιοτήτων του αγρού (Φουντάς & Γέμτος, 2015).

1.4.9 Τηλεματική

Τηλεματική είναι ο κλάδος της τεχνολογίας που συνδυάζει την πληροφορική με τις τηλεπικοινωνίες και συμβάλλει στην απρόσκοπτη ροή και μεταφορά δεδομένων και την εύκολη απομακρυσμένη πρόσβαση σε αυτά.

Τη σημερινή εποχή οι ανεπτυγμένες χώρες μετατρέπονται ταχύτατα σε ψηφιακές οικονομίες. Λαμβάνοντας, βεβαίως, υπόψη την παγκοσμιοποίηση της οικονομίας και του εμπορίου, και οι αναπτυσσόμενες χώρες θα πρέπει να επενδύσουν στην ψηφιοποίηση της οικονομίας τους προκειμένου να πετύχουν υψηλότερους ρυθμούς ανάπτυξης (Gerry P. Sweeney, 2010). Εφαρμογές τηλεματικής μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με ρομποτικά συστήματα για γεωργικές εργασίες όπως λίπανση, άρδευση και η συγκομιδή, καθώς και για παρακολούθηση μονάδων με χρήση αισθητήρων και καμερών. Επιπλέον, με την τηλεματική μια γεωργική εκμετάλλευση μπορεί να είναι σε διαρκή επικοινωνία με συστήματα μετεωρολογικών σταθμών με σκοπό την πρόβλεψη των κλιματικών παραμέτρων γεωργικού ενδιαφέροντος και την πρόβλεψη ασθενειών. Η μετάδοση των δεδομένων είναι δυνατόν να γίνει μέσω γραμμής GPRS και ο χειριστής έχει την δυνατότητα να δει και να επεξεργαστεί τα δεδομένα μέσω internet από οποιοδήποτε σημείο του κόσμου.

Ακόμα, με χρήση τεχνολογιών τηλεματικής, μπορεί να επιτευχθεί ο έλεγχος των γεωργικών μηχανημάτων. Οι Öhman κ.α (2004) παρουσίασαν ένα σύστημα για απομακρυσμένο έλεγχο μηχανημάτων συμβατών με το ISO 11783. Το πρωτότυπο σύστημα αποτελείται από έναν ελκυστήρα εφοδιασμένο με έναν υπολογιστή παλάμης και μία σύνδεση GPRS. Το σύστημα χρησιμοποιήθηκε για να εμφανίζει δείκτες σφάλματος στο δίκτυο του ISO 11783. Επιπλέον, ένα σύστημα για μεταφορά δεδομένων από το δίκτυο ISO 11783 παρουσιάστηκε από τους Steinberger κ.α. (2009). Το σύστημα αυτό περιλάμβανε, επίσης, ανάλυση και

άθροιση των δεδομένων, κάτι που κατέσπει διαθέσιμο για τους καταναλωτές μέσω διαδικτυακής πλατφόρμας.

1.4.10 1.4.5.1. Εφαρμογές στη γεωργία ακριβείας

Ο *Baggio (2005)*, στην Ολλανδία, μελέτησε σε καλλιέργεια πατάτας τη δυνατότητα πρώιμης ανίχνευσης της πιθανότητας να προκληθεί ασθένεια από τον μύκητα *Phytophthora*. Στο δίκτυο που στήθηκε, χρησιμοποιήθηκαν 150 αισθητήρες που παρακολουθούσαν υγρασία, ατμοσφαιρική πίεση, θερμοκρασία, φωτεινότητα και δύναμη και διεύθυνση ανέμου. Σκοπός ήταν να συλλεγούν μετρήσιμα στοιχεία για την υγρασία, τη θερμοκρασία και την ύπαρξη νερού στα φύλλα του φυτού, παράγοντες που ευνοούν στην ανάπτυξη της ασθένειας. Η μελέτη είχε ως αποτέλεσμα την έγκαιρη διάγνωση της πιθανότητας να εκδηλωθεί η ασθένεια, καθώς επίσης και την αποδοτικότερη από άποψη κόστους χρήση λιπασμάτων και την όσο το δυνατόν μικρότερη επιβάρυνση του περιβάλλοντος από τη χρήση χημικών.

Οι *Beckwith, Teibel & Bowen (2004)* μελέτησαν την παρακολούθηση αμπελώνων στις ΗΠΑ σε καλλιέργειες σταφυλιών με διαφορετικές ποικιλίες. Στόχος της μελέτης, ήταν να γίνει χαρτογράφηση της θερμότητας και του ψύχους. Οι ασύρματοι αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη, μετρούσαν τη θερμοκρασία κάθε στιγμή. Ο αριθμός των κόμβων-αισθητήρων που χρησιμοποιήθηκαν ήταν 65 και είχαν την ευθύνη να αποστέλλουν τα δεδομένα που συλλέγανε ανά 5 λεπτά ενώ η λήψη δεδομένων από αυτούς γινόταν κάθε στιγμή. Αποτέλεσμα της μελέτης ήταν η αποτελεσματική δημιουργία χαρτών που να απεικονίζουν τη θερμότητα και το ψύχος. Αυτό έχει ως συνέπεια λιγότερες ανθρωποώρες και τεχνολογικό εξοπλισμό για την παρακολούθηση και μέτρηση αυτών των κρίσιμων μεταβλητών, για τη σωστή ανάπτυξη των σταφυλιών και την αποφυγή ζημιών από ασθένειες και περιβαλλοντικές καταστροφές (π.χ. χαλάζι).

Στην Ιταλία, από το *Centro Servizi Ortofrutticoli (2017)*, έγινε μελέτη του προγραμματισμού άρδευσης σε καλλιέργεια ακτινιδίων. Για την υλοποίηση της εφαρμογής πραγματοποιήθηκε εγκατάσταση 2 διαφορετικών ασύρματων αισθητήρων, ώστε να παρακολουθείται η κατάσταση των υδάτων του εδάφους σε ένα οπωρώνα ακτινιδίων. Ο στόχος ήταν να ελεγχθεί η αξιοπιστία και το κόστος στη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου το 2016. Χρησιμοποιήθηκαν αισθητήρες υδατογραφήματος σε διαφορετικά βάθη για να ελέγξουν την υγρασία του εδάφους και αισθητήρες διαμέτρου φρούτων για τη μέτρηση του μεγέθους των καρπών. Χρησιμοποιήθηκαν επιπλέον αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας για την παρακολούθηση περιβαλλοντικών συνθηκών. Τα δεδομένα που συνέλλεξαν οι αισθητήρες στάλθηκαν σε μία πλατφόρμα. Στα αποτελέσματα της εφαρμογής ήταν η γρήγορη εγκατάσταση των συστημάτων και η ενιμέρωση των παραγωγών σε πραγματικό χρόνο, καταφέροντας έτσι να παρακολουθούν συνεχώς τις

σοδιές και να έχουν υπό έλεγχο την κατάσταση νερού του εδάφους και να προγραμματίζουν την άρδευση τους.

Μία ακόμη εφαρμογή στο βαμβάκι πραγματοποιήθηκε στις Η.Π.Α το 2008 με σκοπό το καθορισμό του καλύτερου ποτίσματος στην καλλιέργεια του βαμβακιού. Χρησιμοποιήθηκε δίκτυο με αισθητήρες υγρασίας εδάφους και αισθητήρες θερμοκρασίας αέρα- εδάφους. Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε αυτή την εφαρμογή ήταν η υγρασία του εδάφους σε 3 βάθη, 0.2, 0.4 και 0.6 μέτρα, η ροή του νερού άρδευσης, η θερμοκρασία του αέρα κοντά στο φυτό και η θερμοκρασία εδάφους σε βάθος 0.2 μέτρων. Το πλήθος των κόμβων που χρησιμοποιήθηκαν ήταν 10 και χρησιμοποιήθηκαν για τη συλλογή των δεδομένων και τον υπολογισμό του δείκτη κατακράτησης του νερού εδάφους (Soil Water Tension). Ο δείκτης αυτός σε συνδυασμό με τα δεδομένα της θερμοκρασίας εδάφους και αέρα καθόρισαν μία στρατηγική ποτίσματος, μέσω ενός λογισμικού λήψης αποφάσεων (Irrigation pro). Αυτή η εφαρμογή συντέλεσε στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της άρδευσης με το διαχωρισμό σε τμήματα και στην εφαρμογή διαφορετικής στρατηγικής άρδευσης σε κάθε τμήμα, που οδήγησε και στην εξοικονόμηση νερού και ρεύματος (Vellidis et al, 2008).

1.4.11 Τηλεπισκόπηση

Η τηλεπισκόπηση ή τηλεανίχνευση είναι ο επιστημονικός κλάδος συλλογής δεδομένων με τεχνικά μέσα και χωρίς φυσική επαφή, για ένα αντικείμενο που βρίσκεται στην επιφάνεια της γης ή στην ατμόσφαιρα της. Πιο συγκεκριμένα, η Τηλεπισκόπηση αποτελεί μια σύγχρονη τεχνολογία που χρησιμοποιείται για τη λήψη πληροφοριών σχετικά με έναν στόχο μέσα από την ανάλυση δεδομένων που αποκτήθηκαν σε σχέση με τον στόχο από απόσταση (Παρχαρίδης, 2015). Οι Lillesand, Kiefer και Chirpman (2003) ορίζουν την Τηλεπισκόπηση ως την επιστήμη και τέχνη του να επιτυγχάνουμε πληροφόρηση για αντικείμενο, περιοχή ή φαινόμενο, από την ανάλυση δεδομένων που αποκτήθηκαν από ένα μέσο το οποίο δεν είναι σε επαφή με το αντικείμενο, την περιοχή ή το φαινόμενο που εξετάζεται. Η απόκτηση των δεδομένων μπορεί να πραγματοποιηθεί από πλατφόρμες όπως αεροσκάφη, δορυφόρους, μπαλόνια, διαστημικά λεωφορεία, κ.λπ. εντός ή επί αυτών, όπου χρησιμοποιούνται αισθητήρες για τη συλλογή δεδομένων. Αισθητήρες περιλαμβάνουν εναέριες φωτογραφικές μηχανές και μη φωτογραφικά μέσα, όπως ραδιόμετρα, ηλεκτροοπτικοί σαρωτές, συστήματα ραντάρ, κ.λπ. Πιο χαρακτηριστικά και διαδεδομένα είναι τα στοιχεία που προέρχονται από ανιχνευτές που βρίσκονται εγκατεστημένοι πάνω σε δορυφόρους (Δορυφορική Τηλεπισκόπηση). Οι τεχνολογίες της δορυφορικής Τηλεπισκόπησης χρησιμοποιούνται σε πολλές

εφαρμογές στη Γεωργία Ακριβείας καθώς και κατά ένα μεγάλο βαθμό στην παρούσα έρευνα γεγονός που καθιστά αναγκαία την αναλυτικότερη περιγραφή της στο επόμενο κεφάλαιο.

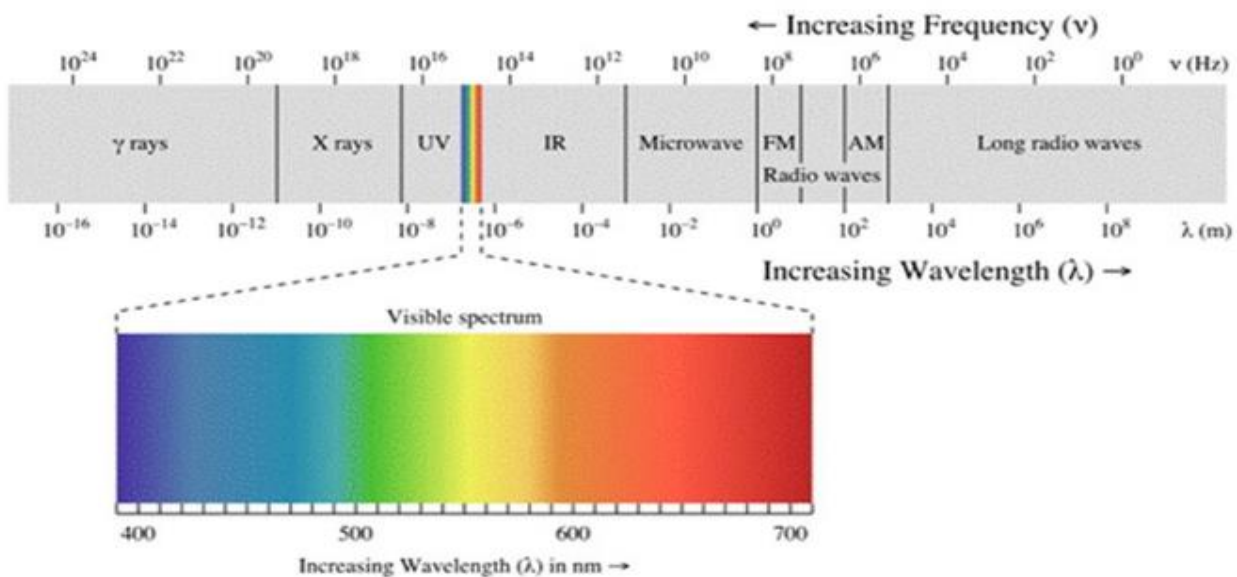
2 Δορυφορική Τηλεπισκόπηση

2.1 Εισαγωγή

Η παρακολούθηση της γης από το διάστημα αποτελεί τα σαράντα τελευταία χρόνια ένα σημαντικό εργαλείο για τη μελέτη του φυσικού περιβάλλοντος, την κατανόηση του παγκόσμιου κλίματος, και την ενίσχυση αναπτυξιακών και παραγωγικών δραστηριοτήτων σε μια περιοχή. Η δορυφορική τηλεπισκόπηση για τη μελέτη της γης άρχισε να αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον, όταν μετά τη διεύρυνση των τεχνικών δυνατοτήτων των δορυφόρων που κινούνται σε τροχιά γύρω από τη γη ακολούθησε η ραγδαία ανάπτυξη των δυνατοτήτων των Η/Υ για την διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων, σε όσο το δυνατόν μικρότερο χρόνο (*Lillesand and Kiefer, 1994*).

2.2 Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Οι αισθητήρες των δορυφόρων καταγράφουν την ακτινοβολία, η οποία προέρχεται από την γη σε διαφορετικές ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα περιέχει ένα μεγάλο εύρος διαφορετικών μηκών κύματος, εκ των οποίων μόνον ένα μικρό εύρος μηκών κυμάτων καταλαμβάνει το ορατό φάσμα (μεταξύ 400 και 700nm, [Εικόνα 3](#)).



Εικόνα 3: Απεικόνιση ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Μία πιο συγκεκριμένη κλίμακα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος παρουσιάζεται στον Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε. όπου μήκος κύματος μετριέται από μια κορυφή ενός κύματος έως την επόμενη και συμβολίζεται με το ελληνικό γράμμα λ. Το NIR και SWIR είναι γνωστά ως Ανακλώμενα υπέρυθρα (Reflected Infrared), ενώ τα MWIR and LWIR είναι γνωστά ως θερμικά υπέρυθρα (Thermal Infrared). Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που προέρχεται από τον ήλιο ξεκινά από τις γάμα (γ) και χ (X) ακτίνες με μήκη κύματος περίπου της τάξης των εκατοστών του μικρόμετρου και αφού περιλαμβάνει και το ορατό μήκος κύματος (που αντιλαμβανόμαστε εμείς οι άνθρωποι χωρίς την χρήση ειδικών οργάνων μέτρησης) φθάνει στα αριστερά του ορατού φάσματος στα μήκη κύματος που λειτουργούν το ραδιόφωνο και η τηλεόραση τα οποία έχουν περίπου ως μήκος κύματος μερικά χιλιόμετρα.

Πίνακας 2: Ζώνες ηλεκτρομαγνητικού φάσματος

Κατηγορίες ηλ/κού φάσματος	Κατηγορίες φασματικών ζωνών	Μήκος κύματος (λ)
Ράδιο-κύματα		10cm έως 10km.
Μικροκύματα		1mm έως 1m
Υπέρυθρα μικροκύματα	Εγγύς υπέρυθρα μήκη κύματος (Near Infrared, NIR)	από 0.7 έως 1.5μm.
	Υπέρυθρα μικρά μήκη κύματος (Short Wavelength Infrared, SWIR)	από 1.5 έως 3μm.
	Υπέρυθρα μεσαία μήκη κύματος (Mid Wavelength Infrared, MWIR)	από 3 έως 8μm. 21
	Υπέρυθρα μεγάλα μήκη κύματος (Long Wavelength Infrared, LWIR)	από 8 έως 15μm
	Υπέρυθρα απομακρυσμένα μήκη κύματος (Far Infrared, FIR)	με μεγαλύτερο μήκος κύματος από 15μm
Ορατά μήκη κύματος 400 - 700nm	Ζώνη του κόκκινου	610 - 700nm
	Ζώνη του πορτοκαλί	590 - 610nm.
	Ζώνη του κίτρινου	570 - 590nm.

	Ζώνη του πράσινου	500 - 570nm.
	Ζώνη του μπλε	450 - 500nm.
	Ζώνη απόχρωσης του μπλε	430 - 450nm.
	Ζώνη του βιολετί	400 - 430nm.
	Ζώνη του υπεριώδους	από 3 έως 400nm.
Ζώνες των ακτινών Χ και των ακτινών Γάμμα (Gamma Rays)	Ζώνες των ακτινών Χ και των ακτινών Γάμμα (Gamma Rays).	

Όταν η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προσπίπτει σε μία επιφάνεια (στην περίπτωση μας στην επιφάνεια της γης) υπάρχει περίπτωση ένα μέρος της να ανακλαστεί, ένα άλλο να διαχυθεί και ένα άλλο να απορροφηθεί και να μεταδοθεί στη συνέχεια σ' ένα άλλο μέσο (περίπτωση του νερού). Επειδή η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ανιχνεύεται μόνον κατόπιν αντίδρασής της με οποιοδήποτε υλικό σώμα, οι αισθητήρες δέχονται ηλεκτρομαγνητική ενέργεια η οποία δεν προέρχεται κατευθείαν από την πηγή της (ήλιος), αλλά κατόπιν ανάκλασης, διάχυσης και μετάδοσης κατόπιν απορρόφησης της σε άλλα υλικά μέσα (σύννεφα, καθαρή ατμόσφαιρα, επιφάνεια ξηράς, επιφάνεια νερού κ.ά). Η κυρίως πηγή μετάδοσης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στη γη είναι ο ήλιος αλλά υπάρχουν και πάρα πολλές τεχνητές πηγές ακτινοβολίας όπως τα κινητά τηλέφωνα, οι παλιού τύπου τηλεοράσεις, οι φούρνοι μικροκυμάτων ακόμη και οι ηλεκτρικοί λαμπτήρες, κ.ά.

Τα διάφορα αντικείμενα στην επιφάνεια της γης, αντιδρούν διαφορετικά στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και εμφανίζονται φωτεινότερα ή σκοτεινότερα ανάλογα με το μήκος κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που προσπίπτει σε αυτά. Μία σημαντική αρχή επάνω στην οποία βασίστηκε η Τηλεπισκόπηση είναι το γεγονός ότι η κατανομή της ακτινοβολίας που εκπέμπει ή ανακλά κάθε σώμα σε διάφορα μήκη κύματος είναι χαρακτηριστική της φυσικής κατάστασης και της χημικής του σύστασης (φασματική υπογραφή), (Slater, 1980). Επομένως, η φασματική υπογραφή είναι χαρακτηριστική για κάθε σώμα ή χημική ένωση και μας επιτρέπει να διακρίνουμε το χιόνι από το νερό, την βλάστηση από το έδαφος, τους διάφορους τύπους πετρωμάτων, τις διάφορες ενώσεις τόσο στην ατμόσφαιρα όσο και στη θάλασσα (Lo, 1986).

2.3 Δομή πολυφασματικών δορυφορικών εικόνων

Μια πολυφασματική δορυφορική εικόνα αποτελείται από πολλές εικόνες της ίδιας περιοχής της επιφάνειας της γης καταγεγραμμένες την ίδια χρονική στιγμή αλλά σε διαφορετικό μήκος κύματος. Συνεπώς μία πολυφασματική δορυφορική εικόνα αποτελείται από τόσες επιμέρους εικόνες όσες και τα μήκη κύματος που καταγράφεται η ίδια ακριβώς περιοχή την ίδια ακριβώς χρονική στιγμή και οι εικόνες αυτές είναι απολύτως υπερθέσιμες μεταξύ τους δηλαδή το κάθε εικονοστοιχείο απεικονίζει ακριβώς την

ίδια περιοχή στα διαφορετικά μήκη κύματος. Κάθε μια από τις πολλές (μονοφασματικές) εικόνες που αποτελείται μια πολυφασματική δορυφορική εικόνα ονομάζεται φασματικό κανάλι (κατά άλλους συγγραφείς φασματικός δίαυλος) ή φασματική μπάντα (κατά άλλους συγγραφείς φασματική ζώνη). Με αυτόν τον τρόπο καταλήγουμε να έχουμε εικόνες ακριβώς της ίδιας περιοχής καταγεγραμμένες την ίδια χρονική στιγμή αλλά με διαφορετική φωτεινή ένταση στις διαφορετικές περιοχές τους.

Η ποιότητα των δορυφορικών εικόνων εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των φασματόμετρων που διαθέτουν οι αντίστοιχοι δορυφόροι. Τέσσερις είναι οι βασικές ιδιότητες που χαρακτηρίζουν μια δορυφορική εικόνα οι οποίες συνθέτουν με ένα όνομα την διακριτική ικανότητα του αισθητήρα κάποιου δορυφόρου (Περάκης, κ.α. 2015).

i. Η χωρική διακριτική ικανότητα (spatial resolution)

Χωρική διακριτική ικανότητα, είναι η ικανότητα του ανιχνευτή να διακρίνει δυο αντικείμενα στη σκηνή που βρίσκονται πολύ κοντά και ποσοτικά ισούται με τη μικρότερη απόσταση που μπορούν να έχουν δυο αντικείμενα ώστε οι διαστάσεις τους να διακρίνονται χωριστά και καθαρά ή το ελάχιστο μέγεθος που πρέπει να έχει ένα αντικείμενο για να μπορεί να ανιχνευτεί. Εκφράζεται συνήθως σε m ή km και καθορίζεται από το στιγμιαίο πεδίο κατόπτρευσης του αισθητήρα (Καρτάλης και Φειδάς, 2006)

ii. Η φασματική διακριτική ικανότητα (spectral resolution)

Η φασματική διακριτική ικανότητα, είναι αυτή που προσδιορίζει την ικανότητα του αισθητήρα να διακρίνει τις πολύ μικρές αποστάσεις μεταξύ των μηκών κύματος. Κατά αυτό τον τρόπο, ένας αισθητήρας με υψηλή φασματική ανάλυση, έχει τη δυνατότητα να ξεχωρίζει καλύτερα τις φασματικές περιοχές και να καταγράφει μικρότερα διαστήματα, μεταξύ των μηκών κύματος (Levin, 1999)

iii. Η ραδιομετρική διακριτική ικανότητα (radiometric resolution)

Αναφέρεται στον αριθμό των διαφορετικών διαβαθμίσεων της έντασης της καταγεγραμμένης ακτινοβολίας που μπορεί να καταγράψει ο συγκεκριμένος αισθητήρας (του συγκεκριμένου δορυφόρου). Ουσιαστικά πρόκειται για τον αριθμό των bits που περιέχει η τιμή του εικονοστοιχείου στο δυαδικό σύστημα και που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένο ακέραιο αριθμό στο δεκαδικό σύστημα (Περάκης, κ.α. 2015).

iv. Η χρονική διακριτική ικανότητα (temporal resolution)

Η χρονική διακριτική ικανότητα ενός συστήματος σχετίζεται με τη συχνότητα λήψης εικόνων για την ίδια περιοχή. Η περίοδος επαναληψιμότητας για ένα δορυφορικό σύστημα συνήθως είναι της τάξης κάποιων

ημερών ή ωρών όταν πρόκειται για αστερισμό δορυφορικού συστήματος, για να μπορέσει να αποτυπώσει την ίδια γεωγραφική περιοχή με την ίδια γωνία παρατήρησης, απόλυτη χρονική διακριτική ικανότητα.

Στα χαρακτηριστικά που θα πρέπει να ικανοποιούνται από τη διαχρονική ανάλυση έτσι ώστε τα αποτελέσματα να είναι όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστα είναι τα ακόλουθα:

- Οι διαχρονικές εικόνες πρέπει να λαμβάνονται από τα συστήματα καταγραφής την ίδια περίπου ώρα της ημέρας, ώστε να εξαλείφονται οι ημερήσιες διαφορές της γωνίας πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας, διότι προκαλούν ανώμαλες διαφοροποιήσεις των ιδιοτήτων ανάκλασης των αντικειμένων.

- Θα πρέπει να λαμβάνονται την ίδια περίοδο του έτους, ώστε να μειώνονται στο ελάχιστο οι φαινολογικές διαφοροποιήσεις διαφόρων επιφανειακών χαρακτηριστικών (Παρχαρίδης, 2015)

2.4 Δείκτες Βλάστησης

Πάνω από μισό αιώνα οι επιστήμονες προσπαθούν να μοντελοποιήσουν τις βιοφυσικές παραμέτρους της βλάστησης χρησιμοποιώντας δορυφορικά δεδομένα. Κατά καιρούς έχουν αναπτυχθεί διάφορες μορφές συνδυασμών λόγων, χρησιμοποιώντας μήκη κύματος της περιοχής 0,7-1,1μm του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, με μήκη κύματος της περιοχής 0,6-0,7μm. Συγκεκριμένα, έγινε προσπάθεια εκτίμησης της βιομάζας ή του δείκτη φυλλικής επιφάνειας μιας καλλιέργειας, η διάκριση μεταξύ υγιούς και μη βλάστησης, της παραγωγικότητας, κ.ά. (Tucker (1979), Jackson (1983), Philipson & Teng (1988), Teng (1990)). Η προσπάθεια αυτή οδήγησε στη δημιουργία δεικτών βλάστησης (Vegetation Indices). Σύμφωνα με την ιστοσελίδα <http://www.indexdatabase.de/> υπάρχουν πάνω από 500 δείκτες (μέχρι σήμερα) εκ των οποίων οι περισσότεροι σχετίζονται με την βλάστηση και αναπτύχθηκαν βάσει των φασματικών ιδιοτήτων της.

Οι δείκτες βλάστησης βασίζονται στην αλληλεπίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με τα φύλλα των φυτών. Επομένως η κατανόηση της φασματικής συμπεριφοράς των φυτών και ιδιαίτερα των φύλλων, θεωρείται θεμελιώδης για τις εφαρμογές της τηλεπισκόπησης στην διερεύνηση των χαρακτηριστικών της βλάστησης (Περάκης κ.α., 2015).

Οι βιοφυσικές ιδιότητες της βλάστησης επηρεάζουν την απορρόφηση, ανάκλαση και μετάδοση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στα διαφορετικά μήκη κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος

(ΗΜΦ). Κατά τη φωτοσύνθεση εμφανίζεται μεγάλη απορρόφηση σε δύο περιοχές του ορατού τμήματος του ΗΜΦ: 0,4 μm (μπλε) και 0,68 μm (κόκκινο). Αντίθετα, στο πράσινο φως (0,55 μm) υπάρχει μικρή απορρόφηση και μεγάλη ανάκλαση, γεγονός που εξηγεί την πράσινη εμφάνιση των φυτών. Σε νεαρά φυτά κυριαρχεί το ανοικτό πράσινο χρώμα, αυτό συμβαίνει γιατί καθώς τα φυτά αναπτύσσονται έχουν μικρή συγκέντρωση χλωροφύλλης. Κατά την ωρίμανσή τους, με δεδομένη την αύξηση της χλωροφύλλης, το σκούρο πράσινο χρώμα κυριαρχεί. Τέλος κατά τη γήρανση των φυτών επικρατεί το καφέ/κίτρινο χρώμα. Στο κοντινό υπέρυθρο εύρος του ΗΜΦ (0,75μm-1,35μm) παρατηρείται ισχυρή ανάκλαση, όχι από τα ανώτερα στρώματα των φύλλων (τα οποία και διαπερνά) αλλά από το εσωτερικό τους (μεσόφυλλο). Δηλαδή, η εσωτερική δομή των φύλλων είναι υπεύθυνη για την ισχυρή ανάκλαση της υγιούς βλάστησης στο κοντινό υπέρυθρο. Επίσης παρατηρήθηκε ότι κατά τη μετάβαση από το κόκκινο στο κοντινό υπέρυθρο η ανάκλαση στα φύλλα αυξάνεται απότομα δημιουργώντας την «κόκκινη ακμή» (Red Edge), χαρακτηριστικό γνώρισμα της βλάστησης. Κατ' αυτό τον τρόπο συμπεραίνεται ότι η υγιής βλάστηση παρουσιάζει μέγιστο στο κοντινό υπέρυθρο (NIR) και όχι στο πράσινο τμήμα του ΗΜΦ. Η ανάκλαση για μεγαλύτερα μήκη κύματος, από 1,35 μm έως 2,5 μm, επηρεάζεται από τη συγκέντρωση του νερού στα φύλλα των φυτών (Campbell, 1996). Το γεγονός αυτό υποδηλώνει και τη μεγάλη σημασία στη μελέτη της βλάστησης, των μεταβολών του υπέρυθρου φάσματος με δυνατότητα να:

- Διευκολύνουν την κατηγοριοποίηση των περιοχών, σε παρουσία ή απουσία βλάστησης.
- Επιτρέπουν την διάκριση των διαφορετικών ειδών βλάστησης.
- Διακρίνουν τις αλλαγές στην υγιή βλάστηση.
- Εντοπίζουν και να χαρτογραφούν την παρουσία και κατανομή των ασθενειών και μολύνσεων στις καλλιέργειες.
- Εντοπίζουν την ωρίμανση των φυτών, κυρίως την περίοδο συγκομιδής των καλλιεργειών.

Οι δείκτες βλάστησης ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες: (α) Στους δείκτες που προκύπτουν από λόγους των φασματικών καναλιών (ratios) και (β) στους δείκτες που μετρούν την ραδιομετρική απόσταση από τη γραμμή εδάφους (distance-based). Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι δείκτες που σχηματίζονται από συνδυασμούς των φασματικών καναλιών τα οποία προστίθενται, διαιρούνται ή πολλαπλασιάζονται με τρόπο ώστε να δώσουν μια τιμή η οποία και εκφράζει το ποσό της υγιούς βλάστησης σ' ένα εικονοστοιχείο (pixel). Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι δείκτες οι οποίοι μετράνε το ποσοστό της βλάστησης σε κάθε pixel λαμβάνοντας ως βάση την διαφορά που προκύπτει από την τιμή ανάκλασης κάθε pixel σε σχέση με την τιμή ανάκλασης του γυμνού εδάφους. Εδώ βασικό ρόλο διαδραματίζει η γνώση της γραμμής του εδάφους (soil line). Καθώς αυξάνεται η βλάστηση και καλύπτει το έδαφος, τα αντίστοιχα pixels της βλάστησης αυξάνουν την κατακόρυφη απόστασή τους από την γραμμή του εδάφους. Είναι φανερό ότι,

για τους δείκτες αυτής της κατηγορίας απαιτείται η γνώση της κλίσης και του σημείου τομής της γραμμής του εδάφους για τη δορυφορική εικόνα που εξετάζεται (Silleos et al., 2006). Στη συνέχεια παρουσιάζονται, εν συντομία, οι πιο σημαντικοί και ευρέως διαδεδομένοι δείκτες βλάστησης.

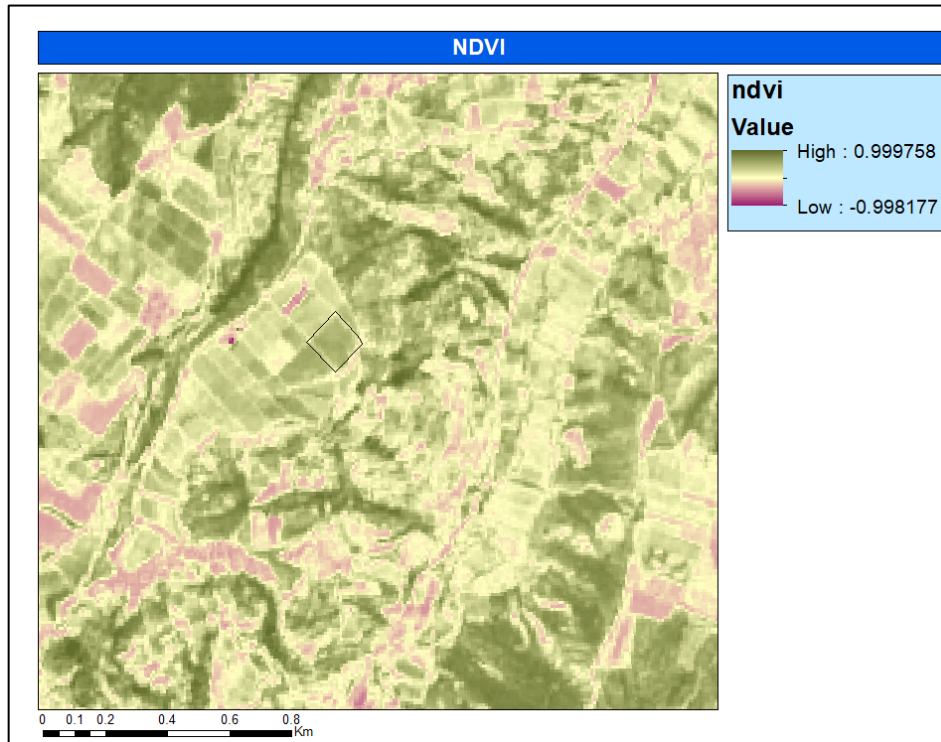
I. RVI

Ο **Δείκτης Αναλογικής Βλάστησης (SR ή RVI)** υπολογίζεται από απλή διαίρεση των ραδιομετρικών τιμών του υπέρυθρου καναλιού προς τις τιμές του κόκκινου (Birth et al., 1968). Το εύρος τιμών είναι από 0 έως περισσότερο από 30, όπου η υγιής βλάστηση κυμαίνεται γενικά μεταξύ 2 και 8. Τα pixels με παρουσία βλάστησης εντοπίζονται εύκολα εξαιτίας των διαφορών στην απορρόφηση στις δύο περιοχές του ΗΜΦ (υψηλή στο κόκκινο, χαμηλή στο υπέρυθρο). Επιπλέον ο δείκτης ελαχιστοποιεί τα προβλήματα φωτεινότητας που προκαλούνται από την τοπογραφία της περιοχής. Στα μειονεκτήματα του δείκτη ανήκει η μη γραμμικότητα των τελικών τιμών του.

$$RVI = \rho_{NIR} / \rho_{RED}$$

II. NDVI

Περαιτέρω μελέτες διαπίστωσαν ότι η κανονικοποιημένη εκδοχή της αναλογίας λειτουργεί καλύτερα σε ορισμένες περιπτώσεις, κι έτσι ο **Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς (NDVI)** δημιουργήθηκε το 1974 με στόχο τον διαχωρισμό της βλάστησης από τη φωτεινότητα του εδάφους χρησιμοποιώντας δορυφορικά δεδομένα Landsat MSS (Rouse et al., 1974). Αποτελεί τον πιο συχνά χρησιμοποιούμενο δείκτη παγκοσμίως. Στα πλεονεκτήματα του δείκτη είναι η ελαχιστοποίηση των τοπογραφικών επιδράσεων και επιπλέον περιγράφει πολλές ιδιότητες των φυτών με αποτέλεσμα να χρησιμεύει στην παρακολούθηση της υγείας τους, στην εκτίμηση της βιομάζας, στην απόδοση των καλλιεργειών κ.α. Επίσης είναι σχεδόν αναλλοίωτος από τις διάφορες συνθήκες εξαιτίας των κανονικοποιημένων τιμών. Το εύρος τιμών είναι από -1 έως και +1 με το 0 να εκφράζει απουσία βλάστησης ενώ οι αρνητικές τιμές να περιγράφουν καλύψεις γης όπως νερό, ανθρωπογενείς κατασκευές κ.ά. Στην **Εικόνα 4** παρατηρούμε με μαύρο πλαίσιο το αγροτεμάχιο το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την πειραματική διαδικασία.

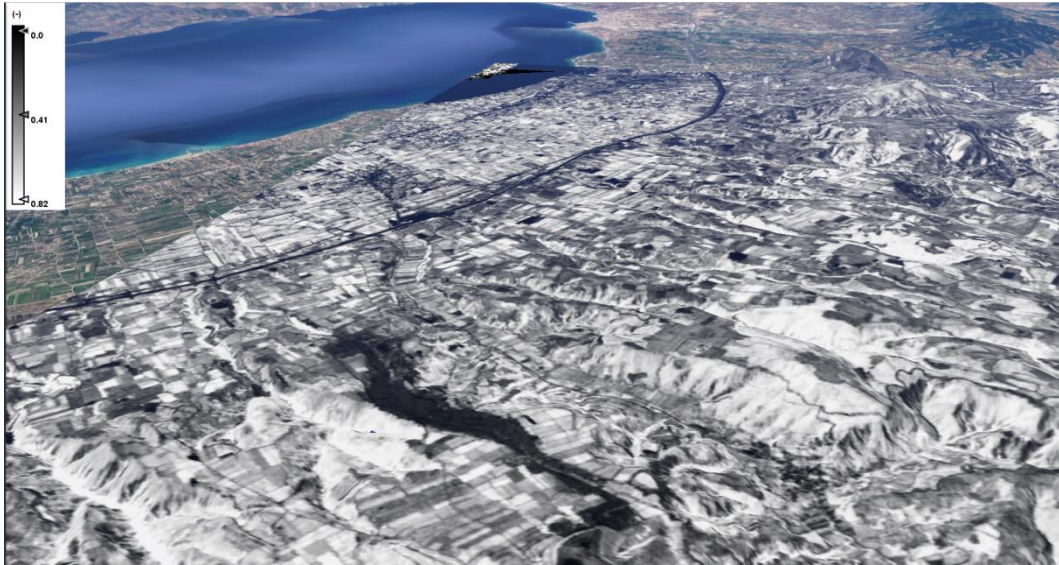


Εικόνα 4: Χάρτης του δείκτη NDVI που απεικονίζει την υγιή βλάστηση (πράσινο) στην ευρύτερη περιοχή του Κιάτου.

Στα μειονεκτήματα του δείκτη είναι ότι παρουσιάζει δείγματα κορεσμού (saturation) σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις βλάστησης καθώς και υπερεκτίμηση σε χαμηλές συγκεντρώσεις βλάστησης εξαιτίας της ανακλαστικότητας του εδάφους. Τέλος οι ατμοσφαιρικές συνθήκες, όπως τα λεπτά σύννεφα, δυνητικά μπορούν να επηρεάσουν τις τιμές του NDVI. Ο δείκτης αυτός είναι η αναλογία της διαφοράς της ανάκλασης στο κοντινό υπέρυθρο(NIR) και στο κόκκινο(RED), που διαιρείται με το άθροισμα αυτών.

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}$$

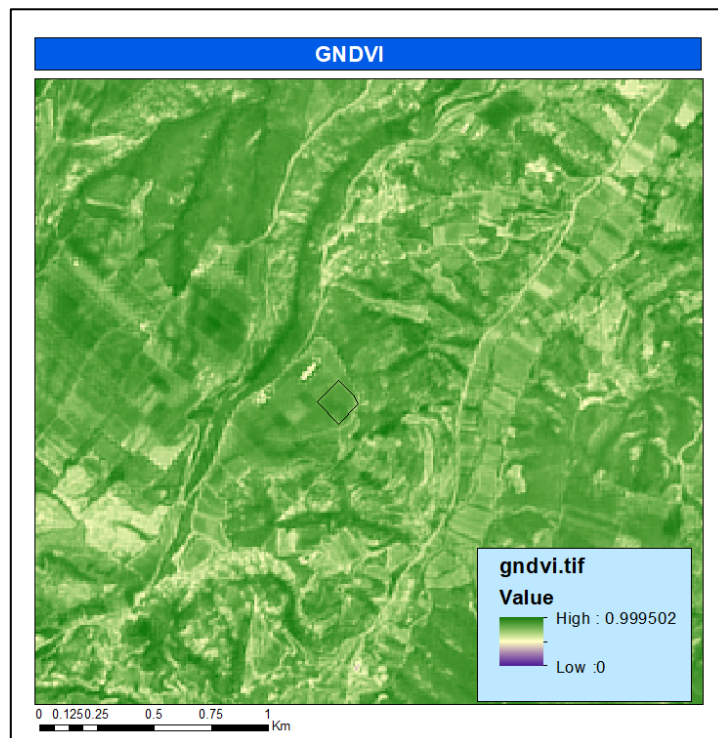
Στην παρακάτω εικόνα (*Εικόνα 5*) έχει γίνει απεικόνιση του δείκτη NDVI σε περιβάλλον Google Earth. Οι ανοιχτόχρωμες περιοχές αντιστοιχούν σε υψηλές τιμές του δείκτη NDVI ενώ οι σκουρόχρωμες σε χαμηλές τιμές.



Εικόνα 5: Χάρτης του δείκτη NDVI σε περιβάλλον Google Earth, που απεικονίζει την υγιή βλάστηση (λευκό) στην ευρύτερη περιοχή του Κιάτου.

III. GNDVI

Ο Δείκτης κανονιοποιημένης διαφοράς βλάστησης στο πράσινο (GNDVI) είναι μια τροποποίηση του NDVI όπου το κόκκινο τμήμα αντικαθίσταται από την ανάκλαση στην πράσινη ζώνη (Gitelson et al., 1996). Ο GNDVI είναι πιο ευαίσθητος στην συγκέντρωση χλωροφύλλης σε σχέση με τον NDVI και οι τιμές του κυμαίνεται από 0 έως 1,0.



Εικόνα 6 :Χάρτης του δείκτη GNDVI που απεικονίζει την υγιή βλάστηση (πράσινο) στην ευρύτερη περιοχή του Κιάτου.

Εκτός από τους παραπάνω, υπάρχουν δείκτες βλάστησης οι οποίοι είναι σχεδιασμένοι έτσι ώστε να παρέχουν ένα μέτρο της περιεκτικότητας του νερού της βλάστησης. Η παράμετρος αυτή είναι σημαντική επειδή η υψηλότερη περιεκτικότητα σε νερό συχνά υποδηλώνει υγιέστερη βλάστηση και είναι πιθανό να αναπτυχθεί γρηγορότερα. Αυτοί οι δείκτες χρησιμοποιούν μετρήσεις ανάκλασης στις περιοχές υπέρυθρης ακτινοβολίας και εγγύς υπέρυθρης ακτινοβολίας, ώστε να πραγματοποιηθούν ολοκληρωμένες μετρήσεις της συνολικής περιεκτικότητας σε νερό. Ο πιο σημαντικός είναι ο **Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Νερού NDWI**. Στην ίδια κατηγορία ανήκουν ο **Κανονικοποιημένος Διαφορετικός Δείκτης Υπερύθρων (NDII)**, **Δείκτης ζώνης νερού (WBI)** και ο **Δείκτης έντασης υγρασίας (MSI)**.

IV. NDWI

Ακολουθώντας την ίδια λογική όπως για το NDVI, ο **Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Νερού NDWI** χρησιμοποιεί το κοντινό υπέρυθρο φάσμα και μια περιοχή στο βραχύ υπέρυθρο (short-wave infrared - SWIR) (Gao, 1996). Αντί να χρησιμοποιεί την κόκκινη ζώνη, η ανάκλαση στην οποία επηρεάζεται από τη χλωροφύλλη, χρησιμοποιείται μια περιοχή μεταξύ 1500 και 1750 nm όπου το νερό έχει υψηλή απορρόφηση. Η περιοχή του κοντινού υπέρυθρου είναι η ίδια όπως και με το NDVI, καθώς δεν απορροφάται το νερό σε αυτή την περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Ο NDWI δείκτης εκφράζεται με την ακόλουθη εξίσωση:

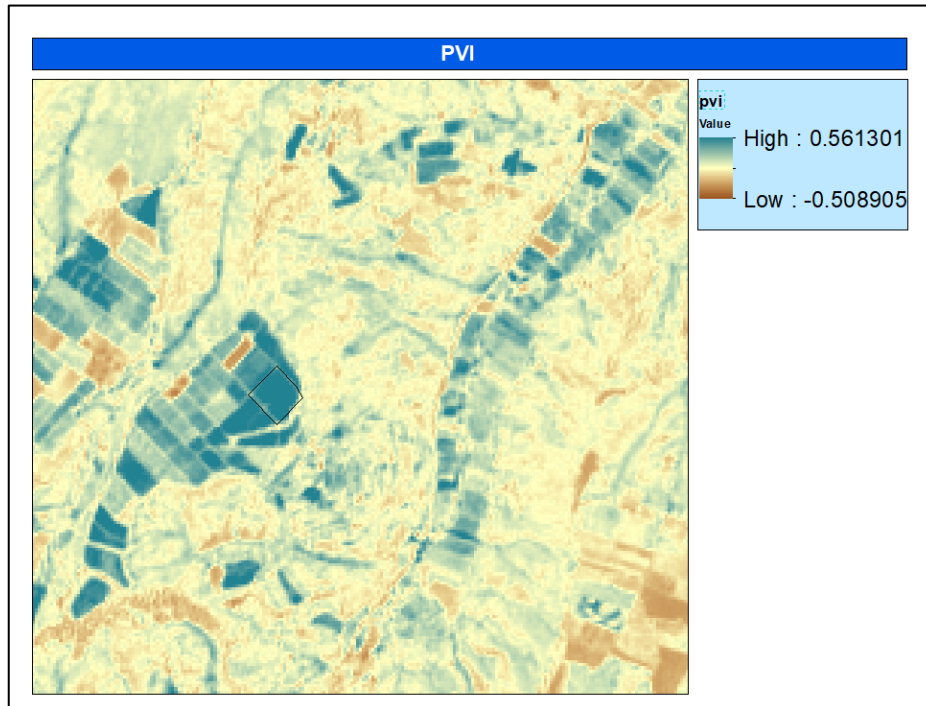
$$NDWI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$$

Οι εφαρμογές που χρησιμοποιείται περιλαμβάνουν την ανάλυση καταπόνησης βλάστησης εξαιτίας των δασικών πυρκαγιών, τη μοντελοποίηση της παραγωγικότητας των φυτών και τις μελέτες ευαισθησίας στη φωτιά.

V. PVI

Ο **κατακόρυφος δείκτης βλάστησης (PVI)** υπολογίζει την κατακόρυφη απόσταση της ραδιομετρικής τιμής κάθε pixel από τη γραμμή των ραδιομετρικών τιμών του εδάφους. Οι περιοχές με απουσία βλάστησης χαρακτηρίζονται όταν η κατακόρυφη απόσταση των pixels από τη γραμμή εδάφους είναι μικρότερη του 7, ενώ σε αντίθετη περίπτωση υπάρχει παρουσία βλάστησης. Για τον υπολογισμό του PVI απαιτείται ατμοσφαιρική διόρθωση των εικόνων γιατί είναι αρκετά ευαίσθητος στις ατμοσφαιρικές μεταβολές (Εικόνα 7). Οι συντελεστές a και b αντιπροσωπεύουν την κλίση και το σημείο τομής αντίστοιχα της γραμμής του εδάφους (Richardson et al., 1977). Ο PVI δείκτης εκφράζεται με την ακόλουθη εξίσωση:

$$PVI = 1/\sqrt{a^2+1} (\rho NIR - a \rho_{red} - b)$$



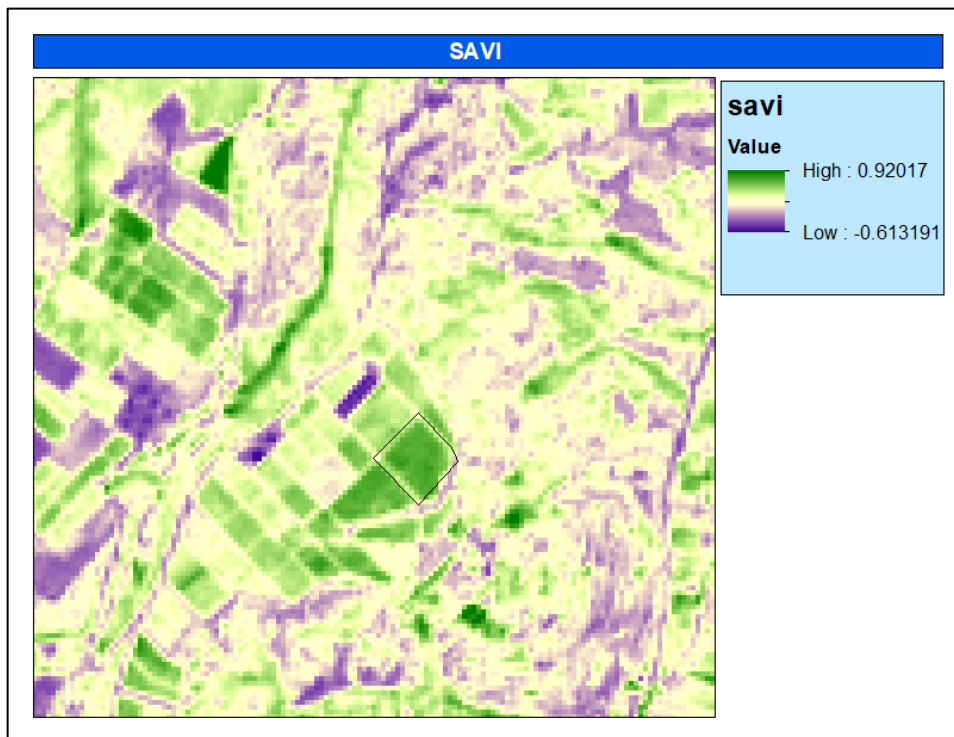
Εικόνα 7: Χάρτης του δείκτη PVI που απεικονίζει την υγιή βλάστηση (πράσινο) στην ευρύτερη περιοχή του Κιάτου.

Η αδυναμία του PVI είναι ότι βασίζεται στην υπόθεση ότι θα υπάρχει μόνο ένας τύπος εδάφους κάτω από τη βλάστηση. Ωστόσο, αυτό δεν συμβαίνει πάντα, ιδιαίτερα σε μεγάλες περιοχές, όπου συχνά υπάρχει ένα μείγμα από διαφορετικούς τύπους εδαφών (για παράδειγμα ένα μείγμα από χώμα και πέτρες) μέσα σε πολύ μικρό χώρο. Ο *Huete (1988)* πρότεινε τον **Εδαφικά Προσαρμοσμένο Δείκτη Βλάστησης (SAVI)** για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος.

VI. SAVI

Ο **εδαφικά προσαρμοσμένος δείκτης βλάστησης (SAVI)** είναι ένα υβρίδιο μεταξύ ενός αναλογικού δείκτη NDVI και του κάθετου δείκτη PVI και δημιουργήθηκε με στόχο την ελάττωση των επιπτώσεων της φωτεινότητας του εδάφους. Για το σκοπό αυτό υπάρχει ο συντελεστής εδάφους L ο οποίος λαμβάνει τιμές ανάλογα με τα φασματικά χαρακτηριστικά του εδάφους. Οι τιμές του L εξαρτώνται από την πυκνότητα της βλάστησης. Για πλήρη κάλυψη από τη βλάστηση λαμβάνει την τιμή μηδέν, με το αποτέλεσμα το SAVI να γίνει ίδιος με τον NDVI. Για πολύ αραιή βλάστηση λαμβάνει την τιμή 1. Ο *Huete (1988)* πρότεινε ότι η τιμή του 0,5 να χρησιμοποιείται όταν η κάλυψη της βλάστησης είναι άγνωστη, καθώς το 0,5 αντιπροσωπεύει την ενδιάμεσο κάλυψη της βλάστησης. Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του SAVI απεικονίζονται ως διαβαθμίσεις του πράσινου έως του μωβ (*Εικόνα 8*). Διακρίνονται με σκούρους τόνους του μωβ οι δασικοί και επαρχιακοί δρόμοι ενώ οι υψηλοί τόνοι του πράσινου αποτυπώνουν την υγιή φυσική βλάστηση. Ο τύπος εκφράζεται ως εξής:

$$SAVI = \rho NIR - \rho red / (\rho NIR + \rho red + L) (1 + L)$$



Εικόνα 8: Χάρτης του δείκτη SAVI που απεικονίζει την υγιή βλάστηση (πράσινο) στην ευρύτερη περιοχή του Κιάτου.

VII. TSAVI

Άλλοι δείκτες, όπως ο **Transformed Soil-Adjusted Vegetation Index (TSAVI)** (Baret και Guyot, 1991). Όπου a και b είναι οι παράμετροι της γραμμής του εδάφους (κλίση και σταθερά της γραμμής του εδάφους) και χ έχει ρυθμιστεί έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί η επίδραση υποβάθρου και η τιμή του είναι 0,08. Οι τιμές TSAVI κυμαίνονται από 0 για γυμνό έδαφος και είναι κοντά σε 0,70 για πολύ πυκνές καλύψεις, όπως αναφέρθηκε από τους Baret and Guyot (1991).

$$TSAVI = a(\rho NIR - \rho red - b) / [a\rho NIR + \rho red - a b + \chi (1 + a^2)]$$

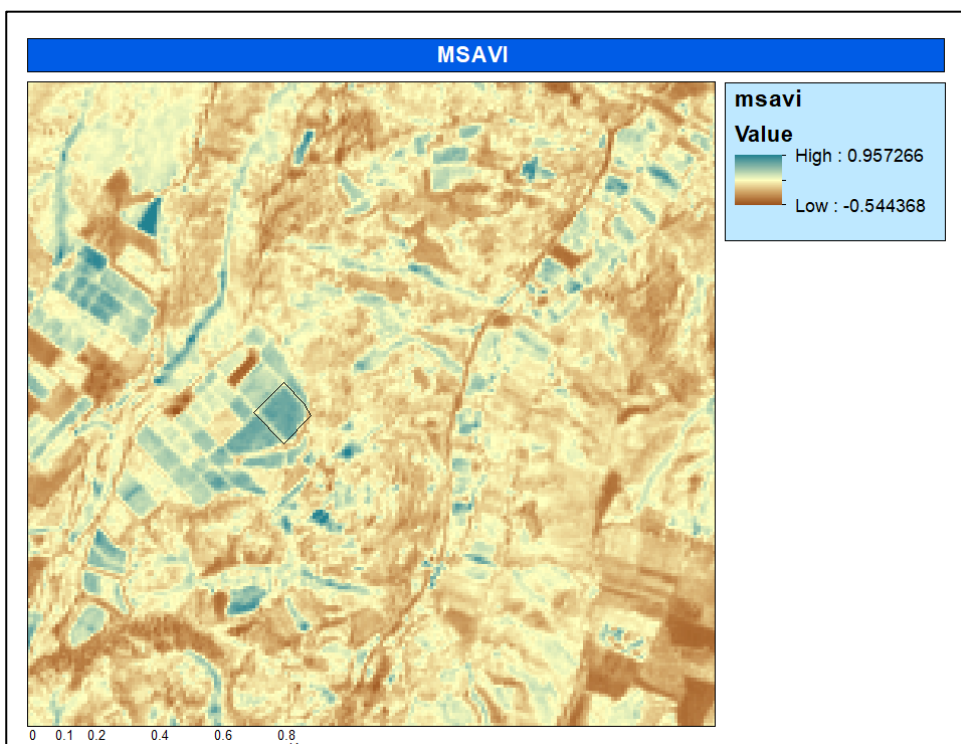
Σε 40%, επίπεδο κάλυψη βλάστησης, το επίπεδο θορύβου του NDVI είναι 4 φορές αυξημένο σε σχέση με του WdVI και σχεδόν 10 φορές του SAVI, και αντιστοιχούν σε σφάλμα εκτίμησης βλάστησης +/- 23% για το κάλυμμα NDVI, +/- 7% για το WdVI, και +/- 2,5% για το SAVI. Επομένως, το SAVI είναι ένας πιο αντιπροσωπευτικός δείκτης βλάστησης από τους άλλους, αλλά η βελτιστοποίηση του συντελεστή L θα αυξήσει περαιτέρω την αξία του (Qi et al., 1994).

VIII. MSAVI

Οι Qi et al. (1994) ανέπτυξαν τον **τροποποιημένο δείκτη βλάστησης εδάφους (MSAVI)**. Αυτός ο δείκτης παρέχει ένα μεταβλητό διορθωτικό συντελεστή L (Εικόνα 9). Ο συντελεστής διόρθωσης βασίζεται στον υπολογισμό του NDVI και του WdVI όπως φαίνεται από τις εξισώσεις :

$$\text{MSAVI} = \rho\text{NIR} - \text{pred} / (\rho\text{NIR} + \text{pred} + L) (1+L)$$

Όπου L υπολογίζεται ως εξής: $L = 1 - 2 a * \text{NDVI} * \text{WDVI}$



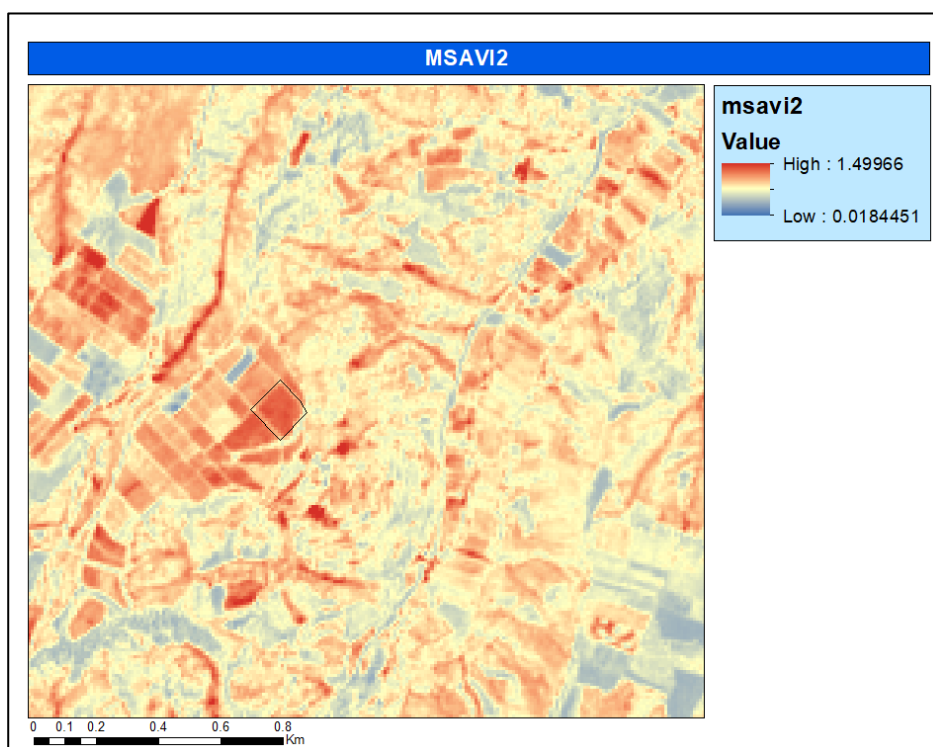
Εικόνα 9: Χάρτης του δείκτη MSAVI που απεικονίζει την υγιή βλάστηση (πράσινο) στην ευρύτερη περιοχή του Κιάτου.

IX. MSAVI2

Ο τροποποιημένος εδαφικά προσαρμοσμένος δείκτης βλάστησης (**MSAVI2**), δημιουργήθηκε με στόχο τη διόρθωση της φωτεινότητας του εδάφους σε διαφορετικές συνθήκες κάλυψης της βλάστησης. Αναλυτικότερα πετυχαίνει: (α) την απομάκρυνση του «θορύβου» από την ανάκλαση του εδάφους όταν δεν το κατορθώνουν άλλοι δείκτες βλάστησης όπως ο NDVI και (β) την κανονικοποιημένη διόρθωση ώστε οι τιμές να μην είναι εκτός του διαστήματος [-1, 1], γεγονός που παρατηρείται σε άλλους δείκτες. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα του δείκτη MSAVI2 είναι ότι δεν απαιτείται εμπειρικός προσδιορισμός της γραμμής του εδάφους. Οι τιμές κάτω από 0 υποδηλώνουν απουσία βλάστησης ενώ πάνω από 0 παρουσία βλάστησης (Qi et al, 1994).

$$\text{MSAVI} = 2 \rho\text{NIR} + 1 - [(2 \rho\text{NIR} + 1)^2 - 8(\rho\text{NIR} - \text{pred})]^{0.5} / 2$$

Στην εικόνα που ακολουθεί (**Εικόνα 10**) η ευρύτερη περιοχή του Κιάτου (Κόρινθος) αποτυπώνεται με δορυφορική εικόνα Sentinel 2. Οι κόκκινες περιοχές χαρακτηρίζουν την παρουσία υγιούς βλάστησης. Αντίστοιχα η δημιουργία του δείκτη MSAVI2 προσδιορίζει τις περιοχές με υψηλή βιομάζα άρα τα αντίστοιχα pixels θα εμφανίζονται με υψηλούς τόνους του κόκκινου.



Εικόνα 10:Χάρτης του δείκτη MSAVI2 που απεικονίζει την υγιή βλάστηση στην ευρύτερη περιοχή του Κιάτου.

X. EVI

Ο **Ενισχυμένος Δείκτης Βλάστησης (EVI)** αναπτύχθηκε για εφαρμογές δορυφορικών δεδομένων του δορυφόρου MODIS. Ουσιαστικά αποτελεί τροποποίηση του NDVI με σκοπό να δώσει καλύτερα αποτελέσματα χρησιμοποιώντας έναν συντελεστή προσαρμογής για το έδαφος, (L) και δύο συντελεστές C1 & C2 που διορθώνουν τις ατμοσφαιρικές επιδράσεις στο μπλε και κόκκινο τμήμα του ΗΜΦ. Ο EVI εμφανίζει μεγάλη ευαισθησία σε περιοχές με υψηλά ποσοστά βιομάζας ενώ παράλληλα ελαχιστοποιεί τις ατμοσφαιρικές επιδράσεις (Huete et al., 1999).

XI. WdVI

Ο **δείκτης βλάστησης σταθμισμένης διαφοράς (WdVI)** αποτελεί ένα απλό σχετικά αλλά αρκετά αποδοτικό δείκτη. Ο συντελεστής α εκφράζει την κλίση της γραμμής του εδάφους. Η στάθμιση του κόκκινου φασματικού καναλιού με τον συντελεστή κλίσης συμβάλει στην ενίσχυση του σήματος της βλάστησης στο κοντινό υπέρυθρο κανάλι και αντίστοιχα στην ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων της φωτεινότητας του εδάφους. Ο WdVI δείκτης είναι αρκετά ευαίσθητος στις ατμοσφαιρικές επιδράσεις γι' αυτό και οι αρχικές εικόνες πρέπει να έχουν υποστεί ατμοσφαιρική διόρθωση (Richardson et al., 1977; Clevers 1988).

XII. ARVI / SARVI / SARVI2

Ο Kaufman και ο Tanré (1992) ανέπτυξαν τον Δείκτη Βλάστησης Ατμόσφαιρας (ARVI) και τον Δείκτη Βλάστησης (SARVI και SARVI2) όπου οι ανακλάσεις διορθώνονται για τη μοριακή διασπορά και την απορρόφηση του όζοντος. Ο δείκτης ARVI είναι μια τροποποιημένη έκδοση του NDVI που είναι σχετικά ανεπηρέαστη στους ατμοσφαιρικούς παράγοντες και είναι χρησιμότερος σε περιοχές με ατμοσφαιρικά φαινόμενα. Λειτουργεί με τη χρήση μετρήσεων ανακλαστικότητας στα μπλε μήκη κύματος για τη διόρθωση των επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής σκέδασης που καταγράφονται στο κόκκινο φάσμα ανάκλασης. Το εύρος του είναι -1 προς 1 όπου η πράσινη βλάστηση κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0,20 έως 0,80. Ο SARVI2 καθώς και οι ARVI, SARVI είναι σε θέση να αφαιρέσουν τα αποτελέσματα του καπνού και των σύννεφων από τις εικόνες (Huete et al., 1996). Οι Liu και Huete (1995) ενσωμάτωσαν έννοιες ρύθμισης του εδάφους και ατμοσφαιρικής αντοχής στον τροποποιημένο κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης (MNDVI).

XIII. SG

Ο δείκτης SG χρησιμοποιείται γενικά για την ανίχνευση αλλαγών στην πράσινη βλάστηση. Χρησιμεύει στην ανίχνευση της δασικής διαταραχής, επειδή είναι ιδιαίτερα ευαίσθητος σε μικρές αλλαγές στα άνοιγματα της συγκόμμωσης της βλάστησης. Η τιμή αυτού του δείκτη κυμαίνεται από 0 έως περισσότερο από 50 (σε μονάδες% ανάκλασης). Η κοινή περιοχή για την πράσινη βλάστηση είναι η ανακλαστικότητα 10 έως 25 τοις εκατό.

Επιπλέον, υπάρχουν ειδικοί δείκτες βλάστησης που έχουν προταθεί κατά το παρελθόν, με δεδομένα υψηλής φασματικής διακριτικής ικανότητας (στενές περιοχές του φάσματος), εξετάζοντας ειδικότερα τη χλωροφύλλη και την ευρωστία στα φυτά. Αυτές οι χρωστικές συμβάλλουν στην φωτοσυνθετική απόδοση χρήσης φωτός και είναι χρήσιμες για την ποσοτικοποίηση της παραγωγής της βλάστησης, και του στρες. Σε αυτούς περιλαμβάνονται ο **Δείκτης Φωτοχημικής Ανάκλασης (PRI)** ο οποίος εκμεταλλεύεται τις αλλαγές στις καροτενοειδείς χρωστικές ουσίες, που απορροφώνται από το ζωντανό φύλλωμα και ο αναλογικός **δείκτης Κανονικοποιημένων Χρωστικών Χλωροφύλλης (NPCI; Penuelas et al., 1994)**, καθώς και ο δείκτης **Περιεχόμενης Χλωροφύλλης στον Θόλο (CCCI; Barnes et al., 2000)**.

Φυσικά η λίστα με τους δείκτες βλάστησης δεν περιορίζεται στις παραπάνω αναφορές. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του δορυφορικού δέκτη αλλά και τις ανάγκες εφαρμογής, έχουν αναπτυχθεί αρκετές δεκάδες δεικτών όπως οι δείκτες ξηρασίας (Ratio Drought Index-RDI) οι οποίοι εκμεταλλεύονται τα χαρακτηριστικά που απαντώνται στα συστατικά της βλάστησης κατά τη γήρανση, όπως οι μεταβολές της λιγνίνης και της κυτταρίνης. Οι πιο γνωστοί σε αυτήν την κατηγορία είναι ο **Δείκτης Αντανάκλασης Φυτών**

(PSRI), ο Δείκτης απορρόφησης κυτταρίνης (CAI), ο Δείκτης Ομαλοποιημένης διαφοράς λινίνης (NDLI). Επίσης έχουν δημιουργηθεί δείκτες που παρέχουν ένα μέτρο συγκέντρωσης αζώτου στο φύλλωμα (Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Αζώτου (NDNI)). Τα φυτά που εμφανίζουν ταχεία ανάπτυξη γενικά περιέχουν υψηλή συγκέντρωση αζώτου, η οποία ανιχνεύεται στο μήκος κύματος SWIR. Υψηλή μετρούμενη ανάκλαση σε αυτό το μήκος κύματος δείχνει σχετικά μεγάλη συγκέντρωση αζώτου.

Τέλος, εκτός από τους παραπάνω δείκτες υπάρχουν και άλλοι οι οποίοι είναι σχεδιασμένοι να παρέχουν ένα μέτρο της συνολικής ποσότητας και της ποιότητας του φωτοσυνθετικού υλικού στη βλάστηση. Αυτοί οι δείκτες να είναι πιο ευαίσθητοι σε μικρότερες αλλαγές στην υγεία της βλάστησης, ιδιαίτερα σε συνθήκες πυκνής βλάστησης. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιούν μετρήσεις ανάκλασης στις περιοχές κόκκινου και εγγύς υπέρυθρου. Η χρήση μετρήσεων κοντά στην υπέρυθρη ακτινοβολία, επιτρέπει την εκτίμηση της συνολικής ποσότητας πράσινου υλικού. Σε αυτήν την κατηγορία περιλαμβάνονται οι δείκτες **mNDVI705**, **NDVI705**, **mSR705**, **VOG1**, **VOG2**, **VOG3**, **REP**, οι οποίοι περιγράφονται περαιτέρω στο Παράρτημα.

2.5 Δορυφορικά συστήματα Τηλεπισκόπησης

Δύο είναι τα βασικά δορυφορικά συστήματα παρακολούθησης και απεικόνισης της Γης (Παρχαρίδης, 2015):

- i. Τα συστήματα τηλεπισκόπησης που καταγράφουν τη «φυσική» ακτινοβολία ονομάζονται παθητικά. Για την ανακλώμενη ενέργεια αυτό συμβαίνει κατά τη διάρκεια της ημέρας όταν ο ήλιος φωτίζει τμήματα της Γης, ενώ δεν υπάρχει ανακλώμενη ενέργεια τη νύχτα. Η με φυσικό τρόπο εκπεμπόμενη ενέργεια (θερμικό υπέρυθρο) μπορεί να καταγραφεί ημέρα ή νύχτα και εφόσον το ποσό της ενέργειας είναι τέτοιο ώστε να είναι δυνατή η καταγραφή. Τα παθητικά συστήματα χρησιμοποιούν το τμήμα του φάσματος από πολύ μικρά μήκη κύματος (μικρότερα του 0,4 μm) έως την περιοχή του μήκους κύματος 1.000 μm.
- ii. Τα ενεργητικά συστήματα είναι εκείνα που καταγράφουν ηλεκτρομαγνητικά κύματα που εκπέμπονται από άλλη εξωτερική πηγή ή από το ίδιο το όργανο καταγραφής. Συνήθως το σύστημα καταγραφής είναι αυτό που εκπέμπει και την ενέργεια προς την επιφάνεια και στη συνέχεια ανακλάται επιστρέφει και καταγράφεται η «ηχώ» του σήματος από το ίδιο το σύστημα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου τύπου οργάνου είναι τα Radars που εκπέμπουν στην περιοχή των μικροκυμάτων. Η ανάγκη των ενεργών συστημάτων σε ενέργεια είναι μεγάλη και για τον λόγο αυτό η λειτουργία τους δεν είναι συνεχής.

Οι κάμερες και οι σαρωτές αποτελούν οπτικά συστήματα και είναι παθητικοί αισθητήρες, δηλαδή καταγράφουν την ανακλώμενη ή εκπεμπόμενη «φυσική» ακτινοβολία (με πηγή ακτινοβολίας τον ήλιο) ενώ τα SAR αποτελούν ενεργητικούς αισθητήρες, δηλαδή στέλνουν και δέχονται πίσω τα μικροκυματικά σήματα (με πηγή και δέκτη της ακτινοβολίας τον ίδιο τον αισθητήρα).

2.5.1 *Ενεργά δορυφορικά συστήματα (RADAR)*

i. Envisat

Ο δορυφόρος Envisat εκτοξεύτηκε την 1η Μαρτίου 2002. Επρόκειτο για έναν προηγμένο δορυφόρο πολιτικής τροχιάς για παρατήρηση της Γης, που παρείχε μετρήσεις της ατμόσφαιρας, των ωκεανών, του εδάφους και των πάγων. Τα δεδομένα του Envisat υποστήριξαν την επιστημονική έρευνα της Γης και κατέστησαν δυνατή την παρακολούθηση των περιβαλλοντικών και κλιματικών αλλαγών. Επίσης, τα δεδομένα του συνέβαλαν στην ανάπτυξη διαφόρων επιχειρησιακών και εμπορικών εφαρμογών. Η αποστολή του Envisat ολοκληρώθηκε στις 8 Απριλίου 2012. Το προηγμένο ραδιόμετρο σάρωσης κατά μήκος της τροχιάς (AATSR) διασφάλισε τη συνέχιση της συλλογής των ομάδων δεδομένων για ακριβείς μετρήσεις της επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας (με ακρίβεια 0,3 K ή υψηλότερη) με σκοπό την υποβοήθηση της κλιματικής έρευνας και τη χρήση από διάφορους επιχειρησιακούς και επιστημονικούς φορείς. Ένα προηγμένο ραντάρ συνθετικού ανοίγματος (ASAR), που λειτουργούσε στη ζώνη C, διασφάλισε τη συνέχιση της συλλογής δεδομένων μετά τον δορυφόρο ERS-2. Διέθετε βελτιωμένες δυνατότητες σε ό,τι αφορά την κάλυψη, το εύρος των γωνιών πρόσπτωσης, την πολικότητα και τους τρόπους λειτουργίας. Οι βελτιώσεις κατέστησαν δυνατή τη ρύθμιση της γωνίας ανύψωσης της δέσμης ραντάρ και την επιλογή διαφόρων ζωνών σάρωσης πλάτους 100 ή 400 km.

ii. Δορυφόρος TerraSAR-x

Ο TerraSAR-X είναι ένας γερμανικός δορυφόρος παρατήρησης της Γης. Το κύριο φορτίο του είναι ένας αισθητήρας ραντάρ που λειτουργεί στο φασματικό κανάλι X, ο οποίος περιλαμβάνει διάφορους τρόπους λειτουργίας, επιτρέποντας την καταγραφή εικόνων σε διαφορετικά πλάτη λωρίδας σάρωσης (swath), αλλά και σε διαφορετικές αναλύσεις και πολώσεις. Έτσι, ο δορυφόρος TerraSAR-x προσφέρει ικανότητες διαστημικής παρατήρησης της Γης που προηγουμένως δεν ήταν διαθέσιμες. Ο στόχος της αποστολής είναι να παρέχει δεδομένα SAR στο κανάλι X, για έρευνα και ανάπτυξη, καθώς επίσης και για επιστημονικές και εμπορικές εφαρμογές. Ο δορυφόρος βρίσκεται σε μια σχεδόν πολική τροχιά γύρω από τη Γη, σε υψόμετρο 514 χιλιομέτρων. Χρησιμοποιώντας την κεραία του ραντάρ, είναι σε θέση να παράγει δεδομένα με

ανάλυση μέχρι ένα μέτρο, ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες, νέφωση ή απουσία του φωτός της ημέρας. Ο TerraSAR-X έχει τεθεί σε πλήρη λειτουργία από τις 7 Ιανουαρίου 2008.

iii. Sentinel 1

Ο δορυφόρος Sentinel-1A εκτοξεύτηκε στις 3 Απριλίου 2014 και η προσδοκώμενη διάρκεια αποστολής είναι τα 7 έτη. Είναι ηλιοσύγχρονου τύπου και κυκλικής τροχιάς, το υψόμετρο τροχιάς είναι 693 χιλιόμετρα και η κλίση του είναι 98,18ο ενώ το όχημα εκτόξευσης είχε την ονομασία Soyuz ro ket. Οι διαστάσεις του σκάφους είναι: 3.9 x 2.6 x 2.5 m με το βάρος να φτάνει τα 2.300 κιλά. Διάφορες εικόνες του δορυφόρου Sentinel-1 διατίθενται στο διαδίκτυο (ESA, Space for Educators 2015).

Ο Sentinel-1 είναι ένας δορυφόρος που έχει ως πρωταρχικούς στόχους την παρακολούθηση της γης και των ωκεανών. Ο στόχος της αποστολής είναι να δώσει συνέχεια στον C-Band SAR μετά από την αποχώρηση του ERS-2 και το τέλος της αποστολής του δορυφόρου Envisat. Για να επιτευχθεί αυτό, οι δορυφόροι μεταφέρουν έναν αισθητήρα C-SAR, ο οποίος προσφέρει μέσης και υψηλής ευκρίνειας απεικόνιση σε όλες τις καιρικές συνθήκες. Το C-SAR είναι σε θέση να λάβει εικόνες και τη νύχτα αλλά και να ανιχνεύει κινήσεις επί του εδάφους, που το καθιστά χρήσιμο για χερσαία και θαλάσσια παρακολούθηση.

Οι στόχοι αυτής της αποστολής είναι οι ακόλουθοι:

- i. Την παρακολούθηση της γης, των δασών, των υδάτων, του εδάφους και της γεωργίας.
- ii. Υποστήριξη χαρτογράφησης έκτακτης ανάγκης σε περίπτωση φυσικών καταστροφών.
- iii. Παρακολούθηση του θαλάσσιου περιβάλλοντος.
- iv. Παρατηρήσεις του πάγου και των παγόβουνων.
- v. Παραγωγή υψηλής ανάλυσης διαγράμματα πάγου.
- vi. Πρόβλεψη συνθηκών πάγου στη θάλασσα.
- vii. Χαρτογράφηση πετρελαιοκηλίδων.
- viii. Εντοπισμός σκαφών στη θάλασσα.
- ix. Παρακολούθηση της κλιματικής αλλαγής.

2.5.2 Οπτικά δορυφορικά συστήματα

i. Δορυφορικό πρόγραμμα LANDSAT

Το πρώτο πρόγραμμα που έθεσε σε λειτουργία η NASA το 1967 ήταν το ERTS (Earth Resource Technology Satellite). Το πρόγραμμα αυτό είχε σαν σκοπό την εκτόξευση πέντε δορυφόρων οι οποίοι μετέφεραν διάφορα συστήματα τηλεπισκόπησης, τα οποία αρχικά είχαν σχεδιαστεί για να αποκτούν πληροφορίες

για τις πλουτοπαραγωγικές πηγές της Γης. Ο πρώτος δορυφόρος εκτοξεύτηκε στις 23 Ιουλίου του 1972 και ονομαζόταν ERTS-1.

Οι δορυφόροι LANDSAT-1, 2 και 3 (βάρους 815 kgf και διαστάσεων περίπου 3m ύψος, 4m πλάτος και 1,5m διάμετρο) είχαν παρόμοια χαρακτηριστικά στη λειτουργία τους και ονομάζονταν δορυφόροι πρώτης γενιάς. Είχαν σχήμα πεταλούδας, με το κύριο μέρος να έχει κυλινδρικό σχήμα. Τα ηλιακά πτερύγια είχαν μήκος 4m περίπου και τέθηκαν σε τροχιά ύψους 900km. Περιστρέφονταν γύρω από τη Γη σε χρόνο 103min, δηλαδή εκτελούσαν 14 περιστροφές την ημέρα. Η τροχιά τους ήταν σχεδόν πολική και έτεμνε τον Ισημερινό υπό γωνία 99°, η οποία και τους καθιστούσε σχεδόν πολικούς. Ταυτόχρονα ήταν και ηλιοσύγχρονοι (sun-synchronous), πράγμα που σήμαινε ότι η ταχύτητα περιστροφής του δορυφόρου γινόταν με την ίδια γωνιακή ταχύτητα με αυτήν της Γης γύρω από τον Ήλιο. Σε αυτό το χαρακτηριστικό της τροχιάς οφείλεται το γεγονός ότι οι δορυφόροι περνούσαν από τον Ισημερινό την ίδια τοπική ώρα στη φωτεινή πλευρά της Γης. Η διεύθυνση σάρωσης γινόταν από Βορρά προς Νότο και έτσι κάλυπταν ολόκληρη την επιφάνεια της Γης εκτός από τους πόλους (από τις 82-90°) σε 18 μέρες.

Οι δορυφόροι LANDSAT-4 και LANDSAT-5 που τέθηκαν σε τροχιά στις 16/7/1982 και 1/3/1984 αντίστοιχα αποτελούν τη συνέχεια των δορυφόρων πρώτης γενιάς. Η τροχιά τους παραμένει κυκλική, ηλιοσύγχρονη και σχεδόν πολική. Η βελτίωση των σαρωτών συνοδεύτηκε και από τη βελτίωση των συστημάτων μετάδοσης των δεδομένων από τους LANDSAT 4 και 5 στους επίγειους σταθμούς λήψης μέσω βοηθητικών δορυφόρων αναμετάδοσης των δεδομένων που τέθηκαν σε τροχιά (Sabins, 1997).

Ο δορυφόρος Landsat 7 εκτοξεύτηκε στις 15 Απριλίου 1999 και κινείται σε τροχιά γύρω από τη Γη σε ύψος περίπου 705km, είναι ηλιοσύγχρονος, με κλίση περίπου 98° και τέμνει τον Ισημερινό στις 10 π.μ. Μεταφέρει έναν Βελτιωμένο Θεματικό Χαρτογράφο (ETM+, Enhanced Thematic Mapper Plus), σε σχέση με τον απλό Θεματικό Χαρτογράφο (TM) που μετέφερε ο Landsat 5. Τέλος ο δορυφόρος Landsat 8 εκτοξεύτηκε στις 11 Φεβρουαρίου 2013 από την αεροπορική βάση Vandenberg στην Καλιφόρνια, και αναπτύχθηκε από τη NASA σε συνεργασία με την γεωλογική υπηρεσία των ΗΠΑ (USGS). Η NASA ανέλαβε τον σχεδιασμό, την κατασκευή, την εκτόξευση και τα εν τροχιά στάδια βαθμονόμησης του δορυφόρου, περίοδο κατά την οποία ο δορυφόρος ονομαζόταν Landsat Data Continuity Mission (LDCM). Στις 30 Μαΐου του 2013 το USGS ανέλαβε τις διαδικασίες λειτουργίας του δορυφόρου και πλέον, οι διαδικασίες βαθμονόμησης, ο δορυφορικός χειρισμός, η παραγωγή και η αποθήκευση δεδομένων στο κέντρο Earth Resources Observation and Science (EROS) είναι αντικείμενο εργασίας του USGS. Μετά από τη μετάβαση αυτή ο δορυφόρος μετονομάστηκε σε Landsat 8.

ii. Terra

Ο δορυφόρος Terra εκτοξεύτηκε στις 18 Δεκεμβρίου του 1999 από τη NASA και ξεκίνησε να στέλνει δεδομένα τον Φεβρουάριο το 2000. Αποτελεί κοινό πρόγραμμα των ΗΠΑ, της Ιαπωνίας και του Καναδά

και μεταφέρει 5 όργανα καταγραφής. Οι Ηνωμένες Πολιτείες παρείχαν διαστημικό σκάφος και 3 όργανα καταγραφής (CERES, MISR, MODIS), το ιαπωνικό Υπουργείο Διεθνούς Εμπορίου και Βιομηχανίας παρείχε το όργανο καταγραφής ASTER και τέλος, η καναδική Υπηρεσία Διαστήματος σε συνεργασία με το Πανεπιστήμιο του Τορόντο παρείχε το όργανο καταγραφής MORITT.

iii. IKONOS

Ο δορυφόρος IKONOS, ο πρώτος εμπορικός δορυφόρος για δεδομένα υψηλής χωρικής ανάλυσης, τέθηκε σε τροχιά με επιτυχία στις 24 Σεπτεμβρίου 1999. Ο αισθητήρας του IKONOS είναι υψηλής ανάλυσης και λειτουργεί από εταιρεία DigitalGlobe. Οι δυνατότητές του περιλαμβάνουν τη λήψη πολυφασματικών εικόνων (ορατό και κοντινό υπερευθρό) με διακριτική ικανότητα 3,2m, και σε ένα παγχρωματικό κανάλι με 0,82m διακριτική ικανότητα στο ναδύρ. Οι εφαρμογές του περιλαμβάνουν τόσο στο αστικό όσο και στο αγροτικό περιβάλλον, χαρτογράφηση των φυσικών πόρων και των φυσικών καταστροφών, τη γεωργία και τη δασοκομία, την εξόρυξη ορυκτών πόρων, τη μηχανική, τις κατασκευές και την ανίχνευση των αλλαγών.

iv. Δορυφορικό σύστημα SPOT

Σχεδιάστηκε το 1978 από το CNES (Centre National D'Etudes Spatiales) και είναι από τα τυπικά συστήματα δεύτερης γενιάς των δορυφόρων παρατήρησης της Γης. Είναι επίσης ο πρώτος δορυφόρος που εκτοξεύτηκε από την Ευρώπη ελεγχόμενος από το Εθνικό Κέντρο Χωροταξικών Ερευνών της Γαλλίας, το Ινστιτούτο εικόνων SPOT και τη συμμετοχή του Βελγίου και της Σουηδίας. Ο πρώτος δορυφόρος αυτού του προγράμματος, ο SPOT-1, εκτοξεύτηκε στις 22 Φεβρουαρίου του 1986. Ο SPOT-2 τέθηκε σε τροχιά στις 22 Ιανουαρίου του 1990 και ακολουθούσε την τροχιά του SPOT-1 με διαφορά φάσης ώστε οι δορυφόροι να περνούν από την ίδια περιοχή κάθε 13 ημέρες, έχοντας και οι δύο τα ίδια περίπου τεχνικά χαρακτηριστικά.

v. Δορυφόρος QuickBird

Ο δορυφόρος QuickBird εκτοξεύτηκε στις 18 Οκτωβρίου 2001 και ξεκίνησε να πραγματοποιεί λήψεις εμπορικά διαθέσιμων δεδομένων εντός του 2002. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του επέτρεπαν τη λήψη δορυφορικών 55 δεδομένων με την υψηλότερη ανάλυση στην αγορά. Η υψηλή διακριτική τους ικανότητα (0,7m), σε συνδυασμό με το υψηλό βάθος τόνου (11 bit), καθιστούν τα παγχρωματικά δεδομένα QuickBird ικανά να μπορούν να καλύψουν απαιτήσεις εφαρμογών που δεν ήταν δυνατό να καλυφθούν με παλαιότερα δορυφορικά δεδομένα. Ταυτόχρονα προσέφερε μια νέα διάσταση στην ανάλυση και ακρίβεια που μπορεί να επιτευχθεί για περιβαλλοντικές εφαρμογές, εξαγωγή των χρήσεων γης, καταγραφή των επιπτώσεων από φυσικές καταστροφές κ.λπ. Επιπλέον, λόγω της δυνατότητας λήψης στερεοζευγών εντός τροχιάς, είναι δυνατή η επεξεργασία και παραγωγή DEM (εξαγωγή πληροφορίας και στην τρίτη διάσταση), με ανάλυση και ακρίβεια πρωτοποριακή για τον χώρο των δορυφορικών δεδομένων. Την 27η Ιανουαρίου 2015 ξαναμπήκε στη γήινη ατμόσφαιρα μετά την ολοκλήρωση της 13 χρόνων αποστολή του. Ο QuickBird πραγματοποίησε πάνω από 70.000 περιστροφές του πλανήτη, λαμβάνοντας εικόνες υψηλής ανάλυσης

της Γης που αντιστοιχούν σε περίπου 636.000.000 km² και που συνέβαλαν ώστε η ανθρωπότητα να κατανοήσει τον συνεχώς μεταβαλλόμενο πλανήτη μας.

vi. Sentinel 2

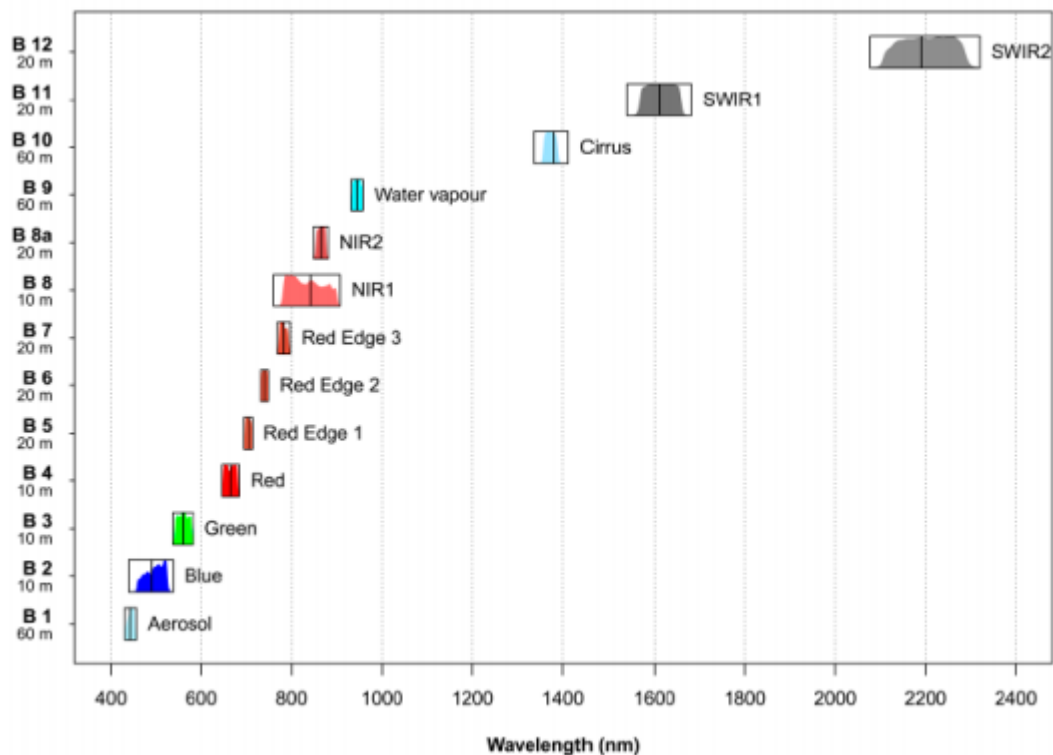
Ο δορυφόρος Sentinel 2 τέθηκε σε τροχιά στις 23/06/2015 μέσω ενός πυραύλου Vega από τον Ευρωπαϊκό Διαστημικό Σταθμό που βρίσκεται κοντά στο Κούρου στην Γαλλική Γουινέα. Έχει έναν υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας πολυφασματικό σαρωτή με δέκα τρία φασματικά κανάλια, εύρος ανοίγματος σάρωσης 290 Km, και συχνή επαναδιέλευση και καταγραφή της επιφάνειας της γης. Ουσιαστικά συνίσταται στην συνύπαρξη και στην συνέργεια δύο όμοιων δορυφόρων που καλύπτουν όλη την γήινη επιφάνεια. Κάθε ένας από τους δορυφόρους αυτούς ζυγίζει 1140 Kg. Έχουν σχεδιαστεί για 7 έτη και προοπτικές για ακόμη μεγαλύτερη διάρκεια ύπαρξης. Πετάνε σε ύψος 786 Km από την επιφάνεια της γης και έχουν γωνιακή απόκλιση 180ο μεταξύ τους. Επειδή υπάρχει επικάλυψη των δορυφορικών δεδομένων τους με τον δορυφόρο Landsat 8, η NASA και η ESA σε συνεννόηση οδήγησαν τους δύο δορυφόρους σε επαναδιέλευση 3 ημερών (από τον Ισημερινό). Οι δορυφόροι Sentinel 2 είναι προϊόντα συνεργασίας της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Διαστήματος (European Space Agency – ESA), μιας κοινοπραξίας 60 εταιρειών με επικεφαλής την Airbus Defense and Space και υποστηρίζονται από το Εθνικό Κέντρο Διαστημικών Μελετών (Centre National d' études Spatiales – CNES) της Γαλλίας και το Γερμανικό κέντρο Διαστημικής DLR, για την βελτιστοποίηση των καλύψεων της γήινης επιφάνειας. Οι δορυφόροι αυτοί είναι κατασκευασμένοι για να παρέχουν δεδομένα τόσο για αγροτικές όσο και για δασικές περιοχές με σκοπό την διατροφική ασφάλεια του πλανήτη. Θεωρείται κατάλληλος για τις παρακάτω εφαρμογές:

- Διαχείριση των αλλαγών των καλύψεων – χρήσεων γης.
- Καταγραφή δασικών περιοχών και δασικών καταστροφών.
- Διαχείριση και καταγραφή ανάπτυξης φυτικών πληθυσμών.
- Καταγραφή της μόλυνσης παράκτιων και λιμναίων περιοχών.
- Καταγραφικές και συνεχείς απεικονίσεις φυσικών καταστροφών όπως των πλημμυρών, ηφαιστειακών εκρήξεων και καθιζήσεων-ολισθήσεων εδαφών

Οι οπτικές εικόνες του Sentinel 2 προέρχονται από τον αισθητήρα Multi-Spectral Imager (MSI). Ο αισθητήρας καταγράφει σε 13 φασματικά κανάλια από 443nm έως 2190nm (Short Wave Infrared - SWIR).

Ο MSI έχει μεγάλο πλάτος σάρωσης στα 290 km, με την χωρική ανάλυση να φτάνει τα 10 m στα κανάλια του ορατού και του κοντινού υπέρυθρου. Από τα 13 φασματικά κανάλια τα 4 αφορούν τα κανάλια B2, B3, B4 του ορατού και το B8 του εγγύς υπέρυθρου 1 (NIR1) με χωρική ανάλυση στα 10 m, τα 5 με χωρική ανάλυση στα 20 m αφορούν στα κανάλια B5, B6, B7 της κόκκινης ακμής (red edge), B8a του εγγύς

υπέρουθρου 2 (NIR2), B11 και B12 του βραχύ υπέρυθρου (SWIR) και τα 3 με χωρική ανάλυση στα 60 m τα οποία συμβάλλουν στην ατμοσφαιρική διόρθωση και στην ανίχνευση σύννεφων (Εικόνα 11). Το κέντρο του πρώτου καναλιού είναι τα 433 nm και του τελευταίου 2190 nm.



Εικόνα 11 : Χαρακτηριστικά του πολυφασματικού αισθητήρα καταγραφής MSI του Sentinel 2 (Immitzer et al.,2016)

Ο Sentinel 2 αποτελεί ενισχυμένη συνέχεια των Landsat δορυφόρων με στενότερο εύρος μήκους κύματος καναλιών για τη βελτίωση της αναγνώρισης χαρακτηριστικών, με πρόσθετα κόκκινα κανάλια για την αξιολόγηση της βλάστησης και αφιερωμένα κανάλια για την βελτίωση της ατμοσφαιρικής διόρθωσης και την ανίχνευση Cirrus σύννεφων.

Τα Sentinel 2 προϊόντα διατίθενται μέσω του Sentinels Scientific Data Hub ως σύνολα δεδομένων ορθοεικόνων των 100 km² σε UTM/WGS84 προβολή με την πληροφορία της ανακλαστικότητας στην κορυφή της ατμόσφαιρας (top-of-atmosphere reflectance). Το UTM (Universal Transverse Mercator) σύστημα χωρίζει την επιφάνεια της γης σε 60 ζώνες. Κάθε ζώνη UTM έχει κάθετο πλάτος 6° γεωγραφικού μήκους και οριζόντιο πλάτος 8° γεωγραφικού πλάτους. Με το σύστημα αυτό τα πλακίδια (tiles) καλύπτονται είτε πλήρως είτε μερικώς από τα δεδομένα της εικόνας. Τα μερικώς καλυμμένα αντιστοιχούν στα άκρα της λωρίδας σάρωσης. Το κάθε πλακίδιο (tile) έχει μέγεθος 500 MB. Το κάθε πλακίδιο (granule) έχει έκταση 25×23 km². Κάθε tile αποτελείται από 13 JPEG-2000 εικόνες όσα και τα φασματικά κανάλια ενώ κάθε προϊόν περιλαμβάνει ένα σύνολο από tiles (περίπου 10-16). Τον ελληνικό χώρο συνθέτουν 64 tiles (εκ των οποίων τα 29 ανήκουν στην ζώνη 34 και τα υπόλοιπα 35 στην ζώνη 35) το καθένα από τα

οποία διαθέτει μοναδικό κωδικό (**Εικόνα 12**). Η κωδικοποίηση αυτή εξυπηρετεί στην διαχείριση και οργάνωση των Sentinel 2 δεδομένων.



Εικόνα 12: Πλέγμα πλακιδίων δορυφορικών εικόνων Sentinel 2 στον ελληνικό χώρο

Για την εξερεύνηση των προϊόντων παρέχεται η εργαλειοθήκη Sentinel 2 (SENTINEL-2 Toolbox) εντός της πλατφόρμας SNAP, η οποία μαζί με τον κώδικά της διατίθεται ελεύθερα από την ESA1 .

2.6 Προεπεξεργασία οπτικών δορυφορικών εικόνων

Η αποκατάσταση της εικόνας, ή αλλιώς διόρθωση, αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά στάδια της ψηφιακής επεξεργασίας, γιατί τα επόμενα στάδια, βασίζονται σε μεγάλο βαθμό σε αυτήν. Οι πιθανές ατέλειες του πρώτου σταδίου θα μεγιστοποιηθούν στα επόμενα στάδια, με αποτέλεσμα να έχουμε μείωση της πληροφόρησης από την εικόνα που τελικά θα δημιουργηθεί. Μια σειρά υπολογιστικών αλγορίθμων έχουν δημιουργηθεί για να διορθώνουν λάθη και παραμορφώσεις στις εικόνες. Τα σημαντικότερα λάθη που καλούμαστε να διορθώσουμε στην αποκατάσταση της εικόνας είναι:

- Οι ατμοσφαιρικές επιδράσεις.
- Οι γεωμετρικές παραμορφώσεις.

2.6.1 Ατμοσφαιρικές διορθώσεις

Η ένταση του ηλεκτρομαγνητικού σήματος που λαμβάνει ένας δορυφορικός δέκτης εξαρτάται από τους ακόλουθους παράγοντες (Mather, 1999): α) Την ανάκλαση από τον στόχο. β) Την κλίση και τον προσανατολισμό της επιφάνειας σε σχέση με το ηλιακό αζιμούθιο. γ) Την ατμοσφαιρική επίδραση. δ) Τη γωνία λήψης του δέκτη. ε) Τη γωνία του ηλιακού ύψους. Είναι λοιπόν φανερό ότι η ατμόσφαιρα παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην εξασθένηση του σήματος που φθάνει στον δορυφόρο. Αν και η τεχνολογία σήμερα έχει εξελιχθεί σε μεγάλο βαθμό και οι δέκτες-σαρωτές καταγράφουν με τον καλύτερο τρόπο την ανακλώμενη ακτινοβολία, αρκετές φορές η επίδραση της ατμόσφαιρας είναι μεγάλη και ειδικότερα στα μήκη κύματος του ορατού φάσματος. Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί αρκετοί αλγόριθμοι για την εφαρμογή των ατμοσφαιρικών διορθώσεων στις δορυφορικές εικόνες, έχοντας σαν σκοπό να προσεγγίσουν την πραγματικότητα. Η προσέγγιση αυτή πολλές φορές δεν είναι εφικτή λόγω της έλλειψης των απαραίτητων στοιχείων που απαιτούνται για την εφαρμογή του αλγόριθμου και τα οποία αφορούν την ατμόσφαιρα και τη δορυφορική λήψη για τη συγκεκριμένη ημερομηνία. Οι ατμοσφαιρικές διορθώσεις σε ορισμένες περιπτώσεις αποτελούν ένα απαραίτητο στάδιο προεπεξεργασίας των δεδομένων, θα πρέπει όμως να γίνονται προσεκτικά, ανάλογα με το αντικείμενο και τον στόχο της εφαρμογής, διότι είναι ένα δύσκολο κομμάτι της επεξεργασίας και είναι δυνατό να αλλοιώσουν τα πρωτογενή δεδομένα και να μην επιτευχθεί η βελτίωση που επιζητείται.

Η ατμοσφαιρική και τοπογραφική διόρθωση των πολυφασματικών εικόνων προηγήθηκαν όλων των υπόλοιπων διαδικασιών. Οι διορθώσεις πραγματοποιήθηκαν στο SNAP με το βοηθητικό plugin sen2cor το οποίο μετατρέπει τις τιμές της εικόνας από “Top of Atmosphere” (TOA) σε “Bottom of Atmosphere” (BOA) ή αλλιώς “Surface Reflectance” (δηλαδή σε τιμές ανάκλασης εδάφους).

Ο αλγόριθμός του Sen2cor αποτελεί έναν συνδυασμό διαφόρων τεχνικών που χρησιμοποιούνται για την ατμοσφαιρική διόρθωση και βασίζεται στην εφαρμογή κατωφλιών (thresholds) σε φασματικούς δείκτες και αναλογίες καναλιών (π.χ. NDVI, NDSI) που συσχετίζονται με ένα επίπεδο εμπιστοσύνης (level of confidence). Χρησιμοποιεί τις ανακλαστικές ιδιότητες των χαρακτηριστικών της σκηνής για να διαπιστώσει την παρουσία ή την απουσία νεφών. Η διαδικασία αυτή εφαρμόζεται στα δεδομένα προκειμένου να ανακτηθούν οι ακριβείς ατμοσφαιρικές και επιφανειακές παράμετροι που θα χρησιμοποιηθούν ως δεδομένα εισόδου στην περαιτέρω επεξεργασία. Η διόρθωση πραγματοποιείται με την χρήση ενός συνόλου πινάκων αναζήτησης (look-up tables) που δημιουργούνται μέσω του libRadtran και σχετίζονται με τον τύπο των αερολυμάτων, την γεωγραφική θέση, τις κλιματικές συνθήκες, κ.α

2.6.2 Γεωμετρικές διορθώσεις

Η πρωτογενής δορυφορική εικόνα εμφανίζει γεωμετρικές παραμορφώσεις οι οποίες διακρίνονται σε συστηματικές και μη συστηματικές παραμορφώσεις. Οι συστηματικές παραμορφώσεις είναι σταθερές και προβλέψιμες και μπορεί να οφείλονται σε στρέβλωση σάρωσης, στην ταχύτητα του κατόπτρου σάρωσης, στη στιγμιαία γωνία σάρωσης (πανοραμική παραμόρφωση), στην ταχύτητα του δορυφόρου στην περιστροφή της γης, στην προοπτική ή στο ανάγλυφο (Toulin, 2004).

Μια δορυφορική εικόνα δεν έχει τις ιδιότητες ενός χάρτη, και η κατάλληλη μετατροπή της για την απόκτηση της κλίμακας και των ιδιοτήτων προβολής ενός χάρτη ονομάζεται γεωμετρική διόρθωση. Η γεωμετρική διόρθωση έχει ως στόχο να μετασχηματίσει το σύστημα συντεταγμένων της εικόνας (x, y), το οποίο έχει παραμορφώσεις, σε ένα συγκεκριμένο σύστημα (X, Y) χαρτογραφικής προβολής. Είναι ένα σημαντικό βήμα στην επεξεργασία των δεδομένων διότι επιτρέπει π.χ. την εισαγωγή τους σε ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών και την ταυτόχρονη χρήση τους μαζί με άλλα θεματικά επίπεδα πληροφορίας. Κάθε χαρτογραφικό σύστημα προβολής είναι σχεδιασμένο ώστε να αναπαριστά την επιφάνεια μιας σφαίρας ή ενός ελλειψοειδούς σε ένα επίπεδο και σχετίζεται με ένα σύστημα συντεταγμένων. Το σύστημα αυτό ακολουθεί έναν κάρναβο του οποίου κάθε θέση εκφράζεται με ένα αριθμητικό ζεύγος X και Y (στήλες και σειρές). Η μετατροπή των δεδομένων μιας εικόνας από ένα σύστημα κάρναβου σε άλλο ονομάζεται γεωμετρική αναγωγή. Καθώς τα εικονοστοιχεία του νέου συστήματος δεν είναι σε «ευθυγράμμιση» με το παλαιό εφαρμόζεται η τεχνική της αναδόμησης.

Η γεωμετρική διόρθωση ή γεωαναφορά έχει ως στόχο το μετασχηματισμό του συστήματος συντεταγμένων της εικόνας σε ένα συγκεκριμένο σύστημα χαρτογραφικής προβολής. Όλα τα εικονοστοιχεία συνδέονται με τις χαρτογραφικές συντεταγμένες. Έτσι κάθε εικονοστοιχείο δεν χαρακτηρίζεται μόνο από τις συντεταγμένες της εικόνας (γραμμές και στήλες) αλλά και από τις αντίστοιχες συντεταγμένες στο προβολικό σύστημα του χάρτη. Με τη διαδικασία αυτή η δορυφορική εικόνα αποκτά την κλίμακα και τις ιδιότητες προβολής του χάρτη επιτρέποντας έτσι την εισαγωγή της σε ένα ΓΣΠ και την ταυτόχρονη χρήση της με άλλα θεματικά πεδία πληροφορίας.

2.7 Εφαρμογές Τηλεπισκόπησης στην γεωργία

Η τηλεπισκόπηση άρχισε να χρησιμοποιείται έμμεσα στη γεωργία πριν από πολλά χρόνια. Η πρώτη εφαρμογή ήταν το 1929 και αφορούσε τη χαρτογράφηση των εδαφών με χρήση αεροφωτογραφιών (Bauer, 1975). Με βάση τις φωτογραφίες που λήφθηκαν, οι περιοχές που απεικονίζονταν χωρίστηκαν σε

διάφορες ζώνες σύμφωνα με το χρώμα που είχε το έδαφος. Στη συνέχεια, η εξέλιξη της τεχνολογίας έδωσε την ευκαιρία στους επιστήμονες να χρησιμοποιήσουν 131 νέα συστήματα φωτογράφισης στα οποία μπορούσαν να προσαρμοστούν φίλτρα. Τα φίλτρα άφηναν ένα ορισμένο μήκος κύματος να περάσει στον φακό της φωτογραφικής μηχανής. Η επινόηση αυτή είχε ως αποτέλεσμα τη μελέτη του φαινομένου της καταπόνησης (του 'στρες') των φυτών. Τέλος, στη σημερινή εποχή όπου χρησιμοποιείται η δορυφορική τεχνολογία, δίνεται η ευκαιρία στους επιστήμονες, αλλά και στους παραγωγούς πλέον να εξετάζουν τις καλλιέργειές τους γρήγορα και εύκολα. Σύμφωνα με τους *Dash and Curran (2007)* η τηλεπισκόπηση χρησιμοποιείται για την αναγνώριση του είδους των καλλιεργειών, καθώς και της κατάστασης των φυτών. Παράλληλα, η συνεχής μελέτη των φυτών κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου μπορεί να βοηθήσει τους παραγωγούς στο να προβλέψουν την τελική παραγωγή.

I. Εκτίμηση Παραγωγής

Η τηλεπισκόπηση έχει χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη αποδόσεων των καλλιεργειών και βασίζεται κυρίως σε στατιστικές-εμπειρικές σχέσεις ανάμεσα στους δείκτες απόδοσης και βλάστησης (*Thenkabail et al., 2002; Casa and Jones 2005*). Οι πληροφορίες σχετικά με την αναμενόμενη απόδοση είναι πολύ σημαντικές για τις κυβερνητικές υπηρεσίες, τους εμπόρους βασικών προϊόντων και τους παραγωγούς όσον αφορά το σχεδιασμό των δραστηριοτήτων συγκομιδής, αποθήκευσης, μεταφοράς και εμπορίας. Όσο πιο σύντομα είναι διαθέσιμες αυτές οι πληροφορίες, τόσο μικρότερος είναι ο οικονομικός κίνδυνος, με αποτέλεσμα μεγαλύτερη αποδοτικότητα και αυξημένη απόδοση των επενδύσεων.

Στην πρόβλεψη παραγωγής χρησιμοποιούνται η τηλεπισκόπηση, οι χωρικά προσδιορισμένες μετρήσεις πεδίου (εργαστηριακές μετρήσεις για τη συσχέτιση της φυτομάζας ή της φυτοκάλυψης με την απόδοση) και οι χάρτες αποδόσεων των προηγούμενων καλλιεργητικών ετών. Τα μοντέλα πρόβλεψης παραγωγής περιέχουν δείκτες βλάστησης (όπως NDVI, IPVI, LAI, κ.ά.), καθώς και κλιματολογικές ή άλλες παραμέτρους. Οι χάρτες αποδόσεων των προηγούμενων καλλιεργητικών ετών χρησιμεύουν, κυρίως, στην κατανομή της παραλλακτικότητας της προβλεπόμενης παραγωγής.

Ο *Aparicio et al. (2000)* χρησιμοποίησε τρεις δείκτες βλάστησης (NDVI, SR, PRI) για την εκτίμηση των μεταβολών της βιομάζας, της φυλλικής επιφάνειας και της απόδοσης στον σκληρό σίτο. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι κάτω από επαρκείς συνθήκες ανάπτυξης, ο NDVI μπορεί να είναι χρήσιμος στο στάδιο της μεταγενέστερης καλλιέργειας, όπως η πλήρωση σιτηρών, όπου οι τιμές του LAI είναι περίπου 2. Ο δείκτης SR, υπό συνθήκες βροχής, συσχετίζεται καλύτερα με την ανάπτυξη των καλλιεργειών και την απόδοση τους σε σχέση με τον NDVI. Ωστόσο, η χρησιμότητα και των δύο δεικτών, όπως προτείνεται από τους συγγραφείς, για την πρόβλεψη της απόδοσης της πράσινης περιοχής και των κόκκων περιορίζεται σε περιβάλλοντα ή στάδια καλλιέργειας στα οποία οι τιμές LAI είναι μικρότερες του 3.

Οι *Shanahan et al. (2001)* χρησιμοποίησαν τρία διαφορετικά είδη VIs (NDVI, TSAVI, GNDVI) για να μετρήσουν τις παραλλαγές της της φυλλικής επιφάνειας και την επίδρασή του στην απόδοση του κόκκου καλαμποκιού (*Zea mays L.*). Τα αποτελέσματά τους υποδηλώνουν ότι οι τιμές GNDVI που αποκτήθηκαν κατά την πλήρωση σιτηρών συσχετίστηκαν σε μεγάλο βαθμό με την απόδοση των κόκκων. Συνεπώς, οι συγγραφείς προτείνουν ότι η χρήση του GNDVI, και πιο συγκεκριμένα η λήψη μετρήσεων κατά το γέμισμα των κόκκων σιτηρών, είναι χρήσιμη για την παραγωγή χαρτών σχετικής απόδοσης .

II. Τροφοπενίες φωτός

Η εκτίμηση των θρεπτικών αναγκών μπορεί να γίνει είτε με τη χρήση μεθόδων τηλεπισκόπησης, είτε με εργαστηριακές αναλύσεις χωρικά προσδιορισμένων δειγμάτων από το έδαφος ή από τα φυτά.

Οι *Diker and Bausch, (1998)* πέτυχαν τον υπολογισμό του εδαφικού αζώτου, μέσω της μέτρησης της φασματικής αντίδρασης των φυτών με επίγεια τηλεπισκόπηση. Για την εκτίμηση της κατάστασης του φυτικού αζώτου, προτείνουν το φασματικό δείκτη NRI (Nitrogen Reflectance Index), που υπολογίζεται ως NIR / G . Τα αποτελέσματα της έρευνάς τους δείχνουν, ότι οι τεχνικές της τηλεπισκόπησης είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν όχι μόνο για την εκτίμηση του διαθέσιμου εδαφικού αζώτου, αλλά επίσης και του λιπάσματος που χρειάζεται κάθε σημείο του χωραφιού, με τη χρήση του φυτικού αζώτου ως δείκτη.

Ο *Aguera et al. (2011)* συνέκρινε την αποτελεσματικότητα των εκτιμήσεων της κατάστασης του αζώτου που προέκυψαν από τις πολυφασματικές εικόνες που ελήφθησαν από το UAV και τα δεδομένα που καταγράφηκαν επίγεια. Το NDVI που υπολογίστηκε αποδείχθηκε καλός δείκτης για την περιεκτικότητα αζώτου στα φύλλα, ωστόσο υψηλότερος συντελεστής συσχέτισης ($R=0,80$) βρέθηκε όταν χρησιμοποιήθηκε η πλατφόρμα UAV απ' ότι οι μετρήσεις εδάφους ($R = 0,71$).

Οι *Jia et al. (2011)* έδειξαν ότι οι δείκτες βλάστησης των NDVI, GNDVI, RVI και OSAVI συσχετίστηκαν καλά με τις παραμέτρους της κατάστασης του αζώτου σίτου και ότι οι δορυφορικές εικόνες υψηλής ανάλυσης ήταν χρήσιμα εργαλεία διαχείρισης της αζωτούχου λίπανσης.

Σύμφωνα με τον *Barnes et al. (2003)*, η τηλεπισκόπηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη χαρτογράφηση των εδαφών και συγκεκριμένα στην αναγνώριση των αλατούχων εδαφών.

III. Αξιολόγηση των απαιτήσεων νερού στα φυτά

Ο *Gao (1996)* εκτίμησε το νερό στα φυτά χρησιμοποιώντας το NDWI, υπολογίζοντάς βάσει ενός συνδυασμού δύο ζωνών απορρόφησης ύδατος από τον δορυφορικό αισθητήρα MODIS επικεντρωμένος

στα 860 nm και 1240 nm. Ένας άλλος δείκτης, ο SIWSI που χρησιμοποιεί χαρακτηριστικά απορρόφησης νερού στα 858 nm και 1640 nm, εφαρμόστηκε από τους *Fensholt και Sandholt (2003)* για την παρακολούθηση των χωρικών και χρονικών μεταβολών της περιεκτικότητας των φυτών σε νερό σε ορυζώνες (*Oryza sativa L.*) στην Κίνα.

Ένα άλλο παράδειγμα που απεικονίζει τις δυνατότητες των φασματικών μετρήσεων που πραγματοποιούνται στο επίπεδο του εδάφους είναι η ανάπτυξη φασματικών δεικτών για τον προσδιορισμό των απαιτήσεων ύδατος των φυτών (*Taghvaeian et al., 2013*). Δεδομένου ότι η θερμοκρασία της κόμης των φυτών εξαρτάται από τον βαθμό θερμικής καταπόνησης και την παροχή νερού, είναι δυνατόν να προσδιοριστεί η τρέχουσα κατάσταση της παροχής ύδατος των φυτών με τη χρήση θερμικών δεδομένων. Ανάλογα με τη διαθεσιμότητα νερού, τα φυτά που παρουσιάζουν συμπτώματα μαρασμού εκπέμπουν μεγαλύτερη υπεριώδη ακτινοβολία. Ένας άλλος τρόπος μέτρησης της περιεκτικότητας των φυτών σε νερό, ο οποίος μπορεί να εκτιμηθεί βάσει των εικόνων της εναέριας Τηλεπισκόπησης, είναι η περιεκτικότητα του θόλου των φυτών σε νερό (CWC) που προσδιορίζεται ως η συνολική ποσότητα του νερού στο φύλλωμα ανά μονάδα εδάφους. Έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι για την εκτίμηση της CWC από τα τηλεπισκοπικά δεδομένα, όπως οι δείκτες NDWI και NDII (*Colombo et al., 2008; Cheng et al., 2013*).

IV. Ανίχνευση ασθενειών και ζιζανίων

Η μεταβλητότητα στα φάσματα ανάκλασης των φυτών που προκύπτουν από την εμφάνιση και τη ένταση προσβολής των παρασίτων και των ασθενειών επιτρέπει την ταυτοποίησή τους χρησιμοποιώντας δεδομένα τηλεπισκόπησης. Τα φασματικά χαρακτηριστικά των υγιειών και μολυσμένων φυτών είναι σημαντικά διαφορετικά. Στην περιοχή ορατού φωτός ένα υγιές φύλλο αντανακλά την ακτινοβολία σε μικρή ποσότητα λόγω της ισχυρής απορρόφησης από τις φωτοσυνθετικές χρωστικές, ενώ η φασματική ανακλαστικότητα στις ζώνες NIR είναι σχετικά υψηλή και καθορίζεται κυρίως από την εσωτερική δομή των φύλλων και την ξηρά ουσία. Η φασματική ανακλαστικότητα με βάση το έδαφος αποδείχθηκε πολύ χρήσιμη για τον εντοπισμό ζημιών από επιβλαβείς οργανισμούς στις καλλιέργειες. Οι *Hatfield and Pinter (1993)* κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η τηλεπισκόπηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εύρεση προσβεβλημένων από αρρώστιες καλλιεργειών, ενώ η μελέτη της επίδρασης των φυτοφαρμάκων στις καλλιέργειες μπορεί να γίνει πιο γρήγορα και αποτελεσματικά (*Hickman et al., 1991*).

Οι *Genc et al. (2008)*, χρησιμοποιώντας ένα χειροκίνητο αισθητήρα, αξιολόγησαν αξιόπιστα την καταστροφή που προκάλεσε το ζιζάνιο *Eurygaster integriceps* στο σιτάρι, με τη βοήθεια του NDVI και του δείκτη SIPI. Η μελέτη που διεξήχθη από τους *Ranjitha et al. (2014)* έδειξε επίσης διαφορές στην ανακλαστικότητα μεταξύ υγιειών και προσβεβλημένων φυτών. Από τους τρεις δείκτες βλάστησης (RVI,

NDVI, GRVI) που εξετάστηκαν στη μελέτη, ο GRVI φαίνεται να είναι ο πλέον ευαίσθητος στη βλάβη του βαμβακιού από *Thrips tabaci*. Σε μια μελέτη της προσβολής από αφίδες, ο *Kumar (2010)* συνέκρινε τη φασματική ανακλαστικότητα από υγιή και μολυσμένα φυτά σιναπιού. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι φασματικοί δείκτες NDVI, RVI, AI και SIPI συσχετίστηκαν σημαντικά με την προσβολή από αφίδες και αυτοί οι δείκτες μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό της προσβολής από αφίδες σε σινάπι. Οι *Riedell και Blackmer (1999)* χρησιμοποίησαν ένα φορητό ραδιόμετρο σε θερμοκήπιο για να χαρακτηρίσουν τα φάσματα ανάκλασης των φύλλων του σιταριού που προσβλήθηκε από τη αφίδα σίτου *Diuraphis noxia*. Το συμπέρασμα ήταν ότι η ανάκλαση των φύλλων στα εύρη 625-635 nm και 680-695 nm, καθώς και ο δείκτης NPCI ήταν καλοί δείκτες απώλειας χλωροφύλλης που προκλήθηκε από τη διατροφή των αφίδων. Οι επιπτώσεις του ίδιου παράσιτου ερευνήθηκε στη μελέτη που διεξήγαγε ο *Mirik et al. (2007)*, ο οποίος εξέτασε τη σχέση μεταξύ τεσσάρων δεικτών βλάστησης (AI, NDVI, SIPI, DSSI) και του αριθμού αφίδων. Σε αυτή τη μελέτη βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές σχέσεις μεταξύ της αφθονίας των αφίδων και του AI για όλα τα πεδία (*Mirik et al., 2007*). Η υπεροχή του AI στην ανίχνευση αφθονίας αφίδων σε σχέση με τους NDVI, SIPI, DSSI δείχνει ότι η εφεύρεση νέων φασματικών δεικτών μπορεί να δημιουργήσει τη δυνατότητα βελτίωσης της ανίχνευσης των παρασίτων με τη χρήση της τηλεπισκόπησης. Ο *Zhang et al. (2003)*, ανίχνευσε την παρουσία του *Phytophthora infestans* σε ντομάτες χρησιμοποιώντας ανακλαστικότητα. Η μελέτη έδειξε ότι η περιοχή εγγύς υπέρυθρης ακτινοβολίας (NIR), ιδιαίτερα 700 - 1300 nm, ήταν πολύ πιο χρήσιμη από την περιοχή VIS για την ανίχνευση συμπτωμάτων ασθένειας που προκλήθηκαν από το *P. infestans*. Η διαφορά της φασματικής ανάκλασης στο εύρος VIS μεταξύ υγιών και μολυσμένων φυτών ήταν μόλις 1,19%, ενώ η διαφορά στην περιοχή NIR ήταν μεγαλύτερη από 10%. Παρόμοια αποτελέσματα ελήφθησαν από τους *Baranowski et al. (2015)*, ο οποίος επεξεργάστηκε μια υπερφασματική μέθοδο πρώιμης ανίχνευσης των βιοτικών πιέσεων που προκαλούνται από την *Alternaria alternata*, παθογόνο της ελαιοκράμβης (*Brassica napus* L.). Οι μεγαλύτερες φασματικές διαφορές μεταξύ των μολυσμένων και μη μολυσμένων μερών των φύλλων ελαιοκράμβης παρατηρήθηκαν στην περιοχή SWIR μεταξύ των ζωνών απορρόφησης ύδατος (1470 και 1900 nm).

Συνεπώς, η χρήση της τηλεπισκόπησης στη γεωργία έχει πολλά πλεονεκτήματα. Το βασικότερο είναι ότι τα δεδομένα που συγκεντρώνονται και χρησιμοποιούνται είναι σχετικά χαμηλού κόστους, αν αναλογιστεί κανείς το πλήθος των αποτελεσμάτων που μπορούν να ληφθούν. Επίσης, τα δεδομένα λαμβάνονται πολύ γρήγορα όλο τον χρόνο. Στα θετικά της τηλεπισκόπησης, επίσης, συγκαταλέγεται και η δυνατότητα μελέτης περιοχών που είναι αδύνατον να εξετασθούν με επίγειες μετρήσεις ή που θα απαιτούσαν πολύ χρόνο, χρήματα και πολλές δειγματοληψίες. Εκτός από τα πλεονεκτήματα υπάρχουν και μερικά μειονεκτήματα. Το κυριότερο είναι ότι η ποιότητα των δεδομένων εξαρτάται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος, όπως η σκόνη και ο φωτισμός. Επίσης, στα αρνητικά της τηλεπισκόπησης συγκαταλέγονται

η επεξεργασία των δεδομένων η οποία απαιτεί γνώσεις χρήσεως ηλεκτρονικού υπολογιστή και διαφόρων λογισμικών. Οι χωρικές και χρονικές πληροφορίες που αντλούνται από τα δεδομένα της τηλεπισκόπησης είναι απαραίτητες για τη χρήση διαφόρων μεθόδων διαχείρισης των καλλιεργειών, όπως είναι η γεωργία ακριβείας.

3 Αμπελουργία στην Ελλάδα

3.1 Καλλιεργούμενες εκτάσεις και οικονομική σημασία

Μέχρι πριν τον δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, η καλλιεργούμενη έκταση με αμπέλι στην Ελλάδα, υπολογίζεται ότι είχε φτάσει τα 3.000.000 στρέμματα. Αργότερα, η έκταση αυτή μειώθηκε σημαντικά. Σε πολλές περιοχές τα αμερικάνικα υποκείμενα, που χρησιμοποιήθηκαν για την αναμπέλωση μετά την εισβολή της φυλλοξήρας (1898) δεν ήταν επαρκώς κατάλληλα και οι μικρές αποδόσεις των πρέμνων απογοήτευσαν τους αμπελουργούς εγκαταλείποντας ως ασύμφορη την καλλιέργεια της αμπέλου. Αργότερα, μετά τον Εμφύλιο πόλεμο (1945) και με την ανάπτυξη στις μεγάλες πόλεις της βιομηχανίας και τη μετανάστευση, ο ορεινός πληθυσμός εγκατέλειπε τα χωριά και πολλοί αμπελώνες ξεριζώθηκαν. Έτσι, χάθηκαν ονομαστοί αμπελώνες όπως της Σιάτιστας στην Κεντρική Μακεδονία, της Μαρώνειας στη Θράκη, της Αράχωβας πλάι στους Δελφούς κ.ά. Το έτος 1995, η καλλιεργούμενη έκταση με αμπελώνες μειώθηκε ακόμη περισσότερο (1.650.000 στρέμματα), ενώ η τάση εγκατάλειψης συνεχίζεται έως και σήμερα (Κούσουλας, 1995).

Η καλλιέργεια της αμπέλου αποτελεί μια από τις βασικότερες καλλιέργειες της χώρας μας και η παραγωγή, επεξεργασία, μεταποίηση και εμπορία των αμπελουργικών προϊόντων είναι από τις σημαντικότερες δραστηριότητες της αγροτικής παραγωγής.

Πίνακας 3: Συνολική καλλιεργούμενη έκταση (σε στρ.) με αμπέλια στην Ελλάδα μεταξύ 2013-2017

Έτος	Συνολική καλλιεργούμενη έκταση με αμπέλια στην Ελλάδα
2013	735.140
2014	625.210
2015	1.098.200
2016	974.700
2017	1.018.000

Πηγή FAO

Σύμφωνα με τα δεδομένα Διεθνούς Οργάνωσης Τροφίμων και Γεωργίας (FAO), όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα(Πίνακας 3), οι καλλιεργούμενες εκτάσεις με αμπέλια στην Ελλάδα παρουσιάζουν μια συνεχή μείωση από το 2009 μέχρι το 2013.

Πίνακας 4: Παραγωγή επιτραπέζιων σταφυλιών σε τόνους ανά χώρα

ΧΩΡΑ	2013-14	2014-15	2015-2016
ΙΤΑΛΙΑ	1.108.326	998.627	1.000.000
ΙΣΠΑΝΙΑ	249.600	228.900	287.200
ΕΛΛΑΔΑ	325.960	299.339	270.000
ΛΟΙΠΕΣ ΧΩΡΕΣ	132.425	107.510	125.599
ΣΥΝΟΛΟ	1.816.311	1.634.376	1.682.799

Πηγή FAS EU-28

Σύμφωνα με στοιχεία της Στατιστικής Υπηρεσίας και του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων η μέση ετήσια παραγωγή επιτραπέζιων σταφυλιών στην Ελλάδα τα έτη 2013, 2014 και 2015 έφτασε τους 300.000 τόνους. Η Γερμανία, η Αγγλία και η Ολλανδία αποτελούν τους κυριότερους προορισμούς των ελληνικών επιτραπέζιων σταφυλιών. Οι τρεις αυτές χώρες απορρόφησαν το 66% των σταφυλιών που εξήχθησαν από τη χώρα μας τα παραπάνω έτη. Στις αγορές αυτές ανταγωνίστριες χώρες είναι η Ιταλία και η Τουρκία. Από τα εξαγόμενα σταφύλια το 90% αποτελούν οι λευκές ποικιλίες. Η κυριότερη επιτραπέζια ποικιλία σταφυλιών στην Ελλάδα είναι η Thomson seedless (κοινώς γνωστή ως σουλτανίνα, USDA,2013,

Πίνακας 5)

Πίνακας 5: Ποικιλίες εκτασεις και εξαγωγές επιτραπέζιων σταφυλιών για τα έτη 2011-2012

Ποικιλίες	Έκταση 2011-2012 (στρ.)	Έκταση 2013-2014 (στρ.)	Εξαγωγές 2010-2011 (τον.)
Σουλτανίνα	102.000	102.000	50.238
Victoria	22.500	20.223	14.834
Ραζακί	14.100	6.096	500
Μοσχάτο	8.800	11.003	0
Αμβούργου			
Cardinal	3.600	3.335	11
Italia	3.300	3.385	3.360
Crimson seedless	1.500	4.822	1.110
Φράουλα	1.300	1.488	0
Ribier	1.300	1.146	150

Λοιπές	5.250	16.905	457
Σύνολο	163.650	170.402	70.666

Πηγή: ΥΠΑΑΤ.2016 και Γραμματικός 2012

3.2 Ποικιλίες

Στην Ελλάδα, ο αριθμός των ποικιλιών που καλλιεργούνται ή απαντώνται σποραδικά είναι πολύ μεγάλος σε σχέση με το μέγεθος του ελληνικού αμπελώνα. Ο καθηγητής αμπελουργίας Κριμπάς, πριν τον πόλεμο είχε απογράψει και περιγράψει 600 περίπου ποικιλίες αμπέλου. Σε αυτές τις εκλεκτές ελληνικές ποικιλίες προστέθηκαν και αρκετές από τις καλύτερες ξενικής προέλευσης, κυρίως γαλλικές, οι οποίες θα αναφερθούν σε επόμενο κεφάλαιο.

3.2.1 Επιτραπέζιες ποικιλίες

Οι ποικιλίες επιτραπέζιων σταφυλιών καλλιεργούνται για την παραγωγή σταφυλιών που προορίζονται για να καταναλώνονται φρέσκα ως φρούτα. Οι καρποί των ποικιλιών αυτών θα πρέπει να είναι κατ' αρχήν ελκυστικοί στους καταναλωτές, μετρίου μεγέθους, με μεγάλες ράγες, οι οποίες κατά το δυνατόν να μην είναι συμπαγείς αλλά αραιές έως μετρίως αραιές. Η σάρκα τους θα πρέπει να είναι τραγανή με κανονική αναλογία σακχάρων προς οξέα. Επίσης, θα πρέπει τα επιτραπέζια σταφύλια να είναι επαρκώς ανεπτυγμένα και ώριμα έτσι ώστε να αντέχουν στους χειρισμούς κατά τη συσκευασία και τη μεταφορά τους και να φθάνουν στον τόπο προορισμού των σε καλή κατάσταση χωρίς να απορραγίζονται. Οι επιτραπέζιες ποικιλίες αμπέλου για να αποδώσουν προϊόντα υψηλής ποιότητας, πράγμα το οποίο κρίνεται άκρως απαραίτητο στις σημερινές ανταγωνιστικές συνθήκες αγοράς, πρέπει να καλλιεργούνται σε κατάλληλο φυσικό περιβάλλον. Για τις επιτραπέζιες ποικιλίες αμπέλου, τέτοιες συνθήκες θεωρούνται οι πεδινές εκτάσεις ομαλής κλίσης, με μεσημβρινή ή δυτική έκθεση, σε περιοχές που δεν παρατηρούνται συχνά όψιμοι ανοιξιάτικοι παγετοί. Τα εδάφη που καλλιεργούνται πρέπει να είναι μέσης γονιμότητας, βαθιά, αργιλοαμμώδη-αργιλοασβεστώδη και αρδευόμενα. Τέλος, σημαντικό ρόλο για τις επιτραπέζιες ποικιλίες, αποτελούν η πείρα των αμπελουργών, η εμπορική οργάνωση και η απόσταση από τα κέντρα πώλησης, εάν πρόκειται για ποικιλίες που προορίζονται για άμεση κατανάλωση ή από τους χώρους συντήρησης των σταφυλιών, εάν πρόκειται να καταναλωθούν αργότερα. Στην εμπορία και ανταγωνιστικότητα των επιτραπέζιων ποικιλιών, όπως και στα περισσότερα φυτικά προϊόντα, σημαντικό ρόλο παίζει και ο χρόνος συγκομιδής και πώλησης (Γκατζελάκη, 2008).

3.2.2 3.2.1.1. Ελληνικές Ποικιλίες

- Σουλτανίνα

Ποικιλία τριπλής χρήσης με κύρια κατεύθυνση την παραγωγή ξηρής σταφίδας και δευτερευόντως την παραγωγή επιτραπέζιων σταφυλιών η οποία είναι γνωστή στις διεθνείς αγορές με το όνομα Thompson seedless. Ευκαιριακά οινοποιούνται μικροποσότητες. Η σταφίδα που παράγεται από τη Σουλτανίνα είναι γνωστή ως λευκή σταφίδα, ενώ η σταφίδα που παράγεται από την Κορινθιακή σταφίδα είναι γνωστή ως μαύρη σταφίδα. Πολλοί αποδίδουν το όνομά της στην καταγωγή της διότι σύμφωνα με μια θεωρία, που είναι και η επικρατέστερη, είναι ασιατικής προέλευσης και προήλθε από την περιοχή “Σουλτανιέ” του βορείου Ιράν. Από εκεί διαδόθηκε στην περιοχή της Σμύρνης και στη λοιπή ακτή της Ιωνίας. Στην Ελλάδα η σουλτανίνα ήρθε το 1838 από τη Σμύρνη. Η καλλιέργεια της Σουλτανίνας είχε μεγάλη άνοδο μετά το 1922, με την εγκατάσταση των προσφύγων της Μικράς Ασίας στην Κρήτη. Σταδιακά ακολούθησε αναβάθμιση των μεθόδων καλλιέργειας και το προϊόν αποτέλεσε μια σημαντική πηγή εισοδήματος για τους αγρότες του νησιού μέχρι τα μέσα περίπου της δεκαετίας του '80. Το κυριότερο εμπορικό της χαρακτηριστικό είναι η απουσία κουκουτσιών. Επίσης, τα σταφύλια της έχουν εξαιρετικές οργανοληπτικές ιδιότητες. Η ποικιλία αμπέλου Σουλτανίνα καρποφορεί από άνθη ερμαφρόδιτα και αυτογόνιμα, οπότε δε χρειάζεται επικονίαση από άλλη ποικιλία αμπελιού. Είναι ποικιλία παρθενοκαρπική και συγκεκριμένα στενοσπεμοκαρπική. Δηλαδή στη συγκεκριμένη ποικιλία έχουμε επικονίαση, γονιμοποίηση και πρόωρο εκφυλισμό του εμβρύου, γι' αυτό και τα σταφύλια της δεν έχουν κουκούτσια. Τα σταφύλια της είναι μεγάλα και σχετικά πυκνά, ενώ το χρώμα της ράγας κυμαίνεται από λευκό ως χρυσίζον. Η σάρκα της ράγας είναι κάπως τραγανή και πολύ γευστική. Στη χώρα μας καλλιεργούνται 270.926 στρέμματα Σουλτανίνας από τα οποία τα 146.560 στο Ν. Ηρακλείου, 63.000 στο Νομό Κορινθίας, 7.503 στο Νομό Ρεθύμνης, 6.430 στο Νομό Λασιθίου, 2.000 στο Νομό Καβάλας, 900 στο Νομό Χανίων και μικρότερες εκτάσεις στους Νομούς Δωδεκανήσου, Ηλείας, Χαλκιδικής, κ.α. είναι χαρακτηριστικό ότι η μείωση των εκτάσεων προήλθε από την Κρήτη και κυρίως από τον Νομό Ηρακλείου, ενώ αύξηση παρατηρήθηκε στον Νομό Κορινθίας και επέκταση της καλλιέργειας στον Ν. Καβάλας (Καραγιαννούλου, 2018).



Εικόνα 13: Σουλτανίνα

- Ραζακί.

Είναι γνωστό και ως Ροζακί, Κέρινο, Αρχανιώτικο, Ραζακί Άσπρο. Είναι από τις σπουδαιότερες επιτραπέζιες ποικιλίες αμπέλου στη χώρα μας με μεγάλη γεωγραφική διασπορά. Καλλιεργείται συστηματικά στην Κρήτη (Ηράκλειο), στη Μακεδονία (Θεσσαλονίκη, Καβάλα, Χαλκιδική), στην Πελοπόννησο (Αχαΐα και Κορινθία) και σε άλλες περιοχές της χώρας (Καραγιανοπούλου, 2018).



Εικόνα 14: Ραζακί

- Όψιμος Εδέσσης



Εικόνα 15: Όψιμος Εδέσσης

Καλλιεργείται κυρίως στις αμπελουργικές περιοχές της Κεντρικής Μακεδονίας. Είναι γνωστή και με τα ονόματα Ντόπιο, Σταφύλι Καρατζόβας, Χειμωνιάτικο, Φουστάνη, Πασχαλινό, Αμάσεια, Αμάσι. Είναι αξιόλογη όψιμη ποικιλία, πολύ παραγωγική, με τοπικό κυρίως ενδιαφέρον. Τα σταφύλια της είναι μετρίου μεγέθους, λευκά, 68 κυλινδροκωνικά, σχεδόν πυκνόρραγα.

- Μαλαγουζιά ή Μαλαγουζιά Ναυπακτίας

Στη δεκαετία του 1970, η Μαλαγουζιά θεωρείτο εξαφανισμένη και την ήξεραν ελάχιστοι. Σήμερα, μετά από επίπονη εργασία κορυφαίων καλλιεργητών και οινολόγων, η Μαλαγουζιά θεωρείται ευρέως ως σταφύλι με άριστες οινοποιητικές ιδιότητες και καλλιεργείται σε όλη την Ελλάδα. Είναι πρώιμη, λευκή, αρωματική ποικιλία και αρκετά παραγωγική. και είναι ανθεκτική στην ξηρασία.



Εικόνα 16: Μαλαγουζιά

- Αττική

Η ποικιλία αυτή δημιουργήθηκε το έτος 1979 στο Ινστιτούτο Αμπέλου από τον ερευνητή κ. Μίχο. Η ποικιλία αυτή προέκυψε από διασταύρωση των ποικιλιών Ribier (θηλυκό) με την ποικιλία Black Monuka (αρσενικό). Τα πιο σπουδαία χαρακτηριστικά της ποικιλίας αυτής είναι η πρώιμη ωρίμανση και η έλλειψη κουκουτσιών στις ρώγες των σταφυλιών. Είναι πρώιμη ποικιλία, συνήθως ωριμάζει μια εβδομάδα νωρίτερα από τη Cardinal.



Εικόνα 17: Αττική

- Σιδερίτης Ερυθρή ποικιλία



Εικόνα 18: Σιδερίτης

Καλλιεργούμενη σε ολόκληρη την Πελοπόννησο, ιδιαίτερα στην Κορινθία, την Αχαΐα και την Ηλεία και σποραδικά στην Αττική και στην Εύβοια. Είναι φυτό ζυηρό, εύρωστο, παραγωγικό, ανθεκτικό στην ξηρασία, ευαίσθητο στο ωίδιο, το βοτρυτή και την ανθόρροια, ιδιαίτερα όταν επικρατούν βροχές και χαμηλές θερμοκρασίες στην περίοδο της ανθοφορίας. Η αξία της ποικιλίας αυτής έγκειται κυρίως στην οψιμότητά της.

- Φράουλα

Θεωρείται ελληνικής προέλευσης. Καλλιεργείται συστηματικά στο νομό Κορινθίας ενώ σποραδικά απαντάται στις περισσότερες αμπελουργικές περιοχές της χώρας.



Εικόνα 19: Φράουλα

- Μοσχάτο Αμβούργου

Πρόκειται για ποικιλία που συναντάται σποραδικά διεθνώς, στην Ελλάδα όμως είναι ταυτισμένη με τον Τύρναβο, αφού το μεγαλύτερο μέρος σχεδόν της καλλιέργειάς της βρίσκεται στην ευρύτερη περιοχή του. Πολλοί μάλιστα την ονομάζουν Μοσχάτο. Η καλλιέργεια της ποικιλίας αυτής στον Τύρναβο ξεκίνησε μετά την καταστροφή του ιστορικού αμπελώνα του Τυρνάβου από τη φυλλοξήρα, όταν την περίοδο 1930-36 μέσω της Γεωργικής Σχολής Λάρισας και τη διανομή αντιφυλλοξηρικών κλημάτων προωθήθηκε μεταξύ άλλων ποικιλιών και το Μοσχάτο Αμβούργου. Αξίζει να αναφερθεί ότι από την ποικιλία αυτή στον Τύρναβο φτιάχνουν και το ονομαστό τσίπουρο. Η ποικιλία αυτή αρχικά δημιουργήθηκε από διασταύρωση της ιταλικής ποικιλίας Schiava Grossa (γνωστής και ως Trollinger ή Black Hamburg) και της αιγυπτιακής Μοσχάτο Αλεξανδρείας και πρωτοκαλλιεργήθηκε στα θερμοκήπια της Αγγλίας όπου ονομαζόταν Μαύρο Μοσχάτο Αλεξανδρείας.

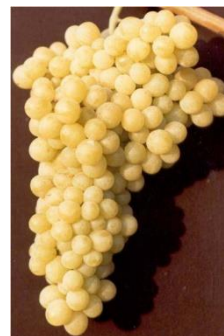


Εικόνα 20: Μοσχάτο Αμβούργου

3.2.3 3.2.1.2. Ξένες Ποικιλίες

- Perlette.

Προήλθε από διασταύρωση των ποικιλιών Ραζακί πρώιμο Ουγγαρίας x Σουλτανίνα, η οποία έγινε από τον καθηγητή Οίμο το έτος 1936. Έκτοτε καλλιεργείται σε πάρα πολλά μέρη του κόσμου όπως στις ΗΠΑ, Ευρώπη, Νότιο Αμερική κ.λπ. Στη χώρα μας καλλιεργείται κυρίως στη Θεσσαλονίκη, Χαλκιδική και Κρήτη. Η ποικιλία Perlette είναι άμεσης κατανάλωσης, πολύ ζωηρή και εξαιρετικά παραγωγική. Παρουσιάζει ικανοποιητική αντοχή στις μεταφορές. Η ρώγα δεν έχει κουκούτσια, είναι μικρού έως μετρίου μεγέθους, με λεπτό φλοιό, ανθεκτικό και διαφανούς χρώματος κίτρινου ανοιχτού. Το διαυγές χρώμα της ρώγας είναι η αιτία που πήρε το όνομά της η ποικιλία αυτή. Είναι πρώιμη ποικιλία, με συνήθη ημερομηνία ωρίμανσης τέλη Ιουλίου αρχές Αυγούστου.



Εικόνα 21: Perlette

- Calmeria



Η ποικιλία αυτή καλλιεργείται σε σημαντική έκταση στην Κρήτη όπου είναι γνωστή με την ονομασία νυχάκι λόγω του ελλειψοειδούς σχήματος των ρωγών της. Καλλιεργείται επίσης και σε άλλα αμπελουργικά διαμερίσματα της χώρας. Αξιόλογη ποικιλία εξαιτίας της σχετικής οψιμότητάς της και της ικανότητας των σταφυλιών να συντηρούνται σε συνθήκες ψύξης και να αντέχουν για μακρό χρόνο στη μεταφορά.

Εικόνα 22: Calmeria

- Italia

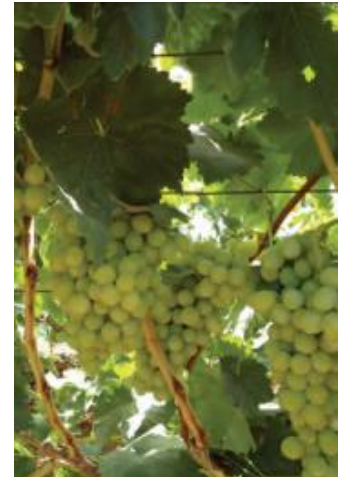
Είναι γνωστή και ως Ραζακί Μοσχάτο ή Ideal. Η ποικιλία αυτή είναι ιταλικής προέλευσης και προέρχεται από διασταύρωση των ποικιλιών Biscane x Μοσχάτο Αμβούργου. Αποκτήθηκε το 1911. Καλλιεργείται σε πολλά μέρη του κόσμου. Στη χώρα μας εισήχθη το 1955 και καλλιεργείται σε πολλά αμπελουργικά διαμερίσματα. Παράγει σταφύλι μεγάλο, κωνικό ή κυλινδρικό, σχεδόν πυκνόραγο με ελλειψοειδείς ρώγες κίτρινου χρώματος. Η σάρκα είναι ανθεκτική με ελαφρά γεύση μοσχάτου. Συνήθως περιέχει 2-3 γίγαρτα. Είναι ποικιλία μέσης εποχής ωρίμανσης, ζωηρή και παραγωγική. Είναι ευαίσθητη στις προσβολές του ωιδίου, ενώ παρουσιάζει ευαισθησία και στην επίδραση του θείου. Χαρακτηριστική ιδιότητα της ποικιλίας αυτής είναι η ικανότητα διατήρησης των σταφυλιών για μακρό χρονικό διάστημα στα πρέμνα και ακόμη η αντοχή τους στη συντήρηση και στη μεταφορά.



Εικόνα 23: Italia

- Superior Thompson seedless (Τόμσον)

Είναι μια από τις πλέον διαδεδομένες ποικιλίες σε ολόκληρο τον κόσμο. Πρόκειται για λευκή αγίγερτη ποικιλία τριπλής χρήσης. Είναι ποικιλία πολύ παραγωγική πρώιμη ως μεσοπρώιμη. Μορφώνεται σε σχήμα κυπελλοειδές αλλά και σε γραμμικό. Οι πρώτοι οφθαλμοί της κληματίδας είναι άγονοι, γι' αυτό και δέχεται κλάδεμα μακρύ. Αποδίδει άριστης ποιότητας προϊόντα σε εδάφη πλούσια σε ανθρακικό ασβέστιο με καλή δομή και ομαλή παροχή νερού στα φυτά. Η χρήση φυτορρυθμιστικών ουσιών, η χαραγή ή συνδυασμός τους, συνίσταται για την αύξηση του μεγέθους των ραγών και του ελέγχου της καρπόδεσης κατά την παραγωγή επιτραπέζιων σταφυλιών από την



Εικόνα 24: Superior Thompson seedless

ποικιλία.

- Cardinal



Εικόνα 25: Cardinal

Καλλιεργείται σε πολλά μέρη της Ελλάδος όπως στη Θεσσαλονίκη, Χαλκιδική, Πιερία, Λάρισα, Κέρκυρα, Κορινθία, Εύβοια και Κρήτη. Τα σταφύλια της είναι μεγάλα, κωνικά και αραιόρραγα και περιέχουν 1-2 γίγαρτα. Δημιουργήθηκε στην Καλιφόρνια από τη διασταύρωση των ποικιλιών Flame Rokey x Ribier du Maroc. Δημιουργός της ήταν ο καθηγητής Olmo ο οποίος έφτιαξε και άλλες ποικιλίες όπως τις Perlette, Calmeria, Centennial Seedless κ.ά. Ωριμάζει τον

Ιούλιο και είναι από τις πρωιμότερες ποικιλίες επιτραπέζιων σταφυλιών που καλλιεργούνται στη χώρα μας. Ποικιλία ζωηρή, παραγωγική, με υψηλές αποδόσεις σταφυλιών με ωραία εμφάνιση, επιδεικτικών στους χειρισμούς επεξεργασίας και ανθεκτικών στη συντήρηση και στη μεταφορά.. Μειονέκτημα της ποικιλίας αυτής είναι το σχίσσιμο και η ανισορραγία των ραγών της. Επίσης, όταν φέρει υπερβολικό φορτίο, παρουσιάζει ανομοιομορφία στο χρώμα των ραγών. Αξιοσημείωτη είναι τέλος η ευαισθησία της στις προσβολές του ωιδίου.

- Ribier 82 Grimpson seedless γνωστή και ως Crimson seedless.



Εικόνα 26: Grimpson seedless

Δημιουργήθηκε στην Καλιφόρνια. Η ποικιλία αυτή μοιάζει πάρα πολύ σε μέγεθος, σχήμα και γεύση με τη Σουλτανίνα, γι' αυτό πολλές φορές ονομάζεται κόκκινη Σουλτανίνα. Στην Ελλάδα καλλιεργούνται αρκετές εκατοντάδες στρέμματα, με αποδόσεις που κυμαίνονται περίπου από 2-4 τον./στρέμμα. Πρόκειται για όψιμη ποικιλία. Η εμπορική ωρίμανση των σταφυλιών κλιμακώνεται, ανάλογα με την περιοχή και τις καλλιεργητικές επεμβάσεις, από τις αρχές Σεπτεμβρίου έως και τα τέλη Οκτωβρίου. Συνήθως οι παραγωγοί καλύπτουν τα πρέμνα με πλαστικό, ώστε τα

σταφύλια να διατηρηθούν περισσότερο στο πρέμνο. Απαιτεί μακρύ κλάδεμα, γιατί οι τρεις πρώτοι οφθαλμοί της κληματόβεργας είναι άγονοι.

- **Black Magic**

Αποτελεί μια εξαιρετική πρώιμη ώδη-μαύρη επιτραπέζια ποικιλία, με μεγάλο ενδιαφέρον από τους καταναλωτές τα τελευταία χρόνια. Δημιουργήθηκε στη Μολδαβία. Έχει σχετική αντοχή στις μυκητολογικές ασθένειες. Είναι μέσης ζωρότητας ποικιλία και πολύ καλής παραγωγικότητας. Ιδιαίτερο πλεονέκτημά της είναι η πρώιμη ωρίμανση. Συγκεκριμένα ωριμάζει το 1ο με 2ο δεκαήμερο του Ιουλίου, ανάλογα φυσικά με την περιοχή καλλιέργειας και το σύστημα μόρφωσης. Ο καρπός περιέχει 1-2 μικρά γίγαρτα. Δίνει υψηλή παραγωγή.



Εικόνα 27: Black Magic

- **Red Globe**



Εικόνα 28: Red Globe

Η ποικιλία αυτή παρήχθη στο Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνιας το 1985. Είναι πολύ δημοφιλής στην Ασία, όπου και κατευθύνονται πολύ μεγάλες ποσότητες από ΗΠΑ και Αυστραλία. Το σταφύλι της ποικιλίας αυτής είναι μεγάλου μεγέθους (20-25 cm), με σχήμα κωνικό ή κυλινδρικό, βάρους 550-750 γρ. και αραιές πολύ μεγάλες ρώγες, στρογγυλές με μερικά μαλακά γίγαρτα. Καλλιεργείται και στη χώρα μας, σε περιορισμένη σχετικά έκταση. Ευδοκίμει σε γόνιμα και ελαφρά εδάφη με αρκετή υγρασία. Συγκομίζεται από Σεπτέμβριο έως Οκτώβριο. Μπορεί να συντηρηθεί σε ψύξη για αρκετό χρονικό διάστημα. Τα σταφύλια της είναι

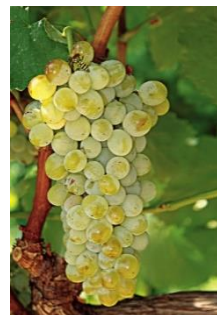
ευαίσθητα σε ηλιακά εγκαύματα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, γι' αυτό χρειάζεται σκίαση με δίχτυα ή αυξημένη φυλλική επιφάνεια.

3.2.4 Ποικιλίες Οινοποίησης

3.2.5 3.2.2.1 Ελληνικές Ποικιλίες Οινοποίησης

- Ασύρτικο

Είναι μια λευκή ποικιλία παγκόσμιας εμβέλειας και μια από τις σπουδαιότερες ποικιλίες που απαντώνται στη λεκάνη της Μεσογείου. Καλλιεργείται στις Κυκλάδες, κυρίως όμως στα ηφαιστειογενή εδάφη της Σαντορίνης (Ασύρτικο Σαντορίνης), αλλά εξαπλώθηκε σε όλη την Ελλάδα και είναι, από άποψη ποιότητας, μία από τις πιο σημαντικές γηγενείς ποικιλίες. Είναι μεσοπρώιμη ποικιλία, ζωηρή και παραγωγική. Οι οφθαλμοί της βάσης της κληματίδας (δηλαδή ο τυφλός και ο πρώτος λανθάνων) δεν είναι γόνιμοι. Κάθε καρποφόρος βλαστός φέρει δύο σταφύλια. Έχει



Εικόνα 29: Ασύρτικο

αξιοσημείωτη αντοχή στην ξηρασία, τον περονόσπορο και το ωίδιο. Οι δυνατοί άνεμοι του νησιού της Σαντορίνης, ανάγκασαν τους καλλιεργητές να διαμορφώσουν το Ασύρτικο σε ένα ιδιόμορφο σχήμα(Εικόνα), γνωστό ως καλάθι ή κουλούρα τυλίγοντας αναμεταξύ τους τις κληματίδες. Τα φυτά σε αυτή την περίπτωση είναι φυτεμένα σε μεγάλες αποστάσεις και οι κληματίδες, ακόμα και τα παλαιότερα τμήματα του φυτού, διαμορφώνονται με τέτοιον τρόπο ώστε να μοιάζουν με φωλιά πτηνών. Το κλάδεμα καρποφορίας σε αυτό το σύστημα είναι μακρύ (αμολυτές με 8-15 οφθαλμούς) ή μικτό (κεφαλή με 2 οφθαλμούς και αμολυτή με 6-8 οφθαλμούς, που τυλίγονται σε κύκλο). Έτσι, προφυλάσσονται τα φυτά και ιδιαίτερα τα σταφύλια από την άμμο και το χώμα (δεδομένου ότι η Σαντορίνη έχει πολλούς ανέμους) και εξασφαλίζεται η απαραίτητη ποσότητα νερού, χωρίς να υπάρχει ανάγκη ποτίσματος. Επειδή το έδαφος είναι αμμώδες δεν εμφανίστηκε ποτέ η φυλλοξήρα στο νησί αυτό και τα 88 φυτά είναι αυτόρριζα.

- Μοσχάτο λευκό.

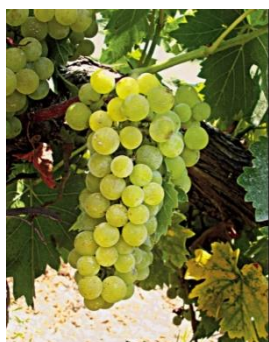


Μικρασιατικής προέλευσης ποικιλία η οποία είναι γνωστή και ως Μοσχάτο Σάμου, Μοσχούδι, Μοσχοστάφυλο, Μοσχάτο Ρίου, Μοσχάτο πρώιμο, Μοσχάτο σταχτί, Μοσχάτο Σπίνας κλπ. Καλλιεργείται κυρίως στα αιγαιοπελαγίτικα νησιά Σάμο και Ρόδο, στην Πελοπόννησο, κυρίως στην Αχαΐα και στην Κεφαλονιά.. Είναι εξαιρετικά ευαίσθητη στο ωίδιο και ευαίσθητη στον περονόσπορο, στο βοτρυτή, στην ευδεμίδα και στον μολυσματικό εκφυλισμό. Άριστης ποιότητας προϊόν δίνει σε χαλικώδη, σχιστολιθικά εδάφη, με καλό αερισμό, καλή στράγγιση

Εικόνα 30: Μοσχάτο λευκό

και σε περιοχές με υψόμετρο και μεγάλη ηλιοφάνεια. Πολλές φορές υφίσταται έντονη ανθόρροια και μικρορραγία, ωστόσο εφαρμόζονται κατάλληλα κορυφολογήματα για την αντιμετώπισή τους.

- Μοσχάτο Αλεξανδρείας



Κατάγεται πιθανόν από τη Βόρεια Αφρική. Στην Ελλάδα φυτεύτηκε στις αρχές του 20ου αιώνα. Είναι γνωστό και ως Μοσχάτο χονδρό, Αγγλικό, Αποστολιάτικο. Καλλιεργείται σε πολλά μέρη του κόσμου. Στη χώρα μας καλλιεργείται κυρίως στη Μακεδονία και στα νησιά του Αιγαίου. Ποικιλία τριπλής χρήσης (οινοποίηση, επιτραπέζια, σταφίδα), με ρώγες κιτρινόχρυσου χρώματος.

Εικόνα 31: Μοσχάτο Αλεξανδρείας

- Μονεμβασιά

Κατάγεται από τη Λακωνία και τα νησιά των Κυκλάδων. Είναι λευκή ποικιλία και καλλιεργείται σε πολλά μέρη της χώρας.



Εικόνα 32: Μονεμβασιά

- Αγιωργίτικο



Γνωστό και ως Μαυρούδι ή Αίμα του Ηρακλή εξαιτίας του βαθυκόκκινου χρώματος που έχουν τα παραγόμενα κρασιά. Είναι μια από τις ευγενέστερες ερυθρές ποικιλίες. Καλλιεργείται σε μεγάλη έκταση στην περιοχή της Νεμέας και σποραδικά στην Αργολίδα, Αρκαδία και Αττική, καταλαμβάνοντας συνολικά μια έκταση που ξεπερνά τα 20.000 στρέμματα. Φυτό μέτριας ζωηρότητας και ευρωστίας, γόνιμο, πολύ παραγωγικό. Δέχεται κλάδεμα κοντό στα 1-2 μάτια δεδομένου ότι ο τυφλός οφθαλμός είναι γόνιμος. Δίνει καλύτερης ποιότητας προϊόντα σε εδάφη μέσης μηχανικής σύστασης, καλής γονιμότητας και στράγγισης και σε περιοχές με κάποιο υψόμετρο που να εξασφαλίζει την αργή και σωστή ωρίμανση του σταφυλιού. Οριμάζει μετά τις 20 Σεπτέμβρη. Κάθε καρποφόρα κληματίδα φέρει 1-2 σταφύλια, δεν είναι σπάνιο όμως να φθάσει και τα 4, μέτριου μεγέθους και πυκνόρραγα. Οι ρώγες είναι σφαιρικές, μέσου μεγέθους, με φλοιό παχύ, κυανομέλανου χρωματισμού και σάρκα άχρωμη, εύχυμη, μαλακή, γλυκιά, ελαφρά υπόξινη, με 2-3 γίγαρτα. Παρουσιάζει μεγάλη ευαισθησία στο ωίδιο και στο μολυσματικό εκφυλισμό και μέτρια ευαισθησία στον περονόσπορο. Προβλήματα μπορούν να δημιουργηθούν επίσης από την ξηρασία και από τις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες του χειμώνα και της άνοιξης. Το Αγιωργίτικο, μπορεί να δώσει διαφορετικούς τύπους κρασιών, ανάλογα με το περιβάλλον στο οποίο καλλιεργείται. Σε περιοχές μικρού υψομέτρου μπορεί να δώσει αξιόλογα

Εικόνα 33: Αγιωργίτικο

εξασφαλίζει την αργή και σωστή ωρίμανση του σταφυλιού. Οριμάζει μετά τις 20 Σεπτέμβρη. Κάθε καρποφόρα κληματίδα φέρει 1-2 σταφύλια, δεν είναι σπάνιο όμως να φθάσει και τα 4, μέτριου μεγέθους και πυκνόρραγα. Οι ρώγες είναι σφαιρικές, μέσου μεγέθους, με φλοιό παχύ, κυανομέλανου χρωματισμού και σάρκα άχρωμη, εύχυμη, μαλακή, γλυκιά, ελαφρά υπόξινη, με 2-3 γίγαρτα. Παρουσιάζει μεγάλη ευαισθησία στο ωίδιο και στο μολυσματικό εκφυλισμό και μέτρια ευαισθησία στον περονόσπορο. Προβλήματα μπορούν να δημιουργηθούν επίσης από την ξηρασία και από τις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες του χειμώνα και της άνοιξης. Το Αγιωργίτικο, μπορεί να δώσει διαφορετικούς τύπους κρασιών, ανάλογα με το περιβάλλον στο οποίο καλλιεργείται. Σε περιοχές μικρού υψομέτρου μπορεί να δώσει αξιόλογα

γλυκά κρασιά, σε περιοχές με κάποιο υψόμετρο κρασιά υψηλόβαθμα, καλής οξύτητας, πλούσια σε χρώμα, με καλές τανίνες, ενώ σε περιοχές μεγάλου υψομέτρου μπορεί να δώσει ροζέ ξηρά κρασιά.

- Μοσχοφίλερο



Εικόνα 34: Μοσχοφίλερο

Είναι έγχρωμη ποικιλία. Το Μοσχοφίλερο καλλιεργείται στην Πελοπόννησο, στη Μεσσηνία, Λακωνία, στα νησιά του Ιονίου πελάγους, στην Πρέβεζα, Μαγνησία και τελευταία στη Φλώρινα. Κυρίως όμως καλλιεργείται στο Αρκαδικό οροπέδιο, στην περιοχή της Μαντινείας, με την οποία έχει και άρρηκτα συνδεθεί. Ανήκει στην ποικιλία "Φιλέρια", που σήμερα έχει μεταλλαχθεί σε ένα μεγάλο αριθμό υποποικιλιών, όπως το Μαυροφίλερο, το Κοκκινοφίλερο, το Ασπροφίλερο κλπ. Το Μοσχοφίλερο είναι πολυδύναμη ποικιλία, μπορούν δηλαδή

από την ποικιλία αυτή να παραχθούν πολλά και διαφορετικά είδη κρασιών, από ξηρά λευκά μέχρι ροζέ, αφρώδη ή και γλυκά κρασιά.

- Ξινόμαυρο

Όπως το λέει και το όνομά του, έχει μαύρο χρώμα. Θεωρείται ως μια από τις εκλεκτότερες μαύρες ποικιλίες της χώρας μας και είναι η σημαντικότερη ποικιλία της βόρειας Ελλάδας. Είναι παραγωγική ποικιλία, με γόνιμο τον τυφλό οφθαλμό, ζωηρή, με ορθόκλαδη βλάστηση και σχετικά όψιμης ωρίμανσης. Κλαδεύεται συνήθως στα δύο μάτια. Καλλιεργείται κυρίως στην κεντρική και δυτική Μακεδονία και στη Θεσσαλία. Το Ξινόμαυρο συναντάται με τις ονομασίες Μαύρο Ναούσης, Μαύρο Ναουστινό, Ναουστινό, Μαύρο Γουμένισσας, Μαύρο Ξινό, Ποπόλκα και Ξινόγκαλτσο. Είναι ευαίσθητη στον περονόσπορο, το ωίδιο,



Εικόνα 35: Ξινόμαυρο

το βοτρυτή και τον μολυσματικό εκφυλισμό. Για την παραγωγή υψηλής ποιότητας προϊόντος χρειάζεται εδάφη βαθιά, γόνιμα και με επάρκεια υγρασίας. Οι οίνοι που παράγονται χαρακτηρίζονται από καλό ερυθρό χρώμα και από επιδεκτικότητα παλαίωσης.



Εικόνα 36: Μαυροδάφνη

- Μαυροδάφνη

Η Μαυροδάφνη αποτελεί μια σπουδαία ερυθρή αρωματική ποικιλία, που καλλιεργείται κυρίως στην περιοχή της Πάτρας και κατά δεύτερο λόγο στην Κεφαλονιά.

- Μαυροδάφνη Μαυροτράγανο

Είναι ερυθρή ποικιλία με μαύρες και τραγανές ρώγες, χαρακτηριστικά από τα οποία πήρε και το όνομά της. Καλλιεργείται στα νησιά του Αιγαίου, καθώς και σε άλλα μέρη της χώρας μας.

3.2.6 3.2.2.2. Ξένες Ποικιλίες

Οι διεθνείς ποικιλίες αμπέλου έχουν φυτευτεί στην Ελλάδα από τη δεκαετία του 1970. Έχουν δώσει και συνεχίζουν να δίνουν εξαιρετικά κρασιά, είτε κάθε μία μόνη της (μονοποικιλιακά), είτε σε συνδυασμό με γηγενείς ελληνικές ή και άλλες ξένες ποικιλίες αμπέλου. Παρακάτω περιγράφονται οι σπουδαιότερες διεθνείς ποικιλίες οινοποίησης που καλλιεργούνται στην Ελλάδα.

- Viognier

Η κοιτίδα της σπάνιας και εξαιρετικής ποικιλίας λευκού σταφυλιού Viognier, είναι η κοιλάδα του Ροδανού ποταμού στη Γαλλία. Αν και καλλιεργείται με αρκετή επιτυχία σε ζεστά κλίματα, όπως αυτά της Ιταλίας, της Ισπανίας, της Αυστραλίας, της Καλιφόρνιας, της Χιλής, της Αργεντινής και της Ν. Αφρικής, ομολογουμένως, η καλύτερη απόδοση της ποικιλίας, με το μέγιστο αρωματικό δυναμικό επιτυγχάνεται στη Ν. Γαλλία. Στην Ελλάδα, όπου καλλιεργείται διάσπαρτα σε μικρές εκτάσεις, στην



Εικόνα 37: Viognier

Πελοπόννησο και στη Β. Ελλάδα, εγκλιματίστηκε σχετικά εύκολα. Γενικά είναι απαιτητική ποικιλία διότι έχει μειωμένη ανθεκτικότητα σε ασθένειες, μικρή απόδοση και απρόβλεπτη παραγωγή.

- Merlot

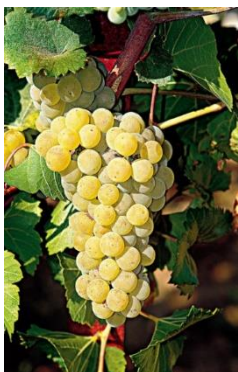
Ερυθρή ποικιλία, γαλλικής προέλευσης, καλλιεργούμενη στην περιοχή του Bordeaux, η οποία κατέλαβε τα τελευταία χρόνια σημαντικές εκτάσεις σε ολόκληρο τον κόσμο. Στην Ελλάδα καλλιεργείται στην Ήπειρο, τη Θεσσαλία, τη Μακεδονία, τη Πελοπόννησο και τη Στερεά Ελλάδα. Ζωηρή, μέτρια παραγωγική, ευαίσθητη στον περονόσπορο και στο βοτρυτή. Λόγω της μεγάλης ευαισθησίας της στην ξηρασία, απαιτεί κανονική τροφοδοσία με νερό κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου. Η πρώιμη έκπτυξη των οφθαλμών της την καθιστούν



Εικόνα 38: Merlot

ευαίσθητη στους παγετούς της άνοιξης. Παρουσιάζει τάση για ανθόρροια και ανισορραγία όταν οι καιρικές συνθήκες κατά την άνθηση δεν είναι καλές (χαμηλές θερμοκρασίες, βροχοπτώσεις), αλλά και λόγω υπερβολικής ζωηρότητας. Ξεκινά τη βλάστηση πρώιμα στα μέσα του Μάρτη και ωριμάζει τέλη Αυγούστου. Κάθε καρποφόρα κληματίδα φέρνει 2 σταφύλια μέτρια. Το Merlot συμμετέχει στην Παραγωγή αρκετών Τοπικών Οίνων (Αγοριανός, Δράμας, Επανωμίτικος κ.ά.).

- Chardonnay



Το Chardonnay αποτελεί πιθανότατα την πιο γνωστή και ευρέως διαδεδομένη λευκή ποικιλία οινάμπελου στον κόσμο και όχι αδικώς, το έχουν αποκαλέσει «βασιλιά των λευκών». Κατάγεται από τη Βουργουνδία της Α. Γαλλίας και οφείλει το όνομά του στο ομώνυμο χωριό, η ονομασία του οποίου προέρχεται από τη λατινική λέξη «chardonnacum», που σημαίνει «μέρος γεμάτο γαϊδουράγκαθα». Προέρχεται από τη διασταύρωση των ποικιλιών Pinot και Gouais Blanc. Πολύμορφη και πολυδύναμη ποικιλία το Chardonnay, συμμετέχει σε πολλά αξιόλογα κρασιά της Β.

Εικόνα 39: Chardonnay Γαλλίας και της Βουργουνδίας, δίνοντας σπουδαία λευκά αρωματικά κρασιά.

Στην Καμπανία, είναι η λευκή ποικιλία που συμμετέχει στην παραγωγή της σαμπάνιας και ειδικά της καλύτερης ποιότητας, της Blanc des Blanc. Η προσαρμοστικότητα του Chardonnay σε μια εξαιρετικά μεγάλη ποικιλία μικροκλιμάτων, εδαφών και τεχνικών οινοποίησης είναι πρωτοφανής, με αποτέλεσμα να καλλιεργείται σχεδόν σε όλες τις οινοπαραγωγικές χώρες του κόσμου, σε ψυχρά και θερμά κλίματα, προσφέροντας μια εντυπωσιακή ποικιλομορφία από παραγόμενους οίνους. Τα Chardonnay των ψυχρών κλιμάτων, δίνουν κρασιά με μέτριο αλκοολικό τίτλο και υψηλή οξύτητα. Τα Chardonnay των θερμών κλιμάτων, όπως αυτά που παράγονται στην Ελλάδα, στην Ιταλία, στο νότο της Γαλλίας και στην Αυστραλία, παρουσιάζουν υψηλότερο αλκοολικό τίτλο και χαμηλότερη οξύτητα. Όταν η ζύμωση ή η ωρίμανση γίνει σε βαρέλι μαζί με τις οινολάσπες, το κρασί παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά αρώματα ξύλου και βανίλιας. Γενικά το Chardonnay δίνει λευκά κρασιά, από ξηρά ημίγλυκα μέχρι και αφρώδη και με ποικίλα αρώματα ανάλογα με τη μέθοδο της οινοποίησης και την περιοχή. Στην Ελλάδα που ομολογουμένως έχει προσαρμοστεί περίφημα, ξεκίνησε στις αρχές της δεκαετίας του 1990 και πλέον καλλιεργείται στις περισσότερες περιοχές της ηπειρωτικής χώρας και στην Κρήτη.

- Cabernet sauvignon

Το καμπερνέ σοβινιόν είναι για πολλούς οινογνώστες και καταναλωτές ο βασιλιάς των ερυθρών ποικιλιών. Έγχρωμη γαλλική ποικιλία, καλλιεργούμενη στην περιοχή Bordeaux και Medoc. Στη χώρα μας μετά από τα πρώτα αποτελέσματα πειραματισμού, συνιστάται για τις περιοχές των Π.Ε Χαλκιδικής, Κοζάνης, Γρεβενών, Ιωαννίνων, Αχαΐας και Μεσσηνίας. Ποικιλία μέσης πρωιμότητας, ζωνρή, μέτρια παραγωγική. Αξιοποιεί πτωχά, ξηρά εδάφη.



Εικόνα 40: Cabernet sauvignon

- Sauvignon blanc

Το Sauvignon Blanc είναι μία εκλεκτή και κοσμοπολίτικη γαλλική ποικιλία, που μας δίνει κάποια από τα δημοφιλέστερα και τα ποιοτικότερα λευκά ξηρά κρασιά του κόσμου. Εκτός από τη Γαλλία, το συναντάμε συχνά στην Ισπανία, στην Ιταλία αλλά και στην Ελλάδα με αποτέλεσμα να έχουμε κρασιά με πολύ διαφορετικούς χαρακτήρες, που οφείλονται κυρίως στο κλίμα αλλά και στην διαχείριση του αμπελώνα. Στην Ελλάδα, πρωτοήρθε στα μέσα της δεκαετίας του 80 και καλλιεργείται σε πολλές περιοχές, από στη Μακεδονία και τη Θράκη μέχρι και την Κρήτη, παρουσιάζοντας μεγάλη ποικιλία χαρακτήρων.

3.3 Έδαφος και θρέψη

Η άμπελος, όπως και όλα τα καλλιεργούμενα φυτά, απορροφά τα θρεπτικά στοιχεία που χρειάζεται από το έδαφος, μειώνοντας σταδιακά τη γονιμότητά του. Οι ετήσιες ανάγκες των πρέμνων σε άζωτο και κάλιο έχουν προσδιοριστεί, κατά μέσο όρο, σε 75 και 83 γραμμάρια ανά πρέμνο από τα οποία απομακρύνονται με τον τρυγητό 30 και 45 γραμ. αντίστοιχα. Οι ανάγκες σε μαγνήσιο και φωσφόρο είναι πολύ μικρότερες (τουλάχιστον πέντε φορές), με αυτές του μαγνησίου να υπερτερούν του φωσφόρου. Η άμπελος, συγκρινόμενη με άλλα καλλιεργούμενα φυτά, είναι περισσότερο απαιτητική σε κάλιο και μαγνήσιο. Γενικά, οι ανάγκες της αμπέλου σε θρεπτικά στοιχεία διαφοροποιούνται σημαντικά επηρεαζόμενες κυρίως από τους εξής παράγοντες:

vii. Κλίμα

Η θερμοκρασία και η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας επηρεάζουν τη βλάστηση και το φορτίο και κατά συνέπεια την απορρόφηση των θρεπτικών στοιχείων από τα πρέμνα. Όσο πιο έντονη είναι η βλαστική και αναπαραγωγική δραστηριότητα των πρέμνων, τόσο αυξάνονται οι απαιτήσεις τους σε θρεπτικά στοιχεία.

viii. Έδαφος.

Οι φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους επηρεάζουν σημαντικά την ανάπτυξη των ριζών και της βλάστησης, επιδρώντας έτσι στην απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων.

ix. Συνδυασμός υποκειμένου και ποικιλίας.

Τα υποκείμενα και οι καλλιεργούμενες ποικιλίες αμπέλου έχουν διαφορετικές απαιτήσεις σε θρεπτικά στοιχεία. Υποκείμενα και ποικιλίες με αυξημένη ζωηρότητα απορροφούν μεγαλύτερες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων από το έδαφος.

x. Καλλιέργεια.

Η πυκνότητα φύτευσης των πρέμνων, το σύστημα μόρφωσης και το κλάδεμα καρποφορίας, διαμορφώνουν σημαντικά το φορτίο, επηρεάζοντας τις απαιτήσεις μιας ποικιλίας σε θρεπτικά στοιχεία. Επίσης σημαντικές ποσότητες θρεπτικών στοιχείων απομακρύνονται από το έδαφος με έκπλυση. Η απομάκρυνση των θρεπτικών στοιχείων εξαρτάται από το ύψος των βροχοπτώσεων, την τοποθεσία και τη σύσταση του εδάφους. Η χαμηλή διαθεσιμότητα έστω και ενός θρεπτικού στοιχείου στο έδαφος μπορεί να μειώσει σημαντικά την ποσότητα και την ποιότητα παραγωγής σε μια καλλιεργητική περίοδο και ταυτόχρονα να επιδράσει αρνητικά και στην παραγωγή της επόμενης περιόδου. Για να διατηρηθεί η διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος του αμπελώνα σε επιθυμητά επίπεδα, πρέπει να αναπληρώνονται οι ποσότητες των θρεπτικών στοιχείων που απομακρύνονται. Οι ποσότητες των θρεπτικών στοιχείων που απομακρύνονται από το έδαφος με την παραγωγή των σταφυλιών δίνονται στον παρακάτω πίνακα, αλλά είναι μόνο ενδεικτικές των πραγματικών αναγκών λίπανσης του αμπελιού (Πίνακας 6).

Απόδοση **Απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων από τα σταφύλια**
(τον/στρεμ) **Κιλά ανά στρέμμα/έτος**

	Αζωτο	Φωσφορος	Κάλιο	Μαγνήσιο	Ασβέστιο
0,7-2,5	2,2-8,4	0,5-3,5	4,1-14,8	0,6-2,5	2,8-20,4

Πίνακας 6: Ποσότητες των θρεπτικών στοιχείων που απομακρύνονται από το έδαφος με την παραγωγή των σταφυλιών

Ιδιαίτερη ευαισθησία παρουσιάζει το αμπέλι στην έλλειψη μαγνησίου, καθώς και στις τροφοπενίες των μικροθρεπτικών στοιχείων σιδήρου, βορίου και ψευδαργύρου. Οι λιπαντικές απαιτήσεις είναι μεγαλύτερες από την απομάκρυνση θρεπτικών στοιχείων από τα σταφύλια, διότι περιλαμβάνουν τις ανάγκες θρέψης του πρέμνου καθώς και τις αναπόφευκτες απώλειες. Οι προτεινόμενες τιμές επάρκειας των θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος αμπελώνα αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα.

Θρεπτικό στοιχείο	Συγκέντρωση στο έδαφος(ppm)	
	Έλλειψη	Επάρκεια
Αζωτο	<1	10
Φωσφορος	<20	20-50
Κάλιο	<50	150-250
Ασβέστιο	<500	>500

Πίνακας 7: Προτεινόμενες τιμές των θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος αμπελώνων

Η ορθολογική λίπανση, αυτή δηλαδή που διαμορφώνεται με βάση τους παραπάνω παράγοντες, θα διασφαλίσει την ικανοποιητική παραγωγή τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά. Για την εφαρμογή ορθολογικών λιπάνσεων είναι απαραίτητες οι αναλύσεις εδάφους, φύλλων και νερού άρδευσης. Οι αναλύσεις φύλλων δίνουν πολύ καλή εικόνα της θρεπτικής κατάστασης των πρέμνων. Η ανάλυση πραγματοποιείται στο μίσχο των φύλλων τα οποία βρίσκονται στον ίδιο κόμβο με την ταξιανθία, στη διάρκεια της άνθησης. Φυλλοδιαγνωστική ανάλυση μπορεί να γίνει και αργότερα, στο έλασμα των φύλλων, κατά την έναρξη της ωρίμανσης των σταφυλιών. Η ανάλυση του νερού άρδευσης είναι απαραίτητη σε αρδευόμενους αμπελώνες, για να αντιμετωπιστεί ο κίνδυνος αύξησης της αλατότητας στο έδαφος, μετά από συχνή χρήση νερού με αυξημένη συγκέντρωση αλάτων, κυρίως νατρίου.

Τύπος καλλιέργειας

Λιπαντικές απαιτήσεις του Αμπελιού

Κιλά ανά στρέμμα/έτος

	Αζωτο	Φωσφορος	Κάλιο	Μαγνήσιο
Επιτραπέζια	15-20	6-10	18-22	6-8
Οινοποίησημα	8-15	5-8	12-16	4-6

Πίνακας 8: Οι απαιτήσεις το αμπελιού σε λίπανση

Η προσθήκη των λιπασμάτων στον αμπελώνα γίνεται ως εξής:

- xi. Βασική λίπανση.

Γίνεται πριν την εγκατάσταση του αμπελώνα και αναφέρεται στην ενσωμάτωση απλών λιπασμάτων φωσφόρου και καλίου στο έδαφος, με βαθύ όργωμα (80εκ.), αν φυσικά απαιτούνται, σύμφωνα με την

ανάλυση εδάφους που έχει προηγηθεί. Ταυτόχρονα γίνεται και η εφαρμογή της οργανικής ουσίας. Στη βασική λίπανση δεν προστίθεται άζωτο.

xii. Επιφανειακή λίπανση στο έδαφος του αμπελώνα κάθε έτος.

Η προσθήκη των λιπασμάτων γίνεται σύμφωνα με τις ανάγκες των πρέμνων σε θρεπτικά στοιχεία και οι οποίες προσδιορίζονται από τις αναλύσεις του εδάφους και των φύλλων. Σε ξηρικούς αμπελώνες, η επιφανειακή λίπανση μπορεί να γίνει με χύδην εφαρμογή των στερεών λιπασμάτων στην επιφάνεια του αμπελώνα και με ενσωμάτωση αυτών στα επιφανειακά στρώματα του εδάφους για να διασφαλιστεί η διαλυτοποίησή τους. Στην περίπτωση αρδευομένων αμπελώνων η λίπανση μπορεί να γίνει μέσω του νερού άρδευσης κατά τη διάρκεια του θέρους, σε συνδυασμό με τη χειμερινή εφαρμογή λιπασμάτων. Σε όλες τις περιπτώσεις αποφεύγεται η εφαρμογή αζωτούχων λιπασμάτων το χειμώνα

xiii. Διαφυλλική λίπανση

Γίνεται μόνο όταν επιδιώκεται η άμεση διόρθωση διαπιστωμένης τροφοπενίας, κυρίως σιδήρου και ιχνοστοιχείων.

3.4 Ανάγκες σε Νερό

Απαραίτητη προϋπόθεση για να μπορέσει το αμπέλι να καλύψει όλες τις ανάγκες του κατά την διάρκεια της βλαστικής περιόδου και για την πραγματοποίηση όλων των φυσιολογικών του δραστηριοτήτων είναι υγρασία. Σε όλη αυτή την περίοδο έχει ανάγκη από 150-200 χιλιοστά νερού που εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος, την ποικιλία, το σχήμα διαμόρφωσης ,την φύση του εδάφους κτλ.(Ρούμπος, 1996). Σε περίπτωση έλλειψης υγρασίας, το αποτέλεσμα είναι μερική ή ολική ξήρανση των φύλλων, σταμάτημα και δυσκολία ωρίμανσης των σταφυλιών, μειωμένη περιεκτικότητα του γλεύκους σε σάκχαρα, σε χρωστικές και σε αρωματικές ουσίες που παρατηρείται κατά την διάρκεια έναρξης της ωρίμανσης μέχρι την ωρίμανση. Αντίθετα σε περιπτώσεις υπερβολικής υγρασίας σε γόνιμα εδάφη παρατηρείται στις ζυηρές ποικιλίες ζυηρότητα βλάστησης, ανθόρροια και ανισοραγία των σταφυλιών . Γενικά είτε σε περιπτώσεις έλλειψης υγρασίας, είτε σε περιπτώσεις υπερβολικής υγρασίας παρατηρείται μείωση της απόδοσης και υποβάθμιση της ποιότητας της παραγωγής.

3.5 Ασθένειες και εχθροί της αμπέλου

3.5.1 Μυκητολογικές Ασθένειες

I. Περονόσπορος

Ο περονόσπορος οφείλεται στο μύκητα *Plasmopara viticola* της οικογένειας *Peronosporaceae* και αποτελεί



Εικόνα 42: Περονόσπορος

μία από τις σοβαρότερες ασθένειες του αμπελιού στην περιοχή μας αλλά και γενικότερα στις περισσότερες αμπελουργικές περιοχές της Ευρώπης. Τα συμπτώματα της ασθένειας εμφανίζονται σε όλα τα πράσινα μέρη του φυτού που έχουν ώριμα λειτουργικά στομάτια. Πιο συγκεκριμένα: Στα φύλλα, στην πάνω επιφάνεια εμφανίζονται «κηλίδες ελαίου», ενώ στη κάτω επιφάνεια στα ίδια σημεία

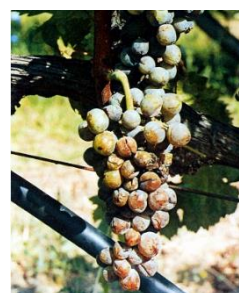
προσβολής ακριβώς, παρατηρείται λευκή εξάνθηση. Τελικά τα φύλλα ξεραίνονται, σχίζονται και πέφτουν. Οι πράσινες κληματίδες προσβάλλονται μόνο στα γόνατα λόγω του ότι παραμένουν επί περισσότερο χρόνο τρυφερά με αποτέλεσμα κατά τη διάρκεια της προσβολής να παρατηρείται σχίσμο κατά μήκος. Οι βότρες προσβάλλονται στους ποδίσκους, στα άνθη, στις πράσινες ράγες καθώς και στη ράχη και στις πλάγιες διακλαδώσεις. Η ευαισθησία των ραγών στην ασθένεια διαρκεί μέχρι το γυάλισμα (Ρούμπος, 2003). Αν προσβληθούν νωρίς παίρνουν καστανοπράσινο χρώμα με λευκή εξάνθηση, ζαρώνουν και πέφτουν. Αν προσβληθεί η ράχη αποξηραίνεται ολόκληρος ο βότρυς. Οι επιπτώσεις στο γεωργικό εισόδημα από την προσβολή των βοτρυών προκαλεί μείωση της παραγωγής.



Εικόνα 41: Περονόσπορος

II. Ωίδιο

Οφείλονται στο μύκητα *Uncinula necator* και αποτελεί εξίσου σημαντική με τον περονόσπορο ασθένεια στην περιοχή της Κορινθίας. Μάλιστα πολλές χρονιές που δεν ευνοείται η ανάπτυξη του περονόσπορου το ωίδιο κατέχει την πρώτη θέση από άποψη εξάπλωσης και προσβολής. Τα σοβαρά συμπτώματα της ασθένειας παρατηρούνται στους βότρες οι οποίοι:



Εικόνα 43: Ωίδιο

ι) Αν προσβληθούν πριν ή λίγο μετά από άνθηση παρουσιάζουν μειωμένη καρπόδεση,

ii) Αν προσβληθούν λίγο αργότερα οι μικρές ράγες καλύπτονται από την αλευρώδη εξάνθηση, μαραίνονται και πέφτουν,

ίί) Αν οι ράγες είναι κάπως ανεπτυγμένες, λόγω της νέκρωσης των επιδερμικών τους κυττάρων και τις συνεχιζόμενες αυξήσεις του μεσοκαρπίου σχίζονται και εμφανίζουν ανώμαλη ανάπτυξη (Εικόνα 41). Προσβαλλόμενα μέρη από το ωίδιο είναι τα φύλλα καθώς και οι βλαστοί. Στα φύλλα παρατηρούνται και στις δυο επιφάνειες κηλίδες ανοικτοπράσινου ως κίτρινου χρώματος που στη συνέχεια καλύπτονται από αραιό αλευρώδες επίχρισμα (Ρούμπος, 2003). Το φύλλο αποκτά κυματοειδή εμφάνιση με συστροφές της περιφέρειας προς τα πάνω. Οι βλαστοί εμφανίζουν ακανόνιστες καστανομέλανες κηλίδες με ασαφή όρια.

III. Φώμοψη

Οφείλεται στο μύκητα *Phomopsis viticola* ο οποίος ανήκει στους Αδηλομύκητες. Είναι σημαντική ασθένεια στην περιοχή μας και μπορεί να προκαλέσει μεγάλες ζημιές όταν προσβάλλει έναν αμπελώνα. Ο μύκητας προσβάλλει διάφορα όργανα του πρέμνου (φύλλα, βλαστούς, ταξιανθίες, ράγες) αλλά τα σοβαρότερα συμπτώματα παρατηρούνται στους βλαστούς-κληματίδες. Στη βάση των βλαστών στα πρώτα μεσογονάτια την άνοιξη εμφανίζονται σκούρες επιμήκεις κηλίδες που εξελίσσονται σε μικρά έλκη. Οι βλαστοί αυτοί παραμένουν



Εικόνα 44: Φώμοψη

κοντοί και μπορεί να νεκρωθούν ή γίνονται εύθραυστοι και σπάζουν εύκολα με τον άνεμο. Ενώ τον χειμώνα στη βάση των βλαστών-κληματίδων εμφανίζονται πολλά μαύρα στίγματα (πυκνίδια) .

IV. Τεφρά σήψη (βοτρύτης)

Οφείλεται στο μύκητα *Botrytis Cinerea* ο οποίος ανήκει στην οικογένεια *Moniliaceae*, έχει παγκόσμια



Εικόνα 45: Τεφρά σήψη

εξάπλωση και αποτελεί το σοβαρότερο πρόβλημα για τα ώριμα κυρίως σταφύλια το φθινόπωρο. Μάλιστα όταν τα σταφύλια είναι πιο χονδρόραγα από το κανονικό τόσο περισσότερο ευνοείται η ανάπτυξή του προκαλώντας πολύ μεγάλες ζημιές. Τα συμπτώματα της ασθένειας που παρατηρούνται στα ώριμα σταφύλια περιγράφονται παρακάτω: Στην επιφάνεια μερικών ραγών εμφανίζεται μια διάχυτη καστανή κηλίδα η οποία επεκτείνεται τόσο σε

έκταση όσο και σε βάθος (Ηλιόπουλος, 2002). Η ράγα χάνει τη γυαλιστερή της όψη και η επιδερμίδα αποκολλάται από τη σάρκα εύκολα με ελαφρά πίεση του δακτύλου. Αργότερα η προσβολή επεκτείνεται

σε όλη τη σάρκα με αποτέλεσμα να δημιουργείται μια μαλακή και υδαρής σήψη (. Τελικά οι προσβεβλημένοι ιστοί γίνονται καστανοί, χάνουν υγρασία, ζαρώνουν και συχνά «μουμποποιούνται». Με υψηλή υγρασία, η σήψη εξαπλώνεται εύκολα και γρήγορα στις ράγες που βρίσκονται σε επαφή με τις προσβεβλημένες. (Ρούμπος, 2003)

V. Ίσκα

Τα συμπτώματα στο ξύλο προκαλούνται από σύμπλεγμα μυκήτων με κύριο το βασιδιομύκητα



Εικόνα 46: Ίσκα

Fomitiporia mediterranea. Τα συμπτώματα στα φύλλα προκαλούνται από τοξίνες των ασκομυκήτων *Phaeoconiella*, *Phaeoacremonium* και *Cylindrocarpum* spp. Είναι χρόνια ασθένεια ξύλου αρκετά διαδεδομένη σε αμπελώνες ηλικίας 15-25 ετών. Προσβάλλει το καρδιόξυλο του πρέμνου και προκαλεί μια χρόνια ασθένεια που οδηγεί στη σταδιακή αποξήρανση βραχιόνων ή και αποπληξία. Τα πρώτα χαρακτηριστικά συμπτώματα της ασθένειας εμφανίζονται αργά το καλοκαίρι, πολύ συχνά τον Αύγουστο, στα κατώτερα φύλλα των κληματίδων ή σε ολόκληρο το πρέμνο. Στα

φύλλα παρατηρούνται περιφερειακές και μεσονεύριες χλωρώσεις που καταλήγουν σε ξηράνσεις. Στις ράγες εμφανίζονται μικρές σκούρες νεκρωτικές κηλίδες που περιβάλλονται από κατανοϊώδη δακτύλιο. Τα πρέμνα αποξηραίνονται μετά 1 - 3 χρόνια αλλά είναι δυνατό να επέλθει αποπληξία του πρέμνου ακόμα και τον ίδιο χρόνο (Ε.Φ.Ε.,1998). Κάτω από το φλοιό παρατηρούνται καστανές ή πορτοκαλί γραμμώσεις του ξύλου που επεκτείνονται μέχρι την βάση του πρέμνου .

VI. Ευτυπίωση

Είναι μία ασθένεια πολύ διαδεδομένη στην Κορινθία που έχει αρχίσει ιδίως τα τελευταία χρόνια να προκαλεί σοβαρές ζημιές στην Σουλτανίνα σε σχέση με παλαιότερα. Οφείλεται στο μύκητα *Eutypa lata* της τάξης Sphaeriales και είναι όπως και η ίσκα ασθένεια ξύλου. Προσβάλλει το ξύλο κεφαλών και βραχιόνων αποκτώντας καφέ χρωματισμό και νέκρωση(Εικόνα 45). Η εξέλιξη της ασθένειας πραγματοποιείται με βραδύ ρυθμό και τα κυριότερα συμπτώματα κατά τα διάφορα βλαστικά στάδια είναι:



Εικόνα 47: Ευτυπίωση

Καθυστερημένη βλάστηση με χλώρωση, μικροφυλλία, βραχυγονάτωση, παραμόρφωση και περιφερειακή νέκρωση φύλλων, ξήρανση ταξιανθιών, ραγόρροια, κακή ωρίμανση σταφυλιών, ξήρανση κεφαλών και βραχιόνων.

3.5.2 Ιολογικές ασθένειες

1. Μολυσματικός εκφυλισμός (*Grapevine Fan Leaf*)

Η ασθένεια οφείλεται στον ιό Grapevine fan Leaf virus (GFLV) ο οποίος ανήκει στην κατηγορία NePo (ιοί με πολυεδρικό σωματίδιο, διαμέτρου 30 nm, μεταδιδόμενοι με νηματώδεις) και είναι αρκετά διαδεδομένοι στην περιοχή μας έχοντας μεγάλη οικονομική σημασία. Είναι γνωστές τρεις φυλές του ιού που προκαλούν και διαφορετικά κύρια συμπτώματα: Ριπιδοειδές φύλλο, κίτρινο - μωσαϊκή και ταινίωση των νευρώσεων. Ο μολυσματικός εκφυλισμός εκδηλώνεται με ποικιλία συμπτωμάτων τα κυριότερα των οποίων είναι τα εξής:



Εικόνα 48: Μολυσματικός εκφυλισμός

α) Στους βλαστούς - κληματίδες: Βραχυγονάτωση, άνισα μεσογονάτια διαστήματα (εναλλάξ μικρά και μεγάλα), διπλοί κόμβοι, διχάλωση, δεσμίωση .

β) Στα φύλλα παρατηρούνται παραμορφώσεις και μωσαϊκό. Ειδικότερα παρατηρείται ασυμμετρία του ελάσματος, ακανόνιστη δικτύωση των νευρώσεων, άνοιγμα του μισχικού κόλπου, αύξηση του αριθμού των νευρώσεων, χλώρωση κατά τομείς ή σε ολόκληρο το φύλλο, κίτρινο μωσαϊκό με διάφορες μορφές, περινεύριος μεταχρωματισμός κ.α.

γ) Στους βότρεις λόγω ατελούς γονιμοποίησης μπορεί να παρατηρηθεί ανισορραγία, αραιορραγία και μικρορραγία. Επίσης μπορεί να παρατηρηθεί δεσμίωση του κεντρικού άξονα της ταξιανθίας κατά θέσεις.

Ο μολυσματικός εκφυλισμός μπορεί να οδηγήσει στην ολοκληρωτική ξήρανση των πρέμνων (*Ηλιόπουλος, 2002*). Κατά κανόνα όμως προκαλεί προοδευτική εξασθένηση των πρέμνων και σταδιακή μείωση της παραγωγής τους, μέχρι που η εκμετάλλευση του αμπελώνα γίνεται αντιοικονομική. Λόγω της ανισορραγίας και μικρορραγίας των σταφυλιών υποβαθμίζεται και η ποιότητα στη Σουλτανίνα.

3.5.3 Εντομα

I. *Lobesia botrana* (ευδεμίδα της αμπέλου)

Στην Ελλάδα έχει τρεις γενιές, η πρώτη είναι κατά κανόνα ανθοφάγος ενώ η δεύτερη και η τρίτη γενιά είναι καρποφάγες. Εκτός από τις άμεσες ζημιές που προκαλεί στις ράγες, προκαλούνται σήψεις στις τραυματισμένες ράγες από μύκητες και μικροοργανισμούς που έπειτα απλώνονται και σε υγιείς. καταπολέμηση γίνεται κυρίως με συνθετικά εντομοκτόνα και λιγότερο συχνά με μικροβιακά.



Εικόνα 49: Ευδεμίδα της αμπέλου

II. *Drepanothrips reuteri* (θρίπας)

Είναι μήκους 0,6-0,9 mm, κιτρινωπό, με σύνθετους και απλούς οφθαλμούς ερυθροκάστανους και κεραίες με 6 άρθρα των οποίων τα 3 κορυφαία καστανωπά. Προκαλούν νεκρώσεις και ουλές, εμποδίζουν την κανονική ανάπτυξη των οργάνων του φυτού, προκαλώντας ακόμα και βραχυγονάτωση, μικροφυλλία και παραμόρφωση φύλλων. Για να καταπολεμηθεί συνήθως αρκεί ένας έγκαιρος ψεκασμός με κατάλληλο εντομοκτόνο όταν άμπελος βρίσκεται στα πρώτα βλαστικά στάδια.



Εικόνα 50: Θρίπας

III. *Φυλλοξήρα* (*Viteus vitifoliae*)

Έντομο ιθαγενές των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής. Από το 1860 άρχισε να μεταδίδεται και σε άλλες χώρες. Το 1863 εμφανίζεται στους αμπελώνες της Γαλλίας και τους καταστρέφει. Το 1898 παρατηρείται στην Ελλάδα. Η φυλλοξήρα με τα τοιμήματά της δημιουργεί φυμάτια στα μικρά ριζίδια και στις μεγαλύτερες ρίζες δημιουργούνται εξογκώματα (καρκινώματα). Τα τμήματα που έχουν προσβληθεί σαπίζουν και καταστρέφονται. Στο υπέργειο τμήμα του φυτού έχουμε καθυστερημένη βλάστηση, χλώρωση, ξήρανση των φύλλων, πρόωρη φυλλόπτωση και τελικά αποξήρανση του φυτού.



Εικόνα 51: Φυλλοξήρα

3.5.4 Ακαρεα

I. *Planococcus spp.* (ψευδόκοκοι)



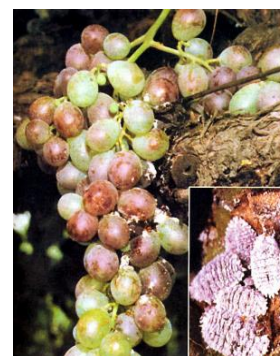
Εικόνα 52: Ψευδόκοκοι

Δύο τουλάχιστον είδη προσβάλλουν την άμπελο στη χώρα μας, το *Planococcus cirti* και το *Planococcus Ficus*, τα οποία μοιάζουν πολύ στην μορφή και στον τρόπο ζωής. Διαχειμάζουν σε ρωγμές του φλοιού αλλά και σε προφυλαγμένες θέσεις στο υπέργειο μέρος του πρέμνου και στις ρίζες. Την άνοιξη αρχίζουν και μετακινούνται προς τους τρυφερούς βλαστούς. Τα κηρώδη εκκρίματα, τα μελιτώδη αποχωρήματα και η καπνιά που ακολουθεί, προκαλούν έμμεση ζημιά που μπορεί να είναι και σοβαρή. Η καταπολέμηση γίνεται με

δύο ψεκασμούς με γαλάκτωμα θερινού ορυκτελαίου 1,7% μόνο με προσθήκη οργανοφωσφορούχου εντομοκτόνου.

II. *Τετράνυχοι*

Οι τετράνυχοι απομυζούν και αποξηραίνουν τα μικρά ή μεγάλα φύλλα τα οποία παίρνουν ένα χρώμα κοκκινωπό. Προσβάλλουν επίσης το μίσχο και τις διακλαδώσεις του σταφυλιού. Οι προσβολές είναι σαν μαύρη σκουριά.



Εικόνα 53: Τετράνυχοι

3.5.5 Μη παρασιτικές Ασθένειες

I. Ξήρανση της ραχέως των βοτρυών



Εικόνα 54: Ξήρανση των βοτρυών

Είναι μία από τις πλέον σοβαρές μη παρασιτικές ασθένειες της αμπέλου που προξενεί κάθε χρόνο σε όλη την περιοχή της Κορινθίας σημαντικές ζημιές στη Σουλτανίνα. Η ασθένεια παρουσιάζεται συνήθως κατά την αρχή της ωριμάνσεως των ραγών, αλλά σε σοβαρές περιπτώσεις μπορεί να εμφανισθεί και νωρίτερα. Στο ακραίο τμήμα του βότρυος οι ράγες μαραίνονται και στη συνέχεια ολόκληρο το τμήμα ξηραίνεται. Η μάρανση των ραγών είναι

αποτέλεσμα της μη τροφοδοτήσεώς τους με νερό. Η αιτιολογία της ασθένειας δεν είναι πλήρως διευκρινισμένη. Φαίνεται όμως ότι έχει σχέση με διαταραχή της ισορροπίας των βάσεων ασβεστίου - μαγνησίου - καλίου στην διατροφή των πρέμνων. Η ασθένεια ευνοείται από περιόδους εντόνου ηλιοφάνειας και υψηλών θερμοκρασιών, ιδίως μετά από περίοδο δροσερού και υγρού καιρού

3.5.6 Νηματώδεις

Στη χώρα μας και συγκεκριμένα στην Κορινθία έχει διαπιστωθεί ότι το αμπέλι προσβάλλεται κυρίως από νηματώδεις του γένους *Xiphinema* (*X. index*, *X. italial*, *X. americanum* κ.α.). Είναι εκτοπαρασιτικοί μεταναστευτικοί νηματώδεις και προσβάλλουν τις ρίζες εις βάρος των οποίων τρέφονται. Οι ζημιές που προκαλούν είναι άμεσες αλλά και έμμεσες γιατί είναι οι κύριοι φορείς του ιού του μολυσματικού εκφυλισμού. Η αντιμετώπιση των νηματωδών γίνεται προ της εγκαταστάσεως του αμπελώνα. Ιδιαίτερα απαραίτητη είναι, όταν πρόκειται για αναμπέλωση παλαιού αμπελώνα (Ρούμπος, 2003). Στην περίπτωση αυτή το έδαφος παραμένει χέρσο επί ένα έτος μετά την εκρίζωση του παλαιού αμπελώνα, κατά το οποίο γίνεται ένα βαθύ όργωμα. Αργά το καλοκαίρι ή το φθινόπωρο του επόμενου έτους γίνεται εφαρμογή νηματοδοκτόνου υπό υγρή μορφή ή κοκκώδη, που είναι και πρακτικότερο.

4 Υλικά και Μέθοδοι

4.1 Περιγραφή πειραματικού αμπελώνα

Η πειραματική διαδικασία διεξήχθη το έτος 2017, σε αμπελώνα 14 στρεμμάτων που βρίσκεται στην ευρύτερη περιοχή του Κιάτου Κορινθίας με γεωγραφικές συντεταγμένες 37° 54.532 'N, 22° 44.798' E (Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε., Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.). Τα αμπέλια φυτεύτηκαν το 2006, με την επιτραπέζια ποικιλία *Vitis vinifera* L. cv. Thompson seedless. Κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας έχουν χρησιμοποιηθεί υπερβολικές ποσότητες φωτορυθμιστικών ενώσεων και λιπασμάτων για την επίτευξη εμπορικών προδιαγραφών όσον αφορά στη διάμετρο των ραγών και στην περιεκτικότητα των σταφυλιών σε ζάχαρη. Ο αμπελώνας αρδεύτηκε με περίπου 2400 mm/ha., ενώ εφαρμόστηκαν 16 ψεκασμοί λιπασμάτων φυλλώματος, φυτοπροστατευτικών προϊόντων και ρυθμιστών ανάπτυξης.



Εικόνα 55: Η περιοχή μελέτης



Εικόνα 56: Η περιοχή μελέτης σε περιβάλλον Google Earth χωρισμένο σε ένα πλέγμα 36 κελιών

Το αγροτεμάχιο παρουσίασε μεταβολή της σύστασης του εδάφους με δύο διαφορετικούς τύπους εδάφους (αμμοαργιλοπηλώδες και αργιλοπηλώδες). Ένα πλέγμα 36 κελιών (298-404 m² ανά κελί) δημιουργήθηκε για να διευκολύνει τις μετρήσεις πεδίου, τη συσχέτιση των αποτελεσμάτων και την αξιολόγηση της απόδοσης της καλλιέργειας (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**). Αυτή η μεθοδολογία χρησιμοποιήθηκε επίσης από τους Tagarakis et al. (2013) και Farid et al. (2016). Στη συνέχεια έγιναν τέσσερις μετρήσεις κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου με την βοήθεια του αισθητήρα Crop Circle ACS-470, με στόχο τον προσδιορισμό της ευρωστίας των φυτών. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκε η επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων που με τις ίδιες περίπου ημερομηνίες λήψης (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**).

Πίνακας 9: Ημερομηνίες λήψης δεδομένων

	Δορυφορικές Εικόνες	Μετρήσεις με αισθητήρα CC
1.Άνθιση	15.06.2017	15.06.2017
2.Περκασμός	25.06.2017	22.06.2017
3.Ωρίμανση	25.07.2017	26.07.2017
4.Τεχνολογική ωρίμανση	14.08.2017	16.08.2017

4.2 Μετρήσεις αισθητήρα Crop Circle

Για την διεξαγωγή των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε ο ενεργητικού τύπου αισθητήρας Crop circle ACS- 470 Multi- Spectral Crop Canopy Sensor, ο οποίος εκπέμπει ακτινοβολία και καταγράφει την ανάκλαση της ακτινοβολίας αυτής από το φύλλωμα (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**). Ο συγκεκριμένος αισθητήρας χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλές εφαρμογές Γεωργίας Ακριβείας για τον υπολογισμό πληθώρας δεικτών βλάστησης. Λόγω της τεχνολογίας πηγής φωτός που διαθέτει, οι μετρήσεις μπορούν να γίνουν είτε μέρα είτε νύχτα.

Επιπλέον, μπορεί να τοποθετηθεί σε οποιονδήποτε τύπο οχήματος, είτε να γίνει η χρήση του με το χέρι. Ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα αυτού του αισθητήρα είναι η δυνατότητα ενσωμάτωσης τριών οπτικών καναλιών μέτρησης, τα οποία διαμορφώνει ο χρήστης χρησιμοποιώντας 12,5 mm φίλτρα παρεμβολής.



Εικόνα 57: Crop Circle ACS-470 (i) Canopy Sensor (ii) GeoSCOUTGLS 400 datalogger (iii) GPS (iv) Μπαταρία

Στη συγκεκριμένη μελέτη, επιλέχθηκαν 2 φίλτρα παρεμβολής για την καταγραφή των τιμών ανάκλασης στα εξής μήκη κύματος: 535 nm, 550 nm, 670 nm, 700 nm, 730 nm, 760 nm. Οι μετρήσεις του αισθητήρα συλλέχθηκαν με ρυθμό 10 μετρήσεων ανά δευτερόλεπτο και τα δεδομένα φασματικής ανάκλασης καταγράφηκαν σε ένα αρχείο κειμένου σε κάρτα flash SD, με τη χρήση του Holland Scientific GeoSCOUTGLS 400 datalogger. Συνολικά έγιναν τέσσερις μετρήσεις κατά τα κρίσιμα βλασθητικά στάδια της καλλιέργειας, στις οποίες έγινε σάρωση μόνο της πλάγιας κόμης της αμπέλου, με στόχο τον προσδιορισμό της ευρωστίας των φυτών. Στη συνέχεια τα δεδομένα εισήχθησαν στο λογισμικό ArcGIS για την επεξεργασία τους και την εξαγωγή θεματικών χαρτών. Κατά την επεξεργασία των δεδομένων αφαιρέθηκαν οι ακραίες και μη αποδεκτές τιμές οι οποίες δημιουργούνται στην άνω και κάτω πλευρά του αμπελώνα καθώς γίνεται στροφή και αλλαγή γραμμής.

4.2.1 Γεωστατιστική Ανάλυση

Ακολούθησε γεωστατιστική ανάλυση δεδομένων και πιο συγκεκριμένα χωρική παρεμβολή IDW. Η ακανόνιστη κατανομή των θέσεων των μετρήσεων, αποτελεί το σημαντικότερο ζήτημα για την εφαρμογή της χωρικής παρεμβολής και για το λόγο αυτό θα πρέπει πρώτα να προσδιοριστεί ο βαθμός χωρικής εξάρτησης των δεδομένων του αισθητήρα.

4.2.2 4.2.1.1. Ανάλυση χωρικής αυτοσυσχέτισης

Για τον προσδιορισμό του βαθμού της χωρικής αυτοσυσχέτισης των δεδομένων έγινε υπολογισμός του δείκτη Moran's I. Ο δείκτης Moran's I είναι ένας από τους παλαιότερους και πιο κοινούς δείκτες που χρησιμοποιούνται για να εξετάσουν την ύπαρξη χωρικής αυτοσυσχέτισης σε χωρικά δεδομένα μίας μεταβλητής. Σήμερα, ο δείκτης Moran's I είναι γνωστός από το εκτενές ερευνητικό έργο των Cliff & Ord (1973, 1981) που δημοσίευσαν εμπειριστατωμένες μελέτες για τη χωρική αυτοσυσχέτιση στα γεωγραφικά δεδομένα. Στις δημοσιεύσεις τους οι παραπάνω ερευνητές προτείνουν τη δική τους μαθηματική συνάρτηση υπολογισμού του δείκτη Moran's I που βασίζεται στους υπολογισμούς των moments του ερευνητή Moran (1948) και τον πρώτο ορισμό του δείκτη I (Moran, 1950), ο οποίος βασίστηκε στην ανάλυση του συντελεστή συσχέτισης Pearson.

Ο ολικός δείκτης Moran's I παίρνει τιμές από -1 ως $+1$ και η ερμηνεία του είναι παρόμοια με αυτή του συντελεστή συσχέτισης (Rogerson 2010):

- Τιμές κοντά στο $+1$ υποδηλώνουν ισχυρή θετική χωρική αυτοσυσχέτιση (αναμένονται χωρικά πρότυπα στα οποία γειτονικές παρατηρήσεις τείνουν να έχουν παρόμοια υψηλές ή χαμηλές τιμές μιας μεταβλητής),
- Τιμές κοντά στο -1 υποδηλώνουν ισχυρή αρνητική χωρική αυτοσυσχέτιση (π.χ. υψηλές τιμές μιας μεταβλητής τείνουν να βρίσκονται κοντά σε χαμηλές τιμές)
- Τιμές κοντά στο 0 υποδηλώνουν απουσία χωρικής αυτοσυσχέτισης και επομένως χωρικών προτύπων. Αξίζει να σημειωθεί ότι γενικά τα χωρικά δεδομένα τείνουν να έχουν θετική χωρική αυτοσυσχέτιση - ως απόρροια του πρώτου νόμου της γεωγραφίας- ενώ η αρνητική χωρική αυτοσυσχέτιση είναι σπάνια.

4.2.3 4.2.1.2. IDW

Η IDW είναι μια μέθοδος η οποία σταθμίζει τις περιβάλλουσες τιμές των μετρήσεων για να καταλήξει σε πρόβλεψη για μια θέση δίχως μετρήσεις. Ένα από τα βήματα της μεθόδου είναι η επιλογή των γειτόνων που θα συνεισφέρουν στην εκτίμηση της τιμής σε μία θέση, είναι η λεγόμενη ακτίνα επίδρασης. Η ακτίνα

επίδρασης ορίστηκε μέσω του αριθμού των γειτόνων που κατά ελάχιστον θα πρέπει να συνεισφέρουν στην εκτίμηση κάθε άλλης θέσης και μέχρι ενός ανώτατου ορίου. Μετά από πολλές δοκιμές, βρέθηκε ότι ο βέλτιστος αριθμός γειτόνων για όλες τις περιόδους είναι ελάχιστο 10 και μέγιστο 15. Ένα άλλο βήμα είναι ο καθορισμός των τομέων. Η επιλογή των οκτώ τομέων για παράδειγμα, παρέχει τη δυνατότητα ίσης συνεισφοράς των γειτόνων κάθε τομέα στη διαμόρφωση της τιμής. Έτσι, ο μικρός αριθμός γειτόνων ενός τομέα, αποκτά μεγαλύτερη αξία από των αριθμό γειτόνων ενός άλλου τομέα. Μια βέλτιστη τιμή της παραμέτρου της δύναμης μπορεί να προσδιοριστεί με την ελαχιστοποίηση του RMSE (ρίζα του τετραγωνικού σφάλματος), το οποίο υπολογίζεται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας cross-validation η οποία είναι ενσωματωμένη στα στάδια χωρικής παρεμβολής όλων των μεθόδων, στην εργαλειοθήκη Geostatistical tools στο ArcGIS

4.2.4 Μετρήσεις τηλεπισκόπησης

Θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση κατά στην επιλογή των δορυφορικών εικόνων που χρησιμοποιούνται, ειδικότερα στις ημερομηνίες λήψης καθώς και στη χωρική διακριτική τους ικανότητα. Με την προϋπόθεση ότι το σύστημα απεικόνισης καταγράφει μια εικόνα της ίδιας περιοχής σε κανονικά διαστήματα και την ίδια ώρα της ημέρας, συνηθίζεται να επιλέγονται εικόνες που έχουν ληφθεί κατά τις ίδιες ημερομηνίες και ώρες. Με αυτό τον τρόπο ελαχιστοποιούνται οι διαφορές στην ανάκλαση λόγω εποχιακών μεταβολών στη βλάστηση, οι διαφορές στην υγρασία εδάφους ή οι διαφορές λόγω γωνίας πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας ή ισοδύναμα ύψους του ήλιου. Αναλυτικότερα, η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας επηρεάζει αφενός το ποσοστό φωτισμού, το οποίο ανακλάται ή εκπέμπεται από το δέκτη και αφετέρου την ποιότητα του φάσματος. Όσο η έκταση και η γωνία του φωτισμού αλλάζει, τόσο η αντίθεση (το κοντράστ) μεταξύ του αντικειμένου και του φόντου (περιβάλλοντος) μεταβάλλεται. Επιπλέον, στις μικρές γωνίες του ήλιου (χαμηλό το ύψος του ήλιου), οι σκιές των (ομοιόμορφων) αντικειμένων τονίζονται έτσι ώστε να αυξάνεται η ικανότητα διάκρισης (εντοπισμού) των ορίων μεταξύ των αντικειμένων (Αστάρας, 2010).

Οι εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν για την παρούσα μελέτη προέρχονται από τον δορυφόρο Sentinel 2 και διατίθενται μέσω του Sentinels Scientific Data Hub ως σύνολα δεδομένων ορθοεικόνων των 100 km² σε UTM/WGS84 προβολή με την πληροφορία της ανακλαστικότητας στην κορυφή της ατμόσφαιρας (top-of-atmosphere reflectance). Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν εικόνες Level 2A οι οποίες είναι ατμοσφαιρικά και ραδιομετρικά διορθωμένες σε τιμές ακτινοβολίας στην κορυφή της ατμόσφαιρας και έχουν την γεωμετρία του δορυφόρου. Επιπλέον οι εικόνες όλων των φασματικών καναλιών (Πίνακας 10)

ενώθηκαν σε ένα ενιαίο dataset, με χωρική ανάλυση 10m και προβολικό σύστημα αναφοράς του WGS84, UTM Zone 34 για την εμβάθυνση της ανάλυσης.

Πίνακας 10: Τα φασματικά κανάλια του τον δορυφόρου Sentinel 2

Sentinel-2 Bands	Central Wavelength (μm)	Wavelength	Resolution (m)
		Min-Max	
Band 1 - Coastal aerosol	0.443	0.421-0.457	60 m
Band 2 - Blue	0.490	0.439-0.535	10 m
Band 3 - Green	0.560	0.537-0.582	10 m
Band 4 - Red	0.665	0.646-0.685	10 m
Band 5 - Vegetation Red Edge	0.705	0.694-0.714	20 m
Band 6 - Vegetation Red Edge	0.740	0.731-0.749	20 m
Band 7 - Vegetation Red Edge	0.842	0.768-0.796	20 m
Band 8 - NIR	0.842	0.767-0.908	10 m
Band 8A - Vegetation Red Edge	0.865	0.848-0.881	20 m
Band 9 - Water vapour	0.945	0.931-0.958	60m
Band 10 - SWIR - Cirrus	1.375	1.338-1.414	60 m
Band 11 - SWIR	1.610	1.539-1.681	20 m
Band 12 - SWIR	2.190	2.072-2.312	20 m

Στην συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν 3 φασματικά κανάλια(Band 4,7,8) για την εξαγωγή του δείκτη NDVI μέσω της παρακάτω εξίσωσης. Η χρήση των καναλιών 3,4,6,8 έγινε για την καλύτερη αντιστοιχία και συσχέτιση των αποτελεσμάτων με αυτών του αισθητήρα Crop circle. Το τελικό αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας ήταν ένα υπολογιστικό φύλλο με 36 τιμές NDVI για την κάθε μέτρηση.

4.3 Μετρήσεις παραγωγής

Για τις μετρήσεις της παραγωγής χρησιμοποιήθηκαν πλαστικές κλούβες χωρητικότητας γύρω στα 25 κιλά, μια ηλεκτρονική ζυγαριά τοποθετημένη σε ένα καρτσάκι και ένα GPS. Οι εργάτες αφού γέμιζαν πλήρως τους κλωβούς, τους τοποθετούσαν κατά μήκος κάθε γραμμής και γινόταν καταγραφή συγκομιδής για κάθε κελί ξεχωριστά. Έπειτα σε κάθε σημείο που ζυγίζονταν ένας κλωβός παίρνονταν οι συντεταγμένες του σημείου με την χρήση GPS. Για μεγαλύτερη ακρίβεια στη δημιουργία των χαρτών, ζυγίστηκε ένας άδειος πλαστικός κλωβός, έτσι ώστε να αφαιρεθεί το βάρος της από το γεμάτο κλωβό και να υπολογιστεί το ακριβές βάρος των σταφυλιών

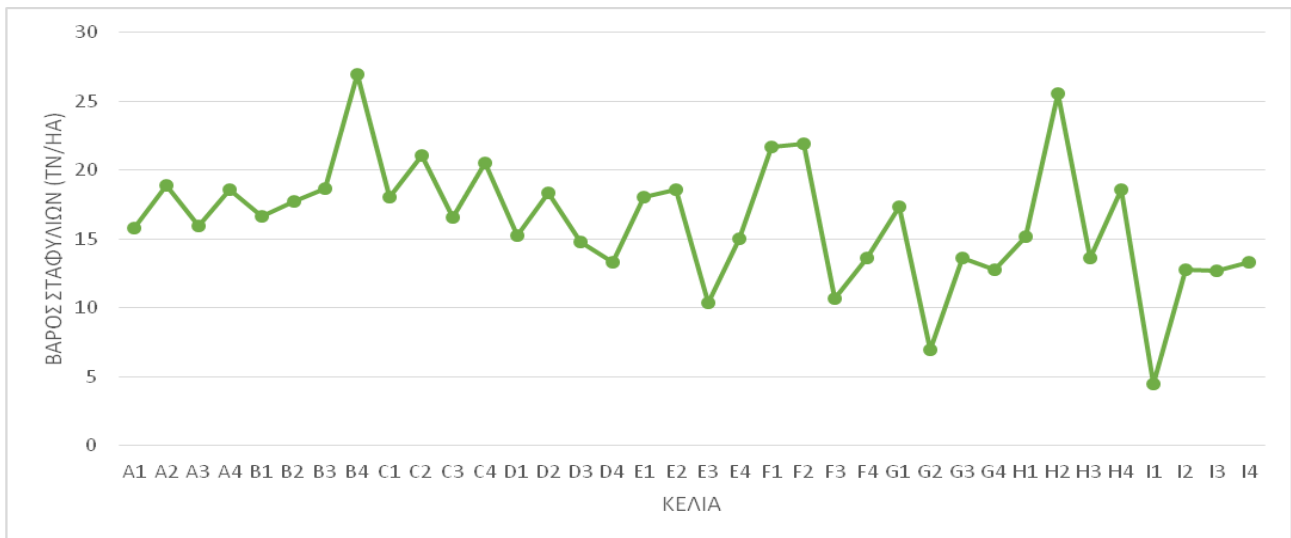
4.4 Στατιστική Ανάλυση

Για την εκτίμηση της συσχέτισης μεταξύ των αποτελεσμάτων των δορυφορικών εικόνων και του αισθητήρα Crop circle, εκτελέστηκε στατιστική ανάλυση, περιλαμβανομένων περιγραφικών στατιστικών, συντελεστή συσχέτισης και μοντέλου παλινδρόμησης. Ο συντελεστής συσχέτισης r των δορυφορικών εικόνων και των δεδομένων αισθητήρα υπολογίστηκε προκειμένου να διαπιστωθεί εάν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των δύο πηγών δεδομένων. Ο συντελεστής συσχέτισης παίρνει τιμές στο κλειστό διάστημα $[0,1]$ και όσο πλησιέστερα βρίσκεται η τιμή του προς το 1 τόσο μεγαλύτερη είναι η συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών. Η στατιστική ανάλυση διεξήχθη με στατιστικό λογισμικό (Statgraphics 16, StatPoint Technologies Inc., Warrenton, VA, USA) και αφορά στις παρακάτω ημερομηνίες (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**).

5 Αποτελέσματα

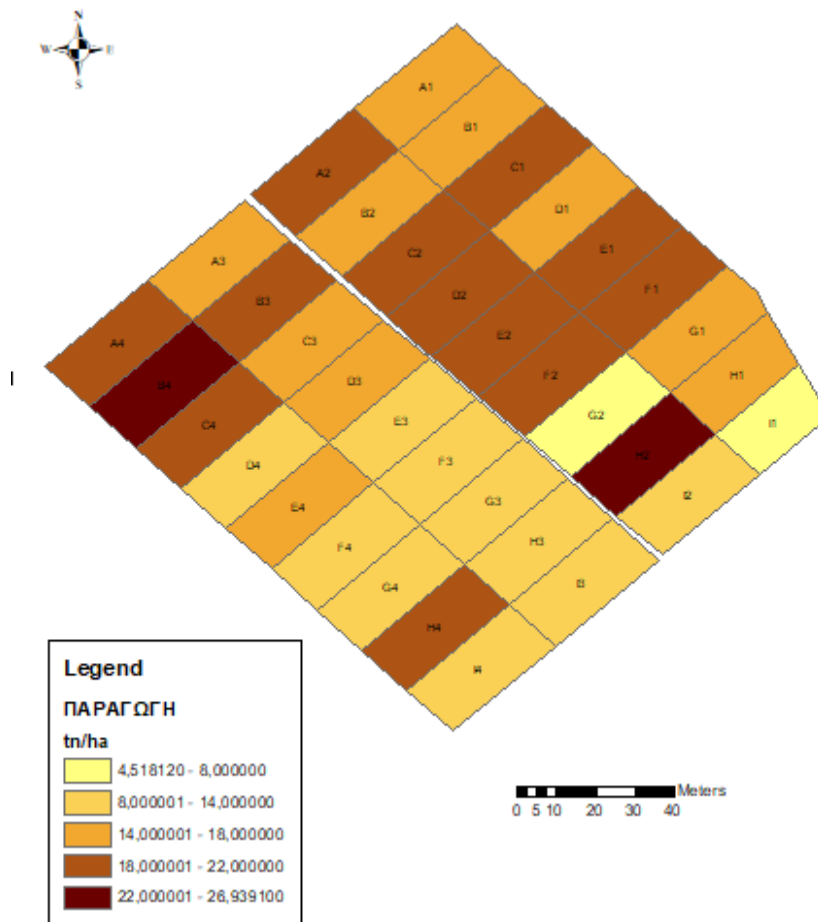
5.1 Χαρογράφηση παραγωγής

Στο παρακάτω διάγραμμα (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**) φαίνεται το βάρος των σταφυλιών (τον/ha.) ανά κελί. Η παραγωγή των αμπελιών μετρήθηκε τον Αύγουστο με σκοπό να γίνει συσχέτιση των δορυφορικών δεδομένων καθώς και των δεδομένων του αισθητήρα με την παραγωγή.



Διάγραμμα 1: Βάρος των σταφυλιών ανά κελί.

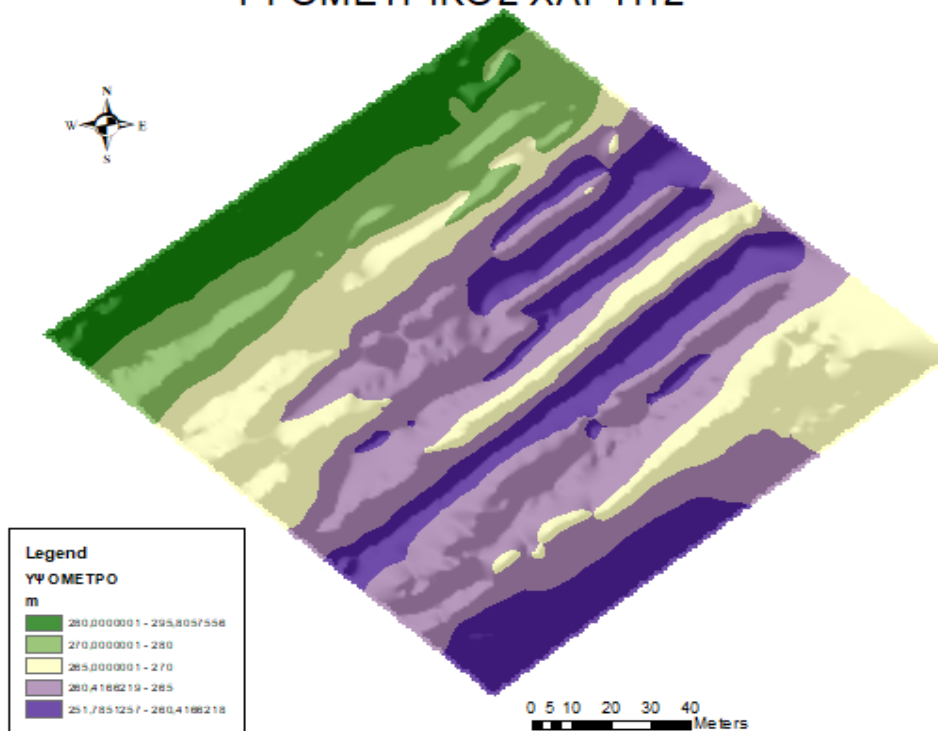
Στον παρακάτω χάρτη (*Εικόνα 58*) παρατηρούμε τη χωρική παραλλακτικότητα της παραγωγής του αγροτεμαχίου για το έτος 2017. Οι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται στα κελιά **B4** και **H2** ενώ οι χαμηλότερες τιμές εμφανίζονται στα κελιά **G2**, **I1**. Η συνολική παραγωγή για το έτος 2017 κυμάνθηκε από 452- 2.700 κιλά /στρέμμα και φαίνεται να υπάρχει μια τάση προς το νότιο τμήμα του αμπελώνα όπου χαρακτηρίζεται από χαμηλότερη παραγωγή σε σχέση με το βόρειο τμήμα του.



Εικόνα 58: Χάρτης παραγωγής για την ποικιλία Thompson seedless για το έτος 2017.

Η παραλλακτικότητα αυτή σημαίνει ότι η μέθοδος διαχείρισης που εφαρμόζεται στον αμπελώνα μελέτης δεν παρέχει τις κατάλληλες καλλιεργητικές τεχνικές σε όλες τις περιοχές του αγρού. Δεδομένου ότι ο αμπελώνας χαρακτηρίζεται από μικρή κλίση η οποία εκτείνεται στο κεντρικό τμήμα του αγροτεμαχίου με φορά από τον Βορρά προς τον Νότο θεωρούμε ότι η τοπογραφία του ίσως επηρεάζει την παραγωγή (Εικόνα 58). Επιπλέον, οι ιδιότητες του εδάφους είναι πολύ πιθανό να αλλάζουν από σημείο σε σημείο του αγρού με αποτέλεσμα να επηρεάζουν και την παραγωγή. Επίσης, οι καλλιεργητικές φροντίδες όπως λίπανση και άρδευση αν δεν εφαρμόζονται σωστά παίζουν ένα πολύ σημαντικό ρόλο στην τελική παραγωγή. Τέλος, τυχόν παρασιτισμοί σε συγκεκριμένα σημεία του αγρού έχουν ως αποτέλεσμα την επιρροή στη χωρική κατανομή της παραγωγής.

ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ



Εικόνα 59:Υψομετρικός χάρτης του αγροτεμαχίου.

Στον πίνακα (Πίνακας 11) παρουσιάζονται τα περιγραφικά στατιστικά [ελάχιστη τιμή, μέγιστη τιμή, μέση τιμή, τυπική απόκλιση και συντελεστής παραλλακτικότητας (CV) για την παραγωγή στον αμπελώνα για το έτος 2017 του πειράματος.

Πίνακας 11:Περιγραφικά στατιστικά της παραγωγής του αμπελώνα για το έτος 2017 του πειράματος.

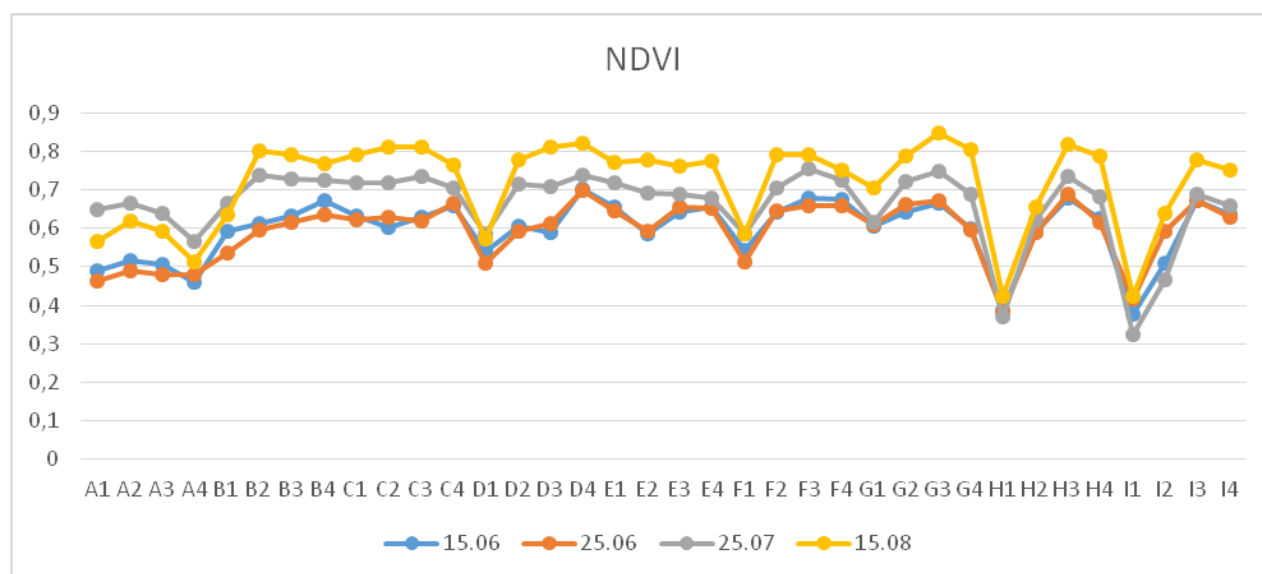
	Μέση Τιμή	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Τυπική απόκλιση	Συντελεστής Παραλλακτικότητας
Παραγωγή(kg/ha)	16.229,30	4.518,12	26.939,10	4533,10	27,93%

Από τα στοιχεία του πίνακα 11 φαίνεται ότι η ποικιλία Thompson seedless είχε κατά μέσο όρο για το έτος 2017 παραγωγή 16.229 kg/ha. Το μέγεθος της παραγωγής θεωρείται μικρό, καθώς τα προηγούμενα

δύο χρόνια το μέσο βάρος της παραγωγής, για το συγκεκριμένο αγροτεμάχιο ξεπερνούσε τους 20 τον /εκτ. Ο συντελεστής παραλλακτικότητας ήταν γύρω στο 27,93% που είναι υψηλός αν ληφθεί υπόψη ότι η έκταση του αμπελώνα που είναι μόλις 14 στρέμματα.

5.2 Σύγκριση αποτελεσμάτων δορυφορικών εικόνων

Στο παρακάτω διάγραμμα παρατηρούμε τις τιμές του NDVI_{sen} οι οποίες προήλθαν από τα δεδομένα του Sentinel δορυφόρου. Παρατηρούμε ότι η κατανομή των τιμών για όλες τις ημερομηνίες και τα κελιά ακολουθούν όμοια πορεία εμφανίζοντας παραλλακτικότητα στα διαφορετικά κελιά του αγροτεμαχίου. Στο διάγραμμα αποτυπώνεται η σταδιακή αύξηση της τιμής του δείκτη από τον Ιούνιο μέχρι τον Αύγουστο, όπου εμφανίζονται και οι υψηλότερες τιμές. Ο δείκτης εμφανίζει χαμηλότερες τιμές στα ακραία κελιά του πλέγματος και πιο συγκεκριμένα στα κελιά A4, D1, F1, H1 και I1. Τα κελιά που χαρακτηρίζονται από τις υψηλότερες τιμές είναι B2, C2, C3, C4, D3, D4, F2, G3, H3.



Διάγραμμα 2: Η κατανομή των τιμών NDVI του δορυφόρου Sentinel.

Από τα περιγραφικά στατιστικά του δείκτη NDVI_{sen} φαίνεται ότι η μικρότερη τιμή σημειώθηκε στις 25.07.17 ενώ η μέγιστη τιμή NDVI ήταν 0,85 και σημειώθηκε στις 14.08.17 στο στάδιο της συγκομιδής. Ο συντελεστής παραλλακτικότητας CV κυμάνθηκε μεταξύ 13,3-15,9% .

Πίνακας 12: Περιγραφικά στατιστικά του δείκτη NDVI_{sen} για το έτος 2017 του πειράματος.

	Μέση Τιμή	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Τυπική απόκλιση	Συντελεστής Παραλλακτικότητας

15.06.2017	0,59	0,37	0,70	0,079	13,28%
25.06.2017	0,59	0,38	0,70	0,079	13,24%
25.07.2017	0,66	0,32	0,75	0,098	14,84%
14.08.2017	0,72	0,42	0,85	0,114	15,90%

5.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων αισθητήρα Ctopcircle

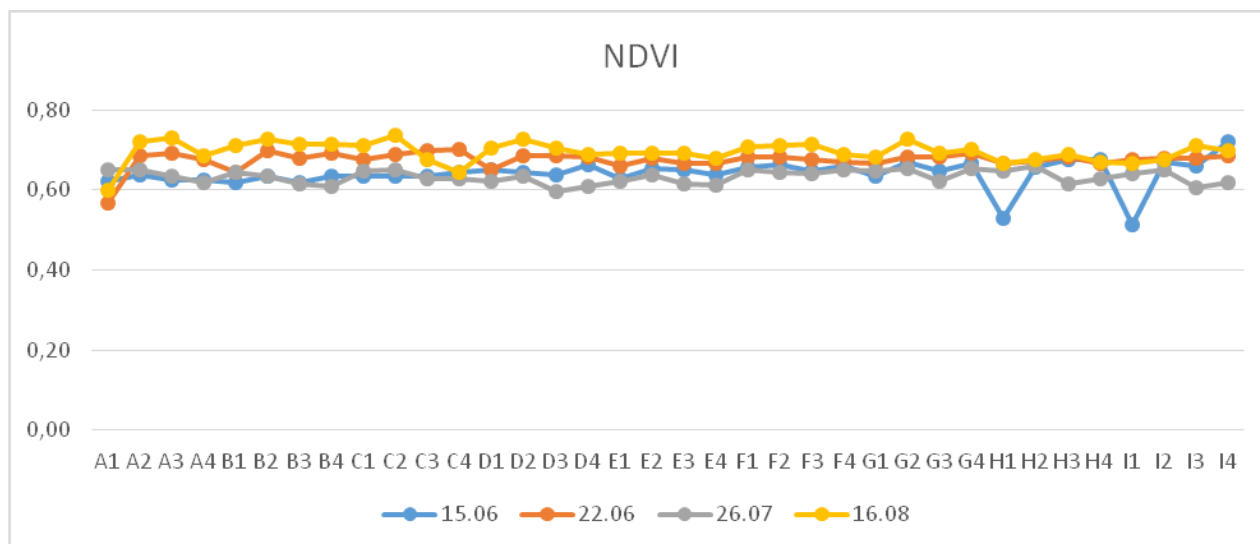
Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, οι τιμές του ολικού δείκτη Moran's I (global Moran's I) έχουν εύρος από 0,21 μέχρι 0,82 γεγονός που υποδεικνύει σημαντική θετική χωρική αυτοσυσχέτιση. Στη συνέχεια γίνεται έλεγχος για το αν ο ολικός δείκτης Moran's I είναι στατιστικά σημαντικός. Επειδή το $p\text{-value}=0,00$ και μικρότερο του 0,01 σε κάθε περίπτωση, θεωρούμε ότι ο ολικός δείκτης Moran's I είναι στατιστικά σημαντικός σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,01$ ή 99%.

Πίνακας 13: Τιμές του δείκτη Moran's I. Χρησιμοποιήθηκε Inverse Distance (αποδίδονται βάρη βάση της αντίστροφης απόστασης).

		532	550	670	700	740	760
15.06.2017	ΔΕΙΚΤΗΣ MORAN'S I	0.54	0.53	0.31	0.30	0.55	0.35
	Z-SCORE	63.20	62.68	42.67	41.45	65.21	48.63
22.06.2017	ΔΕΙΚΤΗΣ MORAN'S I	0,82	0,81	0,21	0,77	0,22	0,23
	Z-SCORE	80,44	79,19	51,97	75,05	53,82	55,92
26.07.2017	ΔΕΙΚΤΗΣ MORAN'S I	0,457	0,44	0,44	0,53	0,58	0,69
	Z-SCORE	64,81	62,90	62,14	61,98	55,98	54,68
16.08.2017	ΔΕΙΚΤΗΣ MORAN'S I	0.492	0.47	0.46	0.62	0.43	0.42
	Z-SCORE	74.89	71.02	66.36	94.66	62.07	61.39

Στο παρακάτω διάγραμμα (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**) παρατηρούμε ότι η κατανομή των τιμών για όλες τις ημερομηνίες και τα κελιά ακολουθούν όμοια πορεία εμφανίζοντας

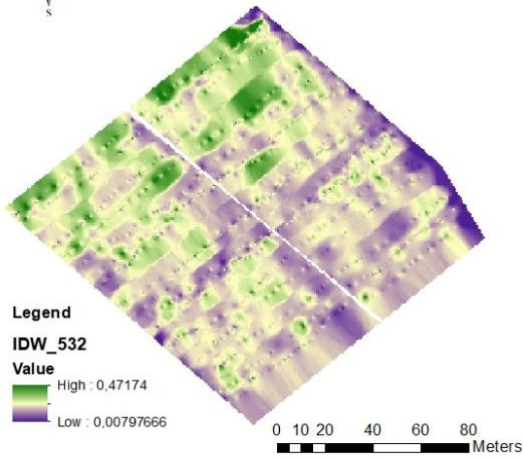
μικρή παραλλακτικότητα στα διαφορετικά κελιά του αγροτεμαχίου. Στο διάγραμμα αποτυπώνεται η σταδιακή αύξηση της τιμής του δείκτη από τον Ιούνιο μέχρι τον Αύγουστο όπου εμφανίζονται και οι υψηλότερες τιμές. Ο δείκτης εμφανίζει χαμηλότερες τιμές στα ακραία κελιά του πλέγματος και πιο συγκεκριμένα στα κελιά **H1** και **I1** την περίοδο της άνθισης.



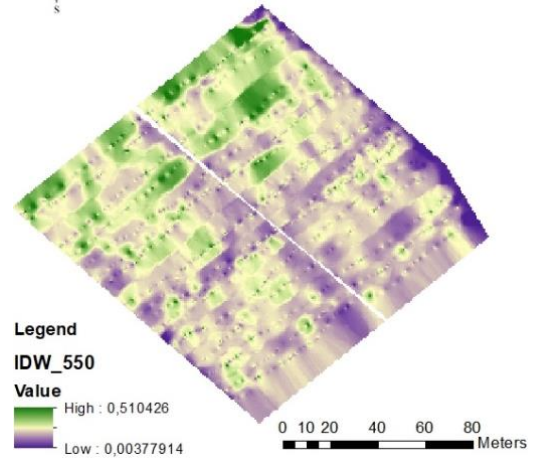
Διάγραμμα 3: Η κατανομή των τιμών NDVI του αισθητήρα Cropcircle.

Στην παρακάτω εικόνα (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**) φαίνονται τα οπτικά αποτελέσματα της χωρικής παρεμβολής των τιμών που καταγράφηκαν την ημερομηνία 15.06.2017. Η ίδια διαδικασία εφαρμόστηκε σε όλες τις ημερομηνίες των μετρήσεων. Οι υψηλές τιμές απεικονίζονται με σκούρο πράσινο ενώ οι χαμηλές με σκούρο μοβ.

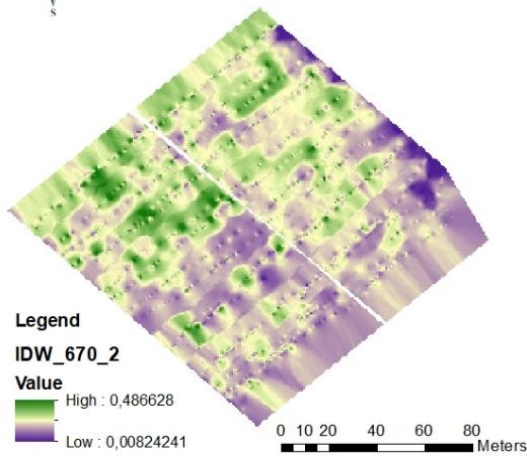
(i)



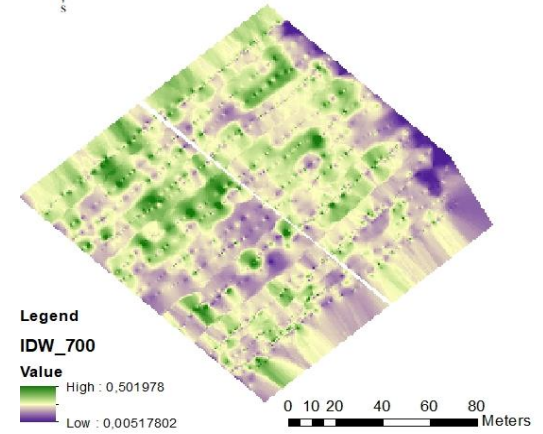
(ii)



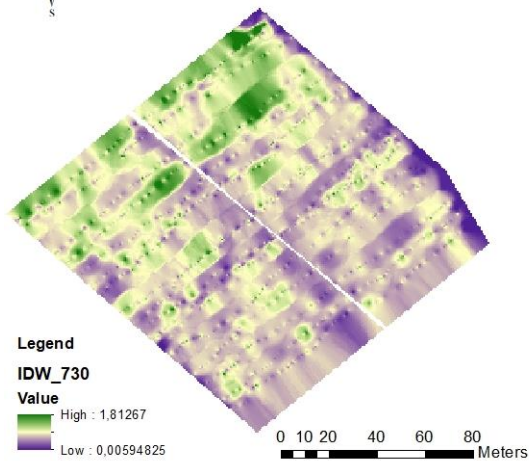
(iii)



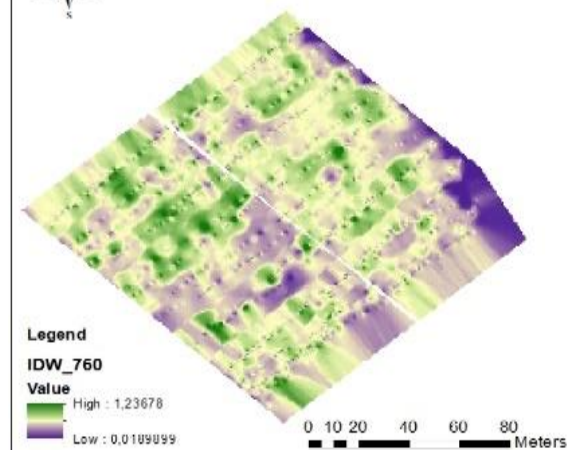
(iv)



(v)



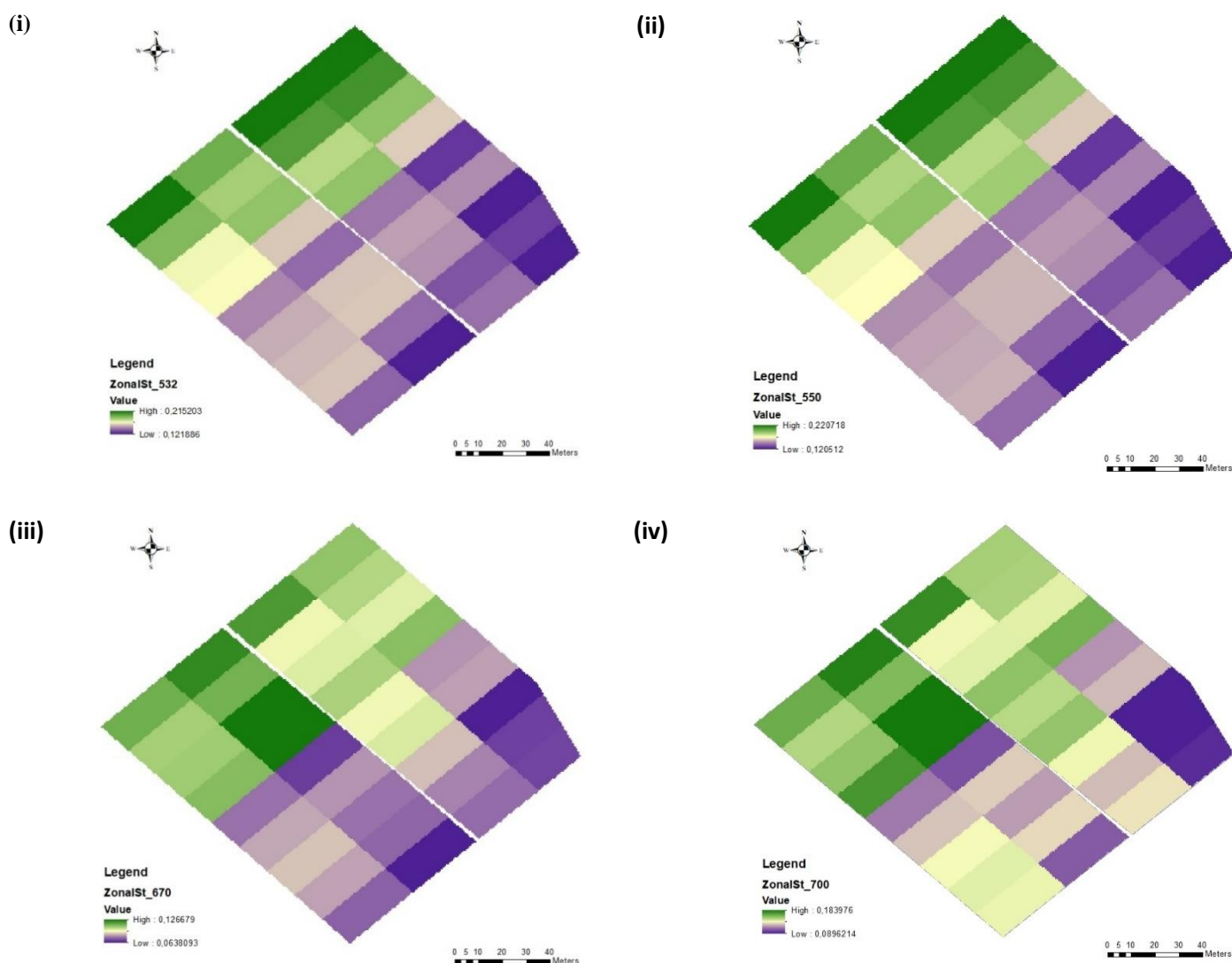
(vi)



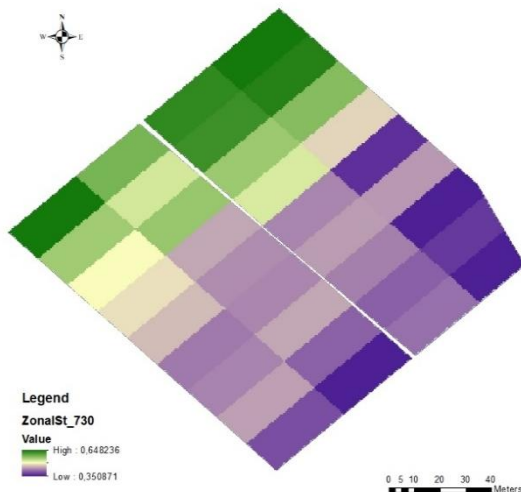
Εικόνα 60: Χωρική παρεμβολή IDW των τιμών ανάκλασης στα εξής μήκη κύματος: (i)535 nm, (ii) 550 nm, (iii) 670 nm, (iv)700 nm, (v)730 nm, (vi)760 nm

Στην συνέχεια χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο Zonal Statistics και Zonal Statistics as Table για να υπολογιστούν οι μέσες τιμές ανάκλασης ανά κελί (Εικόνα 61). Αυτή η διαδικασία έγινε για όλα τα μήκη κύματος και όλες τις ημερομηνίες. Στο τελευταίο στάδιο αυτής της διαδικασίας χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές(ρ) σε 2 μήκη κύματος (670nm , 760nm) για την εξαγωγή του δείκτη NDVI μέσω της παρακάτω εξίσωσης.

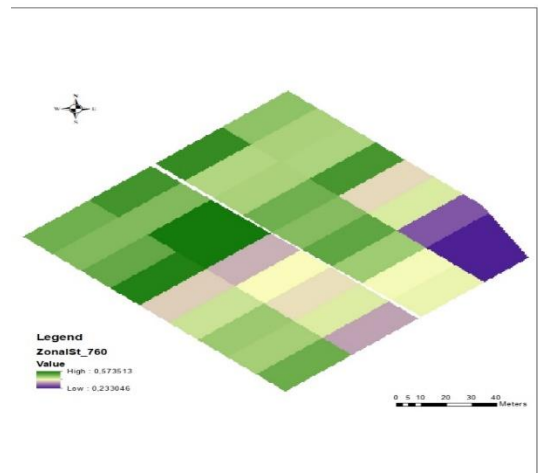
$$NDVI = \frac{(\rho_{760} - \rho_{670})}{(\rho_{760} + \rho_{670})}$$



(v)



(vi)



Εικόνα 61: Zonal Statistics για τα εξής μήκη κύματος: (i)535 nm, (ii) 550 nm, (iii) 670 nm, (iv)700 nm, (v)730 nm, (vi)760 nm

Από τα περιγραφικά στατιστικά του δείκτη $NDVI_{cc}$ για το έτος 2017 (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**) φαίνεται ότι η μικρότερη τιμή $NDVI_{cc}$ σημειώθηκε στις 15.06.17 στο στάδιο της άνθισης ενώ η μέγιστη τιμή του δείκτη $NDVI_{cc}$ ήταν 0,74 και σημειώθηκε στις 14.08.17. Ο συντελεστής παραλλακτικότητας CV κυμάνθηκε μεταξύ 1,99- 6,61 % γεγονός που θεωρείται λογικό καθώς ο αισθητήρας ήταν στραμμένος αποκλειστικά στη κόμη.

Πίνακας 14: Περιγραφικά στατιστικά του δείκτη $NDVI_{cc}$ για το έτος 2017 του πειράματος

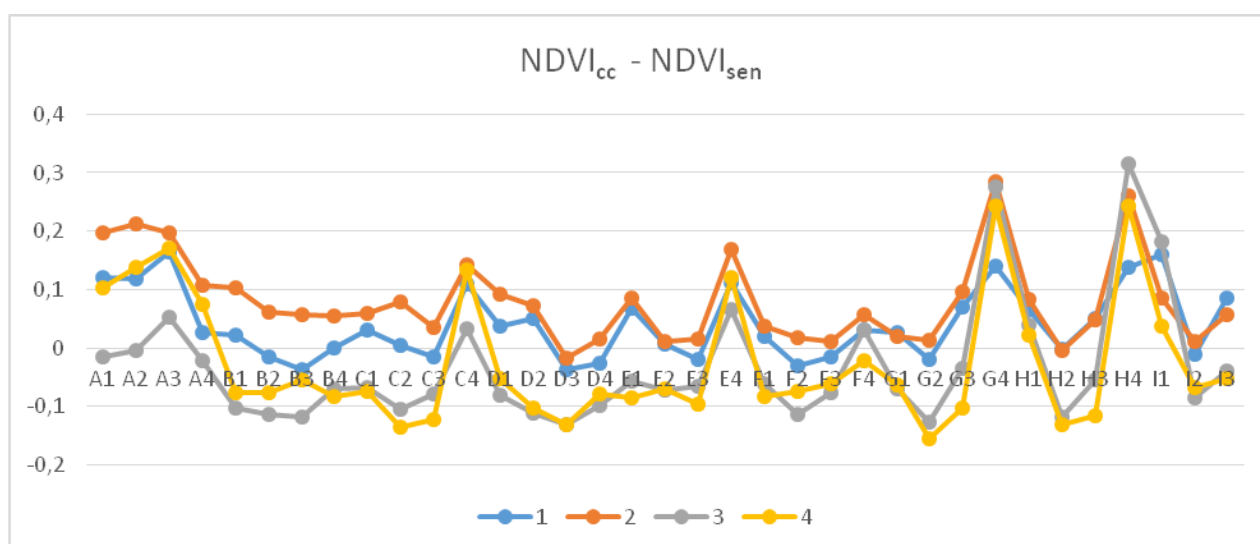
	Μέση Τιμή	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Τυπική απόκλιση	Συντελεστής Παραλλακτικότητας
15.06.2017	0,64	0,51	0,72	0,036	5,61%
22.06.2017	0,68	0,57	0,70	0,022	3,32%
26.07.2017	0,65	0,59	0,74	0,043	6,61 %
16.08.2017	0,70	0,61	0,74	0,027	3,84%

5.4 Συγκριση αποτελεσμάτων αισθητήρα Cropcircle και Sentinel

Για την περαιτέρω διερεύνηση των δεδομένων βρέθηκε η διαφορά των τιμών $NDVI$ από τις δύο πηγές δεδομένων για το κάθε κελί. Οι τιμές του διαγράμματος προέκυψαν από την παρακάτω εξίσωση η οποία εφαρμόστηκε για όλες τις ημερομηνίες των μετρήσεων.

$$Y = NDVI_{cc} - NDVI_{sen}$$

Παρατηρούμε ότι όλες οι μετρήσεις ακολουθούν το ίδιο μοτίβο γεγονός που υποδεικνύει ότι η απόκλιση των δύο δεικτών ακολουθεί όμοιο μοτίβο σε όλες τις μετρήσεις και είναι σταθερή (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**). Παρατηρούμε ότι οι μεγαλύτερες διαφορές εντοπίζονται στα κελιά C4, E4, G4, H4 και φτάνουν την τιμή $Y = 0,3$. Οι διαφορές των τιμών μπορεί να οφείλεται πιθανότατα στην επίδραση της ανάκλασης της ακτινοβολίας από το γυμνό έδαφος γεγονός που επηρεάζει όλες τις μετρήσεις των δορυφορικών εικόνων. Αντίθετα, ο αισθητήρας Cropcircle είναι στραμμένος αποκλειστικά στη κόμη των φυτών και οι μετρήσεις δεν επηρεάζονται από την ανάκλαση του εδάφους. Αυτό επιβεβαιώνεται και από το γεγονός ότι οι μεγαλύτερες διαφορές σημειώνεται στα όρια του αγροτεμαχίου και αμβλύνονται καθώς προχωράμε στο κέντρο του. Επιπλέον παρατηρούμε ότι οι υψηλότερες αποκλίσεις εμφανίζονται στη τελευταία μέτρηση τον Αύγουστο.



Διάγραμμα 4: Η διαφορά των τιμών NDVI μεταξύ των δεδομένων των δύο πηγών ανά μέτρηση.

5.4.1 Συντελεστής συσχέτισης

Για να ελέγξουμε πόσο ισχυρές είναι οι σχέσεις μεταξύ των μεταξύ των δεικτών NDVI χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης (Pearson Correlation). Πιο αναλυτικά, στον πίνακα (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**) φαίνεται ο συντελεστής συσχέτισης για κάθε ζεύγος μεταβλητών και η τιμή P-value η οποία έχει υπολογιστεί για κάθε συντελεστή ξεχωριστά και αναφέρεται στον έλεγχο της υπόθεσης ότι στο συγκεκριμένο ζεύγος μεταβλητών δεν υπάρχει γραμμική συσχέτιση. Έχουμε θέσει ως επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας το 5%. Εάν η τιμή της P-value είναι μικρότερη του 0,05 συμπεραίνουμε ότι υπάρχει σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών.

Είναι φανερό ότι οι ισχυρότερες συσχετίσεις μεταξύ των δυο δεικτών NDVI παρατηρήθηκαν κατά την διάρκεια της άνθισης με μέγιστη τιμή την ημερομηνία 15.06.2017. Η συσχέτιση μεταξύ των δυο δεικτών NDVI κυμάνθηκε από $r=0,13$ μέχρι $r=-0,27$. Ωστόσο στην 3η μέτρηση όπου ο συντελεστής συσχέτισης είναι αρνητικός η τιμή P-value είναι μεγαλύτερη από 0,05 γεγονός που υποδεικνύει ότι ο συντελεστής που έχει υπολογιστεί δεν είναι στατιστικά σημαντικός. Η χαμηλή συσχέτιση των δεδομένων της τρίτης μέτρησης μπορεί να αποδίδεται στο γεγονός ότι οι καλλιεργητικές φροντίδες όπως η άρδευση, ψεκασμοί, κλάδεμα μπορεί να επηρέασαν τις τιμές ανάκλασης.

Πίνακας 15: Γραμμικός συντελεστής συσχέτισης Pearson μεταξύ των δεικτών NDVI_{cc} και NDVI_{sen}.

Μετρήσεις	Συντελεστής συσχέτισης	P-value
1 ^η	0,67	0,000
2 ^η	0,47	0,0042
3 ^η	-0,27	0,107
4 ^η	0,34	0,0431

Όσον αφορά τη συσχέτιση της παραγωγής με τους δείκτες NDVI από την ανάλυση των δεδομένων, προέκυψε ότι οι τιμές του NDVI σε όλα τα διαφορετικά στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας είχαν θετική συσχέτιση με την παραγωγή. Το αποτέλεσμα αυτό είναι πολύ ενδιαφέρον διότι μας δείχνει ότι η τιμή του NDVI φαίνεται να επηρεάζει την παραγωγή ανεξάρτητα από τις ενδιάμεσες καλλιεργητικές φροντίδες .

Οι συσχετίσεις που βρέθηκαν ήταν θετικές αλλά όχι σημαντικές. Πιο συγκεκριμένα, ο συντελεστής συσχέτισης κυμάνθηκε από $r=0,1$ μέχρι $r=0,3$ για όλες τις μετρήσεις Αυτό το αποτέλεσμα μπορεί να αποδίδεται στο γεγονός ότι η καλλιέργεια μπορεί να μην είχε φτάσει την πλήρη κάλυψη και η εδαφική έκθεση να είχε μεγιστοποιηθεί όταν λαμβάνονταν οι μετρήσεις του NDVI. Επίσης, τα μετεωρολογικά στοιχεία όπως η βροχόπτωση και οι καλλιεργητικές φροντίδες όπως η άρδευση μπορεί να επηρέασαν αυτή τη μικρή συσχέτιση.

Τα δορυφορικά δεδομένα έδωσαν την δυνατότητα για την εξαγωγή περαιτέρω αποτελεσμάτων αφού το εύρος του μήκους κύματος που καλύπτουν είναι αρκετά μεγαλύτερο από αυτό του αισθητήρα. Γι αυτόν τον λόγο εξετάστηκαν και άλλοι συνδυασμοί φασματικών καναλιών οι οποίοι εμφάνισαν υψηλότερη συσχέτιση με την παραγωγή. Η ανάλυση εστίασε στα φασματικά κανάλια B6 και B7 τα οποία αντιστοιχούν στο εγγύς υπέρυθρο (γνωστό και σαν «κόκκινη ακμή»), όπου η υγιής βλάστηση εμφανίζει απότομη

αύξηση (Mather 1987). Η συσχέτιση των φασματικών καναλιών με την παραγωγή μας έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα. Η εξίσωση που εφαρμόστηκε ήταν η εξής:

$$Y=B7-B6/B7+B6$$

Πίνακας 16: Γραμμικός συντελεστής συσχέτισης Pearson μεταξύ παραγωγής και δείκτη Y

Μετρήσεις	Συντελεστής συσχέτισης	P-value
1 ^η	0,3878	0,01
2 ^η	0,3061	0,06
3 ^η	0,2385	0,16
4 ^η	0,4759	0,00

Ο γραμμικός συντελεστής συσχέτισης του δείκτη έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα ιδιαίτερα για την περίοδο της άνθισης και της συγκομιδής. Αυτό τα αποτελέσματα αποτελούν μια ένδειξη ότι η χρήση των συγκεκριμένων φασματικών καναλιών του δορυφόρου θα μπορούσε να αξιοποιηθούν για να γίνει πρόβλεψη της παραγωγής από πρώιμο στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας. Αυτό το γεγονός είναι πολύ σημαντικό για τον παραγωγό γιατί μπορεί να επέμβει σε διάφορες καλλιεργητικές φροντίδες με σκοπό τη βελτίωση της κατάστασης των δέντρων και κατ' επέκταση της παραγωγής.

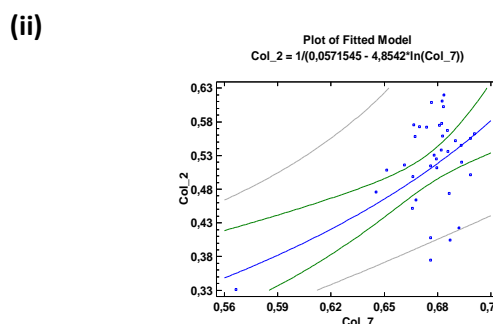
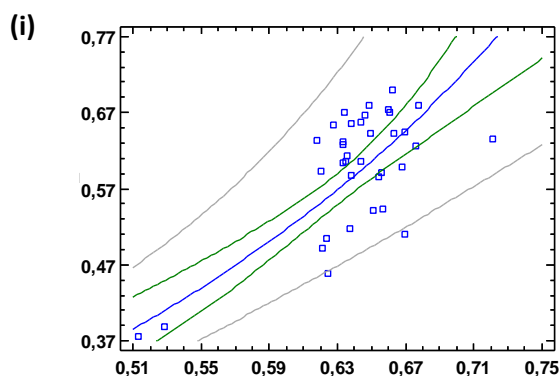
5.4.2 Ανάλυση Παλινδρόμησης

Από την ανάλυση συσχέτισης που αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα μπορούμε να ελέγξουμε εάν υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ δυο μεταβλητών. Για να μπορέσουμε να εκτιμήσουμε την εξίσωση που περιγράφει τη σχέση μεταξύ τους χρησιμοποιούμε μια συγκεκριμένη στατιστική μέθοδο, την ανάλυση παλινδρόμησης. Επειδή η μεγαλύτερη συσχέτιση που βρέθηκε αφορούσε στις μετρήσεις κατά τη διάρκεια της άνθισης, η ανάλυση παλινδρόμησης έγινε για την 1^η και τη 2^η μέτρηση. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 17) φαίνεται και ο συντελεστής προσδιορισμού R² ο οποίος εκφράζει το ποσοστό της συνολικής μεταβλητότητας της Y που εξηγείται από την εξίσωση παλινδρόμησης. Το μοντέλο που επιλέχθηκε ήταν μη γραμμικό και ο μετασχηματισμός που χρησιμοποιήθηκε είναι ο Double Reciprocal του στατιστικού πακέτου.

Πίνακας 17: Συντελεστής συσχέτισης μεταξύ των δεικτών NDVI_{cc} και NDVI_{sen}.

	R ²	R ² (τροποποιημένος)	P-value	Εξίσωση
1 ^η	60,56%	59,40%	0,0000	NDVI _{sen} = 1/(-1,79346 + 2,23766/ NDVI _{cc})
2 ^η	31,76%	29,76%	0,0003	NDVI _{sen} = 1/(-2,658 + 3,11849/ NDVI _{cc})

Η σύγκριση μεταξύ των δύο δεικτών (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**) φαίνεται να παρουσιάζει ικανοποιητική συσχέτιση ιδιαίτερα στην 1η μέτρηση πριν ακόμα γίνει η εφαρμογή των καλλιεργητικών επεμβάσεων. Αυτό το αποτέλεσμα υποδηλώνει ότι ο αριθμός και το είδος των καλλιεργητικών φροντίδων μπορεί να επηρεάσει τις τιμές των μετρήσεων.



Διάγραμμα 5: Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ των δεικτών NDVI_{cc} και NDVI_{sen} i) 1^η μέτρηση ii) 2^η μέτρηση.

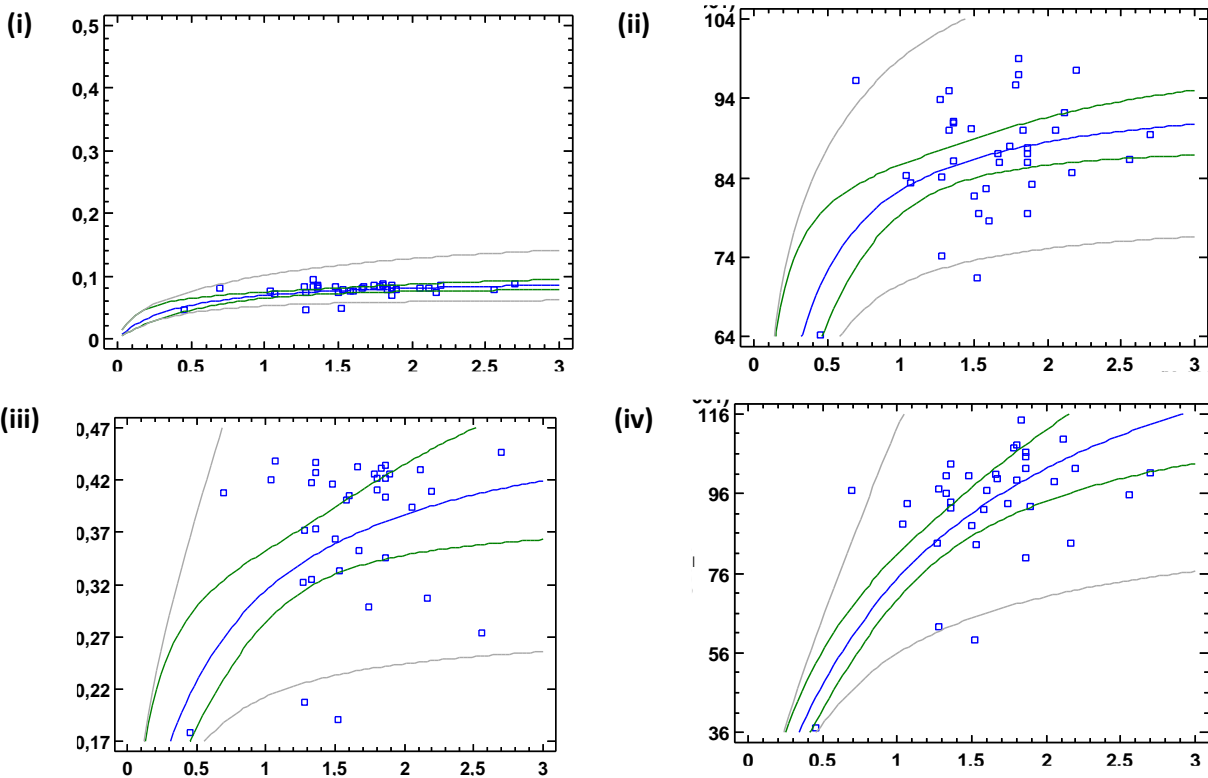
Στην συγκεκριμένη έρευνα παρουσιάζεται και η ανάλυση παλινδρόμησης του δείκτη Y που αναφέρθηκε στην παραπάνω ενότητα. Το μοντέλο που επιλέχθηκε ήταν μη γραμμικό και ο μετασχηματισμός που χρησιμοποιήθηκε είναι το Double Reciprocal (αντίστροφο μοντέλο). Τα αποτελέσματα έδειξαν με τη χρήση του δείκτη δύναται γίνει πρόβλεψη παραγωγής ιδιαίτερα την περίοδο της ωρίμανσης όπου ο συντελεστής συσχέτισης ξεπερνά το 50%.

Πίνακας 18: Συντελεστής συσχέτισης μεταξύ των δεικτών Y και της παραγωγής.

	R ²	R ² (τροποποιημένος)	P-value	Εξίσωση
1 ^η	28,01%	25,89%	0,0000	ΠΑΡΑΓΩΓΗ = 1/(10,2794 + 41728,5/Y)

2 ^η	24,36%	24,13%	0,0022	ΠΑΡΑΓΩΓΗ = 1/(10,4566 + 16838,9/Y)
3 ^η	22,63%	20,35%	0,0034	ΠΑΡΑΓΩΓΗ = 1/(1,98637 + 11983,4/Y)
4 ^η	55,22%	53,91%	0,000	ΠΑΡΑΓΩΓΗ = 1/(6,11862 + 73051,7/Y)

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται οι καμπύλες των μοντέλων για τις τέσσερις διαφορετικές ημερομηνίες των εικόνων (*Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.*)



Διάγραμμα 6: Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ των δεικτών NDVI_{cc} και NDVI_{sen} i) 1^η μέτρηση ii) 2^η μέτρηση iii) 3^η μέτρηση iv) 4^η μέτρηση

6 Συμπεράσματα και Συζήτηση

6.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα έρευνα έγινε καταγραφή της χωρικής παραλλακτικότητας της παραγωγής, καθώς και ο υπολογισμός του NDVI από δορυφορικές εικόνες και τον αισθητήρα Cropcircle, φερόμενο από γεωργικό ελκυστήρα. Από το ένα έτος του πειράματος παρατηρήθηκε ότι υπάρχει σημαντική χωρική παραλλακτικότητα στην παραγωγή και στο NDVI, παρόλο το μικρό μέγεθος του αμπελώνα. Τα συμπεράσματα της έρευνας είναι τα εξής:

- Το ποσοστό της χωρικής παραλλακτικότητας που εμφάνισε η παραγωγή (28%) ήταν υψηλό για το μικρό μέγεθος του αγροτεμαχίου. Η ύπαρξη αυτού του βαθμού παραλλακτικότητας υποδηλώνει ότι μπορούν να αξιοποιηθούν συστήματα Γεωργίας Ακριβείας για την βελτιστοποίηση της απόδοσης του αμπελώνα.
- Ο δείκτης NDVI που υπολογίστηκε από τις μετρήσεις του αισθητήρα Cropcircle εμφάνισε μικρή παραλλακτικότητα (6,61%). Αυτό το αποτέλεσμα είναι λογικό καθώς ο αισθητήρας ήταν στραμμένος αποκλειστικά στην κόμη των φυτών. Επιπλέον έχουμε σταδιακή αύξηση των τιμών του NDVI από τον Ιούνιο μέχρι τον Αύγουστο.
- Ο δείκτης NDVI που υπολογίστηκε από τις δορυφορικές εικόνες εμφάνισε μεγαλύτερη παραλλακτικότητα (15,90%). Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται στην επίδραση της ανάκλασης του εδάφους. Αυτό επιβεβαιώνεται και από το γεγονός ότι οι υψηλότερες τιμές του δείκτη NDVI εντοπίστηκαν στο κέντρο του αγροτεμαχίου ενώ οι χαμηλότερες στα εξωτερικά κελιά του πλέγματος. Όπως και στην περίπτωση του αισθητήρα, έχουμε σταδιακή αύξηση των τιμών του NDVI από τον Ιούνιο μέχρι τον Αύγουστο.
- Η ανάλυση συσχέτισης για το κάθε στάδιο ανάπτυξης ξεχωριστά είχε ως στόχο να αναδείξει την σημαντικότερη περίοδο για την εξέλιξη και την παραγωγή της καλλιέργειας. Με βάση τα αποτελέσματα, οι μετρήσεις κατά την περίοδο της άνθισης θα μπορούσε να αποτελέσει αξιόπιστη πηγή πληροφοριών για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την ανάπτυξη της καλλιέργειας.
- Η σύγκριση των δυο δεικτών του NDVI έδειξε υψηλότερη συσχέτιση μεταξύ τους την περίοδο της άνθισης γεγονός που μπορεί να οφείλεται στις καλλιεργητικές επεμβάσεις που έλαβαν χώρα την περίοδο που ακολούθησε. Οι τιμές του δείκτη NDVI που υπολογίστηκαν από τον αισθητήρα ήταν υψηλότερες από αυτές του δείκτη των δορυφορικών δεδομένων σε κάθε περίπτωση.

➤ Η διαφορά των τιμών μεταξύ των δύο δεικτών φαίνεται να ακολουθεί σταθερή πορεία με υψηλότερες αποκλίσεις να εμφανίζονται στα ακραία κελιά. Αυτό το αποτέλεσμα μπορεί να οφείλεται στην επίδραση της ανάκλασης του εδάφους η οποία επηρεάζει και τις τέσσερις μετρήσεις. Επιπλέον, άλλος ένας πιθανός παράγοντας ο οποίος δύναται να επηρεάζει σταθερά τις τιμές των μετρήσεων και στις τέσσερις περιπτώσεις μπορεί να είναι το τοπογραφικό ανάγλυφο. Τέλος οι δορυφορικές εικόνες αποτυπώνουν τις τιμές του δείκτη που αντιστοιχούν στην ανάκλαση της κόμης από πάνω ενώ οι μετρήσεις του αισθητήρα αποτυπώνουν τις τιμές του δείκτη που αντιστοιχούν στην ανάκλαση της κόμης από πλάγια.

➤ Οι συσχετίσεις μεταξύ των δεικτών NDVI και της παραγωγής ήταν θετικές ωστόσο δεν ήταν στατιστικά σημαντικές ($r=10\%-30\%$). Από τις συσχετίσεις μεταξύ παραγωγής και NDVI ο μικρότερος συντελεστής συσχέτισης ήταν για την 3^η μέτρηση και για τις δυο πηγές δεδομένων ενώ η μέγιστη τιμή εμφανίστηκε στην 1^η μέτρηση την περίοδο της άνθισης. Επομένως, ο χάρτης NDVI θα μπορούσε να μας δώσει πληροφορίες για την εξέλιξη της καλλιέργειας και κατ' επέκταση της παραγωγής από πρόωρο στάδιο της καλλιεργητικής περιόδου.

➤ Εμφανίστηκε υψηλή συσχέτιση (53,91%) μεταξύ της παραγωγής και τον μετασχηματισμό των φασματικών καναλιών B6 και B7 του δορυφόρου. Αυτό είναι λογικό καθώς η ανάκλαση της υγιούς βλάστησης προς το τέλος της περιοχής του κόκκινου φάσματος αυξάνει απότομα. Επομένως, η αξιοποίηση των συγκεκριμένων καναλιών σε μελλοντικές έρευνες μπορεί να αξιοποιηθεί με κάποιον μετασχηματισμό όπως έγινε σε αυτήν την έρευνα για την δημιουργία καινούργιων δεικτών βλάστησης, με απώτερο σκοπό την πρόβλεψη της παραγωγής.

6.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Το αντικείμενο της παρούσας έρευνας είναι η αξιοποίηση των πρακτικών της Γεωργίας Ακριβείας για την καταγραφή της χωρικής παραλλακτικότητας του αγροτεμαχίου. Η επέκταση της έρευνας θα μπορούσε να εμπλουτιστεί με την προσθήκη και άλλων παραγόντων που δύναται να επηρεάσουν την απόδοση της καλλιέργειας. Αναλυτικότερα θα μπορούσε να γίνει:

➤ Χρήση μετεωρολογικών δεδομένων για την εξήγηση της παραλλακτικότητας. Το κλίμα είναι ένας σημαντικός παράγοντας που έχει επίδραση στην παραγωγή και η καταγραφή κλιματικών δεδομένων σίγουρα θα δώσει κάποιες εξηγήσεις για την παραλλακτικότητα στην παραγωγή που παρουσιάζει ο συγκεκριμένος αμπελώνας.

-
- Χρήση εδαφολογικών δεδομένων. Η μεταβλητότητα της μηχανικής σύστασης, της οργανικής ουσίας, αλατότητας, περιεκτικότητας σε νερό είναι πιθανόν να προκαλεί την αντίστοιχη μεταβλητότητα της παραγωγής.
 - Ζωνοποίηση και εφαρμογή μεταβλητών εισροών. Η έρευνα μπορεί να συνεχιστεί για να μελετηθούν τα μακροχρόνια αποτελέσματα της εφαρμογής εισροών με μεταβλητές δόσεις.
 - Έρευνα των δορυφορικών δεδομένων για την εξαγωγή συμπερασμάτων στην πρόβλεψη παραγωγής. Ο δορυφόρος Sentinel 2 έχει εκτοξευθεί πρόσφατα και η αξιοποίηση των δορυφορικών εικόνων είναι ακόμα σε πρώιμο στάδιο. Η χρήση των δορυφορικών εικόνων και πιο συγκεκριμένα των δεικτών βλάστησης θα μπορούσε να συμβάλουν καθοριστικά στον κλάδο της Γεωργίας Ακριβείας ως μια αστείρευτη πηγή πληροφοριών για την παρακολούθηση της καλλιέργειας

7 Βιβλιογραφία

7.1 Ξενόγλωσση

- Ampatzidis, Y. V. (2007). A yield mapping system for hand harvested fruits based on RFID and GPS location technologies. Skiathos, Greece, pp. 273-280.: 6th European Conference on Precision Agriculture.
- Arno, J. B.-D. (2005). Obtaining grape yield maps and analysis of within field variability in Raimat (Spain). . (σσ. pp. 899-906). Upsala, Sweden.: 5th European Conference on Precision Agriculture .
- Auernhammer, H. (2001). Precision farming - the environmental challenge. *Comput Electron Agric.*
- Auernhammer, H. D. (1995). Yield measurement on self-propelled forage harvesters. St. Joseph, Michigan. ASAE: ASAE Paper No. 95-1757.
- Baggio A., (2005). Wireless sensor networks in precision Agriculture. Paper presented at ACM Workshop on Real-World Wireless Sensor Networks (REALWSN 2005). Stockholm, Sweeden.
- Beckwith R., Teibel D. & Bowen P. (2004). Unwired Wine: Sensor Networks in Vineyards. Paper presented at IEEE Sensors Conference, Vienna, Austria.
- Blackmore S., G. R. (2003). The analysis of spatial and temporal trends in yield map data over six years. *Biosystems Engineering* 84(4): 455-466.
- Blackmore, S. (2000). The interpretation of trends from multiple yield maps. *Computers and Electronics in Agriculture*, 26: 37-51. .
- Bramley, R. (2005). Understanding variability in winegrape production systems 2. Within vineyard variation in quality over several vintages. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 11 (1): 33-42.
- Bramley, R. a. (2004). Understanding variability in winegrape production systems 1. Within vineyard variation in yield over several vintages. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 10: 32-45.
- Bramley, R. P. (2005). Generating benefits from Precision Viticulture through selective harvesting. Upsala, Sweden,,: 5th European Conference on Precision Agriculture, Upsala, Sweden, pp 891-898. .
- Bramley, R.G.V., Proffitt, A.P.B., Hinze, C. J., Pearse, B. and Hamilton, R.P., 2005. Generating benefits from Precision Viticulture through selective harvesting. 5th European Conference on Precision Agriculture, Upsala, Sweden, pp 891-898.
- Centro Servizi Ortofrutticoli(CSO) . (2017). Smart irrigation system to improve kiwi production in Italy. Retrieved from: <http://www.libelium.com/smart-irrigation-system-to-improve-kiwi-production-in-italy/>
- Domsch, H. and Giebel, A. 2004. Estimation of soil textural features from soil electrical conductivity recorded using the EM38. *Precision Agriculture* 5, 389-409.

-
- Domsch, H. and Giebel, A. 2004. Estimation of soil textural features from soil electrical conductivity recorded using the EM38. *Precision Agriculture* 5, 389–409.
- Eden, T. M. (1928). The influence of soil heterogeneity on the growth and yield of successive crops. *Journal of Agricultural Science*, 18, 163-185.
- Erickson B, and Widmar DA (2015) Precision Agricultural Services Dealership Survey Results.
- Fairchild, D. S. (1988). Soil information system for farming by kind of soil. In: Their Inventory, Analysis and Interpretations for Use in the 1990's. In D. S. Fairchild. University of Minnesota, St Paul, MN, USA.
- Farid, H.U.; Bakhsh, A.; Ahmad, N.; Ahmad, A.; Mahmood-Khan, Z. Delineating site-specific management zones for precision agriculture. *J. Agric. Sci.* 2016, 154, 273–286.
- Fountas, S., Aggelopoulou, K., Bouloulis, K., Nanos, G.D., Wulfsohn, D., Gemtos, T.A., Paraskevopoulos, A., Galanis, M., (2011). Site-specific management in olive tree plantation. *Journal of Precision Agriculture*, 12(2), Pages 179-195: <https://doi.org/10.1007/s11119-010-9167-4>
- Frits K. van Evert, Daniel Gaitán-Cremaschi, Spyros Fountas and Corné Kempenaar, Can Precision Agriculture Increase the Profitability and Sustainability of the Production of Potatoes and Olives?, *Sustainability* 2017, 9, 1863; doi:10.3390/su9101863
- Gemtos, T. F. (June 2002). Precision farming experience in Europe and the Greek potential. HAICTA Conference, Athens.
- Gerry P. Sweeney (2010) Telematics and development.
- Griffin, T. L.-D. (2004). Adoption, Profitability, and Making Better Use of Precision Farming Data. Staff Paper #04-06. Department of Agricultural Economics, Purdue University.
- Grisso R.B., Alley, M., Hulsehouser, D. and Thomason, W. 2009. Precision Farming Tools: Soil Electrical Conductivity. Virginia State University
- Hofman A. R., Penigrahi, S., Gregor, B. and Walker, J., 1995. In field Monitoring Sugar Beets. ASAE paper, 95-2114, ASAE, St. Joseph Michigan.
- <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1000.3793&rep=rep1&type=pdf>
- <http://ir.lib.uth.gr/bitstream/handle/11615/46399/16135.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. (2013). 'Ανάλυση χωρικών δεδομένων σε καλλιέργεια βαμβακιού,' Μεταπτυχιακή Διατριβή. Βόλος: Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας .
- Jackson, D.I. & Lombard, P.B.D. (1993). Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality. *Am. J. Enol. Viticult.* 44:409- 430.
- Jackson, R.D., (1983). Spectral Indices in N-Space. *Remote Sensing of Environment* 13: 409-21 (Ratios).

-
- Johnson, C. E. (1983). Controlling agricultural machinery intelligently in Agricultural Electronics 1983 and beyond. Proceedings of the National Conference on Agricultural Electronics Applications (pp. 114-119). American Society of Agricultural Engineers, St Joseph, MI, USA.
- Johnson, C.K., Mortensen, D.A., Wienhold, B.J., Shanahan, J.F. and Doran, J.W. 2003. Sitespecific management zones based upon soil electrical conductivity in a semiarid cropping system. *Agron. J.* 95, 303–315.
- Jung, W.K., Kitchen, N.R., Sudduth, K.A., Kremer, R.J. and Motavalli, P.P. 2005. Relationship of apparent soil electrical conductivity to claypan soil properties. *Soil Science Society of America Journal* 69 (3), 883–892.
- Kromer, K. H., O. Schmittmann, and A. M. Osman., 1999. Crop yield monitoring on forageharvesters. ASAE Paper No. 99–1051. St. Joseph, Mich.: ASAE. Lee W. S., S. J. (2005). Wagon-Based Silage Yield Mapping System. *Agricultural Engineering International: the CIGR EJournal*. Vol. VII Manuscript IT 05 003.
- Lee W. S., S. J. (2005). Wagon-Based Silage Yield Mapping System. *Agricultural Engineering International: the CIGR EJournal*. Vol. VII Manuscript IT 05 003.
- Lesch, S.M., Corwin, D.L. and Robinson, D.A. 2005. Apparent soil electrical conductivity mapping as an agricultural management tool in arid zone soils. *Computers and Electronics in Agriculture* 46: 351–378.
- Levin, N., (1999), Fundamentals of Remote Sensing. Remote Sensing Laboratory, Geography Department, Tel Aviv University, GIS unit, The society for the Protection of Nature in Israel, διαθέσιμο στη ηλεκτρονική διεύθυνση <http://geography.huji.ac.il/personal/Noam%20Levin/1999-fundamentals-of-remotesensing.pdf>
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., & Chipman, J. W. (2003). *Remote Sensing and Image Interpretation* (5th edition, p. 750). USA: J.
- Linsley, C. a. (1929). Test your soil for acidity. Circular 346. College of Agriculture and Agricultural Experiment Station, University of Illinois, Champaign, IL. .
- Markinos, A. T. (2003). A precision farming application in cotton in the small farms of Greece. 4th European Conference on Precision Agriculture, Berlin, Germany, 15-19 June 2003.
- Mertens, F.M., Poetzold, S. and Welp, G. 2008. Spatial heterogeneity of soil properties and its mapping with apparent electrical conductivity. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 171, 146–154.
- Moore, S.H. and Wolcott, M. C. 2001. “Mapping and interpreting electrical conductivity in production fields. *Louisiana Agriculture*,” Summer, vol. 44, no. 3, pp. 25–27.
- Mueller, T.G., Hartsock, N.J., Stombaugh, T.S., Shearer, S.A., Cornelius, P.L. and Barnhise, R.I. 2003. Soil electrical conductivity map variability in limestone soil overlain by loess. *Agronomy Journal* 95, 496–507.

-
- Öhman, M., Oksanen, T., Miettinen, M. and Visala A. Remote maintenance of agricultural machines. Proceedings of the 1st IFAC Symposium on Telematics Applications in Automation and Robotics 2004, Helsinki, Finland.
- Ortega, R.A., Esser, A. and Santibanez, O., 2003. Spatial variability of wine grape yield and quality in Chilean vineyards: economic and environmental impacts. 4th European Conference on Precision Agriculture, Berlin, Germany, pp. 499-506
- Pelletier, G. a. (1999). Development of a tomato load/yield monitor. Computers and Electronics in Agriculture, 23: 103-107.
- Pelletier, G. and Upadyaya, S. K., 1999. Development of a tomato load/yield monitor. Computers and Electronics in Agriculture, 23: 103-107.
- Philipson, W.R., Teng, W.L. (1988). Operational Interpretation of AVHRR Vegetation Indices for World Crop Information. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 54: 55-59 (Ratios).
- Sabins, F.F., (1997). Remote Sensing: Principles and Interpretation. New York: W.H. Freeman and Company, 3rd edition, p. 494.
- Stamatiadis, S. T. (2007). Proximal remote sensing. Technological advances and application in vineyards. ,6th European Conference on Precision Agriculture, Skiathos, Greece, Poster abstracts in CD.
- Steinberger, G., Rothmund, M. and Auernhammer, H. 2009. Mobile farm equipment as a data source in an agricultural service architecture. Computers and Electronics in Agriculture. Vol. 65(2), pp. 238-246.
- STOA, S. a. (2013). Τεχνολογικές επιλογές για τον επισιτισμό 10 δισεκατομμυρίων ανθρώπων. ΒΡΥΞΕΛΛΕΣ: STOA
- Tagarakis, A. C. (2006). Delineation of management zones in precision viticulture. HAICTA 2006 Conference, Volos, Greece, pp 547-554.
- Tagarakis, A., Chatzinikos, A., Fountas, S. and Gemtos, T. A., 2006. Delineation of management zones in precision viticulture. HAICTA 2006 Conference, Volos, Greece, pp 547-554.
- Tagarakis, A.; Liakos, V.; Fountas, S.; Koundouras, S.; Gemtos, T.A. Management zones delineation using fuzzy clustering techniques in grapevines. *Precis. Agric.* 2013, 14, 18–39.
- Teng, W.L. (1990). AVHRR Monitoring of U.S. Crops During the 1998 Drought. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 56: 1143-46 (Ratios).
- Tisseyre, B. M. (2001). Yield and harvest quality measurement in precision viticulture- application for a selective vintage. 3rd European Conference on Precision Agriculture, Montpellier, France, pp. 133-138.
- Tomasson J.A., P. D. (1999). Cotton mass flow measurements: Experiments with two optical devices. *Appl. Eng in Agric.* , σσ. 11-17.
- Tomasson J.A., P. D. (1999). Cotton mass flow measurements: Experiments with two optical devices. *Appl. Eng in Agric.* , σσ. 11-17.

-
- Tucker, C.J., (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8, p. 127-150.
- Vatsanidou A ; S. Fountas¹ ; G. Nanos² ;T. Gemtos¹ (2014)Variable Rate Application of Nitrogen Fertilizer in a commercial pear orchard:
- Velidis, G. C. (2003). Simultaneous assessment of cotton yield monitors. . *Applied Engineering in Agriculture*, 19(3): 259-272.
- Velidis, G. C., Perry, D., Thomas, D. L., Wells, N. and Kvien, C. K., 2003. Simultaneous assessment of cotton yield monitors. *Applied Engineering in Agriculture*, 19(3): 259-272.
- Velidis, G., Perry, C. D., Durrence, J. S., Thomas, D. L., Hill, R. W., Kvien, C. K. and 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.
- Vellidis, G., Tucker, M., Perry, C., Kvien, C. & Bednarz, C. (2008). A real-time wireless smart sensor array for scheduling irrigation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 61, 44-50.
- Wark T., Corke P., Sikka P., Klingbeil L., Guo Y., Crossman C, et al. (2007). Transforming agriculture through pervasive wireless sensor networks. *Pervasive Computing, IEEE*. Vol 6, NO 2, p.p. 50-57.
- Whelan, B. M. (2000). The “Null Hypothesis” of Precision Agriculture. *Precision Agriculture*, 2: 265-279. .
- Whelan, B. M. (2000). The “Null Hypothesis” of Precision Agriculture. . *Precision Agriculture*.
- Zaman, Q. a. (2006). Nutrient management zones for citrus based on variation in soil properties and tree performance. *Precision Agriculture* 7: 45-63.
- Zaman, Q. S. (2006). Estimation of citrus fruit yield using ultrasonically-sensed tree size. e. *Applied Engineering in Agriculture* 22(1): 39-43.

7.2 Ελληνική

- Αγγελοπούλου Α., Blackmore S., Φουντάς Σ., Γέμος Θ. και Νάνος Γ., 2007. Μελέτη χωρικής και χρονικής παραλλακτικότητας παραγωγής και ποιότητας σε σπρωμένες μηλιάς. 5ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής, 18-20 Οκτωβρίου, Λάρισα.
- Γκατζελάκη, Χ. (2008). Συγκριτική μελέτη τριών πρώιμων επιτραπέζιων ποικιλιών αμπέλου καλλιεργούμενων σε μη θερμαινόμενο θερμοκήπιο και στον υπαίθριο χώρο, Μεταπτυχιακή Διατριβή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Καραγιαννοπούλου, Σ. Π. (2016). Σημειώσεις Αμπελουργίας. Καλαμάτα: ΤΕΙ Πελοποννήσου .
- Καρτάλης, Κ., Φειδάς, Χ., (2006), Αρχές και εφαρμογές της δορυφορικής τηλεπισκόπησης. Αθήνα: Εκδόσεις ΓΚΙΟΥΡΔΑΣ.

-
- Καρυδάς, Χ. Γ. (Οκτώβριος 2000). Γεωργία Ακριβείας: Περιγραφή της μεθόδου - Υφιστάμενη κατάσταση και προοπτικές. 2ο Ειδικό Συνέδριο Πληροφοριακών Συστημάτων στη Γεωργία. Χανιά.
- Κολυβά, Φ. (2014). Εφαρμογή γεωργίας ακριβείας σε αμπελώνα της Νεμέας, Μεταπτυχιακή Διατριβή. Αθήνα: Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Μαράκης, Ι. (2009). Ασύρματοι Αισθητήρες για Μέτρηση υγρασίας: Εφαρμογές στο αμπέλι, Πτυχιακή Διατριβή. Βόλος: Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Μπαλάς Χριστόφορος. (2016). Ορθολογική Διαχείριση Ακτινιδιάς', Μεταπτυχιακή Διατριβή. Τμήμα Διοίκησης Αγροτικών Προϊόντων και Τροφίμων.
- Πάυλου Κασσάνδρα. (2010). Χωροχρονική παραλλακτικότητα σε ελαιώνα της περιοχής Τριφυλλιάς, Πτυχιακή Διατριβή. Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής Και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας.
- Ράππος Ε., Αγγελοπούλου Α., Παπαθανασίου Ι., Γέμπος Θ., Νάνος Γ., 2005. Συμβολή στη Γεωργία Ακριβείας χαρτών παραγωγής και ποιοτικών χαρακτηριστικών δύο ποικιλιών μήλων. 40 Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής, 6-8 Οκτωβρίου 2005 Αθήνα.
- Ρεντούλη, Μ. (2010). Επιτραπέζιες και οινοποιήσιμες ποικιλίες αμπέλου στον νομό κορινθίας: προβλήματα και τρόποι αντιμετώπισης, Πτυχιακή Εργασία. ΤΕΙ Καλαμάτας.
- Τάνος Α., Αγγελοπούλου Α., Φουντάς Σ., Γέμπος Θ., Νάνος Γ. και Χατζηνίκος Α., 2007. Ζώνες διαχείρισης βάση χαρτών παραγωγής, ποιοτικών χαρακτηριστικών και ηλεκτρικής αγωγιμότητας. 5ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής, 18-20 Οκτωβρίου, Λάρισα.
- Φουντάς Σ. και Γέμπος Θ., 2008. Εφαρμογές Γεωργίας Ακρίβειας σε γεωργικές εκμεταλλεύσεις της Θεσσαλίας. Τεχνολογική πλατφόρμα τροφίμων Θεσσαλίας, τεύχος 2- Ιούνιος 2008.
- Φουντάς, Σ., Γέμπος, Θ., 2015. Γεωργία Ακριβείας. Εκδόσεις Κάλλιπος, ΣΕΑΒ
- Φωτίου, Α.Ι., Πικριδάς, Χ.Κ., 2012. GPS και γεωδαιτικές εφαρμογές. Θεσσαλονίκη : Ζήτη, 2012.
- Χατζηνίκος, Α. (2007). Ανάλυση της παραλλακτικότητας ποιοτικών και ποσοτικών παραμέτρων σε αμπελώνες της Ραψάνης Λάρισας. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Χατζηπαπαδόπουλος, Φ., Πρωτονοτάριος, Β., (2017). Η Ευφυής Γεωργία στην καλλιέργεια της ελιάς. Σε Ζαμπούνη Β. (Συντ.), Εγκυκλοπαίδεια Ελαιοκομίας: Το ελαιόλαδο (σελ. 79-93). Άξιον Εκδοτική, Ελλάδα, 2017.

7.3 Σύνδεσμοι

CRISP, 2015. National University of Singapore, Electromagnetic Waves. Διαθέσιμο στο: <http://www.crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/em.htm> [Πρόσβαση 28/05/2015]. CSIRO, 2015. Earth Observation Center. Διαθέσιμο στο: <http://www.cossa.csiro.au/hswww/Overview.htm> [Πρόσβαση 22/04/2015].

<http://www.agro.auth.gr/praktiki/sinedria/fisarakis2016.pdf>

8 Παράρτημα Α

$\text{NDVI705} = \frac{750\text{nm} - 705\text{nm}}{750\text{nm} + 705\text{nm}}$	<p>Οι εφαρμογές περιλαμβάνουν την γεωργία ακριβείας, την παρακολούθηση των δασών ανίχνευση τάσεων βλάστησης</p>	Οι τιμές κυμαίνονται από -1 έως 1.
$\text{MSR705} = \frac{750\text{nm} - 445\text{nm}}{750\text{nm} + 445\text{nm}}$		Οι τιμές αυτού του δείκτη κυμαίνονται από 0 έως 30 και οι τιμές που αντιστοιχούν στην πράσινη βλάστηση είναι μεταξύ των τιμών 2 έως 8.
$\text{mNDVI705} = \frac{750\text{nm} - 705\text{nm}}{750\text{nm} + 705\text{nm} - 2 \times 445\text{nm}}$		Οι τιμές αυτού του δείκτη κυμαίνονται από -1 έως 1, με το κοινό εύρος για πράσινη βλάστηση να κυμαίνεται μεταξύ 0,2 και 0,7.
$\text{VOG1} = \frac{740\text{nm}}{720\text{nm}}$	<p>Οι εφαρμογές περιλαμβάνουν μελέτες φαινολογίας βλάστησης (ανάπτυξη), γεωργία ακριβείας και μοντελοποίηση παραγωγικότητας βλάστησης.</p>	Οι τιμές αυτού του δείκτη κυμαίνονται από 0 έως 20. Η κοινή περιοχή για την πράσινη βλάστηση είναι από 4 έως 8.
$\text{VOG2} = \frac{734\text{nm} - 747\text{nm}}{734\text{nm} - 747\text{nm}}$		
$\text{VOG3} = \frac{734\text{nm} - 747\text{nm}}{734\text{nm} - 747\text{nm}}$		

9 Παράρτημα Β

Δείκτης	Υπολογισμός	Φασματικές μπάντες ή μήκη κύματος (nm)	Εφαρμογή	Βιβλιογραφία
Advanced Normalised Vegetation Index	$ANVI = \frac{NIR - BLUE}{NIR + BLUE}$	BLUE: 400 – 500 NIR: 700 – 900	Mapping <i>Ridolfia segetum</i> patches in sunflower crop	Pena- Barragan et al. (2006)
Aphid Index	$AI = \frac{NIR1 - NIR2}{RED1 + RED2}$	RED1: 712 RED2: 719 NIR1: 761 NIR2: 908	Identification of aphid infestation in mustard	Kumar et al. (2010)
Chlorophyll Index	$CI = \frac{NIR}{GREEN} - 1$	GREEN: 520 - 600 NIR: 760 - 900	Plant nitrogen status estimates	Bausch and Khosla (2010)
Continuum Removed (CR) Spectral Index	$A_{CR(1200)} = \int_{\lambda_{1116}}^{\lambda_{1284}} \left[1 - \frac{NIR}{NIR_{CR}} \right]$ $A_{CR(1200)} = \frac{(NIR1 - NIR2) \left(1 - \frac{NIR}{NIR3} \right)}{2}$	NIR: 1116 – 1284 NIR1: 1267 NIR2: 1156 NIR3: 1210	Estimation of the water content at leaf and landscape level	Colombo et al. (2008)
Damage Sensitive Spectral Index	$DSSI = \frac{RED - NIR - BLUE}{(RED - NIR) + (BLUE - NIR)}$	BLUE: 509 GREEN: 537 RED: 719 NIR: 873	Determine the sunn pest damage on wheat	Genc et al. (2008)
Effective Leaf Area Index	$ELAI = -0.441 + 0.285 \times \frac{NIR}{RED}$	RED: 610 – 680 NIR: 780 – 890	Winter oilseed rape yield prediction	Wojtowicz et al. (2005)
Green Normalized Difference Vegetation Index	$GNDVI = \frac{NIR - GREEN}{NIR + GREEN}$	GREEN: 557–582 NIR: 720 – 920 and/or GREEN: 520–600 NIR: 760 – 900	Corn yield predictions	Chang et al. (2003)
Green Red Vegetation	$GRVI = \frac{GREEN - RED}{GREEN + RED}$	GREEN: 520 - 590 RED: 620 - 680	Estimation of damage caused by thrips	Ranjitha et al. (2014)

Index				
Healthy Index	$HI = \frac{GREEN - RED1}{GREEN + RED1} \times 0.5 \times RED2$	GREEN: 534 RED1: 698 RED2: 704	Early detection of Verticillium wilt of olive	Calderon et al. (2013)
Leaf Rust Disease Severity Index 1 Index 2	$LRDSI_1 = 6.9 \frac{RED1}{BLUE} - 1.2$ $LRDSI_2 = 4.2 \frac{RED2}{BLUE} - 0.38$	BLUE: 455 RED: 605 RED: 695	Detection of Wheat Leaf Rust	Ashourloo et al. (2014)
Modified Soil Adjusted Vegetation Index	$MSAVI2 = 0.5(2NIR + 1) - \sqrt{((2NIR + 1))^2 - 8(NIR - F)}$	RED: 630 – 690 NIR: 760 – 860	Prediction of corn canopy Nitrogen content	Bagheri et al. (2012)
Normalized Difference Infrared Index	$NDVII = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$	NIR1: 841 - 876 NIR2: 1230–1250	Estimation of plant water Content	Cheng et al. (2013)
Normalized Difference Water Index	$NDVWI = \frac{NIR1 - NIR2}{NIR1 + NIR2}$	NIR1: 841 - 876 NIR2: 1230–1250	Estimation of plant water content	Zarco-Tejada et al. (2003)
Normalized Pigment Chlorophyll Ratio Index	$NCPI = \frac{RED1 - BLUE1}{RED2 + BLUE2}$	BLUE: 460 RED: 660	Estimation of leaf chlorophyll content	Hatfield and Prueger (2010)
Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index	$OSAVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED + 0.16}$	RED: 640 – 720 NIR: 770 - 880	Nitrogen status estimation of winter wheat	Jia et al. (2011)
Ratio Vegetation Index	$RVI = \frac{NIR}{RED}$	RED: 630 – 690 NIR: 760 - 900	Estimating nitrogen status of winter wheat	Li et al. (2008a)

Relative Reflectance Index	$RRI = \frac{NIR_a}{VIS_a} \frac{NIR_r}{VIS_r}$	VIS: 400 – 700 NIR: 740 - 820	Indication of drought of field grown oilseed rape	Mogensen et al. (1996)
Shortwave Infrared Water Stress Index	$SIWSI(6,2) = \frac{SWIR - NIR1}{SWIR + NIR1}$ $SIWSI(6,2) = \frac{SWIR - NIR2}{SWIR + NIR2}$	NIR1: 841-876 NIR2: 1230-1250 SWIR: 1628-1652	Indication of canopy water Content	Fensholt and Sandholt (2003)
Simple Ratio	$SR = \frac{RED}{NIR}$	RED: 648 NIR: 747	Detection of pest infestation in regional scale	Glaser et al. (2009)
Structure Insensitive Pigment Index	$SIPI = \frac{NIR - BLUE}{NIR - RED}$	BLUE: 445 RED: 680 NIR: 800	Determine the sunn pest damage on wheat	Genc et al. (2008)
Transformed Soil-Adjusted Vegetation Index	$TSAVI = \frac{a(NIR - aRED - b)}{aNIR + RED - ab + X}$	RED: 610-720 NIR: 760-950	Assimilation of remote sensing data into sugar beet yield prediction model	Launay and Guerif (2005)
Triangular Greenness Index	$TGI = -0.5 \times$	BLUE: 450-520 GREEN: 520-600 RED: 630-690	Crop nitrogen requirements detection	Hunt et al. (2013)