

ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΪΟΝ 03

Ανάλυση της υγείας των καλλιεργειών,
χρήση αισθητήρων και φωτογραμμετρία

Ημερομηνία: 06.2022

Τίτλος έργου: Εκπαίδευση και Εφαρμογή Ευφυούς
Γεωργίας

Κωδικός έργου: 2020-1-EL01-KA226-VET-094682

Ακρωνύμιο: SATI



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union





Πρόλογος

Οι ονομασίες και η παρουσίαση του υλικού στο παρόν κείμενο δεν συνεπάγονται την έκφραση οποιασδήποτε απόψεως εκ μέρους των εμπλεκόμενων στο έργο σχετικά με το νομικό καθεστώς ή το καθεστώς ανάπτυξης οποιασδήποτε χώρας, επικράτειας, πόλης, περιοχής ή των αρχών της. Οποιαδήποτε αναφορά σε συγκεκριμένες εταιρίες ή προϊόντα, είτε αυτά έχουν καταχωρηθεί με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας είτε όχι, δεν υποδηλώνει ότι έχουν εγκριθεί ή προταθεί από τη σύμπραξη αυτού του έργου, έναντι άλλων παρόμοιου χαρακτήρα που δεν αναφέρονται.

Οι απόψεις που εκφράζονται στο παρόν κείμενο ανήκουν αποκλειστικά στο συγγραφέα και δεν αντικατοπτρίζουν απαραίτητα τις απόψεις των εταίρων. Το υλικό μπορεί να αντιγραφεί, να μεταφορτωθεί και να τυπωθεί για προσωπική χρήση, έρευνα και διδασκαλία ή για χρήση σε μη εμπορικά προϊόντα ή υπηρεσίες υπό την προϋπόθεση ότι παρέχεται η κατάλληλη αναγνώριση του έργου ως πηγή και κατόχου των πνευματικών δικαιωμάτων και ότι η έγκριση των απόψεων των εταίρων, των προϊόντων ή των υπηρεσιών των χρηστών δεν υπονοείται με κανέναν τρόπο.

SATI © 2021

2 Περιεχόμενα

Περιγραφή	4
Πληροφορίες έκδοσης - κολοφώνας	6
Μεθοδολογία	7
Εισαγωγή	8
1. Εισαγωγή στη γεωργία ακριβείας (ΓΑ)	8
1.1. Ορισμός της γεωργίας ακριβείας	8
1.2. Τεχνολογίες γεωργίας ακριβείας	10
1.3. Χωρική και χρονική μεταβλητότητα	11
1.4. Εφαρμογές: καλλιέργειες με λαχανικά, αρόσιμες καλλιέργειες, αμπέλια (περιπτώσεις μελέτης)	15
1.5. Χαρτογράφηση απόδοσης πριν την εφαρμογή μεταβλητών ποσοστών	18
2. Ευκαιρίες εφαρμογής γεωργίας ακριβείας και πρόοδοι	21
2.1. Δειγματοληψία και απόκτηση δεδομένων	21
2.2. Ανάλυση και παρουσίαση δεδομένων	23
2.3. Αναφορά, ικνηλασιμότητα και παροχή πληροφοριών από τους αγρότες	27
2.4. Πώς να εφαρμόσουμε γεωργία ακριβείας με τεχνολογία χαμηλού κόστους	29
3. Εισαγωγή στους αισθητήρες	31
3.1. Μετρολογία (ακρίβεια, ανάλυση, σφάλμα κτλ)	31
3.2. Τύποι σημάτων	34
3.3. Ταξινόμηση αισθητήρων	35
3.3.1. Ταξινόμηση σύμφωνα με την αρχή της μέτρησης	36
3.3.2. Ταξινόμηση σύμφωνα με τις μεταβλητές	36
4. Παγκόσμια δορυφορικά συστήματα πλοήγησης (GNSS)	37
4.1. Αρχές λειτουργίας και σφάλματα έναντι των drones	37
4.2. Δέκτες και ακρίβεια	40
4.3. Εφαρμογές στη γεωργία (μελέτες περίπτωσης)	41
5. Εμπορικοί αισθητήρες για τη γεωργία ακριβείας	44
5.1. Ανίχνευση καλλιέργειας	44
5.2. Χαρακτηρισμός φυλλώματος και βιομάζας	45
5.3. Παρακολούθηση λουλουδιών και φρούτων	49
5.4. Ανίχνευση της υγείας της καλλιέργειας	50
5.5. Ανίχνευση και ταξινόμηση ζιζανίων	51
5.6. Έλλειψη νερού	53



5.7. Παρακολούθηση απόδοσης (δείκτης NDVI και VARI).....	54
6. Επεξεργασία δεδομένων αισθητήρων: από τα δεδομένα των αισθητήρων έως τις πληροφορίες του γεωργού	54
6.1. Εφαρμογές μελετών περίπτωσης	54
6.2. Επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο	59
7. Σύστημα πληροφοριών διαχείρισης γεωργικών εκμεταλλεύσεων	60
8. Φωτογραμμετρία	63
9. Βιβλιογραφία	66
10. Ερωτήσεις	69

4 Περιγραφή

Η γεωργία ακριβείας (ΓΑ) αποτελεί μία προσέγγιση διαχείρισης όλης της καλλιέργειας χρησιμοποιώντας την τεχνολογία πληροφοριών, την τηλεπισκόπηση καθώς και δεδομένα που συλλέγονται μέσω δορυφορικού συστήματος πλοήγησης (GNSS) (ψηφιακό αναγνωριστικό αντικειμένου:10.2861/587580). Στόχος του προγράμματος είναι η παροχή μιας ολοκληρωμένης εκπαιδευτικής πλατφόρμας έναντι στις προηγμένες προκλήσεις της γεωργίας. Τα θέματα επιλέχθηκαν σύμφωνα με τις απαραίτητες απαιτήσεις κατά τους γεωπόνους, τους ειδικούς στον τομέα των γεωργικών ασφαλίσεων και τους αγρότες. Θέματα όπως η φωτογραμμετρία, η ανίχνευση του πεδίου, η ανάλυση της υγείας της καλλιέργειας, η χρήση αισθητήρων και συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών περιγράφονται και αναλύονται τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πρακτικό επίπεδο μέσω της μελέτης περιπτώσεων με έναν πιο απλό και κατανοητό τρόπο ώστε να εισάγει τους ειδικούς και όχι μόνο, στις νέες τάσεις και πολιτικές στον τομέα του περιβάλλοντος και της γεωργίας.

Το τελικό προϊόν του έργου στοχεύει στην παρουσίαση των διαφορετικών τύπων αισθητήρων που χρησιμοποιούνται στη γεωργία, των διαδικασιών που χρειάζονται για να αναπτυχθεί ένας χάρτης πεδίου καθώς επίσης και την παρακολούθηση του καιρού και άλλων φυσικών παραμέτρων από απόσταση. Αποτελεί μία βασική διαδικασία λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι ένας καλλιεργητής χρειάζεται αυτή την πληροφορία για να λάβει τις αποφάσεις του. Το μάθημα απευθύνεται σε γεωργούς και γεωπόνους οι οποίοι θα λάβουν βασικές γνώσεις χειρισμού ενός μη επανδρωμένου αεροσκάφους (drone), εξοπλισμένο με τον κατάλληλο αισθητήρα που θα εκτιμά το πόσο υγιής είναι η καλλιέργειά τους και πώς να μετρούν στοιχεία όπως η έλλειψη του νερού και η εκτίμηση απόδοσης της παραγωγής.

Η φυσιολογία των φυτών και η φωτοσύνθεση για αρχάριους αποτελούν τις εισαγωγικές ενότητες του μαθήματος. Το μάθημα θα είναι κατανοητό και από άτομα που δεν είναι γεωπόνοι ή βιολόγοι και θα εστιάζει σε εκπαιδευόμενους από διάφορους επαγγελματικούς τομείς. Σκοπός του μαθήματος είναι να απευθυνθεί σε καλλιεργητές με μη επιστημονικό υπόβαθρο όπως για παράδειγμα οι αγρότες. Ωστόσο παραμένει σημαντικό σε αυτό το στάδιο, η παροχή ενός κατανοητού εκπαιδευτικού υλικού για τους εκπαιδευόμενους. Περισσότερο υλικό θα είναι διαθέσιμο για προχωρημένους αναγνώστες. Συνεπώς, το υλικό απευθύνεται στο ευρύ κοινό και σε διαφορετικές ομάδες του πληθυσμού.

Επιπρόσθετα, ειδική μέριμνα θα γίνει στην παρουσίαση του υλικού με έναν πιο απλοποιημένο τρόπο δεδομένου ότι υπάρχει γνωστικό υπόβαθρο ανάμεσα στους εκπαιδευόμενους. Αναμένεται να είναι το πιο δημοφιλές αποτέλεσμα λόγω της υπάρχουσας ενημέρωσης/ γνώσης των εν δυνάμει εκπαιδευόμενων. Θα υπάρξει μία περιγραφή των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων των διαφορετικών αισθητήρων, των προτύπων, του επιστημονικού υποβάθρου της χρήσης τέτοιων αισθητήρων και θα γίνει ανάλυση με τη χρήση παραδειγμάτων των πιο εμπορικών αισθητήρων. Η χαρτογράφηση αποτελεί τον απόλυτο στόχο του μαθήματος. Στις υπό μελέτη περιπτώσεις θα χρησιμοποιηθούν πραγματικοί χάρτες οι οποίοι θα συνοδεύονται από πραγματικά δεδομένα που λήφθηκαν μετά τη συγκομιδή. Θα υπάρχει παράλληλη παρουσίαση των παραδοσιακών τρόπων συλλογής δεδομένων και των προτεινόμενων από το πρόγραμμα καινοτόμων τρόπων. Ο εκπαιδευόμενος θα έχει την

5 ευκαιρία να καταλάβει που είναι η καινοτομία και ποια τα πλεονεκτήματα που απορρέουν για τον καλλιεργητή ή το σύμβουλο καλλιέργειας ο οποίος θα είναι και ο τελικός χρήστης της τεχνολογίας.

Στο πρώτο κεφάλαιο του μαθήματος θα γίνει μία ανασκόπηση της 35ετούς ιστορίας της τηλεπισκόπησης στη γεωργία, της εξέλιξης από τη χαμηλή χωρική και χρονική ανάλυση των δορυφορικών εικόνων και της αερομεταφερόμενης φωτογραμμετρίας σε προηγμένες τεχνολογίες καθώς και το σκεπτικό της χρήσης αυτών στην γεωργία.

Η δεύτερη ενότητα επικεντρώνεται στις τρέχουσες τεχνολογίες λήψης πληροφοριών από διαστημικούς και αερομεταφερόμενους αισθητήρες και στην εφαρμογή των πληροφοριών αυτών στη γεωργία ακριβείας. Οι εφαρμογές που βασίζονται σε αερομεταφερόμενες πολυφασματικές κάμερες, κάμερες RGB, θερμικές κάμερες, συστήματα LiDAR, σε διαστημικούς οπτικούς αισθητήρες και ραντάρ, περιλαμβάνουν την παρακολούθηση της υγείας των καλλιεργειών, την εκτίμηση της βιομάζας και της απόδοσης, τις ζώνες διαχείρισης, την ανίχνευση ασθενειών, την καταμέτρηση φυτών κ.λπ. Γίνεται χρήση φωτογραμμετρικών μεθόδων για τη δημιουργία τρισδιάστατης ανακατασκευής της αρχιτεκτονικής εδάφους και του φυλλώματος των δέντρων. Ακόμη, θα περιγραφούν οι διαδικτυακές και άλλες εφαρμογές που χρησιμοποιούνται ως διεπαφές για τις υπηρεσίες που παρέχονται στους ενδιαφερόμενους φορείς (π.χ. αγρότες, γεωπόνοι, βιομηχανία κ.λπ.). καθώς και η λειτουργικότητά τους.

Το υλικό θα παρέχει μοναδική εκπαίδευση στους εκπαιδευόμενους με διαφορετικό υπόβαθρο (από αγρότες μέχρι προχωρημένους χρήστες) σύμφωνα με το τι υπάρχει στην αγορά και πώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί.

Η τρίτη ενότητα στοχεύει στο να προετοιμάσει τους εκπαιδευόμενους για τη χρήση της απομακρυσμένης συλλογής δεδομένων η οποία θα είναι η κύρια μέθοδος πληροφόρησης στο μέλλον. Θα αναλύσει την τάση των συνεργειών ανάμεσα στα υψηλής χρονικής και φασματικής ανάλυσης δεδομένα από το δορυφόρο και τα δεδομένα υψηλής χωρικής ανάλυσης από drones και τα συστήματα αισθητήρων πεδίου. Σκοπός είναι να απευθυνθεί σε όλους τους τελικούς χρήστες της επόμενης γενιάς της γεωργίας ακριβείας και να αναδείξει τη δύναμη της τεχνολογίας όπως ο συνδυασμός των δεδομένων, η τεχνητή νοημοσύνη και το διαδίκτυο των πραγμάτων.

Επιπρόσθετα, οι βασικές αρχές της χρήσης μη επανδρωμένων αεροσκαφών, της δορυφορικής απεικόνισης και της φωτογραμμετρίας ως τελικοί χρήστες, απευθύνονται περισσότερο σε εκπαιδευόμενους με υπόβαθρο στην επιστήμη της γεωργίας αλλά αυτό αποτελεί μέρος άλλης μελέτης.

-Τηλεπισκόπηση και χρήση στην παραγωγή δεικτών βλάστησης (πχ δείκτης NDVI).

-Οι εκπαιδευόμενοι θα μάθουν να διαβάζουν τους χάρτες που θα παράγουν τα drones καθώς επίσης και το πώς να προετοιμάσουν ένα χάρτη και να δικαιολογήσουν την ποικιλομορφία σε ένα πεδίο.

Μετά την κατάρτιση, οι εκπαιδευόμενοι θα είναι σε θέση να συγκρίνουν χάρτες, να βλέπουν την εξέλιξη της φάρμας τους, να προσδιορίζουν πιθανές απειλές και να εκτιμούν την απόδοση της παραγωγής.

Γλώσσες: Αγγλικά, Ελληνικά, Ισπανικά, Τουρκικά

Τύπος παραδοτέου: Μάθημα / Διδακτέα ύλη - πιλοτικό μάθημα

Ημερομηνία έναρξης: 01-03-2021

Ημερομηνία λήξης: 30-06-2022

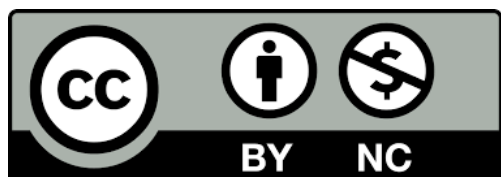
Version: 1.1

9 Πληροφορίες έκδοσης - κολοφώνας

Το περιεχόμενο του μαθήματος βασίστηκε σε διάφορες πηγές:

- Εκπαιδευτικό υλικό όπως αναπτύχθηκε / σχεδιάστηκε από ειδικούς του MKV International Consulting Training Services & Trade Company Limited
- Εκπαιδευτικό υλικό όπως αναπτύχθηκε / σχεδιάστηκε εκ του μηδενός για το πρόγραμμα αυτό
- Ερευνητικό υλικό που προέκυψε από προηγούμενες και τρέχουσες έρευνες του MKV Consulting και του τμήματος Γεωργικών Τεχνολογιών του Πανεπιστημίου της Άγκυρας
- Βιβλιογραφικές αναφορές που περιγράφονται στην ενότητα «Επιπλέον υλικό μελέτης» αυτού του μαθήματος

Το υλικό παρουσιάζεται σε έντυπη μορφή ως βιβλίο και σε ηλεκτρονική μορφή ως υλικό για εξ αποστάσεως εκπαίδευση. Μπορείτε να επικοινωνήσετε μέσω email (info@mkv-consulting.com) σε περίπτωση που το όνομά σας έχει παραληφθεί από τη λίστα ακούσια.



Το υλικό του μαθήματος είναι διαθέσιμο μέσω αυτού του κειμένου και αδειοδοτείται σύμφωνα με Creative Commons Attribution-Noncommercial 2.0 Generic License.

Μεθοδολογία

Το παραδοτέο θα έχει τη μορφή μαθήματος/ διδακτέας ύλης, πιλοτικού μαθήματος/ ενότητα. Τα δεδομένα θα συλλεχθούν από επίσημες πηγές της κάθε χώρας που συμμετέχει στο πρόγραμμα και θα παρουσιαστούν πρόσφατες μελέτες.

Οι εταίροι θα συνεισφέρουν ισότιμα στο παραδοτέο. Η MKV θα συνεισφέρει στη μεταφορά της τεχνογνωσίας όσο αφορά την τεχνολογία των αισθητήρων καθώς είναι ειδικός σε αυτή την τεχνολογία με παρουσία στην Τουρκία αλλά και σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η τεχνολογία των αισθητήρων και η χαρτογράφηση βασίζονται στα πρόσφατα τεχνολογικά επιτεύγματα και έχουν αυστηρά επιστημονική βάση, οι εταίροι θα απλοποιήσουν το υλικό για τους σκοπούς του μαθήματος αφού πρώτα η MKV παρουσιάσει το εκπαιδευτικό υλικό για τους αισθητήρες και στη συνέχεια η Gilab θα παρουσιάσει τους τρόπους χαρτογράφησης χρησιμοποιώντας αξιόλογο εμπορικό λογισμικό.

Το παραδοτέο που θα προκύψει αποτελεί σημαντικό ρόλο στην παρουσίαση και τη συνολική προβολή του έργου αλλά και για σκοπούς διάδοσης, καθώς η πιο διαδεδομένη προσέγγιση του τι είναι η γεωργία ακριβείας είναι η χαρτογράφηση ενός χωραφιού με τη χρήση ενός drone. Οι υπόλοιποι εταίροι θα συνεισφέρουν ισότιμα τόσο στη συλλογή των δεδομένων, στην προετοιμασία και απλοποίηση του εκπαιδευτικού υλικού όσο και στην παρουσίαση και διάχυση του υλικού και των αποτελεσμάτων στους ενδιαφερόμενους φορείς. Η διάχυση αυτή θα γίνει και με τη μορφή βίντεο. Το πρώτο αυτό στάδιο θα βασιστεί στην εμπειρία του Ευρωπαϊκού Ινστιτούτου Εξέλιξης και Ένταξης και της MKV στην προετοιμασία του υλικού προς διάχυση και στους UPA (Ισπανία) και Spirito (Ελλάδα) ως κέντρα κατάρτισης οι οποίοι θα αναλάβουν να επικοινωνήσουν το υλικό και τα αποτελέσματα. Η πηγή δεδομένων για την προετοιμασία του παραδοτέου θα προέρχεται κυρίως από τη συνεχή δουλειά των εταίρων στη γεωργία ακριβείας.

Η Gilab θα μεταφέρει τη τεχνογνωσία και την εμπειρία που διαθέτει σε συστήματα και εφαρμογές της γεωργίας ακριβείας που βασίζονται σε δεδομένα από απομακρυσμένους αισθητήρες τόσο από έργα H2020 όσο και από τις δικές της εμπορικές λύσεις. Το υλικό θα δομηθεί έτσι ώστε να παρουσιάσει μια θεωρητική βάση για τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή και ανάλυση γεωχωρικών δεδομένων για εφαρμογή στη γεωργία ακριβείας και να παρουσιάσει επίσης και τις περιπτώσεις βέλτιστης πρακτικής. Οι περιπτώσεις θα σχεδιαστούν για να δείξουν τη χρησιμότητα της τεχνολογίας και να διδάξουν τους εκπαιδευόμενους πώς να χρησιμοποιούν την τεχνολογία.

Η εμπειρία των Spirito, MKV και EIEO στην εκπαίδευση και στην κατάρτιση θα είναι κρίσιμη στην υιοθέτηση της προσέγγισης που θα ωφελήσει περισσότερο τους εκπαιδευόμενους. Ο UPA ως ένωση μικρών αγροτών που βρίσκεται σε στενή επαφή με τους μικροκαλλιεργητές, θα προσαρμόσει το υλικό ώστε να είναι απλοποιημένο και κατανοητό από τους χρήστες οι οποίοι έχουν σημαντική έλλειψη γνώσης στον τομέα των τεχνολογιών και της γεωργίας ακριβείας.

∞ Εισαγωγή

1.Εισαγωγή στη γεωργία ακριβείας (ΓΑ)

1.1. Ορισμός της γεωργίας ακριβείας

Γεωργία ακριβείας είναι η διαχείριση της χωρικής και χρονικής μεταβλητότητας με τη χρήση γεωργικών εισροών ώστε να αυξηθούν τα οικονομικά έσοδα και να μειωθούν οι αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η γεωργία ακριβείας έχει οδηγήσει σε έξυπνες διαδικασίες καλλιέργειας με χαρακτηριστικό τη δυνατότητα σύνδεσης από οποιοδήποτε σημείο καθώς πλέον η τεχνολογία της ασύρματης επικοινωνίας έχει αναπτυχθεί σε σημαντικό βαθμό.

Η δομή του εδάφους ποικίλει από περιοχή σε περιοχή προκαλώντας χωρική μεταβλητότητα. Ακόμη και στην ίδια περιοχή δεν παρατηρείται ομοιομορφία στο έδαφος. Όταν μια περιοχή παραγωγής εξετάζεται προσεκτικά, εύκολα παρατηρούμε ότι τα φυτά αναπτύσσονται διαφορετικά εντός πεδίου. Η φυσική, χημική και βιολογική δομή του εδάφους που μπορεί να διαφοροποιείται ανά εκτάριο ή ανά τετραγωνικό μέτρο είναι ο λόγος που παρατηρούνται διαφορές στο ίδιο το πεδίο. Η χρήση αισθητήρων και άλλων εργαλείων γεωργίας ακριβείας έχει οδηγήσει στην αύξηση της αποδοτικότητας και τη μείωση του κόστους παρέχοντας εργαλεία λήψης αποφάσεων που ενισχύουν την αγροτική παραγωγικότητα.

Η γεωργία ακριβείας χρησιμοποιεί την τεχνολογία πληροφοριών για να δημιουργήσει προτάσεις για συγκεκριμένες περιοχές, χρήσιμες για φυσικές και διαχειριστικές διακυμάνσεις. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι η γεωργία ακριβείας δεν αντικαθιστά το ρόλο του παραγωγού στη λήψη αποφάσεων. Η κύρια ιδέα της γεωργίας ακριβείας είναι να βελτιώσει τη διαδικασία λήψης διαχειριστικών αποφάσεων, η επίτευξη υψηλότερης απόδοσης και η μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στην καλλιέργεια. Συχνά συνδυάζεται με έννοιες όπως το παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης (GPS), τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS), τη φωτογραμμετρία, το αυτόματο σύστημα τηλεπισκόπησης, οθόνες παρακολούθησης απόδοσης και εφαρμογή μεταβλητού ποσοστού λιπάσματος ανά περιοχή. Όσο σημαντικές και αν είναι οι τεχνολογίες αυτές, η λήψη αποφάσεων από τους παραγωγούς παραμένει το κύριο συστατικό για την επιτυχία στη γεωργία ακριβείας (Fulton, 2018; Griffin et al., 2018).

Τα στάδια μιας επιτυχημένης εφαρμογής της γεωργίας ακριβείας παρουσιάζονται στο σχήμα 1. Το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει τη συλλογή όσων περισσότερων δεδομένων σχετικά με την καλλιέργεια, το χώμα, το έδαφος και το περιβάλλον. Αυτό που θέλουμε να πετύχουμε στο στάδιο αυτό, είναι η επεξεργασία των δεδομένων κατά το στάδιο εξαγωγής των πληροφοριών. Οι διαχειριστικές αποφάσεις λαμβάνονται μόλις τα δεδομένα μετατραπούν σε πληροφορία. Το αποτελέσματα σε αυτό το στάδιο είναι οι προτάσεις που θα εφαρμοστούν στο τελευταίο στάδιο. Τα βέλη γύρω από τον κύκλο είναι πιθανές εισροές που απαιτούνται σε κάθε στάδιο. Αυτό που αποκαλούμε γεωργία ακριβείας βάσει χαρτών είναι όταν η πληροφορία και οι προτάσεις απεικονίζονται ως χάρτες και ο κύκλος κάνει αρκετές μέρες για να ολοκληρωθεί. Η κατανόηση του είδους της πληροφορίας που θα επιτρέψει την καλύτερη λήψη αποφάσεων και η εύρεση οικονομικά αποτελεσματικών τρόπων συλλογής χωρικών δεδομένων είναι ανεξάρτητη από τη χρήση αυτών στη βελτίωση του τρόπου που αξιοποιείται η γη και των διαχειριστικών αποφάσεων σε συγκεκριμένες περιοχές εντός μιας αγροτικής εκμετάλλευσης.



Σχήμα 1. Τα στάδια μιας επιτυχημένης εφαρμογής της γεωργίας ακριβείας
(www.newaginternational.com)

Στο σχήμα 1 βλέπουμε τον κύκλο της γεωργίας ακριβείας. Αποτελείται από τέσσερα στάδια. Το πρώτο στάδιο του κύκλου είναι η απόκτηση δεδομένων από τις καλλιέργειες και το περιβάλλον αυτών μέσω της χρήσης αισθητήρων, της οπτικής παρατήρησης, δειγμάτων αλλά και εικόνων δορυφορικών συστημάτων (SSNG / GNSS). Μόλις γίνει η συλλογή των δεδομένων, είναι απαραίτητη η άντληση πληροφορίας για τον αγρότη (στάδιο 2), όπως για παράδειγμα αν η καλλιέργεια έχει αναπτυχθεί σωστά και ομοιόμορφα σε όλο το χωράφι. Η πληροφορία αυτή θα χρησιμοποιηθεί στο στάδιο λήψης αποφάσεων (στάδιο 3) όπου θα αποφασιστεί ποιες διαχειριστικές εργασίες θα πραγματοποιηθούν και με ποιο τρόπο. Το πρώτο που πρέπει να αποφασίσει ο αγρότης είναι αν θα συνεχίσει να αντιμετωπίζει το χωράφι ομοιόμορφα ή αν υπάρχει μεταβλητότητα στο χωράφι ώστε να εφαρμόσει άλλη πολιτική διαχείρισης. Το στάδιο αυτό θέλει τη μεγαλύτερη προσοχή και διερεύνηση. Τέλος, το τελευταίο στάδιο (στάδιο 4), περιλαμβάνει τις ενέργειες που πρέπει να γίνουν για την εφαρμογή των κατάλληλων πόρων (πχ εφαρμογή μεταβλητού ποσοστού λιπάσματος) αλλά και των απαραίτητων γεωργικών εργασιών (πχ άρδευση, προστασία καλλιεργειών κτλ).

Στον πίνακα 1, παρουσιάζονται μερικά γενικευμένα βήματα υιοθέτησης της γεωργίας ακριβείας για διαφορετικούς διαχειριστικούς στόχους.

Στόχοι	Τρόποι χρήσης των εργαλείων και των τεχνικών της γεωργίας ακριβείας
Βελτιστοποίηση της μέσης διαχείρισης της καλλιέργειας 1 και αύξηση της αποδοτικότητας της γεωργίας	Τοποθεσία μέσω GPS και καταγραφή για ανίχνευση καλλιεργειών και δειγματοληψία εδάφους, καθώς και πειραματισμός μάντρας (π.χ. νέες ποικιλίες ή φυτοφάρμακα). Καθοδήγηση του οχήματος και αυτόματη καθοδήγηση για την αύξηση της αποδοτικότητας (π.χ. μειωμένη επικάλυψη), καθιέρωση ελεγχόμενης κυκλοφορίας ή συστήματος καλλιέργειας με σαμάρια, σπορά σε ενδιάμεση περίοδο, θωρακισμένο ψεκάσμο κ.λπ.
Προσδιορισμός της θέσης και 2 του μεγέθους της χωρικής και εποχικής μεταβλητότητας	GPS που συνδέεται σε οθόνες που μετρούν την απόδοση της ποιότητας και της ποσότητας του πεδίου και σε αισθητήρες χώματος, τηλεπισκόπηση δεδομένων με γεωγραφική αναφορά που χρησιμοποιούνται στο σχεδιασμό χαρτών μεταβλητότητας. Χάρτες μικτού περιθωρίου που καταρτίζονται με βάση την απόδοση και την ποιότητα. Οι χάρτες μπορούν να συγκριθούν μεταξύ εποχών και καλλιεργειών για τον προσδιορισμό περιοχών σχετικά σταθερής απόδοσης ή περιθωρίου.

3 Προσδιορισμός αιτιών χωρικής μεταβλητότητας και βέλτιστη διαχειριστική απόκριση	Συνδυάζονται δεδομένα από διάφορες εποχές εφαρμογής μεθόδων γεωργίας ακριβείας για τον προσδιορισμό αιτιολογικών παραγόντων που ακολουθούνται από στοχευμένη έρευνα πεδίου (προφίλ δειγματοληψίας εδάφους) προς επιβεβαίωση. Χρήση κλιματικών δεδομένων με μοντέλα καλλιέργειας και οικονομικά μοντέλα για τον έλεγχο εναλλακτικών διαχειριστικών αποκρίσεων (για παράδειγμα αποφυγή / μείωση εισροών, βελτίωση καλλιέργειας).
4 Βελτιστοποίηση της εισροής παραγωγής: αναλογία ποσότητας και ποιότητας των σιτηρών. Μεγιστοποίηση του μικτού περιθωρίου κέρδους και ελαχιστοποίηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος	Χρήση δεδομένων γεωργίας ακριβείας για την οριοθέτηση ζωνών διαχείρισης σε κλίμακα αγροκτήματος, χρησιμοποίηση αυτών για τη λήψη αποφάσεων σχετικά με τις καλλιέργειες (π.χ. τύπος και ποικιλία) και προετοιμασία χαρτών για εφαρμογή μεταβλητού ποσοστού πόρων. Χρήση οθονών απόδοσης και χρηματοοικονομικής ανάλυσης για τον έλεγχο των αποτελεσμάτων και τη στήριξη περαιτέρω προσαρμοστικής διαχείρισης.
5 Βελτίωση του ποιοτικού ελέγχου των σιτηρών και προώθηση των προϊόντων	Χρήση GPS με οθόνες ποιότητας των σιτηρών και εργαλεία διαχωρισμού για την κάλυψη των απαιτήσεων ποιότητας και για την επίτευξη τιμών. Η ηλεκτρονική σήμανση πληροφοριών για τις επιτόπιες λειτουργίες και τα φορτία σιτηρών και η λήψη σε συστήματα περιβαλλοντικής διαχείρισης, παρέχουν δεδομένα για την υποστήριξη του μάρκετινγκ και του ποιοτικού ελέγχου / διασφάλιση της ποιότητας
6 Αύξηση πειραματισμού / δοκιμών στο αγρόκτημα	Χρήση χαρτών γεωργίας ακριβείας για το σχεδιασμό δοκιμών, χρησιμοποιώντας GPS για την ενεργοποίηση των οθονών απόδοσης για την καταγραφή των αποτελεσμάτων

Πίνακας 1 Γενικευμένα βήματα υιοθέτησης της γεωργίας ακριβείας για διαφορετικούς διαχειριστικούς στόχους.(Leonard and Philip, 2006)

1.2. Τεχνολογίες γεωργίας ακριβείας

Για την αποτελεσματική συλλογή και χρήση των πληροφοριών, είναι σημαντικό για όποιον σκέφτεται τη γεωργία ακριβείας να είναι εξοικειωμένος με τα διαθέσιμα σύγχρονα τεχνολογικά εργαλεία. Το ευρύ φάσμα των εργαλείων περιλαμβάνει υλικό, λογισμικό και τις βέλτιστες πρακτικές διαχείρισης. Ακολουθεί συνοπτική περιγραφή στις παρακάτω παραγράφους.

Παγκόσμιο σύστημα καθορισμού/ εντοπισμού θέσης (GPS): Οι δορυφόροι του συστήματος εντοπισμού θέσης εκπέμπουν σήματα που επιτρέπουν στους δέκτες να υπολογίσουν την ακριβή τοποθεσία. Η πληροφορία παρέχεται σε πραγματικό χρόνο και υπάρχει συνεχής πληροφορία θέσης ακόμα και εν κινήσει. Έχοντας ακριβείς πληροφορίες κάθε στιγμή, είναι εύκολη η χαρτογράφηση των μετρήσεων του εδάφους και της καλλιέργειας. Οι δέκτες GPS, είτε μεταφέρονται στο πεδίο είτε τοποθετούνται σε εργαλεία που επιτρέπουν στους χρήστες να επιστρέφουν σε συγκεκριμένες τοποθεσίες για την αντιμετώπιση των προβλημάτων.

Σύστημα παρακολούθησης αποδόσεων και χαρτογράφηση: οι οθόνες απόδοσης σιτηρών μετρούν συνεχώς και καταγράφουν τη ροή των σιτηρών. Όταν συνδέονται με GPS, μπορούν να παρέχουν τα απαραίτητα δεδομένα για τους χάρτες απόδοσης. Οι μετρήσεις απόδοσης παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση των αποφάσεων. Ωστόσο, βαρύτητα πρέπει να δοθεί και σε παράγοντες όπως το χώμα, το έδαφος και σε άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Η παρακολούθηση της απόδοσης είναι σημαντική για τον προσδιορισμό των αποτελεσμάτων των



ελεγχόμενων εισροών όπως το λίπασμα, οι σπόροι, και τα φυτοφάρμακα συμπεριλαμβανομένου της άρδευσης και της άροσης. Συνιστάται η παρακολούθηση της απόδοσης συνεχόμενων ετών καθώς οι μετρήσεις κάθε έτους μπορεί να επηρεαστούν άμεσα από τις καιρικές συνθήκες.

Τηλεπισκόπηση: Η τηλεπισκόπηση είναι η συλλογή δεδομένων από απόσταση. Οι αισθητήρες συλλογής δεδομένων μπορεί να είναι φορητές συσκευές, τοποθετημένες σε αεροσκάφος ή δορυφόρο. Τα δεδομένα που συλλέγονται αποτελούν εργαλείο για την αξιολόγηση της υγείας της καλλιέργειας. Η ξηρασία των φυτών που σχετίζεται με την υγρασία, τα θρεπτικά συστατικά, τη συμπίκνωση, τις ασθένειες των φυτών και με άλλα προβλήματα που σχετίζονται με την υγεία των φυτών, συχνά ανιχνεύονται μέσω εναέριων εικόνων. Ηλεκτρονικές κάμερες μπορούν επίσης να καταγράψουν υπέρυθρες εικόνες που σχετίζονται άμεσα με τον υγιή φυτικό ιστό.

Νέοι αισθητήρες εικόνας με υψηλή φασματική ανάλυση αυξάνουν τις πληροφορίες που συλλέγονται από δορυφόρους. Η τηλεπισκόπηση μπορεί να αποκαλύψει μεταβλητότητα κατά τη διάρκεια μιας σεζόν η οποία επηρεάζει την απόδοση των καλλιεργειών και μπορεί να είναι αρκετά χρονοβόρα στη λήψη διαχειριστικών αποφάσεων που βελτιώνουν την κερδοφορία της τρέχουσας καλλιέργειας. Η λήψη απομακρυσμένων εικόνων μπορεί να βοηθήσει στον προσδιορισμό της θέσης και του εύρους της ανάπτυξης των καλλιεργειών σε μη ιδανικές συνθήκες. Η ανάλυση τέτοιων εικόνων που χρησιμοποιούνται παράλληλα με την ανίχνευση μπορεί να βοηθήσει στον προσδιορισμό της αιτίας ορισμένων ανεπιθύμητων εξωγενών παραγόντων που επηρεάζουν τις καλλιέργειες. Στη συνέχεια, οι εικόνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη και εφαρμογή ενός σχεδίου άμεσης θεραπείας που βελτιστοποιεί τη χρήση γεωργικών χημικών ουσιών.

Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS): τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών, μέσω λογισμικού, χρησιμοποιούν μεταβλητές και δεδομένα θέσης για την δημιουργία χαρτών. Μία σημαντική λειτουργία τους είναι η αποθήκευση πληροφοριών όπως αποδόσεις, χάρτες έρευνας εδάφους, τηλεπισκόπηση δεδομένων, εκθέσεις ανίχνευσης καλλιεργειών και επίπεδα θρεπτικών ουσιών στο έδαφος. Τα δεδομένα γεωγραφικής αναφοράς αποτυπώνονται στο GIS, συνεισφέροντας στην ερμηνεία. Εκτός από την αποθήκευση και την εμφάνιση δεδομένων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της εναλλακτικής διαχείρισης συνδυάζοντας τα επίπεδα των δεδομένων για την ανάλυση σεναρίων διαχείρισης.

Διαχείριση πληροφορίας: η υιοθέτηση γεωργίας ακριβείας προϋποθέτει την από κοινού ανάπτυξη διαχειριστικών ικανοτήτων και των σχετικών βάσεων δεδομένων. Για την αποτελεσματική χρήση των πληροφοριών, ο κάθε αγρότης θα πρέπει να έχει μια καθαρή εικόνα των στόχων της επιχείρησης και καίρια πληροφόρηση για τη λήψη αποφάσεων. Η αποτελεσματική διαχείριση των πληροφοριών περιλαμβάνει περισσότερα από τα εργαλεία ανάλυσης καταγραφής και τήρησης αρχείου ή ένα γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών.

1.3. Χωρική και χρονική μεταβλητότητα

Αυτό που οδηγεί στην υιοθέτηση της γεωργίας ακριβείας είναι η μεταβλητότητα. Η μεταβλητότητα χωρίζεται σε χωρικά και χρονικά στοιχεία. Η χωρική μεταβλητότητα μελετά τις διακυμάνσεις - μεταβολές στην καλλιέργεια, στο χώμα και σε περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά ανάλογα με την

απόσταση και το βάθος. Η χρονική μεταβλητότητα μελετά τις διακυμάνσεις - μεταβολές στην καλλιέργεια, στο χώμα και σε περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά ανάλογα με την πάροδο του χρόνου. Μεταβλητότητα μπορεί να παρατηρηθεί στην απόδοση, στην γονιμότητα του εδάφους, στο ποσοστό υγρασίας, στην υφή του εδάφους, την τοπογραφία, τη ζωνρότητα των φυτών και τον πληθυσμό των παρασίτων.

Η γεωργία ακριβείας στοχεύει στην βελτίωση της ικανότητας των αγροτών να διαχειριστούν τη μεταβλητότητα του πεδίου. Η γεωργία ακριβείας τροφοδοτεί τους επαγγελματίες με εργαλεία για τον ποσοτικό προσδιορισμό της μεταβλητότητας του χώματος, του εδάφους και των καλλιεργειών και ως εκ τούτου, να προσαρμόσουν τις γεωπονικές πρακτικές και τη διάθεση των πόρων ώστε να ταιριάζουν καλύτερα σε αυτές τις μεταβλητές. Η μεταβλητότητα μπορεί να είναι ταυτόχρονα χωρική και χρονική.

Χωρική μεταβλητότητα: είναι η διακύμανση που παρατηρείται στο χώμα, το έδαφος και τις καλλιέργειες μιας περιοχής σε μια δεδομένη χρονική στιγμή. Για παράδειγμα, το pH του εδάφους και η απόδοση της καλλιέργειας.

Χρονική μεταβλητότητα: είναι η διακύμανση που παρατηρείται στο έδαφος και στις καλλιέργειες σε ένα χωράφι σε διαφορετικές χρονικές περιόδους. Για παράδειγμα, η διαφορά στους χάρτες απόδοσης από τη μία εποχή στην άλλη.

Τέσσερα είναι τα στάδια που πρέπει να ληφθούν υπόψη για την ανάπτυξη της γεωργίας ακριβείας:

Στάδιο 1: Αναγνώριση της ύπαρξης σημαντικής μεταβλητότητας στην απόδοση και το κέρδος ενός πεδίου και καθορισμός σταθερών ή όχι ζωνών απόδοσης στο πέρασμα του χρόνου (των εποχών). Αυτό το στάδιο βασίζεται κυρίως στη γνώση των καλλιεργητών για το αγροτεμάχιο, την εικόνα της βιομάζας και την απόδοση.

Στάδιο 2: Προσδιορισμός των βαθύτερων αιτιών που οδηγούν στη μεταβλητότητα της απόδοσης. Περιλαμβάνονται αιτίες όπως το βάθος του εδάφους, ο τύπος του χώματος και της ικανότητας να συγκρατεί το νερό, τα θρεπτικά συστατικά, το υψόμετρο, η αλατότητα του υπεδάφους, η συμπίεση, παρουσία παρασίτων και ασθενειών ή η επίδραση της προηγούμενης διαχείρισης όπως για παράδειγμα παλιοί φράκτες και προηγούμενος τύπος καλλιέργειας.

Αυτό το στάδιο απαιτεί τη σύγκριση ανάμεσα στους χάρτες με τις ζώνες απόδοσης με άλλα χαρτογραφημένα δεδομένα του αγροτεμαχίου όπως δοκιμές στο χώμα, ηλεκτρομαγνητική επαγωγή (EM ή EMI), gamma-radiometric survey, έλεγχος ασθενειών, εναέριες φωτογραφίες ή δεδομένα περιγράμματος ακολουθούμενα από επιτόπια επιθεώρηση του χωραφίου και πραγματοποίηση δοκιμών για τη διασφάλιση ότι έχουν επιλεγεί οι σωστοί αιτιολογικοί παράγοντες.

Στο τέλος αυτού του σταδίου, οι αγρότες θα γνωρίζουν τις κύριες αιτίες μεταβλητότητας της απόδοσης και αν είναι πρακτικό να τις βελτιώσουν άμεσα μέσω διορθωτικών ενεργειών όπως η διόρθωση της έλλειψης θρεπτικών συστατικών, ο ασβέστης κτλ ή να αλλάξουν τον τρόπο διαχείρισης (χρήση ποικιλίας καλλιεργειών, μείωση των λιπασμάτων σε μη ανταποκρινόμενες περιοχές και αύξηση αυτών όπου υπάρχει καλή απόκριση απόδοσης).

Στάδιο 3: Αξίζει; Με άλλα λόγια, γνωρίζοντας την κλίμακα διακύμανσης της απόδοσης (στάδιο 1) και τις υποκείμενες αιτίες και πιθανές λύσεις (στάδιο 2), αξίζει να κάνουμε κάτι γι' αυτό;

Σε αυτό το στάδιο, η εμπειρία των αγροτών/ συμβούλων και τα μοντέλα καλλιέργειας χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση των πιθανών επιπτώσεων στην απόδοση ανάμεσα σε διαφορετικές καλλιέργειες και σε διαφορετικές εποχιακές συνθήκες. Συνδυάζοντας τα αποτελέσματα με τη χρηματοοικονομική ανάλυση, οι αγρότες μπορούν να αποφασίσουν αν συμφέρει οικονομικά η αντιμετώπιση της μεταβλητότητας στην απόδοση εφαρμόζοντας γεωργία ακριβείας.

Πολλοί είναι οι παράγοντες που συμβάλουν σε χωρική και χρονική μεταβλητότητα σε ένα πεδίο. Ενδεικτικά:

Ιδιότητες χώματος και εδάφους: το pH του χώματος, η υφή, η δομή και το βάθος, η οργανική ύλη του εδάφους, το νερό, η χημεία του χώματος και οι περιορισμοί του υπεδάφους. Ορισμένα χαρακτηριστικά που σχετίζονται με το χώμα όπως η υφή παραμένουν σταθερά αλλάζοντας πολύ λίγο με την πάροδο του χρόνου. Άλλα χαρακτηριστικά όπως τα επίπεδα αζώτου, η περιεκτικότητα του χώματος σε υγρασία και η περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ύλη, μπορεί να εμπεριέχουν μεγάλη χωρική και χρονική μεταβλητότητα. Το έδαφος μπορεί να αξιολογηθεί συλλέγοντας δεδομένα από ένα δορυφορικό σύστημα πλοήγησης (GNSS) τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία παραγώγων όπως η κλίση, η πτυχή και ο δείκτης υγρασίας.

Πρακτικές διαχείρισης: πρακτικές καλλιέργειας όπως η ελεγχόμενη κυκλοφορία των μηχανημάτων και η διαχείριση του ιστορικού (στρατηγική κατεύθυνση της γεωργίας, αμειψισπορά).

Περιβαλλοντικοί παράγοντες: καιρός, ζιζάνια, έντομα και ασθένειες

Η γεωργία ακριβείας περιλαμβάνει τη συλλογή δειγμάτων από το έδαφος και από τις καλλιέργειες ώστε να μάθουμε περισσότερα για αυτή τη μεταβλητότητα. Η μεταβλητότητα επηρεάζει πολλές αποφάσεις συμπεριλαμβανομένων των αποφάσεων για το μέγεθος του δείγματος, για το χρόνο που θα συλλεχθεί και τον τρόπο που θα συλλεχθεί. Οι μέθοδοι δειγματοληψίας διαφέρουν ανάλογα με το κόστος της συλλογής των δειγμάτων και της ανάλυσης αυτών. Οι απαιτήσεις της συχνότητας των δειγματοληψιών μπορεί να επηρεάσουν τον τρόπο με τον οποίο ο παραγωγός διαχειρίζεται τα χρήματα, την εργασία και το χρόνο.

Τα δύο στοιχεία που χρειάζονται για να βρούμε που οφείλεται η μεταβλητότητα του εδάφους είναι η δειγματοληψία εδάφους και η χαρτογράφηση. Υπάρχουν πολλές στρατηγικές δειγματοληψίας. Πέρα από τη συστηματική δειγματοληψία εδάφους με πλέγμα, η στοχευμένη δειγματοληψία είναι επίσης μια καλή πρακτική η οποία πραγματοποιείται σε περιοχές που θα μπορούσαν προηγουμένως να έχουν καθοριστεί με τη βοήθεια χαρτών απόδοσης. Πρέπει να βρεθεί ισορροπία ανάμεσα σε ένα αντιπροσωπευτικό αριθμό δειγμάτων και στο κόστος αυτού. Μία εναλλακτική που κερδίζει έδαφος είναι η χρήση των εν κινήσει αισθητήρων εδάφους. Καθώς λαμβάνουν συνεχώς δείγμα από το έδαφος, το αποτέλεσμα είναι η αύξηση της ανάλυσης χωρικής δειγματοληψίας.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (HA) είναι η πιο συχνά μετρούμενη μεταβλητή του εδάφους. Το ενδιαφέρον του έγκειται στο ότι συσχετίζεται συνήθως με τις ιδιότητες του εδάφους, όπως η υφή (άργιλος), η περιεκτικότητα σε υγρασία ή η αλατότητα. Δεδομένου ότι οι ιδιότητες αυτές επηρεάζουν τη δυναμική της απόδοσης, οι πληροφορίες που παρέχονται από τους αισθητήρες εδάφους μπορούν στη συνέχεια να εμφανιστούν με τη μορφή κατάλληλων χαρτών HA για την

οριοθέτηση περιοχών που απαιτούν διαφορετικές πρακτικές διαχείρισης. Επιπλέον, η επικαλυπτόμενη απόδοση και οι χάρτες HA παρέχουν μεγαλύτερη κατανόηση του τι συμβαίνει στο πεδίο και ποιες αιτίες χωρικής μεταβλητότητας μπορούν να προσδιοριστούν. Πρόσθετα δεδομένα αποκτώνται με τη χρήση απομακρυσμένων αισθητήρων.

Το μέγεθος αυτών των παραγόντων θα επηρεάσει το βαθμό μεταβλητότητας εντός του πεδίου και την ευκολία διαχείρισης αυτής της μεταβλητότητας.

Ο χάρτης απόδοσης σιταριού, δείχνει τη χωρική μεταβλητότητα της απόδοσης με το συνοδευτικό ιστόγραμμα αυτών των δεδομένων. Οι χάρτες απόδοσης είναι ένας από τους τρόπους για να ξεκινήσει να εφαρμόζεται η γεωργία ακριβείας. Η χαρτογράφηση της απόδοσης είναι πλέον εφικτή για πολλές καλλιέργειες, όπως για τα δημητριακά, τις κτηνοτροφικές καλλιέργειες, τους αμπελώνες και για ορισμένες κηπευτικές καλλιέργειες. Οι αγρότες μπορούν να συλλέξουν δεδομένα απόδοσης κατά τη συγκομιδή και να τα χρησιμοποιήσουν για να δημιουργήσουν χάρτες απόδοσης ως εργαλείο για την ανάλυση της χωρικής μεταβλητότητας των αγροτεμαχίων τους. Υπάρχει μια ποικιλία λογισμικού για τη δημιουργία και απεικόνιση χαρτών, τα λεγόμενα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS) ή προγράμματα που βασίζονται στα GIS τα οποία αποτελούν μια ενδιαφέρουσα επιλογή για την αποθήκευση και την επεξεργασία των ζητούμενων δεδομένων απόδοσης. Μόλις ληφθούν οι χάρτες απόδοσης, οι γεωργοί και οι σύμβουλοι πρέπει να μετατρέψουν αυτές τις πληροφορίες σε διαχειριστικές αποφάσεις για την αντιμετώπιση της χωρικής και χρονικής μεταβλητότητας των καλλιεργειών τους. Το μοτίβο διακύμανσης της απόδοσης είναι κρίσιμο σε αυτό το στάδιο. Όταν αυτό το μοτίβο είναι καλά δομημένο, μπορούν να καθοριστούν διαφορετικές περιοχές εντός του αγροτεμαχίου για συγκεκριμένες στρατηγικές διαχείρισης. Ωστόσο, είναι απαραίτητο οι ενδιαφερόμενοι να γνωρίζουν τις αιτίες αυτής της μεταβλητότητας για να λάβουν την καλύτερη διαχειριστική απόφαση πριν από τη διένεργεια οποιασδήποτε δράσης. Οι χάρτες απόδοσης δείχνουν την επίδραση ορισμένων παραμέτρων στην απόδοση των καλλιεργειών μαζί με τις συνέπειες της διαχείρισης του γεωργού.

Ορισμένοι πόροι μπορούν να διαφοροποιηθούν με βάση τους χάρτες που παράγονται από δεδομένα δειγματοληψίας τα οποία συλλέγονται μήνες ή ακόμη και χρόνια πριν από την εφαρμογή. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η χρήση ασβεστόλιθου για την αντιμετώπιση της μεταβλητότητας του pH του εδάφους. Ωστόσο, άλλοι πόροι όπως το λίπασμα με άζωτο είναι συνάρτηση του αζώτου. Η ορυκτοποίηση (η μετατροπή οργανικών ενώσεων σε ανόργανες, φυτικές διαθέσιμες ενώσεις) εξαρτάται από τη θερμοκρασία του εδάφους και τα επίπεδα υγρασίας τα οποία ποικίλλουν δραστικά. Εάν ένα χαρακτηριστικό του εδάφους αλλάξει γρήγορα, είναι λογικό να χρησιμοποιηθεί εξοπλισμός που αντιλαμβάνεται και ανταποκρίνεται σε αυτή τη μεταβλητότητα σε "πραγματικό χρόνο". Οι προσεγγίσεις διαχείρισης ολόκληρου του πεδίου αγνοούν τη μεταβλητότητα των χαρακτηριστικών που σχετίζονται με το έδαφος και επιδιώκουν να κάνουν τις εφαρμογές των πόρων της παραγωγής με ομοιόμορφο τρόπο. Στην πραγματικότητα, όχι πολύ καιρό πριν, οι αγρότες έβλεπαν τους ελεγκτές των εφαρμογών που τους επέτρεπαν να διατηρούν σταθερά ποσοστά εφαρμογής πόρων σε όλο το πεδίο ως "τελευταίας τεχνολογίας". Οι εφαρμογές σταθερού ρυθμού βασίζονταν συχνά σε πληροφορίες από ολόκληρο το πεδίο.

Διαχειρίζοντας τη μεταβλητότητα:

Προσδιορισμός, μέτρηση και ποσοτικοποίηση της μεταβλητότητας τόσο σε χωρική όσο και σε χρονική κλίμακα. Διερεύνηση των αιτιών που προκαλούν τη μεταβλητότητα. Διαμόρφωση πολιτικών για τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης της μεταβλητότητας.

Συνδυασμός και σύγκριση των διαφόρων επιπέδων πληροφοριών όπου είναι κρίνεται απαραίτητο. Για παράδειγμα:

- Αξιολόγηση της χρονικής μεταβλητότητας ενός πεδίου μέσω της σύγκρισης των δεδομένων απόδοσης για μία σειρά ετών και
- Μελέτη της χωρικής μεταβλητότητας ενός πεδίου μέσω της σύγκρισης των κατάλληλων παράγωγων με δεδομένα απόδοσης ώστε να καθοριστεί η επίδραση του εδάφους στην απόδοση.

Γενικά, συνιστάται η σύγκριση δεδομένων απόδοσης από καλλιέργειες της ίδιας περιόδου (για παράδειγμα χάρτες απόδοσης του χειμώνα να συγκρίνονται με άλλους χάρτες του χειμώνα και χάρτες απόδοσης του καλοκαιριού να συγκρίνονται με άλλους χάρτες του καλοκαιριού). Η εποχική μεταβλητότητα μπορεί να έχει παράπλευρες επιπτώσεις σε διαδοχικές καλλιέργειες.

Αξιολόγηση των γεωπονικών πρακτικών:

- Μπορούν τα ζιζάνια, οι ασθένειες και τα παράσιτα να μειωθούν εφαρμόζοντας εναλλακτικούς τρόπους διαχείρισης;
- Είναι οι στόχοι απόδοσης και ποιότητας σύμφωνοι με τις τρέχουσες εισροές λιπασμάτων;

Όταν προσδιοριστεί η αιτία της παρατηρούμενης μεταβλητότητας, θα μπορούν να ληφθούν υπόψη οι κατάλληλες επιλογές διαχείρισης. Οι επιλογές αυτές θα είναι ταυτόσημες με τους διαθέσιμους πόρους και τους στόχους του κάθε αγρότη και θα πρέπει να ισορροπούν έναντι οποιονδήποτε περιβαλλοντικών θεμάτων. Τα οικονομικά είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν τη μετάβαση από τη διαχείριση όλου του χωραφιού στη διαχείριση της καλλιέργειας σε συγκεκριμένες περιοχές.

Η γεωργία ακριβείας μπορεί να επηρεάσει τόσο το κόστος των εισροών όσο και το κέρδος από την παραγωγή με τους κάτωθι τρόπους:

- Αύξηση της απόδοσης με τις ίδιες εισροές εκ νέου κατανομημένες
- Στοχοθέτηση εισροών όπου χρειάζεται
- Βελτίωση της ποιότητας της καλλιέργειας

Για την επίτευξη των αναφερόμενων στόχων, ο κάθε αγρότης θα πρέπει να προσδιορίσει τους απαραίτητους στόχους και τις στρατηγικές.

Πριν την υιοθέτηση της γεωργίας ακριβείας, οι αγρότες θα πρέπει να απαντήσουν στα εξής ερωτήματα:

- Πώς ποικίλουν τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας, του χώματος και τα άλλα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά χωρικά και χρονικά;
- Η αναφερόμενη ποικιλία επηρεάζει την απόδοση και/ ή την ποιότητα της καλλιέργειας;
- Μπορεί η μεταβλητότητα να αποφέρει κέρδος;
- Ποιοι οι βραχυπρόθεσμοι και ποιοι οι μακροπρόθεσμοι στόχοι;
- Υπάρχουν οι απαραίτητοι πόροι για να εφαρμοστεί γεωργία ακριβείας;

1.4. Εφαρμογές: καλλιέργειες με λαχανικά, αρόσιμες καλλιέργειες, αμπέλια (περιπτώσεις μελέτης)

Συνδυασμός δεδομένων και εφαρμογή μεταβλητού ποσοστού σε αρδευόμενο χωράφι με καλαμπόκι στην Τουρκία (μελέτη περίπτωσης)

- Η σύνδεση θεριστικής μηχανής (New Holland, CX840) με σύστημα χαρτογράφησης πεδίου χρησιμοποιήθηκε από το 2006 έως το 2016.
- Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε σε απόσταση δειγματοληψίας 50μ με τη χρήση GNSS.

- Η δειγματοληψία των φυτών έγινε σύμφωνα με τη γεω-αναφορά.
- Πραγματοποιήθηκαν 38 καταγραφές ηλεκτρικής αγωγιμότητας και δημιουργήθηκαν οι αντίστοιχοι χάρτες σε διαφορετικές περιόδους καλλιέργειας.
- Λήφθηκαν εικόνες τηλεπισκόπησης το 2007, 2008 και 2009.
- Υιοθέτηση της τεχνολογίας μεταβλητού ποσοστού σε μηχανήματα λιπασμάτων που παρήχθησαν εγχώρια.

Σε αυτή τη μελέτη, εφαρμόστηκαν μεταβλητά ποσοστά φωσφορικών και αζωτούχων λιπασμάτων. Κατά τη διάρκεια των μελετών, οι εφαρμογές μεταβλητού ποσοστού ξεκίνησαν αφού είχε κρατηθεί μία έκταση 27 εκταρίων για συγκριτική μελέτη ταυτόχρονων εφαρμογών από τους αγρότες και εφαρμογών μεταβλητού ποσοστού κατόπιν ερευνών και μελετών δειγματοληψίας εδάφους στην περιοχή. Η δημιουργία των χαρτών εφαρμογής του φωσφόρου βασίστηκε στην ανάλυση των αποτελεσμάτων των δειγμάτων εδάφους η λήψη των οποίων έγινε με τη μέθοδο του πλέγματος (Σχήμα 3). Πέντε διαφορετικές δόσεις προέκυψαν στην υπό μελέτη περιοχή (το σκούρο μπλε είναι αμελητέο). Στα πειραματικά μπλοκ που δημιουργήθηκαν στη μελέτη, οι δόσεις τροποποιήθηκαν με ηλεκτρικούς ενεργοποιητές σε συνδυασμό με τα συστήματα ελέγχου των αυλακιών για σπορά με την αποθήκευση λιπασμάτων (Σχήμα 4). Κατά τη σπορά, η δόση του λιπάσματος μένει στη ζώνη χρώματος της σπαρτικής μηχανής. Δύο είναι οι κύριες εφαρμογές μεταβλητού ποσοστού λιπάσματος που επικράτησαν στη μελέτη (Σχήμα 3). Ο κάθε γεωργός είναι ελεύθερος να εφαρμόσει τις δικές τους πρακτικές στις περιοχές που προορίζονται για αυτόν. Καμία παρέμβαση δεν έγινε στις περιοχές αυτές. Το τριπλό υπερφωσφορικό λίπασμα χρησιμοποιήθηκε ως πηγή λιπάσματος φωσφόρου. Η εφαρμογή μεταβλητού ποσοστού φωσφόρου είχε ως αποτέλεσμα η ποσότητα του λιπάσματος που χρησιμοποιήθηκε στην περιοχή να είναι κατά 40% λιγότερη από αυτή που θα εφάρμοζε ο αγρότης. Για την εφαρμογή μέσω αισθητήρα, ένας πολυφασματικός αισθητήρας τοποθετήθηκε σε ένα τρακτέρ για να καθορίσει τα ποικίλα επίπεδα αζώτου σε μία καλλιέργεια καλαμποκιού, μετρώντας την ανακλαστικότητα των φυλλωμάτων των καλλιεργειών σε ένα χωράφι καλαμποκιού περίπου 40 εκταρίων στην περιοχή Çukurova. Ο αισθητήρας αζώτου τοποθετείται στον ελκυστήρα σε ύψος 2,8 μέτρων και ανιχνεύει διαφορές στην αντανάκλαση φωτός από ένα επιλεγμένο εύρος ζώνης, μετατρέποντας τις ληφθείσες τιμές που συσχετίζονται με τη βιομάζα καλλιέργειας ή την πυκνότητα χλωροφύλλης της καλλιέργειας, σε ένα βέλτιστο ποσοστό εφαρμογής που επιτρέπει στον αντίστοιχο εξοπλισμό να εφαρμόσει την απαιτούμενη ποσότητα λιπάσματος στο συγκεκριμένο τμήμα του πεδίου (Σχήμα 2). Για τον προσδιορισμό του βέλτιστου επιπέδου αζώτου, δημιουργήθηκαν έξι οικόπεδα, το καθένα με διαφορετικό επίπεδο εφαρμογής αζώτου. Η συνολική έκταση ήταν μήκους 500μ και περιλάμβανε 18 σειρές. Το κάθε οικόπεδο έχει σαρωθεί με αισθητήρα και η συγκομιδή έγινε ξεχωριστά από μια θεριστική μηχανή που ήταν εξοπλισμένη με σύστημα χαρτογράφησης απόδοσης και GNSS. Το οικονομικά βέλτιστο επίπεδο αζώτου για το πεδίο αυτό εκτιμάται γύρω στα 310 κιλά/εκτάριο (Türker and Güçdemir, 2018).

Το πεδίο έχει τρία διαφορετικά επίπεδα διαχείρισης (παραγωγής) σύμφωνα με τους προηγούμενους χάρτες εδάφους και απόδοσης. Για να είναι συμβατό με τις συνθήκες, συνδέσαμε έναν αισθητήρα σε ένα μηχανήμα διανομής λιπάσματος με τροποποιημένο ποσοστό μεταβλητότητας.

Αυτή η τροποποιημένη μονάδα χρησιμοποιήθηκε στη συνέχεια για την εφαρμογή του μεταβλητού ποσοστού αζώτου σύμφωνα με την πραγματική ζήτηση σε πραγματικό χρόνο. Τον πρώτο χρόνο μελέτης, 20% του αζώτου έχει σωθεί χωρίς καμία απώλεια στην απόδοση. Με την εφαρμογή αυτής της πρακτικής, ο γεωργός παρατήρησε μια πιο ομοιόμορφη ανάπτυξη της καλλιέργειας και της απόδοσης αυτής κατά το πρώτο χρόνο.



Εικόνα 1. Διανομέας λιπάσματος που λειτουργεί με εφαρμογή χαρτών και είναι προσαρμοσμένο με γραμμικούς ενεργοποιητές. Εφαρμογή αζωτούχων λιπασμάτων με αισθητήρα σε καλλιέργεια καλαμποκιού (Türker and Güçdemir, 2018).

Επιπλέον, για την εξαγωγή χαρτών απόδοσης σε αυτή τη μελέτη, χρησιμοποιήθηκε ένα νέο μοντέλο θεριζοαλωνιστικής μηχανής σιτηρών της σειράς New Holland CX840.

Στον πίνακα 2 συνοψίζονται τα στατιστικά που σχετίζονται με τα αποτελέσματα της ανάλυσης του εδάφους. Όλες οι αναλύσεις σχετίζονται με τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών και των επιπέδων επάρκειας αυτών. Δίνεται επίσης ο συντελεστής διακύμανσης στην υπό μελέτη περιοχή. Παρατηρήθηκε ότι η ποσότητα καλίου και άλλων θρεπτικών συστατικών είναι επαρκής σε μεγάλο μέρος του χωραφιού. Για τα επίπεδα αζώτου και φωσφόρου, η εφαρμογή μεταβλητού ποσοστού λιπάσματος έγινε μόνο για το άζωτο και το φώσφορο. Άλλα μικροθρεπτικά συστατικά προέκυψαν από τα φύλλα.

Πίνακας 2: Στατιστικά και συντελεστής μεταβλητότητας (Türker and Güçdemir, 2018).

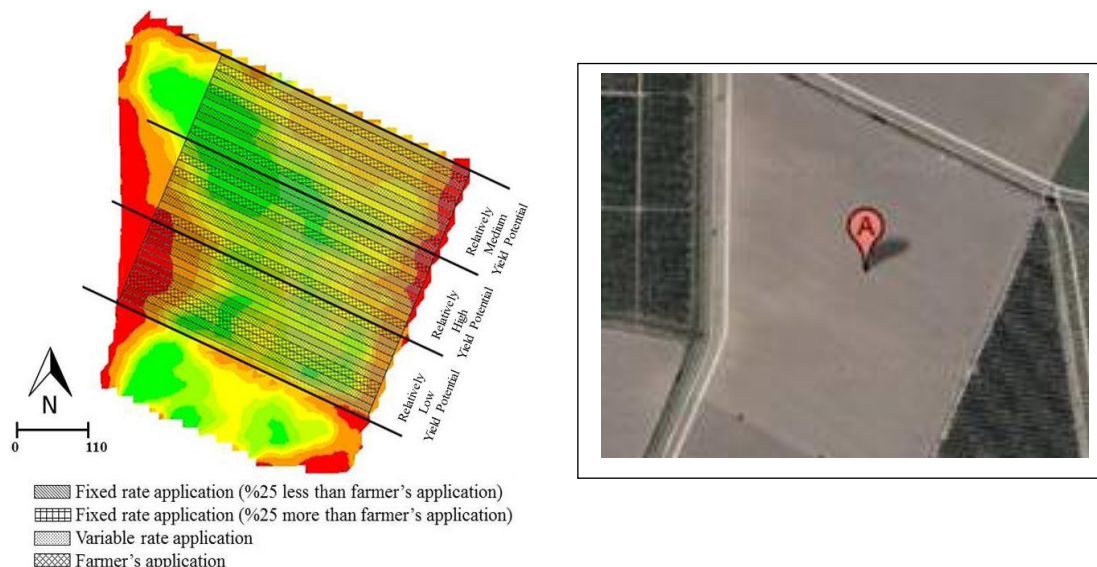
Θρεπτικά φυτών	συστατικά	Μέση τιμή	Min	Max	Std	CV (%)	Επίπεδο μεταβλητότητας	Εύρος τιμών
Συνολικό άζωτο (%)		0,1	0,03	0,15	0,025	23,1	Μέσο	< 1
Φώσφορος (P ₂ O ₅) (kg/da)		2,9	0,4	29	1,88	65,6	Υψηλό	< 6
Κάλιο (K ₂ O) (kg/da)		72,9	11	134	27,5	37,7	Υψηλό	< 30
Ασβέστης (%)		26,2	23	29	1,17	4,5	Χαμηλό	1-15
Σίδηρος (Fe) (ppm)		14,3	4,85	35,9	6,13	42,8	Υψηλό	< 4,5
Βόριο (B) (ppm)		1,3	0,38	2,35	0,43	33,9	Υψηλό	< 0,2
Ψευδάργυρος (Zn) (ppm)		0,5	0,07	6	0,96	175	Υψηλό	< 0,7
Μαγνήσιο (Mn) (ppm)		4,7	0,49	10,8	2,34	50	Υψηλό	< 1

Σχεδιασμός πειράματος για τον προσδιορισμό του βέλτιστου ποσοστού αζώτου

Για τον προσδιορισμό του βέλτιστου ποσοστού αζώτου στο πεδίο, μέσω της σχέσης ανάμεσα στην πρόσληψη αζώτου και της απόδοσης, χρησιμοποιήθηκαν έξι επίπεδα αζώτου (0; 7.5; 15; 22.5; 30; 37.5 κιλά/εκτάριο) συμπεριλαμβανομένης και του ποσοστού εφαρμογής του γεωργού (35 κιλά/εκτάριο). Η εφαρμογή έγινε σε 18 σειρές και η κάθε λωρίδα είχε έκταση 5,5 στρεμμάτων.

Η συγκομιδή έγινε από τις 16 σειρές και αξιολογήθηκαν τα αποτελέσματα.

Σύμφωνα με τους χάρτες απόδοσης της υπό εξέταση περιοχής, υπάρχουν τρεις διαφορετικές ζώνες με διαφορετικές δυνατότητες απόδοσης. Λαμβάνοντας υπόψη αυτές τις δυνατότητες και τη σημασία της χρήσης διαφορετικών ποσοστών λιπάσματος αζώτου λόγω διαφορών στην ανάκλαση του φωτός και στους δείκτες βιομάζας, το ποσοστό του αζώτου θα πρέπει ή να αυξάνεται ή να μειώνεται. Στα επόμενα δύο χρόνια, θα διεξαχθεί ένα πείραμα σε μια έκταση 27 εκταρίων πάνω σε τέσσερις θεραπείες και εννιά αντίγραφα προκειμένου να συγκρίνουμε τη συμβατική εφαρμογή αζώτου με την εφαρμογή μεταβλητού ποσοστού αζώτου (Σχήμα 4).



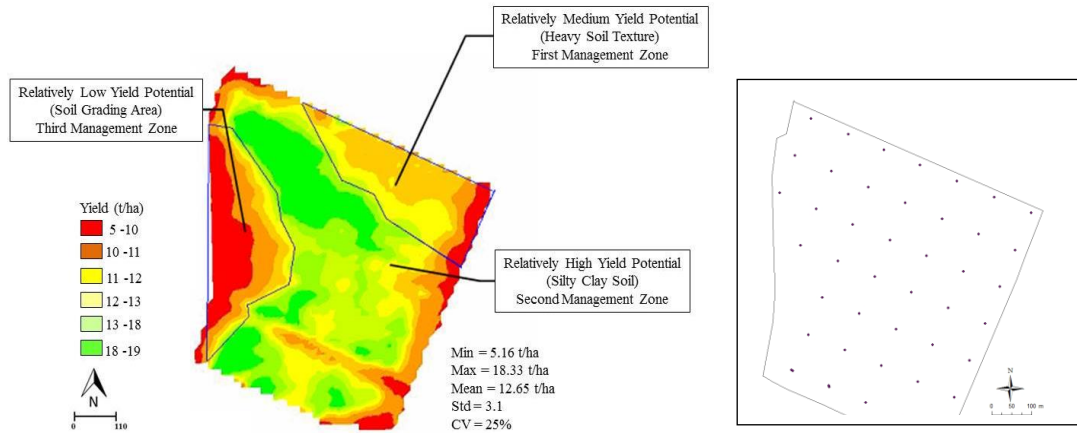
Εικόνα 2. Πειραματικός σχεδιασμός και εικόνα μέσω Google. (Σημείωση: κάθε μπλοκ έχει πλάτος 150 και 500 μήκος και περιλαμβάνει 18 σειρές από καλαμπόκι) (Güçdemir and Türker, 2010).

Λόγω της ύπαρξης τριών διαφορετικών διαχειριστικών ζωνών, χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα ποσοστά λιπάσματος και εννιά αντίγραφα για να καλύψουν όλα τα ποσοστά αζώτου στις ζώνες αυτές (σχήμα 3). Ο αριθμός των αντιγράφων αυξήθηκε κατά το σχεδιασμό των πειραματικών πεδίων ώστε να έχουμε πιο αξιόπιστα αποτελέσματα. Λαμβάνοντας υπόψη ότι περίπου το 75% του λιπάσματος αζώτου χρησιμοποιείται ως λίπασμα στην ενδιάμεση περίοδο, μία μικρή ποσότητα αζώτου (70kg/εκτάριο) χρησιμοποιείται ομοιόμορφα σε όλες τις σειρές καλλιέργειας.

1.5. Χαρτογράφηση απόδοσης πριν την εφαρμογή μεταβλητών ποσοστών

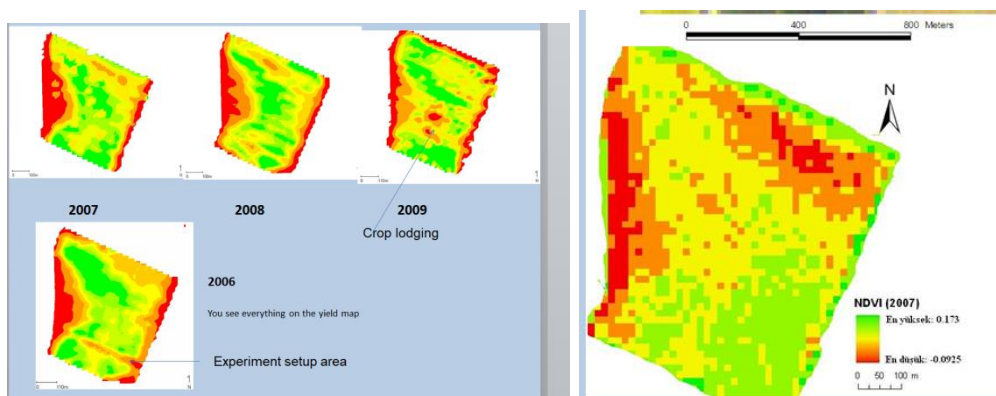
Για την αποφυγή υπερβολικής χρήσης λιπασμάτων σε περιοχές χαμηλής απόδοσης και τη χαμηλή χρήση λιπασμάτων σε περιοχές υψηλής απόδοσης αντίστοιχα, ο συνδυασμός του ελέγχου του χώματος με τη χαρτογράφηση της απόδοσης μπορεί να οδηγήσει στη μείωση των περιττών λιπασμάτων. Σκοπός της μελέτης είναι ο προσδιορισμός των δυνατοτήτων απόδοσης. Για το λόγο αυτό, η συγκομιδή της υπό εξέταση περιοχής έγινε την πρώτη εβδομάδα του Σεπτεμβρίου του 2010 και ενώ ήταν σε εξέλιξη οι υπόλοιπες τυπικές γεωργικές εργασίες. Ο χάρτης απόδοσης για το 2010 παρουσιάζεται στο σχήμα 5 και δημιουργήθηκε χρησιμοποιώντας λογισμικό New Holland PLM. Η χωρική διακύμανση της απόδοσης μπορεί να γίνει κατανοητή με τη διερεύνηση του χάρτη και του πίνακα που σχετίζονται με την απόδοση. Βάσει του αποτελέσματος, η μέση απόδοση που καταγράφηκε ήταν 12,6 t/εκτάριο. Για την παρακολούθηση της απόδοσης, συλλέχθηκαν 36.186 δεδομένα από μηχανήματα που ήταν εξοπλισμένα με σύστημα καταγραφής και μέτρησης. Για τη δημιουργία χάρτη απόδοσης χρησιμοποιήθηκαν 933 δεδομένα/ εκτάριο. Αναλύοντας τις διαφορετικές ζώνες απόδοσης που παρουσιάζονται στο σχήμα 5, παρατηρούμε ότι το 57% του χωραφιού έχει

61 σχετικά υψηλές τιμές απόδοσης, το 26% έχει μεσαίες τιμές απόδοσης και το 17% έχει χαμηλές τιμές απόδοσης. Παρόμοια μεταβλητότητα στους χάρτες απόδοσης παρατηρείται τα επόμενα χρόνια (σχήμα 6). Στο σχήμα 7 βλέπουμε ότι παρόμοιο μοτίβο παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια μετρήσεων ηλεκτρικής αγωγιμότητας και χαρτογράφησης. Στο σχήμα 8, βλέπουμε εικόνες του πεδίου μέσω δορυφόρου στα δεξιά (Astel), ανίχνευση της κατάστασης της βιομάζας και εφαρμογή του λιπάσματος αζώτου σε πραγματικό χρόνο.

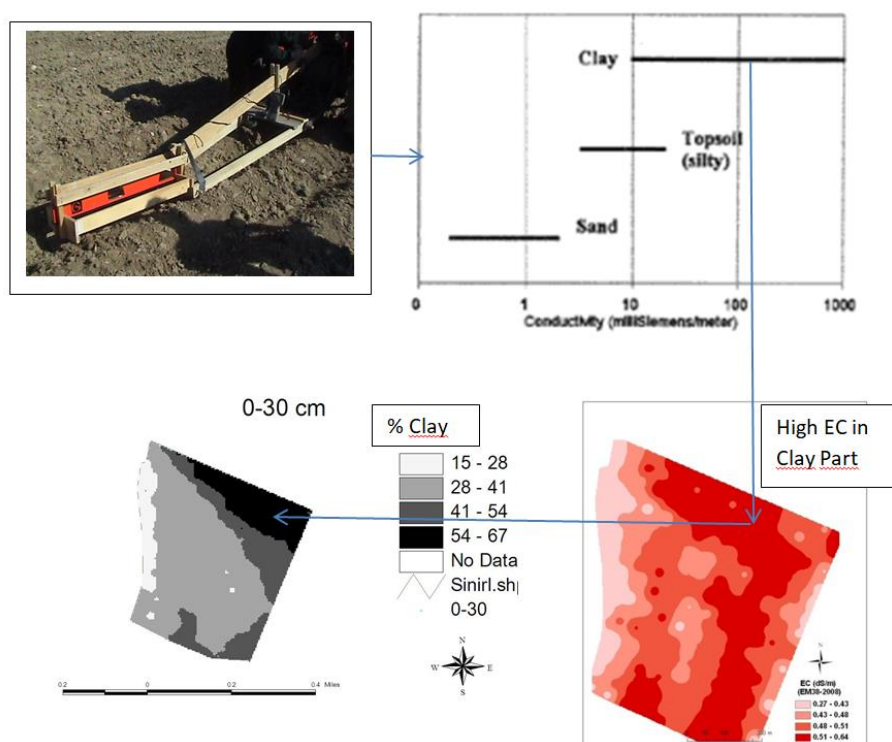


Εικόνα 3. Χάρτης απόδοσης της υπό εξέταση περιοχής, σημεία δειγματοληψίας χώματος και ζώνες με διαφορετική δυνατότητα απόδοσης (Adana, Turkey) (Güçdemir and Türker, 2010).

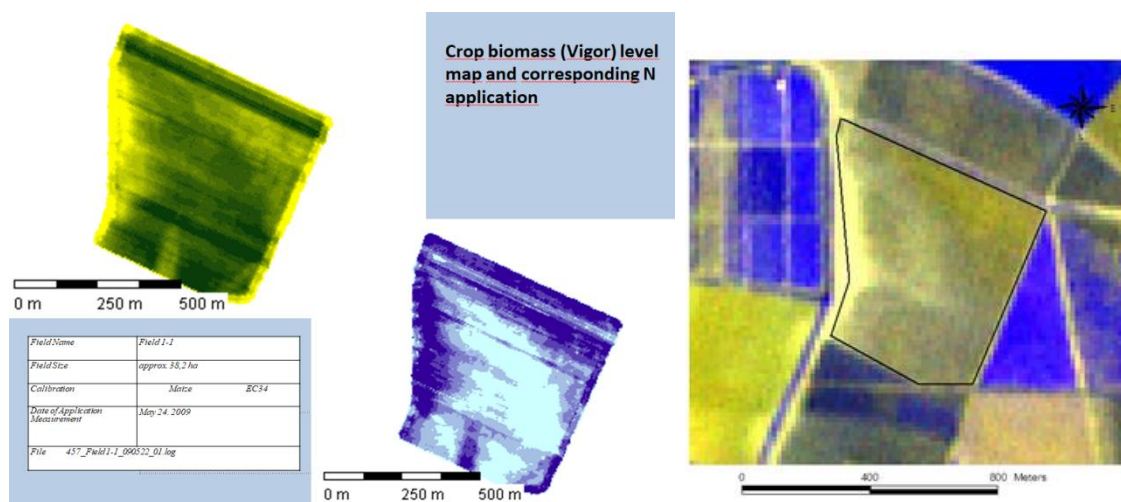
Στην πρώτη διαχειριστική ζώνη (ανοιχτό πορτοκαλί) υπάρχει σχετικά μέτρια δυνατότητα απόδοσης (βαριά υφή εδάφους). Στη δεύτερη διαχειριστική ζώνη (κίτρινο) υπάρχει σχετικά υψηλή πιθανότητα απόδοσης του πεδίου (λασπώδες και αργιλώδες έδαφος). Στην τρίτη διαχειριστική ζώνη (κόκκινο) η πιθανότητα απόδοσης είναι σχετικά χαμηλή (περιοχή αξιολόγησης εδάφους)



Εικόνα 4. Χάρτες απόδοσης και δείκτης βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς NDVI (Güçdemir and Türker, 2010)



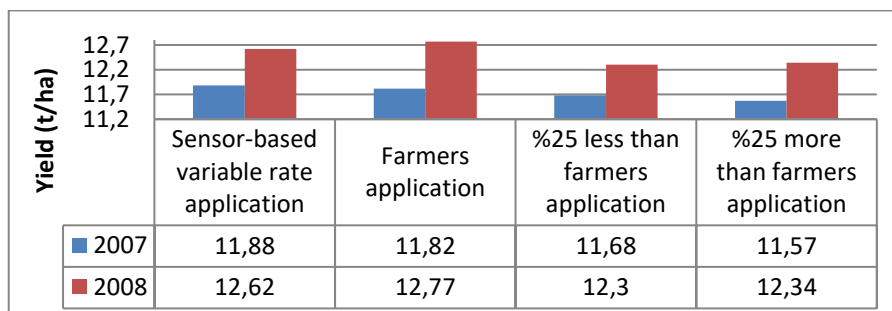
Εικόνα 5. Ποσοστά ηλεκτρικής αγωγιμότητας και αργίλου στο πεδίο (Güçdemir and Türker, 2010)



Εικόνα 6. Δορυφορική εικόνα του πεδίου (Astel), ανίχνευση της κατάστασης της βιομάζας και εφαρμογή αζώτου σε πραγματικό χρόνο (Türker and Güçdemir, 2018)

Αποτελέσματα: Οι διαφορές ανάμεσα στις μέσες αποδόσεις που αποκτήθηκαν από διαφορετικές εφαρμογές, ελέγχθηκαν μέσω ανάλυσης της διασποράς. Το αποτέλεσμα της ανάλυσης έδειξε διαφορές ανάμεσα στις μέσες τιμές απόδοσης οι οποίες ήταν στατιστικά σημαντικές ($P=0.039$). Μπορούμε να πούμε ότι η χρήση διαφορετικών τρόπων διαχείρισης εφαρμογής του αζώτου οδήγησε σε σημαντικές διαφορές όσο αφορά τις τιμές απόδοσης. Η ομαδοποίηση κατά Duncan για μέση απόδοση ($P=0.05$), είχε ως αποτέλεσμα τον προσδιορισμό διαφορετικών ομάδων τόσο ανάμεσα στις

21 εφαρμογές με τη χρήση αισθητήρων όσο και στις μεθόδους του γεωργού (Σχήμα 9). Βάσει της αξιολόγησης των αποδόσεων, οι εφαρμογές που βασίζονται στη χρήση αισθητήρων ήρθαν στο προσκήνιο με τις υπόλοιπες να ακολουθούν.



Πίνακας 3. Σύγκριση εφαρμογών που βασίζονται στη χρήση αισθητήρων έναντι των κλασικών μεθόδων που ακολουθούν οι αγρότες.

Απόδοση	Εφαρμογή μεταβλητού ποσοστού βάσει αισθητήρα	Εφαρμογή από τον αγρότη	25% λιγότερη συγκριτικά με την εφαρμογή του αγρότη	25% περισσότερη συγκριτικά με την εφαρμογή από τον αγρότη
2007	11,88	11,82	11,68	11,57
2008	12,62	12,77	12,30	12,34

2. Ευκαιρίες εφαρμογής γεωργίας ακριβείας και πρόοδοι

2.1. Δειγματοληψία και απόκτηση δεδομένων

Ο ποσοτικός προσδιορισμός της διακύμανσης μπορεί να επιτευχθεί μέσω της δειγματοληψίας. Η πυκνότητα δειγματοληψίας εξαρτάται από διάφορους παράγοντες (στόχοι, μεταβλητότητα πεδίου, κόστος) και μπορεί να κυμαίνεται από ένα δείγμα ανά αρκετά εκτάρια έως μια πιο λεπτομερή κάλυψη του πεδίου. Τα δείγματα συλλέγονται για ολόκληρα πεδία ή μέρη πεδίων ώστε να λάβουμε τις μέσες τιμές. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι δειγματοληψίας που χρησιμοποιούνται συνήθως και χαρακτηρίζονται από **destructive sampling**:

- Τυχαία απλή δειγματοληψία: η επιλογή των περιοχών είναι τυχαία και μπορεί να μην αποτυπώνει την δομή της διακύμανσης των μεταβλητών που μας ενδιαφέρουν (Σχήμα α).
- Τυχαία στρωματοποιημένη δειγματοληψία: Το πεδίο χωρίζεται σε πολλές επιμέρους περιοχές ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του όπως η τοπογραφία. Οι περιοχές δειγματοληψίας επιλέγονται τυχαία και στη συνέχεια ενώνονται μειώνοντας την επίδραση της τοπικής ετερογένειας (Σχήμα β).
- Συστηματική δειγματοληψία (δειγματοληψία πλέγματος): Το πεδίο χωρίζεται σε πλέγματα και τα δείγματα συλλέγονται τυχαία μέσα σε κάθε κελί και μετά ενώνονται (Σχήμα γ).
- Μία άλλη προσέγγιση είναι η τοποθέτηση του κεντρικού σημείου δειγματοληψίας στις διασταυρώσεις του πλέγματος όπου τα δείγματα συλλέγονται τυχαία εντός μιας ακτίνας 3m και μετά ενώνονται (Σχήμα δ).
- Συστηματική στρωματοποιημένη δειγματοληψία: Κάθε κελί διαιρείται σε επιμέρους μικρότερα κελιά ώστε να ξεπεραστεί το σφάλμα της συστηματικής δειγματοληψίας (Σχήμα ε).
- Επιλεκτική δειγματοληψία: Οι περιοχές δειγματοληψίας επιλέγονται βάσει συγκεκριμένου προβλήματος που έχει παρατηρηθεί στις περιοχές αυτές όπως για παράδειγμα χαμηλή

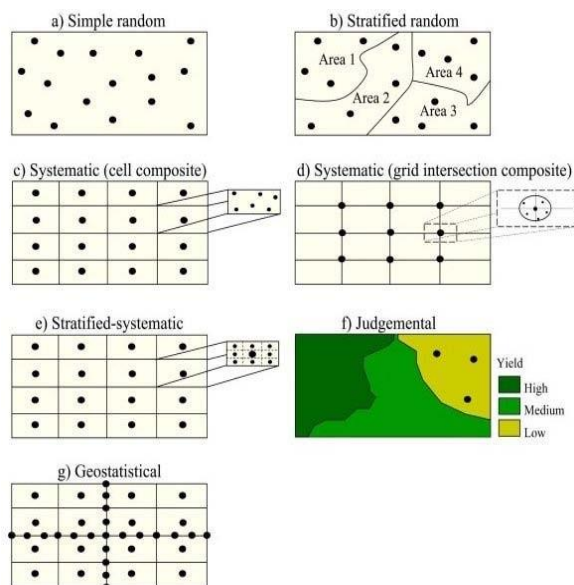
απόδοση και το αποτέλεσμα δεν είναι στατιστικά ακριβές (Σχήμα στ).

Η συλλογή δείγματος περιλαμβάνει εντατική εργασία και κόστη για τις εργαστηριακές αναλύσεις, θέτοντας ένα όριο στον αριθμό των δειγμάτων που μπορούν να συλλεχθούν για την ποσοτικοποίηση του σφάλματος ανάμεσα στις επαναλήψεις των θεραπειών. Ωστόσο, η μείωση του αριθμού των δειγμάτων έχει άμεση επίδραση στη διαχείριση καθώς μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένες αποφάσεις. Η ολοένα και αυξανόμενη ζήτηση για βελτίωση της αποτελεσματικότητας έχει αυξήσει το ενδιαφέρον για τη διεξαγωγή πειραμάτων εντός πεδίου τα οποία λαμβάνουν υπόψη τη χωρική μεταβλητότητα και αναπαράγουν καλύτερα σενάρια για μια πραγματική γεωργική εκμετάλλευση. Η χρήση GPS βοηθά στη συλλογή δεδομένων γεω-αναφοράς ενώ η χρήση GIS επιτρέπει τη χωρική ανάλυση και απεικόνιση χαρτών παρεμβολής.

Σε επίπεδο γεωργικής εκμετάλλευσης, οι πειραματικές μονάδες ήταν απλά πεδία με ομοιόμορφη διαχείριση χωρίς αντίγραφα. Ωστόσο, το να γνωρίζουμε τη μεταβλητότητα εντός πεδίου μας οδηγεί στη διαίρεση ενός ολόκληρου πεδίου σε υποπεδία σύμφωνα με τη μεταβλητότητα του εδάφους και άλλων στοιχείων.

Οι τρόποι δειγματοληψίας έχουν αλλάξει λόγω των νέων τεχνολογιών και των μεθόδων ανάλυσης όπως φαίνεται στο σχήμα 3:

- Στοχευμένη ή κατευθυνόμενη δειγματοληψία: Τα δείγματα συλλέγονται σύμφωνα με στατιστικά αυστηρά σχέδια δειγματοληψίας. Όταν σε εναέριες εικόνες υπάρχει ένδειξη αλλαγής στις τιμές μιας ιδιοκτησίας που έχει μετρηθεί, τότε χρησιμοποιούνται χάρτες απόδοσης ή άλλοι χάρτες για τον προσδιορισμό επιπρόσθετων τοποθεσιών.
- Γεωστατιστική δειγματοληψία: Αυτός ο τύπος δειγματοληψίας εφαρμόζεται όταν θέλουμε να δημιουργήσουμε ακριβείς interpolated kriged maps. Όταν γνωρίζουμε το ημιβαριογράφημα, η απόσταση ανάμεσα στις θέσεις των δειγμάτων ισούται με τη μισή περιοχή του ημιβαριογραφήματος. Όταν όμως δε γνωρίζουμε το γράφημα, τότε τα δείγματα συλλέγονται όπως στη συστηματική δειγματοληψία. Στη συνέχεια το ημιβαριογράφημα όπως και η ακριβής απόσταση ανάμεσα στις δειγματοληψίες μπορούν να προσδιοριστούν μειώνοντας τον αριθμό των δειγμάτων (Σχήμα ζ).

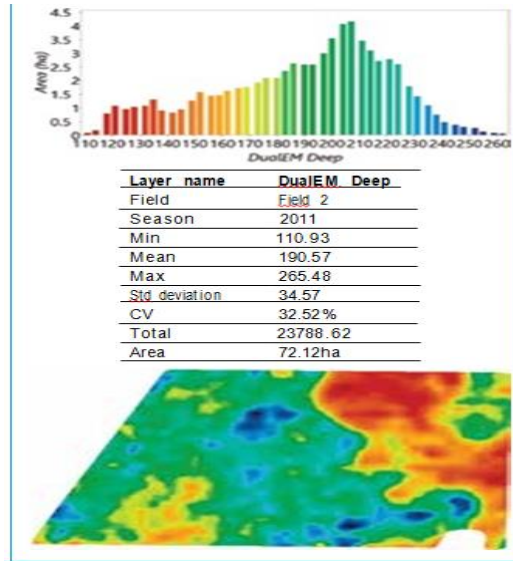


Για να κατανοήσουμε τη χωρική μεταβλητότητα, είναι απαραίτητος ένας μεγάλος αριθμός δεδομένων το οποίο απαιτεί μεγάλη ανθρώπινη προσπάθεια για την απόκτηση των δεδομένων. Για να αντιμετωπιστεί αυτό, έχουν αναπτυχθεί φορητοί, αυτόματοι δειγματολήπτες εδάφους. Η συνεχής δειγματοληψία είναι μία ακόμη λύση όπου η μέτρηση της κάθε τοποθεσίας μέσα στο χωράφι γίνεται με μη επεμβατικές μεθόδους (πχ ηλεκτρομαγνητική επαγωγή, τηλεπισκόπηση) και δεν χρειάζεται παρεμβολή ή σχεδιασμός δειγματοληψίας εδάφους. Η προσοχή έχει στραφεί στην ανάπτυξη αισθητήρων που λαμβάνουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο ώστε να βοηθήσουν στα σχέδια δειγματοληψίας για τη γεωργία ακριβείας. Παρ'όλα αυτά, η δειγματοληψία θα συνεχίσει να είναι χρήσιμη για λόγους βαθμονόμησης καθώς και για την ανάπτυξη κατάλληλων στατιστικών μεθόδων για την ανάλυση διαφορετικών τύπων εδάφους και καλλιεργειών.

2.2. Ανάλυση και παρουσίαση δεδομένων

Η ικανότητα δημιουργίας χαρτών που παρουσιάζουν τη χωρική μεταβλητότητα είναι θεμελιώδης για τη γεωργία ακριβείας. Οι χάρτες παρέχουν μία περίληψη των δεδομένων και βοηθούν στην απεικόνιση της χωρικής μεταβλητότητας εντός ενός πεδίου. Όλα τα δεδομένα μπορούν να αποτυπωθούν σε ένα ιστόγραμμα το οποίο δείχνει την κατανομή των δεδομένων και των χρωμάτων του χάρτη. Το ιστόγραμμα είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο το οποίο αναδεικνύει αλλοιώσεις ή χαρακτηριστικά τα οποία δεν είναι ορατά / προφανή όταν κοιτάμε απλά τα δεδομένα ή το χάρτη. Το ιστόγραμμα διευκολύνει τη δημιουργία ενός γραφήματος με χρώμα που έχει νόημα για τα δεδομένα. Προσαρμόζοντας το χρώμα στο γράφημα μπορεί να εμφανίσει μία διαφορά που δεν είχε επισημανθεί σε προηγούμενο διάγραμμα με χρώμα. Τα χρώματα που χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση των χωρικών δεδομένων στη γεωργία ακριβείας δεν είναι συγκεκριμένα. Οι χρωματικοί συνδυασμοί μπορεί να διαφέρουν από τον έναν πάροχο δεδομένων ή κατασκευαστή λογισμικού στον άλλο. Είναι λοιπόν σημαντικό να δούμε το εύρος των τιμών που σχετίζονται με τα χρώματα του γραφήματος καθώς το κάθε χρώμα δεν θα αντικατοπτρίζει πάντα τις ίδιες τιμές όταν χρησιμοποιήσουμε ένα διαφορετικό χάρτη. Για παράδειγμα, στο σχήμα 11, έχουμε ένα χάρτη που δείχνει το εύρος των τιμών EM από το 110 έως το 265. Έχουν χρησιμοποιηθεί χρώματα από το κόκκινο έως το μπλε με το κόκκινο να αντιπροσωπεύει τις ελάχιστες τιμές και το μπλε να αντιπροσωπεύει τις υψηλότερες τιμές. Το ύψος της κάθε χρωματιστής μπάρας δείχνει τη συνολική περιοχή εντός πεδίου (κάθετος άξονας) που αντιστοιχεί σε κάθε τιμή EM (οριζόντιος άξονας).

Για τη λήψη διαχειριστικών αποφάσεων, οι χάρτες επιβάλλεται να είναι όσο πιο ακριβείς γίνεται. Μερικά σύνολα χωρικών δεδομένων όπως η απόδοση, απαιτούν επεξεργασία για την απαλοιφή τυχόν σφαλμάτων και ακραίων τιμών. Τα πακέτα GIS που εισάγουν προσαρμοσμένα δεδομένα για την απόδοση, προσφέρουν ένα είδος φίλτρου για τη διόρθωση των δεδομένων κάτι το οποίο θα οδηγήσει σε ένα πιο καθαρό σύνολο δεδομένων για τη δημιουργία χάρτη.



Εικόνα 7. Ένα παράδειγμα χωρικών δεδομένων που περιλαμβάνει χωρικό χάρτη, στατιστικά και ιστόγραμμα (Sauer et al., 2010).

Παρεμβολή δεδομένων

Η παρεμβολή χωρικών δεδομένων παίρνει τα μεμονωμένα στοιχεία και τα μετατρέπει σε ένα πλέγμα δεδομένων. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της εκτίμησης τιμών από τις γύρω τιμές. Η πιο κοινή μέθοδος παρεμβολής προσφέρεται από τα πακέτα GIS που περιλαμβάνουν Kriging, Spline, and Inverse Distance Weight. Η γνώση στατιστικής χωρικών δεδομένων είναι χρήσιμη για τη δημιουργία των επιφανειακών επιπέδων ενός χάρτη. Το αποτέλεσμα της παρεμβολής από ένα συγκεκριμένο σύνολο δεδομένων μπορεί να ποικίλει ανάλογα με το μοντέλο που εφαρμόζεται. Κάθε μοντέλο προϋποθέτει μία σχέση ανάμεσα στα σημεία δεδομένων τα οποία είτε είναι υπαρκτά είτε όχι. Η μέθοδος της εξομάλυνσης δε θα πρέπει να χρησιμοποιείται για να κρύψουμε τα σφάλματα. Τα εσφαλμένα σημεία πρέπει να αφαιρεθούν ή να διορθωθούν πριν εφαρμοστεί η οποιαδήποτε παρεμβολή δεδομένων. Τα περισσότερα δεδομένα απόδοσης είναι μεταβλητά σε πολύ μεγάλο βαθμό και μία ακριβής απεικόνιση του χάρτη θα δείξει πολλά τοπικά μέγιστα και ελάχιστα που μπορεί να κάνουν τη ερμηνεία των αποτελεσμάτων δύσκολη. Καθώς οι χάρτες απόδοσης και άλλα χωρικά δεδομένα συμβάλουν στον εντοπισμό τάσεων σε ένα πεδίο, οι μέθοδοι παρεμβολής χρησιμοποιούνται για να καλύψουν την ποικιλία και να επισημάνουν τις χωρικές τάσεις. Ένα πακέτο GIS πρέπει να απεικονίζει συνοπτικά στατιστικά στοιχεία για ένα σύνολο δεδομένων. Αυτά περιλαμβάνουν πληροφορίες όπως όνομα, αγρόκτημα, όνομα πεδίου, εποχή καθώς και ελάχιστες, μέγιστες και μέσες τιμές και την τυπική απόκλιση.

Χρησιμοποιώντας σχετικά απλούς στατιστικούς υπολογισμούς, το επίπεδο της μεταβλητότητας εντός πεδίου μπορεί γρήγορα να εξακριβωθεί. Η τυπική απόκλιση περιγράφει τη διασπορά των δεδομένων γύρω από τη μέση ή την αναμενόμενη τιμή. Όσο μεγαλύτερη είναι η τυπική απόκλιση, τόσο μεγαλύτερη θα είναι η μεταβλητότητα στα δεδομένα και τόσο λιγότερο χρήσιμος είναι ο μέσος όρος που περιγράφει την τυπική περιοχή του πεδίου. Ένας άλλος τρόπος μέτρησης της μεταβλητότητας των δεδομένων είναι ο συντελεστής διακύμανσης. Ο συντελεστής αυτός ομαλοποιεί τη διακύμανση των δεδομένων μέσω το λόγου της τυπικής απόκλισης προς το μέσο όρο. Όσο υψηλότερη είναι η τιμή του συντελεστή της διακύμανσης, τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η χωρική μεταβλητότητα. Ο συντελεστής αυτός χρησιμοποιείται επίσης για τη σύγκριση της μεταβλητότητας ανάμεσα σε διαφορετικά σύνολα δεδομένων όπως για παράδειγμα η μεταβλητότητα της απόδοσης της καλλιέργειας από τη μία χρονιά στην άλλη (Πίνακας 4).

Πίνακας 4: Μερικοί γενικοί κανόνες για την ερμηνεία των επιπέδων μεταβλητότητας και της πιθανότητας αποπληρωμής των επενδύσεων στην τεχνολογία διαφοροποιούμενης δόσης (Sauer et al., 2010).

CV Value	General observations
<5%	Generally not enough variability to warrant any action.
>5% <10%	Investigate to assess the economic benefit of managing the variability, particularly in high value crops.
>10% <15%	Sufficient variability to expect to see a financial benefit in managing the variability in most crops.
>15%	Highly suitable for variable rate treatment (VRT) with a high payback expected.

-τιμές <5% δηλώνουν ότι γενικά δεν υπάρχει αρκετή μεταβλητότητα ώστε να απαιτείται κάποια ενέργεια

-για τιμές >5% και <10% είναι απαραίτητη η περαιτέρω διερεύνηση για την εκτίμηση του οικονομικού οφέλους της διαχείρισης της μεταβλητότητας κυρίως στις καλλιέργειες που αποδίδουν περισσότερο

->10% και <15%: υπάρχει αρκετή μεταβλητότητα ώστε να υπάρξει οικονομικό όφελος από τη διαχείριση της μεταβλητότητας στο μεγαλύτερο μέρος των καλλιεργειών

->15%: τιμές πλήρως κατάλληλες για εφαρμογή μεταβλητού ποσοστού που οδηγεί σε υψηλό ποσό ανταπόδοσης

Ανάλυση δεδομένων

Οι μέθοδοι ερμηνείας των αποτελεσμάτων μπορεί να ποικίλουν από μια γρήγορη ματιά σε μία πιο αυστηρή στατιστική ανάλυση χρησιμοποιώντας GIS. Και οι δύο πρακτικές είναι αποδεκτές στη γεωργία ακριβείας. Η χρήση πολύ απλών τεχνικών μπορεί να οδηγήσει στη λήψη καλών και σωστών αποφάσεων σε μηδενικό χρόνο. Μία απλή προσέγγιση στην ερμηνεία των δεδομένων μπορεί να περιλαμβάνει οπτική σύγκριση των διαφορετικών επιπέδων δεδομένων ενός πεδίου. Αυτό διευκολύνει τον προσδιορισμό των χωρικών μοτίβων μέσω οπτικής σύγκρισης βάζοντας τα δεδομένα το ένα δίπλα στο άλλο. Ο προσδιορισμός επαναλαμβανόμενων μοτίβων στα σύνολα των δεδομένων συμβάλει σε ένα σίγουρο συμπέρασμα. Το ίδιο σημαντικό είναι ο προσδιορισμός ασυνεπειών ανάμεσα στα επίπεδα των δεδομένων. Για παράδειγμα, για πολλά χρόνια μπορεί σε ένα χωράφι να παρατηρείται παρόμοια απόδοση στην καλλιέργεια σιτηρών η οποία μπορεί να ακολουθηθεί από ένα χάρτη που δείχνει ανόμοια μοτίβα απόδοσης. Μία τέτοια ασυνέπεια εγείρει ερωτήματα για τους λόγους εμφάνισης αυτής και θα διερευνηθεί περαιτέρω μέσω διαγνωστικών ελέγχων δίνοντας την ευκαιρία στον καλλιεργητή να μάθει κάτι νέο για το χωράφι του.

Υπάρχουν περιπτώσεις οι οποίες απαιτούν μία πιο αυστηρή προσέγγιση στην ανάλυση των δεδομένων. Στατιστικές συγκρίσεις και χωρικές συσχετίσεις ανάμεσα στα επίπεδα δεδομένων μπορούν να φανερώσουν σχέσεις οι οποίες δεν είναι προφανείς. Ο ανθρώπινος παράγοντας είναι ζωτικής σημασίας σε κάθε ερμηνεία των δεδομένων. Ένας καλλιεργητής ή σύμβουλος ο οποίος εμπλέκεται ενεργά στην ανάλυση των δεδομένων, είναι πιο πιθανό να αναρωτηθεί για τα δεδομένα του, να επαληθεύσει την ακεραιότητα αυτών και να ενσωματώσει τις γνώσεις που κατέχει. Η δημιουργία ενός συστήματος GIS δεν είναι μια χρονοβόρα διαδικασία. Αν και υπάρχουν βραχυπρόθεσμα οφέλη όπως η εφαρμογή βελτιωμένων στρατηγικών δειγματοληψίας με τη χρήση χαρτών απόδοσης και εναέριων εικόνων, μπορεί να περάσουν πολλά χρόνια συλλογής δεδομένων

για τα μακροπρόθεσμα οφέλη όπως η αναγνώριση σταθερών χωρικών μοτίβων και η βαθύτερη κατανόηση των υποκείμενων διαδικασιών.

Διαχείριση δεδομένων

Η αποτελεσματική διαχείριση δεδομένων απαιτεί χρόνο, χρήματα, δεξιότητα στη χρήση υπολογιστή, οργανωτικές ικανότητες και υπομονή. Τα δεδομένα γίνονται χρήσιμα μόλις οργανωθούν και αναλυθούν. Το GIS μπορεί να βοηθήσει στη διαδικασία. Για μερικούς, η δημιουργία μιας καλής βάσης δεδομένων για τη φάρμα τους αποτελεί μία πρόκληση την οποία είναι έτοιμοι να αποδεχτούν. Ωστόσο, για πολλούς παραμένει δύσκολο και προκλητικό έργο.

Υπάρχουν πολλά αξιόπιστα εμπορικά λογισμικά προγράμματα που διαχειρίζονται χωρικά δεδομένα όπως SMS, PLM, Farmworks, Mapshots, and SST. Αν και τα προγράμματα αυτά μπορούν να διαβάσουν γενικές μορφές αρχείων και μπορούν να εισάγουν ακατέργαστα δεδομένα από πολλούς κατασκευαστές υλικού, δεν επιτρέπουν εύκολα την κοινή χρήση δεδομένων σε διαφορετικές πλατφόρμες. Επιπρόσθετα, το αρχικό κόστος του πακέτου, το οποίο μπορεί να φαίνεται μεγάλο, θα είναι στην πραγματικότητα μόνο ένα μικρό μέρος της συνολικής επένδυσης. Το κόστος απόκτησης και επεξεργασίας δεδομένων θα επισκιάσει γρήγορα το αρχικό κόστος υλικού και λογισμικού. Για πολλούς καλλιεργητές, η διατήρηση του δικού τους GIS μπορεί να μην είναι εφικτή. Οι καλλιεργητές αυτοί μπορεί να επωφεληθούν από τις εξειδικευμένες υπηρεσίες ενός διαχειριστή δεδομένων. Η εμφάνιση υπηρεσιών ανάλυσης δεδομένων μπορεί να άρει την επιβάρυνση των ατόμων να διαχειριστούν τα δικά τους δεδομένα και θα απελευθερώσει πόρους (όπως ο χρόνος), οι οποίοι θα μπορούσαν να διατεθούν αποτελεσματικότερα. Οι εξειδικευμένοι διαχειριστές δεδομένων προσφέρουν μια σειρά υπηρεσιών και θα παρουσιάσουν τα χωρικά δεδομένα και οποιαδήποτε ανάλυση σε ακριβή και εύχρηστη μορφή. Οι γνώσεις των καλλιεργητών θα είναι το κλειδί για μια επιτυχημένη ερμηνεία των δεδομένων. Όσο πιο εξοικειωμένος είναι ο διαχειριστής δεδομένων με τις καθημερινές γεωργικές εργασίες τόσο το καλύτερο.

Στη γεωργία ακριβείας υπάρχουν διάφορες μορφές αρχείων που περιγράφουν τον τρόπο με τον οποίο αποθηκεύονται τα δεδομένα στον υπολογιστή. Μερικοί τύποι αρχείων παράγουν αρχεία μικρότερου μεγέθους (μικρός αριθμός bytes) τα οποία μπορούν εύκολα να μεταφερθούν ασύρματα ή μέσω διαδικτύου. Άλλοι τύποι χρησιμοποιούν μεγαλύτερο αριθμό από bytes τα οποία είναι βελτιστοποιημένα για ταχύτερη πρόσβαση στα δεδομένα εντός των προγραμμάτων λογισμικού. Οι τύποι αρχείων με ανοικτή και γνωστή δομή που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από πολλά διαφορετικά πακέτα λογισμικού, είναι γνωστοί ως γενικές μορφές. Τα γενικά αρχεία θα συμμορφώνονται με ένα γνωστό πρότυπο και μπορούν να ανοιχτούν σε κοινώς διαθέσιμο λογισμικό, όπως γραφίστες, επεξεργαστές κειμένου ή υπολογιστικά φύλλα. Αυτά περιλαμβάνουν τα αρχεία μεταβλητής διαχωρισμένα με κόμμα (*.csv), jpg και αρχεία tif. Υπάρχουν επίσης γενικές μορφές αρχείων χωρικών δεδομένων (vector και raster) που χρησιμοποιούνται από το λογισμικό GIS. Αυτά περιλαμβάνουν shapefiles, GeoTIFF και GeoJPG και αρχεία KML. Μια άλλη ομάδα μορφών αρχείων της γεωργίας ακριβείας είναι οι ιδιόκτητες μορφές. Αυτά παράγονται γενικά από ένα συγκεκριμένο κομμάτι εξοπλισμού (ή μάρκα εξοπλισμού), όπως μια οθόνη απόδοσης. Τα ιδιόκτητα αρχεία συχνά περιέχουν μεγάλους όγκους δεδομένων και αποθηκεύονται σε συμπαγή μορφή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο με επιλεγμένα προϊόντα λογισμικού.

Σαν εργαλείο διαχείρισης, η γεωργία ακριβείας περιλαμβάνει τέσσερα στοιχεία: σύστημα εντοπισμού γεωγραφικής θέσης (GPS), συλλογή δεδομένων, υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων και εφαρμογή μεταβλητού ποσοστού πόρων. Η χαρτογράφηση της απόδοσης μπορεί να θεωρηθεί ως πέμπτο στοιχείο το οποίο επιτρέπει στους αγρότες να παρακολουθούν το πραγματικό αποτέλεσμα από τις ποικίλες εισροές (Pedersen, 2004). Ωστόσο, η χαρτογράφηση της απόδοσης είναι επίσης ένα

εργαλείο που βοηθά στη συλλογή δεδομένων προηγούμενων ετών τα οποία μπορούν να συμβάλουν στην λήψη αποφάσεων για τη στρατηγική που θα ακολουθηθεί.

2.3. Αναφορά, ικνηλασιμότητα και παροχή πληροφοριών από τους αγρότες

ΙΚνηλασιμότητα είναι η ικανότητα ανίχνευσης και παρακολούθησης τροφίμων, ζωοτροφών και ζώων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή τροφίμων και γενικότερα όλων των υλικών που πρόκειται να ενσωματωθούν σε τρόφιμα ή σε ζωοτροφές, σε όλα τα στάδια της παραγωγής, μεταποίησης και διανομής τους (Anonymous, 2007). Η έννοια της ικνηλασιμότητας στη γεωργία αναφέρεται σε όλα τα στάδια συλλογής, ταξινόμησης, διατήρησης και εφαρμογής δεδομένων που σχετίζονται με όλες τις απαραίτητες διαδικασίες στην αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων, προκειμένου να βεβαιώσουν σχετικά με την προέλευση, την τοποθεσία και το ιστορικό των προϊόντων για τους καταναλωτές και άλλους ενδιαφερόμενους φορείς. Χρησιμοποιείται επίσης στη διαχείριση κρίσεων σε περίπτωση προβλημάτων στην ποιότητα και την ασφάλεια των τροφίμων. Έτσι, η ικνηλασιμότητα είναι η ικανότητα ανίχνευσης της αγροτικής εκμετάλλευσης στην οποία έχει αναπτυχθεί το προϊόν και έχουν καταναλωθεί οι εισροές. Παρέχει επίσης τη δυνατότητα αναθεώρησης των αρχείων για τον προσδιορισμό της ακριβούς θέσης και του ιστορικού στην εφοδιαστική αλυσίδα τροφίμων (Opara, 2003). Όσον αφορά τον ορισμό της ικνηλασιμότητας στον τομέα της επισιτιστικής ασφάλειας, μπορεί να ειπωθεί ότι η ικνηλασιμότητα είναι η ικανότητα τεκμηρίωσης όλων των σχετικών στοιχείων που απαιτούνται για τον προσδιορισμό του ιστορικού ενός προϊόντος, όπως οι κινήσεις, οι διαδικασίες και οι έλεγχοι. Έτσι, η ικνηλασιμότητα αποτελεί εργαλείο για καλύτερη και αποτελεσματικότερη διαχείριση από τους κατασκευαστές τροφίμων, τους γεωργούς και τους τελικούς χρήστες όσον αφορά την ποιότητα των τροφίμων.

Πέρα από την ικανότητα της ικνηλασιμότητας να παρακολουθεί τα προϊόντα ή να προχωρά εύκολα και γρήγορα σε ανάκληση προϊόντων κατά τη διάρκεια μιας κρίσης, υπάρχουν αναφορές για τα πλεονεκτήματα της ικνηλασιμότητας όπως:

- Βελτίωση της αποδοτικότητας της παραγωγής και μείωση των απαιτήσεων εργασίας
- Βελτίωση του ελέγχου των αποθεμάτων, επαλήθευση των αξιώσεων των προϊόντων και βελτίωση της ασφάλειας των τροφίμων

Παρά τα προβλήματα εφαρμογής, συντήρησης και λειτουργίας συστημάτων ικνηλασιμότητας που σχετίζονται με το προσωπικό, τους πελάτες, τους προμηθευτές, τους συμβούλους και το λογισμικό, τα οφέλη από τη χρήση αυτών των συστημάτων είναι πολύ περισσότερα από τα προαναφερθέντα προβλήματα και το κόστος, το οποίο μπορεί να είναι ένας επιπλέον λόγος για την ανάπτυξη συστημάτων ικνηλασιμότητας (Sparling et al., 2006). Η γεωργία ακριβείας δίνει την ευκαιρία παρακολούθησης των προϊόντων μέσω ενός συστήματος περιλαμβάνοντας τη διαδικασία που περιγράφει όλες τις πρακτικές που έχουν εφαρμοστεί για να παραχθεί το τελικό προϊόν. Κατά συνέπεια, η ικανότητα παρακολούθησης και ικνηλασιμότητας των προϊόντων καθίσταται ένα από τα κύρια ζητήματα της έρευνας στον τομέα της γεωργίας ακριβείας, ιδίως η παρακολούθηση των δραστηριοτήτων στο αγρόκτημα (McBratney et al., 2005). Η χρήση ενός συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) ως εργαλείο γεωργίας ακριβείας μπορεί να παρέχει εγκαταστάσεις για τη βελτίωση των πληροφοριών ικνηλασιμότητας συνδέοντάς τες με αγρο-περιβαλλοντικές καταστάσεις, όπως η κατάσταση του εδάφους, οι τοπικές ιδιοκτησίες και οι λεκάνες απορροής. Ως εκ τούτου, η γεω-ικνηλασιμότητα μπορεί να οριστεί ως η ικανότητα προσδιορισμού των χαρακτηριστικών του άμεσου και του έμμεσου περιβάλλοντος προκειμένου να τεκμηριωθεί το ιστορικό των γεγονότων που συμβαίνουν στην περιοχή παραγωγής και τα οποία ενδέχεται να επηρεάσουν τις καλλιέργειες σε κάθε στάδιο από τη φύτευση έως τη συγκομιδή (Oger et al., 2010).

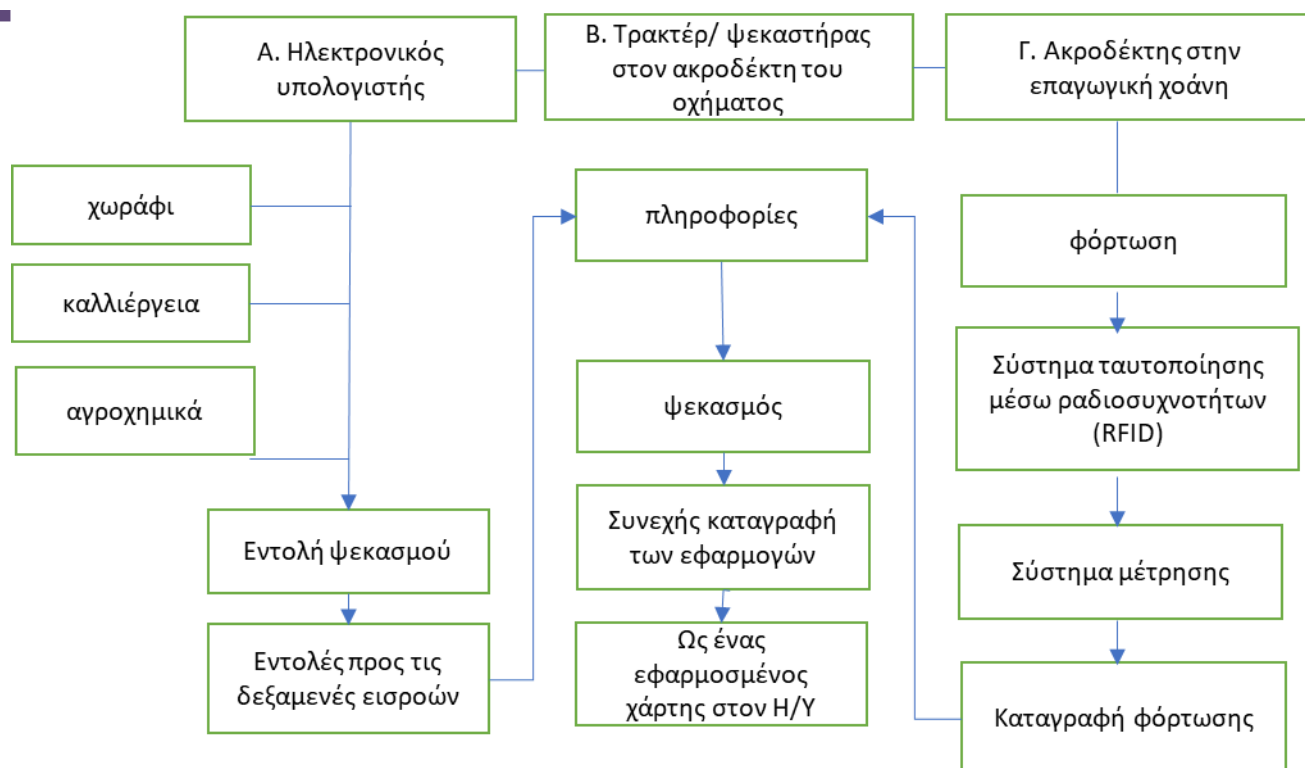
- Μέτρηση της θερμοκρασίας του εδάφους με ασύρματους αισθητήρες
- Χρήση κάδων συλλογής φρούτων αντίστοιχοι με τα δέντρα κατά τη διάρκεια συγκομιδής στους οπωρώνες
- Χρήση οχημάτων για τη διαχείριση του στόλου
- Σύνδεση με τα προϊόντα (σπόροι, λιπάσματα, φυτοφάρμακα κ.λπ.) που βρίσκονται στο μηχάνημα, ανιχνεύοντας τι τοποθετείται στη χοάνη ή τη δεξαμενή του εργαλείου (Ruiz-Garcia and Lunadej, 2011)

```

graph TD
    subgraph A [A FARM COMPUTER]
        A1[Field]
        A2[Crop]
        A3[Agrochemical]
        A4[Order to spray]
        A5[Tank orders]
    end
    subgraph B [B TRACTOR/SPRAYER IN CAB TERMINAL]
        B1[Input information]
        B2[Spraying]
        B3[Continuous recording of application]
        B4[As applied map]
    end
    subgraph C [C TERMINAL AT INDUCTION HOPPER]
        C1[Loading]
        C2[RFID product identification system]
        C3[Measuring system]
        C4[Record of loading]
    end

    A1 --> A4
    A2 --> A4
    A3 --> A4
    A4 --> A5
    A5 --> B1
    B1 --> B2
    B2 --> B3
    B3 --> B4
    B4 --> A5
    B1 --> C1
    B2 --> C2
    B3 --> C3
    B4 --> C4
    C1 --> C2
    C2 --> C3
    C3 --> C4
    C4 --> A5
    A -- Memory card --> B
    B -- Memory card --> A
    B -- CAN/ISOBUS --> C
    C -- CAN/ISOBUS --> B
  
```

Page 28 of 71



2.4. Πώς να εφαρμόσουμε γεωργία ακριβείας με τεχνολογία χαμηλού κόστους

Η παραδοσιακή γεωργική διαχείριση μετατρέπεται σε μια πιο ευέλικτη και δυναμική πρακτική, συλλέγοντας δεδομένα από διάφορες μεταβλητές που μας ενδιαφέρουν σε πραγματικό χρόνο για τον προγραμματισμό και την εποπτεία των καλλιεργειών. Τα συστήματα γεωργικής παρακολούθησης επιτρέπουν τη διαμόρφωσή τους σε διαφορετικές χωρικές και χρονικές κλίμακες σε σχέση με τους πόρους των οικοσυστημάτων, την επέκταση των οικοπέδων, τα είδη των καλλιεργειών και τους επιδιωκόμενους στόχους. Η ταχεία ανάπτυξη τεχνολογιών γεωργίας ακριβείας και οι δυνατότητές τους να μετασχηματίζουν τα συστήματα γεωργικής παραγωγής αυξάνονται, πάνω απ' όλα, παρέχοντας ευκαιρίες ανάπτυξης που υποστηρίζουν μεγαλύτερη ψηφιακή ένταξη των μικρών παραγωγών και ανοίγοντας νέες ευκαιρίες στον τομέα αυτό. Ωστόσο, μια βασική πρόκληση του γεωργικού τομέα είναι το υψηλό κόστος για την υιοθέτηση νέων τεχνολογιών, ιδίως για τις μικρές και μεσαίες επιχειρήσεις στις αναπτυσσόμενες χώρες. Στο επίπεδο των μικροκαλλιεργητών, οι στρατηγικές αυτές πρέπει να διαμορφωθούν και να εφαρμοστούν χρησιμοποιώντας χαμηλού κόστους τεχνολογίες γεωργίας ακριβείας.

Η γεωργία ακριβείας συνδέεται συνήθως με εξελιγμένες τεχνολογίες που ποικίλλουν στην τιμή. Οι κοινές τεχνολογίες που σχετίζονται με τη γεωργία ακριβείας περιλαμβάνουν υλικό και λογισμικό υπολογιστών, εξοπλισμό παρακολούθησης GPS, εξοπλισμό για την παρακολούθηση της απόδοσης καθώς και εξοπλισμό για εφαρμογές μεταβλητού ποσοστού πόρων. Παρά το σημαντικό κόστος, η γεωργία ακριβείας μπορεί μερικές φορές να αποδώσει εάν οδηγήσει στην αποτελεσματικότερη χρήση των πόρων και των εισροών. Όταν ένα ολόκληρο χωράφι αντιμετωπίζεται ομοιόμορφα, ορισμένες περιοχές θα λάβουν υπερβολικές ποσότητες λιπασμάτων ή φυτοφαρμάκων που δεν θα οδηγήσουν σε υψηλότερες αποδόσεις. Άλλες περιοχές δεν θα λάβουν αρκετές εισροές. Είναι πιθανό η θεραπεία ενός επιβλαβούς οργανισμού ή το ξερίζωμα ενός μικρού τμήματος του πεδίου να δημιουργήσει μεγαλύτερο όφελος απόδοσης και εισοδήματος από ό, τι αν το ίδιο ποσό χρημάτων αξιοποιηθεί σε διαφορετική εισροή. Αυτές οι αρχές της γεωργίας ακριβείας αφορούν τις μικρές και μεγάλες εκμεταλλεύσεις καθώς και τις προσεγγίσεις υψηλής και χαμηλής τεχνολογίας για τη συλλογή πληροφοριών.

Η τεχνολογία μη επανδρωμένων οχημάτων ενισχύει την εφαρμογή στρατηγικών παρακολούθησης των καλλιεργειών για τον προσδιορισμό της κατάστασης της υγείας, του ποσοστού αζώτου και άλλων θρεπτικών συστατικών. Μπορεί να παρέχει δεδομένα που επιτρέπουν τη στοχευμένη εφαρμογή γεωργικών εργασιών και προϊόντων σε τομείς που είχαν προηγουμένως προσδιοριστεί μέσω αλγορίθμων, και μέσω αυτής της τεχνολογίας η γεωργία ακριβείας έχει νόημα. Οι εικόνες που συλλέγονται από μη επανδρωμένα οχήματα επιτρέπουν την κατασκευή χαρτών γεωεντοπισμού καλλιεργειών όπου είναι δυνατός ο προσδιορισμός περιοχών που πλήττονται από ζιζάνια (Barrero and Perdomo, 2018), επιτρέποντας τον προγραμματισμό της εφαρμογής ζιζανιοκτόνων στις κρίσιμες ζώνες (Yang, Yang, & Mo, 2018).

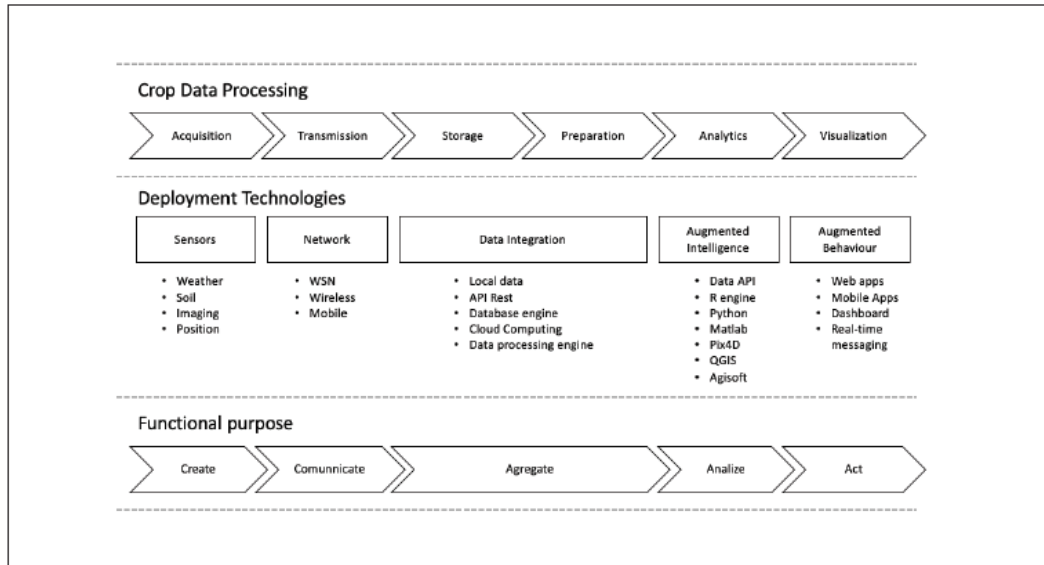
Επιπλέον, οι χάρτες καλλιεργειών επιτρέπουν την παρακολούθηση των αποτελεσμάτων της εφαρμογής λιπασμάτων και ζιζανιοκτόνων για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητάς τους και την προσαρμογή τους με δυναμικό και ευέλικτο τρόπο (Castaldi, Pelosi, Pascucci and Casa, 2017). Στην περίπτωση που αναλύεται στο άρθρο των Schut, Traore, Blaes and de By (2018), οι συγγραφείς συνεργάστηκαν με μικροκαλλιεργητές για να δείξουν πώς οι εικόνες που συλλέγονται από ένα μη επανδρωμένο όχημα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της χωρικής μεταβλητότητας και την απόκριση σε διαφορετική διαχείριση των λιπασμάτων. Ο πίνακας 1 παρουσιάζει μια συγκριτική ανάλυση των τεχνικών χαρακτηριστικών των εναέριων πλατφορμών που αναλύονται στη βιβλιογραφία ως λύσεις χαμηλού κόστους.

Πίνακας 5. Πλατφόρμες χαμηλού κόστους για μικροκαλλιεργητές. Πηγή: (Velazquez E, 2020)

Πλατφόρμα	Τύπος	Είδος κάμερας	Ύψος (m)	Ανάλυση (cm/pixel)	Δείκτης βλάστησης	Λογισμικό	Παραπομπή
DJI Matrix 600 Hexacopter		Parrat Multispectral Sequoia	120	5	NDVI, NDRE y GNDVI	Pix4D	Handique et al., 2017
SenseFly eBee 3	Fixed wing	RGB Canon S110 con Filtro NIR	115	5	exG2, exR, exG y NGRDI	Pix4D QGIS v2.16 SAGA-GIS Orfeo Toolbox v5.6.1	Oldeland et al., 2017
Asctec Falcon 8	Octacopter	RGB Sony NEX 5n	100	2	GRVI	ENVI	Burkart et al., 2018
DJI Phantom 3 Quadcopter		Parrat Multispectral Sequoia	30	4	DVI, NDVI, NDGI, NDRE	Pix4D v.3.0.1 QGIS v2.14 Matlab ANN Toolbox	Romero et al., 2018
Hawkeye	Parafoil	Tetracam ADC Lite	35 - 45	2	NDVI y GNDVI	ExelisVIS ENVI v4.8	Hunt et al., 2018
OktoKopter XL	Octacopter	Tetracam MiniMCA 6	100	5	NDVI, NDRE, GNDVI	ArcGIS v10.0	Krienke et al., 2017
Zeta Phantom FX-61	Fixed wing	Micasense Rededge	60 - 70	1.82 y 4.77	NDVI y NGRDI	Pix4D Matlab ANN Toolbox	Barrero & Perdomo, 2018
Microdron MD4-100	Quadcopter	Olympus Pen E-PM1	50 - 100	1.9 y 3.81	-	Agisoft PhotoScan v1.2.4	Jiménez-Brenes et al., 2017

Οι στρατηγικές απαιτούν τη συμμετοχή εξειδικευμένου προσωπικού, το οποίο ερμηνεύει τα δεδομένα και παρέχει υποστήριξη στους μικροκαλλιεργητές, γεγονός που περιπλέκει τη λειτουργία του. Οι διάφορες τεχνολογίες που εφαρμόζονται στις υπό εξέταση περιπτώσεις σύμφωνα με το λειτουργικό τους σκοπό, ομαδοποιούνται σε αισθητήρες, δίκτυα επικοινωνίας, ενσωμάτωση δεδομένων, επαυξημένη νοημοσύνη και αυξημένη απόδοση στο μοντέλο γεωργίας ακριβείας, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 13. Ένα βασικό σημείο για την επιτυχία των τεχνολογικών στρατηγικών είναι η εφαρμογή της αυξημένης συμπεριφοράς. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο να χρησιμοποιήσουμε τεχνολογίες απεικόνισης για να παρουσιάσουμε με σαφή και εύκολο τρόπο την ερμηνεία των δεδομένων και στη συνέχεια τα αποτελέσματα. Όλα θα συμβάλουν στο να κατανοήσουν οι μικροκαλλιεργητές το πώς εξελίσσεται η καλλιέργειά τους. Αυτό θα συμβάλει στη βιώσιμη ανάπτυξη των γεωργικών οικονομιών μέσω της ενίσχυσης της γνώσης, της επικοινωνίας και

31 της συνεργασίας. Επιπλέον, είναι σημαντικό οι στρατηγικές να ενσωματώνουν πτυχές που σχετίζονται με την κατάρτιση, τη μεταφορά και την υιοθέτηση τεχνολογιών γεωργίας ακριβείας.



Σχήμα 3. Τεχνολογίες χαμηλού κόστους στη γεωργία ακριβείας (Velazquez E, 2020)

Επεξεργασία δεδομένων καλλιέργειας:

Απόκτηση → μετάδοση → αποθήκευση → προετοιμασία → στατιστικά → οπτικοποίηση

Τεχνολογίες

- Αισθητήρες: καιρός, έδαφος, απεικόνιση, τοποθέτηση
- Δίκτυο: WSN, ασύρματο, κινητό
- Ενσωμάτωση δεδομένων: τοπικά δεδομένα,
- Επαυξημένη νοημοσύνη: Data API, IT engine, Python, Matlab, Pix4D, QGIS, Agisoft
- Επαυξημένη συμπεριφορά: εφαρμογές διαδικτύου, εφαρμογές κινητού, dashboard, μήνυμα σε πραγματικό χρόνο

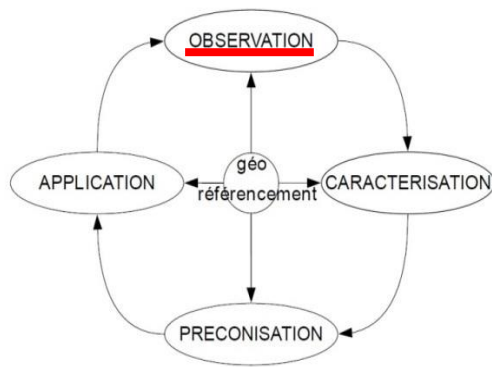
Λειτουργικός σκοπός:

Δημιουργία → επικοινωνία → ενσωμάτωση → ανάλυση → δράση

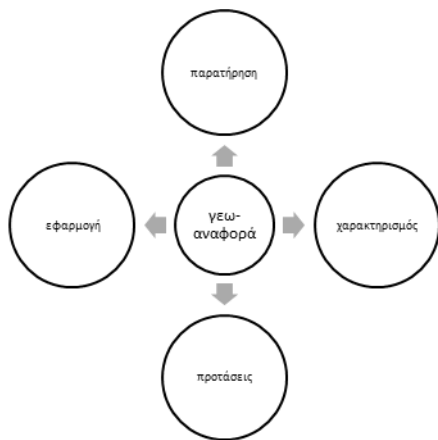
3. Εισαγωγή στους αισθητήρες

3.1. Μετρολογία (ακρίβεια, ανάλυση, σφάλμα κτλ)

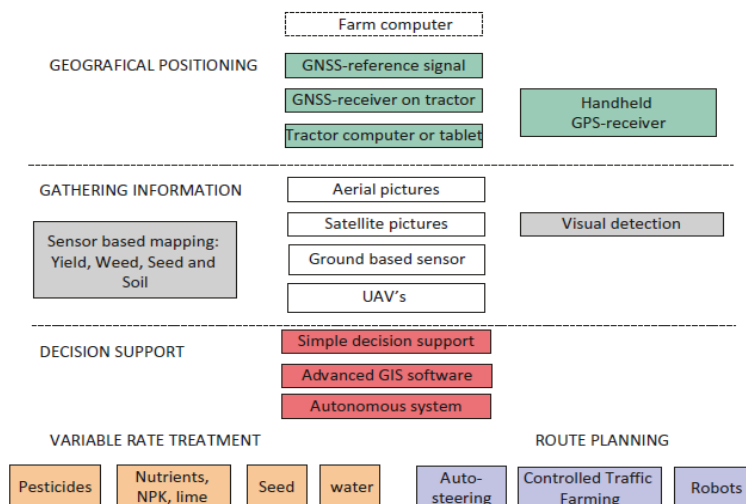
Γενικά, ένας αισθητήρας είναι μια συσκευή που ανιχνεύει αλλαγές σε φυσικές, ηλεκτρικές ή άλλες ποσότητες παράγοντας ένα ηλεκτρικό ή οπτικό σήμα ως αναγνώριση της αλλαγής στη συγκεκριμένη ποσότητα. Έτσι, ένας αισθητήρας είναι μια μονάδα ή τσιπ που παρατηρεί τις αλλαγές που συμβαίνουν στον φυσικό κόσμο και στέλνει πληροφορίες στον μικροελεγκτή ή τον μικροεπεξεργαστή. Η διέγερση (παροχή ηλεκτρικού ρεύματος) και η γείωση πρέπει να παρέχονται στον αισθητήρα ώστε να λειτουργήσει κατάλληλα. Οι αισθητήρες αποτελούν στοιχείο ζωτικής σημασίας στη γεωργία ακριβείας. Χρησιμοποιούνται για παρατήρηση, χαρακτηρισμό, προτάσεις και εφαρμογή στη γεωργία ακριβείας (σχήμα 14).



Σχήμα 4. Ο σκοπός της χρήσης αισθητήρων στη γεωργία ακριβείας (Bratney, 2000)



Το σχήμα 5 δείχνει τη σύνδεση ανάμεσα στα διαφορετικά τεχνικά συστήματα και τους αισθητήρες που χρησιμοποιούνται στη γεωργία ακριβείας από τα γεωγραφικά συστήματα εντοπισμού θέσης και ανίχνευσης έως την υποστήριξη των αποφάσεων και την εφαρμογή διαφοροποιούμενης δόσης.



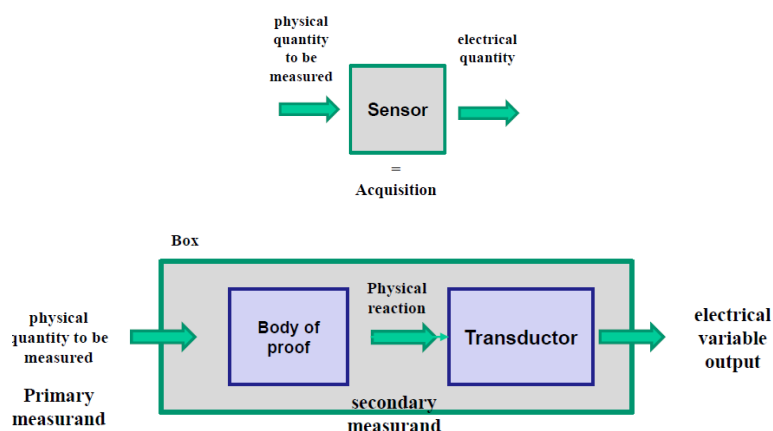
Σχήμα 5. Αισθητήρες και τεχνικά συστήματα που εφαρμόζονται στη γεωργία ακριβείας (Sorenson, 2018)

3 Για τον εντοπισμό της γεωγραφικής θέσης χρησιμοποιείται ο δέκτης GNSS στο τρακτέρ, ο υπολογιστής ή το tablet που είναι συνδεδεμένα στο τρακτέρ και τα σήματα από το GNSS. Πρόκειται για φορητές συσκευές GPS.

3 Για τη συλλογή πληροφοριών, γίνεται λήψη φωτογραφιών εναέρια, δορυφορικά, μέσω drone και μέσω αισθητήρων εδάφους. Η χαρτογράφηση της απόδοσης, των σπόρων και του εδάφους γίνεται βάσει των δεδομένων από τους αισθητήρες.

Η λήψη αποφάσεων βασίζεται είτε απλά στις αποφάσεις του κάθε αγρότη, είτε σε εξελιγμένο λογισμικό GIS είτε σε αυτόνομο σύστημα. Είναι πιθανή η εφαρμογή μεταβλητού ποσοστού νερού, φυτοφαρμάκων, σπόρων και θρεπτικών υλικών. Επίσης ο σχεδιασμός της διαδρομής μπορεί να γίνει με τρεις τρόπους: με αυτόματη οδήγηση, με ρομπότ και με το σύστημα controlled traffic farming το οποίο περιορίζει τα φορτία των μηχανημάτων στο ελάχιστο δυνατό όταν αυτά κινούνται στις λωρίδες κυκλοφορίας των χωραφιών.

Όποιος κι αν είναι ο τύπος του αισθητήρα και το πεδίο εφαρμογής του, συνεχίζει να αποτελεί μέρος της αλυσίδας των μετρήσεων. Οι αισθητήρες είναι τα πρώτα στοιχεία στην αλυσίδα απόκτησης δεδομένων. Είναι οι διεπαφές ανάμεσα στο φυσικό (πραγματικό) κόσμο και στον ηλεκτρικό κόσμο.



Η ακρίβεια του αισθητήρα είναι η μέγιστη διαφορά που θα υπάρξει μεταξύ της πραγματικής τιμής (η οποία πρέπει να μετράται με πρωτεύον ή καλό δευτερεύον πρότυπο) και της υποδεικνυόμενης τιμής στην ένδειξη του αισθητήρα. Και πάλι, η ακρίβεια μπορεί να εκφραστεί είτε ως ποσοστό πλήρους κλίμακας είτε σε απόλυτους όρους. Η «ακρίβεια» περιγράφει πόσο αντιπροσωπευτική είναι η υποδεικνυόμενη τιμή στην πραγματική ένδειξη και παρακολουθείται, λαμβάνοντας παράλληλα υπόψη όλες τις πιθανές πηγές σφάλματος που σχετίζονται με την εφαρμογή της. Είναι σαφές ότι η ακρίβεια μπορεί να προσδιοριστεί σε ένα δεδομένο σύνολο συνθηκών λειτουργίας. Ωστόσο, για καλύτερα αποτελέσματα παραμένει πολύ σημαντικό να ληφθούν υπόψη όλοι οι υπόλοιποι παράγοντες.

Η ανάλυση είναι η παράμετρος που αντιπροσωπεύει τη μικρότερη αύξηση των μετρήσεων και που μπορεί να προσδιοριστεί από τον αισθητήρα. Η ανάλυση των περισσότερων σύγχρονων αισθητήρων είναι καλή και περιορίζεται κυρίως από τα επίπεδα θορύβου των σχετικών ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Σε γενικές γραμμές, η ανάλυση των περισσότερων αναλογικών τεχνικών ανίχνευσης, π.χ. μετρητής πίεσης, επαγωγικός, χωρητικός, θα αρκούσε, αλλά τα ποτενσιόμετρα, οι επαυξητικές ψηφιακές και απόλυτες ψηφιακές συσκευές έχουν αναλύσεις που καθορίζονται απευθείας από το σχεδιασμό και περιορίζονται κυρίως από τον αριθμό των bits.

Η ακρίβεια μπορεί να περιγραφεί ως η αναπαραγωγικότητα των μετρήσεων. Όταν οι αισθητήρες είναι ακριβείς, οι ενδείξεις θα είναι συνεπείς. Η ιδιότητα αυτή είναι η μικρότερη ανιχνεύσιμη

αυξητική αλλαγή των μεταβλητών που μπορεί να ανιχνευθεί στο σήμα που θα εκπέμψει. Η ανάλυση μπορεί να εκφραστεί είτε ως ποσοστό ανάγνωσης (ή της ανάγνωσης πλήρους κλίμακας) είτε σε απόλυτους όρους.

Υπάρχουν δύο βασικές πτυχές σε αυτές τις πιθανές πηγές σφάλματος. Πρώτον, υπάρχει η έμφυτη απόδοση του αισθητήρα και δεύτερον, η ποιότητα των μέσων μέτρησης της απόδοσης, δηλαδή του εξοπλισμού βαθμονόμησης. Είναι γενικά αποδεκτό ότι ο εξοπλισμός των δοκιμών θα πρέπει να είναι τουλάχιστον πέντε φορές πιο ακριβής από τη συσκευή που ελέγχεται προκειμένου να βεβαιωθούμε ότι είναι σωστές οι αξιώσεις για τον αισθητήρα.

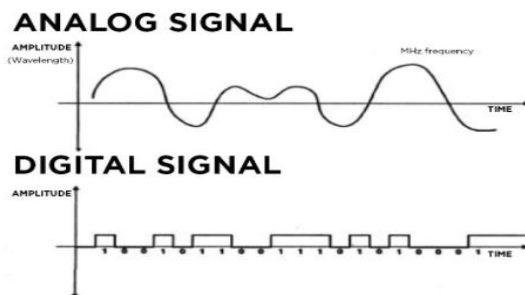
3.2. Τύποι σημάτων

3.2.1. Αναλογικό και ψηφιακό σήμα

Υπάρχουν διάφοροι τύποι αισθητήρων που παράγουν συνεχώς αναλογικό σήμα και οι αισθητήρες αυτοί είναι οι αναλογικοί αισθητήρες. Ανάλογα με τη φύση του σήματος, οι αισθητήρες μπορούν να χωριστούν στους παρακάτω δύο τύπους:

(1) Αναλογικός αισθητήρας: Μετατρέπει τη μη ηλεκτρική ενέργεια σε μετρήσιμη και συνεχώς μεταβαλλόμενη τάση ή ρεύμα. Θα πρέπει να έχουμε μία συσκευή μετατροπής σήματος από αναλογικό σε ψηφιακό σήμα σε περίπτωση που θέλουμε ο αισθητήρας να συνδεθεί με ψηφιακή οθόνη ή υπολογιστή. Το συνεχές σήμα που παράγεται από τους αναλογικούς αισθητήρες είναι ανάλογο των μετρήσεων. Υπάρχουν διάφοροι τύποι αναλογικών αισθητήρων. Χαρακτηριστικοί τύποι είναι τα επιταχυνσιόμετρα, οι αισθητήρες πίεσης, φωτός, ήχου, θερμοκρασίας και άλλοι. Έτσι, οι αναλογικοί αισθητήρες ανιχνεύουν τους εξωτερικούς παράγοντες (ταχύτητα του αέρα, ηλιακή ακτινοβολία, ένταση φωτός κτλ) και δίνουν αναλογική τάση. Το εύρος της τάσης κυμαίνεται από 0 έως 5V. Οι προαναφερόμενοι αισθητήρες είναι κατά βάση αναλογικοί.

(2) Ψηφιακός αισθητήρας: Μπορεί να μετατρέψει απ'ευθείας τη μη ηλεκτρική ενέργεια σε ψηφιακό σήμα το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ψηφιακή ένδειξη για υπολογισμούς, να συνδεθεί άμεσα με υπολογιστή. Είναι κατάλληλο για μετάδοση από απόσταση και ένα από τα πλεονεκτήματά του είναι η ισχυρή ικανότητα κατά των παρεμβολών. Αυτός ο τύπος αισθητήρα μπορεί να χωριστεί σε τρεις κατηγορίες: παλμικός, συχνότητας και ψηφιακός.

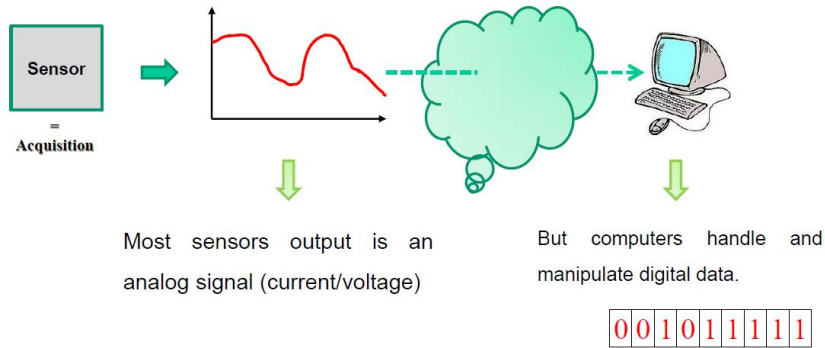


Διαφορές ανάμεσα σε αναλογικούς και ψηφιακούς αισθητήρες

Σε αντίθεση με τον αναλογικό αισθητήρα, ο ψηφιακός παράγει διακριτές τιμές (0 και 1). Οι διακριτές τιμές συχνά αποκαλούνται ψηφιακά ή δυαδικά σήματα στη ψηφιακή επικοινωνία. Οι ψηφιακοί αισθητήρες είναι οι ηλεκτρονικοί ή ηλεκτροχημικοί αισθητήρες στους οποίους η μετατροπή και η μεταφορά των δεδομένων γίνεται ψηφιακά. Οι ψηφιακοί αισθητήρες αντικαθιστούν τους αναλογικούς και είναι ικανοί να ξεπεράσουν τα μειονεκτήματα των αναλογικών αισθητήρων. Ο ψηφιακός αισθητήρας αποτελείται από τρία βασικά συστατικά όπως αισθητήρας, καλώδιο και

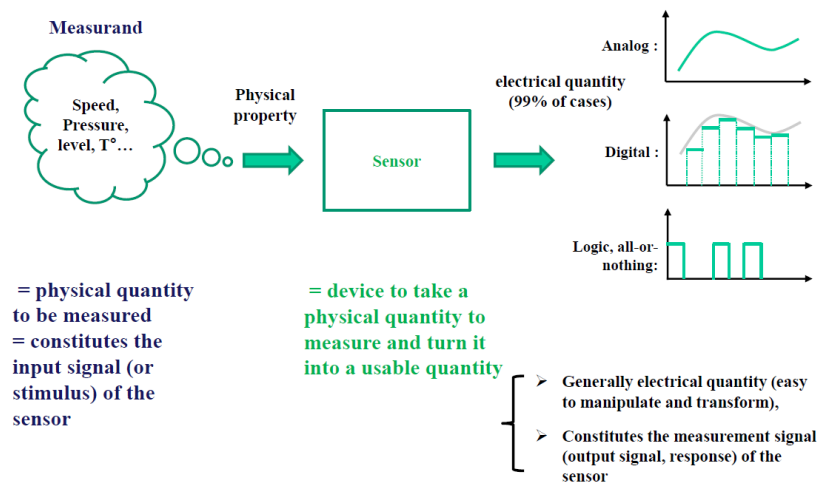
3.5 πομπός. Στους ψηφιακούς αισθητήρες, το σήμα που μετρίεται μετατρέπεται απ'ευθείας σε ψηφιακό σήμα μέσα στον ίδιο το ψηφιακό αισθητήρα. Έτσι, το ψηφιακό σήμα μεταφέρεται ψηφιακά μέσω καλωδίου. Υπάρχουν διάφοροι τύποι ψηφιακών αισθητήρων που ξεπερνούν τα μειονεκτήματα των αναλογικών αισθητήρων. Οι περισσότερες ενδείξεις των αισθητήρων είναι σε αναλογικό σήμα αλλά οι υπολογιστές μπορούν να διαχειριστούν μόνο ψηφιακά δεδομένα. Η μετατροπή του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό είναι απαραίτητη. Η μετατροπή αυτή γίνεται σε δύο στάδια:

- 1) Το πρώτο είναι η δειγματοληψία (διακριτή της χρονικής κλίμακας)
- 2) Το δεύτερο είναι η ποσοτικοποίηση (εύρος της ψηφιοποίησης / ρεύμα του σήματος)



Οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται για την απόκτηση δεδομένων τα οποία είναι συνήθως σε αναλογική μορφή. Οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές όμως αναγνωρίζουν και μπορούν να διαχειριστούν ψηφιακά δεδομένα (0, 1).

Ακολουθεί σχήμα με τη δομή της ψηφιακής και αναλογικής αλυσίδας μέτρησης (CIHEAM, 2016)



Η φυσική ποσότητα των στοιχείων που θέλουμε να μετρήσουμε (ταχύτητα, πίεση κτλ) αποτελεί το πρώτο σήμα-ερέθισμα του αισθητήρα. Ο αισθητήρας είναι η συσκευή που λαμβάνει τη φυσική ποσότητα προς μέτρηση και τη μετατρέπει σε μία ποσότητα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Στο 99% των περιπτώσεων, το αποτέλεσμα είναι μία ηλεκτρική ποσότητα η οποία γενικά είναι εύκολη στη διαχείριση και τη μετατροπή και αποτελεί το σήμα μέτρησης- την απάντηση του αισθητήρα.

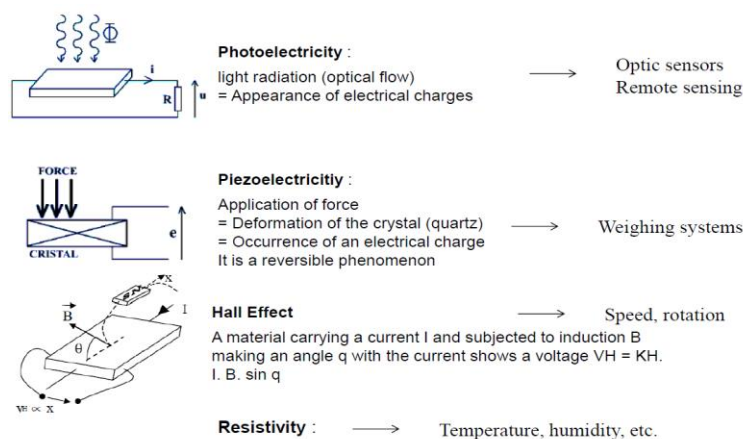
3.3. Ταξινόμηση αισθητήρων

Καθώς οι τύποι των αισθητήρων είναι πολλοί, μπορούμε να τους ταξινομήσουμε βάσει διάφορων κριτηρίων όπως οι αρχές μετατροπής τους (βασικές φυσικές ή χημικές επιπτώσεις στη λειτουργία του

αισθητήρα), οι χρήσεις τους, οι τύποι των σημάτων και τα υλικά και οι διαδικασίες χρησιμοποιούνται για την παραγωγή τους.

3.3.1. Ταξινόμηση σύμφωνα με την αρχή της μέτρησης

Ο ρόλος του αισθητήρα είναι να μετατρέπει μία μορφή ενέργειας σε μία άλλη. Για το λόγο αυτό, πολλοί μελετητές χρησιμοποιούν τον όρο μετατροπéας για να αναφερθούν στον αισθητήρα. Ακολουθεί σχήμα με την ταξινόμηση των αισθητήρων βάσει των αρχών της μέτρησης.



- Φωτοηλεκτρισμός (ελαφριά ακτινοβολία, εμφάνιση των ηλεκτρικών φορτίων) → οπτικοί αισθητήρες, τηλεπισκόπηση
- Πιεζοηλεκτρισμός (εφαρμογή δύναμης, παραμόρφωση του κρυστάλλου, εμφάνιση ηλεκτρικού φορτίου – αναστρέψιμο φαινόμενο → συστήματα ζυγίσματος
- φαινόμενο Hall (η παραγωγή μιας διαφοράς τάσης σε έναν ηλεκτρικό αγωγό που είναι εγκάρσια σε ένα ηλεκτρικό ρεύμα στον αγωγό και σε ένα εφαρμοζόμενο μαγνητικό πεδίο κάθετο στο ρεύμα) → αισθητήρες ταχύτητας, περιστροφής

3.3.2. Ταξινόμηση σύμφωνα με τις μεταβλητές

Αν οι μεταβλητές που θέλουμε να μετρήσουμε είναι: θερμοκρασία, πίεση, μετατόπιση, ταχύτητα, υγρασία, φως, αέριο και άλλες μη ηλεκτρικές μορφές ενέργειας, τότε οι αντίστοιχοι αισθητήρες είναι οι αισθητήρες θερμοκρασίας, πίεσης, ζύγισης κτλ. Αυτή η μέθοδος ταξινόμησης εξηγεί το σκοπό του αισθητήρα και παρέχει συνοχή στο χρήστη. Η επιλογή αισθητήρα σύμφωνα με το αντικείμενο της μέτρησης είναι εύκολη διαδικασία. Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι ταξινομεί αισθητήρες με διαφορετικές αρχές μέσα σε μια κατηγορία. Είναι δύσκολη η εύρεση των κοινών σημείων και των διαφορών εντός του μηχανισμού μετατροπής του κάθε αισθητήρα. Ως εκ τούτου είναι δύσκολη η κατανόηση ορισμένων βασικών αρχών και μεθόδων ανάλυσης του αισθητήρα. Ο ίδιος τύπος αισθητήρα, όπως ο πιεζοηλεκτρικός, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση της επιτάχυνσης, της ταχύτητας και του πλάτους σε μηχανικούς κραδασμούς καθώς επίσης και για τη μέτρηση της κρούσης και της δύναμης. Η αρχή λειτουργίας παραμένει η ίδια.

Αυτή η μέθοδος ταξινόμησης χωρίζει τους περισσότερους τύπους φυσικών ποσοτήτων σε δύο κατηγορίες: Βασικούς αισθητήρες (βασικές ποσότητες) και ειδικούς αισθητήρες (παράγωγες ποσότητες). Για παράδειγμα, η δύναμη μπορεί να θεωρηθεί ως βασική φυσική ποσότητα και η πίεση, το βάρος, η στιγμή κ.λπ. μπορούν να προέλθουν από τη δύναμη. Όταν πρέπει να μετρήσουμε τις παραπάνω φυσικές ποσότητες, πρέπει μόνο να χρησιμοποιήσουμε αισθητήρες δύναμης. Έτσι, η κατανόηση της σχέσης μεταξύ βασικών φυσικών ποσοτήτων και παράγωγων φυσικών ποσοτήτων είναι πολύ χρήσιμη για το είδος των αισθητήρων που χρησιμοποιεί το σύστημα. Οι αισθητήρες που ταξινομούνται ως βασικοί και συγκεκριμένοι δίνονται παρακάτω.

➤ « Basic » sensors :

- ✓ Temperature,
- ✓ Humidity (air or soil)
- ✓ Luminosity, radiance
- ✓ Pressure,
- ✓ Precipitation,
- ✓ pH,
- ✓ Flow rate liquid (but also grains...),
- ✓ Force, torque
- ✓ Speed, acceleration
- ✓ Position,
- ✓ ...etc

➤ « Specific » sensors :

- ✓ Fruit growth,
- ✓ Insects counting,
- ✓ Sap flow,
- ✓ Gas CO₂, NO₂...
- ✓ Fruit Maturity (Spectron...)

Βασικοί αισθητήρες που μετρούν: θερμοκρασία, υγρασία (αέρα ή εδάφους), φωτεινότητα, ραδιενέργεια, πίεση, pH, ποσοστό ροής υγρών αλλά και σπόρων, δύναμη, ταχύτητα, επιτάχυνση, θέση κτλ

Συγκεκριμένοι αισθητήρες που μετρούν: ανάπτυξη φρούτων, μέτρηση εντόμων, ροή χυμών, διοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του αζώτου, ωριμότητα φρούτων

4. Παγκόσμια δορυφορικά συστήματα πλοήγησης (GNSS)

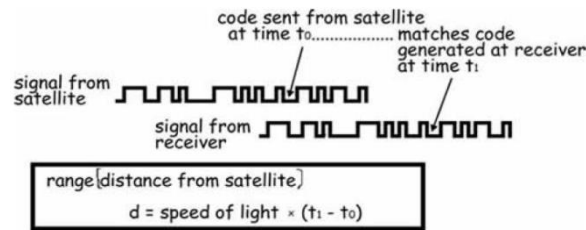
Τα παγκόσμια δορυφορικά συστήματα πλοήγησης είναι ο γενικός όρος για τα συστήματα δορυφορικής πλοήγησης τα οποία παρέχουν αυτόνομη γεω-χωρική τοποθέτηση με παγκόσμια κάλυψη. Κάθε δορυφορικό σύστημα πλοήγησης χρησιμοποιείται για να εντοπίσει τη γεωγραφική τοποθεσία του δέκτη ενός χρήστη οπουδήποτε στον κόσμο. Υπάρχουν δύο λειτουργικά συστήματα GNSS (GPS και GLONASS) και είναι υπό εξέλιξη άλλα δύο (Galileo και BeiDou).

4.1. Αρχές λειτουργίας και σφάλματα έναντι των drones

Ο εντοπισμός γεωγραφικής θέσης με τη χρήση δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης βασίζεται στην ικανότητα μέτρησης του χρόνου που απαιτείται για τη μετακίνηση ενός σήματος από το δορυφόρο στον δέκτη. Τα ραδιοσήματα ταξιδεύουν με την ταχύτητα του φωτός, η οποία είναι σταθερή, οπότε αν γνωρίζουμε το χρόνο ταξιδιού, τότε μπορούμε να προσδιορίσουμε την απόσταση μεταξύ του δορυφόρου και του δέκτη. Δεδομένου ότι η θέση των δορυφόρων είναι πάντα γνωστή, λόγω της συνεχούς παρακολούθησης δορυφορικών τροχιών, η θέση του δέκτη του χρήστη μπορεί να υπολογιστεί, εάν ο δέκτης λαμβάνει σήματα από τουλάχιστον τέσσερις δορυφόρους.

Κάθε δορυφόρος πλοήγησης μεταδίδει συνεχώς τη θέση του μαζί με δεδομένα χρόνου σε δύο συχνότητες (L1 και L2). Η ζώνη L1 φέρει δύο κωδικούς, τον κωδικό coarse acquisition (C/A) και τον κωδικό ακρίβειας (P). Το σήμα C/A ονομάζεται επίσης «φάση κώδικα» ή «υπηρεσία εντοπισμού θέσης» (SPS) και είναι το κύριο σήμα που χρησιμοποιείται. Το σήμα P αναφέρεται επίσης ως «υπηρεσία εντοπισμού ακριβούς θέσης». Η ζώνη L2 φέρει μόνο τον κωδικό P. Τόσο τα σήματα C/A όσο και P έχουν ψηφιακό κωδικό αναφοράς χρόνου που αναφέρεται ως ψευδο-τυχαίος κώδικας. Οι δέκτες περιέχουν ένα ημερολόγιο των ψευδο-τυχαίων κωδικών που παράγονται από τους δορυφόρους και του χρόνου που παράγονται. Όταν ένας δέκτης υποκλέπτει τον ψηφιακό κώδικα από έναν δορυφόρο, μπορεί να συγκρίνει το ψηφιακό σήμα με το ημερολόγιο του για να καθορίσει πότε δημιουργήθηκε το σήμα. Ο χρόνος ταξιδιού είναι η διαφορά μεταξύ του χρόνου υποκλοπής του σήματος και του χρόνου που δημιουργήθηκε (Σχήμα 9). Η διαφορά μεταξύ του κωδικού C/A και P είναι στην ανάλυση του κώδικα και ως εκ τούτου, στη χρονική ακρίβεια και τον προσδιορισμό της απόστασης. Οι δορυφόροι μεταδίδουν επίσης γενικές πληροφορίες σε «φάση φορέα». Τα σήματα

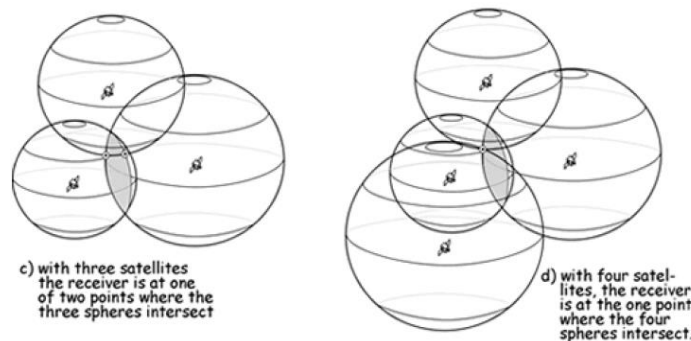
φάσης φορέα μεταδίδονται τόσο στη ζώνη L1 όσο και στην L2 σε πολύ υψηλότερη συχνότητα από τη φάση του κώδικα. Η υψηλότερη συχνότητα επιτρέπει μια ακριβέστερη μέτρηση του εύρους μεταξύ του δορυφόρου και του δέκτη. Ωστόσο, η φάση φορέα δεν περιλαμβάνει χρονική αναφορά όπως η φάση κώδικα. Αυτό καθιστά την ερμηνεία του σήματος επιρρεπή σε «ολίσθηση κύκλου». Για να ελαχιστοποιήσουν αυτό το φαινόμενο, οι δέκτες φάσης φορέα χρησιμοποιούν τον κωδικό C/A για να παρέχουν μια πρόχειρη εκτίμηση και το σήμα φάσης φορέα για τη βελτίωση αυτής της εκτίμησης. Μόνο οι προηγμένες μονάδες GNSS είναι σε θέση να ερμηνεύσουν το σήμα «φάση φορέα».



Το κωδικοποιημένο σήμα που στέλνει ο δορυφόρος τη στιγμή t_0 , μπορεί να ταιριάζει με το κωδικοποιημένο σήμα που λαμβάνει ο δέκτης τη στιγμή t_1 .

Η εμβέλεια του σήματος (απόσταση από το δορυφόρο) υπολογίζεται ως εξής: $d = \text{ταχύτητα φωτός} * (t_1 - t_0)$.

Αν ένας δέκτης GNSS επικοινωνεί με τρεις δορυφόρους, βρίσκεται δηλαδή σε συγκεκριμένη απόσταση από τον κάθε δορυφόρο, τότε η θέση του θα πρέπει να είναι στη διασταύρωση της απόστασης των τριών σφαιρών που σχηματίζει μαζί τους. Αυτό δίνει δύο πιθανές τοποθεσίες (σχήμα 10), με μία από τις δύο να είναι ρεαλιστική. Αν παρακολουθείται ένας τέταρτος δορυφόρος, τότε μπορούν να ληφθούν υπόψη σφάλματα που σχετίζονται με το χρονοδιάγραμμα και να βρεθεί μια ακριβέστερη τοποθεσία. Οι περισσότεροι δέκτες δε θα δώσουν ένδειξη αν πρώτα δεν υπάρξει ταυτόχρονη παρακολούθηση τεσσάρων δορυφόρων.



Σχήμα 6. Η επίδραση του αριθμού των δορυφόρων που επικοινωνούν με ένα δέκτη GPS στην εύρεση της ακριβούς τοποθεσίας (Leonard and Philip, 2006)

Αριστερά: με τρεις δορυφόρους, ο δέκτης είναι σε ένα από τα δύο σημεία που οι τρεις σφαίρες αλληλοεπιδρούν.

Δεξιά: με τέσσερις δορυφόρους, ο δέκτης είναι στο μοναδικό σημείο τομής των τεσσάρων δορυφόρων.

Τα παγκόσμια συστήματα πλοήγησης αποτελούνται από τα εξής τρία τμήματα: το διαστημικό τμήμα, το επίγειο τμήμα ελέγχου και το τμήμα τελικού χρήστη.

- Spatial segment

- Control segment

- User segment



Το διαφορικό παγκόσμιο σύστημα πλοήγησης (DGNSS) είναι ένα εμπλουτισμένο σύστημα πλοήγησης που βασίζεται στην βελτίωση της ακρίβειας του δέκτη του χρήστη (ή ενός δέκτη rover) μέσω διαφορικών πληροφοριών ή διορθώσεων που λαμβάνονται από ένα σταθμό αναφοράς GNSS ή από ένα δίκτυο αυτών των σταθμών. Αυτό συμβάλει στην εξάλειψη ή τον περιορισμό των σφαλμάτων ανάμεσα στους δορυφόρους και στους δέκτες λόγω των μετρήσεων φέρουσας φάσης διπλής συχνότητας και της εφαρμογής επεξεργασίας διπλής διαφοράς. Στο διαφορικό παγκόσμιο σύστημα πλοήγησης, εκμεταλλευόμαστε το γεγονός ότι γνωρίζουμε την ακριβή τοποθεσία του σταθμού αναφοράς. Με αυτό τον τρόπο, είναι πιθανό να βρούμε τις αποκλίσεις ανάμεσα στην εκτιμώμενη και στην πραγματική θέση και κατά συνέπεια να προβούμε στις απαραίτητες διορθώσεις στα ψευδο-εύρη GNSS του κάθε δορυφόρου. Τέτοιες διορθώσεις είναι χρήσιμες για τη βελτίωση της θέσης του δέκτη του χρήστη.

Χρησιμοποιώντας έναν βασικό δέκτη με γνωστές συντεταγμένες, το σύστημα κινηματικού προσδιορισμού θέσης σε πραγματικό χρόνο (RTK- Real Time Kinematic positioning) αποτελείται από ένα δέκτη χρήστη και έναν σύνδεσμο επικοινωνίας για τη λήψη και χρήση δορυφορικών μετρήσεων για την πραγματοποίηση των αντίστοιχων διαφορών και την απόκτηση εκατοστών. Εκτός από την ποιότητα του σήματος (C/A έναντι P έναντι φορέα) το σφάλμα στη γεωγραφική θέση που υπολογίζεται από έναν δέκτη μπορεί να επηρεαστεί από μία ή περισσότερες από τις ακόλουθες πηγές σφάλματος:

Σφάλματα δορυφόρου: Σφάλματα στο συγχρονισμό των ρολογιών του δορυφόρου ή σφάλματα στην μεταδιδόμενη θέση του δορυφόρου.

Σφάλματα δέκτη: Η ικανότητα του δέκτη ενός GPS και του σχετικού λογισμικού να αντιμετωπίσουν το θερμικό και ηλεκτρονικό θόρυβο από εξωτερικές πηγές όπως οι κινητήρες, θα επηρεάσει την ακρίβεια με την οποία ο δέκτης μπορεί να εντοπίσει την τοποθεσία του ίδιου του δέκτη.

Σφάλματα ατμόσφαιρας: Για να φτάσει το σήμα σε έναν δέκτη GPS, το δορυφορικό σήμα πρέπει να περάσει μέσα από την ατμόσφαιρα της γης και, συγκεκριμένα, μέσα από την ιονόσφαιρα και την τροπόσφαιρα που υποβαθμίζουν/ επιβραδύνουν την ταχύτητα του σήματος.

Σφάλματα πολλαπλών διαδρομών: Τα σφάλματα αυτά συμβαίνουν όταν η κεραία του GPS λαμβάνει σήματα από μία δευτερεύουσα πηγή όπως υπόστεγα ή σιλό. Το γεγονός αυτό επιμηκύνει το χρόνο ταξιδιού του σήματος και δημιουργεί σφάλματα στον προσδιορισμό της απόστασης. Τα σφάλματα πολλαπλών διαδρομών μπορούν να περιοριστούν με την τοποθέτηση κεραιών μακριά από κτίρια και τη λειτουργία κινητών συστημάτων μακριά από μεγάλες κατασκευές.

Σφάλματα λόγω μη σταθερής τάσης ανά τον κόσμο: Στην Αυστραλία, οι τάσεις είναι σε βορειοανατολική κατεύθυνση 7εκ κάθε χρόνο. Ένας σταθερός σταθμός DGPS απαιτείται ώστε να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα και να διασφαλιστεί η επαναληψιμότητα από τη μια εποχή στην επόμενη με ακρίβεια ± 2 εκ.

Γεωμετρία του δορυφόρου: Η ακρίβεια της γεωγραφικής θέσης είναι επίσης συνάρτηση της γεωμετρίας των δορυφόρων που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της θέσης. Η βέλτιστη γεωμετρία επιτυγχάνεται όταν ο ένας δορυφόρος είναι ακριβώς από πάνω και οι άλλοι τρεις δορυφόροι είναι ομοιόμορφα απλωμένοι. Καθώς οι δορυφόροι περιστρέφονται γύρω από τη γη, η γεωμετρία τους σε σχέση με ένα δέκτη ποικίλει όπως επίσης ποικίλει και η εξάλειψη των σφαλμάτων θέσης. Αυτή είναι η κύρια αιτία καθημερινής διακύμανσης στην ακρίβεια εντοπισμού της γεωγραφικής θέσης η οποία μπορεί να διευθετηθεί αν οι δέκτες έχουν πάνω από δώδεκα κανάλια παρακολούθησης.

4.2. Δέκτες και ακρίβεια

Υπάρχουν διάφοροι τύποι δεκτών παγκόσμιου συστήματος πλοήγησης (GNSS) που χρησιμοποιούνται στη γεωργία. Αναλυτικά:

Αυτόνομοι δέκτες GNSS: Είναι γνωστοί ως κλασικοί δέκτες συστήματος θέσης (SPS- Standard Position System) και λειτουργούν χρησιμοποιώντας μόνο τον βασικό κωδικό C/A στη ζώνη L1 από τους δορυφόρους πλοήγησης. Είναι οι φθηνότεροι διαθέσιμοι δέκτες καθώς δεν υπάρχει πρόσθετο διορθωτικό σήμα ή σύμπλεγμα κυκλωμάτων για τη χρήση του κώδικα P ή της φάσης του φορέα. Οι δέκτες SPS, είναι οι λιγότερο ακριβείς στον εντοπισμό της γεωγραφικής θέσης (συνήθως $\pm 5\mu$ αλλά μπορεί να είναι και περισσότερο) σε σχέση με τους υπόλοιπους δέκτες που κυκλοφορούν στην αγορά.

Δέκτες διαφορικής διόρθωσης: Το σφάλμα σε ένα σήμα GNSS μπορεί να εντοπιστεί από την καταγραφή του σήματος σε μία συγκεκριμένη περιοχή η οποία έχει ελεγχθεί. Το φυσικό σφάλμα μπορεί να καθοριστεί μέσω της σύγκρισης της θέσης του δέκτη GNSS με την ελεγχθείσα περιοχή. Το διαφορικό GNSS εκμεταλλεύεται αυτό το λάθος για να διορθώσει τη γεωγραφική θέση μέσω SPS. Η διόρθωση καταγράφεται ανεξάρτητα και ο προσδιορισμός της θέσης διορθώνεται σε πραγματικό χρόνο ή αργότερα (μετά την επεξεργασία).

DGNSS ή DGPS σε πραγματικό χρόνο: Αυτά απαιτούν δύο κεραίες: μία για να συλλέξουν τον κωδικό C/A για τον προσδιορισμό της γεωγραφικής θέσης και μία δεύτερη για να λάβει ένα διορθωτικό συντελεστή για να βελτιώσει την ακρίβεια της τοποθεσίας. Για τη διόρθωση του σήματος, υπάρχουν διαθέσιμες διάφορες πηγές όπως για παράδειγμα μέσω ενός τοπικού σταθμού βάσης, ενός φάρου ή ένα δίκτυο ευρύτερης περιοχής (WADGPS). Αυτοί οι δέκτες GNSS τείνουν να είναι πιο ακριβοί από τους αυτόνομους δέκτες καθώς απαιτούν επιπλέον εξαρτήματα για την αποδοχή του διορθωτικού σήματος και την ενημέρωση της γεωγραφικής θέσης.

Δέκτες φάσης φορέα: οι δέκτες αυτοί χρησιμοποιούν την αλλαγή φάσης του σήματος φορέα πληροφοριών μεταξύ της διάδοσης από το δορυφόρο και της λήψης από το χρήστη. Η μέθοδος αυτή προσφέρει δυνητικά μεγαλύτερη ακρίβεια (σε επίπεδο εκατοστού), απαιτεί όμως πιο ακριβούς δέκτες. Τα συστήματα φορέων φάσεων μπορεί να είναι είτε απλής συχνότητας (πρόσβαση μόνο στα σήματα της ζώνης L1) ή διπλής συχνότητας (πρόσβαση τόσο σε σήματα ζώνης L1 όσο και σε σήματα ζώνης L2). Οι δέκτες διπλής συχνότητας έχουν το πλεονέκτημα του γρηγορότερου τρόπου απόκτησης. Πολλοί δέκτες μπορούν να έχουν πρόσβαση στο GLONASS καθώς επίσης και σε δορυφόρους GPS όπου κριθεί αναγκαίο. Εάν χρησιμοποιείται τοπικός σταθμός βάσης και η διόρθωση

υπολογίζεται και μεταδίδεται μέσω ραδιοπομπού, τότε το σύστημα λέγεται ότι λειτουργεί σε κατάσταση κινηματικού προσδιορισμού θέσης σε πραγματικό χρόνο (RTK).

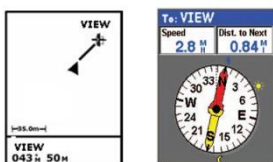
4.3. Εφαρμογές στη γεωργία (μελέτες περίπτωσης)

Χρήσεις των GNSS στη γεωργία ακριβείας

- 1) Καθοδήγηση σημείου
- 2) Μέτρηση αγροτεμαχίου
- 3) Τοπογραφική χαρτογράφηση
- 4) Εφαρμοστές μεταβλητού ποσοστού (αεροψεκασμός και λίπασμα)
- 5) Χαρτογράφηση απόδοσης
- 6) GNSS σε τρακτέρ - Υποβοηθούμενο σύστημα διεύθυνσης
- 7) Απομακρυσμένη γεωργική ανίχνευση

1) Καθοδήγηση σημείου

- The target point is selected on map screen.
- The target position is highlighted.
- A cursor location indicates present position
- The GNSS navigation compass provides guidance to target.



Το σημείο στόχος επιλέγεται στο χάρτη οθόνης και επισημαίνεται η τοποθεσία του στόχου. Ένας κέρσορας δείχνει την παρούσα τοποθεσία και η πυξίδα του συστήματος πλοήγησης GNSS καθοδηγεί προς το σημείο αυτό.

2) Μέτρηση αγροτεμαχίου

- Χρήση μονάδας GNSS σε όλη την έκταση του χωραφίου
- Εκτίμηση της περιμέτρου και της περιοχής
- Επιτρεπτά όρια = περίμετρος * 1,25μ (JRC Technical Guidance Document)
- Σφάλμα = (πραγματική περιοχή - μετρηθείσα περιοχή) / περίμετρο [$<1,25\mu$]
- Η απόδοση βελτιώνεται σημαντικά με το EGNOS που σημαίνει σημαντικά καλύτερη εκτίμηση της περιοχής.

3) Τοπογραφική χαρτογράφηση

- Ξεκινά με τη συλλογή χωρικών δεδομένων με δεδομένα ύψους από ένα σύστημα RTK GNSS (με οριζόντια ακρίβεια εντός 2εκ) (σχήμα 17)
- Μόλις γίνει η συλλογή των δεδομένων, το λογισμικό αναλύει τα δεδομένα για τη δημιουργία χαρτών περιγράμματος, υψομέτρου, κλίσης και όψεων
- Τα τοπογραφικά δεδομένα συλλέγονται σε τακτά χρονικά διαστήματα οδηγώντας ένα τρακτέρ και ενώ παράλληλα εκτελούνται γεωργικές εργασίες. Η μονάδα GNSS καταγράφει δεδομένα κάθε 5-10 λεπτά.
- Όσο πιο στενό είναι το πλάτος των αυλακιών τόσο το καλύτερο καθώς συλλέγονται περισσότερα δεδομένα για το σχεδιασμό πιο λεπτομερών τοπογραφικών χαρτών.



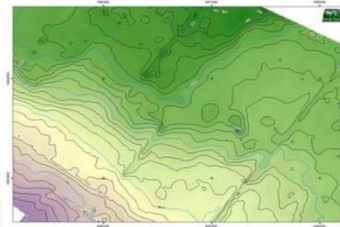
RTK GPS Mounted in a 4WD Vehicle



Εικόνα 8. Σύστημα RTK GPS που έχει τοποθετηθεί σε όχημα για τη μέτρηση του αγροτεμαχίου (Salem, 2007)



Point Data Surveyed by GNSS RTK



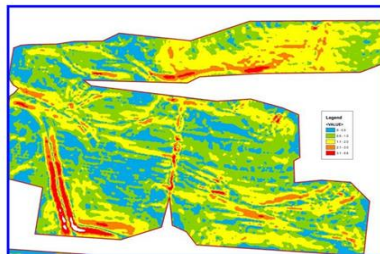
DEM After Analysis

Σχήμα 7. Δεδομένα σημείου μέσω GNSS RTK και ανάλυση ψηφιακού μοντέλου υψομέτρου (Salem, 2007)

Πλεονεκτήματα τοπογραφικών χαρτών:

Χρήσιμοι για το σχεδιασμό του περιγράμματος του αγροκτήματος:

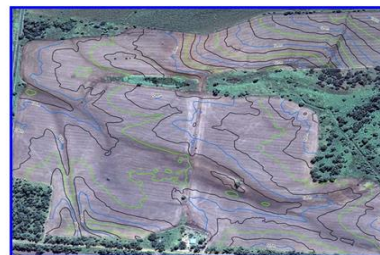
- Μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας λειτουργίας του αγροκτήματος
- Έλεγχος της διάβρωσης και
- Ελαχιστοποίηση του κορεσμού του εδάφους με νερό.

**Slope Map:**

Blue represents areas of very low slope ($< 0.5\%$); which maybe prone to water logging.

Red represents areas of higher (steeper) slope, which have higher susceptibility to erosion.

Contour lines laid over satellite imagery.
This shows slopes and surface water flows; an extremely useful planning and layout design tool.



Σχήμα 8. Χάρτες που προέκυψαν από τοπογραφική χαρτογράφηση (Salem, 2007)

Στο πρώτο σχήμα βλέπουμε ένα χάρτη με την κλίση της επιφάνειας. Οι περιοχές πολύ μικρής κλίσης ($< 0,5\%$) μπορεί να είναι επιρρεπείς σε υπερχειλίση νερού (μπλε περιοχές στο χάρτη). Οι περιοχές με μεγαλύτερη και πιο απότομη κλίση (κόκκινες περιοχές στο χάρτη) έχουν μεγαλύτερη ευαισθησία στη διάβρωση.

Στο δεύτερο σχήμα βλέπουμε γραμμές περιγράμματος όπως αποτυπώνονται σε εικόνες δορυφόρου. Δείχνει τις κλίσεις και τις υδάτινες ροές. Αποτελεί ένα εξαιρετικά χρήσιμο εργαλείο προγραμματισμού και σχεδίασης.

4) Εφαρμοστές μεταβλητού ποσοστού

- Επιτρέπουν στους αγρότες να περιποιούνται μόνο τις πληγείσες περιοχές

- GNSS είναι αναγκαίο καθώς ο εξοπλισμός πρέπει να γνωρίζει που πρέπει να αλλάξει το ποσοστό των εισροών
- Υπολογίζει το επιθυμητό ποσό χημικών που πρέπει να εφαρμοστεί σε κάθε χρονική στιγμή.
- Ένα σύστημα GNSS πρέπει να χρησιμοποιείται για τη συνεχή συσχέτιση της τοποθεσίας του χωραφιού με μια συντεταγμένη του χάρτη και της επιθυμητής εφαρμογής μεταβλητού ποσοστού για τη συντεταγμένη αυτή.
- Στην ουσία, οι περισσότεροι ελεγκτές μεταβλητού ρυθμού προσπαθούν να συγχρονίσουν το ρυθμό εφαρμογής με τη θέση στο πεδίο κοιτάζοντας για την επόμενη αλλαγή στο ρυθμό. Αυτό λαμβάνει υπόψη το χρόνο που απαιτείται για την αλλαγή της ταχύτητας καθώς και την ταχύτητα του τρακτέρ.

5) Χαρτογράφηση απόδοσης

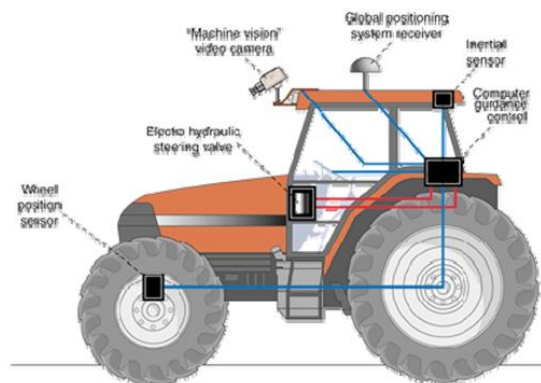
- Παραδοσιακά, οι γεωργοί είχαν ένα μέσο αριθμό υπόψη σχετικά με την απόδοση της γεωργικής τους καλλιέργειας.
- Η μέση απόδοση καλύπτει τη μεταβλητότητα στην απόδοση που υπάρχει σε ένα χωράφι.
- Ένας χάρτης απόδοσης αξιολογεί την παραγωγή του χωραφιού και πώς μπορεί αυτή να ποικίλει χωρικά σε ένα πεδίο.
- Επιτρέπει σε έναν παραγωγό να αναζητήσει γιατί συγκεκριμένες περιοχές είχαν την παραγωγή που είχαν.

Δύο σημαντικές πληροφορίες απορρέουν από το χάρτη απόδοσης:

- **Μεταβλητότητα απόδοσης:**
 - απεικονίζεται σε ένα χάρτη με ένα σύνολο χρωμάτων όπου το κάθε χρώμα αντιπροσωπεύει ένα εύρος της απόδοσης
 - Ο χάρτης θα μας υποδείξει πώς να διαβάσουμε τη διακύμανση της απόδοσης.
 - Υπάρχει έλλειψη της μεταβλητότητας απόδοσης όταν σε ένα χάρτη κυριαρχεί κυρίως ένα χρώμα.
- **Παραγωγή απόδοσης:**
 - Υποδεικνύεται από το σχετικό μέγεθος των περιοχών χαμηλής και υψηλής απόδοσης
 - Η επικράτηση ενός χρώματος σε ένα χάρτη υποδεικνύει αν η απόδοση σε ένα χωράφι είναι υψηλή ή χαμηλή.
 - Περιοχές με χαμηλή παραγωγή μπορεί να υποδείξουν προβλήματα στα επίπεδα θρεπτικών συστατικών του χώματος, στο νερό και στην ύπαρξη παρασίτων.

6) GNSS Assisted Steering

- Οι γεωργοί καταγράφουν τις πορείες που ακολουθούν με τη χρήση ενός καταγραφικού συστήματος GNSS ενώ οργώνουν τα χωράφια τους
- Το τρακτέρ μπορεί να προγραμματιστεί να ακολουθήσει την ίδια πορεία για την καλλιέργεια, το λίπασμα, τον έλεγχο των παρασίτων και τη συγκομιδή.



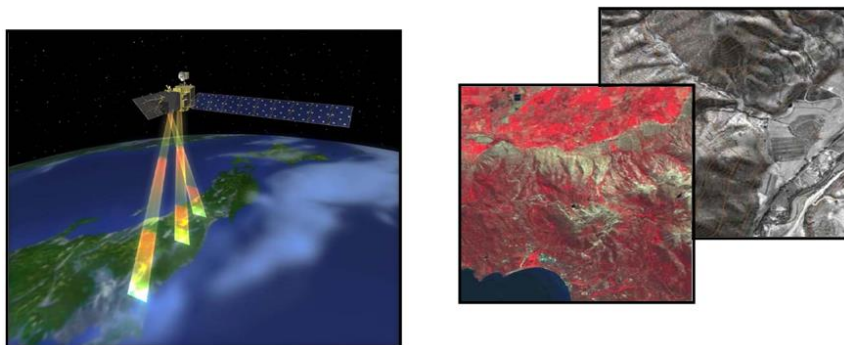
The Wired Tractor



Hands-Free GNSS Assisted Steering

7) Απομακρυσμένη ανίχνευση - τηλεπισκόπηση

- Τηλεπισκόπηση = παρακολούθηση των χωραφιών χωρίς τη φυσική παρουσία μέσω της χρήσης απομακρυσμένων εικόνων που το σημείο λήψης αυτών είναι ένα σημείο πολύ πιο ψηλά από το χωράφι (εικόνα μέσω δορυφόρου ή αεροσκάφους)



Εικόνα 9. Γεωργική τηλεπισκόπηση, παρακολούθηση χωραφιών μέσω δορυφόρων (Salem, 2007)

5.Εμπορικοί αισθητήρες για τη γεωργία ακριβείας

5.1. Ανίχνευση καλλιέργειας

Οι αισθητήρες καλλιέργειας δίνουν στους αγρότες γρήγορες, αντικειμενικές, ποσοτικές και ακριβείς μετρήσεις οι οποίες είναι δύσκολο αν όχι αδύνατο, να αποκτηθούν με οποιοδήποτε άλλο τρόπο. Όσο αφορά την απόσταση ανάμεσα στο δέκτη και το στόχο, οι τεχνικές ανίχνευσης μπορούν να ταξινομηθούν ως εγγύς ή τηλεπισκόπηση. Τεχνικά, μια απομακρυσμένη μέτρηση είναι κάθε μέτρηση που αποκτάται χωρίς να έρθουμε σε επαφή με το αντικείμενο που θέλουμε να μετρήσουμε. Ωστόσο, είναι κοινά αποδεκτό στη γεωργία ακριβείας ότι οι εγγύς τεχνικές είναι αυτές που χρησιμοποιούνται για μετρήσεις εδάφους. Ως εκ τούτου, κάθε μέτρηση που αποκτάται μέσω drone, αεροσκαφών ή δορυφόρων θεωρείται ως απομακρυσμένη ανίχνευση. Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των δύο τεχνικών φαίνονται στον πίνακα 4.

Πίνακας 6. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των εγγύς τεχνικών ανίχνευσης και της τηλεπισκόπησης

PROXIMAL SENSING	REMOTE SENSING
+ Usually very high spatial resolution + Simpler technologies + Possibility of using multiple sensors at a time + On-the-go derived operation capabilities	+ No contact with the crop or soil + Large scale measurements (field, farm or region) + Instantaneous (single-shot) measurements keeping environmental conditions all the same
- Need to step on the field - Small scale measurements - Longer acquisition times (resulting in different environmental conditions)	- Usually lower spatial resolution - Usually more expensive techniques - More meteorology dependent - Need for atmospheric corrections when using satellites

Εγγύς ανίχνευση

Θετικά: συνήθως πολύ υψηλή χωρική ανάλυση, πιο απλές τεχνολογίες, πιθανότητα χρήσης πολλαπλών αισθητήρων κάθε φορά, δυνατότητες λειτουργίας που προκύπτουν καθ' οδόν.

Αρνητικά: πρέπει να είναι ο αγρότης στο χωράφι, μετρήσεις μικρής κλίμακας, ο χρόνος απόκτησης των δεδομένων απαιτεί περισσότερο χρόνο (γεγονός που οδηγεί σε διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες)

Τηλεπισκόπηση

Θετικά: καμία επαφή με την καλλιέργεια και το έδαφος, μετρήσεις υψηλής κλίμακας (χωράφι, αγρόκτημα ή περιοχή), στιγμιαίες μετρήσεις διατηρούν τις ίδιες περιβαλλοντικές συνθήκες

Αρνητικά: συνήθως χαμηλότερη χωρική ανάλυση, περισσότερο ακριβές τεχνικές, μεγαλύτερη εξάρτηση από τις μετεωρολογικές συνθήκες, ανάγκη για ατμοσφαιρικές διορθώσεις κατά τη χρήση δορυφόρων

Όσο αφορά τη χωρική ανάλυση των μετρήσεων, μερικά συστήματα εγγύς ανίχνευσης (αισθητήρες και καταγραφείς δεδομένων) μπορούν να λάβουν μετρήσεις μόνο από ένα μέρος. Ο λόγος μπορεί να είναι είτε ότι ο αισθητήρας χρειάζεται κάποια ειδική ρύθμιση είτε χρειάζεται να ενεργοποιηθεί χειροκίνητα. Άλλοι αισθητήρες μπορούν να λαμβάνουν συνεχείς μετρήσεις χωρίς ειδικές απαιτήσεις. Το μόνο που χρειάζονται είναι να μετακινούνται στο χωράφι ενώ καταγράφουν το σήμα και τις συντεταγμένες ενός δέκτη GNSS για τη γεω-αναφορά των μετρήσεων. Οι τελευταίες αναφέρονται ως εν κινήσει τεχνικές ανίχνευσης.

Όταν οι αισθητήρες είναι σταθεροί σε ένα χωράφι, όπως για παράδειγμα θαμμένοι αισθητήρες υγρασίας χώματος ή αισθητήρες που είναι συνδεδεμένοι στα φρούτα, μπορούν να παρέχουν στους αγρότες δεδομένα υψηλής χρονικής ανάλυσης. Η χωρική ανάλυση είναι πολύ χαμηλή μιας και εξαρτάται άμεσα από τον αριθμό των αισθητήρων που υπάρχουν στο χωράφι. Συχνά, υπάρχουν πολύ λίγοι αισθητήρες ανά εκτάριο πράγμα το οποίο ανάγει την τοποθέτηση των αισθητήρων σε ένα πολύ σημαντικό παράγοντα που πρέπει να εξεταστεί εκ των προτέρων. Αυτοί οι τύποι αισθητήρων συνδέονται συνήθως ασύρματα, τα αποκαλούμενα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSN - Wireless Sensor Networks).

5.2. Χαρακτηρισμός φυλλώματος και βιομάζας

Η οπτική ανίχνευση χρησιμοποιείται κυρίως για τη μέτρηση της μεταβλητότητας στο χώμα και τη βλάστηση. Η οπτική απεικόνιση χρησιμοποιεί τα ορατά, κοντά στον υπέρυθρο (NIR) και θερμικά τμήματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Στη γεωργία ακριβείας, η τηλεπισκόπηση χρησιμοποιείται κυρίως στη λεπτομερή παρακολούθηση της καλλιέργειας μέσω υπολογισμού των δεικτών βλάστησης (VI-Vegetation Index). Ο πιο γνωστός δείκτης είναι ο δείκτης βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς (NDVI - Normalized Difference Vegetation Index) που χρησιμοποιεί τη διαφορά της ανάκλασης στο κοντινό υπέρυθρο και στο κόκκινο.

Η ταξινόμηση των αισθητήρων μπορεί να γίνει σύμφωνα με το χαρακτηρισμό της βλάστησης:

- Crop sensors:
 - Detection and ranging (optical and ultrasonic)
 - For crop detection
 - For crop/canopy characterization
 - Radiometric
 - RGB detection
 - Indices for biomass estimation (and vigour and health status)
 - Other

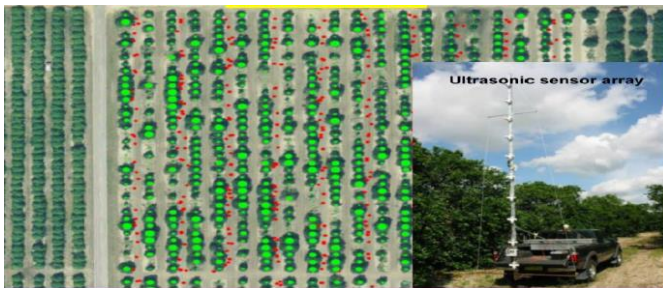
Αισθητήρες καλλιέργειας:

-για ανίχνευση και κατάταξη (οπτική και υπερϊώδης): για την ανίχνευση των καλλιεργειών και το χαρακτηρισμό αυτών

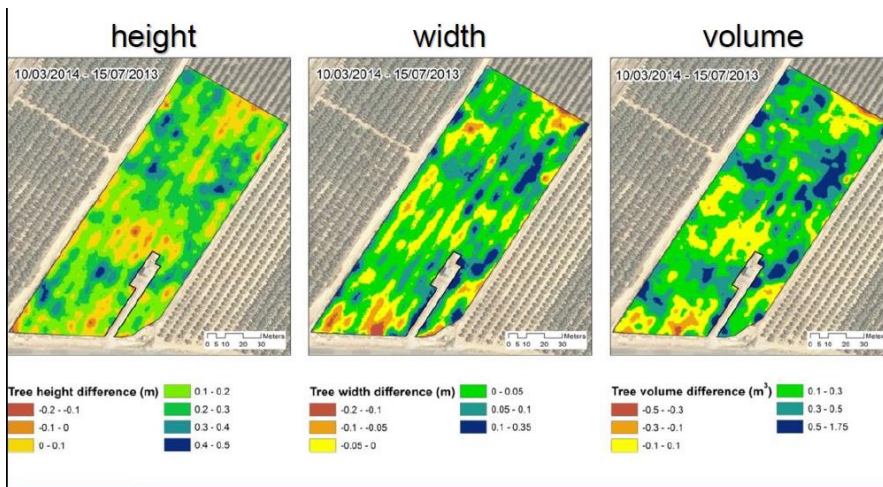
-ραδιομετρικοί: ανίχνευση RGB, δείκτες για την εκτίμηση της βιομάζας καθώς και της κατάστασης της υγείας της καλλιέργειας

-άλλοι

Ανίχνευση και κυμαινόμενες καλλιέργειες (οπτικά και με υπέρηχο) (CIHEAM, 2016)

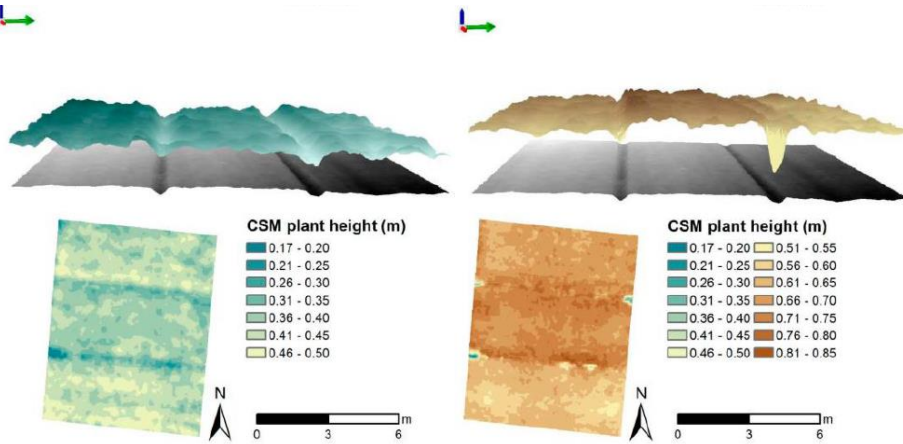


LIDAR – Χάρτης ανάπτυξης φυλλώματος για παραμέτρους των δέντρων (CIHEAM, 2016)



Ανίχνευση RGB μέσω drone για παραμέτρους φυτών όπως το ύψος, το πλάτος και ο όγκος (CIHEAM, 2016)

47



Εύρος μετρήσεων βιομάζας βάσει ραδιομετρικές ενδείξεις που χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρηση της υγείας των φυτών

Οι αισθητήρες που μετρούν την ανάκλαση των καλλιεργειών μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με την πλατφόρμα. Οι οπτικοί αισθητήρες εδάφους μπορούν να συλλέξουν δεδομένα ανάκλασης και να τα αποθηκεύσουν σε ένα αρχείο κειμένου. Οι αισθητήρες εδάφους μπορούν επίσης να διαχωριστούν σε ενεργούς και παθητικούς. Η βασική τους διαφορά είναι ότι οι παθητικοί αισθητήρες χρειάζονται μια εξωτερική πηγή φωτός όπως ο ήλιος. Οι ενεργοί αισθητήρες έχουν τη δική τους πηγή φωτός. Ακολουθεί μία λίστα από επώνυμες μάρκες αισθητήρων, η κάθε μία με τα χαρακτηριστικά κατασκευής της.

Crop Circle™



Manufacturer	Holland Scientific
Height of operation	0.25m to 2.5m
Field of view	Height x 0.6 (up to 8 sensors on CANbus)
View angle	nadir
Active light source	Model ACS-220: Yellow (560nm) or Red (650nm) & NIR (770nm) Model 270: 3 user-configurable bands (420 to 800nm)
Data output	Model ACS-220: band information and NDVI or YNDVI Model 270: band information and user-defined index
Calibrations	Crop biomass and nitrogen uptake

<http://hollandscientific.com/product/crop-circle-accs-430-active-crop-canopy-sensor/>

Greenseeker®



Manufacturer	Ntech Industries (Trimble)
Field of view	0.6m (multiple sensor capable)
Height of operation	0.8 – 1.2m above target
View angle	nadir
Active light source	Red (660nm) & NIR (770nm)
Data output	NDVI or four alternatives and nitrogen recommendation
Calibrations	Yield potential and nitrogen responsiveness – winter wheat, spring wheat, canola, corn, sorghum, cotton

<http://www.trimble.com/Agriculture/greenseeker.aspx>

Yara N Sensor® i Yara N Sensor ALS (Active Light Source)



http://www.sensoroffice.com/hp_home2/index.jsp

Manufacturer	Yara Fertilisers
Height of operation	Tractor cab height
Field of view	3m wide strip on each side of the tractor
View angle	oblique
Active light source	Red edge (730nm) and (760nm)
Data output	Biomass index and nitrogen recommendation
Calibrations	winter wheat, winter barley, spring wheat, spring barley, potatoes, protein in winter wheat

TOPCON CROPSPEC™



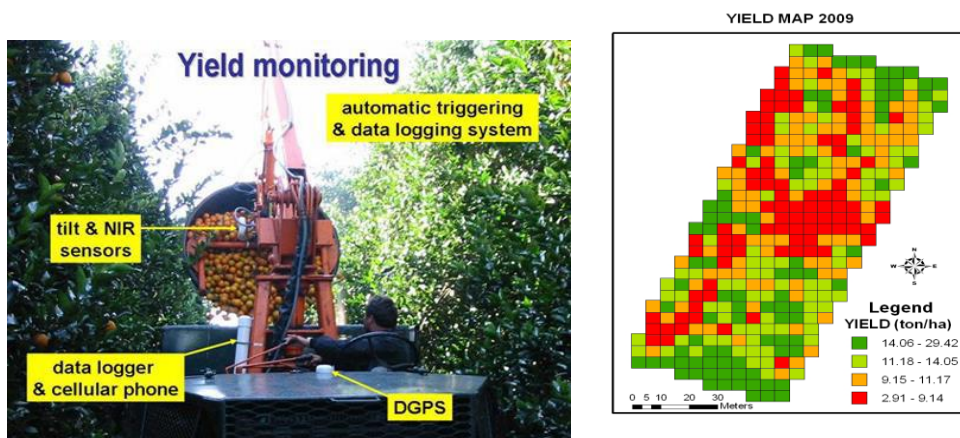
Manufacturer	Yara Fertilisers & TOPCON
Height of operation	Tractor cab height
Field of view	3m wide strip on each side of the tractor
View angle	oblique
Active light source	730-740 nm and 800-810 nm
Data output	Biomass Index and N recommendation
Calibrations	winter wheat, winter barley, spring wheat, spring barley, potatoes, protein in winter wheat

<http://ag.topconpositioning.com/ag-products/x20-application-kits/cropspec>

Χαρακτηριστικά	Crop Circle	Greenseeker	Yara N sensor	Topcon Cropspec
Κατασκευαστής	Holland Scientific	Ntech Industries	Yara Fertilizers	Yara Fertilizers and Topcon
Ύψος λειτουργίας	0,25 – 2,5μ	0,6μ (δυνατότητα πολλαπλών αισθητήρων)	Ύψος του τρακτέρ	Ύψος του τρακτέρ
Οπτικό πεδίο	Ύψος * 0,6 (έως 8 σένσορες στο CANbus)	0,8-1,2μ πάνω από το στόχο	3μ φαρδιάς λωρίδας σε κάθε πλευρά του τρακτέρ	3μ φαρδιάς λωρίδας σε κάθε πλευρά του τρακτέρ
Οπτική γωνία	Κατώτατο σημείο	Κατώτατο σημείο	πλάγια	πλάγια
Πηγή φωτός	Μοντέλο ACS-220: κίτρινο (560nm) ή κόκκινο (650nm) και NIR (770nm) Μοντέλο 270: 3 διαμορφώσιμες από το χρήστη ζώνες (420-800nm)	Κόκκινο (660nm) και NIR (770nm)	Κόκκινη γραμμή (730nm) και (760nm)	730-740nm και 800-810nm
Παραγόμενα δεδομένα	Μοντέλο ACS-220: πληροφορίες ζώνης και δείκτες NDVI και YNDVI	δείκτης NDVI ή 4 εναλλακτικές και συστάσεις για άζωτο	Δείκτης βιομάζας και συστάσεις για άζωτο	Δείκτης βιομάζας και συστάσεις για άζωτο
Βαθμονόμηση	Βιομάζα καλλιέργειας και πρόσληψη αζώτου	Δυναμική απόδοσης, απόκριση αζώτου στα σιτηρά χειμώνα και άνοιξης, κανόλα, καλαμπόκι, σόργο, βαμβάκι	σιτάρι, κριθάρι, πατάτες, πρωτεΐνη στο χειμερινό σιτάρι	σιτάρι, κριθάρι, πατάτες, πρωτεΐνη στο χειμερινό σιτάρι

5.3. Παρακολούθηση λουλουδιών και φρούτων

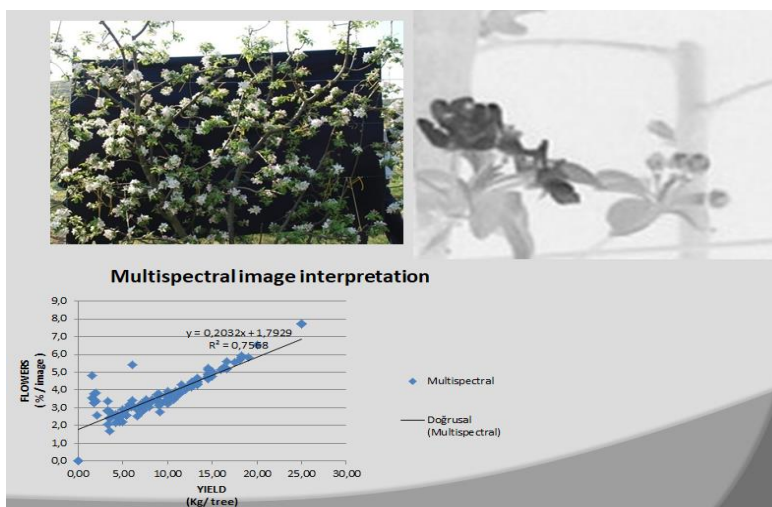
Η συλλογή των φρούτων έγινε με τη βοήθεια ενός συστήματος ζυγίσματος των παλετών με τους κάδους των φρούτων στη γεωργία ακριβείας. Οι κάδοι απομακρύνθηκαν με τη βοήθεια ενός υδραυλικού ανυψωτικού μηχανήματος, το οποίο χρησιμοποίησε κυψέλες για να τα ζυγίσει και ένα GPS για να καταγράψει την τοποθεσία. Με αυτή την προσέγγιση, παρατηρήθηκε μεταβλητότητα της απόδοσης σε 3,6 εκτάρια οπωρώνα. Στις περισσότερες καλλιέργειες, η ποσότητα αποτελεί ένα συστατικό της παραγωγής ενός χωραφιού. Η ποιότητα του προϊόντος είναι το δεύτερο συστατικό για τις καλλιέργειες των φρούτων. Η ποιότητα συνήθως περιλαμβάνει εξωτερικές παραμέτρους (μέγεθος, χρώμα, σχήμα, υφή της επιφάνειας και όγκος), εσωτερικές παραμέτρους (γλυκύτητα, οξύτητα ή ασθένειες) και τη φρεσκάδα (Σχήμα 21). Μπορούμε να ορίσουμε περιοχές που ωριμάζουν νωρίτερα ή αργότερα και να προχωρήσουμε σε ξεχωριστή συγκομιδή, αφήνοντας αυτά που δεν έχουν ωριμάσει να ωριμάσουν με μη καταστροφικές μεθόδους.



Εικόνα 10. Σύστημα χαρτογράφησης της απόδοσης σε οπωρώνες και οι αντίστοιχοι χάρτες απόδοσης (Gemtos, 2012)

Παρακολούθηση απόδοσης: αισθητήρες κλίσης και αισθητήρες NIR, αυτόματο έναυσμα και σύστημα συλλογής δεδομένων, DGPS, αποθήκευση δεδομένων και κινητό τηλέφωνο

Χρησιμοποιώντας την τηλεπισκόπηση βρέθηκε υψηλή συσχέτιση μεταξύ των χαρτών με τους δείκτες βλάστησης κοντά στην έναρξη ωρίμανσης των σταφυλιών και των χαρτών ποιότητας των σταφυλιών. Οι δείκτες βλάστησης υπολογίστηκαν από τη μετρηθείσα φυτική αντανάκλαση. Στη βιβλιογραφία αναφέρονται συσχετίσεις μεταξύ αυτών των δεικτών και της απόδοσης, της ποιότητας του προϊόντος, της κατάστασης του νερού ή της διαθεσιμότητας θρεπτικών ουσιών. Η αντανάκλαση του φωτός είναι αρκετά περίπλοκη και επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες που δεν καθιστούν ξεκάθαρη τη συσχέτιση αυτή σε πολλές περιπτώσεις. Παρατηρήθηκε υψηλή συσχέτιση μεταξύ χωρικής απόδοσης και χωρικής κατανομής των λουλουδιών στα μήλα (Liakos et al). Μπορούμε να προβλέψουμε την κατανομή της απόδοσης στον οπωρώνα και την τελική απόδοση με τη λήψη φωτογραφιών και την ανάλυση αυτών (Σχήμα 22).



Εικόνα 11. Πολυφασματική εικόνα λουλουδιών για την ερμηνεία της απόδοσης (Liakos et al., 2017)

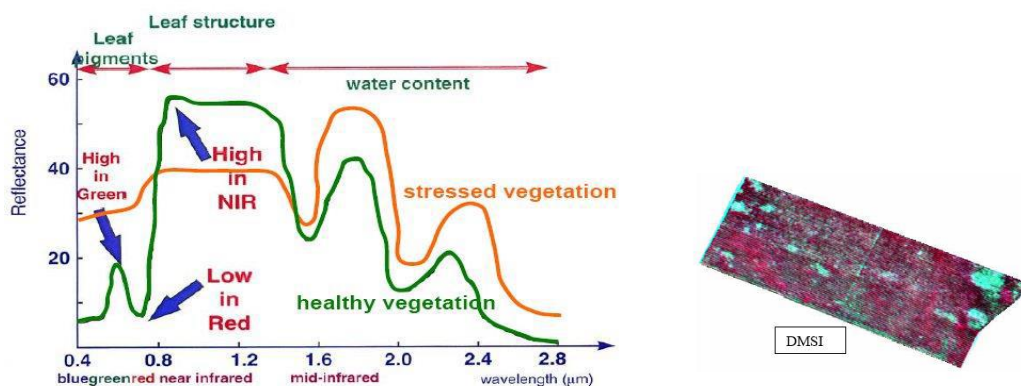
5.4. Ανίχνευση της υγείας της καλλιέργειας

Τα προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν σε ότι αφορά την υγεία της καλλιέργειας είναι τα εξής:

- Η ύπαρξη μόνο προληπτικών θεραπειών
- Η διάγνωση πιθανής ασθένειας πρέπει να γίνει πολύ νωρίς
- Υπάρχει δυσκολία στον προσδιορισμό συγκεκριμένων συμπτωμάτων
- Δεν υπάρχουν διαθέσιμοι συγκεκριμένοι αισθητήρες για την ανίχνευση ασθενειών. Ο φθορισμός είναι μία πιθανή ευκαιρία και δύναται να διερευνηθεί η υπερφασματική απεικόνιση.

Οι τρέχουσες λύσεις διατίθενται για ασθένειες σε καλλιέργειες πολλών ετών όπως η φυλλοξέρα (αμπέλι) και το φυτοπλάσμα.

Παρατήρηση σε μεγάλη κλίμακα (> χιλιάδες εκτάρια) για τον εντοπισμό πιθανής εμφάνισης νόσου.



Source: http://agrifish.jrc.it/marsstat/db_and_infrastructures/EVMI_remote_sensing_data.pdf

Τρέχουσες λύσεις μεγάλης κλίμακας για καλλιέργειες πολλών ετών

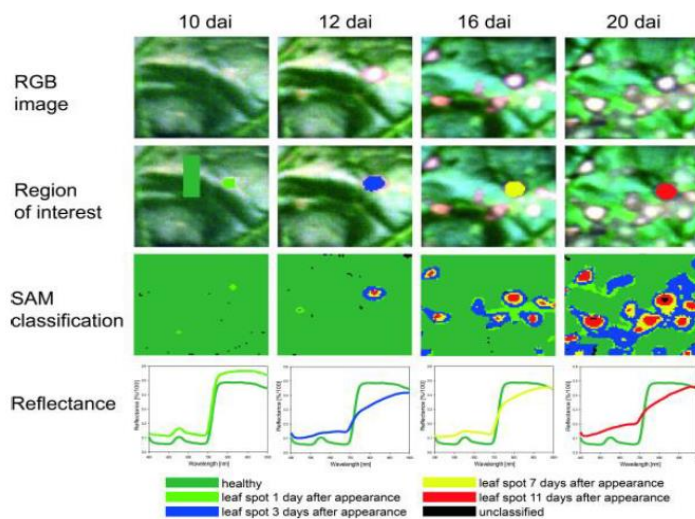
Παραδείγματα: από το 2001 λαμβάνονται ετησίως εναέριες εικόνες annual από το διοικητικό συμβούλιο της βιομηχανίας σταφυλιών της Νότιας Αυστραλίας - Αερομεταφερόμενες εικόνες NIR, ανάλυση 0.5-1m. - Ελέγχθηκε πάνω από το 90% του αμπελώνα

- 51 Αρχή:
- Επεξεργασία εικόνας (NDVI ή άλλος δείκτης βλάστησης),
 - Ανάλυση εικόνας από ειδικούς και σύνδεση με τη βάση δεδομένων του ιδιοκτήτη (το πιο δύσκολο)
 - Εντοπισμός πιθανών συμπτωμάτων για επιθεώρηση ground truth inspection

Πιθανές μελλοντικές λύσεις: Φθορισμός



Υπερφασματικό (υψηλή χωρική ανάλυση) – περίπτωση του ζαχαρότευτλου



(case of sugar beet)

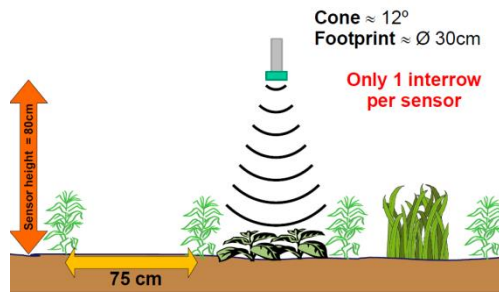
(Sources : Malhein et al., 2013)

5.5. Ανίχνευση και ταξινόμηση ζιζανίων

- Weed sensors:
 - Presence (optical and ultrasonic)
 - For weed detection and classification
 - Radiometric
 - For weed detection and classification

Αισθητήρες που ελέγχουν την παρουσία των ζιζανίων (οπτική και υπερήχους) και ραδιομετρικοί αισθητήρες για την ανίχνευση και κατηγοριοποίηση των ζιζανίων

Υπεριώδης ανίχνευση ζιζανίων και εμβέλεια (CIHEAM, 2016)



Ανίχνευση ζιζανίων με RGB (CIHEAM, 2016)

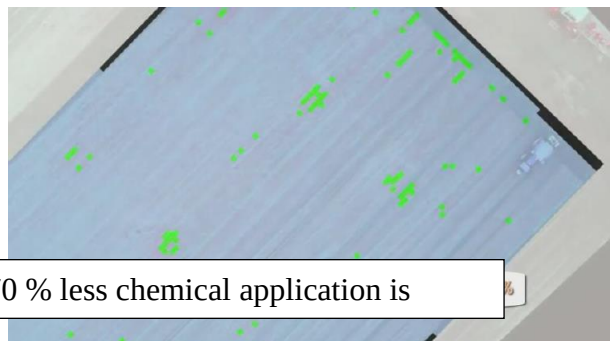


www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169911002602



<https://youtu.be/QUmE3WDYyLw>

Ανίχνευση ζιζανίων με RGB μέσω drone (CIHEAM, 2016)

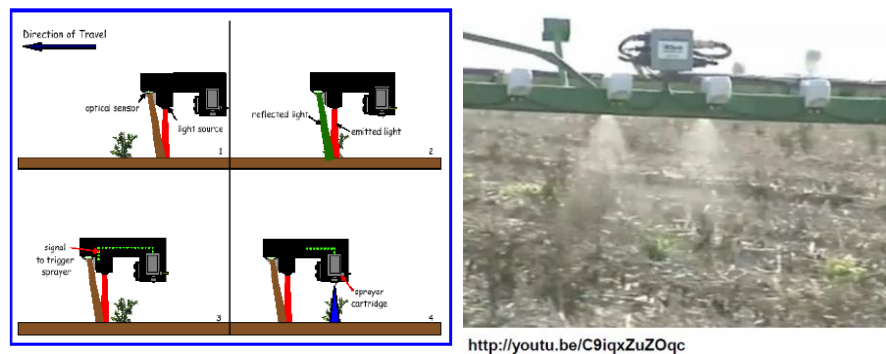


<https://www.youtube.com/watch?v=TjX-FhmdhZc>

Weed sensing VIS + NIR Detection (CIHEAM, 2016)



Ανίχνευση ζιζανίων και ψεκασμός βάσει στοιχείων από τον αισθητήρα (CIHEAM, 2016)

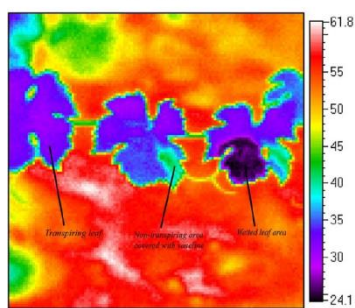


<http://youtu.be/C9iqxZuZOqc>

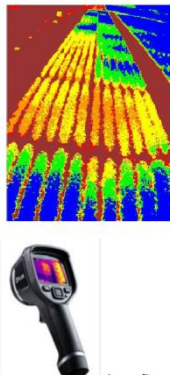
5.6. Έλλειψη νερού

Έλλειψη νερού συμβαίνει όταν δεν υπάρχει αρκετό νερό στα φυτά. Μερικά φυτά χρειάζονται περισσότερο νερό από άλλα, συνεπώς μερικά μπορεί να υποφέρουν λόγω της έλλειψης βροχοπτώσεων, έλλειψης νερού στο έδαφος ή από την ανικανότητά τους να αποθηκεύσουν αρκετό νερό για να αντέξουν στους μήνες της ξηρασίας. Η θερμοκρασία του φυλλώματος είναι ένας αναγνωρισμένος δείκτης της κατάστασης του νερού και λειτουργεί επίσης ως εργαλείο για τον προγραμματισμό της άρδευσης. Η κατάσταση του νερού καταγράφηκε μέσω θερμικής κάμερας και απεικόνισης μέσω φωτογραφιών από κινητό ή εναέριες πλατφόρμες.

Thermal imagery (proxi sensing)



Sources: CSIRO



$$CWSI = (T_{canopy} - T_{wet}) / (T_{dry} - T_{wet})$$

$$IG = (T_{dry} - T_{canopy}) / (T_{canopy} - T_{wet})$$

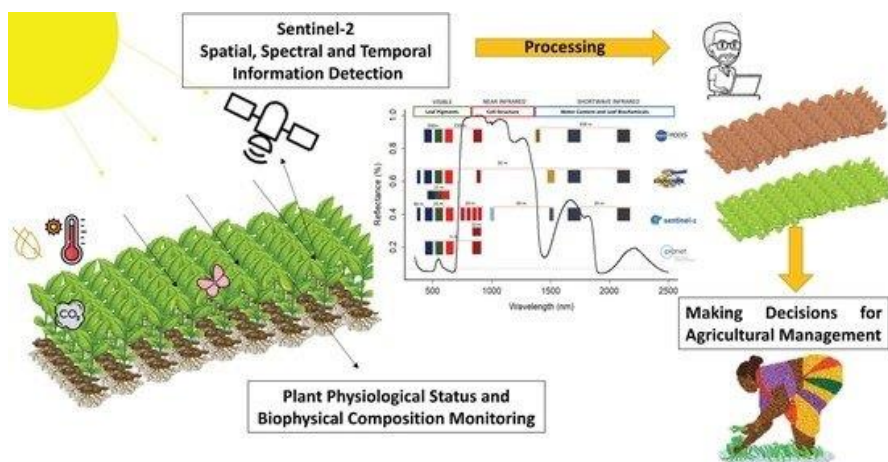
Θερμική απεικόνιση (εγγύς αισθητήρας) (Jones and Xavier, 2014)

CWSI - Crop Water stress index, IG

Πολλές μελέτες έχουν βρει συσχέτιση ανάμεσα στους δείκτες CWSI, IG και της ποσότητας νερού των φυτών.

5.7. Παρακολούθηση απόδοσης (δείκτης NDVI και VARI)

Καθώς τα συστήματα τηλεπισκόπησης βλέπουν πρώτα το πάνω μέρος του φυλλώματος της καλλιέργειας με δυνατότητα άντλησης παραμέτρων για το πεδίο, θα μπορούσαν να αποτελέσουν την κύρια πηγή συλλογής πληροφοριών σχετικά με τη μεταβλητότητα της ανάπτυξης των καλλιεργειών σε ποσοτική και σε τακτική βάση. Η σύνδεση πληροφοριών που λαμβάνονται μέσω τηλεπισκόπησης και των μοντέλων προσομοίωσης καλλιεργειών παρέχει μία εναλλακτική για τη χαρτογράφηση της απόδοσης της καλλιέργειας σε επίπεδο αγροτικής εκμετάλλευσης και στον προσδιορισμό της αιτίας της μεταβλητότητας στην παραγωγή.



Remote sensing for agriculture monitoring: Sentinel-2 features and precision agriculture

Τηλεπισκόπηση για την παρακολούθηση της γεωργίας: δεδομένα από το δορυφόρο Sentinel 2, συλλογή χωρικών, φασματικών και χρονικών πληροφοριών καθώς και πληροφορίες για τη φυσιολογική κατάσταση των φυτών και παρακολούθηση της βιοφυσικής σύνθεσης αυτών. Ακολουθεί η επεξεργασία των πληροφοριών και εν συνεχεία η λήψη αποφάσεων για τη διαχείριση της γεωργικής καλλιέργειας.

6. Επεξεργασία δεδομένων αισθητήρων: από τα δεδομένα των αισθητήρων έως τις πληροφορίες του γεωργού

6.1. Εφαρμογές μελετών περίπτωσης

“Επέκταση των πρακτικών γεωργίας ακριβείας στη νοτιοανατολική περιοχή της Τουρκίας (GAP region - Southeastern Anatolia Project)”

Το έργο υλοποιήθηκε με σκοπό την αποτελεσματική εκτέλεση των γεωργικών δραστηριοτήτων στην νοτιοανατολική Τουρκία. Στην πρώτη φάση, οι αναλύσεις έγιναν με δεδομένα από διαφορετικές πηγές τηλεπισκόπησης και με επίγειες φασματικές μετρήσεις. Επιπλέον, αναπτύχθηκε λογισμικό για αναλύσεις γεωργίας ακριβείας με τη βοήθεια χειριστή και αναπτύχθηκε διεπαφή ιστού.

Η δεύτερη φάση της μελέτης, η πρώτη φάση της οποίας έχει ολοκληρωθεί, σκοπεύει να μετρήσει την αύξηση της απόδοσης εφαρμόζοντας μεταβλητό ποσοστό λιπάσματος στην καλλιέργεια του καλαμποκιού. Η διάχυση των αποτελεσμάτων θα γίνει πρώτα στην περιοχή της νοτιοανατολικής Τουρκίας και στη συνέχεια σε όλη την Τουρκία.

Στο πλαίσιο του προγράμματος, η μελέτη επικεντρώθηκε στο καλαμπόκι, το βαμβάκι και τα προϊόντα σίτου. Έχει καταρτιστεί σχέδιο δραστηριοτήτων και έχει επιλεγεί πιλοτική έκταση 1000

εκταρίων, όπου θα πραγματοποιηθούν οι εργασίες. Διάφορες μέθοδοι (δορυφορικές εικόνες, πολυφασικές/ υπερφαστικές κάμερες που χρησιμοποιούνται σε εναέριες πλατφόρμες, φασματομέτρα, αισθητήρες που χρησιμοποιούνται σε επίγειες πλατφόρμες) για εφαρμογές γεωργίας ακριβείας στην προσδιορισμένη πιλοτική περιοχή χρησιμοποιήθηκαν για τη συλλογή κατάλληλων δεδομένων, την ανάλυση και την ερμηνεία των συλλεγόμενων δεδομένων. Προσδιορίστηκε το υφιστάμενο μοτίβου των φυτών, διενεργήθηκαν λεπτομερείς μελέτες έρευνας εδάφους και ελήφθησαν και υποβλήθηκαν σε επεξεργασία δορυφορικές εικόνες για το πρότυπο των εγκαταστάσεων της πιλοτικής περιοχής. Πραγματοποιήθηκαν μελέτες εναέριας συλλογής δεδομένων και εδάφους για την απόκτηση φασματικών υπογραφών. Ένα λογισμικό εφαρμογής με δύο διαφορετικές διεπαφές ως εθνικός χρήστης και τελικός χρήστης, το οποίο μπορεί να είναι το πρώτο στην Τουρκία με αυτή την έννοια, για την επεξεργασία και ερμηνεία των συλλεγόμενων δεδομένων, έχει αναπτυχθεί για την αποτελεσματική χρήση του συστήματος.

Η διαδικτυακή διεπαφή του αγρότη η οποία επιτρέπει:

- τη συλλογή φασματικών υπογραφών που έχουν ληφθεί σε διαφορετικές χρονικές περιόδους
- τη δημιουργία χαρτών λίπανσης και εφαρμογής φυτοφαρμάκων
- την ανίχνευση μοτίβου στα προϊόντα με ποσοστό ακρίβειας 95% μέσω εναέριων εικόνων και εικόνων μέσω δορυφόρου
- Η πρόβλεψη της απόδοσης
- Ο εντοπισμός προβλημάτων στην ανάπτυξη των φυτών από τους αγροτικούς συμβούλους και η αντιμετώπιση αυτών από τους αγρότες

Ένα από τα κύρια αποτελέσματα της μελέτης είναι η ενσωμάτωση των δορυφορικών εικόνων, η συνέχιση του συστήματος, η ενσωμάτωση χαρτών ελέγχου του χώματος και χαρτών παραγωγικότητας και η χρήση διαφορετικού τύπου δεδομένων.

Συλλογή δεδομένων

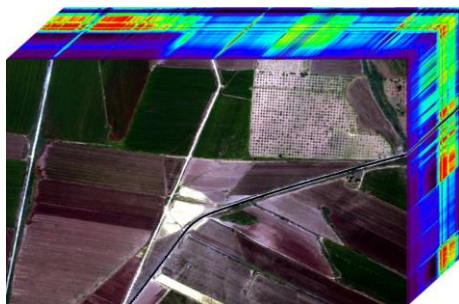
Δορυφορικές εικόνες

Στο έργο χρησιμοποιήθηκαν: ο εγχώριος δορυφόρος Göktürk-2, δωρεάν εικόνες από τη NASA και τους δορυφόρους του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Διαστήματος (ESA), Landsat 8, EO-1 Hyperion, Sentinel-1, Sentinel-2 και οι εμπορικοί δορυφόροι SPOT 6/7, TerraSAR-X, RapidEye. Ορισμένες από τις εικόνες μπορούν να ληφθούν και να προεπεξεργαστούν ενώ άλλες εικόνες είναι έτοιμες για ανάλυση κάνοντας ραδιομετρικές και γεωμετρικές διορθώσεις. Οι διαφορές στη χρονική, γήινη terrestrial και φασματική ανάλυση των δορυφόρων, χρησιμοποιούνται ως πλεονέκτημα στην ταυτόχρονη επεξεργασία διαφορετικών πληροφοριών. Για παράδειγμα, ενώ ο δορυφόρος Göktürk-2 με επίγεια ανάλυση 2.5μ, το οποίο είναι σχεδιασμένο να λαμβάνει φωτογραφίες κατόπιν ζήτησης, μπορεί να απεικονίζεται κατά μέσο όρο μία φορά το μήνα. Οι δορυφόροι Sentinel-2 με επίγεια ανάλυση 10μ, μπορούν να παρέχουν μία φωτογραφία ανά πέντε ημέρες. Η συνέχιση των αναλύσεων της ανάπτυξης των φυτών διασφαλίζεται με τη χρήση εικόνων SAR αντί των ηλεκτροοπτικών εικόνων οι οποίες δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν τους ανοιξιάτικους μήνες όπου οι βροχοπτώσεις είναι έντονες.

Βάσει της φαινολογικής ανάπτυξης των φυτών, πραγματοποιήθηκαν χρονικές αναλύσεις με τη χρήση εικόνων ηλεκτρο-οπτικών, SAR και υπερφασματικών εικόνων μέσω δορυφόρου.

Αεροφωτογραφίες

Στην υπό εξέταση περιοχή, δέκα υπερφασματικές αεροφωτογραφίες λήφθηκαν σε προκαθορισμένες ημερομηνίες, λαμβάνοντας υπόψη τις περιόδους ανάπτυξης των καλλιεργειών. Για την υπερφασματική απεικόνιση χρησιμοποιήθηκαν τα μοντέλα αισθητήρων VNIR HS Aerial Camera NEO Hypres VNIR-1800, SWIR HS Aerial Camera NEO Hypres SWIR-384. Στην εικόνα 23 δίνεται ένα παράδειγμα εικόνας VNIR HS.



Εικόνα 12. VNIR Υπερφασματικός κύβος δεδομένων (Teke et al.,2019)

Συλλογή δεδομένων πεδίου

Στο πλαίσιο μελετών δειγματοληψίας εδάφους, δημιουργήθηκαν πλέγματα 60 * 60μ και λήφθηκαν 170 δείγματα. Επίσης, ανοίχθηκε λάκκος 1.5μ. Προσδιορίστηκαν ιδιότητες όπως η υφή, το pH, ο όγκος, η αλατότητα, η αλκαλικότητα, η ποσότητα ασβέστη, οργανικών ουσιών, αζώτου και τα διαθέσιμα στοιχεία φωσφόρου, καλίου και άλλων μικροουσιών και χαρτογραφήθηκε επίσης η περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά (Σχήμα 24).



Εικόνα 13. Απεικόνιση των εδαφικών τύπων της υπό εξέταση περιοχής στην διεπαφή του αγρότη (Teke et al.,2019)

Πέρα από τη συλλογή δεδομένων από το καλαμπόκι και το βαμβάκι, συλλέχθηκαν δεδομένα και από άλλα καλλιεργούμενα φυτά των υπό εξέταση περιοχών όπως τα αγριόχορτα, τα αμπέλια, πιπεριές, φιστίκια και σιτάρι. Για τη συλλογή των φασματικών υπογραφών χρησιμοποιήθηκε το σπεκτρόμετρο ASD QualitySpec-Trek. Ο μετεωρολογικός σταθμός ανέλαβε τη μέτρηση της υγρασίας, των βροχοπτώσεων, του αέρα, της θερμοκρασίας και της πίεσης σε συγχρονισμό με τις δραστηριότητες συλλογής δεδομένων από το έδαφος.

Ανάλυση γεωργίας ακριβείας

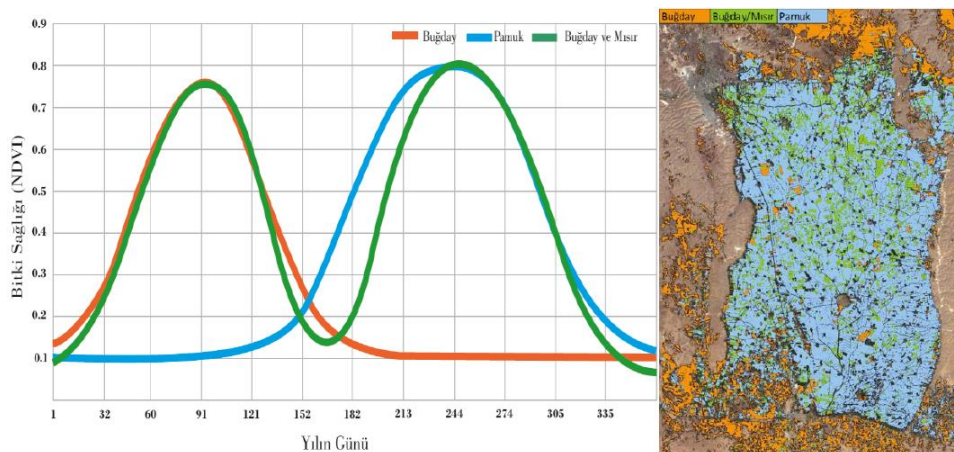
Ο κύριος σκοπός ανάλυσης της γεωργίας ακριβείας είναι η ανάλυση των πρώτων και κορυφαίων μεθόδων λίπανσης. Επίσης, αποκτήθηκε γνώση που βοήθησε τις δραστηριότητες του προγράμματος και χρησιμοποιήθηκαν και στα τελευταία στάδια αυτού όπως: απαιτήσεις βασικής και τοπ λίπανσης, εκτίμηση απόδοσης, εντοπισμός ζιζανίων, ανωμαλιών και πρότυπο χάρτη καλλιέργειας.

Χαρτογράφηση μοτίβου καλλιέργειας

Στο έργο, το σύστημα εντοπισμού ανίχνευσης του προϊόντος που δημιουργήθηκε για τα προϊόντα σίτου, καλαμποκιού και βαμβακιού βελτιώθηκε ώστε να συμπεριλάβει και άλλα προϊόντα που καλλιεργούνται στην περιοχή όπως ρεβίθια και φακές. Οι υπερφασματικές εικόνες ταξινομήθηκαν με αντίστοιχα φίλτρα και μεθόδους χαρτογράφου φασματικής γωνίας (SAM). Στην ταξινόμηση των δορυφορικών εικόνων, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα χρονοσειρών, δυναμική χρονική στρέβλωση (DTW) και μέθοδοι SVM (Σχήμα 25). Στο πλαίσιο του προγράμματος, δημιουργήθηκαν πρότυποι χάρτες προϊόντος με υπερφασματικές εικόνες, δορυφορικές και εικόνες SAR.

Χαρτογράφηση και εφαρμογή λιπασμάτων

Πληροφορίες σχετικά με την τρέχουσα κατάσταση της υγείας των φυτών αποκτήθηκαν τόσο μέσω εφαρμογής λιπάσματος βάσει χάρτη όσο και μέσω εναέριων και δορυφορικών εικόνων. Από τις δορυφορικές εικόνες, δημιουργήθηκε ένας χάρτης λίπανσης αραβοσίτου μέσω της συσχέτισης των αναλύσεων UAV και δορυφορικών εικόνων με μετρήσεις κλωροφύλλης.



Εικόνα 14. Φαινολογία των καλλιεργειών στην πεδιάδα Harran και πρότυπος χάρτης καλλιέργειας που ελήφθη από εικόνες του δορυφόρου Landsat 8 (Teke et al.,2019).

Εντοπισμός ανωμαλιών

Ο εντοπισμός των ανωμαλιών είναι σημαντικός για τη μελέτη των χωροχρονικών διεργασιών των αλλαγών κάλυψης του εδάφους. Στις δορυφορικές εικόνες, οι περιοχές με ανωμαλίες μπορεί να αντικατοπτρίζουν αλλαγές μη αναμενόμενες όπως άνοδος των υπόγειων υδάτων, ασθένειες και ξηρασία. Ο εντοπισμός των ανώμαλων περιοχών μέσω δορυφορικών εικόνων σε διάφορες χρονικές

στιγμές συμβάλει σημαντικά στην εξέταση των δυναμικών διεργασιών στην αλλαγές της κάλυψης του εδάφους. Αν και έχουν αναπτυχθεί πολλές μέθοδοι ανάλυσης χρονοσειρών για την ανίχνευση αλλαγών κάλυψης γης, είναι λίγες οι μέθοδοι που επικεντρώνονται στην ανίχνευση ανωμαλιών σε χρονοσειρές μέσω δορυφορικής εικόνας. Αν και έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι για την ανίχνευση αλλαγών στην κάλυψη της γης με τη χρήση δορυφορικών χρονοσειρών εικόνας, έχουν γενικά σχεδιαστεί για να εντοπίζουν ξαφνικές αλλαγές μεταξύ συγκεκριμένων ετών.

Τα αγριόχορτα συνήθως εμφανίζονται μαζί με τα φυτά και μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές απώλειες στην απόδοση αλλά και οικονομική ζημιά. Στη δεύτερη φάση του προγράμματος, ο διαχωρισμός των αγριόχορτων και των φυτών έγινε κατά τη διάρκεια ανάπτυξης των φυτών με εικόνες μη επανδρωμένου οχήματος και με δορυφορικές εικόνες υψηλής ανάλυσης. Δημιουργήθηκαν χάρτες ελέγχου των αγριόχορτων. Για τον εντοπισμό των αγριόχορτων προτιμάται η χρήση εικόνων πολύ υψηλής ανάλυσης από μη επανδρωμένο όχημα. Φαίνεται ότι η χρήση τεχνητής νοημοσύνης είναι αρκετά διαδεδομένη όσο αφορά τον εντοπισμό των αγριόχορτων μαζί με μεθόδους όπως η ταξινόμηση βάσει αντικειμένου, η χρήση διαφορετικών δεικτών και οι λύσεις αρχίζουν να αυτοματοποιούνται.

Λογισμικό εφαρμογής και διεπαφή του συμβούλου των αγροτών

Με το αναπτυγμένο λογισμικό γεωργίας ακριβείας, οι αναλύσεις θα συμβάλουν στη λήψη αποφάσεων για θέματα όπως η άρδευση, το λίπασμα και οι ανάγκες σε ψεκασμό (Σχήμα 26).

Από την ανάλυση των προϊόντων σίτου, καλαμποκιού και βαμβακιού που καλλιεργούνται ευρέως στην νοτιοανατολική Τουρκία προκύπτει ότι:

- Οι δορυφόροι μπορούν να δώσουν υπερφασματικές αεροφωτογραφίες, ηλεκτρο-οπτικές και εικόνες SAR
- Η ταξινόμηση μπορεί να γίνει αυτόματα με τη συλλογή υπογραφών από την εικόνα
- Ο εντοπισμός των γενικών ανωμαλιών και των ανωμαλιών στα φυτά μπορεί να γίνει με υπερφασματικές αεροφωτογραφίες
- Η παρακολούθηση της ανάπτυξης των φυτών γίνεται μέσω αλγορίθμων των δεικτών βλάστησης NDVI, LAI και NDI

Οι αναλύσεις που έγιναν μέσω της διεπαφής των συμβούλων αγροτών, ερμηνεύτηκαν από τους αγροτικούς συμβούλους και τα αποτελέσματα μεταφέρθηκαν στους αγρότες (σχήμα 4). Οι αναλύσεις γίνονται για τις εικόνες και τα οικόπεδα που επιλέγονται μέσω της διαδικτυακής διεπαφής, παρέχοντας επικοινωνία μεταξύ του γεωργικού συμβούλου και του αγρότη.



Εικόνα 15. Λογισμικό εφαρμογής και διεπαφή του αγρότη (Teke et al.,2019)

6.2. Επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο

Το σύστημα απόκτησης δεδομένων γεωργικών εκτάσεων αποτελείται από τρία κύρια στοιχεία:

- **Μέρη απόκτησης:** Αποτελούνται από διάφορους αισθητήρες. Στον εξοπλισμό απόκτησης πεδίου που έχει σχεδιαστεί από εμάς, τα δεδομένα των δεικτών που μπορούν να συλλεχθούν και να χρησιμοποιηθούν άμεσα στα μοντέλα προσομοίωσης των καλλιεργειών είναι:

- δεδομένα καιρού: ελάχιστη και μέγιστη θερμοκρασία αέρα, βροχοπτώσεις, ένταση ακτινοβολίας

- δεδομένα εδάφους: θερμοκρασία εδάφους, στρωματοποιημένη υγρασία εδάφους

Οι συσκευές απόκτησης δεδομένων μπορούν επίσης να συλλέξουν στοιχεία και για άλλους δείκτες όπως το διοξείδιο του άνθρακα, την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, την ταχύτητα του αέρα καθώς επίσης και την τηλεχειριζόμενη κάμερα για τη λήψη δυναμικών και στατικών εικόνων. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η απόκτηση δεδομένων για το έδαφος εφαρμόζει ένα ιεραρχικό σχεδιασμό της υγρασίας του εδάφους και χρησιμοποιεί έναν αισθητήρα υγρασίας ανά 10εκ με τις ανάγκες του μοντέλου καλλιέργειας για την απόκτηση σε πραγματικό χρόνο της στρωματοποιημένης υγρασίας του εδάφους, το οποίο σίγουρα δεν ήταν σε θέση να αποκτήσει στο παρελθόν.

• Σύστημα μεταφοράς

Το σύστημα μεταφοράς αποτελείται από αποθηκευτικά στοιχεία και στοιχεία ασύρματης επικοινωνίας. Η λειτουργία του βασίζεται στη προσωρινή αποθήκευση των δεδομένων που συλλέχθηκαν από τον αισθητήρα, στη μεταφορά αυτών των δεδομένων στον απομακρυσμένο server μέσω ασύρματου δικτύου και στην υπόδειξη σφαλμάτων. Τα μοντέλα μεταφοράς ταξινομούνται σύμφωνα με τη φύση των δεδομένων που μεταφέρονται ώστε να μειώσουν τα κόστη επικοινωνίας. Σε επικοινωνίες 2G εφαρμόζονται τα δεδομένα κειμένου όπως η μεταφορά μηνυμάτων SMS. Για την αποστολή στατικών και δυναμικών εικόνων γίνεται χρήση δικτύων 3G και 4G.

- Σύστημα διαχείρισης λογισμικού

Το σύστημα διαχείρισης λογισμικού περιλαμβάνει τη μετατροπή της μορφής των δεδομένων (μετατροπή δεδομένων σε αρχείο που μπορεί να διαβαστεί από τα μοντέλα καλλιέργειών), τον έλεγχο των συσκευών απόκτησης των δεδομένων (απομακρυσμένος έλεγχος του χρόνου και της συχνότητας απόκτησης, προσαρμογή της γωνίας της κάμερας κτλ) και στατιστική ανάλυση των δεδομένων, των εικόνων και άλλων function modules.

Το σύστημα απόκτησης γεωργικών δεδομένων εισάγει την απόκτηση δυναμικών και στατικών εικόνων σε πραγματικό χρόνο και δύναται να πραγματοποιήσει μία τρισδιάστατη έρευνα της μορφολογίας του μοτίβου της ανάπτυξης της καλλιέργειας μέσω της ανάλυσης των απαιτούμενων εικόνων και της επεξεργασίας αυτών μέσω υπολογιστή. Στο μεταξύ, οι αγρότες μπορούν να αναλύσουν την τάση της ανάπτυξης της καλλιέργειας, τα παράσιτα των καλλιεργειών και να λάβουν τις κατάλληλες διαχειριστικές αποφάσεις.

7. Σύστημα πληροφοριών διαχείρισης γεωργικών εκμεταλλεύσεων

Το σύστημα πληροφοριών διαχείρισης γεωργικών εκμεταλλεύσεων έχει εξελιχθεί από ένα απλό σύστημα καταγραφής και αποθήκευσης σε ένα μεγάλο και σύνθετο σύστημα που ανταποκρίνεται στην ανάγκη επικοινωνίας και μεταφοράς δεδομένων ανάμεσα στις βάσεις δεδομένων ώστε να καλύψει τις απαιτήσεις των ενδιαφερομένων μερών. Το σύστημα αυτό είναι ένα ηλεκτρονικό εργαλείο συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων που παρέχει δυνητικά σημαντικές πληροφορίες για τη λήψη διαχειριστικών αποφάσεων (Boehlje and Eidman 1984). Υφίστανται όταν οι κύριοι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων χρησιμοποιούν πληροφορίες που παρέχονται από ένα σύστημα καταγραφής γεωργικών εκμεταλλεύσεων για να υποστηρίξουν τη λήψη επιχειρηματικών αποφάσεων (Lewis 1998). Δίνοντας μια πιο λεπτομερή περιγραφή, το σύστημα πληροφοριών διαχείρισης γεωργικών εκμεταλλεύσεων ορίζεται ως ένα σχεδιασμένο σύστημα συλλογής, επεξεργασίας, αποθήκευσης και διάχυσης των δεδομένων στη μορφή που χρειάζεται για τις γεωργικές εργασίες και λειτουργίες (Sørensen et al. 2010). Τα κύρια στοιχεία των συστημάτων πληροφοριών περιλαμβάνουν ειδικούς σχεδιασμούς που είναι προσανατολισμένοι στους αγρότες, dedicated user interfaces, αυτοματοποιημένες λειτουργίες επεξεργασίας δεδομένων, εξειδικευμένες γνώσεις και προτιμήσεις χρηστών, τυποποιημένη επικοινωνία δεδομένων και επεκτασιμότητα.

Ο κλάδος της γεωργίας είναι ένα σύνθετο σύστημα που ενσωματώνει ένα σύνολο αλληλεπιδράσεων ανάμεσα στους γεωργούς, τους συμβούλους, τους εμπόρους, των κυβερνητικών σωματείων, των αγροτικών μηχανημάτων, των περιβαλλοντικών συνθηκών, των οικονομικών εκτιμήσεων και άλλα. Στο σχήμα 27 βλέπουμε μια λεπτομερή περιγραφή. Τα συστήματα πληροφοριών διαχείρισης γεωργικών εκμεταλλεύσεων καλύπτουν ένα μεγάλο αριθμό λειτουργιών όπως το απόθεμα, το ημερολόγιο, τις άμεσες πωλήσεις και άλλες διαχειριστικές λειτουργίες. Στον πίνακα 4 παρουσιάζεται ένα σύνολο δέκα λειτουργιών (Fountas et al. 2015a).

Πίνακας 7. Πληροφοριακά Συστήματα Διαχείρισης αγροτικής εκμετάλλευσης (Fountas et al. 2015a)

Function title	Function description
Field operations management	Recording of farm activities to help farmer optimize crop production by planning activities and observing the actual execution of planned tasks. Preventive measures may be initiated based on the monitored data.
Best practice (including yield estimation)	Production tasks and methods related to applying best practices according to agricultural standards (e.g. organic standards, integrated crop management (ICM)). A yield estimate is feasible through the comparison of actual demands and alternative possibilities, given hypothetical scenarios of best practices.
Finance	Estimation of the cost of every farm activity, input–outputs calculations, equipment charge-outs, labour requirements per unit area. Projected and actual costs are also compared and input into the final evaluation of the farm's economic viability.
Inventory	Monitoring and management of all production materials, equipment, chemicals, fertilizers, and seeding and planting materials. The quantities are adjusted according to the farmer's plans and customer orders.
Traceability	Crop recall, using an ID labelling system to control the produce of each production section, including use of inputs, employees and equipment, which can be easily archived for rapid recall.
Reporting	Creation of farming reports, such as planning and management, work progress, work sheets and instructions, orders purchases, cost reporting and plant information.
Site-specific	Mapping the features of the field, analysis of the collected data, generation of variable-rate inputs to optimize input and increase output. This is the Precision Farming Technologies component. It could be separate software or integrated.
Sales	Management of orders, charges for services and online sales.
Machinery management	Includes the details of equipment usage, the average cost per work-hour or per unit area. It also includes fleet management and logistics.
Human resource management	Employee management, availability of employees in time and space, handling work times, payment, qualifications, training, performance and expertise.

Ένα πληροφοριακό σύστημα διαχείρισης αγροτικής εκμετάλλευσης περιλαμβάνει λειτουργίες στους εξής τομείς: διαχείριση αγροτικών εργασιών, καλές πρακτικές (συμπεριλαμβανομένης της απόδοσης πεδίου), χρηματοοικονομικά, απόθεμα, ιχνηλασιμότητα, αναφορά, συγκεκριμένη τοποθεσία, πωλήσεις, διαχείριση οχημάτων, διαχείριση ανθρώπινου δυναμικού.

-Διαχείριση αγροτικών εργασιών: καταγραφή των αγροτικών εργασιών ώστε να μπορεί ο αγρότης να βελτιστοποιήσει την παραγωγή μέσω σχεδιασμού εργασιών και παρακολούθηση του ακριβούς τρόπου εκτέλεσης αυτών. Προληπτικά μέτρα μπορούν να ληφθούν βάσει των δεδομένων που συλλέγονται.

-Καλές πρακτικές (συμπεριλαμβανομένης της απόδοσης πεδίου): καθήκοντα παραγωγής και μέθοδοι που σχετίζονται με την εφαρμογή καλών πρακτικών σύμφωνα με τα πρότυπα της γεωργίας (πχ οργανικά πρότυπα, ολοκληρωμένη διαχείριση καλλιεργειών -ICM). Η εκτίμηση της απόδοσης είναι εφικτή μέσω της σύγκρισης της πραγματικής ζήτησης και των πιθανών εναλλακτικών μέσα από υποθετικά σενάρια καλών πρακτικών.

-Χρηματοοικονομικά: εκτίμηση του κόστους της κάθε αγροτικής εργασίας, υπολογισμός εισροών-εκροών, αποδυνάμωση εξοπλισμού, απαιτήσεις εργασίας ανά περιοχή. Σύγκριση του προβλεπόμενου και του πραγματικού κόστους το οποίο αποτελεί στοιχείο της τελικής αξιολόγησης της βιωσιμότητας του αγροκτήματος.

-Απόθεμα: παρακολούθηση και διαχείριση όλων των υλικών παραγωγής, του εξοπλισμού, των χημικών, των λιπασμάτων και των σπόρων. Οι ποσότητες προσαρμόζονται σύμφωνα με τα σχέδια του αγρότη και τις παραγγελίες του πελάτη.

-Ιχνηλασιμότητα: ανάκληση καλλιέργειας με τη χρήση ενός συστήματος σήμανσης της ταυτότητας της καλλιέργειας για τον έλεγχο του παραγόμενου προϊόντος της κάθε περιοχής. Περιλαμβάνει χρήση εισροών, προσωπικού και εξοπλισμού.

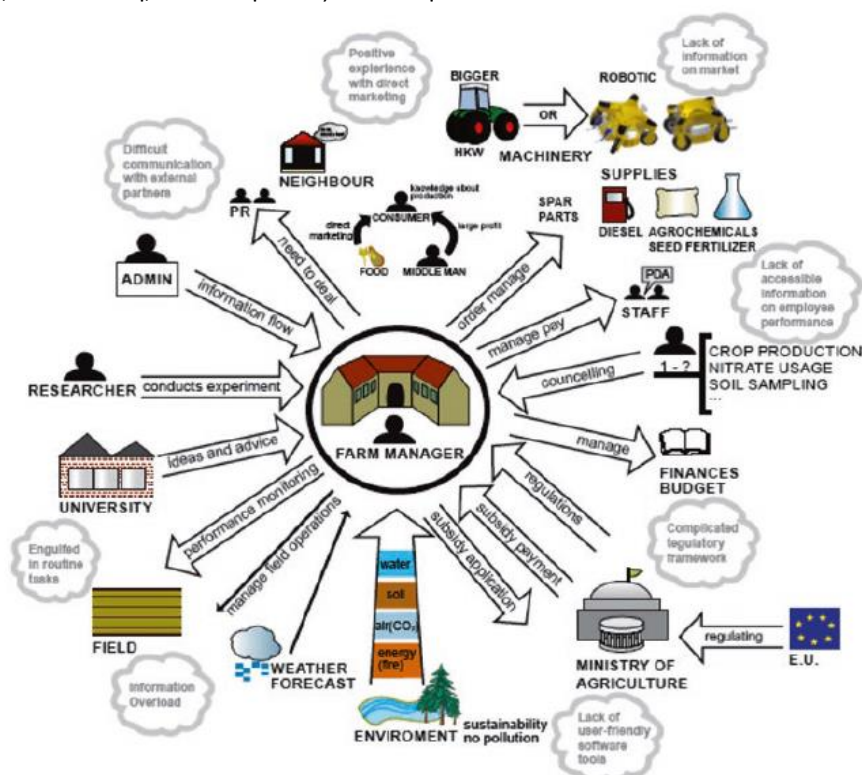
-Αναφορά: δημιουργία αναφορών όπως αναφορές προγραμματισμού και διαχείρισης, προόδου των εργασιών, φύλλα εργασιών και οδηγίες, παραγγελίες αγορών, κόστος και πληροφορίες για τα φυτά.

-Συγκεκριμένη τοποθεσία: χαρτογράφηση των χαρακτηριστικών του χωραφίου, ανάλυση των δεδομένων, παραγωγή εισροών μεταβλητού ποσοστού ώστε να γίνεται η βέλτιστη δαπάνη εισροών και να αυξηθεί το παραγόμενο προϊόν. Αυτό αποτελεί στοιχείο της τεχνολογίας γεωργίας ακριβείας. Μπορεί να είναι ξεχωριστό ή ενσωματωμένο λογισμικό.

-Πωλήσεις: διαχείριση παραγγελιών, χρεώσεις υπηρεσιών και ηλεκτρονικές πωλήσεις

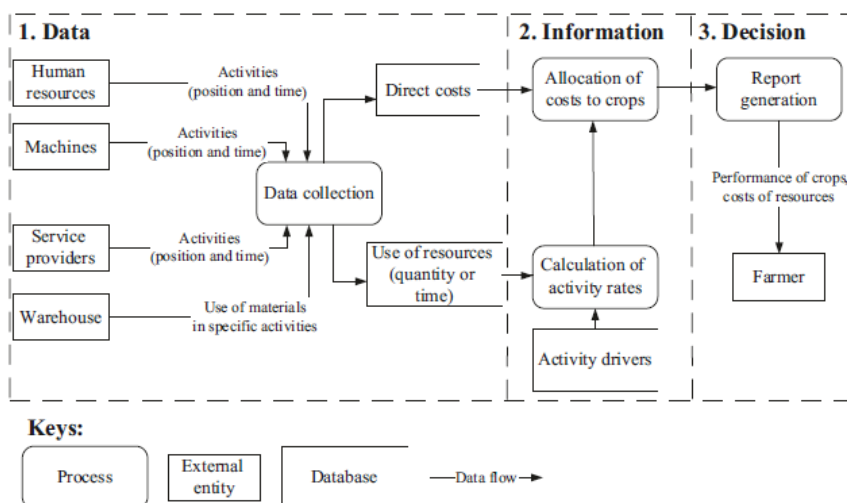
-Διαχείριση οχημάτων: περιλαμβάνει λεπτομέρειες της χρήσης του εξοπλισμού, το μέσο κόστος ανά ώρα εργασίας ή ανά περιοχή καθώς επίσης και τη διαχείριση όλων των οχημάτων και της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Διαχείριση ανθρώπινου δυναμικού: διαχείριση εργαζομένων, διαθεσιμότητα εργαζομένων, διαχείριση ωρών εργασίας, πληρωμές, προσόντα, εκπαίδευση, απόδοση και εξειδίκευση.



Σχήμα 9. Εμπλουτισμένη παρουσίαση ενός πληροφοριακού συστήματος διαχείρισης αγροτικής εκμετάλλευσης (Pedersen and Lind, 2017)

Η διαδικασία συλλογής δεδομένων σχετίζεται με τα στοιχεία του σχήματος 10 τα οποία είναι: (1) ο χρόνος που δαπανάται από τους ανθρώπινους πόρους στις καλλιέργειες, (2) ο χρόνος που δαπανάται από τα οχήματα (πχ τρακτέρ) ή τον εξοπλισμό (πχ συσκευή γεωργίας ακριβείας) σε κάθε καλλιέργεια, (3) η χρήση εξωτερικών υπηρεσιών όσο αφορά το κόστος και το χρόνο και (4) η ποσότητα των πόρων που διανέμονται σε κάθε καλλιέργεια σε μία συγκεκριμένη θέση και σε συγκεκριμένο χρόνο.



Σχήμα 10. Διάγραμμα ροής της κατανομής του κόστους στις καλλιέργειες (Pedersen and Lind, 2017)

Η συλλογή δεδομένων περιλαμβάνει στοιχεία από το ανθρώπινο δυναμικό, τα μηχανήματα, τους προμηθευτές υπηρεσιών και από την αποθήκη των υλικών. Αυτό οδηγεί στα άμεσα κόστη και στη χρήση πόρων (σε ποσότητα ή σε χρόνο). Η πληροφορία που αποκτάται βοηθά στη διανομή του κόστους στις καλλιέργειες και στον υπολογισμό του βαθμού δραστηριότητας. Όλα τα παραπάνω καταλήγουν στη λήψη αποφάσεων μέσω της δημιουργίας αναφορών σχετικά με την επίδοση της καλλιέργειας και το κόστος των διαθέσιμων πόρων.

8. Φωτογραμμετρία

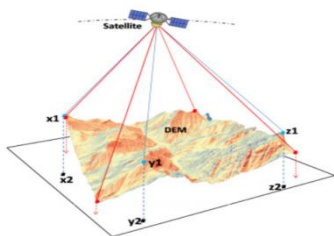
Η φωτογραμμετρία είναι η τέχνη, επιστήμη και τεχνολογία απόκτησης αξιόπιστων πληροφοριών για τα φυσικά αντικείμενα και το περιβάλλον μέσω διαδικασιών καταγραφής, μέτρησης, ερμηνείας φωτογραφικών εικόνων, μοτίβων καταγεγραμμένης ακτινοβολούμενης ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας και άλλων φαινομένων. Η φωτογραμμετρία είναι σχεδόν το ίδιο παλιά όσο και η φωτογραφία. Από την ανάπτυξή της περίπου 150 χρόνια πριν, η φωτογραμμετρία πέρασε από την καθαρά αναλογική, οπτικο-μηχανική τεχνική σε αναλυτικές μεθόδους που βασίζονται σε υπολογιστικές λύσεις μέσω μαθηματικών αλγορίθμων ώστε να καταλήξει στην ψηφιακή φωτογραμμετρία που βασίζεται στις ψηφιακές εικόνες και η οποία στερείται οποιουδήποτε οπτικομηχανικού υλικού. Η φωτογραμμετρία ασχολείται κυρίως με τη διεξαγωγή ακριβών μετρήσεων τρισδιάστατων αντικειμένων και χαρακτηριστικών εδάφους από δυσδιάστατες φωτογραφίες. Οι εφαρμογές περιλαμβάνουν τη μέτρηση των συντεταγμένων, την ποσοτικοποίηση των αποστάσεων, του ύψους, των περιοχών και του όγκου, την προετοιμασία τοπογραφικών χαρτών, την παραγωγή εξελιγμένων ψηφιακών μοντέλων και ορθοφωτογράφων.

Υπάρχουν δύο τύποι φωτογραμμετρίας: εναέριοι (με χρήση εναέριας κάμερας) και επίγειοι (με φορητή κάμερα ή κάμερα στηριζόμενη σε τρίποδα). Η επίγεια φωτογραμμετρία ασχολείται με αποστάσεις αντικειμένων έως 200μ και ορίζεται επίσης ως φωτογραμμετρία κοντινής εμβέλειας. Η μικρής μορφής εναέρια φωτογραμμετρία λαμβάνει χώρα ανάμεσα σε αυτούς τους δύο τύπους, συνδυάζοντας το πλεονεκτικό εναέριο σημείο με αντικείμενα σε κοντινή απόσταση και με υψηλή ανάλυση εικόνας.

Η φωτογραμμετρία είναι μία αρχή που αναπτύχθηκε εδώ και δεκαετίες και ασχολείται με ακριβή γεω-αναφορά των εναέριων φωτογραφιών όπως επίσης και των εικόνων μέσω διαστημικών δορυφόρων (μερικές φορές απλά ορθοφωτισμοί) και των μετρήσεών τους. Η ορθοδιόρθωση θα αυξήσει την ακρίβεια στον υπολογισμό της περιοχής διαφορετικών κατηγοριών χρήσης γης και κάλυψης γης. Οι θέσεις των εικόνων των αντικειμένων εδάφους είναι μετατοπισμένες λόγω της υψομετρικής διαφοράς. Αυτός ο τύπος παραμόρφωσης ονομάζεται relief-displacement. Relief-displacement ανάμεσα σε σημεία μπορεί να εκτιμηθεί χρησιμοποιώντας βασικές αρχές φωτογραμμετρίας όπως η μέτρηση παράλλαξης. Η πληροφορία από την παράλλαξη μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο να κάνει την εικόνα ορθογραφική, με κάθε σημείο να είναι στη σωστή του θέση σε σχέση με άλλα σημεία ανεξάρτητα της ανύψωσης (Schowengerdt, 2006). Η παραμόρφωση της οπτικής γωνίας έχει αφαιρεθεί με τέτοιο τρόπο ώστε κάθε σημείο στο έδαφος θα μπορεί να είναι ορατό από το χαμηλότερο σημείο του οπτικού κέντρου του αισθητήρα. Η μετατόπιση του εδάφους απαιτεί αύξηση των τιμών του πλέγματος που έχουν χρησιμοποιηθεί για τη διόρθωση των εικόνων τηλεπισκόπησης. Αυτό το χωρικό πλέγμα δεδομένων ανύψωσης είναι γνωστό ως ψηφιακή ανύψωση. Το μοντέλο ψηφιακής ανύψωσης DEM (Digital Elevation Model) μπορεί να επεξεργαστεί ψηφιακές εικόνες με πάνω από 60% επικάλυψη. Στα αρχικά στάδια τηλεπισκόπησης, DEM είχαν πολύ αδρή ανάλυση. Η ανάλυση βελτιώνεται με την πρόοδο των τεχνικών σχεδιασμού αισθητήρων (Schowengerdt, 2006). Διατίθενται ελεύθερα 30m DEM από SRTM και ASTER.

Το σχηματικό διάγραμμα δείχνει τα χαρακτηριστικά των εδαφών με υψόμετρο που κερδίζει τη μετατόπιση. Ένα σημείο στο ύψος (x_1, y_1, z_1) μοιάζει να είναι σε άλλο σημείο του άξονα (x_2, y_2, z_2)

σε σχέση με την πραγματική του θέση (Σχήμα 14.7). Ένα ψηφιακό πλέγμα ανύψωσης έχει οριστεί για να πάρει την πηγή ανύψωσης που έχει ενσωματωθεί περαιτέρω στη δορυφορική εικόνα για ορθοδιόρθωση.



www.spaceoffice.nl/nl/satellietdataportaal/uitleg-data/orthorectificatie/>.

Δείκτες τηλεπισκόπησης και η σημασία αυτών

Οι απομακρυσμένες πληροφορίες για την ανάπτυξη, το σθένος και τη δυναμική των χερσαίων καλλιεργειών μπορούν να είναι εξαιρετικά χρήσιμες για εφαρμογή τους στην παρακολούθηση του περιβάλλοντος και της γεωργίας. Οι απομακρυσμένοι δείκτες όπως ο δείκτης βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς (NDVI), ο δείκτης χερσαίων υδάτων (LSWI), ο δείκτης θερμοκρασίας - ξηρασίας (TVDI), ο εδαφικά προσαρμοσμένος δείκτης βλάστησης (SAVI), ο δείκτης έλλειψης νερού (WDI), και άλλοι που αποκτώνται μέσω των δορυφορικών εικόνων, βοηθούν στη διεξαγωγή συμπερασμάτων για την κατάσταση της ανάπτυξης της καλλιέργειας και / ή για το καθεστώς υγρασίας του εδάφους. Ο δείκτης βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς (NDVI) υπολογίζει την πυκνότητα της βλάστησης αξιολογώντας τη διακύμανση ανάμεσα στο εγγύς υπέρυθρο (όπου η βλάστηση επιστρέφει δυναμικά) και στην κόκκινη φωτεινότητα (που έλκει τη βλάστηση). Επιπλέον, ο δείκτης χερσαίων υδάτων (LSWI) χρησιμοποιεί τις ζώνες υπέρυθρων βραχέων κυμάτων (SWIR) και τις ζώνες εγγύς υπέρυθρου (NIR) της ηλεκτρομαγνητικής περιοχής. Ο δείκτης θερμοκρασίας - ξηρασίας (TVDI) αποκτάται από τη χωρική θερμοκρασία επιφάνειας γης και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης υγρασίας του εδάφους και συνεπώς της πίεσης του νερού. Ο δείκτης SAVI λαμβάνει υπόψη τα οπτικά χαρακτηριστικά του εδάφους στην ανάκλαση του καλύμματος του φυτού.

Αξιολογώντας τη διαφορά εύρους των μολυσμένων και μη φυτών, οι επιστήμονες είναι σε θέση να αναγνωρίσουν τη δραστηριότητα του στρες του πράσινου φυλλώματος (Πίνακας 8).

Πίνακας 8. Κύριοι φασματικοί δείκτες βλάστησης που χρησιμοποιούνται στη γεωργία

Index	Equation	Usefulness
NG	$G / (NIR + R + G)$	Carotenoids, anthocyanins, xanthophylls
NR	$R / (NIR + R + G)$	Chlorophyll
DVI	$NIR - R$	Soil reflectance
GDVI	$NIR - G$	Chlorophyll, N status
NDVI	$(NIR - R) / (NIR + R)$	Vegetation cover
GNDVI	$(NIR - G) / (NIR + G)$	Chlorophyll and photosynthesis, N status

Abbreviation: A=adapted, D=difference, G=green, N=normalized, NIR=near-infrared, R=red, RVI=Ratio Vegetation Index, VI= Vegetation Index.

Η γεωργία παίζει καθοριστικό ρόλο στην οικονομία τόσο των αναπτυγμένων όσο και των υποανάπτυκτων χωρών. Φωτογραφίες μέσω δορυφόρου και αεροσκάφους χρησιμοποιούνται ως εργαλεία χαρτογράφησης για την ταξινόμηση των καλλιεργειών, τον έλεγχο της υγείας και της βιωσιμότητας και την παρακολούθηση των αγροτικών πρακτικών. Οι εφαρμογές τηλεπισκόπησης στη γεωργία περιλαμβάνουν:

- ταξινόμηση του τύπου της καλλιέργειας
- εκτίμηση κατάστασης της καλλιέργειας
- εκτίμηση απόδοσης της καλλιέργειας
- χαρτογράφηση των χαρακτηριστικών του εδάφους
- χαρτογράφηση των πρακτικών διαχείρισης του εδάφους
- παρακολούθηση συμμόρφωσης (αγροτικές πρακτικές)
- Παρακολούθηση παράσιτων και ασθενειών

9. Βιβλιογραφία

- Anonymous. (2007). Food Traceability. European Commission Directorate - General Factsheet https://ec.europa.eu/food/system/files/2016-10/gfl_req_factsheet_traceability_2007_en.pdf
- Barrero O and Perdomo S A. (2018). Precision Agriculture 19 (5), 809-822, 46: 2018: Weed detection in rice fields using aerial images and neural networks.
- Barrero, O., & Perdomo, S. A. (2018). RGB and multispectral UAV image fusion for Gramineae weed detection in rice fields. Precision Agriculture, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s11119-017-9558-x>
- Burkart, A., Hecht, V. L., Kraska, T., & Rascher, U. (2018). Phenological analysis of unmanned aerial vehicle based time series of barley imagery with high temporal resolution. Precision Agriculture, 19(1), 134-146. <https://doi.org/10.1007/s11119-017-9504-y>
- Castaldi F, Pelosi F, Pascucci S and Casa R. (2017). Precision Agriculture 18 (1), 76-94, 2017. 93: A comparison of sensor resolution and calibration strategies for soil texture estimation from hyperspectral remote sensing.
- CIHEAM' - IAMZ. (2016). Course Notes on 'USE OF SENSORS IN PRECISION AGRICULTURE. Zaragoza (Spain), 7-12 March 2016
- Fountas S, Carli C, Sørensen CG, Tsiropoulos Z, Cavalaris C, Vatsanidou A, Liakos B, Canavari M, Wiebensohn J, Tisserye B (2015a) Farm management information systems: current situation and future perspectives. Comput Electron Agric 115:40-50
- Fulton, J., E. Hawkins, R. Taylor, and A. Frazen. 2018. Yield monitoring and mapping. In: D.K. Shannon, D.E. Clay, and N.R. Kitchen, editors, Precision agriculture basics. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI.
- Garcia R and Lunadai L.(2011). The role of RFID in agriculture: Applications, limitations and challenges. Computers and Electronics in Agriculture, DOI:10.1016/J.COMPAG.2011.08.010.
- Gemtos, T. 2012. Precision Agriculture Applications in High Value Crops. Lecture Notes. Lab of Farm Mechanization, University of Thessaly, Greece.
- Griffin, T.W., J.M. Shockley, and T.B. Mark. 2018. Economics of precision farming. In: D.K. Shannon, D.E. Clay, and N.R. Kitchen, editors, Precision agriculture basics. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI.
- Güçdemir İ and Türker U (2010). Variable Rate Fertilizer Management Supported by Information and Satellite Based Technologies In Irrigated Corn in Çukurova Region. Project Supported by TÜBİTAK-1001 Project No:TOVAG-1050243.
- Handique, B. K., Khan, A. Q., Goswami, C., Prashnani, M., Gupta, C., & Raju, P. L. N. (2017). Crop Discrimination Using Multispectral Sensor Onboard Unmanned Aerial Vehicle. Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section A: Physical Sciences, 87(4), 713-719. <https://doi.org/10.1007/s40010-017-0443-9>
- Hunt, E. R., Horneck, D. A., Spinelli, C. B., Turner, R. W., Bruce, A. E., Gadler, D. J., ... Hamm, P. B. (2018). Monitoring nitrogen status of potatoes using small unmanned aerial vehicles. Precision Agriculture, 19(2), 314-333. <https://doi.org/10.1007/s11119-017-9518-5>
- Joel Segarra, Maria Luisa Buchailot, Jose Luis Araus and Shawn C. Kefauver (2020). Remote Sensing for Precision Agriculture: Sentinel-2 Improved Features and Applications. Agronomy, 2020, 10, 641; doi:10.3390/agronomy10050641.
- Jones, G and Sirault, Xavier, S. 2014. Imaging for precision agriculture - the mixed pixel problem with special reference to thermal imagery. 9th Conference of the Asian Federation for Information Technology in Agriculture, Perth, Australia, 29 Sept - 2 Oct 2014.

Jiménez-Brenes, F. M., López-Granados, F., de Castro, A. I., Torres- Sánchez, J., Serrano, N., & Peña, J. M. (2017). Quantifying pruning impacts on olive tree architecture and annual canopy growth by using UAV-based 3D modelling. *Plant Methods*, 13(1), 55. <https://doi.org/10.1186/s13007-017-0205-3>

Krienke, B., Ferguson, R. B., Schlemmer, M., Holland, K., Marx, D., & Eskridge, K. (2017). Using an unmanned aerial vehicle to evaluate nitrogen variability and height effect with an active crop canopy sensor. *Precision Agriculture*, 18(6), 900-915. <https://doi.org/10.1007/s11119-017-9534-5>

Leonard, E and Philip, P. 2006. *Precision Agriculture Manual* (GRDC). ISBN 1-876477-65-9.

Liakos V, Tagarakis A, Aggelopoulou K, Fountas S, Nanos G D and Gemtos T (2017). In-season prediction of yield variability in an apple orchard. *Eur. J. Hortic. Sci.* 82(5), 251-259.

Malhein A, Christian Hillnhütter, Thorsten Mewes, Christine Scholz, Ulrike Steiner, Heinz-Wilhelm Dehne, Erich-Christian Oerke. (2009). Disease detection in sugar beet fields: a multi-temporal and multisensoral approach on different scales. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering* · September 2009.

McBRATNEY A, Whelan B, Ancev T and Bouma J. Future Directions of Precision Agriculture. *Precision Agriculture*, 6, 7-23, 2005.

Oger R and Buffed D. (2010). Geotraceability: An innovative concept to enhance conventional traceability in the agri-food chain. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment* 14(4).

Oldeland, J., Große-Stoltenberg, A., Naftal, L., & Strohbach, B. J. (2017). The Potential of UAV Derived Image Features for Discriminating Savannah Tree Species. In *The Roles of Remote Sensing in Nature Conservation* (pp. 183-201). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-64332-8_10

Opara, L,U (2003). Traceability in agriculture and food supply chain: A review of basic concepts, technological implications, and future prospects. *European Journal of Operational Research* 1(1).

Pedersen SM, Fountas S, Blackmore BS, Gylling M, Pedersen JL (2004) Adoption and perspectives of precision farming in Denmark. *Acta Agric Scand Sect B - Soil Plant Sci* 54(1):2-8

Pedersen S M and Lind K M. (2017). Precision Agriculture: Technology and Economic Perspectives. *Progress in Precision Agriculture*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-68715-5>

Peets S, Casparin C, Blackburn K and Godwin R. (2009). RFID tags for identifying and verifying agrochemicals in food traceability systems October 2009 *Precision Agriculture* 10(5):382-394.

Romero, M., Luo, Y., Su, B., & Fuentes, S. (2018). Vineyard water status estimation using multispectral imagery from an UAV platform and machine learning algorithms for irrigation scheduling management. *Computers and Electronics in Agriculture*, 147, 109-117. <https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2018.02.013>

Salem, R. 2007. GNSS for Precision Agriculture, METIS Second Master Training and Seminar, Cairo (Egypt).

Sauer B, Wells T, Wells M, Neale T and Smart A (2010). Applying PA by Precision Cropping Technologies Pty Ltd. Enabled by GRDC funding for the project Precision Agriculture - Building knowledge, linking agronomy, growers profiting. Practical training for practical outcomes.

Schut AGT, Traore PCS, Blaes X, de By RA (2018) Assessing yield and fertilizer response in heterogeneous smallholder fields with UAVs and satellites. *Field Crop Res* 221:98-107.

Site-Specific Management Using Variable Rate Technologies. www.newaginternational.com. Precision Ag Corner (New Ag International 64, in Nov-Dec 2016).

Schowengerdt, R.A. (2006) *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing*. Academic Press, Waltham.

Sparling, L.C., Wei, J.C. and Avallone, L.M. (2006). Estimating the impact of small-scale variability in satellite measurement validation. *Journal of Geophysical Research* 111: doi: 10.1029/2005JD006943. ISSN: 0148-0227.

Velazquez E, Acevedo O, Sandoval A, Trejo H and Palacios A. (2020). Low-cost Technological Strategies for Smallholders Sustainability: A Review. *J. Technol. Manag. Innov.* 2020. Volume 15, Issue 1.

Teke M, Mutlu N, Türker U, Çullu M A, Küpçü R, Bozgeyik F, Demirpolat C, Öztoprak A F, Deveci H S and Demirhan I H. (2019). Widespread Application of Sustainable Precision Agriculture Practices in Southeastern Anatolia Project Region (GAP). *International Conference on Computer Technologies and Applications in Food and Agriculture (ICCTAFA)*. Pages 107-115. Konya-Turkey.

Türker U and Güçdemir İ. 2018. Sensor Application for Variable Rate Nitrogen on Corn Field. *Journal of Agricultural Machinery Science*. Volume 14. Number 1, pp.40-45.

10. Ερωτήσεις

1. Ποιος από τους παρακάτω ορισμούς περιγράφει καλύτερα τη γεωργία ακριβείας;
 - α) Ομοειδείς εφαρμογές γίνονται σε κάθε σημείο του αγροτεμαχίου
 - β) Επιμέρους εφαρμογές γίνονται σε όποιο σημείο είναι απαραίτητο
 - γ) Απαιτεί ένα μέσο αριθμό εφαρμογών σε ολόκληρο το πεδίο
 - δ) Απαιτεί υψηλό αριθμό εφαρμογών σε ολόκληρο το πεδίο
2. Ποιο από τα παρακάτω δεν είναι χωρική μεταβλητότητα;
 - α) Μεταβολές στην καλλιέργεια
 - β) Μεταβολές των φυσικών ιδιοτήτων του χώματος
 - γ) Μεταβολές των χημικών ιδιοτήτων του χώματος
 - δ) Κλιματικές συνθήκες
3. Το πιο σημαντικό στοιχείο που διακρίνει τη γεωργία ακριβείας από την κλασική γεωργία:
 - α) Διαχειρίζεται τους πόρους βάσει συγκεκριμένης πληροφορίας
 - β) Βασίζεται σε μέση πληροφόρηση
 - γ) Έχει μια ομοειδή οπτική
 - δ) Βασίζεται σε τυχαίες εφαρμογές
4. Ένα συστατικό της γεωργίας ακριβείας είναι η χρονική μεταβλητότητα. Ποιο από τα παρακάτω περιγράφει καλύτερα αυτή την αλλαγή;
 - α.) The natural process is replaced by synthetic inputs. α) Η φυσική διαδικασία αντικαθίσταται από συνθετικές εισροές.
 - β) Η επίδραση των αλλαγών της θερμοκρασίας στη διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων και νερού.
 - γ) Η αναλογία της θερμοκρασίας της επιφάνειας του χώματος (0-15εκ) προς την θερμοκρασία του υπεδάφους (15-60εκ) που επηρεάζει την ανάπτυξη της καλλιέργειας.
 - δ) Διαφορές ανάμεσα στην ανάπτυξη της καλλιέργειας και τα θρεπτικά συστατικά μεταβάλλονται από τη μια περίοδο στην άλλη (από έτος σε έτος)
5. Which of the following reflection wavelengths uses one of the best known vegetation indices, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)? Ποιο από τα παρακάτω μήκη κύματος χρησιμοποιεί ο δείκτης βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς ο οποίος είναι ένας από τους πιο διαδεδομένους δείκτες βλάστησης;
 - α) Πράσινο-εγγύς υπέρυθρο
 - β) Μπλε- εγγύς υπέρυθρο
 - γ) Κόκκινο- εγγύς υπέρυθρο
 - δ) μόνο εγγύς υπέρυθρο
6. Τι συμβαίνει όταν ένα υγιές φυτό ανιχνεύεται με σπεκτρόμετρο;
 - α) Απορροφά περισσότερα μήκη κύματος του εγγύς υπέρυθρου, αντανακλά περισσότερο σε ορατές ζώνες κύματος
 - β) Αντανακλά περισσότερο σε μήκη κύματος του εγγύς υπέρυθρου, απορροφά περισσότερο σε ορατές ζώνες κύματος
 - γ) Απορροφά περισσότερο σε ορατές ζώνες κύματος και αντανακλά περισσότερο σε μήκη κύματος του εγγύς υπέρυθρου
 - δ) Αντανακλά περισσότερο σε ορατές ζώνες κύματος και περισσότερο σε μήκη κύματος του εγγύς υπέρυθρου
7. Πόσοι δορυφόροι πρέπει να συνδεθούν για πλήρη μέτρηση μέσω GNSS και GPS?
 - α) 2 δορυφόροι
 - β) 3 δορυφόροι

- γ) 4 δορυφόροι
- δ) 1 δορυφόρος

8. Όταν χρησιμοποιούμε GPS, πώς ονομάζεται το λάθος που εμφανίζεται στα σήματα που αντανakλώνται από μια δευτερεύουσα πηγή (από ύψη) όπως υπόστεγα ή σιλό;

- α) Σφάλμα δορυφόρου
- β) Σφάλμα ατμόσφαιρας
- γ) Σφάλμα δέκτη
- δ) Σφάλμα πολλαπλών διαδρομών

9. Πώς ονομάζεται η μικρότερη αυξητική αλλαγή που μπορεί να ανιχνευθεί στο σήμα εξόδου, το οποίο μπορεί να ανιχνευθεί στις ενδείξεις των δεδομένων μέσω αισθητήρων;

- α) Ακρίβεια
- β) Precision
- γ) Ανάλυση
- δ) Σφάλμα

10. Ποιο από τα παρακάτω είναι εφαρμογή σε πραγματικό χρόνο για εφαρμογές μεταβλητού ποσοστού;

- α) Εφαρμογές βάσει χάρτη
- β) Εφαρμογές βάσει αισθητήρων
- γ) Ομοιογενής εφαρμογή
- δ) Εφαρμογή μετά την εκτίμηση βάσει μοντέλου

11. Ποιο θα πρέπει να είναι το επίπεδο του συντελεστή μεταβλητότητας ώστε να αυξηθεί η πιθανότητα αποπληρωμής της επένδυσης που έγινε για την τεχνολογία εφαρμογών μεταβλητού ποσοστού;

- α) $\leq 5\%$
- β) $>5\%$ και ≤ 10
- γ) $> 10\%$ και $< 15\%$
- δ) $\geq 15\%$

12. Ποιο χαρακτηριστικό εδάφους δίνει το δείκτη LSWI που αποκτάται χρησιμοποιώντας τις υπέρυθρες περιοχές βραχέων κυμάτων (SWIR) και περιοχές του εγγύς υπέρυθρου (NIR) του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος;

- α) LSWI
- β) NDVI
- γ) SAPI
- δ) TPDl