



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ  
UNIVERSITY OF PATRAS

Σχολή Γεωπονικών Επιστημών

Τμήμα Γεωπονίας

Θέμα Εργασίας:

« Ειδική διαχείριση του εδάφους: Τεχνικές και εφαρμογές για τη δημιουργία συνόλου υπηρεσιών λίπανσης και υδρολίπανσης ακριβείας»

Παντούλα Ρηγοπούλου

AM: 11713

Επιβλέπων: Π.Ε. Μπαρούχας, Επίκουρος Καθηγητής

Αμαλιάδα 2020

## Περιεχόμενα

ABSTRACT.....	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>5</b>
1.1 Τί είναι η βιώσιμη γεωργία.....	5
1.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της βιώσιμη γεωργίας.....	6
<b>2. ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΣΤΗΝ ΒΙΩΣΙΜΗ ΓΕΩΡΓΙΑ.....</b>	<b>6</b>
2.1 Σύστημα διαχείρισης γης – Πίνακας ποιοτικού ελέγχου.....	8
2.2 Σύστημα καλλιέργειας: Ανάλυση διαφοράς δυναμικής με πραγματική απόδοση καλλιέργειας (yieldgap).....	9
2.3 Γεωργικό σύστημα: Ανάλυση ενεργειακού ισοζυγίου.....	12
2.4 Η αγροοικολογία ως προσέγγιση.....	13
2.5 Το σύστημα γεωργικού τομέα –Συγκεντρωτικός δείκτης.....	16
2.6 Βιώσιμη εντατικοποίηση.....	17
2.7 Κλιματικά έξυπνη γεωργία (CSA).....	20
2.8 Προσέγγιση τοπίου.....	21
2.9 Γεωργία συντήρησης.....	22
2.10 Βιολογική γεωργία.....	25
2.11 Πράσινη Ανάπτυξη χωρίς αποκλεισμούς.....	26
<b>3. ΒΕΛΤΙΣΤΕΣ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΛΙΠΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ.....</b>	<b>27</b>
3.1 Άρδευση ακριβείας.....	27
3.2 Λίπανση ακριβείας.....	34
3.2.1 Δειγματοληψία εδάφους για διαμόρφωση προγράμματος λίπανσης.....	35
3.2.2 Σύστημα υποστήριξης αποφάσεων (Σ.Υ.Α.).....	36
3.2.3 Σύστημα υποστήριξης αποφάσεων εμπειρογνομόνων.....	37
<b>4. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΑΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ.....</b>	<b>38</b>
4.1 Παγκόσμιο Σύστημα Στιγματοθέτησης(GPS/GNSS).....	38
4.2 Κινητές συσκευές.....	40
4.3 Ρομποτική.....	41
4.4 Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT).....	42
4.5 Τηλεπισκόπηση.....	43
4.6 Μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα.....	45
4.7 Γεωργία ακριβείας και τεχνολογίες ωφέλιμου φόρτου (payload).....	46
4.8 Σπορά με εφαρμογή εισροών μεταβλητών δόσεων (VRA).....	47

4.9 Μοντελοποίηση κλίματος .....	48
4.10 Μοντελοποίηση αζώτου.....	49
4.11 Τυποποίηση.....	49
4.12 Νανοτεχνολογία.....	50
4.13 Έλεγχος ζιζανίων .....	51
<b>5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΙΔΙΚΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΓΙΑ ΠΑΡΟΧΗ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΛΙΠΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ.....</b>	<b>52</b>
5.1 Χρήση ειδικών Ζωνών Διαχείρισης για Βελτίωση της Διαχείρισης Αζώτου στην Γεωργία Ακριβείας .....	52
5.2 Ειδική εφαρμογή του δείκτη δέσμευσης φωσφόρου .....	53
5.3 Εφαρμογή τηλεπισκόπησης .....	54
5.4 Εφαρμογή του προτύπου J1939 .....	60
5.5 Χρήση άρδευσης SSNM και επιτρεπόμενου ελλείμματος νερού σε συνδυασμό, με σκοπό την αύξηση της απόδοσης δημητριακών, και της αποτελεσματικής χρήσης αζώτου και νερού ....	62
5.6 Χρήση τεχνολογίας ανίχνευσης εδάφους για βελτίωση της εφαρμογής του νερού άρδευσης ....	63
5.7 Βέλτιστη τοποθέτηση αισθητήρων εγγύτητας για άρδευση ακριβείας σε δενδροκαλλιέργειες .	64
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>64</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>65</b>

## ABSTRACT

The continuous and intense land exploitation and the environmental pollution, motivated many farmers to adapt to a different type of agriculture, so that their land does not degrade and they can keep profiting from its cultivation. When a cultivated land is overloaded either with water, pesticide or fertilizer, the yield will be suboptimal. Precision agriculture is different from any other type of agriculture. It is a step closer to a more «sustainable agriculture», it addresses modern agricultural problems and seems to be a key element of future agricultural technologies. Sustainable agriculture is farming in sustainable ways, which means meeting society's present food and industrial needs, without compromising the ability of current and future generations to meet their needs. The purpose of the following thesis is to present a number of data that concern precision agriculture, in order to be fully understandable by everyone. It presents some important techniques and methods of precision fertilization and precision irrigation. It also discusses how a farmer should approach sustainable agriculture. The application of precision agriculture utilizes a large range of technologies that have been developed for this purpose, and precision agriculture itself keeps developing alongside these new technologies. A final chapter in this thesis is about the way that these technologies are implemented, in order to provide a set of services for both precision fertilization and precision irrigation.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συνεχής και έντονη εκμετάλλευση της γης και η περιβαλλοντική ρύπανση, ώθησαν πολλούς αγρότες να προσαρμοστούν σε έναν διαφορετικό τύπο γεωργίας, έτσι ώστε η γη τους να μην υποβαθμίζεται και να συνεχίσουν να επωφελούνται από την καλλιέργειά της. Όταν μία καλλιεργούμενη έκταση υπερφορτώνεται με νερό, φυτοφάρμακα ή λιπάσματα, η απόδοση θα είναι μη βέλτιστη. Η γεωργία ακριβείας είναι διαφορετική από οποιαδήποτε άλλη μορφή γεωργίας. Είναι ένα βήμα πιο κοντά σε μια πιο «βιώσιμη γεωργία», αντιμετωπίζει τα σύγχρονα γεωργικά προβλήματα και φαίνεται να αποτελεί βασικό στοιχείο των μελλοντικών γεωργικών τεχνολογιών. Η βιώσιμη γεωργία είναι ένας τρόπος καλλιέργειας με όρους αειφορίας, κάτι που σημαίνει την κάλυψη των τρεχουσών αναγκών της κοινωνίας σε τρόφιμα και πρώτες ύλες, χωρίς να διακυβεύεται η ικανότητα των σημερινών και των μελλοντικών γενεών να ικανοποιήσουν τις ίδιες ανάγκες. Ο σκοπός της ακόλουθης εργασίας είναι να παρουσιάσει μια σειρά δεδομένων που αφορούν τη γεωργία ακριβείας. Παρουσιάζει μερικές σημαντικές τεχνικές και μεθόδους λίπανσης ακριβείας και άρδευσης ακριβείας. Εξετάζει επίσης πώς ένας αγρότης πρέπει να προσεγγίσει τη βιώσιμη γεωργία. Για να γίνει πράξη η γεωργία ακριβείας, χρησιμοποιείται ένα μεγάλο εύρος τεχνολογιών που έχουν αναπτυχθεί για το σκοπό αυτό, αλλά και η ίδια η γεωργία ακριβείας συνεχίζει να αναπτύσσεται παράλληλα με αυτές τις νέες τεχνολογίες. Ένα τελευταίο κεφάλαιο σε αυτή τη διατριβή είναι ο τρόπος με τον οποίο εφαρμόζονται αυτές οι τεχνολογίες, προκειμένου να παρέχεται ένα σύνολο υπηρεσιών τόσο για λίπανση ακριβείας όσο και για υδρολίπανση ακριβείας.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γεωργία ακριβείας (ΓΑ) είναι μια γεωργική έννοια που βασίζεται στην ύπαρξη μεταβλητότητας στο πεδίο καλλιέργειας. Απαιτεί τη χρήση νέων τεχνολογιών, όπως σύστημα στιγματοθέτησης (GPS), αισθητήρες, δορυφόρους ή εναέριες εικόνες και εργαλεία διαχείρισης πληροφοριών (GIS) για την αξιολόγηση και την κατανόηση των μεταβλητών. Οι συλλεγόμενες πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ακριβέστερη αξιολόγηση της βέλτιστης πυκνότητας σποράς, για την εκτίμηση των αναγκών σε λιπάσματα και άλλες εισροές και για την ακριβέστερη πρόβλεψη της απόδοσης των καλλιεργειών. Επιδιώκει να αποφύγει την εφαρμογή άκαμπτων πρακτικών σε μια καλλιέργεια, ανεξάρτητα από τις τοπικές συνθήκες εδάφους/κλίματος και μπορεί να βοηθήσει στην καλύτερη αξιολόγηση τοπικών καταστάσεων σε σχέση με ασθένειες ή πλάγιασμα (UKDiss.com, nd). Μιλώντας για τις κλιματικές συνθήκες, η γεωργία έχει ένα τεράστιο περιβαλλοντικό αποτύπωμα . Προκαλεί ταυτόχρονα περιβαλλοντικές αλλαγές και επηρεάζεται από αυτές τις αλλαγές. Εάν η αύξηση του ανθρώπινου πληθυσμού δεν μειώσει την αύξηση της παραγωγής τροφίμων, αυτό θα απαιτηθεί. Η αειφόρος γεωργία παρέχει μια πιθανή λύση που επιτρέπει στα γεωργικά συστήματα να τροφοδοτούν έναν αυξανόμενο πληθυσμό υπό τις μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες. Δεδομένης της πεπερασμένης προσφοράς φυσικών πόρων σε συγκεκριμένο κόστος και τοποθεσία, η γεωργία που είναι αναποτελεσματική ή βλάπτει τους αναγκαίους πόρους μπορεί τελικά να εξαντλήσει τους διαθέσιμους πόρους ή την ικανότητα να τις αντέξει οικονομικά και να τις αποκτήσει (Wikipedia, SustainableAgriculture, n.d.).

Η ΓΑ ορίζεται από μια συστημική προσέγγιση για την αναδιοργάνωση του συνολικού συστήματος της γεωργίας προς μια αειφόρο γεωργία χαμηλής εισροής, υψηλής απόδοσης (Shibusawa, 1998). Αυτή η νέα προσέγγιση ωφελείται κυρίως από την εμφάνιση και τη σύγκλιση πολλών τεχνολογιών, όπως το Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης (GPS), το γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών (GIS), τα μικροσκοπικά εξαρτήματα του υπολογιστή, ο αυτόματος έλεγχος, οι αισθητήρες πεδίου και η τηλεπισκόπηση, οι φορητοί υπολογιστές, προηγμένη επεξεργασία πληροφοριών και τηλεπικοινωνίες (Gibbons, 2000). Η γεωργική βιομηχανία είναι πλέον σε θέση να συλλέγει πιο ολοκληρωμένα δεδομένα σχετικά με τη μεταβλητότητα της παραγωγής τόσο στο χώρο όσο και στο χρόνο. Η επιθυμία να ανταποκριθεί σε μια τέτοια μεταβλητότητα σε λεπτομερή κλίμακα έχει γίνει ο στόχος της ΓΑ (Whelan et al., 1997; Zhang et al., 2002).

### 1.1 Τί είναι η βιώσιμη γεωργία

Η αειφόρος γεωργία είναι καλλιέργεια με βιώσιμες μεθόδους, που σημαίνει κάλυψη των τρεχουσών αναγκών τροφίμων και πρώτων υλών της κοινωνίας, χωρίς να διακυβεύεται η ικανότητα των μελλοντικών γενεών να ικανοποιούν τις ανάγκες τους. Βασίζεται στην κατανόηση της λειτουργίας του οικοσυστήματος. Υπάρχουν πολλές μέθοδοι για την αύξηση της βιωσιμότητας της γεωργίας. Κατά την ανάπτυξη της γεωργίας σε βιώσιμα συστήματα διατροφής, είναι σημαντικό να αναπτυχθούν ευέλικτες επιχειρηματικές διαδικασίες και γεωργικές πρακτικές.

## 1.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της βιώσιμη γεωργίας

Τα πλεονεκτήματα της βιώσιμης γεωργίας είναι:

- Δεν υποστηρίζει τη χρήση χημικών και εμπορικών λιπασμάτων.
- Μειώνει ορισμένες επιβλαβείς επιπτώσεις στο περιβάλλον.
- Διατηρεί το φυσικό οικοσύστημα, και έτσι παράγει ένα υγιεινό προϊόν.
- Προωθεί την εκτροφή ζώων μέσω φυσικής σίτισης.
- Καλύτερη προστασία των ζωικών ειδών, δημιουργώντας μια φυσική ισορροπία στο οικοσύστημα.
- Οι αγρότες μπορούν να μεγαλώνουν υγιή ζώα.
- Οι καλλιέργειες και τα ζώα μπορούν να πιάσουν καλύτερες τιμές στην αγορά.
- Η βιοποικιλότητα είναι ένα ακόμη πλεονέκτημα της αειφόρου γεωργίας.
- Υποστηρίζει την παραγωγή διαφόρων ειδών φυτικών και ζωικών ειδών.
- Τα φυτά καλλιεργούνται σε αμειψισπορά.
- Αυτό οδηγεί σε εμπλουτισμένο έδαφος και επίσης αποτρέπει την εξάπλωση ασθένειών και παρασίτων.

Τα μειονεκτήματα της βιώσιμης γεωργίας είναι:

- Περιορίζει την πλήρη χρήση μιας έκτασης γης.
- Παρακωλύει την πλήρη εκμετάλλευση της γης, της εργασίας και του κεφαλαίου.
- Αυτό συμβαίνει επειδή παραιτείται από τη χρήση παραγωγικών πόρων με φειδώ.
- Είναι δύσκολο να διατηρηθεί η γονιμότητα του εδάφους απλά περιστρέφοντας τις καλλιέργειες.
- Το εισόδημα που παράγεται από τη γεωργία είναι περιορισμένο λόγω της φειδωλής χρήσης γης.

## 2. ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΣΤΗΝ ΒΙΩΣΙΜΗ ΓΕΩΡΓΙΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο, θα αναλυθούν πλήρως οι προσεγγίσεις (Εικ. 1) στην βιώσιμη γεωργία. Η βιώσιμη γεωργία στοχεύει στη συνεχή διατήρηση των φυσικών συστημάτων και της ελάχιστης παραγωγής (όσο το δυνατόν περισσότερο) με ελάχιστες εισροές και αξιοπρεπές εισόδημα ανά μονάδα αγροκτήματος, για την κάλυψη της διατροφής και άλλων αναγκών των αγροτικών οικογενειών και κοινοτήτων (*Brownetal. 1987; Livermanetal. 1988; Lynam-and Herdt 1989*). Για να κατανοήσουμε τη μεγάλη σημασία της αειφορίας, οι περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές αρμονίες προωθούνται από όλες τις έννοιες της βιώσιμης γεωργίας.

Η βιωσιμότητα δεν μπορεί να μετρηθεί άμεσα. Έτσι, πρέπει να χρησιμοποιηθούν κατάλληλοι δείκτες για τον προσδιορισμό του επιπέδου και της διάρκειας της αειφορίας (*Zinck&Farshad 1995; Bell&Morse, 1999*). Ένα από τα μέτρα βιωσιμότητας είναι μια μεταβλητή που επιτρέπει την περιγραφή και παρακολούθηση των διαδικασιών, καταστάσεων και τάσεων των συστημάτων γεωργικής παραγωγής σε διάφορα ιεραρχικά επίπεδα, παρουσιάζοντας τη γεωργία ως ιεραρχία συστήματος, όπως προτείνει ο Fresco (1986). Αυτή η εργασία

επικεντρώνεται σε πολλές μελέτες στις οποίες διάφορες μεθοδολογικές προσεγγίσεις και τεχνικές κινητοποιούνται μεμονωμένα ή χρησιμοποιούνται πολύπλοκοι δείκτες για την αξιολόγηση της γεωργικής βιωσιμότητας σε τέσσερα ιεραρχικά επίπεδα, δηλαδή: σύστημα διαχείρισης γης, σύστημα συγκομιδής, σύστημα καλλιέργειας και σύστημα γεωργικούτομέα. Η πρώτη μελέτη (Ιράν) επικεντρώνεται στο σύστημα διαχείρισης της γης σε επίπεδο μεμονωμένων εδαφικών μονάδων, χρησιμοποιώντας διαγράμματα στατιστικού ελέγχου ποιότητας για την εκτίμηση της γονιμότητας του εδάφους και των επιπτώσεων του στη γεωργική βιωσιμότητα. Η δεύτερη μελέτη (Κένυα) επικεντρώνεται στο γεωργικό σύστημα σε επίπεδο αγροτεμαχίου, με ανάλυση της ανισότητας απόδοσης για την αξιολόγηση της βιώσιμης παραγωγικότητας των καλλιεργειών. Η τρίτη μελέτη (Ιράν) αναφέρεται στο σύστημα παραγωγής σε επίπεδο φυτών, χρησιμοποιώντας την ανάλυση ενεργειακού ισοζυγίου για να συγκρίνει τη βιωσιμότητα των παραδοσιακών γεωργικών συστημάτων με τη βιωσιμότητα των σύγχρονων αγροτικών συστημάτων (Zinck et al., 2004).

**Σύγχρονα συστήματα καλλιέργειας:** Σύγχρονη γεωργία σημαίνει γεωργία με χρήση σύγχρονων τεχνικών και τεχνολογίας. Αυτό σημαίνει καλλιέργεια με τις ευκολίες της σύγχρονης επιστήμης και τεχνολογίας. Η χρήση σύγχρονων επιστημών και τεχνολογιών στη γεωργία αυξάνει τη γεωργική παραγωγή. Η καλλιέργεια είναι η εκτροφή κατοικίδιων ζώων, ψαριών, πουλιών, καλλιέργεια φυτών κ.λπ. με σκοπό την τροφή, το ύφασμα και άλλα προϊόντα απαραίτητα για τη διατήρηση της ζωής (Kumar, 2019). Τα σύγχρονα γεωργικά συστήματα ορίζονται από τη χρήση νερού που αντλείται από βαθιά πηγάδια και αρδευτικά φράγματα, βελτιωμένους σπόρους, μηχανήματα (τουλάχιστον τρακτέρ), χημικά λιπάσματα, ζιζανιοκτόνα και φυτοφάρμακα. Η σχέση μεταξύ εισροών και εκροών έχει αλλάξει με την εμφάνιση νέων πηγών ενέργειας, τεχνολογίας και μηχανημάτων. Η καλλιέργεια, η κτηνοτροφία και οι γεωργικές βιομηχανίες δεν είναι πλέον αλληλεξαρτώμενες δραστηριότητες, όπως συμβαίνει στην παραδοσιακή γεωργία (Zinck et al., 2004).

**Παραδοσιακά συστήματα καλλιέργειας:** Η παραδοσιακή γεωργία μπορεί να οριστεί ως ένα πρωτόγονο στυλ καλλιέργειας που περιλαμβάνει την εντατική χρήση γηγενών γνώσεων, παραδοσιακών εργαλείων, φυσικών πόρων, οργανικών λιπασμάτων και πολιτιστικών πεποιθήσεων των αγροτών. Αξίζει να σημειωθεί ότι εξακολουθεί να χρησιμοποιείται από περίπου το 50% του παγκόσμιου πληθυσμού (Anwar, 2018). Τα παραδοσιακά συστήματα καλλιέργειας περιλαμβάνουν τη χρήση ζωήλατων ξύλινων αρότρων, βιολογικών σπόρων, υπόγειων σηράγγων, πηγών και συλλογής απορροών. Τα γεωργικά μηχανήματα και, φυσικά, οι χημικές ουσίες δεν αποτελούν μέρος αυτού του συστήματος. Όλα τα παραπάνω είναι οι κύριοι λόγοι για τους οποίους η παραδοσιακή μονάδα παραγωγής είναι τόσο περίπλοκη και επίσης γιατί όλη η οικογένεια καλείται να εργαστεί πολύ σκληρά για την οικονομική και κοινωνική της επιβίωση. Ο μεγάλος αριθμός προϊόντων (συμπεριλαμβανομένων των αυγών, του κρέατος, του γάλακτος, των λαχανικών κ.λπ.) βοηθά στην αποφυγή οικονομικών και κλιματικών κινδύνων (Zinck et al., 2004).

Η τελευταία μελέτη (Βενεζουέλα) αφορά τον γεωργικό τομέα στο σύνολό του, χρησιμοποιώντας έναν κεντρικό δείκτη για να παρακολουθεί τη βιωσιμότητα της γεωργικής δραστηριότητας σε περιφερειακό/εθνικό επίπεδο. Σε κάθε μελέτη εφαρμόζεται μια μεθοδολογική προσέγγιση προσαρμοσμένη στο ιεραρχικό επίπεδο. Η απόδοσή της στην αξιολόγηση της βιωσιμότητας έχει δοκιμαστεί και κάθε περιορισμός έχει προσδιοριστεί.



Εικόνα 1: Προσεγγίσεις τροφικής και καλλιεργητικής βιωσιμότητας (Wahl, 2017).

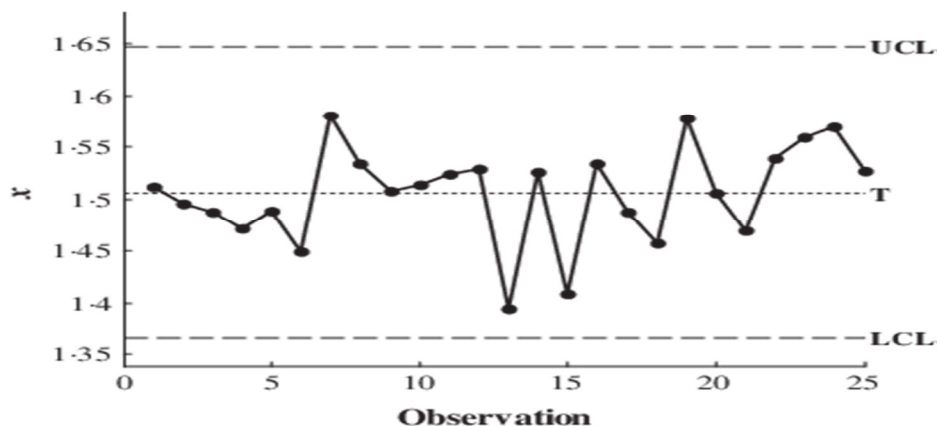
## 2.1 Σύστημα διαχείρισης γης – Πίνακας ποιοτικού ελέγχου

Οι αγρότες στα παραδοσιακά καθώς και στα σύγχρονα γεωργικά συστήματα προσαρμόζουν συνήθως τις πρακτικές διαχείρισης της γης τους στις ιδιότητες κάθε μονάδας γης. Υπό εκτεταμένη ή και εντατική χρήση, αυτές οι ιδιότητες υφίστανται τροποποιήσεις και συχνά υποβάθμιση, προκαλώντας αλλαγές στην ποιότητα του εδάφους. Η κατάστασή τους ανά πάσα στιγμή, σε σύγκριση με την τιμή αναφοράς που αντικατοπτρίζει τη βέλτιστη καταλληλότητα για συγκεκριμένες καλλιέργειες και η βελτίωσή τους με την πάροδο του χρόνου δείχνουν τη βιωσιμότητα ενός συγκεκριμένου τύπου χρήσης γης σε μια μονάδα γης βάσει συγκεκριμένων πρακτικών διαχείρισης. Χρησιμοποιήθηκαν στατιστικές μέθοδοι, συμπεριλαμβανομένης της ανάλυσης παλινδρόμησης και διακύμανσης, για τη χαρτογράφηση των διακυμάνσεων των ιδιοτήτων του εδάφους στο χρόνο και το χώρο και για την αξιολόγηση των επιπτώσεων των αλλαγών διαχείρισης του εδάφους που προκαλούνται από την κακή διαχείριση στη γεωργική βιωσιμότητα. Οι Larson και Pierce (1994) πρότειναν ότι



τα διαγράμματα στατιστικού ελέγχου ποιότητας (SQC, Εικόνα 2), τα οποία χρησιμοποιούνται συνήθως για τον έλεγχο της διακύμανσης τωνβιομηχανικών προϊόντων και της βιομηχανίας υπηρεσιών, θα μπορούσαν να είναι κατάλληλα στατιστικά εργαλεία για την αξιολόγηση και την παρατήρηση των αλλαγών στην ποιότητα του εδάφους.

Για τον έλεγχο της ποιότητας του εδάφους, πρέπει να γίνει διάκριση μεταξύ των ορίων στατιστικού ελέγχου που υπολογίζονται με βάση τις στατιστικές διαδικασίες και των ορίων ελέγχου στόχων βάσει των προτύπων αποδοχής ή επάρκειας. Για παράδειγμα, ο μέσος όρος ενός πληθυσμού δεδομένων που περιγράφει μια ιδιότητα εδάφους μπορεί να βρίσκεται σε στατιστικό έλεγχο, δηλαδή μεταξύ ενός ανώτερου ορίου ελέγχου (UCL) και ενός κατώτερου ορίου ελέγχου (LCL) που συνήθως ορίζεται σε τιμές 3-σίγμα, αλλά μπορεί ακόμα να πέφτει κάτω από μια κρίσιμη τιμή που σημαίνει οριακή καταλληλότητα. Υπό αυτήν την έννοια, απαιτούνται πρότυπα ποιότητας του εδάφους για να προσδιοριστεί τι είναι καλό ή κακό και για να ανακαλύψουμε εάν ένα δεδομένο σύστημα διαχείρισης του εδάφους λειτουργεί σε αποδεκτό επίπεδο απόδοσης (Doran and Parkin, 1994). Το UCL και το LCL για την αξιολόγηση της ποιότητας του εδάφους και τις αποφάσεις διαχείρισης της γης πρέπει να βασίζονται σε γνωστά ή επιθυμητά επίπεδα ανοχής ή να προκύπτουν από μια μέση απόκλιση από προηγούμενα δεδομένα απόδοσης (Larson και Pierce 1994; Zinck et al., 2004).



Εικόνα 2: Παράδειγμα τυπικού διαγράμματος ελέγχου. T = στόχος (μέσος όρος διαδικασίας), UCL / LCL = ανώτερο / κάτω όριο ελέγχου = T +/- 3σ. Σχήμα βασισμένο σε δεδομένα από τον Montgomery (2009) (Mertensetal., 2011).

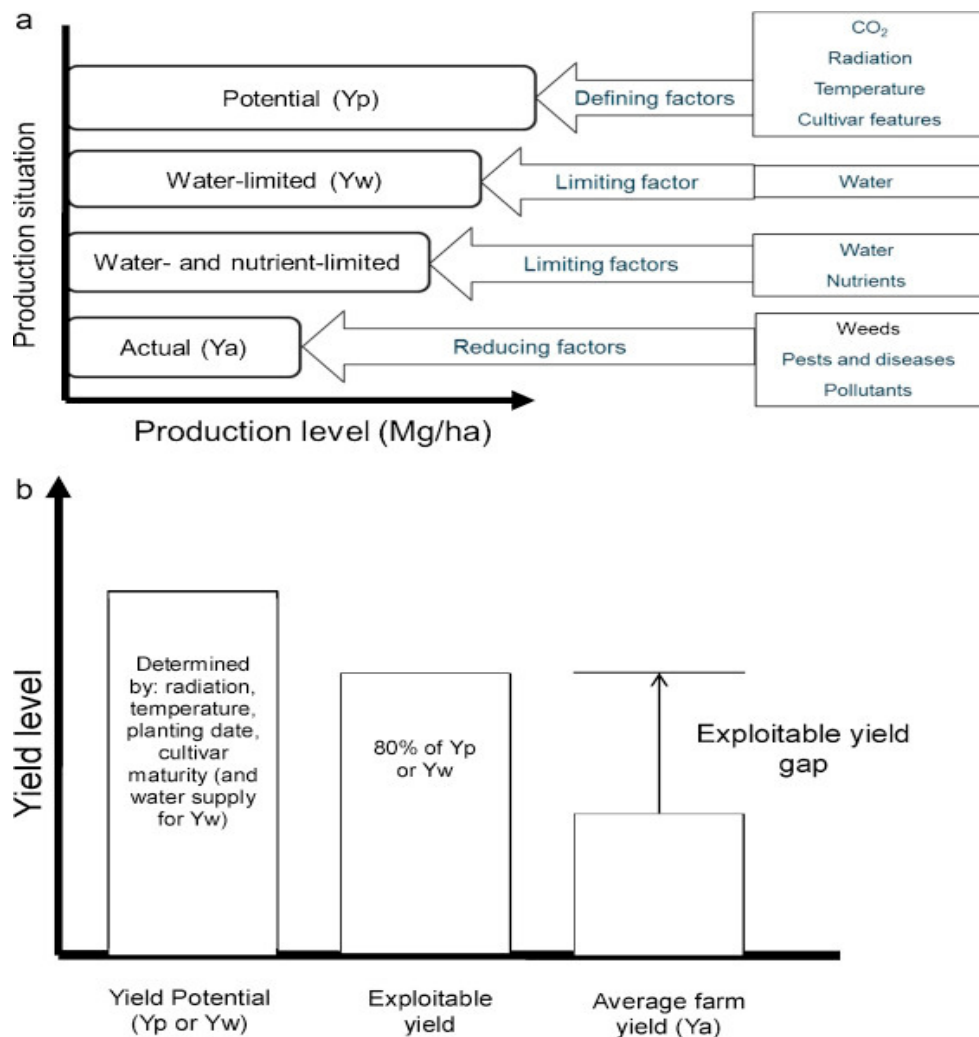
## 2.2 Σύστημα καλλιέργειας: Ανάλυση διαφοράς δυνητικής με πραγματική απόδοση καλλιέργειας (yieldgap)

Οι αποδόσεις των καλλιεργειών πρέπει να αυξηθούν σημαντικά τα επόμενα χρόνια, για να παραμείνουν σε τροχιά με την παγκόσμια ζήτηση τροφίμων, που προκαλείται από την αύξηση του πληθυσμού και του εισοδήματος. Η παγκόσμια ικανότητα παραγωγής τροφίμων περιορίζεται από την ποσότητα των διαθέσιμων πόρων νερού και γης που είναι κατάλληλη για την παραγωγή καλλιεργειών και από βιοφυσικά όρια στην ανάπτυξη των καλλιεργειών. Ο ποσοτικός προσδιορισμός της ικανότητας της παραγωγής τροφίμων σε κάθε γωνιά της τρέχουσας γεωργικής γης με ακριβή και διαφανή τρόπο, είναι απαραίτητος ώστε κάθε απόφαση που πρέπει να ληφθεί σχετικά με την πολιτική, την έρευνα, την ανάπτυξη και τις επενδύσεις που θέλουν να επηρεάσουν τη μελλοντική απόδοση των καλλιεργειών και τη χρήση γης να βασίζεται σε ορθά στοιχεία. Μια γεωργική έκταση σε ένα παραγωγικό αγρόκτημα αποτελείται γενικά από πολλές μονάδες γης. Οι διαφορές στις ιδιότητες μεταξύ των γαιών συχνά δεν διακρίνονται από την εφαρμογή γενικών πρακτικών διαχείρισης σε μια συγκεκριμένη καλλιέργεια σε ολόκληρο το πεδίο. Επομένως, το σύστημα καλλιέργειας είναι μια κατάλληλη κλίμακα για την αξιολόγηση της βιωσιμότητας εντός της ιεραρχίας των συστημάτων που απαρτίζουν τη γεωργική δραστηριότητα. Η ικανότητα παραγωγής καλλιεργειών μπορεί να αξιολογηθεί εκτιμώντας τη θεωρητική δυνητική απόδοση και τα επίπεδα απόδοσης με περιορισμό του νερού ως πρότυπα για την παραγωγή καλλιεργειών υπό, αντίστοιχα, αρδευόμενες και άνυδρες συνθήκες. Οι διαφορές μεταξύ της δυνητικής απόδοσης και της πραγματικής απόδοσης δίνουν τον ορισμό των κενών απόδοσης. Και η σαφής γνώση για αυτά τα κενά στην απόδοση όσον αφορά τον χώρο, είναι βασική για την καθοδήγηση της βιώσιμης εντατικοποίησης της γεωργίας. Η απόδοση επιτρέπει την αξιολόγηση τόσο της βιολογικής όσο και της οικονομικής βιωσιμότητας ενός συστήματος καλλιέργειας. Είναι δύσκολο να ληφθεί η μέγιστη απόδοση από μια δεδομένη περιοχή γης λόγω ποικίλων περιορισμών, όπως εισβολή ζιζανίων, ακατάλληλη γονιμοποίηση, παράσιτα, ασθένειες και κακή διαχείριση. Ως αποτέλεσμα, υπάρχει συχνά ένα κενό μεταξύ της πραγματικής απόδοσης της καλλιέργειας και της αναμενόμενης απόδοσης (yieldgap). Η ανάλυση κενού απόδοσης (YGA) επιτρέπει τη μέτρηση της διαφοράς μεταξύ της πραγματικής και της δυνητικής απόδοσης, και κατά συνέπεια εντοπίζει τις αιτίες της απόκλισης και διαμορφώνει στρατηγικές για την αύξηση των αποδόσεων των αγροτών σε υψηλότερα επίπεδα βιώσιμης παραγωγικότητας των καλλιεργειών. Το κενό απόδοσης έχει προταθεί ως κατάλληλος δείκτης για βιώσιμη διαχείριση γης (*Bindraban et al. 2000; Dumanski andPieri 2000*). Έχουν αναπτυχθεί σημασιολογικά μοντέλα των παραγόντων που προκαλούν και εξηγούν τα κενά απόδοσης (*Gomez 1979; De Datta 1981; Tang et al. 1992; Ye & Van Ranst 2002*). Τόσο οι βιοφυσικοί όσο και οι κοινωνικοοικονομικοί παράγοντες αποσκοπούν στην αποσαφήνιση αυτών των κενών. Για να αναλυθούν τα κενά στην απόδοση, πρέπει να προσδιοριστούν τα πρώτα επίπεδα απόδοσης, συμπεριλαμβανομένων των υπολογισμένων, πειραματικών και πραγματικών αποδόσεων της εκμετάλλευσης (*Zinch et al., 2004*).

Έχει δημιουργηθεί μια ποικιλία μοντέλων, όπως στατιστικά, ντετερμινιστικά, ανακλαστικά και εμπειρικά μοντέλα για την πρόβλεψη της απόδοσης των καλλιεργειών. Μεταξύ αυτών των μοντέλων, η μοντελοποίηση ντετερμινιστικής προσομοίωσης είναι μια πολύ

ενδιαφέρουσα προσέγγιση (*Driessen και VanDiepen, 1987*), η οποία επιτρέπει τη συνεχή μείωση του προβλεπόμενου επιπέδου απόδοσης με τη σταδιακή αύξηση των περιορισμών στην παραγωγή (π.χ. νερό, θρεπτικά συστατικά). Ένα ντετερμινιστικό παράδειγμα είναι η προσέγγιση WorldFoodStudies (WOFOST), η οποία έχει «σχεδιαστεί» για να προσομοιώνει την ανάπτυξη των ετήσιων καλλιεργειών σε διαφορετικά επίπεδα παραγωγής. Οι αποδόσεις των καλλιεργειών γεωργών που δεν παρέχουν στοιχεία, λαμβάνονται κυρίως με τη συγκομιδή και τη ζύγιση μιας καλλιεργητικής παραγωγής σε μια περιοχή που υπολογίζεται με ακρίβεια (περικοπή καλλιεργειών) για αρκετά χρόνια (*Zincketal., 2004*).

Ακολουθεί ένα παράδειγμα, σχετικά με τα διαφορετικά επίπεδα παραγωγής, όπως ορίζονται από παράγοντες που καθορίζουν την ανάπτυξη, τους περιορισμούς και τις απομειώσεις (Εικ. 3) (α) Το δυναμικό απόδοσης ( $Y_p$ ) των αρδευόμενων καλλιεργειών χωρίς περιορισμούς λόγω ανεπάρκειας ή πλεονασμού νερού καθορίζεται από την ηλιακή ακτινοβολία ( $R$ ) καθεστώς θερμοκρασίας ( $T$ ) και διάρκεια ανάπτυξης από τη φύτευση έως την ωρίμανση. Για άνυδρες καλλιέργειες, η περιορισμένη απόδοση νερού ( $Y_w$ ) αντιπροσωπεύει την μέγιστη απόδοση (*Van Ittersum and Rabbinge, 1997*). Το αξιοποιήσιμο κενό απόδοσης (b) αντιπροσωπεύει τη διαφορά μεταξύ των μέσων αποδόσεων και του 80% των  $Y_p$  ή  $Y_w$  (*Van Ittersum et al., 2013*).

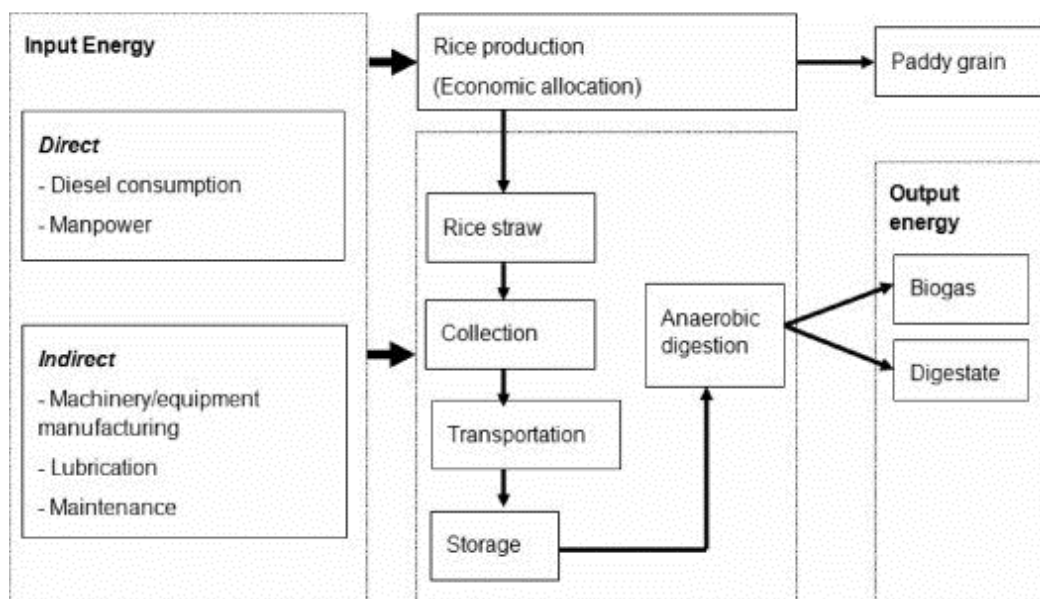


Εικόνα 3:διαφορετικά επίπεδα παραγωγής, όπως ορίζονται από παράγοντες που καθορίζουν την ανάπτυξη, τους περιορισμούς και τις απομειώσεις(VanIttersumetal., 2013).

### 2.3 Γεωργικό σύστημα: Ανάλυση ενεργειακού ισοζυγίου

Ένα ή περισσότερα γεωργικά συστήματα, μερικές φορές σε συνδυασμό με άλλες δραστηριότητες, όπως η κτηνοτροφία ή η χειροτεχνία, μπορούν να θεωρηθούν στο επίπεδο μιας μονάδας παραγωγής ως εκμετάλλευση ή, γενικότερα, ως γεωργικό σύστημα. Ένα βιώσιμο σύστημα γεωργίας είναι πολιτικά και κοινωνικά αποδεκτό, οικονομικά βιώσιμο, αγρο-τεχνικά ρυθμιζόμενο, οργανικά διαχειρίσιμο και περιβαλλοντικά αξιόπιστο, σύμφωνα με το μοντέλο των έξι πυλώνων (Smyth and Dumanski 1993; Farshad and Zinck, 2001). Η ικανοποίηση όλων αυτών των απαιτήσεων αειφορίας και των σχετικών αναλυτικών κριτηρίων είναι μια πολύπλοκη εργασία, τόσο περίπλοκη που δεν είναι ποτέ αξιόπιστη για εφαρμογή σε οποιοδήποτε σύστημα ή περιοχή. Οι λιγότερο ολοκληρωμένες μέθοδοι αξιολόγησης της βιωσιμότητας, οι οποίες επικεντρώνονται σε μια συγκεκριμένη πτυχή, είναι πιο πρακτικές στην εφαρμογή, αν και αυτές οι μέθοδοι μπορούν να οδηγήσουν σε μεγαλύτερη αβεβαιότητα σχετικά με τη συνολική βιωσιμότητα του αγρο-οικοσυστήματος (Zinck and Farshad, 1995).

Η μέθοδος της ενεργειακής ισορροπίας μας επιτρέπει να προσεγγίσουμε την πολυπλοκότητα ενός γεωργικού συστήματος με την έκφραση των εισροών και των εκροών της ίδιας μονάδας, καθιστώντας τα συγκρίσιμα για την αξιολόγηση της βιωσιμότητας. Τα αγροοικοσυστήματα εξαρτώνται τόσο από οικολογικές όσο και από γεωργικές μορφές ενέργειας. Η οικολογική ενέργεια περιλαμβάνει ηλιακή ακτινοβολία για φωτοσύνθεση και κατάλληλες ατμοσφαιρικές συνθήκες. Από την άλλη πλευρά, η γεωργική ενέργεια περιλαμβάνει βιολογικά (π.χ. κοπριά) και βιομηχανικά συστατικά. Όταν ένα φυσικό σύστημα, ικανό να παράγει μια συγκεκριμένη ποσότητα βιομάζας που περιέχει ενέργεια, μετατρέπεται σε αγροοικολογικό σύστημα, το όριο φυσικής ικανότητας αυξάνεται συχνά με την προσθήκη εισροών ενέργειας. Όσο μεγαλύτερη είναι η είσοδος εξωτερικής ενέργειας, τόσο μεγαλύτερη είναι η φυσική ικανότητα του συστήματος και τόσο λιγότερο βιώσιμο γίνεται το σύστημα. Λόγω αυτής της σχέσης, ο λόγος ενεργειακής ισορροπίας του αγροοικοσυστήματος είναι ένας σχετικά περιεκτικός δείκτης της βιωσιμότητάς του. Δεδομένου ότι τα δεδομένα χρήσης ενέργειας είναι συχνά δύσκολο να ληφθούν ή ακόμη και αν ληφθούν δεν είναι ακριβή, η ανάλυση ενεργειακού ισοζυγίου (energy balance analysis EBA, Εικ. 4) απαιτεί πολλαπλούς ελέγχους μέσω μεγάλου αριθμού συνεντεύξεων και άμεσων επιτόπιων υπολογισμών, όπως δοκιμαστική συγκομιδή στην καλλιέργεια ενός αγρότη για την εκτίμηση της απόδοσης (Zinck *et al.*, 2004).



Εικόνα 4: Σχηματικό πλαίσιο για ανάλυση ενεργειακού ισοζυγίου (HungNguyen *et al.*, 2016).

## 2.4 Η αγροοικολογία ως προσέγγιση

Αγροοικολογία είναι η μελέτη των οικολογικών διεργασιών στα συστήματα γεωργικής παραγωγής. Η χρήση οικολογικών αρχών μπορεί να προτείνει νέες διαχειριστικές προσεγγίσεις στα αγροοικοσυστήματα. Ο όρος χρησιμοποιείται, αρκετά συχνά, ανακριβώς.

Οι αγροοικολόγοι μελετούν πολλά αγρο-οικοσυστήματα. Ο τομέας της αγροοικολογίας δεν σχετίζεται με μία μόνο μέθοδο καλλιέργειας, είτε θα είναι οργανική, ολοκληρωμένη είτε συμβατική, εντατική ή εκτεταμένη (Wikipedia, n.d.).

Η Αγροοικολογία είναι η εφαρμογή της οικολογίας στο σχεδιασμό και τη διαχείριση των βιώσιμων συστημάτων παραγωγής. Πρόκειται για μια προσέγγιση συνολικών συστημάτων στην ανάπτυξη της γεωργίας και του συστήματος τροφίμων που βασίζεται στην εναλλακτική γεωργία (ορισμένοι αγροοικολόγοι χρησιμοποιούν τον όρο αγροοικολογία ειδικά για αυτόν τον τύπο γεωργίας), παραδοσιακές γνώσεις και εμπειρίες συστημάτων τροφίμων. Αυτή η προσέγγιση συνδέει την οικολογία, τον πολιτισμό, τα οικονομικά και την κοινωνία για τη διατήρηση της γεωργικής παραγωγής, του υγιούς περιβάλλοντος, των βιώσιμων κοινοτήτων και αγροτικών εκμεταλλεύσεων. Η αγροοικολογία είναι μια επιστήμη, μια πρακτική και ένα κίνημα (Verhagenetal. 2017). Η Αγροοικολογία αναγνωρίστηκε επίσημα το 2006 ως επιστήμη από τον Βραζιλιάνικο Οργανισμό Αγροτικής Έρευνας (Embrapa). Για αυτούς, η αγροοικολογία είναι η οικολογία των συστημάτων τροφίμων (ακολουθώντας τους Francisetal., 2003) και ιστορικά αναδύεται από την εναλλακτική γεωργία και τις μικρές οικογενειακές εκμεταλλεύσεις (Wezeletal., 2009). Είναι ένα κίνημα επειδή αναζητά νέους τρόπους για να συνδέσει τη γεωργία με την κοινωνία (Silici, 2014; Verhagenetal., 2017). Τι είναι ένα αγροοικολογικό κίνημα; Ένα αγροοικολογικό κίνημα μπορεί να είναι μια ομάδα αγροτών που εργάζεται για την επισιτιστική ασφάλεια, την κυριαρχία και την αυτονομία. Ή θα μπορούσε να είναι ένα πιο πολιτικό κίνημα του τοπικού πληθυσμού για αγροτική ανάπτυξη (Βραζιλία). Ή μπορεί να είναι ένα κίνημα ομάδας αγροτών για την επέκταση της εναλλακτικής γεωργίας μέσω κοινωνικών συνεργασιών για την καλύτερη ανταπόκριση στις οικολογικές και περιβαλλοντικές προκλήσεις σε σχετικά εξειδικευμένα συστήματα γεωργικής παραγωγής όπως στις ΗΠΑ. Αυτά τα κινήματα είναι σαφώς προσανατολισμένα στη δράση και γενικά συμβαίνουν ως απάντηση σε υψηλότερους κοινούς στόχους όπως η αειφόρος ανάπτυξη και η βιώσιμη γεωργία. Πολλές από τις πρώτες εργασίες του έργου που σήμερα μπορούσαμε να ονομάσουμε «αγροοικολογικό κίνημα» δεν χρησιμοποίησαν πραγματικά τον όρο, και συχνά βρίσκονταν στο πλαίσιο ευρύτερων περιβαλλοντικών δραστηριοτήτων. Αυτό προκαλεί κάποια έλλειψη ισορροπίας στις μελέτες ανά χώρα. Στις ΗΠΑ, για παράδειγμα, ο Hecht (1995) αναφέρει ότι οι περιβαλλοντικές κινήσεις της δεκαετίας του 1970 ενίσχυσαν την αγροοικολογία ως επιστήμη. Αντιθέτως, τέτοιες σχέσεις μεταξύ της κίνησης και της επιστήμης δεν καθιερώθηκαν ποτέ στη Γερμανία, επομένως, η γνώση για παρόμοιες κινήσεις περιορίζεται σε δημοσιεύσεις που χρησιμοποιούν τον όρο αγροοικολογία. Γενικά, οι αγροοικολογικές πρακτικές είναι νέες, τροποποιημένες ή προσαρμοσμένες πρακτικές ή τεχνικές που συμβάλλουν σε μια πιο φιλική προς το περιβάλλον, οικολογική, βιολογική ή εναλλακτική γεωργία. Χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση της παραδοσιακής ή της γηγενούς γεωργίας στις αναπτυσσόμενες χώρες. Οι διαφορετικές πρακτικές είναι κατάλληλες για τους σχετικούς στόχους, τους ορισμούς και την πιστοποίηση στην περίπτωση της βιολογικής γεωργίας. Για την παραδοσιακή γεωργία, οι πρακτικές αφορούν κυρίως τη γονιμότητα του εδάφους και τη διαχείριση οργανικών υλικών ή τη διατήρηση των πόρων ή τεχνικές για συστήματα εξωτερικής εισροής με χαμηλά

επίπεδα. Η βιολογική διαχείριση παρασίτων ή οι τεχνικές βελτίωσης της γονιμότητας του εδάφους είναι βασικοί στόχοι για φιλική προς το περιβάλλον, βιολογική ή εναλλακτική γεωργία. Αντίθετα, η αγροοικολογία αμφισβητεί την ερμηνεία της βιολογικής γεωργίας ως απλή υποκατάσταση εισροών και όχι επανασχεδιασμό του συστήματος (RossetandAltieri, 1997), και μπορεί επίσης να γεφυρώσει τη διαίρεση που έγινε από την Οικογεωργία μεταξύ παραγωγικών και φυσικών περιοχών (Altieri, 2004; Wezeletal. , 2009).

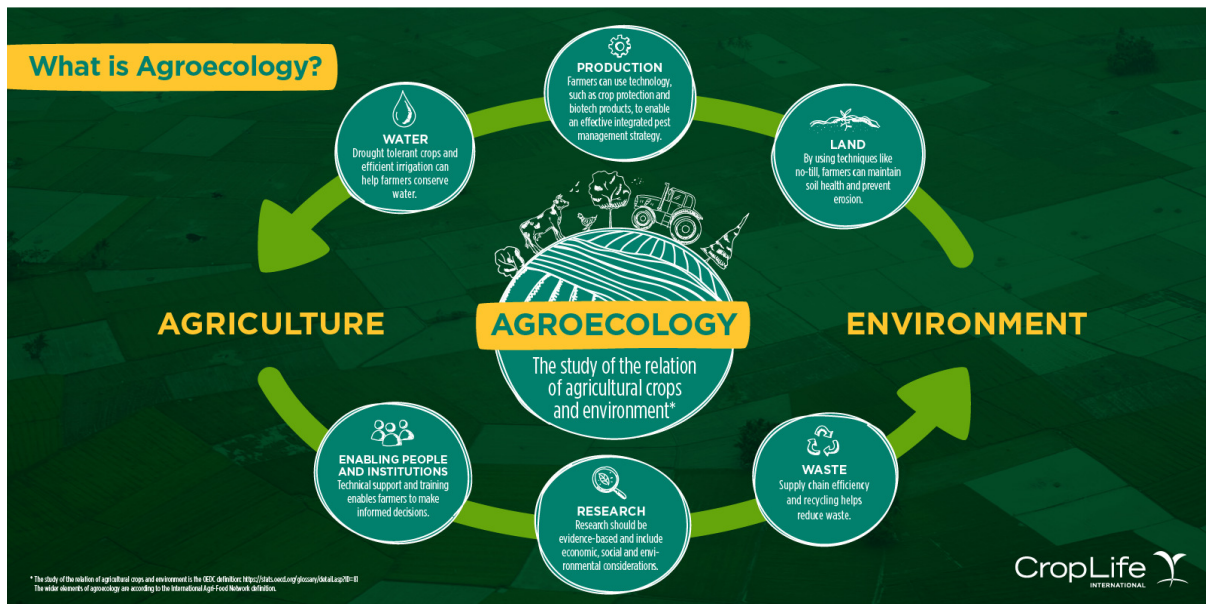
Οι αγροοικολογικές προοπτικές μπορούν να εφαρμοστούν στη διαχείριση του εδάφους, των καλλιεργειών και των ζώων, καθώς και σε ζητήματα πιο εκτεταμένα, κοινωνικά, περιβαλλοντικά και επισιτιστικά. Οι αγροοικολογικές πρακτικές, όπως η χρήση αμειψισποράς και πολυκαλλιεργειών, ο βιολογικός έλεγχος παρασίτων ή η χρησιμοσπρίων για τον βιολογικόέλεγχο του αζώτου, δεν είναι μοναδικές για ορισμένες ομάδες αγροτών και μπορούν να χρησιμοποιηθούν από όλους τους αγρότες, είτε μεμονωμένα είτε με οποιονδήποτε συνδυασμό. Οι συνδυασμοί μεταξύ μεμονωμένων πρακτικών μπορεί να είναι σημαντικοί. Η Αγροοικολογία προτιμά την ιδέα «επανασχεδιασμού συστήματος» παρά την ιδέα «αντικατάστασης εισόδου» για ανώτερο όφελος. Μερικές φορές, όπως στη βιολογική γεωργία, για να επιτευχθεί με επιτυχία η εμπορία προϊόντων σε προνομιακές τιμές στους καταναλωτές, ο συνδυασμός πρακτικών πρέπει να κωδικοποιηθεί (να ρυθμιστεί). Από τις καλύτερες τεκμηριωμένες προσεγγίσεις, τρεις - ολοκληρωμένη διαχείριση καλλιεργειών/ αγροκτημάτων, βιολογική γεωργία και αγροδοσσοκομία - αξιολογούνται λεπτομερώς, σε σύγκριση με τα εντατικά, παραδοσιακά συστήματα, όσον αφορά: (α) παραγωγικότητα, (β) χρήση ενέργειας και εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, (γ) βιοποικιλότητα και οφέλη οικοσυστήματος, (δ) προστασία του εδάφους και των υδάτων και (ε) κερδοφορία (Lampkinetal., 2015). Σκοπός της ανάλυσης είναι η παρουσίαση του συμπεράσματος ότι οι αγροοικολογικές προσεγγίσεις μπορούν:

1. Να διατηρήσουν η και να αυξήσουν την παραγωγικότητα, αλλά με εξαίρεση τη βιολογική γεωργία, όπου οι αποδόσεις ανά εκτάριο μπορούν ουσιαστικά να μειωθούν λόγω περιορισμών στη χρήση αγροχημικών εισροών. Παρ όλα αυτά, η παραγωγικότητα του οργανικού συστήματος σε σχέση με άλλες εισροές, συμπεριλαμβανομένης της εργασίας, και σε σχέση με τη χρήση των πόρων (εκτός γης) ανά μονάδα παραγόμενου φαγητού, μπορεί να είναι η ίδια ή ακόμα και καλύτερη.
2. Μειώσουν την κατανάλωση μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως ανά μονάδα γης και ανά μονάδα προϊόντος, αν και τα οφέλη στη δεύτερη βάση, δεν είναι τόσο μεγάλα στην οργανική περίπτωση λόγω των χαμηλότερων αποδόσεων.
3. Διατηρήσουν ή αυξήσουν την βιοποικιλότητα και την παραγωγή σχετικών υπηρεσιών οικοσυστήματος, με κατάλληλα σχεδιασμένη και διαχειριζόμενη αγροδοσσοπονία και οργανικά συστήματα που συμβάλλουν ενδεχομένως μεγαλύτερα οφέλη από τα ολοκληρωμένα συστήματα.

4. Διατηρήσουν το φυσικόκεφάλαιο με τη μορφή του εδάφους και των υδάτινων πόρων ως αποτέλεσμα της μειωμένης χρήσης, της προσεκτικής διαχείρισης και της μειωμένης ή περιορισμένης χρήσης δυνητικά ρυπογόνων εισροών.

5. Διατηρήσουν ή αυξήσουν την αποδοτικότητα των γεωργικών συστημάτων μέσω της καταλληλότερης χρήσης εισροών, μειώνοντας το κόστος, διαφοροποιώντας το ποσό των εισροών και, στην περίπτωση της βιολογικής γεωργίας, αναπτύσσοντας εξειδικευμένες αγορές με υψηλές τιμές για να αντισταθμίσουμε τις χαμηλότερες αποδόσεις (Lampkin et al. , 2015).

Ένα παράδειγμα της αγροοικολογίας εν δράσει είναι ένα οικοσύστημα που κατασκευάστηκε από Κινέζους αγρότες στο οποίο φύλλα από μουριά τρέφουν μεταξοσκώληκες των οποίων τα σωματικά απόβλητα στη συνέχεια γίνονται τροφή για ψάρια (Εικ. 5). Το οργανικό υλικό της ύλης στη λίμνη χρησιμοποιείται στη συνέχεια ως λίπασμα για τις μουριές, συμπληρώνοντας έτσι έναν ενάρετο κύκλο παραγωγής. Για αιώνες, αυτό το σύστημα υποστηρίζει επίσης βοηθητικές επιχειρήσεις, όπως η κατασκευή μεταξιού. Η αγροοικολογία μπορεί να προστατεύσει τους φυσικούς πόρους και τη βιοποικιλότητα, καθώς και να προωθήσει την προσαρμογή και τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής. Μπορεί επίσης να βελτιώσει την ανθεκτικότητα των οικογενειακών αγροτών, ειδικά σε αναπτυσσόμενες χώρες όπου η πείνα είναι συγκεντρωμένη. Μπορεί να συμβάλει στην παραγωγή και κατανάλωση υγιεινών και θρεπτικών τροφίμων και να ενισχύσει τις τοπικές οικονομίες και αγορές. Αυτά τα πολλαπλά οφέλη καθιστούν την αγροοικολογία έναν σημαντικό δρόμο για την επίτευξη της ατζέντας του 2030 και την αντιμετώπιση αλληλοσυνδεόμενων προκλήσεων (FAO, 2018)



Εικόνα 5:Αγροοικολογία – Η μελέτη των σχέσεων γεωργικών καλλιεργειών και περιβάλλοντος

## 2.5 Το σύστημα γεωργικού τομέα – Συγκεντρωτικός δείκτης



Όλα τα γεωργικά συστήματα που πραγματοποιούνται σε μια περιοχή ή σε μια εθνική επικράτεια δημιουργούν μια δραστηριότητα ή ένα παραγωγικό-γεωργικό- τομέα, η βιωσιμότητα των οποίων μπορεί να αξιολογηθεί με τη χρήση ενός μεγάλου φάσματος δεικτών για να διασφαλιστεί ότι όλες οι σχετικές πτυχές είναι πλήρως καλυμμένες. Για να είναι συνεκτικοί και κατανοητοί, οι δείκτες οργανώνονται σε κατηγορίες κριτηρίων που αντικατοπτρίζουν τα βιοφυσικά, αγρονομικά, κοινωνικά, οικονομικά και πολιτικά μέρη του παραγωγικού -γεωργικού- τομέα. Στο ανώτερο επίπεδο της ιεραρχίας του γεωργικού συστήματος, οι πιο συνεκτικοί τομείς κριτηρίων είναι οι ακόλουθοι τέσσερις:

1. Αγροποικιλότητα
2. Αποδοτικότητα του γεωργικού συστήματος
3. Χρήση βασικών πόρων γης
4. Επισιτιστική ασφάλεια

Για τη μέτρηση αυτών των τεσσάρων κριτηρίων οι πιο κατάλληλοι δείκτες είναι:

(α) Για την αγροποικιλότητα: δείκτης κυριαρχίας καλλιέργειας, παράγοντας αγροποικιλότητας καλλιεργειών, γενετική μεταβλητότητα και επιφανειακή μεταβλητότητα.

(β) Για την αποδοτικότητα του γεωργικού συστήματος: δείκτης ισοτιμίας, απόδοση και κενό απόδοσης (yieldgap) και λόγος κόστους-οφέλους

(γ) Για χρήση βασικών πόρων γης: Αναλογίες όπως διαθεσιμότητα γης / ζήτηση γης, ζήτηση γης / καλλιεργούμενη γη, καλλιεργούμενη γη / αποψιλωμένη γη, υποβαθμισμένη γη / καλλιεργούμενη γη, καλλιεργούμενη γη / κάτοικος, αρδευόμενη γη / άρδευση γης

(δ) Για επισιτιστική ασφάλεια: δείκτης παραγωγής κατά κεφαλήν, λόγοι όπως γεωργικός πληθυσμός / συνολικός πληθυσμός, εξαγωγές / εισαγωγές και παραγωγή τροφίμων / προμήθεια τροφίμων (Zinck *et al.*, 2004).

Για τη βιωσιμότητα ορισμένων συνιστωσών του γεωργικού τομέα, ορισμένοι μεμονωμένοι ή μερικοί δείκτες αποτελούν μεγάλη βοήθεια αξιολογώντας το σύνολο. Επομένως, υπάρχει ανάγκη να συμπεριληφθούν μερικοί δείκτες, οι οποίοι θα αναφέρονται σε μεμονωμένους δείκτες με πιο κατανοητές εκφράσεις αειφορίας. Η συνολική βιωσιμότητα του γεωργικού τομέα σε εθνικό επίπεδο μπορεί επίσης να αξιολογηθεί από έναν συγκεντρωτικό δείκτη, ο οποίος υπολογίζεται με μέση τιμή των ομαλοποιημένων τιμών συγκεκριμένων επιλεγμένων δεικτών. Ένας τέτοιος δείκτης θα μπορούσε να εκτιμήσει το επίπεδο βιωσιμότητας του γεωργικού τομέα σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή με μόνο έναν ποσοτικό αριθμό και επίσης να παρακολουθεί την επανάσταση που έχει επιτύχει με την πάροδο του χρόνου, αλλά λαμβάνοντας επίσης υπόψη όλες τις επιφυλάξεις που περιέχει μια τέτοια ακραία απλοποίηση (Zinck *et al.*, 2004).

## 2.6 Βιώσιμη εντατικοποίηση

Κατά τη διάρκεια του 2007-2008, η παγκόσμια αύξηση των τιμών των βασικών προϊόντων έδειξε ότι η ζήτηση για τρόφιμα ήταν στην αρχή μιας ανεξέλεγκτης αύξησης, μια ζήτηση που αυξανόταν πολύ πιο γρήγορα από την πραγματική προσφορά τροφίμων. Για αυτήν την στροφήστη διαθεσιμότητα των τροφίμων, η ευθύνη βαρύνει ένα φάσμα διαρθρωτικών προβλημάτων, όπως: Αποτυχίες στη διανομή, ασυγκράτητη αλυσίδα εφοδιασμού και ανισότητες στην αγοραστική δύναμη. Η παρατεταμένη αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού και η επέκταση της μεσαίας τάξης σε πολλές χώρες, επηρεάζουν το «μέγεθος» και τη φύση της ζήτησης τροφίμων, με τη μετάβαση σε δίαιτες που είναι πλούσιες σε ζωικές πρωτεΐνες. Η συνεχιζόμενη άνοδος στις παγκόσμιες θερμοκρασίες, τα αυξανόμενα τροποποιησιμα καιρικά φαινόμενα και ο μεγαλύτερος ανταγωνισμός για το νερό, τη γη και την ενέργεια θα επηρεάσουν κάποτε, με κάποιο τρόπο, το παγκόσμιο σύστημα τροφίμων και τις υπηρεσίες οικοσυστήματος που υποστηρίζουν γενικά τη γεωργία και το περιβάλλον. Στη συνέχεια, το 2009 η «βιώσιμη εντατικοποίηση» ήρθε στην επιφάνεια ως απάντηση στο ερώτημα «πώς να αυξήσετε τη διαθεσιμότητα τροφίμων χωρίς να επαναλάβετε τις ζημιές στο περιβάλλον».

Ο όρος «βιώσιμη εντατικοποίηση» που προωθήθηκε για πρώτη φορά από τον Pretty (1997), έχει χρησιμοποιηθεί όλο και περισσότερο στο πλαίσιο της γεωργικής πολιτικής του Ηνωμένου Βασιλείου τα τελευταία χρόνια. Ωστόσο, υπόκειται σε πολλές διαφορετικές ερμηνείες, που οδηγούν σε πιθανά διαφορετικά συμπεράσματα σχετικά με το επίπεδο σπουδαιότητας των γεωργικών προσεγγίσεων. Η έννοια της βιώσιμης εντατικοποίησης μπορεί πραγματικά να εστιαστεί στην πρακτική των εξωτερικών εισροών, των ανεπτυγμένων τεχνολογιών και των υψηλών επιπέδων κεφαλαίου. Αυτό αντικατοπτρίζεται στη στρατηγική γεωργικής τεχνολογίας της κυβέρνησης του Ηνωμένου Βασιλείου (*HMGovernment, 2013*). Μερικές από τις χρησιμοποιούμενες ερμηνείες είναι πολύ παρόμοιες με το αγροοικολογικό όραμα του Pretty για μια μορφή γεωργίας που στηρίζει τις ελπίδες της στην ολοκληρωμένη χρήση μιας μεγάλης πυξίδας τεχνολογιών για τη διαχείριση παρασίτων, θρεπτικών ουσιών, νερού και εδάφους. Οι τοπικές γνώσεις και οι προσαρμοστικές μέθοδοι προτιμώνται περισσότερο από τα ολοκληρωμένα πακέτα τεχνολογιών που παρέχονται εξωτερικά. Η αναγεννητική γεωργία χαμηλής εισροής, η οποία βασίζεται στη συμμετοχή όλων των αγροτών και σε όλα τα στάδια της προόδου και της επέκτασης, μπορεί να είναι εξαιρετικά παραγωγική. Ορισμένοι συγγραφείς τονίζουν περισσότερο την εντατικοποίηση για να αυξήσουν την παραγωγή και υποστηρίζουν ότι η έννοια που ονομάζεται «βιώσιμη εντατικοποίηση», είναι πολύ πιο περίπλοκη από την τεχνολογία και οι εισροές υποδηλώνουν και ότι ένα «παραγωγή περισσότερων με λιγότερο» είδος ορισμού είναι εντελώς ανεπαρκές. Για παράδειγμα, οι Elliot et al., 2013, προτείνουν ότι η βιώσιμη εντατικοποίηση μπορεί να εφαρμοστεί στην πράξη για να «επιτύχει βελτιώσεις στην παραγωγικότητα, ενώ ταυτόχρονα να μειώνει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ή αλλιώς να μην αυξάνει αυτές τις δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις». Η έκθεση της Royal Society (2009) σχετικά με τη βιώσιμη εντατικοποίηση έδωσε έμφαση στη χρήση της επιστήμης για «αύξηση της παραγωγής, προστατεύοντας ταυτόχρονα τις κοινωνίες, τις οικονομίες και το φυσικό περιβάλλον από αρνητικές επιπτώσεις». Η έκθεση Foresight (2011) για το μέλλον των τροφίμων και της γεωργίας εκφράζει τη βιώσιμη εντατικοποίηση ως «ταυτόχρονα αύξηση των αποδόσεων,

αύξηση της αποτελεσματικότητας με την οποία χρησιμοποιούνται οι εισροές και μείωση των αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων της παραγωγής τροφίμων». Με όλα τα προαναφερθέντα, σχετικά με τη βιώσιμη εντατικοποίηση, η ομάδα εργασίας του BBSRC (Συμβούλιο Έρευνας Βιοτεχνολογίας και Βιολογικών Επιστημών) έχει παρόμοια γνώμη και θέση. Τα προβλήματα στον καθορισμό της βιώσιμης εντατικοποίησης δεν σταματούν ακόμα. Μια άλλη πρόκληση στον καθορισμό της είναι η διαφοροποίηση μεταξύ αύξησης της παραγωγής και βελτίωσης της παραγωγικότητας, όπου η παραγωγικότητα περιλαμβάνει αποτελεσματικότερη χρήση πόρων, συμπεριλαμβανομένης της γης, της εργασίας, του νερού και της ενέργειας. Ενώ η προσοχή συχνά δίνεται στις αποδόσεις ανά εκτάριο, η πρόκληση μπορεί να μην είναι μόνο το πόση τροφή ανά μονάδα γης μπορούμε να παράγουμε. Άλλοι πόροι μπορεί να είναι πιο περιοριστικοί, με την υποβάθμιση του εδάφους, τη διαθεσιμότητα νερού, τα αποθέματα πετρελαίου και φωσφόρου να είναι όλα πιθανώς κεντρικά ζητήματα. Το ερώτημα είναι, εάν τόσο η συνολική παραγωγή όσο και η παραγωγικότητα ενισχυθούν, αυτό σημαίνει περισσότερη αποδοτικότητα (ανά μονάδα παραγωγής), αλλά ίσως με ανεπιθύμητη αύξηση της συνολικής χρήσης υλικών και τεχνολογικών εισροών, ή είναι οικολογική εντατικοποίηση ικανή να διαδραματίσει θετικό ρόλο βοηθώντας στη μείωση της χρήσης εισροών συνολικά; Η Μόνιμη Επιτροπή Γεωργικών Ερευνών της ΕΕ (SCAR) διατυπώνει επίσης ένα ερώτημα σχετικά με το κατά πόσον πρέπει να υπάρξει προσπάθεια αύξησης της παραγωγής, παρουσιάζοντας αντίθετες αφηγήσεις παραγωγικότητας και επάρκειας (SCAR, 2011), και δίνοντας έμφαση σε θέματα υπερκατανάλωσης και σπατάλης. Η επάρκεια ορίστηκε ως αποδόσεις, οι οποίες έχουν την ικανότητα να παρέχουν μια διατροφή γεμάτη θρεπτικά συστατικά, όσον αφορά τη διατροφική ενέργεια (2.800 / kcal / άτομο / ημέρα) πρωτεΐνη και λίπος (Erb *et al.*, 2009) που αναφέρεται στο SCAR (op cit.). Φυσικά, σε τόσο σημαντικά και περίπλοκα ζητήματα υπάρχουν πάντα επιχειρήματα, ένα από τα οποία είναι εάν είμαστε σε θέση να παράγουμε αρκετή τροφή για έναν αυξημένο παγκόσμιο πληθυσμό εάν χρησιμοποιήσουμε όλες τις καλλιέργειες που παράγονται για να ταΐσουν άμεσα τους ανθρώπους (Smil, 2000; Hanley, 2014). Η ιδέα για την επάρκεια θα μπορούσε να διευρυνθεί ώστε να περιλαμβάνει βιταμίνες και ανόργανα άλατα ή να αναφέρεται στην ποσότητα των ατόμων που τρέφονται ανά εκτάριο ως δείκτης παραγωγικότητας (Cassidy *et al.*, 2013). Στη συνέχεια, θα μπορούσε επίσης να επεκταθεί ώστε να συμπεριλάβει κάποιες άλλες υπηρεσίες προμηθειών όπως η παραγωγή ινών, καυσίμων και ξυλείας ή να περιλαμβάνουν επίσης την παραγωγή βιοποικιλότητας και συναφών υπηρεσιών οικοσυστήματος, αλλά αυτό μπορεί να υπερβεί τους περισσότερους από τους ορισμούς των βιώσιμων εντατικοποιήσεων. Ωστόσο, μπορεί να υπάρχουν μερικές καταστάσεις, όπως για παράδειγμα στα υνίπεδα, όπου η διαχείριση της βιοποικιλότητας και της παραγωγής υπηρεσιών οικοσυστήματος (όπως συντήρηση αποθεμάτων άνθρακα, η ποιότητα και αποθήκευση νερού, η διαχείριση κινδύνων πλημμύρας, η συμβολή των πολιτιστικών τοπίων και της άγριας φύσης στον τουρισμό και την αναψυχή) υπερτερεί της παραγωγής τροφίμων όσον αφορά την κάλυψη των ανθρώπινων αναγκών, με όλες τις προκλήσεις, οικονομικές ή άλλες, που αυτό συνεπάγεται (Lampkin *et al.*, 2015).

Ο σκοπός της βιώσιμης εντατικοποίησης είναι να αυξήσει την παραγωγή τροφίμων από μια καλλιεργήσιμη γη ενώ ταυτόχρονα να μειώσει την πίεση στο περιβάλλον και να σταματήσει την υπερεκμετάλλευση της γης. Η προσέγγιση είναι μια απάντηση στις προκλήσεις της αυξανόμενης ζήτησης τροφίμων από έναν αυξανόμενο παγκόσμιο πληθυσμό, αναγνωρίζοντας τη σημαντική κατάχρηση γης, νερού, ενέργειας και άλλων εισροών. Η ιδέα πίσω από την βιώσιμη εντατικοποίηση είναι πολύ απλή. Το μείζον είναι η ανάγκη εξεύρεσης λύσης για την αύξηση της ζήτησης για τρόφιμα από έναν αυξανόμενο και πλουσιότερο πληθυσμό χωρίς να θέτει το περιβάλλον σε πρόσθετο άγχος λόγω ρύπανσης ή όλο και περισσότερων διεκδικήσεων γης (Pretty, 1997; Tilman et al, 2011). Η ηγετική κοινότητα για την αειφόρο εντατικοποίηση που αποτελείται κυρίως από επιστήμονες και γεωπόνους δίνει μεγάλη έμφαση στην πρωτογενή παραγωγή και την αποδοτικότητα των υδάτινων πόρων και τα αγροχημικά χρησιμοποιώντας την καλύτερη διαθέσιμη τεχνολογία και τεχνογνωσία (Verhagen et al., 2017).

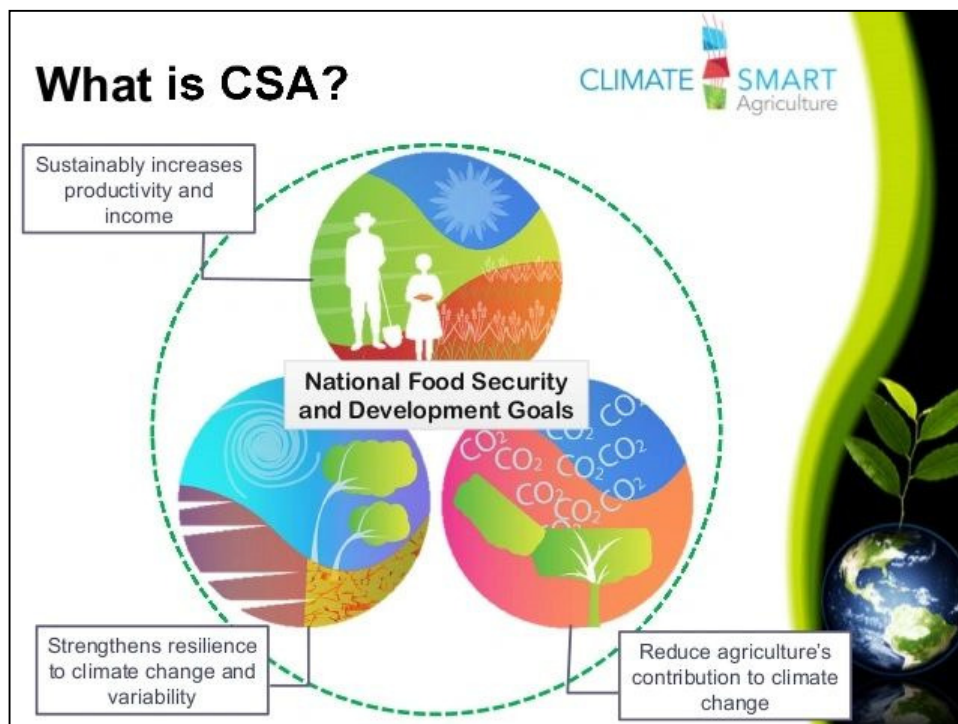
## 2.7 Κλιματικά έξυπνη γεωργία (CSA)

Η κλιματικά έξυπνη γεωργία είναι μια προσέγγιση για την ανάπτυξη των τεχνικών, πολιτικών και επενδυτικών συνθηκών για την επιτυχήβιώσιμη αγροτική ανάπτυξηκαι την επισιτιστική ασφάλεια υπό συνθήκες αλλαγής του κλίματος. Οι στόχοι της CSA (εικ. 5) είναι η βιώσιμη αύξηση της παραγωγικότητας και των εισοδημάτων της γεωργίας, η προσαρμογή και η ανάπτυξη ανθεκτικότητας στην αλλαγή του κλίματος και, τέλος, αλλά όχι λιγότερο σημαντικό, η μείωση ή η διακοπή της ρύπανσης της ατμόσφαιρας, που προκαλείται από τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, όπου είναι δυνατόν.

Η προσέγγιση CSA επινοήθηκε από τον Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) το 2010 στη Διάσκεψη της Χάγης για τη γεωργία, την επισιτιστική ασφάλεια και την κλιματική αλλαγή. Η ιδέα επικεντρώθηκε αρχικά στην άμβλυνση και την επισιτιστική ασφάλεια, αλλά αργότερα αναπτύχθηκε προς την προσαρμογή και την εστίαση στην επισιτιστική ασφάλεια. Στην Ευρώπη, η έννοια της έξυπνης γεωργίας για το κλίμα καθοδηγείται κυρίως από την ανάγκη κάλυψης της αυξανόμενης ζήτησης για βιομάζα σε ποσότητα και ποιότητα για πολλές διαφορετικές μορφές βιομηχανίας (χημικά, φαρμακευτικά προϊόντα, συσκευασίες και κατασκευές) και για την παροχή εναλλακτικών πηγών ενέργειας, με στόχο την αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων με μια ποικιλία άλλων τομέων στην οικονομία (Wageningen UR, 2013). Επίσης, η γεωργία θεωρείται όλο και περισσότερο ένας βιώσιμος τομέας με πιθανότητα μείωσης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, οι οποίες μολύνουν την ατμόσφαιρα (Verhagen et al., 2017).

Από την εισαγωγή του, ο όρος «κλιματική έξυπνη γεωργία» αγκαλιάστηκε γρήγορα από τη διεθνή κοινότητα, τις εθνικές κυβερνήσεις καθώς και από ερευνητικά ιδρύματα. Σύμφωνα με τον FAO, αυτή η έννοια έχει πλέον ευρεία αποδοχή. Τον Ιούλιο του 2015, η Παγκόσμια Συμμαχία για την Κλιματικά Έξυπνη Γεωργία (GACSA), η οποία ξεκίνησε κατά τη διάρκεια της Διάσκεψης Κορυφής του ΟΗΕ το Σεπτέμβριο του 2014 στη Νέα Υόρκη, είχε 96 μέλη, συμπεριλαμβανομένων 22 κυβερνήσεων. Τα περισσότερα μέλη προέρχονταν από διακυβερνητικούς και οργανισμούς αναζήτησης, επέκτασης και εκπαίδευσης. Πέντε μόνο

μέλη ήταν από τον ιδιωτικό τομέα. Πάνω από 100 οργανώσεις της κοινωνίας των πολιτών δήλωσαν όχι στην προσέγγιση GACSA, λόγω της πεποίθησής τους, ότι το πρότυπο CSA παρέχει μια πλατφόρμα για την αγροτική και βιομηχανική γεωργία για να παρουσιάσουν τις πρακτικές τους ως λύσεις στο πρόβλημα που ονομάζεται κλιματική αλλαγή. Η Συμμαχία της Αφρικής CSA (ACSAA) ξεκίνησε τον Ιούνιο του 2014, με σκοπό την αύξηση της υιοθέτησης πρακτικών CSA από τους αγρότες μικρής ηλικίας στην υποσαχάρια Αφρική, ώστε να βελτιωθεί η ασφάλεια επισιτισμού και των συνθηκών διαβίωσης και η ανθεκτικότητα στην αλλαγή του κλίματος. Η ουτοπική φύση της προσέγγισης «κλιματικά έξυπνη γεωργία» αποτελεί ταυτόχρονα τον περιορισμό της. Η προσέγγιση CSA καλύπτει διάφορους τύπους δράσεων, χωρικές κλίμακες και τομείς. Η CSA σχετίζεται με δράσεις τόσο εντός της εκμετάλλευσης όσο και εκτός της εκμετάλλευσης και περιλαμβάνει τεχνολογίες, πολιτικές, ιδρύματα καθώς και επενδύσεις. Αυτές οι δράσεις μπορεί να περιλαμβάνουν τη διαχείριση αγροκτημάτων, κτηνοτροφίας και αλιείας για τη διαχείριση των πόρων με τον καλύτερο δυνατό τρόπο, τη διαχείριση του οικοσυστήματος και του τοπίου και τις υπηρεσίες τόσο για τους αγρότες όσο και για τους διαχειριστές γης. Λόγω του μεγάλου αριθμού ενεργειών στη διαχείριση, την οργάνωση, την πολιτική και τη χρηματοδότηση, η προσέγγιση CSA τείνει να γίνει όρος που περιλαμβάνει πληθώρα προσεγγίσεων (Verhagen et al., 2017)



Εικόνα 5: Οι τρεις κύριοι στόχοι της κλιματικά έξυπνης γεωργίας (THRAIYUKTA, 2018)

## 2.8 Προσέγγιση τοπίου

Αυτή η προσέγγιση στοχεύει στην παροχή εργαλείων και ιδεών για τη διανομή και διαχείριση γης για την επίτευξη κοινωνικών, οικονομικών και περιβαλλοντικών στόχων στις

περιοχές, όπου η γεωργία, η εξόρυξη και ορισμένες άλλες παραγωγικές χρήσεις γης, ενεργούν ανταγωνιστικά τόσο με περιβαλλοντικούς όσο και με στόχους βιοποικιλότητας. Η προσέγγιση τοπίου (landscapeapproach- LA) αναπτύχθηκε ως κατασκευή για μέτρα προστασίας στο επίπεδο του τοπίου. Η προσέγγιση τοπίου επιβλέπει μεγάλες, συνδεδεμένες γεωγραφικές περιοχές για να αναγνωρίσει πλήρως τις συνθήκες και τις τάσεις των φυσικών πόρων, τις φυσικές και ανθρώπινες επιρροές και τις χρυσές ευκαιρίες για προστασία, αποκατάσταση και ανάπτυξη πόρων. Η προσέγγιση τοπίου επιδιώκει πραγματικά να αναγνωρίσει σημαντικές οικολογικές αξίες, καθώς και πρότυπα περιβαλλοντικής πρόκλησης, τα οποία μπορεί να φανούν ή να μην φαίνονται καθαρά κατά τη διαχείριση μικρότερων, τοπικών περιοχών γης. Με λίγα λόγια, αυτό που επιδιώκει η προσέγγιση τοπίου είναι να αντιμετωπίσει τις αυξανόμενες περίπλοκες και επικρατούσες περιβαλλοντικές, κοινωνικές και πολιτικές προκλήσεις, οι οποίες ξεπερνούν τα παραδοσιακά όρια διαχείρισης (Reed et al., 2015).

Η διατήρηση της βιοποικιλότητας αντιμετωπίστηκε σε ένα αναλυτικό «πλαίσιο τοπίου» από το 1983 τουλάχιστον (Sayer et al., 2015). Το 1997, μια συνολική αναφορά διαχείρισης του οικοσυστήματος χρησιμοποίησε τον όρο «τοπίο» μόνο στο πλαίσιο της οπτικής επίδρασης των παρεμβολών στη διαχείριση των δασών. Η προσέγγιση του τοπίου προωθείται κυρίως από τους υπέρμαχους της διατήρησης του περιβάλλοντος, αλλά επίσης, όλο και περισσότερο κάθε μέρα, χρησιμοποιείται για τη σύνδεση με οποιεσδήποτε βιομηχανίες ή/και αγορές μέσω της αλυσίδας αξίας. Τέλος, η ιδέα της προσέγγισης τοπίου συνδυάζει τη διατήρηση, την παραγωγή τροφίμων καθώς και ζητήματα ανάπτυξης στο πλαίσιο του τοπίου (Reed et al., 2015) και αγκαλιάζεται κυρίως από ΜΚΟ προσανατολισμένες στην οικολογία και σε χαμηλότερο βαθμό, από επιστημονικές ομάδες και υπεύθυνους χάραξης πολιτικής (Verhagen et. al., 2017).

## 2.9 Γεωργία συντήρησης

Η γεωργία συντήρησης (conservationagriculture- CA) έχει τη φιλοδοξία να βρει καλύτερους τρόπους χρήσης των γεωργικών πόρων, με την ολοκληρωμένη διαχείριση των διαθέσιμων εδαφών, υδάτων και φυσικών πόρων, σε συνδυασμό με περιορισμένες εξωτερικές εισροές. Βοηθά την προστασία του περιβάλλοντος και τη βιώσιμη γεωργική παραγωγή διατηρώντας μια μόνιμη ή ημι-μόνιμη οργανική κάλυψη εδάφους. Καθόλου, ή τουλάχιστον ελάχιστο όργωμα (καλλιέργεια γης), άμεση σπορά και ποικίλη αμειψισπορά είναι τα πολύ σημαντικά στοιχεία.

Η γεωργία συντήρησης (CA) ορίζεται με πολλούς διαφορετικούς τρόπους, αλλά τα πιο σημαντικά συστατικά (Εικ. 6) είναι (α) η διαταραχή του εδάφους, με άροτρο ή οποιαδήποτε άλλη πρακτική οργώματος εδάφους, περιορίζεται σε χαμηλό επίπεδο, (β) τα «υπολείμματα» της καλλιέργειας παραμένουν στο χωράφι και (γ) αμειψισπορά για τον έλεγχο των ασθενειών (Hobbs et al., 2008). Τα πιθανά κέρδη είναι μια καλύτερη ποιότητα του εδάφους με αποτέλεσμα αυξητικές και σταθερές αποδόσεις. Τα τυχόν κόστη, που σχετίζονται με τη χρήση μηχανών για πρακτικές οργώματος και τη διαχείριση ασθενειών, μειώνονται. Ήταν κάπου γύρω στη δεκαετία του 1930 που ξεκίνησε η ιδέα της γεωργίας συντήρησης. Η

αναγκαιότητα να βρούμε μια ιδέα όπως αυτή εμφανίστηκε, όταν μερικές από τις πόλεις της Αμερικής και τους αγρότες τους, επλήγησαν από το «Dust Bowl» (καταιγίδες σκόνης), που προκάλεσε μεγάλη ζημιά στις οικονομίες της περιοχής, την οικολογία και τη γεωργία (υποβάθμιση της γης κ.λπ.). Αυτή η ιστορική ανατροπή έχει σκοπό να καταστήσει κατανοητό το γεγονός ότι, η «κατασκευή» της γεωργίας συντήρησης ήταν ένα πολύ απαραίτητο και σημαντικό βήμα λόγω της κατάστασης. Η έννοια της συντήρησης της γεωργίας έχει υιοθετηθεί ευρέως στην περιοχή. Η ιδέα αγκαλιάστηκε επίσης στη Βραζιλία, λόγω προβλημάτων υποβάθμισης της γης. Η γεωργία συντήρησης διαφημίζεται ευρέως από παγκόσμια ιδρύματα όπως ο FAO και οι αγρότες στη Βραζιλία και τις ΗΠΑ, οι οποίοι εφαρμόζουν την προσέγγιση και είναι ικανοποιημένοι από αυτήν. Η επιστημονική βάση της γεωργίας συντήρησης και πιο συγκεκριμένα, η ικανότητά της να μεταφέρεται σε άλλες περιοχές είναι ανοιχτή για συζήτηση σε ορισμένα άρθρα, (Hobbs et al., 2008; Giller et al., 2009, 2011; Andersson & Giller 2012). Από τη μία πλευρά, οι θετικές προσπάθειες της γεωργίας συντήρησης για μείωση της διάβρωσης του εδάφους αναγνωρίζονται ευρέως, αλλά από την άλλη πλευρά, ένα σημαντικό ζήτημα τίθεται από τους Giller et al. (2009). Το ζήτημα είναι ότι οι υποστηρικτές της έννοιας δίνουν έμφαση κυρίως στα αποτελέσματα μιας ουτοπικής προσέγγισης της γεωργίας συντήρησης και, επομένως, δεν βλέπουν την ανάγκη να αναγνωρίσουν και να κατανοήσουν τις όχι τόσο οφθαλμοφανείς αιτίες και διαδικασίες που την οδηγούν στην επιτυχία (Verhagen et al., 2017). Τα συστατικά της CA είναι:

(α) Ελάχιστη αναμόχλευση του εδάφους

Ακολουθεί η σύγκριση άροσης και μη άροσης. Το μειονέκτημα των τρακτέρ είναι ότι καταναλώνουν μεγάλη ποσότητα ορυκτών καυσίμων, τα οποία είναι πραγματικά ακριβά, και, επιπλέον, εκπέμπουν αέρια θερμοκηπίου (κυρίως CO<sub>2</sub>) και ως αποτέλεσμα επιβαρύνουν το περιβάλλον συμβάλλοντας στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Τα συστήματα οργώματος με βάση τα ζώα είναι επίσης ακριβά λόγω της φροντίδας, της συντήρησης, καθώς και της τροφής (όλα αυτά για ένα συνεχές έτος) των ζώων, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν. Επίσης, τα ζώα εκπέμπουν μεθάνιο, το οποίο είναι ένα αέριο θερμοκηπίου 21 φορές πιο ισχυρό για το πρόβλημα της υπερθέρμανσης του πλανήτη από το διοξείδιο του άνθρακα (Grace et al., 2003). Από την άλλη πλευρά, η μηδενική άροση μειώνει αυτά τα κόστη και αυτές τις εκπομπές (Hobbs et al., 2008).

(β) Μόνιμη ή ημι-μόνιμη οργανική κάλυψη εδάφους

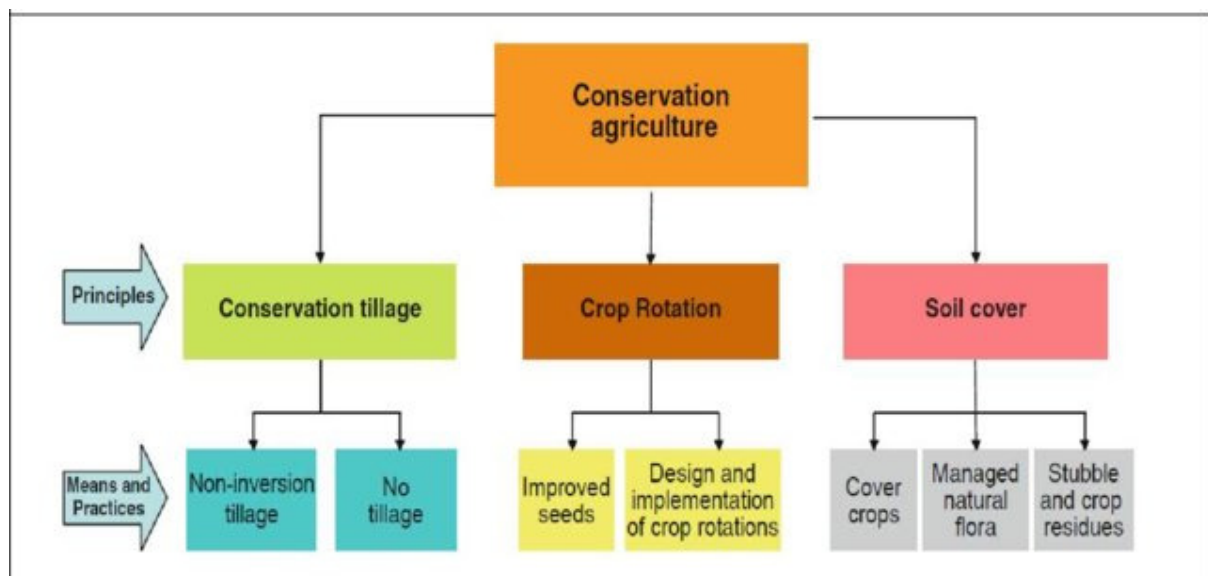
Τα υπολείμματα καλλιεργειών προκύπτουν όταν μια προηγούμενη καλλιέργεια αφήνεται στο χωράφι μετά την συγκομιδή ή όταν καλλιεργείται ένα φυτό κάλυψης (όσπριο ή μη) που μεγαλώνει και θανατώνεται ή κόβεται για να παρέχει οργανική ύλη. Μερικές φορές μπορεί να εφαρμοστεί εξωτερικά με τη μορφή λιπασμάτων ή κοπριάς, αλλά, στην περίπτωση αυτή, το κόστος μεταφοράς αυτού του βαρέως υλικού στο χωράφι μπορεί να περιορίσει την πρακτική του σε πιο πολύτιμες καλλιέργειες, όπως τα λαχανικά. Η ενέργεια των σταγόνων βροχής που πέφτουν σε ένα «γυμνό» έδαφος οδηγεί στην απόφραξη των πόρων του εδάφους και στη γρήγορη μείωση της διείσδυσης του νερού με το αρνητικό αποτέλεσμα της απορροής και της διάβρωσης του εδάφους. Τασάπια φύλλα του υπολείμματος παρεμποδίζουν αυτήν την

ενέργεια και προστατεύουν το επιφανειακό στρώμα του εδάφους από τη μαζική καταστροφή του εδάφους, ενισχύουν τη διείσδυση του νερού και μειώνουν την υποβάθμιση του εδάφους από τη διάβρωση (*Freebairn & Boughton, 1985; McGregor et al., 1990; Dormaar & Carefoot, 1996*). Η μη άροση σε συνδυασμό με το φυτικό υπόλειμμα εμποδίζει την κρυσταλλοποίηση του επιφανειακού στρώματος του εδάφους, αυξάνει τη διήθηση του νερού, μειώνει την απορροή και δίνει υψηλότερη απόδοση από ένα έδαφος που έχει οργωθεί (*Cassel et al.1995; Thierfelder et al., 2005* ). Τέλος, το υπόλειμμα της επιφάνειας, στερεωμένο ή χαλαρό, προστατεύει το έδαφος από τη διάβρωση του ανέμου (*Michels et al., 1995; Hobbs et al., 2008*).

(γ) αμειψισπορά

Είναι ένα εργαλείο διαχείρισης της γεωργίας που χρησιμοποιείται από την αρχαιότητα. Η εναλλαγή διαφορετικών τύπων καλλιεργειών με διαφορετικά μοτίβα ριζοβολίας σε συνδυασμό με χαμηλή στάθμη εδαφολογικής διαταραχής σε συστήματα μη άροσης προωθεί ένα ευρύτερο δίκτυο ριζικών καναλιών και μακρο πόρων στο έδαφος. Αυτό βοηθά πολύ στη διήθηση του νερού. Επειδή οι αμειψισπορές αυξάνουν τη μικροβιακή ποικιλομορφία, μειώνεται ο κίνδυνος παρασίτων και οι επιδημίες των παθογόνων οργανισμών, καθώς η βιολογική ποικιλομορφία βοηθά στον έλεγχο των παθογόνων οργανισμών (*Leake, 2003; Hobbs et al., 2008*).

Κατά συνέπεια, η έννοια «Γεωργία συντήρησης» εστιάζει μόνο σε κάθε τύπο πρακτικής διαχείρισης που επηρεάζει τη βραχυπρόθεσμη και μακροπρόθεσμη ποιότητα του εδάφους. Κατασκευάστηκε με το πρότυπο για την καταπολέμηση της διάβρωσης του εδάφους. Οποιαδήποτε άλλα κέρδη δεν είναι πάντα σαφή ή ακούσια, όπως μειωμένο κόστος για χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου. Επί του παρόντος, οι κλιματικές αλλαγές παρείχαν ένα ολοκαίνουργιο πρόσθετο κέρδος μέσω της δέσμευσης άνθρακα. Ωστόσο, το δυναμικό της έννοιας της γεωργίας συντήρησης για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής δεν είναι πολύ σαφές (*Verhagen et al., 2017*).





*Εικόνα 6: Οι τρεις αρχές της Γεωργίας Συντήρησης και οι κύριες πρακτικές και μέσα που απαιτούνται για να επιτευχθεί κάθε αρχή (Dwivedi, 2015)*

## **2.10 Βιολογική γεωργία**

Μια άλλη σημαντική προσέγγιση που πρέπει να συζητηθεί είναι η βιολογική γεωργία. Αυτή η προσέγγιση είναι ένα ολιστικό σύστημα διαχείρισης παραγωγής, το οποίο εξυπηρετεί και βελτιώνει την υγεία του αγρο-οικοσυστήματος, περιλαμβάνοντας τη βιοποικιλότητα, τους βιολογικούς κύκλους καθώς και τη βιολογική δραστηριότητα. Όσον αφορά τη βιολογική γεωργία, υπάρχουν πολλοί ορισμοί, αλλά όλοι ενώνονται για να παρουσιάσουν την προσέγγιση ως ένα σύστημα που εξαρτάται από τη διαχείριση του οικοσυστήματος και όχι από τις εξωτερικές γεωργικές εισροές. Είναι ένα σύστημα που αρχίζει να λαμβάνει υπόψη πιθανές περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις, εξαλείφοντας την πρακτική του συνθετικού τύπου εισροών, όπως συνθετικά λιπάσματα και φυτοφάρμακα, κτηνιατρικά φάρμακα, γενετικά τροποποιημένοι σπόροι και ράτσες, συντηρητικά, πρόσθετα και, τελευταίο αλλά σημαντικό, ακτινοβολία. Αυτοί, οι προαναφερθέντες συνθετικοί τύποι εισροών, αποκαθίστανται από τρόπους διαχείρισης στοχευμένους στο συγκεκριμένο τόπο, οι οποίοι διατηρούν και αυξάνουν τη μακροχρόνια γονιμότητα του εδάφους και προστατεύουν από παράσιτα και ασθένειες. (Verhagen et al., 2017)

Η βιολογική γεωργία είναι ένας οικολογικά προσανατολισμένος τύπος γεωργίας που ξεχωρίζει από τη συμβατική γεωργία με έμφαση στη φυσικότητα και την περιβαλλοντική βιωσιμότητα (IFOAM, 2010). Η προσέγγιση συνδέεται με τις ιδέες, που αναπτύχθηκαν από τον Rudolf Steiner στις αρχές της δεκαετίας του 1920 ως απάντηση στην παρουσίαση του συνθετικού λιπάσματος. Αρχικά, η ιδέα της βιολογικής γεωργίας ξεκίνησε από επιστήμονες του εδάφους, οι οποίοι έψαχναν νέους τρόπους για το πώς θα μπορούσαν να εφαρμοστούν βελτιώσεις στη βιολογική επιστήμη στη γεωργία για τη θεραπεία ανεπιθύμητων παρενεργειών. Η υιοθέτηση της προσέγγισης της βιολογικής γεωργίας είναι παγκόσμια, με χώρες όπως η Βρετανία, η Γερμανία, η Ιαπωνία και οι ΗΠΑ να την αγκαλιάζουν. Αυτή η υιοθέτηση βασίζεται σε έναν αριθμό ιδεαλιστών, παθιασμένων και γενικά ευκατάστατων οπαδών των ανθρωποσοφικών ιδεών. Επί του παρόντος, η προσέγγιση προωθείται από ΜΚΟ (μη κυβερνητικές οργανώσεις) και από διεθνείς οργανισμούς (π.χ. FAO). Η έρευνα καθιερώνεται τόσο στα ινστιτούτα όσο και στα πανεπιστήμια, αλλά όχι με την απουσία συζήτησης. Το ζήτημα «παραγωγικότητα γης των βιολογικών συστημάτων σε σύγκριση με άλλες προσεγγίσεις» μπορεί να συζητηθεί περισσότερο. Μια πρόσφατη ανασκόπηση και ανάλυση μεταδεδομένων των πληροφοριών απόδοσης από τους de Ponti et al (2012), οι οποίοι συνέκριναν τον οργανικό τύπο της γεωργίας με τον συμβατικό τύπο της γεωργίας, απέδειξαν ότι επί του παρόντος οι βιολογικές αποδόσεις μεμονωμένων καλλιεργειών είναι κατά μέσο όρο το 80% των συμβατικών αποδόσεων. Επίσης, υπήρξε μια άλλη ανάλυση 362 συνόλων δεδομένων, η οποία έδειξε υψηλή διακύμανση του κενού απόδοσης της βιολογικής γεωργίας (τυπική απόκλιση 21%). Ακόμα πιο πρόσφατα, οι Ponisio et al. (2015) ισχυρίστηκαν ότι οι οργανικές αποδόσεις είναι μόνο 19,2% (+ 3,7%) χαμηλότερες από τις συμβατικές αποδόσεις. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στη βιολογική γεωργία ελέγχονται

σε διεθνές επίπεδο και εξαρτώνται από πρότυπα, τα οποία καθορίζονται από τη Διεθνή Ομοσπονδία Κινήματος Οργανικής Γεωργίας (IFOAM). Αυτή η κεντρική οργάνωση οργανώσεων βιολογικής γεωργίας δημιουργήθηκε το 1972 και παρέχει το πρότυπο για μεθόδους βιολογικής γεωργίας και ποιες εισροές μπορούν να ασκηθούν. Κατάλληλα παραδείγματα είναι η απαγόρευση συγκεκριμένων αγροχημικών όπως ανόργανο λίπασμα, φυτοφάρμακα και ζιζανιοκτόνα και γενετικά τροποποιημένες καλλιέργειες. Αυτά παρέχουν σαφήνεια τόσο στους αγρότες όσο και στους καταναλωτές, αλλά επίσης περιορίζουν την προσέγγιση στην υιοθέτηση νέων τεχνολογιών και μεθόδων. (Verhagen et al., 2017)

## **2.11 Πράσινη Ανάπτυξη χωρίς αποκλεισμούς**

Η πράσινη ανάπτυξη χωρίς αποκλεισμούς προσθέτει την πτυχή της μείωσης της φτώχειας. Αυτό που προσπαθεί να επιτύχει, είναι να λειτουργήσει μια βιώσιμη ανάπτυξη, συνενώνοντας την άμεση ανάγκη των αναπτυσσόμενων χωρών για γρήγορη ανάπτυξη και ανακούφιση της φτώχειας με την ανάγκη να μείνει μακριά από οποιαδήποτε μη αναστρέψιμη και «ακριβή» περιβαλλοντική ζημία (Παγκόσμια Τράπεζα, 2012; Verhagen et κ.λπ., 2017). Η πράσινη ανάπτυξη χωρίς αποκλεισμούς δεν είναι ίδια, όπως οι άλλες προσεγγίσεις, οι οποίες αναλύθηκαν σε αυτήν τη μελέτη. Αυτό συμβαίνει επειδή η προσέγγιση αυτή περιλαμβάνει όλους τους τομείς της οικονομίας. Η πράσινη ανάπτυξη χωρίς αποκλεισμούς παρουσιάστηκε στο συνέδριο Rio + 20 για να πείσει προς την αξία της κοινωνικής πρόνοιας και τη βραχυπρόθεσμη, καθώς και, μακροπρόθεσμη περιβαλλοντική βιωσιμότητα στην ανάπτυξη της οικονομίας. Επεκτείνει το παράδειγμα της αειφορίας, το οποίο παρουσιάστηκε για πρώτη φορά από την Επιτροπή Brundtland το 1987, καθώς και τις τρεις βάσεις της αειφόρου ανάπτυξης, οι οποίες είναι: αειφορία της οικονομίας, του περιβάλλοντος και της κοινωνίας. Με την πράσινη ανάπτυξη χωρίς αποκλεισμούς το παράδειγμα της ανάπτυξης μετατοπίζεται προς μια ισορροπημένη οικονομική ανάπτυξη, στην οποία ο σκοπός των φυσικών πόρων σημειώνεται και κάνει καλό στην ευημερία τόσο της σημερινής όσο και της μελλοντικής γενιάς. Μέχρι τώρα, οι βασικοί παράγοντες της έννοιας «πράσινη ανάπτυξη χωρίς αποκλεισμούς» είναι οι εθνικές κυβερνήσεις και οι διεθνείς οργανισμοί. Η προσέγγιση είναι μια γενική ιδέα, η οποία δεν διαθέτει ούτε κατάλληλο ορισμό ούτε σαφή επιστημονική κοινότητα για ενσωμάτωση. Κατά ειρωνικό τρόπο, τόσο η δύναμη όσο και η αδυναμία της έννοιας είναι το γεγονός ότι η προσέγγιση δίνει μεγαλύτερη έμφαση στη διαδικασία διακυβέρνησης και ξεχνά τα πάντα για τους στόχους και τις πρακτικές. Οι Bouma & Berkhout (2015) επισημαίνουν ότι «Οι στρατηγικές πράσινης ανάπτυξης χωρίς αποκλεισμούς απαιτούν προσοχή για την αποδοτικότητα των πόρων και την αξιολόγηση, τη βιώσιμη διαχείριση των παγκόσμιων δημόσιων αγαθών και την ισότητα μεταξύ των γενεών». Επισημαίνουν επίσης ότι «για να είναι αποτελεσματικές οι στρατηγικές αυτές, πρέπει να αντιμετωπίσουν την υποκείμενη κατάρρευση της αγοράς και της διακυβέρνησης, η οποία καθιστά τα τρέχοντα αναπτυξιακά μονοπάτια γενικά μη πράσινα και επιρρεπή στους αποκλεισμούς». Οι στρατηγικές και η θέση που χρησιμοποιούνται για τη γεωργία σε μια διαδικασία πράσινης ανάπτυξης χωρίς αποκλεισμούς θα βασίζονται έντονα στους στόχους καθώς και στις φιλοδοξίες των μεμονωμένων χωρών. Ενδέχεται να συμμετέχουν

προσεγγίσεις και νέες τεχνολογίες, αλλά η πιο σημαντική πρόκληση θα είναι η επιτυχής διαχείριση των αντισταθμίσεων και, κινητοποιώντας τις συνέργειες οι οποίες μεγιστοποιούν την παραγωγή τροφίμων με πολύ χαμηλό κόστος, η ταυτόχρονη προστασία του περιβάλλοντος. (Verhagen et al., 2017)

### **3. ΒΕΛΤΙΣΤΕΣ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΛΙΠΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΛΙΠΑΝΣΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ**

Η γεωργία ακριβείας (ΓΑ) ή καλλιέργεια μέσω δορυφόρου ή διαχείριση καλλιεργειών ανά τοποθεσία, είναι μια έννοια διαχείρισης γεωργικής εκμετάλλευσης που βασίζεται στην παρατήρηση, τριμετρήσεις και την ανταπόκριση στη μεταβλητότητα μεταξύ των καλλιεργειών μεταξύ αγροτεμαχίων αλλά και εντός του ίδιου αγρού. Ο στόχος της γεωργικής έρευνας ακριβείας είναι να ορίσει ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων για ολόκληρη τη διαχείριση των εκμεταλλεύσεων με στόχο τη βελτιστοποίηση των αποδόσεων των εισροών προστατεύοντας ταυτόχρονα τους πόρους (McBratney et al. 2005; Whelan & McBratney, 2003; Dwivedi et al., 2017) .

Όταν εφαρμόζεται σωστά, η γεωργία ακριβείας είναι μια διαδικασία που επιτρέπει στους χρήστες να αντιμετωπίζουν κάθε πιθανή παραλλαγή που βρίσκεται σε αγροτικές εκτάσεις και τμήματα αυτών. Ακριβώς όπως κανένα χωράφι δεν είναι ακριβώς το ίδιο, δεν θα είναι τα ίδια δύο τμήματα οποιουδήποτε αγρού. Η ικανότητα του εδάφους να χρησιμοποιεί και να διατηρεί θρεπτικά συστατικά επηρεάζεται από την υφή και τη σύνθεση του εδάφους, τα επίπεδα του pH και τις διάφορες ποσότητες οργανικής ύλης που υπάρχουν. Οι πρακτικές εργασιών στον αγρό, τα ζιζάνια, οι καλλιέργειες κάλυψης, η αποστράγγιση και οι αποδόσεις των προηγούμενων ετών μπορούν όλα να προκαλέσουν διακυμάνσεις στα επίπεδα θρεπτικών ουσιών. Αποκτώντας περισσότερες γνώσεις σχετικά με τα χωράφια και τις διαφορές τους, μαζί με την εφαρμογή καλά σχεδιασμένης καλλιέργειας ακριβείας, μία φάρμα θα επωφεληθεί από αυξημένες αποδόσεις και υψηλότερα κέρδη (Precision Agriculture, 2015).

#### **3.1 Υδρολίπανση ακριβείας**

Η υδρολίπανση ακριβείας τροφοδοτεί το φυτό και όχι το έδαφος. Αυτό είναι μεγάλη υπόθεση, διότι όταν παραδίδεται νερό και θρεπτικά συστατικά κατευθείαν στις ρίζες, μειώνεται το κόστος. Και το πιο σημαντικό, έχουμε υψηλότερες σοδειές, υγιέστερων καλλιεργειών. Η άρδευση ακριβείας βρίσκεται ακόμη στα σπάργανα τόσο στην Αυστραλία όσο και διεθνώς. Παρά την ευρεία προώθηση και υιοθέτηση της γεωργίας ακριβείας σε συστήματα καλλιέργειας άνυδρων γαιών, η έννοια της άρδευσης ακριβείας ή της άρδευσης ως συστατικό των γεωργικών συστημάτων ακριβείας, δεν αξιολογήθηκε ευρέως ούτε αξιολογήθηκε το δυναμικό της (Smith et al., 2010). Οι καλύτεροι μέθοδοι άρδευσης ακριβείας είναι:

1. Επιφανειακή άρδευση

Στις διάφορες μορφές επιφανειακής άρδευσης, οι αυλακώσεις ή οι λεκάνες αυλακώσεων χρησιμεύουν τόσο ως μέσο μεταφοράς νερού σε όλο το χωράφι όσο και ως επιφάνεια μέσω της οποίας πραγματοποιείται διήθηση. Τα χαρακτηριστικά διήθησης του εδάφους ποικίλλουν στην καλλιεργητική έκταση αλλά και κατά τη διάρκεια του χρόνου (Walker, 1989; McClymont & Smith, 1996; Emilio et al., 1997; Gillies, 2008). Οι Khatri and Smith (2006) και Gillies (2008) εντόπισαν αυτήν την μεταβλητότητα ως μείζων φυσικός περιορισμός στην επίτευξη υψηλότερης απόδοσης άρδευσης σε αρδευόμενα με αυλάκια πεδία. Τα συστήματα άρδευσης ακριβείας έχουν τη δυνατότητα να αντιμετωπίσουν τόσο τη χωρική όσο και τη χρονική διακύμανση της διήθησης στο έδαφος σε αυτά τα συστήματα. Στην επιφανειακή άρδευση, η μεταβλητότητα διήθησης προκαλεί μη ομοιομορφία στους ρυθμούς απορρόφησης νερού και στο ρυθμό ροής στις αυλακώσεις (Trout, 1990). Η απόδοση της άρδευσης με αυλάκια επιδεινώνεται περαιτέρω από τη μεταβλητότητα εισροής από αυλάκι σε αυλάκι τόσο στους σωλήνες PVC με τρύπες όσο και στα αρδευτικούς λάστιχα (Trout and Mackey, 1988). Σε ένα τυπικό χωράφι που αρδεύεται με αυλάκια, είναι δύσκολο να προσδιοριστεί ένα αυλάκι που είναι ακριβώς αντιπροσωπευτικό ολόκληρου του χωραφιού. Επομένως, η αξιολόγηση πεδίου των χαρακτηριστικών διείσδυσης που βασίζονται σε μετρήσεις από ένα μόνο αυλάκι είναι απίθανο να δώσει ακριβή εκτίμηση της απόδοσης άρδευσης (Langat et al., 2008; Gillies, 2008; Schwankl et al., 2000; Smith et al., 2010).

## 2. Μικρο-άρδευση (στάγδην)

Τα συστήματα μικρο-άρδευσης είναι συνήθως σχεδιασμένα ώστε να διαβρέχουν μόνο τη ζώνη που καταλαμβάνεται από τις ρίζες των φυτών και να διατηρούν αυτήν τη ζώνη στο βέλτιστο επίπεδο υγρασίας ή κοντά σε αυτό. Τα προφανή πλεονεκτήματα της μικρο-άρδευσης περιλαμβάνουν μια μικρότερη υγρή επιφάνεια, ελάχιστη εξάτμιση από την επιφάνεια του εδάφους, μειωμένη ανάπτυξη ζιζανίων και δυνητικά βελτιωμένη ομοιομορφία εφαρμογής νερού εντός της ρίζας της καλλιέργειας με καλύτερο έλεγχο της θέσης και του όγκου εφαρμογής. Ένα ιδιαίτερο πλεονέκτημα της μικρο-άρδευσης είναι η ικανότητα εφαρμογής μικρών ποσοτήτων νερού σε σύντομα διαστήματα. Αυτό παρέχει την ευκαιρία να διατηρηθεί η υγρασία του εδάφους σε ένα καθορισμένο έλλειμμα υγρασίας κάτω από την χωρητικότητα του αγρού για μέρος ή ολόκληρη τη σεζόν και ως εκ τούτου την ευκαιρία για αυξημένη αποτελεσματικότητα των βροχοπτώσεων κατά τη διάρκεια της περιόδου άρδευσης. Η δυνητική απόδοση των συστημάτων μικρο-άρδευσης αναφέρεται συχνά μεγαλύτερη από 90%. Οι απώλειες νερού σε συστήματα μικρο-άρδευσης συμβαίνουν κυρίως μέσω της εξάτμισης από την επιφάνεια του εδάφους, την απορροή της επιφάνειας και την βαθιά αποστράγγιση. Οι απώλειες εξάτμισης είναι γενικά μικρές λόγω της περιορισμένης υγρής επιφάνειας και της απουσίας επιφανειακών υδάτων λόγω των χαμηλών ποσοστών εκκένωσης. Η εφαρμογή νερού συμβαίνει συνήθως κάτω από τον θόλο της καλλιέργειας, είτε απευθείας πάνω ή κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, μειώνοντας περαιτέρω την πιθανότητα απώλειας εξάτμισης. Οι απώλειες απόδοσης είναι επίσης συνήθως μικρές λόγω των χαμηλών ποσοστών εφαρμογής. Ωστόσο, όπως συμβαίνει με όλα τα συστήματα άρδευσης, η ικανότητα επίτευξης υψηλών επιπέδων απόδοσης είναι περισσότερο συνάρτηση της διαχείρισης του συστήματος και όχι κάποια εγγενής ιδιότητα του συστήματος. Για

παράδειγμα, οι Shannon et al. (1996) διαπίστωσαν ότι η αποτελεσματικότητα εφαρμογής στάγδην άρδευσης υπό εμπορικές συνθήκες στην περιοχή Bundaberg κυμαινόταν από 30 έως 90%. Δεδομένης της φύσης του συστήματος, αυτές οι απώλειες πιθανότατα οφείλονταν σε υπερβολική άρδευση και βαθιά διήθηση (Smith et al., 2010).

α) Άρδευση στάγδην πάνω από το έδαφος: Αυτή η μέθοδος συνίσταται στην τοποθέτηση ενός εύκαμπτου σωλήνα που περιέχει σταλάκτες τύπου Turline Plus στροβιλιζόμενης ροής, στην αρχή της σεζόν, μεταξύ των σειρών αραβοσίτου, σε κάθε εναλλακτική σειρά, δηλαδή 1,40 m έως 1,60 μέτρα, σύμφωνα με το σχέδιο σποράς. Οι σταλάκτες απέχουν μεταξύ τους 40 έως 50 cm, ανάλογα με τον τύπο του εδάφους, για να δημιουργήσουν μια συνεχώς υγρή λωρίδα εδάφους. Οι περισσότερες εγκαταστάσεις στην Ευρώπη σήμερα έχουν σταλάκτες με ρυθμό ροής 1 l / ω, κάτι που επιτρέπει τη βέλτιστη κατανομή νερού στο έδαφος. Στο τέλος του έτους, κανονικά, ο εξοπλισμός άρδευσης στάγδην πρέπει να συλλέγεται για ενσωμάτωση στο σύστημα ανακύκλωσης. Το προτεινόμενο σύστημα είναι πλήρες και έχει σχεδιαστεί για να κάνει την εγκατάσταση όσο το δυνατόν πιο απλή: ο κύριος αγωγός είναι ένας καινοτόμος εύκαμπτος σωλήνας, κατοχυρωμένος με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας με το όνομα FlexNet με προκατασκευασμένες συγκολλημένες εξόδους για τη διοχέτευση του νερού στη γραμμή στάγδην μέσω ασφαλούς και γρήγορης εφαρμογής. Στο τέλος της σεζόν ανακτάται για χρήση τον επόμενο χρόνο. Για να επιταχυνθεί η λειτουργία και να εξοικονομηθούν ώρες εργασίας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το ανυψωτικό QFlex όταν ξετυλίγεται (Panaget, 2017).

β) Άρδευση στάγδην κάτω από την επιφάνεια: Η τεχνική άρδευσης κάτω από την επιφάνεια, παρόλο που έχει εφαρμοστεί για πολλές δεκαετίες σε καλλιέργειες δέντρων, εξακολουθεί να θεωρείται ότι είναι ένα από τα πιο καινοτόμα και υπερσύγχρονα είδη τεχνικών άρδευσης. Φυσικά, περιορίζεται σε εκείνους τους παραγωγούς που έχουν επιλέξει να καλλιεργήσουν το έδαφος μόνο σε ρηχό βάθος. Έχει υιοθετηθεί εδώ και αρκετό καιρό από τους παραγωγούς αραβοσίτου στην αμερικανική ήπειρο και η τεχνική έχει ανέβει σταθερά σε δημοτικότητα από το 2010. Το χρησιμοποιούμενο σύστημα άρδευσης στάγδην έχει μια ανώτερη τεχνολογία: είναι αυτορυθμιζόμενο και αντι-στροβιλιστικό, τύπου DRIPCORN. Ο ίδιος ο σωλήνας έχει σχεδιαστεί για να αντέχει αρκετά χρόνια υπόγειο, υπό την προϋπόθεση ότι το δίκτυο λαμβάνει ελάχιστη αλλά τακτική συντήρηση. Η εγκατάσταση και η εφαρμογή του απαιτούν την υποστήριξη εμπειρογνομόνων, διότι πρέπει να καθοριστούν αρκετές παράμετροι στα αρχικά στάδια: ένα κατάλληλο βάθος εγκατάστασης - το οποίο καθορίζεται ανάλογα με τον τύπο της οργώματος και της προετοιμασίας του εδάφους, την υφή του εδάφους, τις καλλιέργειες που περιλαμβάνονται στην αμειψισπορά κ.λπ. - και καλή διαχείριση εφαρμογής νερού, που εξαρτώνται από τα εργαλεία προγραμματισμού που είναι απαραίτητα για την απεικόνιση της περιεκτικότητας σε υγρασία του εδάφους στη ζώνη ριζοβολίας και επιτρέποντας στον καλλιεργητή να αποφασίσει πώς να καταναείμει τις αρδεύσεις καθώς προχωρά η σεζόν. Η αρχική επένδυση, η οποία είναι αρκετά σημαντική, πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη και η απόδοση της να υπολογιστεί μακροπρόθεσμα. Ωστόσο, τα επακόλουθα αγρονομικά και πρακτικά οφέλη είναι πολλά: αποτελεσματικότητα, καλά κρυμμένος εξοπλισμός, λιγότερα ζιζάνια, εξοικονόμηση χρόνου, χρήση βιώσιμων πόρων (Panaget, 2017).

γ) Σύστημα χαμηλής πίεσης: Είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιεί μια αρχή παρόμοια με εκείνη της συμβατικής άρδευσης στάγδην εκτός από το ότι έχει σχεδιαστεί για την άρδευση μεγάλων επιφανειών χωρίς κανένα μέρος του συστήματος να είναι υπό πίεση! Με μόνο 1 ή 2 bar πίεσης που επιτρέπεται από τη δημιουργία πρωτογενών σωλήνων σχετικά υψηλής κεφαλής και μεγάλης διαμέτρου με πολύ χαμηλές απώλειες κεφαλής που μεταφέρουν μεγάλους όγκους ροής, το σύστημα χαμηλής πίεσης επιτρέπει την άρδευση άνω των 30 εκταρίων σε μία άρδευση, ακόμη περισσότερο αν η γη είναι επίπεδη. Οι σταλάκτες που χρησιμοποιούνται για αυτή τη μέθοδο έχουν πολύ χαμηλό ρυθμό ροής 0,6 l / ω. Η ποιότητα του φιλτραρίσματος είναι, επομένως, απαραίτητη για ένα βιώσιμο σύστημα. Το σύστημα χαμηλής πίεσης υφίσταται τώρα για περισσότερα από 10 χρόνια και ο παραγωγός ήταν απόλυτα ικανοποιημένος με τα αποτελέσματά του κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Με βάση την εμπειρία που αποκτήθηκε στην άρδευση και τον προγραμματισμό στάγδην επιφανείας, ο αγρότης εξετάζει τώρα τη δυνατότητα χρήσης της επιλογής κάτω από την επιφάνεια για μεγάλα χωράφια αραβοσίτου που αρδεύονται με στάγδην άρδευση. Επομένως, η επιφανειακή άρδευση θα ήταν, όπως συμβαίνει συχνά, μια αρχική πρακτική, η οποία θα μπορούσε να υποχωρήσει στην υποεπιφανειακή άρδευση, κάτι που είναι πιο τεχνικά απαιτητικό, αλλά, ωστόσο, ικανό να επιτύχει υψηλότερο επίπεδο απόδοσης (Panaget, 2017) .

### 3. Άρδευση με εκτοξευτήρες

Στην άρδευση με εκτοξευτήρα ή εναέρια άρδευση, το νερό διοχετεύεται σε μία ή περισσότερες κεντρικές τοποθεσίες εντός του χωραφιού και διανέμεται από εκτοξευτήρες ή κανόνια υψηλής πίεσης. Ένα σύστημα (Εικ. 7) που χρησιμοποιεί εκτοξευτήρες, καταιονισμό ή κανόνια, τοποθετημένο πάνω σε μόνιμα εγκατεστημένους ανυψωτήρες, συχνά αναφέρεται ως ένα μόνιμο σύστημα άρδευσης. Οι εκτοξευτήρες υψηλότερης πίεσης που περιστρέφονται ονομάζονται ρότορες και οδηγούνται από ένα σύστημα κίνησης με σφαιρίδια, γρανάζια ή κρούση. Οι ρότορες μπορούν να σχεδιαστούν για περιστροφή σε πλήρη ή μερικό κύκλο. Τα κανόνια είναι παρόμοια με τους ρότορες, εκτός από το ότι λειτουργούν γενικά σε πολύ υψηλές πιέσεις 275 έως 900 kPa (40 έως 130 psi) και ροές 3 έως 76 L / s (50 έως 1200 US gal / min), συνήθως με διάμετρο ακροφυσίου σε εύρος από 10 έως 50 mm (0,5 έως 1,9 in). Τα κανόνια χρησιμοποιούνται όχι μόνο για άρδευση, αλλά και για βιομηχανικές εφαρμογές όπως καταστολή σκόνης και υλοτομία. Οι εκτοξευτήρες μπορούν επίσης να τοποθετηθούν σε κινούμενες πλατφόρμες που συνδέονται με την πηγή νερού μέσω εύκαμπτου σωλήνα. Τα αυτόματα μετακινούμενα τροχοφόρα συστήματα γνωστά ως εκτοξευτήρες ταξιδιού, μπορεί να ποτίζουν περιοχές όπως μικρά αγροκτήματα, αθλητικούς αγρούς, πάρκα, λιβάδια και νεκροταφεία χωρίς επίβλεψη. Τα περισσότερα από αυτά χρησιμοποιούν ένα σύστημα περιτύλιξης σωλήνων από πολυαιθυλένιο σε ένα χαλύβδινο τύμπανο. Καθώς ο σωλήνας τυλίγεται στο τύμπανο που τροφοδοτείται από το νερό άρδευσης ή από έναν μικρό κινητήρα αερίου, ο εκτοξευτήρας τραβιέται πέρα από το πεδίο. Όταν ο ψεκαστήρας φτάσει πίσω στον κύλινδρο, το σύστημα σβήνει. Αυτός ο τύπος συστήματος είναι γνωστός στους περισσότερους ως “waterreel” μετακινούμενος εκτοξευτήρας άρδευσης και χρησιμοποιούνται εκτενώς για την καταστολή της σκόνης, την άρδευση και την απομάκρυνση λυμάτων. Άλλοι

μετακινούμενοι χρησιμοποιούν ένα επίπεδο λαστιχένιο σωλήνα που σύρεται πίσω ενώ η πλατφόρμα καταιονισμού τραβιέται με καλώδιο (*Wikipedia, n.d.*).

Τύποι ψεκαστών με βάση την υγροποίηση: Χαμηλός όγκος (μικρότερος από 13 mm ανά ώρα), μεσαίου όγκου (13-25 mm ανά ώρα) και ψεκαστές μεγάλου όγκου (πάνω από 25 mm ανά ώρα) (*Vikaspedia, n.d.*).

Η ομοιομορφία των εφαρμογών ψεκαστών μπορεί να επηρεαστεί από την πίεση του ανέμου και του νερού. Ο ψεκασμός από εκτοξευτήρες παρασύρεται εύκολα ακόμη και από ένα απαλό αεράκι και αυτό μπορεί να μειώσει σοβαρά την ομοιομορφία. Για τη μείωση των επιπτώσεων του ανέμου οι εκτοξευτήρες μπορούν να τοποθετηθούν πιο κοντά μεταξύ τους. Οι εκτοξευτήρες θα λειτουργούν καλά μόνο στη σωστή πίεση λειτουργίας που συνιστά ο κατασκευαστής. Εάν η πίεση είναι πάνω ή κάτω από αυτήν, τότε η κατανομή θα επηρεαστεί. Το πιο συνηθισμένο πρόβλημα είναι όταν η πίεση είναι πολύ χαμηλή. Αυτό συμβαίνει όταν φθείρονται οι αντλίες και οι σωλήνες. Η τριβή αυξάνεται και έτσι η πίεση στον εκτοξευτήρα μειώνεται. Το αποτέλεσμα είναι ότι ο πίδακας νερού δεν σπάει και όλο το νερό τείνει να πέφτει σε μία περιοχή προς την εξωτερική πλευρά του αρδευόμενου κύκλου. Εάν η πίεση είναι πολύ υψηλή, τότε η κατανομή θα είναι επίσης κακή. Αναπτύσσεται ένα λεπτό σπρίντ που πέφτει κοντά στον εκτοξευτήρα (*Vikaspedia, nd.*). Τύποι άρδευσης με εκτοξευτήρα είναι:

#### α) Άρδευση κεντρικού άξονα

Η άρδευση με κεντρικό άξονα είναι μια μορφή άρδευσης με εκτοξευτήρα που χρησιμοποιεί διάφορα τμήματα σωλήνων (συνήθως γαλβανισμένου χάλυβα ή αλουμινίου) που ενώνονται και υποστηρίζονται από δοκούς, τοποθετημένοι σε τροχοφόρους πύργους με εκτοξευτήρες τοποθετημένους κατά μήκος του. Το σύστημα κινείται σε κυκλικό μοτίβο και τροφοδοτείται με νερό από το σημείο περιστροφής στο κέντρο του τόξου. Αυτά τα συστήματα βρίσκονται και χρησιμοποιούνται σε όλα τα μέρη του κόσμου και επιτρέπουν την άρδευση όλων των τύπων εδάφους. Τα νεότερα συστήματα έχουν κεφαλές εκτοξευτήρα όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί. Από το 2017, τα περισσότερα κεντρικά συστήματα περιστροφής έχουν σταγόνες που κρέμονται από σωλήνα σχήματος U που είναι τοποθετημένος στο πάνω μέρος του σωλήνα με κεφαλές εκτοξευτήρα που είναι τοποθετημένα λίγα πόδια (το πολύ) πάνω από την καλλιέργεια, περιορίζοντας έτσι τις απώλειες εξάτμισης. Οι σταγόνες μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν με σωλήνες έλξης ή φυσαλίδες που αποθέτουν το νερό απευθείας στο έδαφος μεταξύ των καλλιεργειών. Οι καλλιέργειες φυτεύονται συχνά σε κύκλο για να συμμορφώνονται με τον κεντρικό άξονα. Αυτός ο τύπος συστήματος είναι γνωστός ως Εφαρμογή ακρίβειας χαμηλής ενέργειας (LowEnergyPrecisionApplication-LEPA). Αρχικά, οι περισσότεροι κεντρικοί άξονες κινούνταν από το νερό. Αυτά αντικαταστάθηκαν από υδραυλικά συστήματα (άρδευση T-L) και συστήματα ηλεκτροκίνησης (Reinke, Valley, Zimmatic). Πολλά σύγχρονα συστήματα διαθέτουν συσκευές GPS (*Wikipedia, n.d.*).

#### β) Άρδευση με πλευρική κίνηση (πλευρικός κύλινδρος, γραμμή τροχού, κίνηση τροχού)

Μια σειρά σωλήνων, ο καθένας με τροχό διαμέτρου περίπου 1,5 μ. Μόνιμα στερεωμένο στο μεσαίο σημείο του, και εκτοξευτήρες κατά μήκος του, συνδέονται μεταξύ τους. Παρέχεται νερό στο ένα άκρο χρησιμοποιώντας έναν μεγάλο σωλήνα. Αφού εφαρμοστεί επαρκής άρδευση σε μία λωρίδα του χωραφιού, ο σωλήνας αφαιρείται, το νερό αποστραγγίζεται από το σύστημα και το συγκρότημα τυλίγεται είτε με το χέρι είτε με έναν ειδικά κατασκευασμένο μηχανισμό, έτσι ώστε οι εκτοξευτήρες να μετακινούνται σε διαφορετική θέση σε όλο το πεδίο. Ο σωλήνας επανασυνδέεται. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται σε μοτίβο έως ότου αρδευτεί ολόκληρο το χωράφι. Αυτό το σύστημα είναι λιγότερο ακριβό για εγκατάσταση από ένα κεντρικό άξονα, αλλά πολύ πιο απαιτητικό για τη λειτουργία του - δεν ταξιδεύει αυτόματα πέρα από τον αγρό: εφαρμόζει νερό σε σταθερή λωρίδα, πρέπει να αποστραγγιστεί και, στη συνέχεια, να κυλήσει σε μια νέα ταινία. Τα περισσότερα συστήματα χρησιμοποιούν σωλήνα αλουμινίου διαμέτρου 100 ή 130 mm (4 ή 5 ίντσες). Ο σωλήνας διπλασιάζεται τόσο ως μεταφορά νερού όσο και ως άξονας για περιστροφή όλων των τροχών. Ένα σύστημα κίνησης (που βρίσκεται συχνά κοντά στο κέντρο της γραμμής του τροχού) περιστρέφει τα τμήματα του σωλήνα που συγκρατούνται μαζί ως έναν άξονα, περιστρέφοντας ολόκληρη τη γραμμή των τροχών. Η χειροκίνητη ρύθμιση των μεμονωμένων θέσεων των τροχών μπορεί να είναι απαραίτητη εάν το σύστημα δεν ευθυγραμμιστεί.

Τα συστήματα γραμμής τροχών περιορίζονται στην ποσότητα νερού που μπορούν να μεταφέρουν και περιορίζονται στο ύψος των καλλιεργειών που μπορούν να αρδευτούν. Ένα χρήσιμο χαρακτηριστικό ενός συστήματος πλευρικής κίνησης είναι ότι αποτελείται από τμήματα που μπορούν εύκολα να αποσυνδεθούν, προσαρμοζόμενα στο σχήμα του αγρού καθώς κινείται η γραμμή. Χρησιμοποιούνται συχνότερα για μικρά, ορθογώνια ή περιεργουσχήματος αγροτεμάχια, λοφώδεις ή ορεινές περιοχές ή σε περιοχές όπου η εργασία είναι φθηνή (*Wikipedia, n.d.*).

#### γ) Συστήματα εκτοξευτήρα γκαζόν

Ένα σύστημα εκτοξευτήρων γκαζόν είναι μόνιμα εγκατεστημένο, σε αντίθεση με έναν εκτοξευτήρα με εύκαμπτο σωλήνα, ο οποίος είναι φορητός. Τα συστήματα ψεκασμού είναι εγκατεστημένα σε γκαζόν κατοικιών, σε εμπορικά τοπία, σε εκκλησίες και σχολεία, σε δημόσια πάρκα και νεκροταφεία, και σε γήπεδα γκολφ. Τα περισσότερα από αυτά τα συστήματα άρδευσης είναι κρυμμένα κάτω από το έδαφος, καθώς η αισθητική είναι σημαντική σε ένα τοπίο. Ένα τυπικό σύστημα εκτοξευτήρα γκαζόν αποτελείται από μία ή περισσότερες ζώνες, σε μέγεθος που εξαρτάται από την χωρητικότητα της πηγής νερού. Κάθε ζώνη καλύπτει ένα καθορισμένο τμήμα του τοπίου. Οι τομές του τοπίου συνήθως διαιρούνται με μικροκλίμα, τύπο φυτικού υλικού και τύπο εξοπλισμού άρδευσης. Ένα σύστημα άρδευσης τοπίου μπορεί επίσης να περιλαμβάνει ζώνες που περιέχουν στάγδην άρδευση, φυσαλίδες ή άλλους τύπους εξοπλισμού εκτός από εκτοξευτήρες.

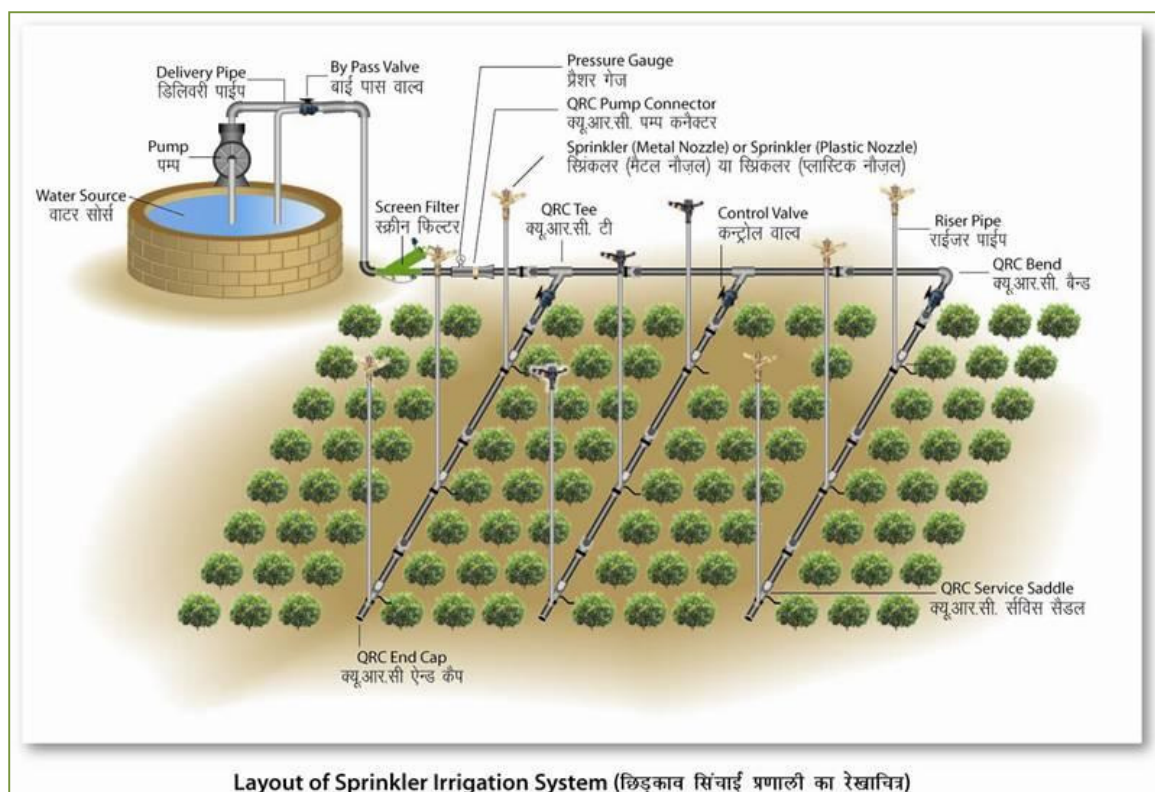
Αν και εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται χειροκίνητα συστήματα, τα περισσότερα συστήματα εκτοξευτήρων γκαζόν μπορούν να λειτουργούν αυτόματα χρησιμοποιώντας έναν ελεγκτή άρδευσης, μερικές φορές ονομάζεται ρολόι ή χρονόμετρο. Τα περισσότερα αυτόματα συστήματα χρησιμοποιούν ηλεκτρικές ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες. Κάθε ζώνη



έχει μία ή περισσότερες από αυτές τις βαλβίδες που είναι συνδεδεμένες στον ελεγκτή. Όταν ο ελεγκτής στέλνει ισχύ στη βαλβίδα, η βαλβίδα ανοίγει, επιτρέποντας στο νερό να ρέει στους εκτοξευτήρες σε αυτήν τη ζώνη. Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι εκτοξευτήρων που χρησιμοποιούνται για άρδευση γκαζόν, αναδυόμενες κεφαλές ψεκασμού και ρότορες. Οι κεφαλές ψεκασμού έχουν σταθερό μοτίβο ψεκασμού, ενώ οι ρότορες έχουν ένα ή περισσότερα μοτίβα που εναλλάσσονται. Οι κεφαλές ψεκασμού χρησιμοποιούνται για την κάλυψη μικρότερων περιοχών, ενώ οι ρότορες χρησιμοποιούνται για μεγαλύτερες περιοχές. Οι ρότορες του γηπέδου του γκολφ είναι μερικές φορές τόσο μεγάλοι που ένας μοναδικός εκτοξευτήρας συνδυάζεται με μια βαλβίδα. Όταν χρησιμοποιούνται σε χλοοτάπητα, οι εκτοξευτήρες εγκαθίστανται με το πάνω μέρος της κεφαλής στο ίδιο ύψος με την επιφάνεια του εδάφους. Όταν το σύστημα είναι υπό πίεση, η κεφαλή θα βγει από το έδαφος και θα ποτίσει την επιθυμητή περιοχή έως ότου η βαλβίδα κλείσει και σβήσει αυτή τη ζώνη. Όταν δεν υπάρχει περισσότερη πίεση στην πλευρική γραμμή, η κεφαλή του ψεκαστήρα θα αποσυρθεί πίσω στο έδαφος. Σε παρτέρια ή περιοχές με θάμνους, οι εκτοξευτήρες μπορούν να τοποθετηθούν σε ανυψωτές πάνω από το έδαφος ή μπορεί να χρησιμοποιηθούν ακόμα και ψηλότεροι αναδυόμενοι εκτοξευτήρες και να εγκατασταθούν στο ίδιο επίπεδο όπως στο γκαζόν (*Wikipedia, n.d.*).

δ) εκτοξευτήρες με μάνικα

Υπάρχουν πολλοί τύποι καταιωνιστήρων. Πολλές από αυτές είναι μικρότερες εκδόσεις μεγαλύτερων γεωργικών και εκτοξευτήρων τοπίων, σε μέγεθος που τους επιτρέπει να λειτουργούν με έναν τυπικό σωλήνα κήπου. Ορισμένα έχουν μια βάση με καρφιά που τους επιτρέπει να κολλήσουν προσωρινά στο έδαφος, ενώ άλλοι έχουν μια βάση έλκθηρο που έχει σχεδιαστεί για να σύρεται ενώ είναι προσαρτημένη στον εύκαμπτο σωλήνα.



Εικόνα 7: Διάταξη συστήματος άρδευσης εκτοξευτήρα (Vikaspedia, n.d.)

### 3.2 Λίπανση ακριβείας

Η λίπανση ακριβείας αποτελεί βασικό συστατικό της γεωργίας ακριβείας. Η βασική ιδέα είναι να χωρίσουμε το πεδίο σε πλέγματα χρησιμοποιώντας GPS, έπειτα να υπολογίσουμε τα θρεπτικά συστατικά του εδάφους και να βρούμε την εισροή λιπάσματος που απαιτείται χρησιμοποιώντας το μοντέλο λίπανσης και τέλος να λιπάνουμε χρησιμοποιώντας ένα μηχάνημα λίπανσης ρυθμιζόμενης δΟΣολογίας. Η πρακτική εμπειρία δείχνει ότι η λίπανση ακριβείας μπορεί να μειώσει τη χρήση λιπασμάτων, να αυξήσει την απόδοση των καλλιεργειών, να εξισορροπήσει τα θρεπτικά συστατικά του εδάφους και να μειώσει τη ρύπανση του περιβάλλοντος.

Υπάρχουν περισσότερα από εξήντα μοντέλα λίπανσης που υπάρχουν στην έρευνα και την πρακτική λίπανσης των καλλιεργειών. Ωστόσο, τα υπάρχοντα μοντέλα έρχονται σε αντίθεση με την πραγματική παραγωγή. Πολλά δεδομένα δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να καθοδηγήσουν την πρακτική παραγωγή. Στις παραδοσιακές μεθόδους λίπανσης, η μέθοδος ισορροπίας θρεπτικών ουσιών χρησιμοποιείται ευρέως, αλλά αυτός ο τύπος χρειάζεται πολλές παραμέτρους όπως το επίπεδο θρεπτικών ουσιών του εδάφους, την απόδοση στόχου, τον συντελεστή προσαρμογής, το ποσοστό εφαρμογής θρεπτικών ουσιών και ούτω καθεξής και δεν μπορεί να αντικατοπτρίζει την αλληλεπίδραση διαφορετικών θρεπτικών στοιχείων (Helong Yu et al., 2010).

Η λίπανση ακριβείας μπορεί να ταξινομηθεί σε τρεις τεχνολογικές μεθόδους: τεχνολογία ελέγχου εδάφους για διαμόρφωση προγράμματος λίπανσης, σύστημα υποστήριξης

αποφάσεων λίπανσης και σύστημα υποστήριξης αποφάσεων από ειδικούς (Chen et al., 2014).

### 3.2.1 Δειγματοληψία εδάφουςγια διαμόρφωση προγράμματος λίπανσης

Ο σκοπός του ελέγχου του εδάφους για την διαμόρφωσηλίπανσης (Εικ. 8) είναι ο προσδιορισμός των θρεπτικών συστατικών του εδάφους και η εφαρμογή κατάλληλων μεθόδων λίπανσης (Dowdle & Potrch, 1988). Το σκεπτικό αυτής της προσέγγισης είναι ότι οι καλλιέργειες μπορούν να αφομοιώσουν τα διάφορα είδη θρεπτικών συστατικών με βάση τις συγκεκριμένες συνθήκες του εδάφους. Αυτή η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξισορρόπηση του αζώτου, του φωσφόρου και του καλίου, των οργανικών και μεταλλικών θρεπτικών συστατικών, των μακρο- και ιχνοστοιχείων (Havlin & Jacobsen, 1994; Zhu & Wen, 1992). Ο έλεγχος του εδάφους με τεχνολογία διαμόρφωσης λίπανσης μπορεί επίσης να διατηρήσει το επίπεδο γονιμότητας του εδάφους, να μειώσει την απώλεια θρεπτικών συστατικών και να μειώσει τη ρύπανση του περιβάλλοντος (Dalias et al. 2002; Hadas et al., 1983). Ως εκ τούτου, είναι η κύρια βασική τεχνολογία σε ένα επιστημονικό σύστημα λίπανσης.

#### α) Μέθοδοι δειγματοληψίαςεδάφους

Οι μέθοδοι διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στο ελέγχουτου εδάφους μετεχνολογία διαμόρφωσης προγράμματοςλίπανσης. Θα καθορίσουνάμεσα το σκεύασμα λίπανσης (Di Lorenzo et al., 2012; Chen et al., 2014). Μεταξύ των παραδοσιακών μεθόδων ελέγχου εδάφους, η μέθοδος ημι-μικρο Kjeldahl χρησιμοποιείται στοτεστ αζώτου. Για τοτεστ φωσφόρου χρησιμοποιούνται η μέθοδος Mehlich, μέθοδος Bray και η μέθοδος Olsen κ.λπ. Ο φωσφόρος μπορεί επίσης να ελεγχθεί με τη μέθοδο φασματομετρίας με οπτική εκπομπή πλάσματος (ICP-OES, OPTIMA 5300DV, Perkin Elmer) (Chen et al., 2014; Wang et al. 2013). Το υδροφθωρικό οξύ – υπερχλωρικό οξύ– φωτομετρική μέθοδος φλόγας, ουδέτερη μέθοδος NH<sub>4</sub>OAc και H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> –HCl με μέθοδο NaOAc (μέθοδος Morgan) χρησιμοποιούνται για τοτεστ καλίου.

#### β) Μέθοδοι λίπανσης

Η κύρια μέθοδος λίπανσης στο έδαφος δοκιμών μετεχνολογία διαμόρφωσης λίπανσης είναι η μέθοδος ισορροπίας θρεπτικών ουσιών και η μέθοδος διάγνωσης θρέψης κ.λπ. (Gordillo and Cabrera, 1997; Chen et al., 2014), καθώς στη συνέχεια αναλύονται.

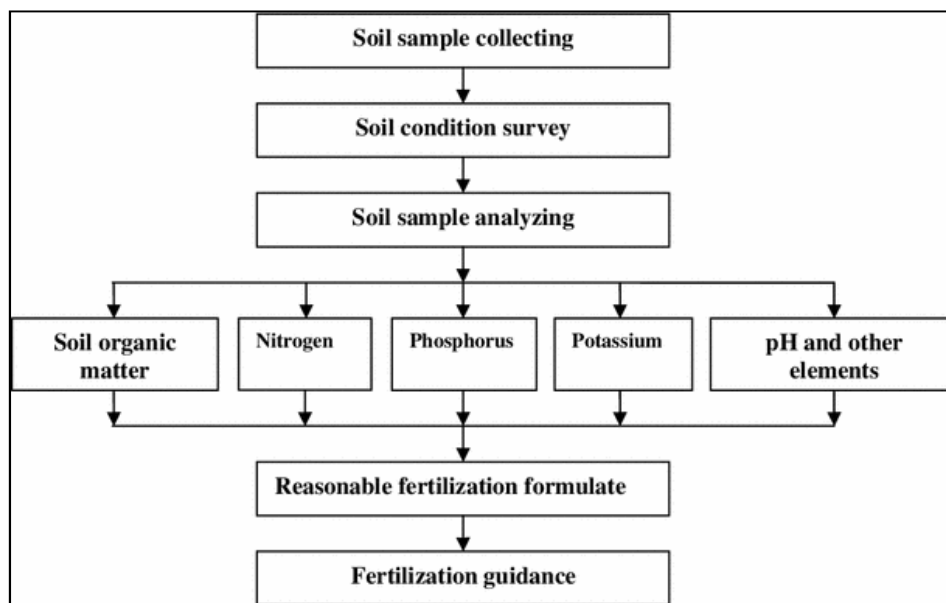
#### - Μέθοδος ισορροπίας θρεπτικών συστατικών

Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί δοκιμές θρεπτικών στοιχείων εδάφους για τον υπολογισμό της δεξαμενής γονιμότητας του εδάφους και για τον προσδιορισμό του ποσοστού εφαρμογής λιπάσματος. Αυτό συμβαίνει επειδή το έδαφος έχει ικανότητα εξισορρόπησης λόγω της δυναμικής των θρεπτικών συστατικών του εδάφους. Η ποσότητα αζώτου που μπορεί να τροφοδοτηθεί από τη δεξαμενή του εδάφους είναι πολύ δύσκολο να υπολογιστεί άμεσα (Dancer et al. 1973; Chen et al., 2014). Οι ερευνητές πρέπει να χρησιμοποιήσουν έναν

«δείκτη διόρθωσης» για να προσαρμόσουν την εκτιμώμενη προσφορά θρεπτικών συστατικών στο έδαφος μέσω πειραματισμού (Chen et al, 2014).

- Μέθοδος διάγνωσης θρέψης

Η μέθοδος διάγνωσης της θρέψης των καλλιεργειών είναι μια τεχνολογία λίπανσης που βασίζεται στη χημεία των φυτικών θρεπτικών συστατικών. Η θρέψη στη σοδειά είναι η ολοκληρωμένη αντίδραση μεταξύ της προσφοράς θρεπτικών συστατικών στο έδαφος και της θρέψης που χρειάζονται οι καλλιέργειες (Honeycutt et al. 1991). Αυτή η τεχνολογία μπορεί να ταξινομηθεί σε μέτρηση της ταχύτητας υγρών στους ιστούς και σε τεχνολογία διάγνωσης θρεπτικών ουσιών του φυτικού ιστού. Έχουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών στον κόσμο (Honeycutt et al. 1993; Chen et al., 2014).



Εικόνα 8: Επισκόπηση δειγματοληψίας για διαμόρφωση προγράμματος λίπανσης(Chenetal., 2014)

### 3.2.2 Σύστημα υποστήριξης αποφάσεων (Σ.Υ.Α.)

Ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων είναι ένα πρόγραμμα που τρέχει σε υπολογιστή, το οποίο μπορεί να βοηθήσει τον υπεύθυνο λήψης αποφάσεων να λάβει την απόφαση ημιδομής ή αποδόμησης, να αναλύσει το πρόβλημα, να αναπτύξει ένα μοντέλο και να προσομοιώσει τη διαδικασία λήψης αποφάσεων και να διαμορφώσει το περιβάλλον. Μπορεί επίσης να μεταφέρει κάθε είδους πόρους πληροφοριών και εργαλεία ανάλυσης για τις ανάγκες του χρήστη (Tian et al. 2004; Chen et al. 2014). Η χρήση του συστήματος υποστήριξης αποφάσεων μπορεί να αυξήσει το πρότυπο και την ποιότητα των στρατηγικών αποφάσεων.

Το σύστημα υποστήριξης αποφάσεων για τη γεωργία είναι ένα παράδειγμα στρατηγικού Σ.Υ.Α. που ενσωματώνει την τεχνητή νοημοσύνη με την τεχνολογία υπολογιστών που χρησιμοποιείται στον γεωργικό τομέα. Μπορεί να λαμβάνει αποφάσεις βάσει μοντέλων, καιρικών συνθηκών, ειδών καλλιέργειας, λιπασμάτων και εδαφών κ.λπ. Το σύστημα

υποστήριξης λήψης αποφάσεων για τη γεωργία παίζει σημαντικό ρόλο στο γεωργικό σύστημα πληροφοριών. Χρησιμοποιείται ευρέως στη διαχείριση της παραγωγής καλλιεργειών, την άρδευση, τη λίπανση και την επιλογή ειδών καλλιέργειας κ.λπ. (Wang, 1994). Το σύστημα υποστήριξης αποφάσεων γεωργίας αποτελείται από τέσσερα μέρη: δεδομένα, μοντέλο, συλλογιστική και αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή (Xu, 1990; Chen et al., 2014). Μια βάση δεδομένων χρησιμοποιείται για τη διαχείριση των δεδομένων στο σύστημα. Το μοντέλο λειτουργεί από τη βάση μοντέλου και το σύστημα διαχείρισης μοντέλων. Το λογικό μέρος αποτελείται από τη βάση γνώσεων, το σύστημα διαχείρισης βάσης γνώσεων και μίαεπαγωγική μηχανή. Η αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή μπορεί να λάβει και να εξετάσει το αίτημα από τους χρήστες, να μεταφέρει το λογισμικό μέσα στο σύστημα και να εκτυπώσει την αναφορά απόφασης. Εν συντομία, το σύστημα υποστήριξης αποφάσεων για τη γεωργία συνδυάζει το τρέχον μοντέλο, τη μεταφορά δεδομένων και τη συλλογιστική γνώσης, επιλύοντας το πρόβλημα της απόφασης πολύ αποτελεσματικά (Xie and Zhao 1996; Chen et al. 2014).

Μερικά άλλα παραδείγματα συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων είναι, ονομαστικά: LUSE (Σύστημα Χρήσης Γης και Αξιολόγησης), HydroLOGIC, MODAM, ICASA (Διεθνής κοινοπραξία για εφαρμογές γεωργικών συστημάτων), PCYield και NuMaSS (Σύστημα υποστήριξης διαχείρισης θρεπτικών ουσιών).

### 3.2.3 Σύστημα υποστήριξης αποφάσεων εμπειρογνομόνων

Το σύστημα υποστήριξης αποφάσεων εμπειρογνομόνων ή έμπειρο σύστημα (ΕΣ) συνδυάζει το παραδοσιακό σύστημα υποστήριξης αποφάσεων με το σύστημα εμπειρογνομόνων (Corson et al., 2007; Chen et al., 2014). Αυτό το σύστημα μπορεί να προσομοιώσει τις γνώσεις των εμπειρογνομόνων και να παρέχει συμβουλές και λειτουργίες βοήθειας που φτάνουν μέχρι το επίπεδο ειδικού στον υπεύθυνο λήψης αποφάσεων. Η λήψη αποφάσεων εφαρμόζεται κυρίως στην επίλυση περιβαλλοντικού προβλήματος (Sun et al. 2006; Chen et al., 2014). Τα χαρακτηριστικά του συστήματος υποστήριξης αποφάσεων εμπειρογνομόνων περιλαμβάνουν: (α) Επιτρέπει στον υπεύθυνο λήψης αποφάσεων να συμμετάσχει στη διαδικασία λήψης αποφάσεων από την αρχή έως το τέλος, (β) το σύστημα έχει τη δυνατότητα μελέτης. Η ικανότητα του συστήματος λήψης αποφάσεων και υποστήριξης αποφάσεων μπορεί να ενισχυθεί από πρακτικές λειτουργίες, (γ) Το σύστημα ενσωματώνει τη συλλογιστική γνώσης και τον αριθμητικό υπολογισμό. Τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων ειδικών έχουν πολύ ισχυρότερη ικανότητα λήψης αποφάσεων από το παραδοσιακό σύστημα υποστήριξης αποφάσεων, (δ) Το σύστημα αναπτύσσει την καθολική λογική σύνθεση και τη φυσική σύνθεση. Έτσι, διαθέτει ένα ευρύ πεδίο υπηρεσίας. Έτσι, παραμένει κατάλληλο όταν μεταβάλλεται το περιβάλλον και οι μέθοδοι λήψης αποφάσεων.

Το DAIRYPRO είναι ένας συνδυασμός υποστήριξης αποφάσεων και συστήματος ειδικών που αποτελείται από δύο ενότητες (Kerr et al., 1999; Chen et al., 2014). Το σύστημα έχει σχεδιαστεί για να βοηθά τους γαλακτοπαραγωγούς στη βόρεια Αυστραλία να λαμβάνουν στρατηγικές αποφάσεις σχετικά με την φάρμα τους. Το σύστημα περιλαμβάνει δύο λειτουργικές μονάδες: FARMPROD και FARM-DIAG. Το FARMPROD αναπτύσσεται

χρησιμοποιώντας έναν συνδυασμό των αποτελεσμάτων από στατιστικά μοντέλα και τους βασικούς κανόνες που λαμβάνονται από τη γνώση ενός εμπειρογνώμονα στην εκτροφή γαλακτοκομικών προϊόντων στη βόρεια Αυστραλία. Το FARM-DIAG έχει αναπτυχθεί ως διαγνωστικό εργαλείο, ζητώντας από τους αγρότες να παράσχουν βασικές παραμέτρους εισροών και εκροών σε τέσσερα προκαθορισμένα προγράμματα στο γαλακτοκομείο τους. Το DAIRYPRO έχει παράρτημα που ασχολείται με τη λίπανση το οποίο ενσωματώνεται σε κάθε βοσκότοπο ή ποσοστό απόκρισης καλλιέργειας, καθώς η επιρροή του αντικατοπτρίζεται στην παραγωγή που αναμένεται από βοσκότοπους με καλή διαχείριση με επαρκή επίπεδα λιπάσματος. Το DAIRYPRO θεωρείται διαγνωστικό σύστημα υποστήριξης αποφάσεων εμπειρογνομώνων, το οποίο είναι σε θέση να εντοπίσει σοβαρές διαταραχές σε μια γαλακτοκομική φάρμα. Πρόκειται για ένα πρόγραμμα ομπρέλας που μπορεί να εντοπίσει προβλήματα στο επίπεδο αποτελεσματικότητας της υπό μελέτη εκμετάλλευσης (Kerr et al., 1999; Chen et al., 2014).

#### **4. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΑΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ**

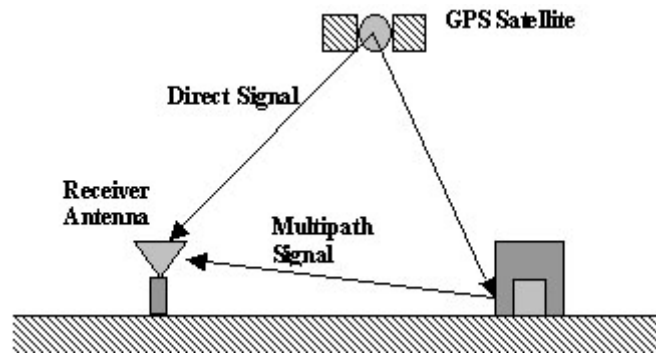
Πρώτα, λίγα λόγια για τη γεωργία ακριβείας γενικά. Υπάρχουν πολλοί ορισμοί σχετικά με τη γεωργία ακριβείας, αλλά ο πιο κατάλληλος είναι: «Η γεωργία ακριβείας είναι μια στρατηγική διαχείρισης που χρησιμοποιεί ένα ευρύ φάσμα τεχνολογιών για τη συλλογή, επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων με σκοπό την καθοδήγηση στοχευμένων δράσεων που βελτιώνουν την αποδοτικότητα, την παραγωγικότητα και βιωσιμότητα των γεωργικών δραστηριοτήτων» (Sulecki, 2018). Η συστηματική εφαρμογή των βέλτιστων πρακτικών διαχείρισης σε ένα συγκεκριμένο χωρικό σύστημα παρέχει την καλύτερη ευκαιρία για την ανάπτυξη ενός πραγματικά βιώσιμου γεωργικού συστήματος. Η διαχείριση της σωστής πηγής με το σωστό ρυθμό, τη σωστή στιγμή και στο σωστό μέρος επιτυγχάνεται καλύτερα με τα σωστά εργαλεία. Διατίθενται διάφορες τεχνολογίες για τη λήψη αποφάσεων σχετικά με τη διαχείριση θρεπτικών συστατικών, από τη δειγματοληψία εδάφους έως την εφαρμογή λιπασμάτων έως τη μέτρηση της απόδοσης. Αυτά τα εργαλεία ενισχύουν την ικανότητα βελτίωσης των αποφάσεων διαχείρισης θρεπτικών συστατικών και αναπτύσσουν το συγκεκριμένο πρόγραμμα διαχείρισης θρεπτικών συστατικών για κάθε τομέα. (Dwivedi et al., 2017)

##### **4.1 Παγκόσμιο Σύστημα Στιγματοθέτησης (GPS/GNSS)**

Είναι δύσκολο να πούμε πού θα ήταν η κατάσταση της γεωργίας ακριβείας σήμερα χωρίς το GPS. Από τη στιγμή σχεδόν που η γεωργία απέκτησε πρόσβαση σε δορυφόρους εντοπισμού θέσης στη δεκαετία του 1990, οι χειριστές και οι κατασκευαστές βρήκαν διάφορους τρόπους να εκμεταλλευτούν αυτά τα εργαλεία για να κάνουν τη διαχείριση της εργασίας στον αγρό πολύ πιο εύκολη και ακριβή. «Στη Βόρεια Αμερική και την Ευρώπη, οι καλλιεργητές μπορούν να ενεργοποιήσουν το τρακτέρ και να εργαστούν σχεδόν αμέσως», λέει ο T.J. Schulte, διευθυντής μάρκετινγκ στο τμήμα γεωργίας της Trimble. Πέραν αυτών των δυνατοτήτων, οι ειδικοί λένε ότι η δορυφορική τεχνολογία αξίζει πραγματικά τονόρο

«παγκόσμιο». «Δεν μπορούμε πλέον να αναφέρουμε όλα αυτά τα συστήματα ως GPS - αυτό δεν είναι ακριβής περιγραφή όταν αναφέρεται στον δέκτη νέας τεχνολογίας του παγκόσμιου δορυφορικού συστήματος πλοήγησης (GNSS)» (Εικ. 9), λέει ο Greg Guyette, πρόεδρος της Insero. Το GNSS καλύπτει τους δορυφορικούς «αστερισμούς» όλων των χωρών, συμπεριλαμβανομένων των GPS, GLONASS και Galileo (Sfiligoj and Heacox, 2016).

Ένας δέκτης GPS μπορεί να συγκριθεί με ένα απλό ραδιόφωνο AM ή FM. Ένας δέκτης GPS «ακούει» τα σήματα που εκπέμπονται από τους 24 δορυφόρους GPS που λειτουργούν από το Υπουργείο Άμυνας. Σε τροχιά γύρω από τη Γη σε υψόμετρο 12.550 μιλίων, αυτοί οι δορυφόροι βρίσκονται σε προβλέψιμες τοποθεσίες. Ως εκ τούτου, αναφερόμαστε στο σύστημα των δορυφόρων ως αστερισμός GPS. Κάθε δορυφόρος μεταδίδει αστρονομικά δεδομένα (almanac) που περιέχουν πληροφορίες σχετικά με την πραγματική θέση των δορυφόρων στον αστερισμό. Μικρές διακυμάνσεις στις τροχιές τους εμφανίζονται λόγω βαρυτικών δυνάμεων από τον ήλιο και το φεγγάρι. Το υπουργείο άμυνας παρακολουθεί συνεχώς τους δορυφόρους και προσαρμόζει τα δεδομένα αλμανάκ ώστε να αντιπροσωπεύει τις πραγματικές τροχιές των δορυφόρων. Τα σήματα εκπομπής περιέχουν επίσης έναν ακριβώς χρονομετρημένο, προβλέψιμο κώδικα. Υπάρχει μια πολύ μικρή καθυστέρηση μεταξύ του χρόνου που τα σήματα φεύγουν από τους δορυφόρους και του χρόνου που φτάνουν σε έναν δέκτη GPS. Ωστόσο, καθώς ένας δέκτης GPS κινείται μακρύτερα από έναν δορυφόρο, αυτή η μικρή καθυστέρηση γίνεται λίγο μεγαλύτερη. Ένας δέκτης GPS χρησιμοποιεί αυτές τις καθυστερήσεις για να προσδιορίσει την απόστασή του από τους δορυφόρους. Ο δέκτης στη συνέχεια χρησιμοποιεί τριγωνισμό για να προσδιορίσει τη θέση του στη γη. Ο τριγωνισμός είναι μια μαθηματική μέθοδος εντοπισμού σημείων σε τρισδιάστατο χώρο. Εάν είναι γνωστές οι αποστάσεις σε καθέναν από τους τρεις δορυφόρους και η κατά προσέγγιση θέση του δέκτη, ο δέκτης GPS μπορεί να υπολογίσει τη θέση του στη γη. Εάν είναι διαθέσιμες πληροφορίες από τέσσερις δορυφόρους, μπορεί επίσης να προσδιοριστεί το υψόμετρο. Η συνολική ακρίβεια ενός δέκτη GPS ανά πάσα στιγμή εξαρτάται από πέντε παράγοντες: 1) σωστή εγκατάσταση, 2) την τεχνολογία που χρησιμοποιείται στον δέκτη, 3) τον αριθμό και τη θέση των δορυφόρων, 4) σφάλματα που εισήχθησαν από την επιλεκτική διαθεσιμότητα, ατμοσφαιρικές συνθήκες, τροπόσφαιρα, ιονόσφαιρα και σήματα πολλαπλών διαδρομών που αναπηδούν από αντικείμενα στην περιοχή και 5) διαφορικές διορθώσεις (Pfof et al., 2003). Η πολυανάκλαση (multipath) είναι η αλλοίωση ενός άμεσου σήματος GPS από ένα ή περισσότερα σήματα που αντανακλώνται από επιφάνειες κοντά στο δέκτη (βλ. εικ. 9). Τα πολυανακλαστικά σήματα μπορούν είτε να παρεμβληθούν είτε να εκληφθούν ως το άμεσο σήμα. Οι ανακλάσεις πολλαπλών διαδρομών επηρεάζουν τις μετρήσεις τόσο του κώδικα όσο και του φορέα σε ένα δέκτη GPS. Η πολυανάκλαση στον κώδικα οδηγεί στην παραμόρφωση της κορυφής συσχέτισης του σήματος με την παρουσία του ανακλώμενου σήματος. Ο συνδυασμός του άμεσου σήματος και του καθυστερημένου σήματος, οδηγεί σε μια ασύμμετρη συνάρτηση συσχέτισης, με αποτέλεσμα ένα σφάλμα στην υπολογισμένη ψευδο-εμβέλεια από αυτόν τον δορυφόρο (Williams, 2001).



Εικόνα9: Παράδειγμα πολυανάκλασης (Williams, 2001).



Εικόνα10: Ένας δέκτης GPS/GNSS (Bandera Country Courier, 2020)

## 4.2 Κινητές συσκευές

Αφού κατανοήσουμε τη θέση που έχει η γεωργία ακριβείας στον πλανήτη, η επόμενη πιο σημαντική καινοτομία αυτά τα τελευταία 20 χρόνια θα πρέπει να είναι η ανάπτυξη κινητών συσκευών. Ο κόσμος σήμερα θα ήταν ένα εντελώς διαφορετικό μέρος χωρίς αυτούς, σύμφωνα με τον καλλιεργητή από το Ιλινόις John Reifsteck. «Χωρίς το κινητό τηλέφωνο (Εικ. 11), πιθανότατα θα καθόμασταν ακόμα πολύ στον αχυρώνα, περιμένοντας κάποιον να έρθει στον αχυρώνα και να κάνει τα πράγματα να δουλέψουν». Σήμερα, τα κινητά τηλέφωνα έχουν μετατραπεί σε ένα πλήθος χρήσιμων κινητών συσκευών, συμπεριλαμβανομένων έξυπνων τηλεφώνων και tablet. Η τεχνολογία αυτή είναι τόσο βαθιά ριζωμένη που οι ειδικοί εκτιμούν ότι υπάρχουν περισσότερες κινητές συσκευές σήμερα - 7,25 δισεκατομμύρια - από ότι άνθρωποι (περίπου 7,2 δισεκατομμύρια). Από το 2016, οι περισσότεροι κατασκευαστές εξοπλισμού γεωργίας ακριβείας που ασχολούνται με την αγορά κινητών συσκευών έχουν αφιερώσει το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου τους προσπαθώντας να επεκτείνουν τις δυνατότητες που αυτά τα προϊόντα μπορούν να προσφέρουν στους χρήστες. «Διαχειριζόμαστε την επιχείρησή μας σύμφωνα με τον κανόνα των 20 λεπτών όσον αφορά τη λήψη πληροφοριών στον χρήστη», λέει η Dr. Marina Barnes, αντιπρόεδρος του «Marketing for Farmers Edge». «Εάν δεν μπορείτε να λάβετε τα τεχνικά σας δεδομένα για να



εργαστείτε για τον αγρότη μέσα στα πρώτα 20 λεπτά μετά τη λήψη του, πιθανότατα δεν πρόκειται να τα χρησιμοποιήσει ποτέ», (*Sfiligoj and Heacox, 2016*). Τα κινητά τηλέφωνα φαίνεται να επηρεάζουν την εμπορευματοποίηση αγροτικών προϊόντων. Η γεωργία επιβίωσης είναι εξαιρετικά αδύναμη, αλλά οι μικροκαλλιεργητές, που δεν διαθέτουν δίκτυο κοινωνικής ασφάλισης, συχνά αποφεύγουν το υψηλό ρίσκο και επομένως δεν προσανατολίζονται πολύ στην αγορά. Μια μελέτη στην Ουγκάντα διαπίστωσε ότι η συμμετοχή στην αγορά αυξήθηκε με την πρόσβαση στο κινητό τηλέφωνο (*Muto και Yamano, 2009*). Αν και η καλύτερη πρόσβαση στην αγορά μπορεί να είναι ένα ισχυρό μέσο για την ανακούφιση της φτώχειας, η μελέτη διαπίστωσε ότι η συμμετοχή στην αγορά εξαρτάται ακόμη από το τι έπρεπε να πουλήσουν οι παραγωγοί: Οι ευπαθείς μπανάνες ήταν πιθανότερο να πωληθούν στο εμπόριο από τον λιγότερο ευπαθή αραβόσιτο (*Donovan, 2017*).



Εικόνα 11: Αγρότης που χρησιμοποιεί κινητό τηλέφωνο για να επισκοπήσει τις ιδιότητες του εδάφους σε καλλιέργεια φράουλας.

### 4.3 Ρομποτική

Τα ρομπότ (Εικ. 12) αναλαμβάνουν πολλά καθήκοντα στη γεωργία αυτές τις μέρες (με διαφορετικά επίπεδα επιτυχίας), συμπεριλαμβανομένης της φύτευσης καλλιεργειών θερμοκηπίου και το κλάδεμα αμπελώνων. Δραστηριότητα υπάρχει και στις αγρονομικές καλλιέργειες. Μεγαλύτερη ώθηση έχουν πάρει τα αυτόνομα μηχανήματα που ελέγχονται από απόσταση χρησιμοποιώντας τηλεματική. Οι μηχανικοί της Kinze δημιούργησαν ένα αυτόνομο σύστημα καλαθιού σιτηρών (σχεδιασμένο να συνδέεται σε οποιοδήποτε τρακτέρ) στο οποίο το καρότσι ακολουθεί έναν συνδυασμό μέσω του χωραφιού σε ασφαλή απόσταση. Η τεχνολογία Fendt Guide Connect της AGCO, που κυκλοφόρησε το 2011, συνδέει επίσης δύο μηχανήματα μέσω σήματος GNSS και ραδιοσυχνοτήτων, έτσι ώστε και τα δύο να μπορούν να ελέγχονται από έναν μόνο οδηγό. Η AGCO συνεχίζει να αναπτύσσει την ιδέα με

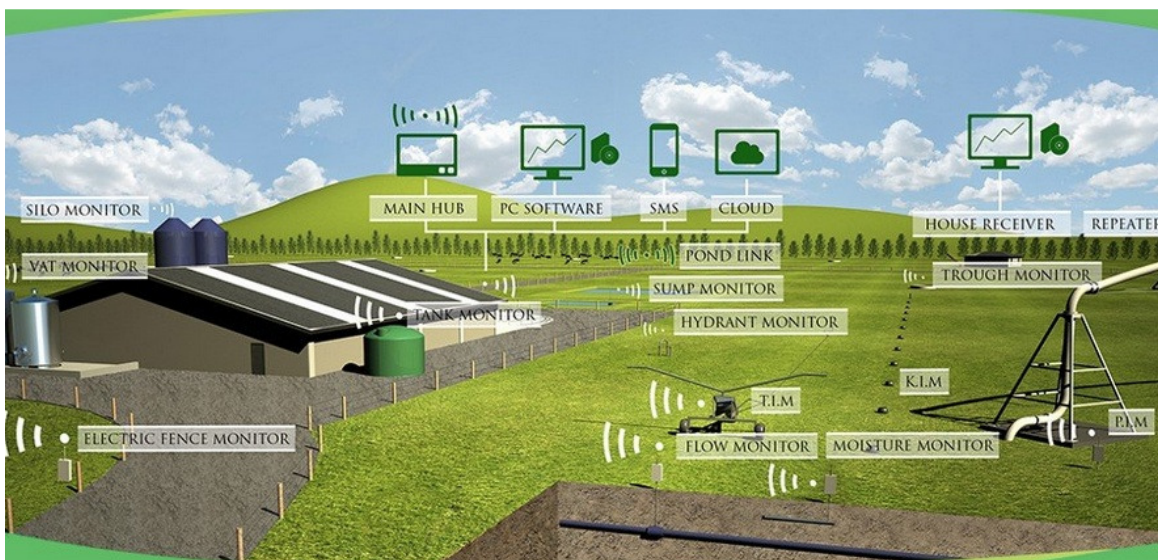
βάση τη συμβολή των πελατών στις γεωργικές τους ανάγκες, λέει ο SeppNuscheler, ανώτερος διευθυντής επικοινωνιών της Fendt στην AGCO. Σε μια διαφορετική προσέγγιση, το έργο της Fendt «MARS» (Mobile Agricultural Robot Swarms- Κινητά αγροτικά σμήνη ρομπότ) χρησιμοποιεί μικρά ρομπότ σποράς καλαμποκιού που είναι ελαφριά, ενεργειακά αποδοτικά, εξαιρετικά ευέλικτα και ελέγχονται από το διαδίκτυο (cloud) και λειτουργούν από μια εφαρμογή tablet. Δεν υπάρχει καμπίνα αλλά ένας χειριστής εκτός του αγρού που διαχειρίζεται έναν στόλο πολλαπλών μονάδων MARS. Μπορούν να εργαστούν όλο το 24ωρο και έχουν χαμηλές ανάγκες συντήρησης. «Αναμείνεται για μερικές συναρπαστικές εξελίξεις στο έργο MARS που θα ανακοινωθούν στο τελευταίο τέταρτο του έτους», λέει ο Nuscheler. «Αυτή είναι μια κατεύθυνση που βλέπουμε να οδηγεί το μέλλον της ρομποτικής της γεωργίας - μικρά αλλά έξυπνα και πολλά», (*Sfiligoj and Heacox, 2016*). Η εισαγωγή και διάδοση των συστημάτων ρομποτικής θα αποτελέσει μια σημαντική ευκαιρία για τη γεωργία στο άμεσο μέλλον. Η χρήση ρομποτικών συστημάτων θα βελτιώσει τη βιωσιμότητα και την ασφάλεια της εργασίας σε πολλούς γεωργικούς τομείς καθώς και μια συνεπή μείωση του κόστους παραγωγής. Η διανομή χημικών μέσω αυτόνομων ρομπότ θα απέφυγε την παρουσία ανθρώπινου χειριστή κατά τη διάρκεια ψεκασμών, ιδίως σε θερμοκήπια όπου αυτή η λειτουργία εξακολουθεί να εκτελείται χειροκίνητα. Ταυτόχρονα, μπορεί να επιτευχθεί σημαντική μείωση των ρύπων με την ακριβή εφαρμογή των φυτοφαρμάκων. Φιλικές προς το περιβάλλον πρακτικές ως φυσικός έλεγχος των ζιζανίων θα ήταν οικονομικά εφικτές με συνεπή μείωση του κόστους, ιδίως στη βιολογική γεωργία (*Sørensen et al, 2005; Griepentrog et al., 2004; Comba et al., 2010*)



Εικόνα 12:Απεικόνιση ενός μοντέλου ρομπότ (*Lobbystas, 2017*)

#### 4.4 Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT)

Μια από τις πρόσφατες λέξεις-κλειδιά που έχουν σημασία για την γεωργία ακριβείας τα τελευταία χρόνια είναι το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things- IoT) (Εικ. 13). Με απλά λόγια, είναι η έννοια της σύνδεσης οποιασδήποτε συσκευής με διακόπτη on / off στο Διαδίκτυο (ή / και μεταξύ τους). Αυτό το δίκτυο συνδεδεμένων πραγμάτων θα μπορούσε επίσης να περιλαμβάνει άτομα με προσαρτώμενες συσκευές(wearables). Η ιδέα έχει αποδειχθεί στην καταναλωτική αγορά στο «συνδεδεμένο σπίτι», για παράδειγμα, όπου συσκευές, συστήματα ασφαλείας και άλλα παρόμοια, επικοινωνούν μεταξύ τους και με τον ιδιοκτήτη σπιτιού. Ο Craig Houin, επικεφαλής διαχείρισης δεδομένων στο Sunrise Cooperative, λέει ότι τα συνδεδεμένα στοιχεία στη γεωργία θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν αισθητήρες πεδίου (για καταγραφή δεδομένων καιρού σε πραγματικό χρόνο, υγρασία εδάφους και δεδομένα θερμοκρασίας) και αεροφωτογραφίες / δορυφορικές εικόνες για την παρακολούθηση του αγρού. Τέτοιες επικοινωνίες συσκευών θα μπορούσαν επίσης να χρησιμοποιηθούν σε προγράμματα αποστολής, εργαλεία αλληλεπίδρασης πωλήσεων και άλλες εφαρμογές διαχείρισης επιχειρήσεων. Πιο πρόσφατα, αρκετές νεοσύστατες γεωργικές επιχειρήσεις και προμηθευτές εξαρτημάτων (υλικό, λογισμικό κ.λπ.) χρησιμοποιούν το LPWAN (Low Power Wide Area Network- χαμηλής ισχύος δίκτυο ευρείας περιοχής) για να αυξήσουν ή να αντικαταστήσουν τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας στην ασύρματη μετάδοση δεδομένων. «Αυτά τα δίκτυα έχουν σχεδιαστεί για να μεταφέρουν μικρές ποσότητες δεδομένων που διαβιβάζονται κατά διαστήματα σε μεγάλες αποστάσεις», λέει ο Paul Welbig, Διευθυντής Επιχειρηματικής Ανάπτυξης της Senet Inc. Επειδή οι συσκευές που επικοινωνούν με τα δίκτυα LPWA το κάνουν με πολύ χαμηλή ισχύ, η διάρκεια ζωής της μπαταρίας τους είναι σημαντικά μεγαλύτερη από τις τρέχουσες επιλογές δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Αυτό σε συνδυασμό με τη χρήση δικτύου χαμηλού κόστους παρέχει ένα πολύ συναρπαστικό πλεονέκτημα συνολικού κόστους ιδιοκτησίας έναντι άλλων επιλογών (Sfiligoj and Heacox, 2016).



Εικόνα 13: Παράδειγμα IoT (ITNEXT, 2016)

#### 4.5 Τηλεπισκόπηση

Η ακριβής γεωργία βασίζεται σε αξιοποιήσιμες πληροφορίες που λαμβάνονται από αισθητήρες και λογισμικό ανάλυσης δεδομένων, προκειμένου να επιτευχθεί αποτελεσματικότητα στις πρακτικές της εκμετάλλευσης. Οι αξιοποιήσιμες πληροφορίες είναι το αποτέλεσμα της ενσωμάτωσης διαφορετικών πηγών πληροφοριών αισθητήρων σε πραγματικό χρόνο σε ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων. Μερικές από τις πιο κοινές πλατφόρμες από τις οποίες οι αισθητήρες αποκτούν τα δεδομένα περιλαμβάνουν δορυφόρους, επανδρωμένα αεροσκάφη, μη επανδρωμένα αεροσκάφη, τρακτέρ και συσκευές χειρός. Η Τηλεπισκόπηση (Εικ. 14) είναι η επιστήμη της απόκτησης πληροφοριών και της μέτρησης των ιδιοτήτων των αντικειμένων στην επιφάνεια της γης από απόσταση, συνήθως από αεροσκάφη ή δορυφόρους, σε αντίθεση με την εγγύτητα ανίχνευσης, η οποία αναφέρεται στην απόκτηση δεδομένων αισθητήρα από επίγεια οχήματα και συσκευές χειρός (Mulla, 2013; Gonzalez et al., 2019), ή με άλλα λόγια, «Η τηλεπισκόπηση ορίζεται ως η απόκτηση πληροφοριών για ένα αντικείμενο χωρίς να υπάρξει φυσική επαφή μαζί του» (Elachi, 1987; Schlemmer et al., 2003).

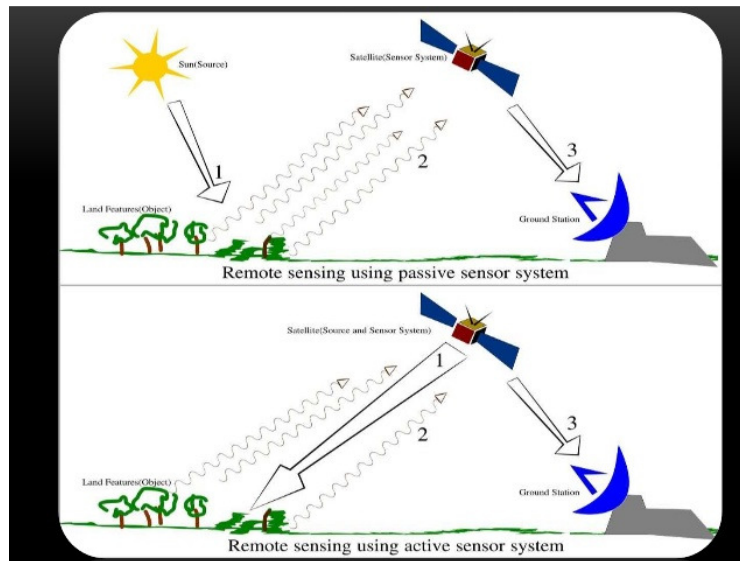
Οι παραδοσιακές τεχνολογίες τηλεπισκόπησης που βασίζονται σε πλατφόρμες δορυφόρων και αεροσκαφών βελτιώνονται συνεχώς από την άποψη της χωρικής και της χρονικής ανάλυσης, ενισχύοντας έτσι την καταλληλότητά τους για εφαρμογές γεωργίας ακριβείας. Η επιχειρησιακή επιτυχία της τεχνολογίας μεταβλητού ρυθμού βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην έγκαιρη συλλογή των δεδομένων του αισθητήρα και στον ακριβή υπολογισμό του χάρτη εφαρμογής που περιγράφει την ευρωστία, τις ελλείψεις, τις ασθένειες, τα ζιζάνια και τα παράσιτα, καθώς και τις μεταβλητές εδάφους, όπως το περιεχόμενο υγρασίας και θρεπτικών συστατικών. Τα δεδομένα μπορούν να ληφθούν με διάφορους τρόπους, όπως οι παραδοσιακές πλατφόρμες τηλεπισκόπησης που περιγράφονται παραπάνω. Πιο πρόσφατα, άλλες πλατφόρμες, όπως τα μη επανδρωμένα οχήματα εναέριας κυκλοφορίας (UAV) ή αισθητήρες τοποθετημένοι σε οχήματα μπορούν να προσφέρουν υψηλότερη γειννίαση του αισθητήρα με τις καλλιέργειες καθώς και πληροφορίες σε σχεδόν πραγματικό χρόνο (Gonzalez et al., 2019).

Ένα απλό παράδειγμα είναι όταν τα μάτια μας αισθάνονται το ανακλώμενο φως από ένα αντικείμενο και ο εγκέφαλός μας ερμηνεύει τις πληροφορίες. Σε αυτό το παράδειγμα, το μάτι μας είναι ο ανιχνευτής και ο εγκέφαλός μας είναι ο υπολογιστής που δίνει νόημα από αυτό που εντοπίστηκε. Οι εξ αποστάσεως ανιχνευόμενες πληροφορίες μπορούν να έχουν τη μορφή πιθανών πεδίων, κατανομής δύναμης, ακουστικών κυμάτων ή ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας. Το επίκεντρο της τηλεπισκόπησης στη γεωργία είναι η αλληλεπίδραση φυτών και εδάφους με ηλεκτρομαγνητική ενέργεια. Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται μπορούν να ομαδοποιηθούν σε δύο κύριες κατηγορίες, φωτογραφικοί και μη φωτογραφικοί. Και οι δύο παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια και τον τρόπο με τον οποίο αλληλεπιδρά με την επιφάνεια που παρατηρείται (Schlemmer et al., 2003).

Φωτογραφικοί αισθητήρες: Οι φωτογραφίες μπορούν να θεωρηθούν ότι αποτελούνται από ένα δίκτυο πολλών μικροσκοπικών ανιχνευτών ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας. Το φωτογραφικό φάσμα που χρησιμοποιείται από αυτούς τους ανιχνευτές κυμαίνεται από 0,3 mm έως 0,9 mm. Για ασπρόμαυρη μεμβράνη, οι μεμονωμένοι ανιχνευτές είναι οι κόκκοι αλογονιδίου αργύρου

στο γαλάκτωμα φιλμ. Το έγχρωμο και το έγχρωμο φιλμ IR δεν περιέχει ασήμι. Αντίθετα, η εικόνα δημιουργείται όταν το φως αλληλεπιδρά με χημικές ουσίες στην ταινία. Τα χαρακτηριστικά απορρόφησης των τριών στρωμάτων βαφής (κίτρινο, ματζέντα και κυανό) δημιουργούν τα διάφορα χρώματα. Το επεξεργασμένο φιλμ παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη μεταβλητότητα στο πεδίο ενός καλλιεργητή (Schlemmer et al., 2003).

Μη φωτογραφικοί αισθητήρες: Οι πολυφασματικοί σαρωτές, ή μη φωτογραφικές συσκευές, παρέχουν την ευκαιρία να ανιχνευθούν πολλές ζώνες κυμάτων σε ένα ευρύτερο φάσμα διακριτών μηκών κύματος από ότι ένας αισθητήρας φωτογραφίας (Schlemmer et al., 2003).



Εικόνα 14: Παράσταση τηλεπισκόπησης (Wikipedia, n.d.).

#### 4.6 Μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα

Το μη επανδρωμένο εναέριο όχημα (UAV) (π.χ. ελικόπτερο, οκταελικόπτερο, τετραελικόπτερο, αεροσκάφη σταθερής πτέρυγας), αναφέρεται γενικά μόνο στο όχημα ως πλατφόρμα, συμπεριλαμβανομένων όλων των συστημάτων που είναι απαραίτητα για την πτήση. Ο όρος «Μη επανδρωμένο εναέριο σύστημα» (Unmanned Aerial System-UAS) είναι επίσης πολύ συνηθισμένος στον κλάδο των αερομεταφορών για να αναφέρεται όχι μόνο στο εναέριο όχημα (Εικ. 15) αλλά και στο ωφέλιμο φορτίο αισθητήρων, στις μονάδες επεξεργασίας δεδομένων και στον εξοπλισμό επίγειου σταθμού.

Τα μη επανδρωμένα εναέρια συστήματα περιέχουν συχνά μια πιο οικονομική και ευέλικτη πλατφόρμα αισθητήρων από τους δορυφόρους ή τα αεροσκάφη, ιδίως για περιοχές αγροτικής κλίμακας μέχρι μερικές εκατοντάδες εκτάρια. Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα της ανάπτυξης UAS σε αγροτικά περιβάλλοντα είναι η ικανότητά τους να εκτελούν αυτόνομα πτήση χωρίς να ελέγχονται ενεργά από έναν επίγειο χειριστή. Τα UAS αντιπροσωπεύουν μια τεχνολογική ευκαιρία για εφαρμογές γεωργίας ακριβείας βελτιώνοντας την ασφάλεια, μειώνοντας τις απώλειες, αυξάνοντας την ακρίβεια και εξοικονομώντας χρόνο και χρήμα όταν

χρησιμοποιούνται με συστηματικό και αποτελεσματικό τρόπο. Η χρήση τους σε γεωργικά περιβάλλοντα αναμένεται να συνεχίσει να αυξάνεται τα επόμενα χρόνια. Μια πρόσφατη ερευνητική έκθεση που δημοσιεύθηκε από το Association for Unmanned Vehicle Systems International (AUVSI), κατέληξε στο συμπέρασμα ότι έως το 2025 η γεωργία θα αποτελεί περίπου το 80% της εμπορικής βιομηχανίας UAS (AUVSI, 2015; Gonzalez et al., 2019)



Εικόνα 15: Παράδειγμα μη επανδρωμένου εναέριου οχήματος (*FarmManagement*, n.d.)

#### 4.7 Γεωργία ακριβείας και τεχνολογίες ωφέλιμου φόρτου (payload)

Για να αποκτήσουμε πολύτιμα δεδομένα για τις εφαρμογές γεωργίας ακριβείας, είναι συχνά απαραίτητο να χρησιμοποιήσουμε εξειδικευμένα ωφέλιμα φορτία, καθώς και ένα σύστημα αυτόματου πιλότου για την έρευνα μιας αγροτικής έκτασης ακολουθώντας μια προκαθορισμένη διαδρομή. Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία τεχνολογιών ωφέλιμου φορτίου που χρησιμοποιούνται σήμερα για εφαρμογές γεωργίας ακριβείας με διαφορετικά επίπεδα ενοποίησης και υιοθέτησης σε εμπορικά περιβάλλοντα.

Αισθητήρες απεικόνισης: Μετρούν την ακτινοβολία που εκπέμπεται ή αντανακλάται από το αντικείμενο ενδιαφέροντος, το οποίο στη γεωργία ακριβείας είναι κυρίως καλλιέργειες, ζιζάνια και έδαφος. Ο στόχος των ερευνών απεικόνισης είναι να εκτιμηθούν τα χαρακτηριστικά των καλλιεργειών σε επίπεδο φύλλου ή φυτικού θόλου με τις τιμές ανάκλασης σε διάφορα μήκη κύματος. Αυτά μπορούν να παρέχουν μια φασματική υπογραφή για υγιή βλάστηση σε ορατές και υπέρυθρες ζώνες. Μπορούν να ταξινομηθούν στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Ορατή απεικόνιση φάσματος
- Πολυφασματική απεικόνιση
- Υπερφασματική απεικόνιση

Αισθητήρες μη απεικόνισης: Οι πτητικές οργανικές ενώσεις (Volatile organic compounds - VOC) εκπέμπονται σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής των φυτών. Διάφορες ενώσεις εκπέμπονται από φύλλα και μίσχους ανάλογα με το είδος των φυτών, τα στάδια ανάπτυξης και τη σχετική

κατάσταση της υγείας. Με τη μέτρηση των VOC που εκπέμπονται από υγιή φυτά και εκείνων που βρίσκονται υπό πίεση, μπορεί να είναι δυνατή η διάκριση μεταξύ διαφόρων ασθενειών και η έγκαιρη ανίχνευση στρες. Μπορεί να θεωρηθεί μια τεχνολογία που ακόμα εξελίσσεται και παρέχει μια σχετικά αξιόπιστη και μη επεμβατική προσέγγιση στην ανίχνευση και παρακολούθηση. Η δυσκολία προκύπτει λόγω του τρόπου με τον οποίο πρέπει να λαμβάνονται δείγματα και του βάρους των ενώσεων που πρέπει να ληφθούν ως δείγματα. Ως εκ τούτου, αυτός ο τύπος αισθητήρα μπορεί να ταιριάζει καλύτερα σε ρομπότ γείωσης που θα μπορούσαν ίσως να λειτουργούν σε συντονισμό με μη επανδρωμένα πτητικά μέσα. Εναλλακτικά, ο αισθητήρας θα μπορούσε να κρέμεται και θα χρειαζόταν μία αργή πτήση αιώρησης για να κινηθεί πάνω από τον αγρό και να λάβει αξιόπιστες μετρήσεις (Gonzales *et al.*, 2019).

#### **4.8 Σπορά με εφαρμογή εισροών μεταβλητών δόσεων (VRA)**

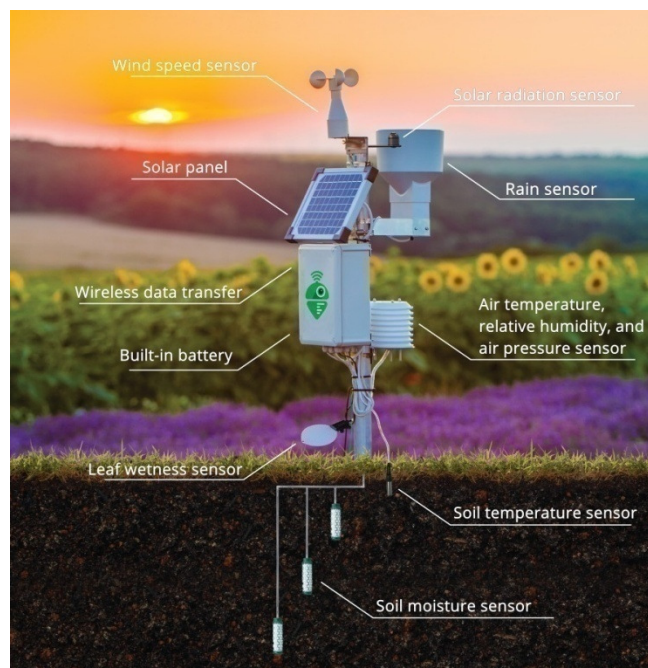
Λαμβάνοντας υπόψη όλες τις νεότερες συναρπαστικές τεχνολογίες για τη γεωργία ακριβείας σε αυτήν τη λίστα, μπορεί να είναι έκπληξη να δούμε την εφαρμογή μεταβλητών δόσεων (variable rate application -VRA). Σύμφωνα με τον Sid Parks, διευθυντή Γεωργίας Ακριβείας στην GROWMARK, αυτό κατάφερε να διατηρήσει τη σημασία του εν μέρει λόγω της φύσης του. «Καλεί τη φυσική τάση των καλλιεργητών να προσπαθήσουν να μεγιστοποιήσουν ένα χωράφι για να επωφεληθούν από όλες τις δυνατότητες αύξησης των δυνατών αποδόσεων δίνοντας ιδιαίτερη προσοχή στους παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη των σπόρων». Είναι λίγο διαφορετικό από τη λίπανση μεταβλητών δόσεων, επειδή η σπορά VRA βασίζεται στην ικανότητά μας να συλλέγουμε ακριβή δεδομένα για την έναρξη της γεωργικής διαδικασίας, τον ίδιο τον σπόρο». Ένας άλλος παράγοντας που συντελεί στην αυξανόμενη σημασία της σποράς VRA για τη γεωργία γενικής ακριβείας είναι το γεγονός ότι ως κατηγορία έχει πολλά περιθώρια ανάπτυξης. «Παρόλο που οι λαοί χρησιμοποιούν πρακτικές σποράς VRA από τα μέσα της δεκαετίας του 1990, πιθανότατα εξακολουθεί να χρησιμοποιείται μόνο στο 5% έως 10% των φυτεμένων στρεμμάτων σήμερα», λέει ο Parks. «Όμως, η ικανότητα συγκέντρωσης καλών, χρήσιμων δεδομένων για τη σπορά VRA γίνεται πολύ καλύτερη, οπότε οι πιθανότητες περισσότερων καλλιεργητών να χρησιμοποιούν αυτήν την πρακτική στις ετήσιες εργασίες τους θα συνεχίσουν να βελτιώνονται» (Sfiligoj και Heacox, 2016).

Οι μηχανές φύτευσης και οι σπαρτικές μηχανές μπορούν να μετατραπούν σε σπορείς VRA ρυθμίζοντας την ταχύτητα του οδηγού μέτρησης σπόρων. Αυτό θα αλλάξει αποτελεσματικά τον πληθυσμό των φυτών. Η σπορά VRA επιτυγχάνεται με το διαχωρισμό ή την αποσύνδεση των συστημάτων μετρητή σποράς από τον τροχό κίνησης του εδάφους. Συνδέοντας ένα μοτέρ ή κιβώτιο ταχυτήτων (για να αλλάξει την ταχύτητα της εισόδου του τροχού εδάφους), ο ρυθμός σποράς μπορεί να μεταβάλλεται εν κινήσει. Οι περισσότερες από αυτές τις συσκευές θα αντιστοιχιστούν με έναν χάρτη εφαρμογής και μπορούν να έχουν δύο ή περισσότερες τιμές. Ένα σενάριο δύο ταχυτήτων μπορεί να είναι ένα σύστημα που μειώνει τους ρυθμούς σποράς εκτός της εμβέλειας ενός κεντρικού αρδευτικού άξονα, ενώ μπορεί να

απαιτούνται πολλαπλοί ρυθμοί για προσαρμογή στους τύπους εδάφους (ικανότητα συγκράτησης νερού) και την οργανική ύλη (Grissoetal., 2011).

#### 4.9 Μοντελοποίηση κλίματος

Στις περισσότερες γεωργικές περιοχές της χώρας υπάρχει κάποιο είδος παρακολούθησης του καιρού. Ίσως καμία άλλη μεταβλητή δεν είναι τόσο σημαντική - και εντελώς απρόβλεπτη - όσο οικαιρικές συνθήκες. Όμως η τεχνολογία υπόσχεται λύσεις. «Τα τελευταία 25 χρόνια, έχουμε αναπτύξει πολλές σημαντικές τεχνολογίες που θα μπορούσαν να είναι ακόμη πιο πολύτιμες με την ποιοτική μοντελοποίηση καιρού (Εικ. 16), αλλά τώρα βρισκόμαστε σε ένα σημείο όπου η διασφάλιση καλών αποδόσεων των καλλιεργειών είναι το κλειδί για να βεβαιωθούμε ότι ο κόσμος έχει λύσεις επισιτισμού που λειτουργούν», λέει ο Jeff Keizer, αντιπρόεδρος Στρατηγικών Πωλήσεων και Μάρκετινγκ για την Iteris. «Εδώ στην Iteris, ασχολούμαστε με την μοντελοποίηση δεδομένων για περισσότερα από 30 χρόνια. Το πρώτο μας γεωργικό σύστημα, το ClearAg, δημιουργεί μια πλατφόρμα για τη γεωργία και επεκτείνεται σε άλλους τομείς μοντελοποίησης όπως η χρήση νερού, οι ιδιότητες του εδάφους και η ανάπτυξη των καλλιεργειών». Ένα παράδειγμα αυτού, λέει ο Keizer, αφορούσε έναν καλλιεργητή πατάτας στις Βόρειες Πεδιάδες που διαπίστωσε ότι η συγκομιδή του σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία ήταν το κλειδί για τη διατήρηση της ποιότητας και της ακεραιότητας των καλλιεργειών. Στο παρελθόν, αυτός ο καλλιεργητής έστελνε ανιχνευτές έξω στο χωράφι για να αξιολογήσει χειροκίνητα τις θερμοκρασίες του εδάφους πριν αποστείλει τον εξοπλισμό συγκομιδής. «Αλλά χρησιμοποιώντας το ClearAg, αυτός ο καλλιεργητής μπόρεσε να πάρει όλες τις μετρήσεις του εδάφους από απόσταση και κατάφερε να ολοκληρώσει τη συγκομιδή του πολύ πιο αποτελεσματικά από ποτέ» (Sfiligoj and Heacox, 2016).





Εικόνα 16: Μετεωρολογικός σταθμός, σαν παράδειγμα μοντελοποίησης καιρικών συνθηκών (*Meteobot, n.d.*)

#### 4.10 Μοντελοποίηση αζώτου

Αν και ορισμένες μορφές λιπασμάτων μεταβλητώνδόσεων χρησιμοποιούνται εδώ και δεκαετίες, η μοντελοποίηση του αζώτου έχει γίνει πιο έντονη πρόσφατα. «Η πελατεία μας χρησιμοποιεί τεχνολογίες εισροών μεταβλητώνδόσεων για εφαρμογή λιπασμάτων από τα μέσα της δεκαετίας του 1990», λέει ο Matt Waits, διευθύνων σύμβουλος της SSTS Software. «Ωστόσο, η πολυπλοκότητα του κύκλου αζώτου και το γεγονός ότι είναι σε συνεχή κατάσταση ροής έκανε πάντα τη διαχείριση του αζώτου δύσκολη». Πρόσφατα, η SSTS Software συνεργάστηκε με την Agronomic Technology Corp. (ATC) για να παρουσιάσουν το Adapt-N. Σύμφωνα με τον διευθύνων σύμβουλο της ATC Steve Sibulkin, το Adapt-N κυκλοφόρησε για πρώτη φορά το 2014 και γίνεται ένα σημαντικό εργαλείο για τη σωστή διαχείριση της χρήσης αζώτου. «Υπάρχει πεποίθηση στη γεωργία ότι οι σημερινές περιβαλλοντικές πιέσεις μόνο θα επιδεινωθούν καθώς η βιομηχανία προχωρά», λέει ο Sibulkin. «Η συντριπτική πλειονότητα των καλλιεργητών θέλουν να χρησιμοποιήσουν απλές μεθόδους για να αντιμετωπίσουν αυτές τις ανησυχίες. Αυτό είναι που επί του παρόντος φέρνουν στο τραπέζι το Adapt-N και άλλες διαδικασίες μοντελοποίησης του αζώτου» (*Sfiligoj and Heacock, 2016*).

Οι πρώιμες επιτυχίες διαχείρισης εισροών μεταβλητώνδόσεων με το άζωτο σε ζαχαρότευτλα (*Cattanash et al., 1996*) ώθησαν ορισμένους καλλιεργητές να εξετάσουν τη συγκεκριμένη χωρική διαχείριση αζώτου για την παραγωγή καλαμποκιού. Η προσαρμογή των ποσοστών εφαρμογής αζώτου για την πιο ακριβή κάλυψη των αναγκών των καλλιεργειών θα μπορούσε να αυξήσει την κερδοφορία, να μειώσει τον περιβαλλοντικό κίνδυνο και μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερη και πιο συνεπή ποιότητα σιτηρών. Η υιοθέτηση της διαχείρισης εισροών μεταβλητώνδόσεων αζώτου ευνοείται επίσης από τη διαδεδομένη διαθεσιμότητα εξοπλισμού εφαρμογής και συναφών υπηρεσιών θρέψης ακριβείας σε όλες σχεδόν τις περιοχές καλλιέργειας καλαμποκιού. Ωστόσο, η υιοθέτηση της εφαρμογής μεταβλητής αζώτου υστερεί σε σχέση με τις άλλες πρακτικές καλλιέργειας ακριβείας. Η πρόσφατη πανεπιστημιακή έρευνα αποκάλυψε γιατί. Η διαχείριση του αζώτου σε υποπεριφέρειες αγροτεμαχίων ή ακόμη και σε ολόκληρες αγροτικές εκτάσεις είναι μια πολύπλοκη διαδικασία και θέτει σε αμφισβήτηση ορισμένες μακροχρόνια παγιωμένες πεποιθήσεις για τη διαχείριση θρεπτικών συστατικών (*Doerge, 2003*).

#### 4.11 Τυποποίηση

Έχετε δει ποτέ μια φωτογραφία σε ένα περιοδικό ενός προοδευτικού αγρότη με μια στοίβα ηλεκτρονικών οθονών στη γωνία της καμπίνας του τρακτέρ και να σκέφτηκατε: «Οι μηχανικές πτυχές αυτής της επιχείρησης είναι αρκετές, δεν χρειάζομαι τον πονοκέφαλο όλων αυτών των πρόσθετων ηλεκτρονικών στο τρακτέρ μου» Η ίσως είστε αυτός ο αγρότης στην

εικόνα και πιστεύετε, «Πρέπει να υπάρχει ένας καλύτερος τρόπος συντονισμού του ελέγχου της σποράς, των χημικών, των λιπασμάτων και της θέσης από αυτήν τη μάζα καλωδίων και κουτιών παρακολούθησης!» Λοιπόν, υπάρχει. Ή τουλάχιστον θα υπάρξει. Ονομάζεται J1939. Το J1939 και το διεθνές αντίστοιχό του, ISO 11783, είναι προτεινόμενα πρότυπα επικοινωνίας σε οχήματα εκτός δρόμου και έχουν τη δυνατότητα να βελτιώσουν τον αγροτικό εξοπλισμό (Humburg, 2003).

Η έκκληση για συμβατότητα μεταξύ των κατασκευαστών του εξοπλισμού - κυρίως μέσω των προτύπων ISOBUS - συνεχίζεται. Οι επίσημες αρχικές προσπάθειες για την εφαρμογή του ξεκίνησαν πριν από περίπου οκτώ χρόνια με τη σύσταση του Ιδρύματος Ηλεκτρονικής Γεωργικής Βιομηχανίας. Η ομάδα περιλαμβάνει πλέον περισσότερες από 170 εταιρείες, ενώσεις και οργανισμούς που συνεργάζονται ενεργά για να λειτουργήσουν τα πρότυπα. Ωστόσο, οι συμμετέχοντες στη βιομηχανία που πρέπει να αντιμετωπίσουν τη συμβατότητα του εξοπλισμού «επί τόπου» εξακολουθούν να είναι απογοητευμένοι. Οι ειδικοί σε θέματα τεχνολογίας άλλων εταιρειών συχνά δυσκολεύονται να διαχειριστούν τα ανταγωνιστικά προϊόντα των προμηθευτών. Λέει ο Tim Norris, Διευθύνων Σύμβουλος της AgInfoTech, LLC, MountVernon, OH: «Θα υπάρξει ένα σημείο που ελπίζουμε ότι τα εξαρτήματα θα είναι έτοιμα προς χρήση (plug-and-play) - και είναι πολύ καλύτερα από ότι ήταν - αλλά εξακολουθεί να χρειάζεται βελτίωση» (SfiligojandHeacox, 2016).

#### **4.12 Νανοτεχνολογία**

Σύμφωνα με τη Γενική Διεύθυνση εσωτερικών πολιτικών της Ευρωπαϊκής Ένωσης: Η γεωργία ακριβείας είναι μια έννοια διαχείρισης της γεωργίας για τη μέτρηση και την ανταπόκριση στις μεταβλητές μεταξύ των καλλιεργειών μεταξύ και εντός των αγρών, ώστε να σχηματιστεί ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων για ολόκληρη τη διαχείριση της εκμετάλλευσης και να αποκομίσει τη μέγιστη απόδοση από τους διαθέσιμους πόρους. Η νανοτεχνολογία χρησιμοποιείται ευρέως στη σύγχρονη γεωργία για να υλοποιήσει την έννοια της γεωργίας ακριβείας. Η νανοτεχνολογία περιλαμβάνει νανοσωματίδια (ασήμι, οξειδίο του ψευδαργύρου, νανοσωματίδια διοξειδίου του τιτανίου) που έχουν μία ή περισσότερες διαστάσεις της τάξης των 100 nm ή λιγότερο. Τα νανοϋλικά βρίσκουν εφαρμογές στην προστασία των φυτών, τη διατροφή και τη διαχείριση των αγροτικών πρακτικών λόγω μικρού μεγέθους, υψηλής αναλογίας επιφάνειας προς όγκο και μοναδικών οπτικών ιδιοτήτων. Ένα ευρύ φάσμα υλικών χρησιμοποιείται για την κατασκευή νανοσωματιδίων όπως μεταλλικά οξείδια, κεραμικά, μαγνητικά υλικά, ημιαγωγοί, κβαντικές κουκίδες, λιπίδια, πολυμερή (συνθετικά ή φυσικά), δένδριμερή και γαλακτώματα. Τα νανοσωματίδια χιτοζάνης χρησιμοποιούνται στη γεωργία για την επεξεργασία σπόρων και ως βιο-φυτοφάρμακο που βοηθά τα φυτά να καταπολεμήσουν τις μυκητιασικές λοιμώξεις. Η αποτελεσματικότητα πρόσληψης και τα αποτελέσματα των νανοσωματιδίων στην ανάπτυξη και τις μεταβολικές λειτουργίες ποικίλλουν μεταξύ των φυτών. Η συγκέντρωση των νανοσωματιδίων επηρεάζει διαδικασίες όπως η βλάστηση και η ανάπτυξη του φυτού. Η νανοενθυλάκωση παίζει ζωτικό

ρόλο στην προστασία του περιβάλλοντος μειώνοντας την έκπλυση και την εξάτμιση των επιβλαβών ουσιών (Duhan et al., 2017).

#### 4.13 Έλεγχος ζιζανίων

Στο παρελθόν, οι πληροφορίες για τα ζιζάνια συλλέγονταν με έναν περιστασιακό τρόπο, με μικρή προσοχή στις πυκνότητες ή τις κατανομές των ζιζανίων. Αυτό οφείλεται σε περιορισμούς χρόνου και εργασίας για αυστηρό έλεγχο, την πολυπλοκότητα των απαιτούμενων πληροφοριών κατά τη δειγματοληψία, την υπόθεση ότι τα ζιζάνια είναι σταθερά και ομοιόμορφα σε ένα αγροτεμάχιο και την έλλειψη εξοπλισμού για εύκολη διαχείριση της μεταβλητότητας των ζιζανίων ακόμα και όποτε παρατηρήθηκε. Γενικά, δινόταν μια μόνο πρόταση (είτε ένα ζιζανιοκτόνο, είτε μείγμα) για τη διαχείριση ζιζανίων για ένα αγροτεμάχιο, βασισμένη στα προβλήματα ζιζανίων του προηγούμενου έτους, σε δειγματοληψία στις άκρες του χωραφιού ή οδηγώντας σε ένα μοτίβο W ή Z μέσα στο αγροτεμάχιο την άνοιξη. Αυτές οι προσεγγίσεις ήταν επιτυχημένες στον έλεγχο των ζιζανίων και στη βελτίωση των κερδών. Τα ερωτήματα είναι: 1) Τα ζιζάνια διαφέρουν αρκετά σε ένα αγροτεμάχιο για να τα διαχειριστούν με τεχνικές ακριβείας χρησιμοποιώντας διαφορετικές μεθόδους ή ζιζανιοκτόνα; και 2) μπορούμε να εκμεταλλευτούμε την τεχνολογία (GPS, ψεκαστήρες μεταβλητού ρυθμού, ελεγκτές άμεσης έγχυσης κ.λπ.) για να βελτιώσουμε περαιτέρω τη διαχείριση ζιζανίων και την κερδοφορία; Αυτή η κατευθυντήρια γραμμή συζητά διαφορετικές προσεγγίσεις και έννοιες για τη λήψη πληροφοριών σχετικά με την ποικιλομορφία ζιζανίων στον τομέα. Στις περισσότερες περιπτώσεις, τα ζιζάνια συσσωρεύονται σε μεγάλο βαθμό σε ένα χωράφι (Johnson et al., 1995; Cardina et al., 1996). Για παράδειγμα, σε ένα αγροτεμάχιο 160 στρεμμάτων, οι πυκνότητες του γαϊδουράγκαθου και του ζιζανίου *Alopecurus brachystachys* δεν ήταν ομοιόμορφες και εμφανίστηκαν σε διαφορετικές περιοχές του χωραφιού. Η αποστράγγιση, η τοπογραφία, ο τύπος του εδάφους και το μικροκλίμα διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στο που θα βρεθούν τα ζιζάνια και πόσο επιτυχημένα και ανταγωνιστικά θα είναι σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία. Το πρώτο βήμα στην ανάπτυξη αποτελεσματικών στρατηγικών για τη διαχείριση ζιζανίων σε συγκεκριμένες τοποθεσίες είναι η απόκτηση ακριβών και αξιόπιστων δεδομένων σχετικά με τη θέση των ειδών και των πληθυσμών των ζιζανίων. Το επόμενο βήμα είναι να βρεθεί λύση στο πρόβλημα διαχείρισης ζιζανίων με συγκεκριμένο χωρικό τρόπο. Έχει αναπτυχθεί εξοπλισμός ψεκασμού που επιτρέπει τη στόχευση διαφορετικών χημικών σκευασμάτων και δοσολογιών σε διαφορετικές περιοχές του αγροτεμαχίου. Πληροφορίες σχετικά με τη μεταβλητότητα των ζιζανίων και εξοπλισμός που ταιριάζει με τη σωστή χημική ουσία αναλόγως των υφιστάμενων ζιζανίων, έχει αποδειχθεί ότι οδηγεί σε καλύτερο έλεγχο ζιζανίων, χαμηλότερο κόστος ζιζανιοκτόνου, και αυξημένη απόδοση (Clay and Johnson, 2003).

## 5. ΕΦΑΡΜΟΓΗΤΕΧΝΙΚΩΝΕΙΔΙΚΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣΓΙΑΠΑΡΟΧΗΣΥΝΟΛΙΚΩΝΥΠΗΡΕΣΙΩΝΑΙΠΑΝΣ ΗΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΛΙΠΑΝΣΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ

Για πολλούς αγρότες, η μετάβαση σε ειδική τοπική διαχείριση και επένδυση στα νέα εργαλεία τεχνολογίας είναι μια τεράστια πρόκληση τόσο για τη διαδικασία μάθησης όσο και για την οικονομική δέσμευση. Σε αυτήν την περίπτωση, ένα σταδιακό σχέδιο εφαρμογής μπορεί να είναι καλύτερο από μια πλήρη μετάβαση. Ξεκινώντας με ένα καλό πρόγραμμα δειγματοληψίας εδάφους και έναν έλεγχο απόδοσης της σοδειάς, ένας αγρότης μπορεί να αρχίσει να αναπτύσσει τις βάσεις δεδομένων και την εμπειρία που απαιτείται για την πλήρη εφαρμογή ενός συστήματος διαχείρισης για την συγκεκριμένητοποθεσία. Χρειάζονται τέσσερα ή πέντε χρόνια δεδομένων απόδοσης για να αρχίσει να εντοπίζεται η πραγματική μεταβλητότητα εντός του αγροτεμαχίου και ορισμένες από τις σχέσεις αιτίας/ αποτελέσματος που εμπλέκονται. Η σταδιακή εφαρμογή μπορεί να κάνει ολόκληρη τη διαδικασία πιο αποδεκτή καθώς αυξάνεται η εμπιστοσύνη στο νέο σύστημα (*Mosaic, 2020*)

### 5.1 Χρήση Ζωνών ειδικής Διαχείρισης για Βελτίωση της Διαχείρισης Αζώτου στην Γεωργία Ακριβείας

Η εισροή αζώτου (N) είναι ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες για τη μεγιστοποίηση των αποδόσεων και των οικονομικών αποδόσεων στους αγρότες. Από τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά, το άζωτο απαιτείται σε μεγάλες ποσότητες και είναι το πιο κινητικό και δυναμικό θρεπτικό συστατικό στα εδάφη. Είναι καλά τεκμηριωμένο ότι οι φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους είναι χωρικά μεταβλητές και επηρεάζουν τη δυναμική του αζώτου και τους μηχανισμούς για τις απώλειές του. Για παράδειγμα, η δυναμική αζώτου μπορεί να ποικίλει από υψηλές απώλειες απονιτροποίησης  $N_2$  από περιοχές με χαμηλή αποστράγγιση έως υψηλή  $NO_3$  λόγω απωλειών έκπλυσης από περιοχές του χωραφιού με χώμα πλούσιο σε χαλίκια. Οι πρόσφατες εξελίξεις στις νέες τεχνολογίες μας επιτρέπουν να εντοπίσουμε, να μετρήσουμε και να χαρτογραφήσουμε αυτές τις αλλαγές σε όλο το αγροτεμάχιο. Αναφέρθηκε ότι η διαχείριση αζώτου που χρησιμοποιεί ζώνες ειδικής διαχείρισης τοπικού χαρακτήρα(*site-specific management zones-SSMZ*) που αντιπροσωπεύουν τη μεταβλητότητα του εδάφους και την παραγωγικότητα παρέχει τις ποσότητες αζώτου που απαιτούνται για την αύξηση των αποδόσεων και τη μεγιστοποίηση της αποτελεσματικότητας της αγρονομικής χρήσης του εφαρμοσμένου αζώτου. Η εφαρμογή αζώτου που βασίζεται σε *SSMZ* ξεπέρασε την απόδοση αγωγές που χρησιμοποίησαν βασισμένες στους στόχους απόδοσης, αλλά και αυτές που είχαν ομοιόμορφα ποσοστά εφαρμογής αζώτου. Οι εφαρμογές με βάση το πλέγμα αζώτου ήταν εξίσου αποτελεσματικές με την *SSMZ* όσον αφορά τις αποδόσεις, αλλά ήταν πιο αναποτελεσματικές όσον αφορά τη μονάδα απόδοσης προς τη μονάδα λιπάσματος αζώτου που εφαρμόστηκε. Οι ζώνες διαχείρισης τοπικού χαρακτήρα μπορεί να χρησιμοποιηθούν για να βελτιώσουν τη διαχείριση και την αποτελεσματικότητα του εφαρμοζόμενου αζώτου, να αυξήσουν τις αποδόσεις και να μειώσουν τις απώλειες αζώτου στο περιβάλλον (*Khosla et al., 2002*).

Εάν ο στόχος είναι να προσδιοριστεί το επίπεδο αζώτου εδάφους (N) ή το δυναμικό απόδοσης εδάφους, οι ζώνες διαχείρισης για τη διαχείριση λιπασμάτων αζώτου μπορούν να κατασκευαστούν χρησιμοποιώντας μια ποικιλία εργαλείων, όπως τοπογραφία, αεροφωτογραφίες, δορυφορικές εικόνες, αισθητήρες ηλεκτρικής αγωγιμότητας εδάφους, χάρτες σοδειάς και εκτεταμένα εδαφικά δεδομένα. Για τον παραγωγό που ξεκινάει, η προβολή δορυφορικών εικόνων ή / και αεροφωτογραφιών που είναι σχετικά φθηνή για τη λήψη και τη σύγκριση τους με χαρακτηριστικά του τοπίου θα ήταν ένα καλό μέρος για να ξεκινήσει. Μπορεί να είναι απαραίτητα περισσότερα από ένα στρώματα πληροφοριών για να προσδιοριστούν οι ομοιότητες μεταξύ των προτύπων και να εντοπιστούν περιοχές διαχείρισης θρεπτικών συστατικών. Συχνά υπάρχουν λογικοί λόγοι για την ύπαρξη μοτίβων αζώτου σε αγροτεμάχια και αυτά τα μοτίβα είναι σταθερά μεταξύ ετών. Οι ζώνες μπορούν να κατασκευαστούν και να διαχειριστούν το άζωτο χρησιμοποιώντας ένα κλάσμα του αριθμού των δειγμάτων εδάφους που απαιτούνται για να αποκαλυφθούν οι ίδιες ζώνες μέσω δειγματοληψίας πλέγματος. Η δειγματοληψία ζώνης οδηγεί σε χαμηλότερο κόστος δειγματοληψίας για την εφαρμογή λιπασμάτων μεταβλητής δόσης και επιτρέπει στην καλλιέργεια ακριβείας να είναι πολύ πιο πρακτική για τους παραγωγούς βασικών καλλιεργειών. Χρησιμοποιώντας αυτές τις αρχές, το επόμενο βήμα θα ήταν να αναπτύξουμε μοντέλα υπολογιστών για να αυτοματοποιήσουμε τη διαδικασία ανάπτυξης ζώνης και να εξαλείψουμε την ανάγκη επισκόπησης αρκετών χαρτών για κάθε αγροτεμάχιο από τον παραγωγό προκειμένου να οριοθετήσουμε τα όρια της ζώνης (*Franzen and Kitchen, 2003*).

## 5.2 Ειδική εφαρμογή του δείκτη δέσμευσης φωσφόρου

Η ερμηνεία του δείκτη φωσφόρου(P) θα εξαρτηθεί από την υπό εξέταση περιοχή και από το βαθμό στον οποίο η τοπική λεκάνη απορροής είναι ευαίσθητη στις απώλειες φωσφόρου. Η ευαισθησία εξαρτάται από τις καθορισμένες ωφέλιμες χρήσεις των υδάτινων σωμάτων στη λεκάνη απορροής. Έτσι, η εφαρμογή του δείκτη φωσφόρου θα είναι συγκεκριμένη για την περιοχή σε μεγάλη κλίμακα. Μέσα στα αγροτεμάχια, τα στοιχεία του δείκτη φωσφόρου, όπως η κλίση, το δυναμικό απορροής και η απόσταση από την κοίτη νερού ποικίλλουν πολύ. Έτσι, θα έχει πλεονέκτημα η χαρτογράφηση τοπικού χαρακτήρα του δείκτη φωσφόρου, σε μια ανάλυση τόσο μικρή όσο μπορεί να διαχειριστεί ο εξοπλισμός του αγροκτήματος. Αυτό θα μπορούσε να είναι χρήσιμο όσον αφορά την αποφυγή κοπριάς ή θρεπτικών εφαρμογών σε ευαίσθητες περιοχές του χωραφιού και την εφαρμογή μεταβλητών δόσεων με βάση την ικανότητα του εδάφους και της καλλιέργειας να απορροφά και να διατηρεί θρεπτικά συστατικά σε άλλες περιοχές του χωραφιού. Ωστόσο, πρέπει να έχουμε κατά νου ότι ο δείκτης φωσφόρου έχει σχεδιαστεί μόνο ως εργαλείο σχετικής εκτίμησης για να ταξινομήσει τις τοποθεσίες σχετικά με τον κίνδυνο απώλειας φωσφόρου στα επιφανειακά ύδατα. Επομένως, παρόλο που η ειδική για την τοποθεσία, προσέγγιση μικρής κλίμακας μπορεί να έχει πλεονεκτήματα, δεν φαίνεται να έχει αξία για όλους τους ιδιοκτήτες γης. Για ορισμένους, μια εφαρμογή του δείκτη φωσφόρου σε επίπεδο αγροτεμαχίου μπορεί να είναι πιο

κατάλληλη. Παρακάτω τοποθετείται μια εικόνα με ορισμένους τύπους δεδομένων για το δείκτη φωσφόρου (Εικ. 17). (Snyder et al., 2003).

Data type	Scale	Resolution	Data description	Source
Meteorological data	Four stations	Daily	Precipitation amount	Ji County Meteorological Bureau; Yuqiao Reservoir Administration Department
Hydrological data	1:25,000		River distribution	Field investigation and local Water Bureau
Topographic data	1:10,000	30 m × 30 m	Digital elevation model	The United States National Aeronautics and Space Administration (NASA) global digital elevation map <sup>a</sup>
Soil data	126 Soil samples		Soil physical and chemical properties (pH, STP, PSI (phosphorus sorption index), DPS, soil texture)	Field sampling and laboratory analysis; Ji County soil survey report (1982); Harmonized World Soil Database (2012) <sup>b</sup>
Land use	1:10,000	2.5 m × 2.5 m	Land-use classification	Interpretation of satellite remote sensing data (Spot 5); Ji County Land Resource Bureau
Vegetation cover		30 m × 30 m	Normalized difference vegetation index (NDVI)	Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) data
Agricultural management data		Village scale (mean area 30.6 ha)	P fertilizer application; livestock breeding	Field investigation; local bureau of agriculture; local statistics yearbook
Environmental protection data		Village scale (mean area 30.6 ha)	Environmental protection situation/livestock manure and domestic sewage treatment situation	Local environmental bureau

<sup>a</sup> <http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>

Εικόνα 17: Τύποι δεδομένων ιστορικού που χρησιμοποιούνται για το δείκτη φωσφόρου (Zhou et al., 2014).

### 5.3 Εφαρμογή τηλεπισκόπησης

Οι τρέχουσες εφαρμογές τηλεπισκόπησης περιλαμβάνουν τη σύγκριση της ανάκλασης μιας επιφάνειας με την ανάκλαση μιας γνωστής επιφάνειας στόχου. Η αποτελεσματικότητα της θεραπείας ή η χωρική μεταβλητότητα μπορούν να αξιολογηθούν συγκρίνοντας την ανακλαστικότητα με αυτήν από μια αναφορά επιλογής (π.χ., καλά γονιμοποιημένη περιοχή). Η ανάκλαση στις πράσινες και τις κόκκινες ζώνες συνήθως συνδέεται με τη χλωροφύλλη, ενώ η ανάκλαση κοντά στο υπέρυθρο συνδέεται έντονα με τη δομή των κυττάρων και του φυτικού θόλου. Μια άλλη κοινή εφαρμογή είναι η χρήση φυτικών δεικτών που βασίζονται σε συνδυασμούς συχνότητας. Οι πιο συνηθισμένοι από αυτούς τους δείκτες είναι εκείνοι που συγκρίνουν ένα τμήμα του ορατού φάσματος (κόκκινες ή πράσινες ζώνες κύματος) με το εγγύς υπέρυθρο. Αυτός ο συνδυασμός μηκών κύματος είναι εξαιρετικά ευαίσθητος στις αλλαγές στη φυτική κάλυψη και την κατάστασή της. Άλλες τρέχουσες εφαρμογές περιλαμβάνουν τον προσδιορισμό των ζωνών διαχείρισης με βάση το χρώμα του εδάφους.

Αυτές οι ζώνες μπορούν να οριοθετηθούν με τη βοήθεια υπολογιστή με τεχνικές ταξινόμησης τόσο των φωτογραφικών όσο και των μη φωτογραφικών δεδομένων. Η εφαρμογή τηλεπισκόπησης μπορεί να παρέχει σε έναν σύμβουλο ή έναν καλλιεργητή ένα εργαλείο ανίχνευσης για τη διαχείριση των θρεπτικών ουσιών πριν τη φύτευση και μετά την βλάστηση, καθώς και τη διαχείριση παρασίτων μέσω του εντοπισμού πιθανών προσβολών ζιζανίων, εντόμων και ασθενειών (*Schlemmer et al., 2003*).

Η τηλεπισκόπηση δεν θεωρήθηκε οικονομικά αποδοτική για τις καλλιέργειες στην περιφέρεια των ΗΠΑ Midwest όπου ο καιρός είναι η μεγαλύτερη μεταβλητή και επομένως δεν είναι διαχειρίσιμος. Οι πρόσφατες εξελίξεις στη χωρική, φασματική και χρονική ανάλυση της τηλεπισκόπησης (*Johannsen et al., 1998*), καθώς και πιθανές θετικές αλλαγές στο κόστος και τη διαθεσιμότητα των δεδομένων που ανιχνεύονται από απόσταση μπορεί να το κάνουν ένα κερδοφόρο εργαλείο για περισσότερους αγρότες. Υπάρχουν μερικές πρακτικές εφαρμογές τηλεπισκόπησης που συχνά παραβλέπονται από πολλούς αγρότες και συμβούλους (*Johannsen et al., 2003*).

Οι πιθανές εφαρμογές τηλεπισκόπησης είναι:

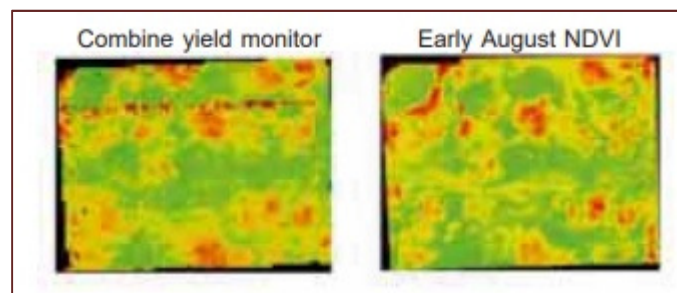
#### 1) Ιδιότητες εδάφους ή απογραφή εδάφους

Οι μετρήσεις του εδάφους, οι επισκοπήσεις και η χαρτογράφηση είναι τρεις τύποι εφαρμογών που χρησιμοποιούν πληροφορίες τηλεπισκόπησης. Περιλαμβάνουν τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις: τις επιπτώσεις των ιδιοτήτων του εδάφους στην ανάκλαση ή την απόκριση της εικόνας, την επίδραση των συνθηκών της επιφάνειας του εδάφους στην απόκριση και τη χρήση εικόνων στη χαρτογράφηση των εδαφών. Δορυφορικές εικόνες όπως τα δεδομένα Landsat Thematic Mapper (TM) μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε έρευνες εδάφους για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Οι αποκρίσεις φασματικής εικόνας του εδάφους σχετίζονται με το περιεχόμενο οργανικής ύλης του εδάφους στο ότι τα σκοτεινά εδάφη (υψηλότερη οργανική ύλη) έρχονται σε αντίθεση με τα ελαφρύτερα εδάφη (χαμηλότερη οργανική ύλη). Η φασματική απόκριση της βλάστησης μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να συναγάγει διάφορες συνθήκες εδάφους. Οι Yang και Anderson (1996) χρησιμοποίησαν αυτές τις ανακλάσεις της βλάστησης για να καθορίσουν τις ζώνες διαχείρισης εντός των αγροτεμαχίων. Οι ζώνες διαχείρισης είναι ένα βοήθημα για τη δειγματοληψία εδάφους καθώς καθορίζουν τα λογικά όρια για τη λήψη δειγμάτων. Εικόνες που λαμβάνονται από απόσταση χρησιμοποιούνται επίσης σε «κατευθυνόμενη δειγματοληψία εδάφους» όπου μπορεί κανείς να χαρτογραφήσει «ζώνες διαχείρισης εδάφους» που θα λαμβάνονται ως ξεχωριστές μονάδες. Οι ζώνες διαχείρισης θα γίνουν η βάση για την προσαρμογή της εφαρμογής θρεπτικών συστατικών χρησιμοποιώντας τεχνολογίες μεταβλητώνδόσεων (*Johannsen et al., 2003*)

#### 2) Απογραφή καλλιέργειας και πρόβλεψη σοδειάς

Για τις καλλιέργειες δημητριακών, οι εικόνες κοντά στην εποχή της ανθοφορίας είναι ιδανικές για πρόβλεψη της απόδοσης. Με την επίτευξη αυτού του αναπαραγωγικού σταδίου, οι περισσότερες καλλιέργειες σιτηρών έχουν ολοκληρώσει τη βλαστική τους ανάπτυξη. Ως

εκ τούτου, η απόδοση που επηρεάζει τις εξελίξεις που συμβαίνουν μετά την ανθοφορία μπορεί να μην είναι ορατή στο φυτικό θόλο. Για άλλα φυτά όπως η σόγια, ακριβέστερες προβλέψεις της σοδειάς μπορεί να γίνουν αργότερα κατά την καλλιεργητική περίοδο λόγω της συνεχούς βλαστικής ανάπτυξης των φυτών που επηρεάζουν την απόδοση. Οι τρέχουσες μέθοδοι πρόβλεψης απόδοσης βασίζονται συχνά σε δείκτες βλάστησης όπως ο δείκτης βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς (NDVI). Αυτοί οι δείκτες συνδυάζουν πληροφορίες εικόνας από σχεδόν υπέρυθρες και ορατές κόκκινες ζώνες σε αναλογίες διαφόρων μορφών. Στην κλίμακα του αγροκτήματος και του χωραφιού, χρησιμοποιήθηκαν απομακρυσμένες ανιχνευμένες εικόνες για να δώσουν σχετικές εκτιμήσεις της διακύμανσης της απόδοσης εντός ενός αγρού πριν από τη συγκομιδή. Αυτά συγκρίνονται καλά με τους πραγματικούς χάρτες απόδοσης (Εικ. 18) (Johannsen et al., 2003).



Εικόνα 18: Σύγκριση χάρτη παρακολούθησης απόδοσης και δεδομένων από απόσταση (Johannsen et al., 2003).

### 3) Ανίχνευση θρεπτικών ουσιών

Η χρήση πληροφοριών τηλεπισκόπησης για την ανίχνευση θρεπτικών ουσιών στο αγροτεμάχιο απαιτεί πλήρη γνώση του τι επηρεάζει τη μεταβλητότητα των θρεπτικών συστατικών στο φυτό και στα εδάφη. Τα χαρακτηριστικά του εδάφους, όπως το χρώμα, σχετίζονται με το περιεχόμενο οργανικής ύλης από το οποίο μπορεί κανείς να προβλέψει την απελευθέρωση αζώτου (N) στο φυτό. Άλλες ιδιότητες εδάφους όπως το pH, η υφή και τα θρεπτικά συστατικά όπως ο φωσφόρος (P) και το κάλιο (K) είναι δύσκολο να εντοπιστούν. Το πράσινο χρώμα των φύλλων σχετίζεται με την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη, η οποία σχετίζεται άμεσα με τη συγκέντρωση αζώτου στο φυτό. Ο αποχρωματισμός όπως η χλώρωση στα περιθώρια των φύλλων συσχετίζεται με την ανεπάρκεια καλίου ενώ τα μωβ φύλλα συσχετίζονται με την ανεπάρκεια φωσφόρου. Το μεγαλύτερο μέρος των θρεπτικών εργασιών στην τηλεπισκόπηση έχει επικεντρωθεί στο άζωτο. Υπήρξαν κάποια ενθαρρυντικά αποτελέσματα. Για παράδειγμα, οι μετρήσεις του χρώματος των φύλλων που έγιναν σε επίπεδο εδάφους έχουν συσχετιστεί καλά με την κατάσταση αζώτου του φυτού καλαμποκιού (Blackmer et al., 1996; Johannsen et al., 2003).

### 4) Μεταβολή βλάστησης

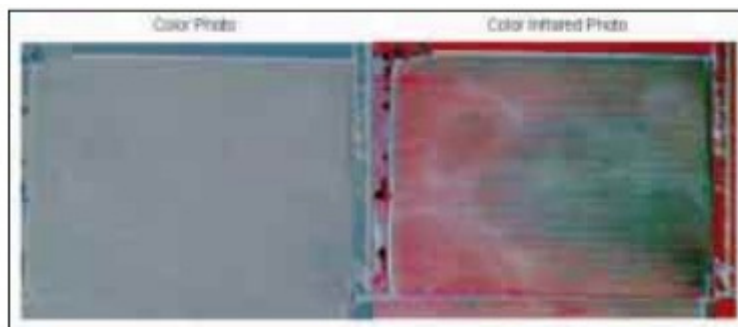
Εικόνες από τις πράσινες και σχεδόν υπέρυθρες ζώνες υπογραμμίζουν την ποσότητα της βλάστησης και δίνουν ένδειξη της ευρωστίας των φυτών. Ορισμένες εταιρείες παρείχαν



χάρτες «ευρωστίας» στους αγρότες για να τους βοηθήσουν να δουν πού συμβαίνει η φυτική ανάπτυξη και να προσδιορίσουν τις περιοχές εντός του αγροτεμαχίου που η βλάστηση δεν προχωρά όπως θα έπρεπε. Η ανίχνευση αλλαγών μπορεί να επιτευχθεί με επικάλυψη εικόνων από δύο ημερομηνίες πτήσης και εμφάνιση της μεταβολής της βλάστησης που συμβαίνει μεταξύ των δύο ημερομηνιών (Johannsen et al., 2003).

#### 5) Ανίχνευση ζημιών στην καλλιέργεια

Πληροφορίες σχετικά με το μέγεθος της ζημιάς είναι χρήσιμες για τη διαχείριση των καλλιεργειών και την ακρίβεια των ασφαλιστικών πληρωμών. Για το καλαμπόκι και τη σόγια, οι μεγαλύτερες επιπτώσεις από το χαλάζι ή τον άνεμο σχετίζονται συνήθως με την απώλεια φύλλων, την απώλεια στάσης ή το πλάγιασμα. Σε κάθε περίπτωση, η ποσότητα ή ο προσανατολισμός των φύλλων και των μίσχων αλλάζει και μπορεί να μετρηθεί με τηλεπισκόπηση. Η άμεση ζημιά στα στάχυα, τους λοβούς ή τους σπόρους είναι ένα άλλο συστατικό που είναι δύσκολο να εντοπιστεί και να μετρηθεί άμεσα. Οι εικόνες από μη κατεστραμμένες παρακείμενες περιοχές ή πριν από την καταιγίδα θα βοηθούσαν στην ακρίβεια της αξιολόγησης. Αυτές οι εικόνες είναι συνήθως υπέρυθρες ή έγχρωμες. Η χρήση έγχρωμου υπέρυθρου φιλμ βοηθά στην ανίχνευση περιοχών βλάβης. Το υπέρυθρο χρώμα δίνει μια καλή ένδειξη της ποσότητας ή του όγκου της βλάστησης ή της βιομάζας που υπάρχει. Ως εκ τούτου, οι χαμηλότερες τιμές της ερυθράς ανάκλασης αποκαλύπτουν βλάβη ή απώλεια βλάστησης (Εικ. 19) (Johannsen et al., 2003).



Εικόνα 19: Έγχρωμες και έγχρωμες υπέρυθρες φωτογραφίες του ίδιου χωραφιού σόγιας. Η δεξιά πλευρά του χωραφιού έχει υποστεί ζημιά από χαλάζι (Johannsen et al., 2003).

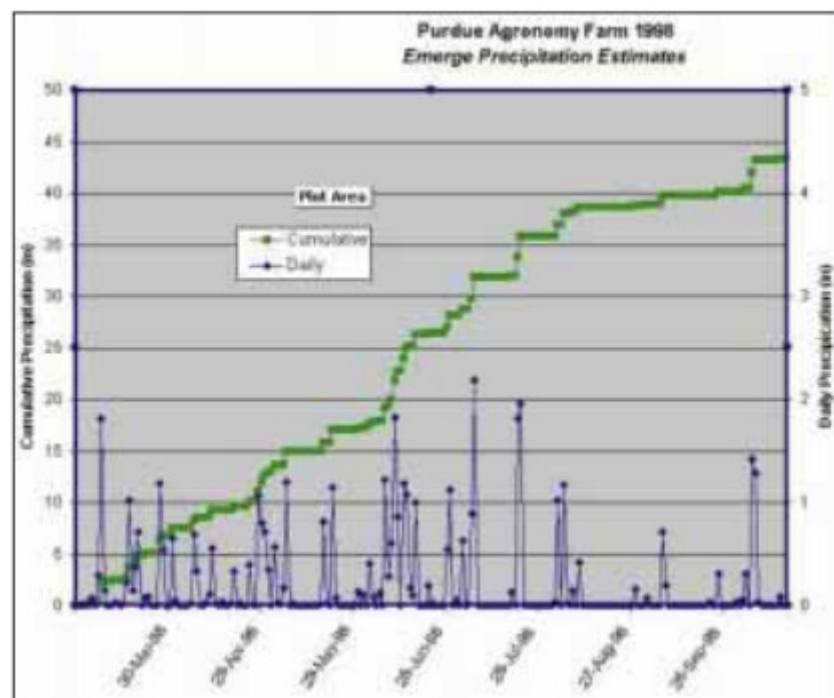
#### 6) Αξιολόγηση καταλοίπων καλλιεργειών

Η Υπηρεσία Γεωργίας (FSA) των ΗΠΑ έχει καθορίσει συγκεκριμένες τιμές για τα πρότυπα διαβρωσιμότητας του εδάφους ανά συγκεκριμένες περιοχές και απαιτεί να διατηρούνται ελάχιστα επίπεδα υπολειμμάτων καλλιέργειας στην επιφάνεια του εδάφους για μείωση της διάβρωσης του ανέμου και του νερού. Η τηλεπισκόπηση έχει αποδειχθεί μια καλή μέθοδος για τη διαχείριση της εποπτείας αυτών των προτύπων καταλοίπων. Η έρευνα έχει δείξει ότι μπορούν να διακριθούν διαφορετικοί τύποι καταλοίπων καλλιεργειών χρησιμοποιώντας εικόνες Landsat TM. Η παρακολούθηση των πρακτικών συντήρησης με όργωση έχει

επιτευχθεί με τη χρήση απομακρυσμένων αισθητήρων δεδομένων με αποδεκτή ακρίβεια (Johannsen et al., 2003).

## 7) Μετεωρολογικά Δεδομένα

Στις ΗΠΑ η Εθνική Διεύθυνση Ωκεανού και Ατμόσφαιρας (NOAA) παρακολουθεί τον καιρό με τη χρήση ειδικών δορυφόρων και έχει γίνει πολύ ακριβής στην βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη καιρού. Μέσω αυτών των προβλέψεων, οι αγρότες διαχειρίζονται πολλές από τις δραστηριότητές τους αποτελεσματικότερα, όπως η παραγωγή σανού. Εκτός από τη βοήθεια στην πρόβλεψη καιρού, τα δεδομένα από δορυφόρους αλλά και επίγεια ραντάρ μπορούν να εκτιμήσουν τις καιρικές μεταβλητές, όπως η βροχόπτωση για ορισμένα σημεία (Petty et al., 1996; Johannsen et al., 2003), και να γίνουν εικονικοί μετεωρολογικοί σταθμοί για έναν αγρότη. Ένα παράδειγμα του τρόπου με τον οποίο ένας αγρότης μπορεί να έχει πρόσβαση σε τέτοια δεδομένα είναι μια υπηρεσία που προσφέρει η εταιρεία EMERGE. Η υπηρεσία συγκεντρώνει πληροφορίες που έχουν ταξινομηθεί ανά γεωγραφική θέση, έτσι ώστε ο γεωργός να μπορεί να λαμβάνει δεδομένα καιρού όπως βροχόπτωση, ημέρες βαθμού ανάπτυξης, ελάχιστες και μέγιστες θερμοκρασίες κ.λπ. για κάθε αγροτεμάχιο ή περιοχή (Εικ. 20), (Johannsen et al., 2003 ).



Εικόνα20:Εκτιμήσειςβροχόπτωσης από την EMERGECo(Johannsenetal., 2003).

## 8) Στρες καλλιέργειας

Το στρες σε μια καλλιέργεια περιλαμβάνει οτιδήποτε συμβαίνει στο αγροτεμάχιο διαφορετικό από αυτό που είχε προγραμματιστεί. Μερικές από τις κοινές καταπονήσεις μιας

καλλιέργειας που μπορούν να μετρηθούν είναι η ξηρασία, αποικίες ζιζανίων, η διάβρωση του εδάφους, η έλλειψη θρεπτικών ουσιών και παρόμοιες συνθήκες. Όταν προσπαθούμε να εντοπίσουμε αυτούς τους τύπους στρες χρησιμοποιώντας τηλεπισκόπηση, μπορεί κανείς να χρησιμοποιήσει μερικές από τις μεθόδους που υποστηρίζονται από τον υπολογιστή ή απλά να χρησιμοποιήσει οπτικές μεθόδους για να κάνει την διάκριση. Η αναλογία του κόκκινου προς το μπλε στο σχεδόν υπέρυθρο φάσμα IR μπορεί να υποδηλώνει το άγχος των φυτών πριν γίνει εμφανές στο έδαφος. Ένας δείκτης βλάστησης (φωτεινότητα ή πράσινο) είναι μια μείωση πολλών φασματικών ζωνών σε έναν αριθμό «δείκτη». Οι εκπομπές στη θερμική ζώνη IR μπορούν επίσης να υποδηλώνουν τις συνθήκες υγείας των φυτών. Άλλες μέθοδοι ανίχνευσης μπορεί να περιλαμβάνουν ανίχνευση αλλαγών (αφαίρεση μίας εικόνας από μια προηγούμενη εικόνα για να δούμε πού άλλαξε η βλάστηση) και εποπτεία ή μη εποπτευόμενη ταξινόμηση βλάστησης (οι αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται για την επιλογή ορισμένων χρωματισμένων εικονοστοιχείων και την εκχώρηση σε μια ομάδα). Ο εντοπισμός της πίεσης των καλλιεργειών λόγω βλάβης από τον παγετό με τη βοήθεια εικόνων Landsat TM, δείχνει υποσχόμενος μετά την ανάπτυξη ενός τροποποιημένου NDVI (Jurgens, 1997; Johannsen et al., 2003). Έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι για τη χρήση εικόνων υπέρυθρων χρωμάτων για την ταξινόμηση των ζιζανίων σε αγρούς αραβοσίτου (Brown and Steckler, 1995; Johannsen et al., 2003) και έχουν καθιερωθεί για τον εντοπισμό της πίεσης του νερού σε φυτά με τη διαφορά των θερμοκρασιών επιφανείας και τη μέτρηση των θερμοκρασιών αέρα εδάφους (Jackson et al., 1981; Johannsen et al., 2003) (Εικ. 21).



Εικόνα 21: Παραδείγματα φυτικού στρες σε καλλιέργεια (Johannsen et al., 2003).

#### 9) Χρήση γης / Κάλυψη γης:

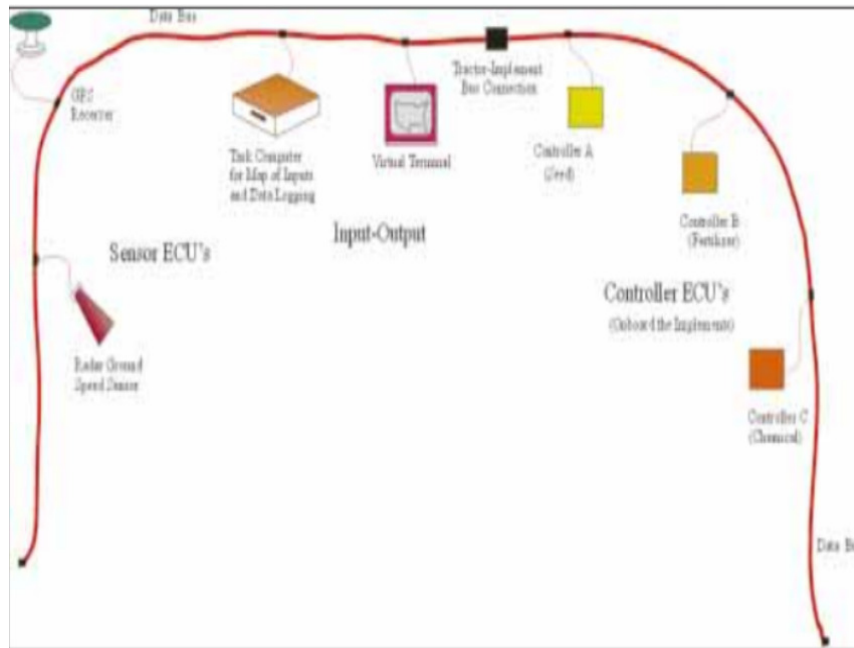
Σύντομα συνειδητοποιούμε ότι οι απομακρυσμένοι αισθητήρες δεν χαρτογραφούν τη χρήση γης, αλλά χαρτογραφούν την κάλυψη γης και συμπεραίνουν ή ερμηνεύουν τη χρήση γης. Αυτό σημαίνει ότι η κάλυψη γης αλλάζει κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Επομένως, η χρήση γης θα χαρτογραφηθεί με διαφορετικές ακρίβειες σε διαφορετικές ημερομηνίες. Για σκοπούς χρήσης δεδομένων τηλεπισκόπησης σε ένα μεμονωμένο αγρόκτημα, δεν χρειάζεται να ξοδεύουμε χρόνο προσπαθώντας να επιτύχουμε υψηλή

ακρίβεια αναγνώρισης της μιας καλλιέργειας από την άλλη, καθώς ο αγρότης γνωρίζει τι φυτεύτηκε μέσα στο χωράφι. Αυτό που είναι σημαντικό είναι η ικανότητα προσδιορισμού της διακύμανσης στην φυτική κάλυψη και κατανόησης του λόγου αυτής της παραλλαγής (Johannsen et al., 2003).

#### 5.4 Εφαρμογή του προτύπου J1939

Το πρότυπο SAE (Εταιρεία Μηχανικών Αυτοκινήτων- Society of Automotive Engineers) J1939 είναι ένα δίκτυο επικοινωνιών επτά επιπέδων που είναι παρόμοιο με τα δίκτυα που συνδέουν υπολογιστές σε επιχειρήσεις και στο Διαδίκτυο. Το δίκτυο είναι ένα σύστημα διομήτιμης επικοινωνίας (peer to peer). Είναι σαν ένα παλιό τηλέφωνο γραμμής πάρτι. Οποιοσδήποτε στη γραμμή μπορεί να ακούσει οτιδήποτε μεταδίδεται. Φαινομενικά, θα ενεργούσατε ή θα απαντούσατε μόνο αν κάποιος σας απευθύνεται, αλλά μπορείτε να παρακολουθείτε μηνύματα ή συνομιλίες μεταξύ πολλών διαφορετικών τοποθεσιών. Το J1939 χρησιμοποιεί ένα δίαυλο CAN ή «Network Area Controller». Κάθε συσκευή ή «κόμβος» στο δίκτυο διαθέτει ECU ή ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου, η οποία μπορεί να παρακολουθεί το δίκτυο για μηνύματα που έχουν ζητηθεί και να εκτελεί λειτουργίες ελέγχου. Όλα τα μηνύματα ταξιδεύουν σε όλα τα μέρη μιας καλωδίωσης. Τα μηνύματα έχουν ένα μοναδικό αναγνωριστικό στην αρχή, έτσι ώστε ο ελεγκτής σε κάθε κόμβο να μπορεί να πει εάν αυτό είναι ένα από τα μηνύματα που χρησιμοποιεί. Αποδέχεται αυτά για τα οποία έχει προγραμματιστεί και αγνοεί όλους τους άλλους. Ας δούμε ένα πιθανό παράδειγμα και πώς διαφέρει από τη σημερινή προσέγγιση. Σε ένα συμβατό με το J1939 σύστημα, ο δέκτης GPS θα συνδεόταν ως «κόμβος» στο δίκτυο και θα έστελνε το μήνυμα συντεταγμένης (γεωγραφική θέση) έξω ίσως μία φορά το δευτερόλεπτο (Εικ. 22). Ο υπολογιστής εργασίας που έχει το χάρτη των προγραμματισμένων ποσοστών χημικής εφαρμογής θα αναγνώριζε αυτό το μήνυμα γεωγραφικού μήκους-πλάτους στο δίκτυο και θα το αποδεχόταν. Συγκρίνοντας αυτές τις συντεταγμένες με τις μονάδες διαχείρισης του χάρτη, το πρόγραμμα μπορεί στη συνέχεια να καθορίσει την κατάλληλη χημική δόση για την τρέχουσα τοποθεσία. Στη συνέχεια, ο υπολογιστής εργασίας στέλνει την κατάλληλη δόση ως μήνυμα «χημικής δόσης» στο δίκτυο. Ο ελεγκτής χημικών εφαρμογών στον ψεκαστήρα αναγνωρίζει και διαβάζει το μήνυμα δόσης καθώς εμφανίζεται. Ο χημικός ελεγκτής πρέπει επίσης να γνωρίζει την ταχύτητα εδάφους και ποια τμήματα του γερανού του τρακτέρ είναι ενεργοποιημένα, για να προσδιορίσει τη ροή της δόσης. Αυτά τα δεδομένα είναι διαθέσιμα επειδή η ταχύτητα του τρακτέρ είναι ένα μήνυμα που αποστέλλεται τακτικά στο δίκτυο, όπως και η κατάσταση του γερανού. Ο χημικός ελεγκτής διαβάζει όλα αυτά τα μηνύματα και υπολογίζει τον κατάλληλο ρυθμό ροής για να επιτύχει την εφαρμογή της επιθυμητής δόσης. Ο τρέχων πραγματικός ρυθμός, όπως μετρείται στο ροόμετρο, αποστέλλεται από τον χημικό ελεγκτή στο δίκτυο. Ο υπολογιστής εργασίας αναγνωρίζει αυτό το μήνυμα και το καταγράφει με τις τρέχουσες συντεταγμένες στο χάρτη του εφαρμοσμένου υλικού για τις εγγραφές. Ο ίδιος τύπος αλληλουχίας θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει τον ρυθμό σποράς ή τον έλεγχο του ρυθμού λίπανσης. Δεδομένου ότι το πρότυπο δικτύου μπορεί να φιλοξενήσει έως και 700 μηνύματα ανά δευτερόλεπτο, υπάρχει χώρος για να γίνουν

πολλά πράγματα. Όλη αυτή η επικοινωνία μεταξύ συσκευών πραγματοποιείται μέσω ενός μόνο καλωδίου που αποτελείται από τέσσερα σκέλη καλωδίων. Ακόμα και τα συνήθη πράγματα όπως η ενεργοποίηση των φώτων που αναβοσβήνουν στο πίσω μέρος του σπαρτικού μηχανήματος μπορεί να γίνουν χρησιμοποιώντας αυτό το σύστημα, εξαλείφοντας έτσι την ανάγκη λειτουργίας ξεχωριστού σετ καλωδίων από την καμπίνα προς αυτά τα φώτα. Τα φώτα είναι απλά ένας άλλος κόμβος στο «bus» του εργαλείου. Η φυσική υπόσταση του προτύπου περιλαμβάνει τους τύπους καλωδίων και τους συνδέσμους που θα χρησιμοποιηθούν και τα χαρακτηριστικά των ηλεκτρικών παλμών ή σημάτων που επικοινωνούν τα μηνύματα. Ο τύπος ηλεκτρικού σήματος που χρησιμοποιείται στο νέο πρότυπο είναι πιο ανθεκτικός σε παρεμβολές και πιθανά σφάλματα από το παλαιότερο RS 232. Αυτό το σήμα μπορεί επίσης να μεταδοθεί μέσω μακρύτερου καλωδίου με λιγότερα προβλήματα, επιτρέποντάς του να φτάσει στα απομακρυσμένα μέρη μεγάλων εργαλείων. Η τυποποίηση των συνδέσμων σημαίνει ότι μπορεί να συνδεθεί μονός σύνδεσμος διαύλου οποιασδήποτε μάρκας τρακτέρ που συμμορφώνεται με το πρότυπο με το σπαρτικό μηχανήμα και θα υπάρχει πρόσβαση σε όλα τα ελεγχόμενα χαρακτηριστικά αυτού του σπαρτικού μηχανήματος από την δόση του λιπάσματος μέχρι τις συσκευές παρακολούθησης σπόρων και τα φώτα λειτουργίας, όλα από την καμπίνα του ελκυστήρα. Ένα άλλο από τα επίπεδα του προτύπου ονομάζεται «επίπεδο σύνδεσης δεδομένων». Το επίπεδο συνδέσμου δεδομένων καθορίζει τον τρόπο μορφοποίησης των μηνυμάτων από συσκευές που τα στέλνουν και τον τρόπο ελέγχου και χειρισμού σφαλμάτων. Όλα τα μηνύματα έχουν ενσωματωμένο επίπεδο προτεραιότητας και η προτεραιότητα διασφαλίζει την παράδοση των μηνυμάτων υψηλότερης προτεραιότητας. Σε περίπτωση σύγκρουσης μεταξύ των μηνυμάτων, το μήνυμα χαμηλότερης προτεραιότητας αποστέλλεται ξανά ενώ το μήνυμα υψηλότερης προτεραιότητας παραδίδεται αμέσως. Έχουν ήδη καθοριστεί αρκετά τυπικά μηνύματα, αλλά και τα αποκλειστικά μηνύματα. Τα τυπικά μηνύματα μπορεί να περιλαμβάνουν πράγματα όπως το τρέχον ποσοστό σποράς, ενώ τα αποκλειστικά μηνύματα μιας εταιρείας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διαχείριση μοναδικών χαρακτηριστικών του εργαλείου φύτευσης. Ένα από τα πιο απαιτητικά επίπεδα του προτύπου που πρέπει να προσδιοριστεί είναι κάτι που ονομάζεται εικονικό τερματικό. Το εικονικό τερματικό ή το VT είναι μια συσκευή προβολής και εισόδου που πρέπει να εξαλείψει τη στοίβα με κονσόλες στη γωνία της καμπίνας. Αυτή η οθόνη θα είναι διαθέσιμη για παροχή πληροφοριών στον χειριστή από οποιονδήποτε από τους κόμβους και τις συσκευές που μοιράζονται το δίκτυο. Θα χειριστεί γραφικά όπως χάρτες, καθώς και κείμενο και θα πρέπει να είναι σε θέση να εμφανίζει τα πάντα, από το ρυθμό σποράς έως την κατάσταση του γερανίσκου έως το μέγεθος δεματιού (Humburg, 2003).



Εικόνα 22: Ηαπλοποιημένηκαλωδίωση ενόςCANκαι το πρωτόκολλο δικτύουJ1939. (Humburg, 2003).

### 5.5 Χρήση άρδευσης SSNM και επιτρεπόμενου ελλείμματος νερού (AWD) σε συνδυασμό, με σκοπό την αύξηση της απόδοσης δημητριακών, και της αποτελεσματικής χρήσης αζώτου και νερού

Στην τοπικού χαρακτήρα διαχείριση αζώτου, το συνολικό ποσό της εφαρμογής αζώτου βασίστηκε σε εφικτή ή στοχευμένη σοδειάδημητριακών, σοδειά χωρίς λίπασμα αζώτουκαι αποτελεσματικότητα χρήσης αγρονομικού αζώτου και οι ρυθμοί αζώτουπου εφαρμόστηκαν κατά την περίοδο καλλιέργειας ρυζιού προσαρμόστηκαν σύμφωνα με την κατάσταση αζώτουστα φύλλα που μετρήθηκε με έναν μετρητή χλωροφύλλης (SPAD) ή ένα διάγραμμα χρώματος φύλλων (LCC) (Peng et al., 1996, 2006, 2010; Yang et al., 2008). Οι επιδείξεις στο αγρόκτημα κατά την περίοδο 2003-2007 έδειξαν ότι το SSNM θα μπορούσε να μειώσει το λίπασμα αζώτουκατά 32% και να αυξήσει την απόδοση των κόκκων κατά 5%, και ως εκ τούτου, θα μπορούσε να αυξήσει σημαντικά την αποδοτικότητα χρήσης αζώτου (NUE) (Peng et al., 2010). Στο επιτρεπόμενο έλλειμμα νερού (AlternateWettingDrying-AWD), η άρδευση εφαρμόζεται λίγες μέρες μετά την εξαφάνιση του νερού από την επιφάνεια έτσι ώστε οι περίοδοι βύθισης του εδάφους να εναλλάσσονται με περιόδους μη βύθισης καθ 'όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (Belder et al., 2004; Tuong et al., 2005; Yao et al., 2012). Ένα πείραμα παρουσιάστηκε σε έναν πλήρη τυχαιοποιημένο σχεδιασμό μπλοκ με τρεις επαναλήψεις. Οι διαστάσεις του πεδίου ήταν 6 m × 5 m και τα πεδία διαχωρίστηκαν με μία λωρίδα πλάτους 1 m με πλαστική μεμβράνη που εισήχθη στο έδαφος σε βάθος 0,50 m για να σχηματίσει ένα φράγμα. Η απόδοση δημητριακών, θα μπορούσε να αυξηθεί περαιτέρω με την υιοθέτηση τόσο SSNM όσο και AWD, αν και οι δύο τεχνολογίες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν. Η υιοθέτηση τόσο του SSNM όσο και του AWD αύξησε

την απόδοση των δημητριακών κατά 12,4–14,5%, παραγωγικότητα αζώτου μερικού παράγοντα (PFPN) κατά 26,5–30,7% και την απόδοση νερού κατά 22,8–26,7% σε σύγκριση με την αύξηση της απόδοσης των κόκκων κατά 5,7–6,4%, του PFPN κατά 6,12–21,1% και της απόδοσης νερού κατά 5,7–18,6% όταν το SSNM ή το AWD υιοθετήθηκαν μόνα τους. Υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ SSNM και AWD στον σχηματισμό απόδοσης, και μια τέτοια αλληλεπίδραση θα μπορούσε να αυξήσει όχι μόνο την απόδοση των δημητριακών, αλλά και την αποδοτικότητα της χρήσης πόρων. Είτε το SSNM είτε το AWD αύξησαν σημαντικά το ποσοστό παραγωγικότητας των σκαπτικών μηχανημάτων και μια τέτοια αύξηση ήταν πιο εμφανής όταν τα SSNM και AWD υιοθετήθηκαν μαζί. Αυτό υποδηλώνει μείωση της περιττής βλαστικής ανάπτυξης κάτω από τα SSNM, AWD, ειδικά υπό το συνδυασμό SSNM και AWD, τα οποία θα μπορούσαν να μειώσουν τη θρεπτική ουσία και το νερό που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή μη παραγωγικών πηκτωμάτων και τη διαπνοή από την περιττή περιοχή των φύλλων, οδηγώντας σε αυξήσεις στην απόδοση αζώτου και νερού (Yang και Zhang, 2010a). Τόσο η βιομάζα της ρίζας όσο και η δραστηριότητα οξειδωσης της ρίζας (root oxidation activity- ROA) θεωρούνται ως δύο πιο σημαντικά χαρακτηριστικά στη ρίζα της μορφολογίας και της φυσιολογίας, επειδή συνδέονται στενά με την ικανότητα απορρόφησης των θρεπτικών συστατικών και του νερού της ρίζας και την υπεράνω βιομάζα (Ramasmay et al., 1997; Yang et al., 2012). Το ξηρό βάρος της ρίζας κατά την ώρα της συγκομιδής ήταν ιδιαίτερα μεγάλο υπό τη μέθοδο άρδευσης AWD και ο φωτοσυνθετικός ρυθμός φύλλων και συσσώρευση ξηρού υλικού κατά τη διάρκεια της περιόδου πλήρωσης των κόκκων ήταν σημαντικά υψηλότερο σε SSNM ή AWD, ειδικά υπό την υιοθέτηση τόσο AWD όσο και SSNM. Η ρίζα της βιομάζας συσχετίστηκε σημαντικά με τη βιομάζα βλαστών και η δραστηριότητα οξειδωσης της ρίζας συσχετίστηκε σημαντικά με το φωτοσυνθετικό ρυθμό των φύλλων κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης (Lijun Liu et al., 2013).

## **5.6 Χρήση τεχνολογίας ανίχνευσης εδάφους για βελτίωση της εφαρμογής του νερού άρδευσης**

Απαιτείται ένας δυναμικός προγραμματισμός άρδευσης για να βοηθηθούν οι αγρότες να ανταποκριθούν στις ειδικές τοπικές ανάγκες των φυτών για νερό και να μειώσουν τις αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις της άρδευσης. Χρησιμοποιήθηκαν τεχνικές βασισμένες σε ισορροπία εδάφους-νερού (SWB -SoilWaterBalance) και τεχνικές βασισμένες σε αισθητήρες για τον προγραμματισμό των αρδεύσεων σε καλλιέργειες μπιζελιών και φασολιών σε δύο οριοθετημένες ζώνες διαχείρισης άρδευσης με αντίθεση υφής του εδάφους, με σύστημα απομακρυσμένης ερμηνείας βίντεο (VRI). Επιπλέον, αξιολογήθηκε μια πιθανή βελτίωση της προσέγγισης προγραμματισμού FAO56 με τη χρήση δεικτών Kcb (συντελεστής καλλιέργειας) που προήλθε από αναγνώσεις αισθητήρων του NDVI (δείκτης βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς). Η καθημερινή έλλειψη νερού στο έδαφος (soilwaterdeficit –SWD) παρακολούθηθηκε χρησιμοποιώντας δύο αντίθετες τεχνικές - μοντελοποίηση βασισμένη σε SWB και αισθητήρες - και η άρδευση ενεργοποιήθηκε όταν επιτεύχθηκε μία καθορισμένη ξήρανση του εδάφους. Το μοντέλο που βασίζεται σε ισορροπία

εδάφους-νερού βασίστηκε σε δεδομένα του εδάφους για το σύνολο διαθέσιμου νερού (TAW) και κλιματικά δεδομένα. Η μέθοδος που βασίζεται στον αισθητήρα, η οποία χρησιμοποίησε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων υγρασίας εδάφους, παρείχε μετρήσεις των πραγματικών συνθηκών του εδάφους στο νερό. Οι δύο μέθοδοι προγραμματισμού έδειξαν μια διακύμανση στο χρονοδιάγραμμα και την ποσότητα της άρδευσης που εφαρμόζεται στην καλλιέργεια μπιζελιού: η μέθοδος με βάση την ισορροπία εδάφους-νερού είχε ως αποτέλεσμα την εφαρμογή περισσότερου νερού. Η τεχνική που βασίζεται στον αισθητήρα εξοικονόμησε περίπου το 27-45% του νερού άρδευσης και παρήγαγε τις ίδιες αποδόσεις μπιζελιού με το μοντέλο με βάση την ισορροπία εδάφους-νερού. Αυτή η διαφορά μπορεί να αποδοθεί σε ορισμένους από τους εγγενείς περιορισμούς ενός απλού συστήματος ισορροπίας εδάφους-νερού. Κατά την περίοδο μετά από ένα συμβάν βροχής που βρέχει τα εδάφη πάνω από την χωρητικότητα του πεδίου, τα μοντέλα ισορροπίας εδάφους-νερού προέβλεπαν ταχύτερο ρυθμό στεγνώματος από ότι μετρήθηκε πραγματικά με τους αισθητήρες υγρασίας του εδάφους. Αυτό συμβαίνει επειδή το μοντέλο ισορροπίας εδάφους-νερού δεν λαμβάνει υπόψη την περιορισμένη αποστράγγιση που εμφανίζεται στο τυρφώδες και αργιλώδες προφίλ εδάφους. Αυτή η περιορισμένη αποστράγγιση οφείλεται στη συμπαγή φύση του υποστρώματος του εδάφους με τύρφη και άργιλο καθώς και στην επίδραση της θραύσης υψής που συμβαίνει μεταξύ της βάσης του υπεδάφους και των υποκείμενων χονδροειδών αμμοχάλικων. Η εκτιμώμενη εξάτμιση-διαπνοή καλλιέργειας από το συντελεστή καλλιέργειας και το δείκτη βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς (Kcb-NDVI) δεν βελτίωσε σημαντικά την προσέγγιση FAO56. Η ανάπτυξη των καλλιεργειών δεν ήταν σημαντικά διαφορετική μεταξύ των δύο προσεγγίσεων προγραμματισμού. Επομένως, η απόδοση χρήσης νερού άρδευσης για την καλλιέργεια μπιζελιού ήταν σημαντικά πιο αποτελεσματική με την τεχνική με βάση τον αισθητήρα σε σύγκριση με την τεχνική SWB για τον προγραμματισμό της άρδευσης (El-Naggaret al., 2019).

### **5.7 Βέλτιστη τοποθέτηση αισθητήρων εγγύτητας για άρδευση ακριβείας σε δένδροκαλλιέργειες**

Χρησιμοποιήθηκε μια οθόνη συνεχούς παρακολούθησης των φύλλων, η οποία αποτελείται από διάφορους αισθητήρες για τη μέτρηση της θερμοκρασίας των φύλλων, της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, της σχετικής υγρασίας, της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας και της ταχύτητας του ανέμου, που αναπτύχθηκε στο Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια, Ντέιβις, ΗΠΑ (Dhillon et al. 2017; Kizer et al. . 2017; Rojo et al. 2016; Upadhyaya κ.ά.) για τον προσδιορισμό της κατάστασης του νερού των φυτών που βοηθά στην άρδευση ακριβείας των καλλιεργειών οπωρώνων και αμπελώνων. Οι Dhillon et al. (2017) έχουν περιγράψει αυτό το σύστημα ανίχνευσης λεπτομερώς. Επιπλέον, οι Kizer et al. (2017), Rojo et al. (2016) και Upadhyaya et al. (2017) έχουν αναπτύξει ασύρματα δίκτυα που αποτελούνται από οθόνες παρακολούθησης των φύλλων, αισθητήρες υγρασίας εδάφους, αισθητήρες πίεσης, μετρητές ροής και ηλεκτρομαγνητικές σωληνωειδείς βαλβίδες σε έναν οπωρώνα αμυγδάλου στο Arbutle, CA, ΗΠΑ και έναν αμπελώνα στο Galt, CA, των ΗΠΑ. Επιπλέον, εφαρμόσαν την άρδευση ακριβείας με βάση το φυτικό στρες κατά τη διάρκεια των



καλλιεργητικών περιόδων 2016 και 2017 σε κάθε ζώνη που δημιουργήθηκε χρησιμοποιώντας σταθερά χαρακτηριστικά τοποθεσίας. Τα αποτελέσματά τους έδειξαν ότι το σύστημα μπορεί να είναι χρήσιμο για σημαντική μείωση της ποσότητας νερού που εφαρμόζεται [έως και 30% σε σύγκριση με τη μέθοδο που βασίζεται στην εξάτμιση-διαπνοή (ET) στα αμύγδαλα και σταφύλια] χωρίς να θυσιάζεται η απόδοση. Χρησιμοποιήθηκαν δύο πειραματικά αγροτεμάχια (ένας οπωρώνας αμυγδάλου και ένας αμπελώνας) για τον καθορισμό των ζωνών παρακολούθησης και την επιλογή των καλύτερων θέσεων για την εγκατάσταση περιορισμένου αριθμού αισθητήρων σε κάθε ζώνη. Τα δεδομένα υφής εδάφους, ψηφιακής ανύψωσης και φαινομενικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας εδάφους (0,3 και 0,9 m βάθος εδάφους) χρησιμοποιήθηκαν για τον καθορισμό των ζωνών χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο Fuzzy C-Means, και χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από την δυναμική νερού του μίσχου τις μεσημεριανές ώρες για τον καθορισμό των καλύτερων θέσεων τοποθέτησης περιορισμένου αριθμού συσκευών παρακολούθησης φύλλων σε κάθε ζώνη (Bazzi *et al.*, 2018).

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η πλειονότητα των προαναφερόμενων προσεγγίσεων δίνει έμφαση στην παραγωγή και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και στοχεύει είτε στη μείωση των εισροών είτε στην αύξηση της αποτελεσματικότητας. Μερικές φορές, η εργασία και το εισόδημα αποτελούν επίσης μέρος της εξίσωσης, αλλά το πώς επιτυγχάνεται αυτό είναι σαφές. Στις περισσότερες περιπτώσεις η υπόθεση είναι ότι η αυξημένη παραγωγή θα αποφέρει υψηλότερα έσοδα.

Οι ευέλικτες προσεγγίσεις παρέχουν μια καλή μαθησιακή ευκαιρία που μπορεί να οδηγήσει στην επίτευξη των πιθανών στόχων τακτικής. Οι πιο οριοθετημένες προσεγγίσεις είναι πιο περιοριστικές, αλλά παρέχουν ρητή καθοδήγηση σε ομάδες χρηστών. Τα κακό είναι ότι ορισμένες προσεγγίσεις είναι ανεπαρκείς για ένα σαφές σύστημα παρακολούθησης και αξιολόγησης. Εάν γίνει παρακολούθηση, η βασική συγκέντρωση βασίζεται κυρίως στις εισροές καθώς και στις δραστηριότητες που ασκούνται, παρά στα πραγματικά αποτελέσματα. Ένας πιο συστηματικός τρόπος παρακολούθησης και αξιολόγησης των διαφόρων προσεγγίσεων θα μπορούσε να βοηθήσει τους αγρότες και τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής να διαμορφώσουν τη βιώσιμη γεωργία όπως αυτοί θέλουν, καθώς και να επιτύχουν στόχους πολιτικής που σχετίζονται με τη γεωργία. Καθώς περνούν τα χρόνια, η γεωργία βελτιώνεται όλο και περισσότερο.

Η γεωργία ακριβείας, που είναι ένας βελτιωμένος και σύγχρονος τύπος γεωργίας, έχει ως σκοπό να κάνει τους αγρότες να συνειδητοποιήσουν ότι πρέπει να σταματήσουν να υπερτροφοδοτούν τις καλλιέργειες τους και να αρχίσουν να υπολογίζουν. Από την άλλη πλευρά, η τεχνολογία έχει βοηθήσει τους αγρότες τόσο πολύ και με πολλούς τρόπους που στην πραγματικότητα δεν χρειάζεται να κάνουν πολλά, αλλά μόνο να σκέφτονται και να ενεργούν σωστά. Οι τεχνολογίες βιώσιμης γεωργίας συνεχίζουν να αναπτύσσονται και

συνεχίζουν να δίνουν στους αγρότες ένα λόγο να αναπτυχθούν μαζί τους. Η γεωργία ακριβείας είναι μια αναδυόμενη ιδέα, η οποία αναπτύσσεται ραγδαία τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Υπάρχουν διάφοροι ορισμοί από διαφορετικούς συγγραφείς που αντιπροσωπεύουν συγκεκριμένες διαστάσεις του όρου. Η γεωργία ακριβείας θα μπορούσε να είναι μια απάντηση σε πολλές προκλήσεις που σχετίζονται με την αλλαγή του κλίματος και την προστασία του περιβάλλοντος. Θα μπορούσε να αυξήσει την ποσότητα και την ποιότητα της γεωργικής παραγωγής χρησιμοποιώντας μικρότερες εισροές. Από την άλλη πλευρά, οι οικονομικές μελέτες στον τομέα δεν είναι συγκρίσιμες και οι συγκεκριμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις της γεωργίας ακριβείας είναι ελάχιστα τεκμηριωμένες. Υπάρχουν ακόμη πολλά ερωτήματα σχετικά με την υιοθέτηση των τεχνικών.

Η ανάγκη ειδικών δεξιοτήτων, το επενδυτικό κόστος και η χαμηλή κερδοφορία, η έλλειψη υποστήριξης και συμβουλευτικών υπηρεσιών αποτελούν τροχοπέδη για την διαδικασία σε πολλές χώρες της ΕΕ. Στην ΕΕ υπάρχει ανάγκη ειδικών συστημάτων και μέτρων για την εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας σε όλους τους τομείς και τους τύπους αγροκτημάτων. Πολλοί παράγοντες στη γεωργία ακριβείας, και στη γεωργία γενικά, έχουν πλεονεκτήματα καθώς και μειονεκτήματα. Για παράδειγμα, ένα μειονέκτημα των εκτοξευτήρων που αναφέρθηκαν νωρίτερα είναι η τιμή τους, αλλά η δουλειά που κάνουν βοηθά τον αγρότη τόσο πολύ, ώστε το μειονέκτημα της τιμής εξαφανίζεται. Συμπερασματικά, η γεωργία ακριβείας πρέπει να προσαρμόζεται από κάθε αγρότη, έτσι ώστε να βοηθά τον εαυτό του, τις καλλιέργειές του και το περιβάλλον. Έτσι, το τελικό συμπέρασμα είναι ότι η γεωργία ακριβείας πρέπει να υιοθετηθεί από όλο και περισσότερους αγρότες, προκειμένου να παρέχεται καλύτερη ποιότητα ζωής στους ανθρώπους και καλύτερη προστασία του περιβάλλοντος και της γης στην οποία περπατάμε.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

3<sup>rd</sup> SCAR Foresight Exercise (2011). Sustainable food consumption and production in a resource-constrained world. p. 236

*Advantages and Disadvantages of Sustainable Agriculture.* (2015, Aug 13). Retrieved from <https://www.slideshare.net/Edwinskydney/advantages-and-disadvantages-of-sustainable-agriculture>

*Agroecology can help change the world's food production for the better* (2018). Retrieved from <http://www.fao.org/news/story/en/item/1113475/icode/>

Altieri, M.A. (2004). Linking Ecologists and Traditional Farmers in the Search for Sustainable Agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2 (1): 35-42

DOI: [10.1890/1540-9295\(2004\)002\[0035:LEATFI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2004)002[0035:LEATFI]2.0.CO;2)

Andersson, J.A. and Giller, K. (2012). On heretics and God's blanket salesmen: Contested claims for conservation agriculture and its promotion in African smallholder farming. *Conservation Agriculture and smallholder farming in Africa*. 22-46 DOI: [10.4324/9780203125434](https://doi.org/10.4324/9780203125434)

Bell, S., and Morse, S. (1999). Sustainability Indicators: Measuring the Immeasurable? *Earthscan Publications Limited*, London and Sterling, VA. ISBN: 1 85383 498 X

Belder, P., Bouman, B.A.M., Cabangon, R., Guoan, L., Quilang, E.J.P., Li, Y., Spiertz, J.H.J., Tuong, T.P., (2004). Effect of water-saving irrigation on rice yield and water use in typical lowland conditions in Asia. *Agric. Water Manage.* 65, 193–210. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2003.09.002>

Bindraban, P.S., Stoorvogel, J., Jansen, D.M., Vlaming, J., Groot, J.J.R. (2000). Land quality indicators for sustainable land management: Proposed method for yield gap and soil nutrient balance. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 81 (2): 103-112 DOI: [10.1016/S0167-8809\(00\)00184-5](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(00)00184-5)

*Biodynamic agriculture*. Wikipedia. Retrieved from [https://en.wikipedia.org/wiki/Biodynamic\\_agriculture](https://en.wikipedia.org/wiki/Biodynamic_agriculture)

Blackmer, T.M., Schepers, J.S., Varvel, G.E. and Walter-Shea, E.A. (1996). Nitrogen Deficiency Detection Using Reflected Shortwave Radiation from Irrigated Corn Canopies. *Agronomy Journal*. 88 (1): 1-5 <https://doi.org/10.2134/agronj1996.00021962008800010001x>

Bouma, J., and Berkhout, E.D. (2015). Public-private partnership in development cooperation Potential and pitfalls for Inclusive Green Growth. In: *PBL Netherlands Environmental Assessment Agency*.

Brown, R.B. and J.-P. G.A. Steckler, (1995). Prescription maps for spatially variable herbicide application in no-till corn. *Trans. ASAE* 38:1659- 1666.

Brown, B., Hanson, M., Liverman, D., Merideth, R.Jr. (1987). Global Sustainability: Toward Definition. *Environmental Management*, 11 (6): 713-719. [doi.org/10.1007/BF01867238](https://doi.org/10.1007/BF01867238)

Can Chen, Jianjun Pan, and Shu Kee Lam (2014). A review of precision fertilization research. *Environ. Earth Sci.*, 71:4073-4080. DOI 10.1007/s12665-013-2792-2

Cardina, J., Sparrow, D. and McCoy, E.L. (1996). Spatial relationships between seedbank and seedling populations of common lambsquarters (*Chenopodium album*) and annual grasses. *Weed Sci.* 44:298-308.

Cassel, D.K., Raczkowski, C.W., and Denton, H.P. (1995). Tillage Effects on Corn Production and Soil Physical Conditions. *Soil Science Society of American Journal*. 59 (5):1436-1443 <https://doi.org/10.2136/sssaj1995.03615995005900050033x>

- Cassidy, E.S., West, P.C., Gerber, J.S. and Foley, J.A. (2013). Redefining agricultural yields: from tones to people nourished per hectare. *Environmental Research Letters*, 8 (3):1-9  
<http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/8/3/034015>
- Cattanash, A., Franzen, D., and Smith, L. (1996). Grid soil testing and variable-rate fertilizer application effects on sugarbeet yield and quality. In: Robert, P.C., Rust, R.H., and Larson, W.E. (Eds). *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Precision Agriculture*, ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, pp. 1033-1038
- Claudio Leones Bazzi, Kelyn Schenatto, Shrinivasa Upadhyaya, Francisco Rojo, Erin Kizer and Channing Ko-Madden, (2018). Optimal placement of proximal sensors for precision irrigation in tree crops. *Precision Agriculture*. <https://doi.org/10.1007/s11119-018-9604-3>
- Clay, Johnson (2003). Scouting for Weeds [PDF file]. *Site-Specific Management Guidelines*. 1-4. Retrieved from [http://www.ipni.net/publication/ssmg.nsf/0/F9D1A31A5D6F27C6852579E500770B4B/\\$FILE/SSMG-15.pdf](http://www.ipni.net/publication/ssmg.nsf/0/F9D1A31A5D6F27C6852579E500770B4B/$FILE/SSMG-15.pdf)
- Comba, L., Gay, P., Piccarolo, P., and Ricauda Aimonino, D. (2010). Robotics and Automation for Crop Management: Trends and Perspective. *International Conference Ragusa, SHWA, 2010*.
- Corson, M.S., Rotz, C.A., Skinner, H.R. and Sanderson, M.A. (2007). Adaptation and evaluation of the integrated farm system model to simulate temperate multiple-species pastures. *Agric. Sys.*, 94 (2):502-508 <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2007.01.003>
- Dalias, P., Anderson, J., Bottner, P. and Conteaux, M.M. (2002). Temperature Responses of Net Nitrogen Mineralization and Nitrification in Conifer Forest Soil Incubated under Standard Laboratory Conditions. *Soil Biology and Biochemistry*, 34 (5): 691-701  
 DOI: [10.1016/S0038-0717\(01\)00234-6](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(01)00234-6)
- Dancer, W.S., Peterson, L.A. and Chesters, G. (1973). Ammonification and Nitrification of N as Influenced by Soil pH and Previous N Treatments. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 37 (1): 67-69  
<https://doi.org/10.2136/sssaj1973.03615995003700010024x>
- De Datta, K.S. (1981). Principles and Practices of Rice Production. *WILEY INTERSCIENCE PUBLICATION*. p. 618
- De Ponti, T., Rijk, B., and Van Ittersum, M.K. (2012). The crop yield gap between organic and conventional agriculture. *Agricultural systems*. 108: 1-9  
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2011.12.004>
- Dhillon, R. S., Upadhyaya, S. K., Rojo, F., Roach, J., Coates, R. W., & Delwiche, M. J. (2017). Development of a continuous leaf monitoring system to predict plant water status. *Transactions of ASABE*, 60(1), 1445–1455.
- Di Lorenzo, T., Brilli, M., Del Tosto, D., Galassi, D.M.P. and Petitta, M. (2012). Nitrate source and fate at the catchment scale of the Vibrata River and aquifer (central Italy): an

analysis by integrating component approaches and nitrogen isotopes. *Environmental Earth Sciences*, 67: 2383-2398 <https://doi.org/10.1007/s12665-012-1685-0>

Doerge, T.A. (2003). Variable-Rate Nitrogen Management for Corn Production-Success Proves Elusive. *Site-Specific Management Guidelines*. [PDF file].p:1-4.

Donovan, K. (2017). Anytime, anywhere: Mobile Devices and Services and Their Impact on Agriculture and Rural Development. *ICT, in Agriculture (Updated Edition). Connecting Smallholders to Knowledge, Networks and Institutions*. p. 49-70  
[https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1002-2\\_Module3](https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1002-2_Module3)

Doran, J.W., Parkin, T.B. (1994). Defining and assessing soil quality. *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*, 35 (1).<https://doi.org/10.2136/sssaspecpub35.c1>

Dormaar, J.F. and Carefoot, J.M. (1996). Implication of crop residue and conservation tillage on soil organic matter. *Can. J. Plant Sci.*, 76: 627-634

Dowdle, S. and Potrch, S. (1988). A systematic approach for determining soil nutrient constraints and establishing balanced fertilizer recommendations for sustained high yield. *Proc. Int. Symp. Balanced Fertil.*, 20: 243-251

Driessen, P.M., Van Diepen, C. (1987). WOFOST, a procedure for estimating the production possibilities of land use systems. In: Beek, K.J., Burrough, P.A., McCormack, D.E. (Eds.), Quantified land evaluation procedures. ITC Publication No. 6, ITC, Enschede, the Netherlands, pp.100-105.

Dumanski, J., Pieri, C. (2000). Land quality indicators: Research plan. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 81 (2): 93-102 DOI: [10.1016/S0167-8809\(00\)00183-3](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(00)00183-3)

Dwivedi, A., Naresh, R.K., Kumar, R., Yadar, R.S. and Kumar, R. (2017). *PRECISION AGRICULTURE*.

Elachi, C. (1987). Introduction to the Physics and Techniques of Remote Sensing. In: Cambridge University Press, 125 (4), p. 467. ISBN: 0 471 848107.

El-Naggar, A.G., Hedley, C.B., Horne, D., Roudier, P. and Clothier, B.E. (2019). Soil Sensing Technology improves application of irrigation water. *Agricultural Water Management*, v.228 <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105901>

Emeraude Panaget (2017). Drip irrigation of maize (corn) in France and Italy. In *Irrigazette*.

Emilio, C., Perez-Lucena, C., Roldan-Canas, J. and Miguel, A. (1997). IPE: Model for management and control of furrow irrigation in real time. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 123(4):264-266 <https://doi.org/10.1061/%28ASCE%290733-9437%281997%29123%3A4%28264%29>

Erb, K.H., Krausman, F., Lucht, W., Haberl, H. (2009). Embodied HANPP: Mapping the spatial disconnect between global biomass production and consumption. *Ecological Economics*. 69 (2): 328- 334 <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.06.025>

- Farshad, A., Zinck, A.J. (2001). Assessing agricultural sustainability using the six-pillar model: Iran as a case study. In S.R. Gliessman (Ed.), *Agroecosystem sustainability, developing practical strategies* (pp.137-151). Boca Raton, USA: CRC Press. ISBN: 0 8493 0894 1.
- Firbank, L.G., Elliott, J., Drake, B., Cao, Y. and Gooday, R. (2013). Evidence of sustainable intensification among British farms. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 173: 58-65 <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.04.010>
- Francis, C., Lieblein, G., Gliessman, S., Breland, T.A., Creamer, N., Harwood, R., Salomonsson, L., Helenius, J., Rickerl, D., Salvador, R., Wiedenhoft, M., Simmons, S., Allen, P., Altieri, M., Flora, C., and Poincelot, R. (2003). Agroecology: The Ecology of Food Systems. *Journal of Sustainable Agriculture*, 22 (3), 99-118 [https://doi.org/10.1300/J064v22n03\\_10](https://doi.org/10.1300/J064v22n03_10)
- Franzen, Kitchen (2003). Developing Management Zones to Target Nitrogen Applications. *Site -Specific Management Guidelines* [PDF file]. 1-4. Retrieved from [http://www.ipni.net/publication/ssmg.nsf/0/A5CD47480DAF17D1852579E500765D7B/\\$FILE/SSMG-05.pdf](http://www.ipni.net/publication/ssmg.nsf/0/A5CD47480DAF17D1852579E500765D7B/$FILE/SSMG-05.pdf)
- Freebairn, D.M. and Boughton, W.C. (1985). Hydrologic effects of crop residue management practices. *Aust. J. Soil Res.* , 23:23-35 <http://dx.doi.org/doi:10.1071/SR9850023>
- Fresco, L.O. (1986). CASSAVA IN SHIFTING CULTIVATION. A systems' approach to agricultural technology development in Africa. ISBN: 90 6832 0130. p.246.
- Gibbons, G., (2000). Turning a farm art into science. An overview of precision farming. URL:<http://www.precisionfarming.com>
- Giller, K., Corbeels, M., Nyamangara, J., Triomphe, B., Affholder, F., Scopel, E., and Tittonell, P. (2011). A research agenda to explore the role of conservation agriculture in African smallholder farming systems. *Field Crops Research*, 124 (3): 468-472 <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.04.010>
- Giller, K., Witter, E., Corbeels, M., and Tittonell, P. (2009). Conservation agriculture and smallholder farming in Africa: the heretics' view. *Field Crops Research*, 114 (1): 23-34 <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.06.017>
- Gillies, M. (2008) Managing the Effect of Infiltration Variability on the Performance of Surface Irrigation. PhD Dissertation, Faculty of Engineering and Surveying, University of Southern Queensland.
- Gonzalez, F., McFadyen, A., and Puig, E. (2019). New Technologies in Precision Agriculture. In: *Routledge, Taylor & Francis Group*. Retrieved from: <https://www.routledge.com/blog/article/new-technologies-in-precision-agriculture>
- Gomez, K.A., 1979. On-farm assessment of yield constraints: methodology for identifying constraints to high yield. International Rice Research Institute, Los Baños, the Philippines

- Gordillo, R.M. and Cabrera, M.L. (1997). Mineralizable Nitrogen in Broiler Litter: II Effect of Selected Soil Characteristics. *Journal of Environmental Quality*, 26 (6): 1679-1686  
<https://doi.org/10.2134/jeq1997.00472425002600060031x>
- GPS & GNSS Receivers Market to Grow with Rapid Pace through 2026. *Bandera Country Courier*. March 4, 2020. Retrieved from: <https://www.bccourier.com/gps-gnss-receivers-market-to-grow-with-rapid-pace-through-2026/>
- Grace, P.R., Harrington, L., Jain, M.C. and Robertson, G.P., Buresh, R.J., Gupta, R.K., Duxbury, J.M., Hill, J.E. and Ladha, J.K. (2003). Long term sustainability of the tropical and subtropical rice-wheat system: an environmental perspective. *Improving the productivity and sustainability of rice-wheat systems: issues and impact*. 65 (7): 27-43  
 DOI: [10.2134/asaspecpub65.c2](https://doi.org/10.2134/asaspecpub65.c2)
- Griepentrog, H., Christensen, S., Sogaard, H. (2004). Robotic Weeding. *Proceedings of Eur. Ag. Eng. 2004*. Leuven, Belgium, 12-14 September
- Grisso, R.D., Alley, M.M., Thomason, W., Holshouser, D. and Roberson, G.T. (2011). Precision farming tools. Variable rate application. *Virginia Cooperative Extension*.
- Hadas, A., Bar-Yosef, B., Davidov, S. and Sofer, M. (1983). Effect of Pelleting, Temperature, and Soil Type on Mineral Nitrogen Release from Poultry and Dairy Manures. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47 (6):1129-1133  
<https://doi.org/10.2136/sssaj1983.03615995004700060014x>
- Havlin, J.L., and Jacobsen, J.S. (1994). Soil Testing: Prospects for Improving Nutrient Recommendations. *SSSA Special Publications*. V.40 DOI:10.2136/sssaspecpub40
- Hanley, P. (2014). ELEVEN. *FriesenPress*. ISBN: 978-1-4602-5046-1
- Hecht, S.B. (1995). The Evolution of Agroecological Thought. *Agroecology*.  
 DOI: [10.1201/9780429495465-1](https://doi.org/10.1201/9780429495465-1)
- Humburg (2003). Standardization and Precision Agriculture-‘The Promised Land’. *Site-Specific Management Guidelines* [PDF file].1-4. Retrieved from  
[http://www.ipni.net/publication/ssmg.nsf/0/D7D5B08289EADC90852579E5007679ED/\\$FILE/SSMG-08.pdf](http://www.ipni.net/publication/ssmg.nsf/0/D7D5B08289EADC90852579E5007679ED/$FILE/SSMG-08.pdf)
- Helong, Yu, Dayou, Liu, Guifen, Chen, Baocheng, Wan, Shengsheng, Wang, and Bo, Yang, (2010). In *Science Direct*. A neural network ensemble method for precision fertilization modeling. *Mathematical and Computer Modelling*, 51 (11-12), 1375-1382.  
<https://doi.org/10.1016/j.mcm.2009.10.028>
- Hobbs, P. R., Sayre, K., and Gupta, R.K. (2008). The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. *Phil. Trans. R. Soc. B*. 363 (1491). 543-555.  
[doi:10.1098/rstb.2007.2169](https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2169)
- Honeycutt, C.W., Potaro, L.J., Halteman, W.A. (1991). Predicting nitrate formation from soil, fertilizer, crop residue, and sludge with thermal units. *J. Environ. Qual.*, 20:850–856  
<https://doi.org/10.2134/jeq1991.00472425002000040024x>

Honeycutt, C.W., Potaro, L.J., Avila, K.L., Halteman, W.A. (1993) Residue quality, loading rate and soil-temperature relations with hairy vetch (*viciavillosaroth*) residue carbon, nitrogen and phosphorus mineralization. *Biol. Agric. Hortic.* 9:181–199

<https://doi.org/10.1080/01448765.1993.9754635>

Jackson, R.D., Idso, S.B., Reginato, R.J. and Pinter, P.J.Jr. (1981). Canopy Temperature as a Crop Water Stress Indicator. *Water Resources Research.*17(4): 1133-1138

[https://ui.adsabs.harvard.edu/link\\_gateway/1981WRR](https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/1981WRR)

Jurgens, C., (1997). The modified normalized difference vegetation index (mNDVI) – a new index to determine frost damages in agriculture based on Landsat TM data. *International Journal of Remote Sensing.* 18(17):3583-3594.<https://doi.org/10.1080/014311697216810>

Johnson, G.A., Mortensen, D., Young, L.J. and Martin, A. (1995). The stability of weed seedling populations and parameters in eastern Nebraska corn (*Zea mays*) and soybean (*Glycine max*) fields. *Weed Sci.* 43:604-611.

Joginder Singh Duhan, Ravinder Kumar, Naresh Kumar, Pawan Kaur, KiranNehra, and SurekhaDuhan (2017). Nanotechnology: The new perspective in precision agriculture. *Biotechnology Reports (Amst).* V. 15. 11-23.

<https://dx.doi.org/10.1016%2Fj.btre.2017.03.002>

Johannsen, C.J., Carter,P.G., Willis , P.R., Owubah, E., Erickson, B., Ross, K. and Targulian, N. (1998). Applying Remote Sensing Technology to Precision Farming. In: *Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference on Precision Agriculture.*

<https://doi.org/10.2134/1999.precisionagproc4.c43b>

Johannsen, C.J., Carter, P.G., Morris,d.k., Erickson, B., and Ross, K. (2003). Potential Applications of Remote Sensing [PDF file].1-4. *Site-Specific Management Guidelines.* Retrieved from

[http://www.ipni.net/publication/ssmg.nsf/0/A661AC440D2EBC99852579E5007748E7/\\$FILE/SSMG-22.pdf](http://www.ipni.net/publication/ssmg.nsf/0/A661AC440D2EBC99852579E5007748E7/$FILE/SSMG-22.pdf)

Kerr, D.V., Cowan, R.T., Chaseling, J. (1999). DAIRYPRO—a knowledge based decision support system for strategic planning on subtropical dairy farms. I. System description. *Agric. Syst.* 59 (3):245–255

Khatri, K.L. and Smith, R.J. (2006). Real time prediction of soil infiltration characteristics for the management of furrow irrigation. *Irrigation Science*, 25 (1):33-43 [DOI: 10.1007/s00271-006-0032-1](https://doi.org/10.1007/s00271-006-0032-1)

Khosla, R., Fleming, K., Delgado, J.A., Shaver, T.M., and Westfall, D.G. (2002).Use of site-specific management zones to improve nitrogen management for precision agriculture. *Journal of Soil and Water Conservation.* 57 (6). 513-518. 1941-3300

Kizer, E., Upadhyaya, S., Dreschler, K., Ko-Madden, C., & Meyers, J. (2017). Is your tree thirsty? Precision irrigation for water savings. *Resource Magazine*, 24(4), 6–7.



- Lampkin, N., Pearce, B., Leake, A., Creissen, H., Gerrard, C., Lloyd, S., Padel, S., Smith, J., Smith, L., Vieweger, A., and Wolf, M. (2015). The role of agroecology in sustainable intensification. *Organic Research Centre*. [PDF file].1-4. Retrieved from [http://www.organicresearchcentre.com/manage/authincluds/article\\_uploads/ORC119\\_SNHagroecology.pdf](http://www.organicresearchcentre.com/manage/authincluds/article_uploads/ORC119_SNHagroecology.pdf)
- Langat, P., Smith, R.J. and Raine, S. (2008). Estimating the furrow infiltration characteristics from a single advance point. *Irrigation Science*, 26 (5): 367-374 DOI: [10.1007/s00271-008-0102-7](https://doi.org/10.1007/s00271-008-0102-7)
- Larson, W.E., Pierce, F.J. (1994). The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*, 35 (3). 37-5. [doi.org/10.2136/sssaspecpub35.c3](https://doi.org/10.2136/sssaspecpub35.c3)
- Leake, A.R. (2003). Integrated Pest Management for Conservation Agriculture. In: García-Torres L., Benites J., Martínez-Vilela A., Holgado-Cabrera A. (eds). Conservation Agriculture. Springer, Dordrecht [https://doi.org/10.1007/978-94-017-1143-2\\_33](https://doi.org/10.1007/978-94-017-1143-2_33)
- Lijun Liua, Tingting Chena, Zhiqin Wang, Hao Zhanga, Jianchang Yanga, Jianhua Zhang (2013). Combination of site-specific nitrogen management and alternate wetting and drying irrigation increases grain yield and nitrogen and water use efficiency in super rice. *Field Crops Research*. 154: 226-235 <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.08.016>
- Liverman, D.M., Harson, M.E., Brown, B.J., Merideth, R.W.Jr (1988). Global Sustainability: Toward Measurement. *Environmental Management*, 12: 133-143. [doi.org/10.1007/BF01873382](https://doi.org/10.1007/BF01873382)
- Lobbystas (2017). *AGRICULTURAL ROBOTICS AND AUTOMATION*. Retrieved from <http://lobbystas.gr/agricultural-robotics-and-automation/>
- Lynam, J.K., Herdt, R.W. (1989). Sense and Sustainability: Sustainability as an Objective in International Agricultural Research. *Agricultural Economics*, 3 (4):381-398. [https://doi.org/10.1016/0169-5150\(89\)90010-8](https://doi.org/10.1016/0169-5150(89)90010-8)
- McBratney, A.B., Whelan, B.M., Ancev, T. and Bouma, J. (2005). Future Directions of Precision Agriculture. *Precision Agriculture*. 6 (1):7-23 DOI: [10.1007/s11119-005-0681-8](https://doi.org/10.1007/s11119-005-0681-8)
- McClymont, D.J. and Smith, R.J. (1996). Intensification parameters from optimization on furrow irrigation advance data. *Irrigation Science*, 17 (1):15-22 <https://doi.org/10.1007/s002710050017>
- McGregor, K.C., Bengtson, R.L. and Mutchler, C.K. (1990). Surface and incorporated wheat straw effects on interrill runoff and soil erosion. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 33, 469-474 doi: 10.13031/2013.31352
- Mertens, K., Decuypere, E., De Baerdemaeker, J., De Ketelaere, B. (2011). Statistical control charts as a support tool for the management of livestock production. *The Journal of Agricultural Science*, 149 (3): 369-384 DOI: [10.1017/S0021859610001164](https://doi.org/10.1017/S0021859610001164)

- Michels, K., Sivakumar, M.V.K., and Allison, B.E. (1995). Wind erosion control using crop residue I. Effects on soil flux and soil properties. *Field Crops Research*. 40 (2): 101-110  
[https://doi.org/10.1016/0378-4290\(94\)00094-S](https://doi.org/10.1016/0378-4290(94)00094-S)
- Mulla, D.J. (2013). Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems Engineering*, 114 (4): 358-371  
<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.08.009>
- Muto, M. and Yamano, T. (2009). «The Impact of Mobile Phone Coverage Expansion on Market Participation: Panel Data Evidence from Uganda». *World Development* .37 (12): 1887–1896. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2009.05.004>
- Nguyen, V. H. et al. (2016): Generating a positive energy balance from using rice straw for anaerobic digestion, *Energy Reports*, ISSN 2352-4847, Elsevier, Amsterdam, Vol. 2, pp. 117-122, <http://dx.doi.org/10.1016/j.egyr.2016.05.005>
- Organic food and farming. A system approach to meet the sustainability challenge (2010)*. IFOAM EU GROUP. Kolling Antje (Ed.)
- Peng, S., Buresh, R.J., Huang, J., Zhong, X., Zou, Y., Yang, J., Wang, G., Liu, Y., Tang, Q., Cui, K., Zhang, F., Dobermann, A., (2010). Improving nitrogen fertilization in rice by site-specific N management: a review. *Agron. Sustain. Dev.* 30, 649–656.  
<https://doi.org/10.1051/agro/2010002>
- Peng, S., Buresh, R.J., Huang, J., Yang, J., Zou, Y., Zhong, X., Wang, G., Zhang, F., (2006). Strategies for overcoming low agronomic nitrogen use efficiency in irrigated rice systems in China. *Field Crops Res.* 96, 37–47. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.05.004>
- Peng, S., Garcia, F.V., Laza, R.C., Sanico, A.L., Visperas, R.M., Cassman, K.G., (1996). Increased N-use efficiency using a chlorophyll meter on high-yielding irrigated rice. *Field Crops Res.* 47, 243–252.[https://doi.org/10.1016/0378-4290\(96\)00018-4](https://doi.org/10.1016/0378-4290(96)00018-4)
- Petty G.W., and Krajewski, W.F. (1996). Satellite estimation of precipitation over land. *Hydrological Sciences Journal - Journal des Sciences Hydrologiques*. 41:(4) 433-451
- Pfost, D., Casady, W., and Shannon, K. (2003). Global Positioning System Receivers. *Site-Specific Management Guidelines.SSMG-5.1-4*. [PDF file]. Retrieved from:  
[http://www.ipni.net/publication/ssmg.nsf/0/8F1927B574BA4F5A852579E5007668AD/\\$FILE/SSMG-06.pdf](http://www.ipni.net/publication/ssmg.nsf/0/8F1927B574BA4F5A852579E5007668AD/$FILE/SSMG-06.pdf)
- Ponisio, L.C., M'Gonigle, L.K., Mace, K.C., Palomino, J., de Valpine, P., and Kremen, C. (2015). Diversification practices reduce organic to conventional yield gap. *PROCEEDINGS OF THE ROYAL SOCIETY B*. 282 (1799) <https://doi.org/10.1098/rspb.2014.1396>
- Precision Agriculture: Advantages and Disadvantages*. (2018, February 26). Retrieved from <https://ukdiss.com/examples/precision-agriculture.php>
- Precision agriculture-Crop Monitoring* (p.11) (2015). Precision agriculture: general concept. Retrieved from <https://precisionagricultu.re/tag/crop-monitoring/>

- Pretty, J.N. (1997). The sustainable intensification of agriculture. *NATURAL RESOURCES FORUM. A UNITED NATIONS SUSTAINABLE DEVELOPMENT JOURNAL*, 21 (4): 247-256 <https://doi.org/10.1111/j.1477-8947.1997.tb00699.x>
- Ramasamy, S., ten Berge, H.F.M., Purushothaman, S., (1997). Yield formation in rice in response to drainage and nitrogen application. *Field Crops Res.* 51, 65–82. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(96\)01039-8](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(96)01039-8)
- Reed, J., Deakin, L., and Sunderland, T. (2015). What are “Integrated Landscape Approaches” and how effectively have they been implemented in the tropics: a systematic map protocol. *Environmental Evidence*, 4 (2) <https://doi.org/10.1186/2047-2382-4-2>
- Rojo, F., Kizer, E., Upadhyaya, S., Ozmen, S., Ko-Madden, C., & Zhang, Q. (2016). A leaf monitoring system for continuous measurement of plant water status to assist in precision irrigation in grape and almond crops. *International Federation of Automatic Control*, 49(16), 209–215.
- Rosset, P.M., Altieri, M.A. (1997). Agroecology versus input substitution: A fundamental contradiction of sustainable agriculture. *Society & Natural Resources. An International Journal*, 10 (3): 283-295 <https://doi.org/10.1080/08941929709381027>
- Sayer, J., Sunderland, T., Ghazoul, J., Pfund, J.L., Sheil, D., Meijaard, E., Venter, M., Boedhihartono, A.K., Day, M., Garcia, C., Van Oosten, C., and Buck, L.E. (2015). Ten principles for a landscape approach to reconciling agriculture, conservation, and other competing land uses. *PNAS*, 110 (21): 8349-8356 <https://doi.org/10.1073/pnas.1210595110>
- Schlemmer, M., Hatfield, J. and Rundquist, D.C. (2003). Remote Sensing: Photographic vs. Non Photographic Systems. *Site-Specific Management Guidelines [PDF file]*. 1-4. Retrieved from [http://www.ipni.net/publication/ssmg.nsf/0/9FF31DF61EA19900852579E50077154B/\\$FILE/SSMG-16.pdf](http://www.ipni.net/publication/ssmg.nsf/0/9FF31DF61EA19900852579E50077154B/$FILE/SSMG-16.pdf)
- Schwankl, L.J., Raghuwanski, N.S. and Wallender, W.W. (2000). Furrow Irrigation Performance under Spatially Varying Conditions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 126 (6): 355-361 [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2000\)126:6\(355\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2000)126:6(355))
- Silici, L., (2004). *Agroecology: What it is and what it has to offer*. IIED Issue Paper. IIED, London. ISBN: 978-1-78431-065-3.
- Sfiligoj, E., Heacox, L., (2016). Top 10 Technologies In Precision Agriculture Right Now. In PRECISIONAg
- Shannon, E.L., McDougall, A., Kelsey, K. and Hussey, B. (1996) Watercheck – a coordinated extension program for improving irrigation efficiency on Australian cane farms. *Proc. Aust. Soc. of Sugar Cane Tech*, 18: 113-118.
- Shibusawa, S., (1998). Precision Farming and Terra-mechanics. *Fifth ISTVS Asia-Pacific Regional Conference in Korea*, October 20/22.

Smil, V. (2000). *Feeding the World. A Challenge for the Twenty-First Century*. ISBN: 0262194325

Smith, R.J., Baillie, J.N., McCarthy, A.C., Raine, S.R., and Baillie, C.P. (2010). Review of Precision Irrigation Technologies and their Application. *National Centre for Engineering in Agriculture Publication*. 1003017/1, USQ, Toowoomba. ISBN 1 921025 29 8

Smyth, A., Dumanski, J. (1993). FESLM: An international framework for evaluating sustainable land management. FAO, World Soil Resources Report 73. Rome, Italy. ISBN: 92-5-103419-2.

Shakeel Anwar (2018). Traditional Agriculture and its impact on the environment. In *JAGRAN Josh*. General knowledge. Retrieved from <https://www.jagranjosh.com/general-knowledge/traditional-agriculture-and-its-impact-on-the-environment-1518096259-1>

SITE-SPECIFIC NUTRIENT MANAGEMENT (n.d.). *MOSAIC*. Retrieved from <https://www.cropnutrition.com/nutrient-management/site-specific-nutrient-management>

Sørensen, C.G., Madsen, N.A., Jacobsen, B.H.(2005). Organic farming scenarios: operational analysis and costs of implementing innovative technologies. *Biosystems Engineering*, 91 (2), 127-137

Sprinkler Irrigation System (n.d.). *Vikaspedia*. Retrieved from <https://vikaspedia.in/agriculture/agri-inputs/farm-machinery/sprinkler-irrigation-system>

Sulecki, J.C. (2018). Association Seeks Definitive Definition of ‘Precision Agriculture’ - What’s your Vote? *PRECISIONAg*.

Sun, B., Yan, H., Shi, J.P. (2006). Development and application of fertilization decision-making supporting systems based on ComGIS. *Trans CSAE*, 34:75–79

Sunil Kumar (2019). What is modern farming? In *Quora*. Retrieved from <https://www.quora.com/What-is-modern-farming>

Thierfelder, C., Amezquita, E., and Stahr, K. (2005). Effects of intensifying organic manuring and tillage practices on penetration resistance and infiltration rate. *Soil and Tillage Research*. 82 (2): 211-226 <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.07.018>

Thomsen, J.K. and Olesen, J.E. (2000). C and N mineralization of composed and anaerobically stored ruminant manure in differently textured soils. *The journal of Agricultural Science*, 135 (2): 151-159 <https://doi.org/10.1017/S0021859699008096>

Tian J, Wang Y, Li H (2004) Applications and development of DSS in China. Working Paper, Xian Jiaotong University. 42 (4) <https://doi.org/10.1016/j.dss.2004.11.009>

Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., and Befort, B.L. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *PNAS* :1-5. <https://doi.org/10.1073/pnas.1116437108>

Traditional agriculture (n.d.). *Wikipedia*. Retrieved from [https://en.wikipedia.org/wiki/Sustainable\\_agriculture#Traditional\\_agriculture](https://en.wikipedia.org/wiki/Sustainable_agriculture#Traditional_agriculture)

- Trout, T.J. (1990). Furrow inflow and infiltration variability impacts on irrigation management. *Transaction of the ASAE*, 33 (4): 1171-1178
- Trout, T.J. and Mackey, B.E. (1988). Furrow Inflow and Infiltration Variability. *Transaction of the ASAE*, 31 (2):531-537 doi: 10.13031/2013.30743
- Tuong, T.P., Bouman, B.A.M., Mortimer, M., (2005). More rice, less water-integrated approaches for increasing water productivity in irrigated rice-based systems in Asia. *Plant Prod. Sci.* 8, 231–241.
- Upadhyaya, S. K., Kizer, E., Ko-Madden, C., Rojo, F., Drechsler, K., & Meyres, J. (2017). Precision irrigation in orchard crops based on plant water status. *Progressive Crop Consultant*. <https://doi.org/10.26545/ajpr.2018.b00015x>.
- Van Ittersum, M.K., Cassman, K.G., Grassini, P., Wolf, J., Tiftonell, P., Hochman, Z. (2013). Yield gap analysis with local to global relevance-A review. *Field Crops Research*, 143:4-17 <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.09.009>
- Van Ittersum, M.K. and Rabbinge, R. (1997). Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. *Field Crops Research*.52 (3):197-208 [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(97\)00037-3](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(97)00037-3)
- Verhagen, J., Blom, G., Van Beek, C., Verzandvoost, S. (2017). *Approaches aiming at sustainable agricultural production*. Wageningen Research [PDF file].1-32 [doi.org/10.18174/416937](https://doi.org/10.18174/416937)
- Wahl, D.C.,(2017). Approaches to Food and Farming Sustainability. AGE OF AWARENESS. In Muskett, S.(eds).
- Walker, W.R. (1989). Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems. *FAO Irrigation Drainage Paper 45*.
- Wang, H. (1994). The restraint constellation circling theory in decision making. *Chin. Soft Sci.* 23:25–27 (in Chinese)
- Wang WL, Liang T, Wang LQ, Liu YF, Wang YZ, Zhang CS (2013). The effects of fertilizer applications on runoff loss of phosphorus. *Environ Earth Sci* 68:1313–1319
- Wezel, A., Bellon, S., Dore, T., Frascis, C.A., Vallod, D., and Christophe, D. (2009). Agroecology as a Science, a Movement and a Practice. *Agronomy For Sustainable Development*. 29(4).503-515. DOI:10.1051/agro/2009004
- Whelan, B.M., McBratney, A.B., (2003). Definition and Interpretation of potential management zones in Australia, In: Proceedings of the 11th Australian Agronomy Conference, Geelong, Victoria
- Whelan, B.M., McBratney, A.B., Boydell, B.C., (1997). The Impact of Precision Agriculture. *Proceedings of the ABARE Outlook Conference*, «The Future of Cropping in NW NSW», Moree, UK, July 1997, p. 5.
- Wikipedia (n.d.). Agroecology. Retrieved from: <https://en.wikipedia.org/wiki/Agroecology>

- Wikipedia (n.d.). *Irrigation*. Retrieved from <https://en.wikipedia.org/wiki/Irrigation>
- World Bank report (2012). *Inclusive Green Growth: The Pathway to Sustainable Development*. Retrieved from <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/6058>
- Xie, K. and Zhao, J. (1996). Research on framework of IDSS. *J. Shanghai Jiaotong Univ.* 3:76–80 (in Chinese)
- Xu, J. (1990). The country level overall development DSS. *Decision Sciences and Systems Engineering*. Science and Technology Press of China, Beijing
- Yang, C. and Anderson., G.L. (1996). Determining within-field management zones for grain sorghum using aerial videography. *Proceedings of the 26th Symposium on Remote Sens. Environ.* Vancouver, BC. pp. 606-611.
- Yang, J., Du, Y., Liu, H., (2008). Cultivation approaches and techniques for annual superhigh-yielding of rice and wheat in the lower reaches of Yangtze River. *Sci. Agric. Sin.* 41, 1611–1621 (in Chinese with English abstract).
- Yang, J., Zhang, H., Zhang, J., ( 2012). Root morphology and physiology in relation to the yield formation of rice. *J. Integr. Agric.* 11 (6), 920–926. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(12\)60082-3](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(12)60082-3)
- Yang, J., Zhang, J., (2010a). Crop management techniques to enhance harvest index in rice. *J. Exp. Bot.* 61, 3177–3189. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq112>
- Yao, F., Huang, J., Cui, K., Nie, L., Xiang, J., Liu, X., Wu, W., Chen, M., Peng, S., (2012). Agronomic performance of high-yielding rice variety grown under alternate wetting and drying irrigation. *Field Crop Res.* 126, 16–22. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.09.018>
- Ye, L., Van Ranst, E. (2002). Population Carrying Capacity and Sustainable Agricultural Use of Land Resources in Caoxian Country (North China). *Journal of Sustainable Agriculture*, 19 (4): 75-94 DOI: 10.1300/J064v19n04\_08
- Zinck, J.A. and Farshad, A. (1995). Issues of sustainability and sustainable land management. *Canadian Journal of Soil Science*, 75: 407-412.
- Zinck, J.A., Berroteran, J.L., Farshad, A., Moameni, A., Wokabi, S., and Van Ranst, E., (2004). Approaches to assessing sustainable agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture*, 23(4), 87-109. [https://doi.org/10.1300/J064v23n04\\_08](https://doi.org/10.1300/J064v23n04_08)
- Zhang, N., Wang, M., and Wang, N. (2002). Precision agriculture- a worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture*. 36: 113-132 DOI: [10.1016/S0168-1699\(02\)00096-0](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(02)00096-0)
- Zhu, Z.L., Wen, Q.X. (1992) Nitrogen in soils of China. Jiangsu Science and Technology Press (in Chinese), Nanjing
- Zhou, B., Vogt, R.D., Xu, C.Y., Lu, X.Q., Xu, H.L., Bishu, J.P., Zhu, L. (2014). Establishment and Validation of an Amended Phosphorus Index: Refines Phosphorus Loss Assessment of an Agriculture Watershed in Northern China. *Water Air and Soil Pollution*. 225 (9). DOI: [10.1007/s11270-014-2103-x](https://doi.org/10.1007/s11270-014-2103-x)

