

Βελτιστοποίηση ανάπτυξης φυτών με νέες τεχνολογίες



Πτυχιακή εργασία του φοιτητή

Σαχανά Θεοδώρου

Αμαλιάδα 2021

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Α. Λιόπα-Τσακαλίδη

Αντί προλόγου

Η παρούσα πτυχιακή εκπονήθηκε στο εργαστήριο Βοτανικής και Ζιζανιολογίας του Τμήματος Γεωπονίας της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστήμιου Πατρών.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα της πτυχιακής μου εργασίας και Πρόεδρο του Τμήματος Δρ. Α. Λιόπα –Τσακαλίδη για την αδιάκοπη επιστημονική καθοδήγηση, την πολύπλευρη βοήθεια, τις πολύτιμες συμβουλές, και το ειλικρινές ενδιαφέρον της καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την Δητώ Ροδίτη.

Επίσης θα ήθελα να εκφράσω τις βαθύτατες ευχαριστίες στην οικογένεια μου για τη στήριξη και τη δύναμη που μου πρόσφεραν ώστε να εκπληρώσω τους στόχους μου.

Περιεχόμενα

Αντί προλόγου	2
Περίληψη	5
Εισαγωγή	6
Κεφάλαιο 1	8
1.1 Αύξηση φυτών	8
1.2 Βασικοί παράγοντες ανάπτυξης φυτών	13
1.3 Καλλιέργεια στον αγρό.....	16
1.4 Καλλιέργεια στο θερμοκήπιο	18
Κεφάλαιο 2	22
2 Βελτιστοποίηση ανάπτυξης φυτών.....	22
Κεφάλαιο 3	24
3 Νέες τεχνολογίες ανάπτυξης φυτών	24
3.1 Ευφυής Γεωργία.....	25
3.2 Διαδίκτυο των πραγμάτων (IOT).....	29
3.3 Δίκτυα Αισθητήρων	33
3.3.1 Ενσύρματα Δίκτυα.....	39
3.3.2 Ασύρματα Δίκτυα	40
3.3.3 Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων	40
Κεφάλαιο 4	43
4 Γεωργία Ακριβείας	43
4.1 Παγκόσμια Συστήματα Καθορισμού/Εντοπισμού Θέσης (GPS).....	44
4.2 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Geographic Information System, GIS)	45
4.3 Συστήματα μεταβλητών εφαρμογών (VRA ή VRT)	47
4.4 Συστήματα παρακολούθησης αποδόσεων (Yield Monitoring System)	48
4.4.1 Τηλεπισκόπηση	48

4.4.2	Ζώνες διαχείρισης	51
4.4.3	Αυτοματοποιημένα συστήματα πλοήγησης	52
4.5	Παράδειγμα εφαρμογής-Εφαρμογή σε μήλα	53
4.6	Αισθητήρες	53
4.6.1	Αισθητήρας εικόνας	53
4.6.2	Φασματικοί αισθητήρες.....	54
4.6.3	Αισθητήρες ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής	54
4.7	Άρδευση ακριβείας	55
4.8	Ψεκασμός ακριβείας	55
4.9	Λίπανση ακριβείας	55
	Κεφάλαιο 5	56
5	Συνδυασμός νέων τεχνολογιών στην Γεωργία	56
	Κεφάλαιο 6	59
6	Σχετικές ερευνητικές εργασίες.....	59
	Συμπεράσματα	62
	Βιβλιογραφία.....	63

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή αποτελείται από πέντε κεφάλαια. Το πρώτο κεφάλαιο περιλαμβάνει την εισαγωγή όπου γίνεται αναφορά στην ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας στον κλάδο της γεωργίας, τον ορισμό της αύξησης των φυτών και την διάκριση της σε δύο κατηγορίες, τους βασικούς παράγοντες ανάπτυξης φυτών, την καλλιέργεια στον αγρό και την καλλιέργεια στο θερμοκήπιο, και στην αναφορά του μικροκλίματος καθώς και στην ανάπτυξη των τεχνολογιών σε αυτό. Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στους τρόπους βελτιστοποίησης ανάπτυξης των φυτών. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις νέες τεχνολογίες ανάπτυξης των φυτών, δίνεται ο ορισμός της ευφυούς γεωργίας και τις εφαρμογές της στην γεωργία, επίσης αναφέρεται ο ορισμός του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IOT) και των τεχνολογιών που χρησιμοποιεί καθώς και των Δικτύων Αισθητήρων όπου αναφέρονται οι κατηγορίες τους και οι τρόποι εφαρμογής τους. Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στον ορισμό της Γεωργίας Ακριβείας, στις τεχνολογίες που χρησιμοποιεί όπως τα παγκόσμια συστήματα εντοπισμού/καθορισμού θέσης, τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών, τα συστήματα μεταβλητών εφαρμογών, τα συστήματα παρακολούθησης αποδόσεων, η τηλεπισκόπηση, οι ζώνες διαχείρισης, τα αυτοματοποιημένα συστήματα πλοήγησης και οι αισθητήρες καλλιεργειών και εδάφους καθώς και στους τρόπους εφαρμογής στον γεωργικό τομέα. Επίσης κάνει αναφορά σε ένα παράδειγμα εφαρμογής της Γεωργίας ακριβείας σε μήλα, αλλά και στους βασικότερους αισθητήρες που χρησιμοποιούνται, αλλά και στα οικονομικά οφέλη που παρουσιάζουν οι εφαρμογές της Γεωργίας ακριβείας στις καλλιέργειες. Τέλος στο πέμπτο κεφάλαιο αναφέρεται ο συνδυασμός των νέων τεχνολογιών στην γεωργία για την βελτιστοποίηση των εφαρμογών που χρησιμοποιούνται για την αύξηση της παραγωγής και για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που ενδέχεται να προκύψουν στην καλλιέργεια.

Εισαγωγή

Η τεχνολογία σήμερα παίζει σημαντικό ρόλο στον τομέα της γεωργίας και της αγροτικής παραγωγής, καθώς αποτελεί ένα μέσο δια του οποίου γίνεται εφικτή η αύξηση της παραγωγής. Αξιοποιώντας σωστά την τεχνολογία που μας παρέχεται, μπορούμε να δημιουργήσουμε εφαρμογές που να μας βοηθούν στην πραγματοποίηση στόχων και την ικανοποίηση βιοτικών αναγκών για τους ανθρώπους αλλά και για το περιβάλλον. Τεχνολογίες όπως το άροτρο, οι γεωργικοί ελκυστήρες, οι φυτοπροστατευτικές ουσίες και η γενετική βελτίωση έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη της γεωργίας σε παγκόσμιο επίπεδο. Αποκορύφωμα ήταν η Πράσινη Επανάσταση που οδήγησε στην αντιμετώπιση της αστίας, που οφειλόταν κυρίως στην αστικοποίηση, στην αύξηση του πληθυσμού της γης και της ανεπαρκούς παράγωγης αγροτικών.

Η παγκόσμια επισιτιστική ανασφάλεια και η περιβαλλοντική υποβάθμιση είναι από τις σημαντικότερες προκλήσεις για τον 21ο αιώνα (Grafton et al, 2015). Προκειμένου η φυτική επιστήμη να προσφέρει λύσεις σε μεγάλες προκλήσεις στη γεωργία και τα φυσικά περιβάλλοντα, πρέπει να δοθεί προτεραιότητα στην κατανόηση των θεμελιωδών διαδικασιών που συμβάλλουν στην απόδοση των καλλιεργειών ή στη λειτουργία του οικοσυστήματος. Η φαινοτυπία υψηλής απόδοσης έχει επιτρέψει άνευ προηγουμένου συλλογή δεδομένων σχετικά με τη μορφή και τη λειτουργία του φυτού. Οι νέες τεχνικές που εφαρμόζονται στην γεωργία, δεν επιφέρουν μόνο αύξηση της παραγωγής, αλλά καθιστούν τον γεωργικό κλάδο πιο επικερδή, καθώς μειώνεται το κόστος της παραγωγής από την παρακολούθηση των αναγκών της και την εξοικονόμηση νερού, λιπασμάτων και λοιπών εισροών. Οι νέες τεχνολογικές μέθοδοι έχουν διαφοροποιήσει κάθε εμπλεκόμενο τομέα της αγροτικής παραγωγής. Η τεχνολογική ανάπτυξη των ψηφιακών ηλεκτρονικών, των μικροελεγκτών, των μικροεπεξεργαστών και του διαδικτύου με την πάροδο του χρόνου έχει οδηγήσει στο να είναι εφικτό. Γενικά, η αναδυόμενη ψηφιακή επανάσταση, και ιδιαίτερα η ενσωμάτωση του Διαδικτύου στη σύγχρονη γεωργία, αποτελεί βασικό παράγοντα για την αυτοματοποίηση πολλών διαδικασιών και την υποστήριξη τους με πολύτιμες πρόσθετες πληροφορίες. Η σύγχρονη γεωργία απαιτεί αυξημένη παραγωγή τροφίμων για την κάλυψη των αναγκών του παγκόσμιου πληθυσμού. Προς αυτόν τον σκοπό, νέες τεχνολογίες εφαρμόζονται σε αυτόν τον τομέα για να παρέχουν μια βέλτιστη εναλλακτική λύση για τη συλλογή και επεξεργασία και την αύξηση της παραγωγικότητας. Η Πράσινη Επανάσταση δημιούργησε πολλά σοβαρά προβλήματα που έγιναν αντιληπτά μετά από πολλά χρόνια σε παγκόσμιο επίπεδο

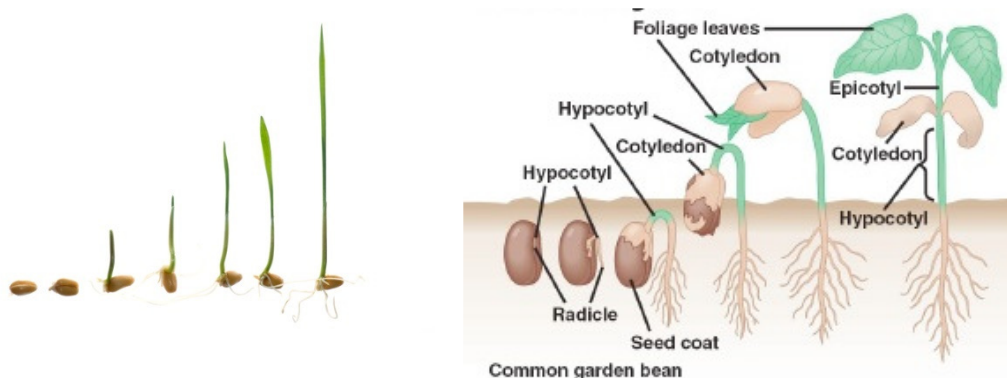
όπως η υποβάθμιση των εδαφών, του υδροφόρου ορίζοντα η αύξηση των προβλημάτων υγείας στις αγροτικές περιοχές εξαιτίας των χημικών σκευασμάτων (Zeigler and Mohanty, 2010; Kumar, 2014). Ο γεωργικός τομέας αντιμετωπίζει πολλαπλές προκλήσεις, όπως η κλιματική αλλαγή, η ανάγκη καλύτερης διαχείρισης των υδάτων, η περιορισμένη διαθεσιμότητα γεωργικών εκτάσεων που διατίθενται προς καλλιέργεια, καθώς και η ασφάλεια των τροφίμων. Η ανάγκη για την αυτοματοποίηση και την ευφυή λήψη αποφάσεων γίνεται όλο και περισσότερο αναγκαία. Έξυπνη καλλιέργεια ορίζεται η καλλιέργεια όπου οι περιβαλλοντικοί παράγοντες έχουν άμεσο αντίκτυπο με στόχο βελτιστοποιημένα αποτελέσματα παραγωγής και ποιότητας σε συνδυασμό με το μειωμένο κόστος. Η αγροτική τεχνολογία έχει αναπτυχθεί ραγδαία κατά τη διάρκεια του 20^{ου} και του 21^{ου} αιώνα. Τεχνολογίες όπως η πληροφορική, αισθητήρια δίκτυα, αναγνωριστικό ραδιοσυχνότητας, Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT), δορυφορική παρακολούθηση γίνονται όλο και πιο δημοφιλείς. Η συνεχής ανάπτυξη της τεχνολογίας, καθώς και η αξιοποίηση των δικτύων επικοινωνιών μπορούν να ανοίξουν μεγάλους ορίζοντες για πολλές νέες εφαρμογές στον χώρο της γεωργίας, οι οποίες θα βοηθούν τον κάθε απασχολούμενο στον τομέα να αξιοποιήσει τις πληροφορίες που του παρέχονται με αποτέλεσμα να βελτιστοποιήσει την απόδοση και την παραγωγή. Η ενσωμάτωση της Τεχνολογίας είναι αναγκαία και μπορεί να επιτευχθεί με την δημιουργία συστημάτων λήψης αποφάσεων (Decision Support System). Τα συστήματα αυτά, δέχονται ως εισροές κλιματικά και εδαφικά δεδομένα και έχουν ως στόχο την αποτελεσματική διαχείριση των πόρων. Επομένως, μέσω αυτών των συστημάτων ο απασχολούμενος έχει στην διάθεση του λύσεις που αφορούν την αποδοτική χρήση τόσο των υδάτινων πόρων όσο και των λιπασμάτων.

Κεφάλαιο 1

1.1 Αύξηση φυτών

Τα ανώτερα φυτά από ένα απλό κύτταρο αναπτύσσονται σε πολυκύτταρο οργανισμό. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει αύξηση, πολλαπλασιασμό και διαφοροποίηση των κυττάρων. Η βλάστηση του σπέρματος γίνεται μετά από τη διακοπή του λήθαργου και είναι μια πολύπλοκη διαδικασία, οποία ελέγχεται από πολλούς παράγοντες. Οι όροι βλαστικότητα, βλαστική ικανότητα, φυτρωτικότητα και φυτρωτική ικανότητα είναι ταυτόσημοι και χρησιμοποιούνται για να εκφράσουν το ποσοστό των σπόρων που είναι σε θέση να βλαστήσουν και να δώσουν φυτάρια, όταν βρεθούν σε ευνοϊκές συνθήκες θερμοκρασίας, υγρασίας και φωτισμού στο σύνολο των σπόρων που τίθενται κάτω από τέτοιες συνθήκες.

Με τον όρο **αύξηση** εννοούμε την μη αναστρέψιμη ποσοτική μεταβολή, που γίνεται με την αύξηση της φυτικής ουσίας ή τη μεγέθυνση των ζωντανών τμημάτων. Η **αύξηση** είναι η μη αναστρέψιμη μεγέθυνση ή διόγκωση, που συνοδεύεται από βιοσύνθεση νέων πρωτοπλασματικών συστατικών, διακρίνεται στην κυτταρική διαίρεση και στην κυτταρική επιμήκυνση. Η κυτταρική διαίρεση καταλήγει σε δυο θυγατρικά κύτταρα, που προέρχονται από ένα μητρικό, αυξάνοντας με αυτό τον τρόπο τον αριθμό των κυττάρων. Η διαδικασία αυτή ολοκληρώνεται, όταν τα κύτταρα φτάσουν στο ίδιο μέγεθος με το αρχικό μητρικό κύτταρο. Η έναρξη επιμήκυνσης του εμβρύου απαιτεί αφενός τη διάσπαση των διάφορων αποθηκευμένων ουσιών σε απλούστερες, ώστε να δομηθούν τα επιμέρους συστατικά των νέων κυττάρων και αφετέρου την αυξημένη πρόσληψη νερού για τις ανάγκες των κυττάρων του επιμηκνόμενου εμβρύου.



Ανάπτυξη φυτού

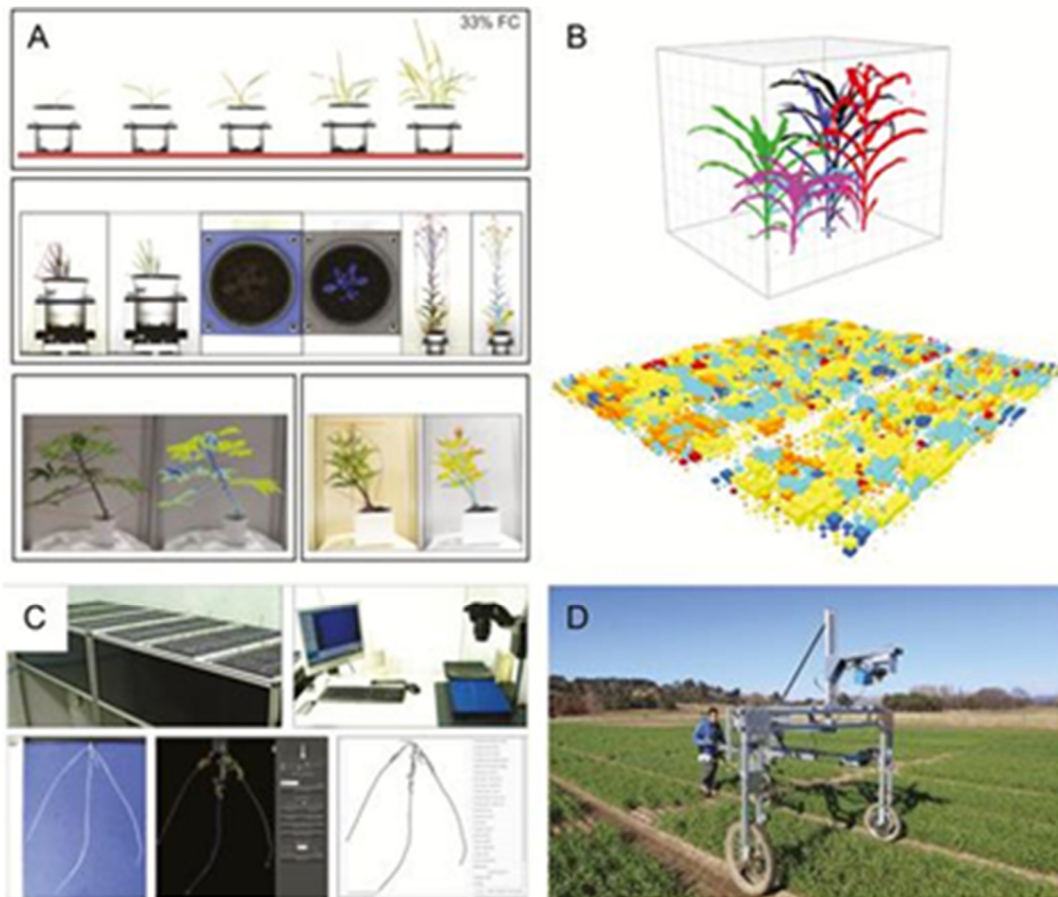
Η κυτταρική επιμήκυνση καταλήγει σε αύξηση του μεγέθους των νεοσχηματισθέντων κυττάρων, που ξεπερνά εκείνη του μητρικού.

Ανάπτυξη του φυτού είναι η διαφοροποίηση των κυττάρων και η δημιουργία διαφορετικών ιστών με εξειδικευμένες λειτουργίες, οι οποίοι αποτελούν τα βλαστικά και αναπαραγωγικά όργανα του φυτού. Με την ανάπτυξη εκδηλώνονται ποιοτικές διαφορές, φυσιολογικές και μορφολογικές, στη μορφή και οργάνωση του φυτού. Η **ανάπτυξη** διακρίνεται στη *βλαστική* και *αναπαραγωγική* ανάπτυξη. Τα δύο αυτά στάδια δεν ξεχωρίζουν συνήθως χρονικά. Η αύξηση και η ανάπτυξη επηρεάζονται από εσωτερικούς και εξωτερικούς παράγοντες.



Αύξηση φυτού

Στην εργασία του York, (2019) παρουσιάζεται η εμφάνιση των λειτουργικών φαινομένων που σηματοδοτεί την αναγέννηση της φυσιολογίας ως επιστήμη του 21ου αιώνα μέσω της χρήσης προηγμένων τεχνολογιών ανίχνευσης και μεγάλων αναλυτικών δεδομένων. Τα λειτουργικά φαινόμενα επιδιώκουν να καλύψουν τα σημαντικά κενά γνώσης που εξακολουθούν να υπάρχουν στη σχέση του φαινοτύπου του φυτού με τη λειτουργία.



Διάφορες πλατφόρμες φαινοτύπων (York, L. M. (2019).

Ο York, (2019) παρουσιάζει στις τέσσερις εικόνες :

(Α) Ένα σύστημα από φυτό σε αισθητήρα αποκτά εικόνες φυτών και χρησιμοποιεί ανάλυση εικόνας για την εξαγωγή φαινομένων,

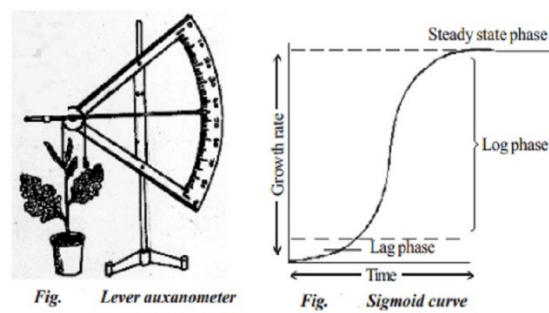
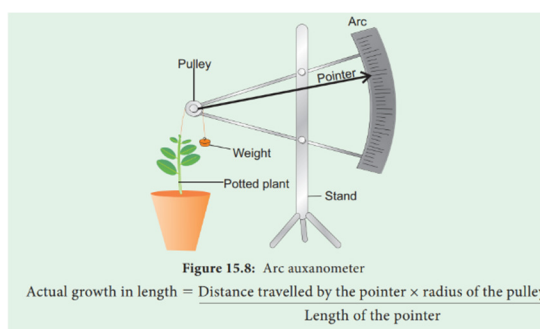
(Β) Ένα παρόμοιο σύστημα όπως στο (Α) συνδυάζεται με μετρήσεις φωτός σε όλο το θερμοκήπιο, έτσι ώστε οι εξαγόμενες αρχιτεκτονικές βλαστών να μπορούν να προσομοιωθούν μαζί με την παρεμπόδιση του φωτός για την εκτίμηση της απόδοσης της ακτινοβολίας,

(Γ) Ο αγωγός ανάπτυξης, απεικόνισης και ανάλυσης υψηλής απόδοσης επιτρέπει την αρχιτεκτονική φαινοτυπικού ριζικού συστήματος,

(Δ) Ένα αυτοκινούμενο καροτσάκι, ή ένα καροτσάκι, κυλά πάνω από οικόπεδα για να αποκτήσει NDVI και τρισδιάστατα σημειακά σύννεφα από θόλους φυτών και αναφέρει ότι ο φαινοτυπικός χαρακτήρας με βάση την εικόνα έγινε γρήγορα ο κυρίαρχος τρόπος χρησιμοποιώντας εύκολα διαθέσιμες ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές και λογισμικό αυτόματης ανάλυσης εικόνας για τον προσδιορισμό των φαινομένων που σχετίζονται με την αρχιτεκτονική των εγκαταστάσεων και τα προφίλ ανακλαστικότητας φωτός.

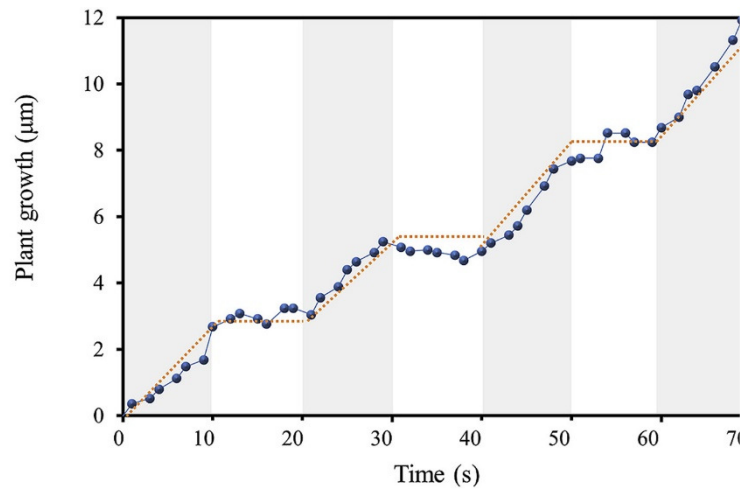
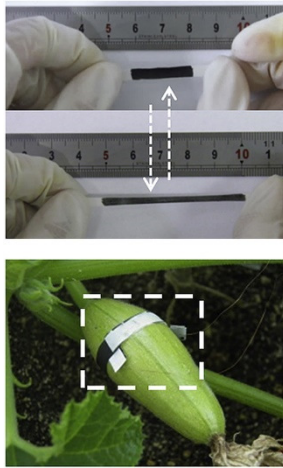
Με την αύξηση και την διαφοροποίηση του φυτού σε ένα ώριμο και ανεξάρτητο άτομο, η προσθήκη νέων κυττάρων περιορίζεται σταδιακά μόνο σε ορισμένα μέρη του φυτι-

κού σώματος. Έτσι σε συγκεκριμένες θέσεις του φυτού παραμένουν καθόλη την διάρκεια της ζωής του τμήματα εμβρυακού ιστού. Συνεπώς, το ώριμο άτομο συγκροτείται από ώριμους και από νεαρούς ιστούς. Οι παραμένοντες διαρκώς νεαροί ιστοί που ασχολούνται βασικά με το σχηματισμό των νέων κυττάρων είναι τα μεριστώματα (Δεληβόπουλος, 1994). Επομένως, η αύξηση γίνεται από τις συγκεκριμένες περιοχές (μεριστώματα) έτσι τα φυτά δεν έχουν προκαθορισμένο μέγεθος και εφόσον οι συνθήκες είναι ευνοϊκές μπορούν να συνεχίσουν να αυξάνονται συνεχώς. Πράγματι το συγκεκριμένο μέγεθος πολλών φυτών οφείλεται κυρίως σε περιοριστικούς περιβαλλοντικούς παράγοντες. Η αύξηση των ιστών δεν είναι ούτε ομοιόμορφη ούτε τυχαία. Τα παράγωγα των κορυφαίων μεριστωμάτων επεκτείνονται κατά προκαθορισμένους και ειδικούς τρόπους και τα πρότυπα μεγέθυνσης (επέκτασης) σε αυτές τις περιοχές καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό το μέγεθος και την μορφή του πρωτογενούς φυτικού σώματος. Η συνολική αύξηση του φυτού θεωρείται ως το άθροισμα των τοπικών προτύπων της κυτταρικής μεγέθυνσης, ενώ η μορφογένεση είναι το άθροισμα των προτύπων της κυτταρικής διαίρεσης και της κυτταρικής μεγέθυνσης.



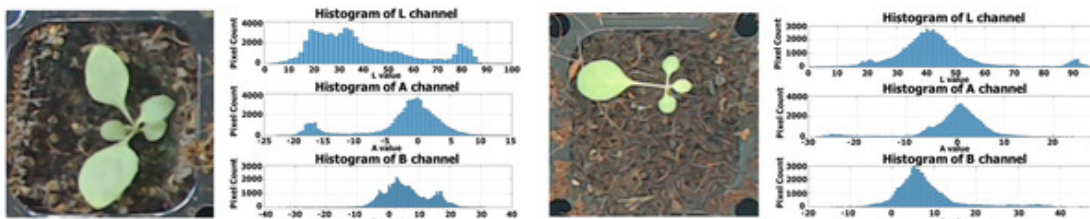
Μέτρηση αύξησης φυτών

Η αύξηση μπορεί να μετρηθεί με βάση το ύψος φυτού, μέγεθος φύλλων (μήκος, πλάτος, επιφάνεια), βάρος (νωπό, ξηρό) όλου του φυτού ή μερών του φυτού (ρίζα, φύλλα, ανθοταξία, κορμός αριθμός κυττάρων), περιεκτικότητα χημικών συστατικών του φυτού όπως (σάκχαρα, πρωτεΐνες, ένζυμα).



Αύξηση καρπού

Η ποσοτική και ακριβής μέτρηση της ανάπτυξης των φυτών είναι το θεμέλιο για την κατανόηση των μηχανισμών που ρυθμίζουν την ανάπτυξη του φυτού. Η ανάπτυξη των φυτών είναι μια πολύ δυναμική διαδικασία που θα μπορούσε να ξεκινήσει / σταματήσει μέσα σε δευτερόλεπτα, αλλά οι υπάρχουσες μέθοδοι παρέχουν λίγες πληροφορίες σχετικά με τη δυναμική ανάπτυξη λόγω ανεπαρκούς ανάλυσης. Η βιομάζα είναι μια σημαντική πτυχή των φαινομένων των φυτών. Η βιομάζα ποικίλλει ανάλογα με την έκταση του στρες και τα επίπεδα των υλικών που προάγουν την υγεία. Οι Lee et al (2018). αναπτύξαν ένα αυτοματοποιημένο σύστημα φαινοτυπικών μονάδων υψηλής απόδοσης, χρησιμοποιώντας υλικό που αποτυπώνει αποτελεσματικά εικόνες σε πραγματικό χρόνο, μαζί με λογισμικό βασισμένο στη μηχανική μάθηση.



Οπτικοποίηση ανάπτυξης φυτών. Παρακολούθηση της περιοχής ου φυτου με την πάροδο του χρόνου

Η ανάπτυξη των φυτών αποτελεί βασικό θεμέλιο για την κατανόηση των επιπτώσεων των βιολογικών / περιβαλλοντικών παραγόντων στην ανάπτυξη των φυτών. Πρόκειται για μια πολύ δυναμική διαδικασία που καθορίζεται από τη διαίρεση και την επέκταση των κυττάρων, η οποία θα μπορούσε να ξεκινήσει / σταματήσει μέσα σε δευτερόλεπτα. Απαιτούνται μέθοδοι με χωρική ανάλυση ακρίβειας κλίμακας nm για τη μέτρηση των λεπτομερών λεπτομερειών σχετικά με την ανάπτυξη των φυτών.

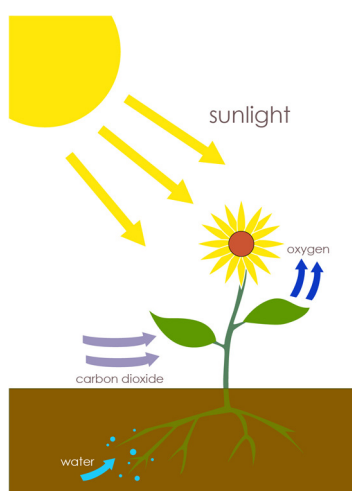
Η αύξηση και η ανάπτυξη επηρεάζονται από εσωτερικούς και εξωτερικούς παράγοντες. Οι εσωτερικοί παράγοντες είναι γενετικοί παράγοντες και διάφορες ορμόνες ή ρυθμιστικές ουσίες αυξήσεως του φυτού.

1.2 Βασικοί παράγοντες ανάπτυξης φυτών

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη των φυτών είναι το φως, η φωτοπερίοδος, η θερμοκρασία, η υγρασία, η άρδευση, και η υγεία του φυτού. Καθένας από αυτούς τους παράγοντες συμβάλλει σημαντικά στην εξέλιξη της ανάπτυξης των φυτών.

Φως

Με τον όρο φως, εννοούμε την ένταση του ηλιακού φωτός, η οποία μεταβάλλεται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, καθώς και από ημέρα σε ημέρα.

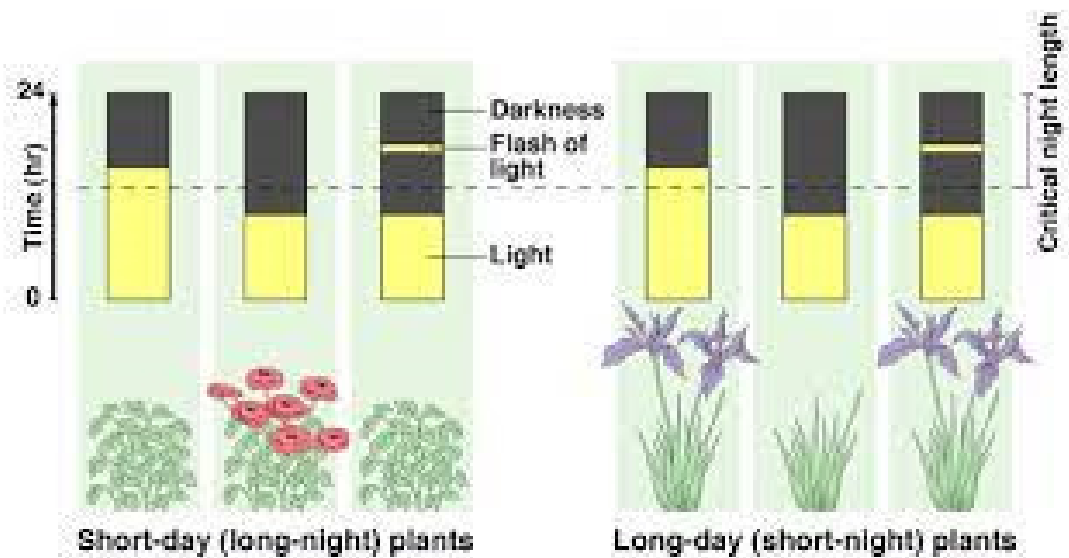


Ηλιακή ακτινοβολία σε φυτό Ρόλος χρωματικού φάσματος στην ανάπτυξη των φυτών

Το φως αποτελεί βασική πηγή ενέργειας για τα φυτά και ταυτόχρονα ρυθμίζει τις τρεις βασικές λειτουργίες: τη φωτοσύνθεση, το φωτοτροπισμό και το φωτοπεριοδισμό. Ο συμπληρωματικός φωτισμός κατάλληλης εντάσεως, είναι απαραίτητος το φθινόπωρο και το χειμώνα, αλλά έχει υψηλό κόστος. Ο φυσικός φωτισμός την περίοδο αυτή είναι λιγότερης διάρκειας και μικρότερης εντάσεως. Το καλοκαίρι, ο φυσικός φωτισμός είναι υψηλός, δημιουργώντας προβλήματα στην ανάπτυξη του φυτού, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών. Η ανάγκη σκίασης, που θα χρησιμοποιηθεί, εξαρτάται τόσο από τα επίπεδα φωτός, όσο και από το ίδιο το φυτό.

Φωτοπερίοδος

Η φωτοπερίοδος είναι ο παράγοντας του περιβάλλοντος που από έτος σε έτος δίνει επακριβή, αλάνθαστη πληροφορία για την εξέλιξη των εποχών. Η φωτοπερίοδος είναι η σχέση μεταξύ της διάρκειας της περιόδου φωτός και της σκοτεινής περιόδου (ημέρα / νύχτα). Η φωτοπερίοδος αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες του προγραμματισμού της καλλιέργειας. Προκειμένου να εγκατασταθεί μια καλλιέργεια αναγκαία είναι η γνώση, τόσο της φωτοπερίοδου της περιοχής, όσο και η αντίδραση της καλλιέργειας σε αυτή.



Φωτοπερίοδος

Η παράταση της διάρκειας του φωτισμού γίνεται με την χρήση τεχνητού φωτισμού με τους εξής τρόπους:

Η πρώτη τεχνική, επιτυγχάνεται με φωτισμό μικρής έντασης. Η δεύτερη τεχνική αφορά τον φωτισμό με διακοπές κατά την διάρκεια της νύχτας. Γίνεται χρήση μιας μικρής περιόδου φωτισμού, που διαχωρίζει τη νύχτα σε δύο μικρότερες. Με τον τρόπο αυτό μειώνονται οι ώρες φωτισμού ανά ημέρα χωρίς να προκαλούνται ζημίες στα φυτά, ενώ το κόστος ηλεκτρισμού που καταναλώνεται είναι μικρότερο. Τέλος χρησιμοποιείται ο κυκλικός φωτισμός. Με αυτόν τον τρόπο διοχετεύεται στα φυτά για μερικά λεπτά ανά μισή ώρα, φως μεγάλης εντάσεως για όλη την περίοδο συμπληρωματικού φωτισμού. Και σε αυτή την περίπτωση το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας μειώνεται χωρίς να καταστρέφονται τα φυτά.

Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία είναι καθοριστικός παράγοντας στην αύξηση και την ανάπτυξη των φυτών. Η θερμοκρασία επηρεάζει το φυτό τόσο βραχυπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα. Κάθε φυτό έχει διαφορετικές θερμοκρασιακές απαιτήσεις. Η θερμοκρασία των φυτών και η θερμοκρασία του αέρα που τα περιβάλλει δεν είναι ίδιες επειδή τα φυτά μπορούν να μειώσουν τη θερμοκρασία τους μέσω της εξάτμισης και να την αυξήσουν μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας. Τα φυτά επιδιώκουν να φτάσουν στη βέλτιστη θερμοκρασία τους, και η ισορροπία ανάμεσα στη θερμοκρασία του αέρα, τη σχετική υγρασία και το φωτισμό παίζει σημαντικό ρόλο. Η παρακολούθηση και ο έλεγχος της θερμοκρασίας, είναι λοιπόν απαραίτητη για έναν επιτυχή προγραμματισμό. Η διακύμανση της θερμοκρασίας για την ανάπτυξη των περισσότερων καλλιεργούμενων φυτών κυμαίνεται μεταξύ 15-40°C. Σε θερμοκρασίες πολύ υψηλότερες ή 10oC χαμηλότερες από τα παραπάνω όρια η ανάπτυξη των φυτών μειώνεται γρήγορα. Επομένως για να επιτευχθεί το αναγκαίο θερμοκρασιακό καθεστώς της καλλιέργειας πρέπει να δίνεται προσοχή στην παρακολούθηση της θερμοκρασίας.

Υγρασία

Το ποσό της εδαφικής υγρασίας που χρησιμοποιείται από τα φυτά έχει περιορισμένα όρια. Η έλλειψη νερού έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας, ελάττωση της μεταφοράς θρεπτικών συστατικών, περιορισμό της αυξήσεως και τέλος προωμότερη ωρίμανση στα φυτά. Η υψηλή υγρασία στο έδαφος έχει ως συνέπεια τον ελλιπή αερισμό του ριζικού συστήματος και των μικροοργανισμών του εδάφους. Επίσης αυξάνει τη θερμοχωρητικότητα του εδάφους με αποτέλεσμα να μην θερμαίνεται εύκολα και να καθυστερεί η ανάπτυξη των φυτών. Η υψηλή υγρασία προκαλεί έκλυση των θρεπτικών συστατικών του εδάφους, κάνει τα φυτά υδαρή ευπρόσβλητα από παθογόνα αίτια και ευπαθή στους μηχανικούς τραυματισμούς από τον αέρα, το χαλάζι κλπ. Τέλος προκαλεί καθυστέρηση της παραγωγής και μειώνει την ποιότητα του προϊόντος. Επιπλέον ο καλός αερισμός συντελεί στον έλεγχο της υγρασίας και της διατήρησης της μέσα από ξηρό αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος.

Άρδευση

Άρδευση είναι η τεχνητή παροχή νερού σε καλλιεργούμενο έδαφος για να υποβοηθηθεί η ανάπτυξη των φυτών. Η διάρκεια και η συχνότητα άρδευσης του φυτού εξαρτάται

από το είδος και το μέγεθος του φυτού, τον τύπο του εδάφους, το κλίμα και την εποχή. Ο τρόπος με τον οποίο θα πραγματοποιηθεί η άρδευση, εξαρτάται από το είδος των φυτών, το χώρο ανάπτυξης τους (γλάστρες, θερμοκήπια, ύπαιθρο κλπ) και από το μέγεθος της καλλιέργειας. Η άρδευση πραγματοποιείται ,είτε με τη μορφή τεχνητής βροχής, είτε με σταγόνες, είτε με capillary watering. Η τεχνητή βροχή αποτελεί εναλλακτική λύση είναι δαπανηρή, και η συνεισφορά της είναι μηδαμινή, όσον αφορά μεγάλα φυτά και όχι για μικρές γλάστρες. Σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των φυτών διαδραματίζει η ποιότητα του νερού. Η υψηλή συγκέντρωση αλάτων περιορίζει την ανάπτυξη των ριζών.

1.3 Καλλιέργεια στον αγρό

Προετοιμασία εδάφους

Πριν τη σπορά το έδαφος πρέπει να είναι κατάλληλα προετοιμασμένο για να δεχτεί το σπόρο, ώστε να εξασφαλιστεί το φύτευμα και η ικανοποιητική ανάπτυξη του. Όσο μικρότερος ο σπόρος τόσο μεγαλύτερη προσοχή χρειάζεται λόγω της δυσκολίας φύτευσης του. Το όργωμα του εδάφους θα πρέπει να γίνεται όσο το δυνατόν νωρίτερα αλλά ποτέ όταν είναι πολύ υγρό. Ο χρόνος που χρειάζεται εξαρτάται κυρίως από τις κλιματικές συνθήκες καθώς και από τη κατάσταση του εδάφους. Όσο πιο βαρή συνεκτικό είναι το έδαφος τόσο πιο βαθύ όργωμα χρειάζεται σε σχέση με το ελαφρύ αμμώδες. Έτσι δημιουργούνται καλύτερες συνθήκες υγρασίας και αερισμού, αλλά αυξάνεται και η ανάπτυξη των μικροοργανισμών του εδάφους. Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται στην διαχείριση του εδάφους, καθώς επανειλημμένα φρεζαρίσματα μπορούν να προκαλέσουν συμπίεση όταν το βάθος της κατεργασίας δεν μεταβάλλεται (Ολύμπιος, 2015). Κατά την κατεργασία του εδάφους καταστρέφονται τα ζιζάνια όπου παράγονται στα βαθύτερα στρώματα και εμποδίζεται το φύτευμα τους.

- **Σπορά**

Η σπορά είναι η διαδικασία της έναρξης της ζωής του φυτού με την οποία το έμβρυο που βρίσκεται σε λήθαργο αρχίζει να διεγείρεται και να μετατρέπεται σε πλήρες και βιολογικά ενεργό φυτό. Η εγκατάσταση μιας νέας καλλιέργειας αρχίζει με τη σπορά σπόρου ή τη μεταφύτευση των νεαρών φυταρίων. Προϋποθέσεις για μια επιτυχημένη σπορά είναι η κατάλληλη προετοιμασία του εδάφους (σποροκλίνη), η επιλογή κατάλληλου σπόρου,

κατάλληλης μεθόδου και κατάλληλων μηχανημάτων. Την επιτυχημένη σπορά αναμένεται να ακολουθήσει και επιτυχημένο φύτευμα των σπόρων. Παράγοντες που συμβάλλουν προς τούτο είναι η επαρκής υγρασία, η θερμοκρασία, ο αερισμός (οξυγόνο) και το φως. Η σπορά μπορεί να γίνει είτε απευθείας στον αγρό με το χέρι ή με σπαρτικές μηχανές, είτε σπορά σε ψυχρά ή θερμαινόμενα σπορεία και στην συνέχεια μεταφύτευση των φυτών στον αγρό. Ως σπορείο χρησιμοποιείται έδαφος καλής φυσικής σύστασης προφυλαγμένο από τους ισχυρούς ανέμους με καλή λίπανση και καλά απολυμασμένο. Τα φυτά που θα μεταφυτευτούν θα πρέπει να έχουν περίπου 4-6 πραγματικά φύλλα. Τις τελευταίες μέρες πριν την μεταφύτευση τους τα φυτά πρέπει να σκληραγωγηθούν για αυτό αφήνονται υπαίθρια χωρίς να ποτίζονται. Συνήθως η σπορά γίνεται απευθείας στον αγρό σε μεγάλες εκτάσεις γιατί η μεταφύτευση κρίνεται αντικοινωνική. Τελευταία χρησιμοποιούνται σπόροι καλυμμένοι με κάποιο θρεπτικό και άλλα φυτοπροστατευτικά υλικά για την επίτευξη μεγαλύτερου όγκου, και μεγαλύτερης ακρίβειας στη σπορά.

- **Λίπανση**

Η προσθήκη λιπαντικών στοιχείων στο έδαφος συμβάλλει τόσο στην αύξηση της παραγωγής όσο και στην ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων. Οι ποσότητες των βασικών θρεπτικών συστατικών που προκειται να προστεθούν με τη βασική λίπανση για την συμπλήρωση της γονιμότητας του εδάφους πρέπει να υπολογίζονται με βάση την ανάλυση του εδάφους.

Το άζωτο είναι ο πρωταρχικός παράγοντας της βλάστησης της αύξησης και της απόδοσης. Συγκεκριμένα το υψος των φυτών η φυλλική επιφάνεια και ο αριθμός των ανθέων επηρεάζονται σημαντικά από το άζωτο.

Η βλάστηση και η καρποφορία εξαρτάται άμεσα από τον επαρκή φώσφορο.

Το κάλιο αυξάνει την ποιότητα των κάρπων. Το ασβεστιο και το μαγνησιο εξουδετερώνουν την οξύτητα του εδάφους και αποτελούν θρεπτικά στοιχεία για τα φυτά. Το μαγνησιο είναι απαραίτητο για τον σχηματισμό χλωροφύλλης από τα φυτά. Άλλα ιχνοστοιχεία που είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη του φυτού είναι το θείο, ο σίδηρος, το βόριο, το μαγγάνιο και ο ψευδάργυρος (Αγγίδης, 1996 Gould, 1992).

- **Άρδευση**

Η πρώτη άρδευση γίνεται συνήθως πριν τη σπορά ή τη μεταφύτευση σαν προετοιμασία της σποροκλίνης. Μετά την εγκατάσταση της καλλιέργειας τα ποτίσματα πρέπει να

είναι συχνά ιδιαίτερα κυρίως τις θερμές περιόδους. Όμως θα πρέπει να δίνεται προσοχή γιατί η υπερβολική υγρασία οδηγεί σε ανάπτυξη διάφορων ασθενειών. Για την αποφυγή συγκέντρωσης υγρασίας στα φύλλα του φυτού συνίσταται η μεθοδος στάγδην για ομοιόμορφη κατανομή νερού στα φυτά, μείωση παθογόνων στο έδαφος, μείωση των ζιζανίων μεταξύ των γραμμών και εξοικονόμηση νερού. Η άρδευση είναι απαραίτητη καθώς παίζει σημαντικό ρολο στην βλαστική ανάπτυξη, την ανάπτυξη των καρπού και την ομοιομορφία ωρίμανσης των καρπών. Κατά την μεταφύτευση το πρώτο πότισμα γίνεται αμέσως, αλλά και την επόμενη μέρα για να έρθει το ριζικό σύστημα σε καλή επαφή με το έδαφος. Οι ανάγκες της άρδευσης καθορίζονται με βάση τον τύπο του εδάφους (τα ελαφρά εδάφη απαιτούν συχνότερα ποτίσματα), το στάδιο ανάπτυξης του φυτού και τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες.

1.4 Καλλιέργεια στο θερμοκήπιο

Θερμοκήπιο ονομάζεται μία κλειστή κατασκευή καλυμμένη με υλικό διαπερατό από την ορατή ηλιακή ακτινοβολία, η οποία έχει ως αποτέλεσμα την τροποποίηση των κλιματικών συνθηκών στο εσωτερικό της σε σχέση με το εξωτερικό περιβάλλον, με στόχο την ανάπτυξη φυτών και την παραγωγή φυτικών προϊόντων, ανεξάρτητα από τις εξωτερικές κλιματικές συνθήκες. Η καλλιέργεια σε θερμοκήπια είναι απαραίτητη σε εποχές και περιοχές που στην ύπαιθρο δεν υπάρχουν οι αναγκαίες κλιματικές συνθήκες για την ανάπτυξή και την ολοκλήρωση του καλλιεργητικού κύκλου των εκάστοτε προϊόντων. Τα θερμοκήπια έχουν σκοπό στην δημιουργία κατάλληλου μικροκλίματος για την ανάπτυξη φυτών σε περιόδους όπου οι καιρικές συνθήκες δεν επιτρέπουν την καλλιέργειά τους στην ύπαιθρο.

Ως μικρόκλιμα θεωρείται το σύνολο των κλιματολογικών συνθηκών που επικρατούν σε ένα ομοιογενή χώρο περιορισμένης έκτασης κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Οι κλιματικοί παράγοντες που τροποποιούνται σύμφωνα με τις απαιτήσεις των φυτών είναι κυρίως η θερμοκρασία, η ηλιακή ακτινοβολία και η ατμοσφαιρική υγρασία. Ταυτόχρονα μέσα στο χώρο του θερμοκηπίου είναι δυνατή και η τροποποίηση της συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα. Στις παραπάνω παραμέτρους του περιβάλλοντος μέσα στο θερμοκήπιο ο βαθμός επέμβασης και η έκταση των αλλαγών εξαρτώνται τόσο από τις απαιτήσεις της κάθε καλλιέργειας, όσο και από το κόστος τους.

Η ηλιακή ακτινοβολία παρέχει στα φυτά την απαραίτητη ενέργεια για τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης και τις λοιπές σημαντικές φυσιολογικές λειτουργίες τους και εξασφαλίζει τη θέρμανση του θερμοκηπίου την ημέρα. Ένα μεγάλο ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας περιορίζεται στην εξωτερική επιφάνεια του θερμοκηπίου και δεν εισέρχεται σε αυτό γιατί αντανακλάται ή απορροφάται από το υλικό κάλυψης. Η είσοδος της ηλιακής ακτινοβολίας στο θερμοκήπιο, είναι απαραίτητη και καθορίζει την ανάπτυξη και παραγωγικότητα των φυτών. Σε περιόδους με υψηλή ένταση ακτινοβολίας η θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου αυξάνεται πέρα από το επιθυμητό επίπεδο και γι αυτό εφαρμόζεται σκίαση για να μειωθεί η περατότητα του υλικού κάλυψης πχ. με εφαρμογή μπογιάς λευκού χρώματος ή με εγκατάσταση κουρτίνας σκίασης. Το υλικό κάλυψης πρέπει να εμποδίζει μεγάλο μέρος του φάσματος του ηλιακού φωτός το οποίο αυξάνει την θερμοκρασία στο θερμοκήπιο πέρα από το επιθυμητό επίπεδο, χωρίς να επηρεάζει τη φωτοσύνθεση των φυτών.

Η ανάπτυξη των φυτών καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τη θερμοκρασία, αφού σημαντικές φυσιολογικές λειτουργίες τους (φωτοσύνθεση, αναπνοή, διαπνοή και γενικά ο μεταβολισμός) επηρεάζονται από αυτή. Η οικονομικά άριστη θερμοκρασία (ημέρας και νύκτας) που πρέπει να διατηρείται στο θερμοκήπιο καθορίζεται από τρεις παράγοντες:

- Το είδος του φυτού, πχ. τα περισσότερα λαχανικά που καλλιεργούνται στο θερμοκήπιο είναι ευπαθή στο ψύχος ($0-12^{\circ}\text{C}$) και σε θερμοκρασίες χαμηλότερες των 13°C τα φυτά παράγουν μειωμένης ποσότητας και χαμηλής ποιότητας προϊόντα.
- Το στάδιο ανάπτυξης του φυτού, η απαιτούμενη άριστη θερμοκρασία μειώνεται καθώς αυξάνεται η ηλικία του φυτού.
- Τον προγραμματισμό του χρόνου συγκομιδής, για πρώιμη συγκομιδή η θερμοκρασία διατηρείται υψηλή.

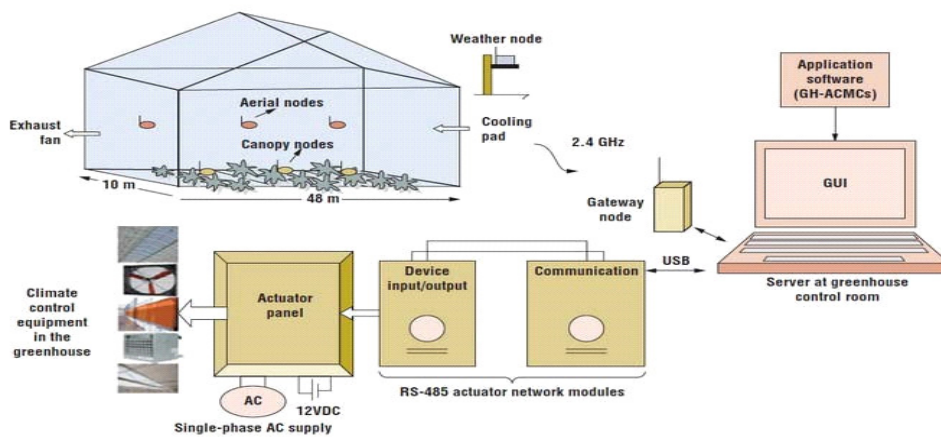
Η ατμοσφαιρική υγρασία του θερμοκηπίου εξαρτάται από το ποσοστό της υγρασίας του εξωτερικού αέρα, από την υγρασία του εδάφους του θερμοκηπίου και από την θερμοκρασία του αέρα του θερμοκηπίου. Όταν αυξάνεται η ηλιακή ακτινοβολία μέσα στο θερμοκήπιο αυξάνεται γρήγορα και η θερμοκρασία του αέρα, με αποτέλεσμα τη μείωση της υγρασίας. Ένας άλλος παράγοντας είναι το διοξείδιο του άνθρακα που θεωρείται ένα από τα απαραίτητα συστατικά της φωτοσύνθεσης διότι μαζί με το νερό, τα θρεπτικά συστατικά, παρουσία του φωτός και της χλωροφύλλης συμμετέχει στη σύνθεση των υδατανθράκων.

Η λίπανση στο θερμοκήπιο γίνεται με τη χορήγηση των λιπασμάτων μαζί με το νερό του ποτίσματος. Ο τρόπος χορήγησης των ανόργανων θρεπτικών στοιχείων με το πότισμα αποτελεί βασική μέθοδος, γιατί επιτρέπει μαζί με το πότισμα και τη σύγχρονη μεταφορά και διανομή των ανόργανων θρεπτικών στοιχείων που έχει ανάγκη το φυτό. Γίνεται με τη διάλυση του νερού ποτίσματος των αναγκαίων ανόργανων στοιχείων, για να μεταφερθούν έτσι μαζί με το νερό στο επίπεδο των ριζών. Απαραίτητη είναι η λίπανση να γίνεται σε συνάρτηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους και του pH. Το νερό με το θρεπτικό διάλυμα δίνεται συνήθως στην καλλιέργεια με στάγδην άρδευση ή με καταιονισμό. Επιπλέον, το νερό πρέπει να εφαρμόζεται όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφα στην έκταση των φυτών που πρόκειται να ποτιστούν.

Στις Μεσογειακές χώρες όπως η Ελλάδα, τα φυτά που καλλιεργούνται σε ένα θερμοκήπιο είναι τα θερμής εποχής. Πρόκειται για κηπευτικά τα οποία παράγουν βρώσιμους καρπούς. Η καλλιέργεια κηπευτικών θερμής εποχής στο θερμοκήπιο γίνεται όταν η καλλιέργειά τους στην ύπαιθρο είναι αδύνατη, κυρίως λόγω χαμηλών θερμοκρασιών αέρα και εδάφους. Στις χώρες και περιοχές με Μεσογειακό κλίμα σκοπός της καλλιέργειας κηπευτικών θερμής εποχής στο θερμοκήπιο είναι κατά κανόνα η παραγωγή καρπών κατά την περίοδο από Οκτώβριο μέχρι και Μάιο ή Ιούνιο. Η εξέλιξη της τεχνολογίας, η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού και οι αυξανόμενες διατροφικές απαιτήσεις, αποτελούν σημαντικά κίνητρα για την αύξηση και την βελτίωση των αγροτικών προϊόντων. Τα θερμοκήπια αποτελούν μέσα παραγωγής λαχανοκομικών και ανθοκομικών προϊόντων καθ' όλη την διάρκεια του έτους, καθώς έχουν την δυνατότητα ελέγχου του κλίματος. Η εισαγωγή συστημάτων αυτόματου ελέγχου στα θερμοκήπια αποτέλεσε μια σημαντική εξέλιξη στο χώρο της γεωργίας. Ο έλεγχος της άρδευσης, και της ποσότητας του λιπάσματος που εφαρμόζονται στα φυτά έχει ως σκοπό την σωστή ανάπτυξη τους και την μείωση της σπατάλης. Η σωστή διαχείριση του νερού άρδευσης είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας, καθώς έχει άμεση επίδραση στην παραγωγή και στην ποιότητα των αγροτικών προϊόντων. Επίσης η υπερκατανάλωση αρδευτικού νερού έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους παράγωγής και εντείνει το φαινόμενο της λειψυδρίας. Με την χρήση της τεχνολογίας μπορεί να γίνει αυτόματα ο έλεγχος των συνθηκών με την εκτέλεση ενεργειών, όπως είναι το άνοιγμα του παραθύρου, η ενεργοποίηση του φωτισμού και ο έλεγχος του θερμοαντήρα και του ανεμιστήρα.

Οι Halim, et al (2016) στο άρθρο τους *Διαδίκτυο των Πραγμάτων Τεχνολογία για το Θερμοκήπιο Σύστημα Παρακολούθησης και Διαχείρισης που Βασίζεται σε Ασύρματο*

Δίκτυο Αισθητήρων σχεδίασαν ένα πρόγραμμα για την παρακολούθηση της ανάπτυξης των φυτών σε πραγματικό χρόνο και για τη διασφάλιση της διατήρησης των βέλτιστων συνθηκών με την εφαρμογή παρεμβάσεων με βάση τις φάσεις ανάπτυξης. Η πλατφόρμα προγραμματισμού επιτελεί ένα πλήρως ολοκληρωμένο και αυτοματοποιημένο σύστημα παρακολούθησης και διαχείρισης θερμοκηπίου. Τα δεδομένα/πληροφορίες που προέρχονται από το θερμοκήπιο, συλλέγονται από αισθητήρες οι οποίοι τα στέλνουν σε μικροελεγκτή. Στέλνονται από πομπό σε δέκτη και στη συνέχεια φαίνονται στην οθόνη κάποιας συσκευής (smartphone / laptop / PDA) και καταλήγουν σε ένα σύστημα υπολογιστή που ονομάζεται σταθμός βάσης . Τα βασικά στοιχεία/υλικά του έργου είναι το Memsic, το Zigbee και το έξυπνο τηλέφωνο, ενώ το MP Lab και το LabView χρησιμοποιούνται ως στοιχεία λογισμικού.

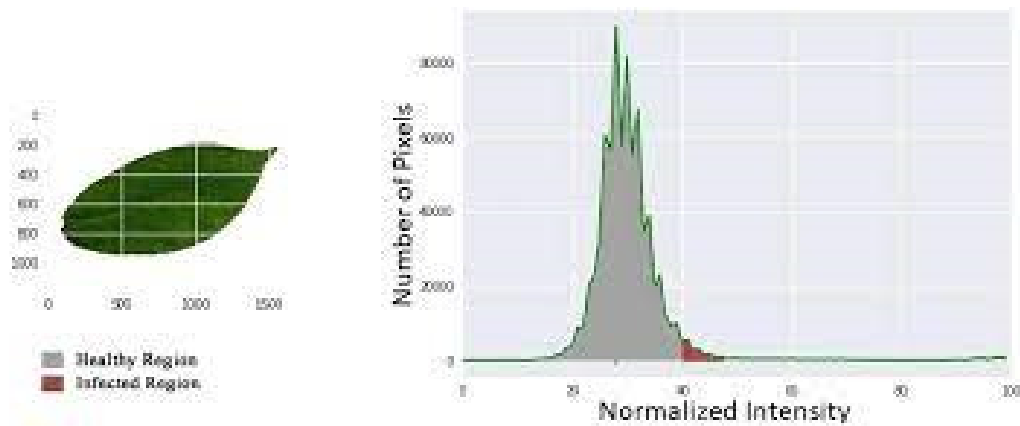


Αρχιτεκτονική του συστήματος

Κεφάλαιο 2

2 Βελτιστοποίηση ανάπτυξης φυτών

Η σύγχρονη γεωργία απαιτεί αυξημένη παραγωγή τροφίμων για να φιλοξενήσει τον μεγάλο παγκόσμιο πληθυσμό. Γι' αυτόν τον στόχο εφαρμόζονται νέες τεχνολογίες για την παροχή μιας βέλτιστης εναλλακτικής λύσης για τη συλλογή και επεξεργασία πληροφοριών για τη βελτίωση της παραγωγικότητας. Η ανάπτυξη φυτών δεν αποτελεί έναν ενιαίο, ομοιογενή κλάδο της επιστήμης. Ως γνήσιο κομμάτι της βιολογίας συνδυάζει πολλούς επιμέρους τομείς βασικής και εφαρμοσμένης επιστήμης, όπως είναι η κυτταρική βιολογία, η φυσιολογία, η βιοχημεία, η μοριακή βιολογία, η γενετική, η μικροβιολογία, η φυσική, η χημεία, η φαρμακολογία, η γεωπονία και η βοτανική, η μηχανολογία, η επιστήμη αυτοματισμών κ.λπ. Έτσι, η εξέλιξη της ανάπτυξης φυτών εξαρτάται άμεσα από τις εξελίξεις των επιμέρους επιστημών, δηλαδή είναι μια συνεχής και αδιάλειπτη διαδικασία. Οι δυνατότητες των νέων τεχνολογιών επηρεάζουν τις αλλαγές στον τρόπο λειτουργίας ορισμένων γεωργικών δραστηριοτήτων μέσω της υιοθέτησης νέων επιχειρηματικών μοντέλων. Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός υιοθετημένων μοντέλων μέσω των οποίων οι αγρότες μπορούν να αυξήσουν την παραγωγή, να βελτιστοποιήσουν την κατανάλωση πόρων, το κόστος και τις ποσοτικές και ποιοτικές ευκαιρίες παραγωγής, σύμφωνα με τις ιδιαιτερότητες της παραγωγής. Για τους αγρότες είναι σημαντικό η εύρεση βέλτιστης εφαρμογής των τεχνικών ανάπτυξης των φυτών για βελτιστοποίηση της ποσότητας και της ποιότητας, για την ενίσχυση της αποδοτικότητας και για αύξηση της κερδοφορίας της παραγωγής, διατηρώντας παράλληλα τις απαιτήσεις εργασίας στο ελάχιστο. Οι Cai et al, (2008) προτείνουν τη Βελτιστοποίηση Ανάπτυξης Φυτών (Plant Growth Optimization). Επίσης από τους Zhao et al. (2011) προτάθηκε ο Αλγόριθμος Βελτιστοποίησης Τεχνητού Φυτού (Artificial Plant Optimization Algorithm). Ο Yang (2012) πρότεινε το 2012 τον αρκετά γνωστό Αλγόριθμο Επικονίσσης Λουλουδιών (Flower Pollination Algorithm). Οι Baudoin et al (2013] ανέφερε ότι η μέθοδος καλλιέργειας τεχνητών φυτών είναι ένας από τους θεμελιώδεις τύπους γεωργίας ακριβείας. Οι Bidar et al. (2018) εφάρμοσαν την μέθοδο που πρότειναν την ίδια χρονιά, τη Βελτιστοποίηση Αναπαραγωγής Μανιταριών (Mushroom Reproduction Optimization). Επίσης οι Gupta (2020) πρότειναν τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης τεχνητών φυτών για την ανίχνευση μολυσμένων φύλλων χρησιμοποιώντας μηχανική εκμάθηση.



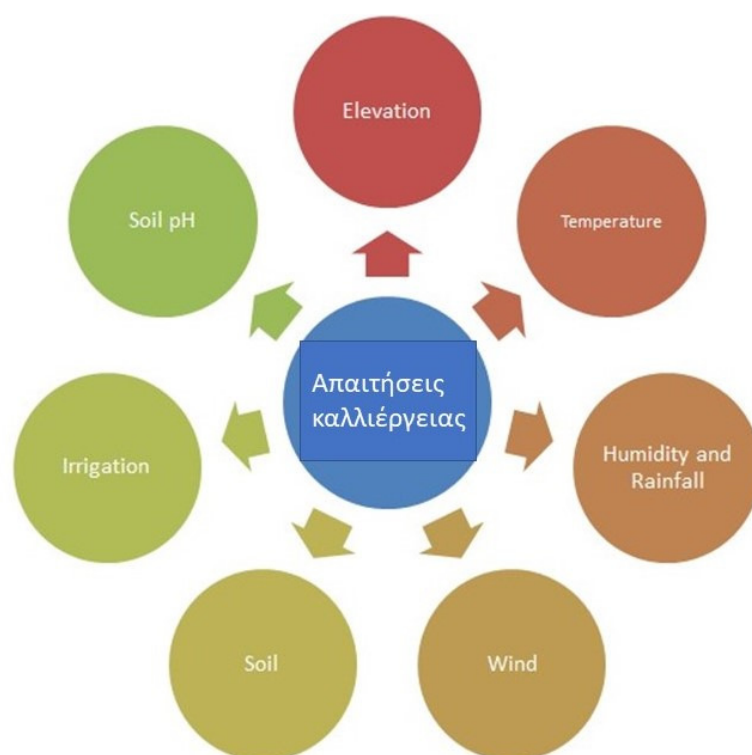
Αλγόριθμος βελτιστοποίησης τεχνητών φυτών για την ανίχνευση μολυσμένων φύλλων χρησιμοποιώντας μηχανική εκμάθηση

Μια από τις σύγχρονες εξελίξεις στην ανάπτυξη φυτών είναι η ενσωμάτωση αισθητήρων σε κάθε στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας. Η βελτιστοποίηση στη γεωργία είναι ζωτικής σημασίας για τη μείωση του κόστους, αλλά και για οικολογικούς λόγους καθώς και για την αύξηση της απόδοσης των καλλιεργειών. Η αύξηση της παραγωγής επιτυγχάνεται με τη βελτίωση του εδάφους, τη δημιουργία ποικιλιών που έχουν την δυνατότητα να αντέχουν περισσότερο στο υπάρχον έδαφος και κλίμα καθώς και τη βελτίωση της συγκομιδής. Η βελτιστοποίηση της παραγωγής είναι η μείωση των πόρων στην καλλιέργεια ώστε να επιτευχθεί μικρότερο κόστος καθώς και η ελαχιστοποίηση χρήσης φαρμάκων για την αποφυγή της χρήσης χημικών ουσιών σε γόνιμη γη. Η παρακολούθηση του εδάφους έχει γίνει μια από τις πιο απαιτητικές πρακτικές στον τομέα της γεωργίας. Στην παρακολούθηση του εδάφους υπάρχουν πολλά περιβαλλοντικά προβλήματα που επηρεάζουν την παραγωγή των καλλιεργειών.

Κεφάλαιο 3

3 Νέες τεχνολογίες ανάπτυξης φυτών

Ο συνδυασμός των παραδοσιακών μεθόδων με τις πιο σύγχρονες τεχνολογίες, όπως το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) και τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, οδηγεί σε εκσυγχρονισμό της γεωργίας. Το Δίκτυο ασύρματων αισθητήρων που συλλέγει τα δεδομένα από διαφορετικούς τύπους αισθητήρων το στέλνει στον κύριο διακομιστή χρησιμοποιώντας ασύρματο πρωτόκολλο. Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IOT) είναι μια από τις πιο εξελιγμένες τεχνολογικές τάσεις (Halim et al, 2017).



Απαιτήσεις καλλιέργειας ανάπτυξης φυτών (Halim et al, 2017).

Halim et al, (2017) σχεδίασαν την παρακολούθηση της ανάπτυξης των φυτών σε πραγματικό χρόνο και τη διασφάλιση της διατήρησης των βέλτιστων συνθηκών με την εισαγωγή παρεμβάσεων με βάση τις φάσεις ανάπτυξης. Το σύστημα τους ταιριάζει σε πολλούς τύπους φυτών στο θερμοκήπιο. Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (WSN) αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό κόμβων αισθητήρων που αναπτύσσονται σε μια περιοχή. Οι κόμβοι αισθητήρων επικοινωνούν ασύρματα σε μικρές αποστάσεις και είναι σε θέση να οργανώσουν ένα αυτόνομο δίκτυο. Οι κόμβοι αισθητήρων συλλέγουν πληροφορίες σχετικά με το θερμοκήπιο και επικοινωνούν μέσω δικτύου σε ένα σύστημα υπολογιστή, τον σταθμό βάσης. Στη συνέχεια, το σύστημα αντιδρά σύμφωνα

με το χρονοδιάγραμμα που έχει εφαρμοστεί.. Η βέλτιστη ανάπτυξη των φυτών εξαρτάται από πολλές και διάφορες παραμέτρους όπως η άρδευση, η υγρασία του εδάφους, η υγρασία, η θερμοκρασία, η ακτινοβολία του φωτός, το επίπεδο pH και το CO₂. Halim et al, 2017 ανέπτυξαν ένα αυτοματοποιημένο σύστημα προγραμματισμού εξετάζοντας όλες τις βέλτιστες απαιτήσεις ανάπτυξης φυτών για κάθε φάση του φυτού. Με την εκμηχάνιση της γεωργίας έδωσε την δυνατότητα στους γεωργούς να κάνουν εργασίες μεγάλης κλίμακας σε λίγο χρόνο. Έτσι η διαχείριση των αγροκτημάτων γίνεται με βάση τους μέσους όρους της παραγωγής, των ιδιοτήτων του εδάφους και των χαρακτηριστικών της καλλιέργειας. Η βασική υπόθεση είναι ότι τα αγροκτήματα πρέπει να είναι ομοιόμορφα. Η διαχείριση στηρίζεται στη δειγματοληψία του εδάφους σε τυχαία σημεία του αγρού και καθορισμό της ποσότητας του λιπάσματος που θα εφαρμοστεί με βάση τον μέσο όρο των εδαφικών ιδιοτήτων. Το λίπασμα διανέμεται ομοιόμορφα σε όλο τον αγρό, χωρίς να λαμβάνεται η χωρική παραλλακτικότητα του εδάφους και της παραγωγής. Ο τρόπος αυτός έχει ως αποτέλεσμα σε μερικά σημεία του αγρού να εφαρμόζεται μεγαλύτερη ποσότητα λιπάσματος από την απαιτούμενη με αποτέλεσμα την σπατάλη του λιπάσματος και μείωση της ποιότητας του παραγομένου προϊόντος ενώ σε άλλες περιοχές μικρότερη ποσότητα από την απαιτούμενη, με αποτέλεσμα την μείωση της παραγωγής. Το ίδιο ισχύει και με τις υπόλοιπες εισροές, όπως τα φυτοφάρμακα και το νερό άρδευσης, τα οποία εφαρμόζονταν ομοιόμορφα στον αγρό. Η εφαρμογή νέων τεχνολογιών στη γεωργία, δίνει τη δυνατότητα σήμερα να μετρηθεί η χωρική και χρονική παραλλακτικότητα των παραμέτρων παραγωγής και να αναπτυχθούν συστήματα γεωργίας ακριβείας.

3.1 Ευφυής Γεωργία

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) λόγω της αύξησης του πληθυσμού, οι απαιτήσεις για σίτιση του ανθρώπινου είδους θα αυξηθούν κατά 70% μέχρι το 2050, κρίνοντας απαραίτητη την σωστή διαχείριση των πόρων. Ο πρωτογενής τομέας, είναι υπεύθυνος για την επιβάρυνση του περιβάλλοντος, αφού το ένα πέμπτο των συνολικών εκπομπών αερίων που παράγονται είναι υπεύθυνα για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Επίσης, λόγω της αύξησης του πληθυσμού εκτιμάται ότι μέχρι το 2050 οι παγκόσμιες γεωργικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου θα αυξηθούν τουλάχιστον κατά 30%. Τα προβλήματα τα οποία προκαλούν την επιβάρυνση του

αγροτικού τομέα στο περιβάλλον ευθύνονται τόσο στις αυξημένες απαιτήσεις των ανθρώπων για σίτιση όσο και στην κακή διαχείριση των πόρων που διαχειρίζεται ο αγρότης. Ένας τρόπος για να αντιμετωπιστούν αυτά τα προβλήματα και να αυξηθεί με την σειρά της η ποιότητα και η ποσότητα των αγροτικών προϊόντων, η αγροτική παραγωγή και η μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης, είναι η ενσωμάτωση των **Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών** στον πρωτογενή τομέα. Η Ευφυής Γεωργία αντιπροσωπεύει την εφαρμογή των σύγχρονων Τεχνολογιών Πληροφορίας και Επικοινωνιών στην γεωργία και θεωρείται ως τρίτη Πράσινη Επανάσταση. Μετά τις επαναστάσεις αναπαραγωγής των φυτών και της γενετικής, αυτή η τρίτη Πράσινη Επανάσταση αρχίζει και αναπτύσσεται στο γεωργικό κόσμο με βάση τη συνδυασμένη εφαρμογή των λύσεων, όπως ο εξοπλισμός ακριβείας, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things – IoT), οι αισθητήρες και ενεργοποιητές, τα συστήματα γεω-εντοπισμού, τα Μεγάλα Δεδομένα (Big Data), τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα, τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη και η ρομποτική (<https://www.smart-akis.com>).

Ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά της τεχνολογίας, στο οποίο στηρίζονται οι βασικές λειτουργίες της ευφυούς γεωργίας, είναι η επικοινωνία μεταξύ αυτοματοποιημένων ή ημι-αυτοματοποιημένων κόμβων, η ανταλλαγή και επεξεργασία δεδομένων μεταξύ τους και στην συνέχεια, η εξαγωγή χρήσιμων πληροφοριών (Παμπουλάκης, & Τσόπελα, 2020). Η Ευφυής Γεωργία έχει την δυνατότητα να δώσει πιο παραγωγική και βιώσιμη γεωργική παραγωγή που θα βασίζεται σε μια προσέγγιση ακριβούς και αποδοτικής χρήσης των πόρων. Τα συστήματα της Ευφυούς Γεωργίας επιτρέπουν στον αγρότη την καλύτερη διαχείριση των πόρων που διαθέτει, αυξάνοντας την ποσότητα και την ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων και μειώνοντας το κόστος σε δαπάνες για περίσσιους πόρους όπως περισσότερη χρήση νερού και φυτοφαρμάκων. Οι εφαρμογές της Ευφυούς Γεωργίας μπορούν να δράσουν για την τόνωση και μικρότερων εκτάσεων και επιχειρήσεων όπως μικρές εκμεταλλεύσεις ή συγκρότημα εκμεταλλεύσεων. Η Ευφυής Γεωργία επίσης μπορεί να παρέχει μεγάλα οφέλη σχετικά με το περιβάλλον, όπως μέσω της αποτελεσματικότερης χρήσης του νερού ή της βελτιστοποίησης των γεωργικών πρακτικών. Με την στήριξη όλων των τύπων καλλιεργειών ενισχύεται ο αγροτικός τομέας ως ένα κλάδο που εμπνέει σεβασμό και διαφάνεια στον ευρωπαϊό καταναλωτή, την κοινωνία και τη συνείδηση της αγοράς με ποικιλία πολύ ποιοτικών προϊόντων σε προσιτές τιμές, τα οποία έχουν παραχθεί με διαδικασίες φιλικές προς το περιβάλλον.

Η πρώτη εφαρμογή της Ευφυούς Γεωργίας χρονολογείται από το 1929 όταν οι Linsley και Bauer ανέπτυξαν τον πρώτο χάρτη για τη μελέτη της μεταβλητότητας του pH του εδάφους. Οι ερευνητικές δραστηριότητες στην ευφυή γεωργία πραγματοποιήθηκαν για πρώτη φορά κατά την δεκαετία του 1980, με την δημιουργία του πρώτου μετρητή απόδοσης καλλιέργειας σε θεριζοαλωνιστική μηχανή, την δημιουργία αισθητήρων εδάφους, την κατασκευή συστημάτων εντοπισμού θέσης Global Positioning System (GPS) το 1984 και των τεχνολογιών του συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) σε πανεπιστήμια ανά τον κόσμο. Στα μέσα της δεκαετίας του 1990 δημιουργήθηκαν ειδικά συστήματα ανίχνευσης του εδάφους τα οποία μετρούσαν την περιεκτικότητα της καλλιέργειας σε χλωροφύλλη. Έως το 2002 είχαν πραγματοποιηθεί μετρήσεις ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους, λήψεις δορυφορικών εικόνων καθώς επίσης έγινε η πρώτη προσπάθεια με συστήματα ανίχνευσης ζιζανίων στις καλλιέργειες (Καραγιάννης & Κοτσορώνης, 2021). Το 1997 και το 2005 έγιναν τα πρώτα ευρωπαϊκά και ασιατικά συνέδρια με θέμα την ευφυή γεωργία και από τότε θεωρείται ένα από τα πιο σημαντικά θέματα παγκοσμίως. Τέλος, το 2015 εισήγαγαν τα πρώτα ρομποτικά συστήματα σε καλλιέργειες. Στις παραδοσιακές μεθόδους καλλιέργειας απαιτείται από τον αγρότη να κάνει επιτόπιο έλεγχο στον αγρό και να παρακολουθεί την σοδιά και τις συνθήκες που επικρατούν, κάτι το οποίο όσο αυξάνονται οι εκτάσεις γίνεται όλο και δυσκολότερο κυρίως για διαφορετικές καλλιέργειες με απαιτητικά είδη που το κάθε ένα έχει διαφορετικές ανάγκες σε νερό και συνθήκες. Σήμερα ο έλεγχος αυτός γίνεται αυτοματοποιημένα με χρήση αισθητήρων που συλλέγουν πληροφορίες τις οποίες μπορεί κάποιος να παρακολουθήσει και να αναλύσει από απόσταση σε πραγματικό χρόνο, έτσι ειδοποιούν αυτόματα τον αγρότη αν υπάρχει κάποιο πρόβλημα, όπως αισθητήρες νερού, θερμοκρασίας και υγρασίας. Επομένως, ο αγρότης επικεντρώνεται στην αντιμετώπιση άλλων σοβαρότερων ζητημάτων όπως τα ζιζάνια, οι ασθένειες των φυτών και η προώθηση των προϊόντων του σε νέες αγορές. Η Ευφυής Γεωργία αξιοποιεί στο έπακρο τους πόρους που διαθέτει ο κάθε αγρότης όπως ανθρώπινο δυναμικό, εξοπλισμός και εκτάσεις γης. Παράλληλα φέρνει ουσιαστικά οικονομικά οφέλη μειώνοντας κάθε λογής σπατάλη όπως ώρες εργασίας ή υπερβολική χρήση φυτοφαρμάκων. Για παράδειγμα, με τους αισθητήρες είναι δυνατόν να παρακολουθούνται τα επίπεδα υγρασίας στο έδαφος και να αρδεύονται τα φυτά με την κατάλληλη ποσότητα νερού, ανάλογα με τον σκοπό που εξυπηρετούν, όπως άρδευση σποράς, άρδευση παραγωγής. Οι αρδεύσεις φυλλικής μάζας πραγματοποιούνται στο βλαστικό στάδιο της καλλιέργειας με σκοπό να αυξήσουν την παραγωγή του υπέργειου τμήματος αυτής, σε βάρος της ανάπτυξης

του ριζοστρώματος. Οι αρδεύσεις παραγωγής καρπού (συμπίπτουν με την κρίσιμη περίοδο άρδευσης των καλλιεργειών και είναι κατά κανόνα πολύ μεγαλύτερες σε ποσότητα νερού από εκείνες της παραγωγής φυλλικής μάζας. Ένα ακόμα πλεονέκτημα με τους αισθητήρες είναι η συνεχής παρακολούθηση των δεδομένων και των τιμών, για την καλύτερη δυνατή αποδοτικότητα.

Σε ένα θερμοκήπιο με χρήση τεχνολογίας αυτοματισμών διατηρούνται η θερμοκρασία, το φως και η υγρασία πάντα στα επιθυμητά επίπεδα.

Υπολογιστικό Νέφος (Cloud Computing)

Με τον όρο Cloud Computing ορίζεται ένα νέο μοντέλο όπου το σύνολο των υπολογιστικών πόρων που χρειάζονται οι χρήστες είναι διαθέσιμο στο διαδίκτυο χωρίς την φυσική παρουσία στον χώρο του χρήστη. Στο σύνολο των υπολογιστικών πόρων πέρα από εφαρμογές και υπηρεσίες, περιέχεται και hardware υποδομή (Server, storage, network) και πλατφόρμες ανάπτυξης εφαρμογών (frame Works, libraries). Το National Institute Standards and Technology (NIST) ορίζει το Cloud Computing ως «το μοντέλο εκείνο που επιτρέπει την on-demand δικτυακή πρόσβαση σε ένα μεγάλο περιεχόμενο από υπολογιστικούς πόρους (όπως είναι networks, Server, storage, εφαρμογές και υπηρεσίες) που οργανώνεται εύκολα και επιτρέπει την αξιοποίηση του από τους χρήστες. Το υπολογιστικό νέφος έχει εισαχθεί στην αγορά πληροφορικής κατά την τελευταία δεκαετία. Οι περισσότερες εφαρμογές κινητής τηλεφωνίας βασίζονται κατά κύριο λόγο σε υπηρεσίες νέφους. Το υπολογιστικό νέφος μπορεί να διαχειρίζεται τα Big Data με την δυνατότητα της επεξεργασίας δεδομένων και την απόσπαση σημαντικών γνώσεων. Το νέφος στο IoT παρέχει αυτονομία και πρόσβαση σε κοινή λίστα των πόρων πληροφορικής που διατηρούνται στο διακομιστή αποθήκευσης. Η εφαρμογή IoT απαιτεί από ένα νέφος:

- Υποστήριξη τεράστιου αριθμού συσκευών επικοινωνίας.
- Άμεση διαθεσιμότητα για υπολογισμό.
- Ιδιωτικότητα στα δεδομένα.
- Έπαρξη χώρου για αποθήκευση.
- Παροχή αναλυτικών εκθέσεων.
- Χαμηλό κόστος λειτουργίας.

Για την αντιμετώπιση των απαιτήσεων των εφαρμογών από κινητές συσκευές, το υπολογιστικό νέφος συγκεντρώνει μεγάλο εύρος πόρων υπολογιστών από

απομακρυσμένους διακομιστές στους οποίους θα εκφορτωθούν οι εργασίες εφαρμογής.

Δεδομένα μεγάλου όγκου (Big Data)

Τα Big Data στη γεωργία συλλέγονται με τη μορφή δομημένου και αδόμητου τύπου. Οι συσκευές ανίχνευσης και οι νέες τεχνολογίες είναι αναγκαίες για τη συλλογή διαφορετικών τύπων δεδομένων. Περιλαμβάνουν ένα πλήθος δεδομένων σχετικά με τις πληροφορίες που λαμβάνονται από τις καλλιέργειες από τον έλεγχο των περιβαλλοντικών συνθηκών, την κατάσταση της καλλιέργειας, την ποσότητα νερού, λιπάσματος κλπ. Τα Big Data βασίζονται σε τρία χαρακτηριστικά:

1. Όγκο (Volume): Ο όγκος των δεδομένων που προέρχονται από οργανισμούς ή άτομα είναι τεράστιος. Οι επιχειρήσεις χρειάζονται να αντιμετωπίσουν τον μεγάλο όγκο δεδομένων.
2. Ταχύτητα (Velocity): Η συχνότητα και η ταχύτητα με την οποία παράγονται, καταγράφονται και μοιράζονται τα δεδομένα. Οι επιχειρήσεις και οι αγρότες που σχετίζονται με τη γεωργία παράγουν πλήθος δεδομένων ανά πάσα στιγμή.
3. Ποικιλία (Variety): Η εισαγωγή νέων τύπων δεδομένων που προέρχονται από κοινωνικές, μηχανικές και κινητές πηγές. Αυτά τα δεδομένα περιλαμβάνουν το περιεχόμενο, τη γεωγραφική περιοχή, τα αρχεία καταγραφής, τους χάρτες, τα δεδομένα μηχανών, τα δεδομένα αισθητήρων, τα κινητά, τα σημεία φυσικών δεδομένων, τη διαδικασία κλπ.

Το IoT χρειάζεται μια κοινή πλατφόρμα ανάλυσης δεδομένων που θα χαρακτηρίζεται ως υπηρεσία για εφαρμογές IoT.

3.2 Διαδίκτυο των πραγμάτων (IOT)

Το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) είναι η διασύνδεση φυσικών συσκευών, οχημάτων (αναφέρονται ως "συνδεδεμένες συσκευές" και "έξυπνες συσκευές"), κτιρίων και άλλων αντικειμένων που συνδέονται με ηλεκτρονικά, λογισμικά, αισθητήρες, ενεργοποιητές και δίκτυο που επιτρέπουν σε αυτά τα αντικείμενα να συλλέγουν και να ανταλλάσσουν δεδομένα. Ο τομέας της γεωργίας είναι αναπόσπαστα συνδεδεμένος με IoT συσκευές διότι χρησιμοποιούνται ρομποτικά και μηχανικά μέρη για την αυτοματοποίηση διαφόρων και συνεχώς εξελισσόμενων και προηγμένων εργασιών με

απώτερο στόχο την αύξηση της παραγωγής. Η ενσωμάτωση ασύρματων αισθητήρων με εφαρμογές αγροτικών κινητών εφαρμογών και πλατφόρμες Cloud βοηθά στη συλλογή αναγκαίων πληροφοριών σχετικά με τις περιβαλλοντικές συνθήκες, η θερμοκρασία, η βροχόπτωση, η υγρασία, η ταχύτητα του ανέμου, η μόλυνση από παράσιτα, το χόμα εδάφους ή τα θρεπτικά συστατικά, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση και την αυτοματοποίηση των γεωργικών τεχνικών, τη λήψη σωστών αποφάσεων για τη βελτίωση της ποιότητας και της ποσότητας και την μείωση των κινδύνων και των αποβλήτων. Η παρακολούθηση των καλλιεργειών με βάση την εφαρμογή μειώνει τις δυσκολίες διαχείρισης των καλλιεργειών σε διαφορετικές τοποθεσίες. Οι αγρότες μπορούν να ανιχνεύσουν τώρα ποιες περιοχές γονιμοποιήθηκαν, εάν η γη είναι πολύ ξηρή και προβλέπουν μελλοντικές αποδόσεις. Έχουν δοθεί πολλοί και διάφοροι ορισμοί σχετικά με το Διαδίκτυο των πραγμάτων, αλλά δεν υπάρχει συγκεκριμένος ορισμός.

Σύμφωνα με τον διεθνή οργανισμό GSMA το Internet of Things θεωρείται η χρήση δικτυακών έξυπνων συσκευών και συστημάτων χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που συλλέγονται από ενσωματωμένους αισθητήρες σε συσκευές και αντικείμενα. Μεγάλος αριθμός υπηρεσιών αναμένεται να αναπτυχθούν στα επόμενα χρόνια οι οποίες θα βελτιώσουν πολλούς τομείς όπως η ποιότητα ζωής, ασφάλεια, υγεία, ενέργεια, αποδοτικότερη διαχείριση πόρων αλλά και πολλών άλλων καθημερινών εργασιών.

Ο οργανισμός IEEE θεωρεί το IoT «σαν ένα δίκτυο αντικειμένων-με ενσωματωμένους αισθητήρες-το οποίο έχει δυνατότητα πρόσβαση στο διαδίκτυο.

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) παίζει σημαντικό ρόλο στην ανταλλαγή οντοτήτων και στην ελαχιστοποίηση του φόρτου εργασίας των ανθρώπων σε διάφορες πτυχές. Υπάρχουν πολλά προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι αγρότες στη γεωργία λόγω έλλειψης και σπατάλης νερού και λιπασμάτων. Έτσι αναπτύχθηκε και προτάθηκε ένα βέλτιστο μοντέλο IoT για την επίτευξη ενός αποτελεσματικού καλλιεργειαίου πεδίου. Ο κινητήρας συνδέεται με το μοντέλο IoT, το οποίο ενεργοποιεί/ απενεργοποιείται αυτόματα με βάση τη βέλτιστη θερμοκρασία κατωφλίου και την τιμή περιεκτικότητας σε υγρασία εδάφους. Ένας νέος αλγόριθμος άρδευσης που ονομάζεται αλγόριθμος διαφορικής ροής νερού έχει αναπτυχθεί στο προτεινόμενο μοντέλο IoT για την αυτόματη χρήση του κινητήρα στο πεδίο. Το σύστημα IoT παρέχει μια διεπαφή ιστού στο χρήστη μέσω της αποθήκευσης στο cloud, έτσι ώστε ο αγρότης ελέγχει και παρακολουθεί το σύστημα εξ αποστάσεως. Αυτό το σύστημα θα μειώσει την κατανάλωση νερού και θα εξασφαλίσει ομοιόμορφη κατανομή στις καλλιέργειες μέσω

της κατανομής Poisson, που έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της απόδοσης. Ο κυριότερος λόγος για τη μείωση της απόδοσης των καλλιεργειών είναι η σπατάλη και η έλλειψη νερού και λιπασμάτων. Η έλλειψη νερού οφείλεται στη μη διαθεσιμότητα βροχής και μη στοιβασίας του νερού στα πηγάδια. Με βάση την έρευνα, η γεωργία χρησιμοποιεί περισσότερο από το 3/4 του χρησιμοποιούμενου νερού στον κόσμο.

Απαραίτητη είναι η ανάγκη να αντιμετωπίσουμε τις προκλήσεις της έλλειψης και της σπατάλης νερού για την επίτευξη της βέλτιστης απόδοσης στους των γεωργικών καλλιεργειών. Το IoT είναι ο συνδυασμός διαφόρων τομέων όπως το ενσωματωμένο σύστημα, τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, η ανάλυση δεδομένων και το υπολογιστικό νέφος.

Σε οποιοδήποτε αρδευτικό σύστημα, οι καλλιέργειες στο έδαφος παίρνουν το νερό με βάση την ποικιλία του εδάφους. Η χωρητικότητα του νερού για την καλλιέργεια μετράται με βάση την ποικιλία του εδάφους. Στόχος του μοντέλου RF είναι η ανταλλαγή των πληροφοριών με τον υπεύθυνο επεξεργασίας στο μοντέλο άρδευσης. Το σύστημα αυτό αποτελείται από τρία στοιχεία του τελικού χρήστη τα οποία αλληλεπιδρούν μεταξύ τους με σκοπό την άρδευση των καλλιεργειών του συγκεκριμένου γεωργικού τομέα. Τα παραδοσιακά έξυπνα συστήματα άρδευσης είναι χρήσιμα για τη βελτίωση των διαδικασιών της τεχνολογίας άρδευσης με τη χρησιμοποίηση των αλγορίθμων με τρόπο σχηματικό και αυτοσχέδια δομή στους απαιτούμενους κόμβους για το μοντέλο άρδευσης. Μπορεί να γίνει η ενσωμάτωση των κινητών τηλεφώνων με τα εξαρτήματα IoT για οποιαδήποτε χρήσιμη εργασία. Το IoT έχει την δυνατότητα να συνδέσει διάφορα ηλεκτρικά εξαρτήματα που βρίσκονται σε διάφορες γεωγραφικές τοποθεσίες. Η σύνδεση δημιουργεί την επικοινωνία μεταξύ αυτών των συσκευών χρησιμοποιώντας το Wi-Fi. Η ανάλυση γίνεται από το μοντέλο IoT για τα αποτελέσματα της πρόβλεψης και την αξιολόγηση. Η τεχνολογία cloud του μοντέλου IoT χρησιμοποιείται για την αποθήκευση των δεδομένων της διαδικασίας σε οποιαδήποτε θέση του.

Στην βιβλιογραφία με τον όρο Cloud Computing ορίζεται ένα νέο μοντέλο όπου το σύνολο των υπολογιστικών πόρων που χρειάζονται οι χρήστες είναι διαθέσιμοι στο διαδίκτυο χωρίς να απαιτείται η φυσική παρουσία στον χώρο του χρήστη. Στο σύνολο των υπολογιστικών πόρων πέρα από εφαρμογές και υπηρεσίες, περιέχεται και hardware υποδομή (servers, storage, network) και πλατφόρμες ανάπτυξης εφαρμογών (frameworks, libraries). Το National Institute Standards and Technology (NIST) ορίζει το Cloud Computing ως «το μοντέλο εκείνο που επιτρέπει την on-demand δικτυακή

πρόσβαση σε ένα μεγάλο περιεχόμενο από υπολογιστικούς πόρους (όπως είναι networks, servers, storage, εφαρμογές και υπηρεσίες) που μπορούν με την ελάχιστη προσπάθεια να ρυθμιστούν γρήγορα και εύκολα με τέτοιο τρόπο που να επιτρέπει την αξιοποίηση τους από τους χρήστες». Το υπολογιστικό νέφος αποτελείται από δύο μέρη, το front-end και το back-end. Το front-end είναι αυτό που βλέπουν και αλληλοεπιδρούν οι χρήστες ενώ το back-end είναι η υποδομή που υπάρχει στο cloud. Για παράδειγμα ο χρήστης μέσω του front-end εφαρμογών της Google θέλει να ελέγξει τα δεδομένα, η εφαρμογή συνδέεται με κάποιον απομακρυσμένο server στο cloud, αντίστοιχα ο server στο back-end βρίσκει που είναι αποθηκευμένα τα αρχεία του χρήστη και στην συνέχεια στέλνεται η αντίστοιχη απάντηση πίσω στον χρήστη. Υπάρχουν τέσσερις βασικές κατηγορίες μοντέλων "υπηρεσιών σύννεφου

- Λογισμικό ως υπηρεσία (Software-as-a-Service)ή (SaaS)
- Πλατφόρμα ως υπηρεσία(Platform-as-a-Service)ή (PaaS)
- Υποδομή ως υπηρεσία(Infrastructure-as-a-Service)ή (IaaS).
- Επιφάνεια εργασίας ως υπηρεσία (Desktop-as-a-Service)ή (DaaS)

Η μονάδα επεξεργασίας του μοντέλου IoT περιέχει τις συσκευές αλληλεπίδρασης καθορίζοντας την επικοινωνία με το χρήστη. Ο αισθητήρας καταγράφει την είσοδο του περιβάλλοντος που αναλύεται και μεταφράζεται σε ανθρώπινη κατανοητή μορφή και την στέλνει στο χρήστη. Τα κινητά τηλέφωνα ή οποιοσδήποτε ηλεκτρονικές συσκευές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη λήψη των δεδομένων από το μοντέλο IoT. Το προτεινόμενο σύστημά μας θα παρέχει τη βέλτιστη λύση και θα αναπτύξει ένα αποτελεσματικό μοντέλο άρδευσης με βάση την υγρασία, τη θερμοκρασία και την υγρασία του εδάφους για την αντιμετώπιση της σπατάλης του νερού και των λιπασμάτων. Επομένως το προτεινόμενο μοντέλο όπως έχει αναφερθεί παρέχει τη βέλτιστη λύση για την λειψυδρία στα χωράφια των γεωργικών καλλιεργειών παρατηρώντας τις διάφορες παραμέτρους όπως η θερμοκρασία του περιβάλλοντος, η υγρασία του περιβάλλοντος και η υγρασία του εδάφους του συγκεκριμένου αγρού χρησιμοποιώντας τους αισθητήρες των παραμέτρων που αναφέρονται παραπάνω. Με βάση τα αποτελέσματα των παραπάνω παραμέτρων αποστέλλονται στη διεπαφή του χρήστη που έχει τη διεύθυνση IP που έχει εκχωρηθεί. Έτσι το μοντέλο IoT συγκεντρώνει τις πληροφορίες από την εκχωρημένη διεύθυνση IP με συνεχή τρόπο για την ανάλυση των πληροφοριών. Όταν οι προκύπτουσες τιμές των παραμέτρων όπως η θερμοκρασία, και η υγρασία υπερβαίνουν τις οριακές τιμές του περιβάλλοντος, τότε το

μοντέλο IoT ελέγχει αυτόματα τον κινητήρα του πεδίου. Οι αισθητήρες για τον προσδιορισμό του επιπέδου υγρασίας στο έδαφος, του βαθμού θερμοκρασίας του συγκεκριμένου περιβάλλοντος και των αισθητήρων που ανταλλάσσουν τις πληροφορίες στη διεπαφή χρήστη βρίσκονται στην περιοχή της ρίζας της καλλιέργειας. Ο αλγόριθμος εισάγεται στον μικροελεγκτή για την παρακολούθηση και τη διαχείριση της ποσότητας νερού.

Έχει προταθεί ένα αυτόματο μοντέλο άρδευσης με την προσθήκη των τιμών της υγρασίας στο έδαφος που λειτουργεί αυτόματα για τον κινητήρα νερού. Εκτελεί τη λειτουργία ON/OFF με βάση την υγρασία του εδάφους της καλλιέργειας.

Οι πληροφορίες των παραμέτρων όπως η θερμοκρασία, η υγρασία και η υγρασία στο έδαφος μεταδόθηκαν μέσω SMS. Σε αυτή την εποχή της τεχνολογίας υπολογιστών, το IoT είναι μια εφαρμογή άριστα συνδεδεμένη με τα σημερινά πρότυπα. Σε αυτή την τεχνική εποχή, το IoT είναι ένας από τους μεγαλύτερους και ισχυρούς τρόπους σύνδεσης όλων των συσκευών μέσω μιας παγκόσμιας σύνδεσης και μας δίνει μια ψηφιοποιημένη καθημερινή ζωή. Σήμερα, το IoT έχει αναπτυχθεί ραγδαία με τις διάφορες εφαρμογές του δημιουργώντας μια απομακρυσμένη σύνδεση με το mon-itor τις έξυπνες συσκευές του πραγματικού κόσμου που βοηθούν τις καθημερινές μας χρήσεις αντικειμένων για να κάνουν τη ζωή μας απλούστερη, ασφαλέστερη και τεχνική.

3.3 Δίκτυα Αισθητήρων

Ένα δίκτυο υπολογιστών ή ένα δίκτυο δεδομένων θεωρείται ένα τηλεπικοινωνιακό δίκτυο που επιτρέπει στους κόμβους του να μοιράζονται πόρους. Στα δίκτυα υπολογιστών, δικτυωμένες μονάδες υπολογιστών, μέσω σύνδεσης δεδομένων ανταλλάζουν δεδομένα μεταξύ τους. Η σύνδεση μεταξύ των κόμβων γίνεται είτε ενσύρματα με τη χρήση καλωδίων ή ασύρματα. Το γνωστότερο δίκτυο υπολογιστών είναι το Διαδίκτυο. Οι συσκευές υπολογιστών του δικτύου που δρομολογούν και τερματίζουν δεδομένα ονομάζονται κόμβοι του δικτύου. Αυτοί οι κόμβοι μπορούν να περιλαμβάνουν Hosts όπως προσωπικοί υπολογιστές, κινητά τηλέφωνα, servers, και το υλικό δικτύωσης. Δύο τέτοιες συσκευές θεωρούνται πως έχουν δικτυωθεί μεταξύ τους, όταν μια συσκευή μπορεί να ανταλλάσσει πληροφορίες με την άλλη συσκευή και δεν χρειάζεται να έχουν άμεση σχέση σε φυσικό επίπεδο. Τα δίκτυα υπολογιστών διαφέρουν ως προς το μέσο μετάδοσης που χρειάζεται για τη μεταφορά σημάτων, τα πρωτόκολλα επικοινωνίας

τους τα οποία διαμορφώνουν την κίνηση του δικτύου, το μέγεθος του δικτύου, την τοπολογία και την οργανωτική πρόθεση. Τα δίκτυα υπολογιστών υποστηρίζουν ένα πολύ μεγάλο αριθμό εφαρμογών και υπηρεσιών, όπως η πρόσβαση στο World Wide Web, το ψηφιακό βίντεο, ψηφιακό ήχο, κοινή χρήση application servers, την αποθήκευση δεδομένων σε servers, εκτυπωτές, φαξ, χρήση των εφαρμογών μηνυμάτων ηλεκτρονικού ταχυδρομείου και άμεσων μηνυμάτων κ.α. Όπως και στα δίκτυα των Η/Υ οι ίδιες έννοιες διαμορφώνονται και στα δίκτυα μικροεπεξεργαστών ή και στα ΑΔΑ. Η δυνατότητα συνύπαρξης των δύο είναι δεδομένη. Τα δίκτυα χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες, στα ενσύρματα δίκτυα και στα ασύρματα δίκτυα.

Οι συσκευές της ευφυούς γεωργίας κατηγοριοποιούνται σε

- (α) τους αισθητήρες πεδίου, που ανιχνεύουν τις τιμές των περιβαλλοντικών παραμέτρων, για την βοήθεια της επίγνωσης των συνθηκών της καλλιέργειας,
- (β) τους μικροελεγκτές, οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για την αρχική συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων από τους αισθητήρες και
- (γ) τις συσκευές δικτύωσης που αναλαμβάνουν την αποστολή των δεδομένων μεταξύ των κόμβων πεδίου, με τελικό προορισμό το κέντρο συλλογής δεδομένων.

Αισθητήρας θερμοκρασίας

Ο αισθητήρας θερμοκρασίας και υγρασίας DHT22, είναι μικρός σε μέγεθος, έχει χαμηλό κόστος και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Αποτελείται από ένα χωρητικού τύπου αισθητήρα υγρασίας, μια αντίσταση τύπου θερμίστορ και ένα μονό micro-chip που κάνει την μετατροπή αναλογικού σε ψηφιακού σήματος με πληροφορίες θερμοκρασίας και υγρασίας. Το σήμα έχει μεγάλη εμβέλεια μετάδοσης και το καθιστά πολύ αξιόπιστο. Ο αισθητήρας DHT22 χρησιμοποιείται για θερμοκρασίας μεγάλου εύρους (από -40 έως 80 βαθμούς Κελσίου) και μετρά τη σχετική υγρασία από 0-100% με αρκετά υψηλή ακρίβεια. Ο αισθητήρας παρέχει μια μέτρηση ανά 2 δευτερόλεπτα.

Αισθητήρας υγρασίας εδάφους

Ο αισθητήρας υγρασίας εδάφους χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της υγρασίας του εδάφους γύρω από τα φυτά. Αυτός ο αισθητήρας χρησιμοποιεί δύο καθετήρες για να διαπερνούν το έδαφος με ρεύμα και να εξάγουν το επίπεδο υγρασίας από την αντίσταση που μετρούν. Η μεγάλη περιεκτικότητα σε υγρασία κάνει το έδαφος να άγει πιο εύκολα το ρεύμα, ενώ σε στεγνό έδαφος η αγωγιμότητα μειώνεται.

Αισθητήρας υγρασίας ατμόσφαιρας

Ο αισθητήρας σχετικής υγρασίας HH10D χρησιμοποιεί βαθμονόμηση δύο σημείων με αισθητήρα τύπου πυκνωτή για άριστη απόδοση και παράλληλα πολύ χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Ο αισθητήρας αποτελεί χωρητικού τύπου με CMOS μετατροπέα πυκνότητας σε συχνότητα και μια EEPROM που χρησιμοποιείται για να κρατά τους παράγοντες βαθμονόμησης. Χάρη στα χαρακτηριστικά του μπορεί να αντιδρά στις αλλαγές της υγρασίας ταχύτατα.

Αισθητήρας ηλεκτρικής αγωγιμότητας

Η μέτρηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας στη γεωργία είναι η CEC όγκου εδάφους ή η φαινομενική ηλεκτρική αγωγιμότητα, του επιφανειακού εδάφους, (ECa). Οι διαφορετικές ιδιότητες του εδάφους καθορίζουν και τις τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Με βάση τις πληροφορίες αυτές βοηθούν στη λήψη αποφάσεων σχετικά με την εφαρμογή ζιζανιοκτόνων και αζωτούχων λιπασμάτων, καθώς σημαντικό ρόλο παίζει η υφή του εδάφους.

Αισθητήρας ανίχνευσης φλόγας

Ο αισθητήρας αυτός σχεδιάστηκε για να ανιχνεύει παρουσία φωτιάς. Η ανιχνευμένη φλόγα εξαρτάται από την εγκατάσταση, αλλά περιλαμβάνει την ενεργοποίηση ενός συναγερμού, την απενεργοποίηση μίας γραμμής και την ενεργοποίηση ενός συστήματος πυρόσβεσης.

Αισθητήρες pH

Ο αναλογικός αισθητήρας μέτρησης της τιμής pH χρησιμοποιείται ώστε να εξεταστεί αν το έδαφος είναι όξινο ή βασικό. Αυτός ο αναλογικός αισθητήρας είναι σχεδιασμένος για μικροελεγκτές Arduino καθώς είναι εύκολος στην σύνδεση και με πολύ καλά χαρακτηριστικά. Επιπλέον διαθέτει φωτεινή ένδειξη ισχύος LED και συνδεσιμότητα BNC.

Αισθητήρας έντασης φωτός

Ένας αισθητήρας φωτός μετατρέπει την ένταση του φωτός σε μια έξοδο ηλεκτρικού σήματος. Η ένταση φωτός που ανιχνεύει τις ακτίνες φωτός στην ατμόσφαιρα και μεταδίδει τα δεδομένα στον ελεγκτή.

Ο υπεριώδης αισθητήρας παρακολουθεί τις υπεριώδεις ακτίνες και μετατρέπει το φωτο-ρεύμα σε τάση. Είναι εξοπλισμένος με εσωτερικό ενισχυτή και συνδέεται εύκολα σε εξωτερικά κυκλώματα όπως μετατροπέας αναλογικού σε ψηφιακό. Ο αισθητήρας υπεριωδών ακτινών μπορεί να ανιχνεύει καλύτερα το φως στο εύρος 280-390 nm.

Αισθητήρας διοξειδίου του άνθρακα

Το διοξείδιο του άνθρακα είναι παίζει σημαντικό ρόλο στη διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Ένας τυπικός αισθητήρας διοξειδίου του άνθρακα μετρά τα επίπεδα του διοξειδίου του άνθρακα παρακολουθώντας παράλληλα το ποσοστό της υπέρυθρης ακτινοβολίας που απορροφάτε από τα μόρια του διοξειδίου του άνθρακα. Ο αισθητήρας περιλαμβάνει δύο ρυθμίσεις: χαμηλού εύρους (0-10,000 ppm) και υψηλού εύρους (0-100,000 ppm).

Αισθητήρας υπέρυθρης ακτινοβολίας

Οι αισθητήρες παθητικής υπέρυθρης ακτινοβολίας (Passive Infra-Red – PIR) χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση θερμών στόχων σε κίνηση. Αν οποιοδήποτε ζώο εμφανιστεί στο χωράφι εντοπίζεται από τον αισθητήρα και γίνεται απόθεση μέσω ενός κυκλώματος εκφοβισμού πουλιών.

Αισθητήρας PIR

Οι Verma, et al (2010) στην έρευνά τους *Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων για την παρακολούθηση τομέων περικοπής* αναλύουν τον σχεδιασμό και την λειτουργία ενός Ασύρματου Δικτύου Αισθητήρων (WSN) το οποίο αποτελείται από κόμβους, με σκοπό ο τελικός χρήστης να παρακολουθεί τη θερμοκρασία του αέρα, την υγρασία και την ένταση του περιβάλλοντος φωτός σε μια καλλιέργεια. Έτσι δίνεται η δυνατότητα στους τελικούς χρήστες, όπως οι γεωργοί, να μπορέσουν να καταλάβουν καλύτερα τις γεωργικές πρακτικές που πρέπει να υιοθετηθούν για τη διαχείριση των καλλιεργειών. Το σύστημα σκοπεύει στην επικοινωνία του καλλιεργητή με την εγκατάσταση της καλλιέργειας.

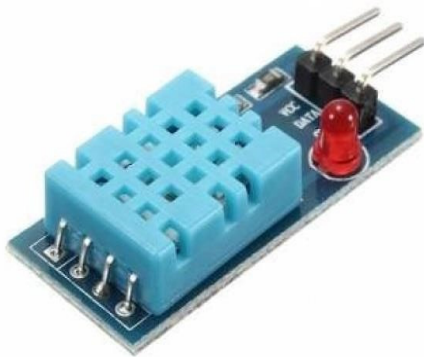
Το προτεινόμενο σύστημα WSN είναι αποτελούμενο από 3 κόμβους αισθητήρων και έχει αναπτυχθεί σε ένα πεδίο brinjal. Κάθε κόμβος αισθητήρα αποτελείται από μονάδα πολλαπλών αισθητήρων υγρασίας θερμοκρασίας SHT15 και αισθητήρα φωτισμού περιβάλλοντος TSL2561, οι οποίοι παρακολουθούν τις βασικές περιβαλλοντικές μεταβλητές στο πεδίο brinjal. Τα δεδομένα του αισθητήρα μεταδίδονται μέσω σύνδεσης ραδιοσυχνοτήτων στο κεντρικά τερματικό υπολογιστή για την καταγραφή και ανάλυση δεδομένων. Όταν το τερματικό του υπολογιστή δεν είναι διαθέσιμο για να αποθηκευτούν τα δεδομένα του αισθητήρα περιλαμβάνεται ένα EEPROM στο μοντέλο πύλης. Εάν η σειριακή θύρα είναι κλειστή, ο μικροελεγκτής B αποθηκεύει όλα τα δεδομένα του αισθητήρα στο EEPROM. Όταν το τερματικό ενεργοποιηθεί ξανά, το EEPROM μπορεί να ανακτήσει τα αποθηκευμένα δεδομένα αισθητήρα μαζί με τις πληροφορίες ώρας και ημερομηνίας. Το EEPROM που χρησιμοποιείται είναι το AT24512 που κατασκευάζεται από την Atmel.

Μικροελεγκτής

Οι Imtiaz Jaya et al. χρησιμοποίησαν το ESP8266-12 που υποστηρίζει δικτύωση Wi-Fi και μπορεί να ενσωματώνεται σε άλλα εξαρτήματα (π.χ. μετατροπείς TTL σε USB) για να δημιουργηθεί μια πλατφόρμα IoT ανοιχτού λογισμικού, το NodeMCU. Διαθέτει είσοδο/έξοδο (IO) όπως το Arduino και έχει την δυνατότητα να προγραμματιστεί σε διάφορες γλώσσες, με αποτέλεσμα να είναι εύχρηστο. Αποτελεί ένα ασύρματο κύκλωμα υψηλής αρχιτεκτονικής, το οποίο έχει χαμηλό κόστος ενέργειας και μικρό σε μέγεθος. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ως αυτόνομη συσκευή ή μπορεί να αυξήσει τις δυνατότητες Wifi μιας άλλης συσκευής. Για εξοικονόμηση ενέργειας περιλαμβάνει τρεις τρόπους λειτουργίας (ενεργό, σε ύπνο, και σε βαθύ ύπνο). Επίσης, η στοίβα πρωτοκόλλου του περιέχει διάφορα πρωτόκολλα (όπως UDP, Websocket, MQTT) τα οποία σχεδιάστηκαν για αποστολή μικρού όγκου δεδομένων, χαμηλή καθυστέρηση και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Μπορεί να λειτουργήσει ως ένας ασύρματος σταθμός, συνδεδεμένο σε ένα ασύρματο σημείο πρόσβασης, ή σαν ένα σημείο πρόσβασης που επιτρέπει άλλες συσκευές με λειτουργία Wi-Fi να συνδεθούν εκεί, ώστε να είναι κατάλληλο για το ρόλο της πύλης δικτύου.



Αισθητήρας θερμοκρασίας και Αισθητήρας υγρασίας εδάφους υγρασίας DHT22



Αισθητήρας ατμοσφαιρικής υγρασίας Αισθητήρας ηλεκτρικής αγωγιμότητας

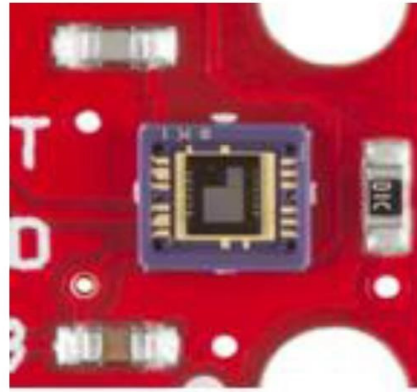


Αισθητήρας ανίχνευσης φλόγας

Αισθητήρας PH



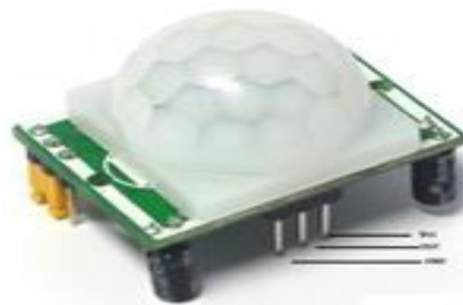
Αισθητήρας έντασης φωτός



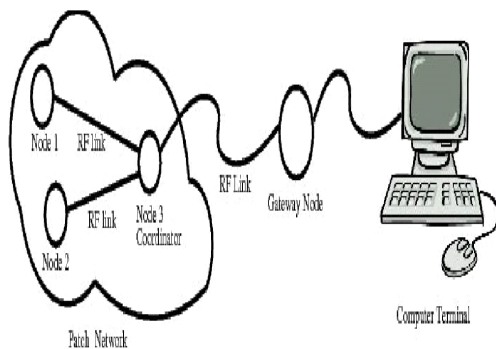
Αισθητήρας υπεριώδους (UV) ακτινοβολίας



Αισθητήρας αερίου



Αισθητήρας PIR



Τοπολογία του WSN.



Πλατφόρμα NodeMCU

3.3.1 Ενσύρματα Δίκτυα

Η ενσύρματη επικοινωνία ονομάζεται η μετάδοση δεδομένων μέσω τεχνολογίας επικοινωνιών που βασίζεται σε καλώδια. Παράδειγμα είναι τα τηλεφωνικά δίκτυα, η καλωδιακή τηλεόραση, η πρόσβαση στο διαδίκτυο και η επικοινωνία με οπτικές ίνες. Τα τοπικά τηλεφωνικά δίκτυα αποτελούν τη βάση για ενσύρματες επικοινωνίες που χρησιμοποιούνται από οικιακούς και από επιχειρηματικούς πελάτες σε μια περιοχή. Τα περισσότερα δίκτυα σήμερα βασίζονται στη χρήση τεχνολογίας οπτικών ινών ως μέσο

παροχής σαφούς σήματος στις εισερχόμενες και εξερχόμενες μεταδόσεις. Οι ενσύρματες επικοινωνίες χαρακτηρίζονται ως οι πιο σταθερές σε σχέση με τους υπόλοιπους τύπους υπηρεσιών επικοινωνίας.

3.3.2 Ασύρματα Δίκτυα

Η ασύρματη επικοινωνία, είναι η μεταφορά πληροφοριών ή τροφοδοσίας μεταξύ δύο ή περισσότερων σημείων που δεν συνδέονται με καλώδιο. Οι συνηθέστερες ασύρματες τεχνολογίες χρησιμοποιούν ραδιοκύματα. Με τα ραδιοκύματα οι αποστάσεις μπορεί να είναι από μικρές ως πολύ μεγάλες. Η ασύρματη μετάδοση περιλαμβάνει πλήθος σταθερών, κινητών και φορητών εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένων αμφίδρομων ραδιοφωνικών συσκευών, κινητών τηλεφώνων, προσωπικών ψηφιακών βοηθών και ασύρματης δικτύωσης.

3.3.3 Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων

Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (ΑΔΑ / Wireless Sensor Network - WSN) συγκροτείται από διασκορπισμένους αυτόνομους κόμβους/αισθητήρες για την παρακολούθηση φυσικών ή περιβαλλοντολογικών παραμέτρων, όπως η θερμοκρασία, ο ήχος, η ατμοσφαιρική πίεση κτλ. Αυτοί μεταφέρουν τα δεδομένα μέσω του ασύρματου δικτύου σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία που συνήθως ονομάζεται Gateway ή Sink. Τα σύγχρονα δίκτυα είναι ικανά και να δίνουν αλλά και να δέχονται πληροφορίες που τους επιτρέπει να ελέγχουν την δραστηριότητα των αισθητήρων. Το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων αποτελείται από δεκάδες έως και χιλιάδες κόμβους, όπου κάθε κόμβος συνδέεται σε έναν ή περισσότερους αισθητήρες. Κάθε κόμβος του δικτύου αισθητήρων αποτελείται από ένα ραδιοπομποδέκτη με μια εσωτερική κεραία ή μια σύνδεση με εξωτερική κεραία, ένα μικροελεγκτή, ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα για τη διασύνδεση με τους αισθητήρες και μια πηγή ενέργειας, συνήθως μια μπαταρία.

Μέσω ενός Δικτύου Αισθητήρων, ο αγρότης μπορεί να ενσωματώνει στο αγροκτημά του αισθητήρες, ανάλογα με τις απαιτήσεις της καλλιέργειας. Η δυνατότητα του δικτύου παρέχει άμεση και αποτελεσματική διαχείριση των απαιτήσεων αλλά και απομακρυσμένη παρακολούθηση των συνθηκών της καλλιέργειάς σε πραγματικό χρόνο. Με την χρήση των αισθητήρων μπορούμε να λάβουμε έναν μεγάλο αριθμό δεδομένων που αφορούν πληροφορίες τόσο για τις κλιματικές συνθήκες όπως:

- Υγρασία και Θερμοκρασία Εδάφους: Τόσο η υγρασία όσο και η θερμοκρασία του εδάφους είναι απαραίτητα στοιχεία τα οποία πρέπει να βρίσκονται στα κατάλληλα όρια, με σκοπό την καλύτερη ανάπτυξη του φυτού. Η υγρασία αποτελεί στοιχείο το οποίο καθορίζει αν το φυτό χρειάζεται πότισμα, με αποτέλεσμα την καλύτερη διαχείριση των υδάτινων πόρων. Η θερμοκρασία του εδαφούς είναι το ίδιο σημαντική, γιατί αν βρίσκεται σε μη επιθυμητά όρια, τότε σημαντικές θρεπτικές ουσίες, όπως ο φώσφορος, δεν γίνονται διαθέσιμες στα φυτά, με αποτέλεσμα να εμποδίζει σε μεγάλο βαθμό την ανάπτυξη τόσο των ριζών όσο και των καρπών.
- Περιβαλλοντικά Δεδομένα: Περιβαλλοντικά δεδομένα θεωρούνται οι πληροφορίες που είναι απαραίτητες για τον προσδιορισμό των συνθηκών οι οποίες διαμορφώνουν το μικροκλίμα της καλλιέργειας μας και είναι σημαντικές για την αποδοτική ανάπτυξη. Για την διαμόρφωση του μικροκλίματος της καλλιέργειας αποτελεσματικά είναι σημαντικά δεδομένα που αφορούν τόσο την υγρασία και θερμοκρασία του περιβάλλοντος όσο και την ένταση και κατεύθυνση του αέρα. Σημαντικά είναι και τα δεδομένα που αφορούν την ποσότητα των βροχοπτώσεων και της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω της οποίας προσδιορίζεται η ένταση και η διάρκεια της έκθεσης των φυτών στον ήλιο. Έχοντας στην διάθεση του τις πληροφορίες αυτές ο αγρότης μπορεί να λαμβάνει μέτρα προστασίας για την καλλιέργειά του.

Όσο και ποιοτικά δεδομένα που έχουν να κάνουν με την κατάσταση των καρπών όπως:

- Μέγεθος καρπού.
 - Υγρασία φύλλων: Μέσω των δεδομένων που προέρχονται από την υγρασία των φύλλων, ο αγρότης έχει την δυνατότητα να ενημερώνεται για την καταστασή τους και να παίρνει μέτρα προφύλαξης, παράδειγμα για την πιθανότητα ανάπτυξης μυκήτων, σε περίπτωση που υπάρχει παρατεταμένη υψηλή υγρασία στα φύλλα αλλά και στο περιβάλλον.
 - Χρώμα Καρπού.
- Οι Tripicchio et al., (2015) αναφέρουν ότι μία από τις πιο σύγχρονες εφαρμογές της ευφυούς γεωργίας αποτελεί και η χρήση των drones. Τα drones αποτελούν μικρά τηλεκατευθυνόμενα αεροπλάνα, που έχουν ενσωματωμένη κάμερα. Πετώντας σε ένα ορισμένο ύψος πάνω από την αγροτική περιοχή, Έχουν τη δυνατότητα να πετούν πάνω από την καλλιέργεια δίνοντας στον αγρότη τις απαραίτητες πληροφορίες χωρίς να

χρειάζεται να περιπλανηθεί σε αυτές. Μέσω των φωτογραφιών, ο αγρότης μπορεί να ανιχνεύσει εύκολα και έγκαιρα οποιεσδήποτε αλλοιώσεις στη καλλιέργεια του. Με την βοήθεια διάφορων αισθητήρων παρέχουν την δυνατότητα να τροφοδοτούν με δεδομένα το λογισμικό πλοήγησης. Οι αισθητήρες είναι οι IMU (Inertial Measurement Units). Το σημαντικότερο ρόλο στην πλοήγηση έχει το GPS. Επιπλέον τα περισσότερα σύγχρονα μη επανδρωμένα αεροσκάφη (UAV) διαθέτουν σύστημα αποφυγής εμποδίων. Το σύστημα αυτό λαμβάνει δεδομένα από προκαθορισμένους αισθητήρες και μπορεί να αλλάζει την κατεύθυνση κίνησής του όποτε ανιχνεύσει εμπόδιο κατά την πορεία της πτήσης. Οι αισθητήρες αποφυγής εμποδίων είναι κάμερες και εξαρτήματα μέτρησης απόστασης με τη χρήση υπερήχων (Ultrasonic Sensors).

Κεφάλαιο 4

4 Γεωργία Ακριβείας

Η γεωργία ακριβείας (precision agriculture) είναι ένα σύστημα διαχείρισης των αγρών που χρησιμοποιεί τεχνολογίες πληροφορικής και επικοινωνιών (ΤΠΕ), ώστε να λαμβάνεται υπόψη η παραλλακτικότητα των αγρών, που έχει σκοπό την βελτίωση της οικονομικής απόδοσής τους και την μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης. Η γεωργία Ακριβείας θεωρείται μια νέα μέθοδος διαχείρισης των αγρών, κατά την οποία οι εισροές (φυτοφάρμακα, λιπάσματα, σπόρος, νερό άρδευσης) και οι καλλιεργητικές πρακτικές εφαρμόζονται με βάση τις ανάγκες του εδάφους και των καλλιεργειών, καθώς διαφοροποιούνται στον χώρο και στον χρόνο (Whelan και McBratney 2000).

Η παραλλακτικότητα διακρίνεται σε χωρική, χρονική και προβλεπτική. Η χωρική παραλλακτικότητα αναφέρεται στην αντιληπτή μεταβολή των χαρακτηριστικών του εδάφους ή της καλλιέργειας, με αλλαγή της θέσης εντός του αγρού. Η χρονική παραλλακτικότητα γίνεται αντιληπτή ως η διαφοροποίηση των παραμέτρων μέσα στον χρόνο, ενώ η προβλεπτική ως η ασυμφωνία των προβλεπόμενων και πραγματικών τιμών για διάφορες θέσεις χωρικές και χρονικές. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την παραλλακτικότητα είναι εδαφολογικές (π.χ. δομή, οργανική ουσία, υδατοϊκανότητα κ.ά.), μικροβιακές (π.χ. πληθυσμοί ζιζανίων, πληθυσμοί εντόμων, ασθένειες κ.ά.).

Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στην γεωργία ακριβείας αποτελούνται από ηλεκτρονικούς υπολογιστές, παγκόσμια συστήματα εντοπισμού θέσης (GPS), γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS), διάφορα είδη αισθητήρων, και συστήματα ελέγχου της εφαρμογής εισροών. Οι πρώτες εφαρμογές ξεκίνησαν στα τέλη της δεκαετίας του 1980 και κορυφώθηκαν την δεκαετία του 1990, με χαρτογράφηση της παραγωγής των σιτηρών. Στις εφαρμογές αυτές η ροή και η υγρασία των σιτηρών καταγραφόταν κατά τη λειτουργία της μηχανής συγκομιδής και συνδιαζόταν με καταγραφή της ταχύτητας εργασίας και τη γεωγραφική θέση της μηχανής, ενώ η εκτίμηση του πλάτους εργασίας πραγματοποιούνταν από τον χειριστή ή από άτομο που βρισκόταν πάνω στη μηχανή. Αυτά τα στοιχεία αποτέλεσαν τη αρχή για την παραγωγή χαρτών που εμφανίζουν τη χωρική κατανομή της παραγωγής με χρήση λογισμικού γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών (GIS) (Φούντας και Γέμτος 2015). Στην Ελλάδα, όπως και σε όλο τον Ευρωπαϊκό Νότο, υπάρχει μια επιβράδυνση στη χρήση των τεχνολογιών αυτών, λόγω των ειδικών συνθηκών που υπάρχουν στις χώρες αυτές. Μερικές από αυτές τις συνθήκες

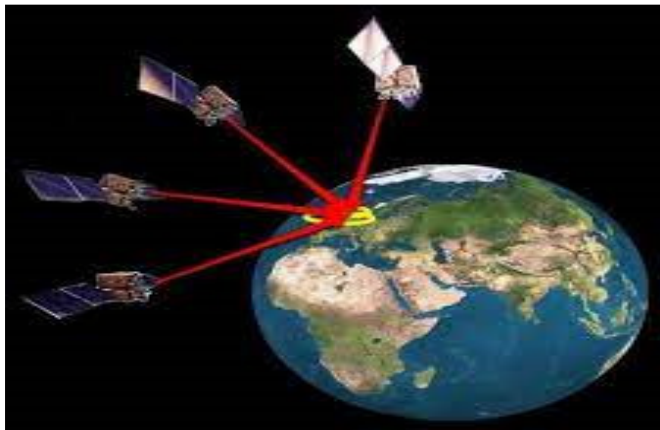
είναι: οι μικρές γεωργικές εκμεταλλεύσεις, η εμμονή σε παραδοσιακές μεθόδους παραγωγής και το χαμηλό μορφωτικό επίπεδο των γεωργών. Αργότερα η ανάγκη για μείωση του κόστους παραγωγής θα οδηγήσει και τις χώρες του Νότου στην καθιέρωση αυτών των πρακτικών.

Οι τεχνολογίες της γεωργίας ακρίβειας σχετίζονται κυρίως με συστήματα θέσης, πλοήγησης, πληροφοριών, εφαρμογών, αποδόσεων, τηλεπισκόπησης, και με αισθητήρες.

4.1 Παγκόσμια Συστήματα Καθορισμού/Εντοπισμού Θέσης (GPS)

Τα συστήματα αυτά παρέχουν κάλυψη όλο το εικοσιτετράωρο και εντοπισμό θέσης με υψηλή ακρίβεια στον τρισδιάστατο χώρο και στη μετατόπιση του χρόνου. Συνολικά υπάρχουν 24 δορυφόροι που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη γη και τα οποία στέλνουν διαρκώς ραδιοσήματα στην επιφάνειά της τα οποία λαμβάνονται από ειδικά όργανα (ραδιολήπτες ή πομποδέκτες). Οι ραδιολήπτες εξετάζουν τα στοιχεία και δίνουν συγκεκριμένες πληροφορίες για τη θέση ενός σημείου, το υψόμετρό του, την ταχύτητα και την κατεύθυνση της κίνησης του. Τα συστήματα αυτά καταγράφουν το χωράφι μεταχειρίζοντας γεωγραφικές συντεταγμένες (γεωγραφικό πλάτος και μήκος), εντοπίζουν και πλοηγούν γεωργικά οχήματα μέσα σε ένα χωράφι με ακρίβεια 2 εκατοστών. Συνολικά υπάρχουν διάφορες εφαρμογές του GPS στη Γεωργία Ακρίβειας, όπως δημιουργία περιγράμματος αγρών, παρακολούθηση καλλιεργειών και σύνδεση με τα σημεία του αγρού, χαρτογράφηση εδάφους, χαρτογράφηση παραγωγής. Η εφαρμογή αυτή περιλαμβάνει έναν δέκτη GPS ή DGPS, μια συσκευή για αποθήκευση της πληροφορίας (πχ ένας φορητός H/Y), και λογισμικό για τη δημιουργία και απεικόνιση χαρτών. Ο δέκτης GPS με την κεραία του τοποθετούνται στο όχημα που θα κινηθεί στον αγρό. Η δημιουργία περιγράμματος του αγρού γίνεται με την διαδρομή του γεωργού ή οδηγεί γύρω από τον αγρό με το GPS και τον φορητό H/Y για την καταγραφή των δεδομένων. Με την χρήση ίδιου εξοπλισμού ο παραγωγός κάνει μια διαδρομή στον αγρό και καταγράφει στη διάρκεια της βλαστικής περιόδου τα σημεία που υπάρχουν ζιζάνια, προβλήματα με εχθρούς και ασθένειες ή προβλήματα με τροφοπενίες. Με την καταγραφή των σημείων που υπάρχουν προβλήματα ο παραγωγός μπορεί να εφαρμόσει τα κατάλληλα αγροχημικά ή άλλες καλλιεργητικές τεχνικές. Για τη χαρτογράφηση του εδάφους, το GPS χρησιμοποιείται για την καταγραφή της θέσης που παίρνονται τα δείγματα εδάφους, αφού γίνει η ανάλυση των δειγμάτων στο εδαφολογικό εργαστήριο,

στην συνέχεια δημιουργούνται οι αντίστοιχοι χάρτες χρησιμοποιώντας κατάλληλο λογισμικό. Για τη χαρτογράφηση της παραγωγής, το GPS μαζί με αισθητήρες ροής του υλικού στη μηχανή και ένα σύστημα καταγραφής της ροής, του πλάτους εργασίας, της ταχύτητας εργασίας και της αντίστοιχης θέσης που ενσωματώνεται στις μηχανές συγκομιδής, έχει την δυνατότητα καταγραφής της παραγωγής σε οποιαδήποτε θέση του αγρού και στη συνέχεια, η δημιουργία των αντίστοιχων χαρτών παραγωγής. Το GPS μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την βοήθεια της πλοήγησης και της καθοδήγησης ενός οχήματος στον αγρό. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να γίνει η εφαρμογή χημικών στο έδαφος και στις καλλιέργειες, χωρίς να υπάρχουν κενά που δεν έγινε εφαρμογή του χημικού ή επικαλύψεις που οδηγούν σε επανάληψη της εφαρμογής με αποτέλεσμα την αύξηση τους κόστους, την καταστροφή των καλλιεργειών και τον κίνδυνο περιβαλλοντικής ρύπανσης.



Απεικόνιση λειτουργίας GPS (Πηγή : blog.farmacon.gr)

4.2 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Geographic Information System, GIS)

Τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών αποτελούν συστήματα διαχείρισης χωρικών δεδομένων και σχετιζόμενων ιδιοτήτων. Συγκεντρώνουν, διαχειρίζονται και αναλύουν δεδομένα για καθορισμένες γεωγραφικές θέσεις με τη βοήθεια λογισμικού. Παρέχουν ένα διαδραστικό χάρτη-πίνακα δεδομένων για μια γεωγραφική θέση που αφορά το υψόμετρο, την κλίση, την ετήσια ποσότητα βροχόπτωσης, τη μέση θερμοκρασία και υγρασία, τις καλλιέργειες, τα θρεπτικά στοιχεία, την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους κ.ά. Τα συστήματα αυτά ο παραγωγός έχει την δυνατότητα να παρακολουθεί την παραγωγή και να κρατάει αρχείο των εισροών και των αποτελεσμάτων τους σε μια

χωρική σειρά. Επίσης, είναι δυνατόν να ενταχθούν παρατηρήσεις (πχ προσβολές από έντομα, ζιζάνια στον αγρό), ή άλλες πληροφορίες όπως ένας χάρτης που παρουσιάζει τα σημεία δειγματοληψίας του εδάφους. Η ανάλυση αυτών των δεδομένων οδηγεί στην εξεύρεση των εντοπισμένων περιοριστικών παραγόντων της παραγωγής και γίνεται προσπάθεια διόρθωσης τους με βάση αυτών των στοιχείων. Αυτό μπορεί να γίνει πχ με μια εφαρμογή λιπάσματος με μεταβλητή δόση.

Ένα GIS λογισμικό αποτελείται από:

- Σύστημα εισαγωγής (data input) χωρικών δεδομένων το οποίο εισάγει και καταχωρεί πληροφορίες που προέρχονται από χάρτες, δορυφορικές εικόνες, πολυφασματικές φωτογραφίες κ.α.
- Σύστημα αποθήκευσης (data storage) και οργάνωσης βάσης δεδομένων
- Σύστημα δεδομένων (data output) που περιέχει αποτελέσματα ανάλυσης που παρουσιάζονται ή καταχωρούνται όπως πίνακες, χάρτες και σχήματα που εμφανίζονται στην οθόνη ή εισέρχονται στη μνήμη του Η/Υ.
- Σύστημα ανάλυσης δεδομένων που εμπεριέχει όλα τα εργαλεία για την αποφυγή λαθών στα δεδομένα, τον υπολογισμό επιφανειών, περιμέτρων, την αλλαγή κλίμακας χαρτών, τη γεωστατιστική ανάλυση των δεδομένων.
- Σύστημα αλληλεπίδρασης (user interface) με τον χρήστη που περιλαμβάνει μενού και εντολές που εφαρμόζονται για την επικοινωνία του χρήστη με το πρόγραμμα. Υπάρχουν δύο είδη εμφάνισης και αποθήκευσης των δεδομένων σε ένα σύστημα GIS: με διανυσματική μορφή (vector) και με μορφή κυψελίδων (raster). Στην πρώτη κατηγορία υπάρχουν τα σημεία, οι γραμμές και τα πολύγωνα, ενώ στη δεύτερη κατηγορία τα συνεχή δεδομένα, αλλά σε κυψελώδη μορφή (grid). Τα δεδομένα που εντοπίζονται με τη μέθοδο της δειγματοληψίας είναι διανυσματικά, ενώ όσα συλλέγονται με αισθητήρες (π.χ. παραγωγής) είναι δεδομένα κυψελίδων.

Η ερμηνεία και η αξιολόγηση των χαρτών πρέπει να γίνει λαμβάνοντας την ιστορία του αγρού, όπως προβλήματα στη συγκομιδή και στη σπορά, παλαιοί φράχτες, δρόμοι, περιοχές βόσκησης από ζώα, θέσεις κτισμάτων, περιοχές στράγγισης. Μερικοί χάρτες περιλαμβάνουν πληροφορίες που μεταβάλλουν ελάχιστα με το χρόνο, όπως τύπος εδάφους, τοπογραφία, και περιεκτικότητα οργανικής ουσίας στο έδαφος. Υπάρχει πιθανότητα κάθε χρονιά να αλλάζουν οι χάρτες παραγωγής και οι τοποθεσίες που φυτρώνουν τα ζιζάνια. Γι' αυτό, αυτός που παίρνει τις αποφάσεις για τη διαχείριση του αγρού πρέπει να γνωρίζει ποια δεδομένα πρέπει να συλλέγει κάθε χρόνο καθώς και την εποχή δειγματοληψίας.

4.3 Συστήματα μεταβλητών εφαρμογών (VRA ή VRT)

Τα συστήματα μεταβλητών εφαρμογών αποτελούν συστήματα γεωργικής μηχανικής που προσαρτώνται στα αγροτικά μηχανήματα και μεταβάλουν την ποσότητα εφαρμογής των εισροών (νερό, σπόρο, λιπάσματα, φυτοφάρμακα κ.ά.) ή και αλλάζουν το είδος των εισροών (ποικιλία σπόρου, είδος λιπάσματος) την ίδια στιγμή που εφαρμόζουν τις εισροές, με βάση τις ανάγκες σε κάθε σημείο του αγρού στο οποίο βρίσκονται. Η τροποποίηση της εφαρμογής των εισροών στηρίζεται σε τεχνικές χαρτογράφησης ή σε αισθητήρες. Μετά τη δημιουργία ζωνών διαχείρισης το επόμενο είναι η εφαρμογή μεταβλητών δόσεων εισροών. Στη μια μέθοδο εφαρμόζονται χάρτες εφαρμογής εισροών ενώ στην άλλη χρησιμοποιούνται αισθητήρες με εφαρμογή σε πραγματικό χρόνο (real time). Στην πρώτη μέθοδο γίνεται η χρήση διάφορων λογισμικών GIS που χρησιμεύονται από αγρότες όπως το λογισμικό Farmworks (Trimble, USA). Τα λογισμικά αυτά μπορούν να παράγουν χάρτες εφαρμογής διάφορων εισροών. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να αποτυπώσει πάνω σε ένα χάρτη την ποσότητα κάθε εισροής, την οποία θέλει να χρησιμοποιήσει σε κάθε σημείο του αγρού με βάση τις πραγματικές ανάγκες των φυτών. Τα συστήματα (κονσόλες) είναι εξοπλισμός (hardware) και λογισμικό που μπορούν να ελέγχουν τα παρελκόμενα του ελκυστήρα που κατά την εφαρμογή. Παράλληλα με τη χρήση GPS υπάρχει η δυνατότητα καθορισμού της θέσης του ελκυστήρα στον αγρό για την συσχέτιση με την επιθυμητή δόση της εισροής που πρέπει να εφαρμοστεί σύμφωνα με τον χάρτη εφαρμογής. Στη δεύτερη μέθοδο χρησιμοποιούνται δεδομένα από διάφορους αισθητήρες που γίνεται άμεσα ρύθμιση του μηχανήματος εφαρμογής της εισροής. Οι αισθητήρες που εφαρμόζονται πάνω στον ελκυστήρα ή σε κάποιο παρελκόμενο πραγματοποιούν διάφορες μετρήσεις που αφορούν τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας ή τα εδαφικά χαρακτηριστικά. Η ύπαρξη ενός συστήματος ρύθμισης του μηχανήματος εφαρμογής της εισροής επιτρέπει την καταγραφή και επεξεργασία των δεδομένων, παράλληλα με τη βοήθεια ενός ελεγκτή μπορεί να γίνει ρύθμιση του παρελκόμενου να κάνει εφαρμογή της εισροής στην επιθυμητή δόση. Υπάρχουν διάφορα εμπορικά τέτοια συστήματα όπως είναι το Greenseeker (NTech Industries, USA) και το Weedseeker της ίδιας εταιρίας. Το Greenseeker είναι ένα παρελκόμενο το οποίο προσαρτάται κυρίως σε ψεκαστικά. Χρησιμοποιούνται διάφοροι αισθητήρες οι οποίοι μέσω της αντανάκλασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μετρούν το δείκτη NDVI της επιφάνειας που σαρώνουν. Έτσι με βάση το δυναμικό παραγωγής της κάθε καλλιέργειας το σύστημα προσδιορίζει την ιδανικότερη ποσότητα

του αζώτου που θα εφαρμοστεί σε μεταβλητές δόσεις αζώτου. Το Weedseeker φτιάχτηκε για να ψεκάζει ζιζανιοκτόνα σε διαφορετικές δόσεις. Με την χρήση αισθητήρων ανιχνεύει το ανακλώμενο φως από την επιφάνεια που σαρώνει., με την ανίχνευση πράσινου χρώματος ενεργοποιεί μια ηλεκτροβαλβίδα και ψεκάζει ζιζανιοκτόνο.

4.4 Συστήματα παρακολούθησης αποδόσεων (Yield Monitoring System)

Τα συστήματα παρακολούθησης των αποδόσεων αποτελούν συστήματα για τη μέτρηση και καταγραφή της απόδοσης μιας καλλιέργειας κατά τη διάρκεια συγκομιδής. Τα δεδομένα που παίρνονται, σε συνδυασμό με τα συστήματα καταγραφής της ακριβούς θέσης (GPS) και τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS), μπορεί να γίνει η χαρτογράφηση τους δίνοντας απαραίτητες πληροφορίες για την απόδοση των τμημάτων του αγρού ανάλογα με τη θέση (χάρτης παραγωγής). Τα συστήματα παρακολούθησης των αποδόσεων απαρτίζονται από αισθητήρες, ένα δέκτη GPS και μια κονσόλα διαχείρισης/υπολογιστή. Τα συστήματα αυτά αναπτύχθηκαν με σκοπό να παρουσιάζουν την παραλλακτικότητα της παραγωγής ενός αγρού. Οι τελικοί χάρτες παραγωγής μπορούν στην συνέχεια να συνδυαστούν με εδαφολογικούς χάρτες, με τοπογραφικούς χάρτες και με μετεωρολογικά δεδομένα για να εξηγηθεί η παραλλακτικότητα της παραγωγής και να παρθούν απαραίτητα μέτρα για τη διαχείρισή της.

4.4.1 Τηλεπισκόπηση

Τηλεπισκόπηση ονομάζεται η επιστήμη που παρατηρεί και εξετάζει τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας της γης εξ 'αποστάσεως με τη αρωγή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Για παράδειγμα έχει την δυνατότητα να καταγράψει, με εναέρια ή και δορυφορικά μέσα, το πώς η βλάστηση αντανακλά τα διάφορα μήκη κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας. Κάθε αγρότης μπορεί να πάρει αναγκαίες πληροφορίες μέσα από ψηφιακές εικόνες που έχουν ληφθεί με την χρήση τηλεπισκόπησης, για τις καλλιέργειές του, την υγεία των φυτών και τον τρόπο που θα αντιμετωπίσει πιθανά προβλήματα. Σκοπός είναι να αποτυπωθεί με τον τρόπο αυτό η χωρική παραλλακτικότητα του αγρού, ώστε οι καλλιεργητικές τεχνικές και εισροές (λίπανση, φυτοπροστασία, άρδευση, συγκομιδή) να γίνονται εντοπισμένα. Με την οργάνωση των δεδομένων σε ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS) μαζί με άλλους τύπους δεδομένων, έχουμε στην

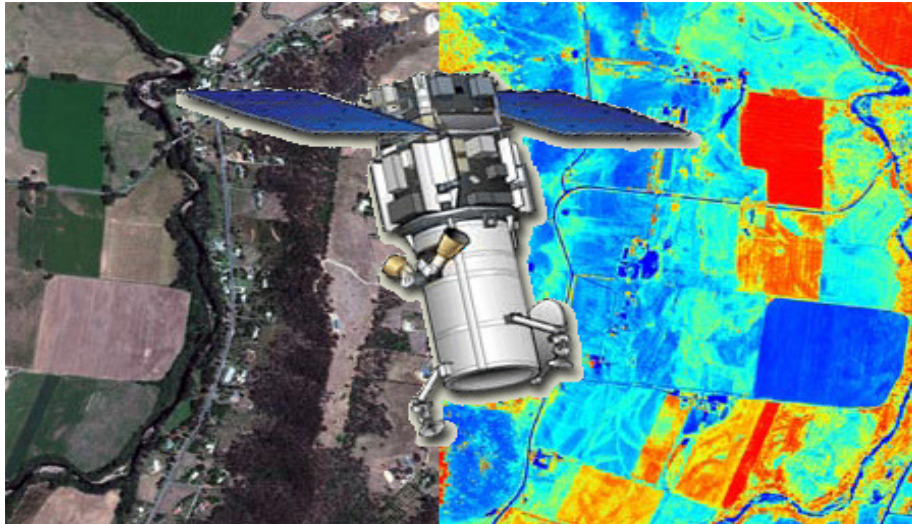
διάθεση μας ένα απαραίτητο εργαλείο που βοηθά στη λήψη αποφάσεων σχετικά με τις καλλιέργειες και τις γεωργικές στρατηγικές.

Η πρώτη εφαρμογή της τηλεπισκόπησης έγινε το 1929 και αφορούσε τη χαρτογράφηση των εδαφών με τη χρήση αεροφωτογραφιών (Bauer 1975) στη συνέχεια εξελίχθηκε και έφτασε σήμερα να χρησιμοποιεί δορυφορική τεχνολογία, παρέχοντας την ευκαιρία στους επιστήμονες και στους παραγωγούς να εξετάζουν τις καλλιέργειες τους πολύ πιο άμεσα. Η τηλεπισκόπηση έχει την ικανότητα να εξετάσει τη χωρική θέση ενός αντικειμένου πάνω στην επιφάνεια της γης, το χρώμα, τη βιομάζα, το υψόμετρο, το ποσοστό της υγρασίας του εδάφους αλλά και της βλάστησης, τη θερμοκρασία, το μέγεθος και το σχήμα διάφορων στοιχείων αλλά και τη φασματική συμπεριφορά της χλωροφύλλης. Χρήσιμη θεωρείται για τους παραγωγούς γιατί με την αδιάκοπη μελέτη των φυτών κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου τους δίνει την δυνατότητα να πρόβλεψης της τελικής παραγωγής. Σύμφωνα με τον Barnes et al. (2003) η τηλεπισκόπηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην χαρτογράφηση των εδαφών, για την αναγνώριση των αλατούχων εδαφών. Οι Hatfield and Pinter (1993) κατέληξαν ότι η τηλεπισκόπηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εύρεση προσβεβλημένων από ασθένειες καλλιεργειών ενώ η μελέτη της επίδρασης των φυτοφαρμάκων στις καλλιέργειες μπορεί να γίνει πιο γρήγορα και αποδοτικά (Hickman et al., 1991). Η χρήση της τηλεπισκόπησης στη γεωργία έχει πολλά πλεονεκτήματα. Το σημαντικότερο είναι ότι τα δεδομένα που συγκεντρώνονται και χρησιμοποιούνται είναι αρκετά χαμηλού κόστους σε σχέση με το πλήθος των αποτελεσμάτων που μπορούν να ληφθούν. Τα δεδομένα παίρνονται πολύ γρήγορα καθόλη την διάρκεια του χρόνου. Επίσης η λήψη πληροφοριών σε πολλά μήκη κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να διερευνήσει διαφορές μεταξύ των βιοφυσικών στοιχείων της επιφάνειας που εξετάζεται, οι οποίες δεν μπορούν να γίνουν αντιληπτές με το ανθρώπινο μάτι. Ένα ακόμα πλεονέκτημα της τηλεπισκόπησης αποτελεί η δυνατότητα μελέτης περιοχών που δεν δύναται να εξετασθούν με επίγειες μετρήσεις ή θα απαιτούσαν πολύ χρόνο, χρήματα και πολλές δειγματοληψίες. Πέρα από τα πλεονεκτήματα υπάρχουν και μειονεκτήματα όπως ότι η ποιότητα των δεδομένων εξαρτάται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως η σκόνη και ο φωτισμός. Επίσης ένα ακόμη αρνητικό της τηλεπισκόπησης είναι η επεξεργασία των δεδομένων που απαιτεί γνώσεις χρήσεως ηλεκτρονικού υπολογιστή και διαφόρων λογισμικών. Η χρήση της τηλεπισκόπησης στη γεωργία έχει πολλές δυνατότητες όσον

αφορά τις μελλοντικές εφαρμογές. Οι χωρικές και χρονικές πληροφορίες που λαμβάνονται από τα δεδομένα της τηλεπισκόπησης είναι αναγκαίες για την χρήση διαφόρων μεθόδων διαχείρισης των καλλιεργειών όπως είναι η γεωργία ακριβείας.

Οι αισθητήρες της τηλεπισκόπησης διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τους ενεργούς αισθητήρες και τους παθητικούς αισθητήρες. Οι ενεργοί αισθητήρες εκπέμπουν ακτινοβολία ώστε να κάνουν τις μετρήσεις τους ενώ οι παθητικοί αισθητήρες χρησιμοποιούν την υπάρχουσα ακτινοβολία από τον ήλιο. Το πρόβλημα με τους παθητικούς αισθητήρες όμως είναι ότι στην διάρκεια της νύχτας ή σε συννεφιασμένες μέρες δεν μπορούν να πάρουν σωστές μετρήσεις. Αλλά και στους ενεργούς αισθητήρες η εκπεμπόμενη ακτινοβολία μπορεί να επηρεαστεί από άλλες ακτινοβολίες.

Η ανακλώμενη ακτινοβολία από τα φυτά σχετίζεται με την περιεκτικότητα της χλωροφύλλης σε αυτά ενώ η θερμική ανακλώμενη ακτινοβολία σχετίζεται με την εξατμισοδιαπνοή των φυτών. Παρατηρείται ότι τα φυτά στην ορατή ζώνη της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας απορροφούν την ακτινοβολία από την κόκκινη και μπλε περιοχή και ανακλούν την ακτινοβολία της πράσινης περιοχής. Αυτή η ιδιότητα οφείλεται στην χλωροφύλλη α και β των φύλλων και έτσι εξηγείται γιατί το ανθρώπινο μάτι κατανοεί ως πράσινα τα φύλλα των φυτών (Συλλαίος κ.α.. 2007). Για την καλύτερη μελέτη της ευρωστίας των φυτών επινοήθηκαν διάφοροι δείκτες βλάστησης. Οι δείκτες βλάστησης δεν έχουν διάσταση και ο υπολογισμός τους γίνεται με μια αναλογία καταγεγραμμένων πληροφοριών στην κόκκινη περιοχή και στο εγγύς υπέρυθρο της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η μέτρηση των πληροφοριών γίνεται είτε με δορυφορικές εικόνες είτε με επίγειες μετρήσεις με τη χρήση διαφόρων αισθητήρων. Χρησιμοποιούνται σαν δείκτες ανάπτυξης και ευρωστίας των φυτών (Wickland, 1989) ή για την διάγνωση διαφόρων βιοφυσικών παραγόντων της βλάστησης όπως το δείκτη LAI. Επιπλέον, οι δείκτες βλάστησης βοηθούν στην εύρεση του ποσοστού φυτοκάλυψης, της πράσινης βιομάζας και της απορροφούμενης ακτινοβολίας που χρησιμοποιείται για την φωτοσύνθεση (Sellers et al., 1992; Arsar, 1989). Οι δείκτες βλάστησης βασίζονται στην δραστηριότητα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Πιο συγκεκριμένα εκμεταλλεύονται την ιδιότητα της βλάστησης να ανακλά πολύ μικρή ακτινοβολία στο ορατό φάσμα και πολύ μεγάλη στο εγγύς υπέρυθρο.



Σύστημα Τηλεπισκόπησης

4.4.2 Ζώνες διαχείρισης

Σύμφωνα με τους Markinos et al. (2004) το τελευταίο στάδιο εφαρμογής της Γεωργίας ακριβείας αποτελεί η εφαρμογή μεταβλητών δόσεων των εισροών με βάση τα αποτελέσματα της ανάλυσης όλων των δεδομένων που έχουν ληφθεί. Για την εφαρμογή μεταβλητών δόσεων πρέπει το αγρόκτημα να χωριστεί σε διάφορες ζώνες. Οι ζώνες διαχείρισης έχουν θεωρηθεί σαν υποτιμήματα εντός του αγρού όπου τα χαρακτηριστικά αυτών είναι ομοιογενή και μπορούν να δεχθούν διαφορετικές δόσεις εισροών ομοιόμορφα όπως λίπασμα, νερό, σπόρο, κ.α. Τα χαρακτηριστικά που θα πρέπει να έχουν οι ζώνες διαχείρισης είναι:

- Να σχετίζονται με την παραγωγή καθώς ο βασικός στόχος των παραγωγών είναι η επίτευξη μιας ικανοποιητικής παραγωγής.
- Να μπορούν να οριοθετηθούν εύκολα και να είναι πρακτικά δυνατή η εφαρμογή των μεταβλητών δόσεων εισροών.
- Να είναι σταθερές στο χρόνο.

Τα δεδομένα για τη δημιουργία ζωνών διαχείρισης προέρχονται από:

- Τοπογραφικούς χάρτες
- Εδαφικούς χάρτες
- Χάρτες παραγωγής
- Αεροφωτογραφίες ή δορυφορικές εικόνες
- Δείκτες βλάστησης

Γενικά ο αριθμός των ζωνών διαχείρισης που θα πρέπει να γίνουν σε έναν αγρό εξαρτώνται από:

- Την παραλλακτικότητα των χαρακτηριστικών του αγρού όπως παράδειγμα της ηλεκτρικής αγωγιμότητας
- Το μέγεθος του αγρού
- Την δυνατότητα της εφαρμογής των μεταβλητών εισροών π.χ. του λιπάσματος.

Στη βιβλιογραφία υπάρχουν καταγεγραμμένες πολλές προσπάθειες σχηματισμού ζωνών διαχείρισης. Η διαφορά τους συνίσταται στα διαφορετικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται για τον διαχωρισμό των ζωνών.

4.4.3 Αυτοματοποιημένα συστήματα πλοήγησης

Αποτελούν έξυπνα συστήματα με ικανότητα αντίληψης ειδικών οδηγικών καθηκόντων για παράδειγμα την αυτόματη στροφή του τρακτέρ, την αυτόματη πλοήγηση και γενικότερα αυτόματες κινήσεις μηχανημάτων χωρίς την φυσική παρουσία του γεωργού. Θετικό αυτής της τεχνολογίας είναι ότι μειώνει την πιθανότητα ανθρωπίνου λάθους κάνοντας αποτελεσματικότερη τη διαχείριση του αγρού. Η βοήθεια των συστημάτων πλοήγησης όπως το GPS παρουσιάζουν στους οδηγούς την πορεία τους μέσα στον αγρό. Έτσι δίνεται η δυνατότητα να επιταχυνθεί μεγαλύτερη ακρίβεια στην οδήγηση. Τα έξυπνα συστήματα καθοδήγησης προσφέρουν διαφορετικά πρότυπα πλοήγησης που εξαρτώνται από το σχήμα του αγρού, τα οποία χρησιμοποιούνται με τον συνδυασμό των υποβοηθούμενων συστημάτων και των αυτοματοποιούμενων συστημάτων. Τα αυτοματοποιημένα συστήματα πλοήγησης αναλαμβάνουν όλο τον έλεγχο της οδήγησης έτσι ώστε ο αγρότης να μπορεί να ασχοληθεί με άλλες εργασίες.

4.4.4 Αισθητήρες καλλιεργειών και εδάφους

Οι αισθητήρες αποτελούν μηχανισμούς αυτόματης δειγματοληψίας και γρήγορης μέτρησης. Υπάρχουν πολλές κατηγορίες αισθητήρων όπως σοδειάς, αγρού, εδάφους, φυτών, ζιζανίων ή προσβολών. Οι ειδικοί αισθητήρες τοποθετούνται στον αγρό για την συλλογή πληροφοριών για θερμοκρασία, υγρασία, καιρικές συνθήκες, ασθένειες κ.ά. Η χρήση αυτών των αισθητήρων δίνει την δυνατότητα στον παραγωγό να έχει άμεση πρόσβαση σε μια σειρά κρίσιμων πληροφοριών για τον αγρό που σχετίζονται με την φυσιολογική ανάπτυξη και τις ανάγκες της καλλιέργειάς.

4.5 Παράδειγμα εφαρμογής-Εφαρμογή σε μήλα

Από το Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας σε συνεργασία με το ΕΘΙΑΓΕ πραγματοποιήθηκε το 2001 σε αγροτεμάχια στο νομό Καρδίτσας σε καλλιέργειες βαμβακιού χαρτογράφηση της παραγωγής με τη βοήθεια του GPS και με τη χρήση ειδικών αισθητήρων που τοποθετήθηκαν πάνω στη βαμβακοσυλλεκτική μηχανή. Τα αποτελέσματα έδειξαν αρκετή παραλλακτικότητα (Μπουρίκα, 2019).

Για να εκτιμηθεί η ορθολογική εφαρμογή νερού, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της παραλλακτικότητας της παραγωγής και των ποιοτικών χαρακτηριστικών των καρπών, του εδάφους ως προς τη φαινομενική ηλεκτρική αγωγιμότητα και το βάθος, του δείκτη βλάστησης καθώς και του υδατικού δυναμικού σε συνδυασμό με τη μέτρηση της υγρασίας του εδάφους το 2000 σε αμπελώνες στους νομούς Μαγνησίας και Κορινθίας και δημιουργήθηκαν χάρτες και σχεδιάστηκαν ζώνες διαφοροποιημένης άρδευσης.

Οι Φουντάς & Γέμτος (2015) στην γενική εισαγωγή Γεωργίας ακριβείας αναφέρουν μια εφαρμογή στα μήλα που έγινε το 2005 με πρώτη χαρτογράφηση της παραγωγής σε οπωρώνα 8 στρεμμάτων στην περιοχή της Πτολεμαΐδας και συνεχίστηκε σε οπωρώνα 50 στρεμμάτων στη περιοχή Αγιάς, Λάρισας.

Η ανάπτυξη των τεχνικών της Γεωργίας ακριβείας για τη δημιουργία ενός συστήματος διαχείρισης αγροκτημάτων με δημιουργία βάσεων δεδομένων που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για έλεγχο των αγροκτημάτων πραγματοποιήθηκε από το Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης Θεσσαλίας για να μελετηθούν οι στρατηγικές των αγροτών και οι νέες τεχνολογίες (Φουντάς& Γέμτος, 2015).

4.6 Αισθητήρες

Η Γεωργία Ακριβείας αποτελεί μια μορφή γεωργίας που έχει υψηλές απαιτήσεις σε πληροφορία σε όλη την διάρκεια κατά την διαδικασία παραγωγής. Αυτό μπορεί να γίνει με τη χρήση αισθητήρων. Στην Γεωργία Ακριβείας οι αισθητήρες κατηγοριοποιούνται με βάση τον σκοπό τους σε αισθητήρες εδάφους, καλλιέργειας, κλίματος και μηχανημάτων και ανάλογα με την απόσταση από τον στόχο σε αισθητήρες επαφής, εγγύς αισθητήρες, εναέριους αισθητήρες και αισθητήρες του διαστήματος. Επίσης, με βάση τον τύπο τους χαρακτηρίζονται σε μηχανικούς, οπτικούς, χημικούς, ηλεκτρικούς, ακουστικούς, πνευματικούς και αισθητήρες εικόνας και ραδιενέργειας.

4.6.1 Αισθητήρας εικόνας

Οι αισθητήρες εικόνας έχουν την ικανότητα να αναγνωρίζουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και να την μετατρέψουν σε πληροφορία που χρησιμοποιείται στην αποτύπωση εικόνας. Οι κάμερες έχουν ολοκληρωμένα συστήματα που ενσωματώνουν αισθητήρα εικόνας που έχει την δυνατότητα να καταγράφει εικόνες. Οι κάμερες που χρησιμοποιούνται στην γεωργία ακριβείας διακρίνονται σε πολυφασματικές, υπερφασματικές και θερμικές κάμερες. Οι πολυφασματικές κάμερες μπορούν να αποτυπώνουν το περιβάλλον εργασίας τους σε ένα μικρό αριθμό φασμάτων στις περιοχές του ορατού και του υπέρυθρου φάσματος. Με αυτό τον τρόπο δημιουργούνται δείκτες βλάστησης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της βιομάζας, για την διάκριση μεταξύ των ειδών, την ωρίμανση των φυτών, την κατάσταση των θρεπτικών, την αποτελεσματικότητα της φωτοσύνθεσης ή του υδατικού περιεχομένου, αλλά και για την εύρεση των ασθενειών και των προσβολών από έντομα.

4.6.2 Φασματικοί αισθητήρες

Οι φασματικοί αισθητήρες έχουν την δυνατότητα αντίληψης ποιοτικά και ποσοτικά το ανακλώμενο φως από επιφάνειες και γίνεται μετατροπή τους σε ηλεκτρικό σήμα. Μετρούν το φως σε ορατό (400-700nm) και σε υπέρυθρο φάσμα σε (700-2500nm), αλλά δεν μπορούν να απεικονίσουν το περιβάλλον όπως οι πολυφασματικές και υπερφασματικές κάμερες. Η χρησιμότητα τους είναι σημαντική στην γεωργία γιατί οι μετρήσεις σχετίζονται με την φυσιολογία και την ανάπτυξη των φυτών. Οι αισθητήρες αυτοί μπορεί να είναι είτε παθητικοί είτε ενεργοί. Οι παθητικοί φασματικοί αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιούν το φως του ηλίου ενώ οι ενεργοί αισθητήρες φέρουν πηγές φωτός που παράγουν ακτινοβολία για την πραγματοποίηση των μετρήσεων. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται για τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων φυτών αλλά και για την εκτίμηση παραμέτρων που έχουν να κάνουν με το φύλλωμα (π.χ δείκτης φυλλικής επιφάνειας), τον όγκο, το ύψος, την βιομάζα των φύλλων και την παραγωγή.

4.6.3 Αισθητήρες ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής

Ο αισθητήρας ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής είναι ένας από τους βασικότερους αισθητήρες για την χαρτογράφηση των παραγόντων που αφορούν το έδαφος. Ο αισθητήρας ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής αποτελεί έναν τρόπο μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους, η οποία έμμεσα δίνει πληροφορίες για την υγρασία, την υφή, την

αλατότητα και την γονιμότητα του εδάφους. Έτσι η χαρτογράφηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας βοηθά στη δημιουργία ζωνών διαχείρισης για την άρδευση και την λίπανση.

4.7 Άρδευση ακριβείας

Η εφαρμογή Γεωργία Ακριβείας για την σωστή διαχείριση του νερού έχει καταφέρει την εξοικονόμηση σημαντικών ποσοτήτων νερού. Άρδευση Ακριβείας είναι η ακριβής και στοχευμένη εφαρμογή νερού για την κάλυψη ορισμένων αναγκών των φυτών με ταυτόχρονη μείωση του περιβαλλοντολογικού αντίκτυπου της άρδευσης. Χαρακτηριστικά της Άρδευση Ακριβείας είναι ότι ο χρόνος, η περιοχή και ο όγκος του νερού που πραγματοποιείται είναι ότι πρέπει να ικανοποιούν τις υδατικές απαιτήσεις της καλλιέργειας, με σκοπό την μείωση των απωλειών νερού όπως βαθιά διήθηση και εξάτμιση από την επιφάνεια του εδάφους, με καλύτερη απόδοση και ποιότητα της παραγωγής.

4.8 Ψεκασμός ακριβείας

Πολλές έρευνες έχουν παρουσιάσει σημαντική εξοικονόμηση φυτοπροστατευτικών ουσιών κατά την διάρκεια χρήσης ψεκαστικών μηχανημάτων με δυνατότητα μεταβλητής δόσης εφαρμογής τόσο σε δενδρώδεις όσο και σε αροτριάιες καλλιέργειες. Οι Wandkar et al, (2018) κάνουν αναφορά στην εξοικονόμηση φυτοπροστατευτικής ουσίας που μπορεί να φτάσει έως 80% σε δενδρώδεις καλλιέργειες και αμπελώνες, όταν γίνει ψεκασμός με μηχανήμα που φέρει αισθητήρες φυλλώματος για την ρύθμιση της δόσης.

4.9 Λίπανση ακριβείας

Η λίπανση χρησιμοποιώντας τεχνολογίες και μεθόδους μεταβλητής δόσης εφαρμογής έχει κατορθώσει σημαντικά οικονομικά οφέλη ως προς το κόστος της καλλιέργειας. Οι Yu et al. (2019) πραγματοποίησαν μείωση της λίπανσης αζώτου κατά 16,9% σε σχέση με τη συμβατική λίπανση σε βαμβακοκαλλιέργεια, όταν εφάρμοσαν μεταβλητή δόση λίπανσης χρησιμοποιώντας αισθητήρες φυλλώματος.

Κεφάλαιο 5

5 Συνδυασμός νέων τεχνολογιών στην Γεωργία

Η γεωργία ακριβείας αποτελεί μια μέθοδο διαχείρισης των καλλιεργειών που χρησιμοποιεί την τεχνολογία της πληροφορίας, τα δεδομένα δορυφορικού εντοπισμού θέσης, την τηλεπισκόπηση και την πλησιέστερη συλλογή δεδομένων για τη βελτιστοποίηση των αποδόσεων των εισροών ενώ ταυτόχρονα σκοπεύει στην μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Αποτελεί συνδυασμό τεχνολογιών και ζητημάτων όπως τεχνολογίες μεταβλητού ρυθμού, συστήματα πλοήγησης οχημάτων, ποιότητα προϊόντων και περιβαλλοντικά θέματα. Οι τεχνολογίες Γεωργίας ακριβείας αξιοποιούν κυρίως τη γνώση των χωρικών και χρονικών διαφορών στους συντελεστές των καλλιεργειών και του εδάφους ώστε να γίνει εφαρμογή διαφορετικών επεξεργασιών που είναι προσαρμοσμένες στις διαφορές αυτές.

Κατά τα τελευταία χρόνια αναπτύσσονται πολλές εφαρμογές στις νέες τεχνολογίες όπως το IoT, τα «δεδομένα μεγάλου όγκου» (Big Data), τις τεχνολογίες νέφους και η κινητή υπολογιστική. Ο κόσμος σήμερα προχωρά προς τις έννοιες του έξυπνου κόσμου, όπως οι έξυπνες πόλεις, τα έξυπνα σπίτια, τα έξυπνα τηλέφωνα κ.λπ. Στη γεωργία, εξαιτίας της απρόσφορης συντήρησης, η καλλιέργεια καταστρέφεται, με αποτέλεσμα να προκαλούνται τεράστιες απώλειες στον αγρότη. Η παρακολούθηση των περιβαλλοντικών παραμέτρων δεν αποτελούν πλήρης λύση για τη βελτίωση της απόδοσης των καλλιεργειών. Υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που περιλαμβάνουν προβλήματα από έντομα και παράσιτα και θα πρέπει να γίνεται έλεγχος με ψεκασμό του κατάλληλου εντομοκτόνου και φυτοφαρμάκων στην καλλιέργεια. Επίσης υπάρχουν προβλήματα από πουλιά και άλλα άγρια ζώα που καταστρέφουν τις καλλιέργειες στο στάδιο της συγκομιδής. Επομένως, οι αγρότες έχουν να αντιμετωπίσουν ένα σύνολο προβλημάτων κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας και της συγκομιδής. Το IoT έχει τη δυνατότητα να επεκτείνει τη γεωργία ακριβείας με έξυπνους, κατανεμημένους και συνεργαζόμενους αισθητήρες και τεχνολογίες, οι οποίες μέχρι σήμερα εφαρμόζονται σε άλλους βιομηχανικούς τομείς, αλλά και στον αυτοματισμό κατοικιών. Η επέκταση αυτή αναφέρεται ως Ευφυής γεωργία και αποτελεί όλα τα βήματα από τη συλλογή δεδομένων που στηρίζονται σε αισθητήρες και την επικοινωνία στην επεξεργασία δεδομένων, την αποθήκευση και την ανάλυση. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης γίνονται ορατά από τα

συστήματα διασύνδεσης IoT και τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων για ζωοτροφές, με αποτέλεσμα να έχουν την δυνατότητα οι αγρότες να πάρουν καλύτερες και βιώσιμες αποφάσεις. Η παραδοσιακή γεωργία μετατρέπεται σε Ευφυής γεωργία λόγω της εισαγωγής του IoT στην γεωργία. Τα δίκτυα IoT μειώνουν σημαντικά τις ανθρώπινες εργασίες, με σκοπό την παρακολούθηση εξ αποστάσεως της υγείας των καλλιεργειών και του περιβάλλοντος. Το IoT αξιοποιεί ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων WSN ως τη βάση για τη περισυλλογή πληροφοριών για αυτές τις εφαρμογές παρακολούθησης και ελέγχου. Το σύστημα παρακολούθησης αποτελείται από συσκευές/κόμβους ενσωματωμένους με διάφορους αισθητήρες για την παρακολούθηση διαφόρων παραγόντων όπως θερμοκρασία, υγρασία, ηλιακή ακτινοβολία, υγρασία του εδάφους κλπ., και έχει την δυνατότητα να επικοινωνήσει αυτά τα δεδομένα με τις άλλες συσκευές. Το IoT βοηθά τους αγρότες να παρακολουθούν τα στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας, τις ασθένειες και την εκτίμηση της απόδοσης δίνοντας την δυνατότητα να έχουν πρόσβαση σε καλύτερες ικανότητες επεξεργασίας μέσω του διαδικτύου στις περιορισμένων δυνατοτήτων, χαμηλής κατανάλωσης και χαμηλού κόστους, συσκευές. Χρησιμοποιώντας, το WSNs στη γεωργία ακριβείας αυξάνει την απόδοση, την παραγωγικότητα και το κέρδος πολλών συστημάτων γεωργικής παραγωγής. Οι πληροφορίες του περιβάλλοντος σε πραγματικό χρόνο μπορούν να μαζευτούν εξ αποστάσεως από τις καλλιέργειες και να γίνει εισαγωγή τους στα συστήματα ώστε να επεξεργαστούν για να ανακαλυφθούν προβλήματα, να αποθηκευτούν δεδομένα ή να παρθούν οι απαραίτητες ενέργειες. Αντίθετα με τις παραδοσιακές γεωργικές προσεγγίσεις στις οποίες παίρνονται αποφάσεις με βάση κάποια υποθετική κατάσταση, που υπάρχει πιθανότητα να μην αντικατοπτρίζει την την πραγματικότητα. Η προστασία των καλλιεργειών είναι απαραίτητη, για αυτό με την παρακολούθηση τα δεδομένα θα πρέπει να είναι πραγματικά. Προκειμένου να δίνεται άμεση λύση στις καλλιέργειες, η συλλογή των δεδομένων πρέπει να γίνεται με έξυπνο τρόπο και όχι με χειροκίνητες μεθόδους. Για να την επίτευξη αυτού πρέπει να χρησιμοποιείτε WSN. Το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων εφαρμόζεται από πολλές μεθόδους όπως η διαχείριση της ποιότητας του νερού, η συλλογή δεδομένων, η παρακολούθηση της υγείας κ.λπ. Σήμερα ο βασικότερος στόχος της γεωργίας είναι η αξιοποίηση των δυνατοτήτων της τεχνολογίας ώστε να μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν οι δυνατότητες που παρέχει για την καλύτερη διαχείριση της παραγωγής, την διασφάλιση των φυσικών πόρων και την πρόβλεψη πιθανών κλιματικών αλλαγών και επιδημιών φυτοπαθολογίας. Η Ευφυής γεωργία βοηθάει στη μείωση της

σπατάλης των φυσικών πόρων, στην αποτελεσματική χρήση λιπασμάτων και στην συνέχεια την αύξηση της απόδοσης.

Κεφάλαιο 6

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται ανασκόπηση επιστημονικών εργασιών από τη διεθνή βιβλιογραφία. Αφορούν τη διερεύνηση σχέσεων μεταξύ Ασύρματου δικτύου αισθητήρων και ανάπτυξης φυτών.

6 Σχετικές ερευνητικές εργασίες

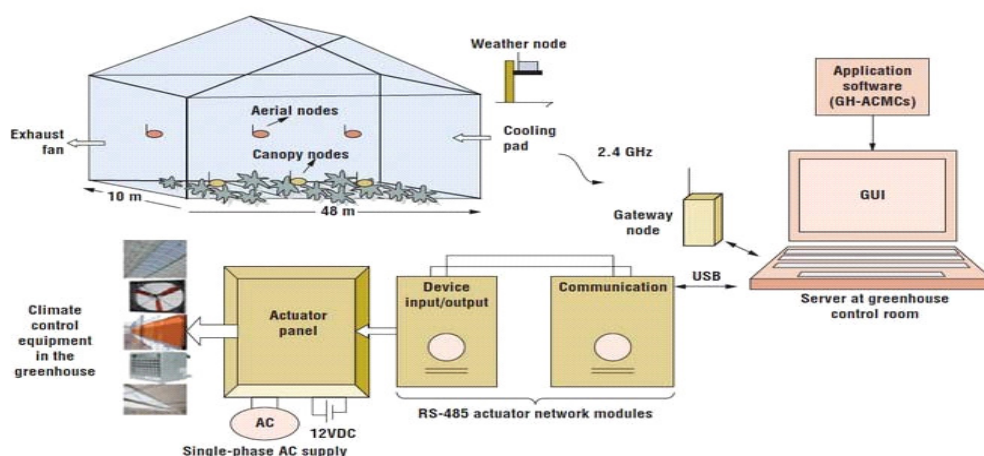
Οι Verma, et al (2010) στην έρευνά τους *Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων για την παρακολούθηση τομέων περικοπής* αναλύουν τον σχεδιασμό και την λειτουργία ενός Ασύρματου Δικτύου Αισθητήρων (WSN) το οποίο αποτελείται από κόμβους, με σκοπό ο τελικός χρήστης να παρακολουθεί τη θερμοκρασία του αέρα, την υγρασία και την ένταση του περιβάλλοντος φωτός σε μια καλλιέργεια. Έτσι δίνεται η δυνατότητα στους τελικούς χρήστες, όπως οι είναι οι αγρότες να μπορούν να καταλάβουν καλύτερα τις γεωργικές πρακτικές που πρέπει να υιοθετηθούν για τη διαχείριση των καλλιεργειών. Το σύστημα σκοπεύει στην επικοινωνία του καλλιεργητή με την εγκατάσταση της καλλιέργειας.

Το προτεινόμενο σύστημα WSN αποτελείται από 3 κόμβους αισθητήρων και έχει αναπτυχθεί σε ένα πεδίο brinjal. Κάθε κόμβος αισθητήρα αποτελείται από μονάδα πολλαπλών αισθητήρων υγρασίας θερμοκρασίας SHT15 και αισθητήρα φωτισμού περιβάλλοντος TSL2561, οι οποίοι παρακολουθούν τις βασικές περιβαλλοντικές μεταβλητές στο πεδίο brinjal. Τα δεδομένα του αισθητήρα μεταδίδονται μέσω σύνδεσης ραδιοσυχνοτήτων στο κεντρικά τερματικό υπολογιστή για την καταγραφή και ανάλυση δεδομένων. Όταν το τερματικό του υπολογιστή δεν είναι διαθέσιμο για να αποθηκευτούν τα δεδομένα του αισθητήρα περιλαμβάνεται ένα EEPROM στο μοντέλο πύλης. Εάν η σειριακή θύρα είναι κλειστή, ο μικροελεγκτής B αποθηκεύει όλα τα δεδομένα του αισθητήρα στο EEPROM. Όταν το τερματικό ενεργοποιηθεί ξανά, το EEPROM μπορεί να ανακτήσει τα αποθηκευμένα δεδομένα αισθητήρα μαζί με τις πληροφορίες ώρας και ημερομηνίας. Το EEPROM που χρησιμοποιείται είναι το AT24512 που κατασκευάζεται από την Atmel.

Για να γίνει το δίκτυο αισθητήρων ενεργειακά αποδοτικό, η λειτουργία ύπνου έχει χρησιμοποιηθεί για τους αισθητήρες και για τις ενότητες RF. Η αύξηση της διάρκειας ζωής του δικτύου έχει επιτευχθεί μέσω ενός μετατροπέα ώθησης ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑ που παρέχει στους κόμβους αισθητήρων μια σταθερή παροχή ηλεκτρικού ρεύματος. Άλλα

ειδικά χαρακτηριστικά του σχεδιασμού αποτελεί η ανίχνευση βλάβης του κόμβου αισθητήρα, τα ζητήματα αξιοπιστίας δεδομένων και η εγκατάσταση προγραμματισμού εκτός σύνδεσης. Το WSN μόλις εγκατασταθεί είναι οικονομικό στη χρήση.

Οι Halim, et al (2016) στο άρθρο τους *Διαδίκτυο των Πραγμάτων Τεχνολογία για το Θερμοκήπιο Σύστημα Παρακολούθησης και Διαχείρισης που Βασίζεται σε Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων* σχεδίασαν ένα πρόγραμμα για την παρακολούθηση της ανάπτυξης των φυτών σε πραγματικό χρόνο και για τη διασφάλιση της διατήρησης των βέλτιστων συνθηκών με την εφαρμογή παρεμβάσεων με βάση τις φάσεις ανάπτυξης. Η πλατφόρμα προγραμματισμού επιτελεί ένα πλήρως ολοκληρωμένο και αυτοματοποιημένο σύστημα παρακολούθησης και διαχείρισης θερμοκηπίου. Τα δεδομένα/πληροφορίες που προέρχονται από το θερμοκήπιο, συλλέγονται από αισθητήρες οι οποίοι τα στέλνουν σε μικροελεγκτή. Στέλνονται από πομπό σε δέκτη και στη συνέχεια φαίνονται στην οθόνη κάποιας συσκευής (smartphone / laptop / PDA) και καταλήγουν σε ένα σύστημα υπολογιστή που ονομάζεται σταθμός βάσης. Τα βασικά στοιχεία/υλικά του έργου είναι το Memsic, το Zigbee και το έξυπνο τηλέφωνο, ενώ το MP Lab και το LabView χρησιμοποιούνται ως στοιχεία λογισμικού.



Αρχιτεκτονική του συστήματος

Οι Ampatzidis, et al (2018) στο άρθρο τους *Εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης για Γεωργία Ακριβείας* εξετάζουν τις έννοιες της τεχνητής νοημοσύνης και της μηχανικής μάθησης και αναλύουν διάφορες έρευνες που έχουν σχέση με εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης σε γεωργικές καλλιέργειες. Η ανάπτυξη μιας τεχνολογίας τεχνητής νοημοσύνης βασίζεται στην όραση και αποτελείται από μια διαδικασία μάθησης που προϋποθέτει συλλογή και φωτογραφία πολλών δειγμάτων σε ένα φυσικό περιβάλλον για την

ακριβή αναπαράσταση των συνθηκών κάτω από τις οποίες θα λειτουργήσει αυτή η συσκευή. Με τις τεχνολογικές εξελίξεις στην όραση υπολογιστών, την τεχνητή νοημοσύνη και τη μηχανική μάθηση οδήγησαν στην ανάπτυξη και την εφαρμογή τεχνολογιών τηλεπισκόπησης για την αναγνώριση και τη διαχείριση φυτών, ζιζανίων, παρασίτων και ασθενειών. Το σύστημα με την βελτίωση των δεδομένων μπορεί να ξεπεράσει ζητήματα, όπως συνθήκες φωτισμού, κακή ευθυγράμμιση και ακατάλληλη εκτέλεση του αντικειμένου. Αυτοί οι αλγόριθμοι και τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να ενσωματωθούν με υλικό κινητής τηλεφωνίας για να δημιουργήσουν μια πλατφόρμα που να μπορεί να ανιχνεύει και να εντοπίζει με ακρίβεια εχθρούς και ασθένειες και να δημιουργεί έναν χάρτη για την εφαρμογή αγροχημικών μεταβλητού ρυθμού. Με την χρήση αυτών των τεχνολογιών οι απλικατέρ φυτοφαρμάκων θα είναι κατάλληλα εξοπλισμένοι για την εφαρμογή της σωστής ποσότητας φυτοφαρμάκων εκεί που χρειάζεται, για την μείωση της χρήσης φυτοφαρμάκων και τα έξοδα και την μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Οι τεχνολογίες αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την ανάπτυξη ακριβών και οικονομικά αποδοτικών τεχνολογιών μηχανικής συγκομιδής ή κλαδέματος για τα οπωροκηπευτικά.

Οι Chinchawade, et al (2020) στο άρθρο τους *Σημασία και Ευθύνες του Διαδικτύου των Πάντων (IOE) για Παρακολούθηση και Έλεγχο σε Έξυπνα Γεωργικά Συστήματα* αναλύουν τη σημασία και τις ευθύνες του IOE στα γεωργικά συστήματα ώστε να ελαχιστοποιήσουν τις απώλειες στην γεωργία. Η Cisco θεωρεί ότι το Διαδίκτυο των Πάντων (IoE) είναι το επόμενο στάδιο του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT). Το Internet of Everything (IoE) αποτελεί ένα οικοσύστημα συνδεδεμένων διαφόρων συσκευών όπως υπολογιστικές, μηχανικές ή ψηφιακές συσκευές εντός της υποδομής του διαδικτύου. Το IoE παίζει σημαντικό ρόλο στην ενίσχυση και τον ψεκασμό του συστήματος. Με αυτόν τον τρόπο οι αγρότες μπορούν να μειώσουν τα απόβλητα και να βελτιώσουν την ποιότητα των καλλιεργειών. Το έξυπνο σύστημα καλλιέργειας που σχεδίασαν, χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση των συγκομιδών με τη βοήθεια των διάφορων αισθητήρων, που είναι αισθητήρες στάθμης νερού, αισθητήρες υγρασίας, αισθητήρες θερμοκρασίας, αισθητήρες υγρασίας εδάφους, αισθητήρες υπερηχητικών εμποδίων κ.λπ. Περιλαμβάνει Pi- Κάμερα για την παρακολούθηση και την ανίχνευση για τυχόν ασθένειες φύλλων. Μπορεί να υπάρξει επίσης έλεγχος στη σπατάλη των τροφίμων, την παρακολούθηση και τον έλεγχο στην άρδευση ύδατος, τις γεωργικές χημικές ουσίες

όπως τα φυτοφάρμακα και τα λιπάσματα, αλλά και για την μείωση των δαπανών εργασίας, την υγεία των συγκομιδών και των βοοειδών κ.λπ. Για τον εύκολο έλεγχο των συσκευών σε πραγματικό χρόνο γίνεται με τη χρήση έξυπνων τηλεφώνων.

Συμπεράσματα

Στις μέρες μας με την εισαγωγή της τεχνολογίας στην καθημερινότητα έχει γίνει αναπόσπαστο κομμάτι και η χρήση της γίνεται σε μεγάλο βαθμό από πολλούς βιομηχανικούς τομείς. Στην γεωργία πολλές νέες τεχνολογίες έχουν κάνει την εμφάνιση τους, όπως η Ευφυής Γεωργία, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (ΙΟΤ), η Γεωργία Ακριβείας χρησιμοποιούν συστήματα πληροφοριών και επικοινωνιών, παρακολούθησης διάφορων παραμέτρων του περιβάλλοντος, δορυφόρους και σύγχρονες τεχνικές και τεχνολογίες. Η κλιματική αλλαγή αποτελεί ένα πρόβλημα που μας απασχολεί έντονα σήμερα και θα πρέπει να αντιμετωπιστεί με τη χρήση σωστών καλλιεργητικών εφαρμογών. Αυτή έχει επιφέρει σημαντικές αλλαγές στο κλίμα και μείωση των διαθέσιμων πόρων που είναι απαραίτητοι για την ζωή. Παρατηρείται σημαντική μείωση του διαθέσιμου νερού στους υδροφόρους ορίζοντες κυρίως λόγω της μεγάλης σπατάλης του από τους αγρότες με την χρήση του στις καλλιέργειες. Οι νέες τεχνολογίες καλούνται να αντιμετωπίσουν τα πρόσφατα προβλήματα που αντιμετωπίζει η γεωργία με την εξοικονόμηση των διαθέσιμων πόρων με την εφαρμογή σωστών τεχνικών στην διαχείριση του νερού όπως η άρδευση ακριβείας με την τεχνική της κατάλληλης ποσότητας που δίνεται στην καλλιέργεια. Ο αγρότης έχει στην διάθεση του πληροφορίες απαραίτητες για την σωστή διαχείριση των καλλιεργειών μέσω της χρήσης του Διαδικτύου των Πραγμάτων. Παράλληλα με την χρήση της Γεωργίας ακριβείας είναι δυνατό να γίνεται σωστή χρήση των διάφορων εισροών π.χ. λίπασμα, φυτοπροστατευτική ουσία κλπ. με την εφαρμογή της κατάλληλης ποσότητας λιπάσματος ή φυτοπροστασίας στην καλλιέργεια. Επομένως, η χρήση των νέων τεχνολογιών έχουν σκοπό την σωστή διαχείριση των πόρων, την βελτίωση των καλλιεργητικών πρακτικών και την αύξηση της παραγωγής ποιοτικά και ποσοτικά καθώς και την μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Βιβλιογραφία

- Ahmed, N., De, D., & Hussain, I. (2018). Internet of Things (IoT) for smart precision agriculture and farming in rural areas. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(6), 4890-4899.
- Alexandratos, N. (2009, June). World food and agriculture to 2030/50. In *Highlights and views from mid-2009. FAO expert meeting on how to feed the world in* (Vol. 2050).
- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE communications surveys & tutorials*, 17(4), 2347-2376.
- Ampatzidis, Y. (2018). Applications of Artificial Intelligence for Precision Agriculture. *EDIS*, 2018(6).
- Ananthi, N., Divya, J., Divya, M., & Janani, V. (2017, April). IoT based smart soil monitoring system for agricultural production. In *2017 IEEE Technological Innovations in ICT for Agriculture and Rural Development (TIAR)* (pp. 209-214). IEEE..
- Baudoin, W., Nono-Womdim, R., Lualadio, N., Hodder, A., Castilla, N., Leonardi, C., ... & Duffy, R. (2013). *Good agricultural practices for greenhouse vegetable crops: principles for mediterranean climate areas*. Fao.
- Bidar, M., Kanan, H. R., Mouhoub, M., & Sadaoui, S. (2018, July). Mushroom Reproduction Optimization (MRO): a novel nature-inspired evolutionary algorithm. In *2018 IEEE congress on evolutionary computation (CEC)* (pp. 1-10). IEEE.
- Blackmore, S., Stout, B., Wang, M., & Runov, B. (2005). Robotic agriculture-the future of agricultural mechanisation?. In *Precision agriculture'05. Papers presented at the 5th European Conference on Precision Agriculture, Uppsala, Sweden* (pp. 621-628). Wageningen Academic Publishers.
- Cai, W., Yang, W., & Chen, X. (2008, October). A global optimization algorithm based on plant growth theory: plant growth optimization. In *2008 International conference on intelligent computation technology and automation (ICICTA)* (Vol. 1, pp. 1194-1199). IEEE.
- Chen, Y., Shi, Y., Wang, Z., & Huang, L. (2016). Connectivity of wireless sensor networks for plant growth in greenhouse. *Int J Agric & Biol Eng*, 9(1), 89-98.

- Chinchawade, A. J., & Lamba, O. S. Importance and Responsibilities of Internet of Everything (IOE) For Monitoring and Controlling in Smart Agriculture Systems.
- Colombo B, West P, Smith P, Tubiello FN, Gerber J, Engstrom P, Urevig A and Wollenberg E. How Does Agriculture Change Our Climate? Environment Reports: Food Matters, 2016.
- Erdle, K., Mistele, B., & Schmidhalter, U. (2011). Comparison of active and passive spectral sensors in discriminating biomass parameters and nitrogen status in wheat cultivars. *Field Crops Research*, 124(1), 74-84.
- Grafton, R. Q., Williams, J., & Jiang, Q. (2015). Food and water gaps to 2050: preliminary results from the global food and water system (GFWS) platform. *Food Security*, 7(2), 209-220.
- Gupta, D., Sharma, P., Choudhary, K., Gupta, K., Chawla, R., Khanna, A., & Albuquerque, V. H. C. D. (2020). Artificial plant optimization algorithm to detect infected leaves using machine learning. *Expert Systems*, e12501.
- Halim, A. A. A., Hassan, N. M., Zakaria, A., Kamarudin, L. M., & Bakar, A. H. A. (2017). *Internet of things technology for greenhouse monitoring and management system based on wireless sensor network* (Doctoral dissertation, School of Computer and Communication Engineering, Universiti Malaysia Perlis).
- Halim, A. A. A., Hassan, N. M., Zakaria, A., Kamarudin, L. M., & Bakar, A. H. A. (2017). *Internet of things technology for greenhouse monitoring and management system based on wireless sensor network* (Doctoral dissertation, School of Computer and Communication Engineering, Universiti Malaysia Perlis).
- Heble, S., Kumar, A., Prasad, K. V. D., Samirana, S., Rajalakshmi, P., & Desai, U. B. (2018, February). A low power IoT network for smart agriculture. In *2018 IEEE 4th World Forum on Internet of Things (WF-IoT)* (pp. 609-614). IEEE.
- Hunt, R. (1982). *Plant growth analysis* (Vol. 4). Institute of Terrestrial Ecology.
- Jaya, N. I., & Hossain, M. F. (2018, October). A prototype air flow control system for home automation using mqtt over websocket in aws iot core. In *2018 International Conference on Cyber-Enabled Distributed Computing and Knowledge Discovery (CyberC)* (pp. 111-1116). IEEE.
- Lakhiar, I. A., Jianmin, G., Syed, T. N., Chandio, F. A., Buttar, N. A., & Qureshi, W. A. (2018). Monitoring and control systems in agriculture using intelligent sensor techniques: A review of the aeroponic system. *Journal of Sensors*, 2018.

- Lee, U., Chang, S., Putra, G. A., Kim, H., & Kim, D. H. (2018). An automated, high-throughput plant phenotyping system using machine learning-based plant segmentation and image analysis. *PloS one*, *13*(4), e0196615.
- Liakos, V. G. (2013). Application of new technologies in the management of apple orchards.
- M. R. Bendre, R. C. Thool and V. R. Thool, "Big data in precision agriculture: Weather forecasting for future farming," 2015 1st International Conference on Next Generation Computing Technologies (NGCT), Dehradun, 2015, pp. 744-750.
- Manolopoulou, H., Xanthopoulos, G., Douros, N., & Lambrinos, G. (2010). Modified atmosphere packaging storage of green bell peppers: Quality criteria. *Biosystems engineering*, *106*(4), 535-543.
- Ojha, T., Misra, S., & Raghuvanshi, N. S. (2015). Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges. *Computers and electronics in agriculture*, *118*, 66-84.
- PAL, A., GUO, H., YANG, S., AKKAS, M. A., & ZHANG, X. (2020). Taking Wireless Underground: A Comprehensive Summary. *ACM Transactions on Sensor Networks*, *1*(1).
- Ramasamy, M., Santhanam, P., Muniyappan, A., Lakshmanan, S. K., & Pandiyan, S. (2020). A novel methodology for the development of an optimal agricultural crop field using Internet of Things. *Computational Intelligence*.
- Shashikanthalu, S. P., Ramireddy, L., & Radhakrishnan, M. (2020). Stimulation of the germination and seedling growth of *Cuminum cyminum* L. seeds by cold plasma. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, *18*, 100259.
- Sudduth, K. A., Drummond, S. T., & Kitchen, N. R. (2001). Accuracy issues in electromagnetic induction sensing of soil electrical conductivity for precision agriculture. *Computers and electronics in agriculture*, *31*(3), 239-264.
- Tang, W., Yan, T., Wang, F., Yang, J., Wu, J., Wang, J., ... & Li, Z. (2019). Rapid fabrication of wearable carbon nanotube/graphite strain sensor for real-time monitoring of plant growth. *Carbon*, *147*, 295-302.
- Tripicchio, P., Satler, M., Dabisias, G., Ruffaldi, E., & Avizzano, C. A. (2015, July). Towards smart farming and sustainable agriculture with drones. In *2015 International Conference on Intelligent Environments* (pp. 140-143). IEEE.

- Verma, S., Chug, N., & Gadre, D. V. (2010, March). Wireless sensor network for crop field monitoring. In 2010 International Conference on Recent Trends in Information, Telecommunication and Computing (pp. 207-211). IEEE.
- Wandkar, S. V., Bhatt, Y. C., Jain, H. K., Nalawade, S. M., & Pawar, S. G. (2018). Real-time variable rate spraying in orchards and vineyards: a review. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, 99(2), 385-390.
- Whelan, B. M., και A. B. McBratney. «The “Null Hypothesis” of Precision Agriculture.» *Precision Agriculture*, 2000: 265-279.
- Yang, X. S. (2012, September). Flower pollination algorithm for global optimization. In *International conference on unconventional computing and natural computation* (pp. 240-249). Springer, Berlin, Heidelberg.
- York, L. M. (2019). Functional phenomics: an emerging field integrating high-throughput phenotyping, physiology, and bioinformatics. *Journal of Experimental Botany*, 70(2), 379-386.
- Zaeen, A. A. (2020). Improving Nitrogen Management in Potatoes with Active Optical Sensors.
- Zhao, Z., Cui, Z., Zeng, J., & Yue, X. (2011, December). Artificial plant optimization algorithm for constrained optimization problems. In *2011 Second international conference on innovations in bio-inspired computing and applications* (pp. 120-123). IEEE.
- Αναστασίου, Ε. (2020). Εφαρμογή Γεωργίας ακριβείας σε καλλιέργεια επιτραπέζιων σταφυλιών.
- Αποστολάκης, Σ. (2007). Επίδραση φωτοεκλεκτικών υλικών κάλυψης θερμοκηπίου στην αύξηση θερμοκηπιακής καλλιέργειας τομάτας (Bachelor's thesis).
- Δεληβόπουλος, Γ. Σ. (1994). Μορφολογία και ανατομία φυτών. *Εκδόσεις: Α. Σιμώνη-Σ. Χατζηπάντου ΟΕ*.
- Δερμάτη, Κ. (2013). Χρήση αισθητήρων παρακολούθησης της ανάπτυξης και υδατικής καταπόνησης των φυτών για υποβοήθηση της διαχείρισης του κλίματος και της άρδευσης καλλιεργειών υπό κάλυψη (Master's thesis).
- Καραγιάννης, Κ., & Κοτσορώνης, Β. (2021). Εφαρμογές του Internet of Things στην «έξυπνη γεωργία».
- Κελλίδης, Ε. (2015). Οργάνωση και εκμηχάνιση των εργασιών στα θερμοκήπια με ανθοκομικά φυτά.
- Κοκκότη, Κ. (2020). Καλλιέργεια γλαστρικών φυτών για ανθοφορία.

- Μαργαρίτη, Α. (2019). Γνώσεις και στάσεις των αγροτών της περιοχής της Ποτίδαιας Χαλκιδικής ως προς την ευφυή γεωργία.
- Μπουρίκα, Σ. (2019). Μελέτη συστημάτων Γεωργίας ακριβείας (Doctoral dissertation, Μπουρίκα Σταυρούλα).
- Ντάκος, Γ. Δ. (2015). Εφαρμογή μεταβλητών καλλιεργητικών φροντίδων σε οπωρώνες (Master's thesis).
- Ολύμπιος Χρ., 2015 Η τεχνική της καλλιέργειας των υπαίθριων κηπευτικών
- Ολύμπιος, Χ., 2001. Η τεχνική της καλλιέργειας των κηπευτικών στα θερμοκήπια. Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης, Αθήνα.
- Παμπουλάκης, Ν., & Τσόπελα, Ε. (2020). Χρήση Νέων Τεχνολογιών στη διαχείριση των καλλιεργειών.
- Παπαζώης, Π. (2019). Ασφάλεια στο διαδίκτυο των πραγμάτων.
- Παπαστουλιανού Παπασωτηρίου, Π. Θ., Μπιλάλης, Δ., Τραυλός, Η., & Παπαθεοχάρη, Α. Γ. (2015). Βιομηχανική τομάτα.
- Σίμου, Φ. (2018). Εξοικονόμηση ενέργειας μέσα από ελεγκτές αισθητήρων για υποδομή IoT επεξεργασίας και ρύθμισης των συνθηκών του αγρού.
- Σκεπετάρη, Α. (2020). Επίδραση της οργανικής και ανόργανης λίπανσης στην ανάπτυξη και τις αποδόσεις βιολογικής βιομηχανικής τομάτας κατά το καλλιεργητικό έτος 2019.
- Τσιτσόπουλος, Γ. (2019). Διαδίκτυο των πραγμάτων και δίκτυα 5G. Εφαρμογές στον τομέα του healthcare και agriculture.
- Φουντάς, Σ., & Γέμτος, Θ. (2015). Γενική Εισαγωγή Γεωργίας Ακριβείας.
- Χλωπτσίδης, Π. Α. (2017). Παρακολούθηση αγροτικής παραγωγής μέσω εφαρμογής σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων.
- <https://ir.lib.uth.gr/xmlui/bitstream/handle/11615/45024/10125.pdf?sequence=1>
- <https://www.edenindoorgardens.com.au/blogs/articles/the-effect-of-light-spectrum-on-plant-development-part-2>
- <https://www.smart-akis.com/index.php/el/network-el/what-is-smart-farming-el/>