



Πανεπιστήμιο Μακεδονίας

University Of Macedonia

ΔΠΜΣ Πληροφοριακά Συστήματα

MSc. In Information Systems

Μάθημα: Δίκτυα Υπολογιστών

Course: Computer Networks

Καθηγητής: Α.Α. Οικονομίδης

Professor: A.A. Economides

**ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ
ΚΑΙ ΣΤΙΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ**

**REAL CASES OF WIRELESS SENSOR NETWORKS FOR AGRICULTURE
FARMING & CROPS**



Ηλιάδη Αγγελική mis16034

Θεσσαλονίκη, Μάιος 2017

Περιεχόμενα	2
Περίληψη – Abstract	3
Παρουσίαση θέματος	4
1. Εισαγωγή στα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (WSNs)	5
2. Τύποι αισθητήρων σε Εφαρμογές στη Γεωργία Ακρίβειας	6
2.1. Αισθητήρας μέτρησης υγρασίας περιβάλλοντος	6
2.2. Σύστημα Διαχείρισης Άρδευσης	8
2.3. Αισθητήρες φυτών και ζιζανίων	9
2.4. Αισθητήρες λίπανσης μεταβλητής παροχής δόσης αζώτου	10
2.5. Αισθητήρας μέτρησης θερμοκρασίας περιβάλλοντος	11
3. Πραγματικές μελέτες περιπτώσεων χρήσης WSNs στη Γεωργία Ακρίβειας	11
3.1. Μελέτη εφαρμογής WSNs σε αμπελώνα	12
3.1.1. Μελέτη εφαρμογής WSNs σε αμπελώνα στη Μαγνησία	12
3.1.2. Μελέτη εφαρμογής WSNs σε αμπελώνα στις Η.Π.Α	13
3.1.3. Μελέτη εφαρμογής WSNs σε αμπελώνα στη Βόρεια Ισπανία	14
3.2. Μελέτη Περίπτωσης Συστήματος Ύδρευσης σε Ακτινίδια στην Ιταλία	15
3.3. Μελέτη εφαρμογής WSNs σε αροτραίες καλλιέργειες στη Βοιωτία	16
3.4. Μελέτη εφαρμογής WSNs στην ελιά στη Χαλκιδική	17
3.5. Μελέτη εφαρμογής WSNs σε Οργανικές Φάρμες στο Ηνωμένο Βασίλειο	18
3.6. Μελέτη εφαρμογής WSNs σε βαμβάκι	19
3.6.1. Μελέτη εφαρμογής WSNs σε βαμβάκι στο Θεσσαλικό κάμπο	19
3.6.2. Μελέτη εφαρμογής WSNs στο βαμβάκι στις Η.Π.Α	21
4. Πίνακες Αισθητήρων	23
5. Συμπεράσματα – προτάσεις για μελλοντική έρευνα	24
Βιβλιογραφία	26

Περίληψη

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε με στόχο την διερεύνηση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων στη Γεωργία Ακριβείας. Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται μία περιγραφή των χαρακτηριστικών των ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Στο δεύτερο κεφάλαιο μελετώνται τα διάφορα είδη αισθητήρων που χρησιμοποιούνται στις καλλιέργειες και περιγράφεται ο τρόπος λειτουργίας του. Στη συνέχεια στο επόμενο κεφάλαιο αναλύονται εφαρμογές που υλοποιήθηκαν με βάση τη Γεωργία Ακριβείας. Συγκεκριμένα, οι εφαρμογές αφορούν καλλιέργειες αμπελώνα, βαμβακιού, ακτινιδίου, ελιάς και άλλων καλλιεργειών. Τέλος, παρατίθενται συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

Abstract

This assignment was devised in order to investigate the wireless sensor networks in precision agriculture. The first chapter presents the characteristics of wireless sensor networks. The second chapter focuses on the various types of sensors used on crops and describes how they work. Then, in the next chapter, there is an analysis of the applications carried out by precision agriculture. Specifically, these applications deal with vineyard crops, cotton, kiwi, olive and other crops. Finally, conclusions and recommendations are provided for future research.

Παρουσίαση θέματος

Η Γεωργία Ακριβείας μπορεί να οριστεί ως η τέχνη και η επιστήμη που χρησιμοποιεί προηγμένη τεχνολογία για την ενίσχυση των καλλιεργειών παραγωγής (Keshtgari and Deljoo 2012). Σκοπός της Γεωργίας Ακριβείας είναι να μειώσει το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της καλλιέργειας, να μειώσει δηλαδή την υπερβολική χρήση χημικών και την υπέρμετρη χρήση γεωργικών μηχανημάτων. (Ruiz-Garcia, Lunadei, Barreiro, & Robla, 2009)

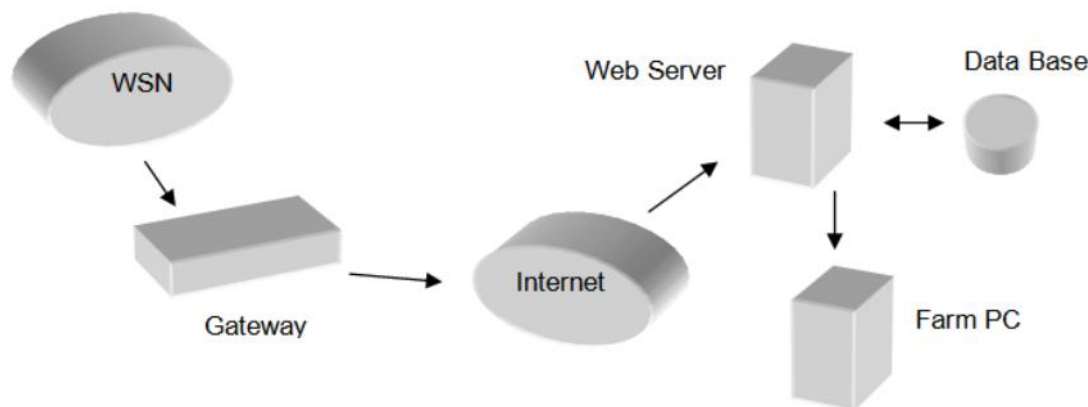
Ένα σημαντικό ζήτημα που τίθεται στη γεωργία ακριβείας είναι ο τύπος των παραμέτρων που πρέπει να ανιχνεύονται, οι οποίοι, εκτός από τις τακτικές περιβαλλοντικές παραμέτρους όπως η θερμοκρασία, η υγρασία και η ηλιακή ακτινοβολία, μπορεί να περιλαμβάνουν την υγρασία του εδάφους, ζιζανιοκτόνα και τα φυτοφάρμακα, συστήματα νερού και τροφοδοσίας. Υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις ανίχνευσης που συμβάλλουν στη συλλογή στοιχείων, συμπεριλαμβανομένης της τηλεπισκόπησης από δορυφόρους και εναέριων αισθητήρων, αυτόνομα κινητά συστήματα και ενσωματωμένα, δικτυωμένων συστημάτων. Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων ανήκουν στην τελευταία κατηγορία. (Sakthipriya, 2014)

Προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η ποσότητα, η ποικιλία και η ακρίβεια των πληροφοριών που προέρχονται από τη γεωργία ακριβείας απαιτείται μια ποικιλία αξιόπιστων, υψηλής απόδοσης και οικονομικά αποδοτικών αισθητήρων. Ως εκ τούτου, οι γεωργοί μπορούν να γνωρίζουν άμεσα την κατάσταση της καλλιέργειας σε όλα τα στάδια της, γεγονός που θα διευκολύνει τη διαδικασία λήψης αποφάσεων σχετικά με το χρόνο της συγκομιδής. (Μακρή, 2011)

Η χρήση ασύρματων δικτύων αισθητήρων (WSN) στα πλαίσια της γεωργίας είναι όλο και περισσότερο κοινή και αποδεσμεύει τον γεωργό από τη διατήρηση της καλωδίωσης σε ένα δύσκολο περιβάλλον. (Μακρή, 2011)

1. Εισαγωγή στα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (WSNs)

Η ανάπτυξη εφαρμογών WSN στη γεωργία ακριβείας καθιστά δυνατή την αύξηση της αποτελεσματικότητας της κερδοφορίας της φυτικής παραγωγής, την βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων με παράλληλη ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων στην πανίδα και το περιβάλλον. Τα συστήματα γεωργικής παραγωγής, μέσω της χρήσης WSN, παρέχουν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο δημιουργώντας ένα μοντέλο λήψης αποφάσεων για τους αγρότες. Το μοντέλο δίνει την ευχέρεια στον χρήστη-γεωργό να προσαρμόσει την στρατηγική οποιαδήποτε χρονική στιγμή υπάρξει ανάγκη. Αντί να λαμβάνει αποφάσεις βασισμένες σε κάποιο υποθετικό μέσο όρο, ο οποίος δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα, η προσέγγιση της γεωργίας ακριβείας αναγνωρίζει τις διαφορές και προσαρμόζει τις δράσεις διαχείρισης αναλόγως με τις ανάγκες. (Ruiz-Garcia, Lunadei, Barreiro, & Robla, 2009)



Εικόνα 1. Πρόταση απομακρυσμένης αρχιτεκτονικής τηλεπισκόπησης στη γεωργία ακριβείας.

Η πρόοδος στις ασύρματες επικοινωνίες, και κυρίως στην τεχνολογία των ηλεκτρομηχανικών συστημάτων έχουν συντελέσει στην ανάπτυξη πολυ-λειτουργικών αισθητήρων χαμηλής ισχύος και κόστους για να μπορούν να παραχθούν σε μεγάλο αριθμό με στόχο οι πόροι τους να είναι εξαιρετικά μειωμένοι όσον αφορά την ενέργεια, τη μνήμη, το εύρος ζώνης επικοινωνίας και την υπολογιστική τους ικανότητα. Επίσης, είναι σε θέση να αντιδρούν σε μεταβολές φυσικών φαινομένων του περιβάλλοντος, είναι μικρού μεγέθους και ενεργειακά αυτόνομοι και αποτελούνται από επιμέρους τμήματα αίσθησης, επεξεργασίας δεδομένων και επικοινωνίας. Οι

αισθητήρες αυτοί μπορούν να επικοινωνήσουν σε σχετικά μικρές αποστάσεις μεταξύ τους και έχουν τη δυνατότητα ασύρματης επικοινωνίας. (Μακρή, 2011; Dargie, and Poellabauer, 2010; Sohraby, Minoli, & Znati, 2007)

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSN) χρησιμοποιούνται κυρίως για παρατηρήσεις και ελέγχους του φυσικού περιβάλλοντος σε περιπτώσεις όπου η τοποθεσία δεν είναι εύκολα προσβάσιμη. Συνήθως συνίστανται από έναν κεντρικό αποδέκτη και μερικές δεκάδες ή και εκατοντάδες μικρούς περιφερειακούς κόμβους. Οι κόμβοι αυτοί μπορούν να «αισθάνονται» τα φυσικά φαινόμενα, να επεξεργάζονται τα πρωτογενή δεδομένα και να διαμοιράζουν την επεξεργασμένη πληροφορία στους γειτονικούς κόμβους. Το δίκτυο συμπεριφέρεται δηλαδή σαν ένα κεντριοποιημένο σύστημα με τους κόμβους να είναι κατανεμημένοι και συνεργαζόμενοι. Άρα λοιπόν, τα WSN είναι μια ειδική περίπτωση κατανεμημένου συστήματος – δικτύου, παρόμοιου με συστήματα όπως τα ενσωματωμένα (embedded), τα real-time και τα συστήματα βάσης δεδομένων.

Σε ένα WSN η μετάδοση πληροφοριών από κόμβο σε κόμβο γίνεται ασύρματα είτε με ραδιοσυχνότητες είτε με υπέρυθρες είτε με οπτικές ίνες. Η επιλογή όμως του μέσου μετάδοσης εξαρτάται από την εφαρμογή για την οποία εγκαταστάθηκε. (Sohraby, Minoli, & Znati, 2007)

2. Τύποι αισθητήρων σε Εφαρμογές στη Γεωργία Ακριβείας

Στην γεωργία ακριβείας, οι περισσότερες από τις εφαρμογές WSN στοχεύουν στην ακριβή παρακολούθηση της καλλιέργειας (Precision Agriculture) κατά τη διάρκεια της ανάπτυξής της. Για παράδειγμα, ασύρματο δίκτυο αισθητήρων για την παρακολούθηση της κατάστασης των περιβαλλοντικών συνθηκών με πληροφορίες των θρεπτικών συστατικών του εδάφους εφαρμόζεται για την πρόβλεψη της υγείας των καλλιεργειών και της ποιότητας παραγωγής, της μέτρησης του επιπέδου της υγρασίας, τον έλεγχο της άρδευσης στις καλλιέργειες, της μέτρησης της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, της μέτρησης της ταχύτητας και κατεύθυνσης του ανέμου. Αισθητήρες φυτών σε γεωργικές εφαρμογές που περιλαμβάνουν ελεγχόμενη χρήση λιπασμάτων, την παρακολούθηση της ποιότητας των καλλιεργειών και των παρασίτων. (Ojha, Misra, & Raghuwanshi, 2015)

2.1. Αισθητήρας μέτρησης υγρασίας περιβάλλοντος

Η υγρασία του εδάφους είναι θεμελιώδους σημασίας στον τομέα της γεωργίας. Με την βοήθεια της παρακολούθησης με χρήση WSN, οι γεωργοί δύνανται να επιτύχουν την

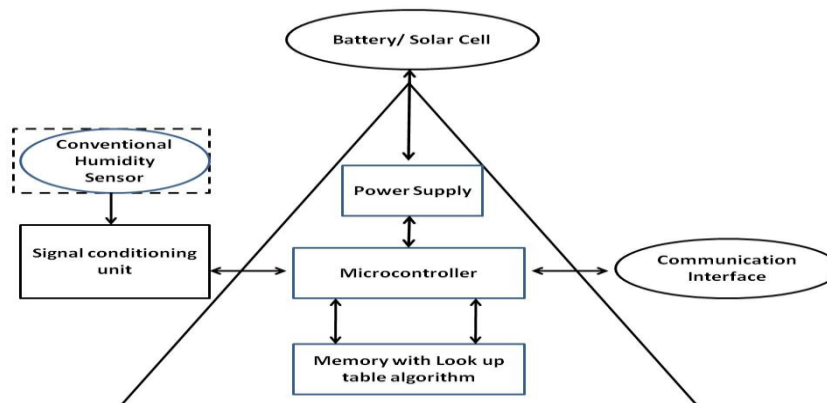
προτιμώμενη σε περιεκτικότητα υγρασία των καλλιεργειών. Γνωρίζοντας την περιεκτικότητα σε υγρασία του εδάφους, οι γεωργοί προσαρμόζουν τις δραστηριότητες τους για να βελτιστοποιήσουν την απόδοση των καλλιεργειών.

Ο αισθητήρας μέτρησης υγρασίας του περιβάλλοντος μπορεί να βρει εφαρμογή στην γεωργία ακριβείας, σε αυτόματους μετεωρολογικούς σταθμούς καθώς και σε αγρό-μετεωρολογικούς σταθμούς.

Ένας αισθητήρας υγρασίας περιλαμβάνει τρία τμήματα. (Shinghal, Noor, Srivastava, & Singh, 2011)

- Ένα στοιχείο ανίχνευσης που μετρά την υγρασία.
- Ένα υπολογιστικό στοιχείο που αναλύει τις μετρήσεις που έγιναν από το στοιχείο ανίχνευσης.
- Μια διασύνδεση επεξεργασίας που ενώνεται με τον έξω κόσμο και επιτρέπει στον αισθητήρα να ανταλλάσει πληροφορίες με άλλες μεγαλύτερες συσκευές.

Το διάγραμμα λειτουργίας των τμημάτων ενός αισθητήρα υγρασίας παρουσιάζεται στην εικόνα 2.



Εικόνα 2. Διάγραμμα λειτουργίας αισθητήρα.

Οι αισθητήρες τύπου χωρητικότητας υγρασίας ανιχνεύουν την υγρασία με τη μέτρηση της μεταβολής της ηλεκτροστατικής χωρητικότητας ενός στοιχείου που αντιστοιχεί στην υγρασία του περιβάλλοντος. Μετρητές για την χωρητικότητα της υγρασίας διανέμουν την αξία της χωρητικότητας σε συνάρτηση με την υγρασία του αέρα στην περιοχή γύρω από το στοιχείο μέτρησης. Το στοιχείο ανίχνευσης χωρητικότητας υγρασίας περιλαμβάνει μια μη ευαίσθητη στην υγρασία και μη αγώγιμη δομή από ηλεκτρόδια, μαζί με μια διηλεκτρική επιφάνεια που είναι εξαιρετικά ευαίσθητη στην υγρασία. Η διηλεκτρική επιφάνεια είναι τοποθετημένη με τέτοιο τρόπο ώστε να απορροφά την υγρασία από το περιβάλλον που βρίσκεται ο αισθητήρας, καλύπτοντας εξωτερικά την μη αγώγιμη δομή. Ένας αισθητήρας υγρασίας τέτοιου τύπου παρουσιάζεται στην εικόνα 4. (Shinghal, Noor, Srivastava, & Singh, 2011)



Εικόνα 3. Αισθητήρας υγρασίας.

2.2. Σύστημα Διαχείρισης Άρδευσης

Η αποτελεσματική διαχείριση του νερού είναι μια σημαντική ανησυχία σε πολλά συστήματα καλλιέργειας. Η σύγχρονη γεωργία απαιτεί ένα βελτιωμένο σύστημα άρδευσης για τη βελτιστοποίηση της χρήσης νερού στην γεωργία και σε συνδυασμό με την ανησυχητική μείωση του επιπέδου των υπόγειων υδάτων ενισχύεται η ανάγκη για ένα προηγμένο σύστημα άρδευσης. (Ojha, Misra, & Raghuwanshi, 2015)

Στη συνέχεια προσπαθούμε μέσω μιας συνοπτικής περιγραφής να προσδιορίσουμε την διαδικασία ελέγχου άρδευσης: (Shinghal, Noor, Srivastava, & Singh, 2011)

- Ο διακομιστής του κέντρου δεδομένων προσδιορίζει τα δεδομένα υγρασίας από τους αισθητήρες.
- Το σύστημα εφαρμογής της βάσης δεδομένων συγκρίνει τα δεδομένα των εμπειρογνομόνων με δεδομένα υγρασίας σε πραγματικό χρόνο για να προσδιορίσει αν οι καλλιέργειες πρέπει να αρδευτούν, και να αποφασίσει την ποσότητα άρδευσης στην ανά μονάδα περιοχή.
- Σύστημα υποστήριξης λήψης αποφάσεων στέλνει οδηγίες άρδευσης στο σταθμό βάσης για να ορίσει τη θέση και το ποσό άρδευσης.
- Ο σταθμός βάσης στέλνει οδηγίες άρδευσης στο σύστημα ελέγχου άρδευσης.
- Το σύστημα ελέγχου άρδευσης ανοίγει την ηλεκτρονική βαλβίδα στην προσδιοριζόμενη θέση άρδευσης και κλείνει όταν φτάσει στο επιθυμητό όριο άρδευσης.
- Η τοπική άρδευση ολοκληρώνεται, και η παραπάνω διαδικασία κινείται σε κύκλο.

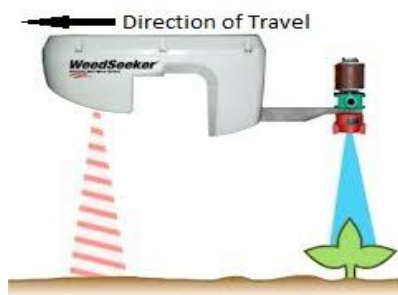


Εικόνα 4. Σύστημα διαχείρισης άρδευσης.

2.3. Αισθητήρες φυτών και ζιζανίων

Ο έλεγχος νόσου των φυτών, τα ζιζάνια και τα έντομα αποτελούν σημαντικούς παράγοντες που επηρεάζουν την υψηλή απόδοση των καλλιεργειών και των προϊόντων υψηλής ποιότητας. Προκειμένου, ο γεωργός να είναι σε θέση να καταστρέψει ένα ζιζάνιο ή να καταπολεμήσει μια ασθένεια πρέπει να έχει την δυνατότητα να τα ανιχνεύει. Τεχνικές ανίχνευσης ζιζανίων και ασθενειών είναι οι αισθητήρες και οι ενεργοποιητές που είτε συνδέονται με το τρακτέρ είτε αποτελούν ανεξάρτητες αυτόνομες μηχανές που εξυπηρετούν το σκοπό αυτό.

Συστήματα εφαρμογής εισροών με μεταβλητές δόσεις χρησιμοποιούν αισθητήρες για να μετρούν τις ιδιότητες των φυτών και του εδάφους. Τα εμπορικά συστήματα ελέγχου ζιζανίων περιλαμβάνουν φωτονικό σύστημα ανίχνευσης που χρησιμοποιεί ανακλάσεις για τον προσδιορισμό των διαφορών μεταξύ των ζιζανίων και το γυμνό έδαφος. Το **Weedseeker** είναι ένα τέτοιο μηχάνημα που ψεκάζει μόνο ζιζάνια και όχι έδαφος καθώς προχωράει στον αγρό. Έτσι επιτυγχάνεται μεγάλη οικονομία στη χρήση ζιζανιοκτόνων. (Anusha and Shobha, 2015; Thessler, Kooistra, Teye, Huitu, & Bregt, 2011)



Εικόνα 5. Αισθητήρας Weedseeker.

2.4. Αισθητήρες λίπανσης μεταβλητής παροχής δόσης αζώτου

Η διαχείριση του αζώτου στις καλλιέργειες αποτελεί εδώ και πολλές δεκαετίες πεδίο έρευνας και δημόσιας συζήτησης. Προκειμένου, να παρακολουθηθούν οι ανάγκες των φυτών για λίπανση και να ληφθούν σχετικές αποφάσεις εφαρμογής λιπάσματος, πραγματοποιούνται μετρήσεις του φυλλώματος με πολυφασματικούς αισθητήρες.

Η πληροφορία για την εκτίμηση των απαιτήσεων σε άζωτο στηρίχθηκε στο δείκτη χλωροφύλλης, ο οποίος υπολογίζεται από την ανάλυση του φυλλώματος σε δύο φάσματα, το υπέρυθρο και το ορατό φάσμα. (Ευαγγέλου και Τσαντήλας, 2011)

Πρώτο και βασικό στάδιο στην εκτίμηση των απαιτήσεων της καλλιέργειας σε άζωτο είναι η παραγωγή ενός χάρτη του δείκτη χλωροφύλλης. Η ποσότητα αζώτου που απαιτείται σε ένα σημείο του αγρού υπολογίζεται από έναν αλγόριθμο, ο οποίος λαμβάνει υπόψη το δείκτη χλωροφύλλης στο στάδιο της ανάπτυξης της καλλιέργειας. (Ευαγγέλου και Τσαντήλας, 2011)

Η πιο σύγχρονη μέθοδος χρήσης των αισθητήρων φυλλώματος για τη λίπανση είναι η χρήση τους σε συστήματα μεταβλητής παροχής του αζώτου για λίπανση σε πραγματικό χρόνο. Τα συστήματα αυτά αποτελούνται από: (Ευαγγέλου και Τσαντήλας, 2015)

- Πολυφασματικούς αισθητήρες ικανούς να μετρούν δείκτες βλάστησης, όπως αυτός του δείκτη χλωροφύλλης (CI).
- Σύστημα καταγραφής/διαχείρισης δεδομένων με ειδική λειτουργία απόκρισης αζώτου που ελέγχει πλήρως ειδικό εφαρμογέα για την εφαρμογή της μεταβλητής αζωτούχου λίπανσης.
- Ειδικός λιπασματοδιανομέας που λιπαίνει ανάλογα των εντολών που δέχεται από το σύστημα καταγραφής/διαχείρισης δεδομένων.
- Ένα διαφορικό σύστημα GPS ικανό να παράγει υψηλής ακρίβειας χάρτες, όπως δείκτη χλωροφύλλης, απαιτήσεων σε άζωτο ή εισροών αζώτου.

Η λίπανση πραγματοποιείται από το σύστημα ως εξής: οι φορητοί πολυφασματικοί αισθητήρες εφαρμόζονται σε τρακτέρ και σαρώνουν/συλλέγουν την ακτινοβολία που ανακλάται από τη φυλλική επιφάνεια από μια σταθερή απόσταση 60 cm, από τρία μήκη κύματος (ερυθρό, υπέρυθρο, εγγύς υπέρυθρο) σε στάδιο της καλλιέργειας που αντιστοιχεί σε πρώιμο στάδιο της καμπύλης πρόσληψης του αζώτου. Η βέλτιστη χρονική στιγμή που πρέπει να αρχίσουν οι σαρώσεις είναι αντικείμενο της έρευνας για κάθε περιοχή και τύπο εδάφους και συνήθως ξεκινά στα στάδια ανάπτυξης. Τα δεδομένα ανάκλασης μετατρέπονται σε πραγματικό χρόνο σε δείκτη χλωροφύλλης και απαίτησης σε άζωτο, ενώ με ειδική λειτουργία «απόκρισης αζώτου» ειδικός ρυθμιστής «οδηγεί» τη λειτουργία ενός ειδικού λιπασματοδιανομέα που μεταβάλλει χωρικά τις ποσότητες του αζώτου που εφαρμόζονται ανάλογα των αναγκών των φυτών. Κατά τη διαδικασία

Real cases of WSNs for Agriculture, Farming & Crops

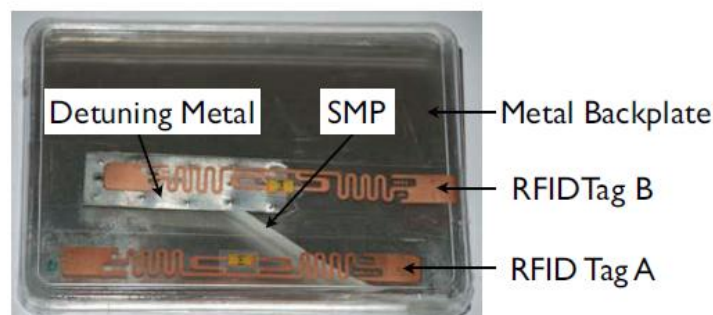
της εφαρμογής επιφανειακών λιπάνσεων με το σύστημα μεταβλητής παροχής παράγονται ταυτόχρονα θεματικοί χάρτες ανάκλασης της ακτινοβολίας των φυτών, απαίτησης της καλλιέργειας σε άζωτο και πραγματικών ποσοτήτων εφαρμογής. (Ευαγγέλου και Τσαντήλας, 2015)

2.5. Αισθητήρας μέτρησης θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι ένας ακόμη εξίσου σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την αποδοτικότητα των καλλιεργειών. Μέσω της τεχνολογίας της Γεωργίας Ακρίβειας, γίνεται προσπάθεια με την ανάπτυξη αισθητήρων να προβλεφθεί η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και να αποφευχθούν ενδεχόμενες ζημιές στις καλλιέργειες.

Στη συνέχεια, αναλύεται ο τρόπος λειτουργίας ενός αισθητήρα μέτρησης θερμοκρασίας: (Bhattacharyya, Di Leo, Floerkemeier, Sarma & Anand, 2010)

- Αποτελείται από δύο ετικέτες RFID που απέχουν μεταξύ τους 25mm και βρίσκονται πάνω σε μία πλαστική βάση.
- Μέσα στον αισθητήρα θερμοκρασίας, υπάρχει μία μεταλλική πλακέτα.
- Μία Shape Memory Polymer (SMP), ενώνει την παραπάνω μεταλλική πλακέτα με μία από τις δύο πλακέτες του RFID, με σκοπό την μετακίνηση της παραπάνω μεταλλικής πλακέτας.



Εικόνα 6. Αισθητήρας θερμοκρασίας.

3. Πραγματικές μελέτες περιπτώσεων χρήσης WSNs στη Γεωργία Ακρίβειας.

Η εφαρμογή αποτελεί το τελευταίο στάδιο για την ολοκλήρωση του κύκλου της Γεωργίας Ακρίβειας. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη λήψη εντολών από αισθητήρες. (Morgan, 1995)

Για την εφαρμογή γεωργίας ακριβείας, χρειάζεται να συλλέξουμε δεδομένα, όπως είναι τα χαρακτηριστικά του εδάφους και να τα επεξεργαστούμε με τη συμμετοχή γεωπόνων και

κατάλληλων λογισμικών. Μετά τη μελέτη εφαρμόζουμε τα όσα είδαμε στο χωράφι και τέλος αξιολογούμε τα αποτελέσματα της εφαρμογής μας.

Για να γίνουν στη πράξη οι εφαρμογές, πρέπει να ελεγχθούν πρώτα τα φυτά στα οποία πρόκειται δοκιμαστούν οι εφαρμογές, ώστε να βρεθεί κάποιο χαρακτηριστικό του φυτού, που να δείχνει την ύπαρξη παραλλακτικότητας της παραγωγής. (Λιάκος, 2013)

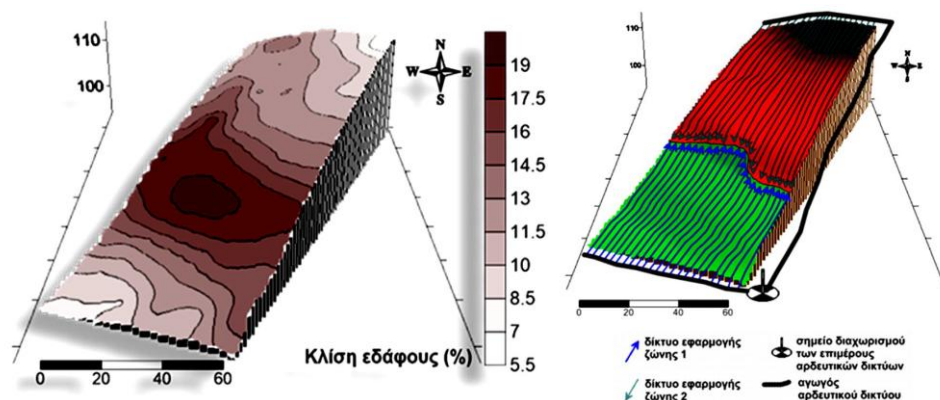
Μέχρι σήμερα Εφαρμογές Γεωργίας Ακριβείας έχουν πραγματοποιηθεί σε πολλά και διαφορετικά είδη φυτών και καλλιεργειών. Μερικά από αυτά που θα αναλύσουμε είναι οι εφαρμογές σε αμπελώνες, στο βαμβάκι, στο ακτινίδιο και στην ελιά.

3.1. Μελέτη εφαρμογής WSNs σε αμπελώνα

3.1.1. Μελέτη εφαρμογής WSNs σε αμπελώνα στη Μαγνησία

Όλες οι εφαρμογές που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα, έχουν δείξει υψηλή παραλλακτικότητα. Θα αναλύσουμε την εφαρμογή που έλαβε χώρα το 2014 στη περιοχή Μικροθηβών στη Μαγνησία. Για την εφαρμογή αυτή έγιναν αρχικά διάφορες μετρήσεις, όπως της παραλλακτικότητας της παραγωγής και των ποιοτικών χαρακτηριστικών, του εδάφους (αναλύσεις δειγμάτων, καθώς και μέτρηση του βάθους του εδάφους), μετρήσεις NDVI. Ο NDVI είναι δείκτης βλάστησης που χρησιμοποιείται στη χαρτογράφηση της παραλλακτικότητας των ιδιοτήτων του φυλλώματος. Στην αμπελουργία έχει σχετιστεί με τη ποιότητα των σταφυλιών (Bramley, Pearse, & Chamberlain, 2003; Best, Leon, & Claret, 2005). Άλλες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν είναι οι μετρήσεις των φυσιολογικών χαρακτηριστικών του φυτού, όπως η μέτρηση της υγρασίας του εδάφους, ώστε να εξορθολογιστεί η εφαρμογή νερού. Οι παραπάνω μετρήσεις βοήθησαν στη δημιουργία ζωνών διαχείρισης. Στο έδαφος, οι μετρήσεις φαινομενικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας έγιναν με αισθητήρα EM 38 (Geonics). Ο αισθητήρας EM 38 συνδέεται είτε με σειριακό καλώδιο RS-232, είτε με ασύρματη τεχνολογία Bluetooth.

Η συλλογή δεδομένων γίνεται από ένα σύστημα συλλογής δεδομένων (Data Acquisition System), το DAS70 – AR. Η φαινομενική ηλεκτρική αγωγιμότητα επηρεάζεται από την υγρασία του εδάφους και βοηθάει στο διαχωρισμό του εδάφους σε ζώνες.

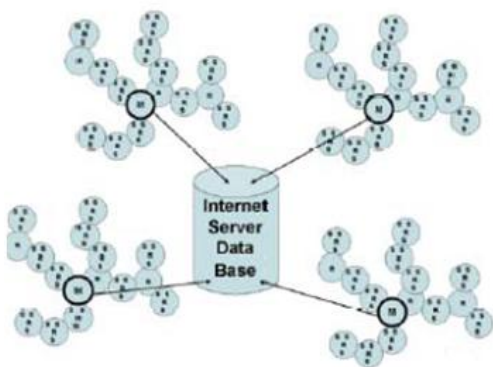


Εικόνα 7. Χάρτης ανάγλυφου του εδάφους του αμπελώνα που δείχνει την κλίση του και διαχωρισμός του δικτύου.

Στο γεωργικό ελκυστήρα τοποθετήθηκε laser που σάρωσε τα πρέμνα πριν και μετά το κλάδεμα. Το πότισμα του αμπελώνα πραγματοποιήθηκε με σύστημα στάγδην άρδευσης (σύστημα κλειστών σωληνωτών αγωγών στους οποίους το νερό ρέει υπό πίεση) με έναν κεντρικό αγωγό στο πάνω μέρος του αγροτεμαχίου και στους σταλλακτηφόρους σωλήνες κατά μήκος της κλίσης. Έγινε διαχωρισμός του δικτύου σε δύο μέρη, ώστε να ποτίζονται ξεχωριστά με βάση τις ανάγκες τους. Αυτό έδωσε σαν αποτέλεσμα την εξοικονόμηση νερού και ενέργειας στο 20%. (Ταγαράκης, 2014)

3.1.2. Μελέτη εφαρμογής WSNs σε αμπελώνα στις Η.Π.Α

Το αμπέλι κινδυνεύει από παγετούς, ακόμα και τους ανοιξιάτικους μήνες, εφαρμόστηκε δίκτυο ασύρματων αισθητήρων για την αποφυγή της ζημιάς.



Εικόνα 8. Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων κατανομημένο σε απομακρυσμένα μέρη με σύνδεση μέσω διαδικτύου.

Η τοπολογία που χρησιμοποιεί η εφαρμογή, είναι ένα κατανομημένο σύστημα, με ένα κύριο διαχειριστή Server, στον οποίο συνδέονται δίκτυα αισθητήρων, που ακολουθούν τυπική τοπολογία Star.

Οι ασύρματοι κόμβοι αισθητήρων που χρησιμοποιήθηκαν μετράνε τη θερμοκρασία, τη ταχύτητα, την υγρασία και τη διεύθυνση του αέρα, την υγρασία εδάφους και της επιφάνειας των φύλλων και την ατμοσφαιρική πίεση.

Το πλήθος των κόμβων είναι 300 και το πρωτόκολλο επικοινωνίας που χρησιμοποιήθηκε 900MHz, FSHH radio. Η επικοινωνία με το Server είναι TCP/IP. Ο ρυθμός λήψης και αποστολής δεδομένων είναι 1 και 15 λεπτά αντίστοιχα. Οι αισθητήρες τροφοδοτούνται με ενέργεια με μπαταρίες και Φ/Β Πάνελ.

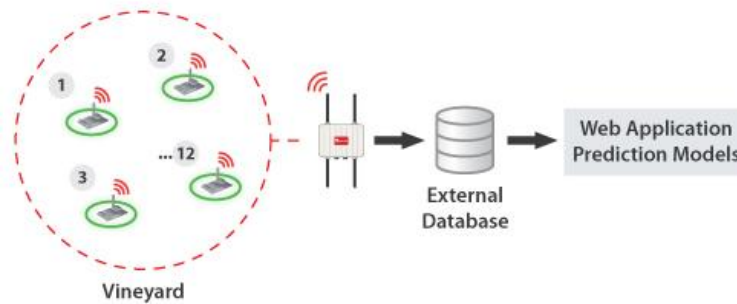
Από τους αισθητήρες δημιουργήθηκε το προφίλ της θερμοκρασίας και των υπόλοιπων μεταβλητών που αναφέρθηκαν, σε όλη τη διάρκεια του 24ώρου. Στη συνέχεια έγινε συσχετισμός των μεταβλητών για να διαπιστωθεί η πιθανότητα παγετού ή ακόμα και ξηρασίας, έτσι ώστε τελικά να ενεργοποιηθούν οι μέθοδοι αντιστάθμισης (θέρμανση, άρδευση) όταν και όπου χρειάζεται.

Το αποτέλεσμα που προέκυψε ήταν οικονομία στα καύσιμα, σε εργατικό δυναμικό και σε τυχόν ζημιές των μηχανημάτων, καθώς η συλλογή των παραπάνω δεδομένων έγινε αυτόματα από το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων. (Pierce and Elliot, 2008)

Η εφαρμογή νέων τεχνολογιών και μεθόδων, δίνει στους οиноπαραγωγούς τη δυνατότητα να βελτιστοποιήσουν τα συστήματα παραγωγής με βάση τις τεχνικές και οικονομικές πτυχές της διαχείρισης, καθώς και των περιβαλλοντικών ζητημάτων που προκύπτουν. (Taylor, Tisseyre, & Praat, 2005)

3.1.3. Μελέτη εφαρμογής WSNs σε αμπελώνα στη Βόρεια Ισπανία

Η εφαρμογή που θα αναλύσουμε πραγματοποιήθηκε στην περιοχή Rías Baixas στη Galicia στη βορειοδυτική Ισπανία στην ποικιλία λευκών σταφυλιών Albariño το 2012. Υλοποιήθηκε με τη συνεργασία της Libelium για το πρόγραμμα Smart Viticulture και τη χρήση του συστήματος της, Wasp mote Wireless Sensor Devices σε συνδυασμό με τις πρακτικές των παραγωγών. Στόχος αυτής της εφαρμογής ήταν να ενισχυθεί η ποιότητα και παραγωγή των σταφυλιών. Ο εξοπλισμός της εφαρμογής περιελάμβανε 3 Meshlium Wireless Gateways και 12 κόμβους Wasp mote που ήταν εξοπλισμένοι με αισθητήρες για να μετράνε τη θερμοκρασία και την υγρασία του περιβάλλοντος, του εδάφους και των φύλλων σε πραγματικό χρόνο. Το Meshlium συνέλλεγε τα δεδομένα από τους κόμβους των αισθητήρων και τα έστελνε στο Cloud μέσω σύνδεσης 3G ή Ethernet. Το Wasp mote ενσωμάτωνε το GPS για να μπορεί να στέλνει ακριβείς πληροφορίες θέσης και ώρας. Αρχικά πραγματοποιήθηκε εγκατάσταση των Meshlium gateways μέσα στον αμπελώνα. Έπειτα εγκαταστάθηκαν και βαθμονομήθηκαν οι κόμβοι αισθητήρων Wasp mote, ξεκινώντας από το μοτέρ που βρίσκεται πιο κοντά σε ένα Meshlium και τελειώνοντας στο πιο μακρινό σημείο.



Εικόνα 9. Σχέδιο της λύσης για την Έξυπνη Αμπελουργία.



Στη συνέχεια αναπτύχθηκε μία εφαρμογή End User που συνδέεται στο Διαδίκτυο και επιτρέπει τη σύνδεση από παντού. Δημιουργήθηκε ένα μοντέλο στατιστικής πρόβλεψης που μπορεί να συνδέει τα καιρικά φαινόμενα με την εμφάνιση κάποιας ασθένειας στον αμπελώνα.

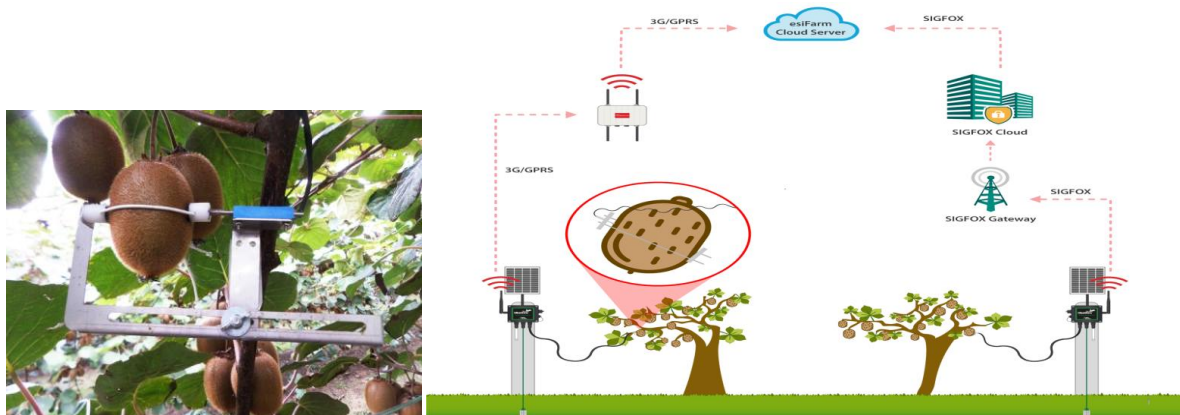
Εικόνα 10. Smartphone της End User Εφαρμογής.

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής ήταν πως οι αμπελοκαλλιεργητές της περιοχής ήταν σε θέση να μειώσουν τα λιπάσματα και τα μυκητοκτόνα κατά περισσότερο από 20% και να βελτιώσουν την αύξηση της παραγωγικότητας κατά 15 %.

3.2. Μελέτη Περίπτωσης Συστήματος Ύδρευσης σε Ακτινίδια στην Ιταλία

Για την υλοποίηση της εφαρμογής πραγματοποιήθηκε εγκατάσταση 2 διαφορετικών ασύρματων αισθητήρων, ώστε να παρακολουθούν την κατάσταση των υδάτων του εδάφους σε ένα οπωρώνα ακτινιδίων. Τα δεδομένα των μετρήσεων καταγράφηκαν από το ίδιο σύστημα, αλλά η μετάδοση τους στην πλατφόρμα πραγματοποιήθηκε με δύο διαφορετικές ασύρματες συνδέσεις. Με GPRS και Sigfox. Ο στόχος ήταν να ελεγχθεί η αξιοπιστία και το κόστος στη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου το 2016. Τοποθετήθηκαν δύο Waspote Plug & Sense! Smart Agriculture με αισθητήρες υδατογραφήματος σε διαφορετικά βάθη για να ελέγξουν την υγρασία του εδάφους, με αισθητήρα διαμέτρου φρούτων για τη μέτρηση του μεγέθους των καρπών. Χρησιμοποιήθηκαν επιπλέον αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας για την παρακολούθηση περιβαλλοντικών συνθηκών. Τα δεδομένα που συνέλλεξαν οι αισθητήρες στάλθηκαν στην πλατφόρμα esiFARM, που περιλαμβάνει και τις δύο τεχνολογίες που

αναφέρθηκαν. Για τη διαχείριση των σταθμών GPRS χρειάστηκε να ρυθμιστεί ένας διακομιστής. Σε αυτή την περίπτωση, η Meshlium IoT Gateway ενσωμάτωσε το σύστημα διαχείρισης Meshlium, καθιστώντας ευκολότερη τη διαχείριση των δεδομένων. Οι αγρότες μπορούν να αποκτήσουν πολύτιμες πληροφορίες για τον προγραμματισμό του χρόνου άρδευσης.

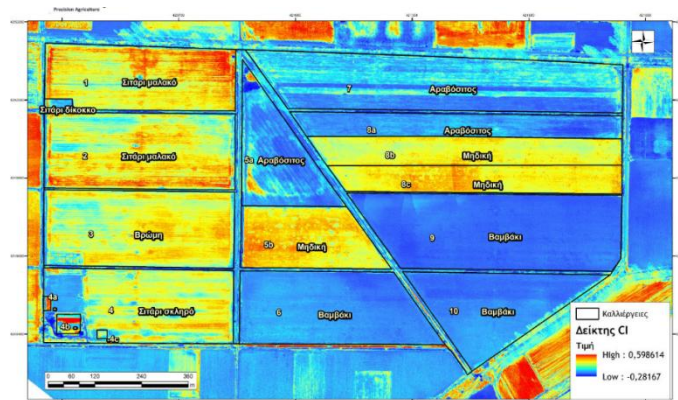


Εικόνες 11, 12. Αριστερά: Αισθητήρας διαμέτρου φρούτου. Δεξιά: διάγραμμα ανάπτυξης FAMOSA.

Στα αποτελέσματα της εφαρμογής ήταν η γρήγορη εγκατάσταση των συστημάτων και η ενημέρωση των παραγωγών σε πραγματικό χρόνο, καταφέροντας έτσι να παρακολουθούν συνεχώς τις σοδιές και να έχουν υπό έλεγχο την κατάσταση νερού του εδάφους και την άρδευση. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή η διαδικασία της άρδευσης ενεργοποιούνταν από τον παραγωγό.

3.3. Μελέτη εφαρμογής WSNs σε αροτραίες καλλιέργειες στη Βοιωτία

Ο σκοπός της έρευνας αυτής, που πραγματοποιήθηκε από την Εν Αγροίς σε συνεργασία με το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών που βρίσκεται σε εξέλιξη, είναι να εφαρμοστούν κάποιες πρακτικές της Γεωργίας Ακριβείας ώστε να ανιχνευτούν προβλήματα, όπως η ύπαρξη ζιζανίων, η έλλειψη νερού και άλλων θρεπτικών στοιχείων και να παρατηρηθεί η εξέλιξη μίας έκτασης 1.100 στρεμμάτων με καλλιέργειες σιταριού, βρώμης, καλαμποκιού, βάμβακος και μηδικής που ανήκουν στο Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών σε περιοχή της Βοιωτίας. Η εφαρμογή των πρακτικών αυτών πραγματοποιείται συνδυαστικά με χρήση μη επανδρωμένου αεροσκάφους (UAV) πάνω στο οποίο έχουν ενσωματωθεί πολυφασματικοί αισθητήρες (στις περιοχές RGB, Near-InfraRed, Red- Edge, Thermal στις περιοχές του φάσματος), καθώς και με χρήση αισθητήρων που βρίσκονται επίγεια στις καλλιέργειες και δίνουν δεδομένα για τους δείκτες βλάστησης. Η συλλογή των δεδομένων τόσο από τους εναέριους όσο και από τους επίγειους αισθητήρες έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία θερμικών χαρτών, όπως και χαρτών σχετικά με δείκτες βλάστησης (NDVI, Chlorofyll Index).



Εικόνα 13. Χάρτης δείκτης βλάστησης.



Εικόνα 14. Χάρτης RGB.

3.4. Μελέτη εφαρμογής WSNs στην ελιά στη Χαλκιδική

Η εφαρμογή πραγματοποιήθηκε το 2016 από την ομάδα της GAIA ΕΠΙΧΕΙΡΕΙΝ στις καλλιέργειες ελιάς στην περιοχή της Χαλκιδικής. Για την πραγματοποίηση της, εγκαταστάθηκαν 3 τηλεμετρικοί σταθμοί GAIAtrop για τη μέτρηση ατμοσφαιρικών και εδαφικών παραμέτρων, οι οποίοι συνέλλεξαν δεδομένα από δείγματα εδάφους και φύλλων. Τοποθετήθηκαν εντομοπαγίδες και όργανα μέτρησης δεικτών της φυσιολογίας των δέντρων. Τέλος, δόθηκαν εφαρμογές κινητών συσκευών στον παραγωγό και στον επιβλέποντα γεωπόνο της εφαρμογής, ώστε να λαμβάνουν κατευθείαν στις συσκευές τους όλα τα δεδομένα των μετρήσεων που πραγματοποιούνται στο χωράφι, χωρίς να επηρεάζονται χρονικά οι υπόλοιπες εργασίες τους.

Εγκαταστάθηκαν μοντέλα λίπανσης, τα οποία αναπτύχθηκαν ειδικά για την ελιά. Το αποτέλεσμα ήταν να δοθούν συμβουλές στον παραγωγό σχετικά με την κατάλληλη ποσότητα, τρόπο και χρόνο που πρέπει να εφαρμόσει στα λιπάσματα, οι οποίες έφεραν στη πορεία θετικές αλλαγές τόσο στην ποσότητα της παραγωγής, όσο και στο μέγεθος του καρπού.

Στο κομμάτι της φυτοπροστασίας πραγματοποιήθηκε παρακολούθηση των βασικών ασθενειών που προσβάλουν την ελιά (δάκος, κυκλοκόνιο) και αναπτύχθηκαν μοντέλα που, βάσει των κλιματικών αλλαγών, ενημερώνουν σχετικά με το δείκτη κινδύνου για τις ασθένειες αυτές, ώστε να αποφευχθεί το άσκοπο ψέκασμα του φυτού.

Για την άρδευση χρειάστηκε παραπάνω διεργασία για την προσαρμογή των μοντέλων, καθώς η παραμικρή διαφορά στον τρόπο άρδευσης, οδηγεί σε διαφορετικό τρόπο ανάπτυξης του ενεργού ριζικού συστήματος. Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν από τους αισθητήρες ήταν της κατανομής του ριζικού συστήματος στο έδαφος και της απόκρισης των δέντρων στην υδατική καταπόνηση με μετρήσεις μέγιστης φωτοσυνθετικής ικανότητας, στοματικής αγωγιμότητας και μεσοκυττάρου CO₂.

Μετά τα δεδομένα των παραπάνω μετρήσεων, έγινε προσαρμογή του μοντέλου διαχείρισης υδατικού δυναμικού, το οποίο υπολόγιζε και ενημέρωνε σχετικά με τη ποσότητα νερού που χρειάζεται το κάθε δέντρο.

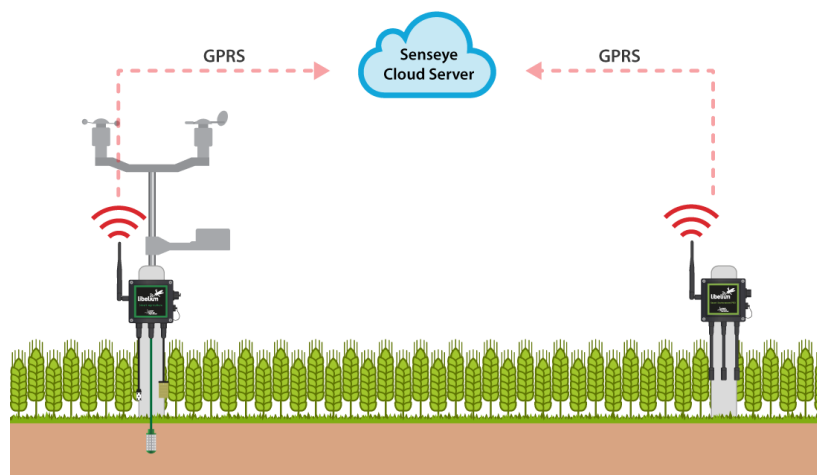
Τα αποτελέσματα αυτής της εφαρμογής ήταν να γίνει εξοικονόμηση του νερού και των ψεκασμών κατά των ασθενειών. (Πρωτονοτάριος, 2016)

3.5. Μελέτη εφαρμογής WSNs σε Οργανικές Φάρμες στο Ηνωμένο Βασίλειο

Η εταιρεία λογισμικού του Ηνωμένου Βασιλείου, Senseye σε συνεργασία με αγρότες δημιούργησε ένα δίκτυο αισθητήρων στη χώρα για την αύξηση των καλλιεργειών και τη βελτίωση της βιωσιμότητας τους. Η εφαρμογή αυτή αναπτύχθηκε σε 9 αγροκτήματα σε διάφορα σημεία του Ηνωμένου Βασιλείου, με στόχο την καταγραφή δεδομένων και μετρήσεων για την εξοικονόμηση χρόνου και χρημάτων. Το δίκτυο αισθητήρων που χρησιμοποιήθηκε, κατασκευάστηκε αποκλειστικά γι' αυτή την εφαρμογή σε συνεργασία με τη Libelium. Χρησιμοποιήθηκε το σύστημα Wasmote Plug & Sense! Sensor Platform και συγκεκριμένα εγκαταστάθηκαν:

- 5 Wasmote Plug & Sense! Smart Agriculture PRO με αισθητήρες ψηφιακής υγρασίας και θερμοκρασίας, θερμοκρασίας εδάφους, ανιχνευτή ηλιακής ακτινοβολίας και ανιχνευτή υγρασίας εδάφους.
- 12 Wasmote Plug & Sense Smart Agriculture με τους ίδιους αισθητήρες όπως και παραπάνω και επιπλέον ένα αισθητήρα Weather Station WS-3000
- 4 Wasmote Plug & Sense Smart Environment με αισθητήρα NO₂, ανιχνευτή NH₃, CO₂, θερμοκρασίας, υγρασίας και αισθητήρα πτητικών οργανικών συστατικών.

Όλες οι συσκευές επικοινωνούσαν κατευθείαν με το Cloud της Senseye με σύνδεση GPRS. Όλοι οι κόμβοι ήταν εξοπλισμένοι με ηλιακό πάνελ, ώστε να δημιουργήσουν μία αυτονομία στη λειτουργία και να δώσουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν αφορούν την ηλιακή ακτινοβολία, ταχύτητα και διεύθυνση του ανέμου, βροχοπτώσεις, θερμοκρασία περιβάλλοντος, υγρασία, αέρια, πτητικές οργανικές ενώσεις, υγρασία και θερμοκρασία του εδάφους.



Εικόνα 15. διάγραμμα ανάπτυξης Senseye.

Η εφαρμογή κρίθηκε επιτυχημένη καθώς έθεσε τα θεμέλια για τη πραγματοποίηση παρόμοιων εφαρμογών μελλοντικά που θα οδηγήσουν στην εξοικονόμηση χρόνου και χρημάτων. Το σύστημα που δημιουργήθηκε ήταν γρήγορο και εύκολο στην εγκατάσταση και στη λειτουργία του. Επιπλέον επειδή όλα τα δεδομένα που συλλέχθηκαν σχετικά με παραμέτρους όπως οι κακές καιρικές συνθήκες ή η πιθανότητα μόλυνσης από επιβλαβείς οργανισμούς ή ασθένειες, ήταν ακριβή και θα μπορούσαν να αποφευχθούν χάρη στους αισθητήρες. (Senseye, 2016)

3.6. Μελέτη εφαρμογής WSNs σε βαμβάκι

3.6.1. Μελέτη εφαρμογής WSNs σε βαμβάκι στο Θεσσαλικό κάμπο

Η συγκεκριμένη εφαρμογή στο βαμβάκι πραγματοποιήθηκε από το HydroSense σε διάστημα 2 ετών, ξεκινώντας από το 2010 και ολοκληρώθηκε το 2012. Επιλέχθηκε ο Θεσσαλικός Κάμπος, καθώς αποτελεί σημαντική περιοχή αγροτικής παραγωγής στη χώρα μας, ενώ το βαμβάκι αποτελεί μία από τις κυριότερες καλλιέργειες της περιοχής.

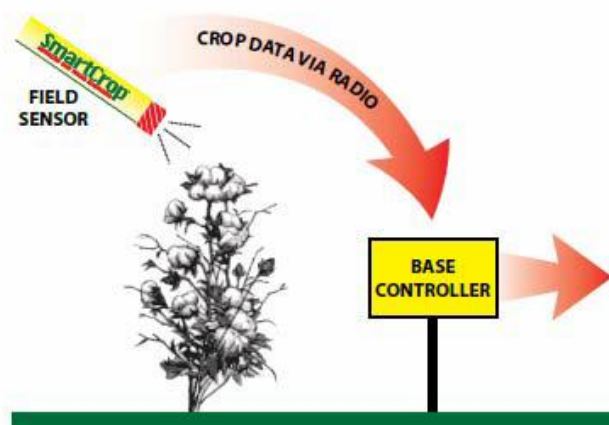
Αρχικά, ο αγρός χωρίστηκε σε τμήματα ανάλογα τις οργανικές ουσίες του εδάφους και στη συνέχεια δέχτηκε νερό και λίπασμα με βάση τις ανάγκες του κάθε τμήματος. Στο επόμενο βήμα τοποθετήθηκε ένα μόνιμο δίκτυο ασύρματων υπέρυθρων αισθητήρων και αισθητήρων υγρασίας

εδάφους σε κάθε τμήμα του αγρού. Οι αισθητήρες συνέλεξαν τιμές από την επιφάνεια των καλλιεργειών και με βάση τις τιμές και τις τοπικές καιρικές συνθήκες δημιουργήθηκε από το σύστημα ένας ηλεκτρονικός χάρτης, ο οποίος δείχνει συγκεκριμένα τα σημεία που τα φυτά χρειάζονται νερό.

Παρόμοια χρησιμοποιήθηκαν και αισθητήρες για να υπολογίσουν το λίπασμα που χρειάζεται. Χρειάστηκαν 2 φορητοί πολυφασματικοί αισθητήρες, οι οποίοι υπολόγισαν τη συγκέντρωση της χλωροφύλλης στα φύλλα του φυτού αλλά και σε όλο τον αγρό. Τέλος στην εφαρμογή χρησιμοποιήθηκαν και ειδικές παγίδες για έντομα (Weedseeker).

Το σύστημα που χρησιμοποιήθηκε για να μετρήσει τις ανάγκες του αγρού σε νερό είναι το SmartCrop. Αποτελείται από 4 αισθητήρες υπέρυθρης ακτινοβολίας για κάθε τμήμα, και ένα σταθμό βάση που έχει πάνω του ενσωματωμένο ένα μίνι μετεωρολογικό σταθμό.

Οι ασύρματοι υπέρυθροι αισθητήρες τοποθετήθηκαν 60 εκατοστά πάνω από τα φυτά της καλλιέργειας και μέσα στη διάρκεια της ημέρας λάμβαναν μετρήσεις, οι οποίες μεταφέρονταν ασύρματα στο σταθμό βάσης και εκεί μαζί και με μετεωρολογικά δεδομένα στέλνονταν μέσω κάρτας SIM στο διαδικτυακό χώρο του συστήματος. Εκεί μέσω λογισμικού γινόταν η επεξεργασία της θερμοκρασίας του αέρα αλλά και γενικά της καλλιέργειας και μαζί με τις κλιματικές συνθήκες έκανε μία συνολική εκτίμηση και καθόριζε πότε χρειαζόταν πότισμα ανά τμήμα. Το σύστημα μπορούσε να ειδοποιήσει το παραγωγό με sms ή email. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν αισθητήρες υγρασίας εδάφους και τοποθετήθηκαν σε βάθη 25 και 50 εκατοστών.

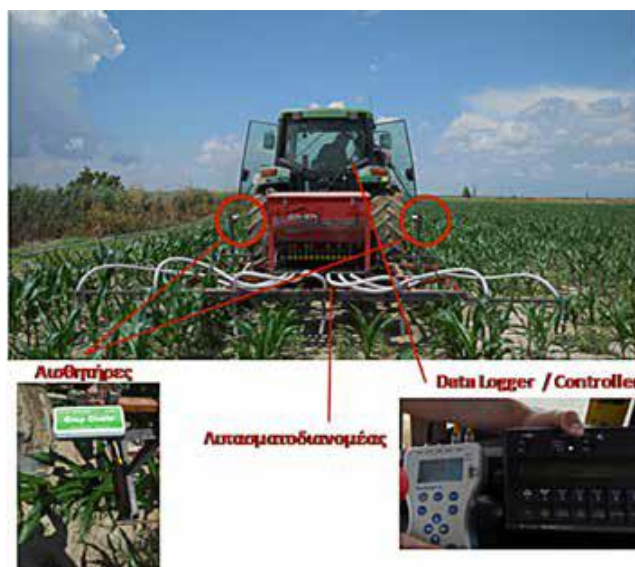


Εικόνα 16. Σύστημα Smart Crop.

Για τις ανάγκες του αγρού σε λίπασμα, χρησιμοποιήθηκαν φορητοί πολυφασματικοί αισθητήρες, GPS και συσκευή για καταγραφής των δεδομένων (data logger). Οι αισθητήρες προσαρμόζονται κάθε 15 μέρες στο τρακτέρ, ώστε να μπορούν να σαρώνουν όλο το χωράφι και

Real cases of WSNs for Agriculture, Farming & Crops

να συγκεντρώνουν δεδομένα για τα φυτά, όπως το δείκτη χλωροφύλλης που δείχνει το πότε και πόσο λίπασμα χρειάζονται. Οι πολυφασματικοί αισθητήρες συνδέονται με τη συσκευή καταγραφής δεδομένων (data logger) που βρίσκεται πάνω στο τρακτέρ. Εκεί συνδέεται και το GPS ώστε να δίνει τις συντεταγμένες. Τα δεδομένα καταγράφονται σε μορφή excel μέσα στο data logger και αποθηκεύονται σε μία κάρτα SD. Η κάρτα SD αποσυνδέεται από το data logger και εισέρχεται σε κατάλληλες συσκευές για ανάγνωση των δεδομένων.

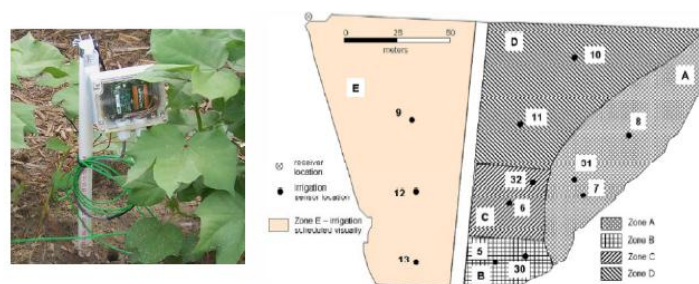


Εικόνα 17. Σύστημα λίπανσης.

Τα αποτελέσματα της παραπάνω εφαρμογής ήταν η μείωση των εισροών στις πιλοτικές περιοχές του Θεσσαλικού Κάμπου (Γυρτώνη, Ομορφοχώρι, Γεντίκι). Το νερό άρδευσης μειώθηκε κατά 18%, τα αζωτούχα λιπάσματα κατά 35% και τα ζιζανιοκτόνα κατά 62%. Αυτό σημαίνει βελτίωση της αποτελεσματικότητας της χρήσης κατά 26%, 60% και 168% αντίστοιχα. (HydroSense, 2012)

3.6.2. Μελέτη εφαρμογής WSNs στο βαμβάκι στις Η.Π.Α

Μία ακόμη εφαρμογή στο βαμβάκι πραγματοποιήθηκε στις Η.Π.Α το 2008 με σκοπό το καθορισμό το καλύτερο πότισμα στην καλλιέργεια του βαμβακιού. Χρησιμοποιήθηκε δίκτυο με αισθητήρες υγρασίας εδάφους και αισθητήρες θερμοκρασίας αέρα- εδάφους.



Εικόνα 18. Αριστερά: ασύρματος κόμβος, Δεξιά: Οι ασύρματοι κόμβοι στη καλλιέργεια.

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε αυτή την εφαρμογή ήταν η υγρασία του εδάφους σε 3 βάθη, 0.2, 0.4 και 0.6 μέτρα, η ροή του νερού άρδευσης, η θερμοκρασία του αέρα κοντά στο φυτό και η θερμοκρασία εδάφους σε βάθος 0.2 μέτρων.

Το πλήθος των κόμβων που χρησιμοποιήθηκαν είναι 10 και το πρωτόκολλο επικοινωνίας που χρησιμοποιήθηκε είναι το RFID WhereNet, 2.4GHz. Ο ρυθμός αποστολής δεδομένων μεταβάλλεται ανάλογα με τις ανάγκες και οι αισθητήρες τροφοδοτούνται με μπαταρίες.

Χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από τη συλλογή των αισθητήρων για να υπολογίσουν το δείκτη κατακράτησης του νερού εδάφους (Soil Water Tension). Ο δείκτης αυτός σε συνδυασμό με τα δεδομένα της θερμοκρασίας εδάφους και αέρα καθόρισαν μία στρατηγική ποτίσματος, μέσω ενός λογισμικού λήψης αποφάσεων (Irrigation pro).

Αυτή η εφαρμογή συντέλεσε στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της άρδευσης με το διαχωρισμό σε τμήματα και στην εφαρμογή διαφορετικής στρατηγικής άρδευσης σε κάθε τμήμα, που οδήγησε και στην εξοικονόμηση νερού και ρεύματος. (Vellidis, Tucker, Perry, Kvien ,& Bednarz, 2008)

4. Πίνακες Αισθητήρων

Στην συνέχεια, παρατίθενται κάποιοι συγκριτικοί και συγκεντρωτικοί πίνακες των εφαρμογών που εξετάστηκαν παραπάνω. Στον πίνακα 1 παρουσιάζεται στο σύνολο των αισθητήρων που χρησιμοποιήθηκαν στις εφαρμογές. Αντίστοιχα, στον πίνακα 2 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του ασύρματου δικτύου αισθητήρων στις εφαρμογές αμπελώνα και βαμβάκι στις Η.Π.Α.

Real cases of WSNs for Agriculture, Farming & Crops

Καλλιέργεια	Γεωγραφική Περιοχή	Αισθητήρες									Weather Station WS- 3000
		Θερμοκρασίας, ταχύτητας, υγρασίας περιβάλλοντος.	Υγρασίας Εδάφους και επιφάνειας φύλλων	Ατμοσφαιρικής πίεσης.	Σύστημα άρδευσης	Θερμοκρασίας εδάφους	Λίπανσης	Ζιζανίων	Ηλεκτρικής αγωγιμότητας EM-38	Διαμέτρου φρούτων	
Αμπελώνας	Μαγνησία (Μικροθήβες)	X	X	X	X				X		
	Η.Π.Α	X	X	X	X						
	Ισπανία (Galicia)	X	X			X					
Βαμβάκι	Θεσσαλικός Κάμπος		X		X		X	X			
	Η.Π.Α	X	X		X	X					
Πατάτα	Ινδία	X	X		X						
Ακτινίδιο	Ιταλία	X	X							X	
Αροτραίες Καλλιέργειες	Βοιωτία		X			X	X				
Ελιά	Χαλκιδική	X	X	X	X	X	X	X			
Οργανικές Φάρμες	Ηνωμένο Βασίλειο	X	X			X					X

Πίνακας 1. Αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν στις καλλιέργειες ανά γεωγραφική περιοχή.

Καλλιέργεια	Πλήθος Κόμβων	Πρωτόκολλο Επικοινωνίας	Ρυθμός αποστολής/ λήψης Δεδομένων	Τροφοδοσία Κόμβων
Αμπελώνας Η.Π.Α	300	900MHz, FSHH radio	1λεπτό/15λεπτά	Μπαταρία και Φ/Β Πάνελ
Βαμβάκι Η.Π.Α	10	RFID WhereNet, 2.4GHz	Μεταβολή ανάλογα με τις ανάγκες	Μπαταρία

Πίνακας 2. Χαρακτηριστικά ασύρματου δικτύου αισθητήρων εφαρμογών ΗΠΑ.

5. Συμπεράσματα- προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Στη γεωργία ακριβείας έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνολογίες εφαρμογής λιπασμάτων, σπόρου, φυτοφαρμάκων και αρδευτικού νερού. Λόγω αυτών των τεχνολογιών εξασφαλίζεται η προστασία του περιβάλλοντος (αφού γίνεται συνετή και όχι άσκοπη χρήση φυτοφαρμάκων), ειδικά του υδροφόρου ορίζοντα. Παρελκόμενα, ευνοείται η αποκατάσταση του οικοσυστήματος και βοηθάται η φυσιολογική ανάπτυξη της χλωρίδας και της πανίδας της περιοχής. Επιπλέον, για την άρδευση έχει παρατηρηθεί:

- Μείωση της κατανάλωσης του νερού άρδευσης έως και 20%.
- Μείωση της βαθέας διήθησης του νερού (Απώλειες θρεπτικών, νιτρορύπανση κτλ).
- Μείωση του κόστους παραγωγής του αρδευτικού νερού (οικονομικό όφελος για τον παραγωγό).
- Αποφυγή προβλημάτων συσσώρευσης νερού(κακή στράγγιση).
- Καλύτερη διαχείριση των υδάτινων πόρων.

Με στόχο τη βελτίωση και περαιτέρω ανάπτυξη της γεωργίας ακριβείας μία από τις πιθανές κατευθύνσεις μπορεί να σχετίζονται με την πρόβλεψη ορισμένων καιρικών συνθηκών. Έτσι, για παράδειγμα, αλγόριθμοι εξόρυξης δεδομένων θα μπορούσαν να επιτρέψουν στο σύστημα να

Real cases of WSNs for Agriculture, Farming & Crops

παρέχει τοπικές καιρικές προβλέψεις, π.χ. βροχή ή όχι στο άμεσο μέλλον, σύμφωνα με τις τρέχουσες μετρήσεις. Ομοίως, το σύστημα θα μπορούσε να επεκταθεί ώστε να παρέχει προβλέψεις για πιθανές ασθένειες των φυτών. (Sladojevic, Dulic, Jelovac, Edelinski, & Stefanovic, 2015; Kehui, Deqin, & Xiwen, 2010)

Βιβλιογραφία

- Keshtgari, M., & Deljoo, A. (2012). A Wireless Sensor Network Solution for Precision Agriculture Based on ZigBee Technology. *Wireless Sensor Network*, 4, 25-30. doi: 10.4236/wsn.2012.41004
- Ruiz-Garcia, L., Lunadei, L., Barreiro, P., & Robla, J.I. (2009). A Review of Wireless Sensor Technologies and Applications in Agriculture and Food Industry: State of the Art and Current Trends. *Sensors*, 9, 4728-4850. doi:10.3390/s90604728
- Sakthipriya, N. (2014). An Effective Method for Crop Monitoring Using Wireless Sensor Network. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 20, 1127-1132. doi: 10.5829/idosi.mejsr.2014.20.09.114152
- Μακρή, Χ. Α. (2011). Μελέτη Συνύπαρξης Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων και Δικτύων Wi-Fi σε Πραγματικό Περιβάλλον. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών Τομέας Συστημάτων μετάδοσης πληροφορίας και τεχνολογίας υλικών, Αθήνα.
- Dargie, W., & Poellabauer, C. (2010). *Fundamentals of wireless sensor networks: theory and practice* (1st ed.). United Kingdom. MA: John Wiley and Sons.
- Sohraby, K., Minoli, D., & Znati, T. (2007). *Wireless Sensor Networks: Technology, Protocols and Applications*(1st ed.). Hoboken. MA: John Wiley and Sons.
- Ojha, T., Misra, S., & Raghuwanshi, N.S. (2015). Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges. *Computer and Electronics in Agriculture*, 118, 66-84. doi:10.1016/j.compag.2015.08.011
- Shinghal, K., Noor, A., Srivastava, N., & Singh, R. (2011). Intelligent humidity sensor for wireless sensor network agricultural application. *International Journal of Wireless & Mobile Networks*, 3, 1. doi:10.5121/ijwmn.2011.3111
- Anusha, P., & Shobha, K. R. (2015). Design and Implementation of Wireless Sensor Network for Precision Agriculture. *International Journal of Scientific Engineering and Applied Science*, 1, 521-527.

- Thessler, S., Kooistra, L., Teye, F., Huitu, H., & Bregt, A.K. (2011). Geosensors to Support Crop Production: Current Applications and User Requirements. *Sensors*, 11, 6656-6684. doi:10.3390/s110706656
- Ευαγγέλου, Λ., & Τσαντήλας, Χ. (2011). Γεωργία Ακριβείας: το μελλοντικό σύστημα παραγωγής αγροτικών προϊόντων. *Ινστιτούτο Βιομηχανικών και Κτηνοτροφικών Φυτών*, 10, 19-21.
- Ευαγγέλου, Λ., & Τσαντήλας, Χ. (2015). Αισθητήρες φυλλώματος και αζωτούχος λίπανση των καλλιεργειών. *Ινστιτούτο Βιομηχανικών και Κτηνοτροφικών Φυτών*, 10, 13-15.
- Bhattacharyya, R., Di Leo, C., Floerkemeier, C., Sarma, S. & Anand, L. (2010). RFID tag antenna based temperature sensing using shape memory polymer actuation. *Paper presented at 2010 IEEE Sensors, Massachusetts, Massachusetts Institute of Technology*, 2363 – 2368. doi: 10.1109/ICSENS.2010.5690951
- Morgan, T.M. (1995). Precision Farming: Sensors vs. Map-Based. *Agricultural and Biological Engineering Dept.* Retrieved from: <https://www.agriculture.purdue.edu/ssmc/frames/sensors.html>
- Λιάκος, Β. (2013). Εφαρμογές Γεωργίας Ακριβείας: Εμπειρίες από εφαρμογές στην Ελλάδα. Retrieved from: <http://biomass.agr.uth.gr/attachments/article/135/Presentation3-Εφαρμογές%20Γεωργίας%20Ακριβείαςv2.pdf>
- Ταγαράκης, Α. (2014). Γεωργία Ακριβείας σε αμπελώννα (Διδακτορική Διατριβή) Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Βόλος.
- Pierce, F.J., & Elliot, T.V. (2008). Regional and on-farm wireless sensor networks for agricultural systems in Eastern Washington. *Computers and Electronics in Agriculture*, 61, 32-43.
- Taylor, J., Tisseyre, B., & Praat, J.P. (2005). Bottling Good Information: mixing Tradition and Technology in vineyards. *Proceedings of the Fruits and nuts and vegetable production engineering TIC (Frutic05). Conference, Montpellier*, p. 719-736.
- Martinez, Javier. (2014) . Smart Viticulture Project in Spain Uses Sensor Devices to Harvest Healthier, More Abundant Grapes for Coveted Albariño Wines, *Sensors Mag*. Retrieved from: <http://www.libelium.com/sensors-mag-smart-viticulture-project-in-spain-uses-sensor-devices-to-harvest-healthier-more-abundant-grapes-for-coveted-albarino-wines/>

- Centro Servizi Ortofrutticoli(CSO) . (2017). Smart irrigation system to improve kiwi production in Italy. Retrieved from: <http://www.libelium.com/smart-irrigation-system-to-improve-kiwi-production-in-italy/>
- Εν Αγροίς. (2017). Εφαρμογές Γεωργίας Ακριβείας σε αροτραίες καλλιέργειες. Αλίαρτος Βοιωτία (Σε εξέλιξη). Retrieved from: <http://enagris.gr/el/portfolio/465?id=17>
- Βασίλης Πρωτονοτάριος. (2016). Πως εφαρμόζεται η Ευφυής Γεωργία στη Χαλκιδική για την ελιά. Retrieved from: <http://www.ypaithros.gr/ypiresia-efyous-georgias-sti-xalkidiki/>
- Senseye. (2016). Smart Agriculture project for Organic Farms in UK
Retrieved from: <http://www.libelium.com/smart-agriculture-project-for-organic-farms-in-uk/>
- HydroSense (2012). Καινοτόμες τεχνολογίες ακριβείας για βελτιστοποίηση της άρδευσης και ολοκληρωμένη διαχείριση καλλιεργειών σε περιβάλλοντα έλλειψης νερού. Retrieved from: http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=LIFE08_ENV_GR_000570_LAYMAN_EL.pdf
- Vellidis, G., Tucker, M., Perry, C., Kvien, C. & Bednarz, C. (2008). A real-time wireless smart sensor array for scheduling irrigation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 61, 44-50.
- Sladojevic, S., Dulic, M., Jelovac, P., Edelsinki, I., & Stefanovic, D. (2015). One solution of web application for data acquisition from remote sensing devices. *INFOTEH-JAHORINA*, 14, 788-792.
- Kehui, X., Deqin, X., & Xiwen, L. (2010). Smart water-saving irrigation system in precision agriculture based on wireless sensor network. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 26, 170-175.