



Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας  
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών

## **Διπλωματική Εργασία**

Συστήματα Διαδικτύου των Πραγμάτων  
με εφαρμογή στη Γεωργία Ακριβείας

IoT systems and applications  
in precision agriculture

**Πελετίδης Αργύριος**

Επιβλέπων Καθηγήτρια: **Μαλαματή Λούτα**

Κοζάνη, Μάρτιος 2021



## Περιεχόμενα

Κατάλογος εικόνων .....	6
Κατάλογος πινάκων .....	8
Περίληψη .....	9
Abstract.....	11
Δήλωση Πνευματικών Δικαιωμάτων .....	13
Ευχαριστίες.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	17
1.1 Internet of Things.....	17
1.1.1 Αρχιτεκτονική IoT .....	17
1.1.2 Πεδία Εφαρμογής .....	18
1.2 Οφέλη χρήσης IoT στην έξυπνη γεωργία .....	19
1.3 Συστήματα Άρδευσης .....	20
1.3.1 Επιφανειακή Άρδευση .....	20
1.3.2 Άρδευση με Καταιονισμό (Sprinkler Irrigation) .....	21
1.3.3 Πότισμα Στάγδην (Drip Irrigation).....	22
1.3.4 Υπόγεια Άρδευση .....	23
1.4 Αγρομετεωρολογία .....	24
1.5 Εξατμισοδιαπνοή .....	25
1.6 Στόχος της εργασίας .....	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΔΙΕΘΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	27
2.1 Intelligent Drip Irrigation and Fertigation Using Wireless Sensor Networks	27
2.2 Advanced Control Strategies for Irrigation Systems .....	28
2.3 Automated Irrigation System Using a Wireless Sensor Network and GPRS Module.....	30
2.4 Automatic control of irrigation system in paddy using WSN .....	32
2.5 Automatic Irrigation System with Data Log Creation.....	33

2.6	Implementation of an Automated Irrigation System .....	35
2.7	Intelligent command of an underground irrigation and fertilization system ..	37
2.8	Integration of Irrigation System with Wireless Sensor Networks: Prototype and Conception of Intelligent Irrigation System.....	39
2.9	Wireless Sensor Network for Precise Agriculture Monitoring.....	40
2.10	Smart Irrigation System Using Wireless Sensor Network.....	41
2.11	Wireless Sensor Network in Precision Agriculture Application.....	43
2.12	IOT based Smart Crop-Field Monitoring And Automation Irrigation System.....	44
2.13	Web-based Monitoring of an Automated Fertigation System: An IoT Application.....	46
2.14	FORETo: New software for reference evapotranspiration forecasting.....	49
2.15	Irrigation Water Demand Forecasting – A Data Pre-Processing and Data Mining Approach based on Spatio-Temporal Data .....	51
2.16	A Study on Dynamic Forecast Technique of Regional Rice Productivity..	54
2.17	Intelligent Farming System with Weather Forecast Support and Crop Prediction.....	55
2.18	Evapotranspiration-based Irrigation System for Mustard Green Crop Cultivation using Public Weather Forecast.....	57
2.19	Επισκόπηση Διεθνούς Βιβλιογραφίας .....	59
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 -ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....</b>		<b>65</b>
3.1	Σύστημα Καταγραφής Προγνώσεων και Πραγματικών Τιμών.....	65
3.1.1	Καταγραφή προγνώσεων .....	65
3.1.2	Καταγραφή Πραγματικών Τιμών .....	67
3.1.3	Σύστημα καταγραφής μετρήσεων από σημείο ενδιαφέροντος.....	67
3.1.4	Σελίδα προβολής δεδομένων .....	69
3.2	Προσδιορισμός εξατμισοδιαπνοής με τη μέθοδο Penman-Monteith FAO-5671	
3.3	Στατιστικές μετρικές.....	76
3.3.1	Αξιοπιστία.....	76

3.3.2	Υπολογισμός Σφάλματος/Τυπικής απόκλισης .....	78
3.4	Λογισμικό CROPWAT .....	81
3.4.1	Εξαμυσοδιαπνοή Αναφοράς (ΕΤο).....	81
3.4.2	Δεδομένα βροχόπτωσης.....	82
3.4.3	Μέση μηνιαία βροχόπτωση .....	82
3.4.4	Έγκυρη βροχόπτωση .....	82
3.4.5	Βροχόπτωση σε κανονικά, υγρά και ξηρά έτη .....	83
3.4.6	Αποτελεσματική βροχόπτωση .....	83
3.4.7	Καλλιέργεια και έδαφος .....	83
3.4.8	Απαιτήσεις σε νερό της καλλιέργειας.....	84
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....		87
Βιβλιογραφία .....		89

## Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1: Εφαρμογές του IoT .....	18
Εικόνα 2: Άρδευση με κατάκλιση (αριστερά), αυλάκια (δεξιά) .....	21
Εικόνα 3: Διαμόρφωση συστήματος τεχνητής βροχής.....	21
Εικόνα 4: Σύστημα άρδευσης με σταγόνες .....	23
Εικόνα 5: Διάγραμμα ροής του μοντέλου FAO-56 .....	28
Εικόνα 6: Προτεινόμενο σύστημα διαχείρισης της άρδευσης.....	30
Εικόνα 7: Δομή του αυτοματοποιημένου συστήματος άρδευσης .....	32
Εικόνα 8: Αρχιτεκτονική συστήματος άρδευσης .....	33
Εικόνα 9: (Πάνω) Σχεδίαση Συστήματος, (Κάτω) Εφαρμογή Κινητού .....	35
Εικόνα 10: (Αριστερά) Διάγραμμα ροής, (Δεξιά) Ειδοποιήσεις sms.....	37
Εικόνα 11: Διάγραμμα Συστήματος .....	38
Εικόνα 12: Προτεινόμενο σύστημα με τη χρήση WSN .....	40
Εικόνα 13: Αρχιτεκτονική συστήματος PAMS.....	41
Εικόνα 14: Διάγραμμα ANNs.....	43
Εικόνα 15: Διαδικτυακή Εφαρμογή .....	44
Εικόνα 16: Διάγραμμα ροής του συστήματος .....	46
Εικόνα 17: Προτεινόμενο Σύστημα.....	49
Εικόνα 18: Διαδικασία Πρόβλεψης ETo .....	51
Εικόνα 19: Διαδικασία και interfaces FORETo .....	51
Εικόνα 20: Decision Tree .....	54
Εικόνα 21: Αρχιτεκτονική συστήματος.....	57
Εικόνα 22: Εγκατάσταση προτεινόμενου συστήματος .....	59
Εικόνα 23: Οθόνη συστήματος.....	59
Εικόνα 24: Καταγραφή δεδομένων EMY .....	66
Εικόνα 25: Καταγραφή δεδομένων OpenWeatherMap.....	66
Εικόνα 26: Καταγραφή δεδομένων Εθνικού Αστεροσκοπείου.....	67
Εικόνα 27: Πλακέτα Sodaq ExpLoRer.....	68
Εικόνα 28: Αποστολή δεδομένων TheThingsNetwork .....	69
Εικόνα 29: Αρχική σελίδα συστήματος.....	70
Εικόνα 30: Αρχείο συστήματος (EMY, OpenWeather) .....	70
Εικόνα 31: Αρχείο προγνώσεων Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών .....	71
Εικόνα 32: Αρχείο πραγματικών τιμών τοπικού σταθμού .....	71

Εικόνα 33: Προγνώσεις για αξιοπιστία .....	77
Εικόνα 34: Υπολογισμός αξιοπιστίας.....	78
Εικόνα 35: Μηνιαία Εξαμυσοδιαπνοή Αναφοράς .....	82
Εικόνα 36: Μηνιαία βροχόπτωση.....	83
Εικόνα 37: Δεδομένα σόργου .....	84
Εικόνα 38: Δεδομένα εδάφους .....	84
Εικόνα 39: Υδατικές Απαιτήσεις σόργου.....	85

## Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1: Συγκριτικός πίνακας των μεθόδων άρδευσης.....	24
Πίνακας 2: εφαρμογή σε θερμοκήπιο.....	61
Πίνακας 3: εφαρμογή στον αγρό, με υπολογισμό εξατμισοδιαπνοής ή μετεωρολογικά δεδομένα.....	62
Πίνακας 4: εφαρμογή στον αγρό, με αυτόματη άρδευση.....	64
Πίνακας 5: Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα.....	79
Πίνακας 6: Τυπική απόκλιση πρόγνωσης EMY Ιανουαρίου.....	80
Πίνακας 7: Τυπική απόκλιση πρόγνωσης EMY Φεβρουαρίου.....	80
Πίνακας 8: Τυπική απόκλιση πρόγνωσης OpenWeather Ιανουαρίου.....	80
Πίνακας 9: Τυπική απόκλιση πρόγνωσης OpenWeather Φεβρουαρίου.....	80
Πίνακας 10: Τυπική απόκλιση πραγματικών τιμών Ιανουαρίου.....	80
Πίνακας 11: Τυπική απόκλιση πραγματικών τιμών Φεβρουαρίου.....	80



## Περίληψη

Στη σημερινή κοινωνία, ο χώρος της τεχνολογίας εξελίσσεται συνεχώς καθώς αυξάνονται οι απαιτήσεις της καθημερινότητας των ανθρώπων. Σημαντικό ρόλο παίζει το Internet of Things (Διαδίκτυο των Πραγμάτων, IoT) συμβάλλοντας δραστικά στον τρόπο ζωής των ανθρώπων σε πολλούς τομείς, όπως είναι η έξυπνη γεωργία. Ωστόσο, παρά τις τεχνολογικές εξελίξεις στο χώρο αυτό, οι μετεωρολογικές μεταβλητές είναι αυτές που καθορίζουν τις αλλαγές στις καλλιέργειες μιας και τα καιρικά φαινόμενα μερικές φορές είναι ακραία. Αυτό, λοιπόν, περιγράφεται με τον όρο αγρομετεωρολογία, δηλαδή τη σύνδεση της γεωργίας με την μετεωρολογία, και πως μεταβλητές όπως θερμοκρασία και υγρασία επιδρούν στην γεωργική καλλιέργεια.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να βοηθήσει τον χρήστη, είτε ως αγρότη είτε ως απλό ερευνητή, με τη συλλογή καιρικών προγνώσεων και πραγματικών τιμών, ελέγχοντας πρώτα την ακεραιότητα των δεδομένων αυτών. Στη συνέχεια, με την βοήθεια του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMSE) συγκρίνονται τα δεδομένα, τα οποία έχουν ληφθεί αυτοματοποιημένα με έναν αναλυτή βασισμένο σε PHP5 και τοποθετούνται σε μία SQL βάση δεδομένων. Στο σύστημα αυτό, χρησιμοποιείται και η καταγραφή πραγματικών μετρήσεων, υγρασίας και θερμοκρασίας, με τη συμβολή του μικροελεγκτή Sdaq ExpLoRer και την πλατφόρμα του TheThingsNetwork.

Τέλος, το λογισμικό CROPWAT, βοηθά στον υπολογισμό διάφορων μεταβλητών, με βάση τις μετεωρολογικές συνθήκες, και εξάγει μηνιαία δεδομένα όπως η εξατμισοδιαπνοή. Έτσι, με διάφορα στοιχεία τόσο από τις μετρήσεις, τις προγνώσεις αλλά και τη βοήθεια του διαδικτύου, εξάγονται οι υδατικές ανάγκες μίας καλλιέργειας και συγκεκριμένα του σόργου. Η συγκεκριμένη καλλιέργεια έχει δει την ζήτησή της να αυξάνεται δραματικά τα τελευταία χρόνια, έχοντας πολύ καλή προσαρμοστικότητα και ανθεκτικότητα σε εδαφικές και κλιματικές συνθήκες και για τον λόγο αυτό συμπεριλαμβάνεται στην έρευνα.

**Λέξεις-κλειδιά:** IoT, έξυπνη γεωργία, αρδευτικές ανάγκες, RMSE, Sdaq ExpLoRer, SQL, LoRa, Cropwat, αξιοπιστία, αγρομετεωρολογία



## Abstract

In today's society, technology is constantly evolving as the demands of people's daily lives increase. The Internet of Things (IoT) plays an important role in making a significant contribution to people's lifestyles in many areas, such as smart farming. However, despite the technological developments in this area, the meteorological variables are the ones that determine the changes in the crops and fields since the weather conditions are sometimes extreme. This is described by the term agrometeorology and is the connection between agriculture and meteorology, and how variables such as temperature and humidity affect agricultural cultivation.

The aim of this dissertation is to assist the user, whether a farmer or a researcher, in collecting weather forecasts and actual values, by first checking the integrity of these datasets. Then, with the help of the root-mean square error (RMSE) as a measure the data that have been obtained automatically with a PHP5-based parser, and stored into an SQL database. This system also records actual measurements, humidity and temperature, using the Sodaq ExpLoRer microcontroller and the TheThingsNetwork platform.

Finally, CROPWAT software helps calculate various values, based on meteorological conditions, and extracts monthly data such as evapotranspiration. Thus, with various data from both the measurements, the forecasts and the help of the internet, the water requirements of a crop and specifically of sorghum are determined. This crop has seen its demand increase dramatically in recent years, having high adaptability and resistance to soil and climatic conditions and is therefore included in the research.

**Keywords:** IoT, smart farming, irrigation needs, RMSE, Sodaq ExpLoRer, SQL, LoRa, Cropwat, reliability, agrometeorology



## Δήλωση Πνευματικών Δικαιωμάτων

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν. 1599/1986 και τα άρθρα 2,4,6 παρ.3 του Ν. 1256/1982, η παρούσα Διπλωματική Εργασία με τίτλο «Συστήματα Διαδικτύου των Πραγμάτων με εφαρμογή στη Γεωργία Ακριβείας» καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας και αναφέρονται ρητώς μέσα στο κείμενο που συνοδεύουν, και η οποία έχει εκπονηθεί στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας, υπό την επίβλεψη του μέλους του Τμήματος κ. Λούτα Μαλαματή, αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής εργασίας και δεν προσβάλλει κάθε μορφής πνευματικά δικαιώματα τρίτων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή / και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τους συγγραφείς και μόνο.



## Ευχαριστίες

Μετά την επιτυχή υλοποίηση της διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα αρχικά να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και ειδικότερα τους γονείς μου, για τη στήριξη που μου παρείχαν υλικά και ψυχολογικά σε όλη τη διάρκεια της φοίτησής μου στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου για την ενθάρρυνση και την ψυχολογική στήριξη σε περιόδους υπερβολικής πίεσης κατά την φοίτησή μου. Αξιοσημείωτη ήταν και η βοήθεια των εκπαιδευτικών του τμήματός μου, ώστε να καταφέρω να ενταχθώ στην κοινωνία ως συναδελφικό πλέον μέλος, ελπίζοντας στην μελλοντική και προσωπική μου εξέλιξη.

Ιδιαίτερα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπων καθηγήτρια της διπλωματικής μου εργασίας, κ. Λούτα Μαλαματή, για την στήριξη και βοήθεια που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια της υλοποίησής της. Η συνεχής εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την άμεση επικοινωνία που είχε μαζί μου, δίνοντάς μου αξιοσημείωτες συμβουλές για την περάτωση του έργου αυτού. Η βοήθειά της ήταν πολύτιμη σε όλα τα επίπεδα, καθώς μου παρείχε τα εφόδια για την συνέχεια μίας αξιοπρεπούς επαγγελματικής και προσωπικής εξέλιξης.





## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύεται το αντικείμενο της εργασίας. Αρχικά παρουσιάζεται το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things, IoT) και ακολουθεί η αρχιτεκτονική του και τα πεδία εφαρμογής. Στη συνέχεια, παρατίθενται τα οφέλη χρήσης IoT στην έξυπνη γεωργία, τα οποία συντέλεσαν στην ανάπτυξη της εργασίας αυτής καθώς και τα διάφορα συστήματα άρδευσης. Επίσης, παρουσιάζεται η σημασία της αγρομετεωρολογίας στις ημέρες μας, η έννοια της εξατμισοδιαπνοής και ο στόχος της εργασίας.

### 1.1 Internet of Things

Το Internet of Things (Διαδίκτυο των Πραγμάτων, IoT) αποτελεί το μεγαλύτερο επίτευγμα στο χώρο της τεχνολογίας και εξελίσσεται συνεχώς. Είναι ένα δίκτυο έξυπνων συσκευών που επικοινωνούν για να συλλέξουν δεδομένα. Η φιλοσοφία του IoT είναι η διασύνδεση διαφόρων συσκευών μεταξύ τους με σκοπό τη συλλογή δεδομένων μέσω κοινού δικτύου, όπως είναι το Wi-Fi, το GSM, Bluetooth, κτλ.

Η χρήση της τεχνολογίας και των συσκευών IoT αλλάζει τελείως την καθημερινότητα και των τρόπο ζωής των ανθρώπων. Αποσκοπεί στην αποτελεσματική λειτουργία των επιχειρήσεων ενώ η εφαρμογή της τεχνολογίας είναι σημαντική σε πολλούς τομείς, όπως είναι η γεωργία, η κτηνοτροφία και η υγειονομική περίθαλψη. Συσκευές όπως οι αισθητήρες, που θα απασχολήσουν σε μεγάλο κομμάτι τη συγκεκριμένη εργασία, συμβάλλουν στην ελαχιστοποίηση κατανάλωσης ενέργειας, ενσωματώνονται σε δρόμους, χωράφια, κτλ. ενώ παράλληλα μας συστήνουν ολοένα και περισσότερο στην έννοια μίας έξυπνης πόλης.

#### 1.1.1 Αρχιτεκτονική IoT

Η αρχιτεκτονική του IoT βρίσκεται ακόμη υπό ανάπτυξη, καθώς γίνονται συνεχής αλλαγές. Παρόλα αυτά η επικρατέστερη περιγραφή της αρχιτεκτονικής αποτελείται από τρία επίπεδα [1]:

##### 1. Perception Layer

Το επίπεδο αντίληψης, ή αλλιώς επίπεδο αισθητήρων, δηλαδή το επίπεδο των αντικειμένων που συλλέγουν δεδομένα. Περιλαμβάνει αντικείμενα όπως αισθητήρες, ενεργοποιητές και δίκτυα αισθητήρων. Για τους αισθητήρες υπάρχει η δυνατότητα μέτρησης θερμοκρασίας, υγρασίας, ποιότητα του αέρα, κτλ.

## 2. Network Layer

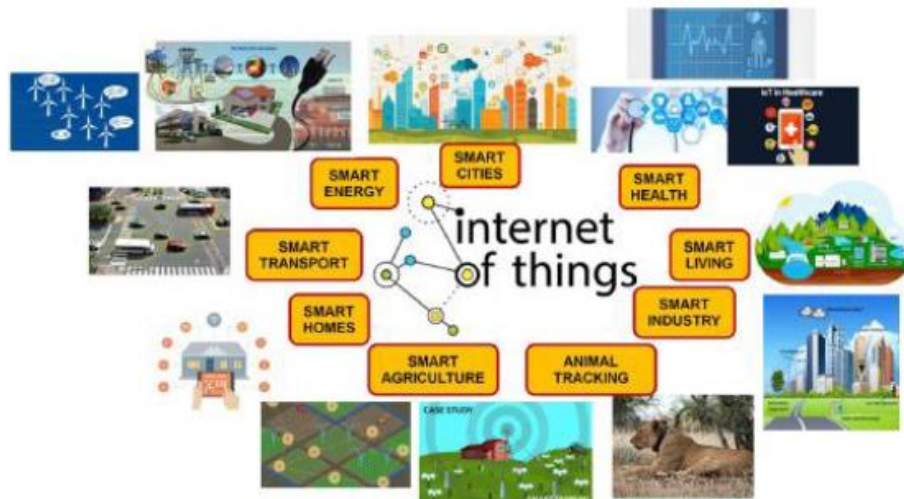
Περιγράφεται ως το επίπεδο δικτύου, δηλαδή το επίπεδο μετάδοσης των δεδομένων με σκοπό τη διαχείριση του δικτύου. Για τη μετάδοση μεγάλου όγκου δεδομένων απαιτείται ένα δίκτυο με υψηλές αποδόσεις, με τη βοήθεια μέσων όπως Bluetooth, Wi-Fi και ZigBee.

## 3. Application Layer

Το επίπεδο εφαρμογής είναι το ανώτερο και αποτελείται από IoT εφαρμογές. Επεξεργάζεται τα δεδομένα και ο χρήστης του συστήματος έχει τη δυνατότητα να διαχειριστεί τις συσκευές, όπως είναι η απομακρυσμένη ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση. Η πρόσβαση στα δεδομένα αυτά, γίνεται μέσω του ενδιάμεσου λογισμικού (middleware) που περιλαμβάνεται στην κατηγορία αυτή.

### 1.1.2 Πεδία Εφαρμογής

Οι εφαρμογές του IoT [2] ποικίλουν και είναι μέρος της καθημερινότητάς της κοινωνίας και των επιχειρήσεων. Στην εικόνα 1 [3], απεικονίζονται εφαρμογές του IoT καλύπτοντας τομείς όπως τη γεωργία, την υγεία, το περιβάλλον, τον πολιτισμό, κτλ. Ακολουθεί μερική ανάλυση στις σημαντικότερες εφαρμογές.



Εικόνα 1: Εφαρμογές του IoT

#### 1.1.2.1 Έξυπνο Περιβάλλον

Ένας από τους στόχους των εφαρμογών IoT είναι να ελαχιστοποιήσουν την μόλυνση του περιβάλλοντος, κυρίως με τη χρήση αισθητήρων και τη συνεχή παρακολούθηση των δεδομένων. Υπάρχει δυνατότητα παρακολούθησης του αέρα, της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, των δασικών πυρκαγιών, της άγριας πανίδας και του καιρού.

Παρακολουθούνται τιμές όπως τοξικά αέρια, αέρια καύσης, στάθμη του νερού, GPS για τον εντοπισμό άγριων ζώων, κτλ. Η πρόβλεψη καιρικών συνθηκών γίνεται με την παρακολούθηση τιμών θερμοκρασίας, υγρασίας, βροχής και ταχύτητας του ανέμου. Βασικό πλεονέκτημα στην τεχνολογία αυτή είναι η συγκέντρωση μεγάλου όγκου δεδομένων, τα οποία βοηθούν στην γρήγορη αναγνώριση κινδύνων και στην αποτελεσματική αντιμετώπιση αυτών.

### **1.1.2.2 Έξυπνη Γεωργία**

Ο γεωργικός κλάδος είναι ένας από τους πρώτους κλάδους στον οποίο εφαρμόστηκαν τεχνολογίες IoT, διότι υπήρχε ελλιπής τεχνολογική υποστήριξη και οι περισσότεροι αγρότες εξυπηρετούσαν τους σκοπούς τους με τη χρήση των παραδοσιακών μεθόδων άρδευσης.

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας, παρουσιάζεται η έξυπνη γεωργία με στόχο την αύξηση της ποιότητας και ποσότητας της γεωργικής παραγωγής, μειώνοντας ταυτόχρονα το φόρτο εργασίας των ανθρώπων. Γίνεται χρήση των τεχνολογιών IoT, δηλαδή χρησιμοποιούνται συσκευές αισθητήρων στις καλλιέργειες, παρέχοντας έτσι δεδομένα εδάφους, καλλιέργειας και καιρικών συνθηκών. Οι διαχειριστές τέτοιων συστημάτων παρακολουθούν τα δεδομένα συνεχώς, συμπεριλαμβανομένου του ελέγχου άρδευσης και λίπανσης, μέσω εφαρμογών κινητού, ιστοσελίδων ή μηνυμάτων.

Εκτός από την παρακολούθηση καλλιεργειών, υπάρχει η δυνατότητα παρακολούθησης δεδομένων στα θερμοκήπια με σκοπό την μέγιστη παραγωγικότητα και ποιότητα φρούτων και λαχανικών, μέσω των αλλαγών στις μικροκλιματικές συνθήκες.

## **1.2 Οφέλη χρήσης IoT στην έξυπνη γεωργία**

Η έξυπνη γεωργία ενσωματώνει προηγμένες τεχνολογίες IoT στις ήδη υπάρχουσες γεωργικές πρακτικές με πολλαπλά οφέλη στην κοινωνία, στην οικονομία και στο περιβάλλον [4].

Προσφέρει μείωση του κόστους παραγωγής, αυξημένη παραγωγή και καλύτερη ποιότητα, αξιοποιώντας τις αυτοματοποιημένες και παράλληλα βελτιστοποιημένες διαδικασίες διαχείρισης των καλλιεργειών.

Με τα αυτόματα και έξυπνα συστήματα IoT, ο φόρτος εργασίας του αγρότη μειώνεται ενώ παράλληλα εξοικονομεί χρόνο, ενέργεια και επιπλέον προσωπικό για εργασίες στην καλλιέργεια.

Επίσης, η χρήση των αισθητήρων δίνει τη δυνατότητα στον αγρότη να αναλύει τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, λαμβάνοντας έτσι τις κατάλληλες αποφάσεις ενώ ταυτόχρονα βοηθάει στην μείωση σπατάλης νερού και λιπασμάτων. Το ιστορικό των δεδομένων των αισθητήρων δίνει την επιπλέον δυνατότητα στον αγρότη να προβλέπει μελλοντικές αποδόσεις της εκάστοτε καλλιέργειάς του και εξασφάλιση έγκαιρης συντήρησης των μηχανημάτων.

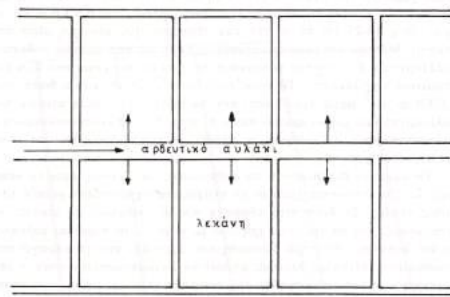
### 1.3 Συστήματα Άρδευσης

Η άρδευση των καλλιεργειών υλοποιείται με τα κατάλληλα συστήματα χορήγησης νερού, με αποτέλεσμα την ισόποση κατανομή νερού στις καλλιέργειες. Τα συστήματα αυτά χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες. Η πρώτη βασίζεται στη φυσική ροή του νερού, ενώ η δεύτερη στο νερό πίεσης.

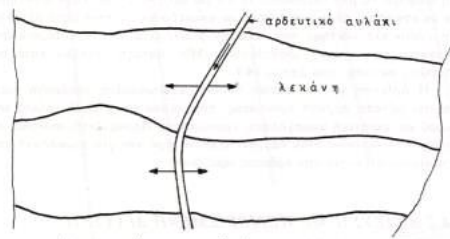
#### 1.3.1 Επιφανειακή Άρδευση

Σε αυτό το σύστημα άρδευσης, το νερό εφαρμόζεται στην επιφάνεια της καλλιέργειας, δηλαδή διασκορπίζεται με μία ροή αφού φτάσει στην υψηλότερη πλευρά της καλλιέργειας [5]. Η εφαρμογή του συγκεκριμένου συστήματος είναι το πιο διαδεδομένο σύστημα άρδευσης και συναντάται σε εδάφη με μικρές, έως και μηδενικές, κλίσεις. Ωστόσο, η συγκεκριμένη μέθοδος τείνει να εκλείψει [6].

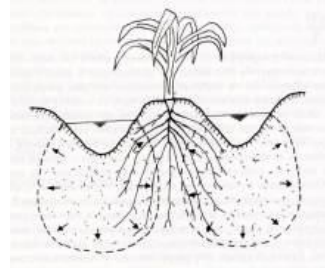
- Στην **άρδευση με κατάκλιση** (flood irrigation), η καλλιέργεια χωρίζεται σε λεκάνες και κάθε πλευρά περιβάλλεται από αναχώματα. Το νερό παραμένει στις λεκάνες καθώς έχει εφαρμοστεί σε όλη την καλλιέργεια μέχρι την πλήρη απορρόφησή του [7] [8]. (Εικόνα 2)
- Στην **άρδευση με αυλάκια** (furrow irrigation), το νερό ρέει μέσα στα αυλάκια που σχηματίζονται μεταξύ των γραμμών των φυτών και η απορρόφηση του νερού γίνεται λόγω τριχοειδών φαινομένων (το νερό έρχεται σε επαφή με στερεό σώμα). Στις σύγχρονες καλλιέργειες, η παροχή νερού γίνεται απευθείας από την τριτεύουσα διώρυγα (σιφόνια αλουμινίου/πλαστικά) [7] [9]. (Εικόνα 2)



α. Ορθογωνικές λεκάνες



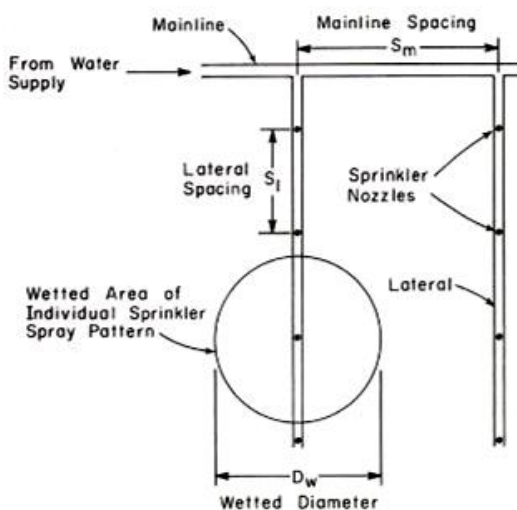
β. Λεκάνες κατά τις ισοϋψείς



Εικόνα 2: Άρδευση με κατάκλιση (αριστερά), αυλάκια (δεξιά)

### 1.3.2 Άρδευση με Καταιονισμό (Sprinkler Irrigation)

Το σύστημα άρδευσης με καταιονισμό ονομάζεται και τεχνητή βροχή και αποτελεί τον φυσικότερο και ποιοτικότερο τρόπο εφαρμογής νερού στις καλλιέργειες, ενώ συνεχίζει να επικρατεί παγκόσμια. Το νερό εφαρμόζεται σε όλη την επιφάνεια της καλλιέργειας σε μορφή spray και διεισδύει στο έδαφος όπως οι φυσικές βροχοπτώσεις. Ο καταιονισμός προσαρμόζεται σε όλες τις καλλιέργειες ωστόσο η χρήση της μεθόδου αυτής ενδείκνυται όταν η καλλιέργεια έχει μεγάλη κλίση [7].



Εικόνα 3: Διαμόρφωση συστήματος τεχνητής βροχής

Ένα τυπικό σύστημα καταιονισμού αποτελείται από το αντλητικό συγκρότημα, το δίκτυο μεταφοράς και το δίκτυο διανομής. (Εικόνα 3) Αναλυτικότερα, το αντλητικό συγκρότημα αποτελείται από την αντλία και τον κινητήρα [10] [11]. Η αντλία φέρει το απαιτούμενο νερό για άρδευση, ενώ ο σωλήνας συνδέει την αντλία με την πηγή του νερού. Το δίκτυο μεταφοράς περιέχει αγωγούς κατασκευασμένους από χάλυβα, πλαστικό ή αλουμίνιο, εξασφαλίζοντας την απαραίτητη μεταφορά νερού. Το δίκτυο διανομής αποτελείται από αγωγούς κατασκευασμένους, κυρίως, από αλουμίνιο. Υπάρχουν, όμως, και περιπτώσεις στις οποίες οι αγωγοί είναι από πλαστικό. Πάνω σε αυτούς του αγωγούς τοποθετούνται οι εκτοξευτήρες, οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για την ομοιόμορφη κατανομή νερού στην καλλιέργεια. Η θέση των εκτοξευτήρων είναι πάνω στην επιφάνεια της καλλιέργειας, σε ύψος ανάλογο της καλλιέργειας. Στόχος είναι η παροχή νερού να ρυθμιστεί έτσι ώστε να μηδενιστούν οι απώλειες διήθησης.

### 1.3.3 Πότισμα Στάγδην (Drip Irrigation)

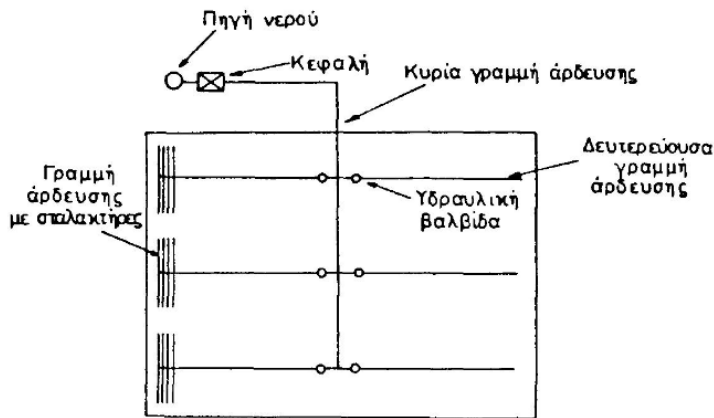
Η άρδευση με σταγόνες ή αλλιώς στάγδην άρδευση είναι ένα σύστημα το οποίο βρίσκεται ακόμη σε εξέλιξη, ενώ ξεκίνησε να εφαρμόζεται σε θερμοκήπια και αποδοτικές καλλιέργειες. Αποτελεί μέθοδο που ενδείκνυται για αυτοματισμό. Η εφαρμογή του συστήματος αυτού γίνεται σε καλλιέργειες με ποικιλόμορφες τοπογραφικές συνθήκες και η κατανομή του νερού γίνεται μέσω κλειστών σωληνωτών αγωγών, όπως και στην άρδευση με καταιονισμό [6]. (Εικόνα 4)

Η μέθοδος αυτή έχει ως αποτέλεσμα το πότισμα στις περιοχές που το χρειάζονται (ριζόστρωμα), με την αξιοποίηση του αρδευτικού νερού να αγγίζει το 80-90%. Για την ομαλή λειτουργία της μεθόδου αυτής είναι αναγκαία η αυτοματοποιημένη έναρξη και παύση του συστήματος άρδευσης, η συνεχόμενη υδροδότηση των μονάδων και η ρύθμιση της απαραίτητης παροχής στους αγωγούς. Το σύστημα αποτελείται από την πηγή τροφοδοσίας του νερού, την κεφαλή, τις σωληνώσεις, τους σταλακτήρες. Η κεφαλή είναι η ελεγχόμενη διανομή νερού και περιλαμβάνει φίλτρα, για να μη φράζουν οι σταλακτήρες, συσκευές εφαρμογής λιπασμάτων, ρυθμιστές πίεσης και μετρητές ροής. Η βάση ενός τέτοιου συστήματος είναι οι σταλακτήρες έτσι ώστε, με μικρή και ομοιόμορφη παροχή, το νερό (μορφή σταγόνας) να εφαρμόζεται στην περιοχή του ριζοστρώματος με μηδενική απώλεια διήθησης του νερού [12].

Σημαντικό πλεονέκτημα της στάγδην άρδευσης είναι η οικονομία νερού, έναντι των άλλων μεθόδων, καθώς παρουσιάζεται μικρότερος βαθμός απωλειών. Ωστόσο, το κόστος εγκατάστασης ενός συστήματος στάγδην άρδευσης μπορεί να είναι υψηλό σε σύγκριση με τις



υπόλοιπες μεθόδους, όμως αντισταθμίζεται με το κόστος άντλησης και εργασίας, τα οποία είναι χαμηλότερα [13].



Εικόνα 4: Σύστημα άρδευσης με σταγόνες

### 1.3.4 Υπόγεια Άρδευση

Το σύστημα υπόγειας άρδευσης δεν έχει εφαρμοστεί στην Ελλάδα καθώς είναι σχετικά νέα μέθοδος, δαπανηρή αλλά με πολλά πλεονεκτήματα. Με την κατάλληλη διαχείριση του συστήματος αυτού είναι εφικτή η αύξηση της παραγωγής και της απόδοσης [14].

Η υπόγεια άρδευση αναλύεται όπως και ένα σύστημα στάγδην άρδευσης καθώς είναι μία παραλλαγή του. Είναι μία χαμηλής πίεσης μέθοδος άρδευσης με το νερό να εφαρμόζεται μέσα στο ριζόστρωμα των καλλιεργειών μέσω ενός συστήματος υπόγειων σωληνωτών αγωγών (πλαστικών) από τους οποίους το νερό διεισδύει στο έδαφος με τη μέθοδο της βαρύτητας (έλκεται προς τα κάτω) ή με τη μέθοδο της τριχοειδούς ανύψωσης (έλκεται προς τα έξω και προς τα πάνω) [6]. Κατά τη διαδικασία της άρδευσης, οι πόροι του εδάφους γεμίζουν με νερό και αφού τελειώσει η διαδικασία αυτή, το νερό που περισσεύει είναι το νερό της υδατοϊκανότητας του εδάφους. Το νερό αυτό μειώνεται λόγω της επιφανειακής εξάτμισης μέχρι το φυτό να μαραθεί [15].

Βασικό πλεονέκτημα της υπόγειας (στάγδην) άρδευσης είναι η εφαρμογή μικρής ποσότητας νερού και θρεπτικών συστατικών σε κάθε μονάδα σε όλη την καλλιέργεια ενώ παράλληλα μειώνεται η εξάτμιση της επιφάνειας. Ακολουθεί ο συγκεντρωτικός πίνακας 1 με θετικά και αρνητικά στοιχεία των μεθόδων άρδευσης που αναλύθηκαν παραπάνω [6]. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι τα τελευταία χρόνια, ο έλεγχος της καλλιέργειας μέσω Η/Υ έχει αυξήσει την απόδοση της άρδευσης στο 90% με τη μέθοδο της στάγδην άρδευσης, σε αντίθεση με τη μέθοδο καταιονισμού και επιφανειακής άρδευσης που αγγίζουν και οι δύο περίπου το 60%.

Στάγδην άρδευση	Υπόγεια άρδευση	Επιφανειακός καταιονισμός	Κινητή άρδευση
Οικονομικό	Δαπανηρό	Μέτριο κόστος	Ελάχιστο κόστος
Απλή εγκατάσταση/ Προσωρινή	Εγκατάσταση μέτριας δυσκολίας/Μόνιμη	Απλή εγκατάσταση/ Προσωρινή	Δε χρειάζεται εγκατάσταση/ Προσωρινή
Δεν εμποδίζει	Δεν εμποδίζει	Μη ελκυστική λύση	Δεν εμποδίζει
Βολική λύση	Βολική λύση	Βολική λύση	Μη βολική λύση
Ακατάλληλη για ποώδη	Όλες οι καλλιέργειες	Όλες οι καλλιέργειες	Όλες οι καλλιέργειες
Μη διαβρωτική	Διάβρωση εδάφους	Διάβρωση εδάφους	Διάβρωση εδάφους
Χαμηλή πίεση/παροχή	Υψηλή πίεση/παροχή	Υψηλή πίεση/παροχή	Χαμηλή πίεση/παροχή

Πίνακας 1: Συγκριτικός πίνακας των μεθόδων άρδευσης

#### 1.4 Αγρομετεωρολογία

Παρά τις τεχνολογικές εξελίξεις των τελευταίων δεκαετιών, οι καλλιέργειες εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το κλίμα και τις μετεωρολογικές μεταβλητές, καθώς παρατηρούνται ακραία καιρικά φαινόμενα αλλά και μεγάλες αλλαγές στις τιμές αυτές. Με τον όρο αγρομετεωρολογία εννοείται η σύνδεση της μετεωρολογίας με την γεωργία. Δηλαδή, η μελέτη των μετεωρολογικών μεταβλητών του περιβάλλοντος, όπως θερμοκρασία, υγρασία και αέρας, η οποία σχετίζεται με την επίδραση αυτών των παραγόντων στις γεωργικές καλλιέργειες. [18]

Η αγρομετεωρολογία συνδέεται επίσης και με την πρόγνωση. Η πρόγνωση του καιρού μπορεί να συνδράμει σημαντικά στην βελτιστοποίηση των καλλιεργειών αν τα δεδομένα αυτά είναι εύκολα διαθέσιμα και αξιόπιστα. Είναι σημαντικό ο παραγωγός, για την βέλτιστη λήψη αποφάσεων, να κατανοεί την επίδραση των μετεωρολογικών παραγόντων και σε συνδυασμό με την έγκαιρη και έγκυρη πρόγνωση του καιρού αλλά και με την συνεχής παρακολούθηση των τιμών αυτών να φτάνει στον στόχο της αύξησης της παραγωγικότητας των καλλιεργειών. [19]



Συνεπώς, με την αύξηση των καιρικών φαινομένων, όπως ξηρασία, καύσωνα, κτλ, είναι αναγκαία η μετεωρολογική πρόβλεψη η οποία μας οδηγεί στη σωστή διαχείριση της καλλιέργειας των υδατικών της πόρων και στην εισαγωγή του όρου της εξατμισοδιαπνοής.

### 1.5 Εξατμισοδιαπνοή

Τα τελευταία χρόνια γίνονται ολοένα και πιο έντονα τα φαινόμενα ξηρασίας με αποτέλεσμα το νερό να παίζει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των καλλιεργειών. Με τον όρο εξατμισοδιαπνοή εννοείται η απώλεια του νερού υπό τη μορφή υδρατμών, ως αποτέλεσμα της διαπνοής των φυτών και της εξάτμισης από την επιφάνεια το εδάφους [16]. Προέρχεται από τις λέξεις evaporation (εξάτμιση) και transpiration (διαπνοή), συμβολίζεται ως ETc και επιτυγχάνει μέγιστο της απόδοσης μία καλλιέργειας.

Οι ανάγκες της άρδευσης, δηλαδή οι ανάγκες σε νερό μίας καλλιέργειας προσδιορίζονται από την τιμή της εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας (ETc) και είναι η ποσότητα του νερού που επιτυγχάνει την μέγιστη απόδοση της εκάστοτε καλλιέργειας. Η τιμή της εξατμισοδιαπνοής διαφέρει από καλλιέργεια σε καλλιέργεια καθώς εκτός από τους φυτικούς παράγοντες (kc) της καλλιέργειας υπάρχουν και οι κλιματικοί παράγοντες, όπως είναι η ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία αέρα, η υγρασία και η ταχύτητα του ανέμου. Μετρείται σε χιλιοστόμετρα (mm) ανά μονάδα χρόνου, υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο [17]:

$$\text{Ύψος νερού (mm)} = \frac{\text{Όγκος νερού (m}^3\text{)}}{\text{Επιφάνεια (m}^2\text{)}} \times 1000$$

Οι κλιματικοί παράγοντες είναι υπεύθυνοι για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς (ETo), ενώ η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας υπολογίζεται από τον πολλαπλασιασμό του φυτικού συντελεστή με την τιμή της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς.

### 1.6 Στόχος της εργασίας

Μέχρι και σήμερα, η πλειονότητα των αγροτών χρησιμοποιεί απαρχαιωμένες μεθόδους συντήρησης των καλλιεργειών τους με αποτέλεσμα να δημιουργούνται φθορές και έξοδα μεγαλύτερα των εσόδων τους. Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και τη χρήση του Internet of Things, οι αγρότες πρέπει να εξοικειωθούν με την έννοια του IoT, το οποίο εντάσσεται στο πλαίσιο της γεωργίας ακριβείας για άρδευση, με σκοπό την καλύτερη διαχείριση και αυτοματοποιημένη άρδευση των καλλιεργειών τους.

Τα τελευταία χρόνια είναι αναγκαία η αύξηση της αγροτικής παραγωγής καθώς αυξάνεται και ο πληθυσμός. Στην υλοποίηση της ανάγκης αυτής είναι καθοριστική η

συμμετοχή τόσο των αγροτών όσο και των επιστημόνων. Η χρήση αισθητήρων στις καλλιέργειες τίθεται αναγκαία, με σκοπό ο κάθε αγρότης να εξάγει συμπεράσματα για την καλλιέργειά του, καταγράφοντας ιδιότητες και χαρακτηριστικά των φυτών απέναντι στις κλιματικές αλλαγές και τον τύπο του εδάφους. Έτσι, συλλέγονται δεδομένα και είναι εύκολο πλέον οι αγρότες να τα αξιοποιήσουν προς όφελος της παραγωγής τους.

Στόχος της εργασίας είναι να λειτουργήσει ως βοηθητικός παράγοντας στους αγρότες οι οποίοι, λαμβάνοντας αυτοματοποιημένα τα δεδομένα υγρασίας και θερμοκρασίας αλλά και με τις καιρικές προβλέψεις, να είναι σε θέση να υπολογίζουν τους απαραίτητους υδατικούς πόρους για άρδευση της καλλιέργειάς τους. Τα δεδομένα που λαμβάνονται πρέπει να ελεγχθούν για την εγκυρότητά τους με τον δείκτη αξιοπιστίας που αναλύεται στη συνέχεια. Εισάγεται επίσης και η έννοια του σφάλματος, όπου σε συνδυασμό με τις τιμές των προβλέψεων και των πραγματικών, ο διαχειριστής θα είναι σε θέση να αντιλαμβάνεται πότε η πρόβλεψη, τόσο των μετεωρολογικών δεδομένων όσο και των αρδευτικών αναγκών που εξάγονται στη συνέχεια, είναι σωστή ή όχι, ή τι απόκλιση έχουν τα δεδομένα αυτά μεταξύ τους.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΔΙΕΘΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η διεθνής βιβλιογραφία, η οποία βασίζεται στην έξυπνη γεωργία, στη χρήση αισθητήρων και στην αυτοματοποίηση των συστημάτων άρδευσης. Επίσης, γίνεται αναφορά στη χρήση συστημάτων με καιρικές προβλέψεις και υπολογισμό σφάλματος και τέλος, γίνεται μία συνολική συζήτηση.

### 2.1 Intelligent Drip Irrigation and Fertigation Using Wireless Sensor Networks

*I Mohanraj, V Gokul, R Ezhilarasie, A Umamakeswari*  
2017

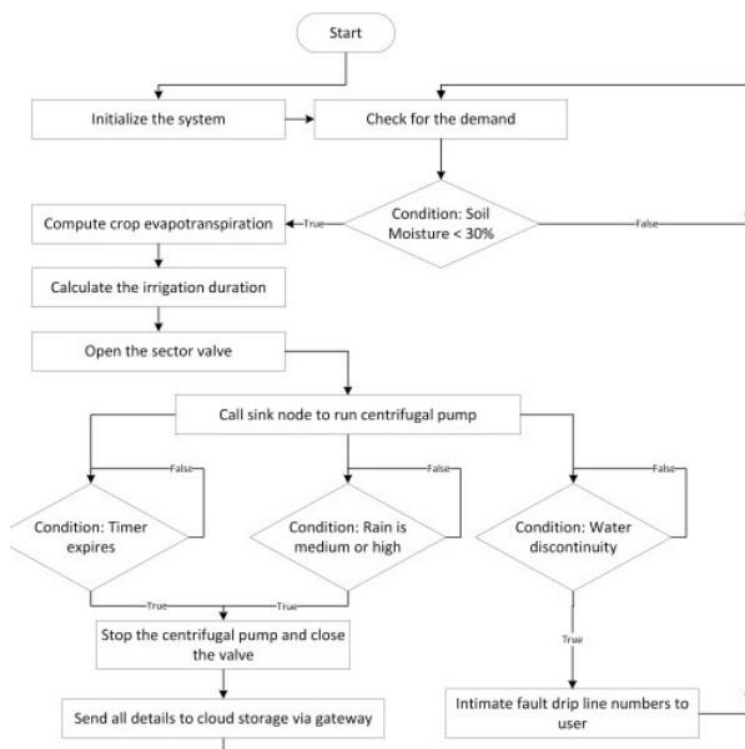
Στο άρθρο αυτό [20] αναλύονται τα θετικά στοιχεία παρέμβασης της τεχνολογίας της πληροφορίας στον κλάδο της γεωργίας, παρουσιάζοντας ένα αυτοματοποιημένο σύστημα άρδευσης και λίπανσης με τη βοήθεια ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Η χρήση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων αποφέρει υψηλότερη παραγωγή της καλλιέργειας έναντι παραδοσιακών μεθόδων.

Πρώτο στάδιο του προτεινόμενου συστήματος είναι ο αλγόριθμος εύρεσης της βέλτιστης ποσότητας νερού στις καλλιέργειες, δηλαδή υπολογίζεται η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας (ETcrop), από τον πολλαπλασιασμό της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς (ETref) με τον αντίστοιχο συντελεστή των καλλιεργειών (Kc). Η τιμή της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής αναφοράς γίνεται με τη χρήση του μοντέλου Penman-Monteith FAO-56 (εικόνα 5), για γρασίδι ύψους 8-12 cm με πλήρη επάρκεια εδαφικού νερού, βελτιώνει την ακρίβεια της τιμής αυτής όπως και την απόδοση της άρδευσης. Ο τύπος που χρησιμοποιείται αναλύεται στο Κεφάλαιο 3.2

Ως δεύτερο στάδιο, παρουσιάζονται το σύστημα ανίχνευσης της ροής του νερού και το σύστημα συναγερμού. Επομένως γίνεται χρήση ενός κυκλώματος με τρανζίστορ και αντιστάσεις για την ανίχνευση της ροής του νερού, όπου εφαρμόζεται θετική τάσης που ανιχνεύει την εξέλιξη του νερού και ενημερώνει τον διαχειριστή του συστήματος σε περίπτωση που σταματήσει η ροή του νερού κατά τη διάρκεια της άρδευσης. Στο επόμενο στάδιο, προσδιορίζεται η φόρτιση της μπαταρίας με έναν αισθητήρα τάσης 12V για την αποκατάσταση της υπολειπόμενης ενέργειας της μπαταρίας κρατώντας τον χρήστη ενήμερο για να αλλάξει ή να φορτίσει την μπαταρία όταν ανιχνευθεί ενέργεια κάτω του 50%. Το σύστημα έχει οχτώ επίπεδα ένδειξης νερού με αποτέλεσμα όταν η άρδευση φτάσει στο τελευταίο επίπεδο να ενημερώνει τον διαχειριστή, με τη χρήση μηνύματος, και στη συνέχεια να ανοίγει αυτόματα η βαλβίδα αποστράγγισης έτσι ώστε το νερό να μειωθεί μέχρι να φτάσει στο κατώτατο επίπεδο και να κλείσει η βαλβίδα. Κατά τη διάρκεια βροχόπτωσης, η άρδευση διακόπτεται και

εξοικονομείται ηλεκτρική ενέργεια ενώ η λίπανση ακριβούς ποσότητας θρεπτικών συστατικών, σε όλες τις φάσεις, στην καλλιέργεια μειώνει τη διάβρωση του εδάφους. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ψεκασμού λιπάσματος, το σύστημα ανοίγει την αντίστοιχη βαλβίδα για προκαθορισμένη διάρκεια. Όλα τα δεδομένα αποθηκεύονται σε cloud μέσω GSM (Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών) για απομακρυσμένη πρόσβαση του διαχειριστή.

Τέλος, το σύστημα διατηρεί σε μεγάλο βαθμό το νερό από τις παραδοσιακές μεθόδους άρδευσης εξασφαλίζοντας βέλτιστη ανάπτυξη με χαμηλό κόστος, υψηλή αξιοπιστία και ακρίβεια.



Εικόνα 5: Διάγραμμα ροής του μοντέλου FAO-56

## 2.2 Advanced Control Strategies for Irrigation Systems

*Tiberiu Marinescu, Nicoleta Arghira, Daniela Hossu, Ioana Fagarasan, Iulia Stamatescu, Grigore Stamatescu, Vasile Calofir, Sergiu Iliescu*  
2017

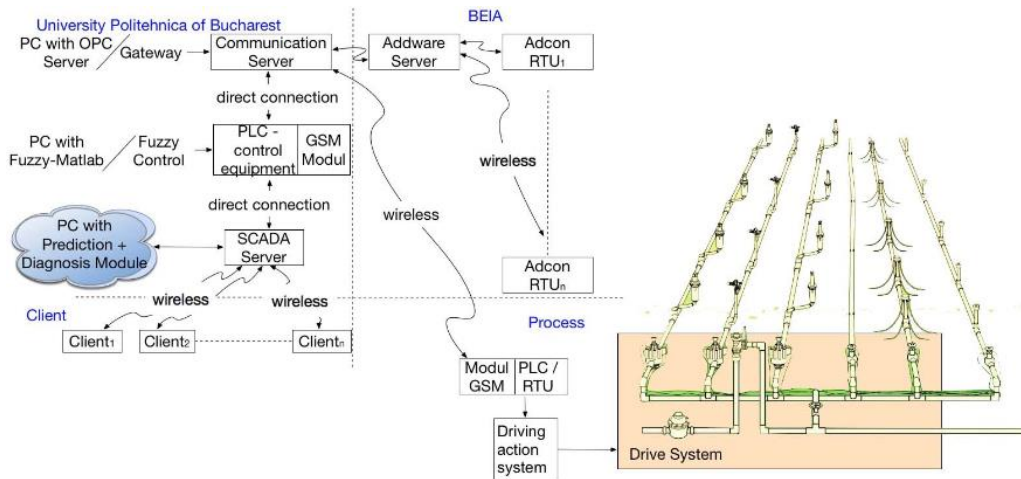
Οι ερευνητές παρουσιάζουν [21] τις σημαντικότερες παραμέτρους που πρέπει να παρακολουθούνται σε ένα σύστημα διαχείρισης άρδευσης, οι οποίες είναι η υγρασία και θερμοκρασία του αέρα, ο αέρας και υγρασία εδάφους και η εξατμισοδιαπνοή. Με βάση την παρακολούθηση αυτών των παραμέτρων, μπορούν να εφαρμοστούν διαφορετικές στρατηγικές και μέθοδοι ελέγχου, οι οποίες ταξινομούνται σε τέσσερις κατηγορίες. Αναφορικά, οι μέθοδοι αυτοί είναι ο ελεγκτής PID (classical PID control), τα συστήματα ασαφή ελέγχου (fuzzy control systems), συστήματα υποστήριξης αποφάσεων (Decision Support Systems) και οι στρατηγικές

προβλεπτικού ελέγχου (Model Predictive Control). Ενώ όλες οι μέθοδοι, σύμφωνα με τα αποτελέσματά τους αποφέρουν βελτιστοποίηση και αποδοτικότητα συστημάτων άρδευσης, γίνεται χρήση της μεθόδου ασαφούς ελέγχου (fuzzy approach) παρουσιάζοντας ένα σύστημα αυτοματοποιημένης άρδευσης για αμπελώνες από την μεριά των κυβερνοφυσικών συστημάτων (CPS).

Τα κυβερνοφυσικά συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν παντού, χρησιμοποιούνται από όλους, εξυπηρετούν πολλούς σκοπούς. Τα συστήματα αυτά συλλέγουν πληροφορίες από αισθητήρες, μαθαίνουν να προσαρμόζονται σε μεταβαλλόμενες καταστάσεις και αλλάζουν τη λειτουργικότητά τους. Η στρατηγική ελέγχου ακολουθεί μια ασαφή προσέγγιση (fuzzy approach) και λαμβάνει υπόψη ότι ο έλεγχος της υγρασίας του εδάφους και οι διαταραχές μπορεί να είναι η θερμοκρασία του αέρα και η εξατμισοδιαπνοή, καθώς είναι ένας δείκτης φυτασθένειας. Τα συστήματα ασαφής ελέγχου επιλέχθηκαν καθώς η υγρασία του εδάφους είχε μεγάλη καθυστέρηση, χρονική μεταβολή και μη γραμμικότητα.

Το σύστημα (εικόνα 6) αποτελείται από σταθμούς τηλεμετρίας, ένα σύστημα SCADA (σύστημα εποπτείας και συλλογής δεδομένων), μία μονάδα RTU και τους ενεργοποιητές (actuators). Λαμβάνει πληροφορίες και αποστέλλει εντολές στους ενεργοποιητές. Οι ενεργοποιητές αποτελούνται από αντλίες, βαλβίδες και άλλο εξοπλισμό που λειτουργούν άμεσα για την άρδευση των αμπελώνων. Οι σταθμοί τηλεμετρίας καθορίζουν την ανάγκη της άρδευσης ενώ το σύστημα SCADA συλλέγει δεδομένα. Τα συστήματα SCADA (συστήματα εποπτείας και συλλογής δεδομένων) είναι συστήματα μέτρησης και ελέγχου δεδομένων προσφέρουν σύνδεση στο διαδίκτυο, εύκολη διαχείριση των δεδομένων και απεικόνιση αυτών σε οθόνες, στατιστικά, προβλέψεις αλλά και αυξημένη ασφάλεια. Μια μονάδα RTU (σταθμοί απομακρυσμένης λειτουργίας) περιλαμβάνει ηλιακούς συλλέκτες και μπαταρίες για ανεξάρτητη λειτουργία και χρησιμοποιείται για την απόκτηση των παραμέτρων του πεδίου και ελέγχου των ενεργοποιητών. Οι ενεργοποιητές αποτελούνται από αντλίες, βαλβίδες και άλλο εξοπλισμό που λειτουργούν άμεσα για την άρδευση των αμπελώνων. Η υγρασία και η θερμοκρασία του εδάφους και του αέρα παρακολουθούνται με ειδικούς ανιχνευτές μέτρησης και η εξατμισοδιαπνοή μπορεί να υπολογιστεί με τη χρήση της μεθόδου Penman-Monteith, που αναλύεται στο Κεφάλαιο 3.2.

Όλα αυτά επιλέγονται για την ενεργειακή απόδοση του συστήματος, αλλά και για την αποτελεσματική διαχείριση του νερού. Η αρχιτεκτονική του συστήματος έχει πολλά άλλα πλεονεκτήματα όπως η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, το χαμηλό κόστος διαχείρισης και οι λειτουργίες πρόβλεψης και διάγνωσης.



Εικόνα 6: Προτεινόμενο σύστημα διαχείρισης της άρδευσης

### 2.3 Automated Irrigation System Using a Wireless Sensor Network and GPRS Module

Joaquín Gutiérrez, Juan Francisco Villa-Medina, Alejandra Nieto-Garibay, and Miguel Ángel Porta-Gándara  
2014

Το αυτοματοποιημένο σύστημα άρδευσης (εικόνα 7) που παρουσιάζεται στο συγκεκριμένο άρθρο [22] έχει ως στόχο την βελτιστοποίηση της χρήσης νερού στις γεωργικές καλλιέργειες. Το σύστημα διαθέτει μία ασύρματη μονάδα αισθητήρα, η οποία επιτρέπει τη μεταφορά δεδομένων υγρασίας και θερμοκρασίας εδάφους, που τοποθετείται στις ρίζες των φυτών, χρησιμοποιώντας τεχνολογία ZigBee. Η ασύρματη μονάδα αποτελείται από έναν πομποδέκτη RF, αισθητήρες, έναν μικροελεγκτή και πηγές ενέργειας. Πολλές ασύρματες μονάδες αισθητήρων μπορούν να αναπτυχθούν εντός πεδίου για να διαμορφώσουν ένα δίκτυο καταμεμημένων αισθητήρων για το αυτοματοποιημένο σύστημα άρδευσης. Κάθε μονάδα βασίζεται στον μικροελεγκτή PIC24FJ64GB004, προγραμματισμένος με τον C compiler 4.12 για την παρακολούθηση της υγρασίας εδάφους. Όταν η ασύρματη μονάδα αισθητήρα εκκινηθεί για πρώτη φορά, ο αλγόριθμος ζητάει την ασύρματη μονάδα πληροφοριών, την ημερομηνία και την ώρα για τον προγραμματισμό του RTCC (Real-time Clock/Calendar) και ενημερώνει περιοδικά για συγχρονισμό. Η ασύρματη μονάδα πληροφοριών διαχειρίζεται τα δεδομένα υγρασίας εδάφους και θερμοκρασίας. Αρχικά, μεταφορτώνει από ένα διακομιστή web την ημερομηνία και την ώρα μέσω της μονάδας GPRS και μεταδίδει μέσω XBee-PRO S2 αυτά τα δεδομένα για κάθε ασύρματη μονάδα αισθητήρα. Τότε, ο μικροελεγκτής λαμβάνει το πακέτο πληροφοριών που μεταδίδεται με το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων. Παρέχονται δεδομένα από τους αισθητήρες VH400 και DS1822. Ο αισθητήρας VH400 επιλέχθηκε για την εκτίμηση της

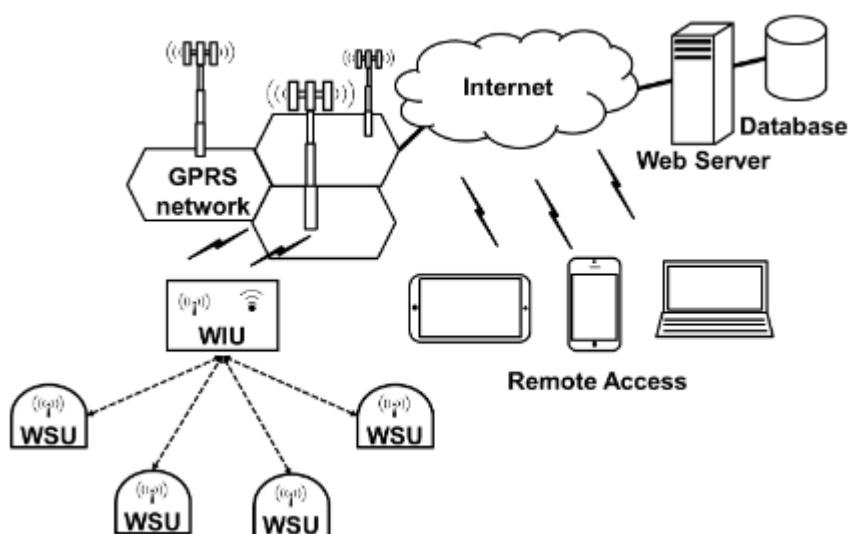
υγρασίας του εδάφους λόγω της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας (<7 mA) και του χαμηλού κόστους. Ο αισθητήρας τροφοδοτήθηκε στα 3,3 V και παρακολούθηθηκε από τον μικροελεγκτή μέσω μιας θύρας ADC. Ο αισθητήρας DS1822 μετατρέπει τη θερμοκρασία σε ψηφιακή λέξη 12 δυαδικών ψηφίων και αποθηκεύεται σε καταχωρητές θερμοκρασίας 2-B, που αντιστοιχούν σε αύξηση 0,0625 °C.

Δεύτερον, τα δεδομένα υγρασίας και θερμοκρασίας του εδάφους συγκρίνονται με τις ελάχιστες τιμές υγρασίας εδάφους και μέγιστης θερμοκρασίας εδάφους για την ενεργοποίηση των αντλιών άρδευσης για μια επιθυμητή περίοδο. Τρίτον, ο αλγόριθμος παράγει ένα αρχείο καταγραφής με τα δεδομένα αυτά. Στην περίπτωση άρδευσης της καλλιέργειας, το πρόγραμμα αποθηκεύει τη διάρκεια της άρδευσης, την ημερομηνία και την ώρα. Τέλος, αυτά τα δεδομένα και ένα ID θερμοκηπίου μεταδίδονται επίσης σε κάθε προκαθορισμένο χρόνο σε έναν web server μέσω της μονάδας GPRS, που πρόκειται να αναπτυχθεί στην εφαρμογή ιστού στο ίντερνετ σε πραγματικό χρόνο. Όταν ο διακομιστής λάβει ένα αίτημα για την ιστοσελίδα, εισάγει τα δεδομένα στο αντίστοιχο πεδίο στη βάση δεδομένων ενώ έχει τη δυνατότητα αλλαγής των οριακών τιμών και προγραμματισμού της άρδευσης. Η ασύρματη μονάδα πληροφοριών διαθέτει επίσης ένα κουμπί push για χειροκίνητη άρδευση για προγραμματισμένη περίοδο και μια ενδεικτική λυχνία LED για να υποδείξει πότε έχει ληφθεί το πακέτο πληροφοριών. Όλες οι διαδικασίες παρακολουθούνται μέσω της θύρας RS-232. Η ασύρματη μονάδα πληροφοριών περιλαμβάνει μια λειτουργία που συγχρονίζει τη μονάδα ασύρματου αισθητήρα το μεσημέρι για την παρακολούθηση της κατάστασης κάθε ασύρματης μονάδας αισθητήρα. Σε περίπτωση απώλειας όλων των ασύρματων μονάδων αισθητήρων, το σύστημα μεταβαίνει αυτόματα σε προεπιλεγμένο πρόγραμμα άρδευσης. Η άρδευση πραγματοποιείται με έλεγχο των δύο αντλιών μέσω ηλεκτρομαγνητικών ρελέ 40-A που συνδέονται με τον μικροελεγκτή μέσω δύο οπτικών απομονωτών CPC1004N. Οι αντλίες έχουν κατανάλωση τροφοδοτούνται από μία δεξαμενή νερού 5000 λίτρων. Επιπλέον, αποστέλλεται ένα μήνυμα ηλεκτρονικού ταχυδρομείου για την ενημέρωση του διαχειριστή του συστήματος. Μετά την αποστολή δεδομένων, ο μικροελεγκτής τίθεται σε κατάσταση αναστολής λειτουργίας για ορισμένο χρονικό διάστημα.

Το λογισμικό γραφικών διεπαφής χρήστη αναπτύχθηκε για παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο και προγραμματισμό της άρδευσης με βάση τα δεδομένα θερμοκρασίας και υγρασίας. Η εφαρμογή λογισμικού επιτρέπει στο χρήστη να οπτικοποιεί γραφικά τα δεδομένα εδάφους, υγρασίας και θερμοκρασίας, ενώ η ιστοσελίδα εμφανίζει τη συνολική κατανάλωση νερού και το είδος της καλλιέργειας. Η ιστοσελίδα για παρακολούθηση και προγραμματισμό

αναπτύχθηκε σε γλώσσα C# μέσω Microsoft Visual Studio 2010. Η βάση δεδομένων υλοποιήθηκε στον SQL Server 2005.

Το αυτοματοποιημένο σύστημα δοκιμάστηκε σε καλλιέργειες για 136 ημέρες και είχε ως αποτέλεσμα την εξοικονόμηση νερού έως και 90% σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους άρδευσης. Συμπερασματικά, το σύστημα άρδευσης επιτρέπει την καλλιέργεια σε περιοχές με έλλειψη νερού, βελτιώνοντας έτσι τη βιωσιμότητα, ενώ μπορεί να προσαρμοστεί σε πληθώρα καλλιεργειών και απαιτεί ελάχιστη συντήρηση. Η διαμόρφωση του αυτοματοποιημένου συστήματος επιτρέπει την κλιμάκωση σε μεγαλύτερα θερμοκήπια ή αγρούς.



Εικόνα 7: Δομή του αυτοματοποιημένου συστήματος άρδευσης

## 2.4 Automatic control of irrigation system in paddy using WSN

A.Sathya, B. Arthi, S.Giridharan, M.Karvendan, J. Kishore

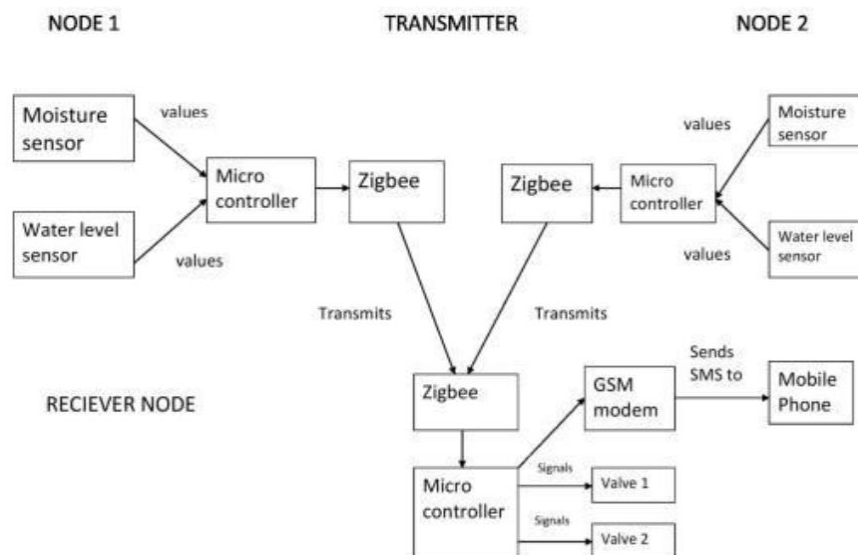
2016

Το συγκεκριμένο άρθρο [23] παρουσιάζει μία μέθοδο αυτοματοποίησης του ελέγχου της κατεύθυνσης της ροής του νερού στους ορυζώνες. Το σύστημα χρησιμοποιεί αισθητήρες στάθμης νερού και αισθητήρες υγρασίας για τη μέτρηση της στάθμης του νερού και της υγρασίας στα χωράφια για τον έλεγχο των βαλβίδων που κατευθύνει τη ροή νερού στα χωράφια (εικόνα 8). Οι αισθητήρες αυτοί τοποθετούνται στις ρίζες των φυτών. Λόγω των διαφορετικών κλιματικών συνθηκών, ο αισθητήρας βροχής βρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους με σκοπό την απενεργοποίηση του συστήματος άρδευσης κατά την περίοδο βροχοπτώσεων. Ο μικροελεγκτής PIC χρησιμοποιείται για τη συλλογή πληροφοριών των αισθητήρων σε πραγματικό χρόνο. Τα δεδομένα μπορούν να αποκτηθούν και να υποστούν σε επεξεργασία με την αποστολή και λήψη πληροφοριών. Η τιμή υγρασίας αέρα, θερμοκρασίας και υγρασίας



εδάφους που απαιτείται για μια συγκεκριμένη καλλιέργεια ορίζεται στον μικροελεγκτή ως οριακή τιμή. Χρησιμοποιείται το ZigBee για τη μετάδοση των τιμών στον μικροελεγκτή, ο οποίος συγκρίνει τις τιμές των αισθητήρων με τις αποθηκευμένες οριακές τιμές για τον έλεγχο των ηλεκτρομαγνητικών βαλβίδων. Εάν η πραγματική τιμή είναι μεγαλύτερη από τις οριακές τιμές, ο μικροελεγκτής στέλνει σήματα στην βαλβίδα για να κλείσει και αν η πραγματική τιμή είναι μικρότερη, ο μικροελεγκτής στέλνει σήμα στη βαλβίδα για να ανοίξει. Το σήμα αυτό είναι ένας ηλεκτρικός παλμός. Όταν το νερό γεμίσει και κατευθυνθεί στην επόμενη καλλιέργεια, ο μικροελεγκτής με τη χρήση GSM, το οποίο στέλνει και λαμβάνει δεδομένα μέσω ραδιοκυμάτων, αποστέλλει SMS στον διαχειριστή του συστήματος για το χρόνο που χρειάστηκε για να γεμίσει η πρώτη καλλιέργεια.

Το σύστημα άρδευσης τροφοδοτείται από ηλιακό φωτοβολταϊκό πάνελ με σύστημα διαχείρισης ισχύος της μπαταρίας. Το αυτοματοποιημένο σύστημα άρδευσης ελέγχεται ταυτόχρονα σε καλλιέργεια κιτρινόριζας (κουρκουμάς) και κρεμμυδιού για 50 ημέρες. Η εξοικονόμηση νερού αγγίζει μέχρι και το 90% σε σύγκριση με τους παραδοσιακούς τρόπους άρδευσης. Με την ενσωμάτωση του αυτοματοποιημένου συστήματος, μειώνεται η κατανάλωση νερού και ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ αυξάνεται η ποιότητα των σπόρων και η απόδοση των καλλιεργειών.



Εικόνα 8: Αρχιτεκτονική συστήματος άρδευσης

## 2.5 Automatic Irrigation System with Data Log Creation

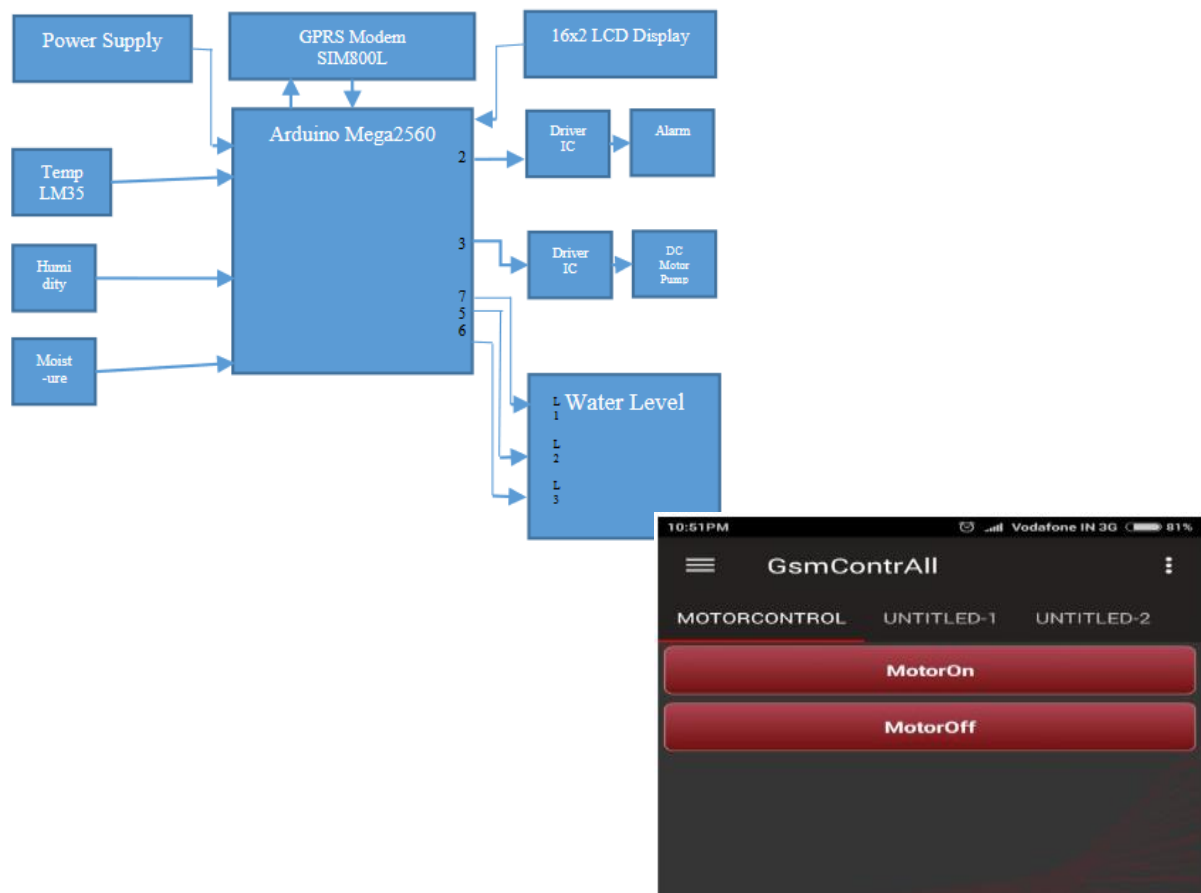
Abhilash Shrivastava, Rajesh M.

2018

Το προτεινόμενο σύστημα [24] επιτρέπει στον αγρότη να παρακολουθεί το επίπεδο υγρασίας στην καλλιέργεια χρησιμοποιώντας το κινητό του, κάνοντας την μέθοδο αυτή να είναι ταχύτερη από τη χειροκίνητη λειτουργία.

Προτείνεται ένα σύστημα άρδευσης με τη χρήση ενός Arduino Mega 2560 μαζί με το GSM 800L και τις τιμές των αισθητήρων, τόσο υγρασίας αέρα και εδάφους όσο και θερμοκρασίας (εικόνα 9). Ο αισθητήρας υγρασίας εδάφους είναι βασικό στοιχείο του συγκεκριμένου συστήματος, καθώς με βάση τις τιμές αυτές αποφασίζεται η ενεργοποίηση του κινητήρα για άρδευση. Ο αισθητήρας θερμοκρασίας της καλλιέργειας έχει εύρος λειτουργίας από  $-55^{\circ}\text{C}$  έως  $150^{\circ}\text{C}$ , χρησιμοποιώντας τον αισθητήρα LM35. Ο αισθητήρας αέρα της καλλιέργειας που χρησιμοποιείται είναι ο DHT11.

Οι αισθητήρες συλλέγουν τα δεδομένα θερμοκρασίας, υγρασίας εδάφους και αέρα αλλά και στάθμης νερού που υπάρχει στη δεξαμενή αποθήκευσης και τα εμφανίζουν σε μία LCD οθόνη συνδεδεμένη με το Arduino. Στη συνέχεια, τα δεδομένα αυτά καταγράφονται σε μία ιστοσελίδα που δημιουργείται για την αυτοματοποίηση του συστήματος. Η ιστοσελίδα απαιτεί αρχικά είσοδο στο σύστημα και στη συνέχεια εμφανίζει τα πρόσφατα δεδομένα των αισθητήρων, τη στάθμη νερού και την ημερομηνία και ώρα της κάθε μέτρησης. Ταυτόχρονα, η μονάδα GSM μέσω της εφαρμογής GSMContrAll (εικόνα 9), η οποία επικοινωνεί με την πλακέτα Arduino Mega, στέλνει μήνυμα ειδοποίησης στο κινητό τηλέφωνο του διαχειριστή, με σκοπό την ενεργοποίηση του κινητήρα για άρδευση. Η εφαρμογή αυτή μπορεί εύκολα να εγκατασταθεί σε οποιοδήποτε Android κινητό και καθιστά δυνατή την επικοινωνία για την ενεργοποίηση του κινητήρα. Οι αισθητήρες ενημερώνουν την κεντρική μονάδα η οποία αναμένει, για ορισμένο χρονικό διάστημα, την τελική απάντηση του χρήστη, αλλιώς συνεχίζει να παρακολουθεί τις τιμές. Όταν το νερό φτάσει στο απαιτούμενο επίπεδο, απενεργοποιείται ο κινητήρας και ο διαχειριστής του συστήματος λαμβάνει ακόμη ένα μήνυμα το οποίο τον ενημερώνει για τέλος της διαδικασίας.



Εικόνα 9: (Πάνω) Σχεδίαση Συστήματος, (Κάτω) Εφαρμογή Κινητού

## 2.6 Implementation of an Automated Irrigation System

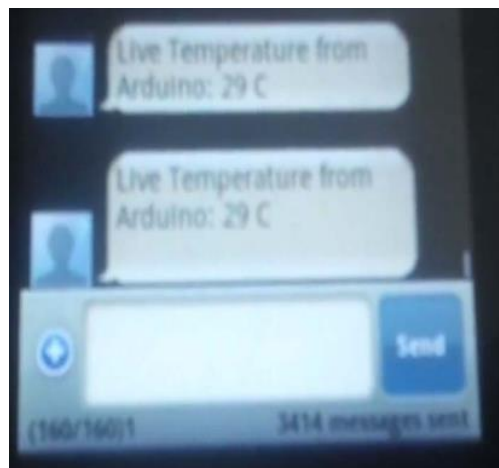
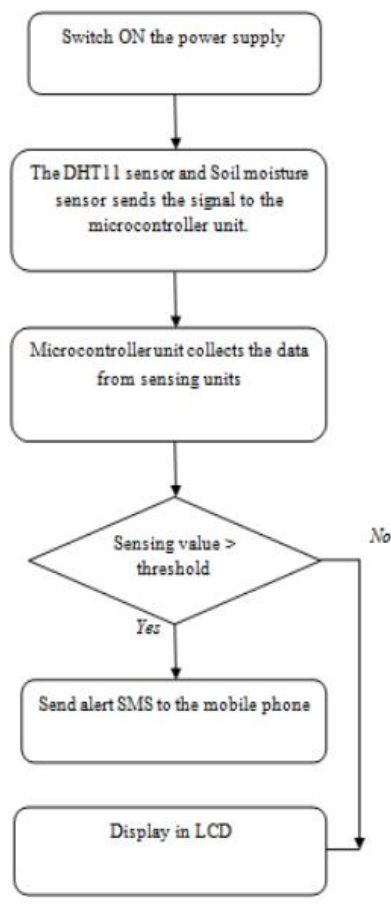
*U N V P Rajendranath, Dr. V. Berlin Hency  
2013*

Ο κύριος στόχος των ερευνητών είναι η ανάπτυξη ενός αυτοματοποιημένου συστήματος άρδευσης βασισμένο σε αισθητήρες [25]. Το σύστημα αυτό αποτελείται από δύο μονάδες, τη μονάδα ελέγχου και τη μονάδα ανίχνευσης. Η μονάδα ελέγχου αποτελείται από ARDUINO το οποίο ελέγχει την εκτέλεση της λειτουργίας και η μονάδα ανίχνευσης αποτελείται από διάφορους αισθητήρες. Συγκεκριμένα, οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται είναι αισθητήρας θερμοκρασίας και υγρασίας συγκεκριμένης περιοχής στις ρίζες των φυτών, ο αισθητήρας DHT11 και υγρασία εδάφους VH400. Το σύστημα αυτό εφαρμόστηκε χρησιμοποιώντας μία πλακέτα ARDUINO με τη διασύνδεση των αισθητήρων στη μονάδα μικροελεγκτή. Ο μικροελεγκτής που χρησιμοποιείται είναι ο ATMEGA 328. Οι μονάδες ανίχνευσης παρακολουθούν και στέλνουν κάθε πέντε λεπτά τα δεδομένα των αισθητήρων υπό διαφορετικές θερμοκρασίες και επίπεδα υγρασίας στην πλακέτα ARDUINO. Η πλακέτα εμφανίζει την τρέχουσα θερμοκρασία και την υγρασία μιας συγκεκριμένης ζώνης ρίζας

χρησιμοποιώντας μια οθόνη LCD η οποία είναι επίσης διασυνδεδεμένη με την πλακέτα. Ο πίνακας ARDUINO λαμβάνει τις τιμές δεδομένων από τις μονάδες ανίχνευσης και αυτές οι τιμές συγκρίνονται με το προκαθορισμένο όριο που προγραμματίστηκε στη μονάδα μικροελεγκτή (εικόνα 10). Το όριο μπορεί να ρυθμιστεί σύμφωνα με τις τιμές που λαμβάνονται υπό διαφορετικές συνθήκες και κυμαίνεται από 40 έως 30 βαθμούς Κελσίου, επειδή οι περισσότερες από τις τιμές πέφτουν σε αυτές τις περιοχές κατά τη διάρκεια κανονικών και υγρών συνθηκών. Το όριο μπορεί να διαφέρει από τόπο σε τόπο, επειδή μπορεί να μην είναι σταθερό σε μια περιοχή. Αν τα δεδομένα αυτά υπερβούν μια συγκεκριμένη κατώτατη τιμή, τότε η μονάδα μικροελεγκτή στέλνει ένα μήνυμα ειδοποίησης στο κινητό του διαχειριστή (εικόνα 10), ο οποίος βρίσκεται σε απομακρυσμένη θέση. Η αποστολή SMS πραγματοποιείται με τη χρήση της μονάδας SIM900A, η οποία είναι επίσης συνδεδεμένη με τη μονάδα μικροελεγκτή και επικοινωνεί με εντολές AT. Αυτή η επικοινωνία μπορεί να γίνει μόνο όταν η μονάδα μικροελεγκτή λάβει μια τιμή η οποία είναι μεγαλύτερη από την οριακή τιμή. Οι διαφορετικές τιμές για τον DHT11 αισθητήρα μετρούνται κάτω υπό διαφορετικές κλιματικές συνθήκες και ορίζουν την κατώτατη τιμή που βασίζεται σε αυτές τις τιμές. Ο αισθητήρας DHT11 μετράει τόσο τη θερμοκρασία όσο και την υγρασία της ρίζας του φυτού. Αποτελείται από τρεις ακροδέκτες, της παροχής ρεύματος, της γείωσης και τον ακροδέκτη δεδομένων που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση των δεδομένων του αισθητήρα. Αυτός ο αισθητήρας έχει προστατευτική θωράκιση που αντέχει σε οποιοδήποτε κλιματολογικές συνθήκες.

Η μονάδα αισθητήρα υγρασίας εδάφους αποτελείται από έναν αισθητήρα υγρασίας εδάφους και το μικροκύκλωμα (συγκριτής) LM393. Ο ανιχνευτής εδάφους τοποθετείται στο έδαφος έτσι ώστε όταν η υγρασία του εδάφους είναι χαμηλή, η έξοδος της μονάδας είναι υψηλή και υποδεικνύεται με τη χρήση κόκκινου led στον συγκριτή.

Ως απόδειξη της ιδέας αυτής, πραγματοποιούνται εμπειρικά πειράματα σε μία πραγματική καλλιέργεια καλαμποκιού και αξιολογούνται τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα επικοινωνίας του κατώτερου στρώματος. Αυτό το σύστημα μπορεί να επεκταθεί χρησιμοποιώντας κόμβους ασύρματων δικτύων αισθητήρων για τη μετάδοση δεδομένων καθώς και με τη χρήση συστημάτων βάσης δεδομένων για την αποθήκευση των δεδομένων. Το συνολικό σύστημα μπορεί να τροφοδοτηθεί με τη χρήση ηλιακών κυψελών για τη διατήρηση του συστήματος σε χαμηλό κόστος.



Εικόνα 10: (Αριστερά) Διάγραμμα ροής, (Δεξιά) Ειδοποιήσεις sms

## 2.7 Intelligent command of an underground irrigation and fertilization system

*Laurențiu Mihai Ionescu, Alin Gheorghijă Mazăre, Gheorghe Șerban, Dașniel Visan, Adrian Ioan Lita 2018*

Η άρδευση και η εφαρμογή λιπασμάτων μέσω υπόγειων εγκαταστάσεων είναι μια αποτελεσματική μέθοδος για τις γεωργικές καλλιέργειες. Αυτή η μέθοδος [26] επιτρέπει βέλτιστο έλεγχο εκτέλεσης της άρδευσης και της λίπανσης.

Πρώτον, το σύστημα αποτελείται από την πλατφόρμα αισθητήρα και τον server, παράγει αλληλουχίες άρδευσης που εφαρμόζονται στην καλλιέργεια. Η πλατφόρμα αισθητήρα περιέχει αισθητήρες που σχετίζονται με την ποιότητα του εδάφους: υγρασία, θερμοκρασία, pH, συγκέντρωση αζώτου, ατμοσφαιρική θερμοκρασία, ατμοσφαιρική υγρασία και μία τοπική μονάδα επεξεργασίας που λαμβάνει δεδομένα μοιράζοντάς τα σε πακέτα, ενώ υπάρχει και μία ασύρματη μονάδα μεταφοράς δεδομένων για τοπική επικοινωνία μέσω της διεπαφής XBee 2.4GHz ή GSM (εικόνα 11). Η μονάδα επεξεργασίας ονομάζεται Waspnote από την Libelium και βασίζεται στον μικροελεγκτή ATMEGA1281. Η αρχιτεκτονική λογισμικού είναι το Arduino. Το σύστημα επιτρέπει την εφαρμογή ασπίδων, οι οποίες επιτρέπουν τη σύνδεση

διαφόρων τύπων αισθητήρων. Στο σύστημα χρησιμοποιείται η ασπίδα SmartAgriculture, επίσης από την Libelium, η οποία συνδέεται με τους αισθητήρες.

Αναλυτικότερα, ο αισθητήρας υγρασίας της ατμόσφαιρας μπορεί να μετρήσει με ακρίβεια +/- 6%. Ο αισθητήρας θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας είναι ένας αισθητήρας MCP9700A, ο οποίος μετρά τη θερμοκρασία σε μια περιοχή από -40 °C έως + 125 °C με ακρίβεια +/- 4 °C. Ο αισθητήρας θερμοκρασίας εδάφους PT1000 μετράει θερμοκρασίες μεταξύ -50 °C και +300 °C, με ακρίβεια ενός βαθμού, ενώ ο αισθητήρας υγρασίας εδάφους από 0 έως 200 cB. Ο server είναι υπεύθυνος για την απόκτηση και ανάλυση των δεδομένων από τους αισθητήρες. Οι έξυπνοι αλγόριθμοι ανάλυσης σε πραγματικό χρόνο που εφαρμόζονται σε Java ενσωματώνονται σε ένα ενδιάμεσο λογισμικό σύνθετης επεξεργασίας συμβάντων. Το ενδιάμεσο λογισμικό που χρησιμοποιείται είναι το WSO2 DAS και ειδικεύεται στη σύνθετη επεξεργασία συμβάντων. Περιέχει δύο δέκτες για τη λήψη δεδομένων μέσω GSM. Το πρώτο βήμα στη συγκέντρωση δεδομένων είναι ο ορισμός μιας ροής event. Περιλαμβάνει ένα σύνολο δεδομένων όπως τύπο καλλιέργειας και εδάφους, τα χρησιμοποιούμενα λιπάσματα, τα ψεκασμένα φυτοφάρμακα, την ποσότητα και τη συχνότητα ψεκασμού, τον χρόνο ηλιακής ακτινοβολίας καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, τη θερμοκρασία και την υγρασία. Όταν αποστέλλονται δεδομένα, πρέπει να καθορίσει ο χρήστης το όνομα και τον αριθμό των καλλιεργειών. Τα δεδομένα μεταφέρονται σε μια κοινή μορφή, μεταδίδονται για ανάλυση σε πραγματικό χρόνο και αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων. Έτσι, προσδιορίζεται σχηματικά ο καθορισμός των βέλτιστων σημείων άρδευσης και λίπανσης. Η ανάλυση αυτή γίνεται χρησιμοποιώντας έναν γενετικό αλγόριθμο, σκοπός του οποίου είναι να προσδιορίσει τις ακολουθίες που οδηγούν στο βέλτιστο σημείο άρδευσης για μία συγκεκριμένη εποχή. Τα δεδομένα εισόδου είναι οι αποθηκευμένες πληροφορίες σχετικά με την εξέλιξη της κατάστασης του εδάφους και του περιβάλλοντος καθώς και την παραγωγικότητα που καταγράφεται στο τέλος της σεζόν. Ο στόχος του αλγορίθμου είναι να κάνει μια ακριβέστερη πρόβλεψη του βέλτιστου σημείου για την επόμενη σεζόν.



Εικόνα 11: Διάγραμμα Συστήματος

## 2.8 Integration of Irrigation System with Wireless Sensor Networks: Prototype and Conception of Intelligent Irrigation System

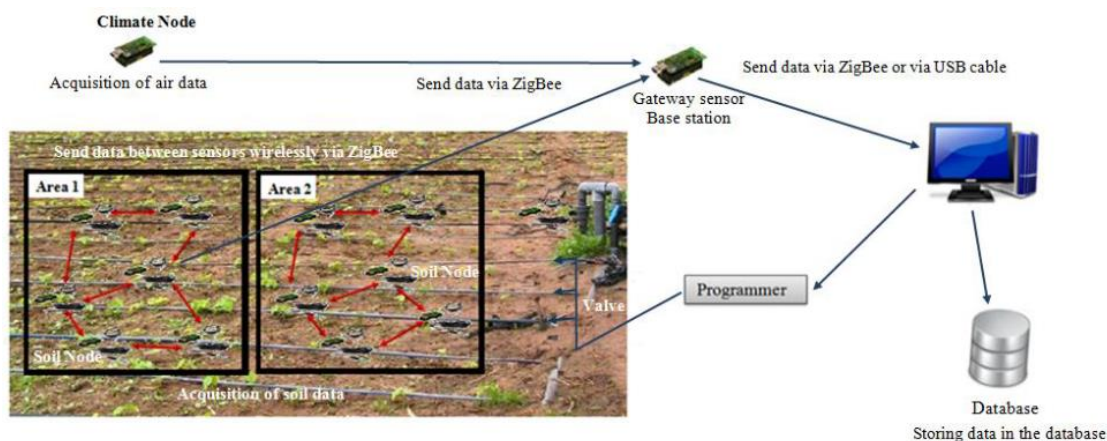
*HAMAMI Loubna and NASSEREDDINE Bouchaib*

2018

Στο συγκεκριμένο άρθρο [27], οι μελετητές προτείνουν ένα έξυπνο σύστημα άρδευσης που βασίζεται στην ενσωμάτωση της στάγδην άρδευσης τεχνικής με το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων. Αναπτύσσεται μία αυτοματοποιημένη και έξυπνη τεχνική άρδευσης με σκοπό την εξοικονόμηση νερού και την αύξηση της αποδοτικότητας των συστημάτων άρδευσης. Για την εφαρμογή του προτεινόμενου συστήματος (εικόνα 12), χωρίζεται η γεωργική γη σε πολλές μικρές περιοχές για την παράταση της διάρκειας ζωής του ασύρματου δικτύου αισθητήρων. Οι κύριοι στόχοι του προτεινόμενου συστήματος είναι η εξοικονόμηση νερού, χρόνου και ενέργειας.

Αναλυτικότερα, επιλέγεται η άρδευση με σταγόνες καθώς αποτελεί την πιο αποδοτική και προσαρμόσιμη κατηγορία άρδευσης για ένα έξυπνο σύστημα. Το Zigbee είναι η καλύτερη επιλογή για χρήση σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, λόγω της περιορισμένης ικανότητας υπολογισμού και μνήμης, ενώ από αυτές τις βασικές παραμέτρους, επιλέγεται η χρήση αισθητήρων υγρασίας και θερμοκρασίας όπως είναι ο αισθητήρα υγρασίας εδάφους EC-5 και ο αισθητήρα θερμοκρασίας DS18B20. Οι αισθητήρες αυτοί είναι αδιάβροχοι και αναπτύσσονται κοντά στο ριζικό τμήμα των φυτών σε κάθε μικρή περιοχή. Το σύστημα λειτουργεί αυτόματα ανιχνεύοντας τη θερμοκρασία, την υγρασία εδάφους, καθώς και τη θερμοκρασία και υγρασία του αέρα χρησιμοποιώντας τους παραπάνω αισθητήρες. Στη συνέχεια, τα δεδομένα που μετρήθηκαν από τους αισθητήρες, μεταφέρονται σε έναν κόμβο συντονιστή, ο οποίος ονομάζεται σταθμός βάσης. Ο κόμβος συντονιστή λαμβάνει, επεξεργάζεται και αποθηκεύει τα δεδομένα σε μια βάση δεδομένων. Οι αισθητήρες συνδέονται μεταξύ τους και με τον κόμβο συντονιστή, με τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας ZigBee. Μετά, πραγματοποιείται ανάλυση των καταγεγραμμένων δεδομένων ελέγχοντας τα με μια βάση οριακών τιμών για κάθε παράμετρο. Οι οριακές τιμές τροποποιούνται ανάλογα με τον τύπο της καλλιέργειας. Ανάλογα με το αποτέλεσμα, ενεργοποιείται ή απενεργοποιείται ο

μηχανισμός άρδευσης, χωρίς την παρέμβαση του αγρότη. Σε περίπτωση ξηρασίας, ενεργοποιείται η στάγδην άρδευση εάν οι τιμές είναι μικρότερες από τις οριακές τιμές.



Εικόνα 12: Προτεινόμενο σύστημα με τη χρήση WSN

## 2.9 Wireless Sensor Network for Precise Agriculture Monitoring

Shining Li, Jin Cui, Zhigang Li

2011

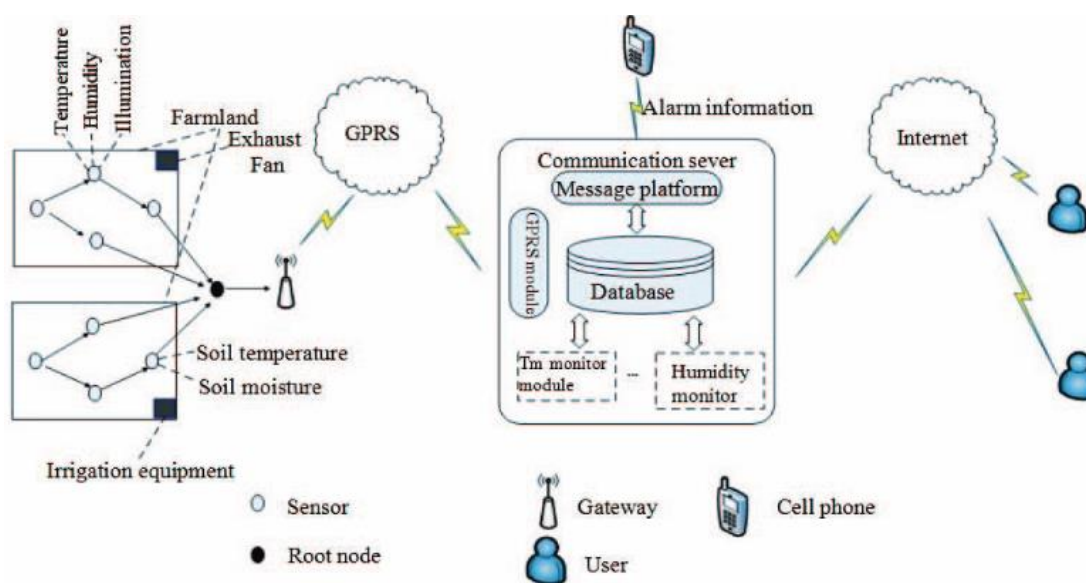
Σύμφωνα με τους ερευνητές, στο παρόν έγγραφο προτείνεται η ανάπτυξη ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων βασισμένο στο θερμοκήπιο και στην πραγματική διαχείριση των καλλιεργειών. Το σύστημα αυτό ονομάζεται, Σύστημα Παρακολούθησης της Γεωργίας Ακρίβειας (PAMS) το οποίο σχεδιάζεται και υλοποιείται για τη σύγχρονη γεωργία ακρίβειας. [28]

Το σύστημα αποτελείται από ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων, πύλες και έναν server επικοινωνίας (εικόνα 13). Αναπτύσσεται ο κόμβος αισθητήρα NPUMote σε πραγματικές ελεγχόμενες καλλιέργειες και θερμοκήπια, συλλέγοντας πληροφορίες και δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, όπως είναι η θερμοκρασία και η υγρασία. Ο NPUMote χρησιμοποιεί δύο μπαταρίες ξηράς φόρτισης και σε συνδυασμό με το προτεινόμενο πρόγραμμα BLP (Balance Low Power Time Synchronization) υλοποιείται συγχρονισμός με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Αυτό το πρόγραμμα επιλέγει τον κόμβο ο οποίος έχει τη μεγαλύτερη ισχύ και το μικρότερο λόγο απώλειας πακέτων για τη μετάδοση του μηνύματος συγχρονισμού. Μετά τη συλλογή δεδομένων, οι κόμβοι πακετάρουν τα δεδομένα με το πρωτόκολλο CTP και το πακέτο στέλνεται στον κόμβο ρίζας, ο οποίος μεταδίδει τα δεδομένα στην πύλη. Κατά τη λήψη των δεδομένων, η πύλη εξάγει τις πληροφορίες που αποθηκεύονται σε τοπικό flash, και ταυτόχρονα, η πύλη αποστέλλει τα δεδομένα στον διακομιστή επικοινωνιών μέσω GPRS. Στη συνέχεια, ο διακομιστής τα αποθηκεύει στη βάση δεδομένων, και ο διαχειριστής μπορεί με τη βοήθεια υπολογιστή ή κινητού τηλεφώνου, να παρακολουθεί απομακρυσμένα τις περιβαλλοντικές συνθήκες τις καλλιέργειας ή θερμοκηπίου, αξιολογώντας τη βάση δεδομένων.



Μόλις εντοπιστούν οι κατάλληλες συνθήκες, το σύστημα στέλνει εντολές για την ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση της αυτόματης άρδευσης στον server. Ως αποτέλεσμα, οι διαχειριστές του συστήματος γνωρίζουν τις πραγματικές συνθήκες των καλλιεργειών, αποφασίζουν τον ψεκασμό ή το πότισμα και ελέγχουν την κατάσταση του συστήματος μέσω ενός γραφικού περιβάλλοντος χρήστη (GUI) που είναι προσβάσιμο μέσω ιστοσελίδας (shaanxiiot.com). Ο διακομιστής επικοινωνιών διαθέτει επίσης λειτουργία συναγερμού SMS, η οποία στέλνει μήνυμα προειδοποίησης στο χρήστη όταν εντοπιστεί τιμή μεγαλύτερη από το όριο που ορίστηκε ή ανιχνεύθηκε χαμηλή μπαταρία.

Χαρακτηριστικά των κόμβων αισθητήρων είναι η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, η μικρή περιοχή επικοινωνίας και η αυτόματη οργάνωση, τα οποία συνδυάζονται με την ανάγκη για προβλέψιμη λειτουργία για το σχεδιασμό της αρχιτεκτονικής και τις υπηρεσίες εφαρμογής τους. Μετά από μία περίοδο ανάπτυξης, οι περιβαλλοντικές πληροφορίες που συλλέγονται από το σύστημα είναι χρήσιμες για τον διαχειριστή.



Εικόνα 13: Αρχιτεκτονική συστήματος PAMS

## 2.10 Smart Irrigation System Using Wireless Sensor Network

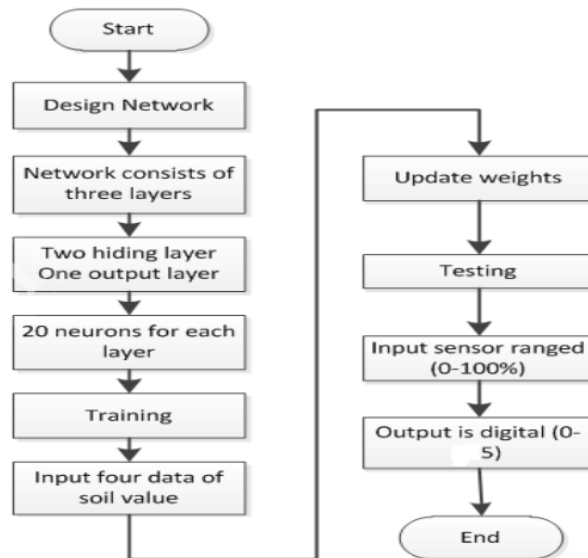
A. Salam Al-Ammri, Sherin Ridah

2014

Σε αυτό το έγγραφο [29], παρουσιάζεται ο σχεδιασμός και η εφαρμογή ενός αυτόνομου συστήματος παρακολούθησης της υγρασίας εδάφους, το οποίο περιλαμβάνει ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων και μια διασύνδεση Bluetooth, για τη μέγιστη ανάπτυξη των καλλιεργειών και εξοικονόμησης νερού.

Στο σύστημα αυτό, ο ελεγκτής χρήστη παρέχει πληροφορίες από την κάρτα λήψης (master) και διαβιβάζει τα δεδομένα των αισθητήρων (ως τρέχουσα παράμετρος της εγκατάστασης) μέσω της πλακέτας πομπού (slave). Μόλις ο master λάβει τα δεδομένα, τα μεταδίδει σειριακά στο αρχείο καταγραφής (PC). Η διαδικασία επαναλαμβάνεται αν το πρόγραμμα έχει ρυθμιστεί για συνεχή εκτέλεση αλλιώς το πρόγραμμα περιμένει να συμβεί ένα γεγονός αποσύνδεσης το οποίο υποδεικνύει ότι ο ελεγκτής (master) έχει αποσυνδέσει τη σύνδεση επικοινωνίας. Δημιουργούνται δύο προγράμματα και hardware, για καθένα από τα δύο κύκλωμα (master και slave). Αναλυτικότερα, το κύριο/master κύκλωμα αποτελείται από έναν μικροελεγκτή AT89c51, μία μονάδα Bluetooth και ρυθμιστές τόσο για το Bluetooth όσο και για τον μικροελεγκτή. Ένα τριπλό ολοκληρωμένο κύκλωμα χρησιμοποιείται ως ρυθμιστής τάσης στο τροφοδοτικό (5V) για τη ρύθμιση και την προσπάθεια λήψης σταθερού ρεύματος DC. Ο ρυθμιστής 7805 χρησιμοποιείται στο κύριο κύκλωμα για την τροφοδοσία της μονάδας Bluetooth με τάση 3.3V. Ο μικροελεγκτής AT89c51 διαθέτει ενσωματωμένο UART (universal asynchronous receiver/transmitter) για την σειριακή επικοινωνία. Η επικοινωνία των UART γίνεται μέσω των θυρών RS-232 και χρησιμοποιείται για τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ της μονάδας Bluetooth και ενός εξωτερικού υλικού. Το γραφικό περιβάλλον εργασίας χρήστη αναπτύσσεται στη γλώσσα Visual Basic και χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της σειριακής θύρας και της βάσης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Αντίστοιχα, το κύκλωμα slave αποτελείται από αισθητήρες υγρασίας εδάφους, μία μονάδα Bluetooth και έναν μικροελεγκτή. Τα δεδομένα των αισθητήρων αντιπροσωπεύουν τις ξηρές πληροφορίες του εδάφους (ογκομετρική υγρασία του εδάφους) και την εμβέλεια της ανίχνευσης, της μεταβλητότητας του εδάφους με βάση τη θέση του αισθητήρα και τη βάση του αποξηραμένου εδάφους. Για την προσομοίωση του προτεινόμενου σχεδιασμού χρησιμοποιείται το Matlab/Simulink και αποτυπώνει όλες τις φάσεις της διαδικασίας, ενώ το νευρωνικό δίκτυο (ANNs) είναι σε θέση να επιτύχει την καλύτερη απόδοση που χρειάζεται το προτεινόμενο σύστημα (εικόνα 14). Το νευρικό δίκτυο χρησιμοποιείται για την προσομοίωση της συμπεριφοράς του αισθητήρα.

Το πειραματικό μέρος της εργασίας αυτής πραγματοποιήθηκε για τη δοκιμή της κατάστασης του εδάφους με βάση διαφορετικές αναλογίες νερού, όγκου εδάφους με τέσσερις αισθητήρες σε διαφορετικά επίπεδα, σε δοχεία κατά τη διάρκεια 1500 λεπτών σε 40-45 βαθμούς Κελσίου σε θερμοκρασία δωματίου μια ηλιόλουστη ημέρα. Χρησιμοποιήθηκαν διάφορες μετρήσεις για σύγκριση, το MSE (μέσο τετραγωνικό σφάλμα), PSNR (μέγιστη αναλογία σήματος προς θόρυβο) και Max Error. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η 70% αναλογία νερού προς έδαφος έχει καλύτερες τιμές από την 40% αναλογία με μικρότερο μέσο τετραγωνικό σφάλμα.



Εικόνα 14: Διάγραμμα ANNs

## 2.11 Wireless Sensor Network in Precision Agriculture Application

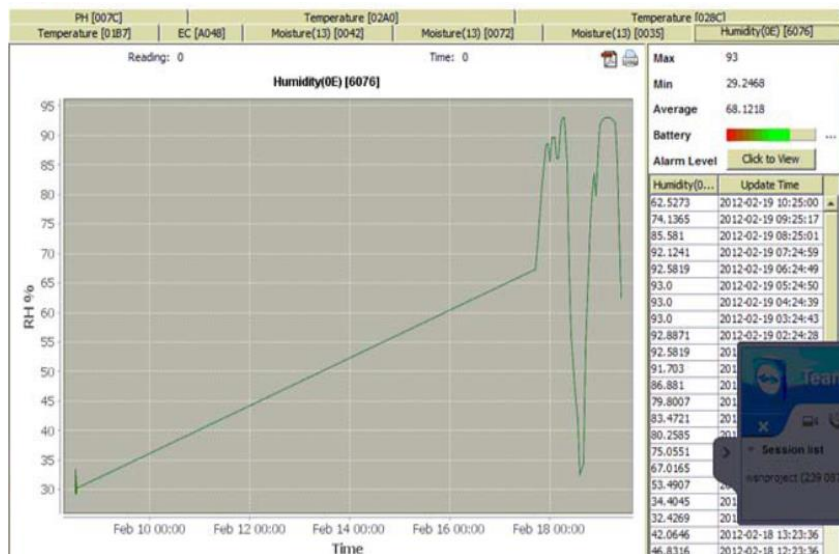
*Mohamed Rawidean Mohd Kassim, Ibrahim Mat, Ahmad Nizar Harun*

2014

Σε αυτό το άρθρο [30] σχεδιάστηκε ένα πρακτικό, χαμηλού κόστους και φιλικό προς το περιβάλλον, σύστημα έξυπνης παρακολούθησης θερμοκηπίου (IGMS – Intelligent Greenhouse Monitoring System) με βάση την τεχνολογία του ασύρματου δικτύου αισθητήρα. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή, το σύστημα έχει σχεδιαστεί ειδικά για τη διαχείριση του θερμοκηπίου. Το σύστημα, το οποίο έχει υλοποιηθεί ως μία διαδικτυακή εφαρμογή, είναι φιλικό προς το χρήστη, αξιόπιστο, προσαρμόσιμο και, κυρίως, αναπτύσσεται χρησιμοποιώντας τεχνολογίες ανοιχτού κώδικα (εικόνα 15). Το σύστημα επιτρέπει την παρακολούθηση της διαδικασίας της καλλιέργειας, τη διατήρηση αρχείων των δραστηριοτήτων των χρηστών και τη δυνατότητα μετάδοσης των απαραίτητων ειδοποιήσεων για ενέργεια. Η συνολική διαδικασία παρακολουθείται από ένα έξυπνο σύστημα υποστήριξης αποφάσεων (DSS) το οποίο λαμβάνει υπόψη τα δεδομένα που παρέχει ο χρήστης καθώς και τα αποτελέσματα των ειδικών μοντέλων και συστημάτων εμπειρογνομώνων. Η παρακολούθηση βασικών περιβαλλοντικών παραμέτρων περιλαμβάνουν τη θερμοκρασία, την υγρασία του αέρα και την υγρασία του εδάφους, με σκοπό την αύξηση της αποδοτικότητας της παραγωγής και της χρήσης χημικών φυτών, της βελτίωσης της ποιότητας των προϊόντων, της διατήρησης της ενέργειας και της προστασίας του περιβάλλοντος. Ένας από τους σημαντικότερους αισθητήρες για στη γεωργία ακριβείας είναι ο αισθητήρας υγρασίας εδάφους. Η υγρασία του εδάφους είναι η βασική παράμετρος για τον καθορισμό του χρόνου άρδευσης και της ποσότητας νερού που πρέπει να τροφοδοτηθεί. Απαιτείται η ακριβής εφαρμογή της ποσότητας νερού, την κατάλληλη στιγμή

και στον απαιτούμενο τόπο, για την κάλυψη των ειδικών απαιτήσεων μεμονωμένων καλλιεργειών και την ελαχιστοποίηση των δυσμενών περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Ωστόσο, το σύστημα αυτό μπορεί επίσης να υποστηρίξει κι άλλους αισθητήρες όπως pH και αλατότητα. Τα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες, αποστέλλονται σε απομακρυσμένο διακομιστή για παρακολούθηση και ανάλυση. Το λογισμικό παρακολουθεί τα δεδομένα από τους αισθητήρες σε ένα βρόχο ανατροφοδότησης που ενεργοποιεί τις συσκευές ελέγχου με βάση την οριακή τιμή. Όταν επιτευχθεί η οριακή τιμή, οι αντλίες, οι βαλβίδες και οι σχετικές συσκευές ενεργοποιούνται για να ξεκινήσει η λειτουργία αυτόματης άρδευσης.

Αυτή η προσέγγιση παρέχει πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τη διαδικασία καλλιέργειας, τη διατήρηση αρχείων των δραστηριοτήτων των χρηστών και τη δυνατότητα μετάδοσης ειδικών ειδοποιήσεων που θα βοηθήσουν τους αγρότες να πάρουν τις σωστές αποφάσεις. Σε ένα περιβάλλον θερμοκηπίου που χρησιμοποιεί ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, η δοκιμή δείχνει ότι η αυτόματη άρδευση είναι πιο αποτελεσματική σε σχέση με την προγραμματισμένη άρδευση. Η αυτόματη άρδευση θα βελτιστοποιήσει τη χρήση του νερού και του λιπάσματος ενώ θα διατηρήσει το επίπεδο υγρασίας, μεγιστοποιώντας την απόδοση των καλλιεργειών.



Εικόνα 15: Διαδικτυακή Εφαρμογή

## 2.12 IOT based Smart Crop-Field Monitoring And Automation Irrigation System

R. Nageswara Rao, B.Sridhar

2018

Η προτεινόμενη μέθοδος [31] στοχεύει στην ανάπτυξη της έξυπνης γεωργίας χρησιμοποιώντας τεχνολογίες αυτοματισμού και IoT. Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) επιτρέπει διάφορες εφαρμογές παρακολούθησης και επιλογής καλλιέργειας, στήριξη

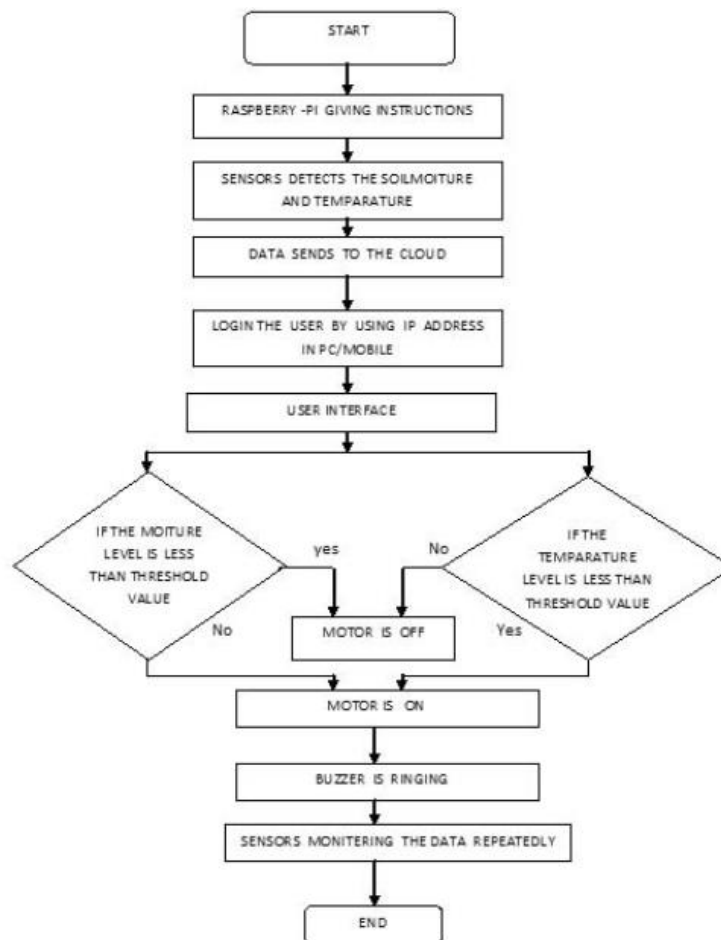
αποφάσεων άρδευσης κλπ. Το κύριο πλεονέκτημα του συστήματος, είναι η εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας με cloud computing, που θα βελτιστοποιήσει τη χρήση υδατικών λιπασμάτων, μεγιστοποιώντας την απόδοση των καλλιεργειών ενώ βοηθάει επίσης και στην ανάλυση των καιρικών συνθηκών της καλλιέργειας.

Το προτεινόμενο σύστημα αυτόματης άρδευσης βασίζεται στο Raspberry Pi και αυξάνει την παραγωγικότητα της καλλιέργειας. Το Raspberry Pi 3 Model B είναι ένας αναβαθμισμένος επεξεργαστής ARMv7 ενώ χρησιμοποιώντας αποτελεσματικά την αρχιτεκτονική του, η ταχύτητα μπορεί να αυξηθεί από 4 σε 7,5 φορές. Αυτός ο επεξεργαστής βελτιώνει την απόδοση περιήγησης ιστού και την αναπαραγωγή παιχνιδιών.

Κύριος στόχος αυτού του έργου είναι η ανάπτυξη της καλλιέργειας με χαμηλή κατανάλωση νερού, προκειμένου να επικεντρωθεί στο νερό που καταναλώνεται στα φυτά στον απαιτούμενο χρόνο. Το σύστημα αναπτύχθηκε με βάση τις πληροφορίες που αποστέλλονται από τους αισθητήρες, εκτιμώντας την ποσότητα νερού που απαιτείται κάθε φορά. Χρησιμοποιούνται δύο αισθητήρες για την λήψη των δεδομένων στον σταθμό βάσης, με τα δεδομένα αυτά να είναι η υγρασία και η θερμοκρασία του εδάφους, η υγρασία του αέρα, η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και η διάρκεια της ηλιοφάνειας. Η ακριβής υγρασία εδάφους μετριέται με δύο αισθητήρες που εισάγονται στο έδαφος. Όταν το ρεύμα διέρχεται από τους αισθητήρες, το έδαφος έχει χαμηλή υγρασία, προσφέρει λιγότερη αντίσταση και περνάει υψηλό ρεύμα. Αυτή η μεταβλητή αντίσταση είναι η παράμετρος για τον προσδιορισμό του επιπέδου υγρασίας του εδάφους. Η σειρά αισθητήρων LM35 είναι οι αισθητήρες θερμοκρασίας και σχεδιάζονται να λειτουργούν σε μεγάλο εύρος τάσεων, ενώ το κύριο πλεονέκτημα είναι η εύκολη λειτουργία και η εφαρμογή σε κυκλώματα απλής τροφοδοσίας. Εδώ, χρησιμοποιούνται αυτοί οι δύο αισθητήρες για τον έλεγχο του συστήματος άρδευσης έτσι ώστε να αντιμετωπίζονται τα προβλήματα πιο εύκολα, όποτε είναι απαραίτητο. Τα δεδομένα συλλέγονται από τους αισθητήρες με τη μορφή αναλογικών τιμών. Η αναλογική τιμή δίνεται στο IC3208 που μετατρέπει τις αναλογικές τιμές σε ψηφιακές τιμές των 12 bit, ενώ στη συνέχεια αυτές οι τιμές δίνονται ως είσοδος στο Raspberry που τα στέλνει στη βάση δεδομένων μέσω WiFi. Οι οριακές τιμές επιλέγονται για τη βαθμονόμηση των αισθητήρων, λαμβάνοντας υπόψη τις θερμοκρασίες και την υγρασία εδάφους των προηγούμενων μηνών, τα οποία αποθηκεύονται σε μία cloud βάση δεδομένων. Το σύστημα είναι αυτοματοποιημένο και η κατάσταση του συστήματος μπορεί να γίνει γνωστή μέσω του κινητού τηλεφώνου ή του υπολογιστή μέσω της διεύθυνσης IP. Οι οριακές τιμές ποικίλλουν ανάλογα με την καλλιέργεια. Οι τιμές των δεδομένων που λαμβάνονται, συγκρίνονται με τις οριακές τιμές και όταν είναι

μικρότερη ή μεγαλύτερη από αυτή, η καλλιέργεια είναι ξηρή ή αντίστοιχα υγρή, με αποτέλεσμα να στέλνεται σήμα στον κινητήρα για την αυτόματη άρδευση (εικόνα 16).

Όλες οι πειραματικές δοκιμές αποδεικνύουν ότι η προτεινόμενη λύση είναι μια ολοκληρωμένη λύση για την καλλιέργεια και τα προβλήματα άρδευσης. Η εφαρμογή ενός τέτοιου συστήματος συμβάλλει στη βελτίωση των καλλιεργειών και της συνολικής παραγωγής. Τέλος, παρέχονται πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τις εκτάσεις και τις καλλιέργειες που θα βοηθήσουν τους αγρότες να πάρουν σωστές αποφάσεις.



Εικόνα 16: Διάγραμμα ροής του συστήματος

## 2.13 Web-based Monitoring of an Automated Fertigation System: An IoT Application

*Shah Abd Hafiz Zainal Abidin, S.Noorjannah Ibrahim*

2015

Στην παρούσα εργασία, παρουσιάζεται η εφαρμογή του IoT στην παρακολούθηση ενός αυτοματοποιημένου συστήματος ύδρευσης-άρδευσης [32]. Το σύστημα παρακολούθησης περιλαμβάνει ένα διαδικτυακό σύστημα, ένα αυτόματο σύστημα ύδρευσης-άρδευσης και ένα δίκτυο επικοινωνίας. Η κύρια εστίαση αυτής της εργασίας είναι στο διαδικτυακό σύστημα, το οποίο επιτρέπει στους χρήστες να αλληλοεπιδρούν με το σύστημα χρησιμοποιώντας τον ιστό

ως διεπαφή ή μέσο. Το διαδικτυακό σύστημα είναι κατασκευασμένο από τρία στοιχεία: τη βάση δεδομένων, τον server ιστού και την διεπαφή ιστού που είναι συνήθως εξοπλισμένη με μία γλώσσα προγραμματισμού όπως SQL, PHP και JavaScript. Η βάση δεδομένων SQLite χρησιμοποιείται σε αυτό το έργο χάρη στα διάφορα εργαλεία διαχείρισης δεδομένων, τα οποία καθιστούν την επεξεργασία εύκολη σε σύγκριση με άλλες βάσεις δεδομένων. Έτσι, εφαρμόζεται ένας αυτόματος μηχανισμός βάσης δεδομένων SQL, χωρίς διακομιστές, μηδενικής διαμόρφωσης και συναλλαγής. Η ενσωμάτωση μεταξύ του SQLite και των εφαρμογών λειτουργεί με τη χρήση άμεσων κλήσεων σε κάποιο αρχείο που συγκρατεί τα δεδομένα (βάση δεδομένων SQLite) αντί για επικοινωνία μέσω διασυνδέσεων, δηλαδή θύρες, πρίζες κλπ. Η ολοκλήρωση γίνεται στον μικροεπεξεργαστή όπου βρίσκεται η βάση δεδομένων. Για τον web-server χρησιμοποιείται το 'lighttpd' (web-server ανοιχτού κώδικα) λόγω της ασφάλειας, της ταχύτητας, και της ευελιξίας του. Λόγω των περιεχομένων του γραφικού περιβάλλοντος χρήστη (GUI), το lighttpd είναι κατάλληλο και αποδοτικό, επειδή είναι σχεδιασμένο και βελτιστοποιημένο για περιβάλλοντα υψηλής απόδοσης. Το γραφικό περιβάλλον σχεδιάστηκε σύμφωνα με τις απαιτήσεις του χρήστη και εμφανίζει τις κρίσιμες πληροφορίες του συστήματος όπως είναι το επίπεδο του νερού στις δεξαμενές και η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των λιπασμάτων. Οι χρήστες είναι επίσης σε θέση να παρακολουθήσουν ποια βαλβίδα ανοίγει επί του παρόντος στο σύστημα, το οποίο θα μπορούσε να διευκολύνει τους αγρότες να παρακολουθούν την ροή του νερού κατά την άρδευση και τα λιπάσματα κατά τη διάρκεια της ύδρευσης-άρδευσης. Το GUI περιλαμβάνει επίσης σελίδες που παρουσιάζουν τις συνθήκες του εξοπλισμού, π.χ. την κατάσταση της βαλβίδας, του συστήματος και τη ροή στους σωλήνες. Οι χρήστες μπορούν να χειρίζονται εξ αποστάσεως το σύστημα από τη διεπαφή ιστού.

Το αυτοματοποιημένο σύστημα αποτελείται από έναν μικροεπεξεργαστή, έναν μικροελεγκτή και αισθητήρες. Ο μικροεπεξεργαστής είναι η καρδιά του συστήματος, δηλαδή η κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU) μεταξύ της διαδικτυακής διασύνδεσης και του μικροελεγκτή. Το pcDuino επιλέχθηκε ως CPU. Το Mega Arduino χρησιμοποιείται ως μικροελεγκτής για την επεξεργασία των εξόδων από τους αισθητήρες. Τα δεδομένα διαβιβάζονται στην CPU και στη συνέχεια αποστέλλονται στη βάση δεδομένων. Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται είναι οι αισθητήρες υπερήχων, ο αισθητήρας βαλβίδων και ο αισθητήρας ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) που είναι εξοπλισμένος με έναν αισθητήρα θερμοκρασίας. Για τη μέτρηση της στάθμης του νερού ή του διαλύματος σε μια δεξαμενή, το διάλυμα/νερό από μια δεξαμενή θα ρέει στον σωλήνα που συνδέεται παράλληλα με αυτό μέχρι να φτάσει στο ίδιο ύψος με το νερό της δεξαμενής λόγω της βαρύτητας που ασκείται στο

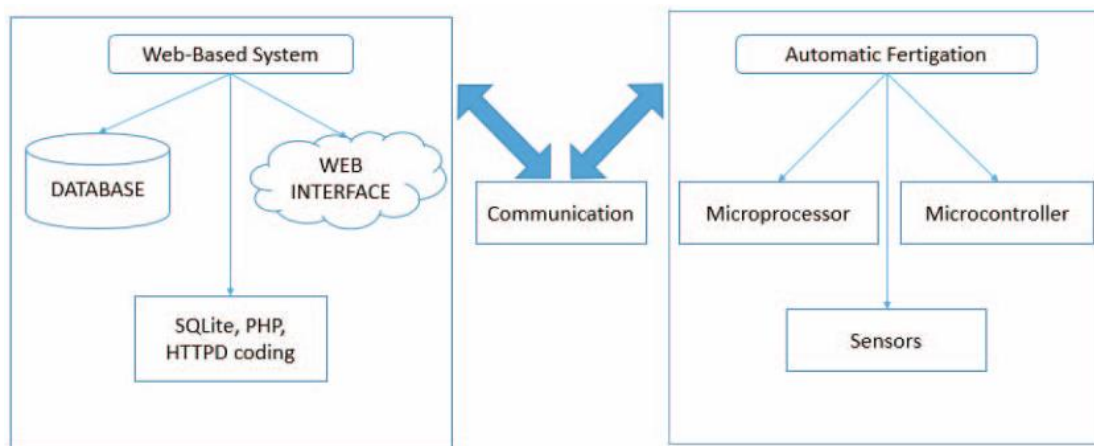
σωλήνα και στη δεξαμενή. Οι αισθητήρες υπερήχων βρίσκονται στο υψηλότερο άκρο του σωλήνα, εξετάζοντας το ύψος του σωλήνα. Ταυτόχρονα, οι αισθητήρες βαλβίδων βρίσκονται στην ίδια τη βαλβίδα για να ανοίξουν ή να κλείσουν αυτόματα τη βαλβίδα σύμφωνα με την εντολή. Τέλος, ο αισθητήρας ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι εγκατεστημένος στη δεξαμενή όπου μετριέται η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος των λιπασμάτων. Όλοι οι αισθητήρες στέλνουν τις τιμές τους στο Arduino Mega για τη διαχείριση αυτών, προτού αποσταλούν στη βάση δεδομένων της CPU.

Οι γενικές λειτουργίες που περιλαμβάνονται σε αυτό το σύστημα είναι Επισκόπηση συστήματος, Λίστα χρονοδιαγράμματος, Μητρώο συστήματος, Ρυθμίσεις για ημερομηνία και ώρα, Εγγραφή χρήστη, Ενεργοποίηση χρονοδιαγράμματος, Επεξεργαστής τύπων, Χειροκίνητη Λίπανση Άρδευσης και Αποσύνδεση. Η λίστα χρονοδιαγράμματος περιλαμβάνει τη βάση δεδομένων και περιέχει πληροφορίες για τη σύνθεση του λιπάσματος και το χρονοδιάγραμμα της φύτευσης. Οι χρήστες μπορούν να καθορίσουν και να αλλάξουν τις παραμέτρους των λιπασμάτων ώστε να ταιριάζουν στην ηλεκτρική αγωγιμότητα συγκεκριμένων καλλιέργειών και να δημιουργήσουν χρονοδιάγραμμα άρδευσης/λίπανσης για τη διαχείριση της καλλιέργειας. Μόλις ενεργοποιηθεί το πρόγραμμα, αυτό το σύστημα εκτελείται αυτόματα σύμφωνα με τις παραμέτρους που έχουν οριστεί στη βάση δεδομένων. Στη χειροκίνητη λειτουργία οι χρήστες μπορούν να μην ακολουθήσουν το χρονοδιάγραμμα. Αυτή η επιλογή μπορεί να απαιτείται όταν η τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας των διαλυμάτων δεν είναι η επιθυμητή εντός της αναμενόμενης τιμής που έχει οριστεί στη βάση. Το κουμπί διακοπής έκτακτης ανάγκης βρίσκεται επίσης σε αυτή τη σελίδα όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την άμεση διακοπή του συστήματος σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.

Η επικοινωνία μεταξύ αυτών των δύο συστημάτων (εικόνα 17) γίνεται μέσω κινητών τηλεφώνων είτε χρησιμοποιώντας ασύρματο σύστημα το οποίο είναι ήδη ενσωματωμένο στη CPU είτε χρησιμοποιώντας το διαδίκτυο. Με την πρώτη μέθοδο, η CPU πρέπει να γίνει το σημείο πρόσβασης για τις κινητές συσκευές και να λειτουργεί ως δρομολογητής για τους αισθητήρες. Οι συσκευές που συνδέονται στο σύστημα έχουν τη δυνατότητα να προβάλλουν ολόκληρο το σύστημα μέσω του προγράμματος περιήγησης ιστού εντός της εμβέλειας που καλύπτει το ασύρματο σύστημα. Μόλις δημιουργηθεί το σημείο πρόσβασης, οι χρήστες μπορούν να διαχειριστούν το σύστημα χρησιμοποιώντας μόνο τα κινητά τηλέφωνα τους. Έτσι, οι χρήστες μπορούν να είναι γύρω από την καλλιέργεια για να παρακολουθήσουν χωρίς να χρειάζεται να πάνε στο τοποθετημένο σύστημα ή στις καλλιέργειες τους. Η δεύτερη μέθοδος επικοινωνίας είναι η χρήση του διαδικτύου. Η CPU (pcDuino) είναι ήδη ενσωματωμένη στην



υποδοχή Ethernet που επιτρέπει σύνδεση στο διαδίκτυο. Ωστόσο, η IP της CPU πρέπει να οριστεί ξανά για να καταστεί δυνατή η προβολή της IP από τον κύριο δρομολογητή του διαδικτύου. Αφού οριστεί, οι χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση στον ιστότοπο του συστήματος παρακολούθησης οπουδήποτε.



Εικόνα 17: Προτεινόμενο Σύστημα

## 2.14 FORETo: New software for reference evapotranspiration forecasting

Rocío Ballesteros, Jose Fernando Ortega, Miguel Angel Moreno  
2015

Ο προγραμματισμός άρδευσης σε πραγματικό χρόνο βελτιώνει τη διαχείριση του νερού άρδευσης και επιτυγχάνει υψηλότερη απόδοση του συστήματος άρδευσης. Έτσι, στο παρόν άρθρο [33] απαιτείται ο καθορισμός της ημερήσιας πρόβλεψης της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς (ET<sub>o</sub>), η οποία έχει πραγματοποιηθεί σε ορισμένες περιοχές χρησιμοποιώντας την εξίσωση Hargreaves-Samani (HS) ή την εξίσωση Penman-Monteith (PM) με όλες τις απαιτούμενες παραμέτρους που λαμβάνονται από υπηρεσίες πρόβλεψης. Η πρόβλεψη της τιμής γίνεται με τη βοήθεια των νευρωνικών δικτύων (Artificial Neural Networks, ANNs) ενώ χρησιμοποιείται το λογισμικό FORETo βασισμένο στην πρόγνωση, των επόμενων τριών έως πέντε ημερών, της μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας, της υγρασίας της ταχύτητας του ανέμου και της ημερήσιας ηλιοφάνειας, δεδομένα τα οποία λαμβάνονται μέσω της Ισπανικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας.

Το νευρωνικό δίκτυο είναι ένα μη-γραμμικό μαθηματικό μοντέλο το οποίο λαμβάνει πληροφορίες από το περιβάλλον. Αποτελείται από κόμβους ή νευρώνες και η δομή ενός τέτοιου δικτύου έχει τρία επίπεδα. Πρώτο επίπεδο το επίπεδο εισόδου, όπου κάθε κόμβος/νευρώνας αντιστοιχεί σε μία τιμή εισόδου και συγκεκριμένα στις  $T_{max}$ ,  $T_{min}$ ,  $R_a$ . Το δεύτερο είναι το κρυφό επίπεδο, όπου γίνεται η επεξεργασία των δεδομένων και τρίτο είναι επίπεδο εξόδου,

δηλαδή η πρόβλεψη της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς (ET<sub>o</sub>). Συνδυάζοντας τα ANNs και την εξίσωση HS γίνεται πρόβλεψη της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς για τη χρονική περίοδο 2011-2012. Η πρόβλεψη για το 2011 βασίζεται σε κλιματικά δεδομένα από το 2001 μέχρι και το 2010, ενώ για το 2012 χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα μέχρι και το 2011. Η εξίσωση που χρησιμοποιείται:

$$ET_o = 0,0023R_a(T+17.8)\sqrt{(T_{max} - T_{min})}, R_a: \text{ηλιοφάνεια}$$

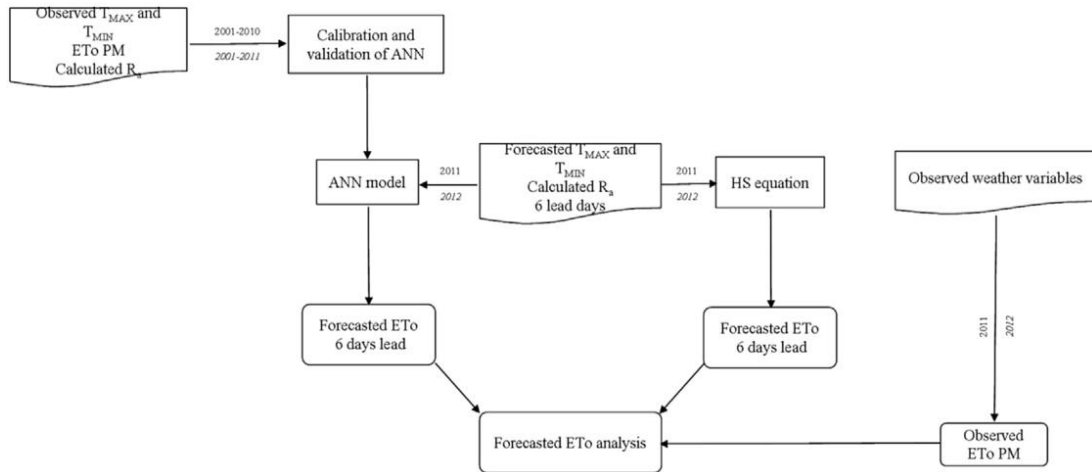
Η βέλτιστη δομή του νευρωνικού δικτύου επιτυγχάνεται με τη χρήση του λογισμικού FORET<sub>o</sub> επιλέγοντας το χαμηλότερο RMSE. Το RMSE είναι η ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος της πρόβλεψης.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}$$

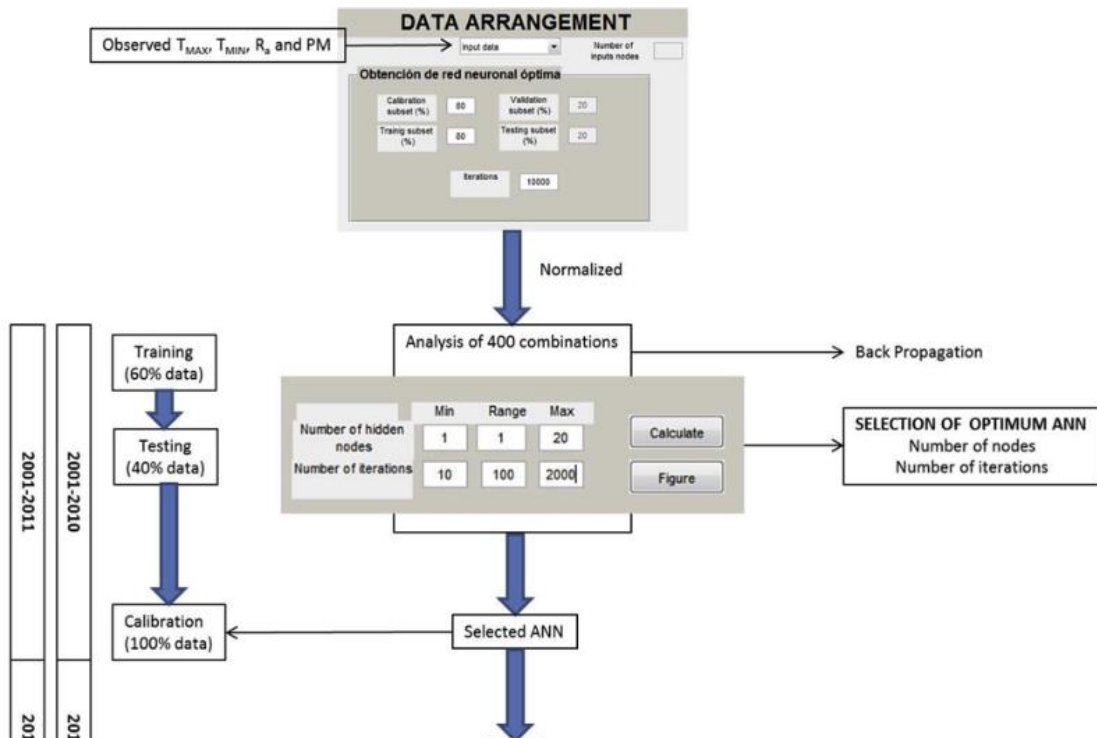
Όπου O<sub>i</sub> η παρατηρούμενη τιμή, P<sub>i</sub> η προβλεπόμενη τιμή και N το σύνολο των παρατηρήσεων.

Τα δεδομένα εισόδου που συλλέχθηκαν χωρίστηκαν σε δυο κατηγορίες με σκοπό τη βαθμονόμηση και την επικύρωση αυτών. Η βαθμονόμηση χωρίζεται επίσης σε δύο κατηγορίες, εκπαίδευση και δοκιμή. Το σύνολο δεδομένων στην κατηγορία της εκπαίδευσης χρησιμοποιούνται για την ελαχιστοποίηση του σφάλματος και η δοκιμή για τον έλεγχο του δικτύου αυτού (εικόνα 18). Το λογισμικό πρόβλεψης της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς, FORET<sub>o</sub>, αναπτύχθηκε με MATLAB v.7.006.0 R2013a και χωρίζεται σε δύο επίπεδα βασισμένα στα επίπεδα του ANN. Στο πρώτο επίπεδο, όπως και στο νευρωνικό δίκτυο, γίνεται βελτιστοποίηση της δομής του δικτύου και περιλαμβάνει διαδικασίες βαθμονόμησης, εκπαίδευσης και δοκιμών, ενώ αξιολογούνται οι διαφορετικοί συνδυασμοί κρυφών κόμβων και επαναλήψεων για ένα χρονικό διάστημα ορισμένο από τον χρήστη. Οι δομές στο σύστημα κυμαίνονται μεταξύ 10 και 2000 επαναλήψεων. Η καταλληλότερη δομή επιλέγεται μέσω ενός surface plot με την τιμή RMSE σε κάθε δομή. Ως δεύτερο επίπεδο είναι η πρόβλεψη ET<sub>o</sub> με τιμές εισόδου T<sub>min</sub>, T<sub>max</sub> και R<sub>a</sub>, από καιρικές προβλέψεις. Έτσι, δημιουργούνται τέσσερα interfaces, με τις τιμές αυτές να είναι ένα από αυτά. Η βελτιστοποίηση του δικτύου, οι στατιστικές αναλύσεις των ληφθέντων δεδομένων με τις προβλεπόμενες τιμές (Penman-Monteith) και η εκτίμηση της πρόβλεψης της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς με την εισαγωγή των δεδομένων αυτών, αποτελούν τα επόμενα τρία interface του λογισμικού (εικόνα 19).

Η μέθοδος Penman-Monteith (PM) προσφέρει καλύτερη απόδοση του νευρωνικού δικτύου σε σύγκριση με την Hargreaves-Samani (HS), ωστόσο η HS αποδεικνύει μεγαλύτερη ακρίβεια σε τοποθεσίες με μεγαλύτερες ταχύτητες ανέμου. Το λογισμικό FORETo είναι ένα χρήσιμο εργαλείο που μεταφέρει την μεθοδολογία αυτή στους χρήστες μέσω της εισαγωγής δεδομένων και απεικόνισης των αποτελεσμάτων πρόβλεψης. Μελλοντικές επεκτάσεις του λογισμικού είναι η δημιουργία του στο διαδίκτυο με σκοπό την πιο εύκολη χρήση.



Εικόνα 18: Διαδικασία Πρόβλεψης ETo



Εικόνα 19: Διαδικασία και interfaces FORETo

## 2.15 Irrigation Water Demand Forecasting – A Data Pre-Processing and Data Mining Approach based on Spatio-Temporal Data

Mahmood A. Khan, Md. Zahidul Islam, Mohsin Hafeez

2011

Στο παρόν έγγραφο συλλέγονται δεδομένα, επεξεργάζονται και σύμφωνα με αυτά δημιουργείται ένα σύνολο δεδομένων για την πρόβλεψη μελλοντικών αναγκών άρδευσης με τη βοήθεια της τεχνικής decision tree. [34]

Αρχικά, παρέχονται δεδομένα από τρεις διαφορετικές πηγές. Το πρώτο dataset είναι τα μετεωρολογικά δεδομένα, τα οποία συλλέγονται από μετεωρολογικούς σταθμούς. Το δεύτερο dataset είναι οι δηλώσεις παροχής νερού, δηλαδή πληροφορίες σχετικά με την συνολική χρήση νερού για μία εποχή σε κάθε καλλιέργεια, ενώ η τελευταία πηγή δεδομένων είναι οι εικόνες τηλεανίχνευσης, δηλαδή εικόνες κάλυψης καλλιέργειας με πληροφορίες για την καλλιέργεια, την περιοχή και τους διαφορετικούς τύπους εδάφους. Σημαντικά χαρακτηριστικά που επιλέγονται είναι η μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία, η ταχύτητα ανέμου, η υγρασία η βροχόπτωση, η ηλιακή ακτινοβολία, ο τύπος εδάφους, της καλλιέργειας και η χρήση νερού σε αυτή. Στη συνέχεια, για την εκτίμηση της ημερήσιας ανάγκης άρδευσης ( $W_i$ ) μίας καλλιέργειας χρησιμοποιείται η τεχνική υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς ( $ET_o$ ). Η ημερήσια τιμή της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς υπολογίζεται μέσω των μετεωρολογικών σταθμών. Αναφορικά, ο αγρότης παραγγέλνει συγκεκριμένο όγκο νερού και το χρησιμοποιεί για μια χρονική περίοδο. Το πρώτο σύνολο δεδομένων διαιρεί την παροχή νερού που έγινε μια συγκεκριμένη ημέρα με τον αριθμό των ημερών μεταξύ αυτής της παράδοσης και της επόμενης παράδοσης νερού. Το δεύτερο σύνολο υπολογίζει την πιθανή χρήση νερού κάθε ημέρας ξεχωριστά βάσει του συντελεστή εξατμισοδιαπνοής αναφοράς.

$$W_i = X_i * W_T \quad \text{και} \quad X_i = \frac{ET_o^i}{\sum_{j=1}^n ET_o^j}$$

n: ο αριθμός ημερών μεταξύ των δύο water deliveries

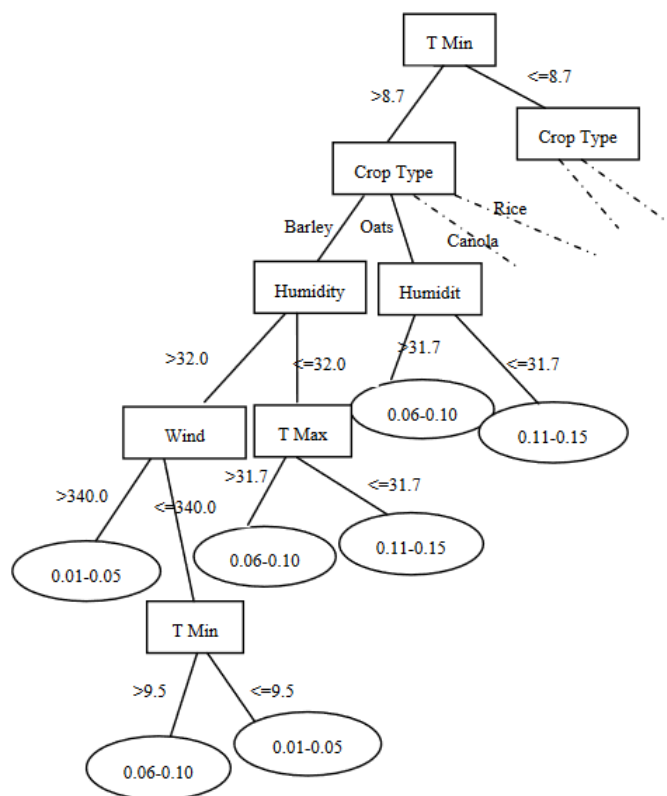
$W_i$ : η ημερήσια ανάγκη νερού για n ημέρες

$W_T$ : το ποσό νερού για n ημέρες

$X_i$ : ο συντελεστής καλλιέργειας για την i-ημέρα

Στη συνέχεια, εφαρμόζεται ένας αλγόριθμος δέντρου αποφάσεων (Decision Tree Algorithm, εικόνα 20) στα δεδομένα του πρώτου συνόλου με σκοπό την εξαγωγή της σχέσης μεταξύ των non-class attributes και της χρήσης του νερού καλλιέργειας. Το σύνολο δεδομένων χωρίζεται σε δυο υποσύνολα, το σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης (training) και δοκιμών (testing). Για τη δημιουργία ενός δέντρου αποφάσεων από το σύνολο δεδομένων, η χρήση νερού καλλιέργειας θεωρείται ως χαρακτηριστικό κλάσης (class attribute) και όλα τα άλλα ως non-class. Απαιτούνται δύο αρχεία εισόδου από το σύστημα i) NameFile.txt, περιέχει όλες τις

πληροφορίες σχετικά με τα χαρακτηριστικά κλάσης και non-class, όπως αριθμός χαρακτηριστικών, ονόματα, τύπους (αριθμητικά ή κατηγορικά), πιθανές τιμές που μπορεί να έχει ένα χαρακτηριστικό και αριθμός εγγραφών στο σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης, και ii) TrainingData.dat, το οποίο περιέχει τα πραγματικά δεδομένα σε προηγούμενες εγγραφές. Κάθε πρωί λαμβάνονται δεδομένα πρόγνωσης καιρού για τις επόμενες 7 ημέρες. Στη συνέχεια αντικαθίστανται τα δεδομένα καιρού στο αρχείο ForecastData.txt, ενώ τα χαρακτηριστικά όπως ο τύπος εδάφους και ο τύπος της καλλιέργειας παραμένουν ίδια. Έπειτα, εκτελείται ένα script για τη δημιουργία του predictionfile, το οποίο περιέχει τις προβλεπόμενες τιμές για το χαρακτηριστικό «χρήση νερού της καλλιέργειας» μαζί με όλα τα άλλα χαρακτηριστικά. Κατά τη δημιουργία του δέντρου αποφάσεων, όταν ένα χαρακτηριστικό δοκιμάζεται για έναν κόμβο, εάν το χαρακτηριστικό είναι αριθμητικό, τότε υπάρχουν δύο κλάδοι για τον κόμβο. Ένας κλάδος περιέχει όλες τις εγγραφές "> k" και ο άλλος περιέχει όλες τις εγγραφές "<= k" του συνόλου δεδομένων, όπου το k είναι μια σταθερά και μία από τις τιμές του χαρακτηριστικού. Ωστόσο, εάν το χαρακτηριστικό που δοκιμάστηκε είναι κατηγορηματικό, υπάρχουν n κλάδοι για τον κόμβο, όπου n είναι ο αριθμός των διακριτών τιμών αυτού του χαρακτηριστικού. Εφαρμόζεται ο γνωστός αλγόριθμος C4.5 με σκοπό τη δημιουργία του δέντρου αποφάσεων χρησιμοποιώντας την τεχνική του διαίρει και βασίλευε από τα προκατηγοριοποιημένα δεδομένα, το οποίο απεικονίζεται στην εικόνα 25. Ο αλγόριθμος δέντρου αποφάσεων για την πρόβλεψη ζήτησης νερού για άρδευση αναπτύσσεται σε JAVA. Το μοντέλο πρόβλεψης ενσωματώνεται στο Decision Support System. Μέσα στο DSS, η PHP και η java αλληλοεπιδρούν για να δημιουργήσουν ένα δέντρο απόφασης και να προβλέψουν μελλοντικές τιμές της χρήσης νερού. Για τη δημιουργία των αρχείων πρόβλεψης, απαιτούνται δύο αρχεία εισόδου i) DecisionTree.txt, το μοτίβο που δημιουργείται από το δέντρο, και ii) Forecastdata.txt, όπου ελέγχεται κάθε τιμή σύμφωνα με τις τιμές του δέντρου για να υπολογίσει την προβλεπόμενη τιμή κλάσης της εγγραφής. Έτσι, προβλέπεται η τιμή κλάσης (χρήση νερού) κάθε εγγραφής στο αρχείο ForecastData.txt.



Εικόνα 20: Decision Tree

## 2.16 A Study on Dynamic Forecast Technique of Regional Rice Productivity

Shi Chunlin, Jin Zhiqing, Feng Huihui  
2010

Η δυναμική πρόβλεψη της παραγωγικότητας των καλλιεργειών είναι κρίσιμη και σημαντική για τη λήψη αποφάσεων από τον αγρότη. Οι μελετητές εδώ προτείνουν μεθόδους ενσωμάτωσης των μετεωρολογικών δεδομένων ενός έτους σε συνδυασμό με την τεχνική χωρικής παρεμβολής των δεδομένων αυτών να καθίσταται δυνατή η δυναμική τεχνική πρόβλεψης της παραγωγικότητας του ρυζιού. [35]

Τα μετεωρολογικά δεδομένα από το 2000-2005 που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή τη μελέτη ελήφθησαν από το Γραφείο Μετεωρολογίας του Jiangsu. Οι ημερήσιες τιμές ακτινοβολίας υπολογίστηκαν από τις καθημερινές ώρες ηλιοφάνειας. Τα δεδομένα καλλιέργειας ρυζιού, όπως στάδια ανάπτυξης και αποδόσεις προσφέρθηκαν από το Γραφείο Μετεωρολογίας της Κίνας. Έτσι, προτείνεται ένα σύστημα προσομοίωσης, βελτιστοποίησης και λήψης αποφάσεων σε καλλιέργειες ρυζιού. Το σύστημα προσομοίωσε την ανάπτυξη του ρυζιού ενώ τα δεδομένα εισαγωγής περιλάμβαναν καθημερινά μετεωρολογικά δεδομένα, ιδιότητες εδάφους, παραμέτρους ειδών και μέτρα καλλιέργειας. Τα καθημερινά δεδομένα καιρού ήταν βασικά στοιχεία για την καλλιέργεια ρυζιού και την περιφερειακή πρόβλεψη

παραγωγικότητας. Ωστόσο, όταν υπήρχε έλλειψη καιρικών δεδομένων, λαμβάνονταν δεδομένα μέσω της χωρικής παρεμβολής των μετεωρολογικών δεδομένων. Η μέθοδος IDS (Inverse Distance Weighting) χρησιμοποιήθηκε σε αυτή τη μελέτη για τη χωρική παρεμβολή των δεδομένων αυτών. Δεδομένα από τις χρονιές 2000, 2002 και 2004 χρησιμοποιήθηκαν, από οκτώ εθνικούς πειραματικούς σταθμούς, για την προσαρμογή των δεδομένων με βάση τη δοκιμή και το σφάλμα. Η τετραγωνική ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMSE) και Κανονικοποιημένη Ρίζα του Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος (NRMSE) χρησιμοποιήθηκαν για την επικύρωση των αποτελεσμάτων των προσομοιωμένων τιμών με τα πειραματικά δεδομένα 2001, 2003 και 2005:

$$RMSE = \sqrt{\sum (OBS_i - SIM_i)^2 / N}$$

$$NRMSE = RMSE / \overline{OBS}$$

Όπου,  $OBS_i$  η παρατηρούμενη τιμή,  $SIM_i$  οι προσομοιωμένες τιμές και  $N$  ο αριθμός δείγματος, ενώ το  $\overline{OBS}$  η μέση τιμή των παρατηρούμενων δεδομένων.

Σε αυτή τη μελέτη, τα δεδομένα που συλλέχθηκαν πριν από την ώρα πρόβλεψης και τα δεδομένα καιρού του έτους μετά τον χρόνο πρόβλεψης χρησιμοποιήθηκαν για τον καθορισμό δυναμικών μετεωρολογικών δεδομένων. Το σφάλμα μεταξύ της προσομοιωμένης και των παρατηρούμενων αποδόσεων ήταν συνήθως κάτω του 10%. Με την καθυστέρηση του χρόνου πρόβλεψης, οι προβλεπόμενες αποδόσεις ήταν γενικά παρόμοιες με τις προσομοιωμένες αποδόσεις. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, οι προσεγγίσεις που εφαρμόστηκαν στη μελέτη θα μπορούσαν να προσομοιώσουν καλύτερα τη χωρική κατανομή της παραγωγικότητας και των αποδόσεων των καλλιεργειών. Είναι απαραίτητο και σημαντικό να προβλεφθούν οι μελλοντικές καιρικές συνθήκες στη δυναμική πρόβλεψη της παραγωγικότητας των καλλιεργειών.

## 2.17 Intelligent Farming System with Weather Forecast Support and Crop Prediction

*Udit Shandilya, Vidhi Khanduja*

2020

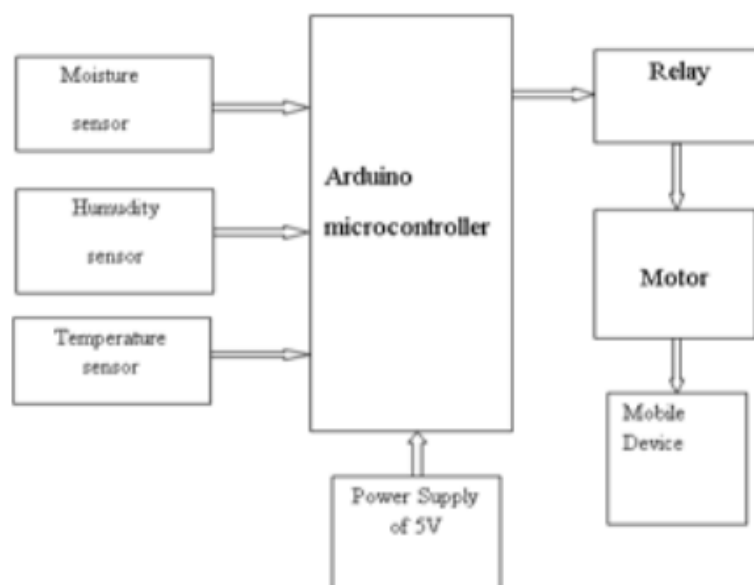
Για να εξαλειφθούν τα προβλήματα των αγροτών, το προτεινόμενο σύστημα αποτελεί ένα έξυπνο σύστημα άρδευσης στον κλάδο της γεωργίας με χρήση ασύρματων εγκαταστάσεων επικοινωνίας και επιτρέπει την ανταλλαγή πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο με τον χρήστη.

[36]

Στο σύστημα αυτό (εικόνα 21), παρέχονται δεδομένα συγκομιδής σε συγκεκριμένη καλλιέργεια του προηγούμενου έτους και την πρόταση της κυβέρνησης σχετικά με τις καλλιέργειες που πρέπει να καλλιεργούνται στην περιοχή, μέσω μίας τεχνικής ανάλυσης προβλέψεων με βάση τα δεδομένα του περασμένου έτους. Μειώνεται έτσι η σπατάλη των καλλιεργειών και οι δοκιμές από τους αγρότες για το ποια καλλιέργεια είναι η καταλληλότερη για ανάπτυξη σε συγκεκριμένη περιοχή. Έτσι λοιπόν, στο σύστημα που προτείνουν οι ερευνητές, γίνεται χρήση της άρδευσης στην καλλιέργεια με βάση την τιμή υγρασίας εδάφους, η οποία ανιχνεύεται χρησιμοποιώντας έναν αισθητήρα IoT. Όταν η τιμή της υγρασίας εδάφους του αισθητήρα φτάσει το προκαθορισμένο όριο, ξεκινάει η διαδικασία της άρδευσης. Η οριακή τιμή υγρασίας εδάφους υπολογίζεται βάσει της γεωργικής βάσης δεδομένων στο σύστημα που έχει κατασκευαστεί με βάση τον τύπο του εδάφους και της καλλιέργειας. Ο τύπος εδάφους της καλλιέργειας ανιχνεύεται με την τοποθεσία GPS της καλλιέργειας. Με τον τρόπο αυτό, αποφεύγεται το υπερβολικό πότισμα όταν η τιμή της υγρασίας εδάφους φτάσει στο προκαθορισμένο όριο. Η οριακή τιμή στο προτεινόμενο άρθρο είναι 500, μία μέση τιμή δηλαδή έτσι ώστε η καλλιέργεια να μην είναι ούτε στεγνή ούτε με αρκετή υγρασία. Οι πληροφορίες που λαμβάνονται από τους αισθητήρες, τόσο υγρασίας όσο και θερμοκρασίας, αποστέλλονται στον μικροελεγκτή Arduino Uno esp8266. Το σύστημα ενεργοποιείται χρησιμοποιώντας εφαρμογή για Android με τη βοήθεια των κουμπιών ON / OFF που παρέχονται στην εφαρμογή. Παράλληλα, ο διαχειριστής έχει τη δυνατότητα να ενεργοποιήσει ή να απενεργοποιήσει το σύστημα άρδευσης, μέσω Wi-Fi, ενώ υπάρχει και η αυτόματη λειτουργία άρδευσης όταν η τιμή υγρασίας εδάφους είναι χαμηλή. Η αντλία είναι ενεργοποιημένη με βάση την περιεκτικότητα σε υγρασία. Δεδομένα πρόγνωσης καιρού της ίδιας ημέρας και των επόμενων δύο ημερών είναι επίσης διαθέσιμα στο σύστημα. Αν η πρόγνωση καιρού δείχνει βροχόπτωση, προς αποφυγή υπερβολικού ποτίσματος της καλλιέργειας, το σύστημα αλλάζει στην αυτόματη λειτουργία. Αυτό γίνεται χρησιμοποιώντας μια διεπαφή προγράμματος εφαρμογής API, το Firebase Cloud Messaging. Το Firebase Cloud Messaging (FCM) χρησιμοποιείται για την μετάδοση της ειδοποίησης στο χρήστη μέσω internet, iOS και Android. Παρέχει μια αξιόπιστη σύνδεση δεδομένων μεταξύ του διακομιστή και των συσκευών. Το Firebase παρέχει μια ειδική πλατφόρμα για την κατασκευή εφαρμογών για κινητά και ιστούς. Μπορεί να ενημερώσει και να δημιουργήσει εφαρμογές σε πραγματικό χρόνο. Τα μηνύματα ειδοποίησης είναι ενσωματωμένα στο Google Analytics για Firebase, δίνοντας στον χρήστη πρόσβαση σε λεπτομερή παρακολούθηση αφοσίωσης και μετατροπών. Οι εργασίες επεξεργασίας και λήψης αποφάσεων εκτελούνται στον μικροελεγκτή και το σήμα αποστέλλεται στο ρελέ για ενεργοποίηση / απενεργοποίηση των αντλιών νερού.



Το προτεινόμενο σύστημα παρέχει στον διαχειριστή την ποσότητα συγκομιδής κάθε καλλιέργειας τα τελευταία χρόνια, καθώς και την πρόβλεψη της ποσότητας συγκομιδής κάθε καλλιέργειας για εκείνη τη χρονιά. Η πρόβλεψη γίνεται με μια τεχνική ανάλυσης προβλέψεων χρησιμοποιώντας μηχανική εκμάθηση. Για την εκτέλεση της ανάλυσης τιμής πρόβλεψης χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος SARIMAX της Python. Τα αρχικά SARIMAX σημαίνουν "Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average Exogenous model" και είναι μία από τις διαθέσιμες μεθόδους της Python για μοντελοποίηση και πρόβλεψη μελλοντικών σημείων μιας χρονικής σειράς. Η πρόβλεψη της ποσότητας κάθε σοδειάς που θα συλλεχθεί βασίζεται σε αρχεία σαράντα ενός ετών (1949-1989) με δοκιμές του συστήματος των επόμενων δεκαεπτά ετών (1990-2006). Αυτό βοηθάει τις κυβερνητικές αρχές να στείλουν την κατάλληλη πρόταση καλλιέργειας στους αγρότες με σκοπό τη σταθεροποίηση της παραγωγής των καλλιεργειών τους.



Εικόνα 21: Αρχιτεκτονική συστήματος

## 2.18 Evapotranspiration-based Irrigation System for Mustard Green Crop Cultivation using Public Weather Forecast

*Jennifer C. Dela Cruz, Meo Vincent C. Caya, Alejandro H. Ballado Jr., Marc Christian R. Aggabao, Eugenie Irene Bacolor, Harley Ann Gayle G. Riego, Mae Erika M. Vergara*  
2020

Αυτή η μελέτη [37] αφορά τον σχεδιασμό ενός συστήματος βασισμένου στην εξατμισοδιαπνοή (ET) της ινδικής μουστάρδας. Έτσι λοιπόν συλλέγονται πληροφορίες για τη θερμοκρασία, την υγρασία και την ταχύτητα του ανέμου από δύο πηγές πληροφοριών. Οι πηγές πληροφοριών είναι ο Μικροκλιματικός Μετεωρολογικός Σταθμός (MWS) και η Δημόσια

Πρόγνωση Καιρού (PWF). Ο Μικροκλιματικός Μετεωρολογικός Σταθμός (εικόνα 22), εντός της περιοχής καλλιέργειας, δημιουργήθηκε για την προσομοίωση του συστήματος και αποτελείται από έναν αισθητήρα DHT22 και ένα ανεμόμετρο, μετράει τη θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία και την ταχύτητα του ανέμου, με τις τιμές να αποστέλλονται στο Arduino ως είσοδος. Στη Δημόσια Πρόγνωση Καιρού, οι τιμές συγκεντρώθηκαν από το διαδίκτυο. Τα δεδομένα αυτά εισάγονται στο Raspberry Pi. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τις δύο πηγές πληροφοριών υποβάλλονται σε επεξεργασία για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς χρησιμοποιώντας την μέθοδο Penman-Monteith, η οποία αναλύεται στο Κεφάλαιο 3.2. Η ποσότητα του νερού που ρέει μέσω της μουστάρδας μετράται από το μετρητή ροής και στη συνέχεια συγκρίνεται με την τιμή της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς έτσι ώστε το Arduino να στείλει σήμα στην αντλία νερού για ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση, μέσω της μεθόδου στάγδην άρδευσης. Όταν η ποσότητα νερού είναι ίση με την υπολογισμένη εξατμισοδιαπνοή αναφοράς, ΕΤ<sub>0</sub>, η αντλία απενεργοποιείται. Όλες οι πληροφορίες εμφανίζονται στην οθόνη του συστήματος (εικόνα 23).

Οι δοκιμές του συστήματος ινδικής μουστάρδας έγιναν σε πειράματα 29 ημερών για τρεις διαφορετικούς τύπους άρδευσης, την χειροκίνητη άρδευση, την αυτόματη άρδευση με βάση την εξατμισοδιαπνοή από μετρήσεις του Μικροκλιματικού Μετεωρολογικού Σταθμού (Microclimatic Weather Station) και αυτόματη άρδευση με δεδομένα από τη Δημόσια Πρόγνωση Καιρού (Public Weather Forecast). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το σύστημα άρδευσης με τα δεδομένα του Public Weather Forecast διατήρησε το 71,70% του νερού σε σχέση με το χειροκίνητο σύστημα άρδευσης, ενώ το σύστημα χρησιμοποιώντας δεδομένα του Microclimatic Weather Station διατήρησε το 71,81% του νερού σε σχέση με το χειροκίνητο σύστημα. Με αυτές τις τιμές, το αυτοματοποιημένο σύστημα άρδευσης είναι πιο αποτελεσματικό στην εξοικονόμηση νερού από το χειροκίνητο σύστημα άρδευσης. Το νερό που εξοικονομήθηκε από τις δύο πηγές συστήματος άρδευσης με βάση την εξατμισοδιαπνοή οδήγησε σε διαφορά 0,15%. Με βάση τα συγκεντρωμένα δεδομένα, έχουν σχεδόν την ίδια ποσότητα νερού. Επομένως, αντί για τον Μικροκλιματικό Μετεωρολογικό Σταθμό, ο οποίος αποτελείται από ακριβούς αισθητήρες και πολύπλοκες συνδέσεις, το Public Weather Forecast μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μειώσει το κόστος και να έχει ευκολότερες συνδέσεις. Επίσης, οι μετρήσεις νερού έδειξαν ότι και τα δύο σύστημα άρδευσης με βάση την εξατμισοδιαπνοή χρησιμοποίησαν περίπου 550 ml νερού την ημέρα, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για το χειροκίνητο σύστημα άρδευσης το οποίο μπορεί να εξοικονομήσει νερό και να παράγει μια υγιή καλλιέργεια χωρίς να επηρεάσει την ανάπτυξή του, υποθέτοντας ότι δεν μετρήθηκαν παράμετροι όπως βροχόπτωση, τύπος εδάφους κτλ.



Εικόνα 22: Εγκατάσταση προτεινόμενου συστήματος

PUBLIC WEATHER FORECAST			DATE: 11-30-2018
TEMPERATURE	HUMIDITY	WIND SPEED	TIME: 05:57:39
25.0 C	84.00%	0.0000	<b>EVAPOTRANSPIRATION</b>
WEATHER STATION READINGS			PUBLIC WEATHER FORECAST
TEMPERATURE	HUMIDITY	WIND SPEED	553.1577
25.00 C	84.00%	0.6100	WEATHER STATION READINGS
			544.7596

Εικόνα 23: Οθόνη συστήματος

## 2.19 Επισκόπηση Διεθνούς Βιβλιογραφίας

Σκοπός της εργασίας είναι ο υπολογισμός και η βελτιστοποίηση της απαραίτητης ποσότητας νερού στις γεωργικές καλλιέργειες με βάση τις καιρικές προβλέψεις. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την χρήση απαραίτητων συστημάτων IOT, καθώς μέσω αυτών υπάρχει η δυνατότητα παρακολούθησης τιμών, όπως η θερμοκρασία και η υγρασία του περιβάλλοντος. Οι τιμές που παρακολουθούνται είναι αναγκαίες στον υπολογισμό αλλά και στην πρόβλεψη της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας ( $ET_c$ ), μια τιμή-κλειδί στον καθορισμό των αναγκών σε νερό της καλλιέργειας. Κατά τη μελέτη των άρθρων, οι ερευνητές προσέγγισαν την επίτευξη της αποδοτικότητας της παραγωγής στον αγροτικό τομέα μέσω της καταγραφής, της

επεξεργασίας και της πρόβλεψης πληροφοριών σε διάφορες εκτάσεις. Ο υπολογισμός υδατικών πόρων βασίζεται στις καιρικές προβλέψεις και στα μετεωρολογικά δεδομένα τα οποία λαμβάνονται για τον υπολογισμό υδατικών πόρων. Τα μετεωρολογικά δεδομένα είναι διαθέσιμα μέσω ανοιχτών δεδομένων ή μικροκλιματικών σταθμών, δηλαδή μικρών συστημάτων που έχουν αναπτυχθεί σε προσωπικούς χώρους, π.χ. σπίτια. Όλα αυτά έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση των πόρων που απαιτούνται για την αγροτική παραγωγή αλλά και την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Παρουσιάζονται τόσο συστήματα, τα οποία εγκαθίστανται σε εξωτερικούς χώρους, θερμοκήπια, ή γλάστρες και σε συνδυασμό με τα συστήματα αισθητήρων, συλλέγονται, επεξεργάζονται και μεταδίδονται αποτελέσματα που αποσκοπούν στις βέλτιστες αποφάσεις του εκάστοτε διαχειριστή.

Τα συστήματα διαχείρισης θερμοκηπίου GMS (Greenhouse Monitoring Systems) βασισμένα στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSN) χρησιμοποιούνται για τη διαχείριση της κατάστασης του θερμοκηπίου, εξετάζοντας την υγρασία και την θερμοκρασία στο θερμοκήπιο χρησιμοποιώντας κατάλληλους αισθητήρες με σκοπό την αύξηση της αποδοτικότητας της παραγωγής, της βελτίωσης της ποιότητας των προϊόντων, της διατήρησης της ενέργειας και της προστασίας του περιβάλλοντος. Σε ένα περιβάλλον θερμοκηπίου που χρησιμοποιούνται ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, η δοκιμή δείχνει σαφώς ότι η αυτόματη άρδευση είναι πιο αποτελεσματική σε σχέση με την προγραμματισμένη άρδευση.

Τα συστήματα άρδευσης και ύδρευσης υπολογίζουν τη βέλτιστη ποσότητα άρδευσης και ύδρευσης με τη βοήθεια ασύρματων δικτύων αισθητήρων (WSN) και με μικροελεγκτές της σειράς ATMEGA, MEGA ARDUINO και PIC, ενώ οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για μετρήσεις είναι κλασικοί αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας τόσο αέρα όσο και εδάφους. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται οι MCP9700A, PT1000, VH400, DS1822, LM35, DHT11, VH400, DHT11, EC-5, DS18B20 και LM35. Τα συστήματα συνήθως διαθέτουν μία ασύρματη μονάδα αισθητήρα, η οποία επιτρέπει τη μεταφορά δεδομένων υγρασίας και θερμοκρασίας εδάφους, που τοποθετείται στις ρίζες των φυτών. Η ασύρματη μονάδα αποτελείται από έναν πομποδέκτη RF, αισθητήρες, μικροελεγκτή και πηγές ενέργειας. Ο μικροελεγκτής σηματοδοτεί το GSM μόντεμ, το οποίο στέλνει και λαμβάνει δεδομένα μέσω ραδιοκυμάτων, για να στείλει SMS/email ειδοποίησης στον αγρότη για διάφορες ενέργειες, όπως είναι η ενεργοποίηση/απενεργοποίηση του κινητήρα νερού ή ο χρόνος που χρειάζεται να ποτιστεί μία καλλιέργεια. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ορίζεται μία οριακή τιμή υγρασίας της καλλιέργειας από τους μικροελεγκτές και όταν γίνει ανίχνευση μικρότερης ή μεγαλύτερης τιμής από αυτή, τότε ενεργοποιούνται ή απενεργοποιούνται οι βαλβίδες για άρδευση της

καλλιέργειας, αντίστοιχα. Αξίζει να αναφερθεί ότι, χρησιμοποιώντας τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων παράγεται συγκριτικά υψηλότερη σοδειά από τις παραδοσιακές μεθόδους, ενώ παράλληλα χρησιμοποιούνται με σκοπό τη μέτρηση παραμέτρων όπως η θερμοκρασία, η πίεση ή οποιαδήποτε αντίχενυση συμβάντων για περαιτέρω αποφάσεις και ενέργειες. Όλα τα συστήματα προσφέρουν βέλτιστο προγραμματισμό άρδευσης σε πραγματικό χρόνο και επιτυγχάνουν υψηλότερη απόδοση. Κρίνεται, λοιπόν, αναγκαίος ο υπολογισμός της ημερήσιας πρόβλεψης της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς (ET<sub>0</sub>), χρησιμοποιώντας κυρίως τη μέθοδο Penman-Monteith (PM) με όλες τις απαιτούμενες παραμέτρους να λαμβάνονται από υπηρεσίες πρόβλεψης, ενώ στη συνέχεια υπολογίζεται η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας (ET<sub>c</sub>) έτσι ώστε να γίνει πρόβλεψη μελλοντικών αναγκών σε νερό της συγκεκριμένης καλλιέργειας. Η πρόβλεψη της τιμής αυτής γίνεται με τη βοήθεια νευρωνικών δικτύων και του αλγόριθμου δέντρου αποφάσεων. Η επικύρωση των συστημάτων πρόβλεψης γίνεται με τη χρήση και τον υπολογισμό του τετραγωνικού σφάλματος RMSE, το οποίο μας δείχνει αν η πρόβλεψη τιμών εξατμισοδιαπνοής ή καιρικών παραμέτρων είναι σωστή ή όχι. Στην περίπτωση που τα δεδομένα δεν είναι αρκετά για την καιρική πρόβλεψη, χρησιμοποιείται η τεχνική της χωρικής παρεμβολής για να εκτιμηθούν στο βέλτιστο οι τιμές αυτές.

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται διαφορετικοί συγκριτικοί πίνακες βασισμένοι στο τι χρησιμοποιείται από τους ερευνητές.

	I O T	Εφαρμογή	Τεχνολογία	Τεχνική	Αισθητήρες	Βάση Δεδομένων	Αυτόματη Άρδευση	Προσομείωση	Καλλιέργεια	Επικοινωνία
9	✓	θερμοκήπιο & αγρός	WSN	Balance Low Power Time Synchronization	θερμοκρασία και υγρασία	Ναι	Ναι (ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση)	ιστοσελίδα	ακτινίδια, μήλα	internet
11	✓	θερμοκήπιο	WSN	Σύστημα Υποστήριξης Λήψης Αποφάσεων (DSS)	υγρασία & θερμοκρασία αέρα & εδάφους, (pH, αλατότητα)	Ναι	Ναι, μέσω οριακής τιμής (VCW = 35)	ιστοσελίδα	καυτερή πιπεριά (μέσα σε polybag με σύστημα στάγδην άρδευσης)	internet

Πίνακας 2: εφαρμογή σε θερμοκήπιο

	I O T	Εφαρ μογή	Τεχνικ ή	Data set	Μετρήσει ς	Καλλιέ ργεια	Ανοιχ τά Δεδομ ένα	Εξατμισο διαπνοή	Επικ οινω νία	Προ σομ ίωση
1	✓	αγρός	WSN	-	υγρασία, θερμοκρασ ία αέρα και εδάφους, ηλιοφάνεια , τάση	καλαμπ όκι & ζαχαρο κάλαμο	Όχι	Ναι (PM FAO- 56)	GSM	NetB eans IDE 8.1
2	✓	αγρός	Fuzzy control	-	υγρασία, θερμοκρασ ία αέρα και εδάφους	αμπελώ νες	Ναι	Ναι (PM FAO- 56)	GSM	-
14	-	αγρός	Νευρων ικό Δίκτυο (ANNs)	-	Μέγιστη/ ελάχιστη θερμοκρασ ία, υγρασία, ταχύτητα ανέμου, ημερήσια ηλιοφάνεια	καλαμπ όκι, κρεμμύ δι	Ναι	Ναι (HS και PM FAO- 56)	Intern et	λογισ μικό FOR ETo
15	-	αγρός	Decisio n Tree	μετεωρ ολογικά δεδομέν α, δηλώσει ς παροχή ς νερού, εικόνες τηλεανί χνευσης	Μέγιστη/ ελάχιστη θερμοκρασ ία, υγρασία, ταχύτητα ανέμου, ηλιοφάνεια , βροχόπτωσ η	κριθάρι, σίτος, ρύζι, καλαμπ όκι	Ναι	Ναι (μέσω μετεωρολο γικών σταθμών)	Intern et	web- based σύστ ημα
16	-	αγρός (προσ ομοίω ση)	χωρική παρεμβ ολή, Inverse Distanc e Weighti ng	-	RMSE, NRMSE (για επικύρωση τεχνικής)	ρύζι	Ναι	Ναι (μέσω μετεωρολο γικών σταθμών)	Intern et	Γεωγ ραφικό Πληρ οφορι ακό Σύστ ημα (GIS)
17	✓	γενική μελέτ η σε αγρό	πρόβλε ψη (καιρικ ή & σοδειάς )	-	υγρασία, θερμοκρασ ία αέρα και εδάφους	ρύζι	Ναι	Όχι	Intern et	εφαρ μογή κινητ ού
18	-	δίσκοι δενδρ υλλίω ν	σύγκρισ η ETo – ροής νερού	-	θερμοκρασ ία, υγρασία, ταχύτητα ανέμου, ροή νερού	μουστά ρδα	Ναι	Ναι (PM FAO- 56)	Intern et	οθόνη

Πίνακας 3: εφαρμογή στον αγρό, με υπολογισμό εξατμισοδιαπνοής ή μετεωρολογικά δεδομένα

	I O T	Εφαρ μογή	Τεχν ική	Hard ware	Μετρήσει ς	Βάση Δεδομέν ων	Αυτόμα τη Άρδευσ η	Ειδοπ οίηση	Καλλι έργεια	Προσ ομοίω ση	Επι κοιν ωνί α
3	✓	αγρό ς	WS N	PIC, MTS MC- G2- SP	υγρασία, θερμοκρα σία αέρα και εδάφους	Ναι	Ναι (σύγκρισ η με οριακές τιμές)	email ενημέρ ωσης	οργανι κό φασκό μηλο	ιστοσε λίδα (Visua l Studio )	XBe e- Pro S2, GS M
4	✓	αγρό ς	WS N	PIC	υγρασία εδάφους και επίπεδο στάθμης νερού	Ναι	Ναι (σύγκρισ η με οριακές τιμές)	SMS (χρόνο ς άρδευσ ης)	ορυζώ νες	-	Zig Bee, GS M
5	✓	αγρό ς	Web page & appli cation	ARD UINO Mega 2560, Buzze r	θερμοκρα σία, υγρασία αέρα και εδάφους	Ναι, ιστοσελί δα	Ναι	SMS	γενική μελέτη	εφαρμ ογή κινητο ύ (GSM Contr All)	GS M
6	✓	αγρό ς	Δεν αναφ έρεται συγκ εκρι μένη τεχνι κή	ARD UINO , ATM EGA 328, SIM9 00A	υγρασία εδάφους, θερμοκρα σία	Ναι	Ναι (σύγκρισ η με οριακές τιμές)	SMS	καλαμ πόκι	οθόνη	GS M
7	✓	αγρό ς	Γενε τικός Αλγό ριθμ ος	ARD UINO , ATM EGA 1281	θερμοκρα σία, υγρασία αέρα και εδάφους	Ναι	Ναι (βέλτιστ ο σημείο άρδευση ς)	-	σέλινο, λάχανο , ντομάτ α	WSO2 dashb oard	XBe e, GS M
8	✓	αγρό ς	WS N	κόμβο ι αισθη τήρων	θερμοκρα σία, υγρασία αέρα και εδάφους	Ναι	Ναι (σύγκρισ η με οριακές τιμές)	-	γενική μελέτη	-	Zig Bee
10	-	γλάσ τρες	WS N, Νευρ ωνικό Δίκτυ ο	AT89 c51	υγρασία και επίπεδο υγρασίας εδάφους, εύρος ανίχνευση ς	Ναι	Ναι	-	γενική μελέτη	Matla b Simuli nk	UA RT

12	✓	αγρό ς	Clou d com putin g	Raspb erry Pi 3 Mode l B	θερμοκρα σία και υγρασία εδάφους	Ναι	Ναι (σύγκρισ η με οριακές τιμές)	Buzzer	γενική μελέτη , εκτός φρούτ ων/ λαχανι κών	-	inter net
13	✓	μικρ ές εκτά σεις αγρο ύ	Web - base d	ARM 7, Mega Ardui no	θερμοκρα σία, επίπεδο νερού, EC	Ναι	Ναι	-	γενική μελέτη	ιστοσε λίδα	inter net

Πίνακας 4: εφαρμογή στον αγρό, με αυτόματη άρδευση



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 -ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Στόχος του κεφαλαίου αυτού είναι η αυτοματοποιημένη άντληση μετεωρολογικών δεδομένων από ανοιχτά δεδομένα και σε συνδυασμό με τις μετρήσεις των αισθητήρων του συστήματος να υπολογιστεί το σφάλμα μεταξύ πραγματικών τιμών και τιμών πρόβλεψης με σκοπό, στη συνέχεια, να εισαχθούν οι πραγματικές μετρήσεις στο λογισμικό CROPWAT. Έτσι, σε πρώτο στάδιο παρουσιάζεται το σύστημα με το οποίο γίνεται η καταγραφή της πρόγνωσης και των πραγματικών δεδομένων από μετεωρολογικό σταθμό της περιοχής, καθώς και με αισθητήρες που έχουν τοποθετηθεί σε περιοχή ενδιαφέροντος. Στη συνέχεια, γίνεται ανάλυση υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής με τη μέθοδο Penman-Monteith, η οποία χρησιμοποιείται τόσο στη διεθνή βιβλιογραφία όσο και στο λογισμικό CROPWAT. Έπειτα, γίνεται ο υπολογισμός του μετρητή αξιοπιστίας με σκοπό να ελεγχθεί η ποιότητα των ανοιχτών δεδομένων. Τέλος, γίνεται υπολογισμός σφάλματος και τυπικής απόκλισης, με τα δεδομένα να εισάγονται στο CROPWAT.

### 3.1 Σύστημα Καταγραφής Προγνώσεων και Πραγματικών Τιμών

Για την υλοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας αναπτύχθηκε ένα σύστημα καταγραφής των προγνώσεων και των πραγματικών τιμών σε βάση δεδομένων. Χρησιμοποιήθηκε SQL βάση δεδομένων καθώς και το εργαλείο phpMyAdmin για την ευκολότερη διαχείριση της βάσης αυτής. Τα δεδομένα πρόγνωσης αντλούνται από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (EMY) [38] και το OpenWeatherMap [39], ενώ οι πραγματικές τιμές δεδομένων αντλούνται από Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών [40].

#### 3.1.1 Καταγραφή προγνώσεων

Για την αυτοματοποιημένη καταγραφή των προγνώσεων αναπτύχθηκε ένας αναλυτής βασισμένος σε PHP5. Ο αναλυτής έχει τη δυνατότητα πρόσβασης σε ιστοσελίδες που παρέχουν μετεωρολογικές προγνώσεις και δε διαθέτουν τη δυνατότητα άντλησης των δεδομένων μέσω κάποιου Application Programming Interface (API). Στην εικόνα 24, παρουσιάζεται ο αναλυτής ο οποίος έχει πρόσβαση στην ιστοσελίδα της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (EMY) από την οποία αντλεί και αποθηκεύει στη βάση δεδομένων την πρόγνωση τριών ημερών. Στην εικόνα 25, παρουσιάζεται η καταγραφή των προγνώσεων από την ιστοσελίδα του OpenWeatherMap, η οποία διαθέτει Application Programming Interface (API).

```

/*www.hnms.gr */
$html = file_get_html('http://www.hnms.gr/emv/el/forecast/meteogramma_emv?perifereia=West%20Macedonia&poli=Kozani');
$date = $html->find('h3[class=prognosi_kairou]'); //date
$temperature = $html->find('h3 .styled'); //temperature
$date_array = array();
$temperature_array = array();

for ($i = 0; $i <= 2; $i++) {
    $with_out_style = preg_replace('/<[^>]*>/', '', $date[$i]); //remove html tag
    array_push($date_array,explode(" ", $with_out_style)[1]);
}

for ($i = 0; $i <= 21; $i++) {
    $with_out_style = preg_replace('/<[^>]*>/', '', $temperature[$i]);
    array_push($temperature_array,preg_replace('/oC/', '', $with_out_style));
}

$date1 = array();
$date2= array();
$date3= array();
for ($i = 0; $i <= 5; $i++) { //date1
    array_push($date1,$temperature_array[$i]);
}

for ($i = 6; $i <= 13; $i++) { //date2
    array_push($date2,$temperature_array[$i]);
}

for ($i = 14; $i <= 21; $i++) { //date3
    array_push($date3,$temperature_array[$i]);
}

}

$date1max = round(max($date1));
$date2max = round(max($date2));
$date3max = round(max($date3));
$date1min = round(min($date1));
$date2min = round(min($date2));
$date3min = round(min($date3));
array_push($date1,$date_array[0]);
array_push($date2,$date_array[1]);
array_push($date3,$date_array[2]);
$sql = "INSERT INTO emy (date, min_max,humidity) VALUES ('$date3[0]', '$date3min/$date3max','#)";
if ($db->query($sql) === TRUE) {
    echo "New record created successfully";
} else {
    echo "Error: " . $sql . "<br>" . $db->error;
}
}

```

Εικόνα 24: Καταγραφή δεδομένων EMY

```

/*openweathermap.org*/
/*
https://api.openweathermap.org/data/2.5/onecall?lat=40.3011&lon=21.7864&exclude=current,minutely,hourly,alerts&units=metric&appid=*****
Coordinates of Kozani in decimal degrees
Latitude: 40.3006900°
Longitude: 21.7889600
*/

$googleApiUrl = "https://api.openweathermap.org/data/2.5/onecall?lat=40.3011&lon=21.7864&exclude=current,minutely,hourly,alerts&units=metric&appid=*****";

$ch = curl_init();

curl_setopt($ch, CURLOPT_HEADER, 0);
curl_setopt($ch, CURLOPT_RETURNTRANSFER, 1);
curl_setopt($ch, CURLOPT_URL, $googleApiUrl);
curl_setopt($ch, CURLOPT_FOLLOWLOCATION, 1);
curl_setopt($ch, CURLOPT_VERBOSE, 0);
curl_setopt($ch, CURLOPT_SSL_VERIFYPEER, false);
$response = curl_exec($ch);

curl_close($ch);
$data = json_decode($response);
$currentTime = time();
/* DATE from API JSON */
$date1Open_min = round($data ->daily[0]->temp->min);
$date1Open_max = round($data ->daily[0]->temp->max);
$date1Open_humidity = round($data ->daily[0]->humidity);
$date2Open_min = round($data ->daily[1]->temp->min);
$date2Open_max = round($data ->daily[1]->temp->max);
$date2Open_humidity = round($data ->daily[1]->humidity);
$date3Open_min = round($data ->daily[2]->temp->min);
$date3Open_max = round($data ->daily[2]->temp->max);
$date3Open_humidity = round($data ->daily[2]->humidity);

$sql = "INSERT INTO open (date, min_max,humidity)
VALUES ('$date1[0]', '$date1Open_min/$date1Open_max','$date1Open_humidity')";

if ($db->query($sql) === TRUE) {
    echo "New record created successfully";
} else {
    echo "Error: " . $sql . "<br>" . $db->error;
}
}

```

Εικόνα 25: Καταγραφή δεδομένων OpenWeatherMap

### 3.1.2 Καταγραφή Πραγματικών Τιμών

Για την καταγραφή των πραγματικών τιμών χρησιμοποιήθηκε ο αναλυτής προκειμένου να έχει πρόσβαση στην ιστοσελίδα μετεωρολογικού σταθμού στην περιοχή της Κοζάνης. Τα δεδομένα τα οποία καταγράφονται και στη συνέχεια εισάγονται στη βάση δεδομένων, είναι θερμοκρασίας και υγρασίας, εικόνα 26.

```
/*penteli.meteo.gr*/

/*date*/
$html_date = file_get_html('http://penteli.meteo.gr/stations/kozani/');

$date = $html_date->find('strong',0);

$with_out_style = preg_replace('/<[^>]*>/', '', $date); //αferesh ton html tag
$with_out_style= explode(",",$with_out_style);
$date = $with_out_style[2];
$pars_date= explode("/",$date);
$date = $pars_date[0] . "/" . $pars_date[1] . "/2021" ;
/*humidity*/
$html2 = file_get_html('http://penteli.meteo.gr/stations/kozani/');
$humidity_penreli = $html2->find('tr',20);
$with_out_style = preg_replace('/<[^>]*>/', '', $humidity_penreli); //αferesh ton html tag
$with_out_style = str_replace("&nbsp;","",$with_out_style);
$with_out_style = str_replace("High HumidityLow Humidity", "", $with_out_style);
$with_out_style = str_replace(" ", "", $with_out_style);
$with_out_style = str_replace("at", "", $with_out_style);
$with_out_style= str_replace('%', '', $with_out_style);
$with_out_style= explode(" ", $with_out_style);

$humidity_penreli_hight = $with_out_style[0];
$humidity_penreli_low = $with_out_style[2];
$average_humidity_penteli = ($humidity_penreli_low + $humidity_penreli_hight)/2;
$average_humidity_penteli = str_replace('.', '', $average_humidity_penteli);

/*Temperature */
$html3 = file_get_html('http://penteli.meteo.gr/stations/kozani/');
$temperature_penreli = $html3->find('tr',19);
$with_out_style = str_replace("&nbsp;","",$temperature_penreli);
$with_out_style= explode("<p>",$with_out_style);
$temperature_penreli_max= explode("°C", $with_out_style[3]);
$temperature_penreli_max = $temperature_penreli_max[0];
$temperature_penreli_max = str_replace('.', '', $temperature_penreli_max);

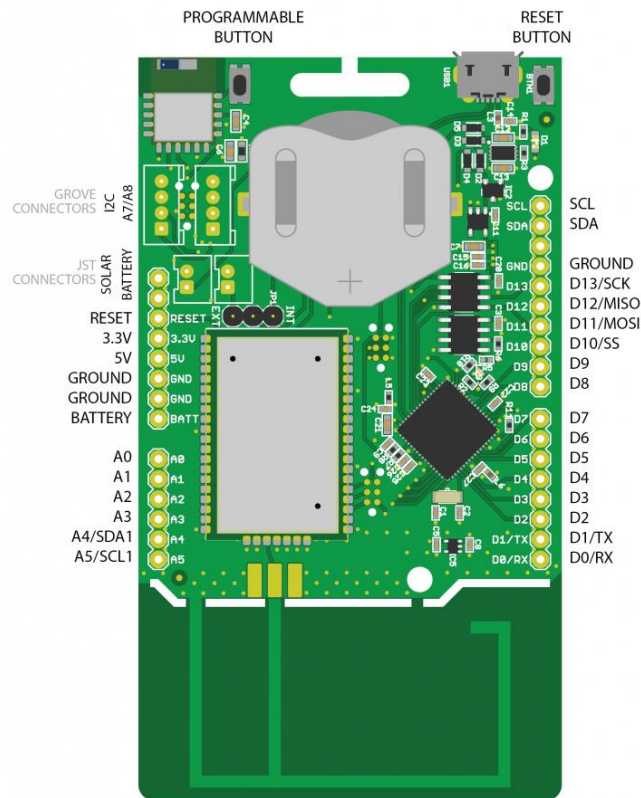
$temperature_penreli_min = explode("°C", $with_out_style[4]);
$temperature_penreli_min = $temperature_penreli_min[0];
$temperature_penreli_min = str_replace('.', '', $temperature_penreli_min);
```

Εικόνα 26: Καταγραφή δεδομένων Εθνικού Αστεροσκοπείου

### 3.1.3 Σύστημα καταγραφής μετρήσεων από σημείο ενδιαφέροντος

Για την καταγραφή των μετεωρολογικών μετρήσεων του σημείου ενδιαφέροντος επιλέχθηκε η χρήση του δικτύου LoRa λόγω της μεγάλης κάλυψης που υπάρχει στην περιοχή της Κοζάνης. Ο SODAQ ExpLoRer [41], είναι ένας μικροελεγκτής που βασίζεται στο Arduino και στον επεξεργαστή ATSAM21J18 [εικόνα 27]. Το ενσωματωμένο RN2483 chip έχει

ενσωματωμένη κεραία LoRa και μπαταρία φόρτισης μέσω usb ενώ υπάρχει η δυνατότητα μέσω ενός chip η σύνδεση με φωτοβολταϊκό για αυτόνομη λειτουργία. Επίσης, έχει ενσωματωμένο αισθητήρα θερμοκρασίας (MCP9700AT) και ένα crypto chip (Atmel ATECC508A), το οποίο βοηθάει στην ασφαλή αποθήκευση των δεδομένων και στην υποστήριξη τελευταίων πρωτοκόλλων ασφαλείας υψηλού επιπέδου. Ο αισθητήρας που χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή θερμοκρασίας και υγρασίας του περιβάλλοντος είναι ο DHT11.



Εικόνα 27: Πλακέτα Sodaq ExpLoRer

Η σύνδεση του μικροελεγκτή έγινε μέσω της πλατφόρμας TheThingsNetwork, το οποίο είναι γνωστό και ως TTN [42]. Αποτελεί μια υποδομή ανοιχτού κώδικα και βοηθά στην παροχή δωρεάν κάλυψης δικτύου LoRaWAN. Αναπτύχθηκε μέσα από μια αυξανόμενη κοινότητα εθελοντών από όλο τον κόσμο, εισάγοντας διάφορους οδηγούς που επιτρέπουν στους χρήστες να αναπτύξουν πύλες στην πόλη τους για την εξάπλωση του δικτύου. Οι κεραίες παρέχουν κάλυψη μεγάλης εμβέλειας με LoRa και μικρής εμβέλειας με Bluetooth 4.2. Παραμένει ενεργό σε καινούργιες εξελίξεις ανοιχτού κώδικα, ενώ η κάλυψή τους είναι ήδη αρκετά καλή σε μεγάλες πόλεις και εξαπλώνεται σε μικρότερες.

Αναπτύχθηκε κώδικας για τη μέτρηση της θερμοκρασίας και υγρασίας, που φαίνεται στην εικόνα 28. Στη συνέχεια, μέσω της πλατφόρμας του TheThingsNetwork γίνεται η αποστολή των δεδομένων από τον μικροελεγκτή μέσω δικτύου LoRa.

```

void loop() {
  sensors.requestTemperatures();
  String reading = String(sensors.getTempCByIndex(0));
  String Temperature = strcat(string2char(reading), string2char("10"));
  debugSerial.println(Temperature);
  sendPacket(Temperature);
  delay(1000);
}
String getTemperature() from sondaq explorer sensor
{
  //10mV per C, 0C is 500mV
  float mVolts = (float)analogRead(TEMP_SENSOR) * 3300.0 / 1023.0;
  float temp = (mVolts - 500.0) / 10.0;

  return String(temp);
}
char* string2char(String command){
  if(command.length() != 0){
    char *p = const_cast<char*>(command.c_str());
    return p;
  }
}

```

Εικόνα 28: Αποστολή δεδομένων TheThingsNetwork

### 3.1.4 Σελίδα προβολής δεδομένων

Για την προβολή των δεδομένων αναπτύχθηκε μία ιστοσελίδα [43], η οποία προβάλλει τις τιμές που βρίσκονται αποθηκευμένες στη βάση δεδομένων. Ακολουθούν ενδεικτικές εικόνες του συστήματος, όπου η εικόνα 29 απεικονίζει την αρχική σελίδα του συστήματος με την προβολή της τριήμερης πρόγνωσης μέγιστης/ελάχιστης θερμοκρασίας και μέσης υγρασίας τόσο από την EMY όσο και από το OpenWeatherMap, με την υγρασία της εκάστοτε ημέρας να εμφανίζεται καθημερινά αφού τελειώσει η ημέρα και στη συνέχεια να αποθηκεύονται στο Αρχείο (εικόνα 30). Στους Σταθμούς (εικόνα 31) αποθηκεύονται οι μέγιστες/ελάχιστες τιμές θερμοκρασίας και μέσης ημερήσιας υγρασίας από τον σταθμό του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών. Τέλος, στις Μετρήσεις (εικόνα 32) εμφανίζονται οι καταγεγραμμένες μετρήσεις του σταθμού.

Κοζάνη - 17/03/21 - 18:49:45 EET - Latitude: 40.3011 - Longitude: 21.7864

Πρόγνωση* από την Εθνική και Μετεωρολογική Υπηρεσία		
Date	Min/Max	Humidity
19/03/2021	1/12	#
18/03/2021	-2/11	#
17/03/2021	-1/11	#

Πρόγνωση* από OpenWeatherMap.org		
Date	Min/Max	Humidity
19/03/2021	0/9	50
18/03/2021	0/9	36
17/03/2021	1/9	37

Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα Θερμοκρασίας [min/max] - Υγρασίας:

Ιανουάριος 2021: 1.72.0 - 7.7% | Φεβρουάριος 2021: 1.97.6 - 10.7% | Μάρτιος 2021: 1.95/4.7 - 11.9%

Αρχείο	Σταθμοί	Μετρήσεις
--------	---------	-----------

\*Οι προγνώσεις ενημερώνονται καθημερινά στις [05:00 EET].

\*\*Οι πραγματικές τιμές ενημερώνονται καθημερινά στις [23:50 EET].

Argyrios Peletidis © 2021

Εικόνα 29: Αρχική σελίδα συστήματος

*ΑΡΧΕΙΟ* Πρόγνωση από την Εθνική και Μετεωρολογική Υπηρεσία			*ΑΡΧΕΙΟ* Πρόγνωση από OpenWeatherMap.org		
Date	Min/Max	Humidity	Date	Min/Max	Humidity
01/01/2021	0/12	60	01/01/2021	-1/12	65
02/01/2021	-1/10	85	02/01/2021	-2/10	85
03/01/2021	4/13	79	03/01/2021	3/13	86
04/01/2021	2/8	75	04/01/2021	1/8	86
05/01/2021	0/11	64	05/01/2021	-1/11	69
06/01/2021	2/13	65	06/01/2021	1/13	82
07/01/2021	5/12	59	07/01/2021	4/12	83
08/01/2021	8/18	75	08/01/2021	7/17	80
09/01/2021	4/15	85	09/01/2021	3/16	92
10/01/2021	5/14	90	10/01/2021	4/15	81
11/01/2021	6/18	88	11/01/2021	5/18	79
12/01/2021	2/11	75	12/01/2021	1/12	84
13/01/2021	-1/9	80	13/01/2021	-2/10	80
14/01/2021	-5/7	81	14/01/2021	-6/5	75
15/01/2021	-7/2	85	15/01/2021	-8/3	84
16/01/2021	-8/-1	68	16/01/2021	-9/0	80
17/01/2021	-10/0	75	17/01/2021	-11/1	72
18/01/2021	-11/0	88	18/01/2021	-12/1	69
19/01/2021	-12/2	70	19/01/2021	-13/3	60
20/01/2021	-6/9	62	20/01/2021	-7/10	61
21/01/2021	-1/10	65	21/01/2021	-2/11	79

Εικόνα 30: Αρχείο συστήματος (EMY, OpenWeather)

*ΑΡΧΕΙΟ* Προγνώσεων απο Μετεωρολογικό σταθμό Κοζάνης [ΖΕΠ]		
Date	Min/Max	Humidity
01/01/2021	1,6/10,2	70,5
02/01/2021	-0,2/8,8	79,9
03/01/2021	5,1/11,7	91,2
04/01/2021	3,9/6,9	94,8
05/01/2021	1,5/9,6	76,4
06/01/2021	3,7/11,4	77,9
07/01/2021	6,8/10,3	77,7
08/01/2021	9,3/16,9	69,2
09/01/2021	5,9/13,3	87,2
10/01/2021	6,5/12	95,4
11/01/2021	7,2/16,6	83,6
12/01/2021	3,3/9,8	86,3
13/01/2021	0/7,4	74,5
14/01/2021	-4,1/5,7	69,9
15/01/2021	-6,3/0,3	72,5
16/01/2021	-7,8/-3,3	77,7
17/01/2021	-9,7/-2,7	67,3
18/01/2021	-10,9/-2,6	74
19/01/2021	-11,4/0,8	71,9
20/01/2021	-5,1/7,9	64
21/01/2021	-0,7/8,1	77,7

Εικόνα 31: Αρχείο προγνώσεων Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών

*ΑΡΧΕΙΟ* Μετρήσεις απο Τοπικό Σταθμό		
Date	Min/Max	Humidity
01/01/2021	-1/12,5	70
02/01/2021	-2/8	85,1
03/01/2021	3,5/11,4	75
04/01/2021	1,5/8	70
05/01/2021	-1,5/12	72
06/01/2021	0,7/13,3	70
07/01/2021	3/9,8	70
08/01/2021	6,9/18,2	65
09/01/2021	5/12,4	82
10/01/2021	4/9,3	91,5
11/01/2021	5/16	79
12/01/2021	1/10,1	73
13/01/2021	-3/10	79,6
14/01/2021	-6/6	80
15/01/2021	-5/2	80
16/01/2021	-9/-1	67
17/01/2021	-12/-2	68
18/01/2021	-12,3/-1,9	78
19/01/2021	-10,9/0	72
20/01/2021	-5,2/7	69
21/01/2021	-3/8,3	72

Εικόνα 32: Αρχείο πραγματικών τιμών τοπικού σταθμού

### 3.2 Προσδιορισμός εξατμισοδιαπνοής με τη μέθοδο Penman-Monteith FAO-56

Η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας είναι το νερό που απαιτείται για την ανάπτυξη και βέλτιση απόδοση μίας καλλιέργειας, ενώ αναφέρεται και ως ανάγκες σε νερό της καλλιέργειας.

Για τον υπολογισμό της τιμής αυτής έχουν γίνει διάφορες μελέτες χρησιμοποιώντας τα κλιματικά δεδομένα, δηλαδή τη θερμοκρασία, την υγρασία, την ταχύτητα του ανέμου και την ηλιακή ακτινοβολία, κατά τη διάρκεια της ημέρας. Έτσι, έχουν δημιουργηθεί διάφοροι τρόποι με σκοπό την εκμετάλλευση των στοιχείων αυτών και σε συνδυασμό με τους εκάστοτε φυτικούς συντελεστές να υπολογίζεται η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας. Αναφορικά, οι μέθοδοι που έχουν μελετηθεί είναι οι Penman-Monteith, Blaney-Criddle και Thornthwait. [44]

Όλες οι παραπάνω μέθοδοι χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς ( $ET_o$ , μπορεί να αναγράφεται και ως  $ET_r$ ) και στη συνέχεια να υπολογιστεί η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας. Η καλλιέργεια αναφοράς πρόκειται για μία καλλιέργεια ύψους 8-15 εκ. η οποία αντλεί όσο νερό χρειάζεται και είναι ελεύθερη από ασθένειες και ζιζάνια. Συμπερασματικά, ο τύπος υπολογισμού της τιμής αυτής είναι:

$$ET_c = K_c \times ET_o, \text{ όπου}$$

$ET_c$ : εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας (mm)

$K_c$ : φυτικός συντελεστής καλλιέργειας

$ET_o$ : εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (mm)

Ο φυτικός συντελεστής ή συντελεστής των καλλιεργειών ( $K_c$ ) είναι μια τιμή βασισμένη στο στάδιο της βλαστικής περιόδου στο οποίο βρίσκεται η καλλιέργεια και έχει μελετηθεί από πολλούς ερευνητές, δίνοντας έτσι αποτελέσματα για όλες τις καλλιέργειες σε όλες τις φάσεις της. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η σχέση υπολογισμού για την εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας είναι ίδια, ανεξάρτητα από τη μέθοδο που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς κάτω από άριστες συνθήκες ανάπτυξης, απαλλαγμένη από ασθένειες.

Οι ημερήσιες τιμές εξατμισοδιαπνοής αναφοράς υπολογίζονται με βάση τα μετεωρολογικά δεδομένα τα οποία αντλούνται. Η καταλληλότερη μέθοδος και η μέθοδος που χρησιμοποιείται στο λογισμικό CROPWAT είναι η FAO-56 Penman-Monteith και αποτελεί μία παραλλαγή της αρχικής σχέσης που αναπτύχθηκε το 1963. Ως αποτέλεσμα της μεθόδου, αναπτύχθηκε η παρακάτω σχέση:

$$ET_o = \frac{0.408 * \Delta * (R_n - G) + \gamma * \frac{900}{T + 273} * u_2 * (e_s - e)}{\Delta + \gamma * (1 + 0.34 * u_2)}$$

Όπου,



$E_{T_0}$ : εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας αναφοράς (mm/day)

$R_n$ : καθαρή ηλιακή ακτινοβολία (MJ/m<sup>2</sup>d)

$G$ : ροή θερμότητας εδάφους [MJ/m<sup>2</sup>d]

$T$ : μέση θερμοκρασία αέρα ύψους 2 m, ισούται με  $(T_{max} + T_{min})/2$

$u_2$ : ταχύτητα ανέμου ύψους 2 m (m/sec)

$e_s$ : τάση κορεσμένων υδρατμών (kPa)

$e$ : πραγματική τάση υδρατμών (kPa)

$e_s - e$ : έλλειμα κορεσμού (kPa)

$\gamma$  – ψυχομετρική σταθερά (kPa/oC)

Ο υπολογισμός μέσης τιμής υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$e_s(T) = 0.6108 * e^{\left(\frac{17.27 * T}{T + 237.3}\right)}$$

ενώ, υπάρχει και η δυνατότητα να υπολογιστεί και με την παρακάτω εξίσωση:

$$e_s = \frac{e_s(T_{max}) + e_s(T_{min})}{2}$$

Η εξίσωση διαφοράς θερμοκρασίας υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$\Delta(T) = \frac{4098}{(T + 237.3)^2} * e_s$$

Η πραγματική τάση υδρατμών ( $e$ , kPa) υπολογίζεται από την τάση κορεσμένων υδρατμών ( $e_s$ ) και της σχετικής υγρασίας του αέρα (RH) ως:

$$e = e_s \frac{RH}{100}$$

Εφόσον υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία για τη σχετική υγρασία του αέρα, είτε μέση τιμή είτε μέγιστη και ελάχιστη, η τάση υδρατμών υπολογίζεται και ως εξής:

$$e = \frac{e_s(T_{max}) \frac{RH_{max}}{100} + e_s(T_{min}) \frac{RH_{min}}{100}}{2}$$

$$e = \frac{RH_{mean}}{100} \left( \frac{e_s(T_{max}) + e_s(T_{min})}{2} \right)$$

Η ψυχομετρική σταθερά  $\gamma$  υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση, όπου  $C_p$  η ειδική θερμότητα υγρού αέρα (= 1,013 kJ kg<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup>) και  $P$  η ατμοσφαιρική πίεση (kPa):

$$\gamma = \frac{C_p * P}{\lambda * \varepsilon} = 0,00163 * \frac{P}{\lambda}$$

Η ατμοσφαιρική πίεση  $P$  υπολογίζεται ως εξής:

$$P = 101,3 \left( \frac{293 - 0,0065 * z}{293} \right)^{5,29}$$

$z$ : υψόμετρο (m)

$\varepsilon$ : λόγος μοριακού βάρους υδρατμών προς μοριακό βάρος ξηρού αέρα = 0,622

$\lambda$ : λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης (MJ/kg)

$$\lambda = 2,501 - (2,361 * 10^{-3}) * T$$

Η ηλιακή ακτινοβολία  $R_n$ , ισούται με τη διαφορά της εισερχόμενης καθαρής ακτινοβολίας μικρού μήκους και της εξερχόμενης καθαρής ακτινοβολίας μεγάλου μήκους ( $R_n$ ), δηλαδή:

$$R_n = R_{ns} - R_{nl}$$

$$R_{ns} = (1 - a) * R_s$$

$$R_s = \left( a_s + b_s * \frac{n}{N} \right) * R_a$$

Όπου,

$n$ : πραγματική διάρκεια της ημέρας σε ώρες

$N$ : θεωρητική διάρκεια της ημέρας σε ώρες

$n/N$ : σχετική διάρκεια της ημέρας

$R_a$ : ηλιακή ακτινοβολία στο άνω όριο της ατμόσφαιρας (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>)

$a_s, b_s$ : σταθερές παλινδρόμησης με τιμές από 0,20 μέχρι 0,19 και 0,51 μέχρι 0,54

Η ηλιακή ακτινοβολία και η θεωρητική διάρκεια της ημέρας υπολογίζονται ως εξής:

$$R_a = \frac{24 * 60}{\pi} * G_{sc} * d_r * (\omega_s * \sin(\varphi) * \sin(\delta) + \cos(\varphi) * \cos(\delta) * \sin(\omega_s))$$

$$N = \omega_s * \left( \frac{24}{\pi} \right)$$

Ο υπολογισμός σχετικής απόστασης γης και ήλιου ( $d_r$ ), απόκλισης του ήλιου ( $\delta$ ) και ωριαίας γωνίας ( $\omega_s$ ) παρουσιάζονται παρακάτω:

$$d_r = 1 + 0.033 * \cos\left(\frac{2\pi}{365}J\right)$$

$$\delta = 0.409 * \sin\left(\frac{2\pi}{365}J - 1,39\right)$$

$$\omega_s = \arccos(-\tan(\varphi) * \tan(\delta))$$

Όπου:

$G_{sc}$ : ηλιακή σταθερά (0,0820 MJ m<sup>-2</sup> min<sup>-1</sup>)

$d_r$ : σχετική απόσταση μεταξύ γης και ήλιου

$\omega_s$ : ωριαία γωνία (rad)

$\varphi$ : γεωγραφικό πλάτος (rad)

$\delta$ : απόκλιση ήλιου (rad)

J: Ιουλιανή ημέρα του έτους [J=1, 2,...,365 (366)]

Έτσι, υπολογίζεται η εξερχόμενη καθαρή ακτινοβολία μεγάλου μήκους ( $R_{nl}$ , MJ mnlR-2 d-1) μέσω του τύπου:

$$R_{nl} = \sigma * \left(\frac{T_{max,K^4} + T_{min,K^4}}{2}\right) * (0.34 - 0.14 * \sqrt{e_a}) * \left(1.35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35\right)$$

Όπου:

$\sigma$ : σταθερά Stephan-Boltzman

$T_{max,K}$ : μέγιστη απόλυτη θερμοκρασία μέσα στην ημέρα [K= oC+273,16]

$T_{min,K}$ : ελάχιστη απόλυτη θερμοκρασία μέσα στην ημέρα [K= oC+273,16]

$e_a$ : πραγματική πίεση των υδρατμών στον αέρα (kPa)

$R_s$ : εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία (MJ m-2 d-1)

$R_{so}$ : εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία όταν δεν υπάρχουν σύννεφα (MJ m-2 d-1) που για οποιοδήποτε υψόμετρο z (m) πάνω από το επίπεδο της θάλασσας υπολογίζεται ως:

$$R_{so} = (a_s + b_s + 2 * 10^{-5} * z)R_a$$

Όταν η ταχύτητα του ανέμου  $u$  δίνεται σε διαφορετικό των 2 m ύψος από την επιφάνεια του εδάφους, τροποποιείται και μπορεί να χρησιμοποιηθεί η εξίσωση για τον υπολογισμό μέσης ταχύτητας ανέμου σε ύψος 2 μέτρα από το έδαφος ( $u_2$ , m s<sup>-1</sup>)

$$u_2 = u_z \left( \frac{4.87}{\ln(67.8_z - 5.42)} \right)$$

$u_z$ : μέση ταχύτητα του ανέμου σε ύψος 2m από το έδαφος (m/s)

$z$ : το υψόμετρο μέτρησης της ταχύτητας του ανέμου (m)

### 3.3 Στατιστικές μετρικές

#### 3.3.1 Αξιοπιστία

Η αξιοπιστία (reliability) σχετίζεται με την εγκυρότητα ενός συνόλου δεδομένων, είτε αυτό είναι ερωτηματολόγιο, συνεντεύξεις είτε παρατηρήσεις. Τα αποτελέσματα των δεδομένων ίσως να μην ταυτίζονται αλλά είναι σημαντικό να είναι πολύ κοντά μεταξύ τους. Η εκτίμηση και ο υπολογισμός της αξιοπιστίας δίνει μία εικόνα στους ερευνητές για την απόκλιση την οποία πρέπει να αναμένουν σε συνδυασμό με την εφαρμογή των απαραίτητων συντελεστών, όπως ο συντελεστής αξιοπιστίας (reliability co-efficient) και ο συντελεστής εγκυρότητας (validity co-efficient). Οι τιμές του δείκτη αξιοπιστίας είναι από 0 μέχρι και 1. Όσο πιο κοντά είναι στο 1, τόσο μεγαλύτερη η αξιοπιστία των δεδομένων, ενώ όσο ο δείκτης είναι πιο κοντά στο 0, η αξιοπιστία είναι ελάχιστη.

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι ελέγχου της αξιοπιστίας των δεδομένων [45]. Αναφορικά, είναι οι εξής μέθοδοι:

- a) της επαναχορήγησης (test – retest)
- b) των ισοδύναμων τύπων (equivalent – forms)
- c) της διχοτόμησης (split-half)
- d) των Kuder-Richardson

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι η μέθοδος της διχοτόμησης (split-half), με σύνολο δεδομένων να αποτελούν οι προγνώσεις της μέσης θερμοκρασίας Ιανουαρίου και Φεβρουαρίου από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία και του OpenWeather (εικόνα 33). Δηλαδή, υπολογίζεται ο βαθμός κατά τον οποίο οι θερμοκρασίες, οι οποίες χωρίζονται σε δύο μισά μέρη, παρέχουν τα ίδια αποτελέσματα. Έτσι, υπολογίζεται, μέσω excel, ο συντελεστής αξιοπιστίας (εικόνα 34), όπως φαίνεται παρακάτω

από τον τύπο ολόκληρου του μέσου (θερμοκρασίες/προγνώσεις), γνωστός και ως Spearman – Brown:

$$R = \frac{2r}{r + 1}$$

όπου r, ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ δύο μερών

	ΕΜΥ-ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	ΕΜΥ-ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	ΟΡΕΝ-ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	ΟΡΕΝ-ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ
1	6	8,5	5,5	5,5
2	4,5	8	4	4
3	8,5	8,5	8	8
4	5	10,5	4,5	4,5
5	5,5	11,5	5	5
6	7,5	12	7	7
7	8,5	12	8	8
8	13	11,5	12	12
9	9,5	9	9,5	9,5
10	9,5	8,5	9,5	9,5
11	12	8	11,5	11,5
12	6,5	3	6,5	6,5
13	4	-0,5	4	4
14	1	-4,5	-0,5	-0,5
15	-2,5	-5,5	-2,5	-2,5
16	-4,5	-5	-4,5	-4,5
17	-5	-2,5	-5	-5
18	-5,5	1	-5,5	-5,5
19	-5	5	-5	-5
20	1,5	6,5	1,5	1,5
21	4,5	6,5	4,5	4,5
22	8,5	7,5	8,5	8,5
23	6,5	11	6,5	6,5
24	6,5	10,5	6,5	6,5
25	8	10,5	8	8
26	4	11,5	4	4
27	-1	13	0	0
28	0,5	8,5	0,5	0,5
29	5		5	
30	7		7	
31	6,5		6,5	

Εικόνα 33: Προγνώσεις για αξιοπιστία

h1	h2		
7,25	5,5	correlation	0,9054665
6,25	4		
8,5	8	2r	1,810933
7,75	4,5		
8,5	5	1+r	1,9054665
9,75	7		
10,25	8	R	0,9503883
12,25	12		
9,25	9,5		
9	9,5		
10	11,5		
4,75	6,5		
1,75	4		
-1,75	-0,5		
-4	-2,5		
-4,75	-4,5		
-3,75	-5		
-2,25	-5,5		
0	-5		
4	1,5		
5,5	4,5		
8	8,5		
8,75	6,5		
8,5	6,5		
9,25	8		
7,75	4		
6	0		
4,5	0,5		
5	5		
7	7		
6,5	6,5		

Εικόνα 34: Υπολογισμός αξιοπιστίας

Ο συντελεστής αξιοπιστίας (R) παρατηρούμε ότι είναι πολύ κοντά στο 1, με την τιμή να αγγίζει το 0,95, δηλαδή η αξιοπιστία των δεδομένων αυτών είναι αρκετά υψηλή και ικανοποιητική.

### 3.3.2 Υπολογισμός Σφάλματος/Τυπικής απόκλισης

Για τη μελέτη του συστήματος και τον υπολογισμό σφάλματος, τα δεδομένα μετεωρολογίας που χρησιμοποιούνται είναι μέρος των σημαντικότερων και ακριβέστερων πηγών, τόσο για τους παραγωγούς όσο και για το ευρύ κοινό.

Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMSE), στην έννοια της στατιστικής, είναι η μέση τετραγωνική απόκλιση ή αλλιώς διαφορά μεταξύ δεδομένων πρόγνωσης και παρατηρούμενων δεδομένων. Αποτελεί ένα μέτρο ακρίβειας και όσο η τιμή είναι πιο κοντά είναι στο μηδέν, τόσο καλύτερο σφάλμα εξάγεται, δηλαδή η απόκλιση μεταξύ των τιμών είναι μηδενική ή σχεδόν ανύπαρκτη. Έτσι, λαμβάνοντας υπόψιν ένα δείγμα μεταβλητών, αξιολογείται η ποιότητα των προγνωστικών δεδομένων [46].

Πρώτη πηγή στα δεδομένα αυτά αποτελεί η Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ), η οποία είναι υπεύθυνη για την πρόβλεψη και τον προσδιορισμό μετεωρολογικών δεδομένων, ενώ δεύτερη πηγή ανοιχτών δεδομένων αποτελεί το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, το οποίο σε συνεργασία με την Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας και την επιχείρηση ΣΤΡΑΒΩΝ διατηρούν ένα μετεωρολογικό σταθμό στην περιοχή της ΖΕΠ Κοζάνης.

Ο τύπος υπολογισμού σφάλματος είναι ο εξής:

$$RMSE = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}$$

όπου  $O_i$  είναι οι πραγματικές τιμές, το  $S_i$  είναι οι τιμές πρόβλεψης μιας μεταβλητής και  $n$  ο αριθμός των πραγματικών τιμών που διατίθενται για ανάλυση.

Μέσω excel γίνεται υπολογισμός μέσου τετραγωνικού σφάλματος μηνιαίας ελάχιστης και μέγιστης θερμοκρασίας. Όπως φαίνεται παρακάτω (πίνακας 5), το μέσο τετραγωνικό σφάλμα κυμαίνεται περίπου από 1,5 – 2 βαθμούς κελσίου, ενώ η υγρασία από 7,5 – 11 %.

ΣΦΑΛΜΑ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑ ΣΙΑΣ ΙΑΝΟΥΑΡΙΟ Υ	ΣΦΑΛΜΑ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑ ΣΙΑΣ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙ ΟΥ	ΣΦΑΛΜΑ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙ ΑΣ ΜΑΡΤΙΟΥ	ΣΦΑΛΜΑ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙ ΑΣ ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ	ΣΦΑΛΜΑ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣ ΙΑΣ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙ ΟΥ	ΣΦΑΛΜΑ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣ ΙΑΣ ΜΑΡΤΙΟΥ
1,587349	1,912179	1,948604327	2,0418208	1,6137799	4,701313959
ΣΦΑΛΜΑ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ		ΣΦΑΛΜΑ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ		ΣΦΑΛΜΑ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΜΑΡΤΙΟΥ	
7,552397611		10,72297267		11,87171007	

Πίνακας 5: Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα

Η τυπική απόκλιση σχετίζεται με το σφάλμα, καθώς είναι το εύρος της διασποράς ενός συνόλου δεδομένων γύρω από τη μέση τιμή. Δηλαδή, το σύνολο δεδομένων είναι είτε οι τιμές πρόβλεψης είτε οι πραγματικές, και όχι ο συνδυασμός τους, όπως το σφάλμα. Η τυπική απόκλιση (SD, standard deviation) υπολογίζεται ως εξής [47]:

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N}}$$

Όπου  $X_i$  η τιμή του συνόλου δεδομένων,  $\bar{X}$  ο μέσος όρος του συνόλου και  $N$  ο αριθμός των τιμών του συνόλου για ανάλυση

Αναλυτικότερα, υπολογίζονται και οι δύο τιμές, ανά μήνα, μέσω excel. Απεικονίζονται τα αποτελέσματα από την EMY (πίνακας 6,7), το OpenWeather (πίνακας 8,9) και το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (πίνακας 10,11) για τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο.

<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ:</b>	4,387097
<b>ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ:</b>	5,006179

Πίνακας 6: Τυπική απόκλιση πρόγνωσης EMY Ιανουαρίου

<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ:</b>	6,518519
<b>ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ:</b>	5,596053

Πίνακας 7: Τυπική απόκλιση πρόγνωσης EMY Φεβρουαρίου

Παρατηρούμε ότι, ο μέσος όρος των προγνώσεων από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία είναι 4,3 βαθμοί Κελσίου για τον μήνα Ιανουάριο, με τυπική απόκλιση 5 βαθμούς. Αυτό σημαίνει πως η θερμοκρασίες Ιανουαρίου ήταν +5 βαθμούς από την μέση θερμοκρασία που ήταν 4,3 βαθμούς. Αντίστοιχα και για τον μήνα Φεβρουάριο, όπου ο μέσος όρος θερμοκρασιών ήταν 6,5 βαθμοί Κελσίου, με την τυπική απόκλιση να είναι +5,5 βαθμούς.

<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ:</b>	4,166667
<b>ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ:</b>	4,965976

Πίνακας 8: Τυπική απόκλιση πρόγνωσης OpenWeather Ιανουαρίου

<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ:</b>	4,946429
<b>ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ:</b>	6,396381

Πίνακας 9: Τυπική απόκλιση πρόγνωσης OpenWeather Φεβρουαρίου

Για το OpenWeather παρατηρούμε ότι ο μέσος όρος των προγνώσεων είναι 4,1 βαθμοί Κελσίου για τον μήνα Ιανουάριο, με τυπική απόκλιση 4,9 βαθμούς. Αυτό σημαίνει πως η θερμοκρασίες Ιανουαρίου ήταν +4,9 βαθμούς από την μέση θερμοκρασία που ήταν 4,1 βαθμούς. Αντίστοιχα και για τον μήνα Φεβρουάριο, όπου ο μέσος όρος θερμοκρασιών ήταν 4,9 βαθμοί Κελσίου, με την τυπική απόκλιση να είναι +6,3 βαθμούς.

<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ:</b>	4,04516129
<b>ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ:</b>	5,260154542

Πίνακας 10: Τυπική απόκλιση πραγματικών τιμών Ιανουαρίου

<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ:</b>	5,467857143
<b>ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ:</b>	5,996421993

Πίνακας 11: Τυπική απόκλιση πραγματικών τιμών Φεβρουαρίου

Για τον σταθμό του Εθνικού Αστεροσκοπείου παρατηρούμε ότι ο μέσος όρος των προγνώσεων είναι 4,04 βαθμοί Κελσίου για τον μήνα Ιανουάριο, με τυπική απόκλιση 5,2 βαθμούς. Αυτό σημαίνει πως η θερμοκρασίες Ιανουαρίου ήταν +5,2 βαθμούς από την μέση θερμοκρασία που ήταν 4,04 βαθμούς. Αντίστοιχα και για τον μήνα Φεβρουάριο, όπου ο μέσος



όρος θερμοκρασιών ήταν 5,4 βαθμοί Κελσίου, με την τυπική απόκλιση να αγγίζει τους +5,9 βαθμούς.

### **3.4 Λογισμικό CROPWAT**

Το λογισμικό CROPWAT είναι ένα υπολογιστικό εργαλείο με σκοπό τον έλεγχο της άρδευσης. Δημιουργήθηκε με σκοπό την διευκόλυνση των αγροτών καθώς εισάγοντας στοιχεία σχετικά με την απαραίτητη ποσότητα νερού επιτυγχάνονται μέγιστες αποδόσεις στις καλλιέργειες. Κατασκευάστηκε από το Land and Water Development Division του FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) και η τρέχουσα έκδοσή του είναι η 8.0.1.1 ενώ είναι ελεύθερο στη χρήση, προσβάσιμο από όλους τους χρήστες. Με το λογισμικό αυτό, οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να υπολογίσουν τις απαιτήσεις σε νερό μιας καλλιέργειας με βάση τα δεδομένα εδάφους, καλλιέργειας και κλίματος ενώ μπορούν να αναπτύξουν και να αξιολογήσουν προγράμματα άρδευσης και πρακτικές [48]. Είναι σημαντικό με την εισαγωγή των δεδομένων, να γίνεται και αποθήκευση, μέσω της γραμμής εργαλείων Save.

#### **3.4.1 Εξατμισοδιαπνοή Αναφοράς (ET<sub>o</sub>)**

Τα μετεωρολογικά δεδομένα που συλλέγονται είναι διαθέσιμα στο διαδίκτυο, καθώς δεν υπάρχει εγκατεστημένος σταθμός στην περιοχή. Αν και οι μέθοδοι υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς ποικίλουν, η καταλληλότερη μέθοδος που προτείνεται είναι η Penman-Monteith, η οποία αναλύθηκε στο κεφάλαιο 3.2, και τα κλιματικά δεδομένα που συλλέγονται είναι η θερμοκρασία, η υγρασία, η ηλιοφάνεια και η ταχύτητα του ανέμου. Έτσι, εισάγουμε τα δεδομένα στην κατηγορία Climate/ET<sub>o</sub>. Έτσι, εισάγονται τα δεδομένα τριών μηνών στο λογισμικό, ενώ για τον υπόλοιπο χρόνο αντλούνται τα στοιχεία μέσης τιμής στην περιοχή της Κοζάνης. (εικόνα 35)

Country: GREECE  
Altitude: 621 m.

Station: KOZANI  
Latitude: 40.29 °N Longitude: 21.84 °E

Month	Avg Temp °C	Humidity %	Wind km/day	Sun hours	Rad MJ/m <sup>2</sup> /day	ETo mm/day
January	4.0	76	182	11.1	12.6	0.83
February	5.0	66	168	9.4	14.1	1.39
March	7.2	66	168	9.5	17.9	2.05
April	11.8	63	151	7.0	17.9	2.73
May	17.1	62	137	7.3	20.1	3.61
June	21.8	54	159	12.9	28.6	5.59
July	24.5	49	177	16.2	32.7	6.77
August	24.0	51	155	16.6	31.3	6.21
September	19.0	58	142	13.9	24.3	4.17
October	13.6	67	133	12.0	17.7	2.37
November	6.6	75	128	9.0	11.5	1.02
December	6.1	77	173	9.7	10.5	0.75
Average	13.4	64	156	11.2	19.9	3.12

Εικόνα 35: Μηνιαία Εξατμισοδιαπνοή Αναφοράς

### 3.4.2 Δεδομένα βροχόπτωσης

Τα επίπεδα και τα ποσοστά βροχόπτωσης παίζουν σημαντικό ρόλο στον υπολογισμό των υδατικών αναγκών, βασισμένες στην περιοχή. Για παράδειγμα, σε τροπικές ή ημι-τροπικές περιοχές, οι ανάγκες άρδευσης ικανοποιούνται από τις βροχοπτώσεις ενώ αντίστοιχα σε περιόδους ξηρασίας από την άρδευση. Η πρόβλεψη, όμως, του ποσοστού του νερού άρδευσης είναι δύσκολη καθώς οι βροχοπτώσεις διαφέρουν από εποχή σε εποχή. Ωστόσο, μέρος της βροχής είναι πιθανό να χάνεται λόγω απορροής ή βαθιάς διήθησης κάτω από τη ζώνη των ριζών. Έτσι, ο υπολογισμός της ποσότητας βροχής που συμβάλλει αποτελεσματικά στις ανάγκες της άρδευσης, αναλύονται οι διαφορετικές τιμές βροχόπτωσης. Τα δεδομένα βροχόπτωσης για το λογισμικό CROPWAT μπορεί να είναι ημερήσια, δεκαήμερου είτε και μηνιαία, ενώ υπάρχει η δυνατότητα να επιλεγθεί μια εκ των τεσσάρων μεθόδων που παρουσιάζονται στο λογισμικό και παρακάτω [48].

### 3.4.3 Μέση μηνιαία βροχόπτωση

Προσδιορίζεται η μέση τιμή της βροχόπτωσης μέσω διαθέσιμων δεδομένων, με μαθηματικό τρόπο, έτσι ώστε να υπολογιστούν οι υδατικές ανάγκες στη συνέχεια.

### 3.4.4 Έγκυρη βροχόπτωση

Η έγκυρη βροχόπτωση είναι αναγκαία στον σχεδιασμό του συστήματος άρδευσης και η ποσότητα βροχής ανταποκρίνεται στο 75-80% της πιθανότητας υπέρβασης στο χρονικό περιθώριο των 4-6 ετών.

### 3.4.5 Βροχόπτωση σε κανονικά, υγρά και ξηρά έτη

Η βροχόπτωση σε υγρά, κανονικά και ξηρά έτη εννοείται ως η βροχόπτωση σε συνδυασμό με το 20, 50 και 80% της πιθανότητας υπέρβασης, αντίστοιχα. Μια κανονική χρονιά, δηλαδή με πιθανότητα βροχόπτωσης 50% είναι μια ιδανική προσέγγιση μέσης βροχόπτωσης.

### 3.4.6 Αποτελεσματική βροχόπτωση

Η αποτελεσματική βροχόπτωση ή αλλιώς ενεργός βροχόπτωση (effective rainfall) συνδράμει ενεργά και αποτελεσματικά στην καλλιέργεια αφού σταματήσει η απορροή και το έδαφος αποκτήσει τη μέγιστη διηθητικότητα.

Τα δεδομένα μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης παρουσιάζονται στην εικόνα 36.

Station: Kozani

Eff. rain method: USDA Soil Conservation Service formula:

$$\begin{aligned} P_{eff} &= P_{mon} * (125 - 0.2 * P_{mon}) / 125 && \text{for } P_{mon} \leq 250 \text{ mm} \\ P_{eff} &= 125 + 0.1 * P_{mon} && \text{for } P_{mon} > 250 \text{ mm} \end{aligned}$$

	Rain mm	Eff rain mm
January	34.7	32.8
February	31.1	29.6
March	36.4	34.3
April	42.3	39.4
May	54.7	49.9
June	36.6	34.5
July	33.4	31.6
August	27.8	26.6
September	34.1	32.2
October	49.7	45.7
November	56.1	51.1
December	53.4	48.8

Εικόνα 36: Μηνιαία βροχόπτωση

### 3.4.7 Καλλιέργεια και έδαφος

Με σκοπό να υπολογιστούν οι απαιτήσεις σε νερό μια καλλιέργειας είναι σημαντικό να συλλεχθούν δεδομένα για την ίδια την καλλιέργεια. Τέτοια δεδομένα είναι η καλλιέργεια, η ποικιλία της καλλιέργειας, και οι ημερομηνίες σποράς και συγκομιδής. Η επιλογή της

καλλιέργειας γίνεται από το ίδιο το λογισμικό με το εικονίδιο Crop. Απαραίτητα στοιχεία είναι τα εξής:

1. Όνομα καλλιέργειας
2. Ημερομηνία σποράς
3. Φυτικός συντελεστής καλλιέργειας (Kc)
4. Μήκος καλλιέργειας
5. Βάθος ρίζας
6. Συντελεστής ωφελιμότητας (p)
7. Απόδοση συντελεστή απόκρισης (Ky)

Η καλλιέργεια ενδιαφέροντος είναι ο σόργος, ο οποίος λειτουργεί και αναπτύσσεται όπως και το καλαμπόκι [49]. Κατάγεται από την Αφρική [50] και καλλιεργείται σε θερμές περιοχές, ενώ, συνήθως, η σπορά του γίνεται τον Μάρτιο – Μάιο. Ως αποτέλεσμα, εισάγονται τα απαραίτητα στοιχεία [51] στο CROPWAT, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 37. Τα στοιχεία [52] που πρέπει να εισαχθούν για το έδαφος (εικονίδιο Soil) είναι το σύνολο διαθέσιμου νερού, το μέγιστο ποσοστό διηθητικότητας, το μέγιστο βάθος ριζοβολίας και η αρχική μείωση της υγρασίας του εδάφους. (εικόνα 38)

Crop Name:	Sorghum	Planting date:	01/03	Harvest:	03/07
Stage	initial	develop	mid	late	total
Length (days)	20	35	40	30	125
Kc Values	0.30	-->	1.00	0.55	
Rooting depth (m)	0.30	-->	1.40	1.40	
Critical depletion	0.60	-->	0.50	0.80	
Yield response f.	0.20	0.40	0.55	0.20	0.90
Cropheight (m)					

Εικόνα 37: Δεδομένα σόργου

General soil data:

Total available soil moisture (FC - WP)	150.0	mm/meter
Maximum rain infiltration rate	13	mm/day
Maximum rooting depth	90	centimeters
Initial soil moisture depletion (as % TA	50	%
Initial available soil moisture	75.0	mm/meter

Εικόνα 38: Δεδομένα εδάφους

### 3.4.8 Απαιτήσεις σε νερό της καλλιέργειας

Όλα τα στοιχεία που έχουν εισαχθεί, τόσο μετεωρολογικά όσο και βροχοπτώσεων αλλά και δεδομένα της καλλιέργειας και εδάφους, βοηθούν στον καλύτερο υπολογισμό των υδατικών

αναγκών μέσω του εικονιδίου CWR (Crop Water Requirements) στο λογισμικό CROPWAT.  
(εικόνα 39)

ETo station: KOZANI  
Rain station: Kozani

Crop: Sorghum  
Planting date: 01/03

Month	Decade	Stage	Kc coeff	ETc mm/day	ETc mm/dec	Eff rain mm/dec	Irr. Req. mm/dec
Mar	1	Init	0.30	0.55	5.5	10.9	0.0
Mar	2	Init	0.30	0.61	6.1	11.4	0.0
Mar	3	Deve	0.42	0.96	10.5	12.0	0.0
Apr	1	Deve	0.63	1.58	15.8	12.4	3.3
Apr	2	Deve	0.83	2.27	22.7	12.9	9.7
Apr	3	Mid	0.99	2.99	29.9	14.2	15.7
May	1	Mid	1.00	3.25	32.5	16.3	16.2
May	2	Mid	1.00	3.51	35.1	17.8	17.3
May	3	Mid	1.00	4.20	46.2	15.7	30.5
Jun	1	Late	0.96	4.72	47.2	12.8	34.4
Jun	2	Late	0.81	4.54	45.4	10.9	34.4
Jun	3	Late	0.66	3.96	39.6	10.8	28.8
Jul	1	Late	0.57	3.68	11.0	3.3	5.6
					347.5	161.6	196.0

Εικόνα 39: Υδατικές Απαιτήσεις σόργου



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία προτάθηκε ένα σύστημα καταγραφής μετεωρολογικών δεδομένων, κρίνοντας απαραίτητο τον υπολογισμό του δείκτη της αξιοπιστίας, με σκοπό τον έλεγχο εγκυρότητας των δεδομένων. Γενικά, η τιμή του δείκτη κυμαίνεται από 0 έως 1, ενώ αν το αποτέλεσμα είναι από 0,7 και άνω, τότε η αξιοπιστία του συνόλου δεδομένων είναι υψηλή. Στην συγκεκριμένη εργασία, ο δείκτης αξιοπιστίας έφτανε την τιμή 0,95, η οποία πλησιάζει κατά πολύ το 1, ως αποτέλεσμα να επιβεβαιώνεται η εγκυρότητα των δεδομένων. Στη συνέχεια, οι τιμές πρόβλεψης, τόσο ελάχιστης και μέγιστης θερμοκρασίας όσο και υγρασίας για το διάστημα Ιανουάριος – Μάρτιος 2021, λαμβάνονται από τις ιστοσελίδες της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (EMY) και του OpenWeatherMap, το οποίο διαθέτει Application Programming Interface (API), ενώ οι πραγματικές τιμές λαμβάνονται από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, το οποίο διαθέτει μετεωρολογικό σταθμό στην περιοχή της ΖΕΠ, Κοζάνης.

Έτσι, σε πρώτο στάδιο για την υλοποίηση του συστήματος καταγραφής των δεδομένων αυτών χρησιμοποιήθηκε SQL βάση δεδομένων καθώς και το εργαλείο phpMyAdmin για την καλύτερη διαχείρισή της. Για την αυτοματοποιημένη καταγραφή των προγνώσεων χρησιμοποιήθηκε ένας αναλυτής βασισμένος σε PHP5, με δυνατότητα πρόσβασης στις εκάστοτε ιστοσελίδες πρόγνωσης, από τις οποίες αντλεί δεδομένα τριών ημερών και έπειτα εισάγονται στη βάση δεδομένων. Για την καταγραφή των μετεωρολογικών τιμών που λαμβάνονται από σημείο ενδιαφέροντος, επιλέγεται η χρήση του LoRa δικτύου με τη βοήθεια του Sondaq ExpLoReq μικροελεγτή και του αισθητήρα θερμοκρασίας και υγρασίας DHT11, όπου συνδέονται με την πλατφόρμα του TheThingsNetwork. Για την προβολή όλων των δεδομένων αναπτύχθηκε μία ιστοσελίδα, στον διακομιστή zafora του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας.

Ακολούθως, υπολογίζεται το μέσο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ τιμών πρόγνωσης και πραγματικών, καθώς και η τυπική απόκλιση θερμοκρασιών και υγρασίας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το σφάλμα θερμοκρασίας κυμαίνεται από  $\pm 1,5$  έως και  $\pm 2$  βαθμούς Κελσίου, ενώ το σφάλμα υγρασίας κυμαίνεται από  $\pm 7,5 - 11\%$ , για όλους τους μήνες Ιανουάριο – Φεβρουάριο. Ωστόσο, για το μήνα Μάρτιο, με τα δεδομένα ως και σήμερα, μισού μήνα δηλαδή, παρατηρείται το σφάλμα θερμοκρασίας να αυξάνεται στην τιμή του  $\pm 4,7$  βαθμούς Κελσίου, γεγονός που δεν είναι ανησυχητικό καθώς όσο προστίθενται τιμές, το σφάλμα θα ελαττώνεται και θα κυμαίνεται και αυτό στην τιμή των  $\pm 1,5-2$  βαθμών Κελσίου. Η τιμή σφάλματος της υγρασίας Μαρτίου παραμένει στα ίδια σχεδόν επίπεδα με τους προηγούμενους μήνες, σε

ποσοστό 11,8, ενώ αναμένεται να μειωθεί και αυτή στα επίπεδα των προηγούμενων μηνών με το πέρας του μήνα.

Πέρα από αυτά, χρησιμοποιείται και το λογισμικό CROPWAT, το οποίο εξάγει τις υδατικές ανάγκες του σόργου, στη συγκεκριμένη περίπτωση, με τα στοιχεία καλλιέργειας και εδάφους να αντλούνται από το διαδίκτυο. Εισάγονται αρχικά τα στοιχεία των τριών μηνών, Ιανουάριος – Μάρτιος 2021, με τα στοιχεία των υπόλοιπων μηνών να αποτελούν τις μέσες τιμές για την περιοχή της Κοζάνης. Επομένως, υπολογίζεται η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς, η οποία χρειάζεται για τον υπολογισμό υδατικών αναγκών στο τέλος. Συμπερασματικά, οι υδατικές ανάγκες του σόργου είναι 196 χιλιοστόμετρα ανά δεκάριο (mm/dec) καλλιέργειας, από τη στιγμή που γίνεται η σπορά του, τον Μάρτιο, μέχρι και τον Ιούλιο.

Συμπερασματικά, το προτεινόμενο σύστημα αποτελεί κάτι καινούργιο και επαναχρησιμοποιήσιμο, καθώς μέχρι και σήμερα στην Ελλάδα δεν υπάρχει κάτι παρόμοιο, δηλαδή ένα σύστημα ή μία ιστοσελίδα, όπου να δίνεται η δυνατότητα καταγραφής προγνώσεων των μετεωρολογικών δεδομένων και στη συνέχεια αυτά να αποθηκεύονται σε μία βάση με σκοπό τη σύγκριση μεταξύ αυτών και των πραγματικών δεδομένων, ή για οποιαδήποτε άλλη χρήση. Έτσι, αφού επιβεβαιωθεί η εγκυρότητα των δεδομένων, χρήσιμο ρόλο παίζει και το λογισμικό CROPWAT, καθώς βοηθά στους υπολογισμούς και λύνει τα χέρια τόσο των ερευνητών όσο και των διαχειριστών.

Όσον αφορά τις μελλοντικές επεκτάσεις, το σύστημα μπορεί να βελτιώνεται συνεχώς, τόσο από άποψη εμφάνισης της σελίδας όσο και των δεδομένων. Κάποια από αυτές είναι η ενσωμάτωση περισσότερων μετεωρολογικών σταθμών πρόβλεψης ακόμα και εκτός Ελλάδας και η χρήση περισσότερων αισθητήρων στον μικροελεγκτή Sdaq ExpLoRer με σκοπό να καταγράφονται περισσότερα στοιχεία και να εξειδικεύεται στην εκάστοτε καλλιέργεια. Σηματική, επίσης, θα ήταν η ενσωμάτωση και ο αυτόματος υπολογισμός σφάλματος και εξατμισοδιαπνοής. Τέλος, σε περίπτωση ενσωμάτωσης σταθμών εκτός Ελλάδας, θα κρίνεται απαραίτητη και η παροχή της σελίδας στα αγγλικά για την διευκόλυνση των χρηστών.



## Βιβλιογραφία

- [1] Pallavi Sethi, Smruti R. Sarangi, 2017, *Internet of Things: Architectures, Protocols, and Applications*, Journal of Electrical and Computer Engineering, Volume 2017, Article ID 9324035
- [2] Abdel Rahman H. Hussein, 2019, *Internet of Things (IOT): Research Challenges and Future Applications*, International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol. 10, No.6
- [3] Keyur K Patel, Sunil M Patel, 2016, *Internet of Things - IOT: Definition, Characteristics, Architecture, Enabling Technologies, Application & Future Challenges*, International Journal of Engineering Science and Computing, Vol. 6 No. 5
- [4] Βικτωρία Αποστολοπούλου, *Τα οφέλη της έξυπνης γεωργίας, εργαλεία για την αποτελεσματικότητα της ΚΑΠ*, (τελευταία ενημέρωση 2017), [https://www.yraithros.gr/kainotomia-technologia-ergaleia-apotelesmatikotita-kap/?cli\\_action=1610653532.431](https://www.yraithros.gr/kainotomia-technologia-ergaleia-apotelesmatikotita-kap/?cli_action=1610653532.431)
- [5] GAIAPEDIA, *Επιφανειακή άρδευση*, (τελευταία ενημέρωση 2015), [http://www.gaiapedia.gr/gaiapedia/index.php/Επιφανειακή\\_άρδευση](http://www.gaiapedia.gr/gaiapedia/index.php/Επιφανειακή_άρδευση)
- [6] Πραξιτέλης Άποφης Γκόφας, *Μέθοδοι Άρδευσης*, (τελευταία ενημέρωση 2016), <https://docplayer.gr/44494000-Epifaneiaki-ardeysi-teinei-na-ekleipsei-ardeysi-me-kataionismo-i-tehniti-vrohi-epikratei-pagkosmia.html>
- [7] Μάριος Βαλαβανίδης, *Εγχειροβελτιωτικά Έργα & Αρδεύσεις, Ενότητα 3: Συστήματα Άρδευσης*, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε. και Μηχ/κών Τοπογραφίας και Γεωπλ/κής Τ.Ε., Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο ΤΕΙ Αθήνας
- [8] Δρ. Μενέλαος Θεοχάρης, *Αρδεύσεις (Θεωρία) - Ενότητα 8: Η άρδευση με κατάκλυση*, [https://eclass.teiep.gr/modules/document/file.php/TEXG108/Διδακτικό\\_Πακέτο/Ενότητα\\_8\\_Η\\_άρδευση\\_με\\_κατάκλυση.pdf](https://eclass.teiep.gr/modules/document/file.php/TEXG108/Διδακτικό_Πακέτο/Ενότητα_8_Η_άρδευση_με_κατάκλυση.pdf)
- [9] Δρ. Μενέλαος Θεοχάρης, *Αρδεύσεις (Θεωρία) - Ενότητα 10: Η άρδευση με αυλάκια*, [https://eclass.teiep.gr/modules/document/file.php/TEXG108/Διδακτικό\\_Πακέτο/Ενότητα\\_10\\_Η\\_άρδευση\\_με\\_αυλάκια.pdf](https://eclass.teiep.gr/modules/document/file.php/TEXG108/Διδακτικό_Πακέτο/Ενότητα_10_Η_άρδευση_με_αυλάκια.pdf)

- [10] Δρ. Μενέλαος Θεοχάρης, *Αρδεύσεις (Θεωρία) - Ενότητα 12: Η άρδευση με καταιονισμό*, [https://eclass.teiep.gr/modules/document/file.php/TEXG108/Διδακτικό\\_Πακέτο/Ενότητα\\_12\\_Η\\_άρδευση\\_με\\_καταιονισμό.pdf](https://eclass.teiep.gr/modules/document/file.php/TEXG108/Διδακτικό_Πακέτο/Ενότητα_12_Η_άρδευση_με_καταιονισμό.pdf)
- [11] GAIAPEDIA, *Τεχνητή βροχή*, (τελευταία ενημέρωση 2015), [http://www.gaiapedia.gr/gaiapedia/index.php/Τεχνητή\\_βροχή](http://www.gaiapedia.gr/gaiapedia/index.php/Τεχνητή_βροχή)
- [12] GAIAPEDIA, *Πότισμα στάγδην*, (τελευταία ενημέρωση 2015), [http://www.gaiapedia.gr/gaiapedia/index.php/Πότισμα\\_στάγδην](http://www.gaiapedia.gr/gaiapedia/index.php/Πότισμα_στάγδην)
- [13] Σωφρόνιος Παπακώστας, *Άρδευση με σταγόνες ή στάγδην άρδευση (drip or trickle irrigation)*, <https://docplayer.gr/23909262-Ardeysi-ue-stagones-i-stagdin-ardeysi-drip-or-trickle-irrigation.html>
- [14] GAIAPEDIA, *Υπόγεια άρδευση*, (τελευταία ενημέρωση 2016), [http://www.gaiapedia.gr/gaiapedia/index.php/Υπόγεια\\_άρδευση](http://www.gaiapedia.gr/gaiapedia/index.php/Υπόγεια_άρδευση)
- [15] Δρ. Μενέλαος Θεοχάρης, *Αρδεύσεις (Θεωρία) - Ενότητα 11: Η υπόγεια άρδευση*, [https://eclass.teiep.gr/modules/document/file.php/TEXG108/Διδακτικό\\_Πακέτο/Ενότητα\\_11\\_Η\\_υπόγεια\\_άρδευση.pdf](https://eclass.teiep.gr/modules/document/file.php/TEXG108/Διδακτικό_Πακέτο/Ενότητα_11_Η_υπόγεια_άρδευση.pdf)
- [16] Δρ. Μενέλαος Θεοχάρης, *Αρδεύσεις (Θεωρία) - Ενότητα 5: Οι ανάγκες των φυτών σε νερό*, [https://eclass.teiep.gr/modules/document/file.php/TEXG108/Διδακτικό\\_Πακέτο/Ενότητα\\_5\\_Οι\\_ανάγκες\\_των\\_φυτών\\_σε\\_νερό.pdf](https://eclass.teiep.gr/modules/document/file.php/TEXG108/Διδακτικό_Πακέτο/Ενότητα_5_Οι_ανάγκες_των_φυτών_σε_νερό.pdf)
- [17] Γεώργιος Νικολάου, 2010, *Οι υδατικές ανάγκες των αρδευόμενων καλλιεργειών*, Υπουργείο Γεωργίας, Φυσικών Πόρων Και Περιβάλλοντος, Τμήμα Γεωργίας, Έκδοση 9
- [18] METEOFARM, *Αγρομετεωρολογία*, (τελευταία ενημέρωση 2019), <https://www.meteofarm.gr/αγρομετεωρολογία>
- [19] Θεόδωρος Κολυδάς, *Αγρομετεωρολογία και ΕΜΥ*, (τελευταία ενημέρωση 2020), <https://kolydas.eu/2020/07/07/αγρομετεωρολογία-και-εμυ/>
- [20] Mohanraj I, Gokul V, Ezhilarasie R, Umamakeswari A, 2017, *Intelligent Drip Irrigation and Fertigation Using Wireless Sensor Networks*, Technological Innovations in ICT for Agriculture and Rural Development (TIAR), IEEE

- [21] Tiberiu Marinescu, Nicoleta Arghira, Daniela Hossu, Ioana Fagarasan, Iulia Stamatescu, Grigore Stamatescu, Vasile Calofir, Sergiu Iliescu, 2017, *Advanced Control Strategies for Irrigation Systems*, International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IEEE
- [22] Joaquín Gutiérrez, Juan Francisco Villa-Medina, Alejandra Nieto-Garibay, and Miguel Ángel Porta-Gándara, 2014, *Automated Irrigation System Using a Wireless Sensor Network and GPRS Module*, Transactions on Instrumentation and Measurement, IEEE
- [23] A.Sathya,B. Arthi, S.Giridharan, M.Karvendan, J. Kishore, 2016, *Automatic control of irrigation system in paddy using WSN*, International Conference on Technological Innovations in ICT For Agriculture and Rural Development (TIAR 2016), IEEE
- [24] Abhilash Shrivastava, Rajesh M., 2018, *Automatic Irrigation System with Data Log Creation*, International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies (ICICCT 2018), IEEE
- [25] Rajendranath Udathu, Dr. V. Berlin Hency, 2015, *Implementation of an Automated Irrigation System*, International Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication systems (ICIIECS), IEEE
- [26] Laurențiu Mihai Ionescu, Alin Gheorghită Mazăre, Gheorghe Șerban, Daniel Visan, Adrian Ioan Lita, 2018, *Intelligent command of an underground irrigation and fertilization system*, International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME), IEEE
- [27] HAMAMI Loubna and NASSEREDDINE Bouchaib, 2018, *Integration of Irrigation System with Wireless Sensor Networks: Prototype and Conception of Intelligent Irrigation System*, World Congress on Engineering and Computer Science (WCECS 2018 Vol I), San Francisco, USA
- [28] Shining Li, Jin Cui, Zhigang Li, 2011, *Wireless Sensor Network for Precise Agriculture Monitoring*, Fourth International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, IEEE
- [29] A. Salam Al-Ammri, Sherin Ridah, 2014, *Smart Irrigation System Using Wireless Sensor Network*, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), Vol. 3 Issue 1

- [30] Mohamed Rawidean Mohd Kassim, Ibrahim Mat, Ahmad Nizar Harun, 2014, *Wireless Sensor Network in Precision Agriculture Application*, Ministry of Science, Technology and Innovation (MIMOS)
- [31] R. Nageswara Rao, B. Sridha, 2018, *IoT based Smart Crop-Field Monitoring and Automation Irrigation System*, Second International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC), IEEE
- [32] Shah Abd Hafiz Zainal Abidin, S. Noorjannah Ibrahim, 2015, *Web-based Monitoring of an Automated Fertigation System: An IoT Application*, 12th Malaysia International Conference on Communications (MICC), IEEE
- [33] Rocío Ballesteros, Jose Fernando Ortega, Miguel Angel Moreno, 2015, *FORETo: New software for reference evapotranspiration forecasting*, Regional Centre of Water Research (CREA), UCLM
- [34] Mahmood A. Khan, Md. Zahidul Islam, Mohsin Hafeez, 2011, *Irrigation Water Demand Forecasting – A Data Pre-Processing and Data Mining Approach based on Spatio-Temporal Data*, 9th Australasian Data Mining Conference (AusDM 11), Vol. 121
- [35] Shi Chunlin, Jin Zhiqing, Feng Huihui, 2010, *A Study on Dynamic Forecast Technique of Regional Rice Productivity*, Third International Symposium on Information Processing, IEEE
- [36] Udit Shandilya, Vidhi Khanduja, 2020, *Intelligent Farming System with Weather Forecast Support and Crop Prediction*, 5th International Conference on Computing, Communication and Security (ICCCS), IEEE
- [37] Jennifer C. Dela Cruz, Meo Vincent C. Caya, Alejandro H. Ballado Jr., Marc Christian R. Aggabao, Eugenie Irene Bacolor, Harley Ann Gayle G. Riego, Mae Erika M. Vergara, 2020, *Evapotranspiration-based Irrigation System for Mustard Green Crop Cultivation using Public Weather Forecast*, 11th IEEE Control and System Graduate Research Colloquium (ICSGRC), IEEE
- [38] Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (EMY), *Προγνώσεις Ελληνικών Πόλεων, Δυτική Μακεδονία, Κοζάνη (συνεχής ενημέρωση)*, [http://www.hnms.gr/emy/el/forecast/meteogramma\\_emy?perifereia=West%20Macedonia&poli=Kozani](http://www.hnms.gr/emy/el/forecast/meteogramma_emy?perifereia=West%20Macedonia&poli=Kozani)
- [39] OpenWeather, <https://openweathermap.org/>

- [40] Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, Μετεωρολογικός σταθμός Κοζάνης (συνεχής ενημέρωση), <http://penteli.meteo.gr/stations/kozani/>
- [41] Sodaq ExpLoRer, <https://support.sodaq.com/Boards/ExpLoRer/>
- [42] Fandom, Internet of Things Wiki, *The Things Network*, (τελευταία ενημέρωση 2017), [https://iot-fpms.fandom.com/wiki/The\\_Things\\_Network](https://iot-fpms.fandom.com/wiki/The_Things_Network)
- [43] <http://zafora.ece.uowm.gr/~ece00896/>
- [44] Ολυμπιάς Βασιλείου, 2018, *Υπολογισμός Εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς Μέθοδος Penman-Monteith FAO 56 (τροποποιημένη)*, <https://docplayer.gr/52123687-Ypologismos-exatmisodiapnois-tis-kalliergeias-anaforas-methodos-penman-monteith-fao-56-tropoioimeni.html>
- [45] Καραγεώργος Δημήτριος, 2002, *Μεθοδολογία έρευνας στις επιστήμες της αγωγής: Μια διδακτική προσέγγιση*, <https://eclass.uoa.gr/modules/document/file.php/PPP345/ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.pdf>
- [46] Simon P. Neill, M. Reza Hashemi, 2018, *Root-Mean-Squared Error*, <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/root-mean-squared-error>
- [47] Κέντρο Ελληνικής Γλώσσας, *Standard Deviation*, <https://www.greek-language.gr/certification/research/lexicon/show.html?id=214>
- [48] Food and Agriculture Organization, *CropWat*, <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/en/>
- [49] GAIAPEDIA, *Καλλιέργεια σόργου*, (τελευταία ενημέρωση 2013), [http://www.gaiapedia.gr/gaiapedia/index.php/Καλλιέργεια\\_σόργου](http://www.gaiapedia.gr/gaiapedia/index.php/Καλλιέργεια_σόργου)
- [50] AGROGEN, *Κτηνοτροφικό Φυτό Σόργο*, (τελευταία ενημέρωση 2018), <https://agrogen.gr/el/geoponikes-sumvoules/104-ktinotrofiko-futo-sorgo>
- [51] Demba Diakhate, 2014, *Net Irrigation Requirements for maize and sorghum in Isra-Nioro, province of Kaolack*, *International Journal of Humanities and Social Science*, Vol. 4, No. 6
- [52] P. V. Shah, R. N. Mistry, J. B. Amin, A. M. Parmar, Moh. R. A. Shaikh, 2015, *Irrigation Scheduling using CROPWAT*, *International Journal of Advance Research in Engineering, Science & Technology (IJAREST)*, Volume 2, Issue 4