

Ιόνιο Πανεπιστήμιο
Σχολή Επιστήμης της Πληροφορίας και Πληροφορικής
Τμήμα Πληροφορικής

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
«Ψηφιακές Εφαρμογές Και Καινοτομία»



Capstone Project

**«Μελέτη Μικροκλίματος και η Επίδρασή του
στην Καταλληλότητα Καλλιέργειών»**

Καυζαλίδου Μυροφόρα

Τριμελής Επιτροπή:

Υπ. Καθηγητής: **Μάρκος Αυλωνίτης** - Επίκουρος Καθηγητής
Μέλος Τριμελούς: **Ειρήνη Κατσαλήρου** - Επίκουρη Καθηγήτρια
Μέλος Τριμελούς: **Κώστας Ποραϊζίδης** - Αναπληρωτής Καθηγητής

Περίληψη. Η βασική θεματολογία της συγκεκριμένης εργασίας είναι η δημιουργία ενός δικτύου αισθητήρων η καταγραφή των τιμών και η επεξεργασία τους μέσω ενός μικροελεγκτή (Arduino). Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζεται μια υλοποίηση της αξιοποίησης των παραπάνω για την ανάλυση καταλληλότητα καλλιεργειών ανάλογα με τις μικροκλιματικές αλλαγές και την εξέταση εδαφικής καταλληλότητας. Για τον σκοπό αυτό το δίκτυο αισθητήρων συνδέεται με ένα υπολογιστικό σύστημα μέσω ασύρματου δικτύου και τα δεδομένα αποστέλλονται με την μορφή χρονοσειρών. Τα δεδομένα αποθηκεύονται σε βάση δεδομένων κατάλληλη για την διαχείριση χρονοσειρών και την οπτική αναπαράσταση τους μέσω ενός πίνακα οπτικοποίησης μέσω του εργαλείου ανοιχτού κώδικα με το όνομα Grafana. Ως αποτέλεσμα είναι εφικτή η δημιουργία ειδοποιήσεων ανάλογα με τα δεδομένα και δημιουργώντας τα αντίστοιχα ερωτήματα (queries). Τέλος παρουσιάζεται πειραματικά ένα μοντέλο πρόβλεψης τιμών (forecasting) και συνολικά παρουσιάζεται η πειραματική παρουσίαση της προσέγγισης και η δοκιμαστική καταγραφή χρονοσειρών.

Λέξεις Κλειδιά: Αγρομετεωρολογία, Καταλληλότητα Καλλιέργειας, Εδαφική Καταλληλότητα, Arduino, IoT

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή.....	4
1.1	Συνεισφορά.....	5
1.2	Παρόμοιες Εργασίες.....	5
1.3	Μεθοδολογία.....	6
1.4	Ενδεικτική Δομή.....	6
2	Μικροκλίματα, περιβαλλοντικές συνθήκες, εδαφική καταλληλότητα και επίδραση στις καλλιέργειες.....	7
2.1	Αξιολόγηση καταλληλότητας γεωργικών εδαφών.....	8
2.2	Οφέλη της ανάλυσης και μελέτης καταλληλότητας εδάφους.....	13
3	Τεχνική Υλοποίηση και Ανάπτυξη της Πλατφόρμας.....	15
3.1	Αισθητήρες, Απόκριση και Διεπαφές.....	17
3.2	Τεχνολογίες και διεπαφές για την Ενσωμάτωση Συστημάτων.....	23
	Πλατφόρμες παρατήρησης και οπτικοποίησης (Grafana).....	26
	Βάσεις δεδομένων κατάλληλες για χρονοσειρές (InfluxDB).....	27
	Αλληλεπίδραση Arduino – InfluxDB μέσω δικτύου WiFi.....	28
4	Παρουσίαση Τεχνικής Υλοποίησης και Πειραματικής Διάταξης.....	36
4.1	Δημιουργία Συνόλου Δεδομένων και Καταγραφή Απαιτήσεων.....	37
4.2	Επίδειξη και αξιολόγηση της Πειραματικής Υλοποίησης.....	39
4.3	Πρόβλεψη Μελλοντικών Τιμών με την Αξιοποίηση Μοντέλων Πρόβλεψης.....	43
5	Συμπεράσματα.....	46
5.1	Μελλοντικές επεκτάσεις.....	46
	Παράρτημα Α.....	48
	Βιβλιογραφία.....	50

1 Εισαγωγή

Με την ταχεία αύξηση πληθυσμού στις αναπτυσσόμενες χώρες, συγκεκριμένα υπολογίζεται πως το ποσοστό πληθυσμού παγκοσμίως, αυξήθηκε κατά 1,05% μέσα στο 2020 σε σχέση με το 2019 και κατά 1,08 το 2019 σε σχέση με το 2018¹, δηλώνει πως απαιτείται όλο και περισσότερη τροφή για την κάλυψη των απαιτήσεων των αυξανόμενων πληθυσμών. Οι γεωργικές καλλιέργειες αποτελούσαν ανέκαθεν τη βασικότερη πηγή τροφοδότησης για το ανθρώπινο είδος. Για την ανάπτυξη των γεωργικών καλλιεργειών απαιτούνται συγκεκριμένες κλιματοεδαφικές συνθήκες, που επηρεάζουν σε σημαντικότατο βαθμό την απόδοση των καλλιεργειών. Η παρούσα μελέτη στοχεύει στην κατανόηση και στη μελέτη αυτών των κλιματοεδαφικών συνθηκών και στη συσχέτιση τους με καλλιέργειες διαφόρων ειδών. Η συγκεκριμένη μελέτη πραγματοποιείται μέσω της εξέτασης της διαδικασίας της καταλληλότητας γεωργικών εδαφών και επομένως του πορίσματος του πόσο κατάλληλα είναι τα γεωργικά εδάφη που εξετάζονται για συγκεκριμένες καλλιέργειες.

Η εξέταση καταλληλότητας καλλιέργειας εμπεριέχει 2 μεγάλα ερευνητικά πεδία. Τις κλιματολογικές συνθήκες και την εξέταση γεωργικής/εδαφικής καταλληλότητας. Καθώς η σύγχρονη τεχνολογία παρέχει πλέον προηγμένες δυνατότητες, γίνεται πλέον εφικτή η πιθανότητα να δημιουργηθούν καλλιέργειες που θα μπορούν να αποδώσουν βέλτιστα ή να καταφέρουν να επικρατήσουν παραμετροποιώντας κάποια χαρακτηριστικά στο περιβάλλον ή στο έδαφος (Tashayo, Honarbakhsh, Akbari, et al. 2020). Ως αποτέλεσμα είναι εφικτή η ανίχνευση των παραμέτρων αυτών που επηρεάζουν τις δυνητικές ευκαιρίες και οι περιορισμοί που υπάρχουν σε μια περιοχή (Kazemi and Akinci 2018). Αντίστοιχα με τα προηγούμενα έχει υπολογιστεί ότι η απόδοση καλλιεργειών θα συρρικνωθεί σε συγκεκριμένες περιοχές και σε αυτές περιοχές προτείνεται ανάλυση εδαφους για την εξέταση της καταλληλότητας γεωργικών καλλιεργειών (Fazel Amiri 2012).

Αντίστοιχες προσεγγίσεις έχουν παρουσιαστεί για την ανίχνευση και ανάλυση εδαφικής καταλληλότητας μέσω Geographic Information Systems (GIS) και οι οποίες έρευνες λαμβάνουν υπόψιν παραμέτρους όπως το pH του εδαφους και την ενδελεχή ανάλυση της απόδοσης καλλιεργειών (Ostovari et al. 2019). Στην συγκεκριμένη έρευνα περιλαμβάνονται εδαφοκλιματικοί παράγοντες, υψομετρικές διαφορές και κατηγορία εδαφους (αμμώδης, πηλώδης, λασπώδης κλπ.)

Οι περισσότερες έρευνες προσεγγίζουν το θέμα μέσα σε ένα πιο γενικό και συνολικό επίπεδο και δεν εξετάζουν συγκεκριμένες καλλιέργειες ώστε να προτείνουν την καταλληλότητα των εδαφών για τις καλλιέργειες. Επομένως δεν αποσκοπούν στη μελέτη συγκεκριμένων εδαφοκλιματικών παραγόντων. Αντίθετα επιδιώκουν την ανάλυση και πρόβλεψη της απόδοσης συγκεκριμένων καλλιεργειών με την αξιοποίηση GIS (AL-Taani, Al-husban, and Farhan 2020; Salas López et al. 2020; Tashayo, Honarbakhsh, Azma, et al. 2020).

¹ worldometers.info

1.1 Συνεισφορά

Στην παρούσα ερευνά προβλέπεται η καταλληλότητα καλλιέργειών διατηρώντας 59 είδη κοινών καλλιέργειών και λαμβάνοντας υπόψιν τα χαρακτηριστικά τους. Με βάση τις μετρήσεις που γίνονται με την αξιοποίηση ενός μικροελεγκτή Arduino και τους συνδεδεμένους αισθητήρες, κατασκευάστηκε μια λύση, αξιοποιώντας τα παραπάνω, με σκοπό την αυτόματη αποστολή ειδοποιήσεων που ενημερώνουν αν κάποια από τις παραπάνω καλλιέργειες είναι εφικτή με βάση τις τιμές που καταγράφηκαν. Για την καταγραφή των τιμών πραγματοποιήθηκε σύνδεση του μικροελεγκτή με διάφορους αισθητήρες και τα δεδομένα που καταγράφονται αποθηκεύονται σε μια βάση δεδομένων. Στη συγκεκριμένη εργασία, επιδιώκεται ο έλεγχος του μικροκλίματος και της εδαφικής καταλληλότητα μέσω της αξιοποίησης εργαλείων που ελέγχουν σε μικρή κλίμακα.

Η διασύνδεση, οργάνωση και οπτικοποίηση των δεδομένων αποτέλεσε βασική παράμετρο της υλοποίησης του συγκεκριμένου έργου και για τον λόγο αυτό επιλέχθηκε το σύστημα διαχείρισης βάσεων δεδομένων με το όνομα InfluxDB που είναι κατάλληλο για την αποθήκευση και διαχείριση χρονοσειρών. Με αυτόν τον τρόπο επισημαίνονται τα πλεονεκτήματα αυτής της προσέγγισης καθώς και τα πλεονεκτήματα του εργαλείου οπτικοποίησης των δεδομένων αυτών με το όνομα Grafana. Με τον συνδυασμό αυτών των εργαλείων και τις μετρήσεις από τον μικροελεγκτή, προσφέρεται μια πρώτη έκδοση μιας πρωτότυπης υλοποίησης. Τέλος για την εκτέλεση όλων αυτών των τεχνολογιών προσφέρονται εύκολες λύσεις που αυξάνουν την φορητότητα και την λειτουργικότητα, την διαλειτουργικότητα, την υψηλή επεκτασιμότητα καθώς και η τεχνική υλοποίηση διακρίνεται από υψηλή απόδοση στις χρονοσειρές.

1.2 Παρόμοιες Εργασίες

Παρόμοιες έρευνες έχουν επιδείξει την δυνατότητα κατάλληλης καταγραφής τιμών από δίκτυα αισθητήρων στην αγροτική παραγωγή (Kumar et al. 2019). Συγκεκριμένα στην έρευνα αυτή δίνεται η δυνατότητα της καταγραφής των τιμών και της προβολής σε μια δικτυακή εφαρμογή ή σε μια εφαρμογή στο κινητό τηλέφωνο. Η έρευνα παρουσιάζει τις μετρήσεις για τον έλεγχο των συνθηκών. Υπάρχουν παράλληλες προσεγγίσεις σε ανοιχτά αποθετήρια σχετικά με την καταγραφή τιμών στην αγροτική παραγωγή²⁻³. Επιπλέον υπάρχουν έρευνες σχετικά με την κατάλληλη αξιοποίηση των καταγραφών για την λίπανση και την καταγραφή της απόδοσης της καλλιέργειας (Akshay et al. 2018). Από την αναζήτησή μας δεν καταφέραμε να ανιχνεύσουμε έρευνες για την καταλληλότητα εδάφους εκτός από την αξιοποίηση των GIS (Vasu et al. 2018). Παρομοίως δεν εντοπίστηκαν έρευνες σχετικά με την καταλληλότητα καλλιέργειας λαμβάνοντας τις μικροκλιματικές αλλαγές και την ολιστική προσέγγιση στην ανάλυση δεδομένων. Ωστόσο εντοπίστηκαν έρευνες για την καταλληλότητα εδάφους με την αξιοποίηση μοντέλων (Ahmad and Goparaju 2017). Παρόμοια μοντέλα δεν εξετάστηκαν

² <https://github.com/jxwleong/iot-agriculturue-monitoring-system>

³ <https://how2electronics.com/iot-based-soil-nutrient-monitoring-with-arduino-esp32>

στην παρούσα εργασία και η αναζήτηση ή αξιοποίησή τους μπορεί να αποτελέσει σημαντική μελλοντική εργασία και επέκταση. Η συγκεκριμένη έρευνα και υλοποίηση εμπεριέχει στοιχεία καινοτομίες καθώς συνδυάζει IoT και σύγχρονες διεπαφές για την κατάλληλη ανάλυση δεδομένων.

1.3 Μεθοδολογία

Για την συγγραφή αυτής της εργασίας αναζητήθηκε κατάλληλη βιβλιογραφία με βάση τις θεματικές της καταλληλότητας καλλιέργειών, εδαφικής καταλληλότητας, περιβαλλοντικές συνθήκες και την επίδραση τους στις καλλιέργειες, καθώς επίσης και πηγές σχετικές με αυτοματισμό και αξιοποίηση νέων τεχνολογιών και IoT στην αγροτική παραγωγή. Με βάση τις έρευνες, αναζητήθηκαν οι κατάλληλες τεχνολογίες που θα μπορούσαν να ενεργοποιηθούν και οι κατάλληλοι αισθητήρες για την καταγραφή τιμών σε σχέση με τις περιβαλλοντικές συνθήκες (υγρασία, θερμοκρασία, ατμοσφαιρική πίεση) και της εδαφικής καταλληλότητας (pH εδάφους, εδαφική υγρασία). Σημαντική έμφαση δόθηκε στην αναζήτηση των υπηρεσιών αυτών που θα μας επιτρέψει την κατάλληλη αποθήκευση και οργάνωση της πληροφορίας, καθώς και της οπτικοποίησης.

Το μεγαλύτερο μέρος της εργασίας αποτέλεσε η αναζήτηση κατάλληλης πληροφορίας για τις κατάλληλες συνθήκες κάθε καλλιέργειας, καθώς και στην διαλειτουργικότητα. Σε σχέση με την τεχνική υλοποίηση αξιοποιήθηκαν τελευταίας τεχνολογίας, state-of-the-art υπηρεσίες όπως το Grafana και η InfluxDB. Με το πέρας αυτής της τεχνολογίας έχει υλοποιηθεί ένα πρωτότυπο (prototype) της προσέγγισης μας με πολλές δυνατότητες επέκτασης τόσο στο ερευνητικό πεδίο (π.χ. ένταξη ερευνητικών μοντέλων), επέκταση στους αισθητήρες αλλά και υψηλή διαλειτουργικότητα με άλλα συστήματα και πηγές πληροφορίας. Στόχος της εργασίας είναι να παρουσιαστεί μια τεχνική υλοποίηση που υπό την κατάλληλη έρευνα να επεκτείνεται στο ευρύ αυτό φάσμα που απευθύνεται ο πυρήνας της έρευνας μας.

1.4 Ενδεικτική Δομή

Στην ενότητα 2 παρουσιάζονται οι επικρατέστεροι και σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν τις καλλιέργειες, καθώς και πληροφορίες σχετικά με το μικρόκλιμα και την εδαφική καταλληλότητα. Στην ενότητα 3 παρουσιάζεται η τεχνική υλοποίηση, ενώ στην ενότητα 4 παρουσιάζεται το πειραματικό μέρος και τέλος στην ενότητα 5 καταγράφονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν μέσω του συγκεκριμένου έργου, καθώς και κάποιες πιθανές μελλοντικές επεκτάσεις του.

2 Μικροκλίματα, περιβαλλοντικές συνθήκες, εδαφική καταλληλότητα και επίδραση στις καλλιέργειες

Τα φυτά, ως αυτότροφοι οργανισμοί, χρησιμοποιούν ανόργανους πόρους από το περιβάλλον, με σκοπό να συνθέσουν τα οργανικά μόρια, τα οποία είναι απαραίτητα για την ανάπτυξή τους. Η θεμελιώδης πρόκληση που αντιμετωπίζουν όλα τα επίγεια φυτά έχοντας αντίκτυπο και στην απόδοση των καλλιεργειών ανεξαρτήτως, σχετίζεται με τη συγκέντρωση όλων των απαραίτητων πόρων που θα οδηγήσουν στην διαδικασία της αυτοτροφίας και στην ολοκληρωμένη ανάπτυξή τους.

Ζωτικής σημασίας για την ποιότητα και την απόδοση των καλλιεργειών είναι η αλληλεπίδραση που έχουν οι διάφοροι περιβαλλοντικοί παράγοντες και οι διακυμάνσεις αυτών, πάνω στην ανάπτυξη των φυτών. Συγκεκριμένα οι παράγοντες αυτοί διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

1. Πόροι
2. Στρεσογόνοι παράγοντες
3. Τοξίνες

Κατηγορία Περιβαλλοντικών Παραγόντων	Περιβαλλοντικοί Παράγοντες	
Πόροι	Φως CO ₂ Νερό	Άζωτο Φώσφορος Άλλα ευεργετικά στοιχεία
Στρεσογόνοι παράγοντες	Θερμοκρασία Περιεκτικότητα σε άλατα	pH Εδάφους
Τοξίνες	Ανόργανες ουσίες Οργανικές ουσίες	Ατμοσφαιρική ρύπανση

Πίνακας 1. Ταξινόμηση περιβαλλοντικών παραγόντων που επηρεάζουν την ανάπτυξη των φυτών

Οι πόροι καθορίζονται από την αναγκαιότητα τους για την διαδικασία της παραγωγής βιομορίων που είναι απαραίτητοι για την ύπαρξη και λειτουργία των φυτών. Οι διαφορετικοί στρεσογόνοι παράγοντες αφορούν συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες οι οποίες μπορούν να έχουν αρνητικό αντίκτυπο στην ανάπτυξη των φυτών. Οι στρεσογόνοι παράγοντες αντιστοιχούν στις ακραίες θερμοκρασίες, είτε υψηλές, όπου μπορεί να προκληθεί ξηρασία, είτε χαμηλές, ώστε να μην μπορεί να ευδοκιμήσει το είδος του συγκεκριμένου φυτού (Κουτσούγερας και Βασίλειος, 2019).

Η υψηλή συγκέντρωση αλάτων στο έδαφος, αποτελεί ένα σοβαρό παράγοντα αναστολής της φυτικής ανάπτυξης, καθώς μπορεί να προκληθεί αύξηση της υδραυλικής ανθεκτικότητας των ριζών και φύλλων, μεταβολή του επιπέδου των ορμονών του φυτού, δυσμενής επίδραση στους φωτοσυνθετικούς μηχανισμούς και ανταγωνισμός μεταξύ των ιόντων καθώς και προβλήματα θρέψης (Κουκουλάκης 2015). Το έδαφος μπορεί να είναι όξινο, ουδέτερο ή αλκαλικό. Κάθε είδος φυτού ευδοκιμεί ανάμεσα σε ένα συγκεκριμένο εύρος τιμών οξύτητας pH του εδάφους, ενώ τα περισσότερα φυτά προτιμούν συνθήκες εδάφους με μέση οξύτητα, δηλαδή ουδέτερου εδάφους (pH 5.5 - 7.5).

Σε παρακάτω ενότητα δίνονται αναλυτικά οι τιμές pH για κάθε καλλιέργεια που μελετήθηκε, ξεχωριστά. Η οξύτητα του εδάφους επηρεάζει την ικανότητα των φυτικών οργανισμών για θρέψη, δηλαδή τη διαλυτότητα των θρεπτικών στοιχείων και πόρων, καθώς και την απορρόφηση αυτών.

Κάθε ζωντανός οργανισμός του πλανήτη μας, εκτίθεται σε ξενοβιοτικά, δηλαδή χημικές ή άλλες ουσίες που συνήθως δεν βρίσκονται στα οικοσυστήματα και συσσωρεύονται σε υψηλή συγκέντρωση στο βιολογικό σύστημα. Οι διάφορες εκπομπές ρύπων, αποτελούν ένα παγκόσμιο φαινόμενο, που προκύπτει ως αποτέλεσμα των ανθρώπινων δραστηριοτήτων αστικοποίησης και εκβιομηχάνισης. Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες όμως, δεν αποτελούν τη μοναδική πηγή μόλυνσης, καθώς οι ρύποι μπορούν επίσης να προκληθούν από διάφορα γεωφυσικά φαινόμενα και από εκπομπές μορίων βιολογικής προέλευσης, όπως πτητικά και οργανικά μόρια). Η απελευθέρωση των επιβλαβών αυτών ουσιών και ρύπων, έχει ως αντίκτυπο μεγάλες επιπτώσεις, βραχυπρόθεσμες είτε μακροπρόθεσμες, στο φυσικό περιβάλλον και στους φυτικούς οργανισμούς και εν συνέπεια στην ίδια τη γεωργία και της καλλιέργειας. Για τη μείωση των κινδύνων που προκαλεί η έκθεση στα ξενοβιοτικά, θα πρέπει να υπάρξει ειδική μέριμνα, σε παγκόσμια κλίμακα, σε τεχνικές πρόληψης και αντιμετώπισης (Parihar et al. 2016).

Στη παρούσα μελέτη, εξετάζονται κάποιοι συγκεκριμένοι περιβαλλοντικοί παράγοντες, ως αποτέλεσμα επίδρασης στην ανάπτυξη των φυτικών καλλιεργήσιμων οργανισμών. Συγκεκριμένα, εξετάζονται οι τιμές της θερμοκρασίας, της υγρασίας της ατμόσφαιρας, της υγρασίας και της οξύτητας του εδάφους και οι τιμές φωτεινότητας. Σε παρακάτω ενότητα θα γίνει πλήρης ανάλυση του τρόπου καταγραφής των συγκεκριμένων τιμών και η συσχέτιση τους με την ανάπτυξη διαφορετικών καλλιεργειών.

Στην παρακάτω ενότητα παρουσιάζεται η διαδικασία της αξιολόγησης των γεωργικών εδαφών, η οποία στάθηκε βάση για την παρούσα εργασία και αναλύονται οι εδαφοκλιματικοί παράγοντες που μελετώνται με σκοπό την αξιολόγηση της καταλληλότητας εδαφών για την ανάπτυξη συγκεκριμένων καλλιεργειών.

2.1 Αξιολόγηση καταλληλότητας γεωργικών εδαφών

Η μελέτη αξιολόγησης καταλληλότητας γεωργικών εδαφών αποτελεί μια μέθοδο αξιολόγησης γης, η οποία μελετάει και προσδιορίζει τους κύριους περιοριστικούς παράγοντες για την δυνατότητα φύτευσης συγκεκριμένων καλλιεργειών. Η διαδικασία της αξιολόγησης καταλληλότητας εδαφών, περιλαμβάνει ποιοτική και ποσοτική αξιολόγηση. Στις ποιοτικές αξιολογήσεις καταλληλότητάς εδαφών, εκτιμώνται πληροφορίες σχετικά με το κλίμα, την υδρολογία, την τοπογραφία, τη βλάστηση καθώς και τις ιδιότητες του εδάφους, ενώ στη ποσοτική αξιολόγηση, τα αποτελέσματα είναι πιο λεπτομερή και εκτιμάται και η απόδοση. Η επιστήμη που ασχολείται με την καταλληλότητα των γεωργικών εδαφών είναι κοινή με την επιστήμη της αγρομετεωρολογίας, καθώς ο πυρήνας και των δύο επιστημών είναι η μελέτη των παραγόντων του περιβάλλοντος που επιδρούν στη γεωργική παραγωγή και εξετάζουν τη διασύνδεση τους με το περιβάλλον (Sivakumar, Gommers, and Baier 2000).

Η μελέτη της καταλληλότητας και της επάρκειας των γεωργικών εδαφών αποτελεί μια διεπιστημονική επιστήμη που σχηματίζει μια γέφυρα μεταξύ φυσικών και βιολογικών επιστημών, αυτών που ασχολούνται με την καλλιέργεια φυτών και αυτών που ασχολούνται με τις κλιματικές συνθήκες. Η συγκεκριμένη επιστήμη ασχολείται με ένα πολύπλοκο σύστημα που περιλαμβάνει φυτά, έδαφος, ατμόσφαιρα, γεωργική διαχείριση και άλλα τα οποία αλληλοεπιδρούν δυναμικά σε διάφορες χωρικές και χρονικές κλίμακες. Οι μέθοδοι της συγκεκριμένης διαδικασίας χρησιμοποιούν πληροφορίες και δεδομένα από επιστήμες όπως φυσική και χημεία του εδάφους, υδρολογία, μετεωρολογία, φυσιολογία των φυτών, γεωπονία και γεωλογία. Μελετάει τις πτυχές αυτών των επιστημών που έχουν άμεση σχέση με τη γεωργία, λόγω της αλληλεπίδρασής τους με τα φυτά και τις διαδικασίες της γεωργικής παραγωγής (Taghizadeh-Mehrjardi et al. 2020).

Σκοπός της μελέτης σχετικά με την καταλληλότητα των γεωργικών εδαφών είναι, η παροχή πληροφοριών για το σχεδιασμό γεωργικής γης, αλλά και η κατανόηση των σχέσεων μεταξύ των κλιματοεδαφικών συνθηκών με τις υφιστάμενες χρήσεις των γεωργικών εδαφών. Γίνεται κατανοητό πως η αξιολόγηση μιας περιοχής για τις δυνατότητες απόδοσης μιας καλλιέργειας, απαιτεί πρώτα από όλα την αξιολόγηση των εδαφικών και κλιματικών χαρακτηριστικών. Ωστόσο για τη σωστή χρήση των εδαφών, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η γνώση σχετικά με το ρόλο του κλίματος και της σύστασης του εδάφους που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για τις γεωργικές ανάγκες.

Αβιοτικοί περιβαλλοντικοί παράγοντες

Τα τελευταία χρόνια λόγω της κλιματικής αλλαγής που έχει προκληθεί στο πλανήτη μας, έχει παρατηρηθεί σημαντική αύξηση των απρόβλεπτων καιρικών συνθηκών και άλλων μετεωρολογικών φαινομένων, με αποτέλεσμα να έχει δημιουργηθεί μια παγκόσμια σύγχυση στον αγροτικό τομέα, όσο αφορά την καταλληλότητα των καλλιεργειών. Η συγκεκριμένη σύγχυση, αύξησε την ανάγκη για περισσότερα ακριβή καιρικά και κλιματικά δεδομένα, με στόχο την μείωση της μεγάλης απόκλισης που έχει δημιουργήσει η κλιματική αλλαγή, στην απόδοση των καλλιεργειών σε σχέση με την αναμενόμενη. Για τη συλλογή των συγκεκριμένων δεδομένων απαιτείται η μελέτη των παρακάτω παραγόντων, ενώ παρουσιάζεται η συσχέτιση τους με την ανάπτυξη των φυτών.

Θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Η θερμοκρασία είναι ένας πρωταρχικός παράγοντας που επηρεάζει το ρυθμό ανάπτυξης των φυτών. Μικρές αλλαγές στη θερμοκρασία περιβάλλοντος μπορεί να επηρεάσουν μια ευρεία γκάμα διεργασιών καθ' όλη τη διάρκεια του φυτού, από τη βλάστηση των σπόρων και την αρχιτεκτονική των φυτών έως την ανθοφορία και την αναπαραγωγική ανάπτυξη. Η έκθεση σε ακραίες για την καλλιέργεια, θερμοκρασίες, μπορεί να επηρεάσει αρνητικά το φυτό και την επιβίωσή του. Τα τρέχοντα κλιματικά μοντέλα προβλέπουν μελλοντικές αυξήσεις της παγκόσμιας θερμοκρασίας, με δυνητικά καταστροφικές συνέπειες για την παραγωγή καλλιεργειών. Οι σχετικά μέτριες αυξήσεις στη θερμοκρασία περιβάλλοντος ($<6^{\circ}\text{C}$), μπορεί να προκαλέσει δραματικές αλλαγές στην

ανάπτυξη των φυτών, μειώνοντας τη συγκομιδή και την απόδοση παραγωγής. Η αυξημένη θερμοκρασία επιταχύνει επιπλέον την άνθηση, προωθώντας ανάπτυξη λουλουδιών εκτός συγχρονισμού με κύκλους ζωής επικονιαστών (Blackwell, 2014). Σε μια καλλιέργεια, οι συνεχόμενες αυξημένες θερμοκρασίες, μπορούν να προκαλέσουν μόνιμη βλάβη στην ανάπτυξη της (Hasanuzzaman et al. 2013). Η θερμική έξαρση, είναι επιβλαβής για τα στάδια ανάπτυξης των φυτών, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής και της λειτουργίας των αναπαραγωγικών οργάνων. Επιπλέον, οι ακραίες θερμικές συνθήκες, μπορεί να οδηγήσουν σε απρόβλεπτες επιδημίες ασθενειών των φυτών, ολόκληρων καλλιεργειών.

Καθώς οι ακραίες υψηλές τιμές θερμοκρασίας δεν αποτελούν θετικό παράγοντα για την ανάπτυξη των καλλιεργειών, η έκθεση σε ακραίες χαμηλές τιμές θερμοκρασίας, αποτελούν επίσης αρνητικό παράγοντα για τις καλλιέργειες. Τις περισσότερες φορές δεν δύνανται η δυνατότητα να αναπτυχθούν, συγκεκριμένες καλλιέργειες, ενώ σε περιπτώσεις που η έκθεση σε τιμές ψύχους πραγματοποιηθούν μετά από την ανάπτυξη των φυτών, υπάρχει υψηλός κίνδυνος για μεγάλες απώλειες από την απόδοση των καλλιεργειών. Διάφοροι τύποι καλλιεργειών τροπικής ή υποτροπικής προέλευσης τραυματίζονται ή σκοτώνονται από χαμηλές θερμοκρασίες και εμφανίζουν διαφορετικά συμπτώματα όπως κακή βλάστηση, αναισθητοποιημένα φυτά, χλώρωση ή επιβράδυνση της ανάπτυξης, μειωμένη διαστολή των φύλλων και μαρασμό και νέκρωση. Γενικά, τα φυτά αποκρίνονται με αλλαγές στο μοτίβο της γονιδιακής έκφρασης και της πρωτεϊνικής σύνθεσης όταν εκτίθενται σε χαμηλές θερμοκρασίες. Γενικά, τα φυτά από εύκρατες κλιματικές περιοχές θεωρούνται ότι είναι περισσότερα ανθεκτικά στη ψύξη με μεταβλητό βαθμό σε σύγκριση με τις τροπικές και υπο-τροπικές καλλιέργειες και μπορούν να αυξήσουν την ανοχή τους σε χαμηλές θερμοκρασίες με ψυχρό εγκλιματισμό (Wani et al. 2016).

Υγρασία ατμόσφαιρας.

Από τους προηγούμενους αιώνες είχε παρατηρηθεί η επίδραση της υγρασίας της ατμόσφαιρας στην ανάπτυξη των φυτών. Για την μέτρηση της ατμοσφαιρικής υγρασίας, χρησιμοποιείται ο δείκτης σχετικής υγρασίας (RH), εκφρασμένη σε ποσοστό, που καθορίζει την αναλογία μεταξύ του υδρατμού προς τη συνολική ποσότητα που μπορεί να διατηρηθεί σε κορεσμό σε δεδομένη θερμοκρασία και ατμοσφαιρική πίεση.

Σχετικά με την υγρασία στη γεωργία, υπάρχει ένας άλλος όρος για τον προσδιορισμό της απώλειας νερού των φυτών. Είναι το έλλειμμα πίεσης ατμών (VPD) και εκφράζει τη διαφορά μεταξύ της τάσης ατμών εντός της άδειας σε σύγκριση με την πίεση ατμών του αέρα. Επηρεάζει άμεσα το άνοιγμα και το κλείσιμο των φορτισμένων δομών ρύθμισης της ανταλλαγής αερίων κατά την αναπνοή, που ονομάζονται στοματικά. Εάν το DPV πέσει, οι στοιβάδες θα κλείσουν μειώνοντας την κατανάλωση νερού του φυτού και κατά συνέπεια την απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών. Για τον λόγο αυτό είναι ζωτικής σημασίας για τα φυτά, να αναπτυχθούν υγιή, ώστε να υπάρξουν υψηλά ποσοστά απόδοσης της καλλιέργειας κατά την συγκομιδή. Όταν ο δείκτης σχετικής υγρασίας RH είναι αρκετά χαμηλός, μπορεί να παρατηρηθεί, μέχρι και ολικός μαρασμός στα φυτά. Αντίθετα όταν η υγρασία είναι υπερβολική, μειώνει τον ιδρώτα και την απορρόφηση των θρεπτικών ουσιών. Εκτός αυτού, μπορεί να προκαλέσει οίδημα (ένας

τύπος μη φυσιολογικής κατακράτησης νερού) και να μειώσει την επιτυχή επικονίαση (Bunce 1984).

Φωτεινότητα.

Οι περισσότεροι φυτικοί οργανισμοί των επίγειων οικοσυστημάτων, είναι φωτοαυτοτροφικοί, έτσι το φως αποτελεί τον θεμελιώδη πόρο για την ανάπτυξή τους και ολόκληρος ο κύκλος ζωής τους, επηρεάζεται από το συνεχώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον φωτός. Το φως του ηλίου, παράγει την απαραίτητη ενέργεια η οποία χρησιμοποιείται για τη σύνθεση οργανικών ενώσεων που βασίζονται κυρίως στον άνθρακα (C), το υδρογόνο (H), τα άτομα οξυγόνου (O), αζώτου (N), θείου (S) και φωσφόρου (P). Οι οργανικές αυτές ενώσεις περιλαμβάνουν τους υδατάνθρακες, τα αμινοξέα και τα λιπίδια που είναι απαραίτητα για όλους σχεδόν τους οργανισμούς των χερσαίων οικοσυστημάτων (Cetin and Sevik 2016).

Καθώς οι θερμοκρασίες αυξάνονται και μειώνονται οι βροχοπτώσεις, η ανάπτυξη των συστημάτων καλλιέργειας, γίνεται πιο δύσκολη. Εδαφοαποικοδομητικές διεργασίες όπως η οργανική ύλη, μειώνονται και η διάβρωση του εδάφους επιταχύνεται, καθώς αυξάνονται οι θερμοκρασίες. Η πιθανότητα διάβρωσης του ανέμου επίσης αυξάνεται σε θερμότερες περιοχές, με αποτέλεσμα, αλλαγές στην ατμοσφαιρική υγρασία και γενικά, παρατηρούνται, μεγαλύτερα ποσοστά ξηρασίας (Sivakumar, Gommers, and Baier 2000).

Υγρασία εδάφους.

Η ξηρασία αναφέρεται σε μια κατάσταση στην οποία η ποσότητα του διαθέσιμου νερού μέσω βροχοπτώσεων ή άρδευσης είναι ανεπαρκής για να καλύψει τις ανάγκες εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας. Τα αποτελέσματα της υγρασίας ή της ξηρασίας αντιπροσωπεύουν περίπου 30-70% της απώλειας παραγωγικότητας των καλλιεργειών κατά την περίοδο ανάπτυξης των καλλιεργειών (Kumaraswamy and Shetty 2016). Η έκθεση σε ξηρασία μπορεί να προκαλέσει συσσώρευση αβισικού οξέος (ABA) σε κύτταρα του φυτού, για να προκαλέσει στοματικό κλείσιμο. Η ξηρασία οδηγεί επίσης σε ανώμαλο μεταβολισμό που μπορεί να μειώσει την ανάπτυξη των φυτών ή και να προκαλέσει το θάνατο ολόκληρου του φυτού. Η ξηρασία έχει διαφορετικά αποτελέσματα σε διαφορετικά στάδια της ανάπτυξης των φυτών με το πιο ευαίσθητο στάδιο ανάπτυξης να είναι η περίοδος ανθοφορίας.

Σε αντίθετες συνθήκες από την ξηρασία του εδάφους, ο κορεσμός σε υγρασία, με άλλα λόγια, οι πλημμύρες, αποτελούν ένα σημαντικό αρνητικό παράγοντα για την ανάπτυξη καλλιεργειών και τις επηρεάζουν σε διαφορετικό βαθμό ανάλογα με το βάθος του νερού και την διάρκεια του. Η υπερχειλίση του εδάφους βλάπτει τις περισσότερες καλλιέργειες, με εξαίρεση το ρύζι, που όπως και άλλα είδη υγροτόπων ευδοκimeί όταν τα φυτά δεν βυθίζονται πλήρως. Λαμβάνοντας υπόψη το μεταβαλλόμενο κλίμα, οι πλημμύρες έχουν γίνει συχνές σε πολλές πεδινές και καλλιεργημένες περιοχές κάθε χρόνο και προκαλούν πολλές ζημιές στον άνθρωπο, συμπεριλαμβανομένων των απωλειών στις αποδόσεις των καλλιεργειών και των τροφίμων. Οι πλημμύρες συμβαίνουν

συνήθως με έντονες βροχοπτώσεις, κακή αποστράγγιση του εδάφους και κακές πρακτικές άρδευσης. Η υπερχειλίση του εδάφους έχει αρνητικές επιπτώσεις στην παραγωγή καλλιεργειών ειδικά για είδη ξηράς γης (όπως τα περισσότερα δημητριακά, όσπρια, κόνδυλοι κ.λπ.) που περιλαμβάνουν πολλές καλλιέργειες.

Η περίσσεια ποσότητα νερού οδηγεί σε πολύπλοκες αλλαγές στη φυσιολογία των φυτών κυρίως για μη προσαρμοσμένες καλλιέργειες. Αυτό οδηγεί σε περιορισμό της διάχυσης του αερίου μεταξύ του φυτού και του περιβάλλοντός του (συσσώρευση υψηλού CO₂ και αιθυλενίου στη ριζική ζώνη με πολύ χαμηλό O₂), υποξία (επίπεδα οξυγόνου περιορίζουν τη μιτοχονδριακή αναπνοή) και ανοξία (η αναπνοή αναστέλλεται πλήρως), συχνά αυξημένη κινητοποίηση των «φυτοτοξινών» σε μειωμένα εδάφη, οδηγώντας σε κακό μεταβολισμό των ριζών (αδυναμία απορρόφησης θρεπτικών ουσιών), έλλειψη ενέργειας εντός των φυτικών κυττάρων, περιορισμός της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας και επομένως κακή ανάπτυξη ή θάνατο των φυτικών ριζών και βλαστών. Ο πρώτος περιορισμός για την ανάπτυξη των φυτών υπό συνθήκες πλημμύρας είναι η άμεση έλλειψη οξυγόνου απαραίτητη για τη διατήρηση της αερόβιας αναπνοής των βυθισμένων ιστών (Voeselek et al. 2004). Τέλος η κατάσταση πλημμύρας μπορεί να ταξινομηθεί σε δύο κατηγορίες: υπερχειλίση όπου επηρεάζεται μόνο το ριζικό σύστημα μέσα στο έδαφος και βύθιση, όπου επίσης μέρη ή ολόκληρος ο βλαστός είναι κάτω από το νερό .

Ιδιότητες εδάφους.

Η γονιμότητα του εδάφους είναι η ικανότητα ενός εδάφους να παρέχει τα θρεπτικά συστατικά που απαιτούνται για τη βέλτιστη ανάπτυξη μιας συγκεκριμένης καλλιέργειας. Η γονιμότητα του εδάφους είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες στην παραγωγή καλλιεργειών. Έχει την ικανότητα να υποστηρίξει την παραγωγή καλλιεργειών που καθορίζεται από ολόκληρο το φάσμα των φυσικών, χημικών και βιολογικών χαρακτηριστικών της. Η γονιμότητα του εδάφους είναι μια σημαντική πτυχή της παραγωγικότητας του εδάφους, δεδομένου ότι αποτελεί σημαντική πηγή μικροθρεπτικών συστατικών Σίδηρος (Fe), Βόριο (B), Χλώριο (Cl), Μαγγάνιο (Mn), Ψευδάργυρος (Zn), Χαλκός (Cu), Μολυβδένιο (Mo), Νικέλιο (Ni) και μακροθρεπτικά συστατικά Άζωτο (N), Φώσφορος (P), Κάλιο (K), Ασβέστιο (Ca), Θείο (S), Μαγνήσιο (Mg), Άνθρακας (C) , Οξυγόνο (O), Υδρογόνο (H) που απαιτούνται για την ανάπτυξη των φυτών. Η έλλειψη αυτών των θρεπτικών ουσιών στο έδαφος προκαλεί ελλείψεις στα φυτά και η περίσσεια τους οδηγεί σε τοξικότητες, οι οποίες έχουν αρνητικές επιπτώσεις στις αποδόσεις των καλλιεργειών (Wang 2014). Η καταμέτρηση αντίστοιχων τιμών μπορεί να γίνει αξιοποιώντας αισθητήρες NPK ⁴ για τα συστατικά του εδάφους.

Είναι εφικτό να χρησιμοποιηθούν διάφοροι παράμετροι για τον προσδιορισμό της κατάστασης γονιμότητας ενός εδάφους. Μεταξύ αυτών, ο δείκτης γονιμότητας του εδάφους (soil fertility index) βρέθηκε να είναι ο πιο χρήσιμος δείκτης που βοηθά στη βελτίωση της βιώσιμης διαχείρισης της χρήσης γης και στην επίτευξη οικονομικής απόδοσης στην παραγωγή καλλιεργειών . Σε αρκετές περιοχές του κόσμου, ορισμένες καλλιεργήσιμες εκτάσεις έχουν υποστεί υποβάθμιση εδάφους που προκαλείται από τον

⁴ <https://how2electronics.com/measure-soil-nutrient-using-arduino-soil-npk-sensor/>

ανθρώπινο παράγοντα με αποτέλεσμα την κακή παραγωγή ανά μονάδα έκτασης συγκομιδής. Περίπου το 40% των γεωργικών εκτάσεων επηρεάζονται από την υποβάθμιση της ανθρώπινης γης. Η εντατική γεωργική παραγωγή που χαρακτηρίζεται από υπερβολική χρήση λιπασμάτων και χημικών ουσιών χωρίς να τηρείται η γεωργική αειφορία οδηγεί σε μείωση της υγείας του εδάφους, υποβάθμιση της γης και σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα (Shah and Wu 2019).

Οξύτητα του εδάφους.

Η οξύτητα του εδάφους (pH), αποτελεί από τις σημαντικότερες πτυχές και παράγοντα για την θρέψη και ανάπτυξη των καλλιεργειών, καθώς έχει άμεση επίδραση στα φυτά και επηρεάζει άμεσα τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών που λαμβάνουν τα φυτά. Η ανάπτυξη των φυτών και οι περισσότερες διεργασίες εδάφους ευνοούνται από εύρος pH εδάφους 5,5 - 6,5.

Τα όξινα εδάφη ιδιαίτερα στην υποεπιφάνεια θα περιορίσουν επίσης την πρόσβαση των ριζών στο νερό και τα θρεπτικά συστατικά. Σε πολύ όξινα εδάφη, όλα τα κύρια θρεπτικά συστατικά των φυτών - άζωτο, φώσφορος, κάλιο, θείο, ασβέστιο, μαγγάνιο και επίσης το ιχνοστοιχείο μολυβδαίνιο ενδέχεται να μην είναι διαθέσιμα ή να διατίθενται μόνο σε ανεπαρκείς ποσότητες. Τα φυτά μπορούν να παρουσιάσουν συμπτώματα ανεπάρκειας παρά την επαρκή εφαρμογή λιπάσματος. Άλλη μια σημαντική πτυχή που επηρεάζει η οξύτητα του εδάφους τη ανάπτυξη των καλλιεργειών αφορά την τοξικότητα του αλουμινίου και τις επιπτώσεις αυτού. Όταν μειώνεται το pH του εδάφους, το αλουμίνιο καθίσταται διαλυτό.

Μια μικρή πτώση του pH μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλη αύξηση του διαλυτού αλουμινίου. Σε αυτήν τη μορφή το αλουμίνιο επιβραδύνει την ανάπτυξη των ριζών, περιορίζοντας την πρόσβαση σε νερό και θρεπτικά συστατικά. Η κακή ανάπτυξη των καλλιεργειών και των βοσκοτόπων, η μείωση της απόδοσης και το μικρότερο μέγεθος κόκκων εμφανίζονται ως αποτέλεσμα ανεπαρκούς νερού και διατροφής. Οι επιπτώσεις της τοξικότητας από αλουμίνιο στις καλλιέργειες είναι συνήθως πιο αισθητές σε εποχές με ξηρό φινίρισμα, καθώς τα φυτά έχουν περιορισμένη πρόσβαση σε αποθηκευμένο νερό του εδάφους για γέμιση σιτηρών. Ακόμα τα χαμηλά ποσοστά pH στο έδαφος, μπορούν να επηρεάσουν τη μικροβιακή δραστηριότητα (Singh, Prasad, and Singh 2016).

2.2 Οφέλη της ανάλυσης και μελέτης καταλληλότητας εδάφους

Η μελέτη των εδαφοκλιματικών παραγόντων πάνω στις γεωργικές καλλιέργειες έχει να προσφέρει πολλά οφέλη, καθώς δεν θα πρέπει να τους μελετάμε μονοδιάστατα ως απειλή αλλά και ως πόρους για τις καλλιέργειες μας, με σκοπό τη βελτίωση αυτών. Κάποια από τα οφέλη αυτά είναι :

- Χαρτογράφηση και σύγκριση των απαιτήσεων μιας καλλιέργειας με τις συνθήκες που επικρατούν στο συγκεκριμένο μικροκλίμα, με στόχο την βέλτιστη απόδοση της καλλιέργειας.

- Συμβάλει στη ρύθμιση του κύκλου του φυτού, της ανάπτυξης και της απόδοσης των καλλιεργειών.
- Προβλέπει ακραία φαινόμενα και καταστάσεις για τα φυτά, ώστε να τα προστατέψει
- Μπορεί να φανεί χρήσιμη στο σχεδιασμό άρδευσης και αρδευτικού συστήματος.
- Ωφελεί στη ρύθμιση των ασθενειών των φυτών.
- Ωφελεί στη τροποποίηση του μικροκλίματος που αναπτύσσεται μια καλλιέργεια και της βελτίωσης της υγείας των φυτών

3 Τεχνική Υλοποίηση και Ανάπτυξη της Πλατφόρμας

Το διαδίκτυο των πραγμάτων, Internet of Things (IoT), περιγράφει το δίκτυο φυσικών αντικειμένων που είναι ενσωματωμένα με αισθητήρες, λογισμικό και άλλες τεχνολογίες με σκοπό τη σύνδεση και την ανταλλαγή δεδομένων με άλλες συσκευές και συστήματα μέσω του διαδικτύου. Η ιδέα του IoT διασφαλίζει πως κάθε συσκευή είναι προσβάσιμη μέσω του διαδικτύου (Markovic et al. 2015). Στις μέρες μας, συνδεδεμένες συσκευές συλλέγουν και μοιράζονται δεδομένα από όλο τον κόσμο, ενώ δισεκατομμύρια συσκευές συνδέονται στο διαδίκτυο όπου διαμοιράζονται πληροφορίες μεταξύ τους και χρησιμοποιούνται από εμάς στη καθημερινή μας ζωή. Το IoT αποτελεί ένα τρόπο κατανόησης της ψηφιοποίησης του κόσμου μας και βασίζεται σε μια θεμελιώδη έννοια, αυτή ενός συνδεδεμένου κόσμου, που περιλαμβάνει οποιαδήποτε οντότητα έχει τη δυνατότητα σύνδεσης. Για παράδειγμα το IoT περιλαμβάνει λαμπτήρες, κινητά τηλέφωνα, έξυπνα ρολόγια, πλυντήρια, αυτοκίνητα, κτίρια και ανθρώπους. Όλες αυτές οι διασυνδεδεμένες οντότητες, επικοινωνούν μεταξύ τους χρησιμοποιώντας διάφορες τεχνολογίες και πρωτόκολλα και ανταλλάσσουν πληροφορίες μέσω του διαδικτύου.

Οι εφαρμογές που προσφέρει η συγκεκριμένη τεχνολογία ποικίλουν, λόγω κάποιων παραγόντων, όπως, η μειωμένη τιμή των διαφόρων ηλεκτρονικών στις μέρες μας, οι προηγμένες τεχνολογίες και αυξημένη πρόσβαση στο διαδίκτυο, οδήγησαν στη χρήση του IoT σε διάφορους τομείς. Μερικοί από τους οποίους είναι:

- σε εργοστάσια, όπου η προσθήκη αισθητήρων σε μηχανήματα, επιτρέπει την πρόβλεψη συντήρησης τους, η οποία ελαχιστοποιεί τη διακοπή της λειτουργίας των μηχανημάτων και μειώνει πιθανό οικονομικό αντίκτυπο που θα προκαλούσε η καταστροφή τους (Tandur et al., 2017).
- σε δραστηριότητες παρακολούθησης οχημάτων, η βελτιστοποίηση των οχημάτων που κινούνται ελεύθερα, μπορεί να συμβάλει στη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου, η οποία όχι μόνο θα μειώσει τα έξοδα αλλά συμβάλλει και στην μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα (Keertikumar, Shubham, and Banakar 2016).
- σε ελέγχους κτιρίων και σε έξυπνα σπίτια, μέσω της ενεργοποίησης και απενεργοποίησης διαφορετικών πόρων σε κτίρια ανάλογα με το επίπεδο χρήσης καθενός από αυτά, μειώνεται για παράδειγμα η κατανάλωση ενέργειας, για παράδειγμα ελέγχοντας τη χρήση φώτων (Tulenkov et al. 2018).
- θα μπορούσε επίσης να αποτελεί το μέλλον της υγειονομικής περίθαλψης, όπου μέσω συνδεδεμένων συσκευών παρακολούθησης, μπορεί να υπάρξει μεγάλη βελτίωση στη κατανόηση ασθενειών και στη πρόληψη καταστάσεων έκτακτης ανάγκης (Abbas et al. 2019).

Το ευρύ φάσμα πιθανών εφαρμογών του IoT, περιλαμβάνει επίσης και τη γεωργία. Μέσω της χρήσης διαφόρων αισθητήρων και ασύρματων συσκευών, επαγγελματίες και ερευνητές του κλάδου, μπορούν να λάβουν πληροφορίες σχετικά με την υγρασία του εδάφους (Zhang et al., 2013), την κατάσταση των θρεπτικών συστατικών του εδάφους (Galande et al., 2015), καθώς και την πιθανότητα εμφάνισης των φυτικών

ασθενειών και παρασίτων που προσβάλλουν τους φυτικούς οργανισμούς (Dang et al., 2013). Με βάση τις πληροφορίες που λαμβάνονται οι υπεύθυνοι επαγγελματίες μπορούν να αντιδράσουν εγκαίρως και να εφαρμόσουν κατάλληλα μέτρα. Τα σχετικά δεδομένα λαμβάνονται μέσω της χρήσης ειδικών αισθητήρων. Ωστόσο περισσότερες εφαρμογές μπορούν να αναπτυχθούν με τη χρήση του IoT, με σκοπό την επίτευξη υψηλότερης αποτελεσματικότητας και ποιότητας της γεωργικής παραγωγής.

Το IoT προσφέρει μια νέα προσέγγιση σχετικά με την γεωργική παραγωγή, στη παραδοσιακή γεωργία. Η νέα αυτή προσέγγιση είναι προσανατολισμένη ως προς τις τεχνολογίες αυτοματοποίησης, τη χρήση έξυπνων συσκευών και τη δικτύωση τους. Τα οφέλη που προσφέρουν οι εφαρμογές του IoT στη γεωργία, περιλαμβάνουν βελτίωση της απόδοσης της παραγωγής, της αποτελεσματικότητας των πόρων στην ανάπτυξη των καλλιεργειών, όπως το νερό, το έδαφος, τα λιπάσματα και τα φυτοφάρμακα. Προσφέρει μειωμένο κόστος παραγωγής, αυξημένη κερδοφορία, βιωσιμότητα, ασφάλεια στην ποιότητα των τροφίμων καθώς και περιβαλλοντική προστασία (Patil et al., 2012). Μέσω των τεχνολογιών του IoT, οι επαγγελματίες του αγροτικού κλάδου, μπορούν να προσφέρουν και να παραδώσουν τις καλλιέργειες τους σε πελατειακό κοινό ευρύτερης κλίμακας. Αυτό μπορεί να διαμορφώσει την εφοδιαστική αλυσίδα, παρέχοντας μια μικρότερη και πιο κατευθυνόμενη αλυσίδα, από το σημείο παραγωγής ως τον καταναλωτή.

Για την τεχνική υλοποίηση της προσέγγισης αξιοποιήθηκε το Arduino Explore IoT Kit. Το συγκεκριμένο πακέτο περιλαμβάνει μια πλακέτα μικροελεγκτή Arduino MKR WiFi 1010, καθώς και το περίβλημα μεταφοράς MKR IoT Carrier (Σχήμα 1).



Σχήμα. 1. Το MKR IoT Carrier και το MKR IoT Kit

Το ίδιο πακέτο επίσης συνοδεύει ο αισθητήρας μέτρησης της υγρασίας εδάφους και ο αισθητήρας ανίχνευσης κίνησης PIR. Για τον προγραμματισμό της πλακέτας Arduino, χρησιμοποιήθηκε η ολοκληρωμένη πλατφόρμα Arduino Create, μέσω της οποίας υπάρχει δυνατότητα συνδεσιμότητας και με τους αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν αλλά και με άλλες συσκευές. Ως αποτέλεσμα κρίθηκε κατάλληλη η εφαρμογή του συγκεκριμένου kit για την τεχνική υλοποίηση. Για παράδειγμα ως βασικό κριτήριο για την επιλογή υπήρξε η εύκολη διασυνδεσιμότητα του Arduino με τα ασύρματα δίκτυα (Wi-Fi), χαρακτηριστικό το οποίο διευκολύνει την σύνδεση του Arduino με μια βάση δεδομένων και την προβολή των πληροφοριών που συλλέγει στο διαδίκτυο ή σε άλλα συστήματα. Ως επιπλέον σημαντικό στοιχείο για την επιλογή επιλέχθηκε και η χρήση οθόνης LCD που παρέχει η πλακέτα MKR IoT Carrier και κρίθηκε ως αρκετά καινοτόμα προσέγγιση την δυνατότητα προβολής επιπλέον πληροφοριών απευθείας στην οθόνη ως μια διεπαφή με υψηλή ευχρηστία.

3.1 Αισθητήρες, Απόκριση και Διεπαφές

Σε αυτό το σημείο ακολουθεί μια επεξήγηση των τεχνολογιών που χρησιμοποιήθηκαν για την ολοκλήρωση του παρόντος έργου. Συγκεκριμένα γίνεται η περιγραφή και η εισαγωγή του όρου μικροελεγκτή και πιο ειδικά της πλακέτας του Arduino καθώς και των διαφόρων αισθητήρων που αξιοποιήθηκαν για την μέτρηση των τιμών.

Γενικότερα στην ορολογία του Arduino υπάρχουν διάφορες έννοιες συμπεριλαμβάνοντας τα shields, carrier και Grove sensors. Πιο συγκεκριμένα τα shields είναι πλακέτες που τοποθετούνται πάνω από το Arduino επεκτείνοντας τις δυνατότητες και τα χαρακτηριστικά του. Οι πλακέτες επέκτασης (shields) διακρίνονται από την ευκολία εγκατάστασής τους και επέκτασής τους χωρίς να επηρεάζουν αρνητικά τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του Arduino. Για παράδειγμα οι αρχικές διεπαφές του Arduino στην βάση συνεχίζουν να είναι αξιοποιήσιμες ακόμη και μετά την τοποθέτηση της επέκτασης. Μια πολύ μεγάλη λίστα από Arduino Shields παρέχονται στην επίσημη σελίδα του Arduino⁵. Το συγκεκριμένο kit (Arduino IoT Explore Kit) περιλαμβάνει τα εξής χαρακτηριστικά:

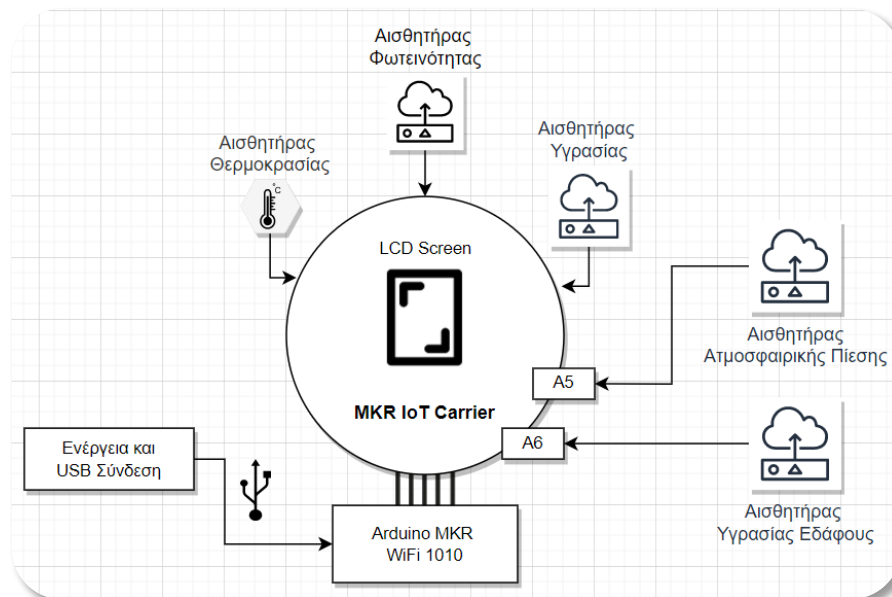
- **Πλακέτα Arduino MKR WiFi 1010⁶:** Το Arduino MKR WiFi 1010 είναι μια καλή προσέγγιση στο βασικό σχεδιασμό εφαρμογών IoT και pico-network. Οι δυνατότητες που παρέχει επεκτείνονται στην δημιουργία δικτύου αισθητήρων συνδεδεμένο με το δρομολογητή (WiFi Router) ή για την διασύνδεση συσκευών με σύνδεση Bluetooth Low Energy (BLE) με την ικανότητα να επιτευχθεί η αποστολή δεδομένων σε ένα κινητό τηλέφωνο. Το MKR WiFi 1010 αποτελεί πολύ καλή λύση για πολλές από τις βασικές εφαρμογές στην εκτέλεση σεναρίων στο πεδίο των IoT.
- **Πλακέτα MKR IoT Carrier:** Το MKR IoT Carrier είναι μια επέκταση της πλακέτας MKR WiFi 1010 και αναπτύχθηκε για το kit Explore IoT. Ο φορέας δεν διαθέτει μικροελεγκτή, που σημαίνει ότι πρέπει να χρησιμοποιηθεί μαζί με μια πλακέτα Arduino. Χρησιμοποιώντας το carrier, προσφέρεται η δυνατότητα να

⁵ <https://playground.arduino.cc/Main/SimilarBoards/>

⁶ <https://store.arduino.cc/arduino-mkr-wifi-1010>

ξεκλειδώσουν πολλές χρήσιμες και ενδιαφέρουσες δυνατότητες, όπως οθόνη, RGB LED, γυροσκόπιο και διαφορετικούς αισθητήρες.

- **On-board και περιφερειακοί Αισθητήρες (Grove):** Αισθητήρες που είναι εγκατεστημένοι στην πλακέτα MKR IoT Carrier καθώς και περιφερειακοί αισθητήρες με συνδεσιμότητα Grove.

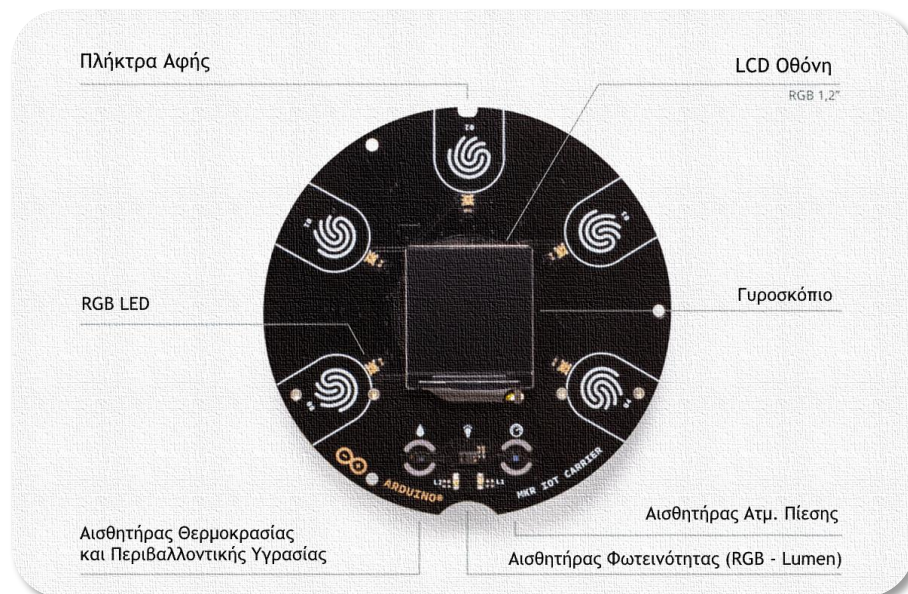


Σχήμα. 2. Τοπολογία σύνδεσης του MKR IoT Carrier και του Arduino MKR WiFi 1010 και οι αισθητήρες

Στο **Σχήμα 2** παρουσιάζεται η τοπολογία που περιλαμβάνει τον μικροελεγκτή ως βάση της επεξεργαστικής δραστηριότητας MKR WiFi 1010. Ο συγκεκριμένος μικροελεγκτής παρέχει την επεξεργαστική ισχύ και τις βασικές διεπαφές για την σύνδεση του MKR IoT Carrier. Η ενεργειακή τροφοδοσία επιτυγχάνεται μέσω της θύρας USB και οι αισθητήρες που περιλαμβάνονται στην πλακέτα MKR IoT Carrier είναι ο αισθητήρας περιβαλλοντικής θερμοκρασίας, αισθητήρας φωτεινότητας και αισθητήρας περιβαλλοντικής υγρασίας. Η σύνδεση των περιφερειακών αισθητήρων επιτυγχάνεται με την σύνδεση Grove και την σύνδεση του αισθητήρα υγρασίας εδάφους.

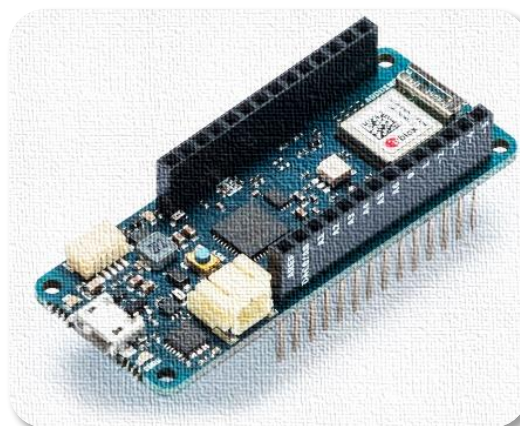
Η σύνδεση Grove είναι ένα τροποποιήσιμο, τυποποιημένο σύστημα σύνδεσης και ακολουθεί μια δομική προσέγγιση για τη συναρμολόγηση ηλεκτρονικών και περιφερειακών. Σε σύγκριση με την κλασσική προσέγγιση των jumper συνδέσεων η συγκεκριμένη προσέγγιση παρέχει εύκολη εγκατάσταση για τον πειραματισμό και την δημιουργία του συστήματος και του δικτύου αισθητήρων. Παρόλο που η συγκεκριμένη προσέγγιση είναι ανώτερου επιπέδου και δεν παρέχει όλες τις τεχνικές λεπτομέρειες, παρέχει την δυνατότητα κατασκευής αληθινών συστημάτων. Η πλακέτα σύνδεσης MKR IoT Carrier στην ουσία είναι ένα σύνολο από διεπαφές όπως η οθόνη LCD,

περιλαμβάνει 3 αισθητήρες που είναι απευθείας συνδεδεμένοι στην πλακέτα και ευκολία σύνδεσης με Grove (**Σχήμα 3, 4**).



Σχήμα. 3. Συνδεσιμότητα και χαρακτηριστικά της πλακέτας MKR IoT Carrier

Τέλος η πλακέτα WiFi 1010 (**Σχήμα 4**) αξιοποιείται για την σύνδεση στο δίκτυο WiFi και την αποστολή δεδομένων και πληροφοριών στο δίκτυο και στο υπολογιστικό σύστημα (Pc ή Raspberry Pi).



Σχήμα. 4. Η βάση του Arduino MKR WiFi 1010

Για την αρχικοποίηση των αισθητήρων αξιοποιήθηκε ο παρακάτω κώδικας (**Σχήμα 5**). Οι αισθητήρες που αξιοποιούνται είναι οι εξής:

- Αισθητήρας Θερμοκρασίας Περιβάλλοντος
- Αισθητήρας Φωτεινότητας
- Αισθητήρας Περιβαλλοντικής Υγρασίας
- Αισθητήρας Εδαφικής Υγρασίας

```
#include <WiFiINA.h>
#include <Arduino_MKRIoTCarrier.h> // necessary functions physical carrier
MKRIoTCarrier carrier; // object for carrier
#include <WiFi.h>
#include <WiFiUdp.h>
//bool CARRIER_CASE = false; // set to true if plastic case is in use

char ssid[] = SECRET_SSID; // your network SSID (name)
char pass[] = SECRET_PASS;
int status = WL_IDLE_STATUS; // the Wifi radio's status

float temperature = 0;
float humidity = 0;
float pressure;
int none, light, r, g, b; //We dont need RGB colors
const int AirValue = 620; //you need to replace this value with Value_1
const int WaterValue = 310; //you need to replace this value with Value_2
int soilMoistureValue = 0;
int soilmoisturepercent=0;
```

Σχήμα. 5. Κώδικας αρχικοποίησης τιμών για τους αισθητήρες

Καθώς οι λειτουργίες του MKR IoT Carrier και του WiFi 1010 εκτείνονται από τις βασικές βιβλιοθήκες που αξιοποιούνται, είναι απαραίτητη η εισαγωγή επιπλέον βιβλιοθηκών. Στη συνέχεια δημιουργήθηκε ένα αντικείμενο (object) τύπου MKRIoTCarrier. Στο σχήμα 5 παρατηρείται επίσης την αρχικοποίηση των τιμών για την εγκαθίδρυση της σύνδεσης στο WiFi και πιο συγκεκριμένα το SSID και τον προαπαιτούμενο κωδικό για την σύνδεση στον κεντρικό διακομιστή.

Στο **Σχήμα 6**, παρουσιάζεται ο κώδικας που αξιοποιήθηκε για την ανάγνωση των τιμών από τους αισθητήρες. Συγκεκριμένα η θερμοκρασία περιβάλλοντος (μεταβλητή temperature), υγρασία περιβάλλοντος (μεταβλητή humidity) και οι τιμές ατμοσφαιρικής πίεσης (μεταβλητή pressure) διαβάζονται μέσω των συναρτήσεων που παρέχονται από το αντικείμενο carrier. Παρομοίως οι τιμές φωτεινότητας διαβάζονται αξιοποιώντας την συνάρτηση “Light.readColor” που παρέχεται πάλι στο αντικείμενο carrier.

```

void loop() {
  //read the sensor values
  temperature = carrier.Env.readTemperature();
  humidity = carrier.Env.readHumidity();
  pressure = carrier.Pressure.readPressure();

  while (!carrier.Light.colorAvailable()) {
    delay(5);
  }

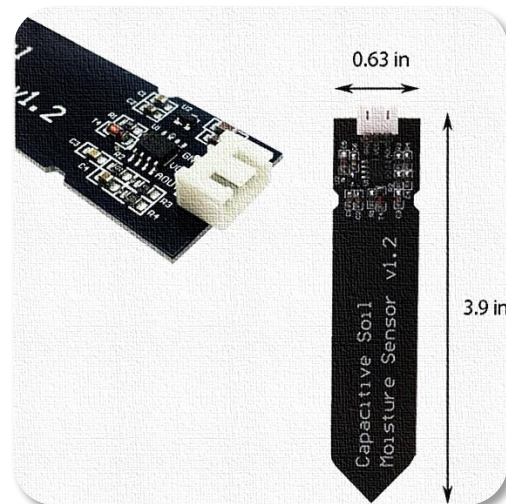
  carrier.Light.readColor(r, g, b, light);
  Serial.println("-----");
  soilMoistureValue = analogRead(A6); //put Sensor insert into soil
  Serial.println(soilMoistureValue);
  soilmoisturepercent = ((1023 - analogRead(A6)) * 0.546);
  if(soilmoisturepercent >= 100)
  {
    Serial.println("100 %");
  }
  else if(soilmoisturepercent <=0)
  {
    Serial.println("0 %");
  }
  else if(soilmoisturepercent >0 && soilmoisturepercent < 100)
  {
    Serial.print("Soil Moisture:");
    Serial.print(soilmoisturepercent);
    Serial.println("%");
  }
}

```

Σχήμα. 6. Κώδικας ανάγνωσης τιμών από τους αισθητήρες

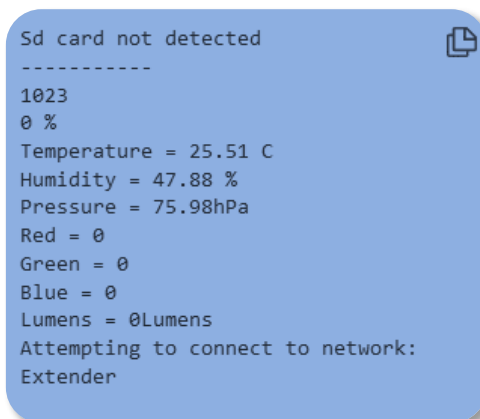
Για την ανάγνωση των τιμών φωτεινότητας αξιοποιείται η συνάρτηση `Light.readColor()` η οποία αναγνωρίζει ξεχωριστά το μπλε (μεταβλητή `b`), πράσινο (μεταβλητή `g`) και κόκκινο χρώμα (μεταβλητή `r`), καθώς και καταγράφεται η ένταση του συνολικού φωτός (μεταβλητή `light`). Για την ανάγνωση τιμών από τους περιφερειακούς αισθητήρες (πχ. `soilMoisture`) αξιοποιείται η διεπαφή `A6` και συγκεκριμένα προβαίνει στην ανάγνωση των αναλογικών τιμών. Για την βαθμονόμηση (calibration) των αναλογικών εισόδων συνήθως καταγράφετε μια ελάχιστη και μια μέγιστη τιμή (ή ενδιάμεσες) και παρατηρείται η τιμή του αναλογικού σήματος. Ο συγκεκριμένος αισθητήρας έχει ως έξοδο (output) τιμές από 0 – 1023. Καθώς η υγρασία αυξάνεται η τιμή από το 1023 μειώνεται. Μετά από καταγραφή παρατηρήσαμε ότι όταν η υγρασία είναι στο 0% η τιμή είναι 1023. Στην πορεία της εργασίας θα δούμε πως η προσέγγιση αυτή θα βελτιωθεί ώστε να έχουμε το ακριβές αποτέλεσμα. Στους υπόλοιπους αισθητήρες δεν παρατηρήθηκε παρόμοια δυσκολία. Στο **Σχήμα 7** παρουσιάζεται ο αισθητήρας καταγραφής υγρασίας εδάφους. Ο αισθητήρας αυτός τοποθετείται μέσα στο έδαφος επιτυγχάνοντας να φτάσει περίπου

10 εκατοστά σε βάθος. Παρατηρείται στην άκρη του η συνδεσμολογία με 4 ακίδες (Grove connection).



Σχήμα. 7. Αισθητήρας καταγραφής υγρασίας εδάφους

Στον κώδικα με την εκτέλεση της εντολής Serial.println οι τιμές μπορούν να εμφανιστούν στο monitor (**Σχήμα 8**). Στην πρώτη σειρά παρατηρείται η ένδειξη για την κάρτα Sd αν αυτή βρίσκεται συνδεδεμένη (με την χρήση sd προστίθεται η δυνατότητα αποθηκευτικού χώρου), το 1023 είναι η αναλογική τιμή από τον αισθητήρα υγρασίας εδάφους και από κάτω το ποσοστό αντίστοιχα.



Σχήμα. 8. Επίδειξη του Monitor στο Arduino Editor

Ακολουθούν η θερμοκρασία, η υγρασία και η ατμοσφαιρική πίεση του περιβάλλοντος. Στη συνέχεια εμφανίζονται οι ενδείξεις για την φωτεινότητα (Red, Green, Blue,

Lumens). Τέλος επιτυγχάνεται ένα διαγνωστικό μήνυμα για την επιτυχής/ανεπιτυχής σύνδεση στο ασύρματο δίκτυο – WiFi. Για την σύνδεση στο ασύρματο δίκτυο (Wi-Fi), αξιοποιήθηκαν οι εντολές αρχικοποίησης (Σχήμα 9).

Σχήμα. 9. Ρυθμίσεις για την σύνδεση στο ασύρματο δίκτυο.

Οι εντολές αρχικοποίησης SECRET_SSID/SECRET_PASS δημιουργούν μια υπολειτουργία η οποία είναι υπεύθυνη για την αναγνώριση και προσπέλαση συμβολοσειρών που καταχωρούνται για το όνομα του δικτύου και τον κωδικό. Με αυτόν τον τρόπο διασφαλίζεται η ασφάλεια καθώς ο κωδικός δεν διαμοιράζεται στον ίδιο τον κώδικα ως καθαρό κείμενο (cleartext). Επομένως αν κάποιος έχει φυσική πρόσβαση στο Arduino δεν θα μπορεί να φανερώσει τον κωδικό και έτσι διασφαλίζονται τα στοιχεία σύνδεσης (credentials).

3.2 Τεχνολογίες και διεπαφές για την Ενσωμάτωση Συστημάτων

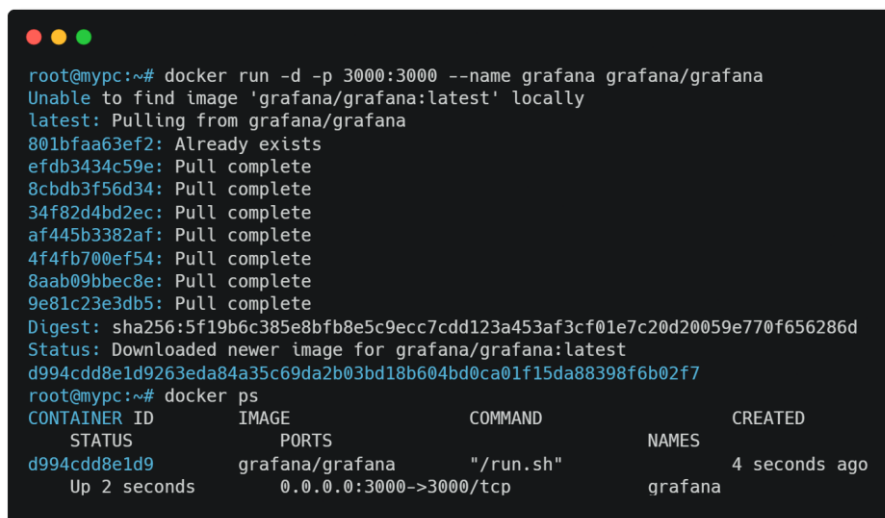
Στην προηγούμενη υποενότητα παρουσιάστηκαν οι αισθητήρες και οι διασυνδέσεις του μικροελεγκτή. Σε αυτή την υποενότητα εξετάζονται οι υπηρεσίες εξυπηρετητή που έχουν σκοπό την αποθήκευση, επεξεργασία, την ανάλυση και τη παρουσίαση/οπτικοποίηση των δεδομένων. Συγκεκριμένα παρουσιάζεται η αλληλεπίδραση και οι σχετικές παραμετροποιήσεις, η βάση δεδομένων InfluxDB και οι δυνατότητες που παρέχει. Επιπλέον αναδεικνύονται τα θετικά στοιχεία της χρήσης Grafana, μια ανοιχτού κώδικα πλατφόρμα/εφαρμογή κατάλληλη για την παρατήρηση των τιμών και την οπτικοποίηση. Τέλος επιδεικνύονται σύγχρονες διεπαφές με το WEB 2.0 όπως την χρήση πρόσθετων που θα μας επιτρέψουν την παρουσίαση των Grafana Dashboards σε ένα ιστοσελίδες κατασκευασμένες με WordPress.

Αυτοματοποιημένες διαδικασίες για την ανάπτυξη εφαρμογών (Docker). Στις σύγχρονες τεχνικές ανάπτυξης και εγκατάστασης εφαρμογών τείνουν όλο και περισσότερο στην αξιοποίηση μεθοδολογιών όπως τη συνεχή ολοκλήρωση (CI) και ενσωμάτωσης (CD) - CI/CD (Continuous Integration/Continuous Delivery). Με βάση αυτή την προσέγγιση τα Docker Containers παίζουν καθοριστικό ρόλο στην εύκολη ενσωμάτωση και στη δημιουργία κατάλληλων διεπαφών για την συνεργασία μεταξύ των εφαρμογών.

Για παράδειγμα στην δικής μας προσέγγιση υπάρχουν 3 βασικές εφαρμογές που πρέπει να συνεργάζονται (Arduino WiFi 1010, InfluxDB και Grafana). Επομένως πρέπει οι 2 τελευταίες εφαρμογές (InfluxDB και Grafana) να έχουν εγκατασταθεί σε ένα σύστημα. Το σύστημα αυτό πρέπει να έχει λειτουργικό σύστημα και μπορεί να είναι ένα Raspberry Pi, ένα laptop ή ένας προσωπικός υπολογιστής γενικότερα. Η εγκατάσταση με την αξιοποίηση των Docker Containers εμπεριέχει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Αυτόματη εγκατάσταση των απαραίτητων πακέτων εφαρμογών και ψηφιακών βιβλιοθηκών.
- Γρήγορη και εύκολη εφαρμογή και εγκατάσταση των εφαρμογών.
- Παραμετροποίηση των ρυθμίσεων και έκθεση των κατάλληλων δικτυακών πυλών (network ports).

Συνοπτικά τα Docker Containers διακρίνονται για τις ελάχιστες απαιτήσεις σε υπολογιστικούς πόρους, είναι αυτόνομα και μπορούν να εφαρμοστούν εύκολα σε οποιοδήποτε λειτουργικό που υποστηρίζεται η συγκεκριμένη τεχνολογία. Αποτελούνται από ένα εκτελέσιμο πακέτο λογισμικού που περιλαμβάνει όλα όσα χρειάζονται για την εκτέλεση μιας εφαρμογής: όπως ο απαιτούμενος κώδικας, γρήγορος χρόνος εκτέλεσης, απαιτούμενα εργαλεία συστήματος και απαραίτητες βιβλιοθήκες συστήματος και ρυθμίσεις.



```

root@mypc:~# docker run -d -p 3000:3000 --name grafana grafana/grafana
Unable to find image 'grafana/grafana:latest' locally
latest: Pulling from grafana/grafana
801bfaa63ef2: Already exists
efdb3434c59e: Pull complete
8cddb3f56d34: Pull complete
34f82d4bd2ec: Pull complete
af445b3382af: Pull complete
4f4fb700ef54: Pull complete
8aab09bbec8e: Pull complete
9e81c23e3db5: Pull complete
Digest: sha256:5f19b6c385e8bfb8e5c9ecc7cdd123a453af3cf01e7c20d20059e770f656286d
Status: Downloaded newer image for grafana/grafana:latest
d994cdd8e1d9263eda84a35c69da2b03bd18b604bd0ca01f15da88398f6b02f7
root@mypc:~# docker ps
CONTAINER ID   IMAGE             COMMAND                  CREATED
STATUS        PORTS            NAMES
d994cdd8e1d9   grafana/grafana  "/run.sh"               4 seconds ago
Up 2 seconds   0.0.0.0:3000->3000/tcp  grafana

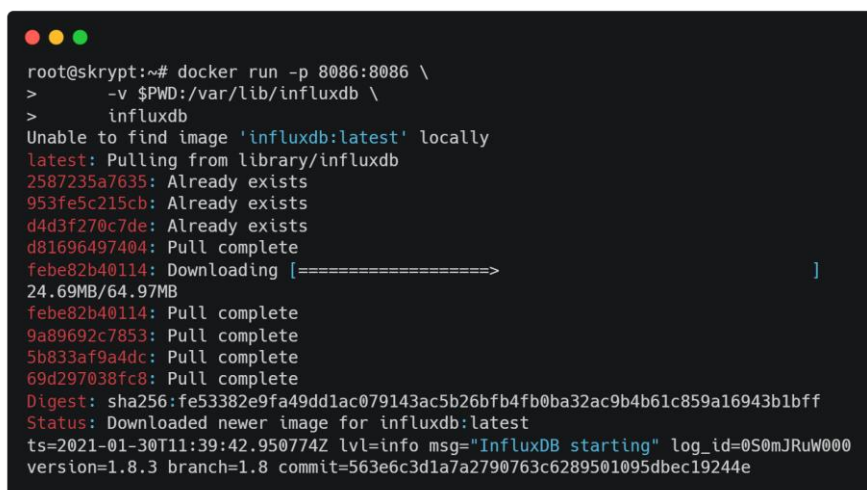
```

Σχήμα. 10. Εύκολη και γρήγορη εγκατάσταση/εκτέλεση του Grafana αξιοποιώντας τα Docker Containers

Τα πλεονεκτήματα είναι πολλά και δεν χρειάζεται περαιτέρω επέκταση, καθώς επιδεικνύεται η τρομερή ταχύτητα εφαρμογής και ενσωμάτωσης των απαιτούμενων εφαρμογών. Για παράδειγμα στο **Σχήμα 10** παρατηρείται η εκτέλεση της εντολής docker run. Με την εντολή αυτή ορίζουμε την εκτέλεση του docker container με όνομα grafana/grafana. Το δεύτερο σκέλος αποτελεί τον καθορισμό της επιθυμητής έκδοσης

του προγράμματος και αν δεν οριστεί η έκδοση, ορίζεται αυτομάτως η τελευταία έκδοση του. Οι παράμετροι -p ορίζουν ότι το εσωτερικό port του docker container που είναι εξορισμού το 3000 για την πρόσβαση στην διεπαφή - Web UI (Web User Interface) θα εκτεθεί στο βασικό μας σύστημα στην πύλη 3000. Θα μπορούσαμε να εκθέσουμε την συγκεκριμένη πύλη σε μια διαφορετική για παράδειγμα 3000:80 και πλέον θα είχαμε πρόσβαση αξιοποιώντας την συγκεκριμένη πύλη μέσω του περιηγητή (web browser). Υπάρχουν πολλοί παράμετροι στα docker containers που μπορούν να αξιοποιηθούν ανάλογα. Για παράδειγμα η παράμετρος -d επιτρέπει την εκτέλεση του docker container στο background επιτρέποντας να συνεχίσουμε να αξιοποιούμε το συγκεκριμένο bash terminal. Με την εκτέλεση της εντολής η εφαρμογή Grafana ανιγράφεται από το κεντρικό αποθετήριο (official repository) το οποίο συνήθως βρίσκεται στο κεντρικό domain hub7 και έπειτα εκτελείται (**Σχήμα 10**).

Στο **Σχήμα 10** επίσης παρατηρείται ότι, τα Ports έχουν εκτεθεί στο βασικό μας σύστημα δηλώνοντας την IP 0.0.0.0 που ισοδυναμεί με το τοπικό μας σύστημα και την έκθεση του network port 3000/tcp υποδηλώνοντας ότι πλέον η εφαρμογή δέχεται requests στο TCP port με αριθμό 3000.



```

root@skrypt:~# docker run -p 8086:8086 \
> -v $PWD:/var/lib/influxdb \
> influxdb
\n\nUnable to find image 'influxdb:latest' locally
latest: Pulling from library/influxdb
2587235a7635: Already exists
953fe5c215cb: Already exists
d4d3f270c7de: Already exists
d81696497404: Pull complete
febe82b40114: Downloading [=====>]
24.69MB/64.97MB
febe82b40114: Pull complete
9a89692c7853: Pull complete
5b833af9a4dc: Pull complete
69d297038fc8: Pull complete
Digest: sha256:fe53382e9fa49dd1ac079143ac5b26bfb4fb0ba32ac9b4b61c859a16943b1bff
Status: Downloaded newer image for influxdb:latest

 ts=2021-01-30T11:39:42.950774Z lvl=info msg='InfluxDB starting' log_id=0S0mJRuW000
version=1.8.3 branch=1.8 commit=563e6c3d1a7a2790763c6289501095dbec19244e

```

Σχήμα. 11. Εύκολη και γρήγορη εγκατάσταση/εκτέλεση της βάσης δεδομένων InfluxDb

Για να γίνει πιο κατανοητή η συγκεκριμένη διαδικασία, το docker container έχει την δική του εικονική IP 172.17.0.X παρόμοια με ένα εικονικό σύστημα (Virtual Machine) που κάνει forward την port 3000 από το βασικό σύστημα στην συγκεκριμένη IP του συγκεκριμένου docker container. Παρομοίως εκτελείται η εντολή για την βάση δεδομένων – InfluxDB στο port number 8086. Στην προσέγγιση αυτή, ωστόσο και για την επικοινωνία με το Arduino θα χρειαστεί και την δικτυακή θύρα 8888/udp και θα το ορίζαμε με την τις παραμέτρους -p 8086:8086 -p 8888:8888/udp.

⁷ <https://hub.docker.com/>

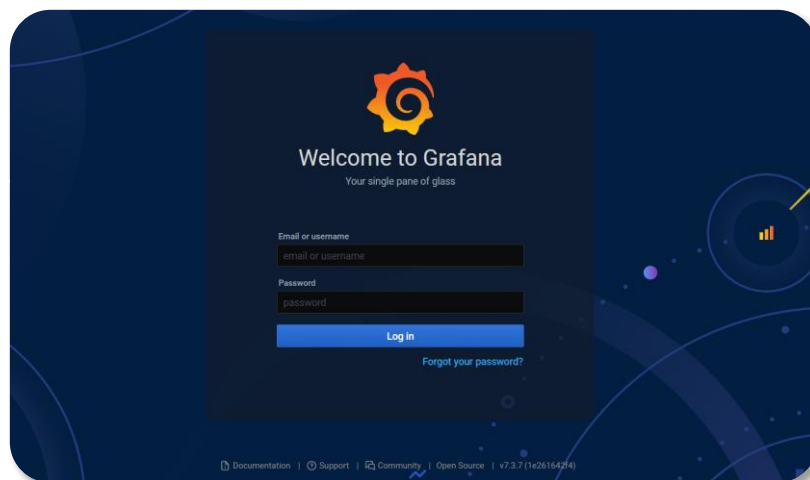
```
— docker run -d -p 8086:8086 -p 8888:8888/udp -v $PWD:/var/lib/influxdb -e INFLUXDB_UDP_ENABLED=true influxdb
```

Με την αξιοποίηση των docker containers έχουμε πλέον εγκατεστημένη την εφαρμογή Grafana και την βάση δεδομένων InfluxDB.

```
[[udp]]
  enabled = true
  bind-address = ":8888"
  database = "arduino"
```

Οι διεπαφές που είναι ανοιχτές είναι η δικτυακή πύλη 3000 από το Grafana για την διαδικτυακή διεπαφή Web – UI η δικτυακή πύλη 8086 για αιτήματα TCP της βάσης δεδομένων και την 8888 ως UDP διεπαφή για την αποδοχή/αποστολή αιτημάτων από και προς το Arduino Wi-Fi 1010. Να σημειωθεί ότι, παρακάτω ακολουθεί η σύνδεση του Grafana με την βάση δεδομένων, διασύνδεση η οποία επιτυγχάνεται μέσω της δικτυακής πύλης 8086 και με την αίτηση TCP ερωτημάτων (TCP Requests).

Πλατφόρμες παρατήρησης και οπτικοποίησης (Grafana). Με την αξιοποίηση του περιηγητή (browser), έχουμε πλέον πρόσβαση στις υπηρεσίες του Grafana (**Σχήμα 12**). Η πρόσβαση μπορεί να γίνει είτε στην εικονική IP (172.17.0.2:3000) ή στην IP του τοπικού μας συστήματος (localhost ή IP συστήματος). Για παράδειγμα ένας άλλος υπολογιστής έχει πρόσβαση στην IP του συστήματος καθώς ή εικονική IP δεν είναι προσβάσιμη από το δίκτυο.



Σχήμα. 12. Κεντρική οθόνη/είσοδος για το Grafana στο localhost port 3000

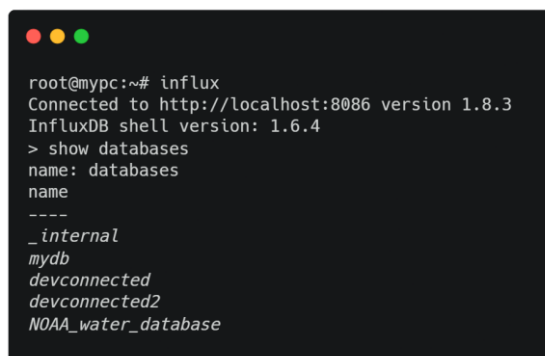
Η συγκεκριμένη υλοποίηση/προσέγγιση έχει το πλεονέκτημα ότι η υπηρεσία δεν γίνεται άμεσα προσβάσιμη από το δίκτυο αλλά έμμεσα μέσω του forwarding της υπηρεσίας του Docker. Αυτό μας δίνει παραπάνω ασφάλεια και ευκολία διαχείρισης των συνολικών υποδομών.

Το Grafana είναι ένα ισχυρό εργαλείο ανάλυσης και οπτικοποίησης ανοιχτού κώδικα που αποτελείται από πολλαπλούς μεμονωμένους πίνακες τοποθετημένους σε ένα πλέγμα – dashboard οπτικοποίησης. Οι πίνακες αλληλοεπιδρούν με διαμορφωμένες πηγές δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων των AWS CloudWatch, διακομιστές Microsoft SQL, Prometheus, MySQL, InfluxDB και πολλών άλλων. Το Grafana έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε κάθε πλαίσιο δεδομένων να συνδέεται με μια πηγή δεδομένων. Επειδή οι πίνακες ελέγχου Grafana υποστηρίζουν πολλαπλούς πίνακες σε ένα πλέγμα, δίνει την δυνατότητα οπτικοποίησης πληροφορίας από πολλές πηγές δεδομένων ταυτόχρονα.

Ο σκοπός των πινάκων ελέγχου (control panels) του Grafana είναι να συγκεντρώσουν τα δεδομένα με αποδοτικό και οργανωμένο τρόπο. Επιτρέπει στους χρήστες να κατανοήσουν καλύτερα τις μετρήσεις των δεδομένων μέσω ερωτημάτων (queries), ενημερωτικών οπτικοποιήσεων και ειδοποιήσεων (alerts). Ως αποτέλεσμα η αποδίδεται διορατική σημασία στα δεδομένα που συλλέγονται από πολλές πηγές, καθώς και υπάρχει δυνατότητα διαμοιρασμού των πινάκων ελέγχου και η δυνατότητα έκδοση σχετικών αναφορών. Μια άλλη βασική πτυχή είναι το γεγονός ότι το Grafana είναι ανοιχτού κώδικα, το οποίο επιτρέπει ακόμη μεγαλύτερη προσαρμογή και παραμετροποίηση.

Ο πίνακας ελέγχου Grafana είναι ένα ισχυρό εργαλείο ανάλυσης δεδομένων και οπτικοποίησης που ενσωματώνεται μια μεγάλη ποικιλία πηγών που αποθηκεύουν δεδομένα χρονοσειρών, συμπεριλαμβανομένης της πηγής δεδομένων InfluxData. Όταν ο πίνακας ελέγχου του Grafana είναι συνδεδεμένος σε μια πηγή δεδομένων InfluxDB, δίνει την πρόσβαση και την υλοποίηση προσαρμοσμένων οπτικών παρουσιάσεων μετρήσεων (measurements) και συμβάντων (events) με υψηλή απόδοση, ακόμη και για μεγάλα χρονικά διαστήματα (long timeseries).

Βάσεις δεδομένων κατάλληλες για χρονοσειρές (InfluxDB). Αντίστοιχα με την υλοποίηση και εκτέλεση του Grafana η βάση δεδομένων InfluxDB είναι πλέον προσβάσιμη.



```

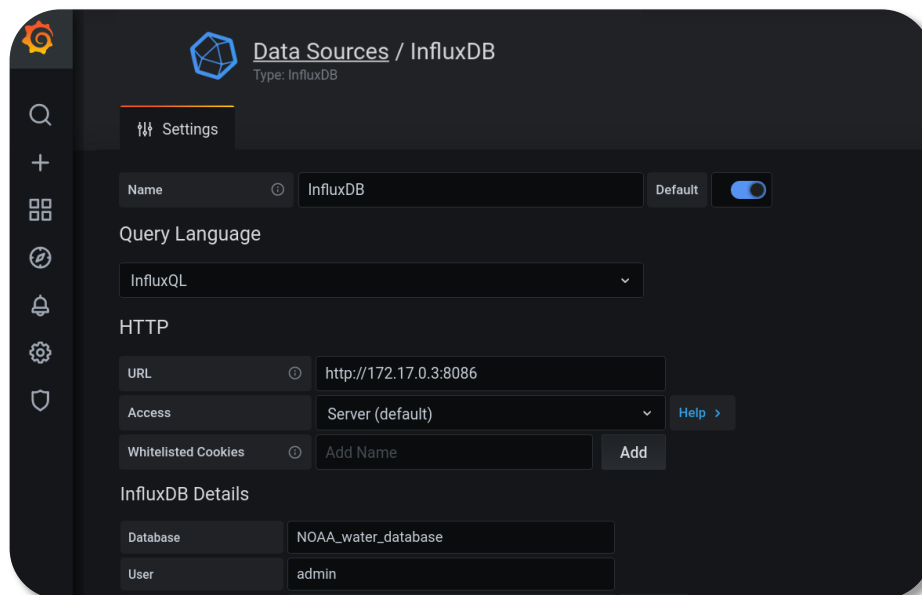
root@mypc:~# influx
Connected to http://localhost:8086 version 1.8.3
InfluxDB shell version: 1.6.4
> show databases
name: databases
name
----
_internal
mydb
devconnected
devconnected2
NOAA_water_database

```

Σχήμα. 13. Είσοδος στην InfluxDB μέσω του τερματικού αξιοποιώντας το influxdb-client

Τοπικά δύναται η δυνατότητα, να έχουμε απευθείας πρόσβαση μέσω του πακέτου εφαρμογής influxdb-client (**Σχήμα 13**) και εκτελώντας την εντολή influx. Με την είσοδο στην βάση δεδομένων υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία εντολών όπως την παρουσίαση των υπάρχουσών βάσεων δεδομένων (show databases) καθώς και την προβολή των μετρήσεων (show measurements) ή και την εκτέλεση SQL ερωτημάτων.

Για την διασύνδεση του Grafana με την InfluxDB μεταβαίνουμε στις ρυθμίσεις του Grafana και ορίζουμε ένα νέο data source (**Σχήμα 14**). Στην συνέχεια ορίζουμε τις παραμέτρους όπως το όνομα της πηγής (Data Source) και το URL που θα εκτελούνται τα TCP ερωτήματα (172.17.0.3:8086). Στην συγκεκριμένη υλοποίηση η InfluxDB και το docker container που την αποτελεί βρίσκεται στην εικονική IP 172.17.0.3 και το Grafana στην 172.17.0.2. Έπειτα επιλέγουμε από ποια βάση δεδομένων θα συλλέγει τα δεδομένα το Grafana καθώς και άλλες παραμέτρους σχετικά με την αυθεντικοποίηση και την πρόσβαση.



Σχήμα. 14. Ρύθμιση για την αλληλεπίδραση του Grafana με την βάση δεδομένων InfluxDB

Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνουμε την εγκαθίδρυση της σύνδεσης μεταξύ των Grafana Dashboards και της InfluxDb ως την πηγή δεδομένων προς συλλογή, οργάνωση και οπτικοποίηση. Προφανώς είναι εφικτό να συνδυαστούν πηγές δεδομένων και να αξιοποιηθούν παράλληλα στην οπτικοποίηση.

Αλληλεπίδραση Arduino – InfluxDB μέσω δικτύου WiFi. Για την εγκαθίδρυση της διασύνδεσης μεταξύ του μικροελεγκτή και την βάσης δεδομένων είναι απαραίτητες κάποιες βασικές παραμετροποιήσεις. Αρχικά πρέπει να οριστεί μια νέα δικτυακή θύρα η οποία θα δέχεται τα αιτήματα UDP. Για την εισαγωγή αυτής της παραμέτρου είναι απαραίτητο εκτός από το να εκθέσουμε το επιθυμητό port number στο docker

container, να επεξεργαστούμε το αρχείο `influxdb.conf` που περιέχει τις ρυθμίσεις του συστήματος διαχείρισης βάσεων δεδομένων InfluxDB. Το συγκεκριμένο αρχείο βρίσκεται στο ίδιο σημείο με την εφαρμογή, δηλαδή μέσα στο docker container. Για την είσοδο στο docker container εκτελούμε την εντολή `docker exec -it influxdb bash`. Με αυτόν τον τρόπο έχουμε πλέον πρόσβαση στο εσωτερικό του docker container (μοιάζει ως ένα Linux μέσα σε Linux). Το σύστημα αρχείων είναι τελείως διαφορετικό και όλες οι εφαρμογές βρίσκονται απομονωμένες μέσα σε αυτό το docker container.

```

/etc/influxdb/influxdb.conf

[http]
# Determines whether HTTP endpoint is enabled.
enabled = true

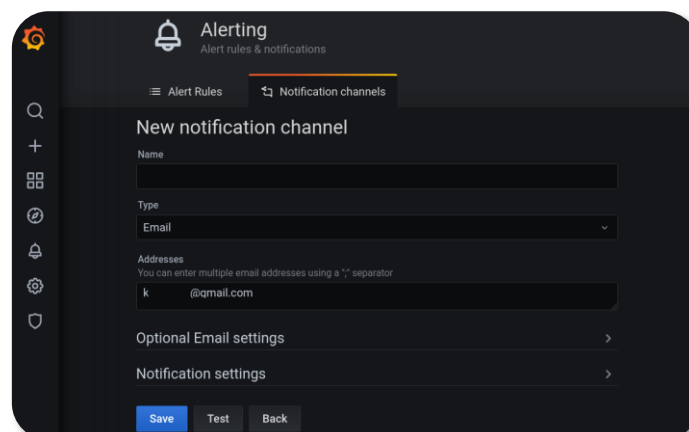
# The bind address used by the HTTP service.
bind-address = ":8086"

[[udp]]
enabled = true
bind-address = ":8888"
database = "arduino"

```

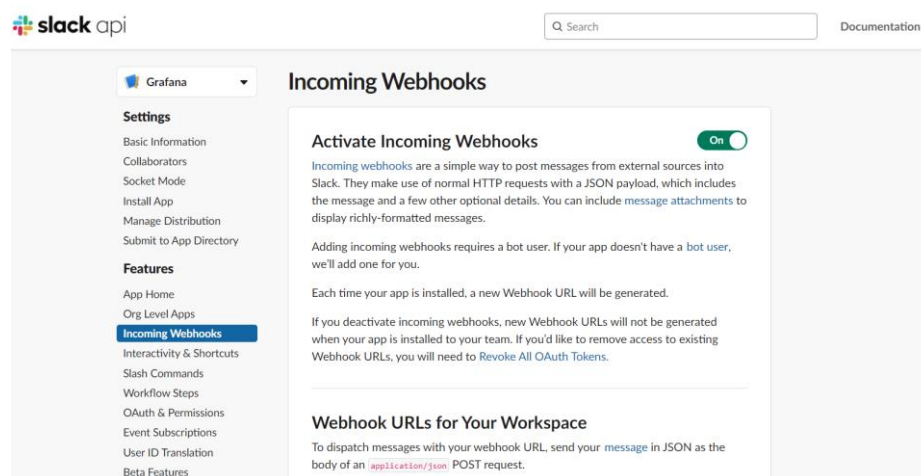
Σχήμα. 15. Παραμετροποίηση του `influxdb.conf` για την αποδοχή αιτημάτων UDP στο port 8888 και καταχώρηση δεδομένων στην βάση με όνομα «Arduino»

Συγκεκριμένα στην θέση `/etc/influxdb/` στο εσωτερικό του docker container βρίσκεται το αρχείο των ρυθμίσεων (**Σχήμα 15**) στο οποίο θέτουμε την υποενότητα `[[udp]]`, την επιθυμητή δικτυακή πύλη και την βάση δεδομένων στην οποία θα αποθηκεύονται όσα δεδομένα προέρχονται από την συγκεκριμένη δικτυακή πύλη.



Σχήμα. 16. Ρυθμίσεις των ειδοποιήσεων (alerts) και καθορισμός των καναλιών επικοινωνίας (πχ. Email, SMS, Slack κλπ.)

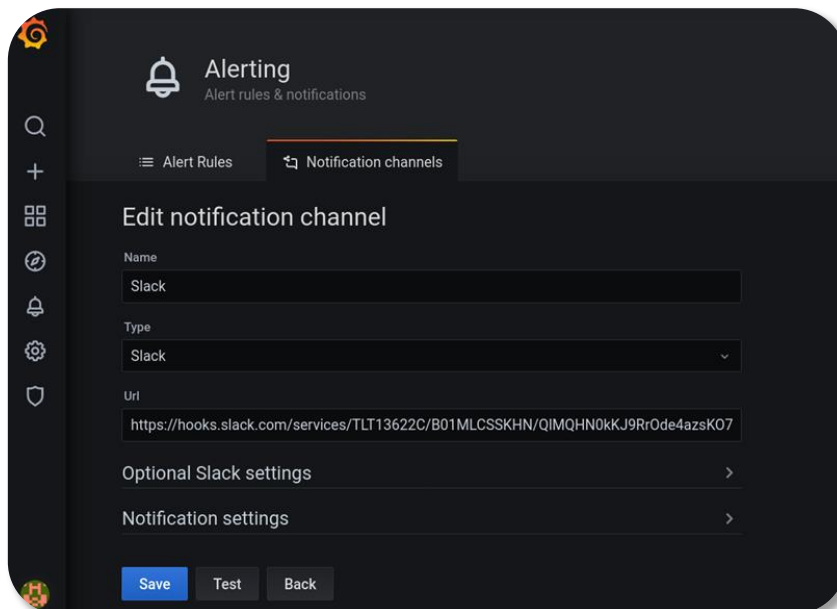
Στην συνέχεια παραμετροποιούμε τις ειδοποιήσεις (alerts) μέσω του Grafana και δημιουργούμε έναν καινούριο δίαυλο επικοινωνίας για τις ειδοποιήσεις (Σχήμα 16). Για την δημιουργία μηνυμάτων που θα αποστέλλονται απευθείας σε ένα κανάλι επικοινωνίας (πχ. Slack), είναι απαραίτητη πρώτα η δημιουργία της κατάλληλης διασύνδεσης. Συγκεκριμένα το Slack παρέχει το Slack API και την δημιουργία Webhook για την διασύνδεση εφαρμογών. Το τι είναι το ένα Webhook παρουσιάζεται και στην επίσημη ιστοσελίδα του Slack παρέχοντας πληροφορίες και οδηγίες για την δημιουργία του (Σχήμα 17).



Σχήμα. 17. Παρουσίαση και οδηγίες για τα Webhooks στο Slack API

Μετά την δημιουργία του Webhook το Slack μας παρέχει με ένα URL που περιέχει το Token και ότι άλλο χρειάζεται για την προσπέλαση του Grafana στο Webhook. Με τον τρόπο αυτό είναι εφικτή από εδώ και στο εξής ή συνεργασία του Grafana με το Slack (Σχήμα 18).

Οι ειδοποιήσεις μπορούν να εμπεριέχουν κάποιο μήνυμα καθώς και να προβάλλουν συγκεκριμένες μετρήσεις υπό συγκεκριμένες συνθήκες ή συνδυασμό συνθηκών. Για την συγκεκριμένη εργασία δοκιμάσαμε και τον SMTP server του Ιονίου (smtp.ionio.gr) για την εγκαθίδρυση διαύλου επικοινωνίας μέσω Email. Με αυτόν τον τρόπο θα αποστέλλεται ένα Email στους ορισμένους παραλήπτες ανάλογα με τις ειδοποιήσεις και τα συμβάντα (events). Από την πλευρά του Arduino και του κώδικά του απαιτούνται συγκεκριμένες ενέργειες που θα εκτελούν την εγκαθίδρυση της σύνδεσης στο ασύρματο δίκτυο καθώς και την αποστολή/αποδοχή UDP συνδέσεων. Αρχικά είναι απαραίτητη η εισαγωγή των απαραίτητων βιβλιοθηκών (header files .h) για το WiFi αλλά και για την σύνδεση UDP (WiFiUDP.h).



Σχήμα. 18. Προσθήκη του Webhook URL στο Grafana

Στο **Σχήμα 19** παρουσιάζεται ο κώδικας που δίνει την εντολή στον μικροελεγκτή να συνδεθεί στο WiFi που έχει οριστεί και να επιστρέψει το SSID καθώς και την κατάσταση του δικτύου (printWifiStatus) το οποίο θα μας δώσει στο monitor του μικροελεγκτή την IP που έχει λάβει ο μικροελεγκτής μέσα στο δίκτυο από τον DHCP server (στην προκειμένη περίπτωση το Router του σπιτιού).

Από την στιγμή που επαληθεύσουμε την σύνδεση του μικροελεγκτή στο WiFi δίκτυο έχουμε πλέον τον μικροελεγκτή να λειτουργεί όπως οποιαδήποτε συσκευή με διαπαφή δικτύου. Σε αυτό το στάδιο χρειάζεται αν εγκαθιδρύσουμε μια UDP σύνδεση μέσω του μικροελεγκτή. Για τον σκοπό αυτό αξιοποιούμε τις συναρτήσεις `Udp.parsePacket`, `Udp.remoteIP`, `Udp.beginPacket`, `Udp.print` και `Udp.endPacket`. Με την αξιοποίηση αυτών των συναρτήσεων/υπορουτίνων γίνεται εφικτή η αποδοχή UDP συνδέσεων (listening mode) και έπειτα η αποστολή δεδομένων (packets). Τα δεδομένα που θα αποστέλλουμε πρέπει να συμβαδίζουν με την δομή που δέχεται το σύστημα διαχείρισης βάσεων δεδομένων InfluxDB. Ως αποτέλεσμα, θέσαμε την μεταβλητή line (τύπου string) η οποία θα εμπεριέχει όλη την πληροφορία που χρειαζόμαστε σε μία γραμμή (**Σχήμα 20**). Κάθε γραμμή έχει την δική της χρονική σήμανση (timestamp) και επομένως κάθε γραμμή είναι ένα γεγονός (event). Η κάθε γραμμή περιλαμβάνει τις μετρήσεις όπως θερμοκρασία (temperature), περιβαλλοντική υγρασία (humidity), τιμές περιβαλλοντικής φωτεινότητας (lumens/light) και τέλος την υγρασία εδάφους (soilmoisture).

```

#include <WiFiINA.h>
#include <Arduino_MKRIoTCarrier.h> // necessary functions physical carrier
MKRIoTCarrier carrier; // object for carrier
#include <WiFi.h>
#include <SPI.h>
#include <WiFiUdp.h>

unsigned int localPort = 2390; // local port to listen on
WiFiUDP Udp;

if (WiFi.status() == WL_NO_MODULE) {
  Serial.println("Communication with WiFi module failed!");
  // don't continue
  while (true);
}

while (status != WL_CONNECTED) {
  Serial.print("Attempting to connect to SSID: ");
  Serial.println(ssid);
  // Connect to WPA/WPA2 network. Change this line if using open or WEP network
  status = WiFi.begin(ssid, pass);
  // wait 10 seconds for connection:
  delay(10000);
}

printWifiStatus();

```

Σχήμα. 19. Οι βασικές βιβλιοθήκες για την σύνδεση του WiFi

Σε κάθε τιμή παρεμβάλλεται το σύμβολο “,” και το τελικό αποτέλεσμα είναι το ακόλουθο για κάθε γραμμή:

— arduino temperature=xx,humidity=xx,lumens=xx,soilmoisture=xx

Σε αυτό το σημείο να τονίσουμε ότι θέλει μεγάλη προσοχή στο μορφότυπο (format) διότι μέχρι και τα κενά (spaces) μεταξύ των μεταβλητών μπορούν να αλλάξουν τη δομή των δεδομένων και ως αποτέλεσμα η βάση δεδομένων να απορρίψει το αίτημα.

Για την αποσφαλμάτωση της διαδικασίας (debugging) εκτελέσαμε την εντολή tcpdump η οποία μας επέστρεψε αναλυτικά την κίνηση των πακέτων δεδομένων καθώς και αν έγινε αποδεκτό το αίτημα για εισαγωγή των δεδομένων με το συγκεκριμένο μορφότυπο στην βάση δεδομένων InfluxDB. Μετά από διάφορες δοκιμαστικές απόπειρες καταλήξαμε στην συγκεκριμένη δομή για την μεταβλητή line και την προσπέλαση των γεγονότων και των μετρήσεων στην βάση δεδομένων.

```

int packetSize = Udp.parsePacket();
if (packetSize) {
  Serial.print("Received packet of size ");
  Serial.println(packetSize);
  Serial.print("From ");
  IPAddress remoteIp = Udp.remoteIP();
  // read the packet into packetBuffer
  int len = Udp.read(packetBuffer, 255);
  if (len > 0) {
    packetBuffer[len] = 0;
  }

  line = String("arduino temperature=" + temperatureline + ",humidity=" + humidity +
    ",lumens=" + light + ",soilmoisture=" + soilmoisturepercent);

  // send a reply, to the IP address and port that sent us the packet we received
  Udp.beginPacket(Udp.remoteIP(), 8888);
  Udp.print(line);
  Udp.endPacket();
}

```

Σχήμα. 20. Αναμονή για σύνδεση UDP και αποστολή δεδομένων στην remoteIP (InfluxDB) στην θύρα 8888.

Στην συνέχεια για την προβολή των δεδομένων και την επιβεβαίωση της επιτυχής σύνδεσης στην βάση δεδομένων αξιοποιήσαμε το πακέτο εφαρμογής influx-client. Εκτελώντας την εντολή influx στο τερματικό μεταβαίνουμε στην διαχείριση των βάσεων δεδομένων. Με την εντολή show databases, use arduino και show measurements προβάλονται οι τιμές που έχουν συλλεχθεί από το Arduino (**Σχήμα 21**).

```

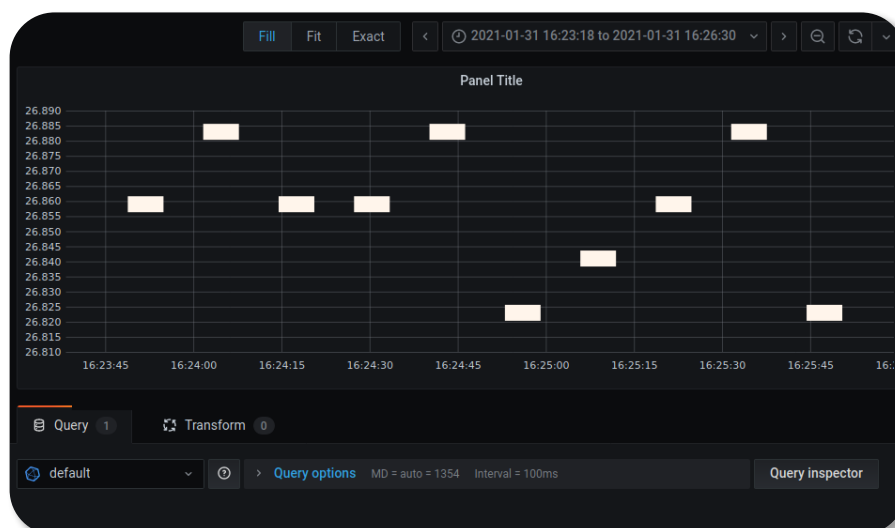
root@mypc:~# influx
Connected to http://localhost:8086 version 1.8.3
InfluxDB shell version: 1.6.4
> show databases
name: databases
name
----
_internal
arduino
> use arduino
Using database arduino
> show measurements
name: measurements
name
----
arduino
> select * from arduino
name: arduino
time                humidity lumens soilmoisture temperature
----
1612103108593567982 41.66   22    362           26.84
1612103121608794313 41.73   22    357           26.86
1612103134628900011 41.68   21    380           26.88
1612103147601657611 41.73   21    372           26.82

```

Σχήμα. 21. Εμφάνιση των τιμών από το Arduino στην InfluxDB

Με βάση την δομή που αξιοποιήσαμε, παρατηρούμε ότι οι τιμές υγρασίας, φωτεινότητας, εδαφικής υγρασίας και περιβαλλοντικής θερμοκρασίας προβάλλονται οργανωμένα στην βάση δεδομένων στο σύστημα διαχείρισης βάσεων δεδομένων της InfluxDB. Στο πλαίσιο time δεν βλέπουμε ένα timestamp που να αντιστοιχεί στην ημερομηνία μας αλλά αξιοποιείται ο τύπος δεδομένων που αξιοποιούνται στους εξυπηρετητές για την κατάλληλη καταγραφή και προβολή της ημερομηνίας ανεξαρτήτως κωδικοποίησης γλώσσας (π.χ. διαφορά μεταξύ μήνας/μέρα/έτος, μέρα/μήνας/έτος κλπ.). Ως αποτέλεσμα των προηγούμενων έχουμε καταφέρει να ολοκληρώσουμε την διαδικασία συλλογής και καταγραφής των μετρήσεων στην βάση δεδομένων InfluxDB. Με την κατάλληλη χρήση είναι πλέον εφικτό να συλλέγουμε τιμές των μετρήσεων για μεγάλη διάρκεια και σε χρονικό διάστημα που θα καθορίσουμε αντίστοιχα. Η συγκεκριμένη διαδικασία μπορεί να γίνει αντίστοιχα με την αξιοποίηση Bluetooth Low Energy (BLE), αλλά και με την κατάλληλη shield ή επέκταση την αξιοποίηση 4G για την μεταφορά των δεδομένων.

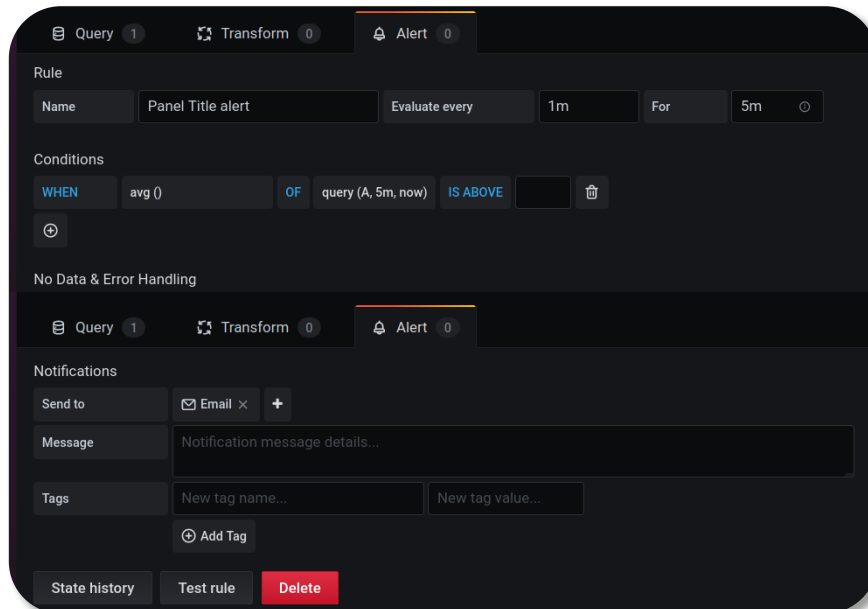
Επόμενο βήμα είναι η δοκιμαστική παρουσίαση των δεδομένων στα Grafana Dashboards. Δοκιμαστικά επιλέξαμε μια από τις τιμές για την προβολή στο dashboard, ωστόσο δεν υλοποιήσαμε ακόμη κάποιο πιο σύνθετο dashboard.



Σχήμα. 22. Εμφάνιση των τιμών στο Grafana Dashboards

Στο **Σχήμα 22** παρουσιάζεται το γράφημα με τις τιμές της θερμοκρασίας περιβάλλοντος οι οποίες έχουν συλλεχθεί από τον μικροελεγκτή. Παρατηρούμε ότι οι συγκεκριμένες μετρήσεις έγιναν από την ώρα 16:23 έως 16:25. Η συχνότητα της συλλογής των μετρήσεων είναι μεγάλη και εδώ διακρίνεται η ικανότητα της InfluxDB να διαχειρίζεται τις χρονοσειρές με πολύ αποδοτικό τρόπο.

Ο βασικός ερευνητικός μας στόχος διακρίνεται από την αξιοποίηση των μετρήσεων στην πρόβλεψη η επιλογή κατάλληλης καλλιέργειας με βάση την καταλληλότητα στο έδαφος λαμβάνοντας υπόψιν και τις περιβαλλοντικές συνθήκες.



Σχήμα. 23. Παραμετροποίηση της αποστολής ειδοποιήσεων με βάση το ερώτημα (Query)

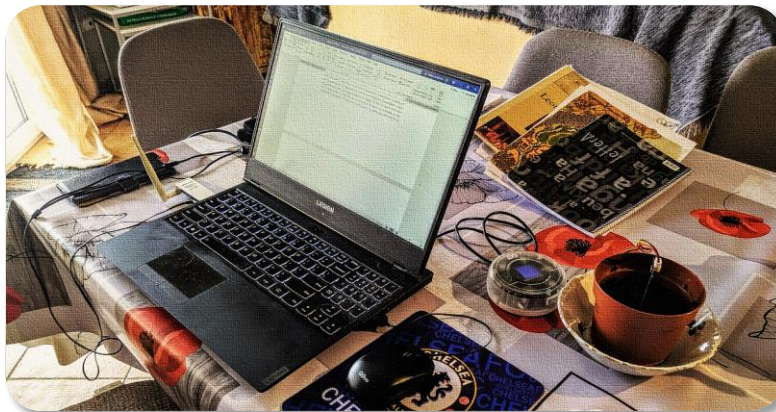
Για τον σκοπό αυτό έχουμε σκεφτεί να καταγράψουμε γεγονότα (events) που θα εκτελούνται υπό συγκεκριμένες συνθήκες και το Grafana θα αποστέλλει ειδοποιήσεις (alerts) μέσω Email για το τι μπορεί να καλλιεργηθεί την συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Για κάθε ερώτημα που θα τρέχει αυτοματοποιημένα σε τακτά χρονικά διαστήματα (π.χ. κάθε μήνα) το Grafana θα εκτελεί και θα στέλνει τις ειδοποιήσεις (**Σχήμα 23**).

Οι κανόνες που θα θέσουμε και παρουσιάζονται αναλυτικά στην επόμενη ενότητα, δημιουργούν ειδοποιήσεις (alerts) οι οποίες αποστέλλονται σε Email σε περίπτωση που οι μετρήσεις αντιστοιχούν σε κάποια πιθανή καλλιέργεια. Για την πρόβλεψη αυτή λαμβάνεται εκτός των άλλων υπόψιν και η χρονική περίοδος κατά την οποία τα δεδομένα συλλέγονται. Το Grafana παρέχει την δυνατότητα να εκτελούνται τα ερωτήματα (queries) αυτοματοποιημένα σε προκαθορισμένη συχνότητα και να εκδίδει κατάλληλες τεχνικές αναφορές σχετικά με την επίδραση των μετρήσεων.

4 Παρουσίαση Τεχνικής Υλοποίησης και Πειραματικής Διάταξης

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται όλα τα εργαλεία και το πειραματικό κομμάτι της διπλωματικής. Πιο συγκεκριμένα περιγράφονται η δημιουργία του συνόλου δεδομένων για την διερεύνηση των απαιτήσεων για κάθε καλλιέργεια, η τοποθέτηση αυτών στην υλοποίηση και η διερεύνηση αποτελεσμάτων. Μεταξύ άλλων επιχειρείται δοκιμαστικά η πρόβλεψη τιμών μέσω παλινδρόμησης καθώς και άλλα εργαλεία και παράμετροι που θα μπορούσαν να ενισχύσουν την συγκεκριμένη προσέγγιση.

Για την πειραματική διάταξη αξιοποιήθηκαν 1 laptop, 1 κάρτα Wi-Fi, 1 Arduino IoT Explore Kit καθώς και τοποθετήθηκε μια γλάστρα με χώμα για την δοκιμαστική καταγραφή των τιμών υγρασίας εδάφους. Τέλος, ο μικροελεγκτής τοποθετήθηκε για ασφάλεια σε ένα πλαστικό κουτί (Σχήμα 24).



Σχήμα. 24. Το συνολικό πείραμα για την δοκιμαστική καταγραφή τιμών

Καθώς ο στόχος της εργασίας επικεντρώθηκε στην ανάπτυξη της πλατφόρμας και την πειραματική δοκιμή τιμών, κρίθηκε απαραίτητη η ανάπτυξη και το πειραματικό μέρος να βρίσκεται στον χώρο ανάπτυξης του απαραίτητου λογισμικού.



Σχήμα. 25. Ο μικροελεγκτής (Arduino) και ο αισθητήρας καταγραφής εδαφικής υγρασίας

Για τον σκοπό της παρατήρησης και μελέτης των μεταβολών αξιοποιήθηκαν διάφορες μεθοδολογίες όπως ή παρατήρηση τιμών μέσα σε μικρό χρονικό διάστημα ενός λεπτού και η μελέτη αλληλεπίδρασης του λογισμικού. Καθώς οι επιθυμητές ειδοποιήσεις θα χρειαζόταν τουλάχιστον 1 χρόνο παρατήρησης, κρίθηκε απαραίτητη η επίτευξη των διαδικασιών αυτών που θα μας εξασφαλίσουν την ορθή αξιοποίηση της πλατφόρμας.

4.1 Δημιουργία Συνόλου Δεδομένων και Καταγραφή Απαιτήσεων

Για τις ανάγκες της συγκεκριμένης εργασίας, κρίθηκε απαραίτητη η δημιουργία ενός, συνόλου δεδομένων, με στόχο την καταγραφή των καθορισμένων τιμών, ώστε να χρησιμοποιηθούν για τη συσχέτιση με τις αναγραφόμενες, από τους αισθητήρες τιμές. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε διεξοδική έρευνα, για τις επίσημα καθορισμένες εδαφοκλιματικές τιμές, 59 κοινών καλλιέργειών. Οι τιμές αυτές αφορούν τρεις συγκεκριμένες κατηγορίες δεδομένων, pH εδάφους, θερμοκρασίας και τιμές υγρασίας εδάφους.

Για την συλλογή των συγκεκριμένων τιμών, χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικές πηγές, κυρίως του διαδικτύου, ενώ η συγκέντρωση όλων των τιμών αποτέλεσε μια αρκετά απαιτητική και χρονοβόρα διαδικασία, καθώς παρατηρήθηκε έλλειψη σε πηγές και βάσεις δεδομένων που να περικλείουν, επίσημα και συγκροτημένα τα δεδομένα αυτά. Το σύνολο των δεδομένων που δημιουργήθηκε είναι χωρισμένο σε 7 στήλες. Συγκεκριμένα αποτελείται από τη στήλη με τα εξής:

- το είδος της καλλιέργειας,
- τη ελάχιστη τιμή pH εδάφους, που μπορεί να αναπτυχθεί η συγκεκριμένη καλλιέργεια
- το μέγιστο pH εδάφους που είναι κατάλληλο για τη συγκεκριμένη καλλιέργεια
- τη ελάχιστη τιμή θερμοκρασίας η οποία είναι κατάλληλη για τη βέλτιστη ανάπτυξη και απόδοση της συγκεκριμένης καλλιέργειας,
- τη μέγιστη τιμή θερμοκρασίας η οποία είναι κατάλληλη για τη βέλτιστη ανάπτυξη και απόδοση της συγκεκριμένης καλλιέργειας,
- την ελάχιστη τιμή υγρασίας εδάφους που είναι η πιο βέλτιστη για την συγκεκριμένη καλλιέργεια,
- την μέγιστη τιμή υγρασίας εδάφους που είναι η πιο βέλτιστη για την συγκεκριμένη καλλιέργεια.

Ακολουθεί ένα παράδειγμα για τη καλύτερη κατανόηση του συνόλου δεδομένων που δημιουργήθηκε. Για τη καλλιέργεια του μύρτιλου, παρατηρούμε στο **Σχήμα 26** πως το εύρος των τιμών για την οξύτητα εδάφους, μέσα στο οποίο έχει τη δυνατότητα να αναπτυχθεί το μύρτιλο, είναι από 3,8 ως 4,2 pH. Το εύρος των τιμών αυτών είναι χωρισμένο σε δυο στήλες, στη πρώτη αναγράφεται η ελάχιστη τιμή pH που μπορεί να πάρει, ενώ στη δεύτερη η μέγιστη. Αυτό συνοπτικά σημαίνει, πως αν ο αισθητήρας μέτρησης οξύτητας εδάφους, καταγράψει σε ένα έδαφος, τιμές που δεν περικλείονται στο εύρος αυτό από 3,8 ως 4,2 τότε το συγκεκριμένο έδαφος δεν είναι κατάλληλο για καλλιέργεια μύρτιλου. Αντίστοιχα αυτό συμβαίνει και με τις τιμές της θερμοκρασίας και της υγρασίας εδάφους.

	A	B	C	D	E	F	G
31	Σέλινο	6,0	7,0	10	20	50%	65%
32	Λάχανο	6,0	7,0	10	15	60%	78%
33	Μέντα	6,0	7,5	13	21	50%	65%
34	Μπιζέλι	6,0	7,5	15	25	55%	73%
35	Μπρόκολο	6,0	7,0	15	20	55%	70%
36	Παντζάρι	6,0	7,5	12	22	43%	60%
37	Σπανάκι	6,0	7,5	15	20	52%	67%
38	Φασόλια	6,0	7,5	21	24	55%	72%
39	Μαντζουράνα	6,0	8,0	15	25	45%	60%
	Πράσο						
40	καλοκαιρινό	6,0	6,0	15	25	70%	87%
41	Πράσο χειμερινό	6,0	6,0	7,5	25	65%	80%
42	Σπαράγγια	6,0	8,0	23	29	50%	65%
43	Αγκινάρα	6,5	7,5	15	20	65%	77%
44	Κριθάρι	6,0	7,5	12	25	45%	62%
45	Σιτάρι	6,0	7,8	4	20	45%	65%
46	Ρύζι	5,5	6,5	25	35	88%	100%
47	Μύρτιλο	3,8	4,2	1,5	12	45%	65%
48	Ελιά	5,5	6,5	18	22	40%	65%
49	Πορτοκαλιά	5,5	7,5	13	37	65%	75%
50	Φραγκοστάφυλο	6,0	6,9	7	19	70%	80%
51	Αμπέλι	6,0	7,0	18	22	35%	55%
52	Βερικοκιά	6,0	7,0	14	28	45%	63%
53	Λεμονιά	6,0	7,0	21	38	60%	70%

Σχήμα. 26. Δείγμα από το σύνολο δεδομένων για τις απαιτήσεις κάθε καλλιέργειας (βλ. Παράρτημα Α)

Για το συγκεκριμένο σύνολο δεδομένων, το εύρος των τιμών θερμοκρασίας, ερμηνεύει τις βέλτιστες θερμοκρασίες για την καλλιέργεια των φυτών, κυρίως μετά τα πρώτα στάδια της ανάπτυξής του. Η θερμοκρασία ορίζει έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες για τη καταλληλότητα καλλιεργειών, καθώς η τεχνητή διαμόρφωση της σε μια ανοιχτή καλλιέργεια, αποτελεί μια πολύ απαιτητική και δαπανηρή διαδικασία. Για τη καλλιέργεια του μύρτιλου, παρατηρείται πως οι βέλτιστες θερμοκρασίες που απαιτούνται για την ανάπτυξή του, είναι από 1,5°C ως 12°C. Αυτό αντίστοιχα σημαίνει πως αν ο αισθητήρας για τη μέτρηση της περιβαλλοντικής θερμοκρασίας, καταγράψει ένα μέσο όρο για τη θερμοκρασία που δεν εντάσσεται μέσα σε αυτές τις τιμές (από 1,5°C ως 12°C), τότε το συγκεκριμένο μικροκλίμα, δεν είναι κατάλληλο για την καλλιέργεια του μύρτιλου.

Τέλος ένας ακόμα πολύ σημαντικός παράγοντας για την αξιολόγηση της καταλληλότητας καλλιεργειας, είναι η υγρασία του εδάφους, στο οποίο επιθυμούμε να καλλιεργήσουμε μια καλλιέργεια. Για την δημιουργία του συγκεκριμένου συνόλου δεδομένων ορίστηκαν κάποια συγκεκριμένα στάδια που ερμηνεύουν τα ποσοστά υγρασίας σε ξηρά, χαμηλά, μέτρια, απαιτητικά και υψηλά. Συγκεκριμένα οι καλλιέργειες που παίρνουν τιμές από 15% ως 30%, απαιτούν ξηρά εδάφη, από 31% ως 45% απαιτούν εδάφη με χαμηλά επίπεδα υγρασίας, από 46% ως 65% απαιτούν εδάφη με μέτρια επίπεδα υγρασίας, από 66% ως 75% απαιτούν εδάφη με απαιτητικά ποσοστά υγρασίας, ενώ

από 76% ως 95% απαιτούν πολύ υψηλά ποσοστά υγρασίας. Παρατηρούμε πως για το μύρτιλο οι κατάλληλες τιμές υγρασίας εδάφους εκτείνονται από 45% ως 65%, αυτό σημαίνει πως η απαίτηση του για υγρασία είναι μέτρια. Ακόμα είναι φυσικό πως αν ο αισθητήρας για τη μέτρηση υγρασίας εδάφους καταγράψει τιμή χαμηλότερη από την ελάχιστη, θα προειδοποιήσει για ανάγκη άρδευσης, ενώ αν καταγράψει τιμή μεγαλύτερη από την μέγιστη, θα προειδοποιήσει για πλημμύρα.

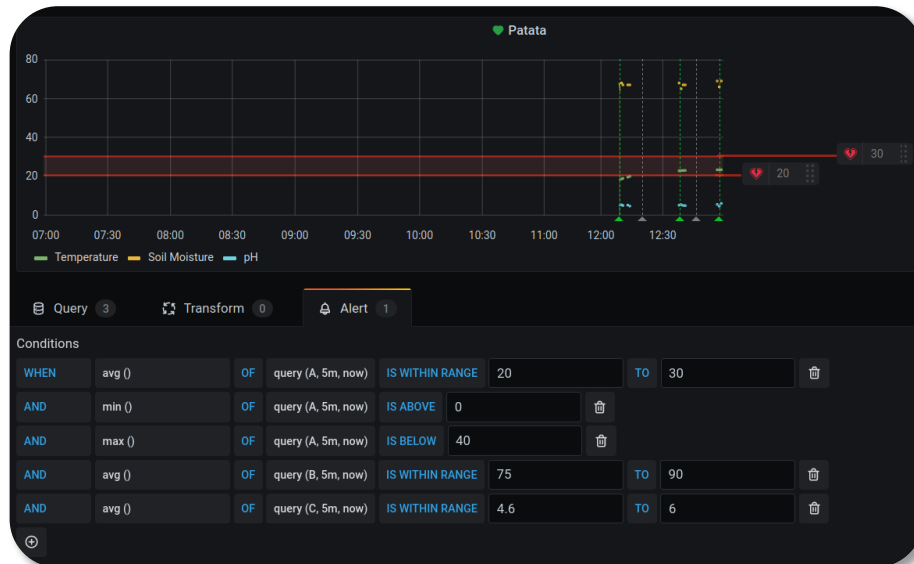
4.2 Επίδειξη και αξιολόγηση της Πειραματικής Υλοποίησης

Με την συγκεκριμένη υλοποίηση είναι πλέον εφικτή η καταμέτρηση και αποθήκευση των τιμών από τους αισθητήρες στην βάση δεδομένων. Ο βασικός σκοπός είναι η αποστολή μηνυμάτων σχετικά με την καταλληλότητα καλλιέργειας. Ως κανάλι επικοινωνίας επιλέχθηκε η χρήση του Slack ωστόσο δοκιμάστηκε και η αποστολή Email. Με τον τρόπο αυτό κάθε φορά που οι συνθήκες θα επιτρέπουν την καλλιέργεια ενός συγκεκριμένου είδους, το σύστημα θα στέλνει αυτοματοποιημένα το κατάλληλο μήνυμα.

Για την ανάλυση των τιμών σε σχέση με την χρονική περίοδο, αναγνωρίστηκε ότι είναι κατάλληλη η παρατήρηση των τιμών από τους αισθητήρες για μεγάλο χρονικό διάστημα. Με αυτόν τον τρόπο η καταλληλότητα κρίνεται με βάση τις τιμές 2 εβδομάδων καθώς οι διαφοροποιήσεις μεταξύ των ημερών δεν πρέπει να καθορίζουν την τελική απόφαση. Ωστόσο ως δικλείδα ασφαλείας τοποθετήθηκαν τιμές που κρίνονται ως επικίνδυνες για την καλλιέργεια, όπως η πολύ χαμηλές/υψηλές θερμοκρασίες, υγρασία εδάφους κλπ. Με αυτόν τον τρόπο συλλέγουμε τον μέσο όρο των τιμών σε μια διάρκεια χρόνου, δίχως να αποκλείουμε ακραίες συνθήκες οι οποίες μπορεί να συμβαίνουν σε ένα μικρό χρονικό διάστημα.

Με βάση τα προηγούμενα, γίνεται αντιληπτό ότι ένα επιτυχές πείραμα σε αυτή την κατεύθυνση θα χρειαστεί περισσότερο χρονικό διάστημα για να έχουμε συμπεράσματα σχετικά με την αποδοτικότητα της πρότασής μας και για την περαιτέρω μελέτη των συνθηκών που επιδρούν. Ως αποτέλεσμα στην παρούσα φάση παρουσιάζεται και επιδεικνύεται η λειτουργία της συγκεκριμένης προσέγγισης συλλέγοντας ένα μικρό δείγμα τιμών και την συσχέτιση αυτών με τα δεδομένα που αναζητήθηκαν στην βιβλιογραφία (**Σχήμα 27**). Όπως παρουσιάζεται στο **Σχήμα 27**, η ειδοποίηση για παράδειγμα ενεργοποιείται όταν η μέση τιμή των θερμοκρασιών των 5 λεπτών βρίσκεται μεταξύ 10 και 30 βαθμών κελσίου και όταν η ελάχιστη τιμή (οποιαδήποτε ελάχιστη θερμοκρασία) είναι πάνω από 0 και η μέγιστη κάτω από 40 βαθμούς κελσίου. Με αυτόν τον τρόπο αποστέλλεται ειδοποίηση όταν οι συνθήκες σε μια περιοχή είναι μεταξύ των 10 και 30 βαθμών κατά μέσο όρο και οι θερμοκρασίες δεν κατεβαίνουν ποτέ κάτω του 0 ή άνω των 40. Θέλει μεγάλη προσοχή στην τοποθέτηση αυτών των συνθηκών και είναι μια συνεχόμενη διαδικασία που πρέπει να εκτελείται κατά την διάρκεια των πειραμάτων για την βελτιστοποίηση του μοντέλου πρόβλεψης.

Αντίστοιχα για κάθε είδος καλλιέργειας δημιουργήθηκαν ξεχωριστές ειδοποιήσεις που ελέγχουν τα κριτήρια με βάση το σύνολο δεδομένων που δημιουργήθηκε από την βιβλιογραφία. Κάθε είδος καλλιέργειας έχει διαφορετικές απαιτήσεις και για τον λόγο αυτό η πιο άμεση λύση ήταν η δημιουργία διαφορετικών ειδοποιήσεων για κάθε μια από τις καλλιέργειες.



Σχήμα. 27. Αναλυτική παρουσίαση των Alerts στην τελική τους μορφή

Για την αποστολή των τελικών δεδομένων αξιοποιήθηκε η δομή της χρονοσειράς όπως αυτή παρουσιάζεται στο **Σχήμα 28**. Με τον τρόπο αυτό είναι πολύ εύκολη πλέον η ανάγνωση και η δημιουργία σεναρίων και διεπαφών με την υπάρχουσα πληροφορία. Η απλότητα της περιγραφής της καθώς και η δυνατότητα να είναι ταυτόχρονα αναγνώσιμη από άνθρωπο και από μηχανή την καθιστά την ιδανική επιλογή.

```

pH = (random(1, 200) / 100.0) + 4.4;
line = String("arduino temperature=" + temperatureline + ",humidity=" + humidity +
",lumens=" + light + ",soilmoisture=" + soilmoisturepercent + ",pH=" + pH);

Serial.println(line);
// send a reply, to the IP address and port that sent us the packet we received
Udp.beginPacket(Udp.remoteIP(), 8888);
Udp.print(line);
Udp.endPacket();

```

Σχήμα. 28. Δομή της χρονοσειράς και αποστολή της μέσω UDP στην βάση δεδομένων

Για την ρύθμιση και την δοκιμή των λειτουργιών πριν την εγκαθίδρυση του πειράματος ήταν απαραίτητη η διαδικασία της αποσφαλμάτωσης. Με την διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται η πλήρης δοκιμή στις παραμέτρους καθώς και η απόκριση που έχει το σύστημα. Ένας πολύ καλός τρόπος είναι η αξιοποίηση της παραμέτρου --attach στις τρέχουσες υπηρεσίες (Grafana και InfluxDB). Με τον τρόπο αυτό δίνεται η δυνατότητα

να παρατηρηθούν οι εσωτερικές λειτουργίες της κάθε υπηρεσίας (**Σχήμα 29**). Για παράδειγμα στο Σχήμα, παρουσιάζεται η επιτυχής αποστολή δοκιμαστικού μηνύματος στο Slack.

```

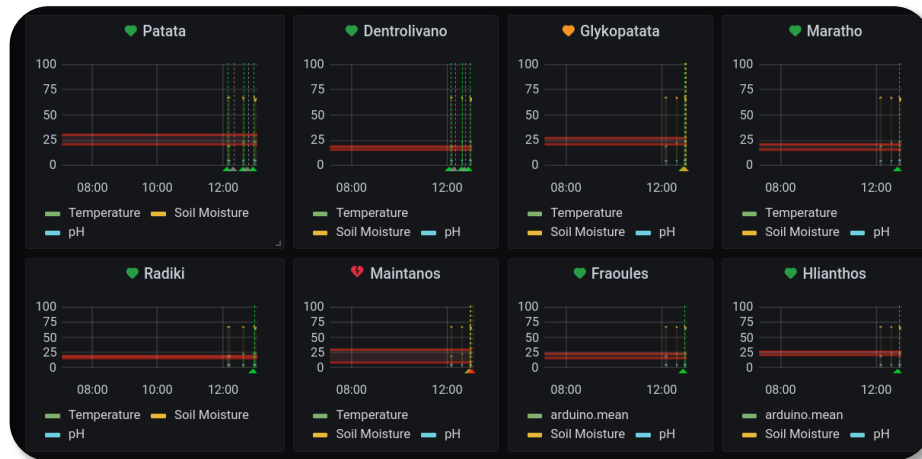
root@midnight-blue:~# docker start grafana --attach
t=2021-02-06T12:00:12+0000 lvl=info msg="Starting Grafana" logger=server version=7.4.0 commit=c2203b9859 branch=HEAD
compiled=2021-02-04T11:11:00+0000
t=2021-02-06T12:00:12+0000 lvl=info msg="Config loaded from" logger=settings file=/usr/share/grafana/conf/defaults.ini
t=2021-02-06T12:00:12+0000 lvl=info msg="Config loaded from" logger=settings file=/etc/grafana/grafana.ini
t=2021-02-06T12:00:12+0000 lvl=info msg="Config overridden from command line" logger=settings
arg="default.paths.data=/var/lib/grafana"
t=2021-02-06T12:00:12+0000 lvl=info msg="Config overridden from command line" logger=settings
arg="default.paths.logs=/var/log/grafana"
t=2021-02-06T12:00:12+0000 lvl=info msg="Config overridden from command line" logger=settings
arg="default.paths.plugins=/var/lib/grafana/plugins"
t=2021-02-06T12:00:12+0000 lvl=info msg="Config overridden from command line" logger=settings
arg="default.paths.provisioning=/etc/grafana/provisioning"
t=2021-02-06T12:00:12+0000 lvl=info msg="Config overridden from command line" logger=settings
arg="default.log_mode=console"
t=2021-02-06T12:00:12+0000 lvl=info msg="Config overridden from Environment variable" logger=settings
var="GF_PATHS_DATA=/var/lib/grafana"
t=2021-02-06T12:00:12+0000 lvl=info msg="Config overridden from Environment variable" logger=settings
var="GF_PATHS_LOGS=/var/log/grafana"
t=2021-02-06T12:00:12+0000 lvl=info msg="Config overridden from Environment variable" logger=settings
var="GF_PATHS_PLUGINS=/var/lib/grafana/plugins"
t=2021-02-06T12:00:12+0000 lvl=info msg="Config overridden from Environment variable" logger=settings
var="GF_PATHS_PROVISIONING=/etc/grafana/provisioning"
t=2021-02-06T12:00:12+0000 lvl=info msg="Path Home" logger=settings path=/usr/share/grafana
t=2021-02-06T12:00:12+0000 lvl=info msg="Path Data" logger=settings path=/var/lib/grafana
t=2021-02-06T12:00:12+0000 lvl=info msg="Path Logs" logger=settings path=/var/log/grafana
t=2021-02-06T12:00:12+0000 lvl=info msg="Path Plugins" logger=settings path=/var/lib/grafana/plugins
t=2021-02-06T12:00:12+0000 lvl=info msg="Path Provisioning" logger=settings path=/etc/grafana/provisioning
t=2021-02-06T12:00:12+0000 lvl=info msg="App mode production" logger=settings
t=2021-02-06T12:00:12+0000 lvl=info msg="Connecting to DB" logger=sqlstore dbtype=sqlite3
t=2021-02-06T12:00:12+0000 lvl=info msg="Starting DB migrations" logger=migrator
t=2021-02-06T12:00:12+0000 lvl=info msg="Starting plugin search" logger=plugins
t=2021-02-06T12:00:12+0000 lvl=info msg="Registering plugin" logger=plugins id=input
t=2021-02-06T12:00:12+0000 lvl=info msg="HTTP Server Listen" logger=http.server address=[::]:3000 protocol=http subUrl=
socket=
t=2021-02-06T12:00:21+0000 lvl=info msg="Executing slack notification" logger=alerting.notifier.slack ruleId=0
notification=Slack

```

Σχήμα. 29. Αποσφαλμάτωση και ανάγνωση των Logs για το Grafana

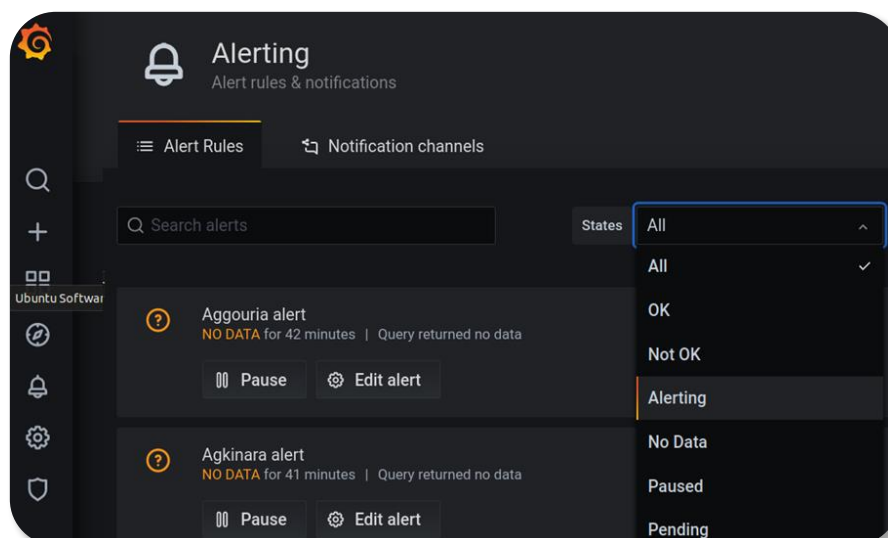
Καθώς στις δικές μας ειδοποιήσεις δεν τοποθετήθηκε το επιθυμητό κανάλι επικοινωνίας, παρόλο που το κανάλι λειτουργούσε δεν λαμβάναμε τις ειδοποιήσεις. Συμπερασματικά καταλάβαμε με αυτόν τον τρόπο ότι πιθανώς να μην έχει οριστεί κανάλι επικοινωνίας για τις επιθυμητές ειδοποιήσεις.

Με τα panels στα Grafana Dashboards είναι πλέον εφικτή η παρουσίαση της κατάστασης για κάθε είδος καλλιέργειας. Μετά την προσθήκη άνω των 30 ειδών καλλιέργειας μας δίνεται η δυνατότητα να παρατηρήσουμε την πρόβλεψη για κάθε μια από τις καλλιέργειες. Η κατάσταση του ελέγχου εκφράζεται με το σύμβολο της καρδιάς και τα χρώματα περιλαμβάνουν το κόκκινο, πορτοκαλί πράσινο και γκρι (**Σχήμα 30**). Το κόκκινο χρώμα υποδηλώνει ότι η συγκεκριμένη καλλιέργεια είναι βιώσιμη, το πορτοκαλί ότι υπάρχει ειδοποίηση ωστόσο σταμάτησαν να αντλούνται δεδομένα και το πράσινο ότι η κατάσταση ελέγχεται και η ειδοποίηση είναι σε κατάσταση αναμονής. Το γκρι υποδηλώνει ότι δεν έχουμε θέσει κάποια ειδοποίηση από την συγκεκριμένη πηγή.



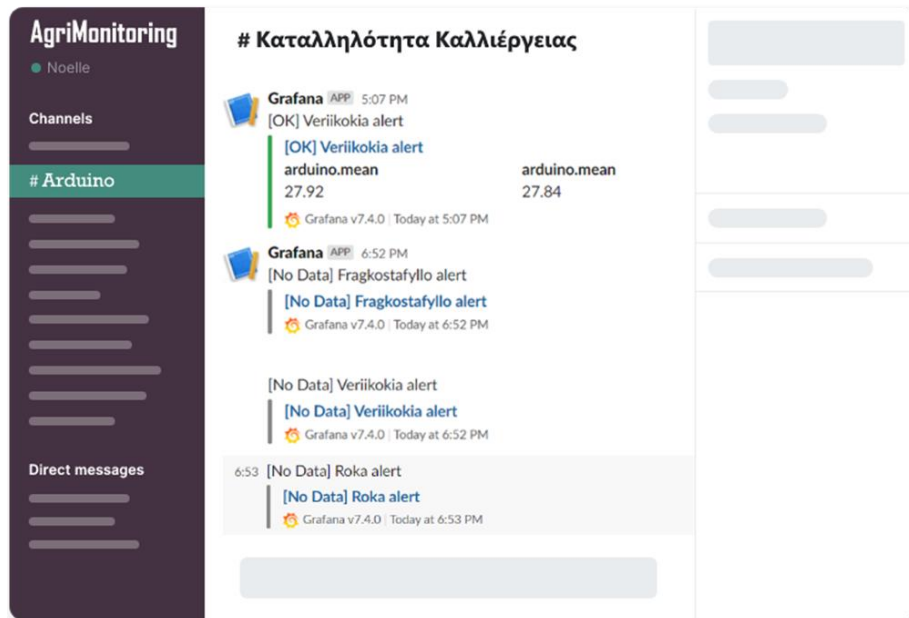
Σχήμα. 30. Grafana Dashboards και Panels για κάθε είδος καλλιέργειας

Η διαχείριση των ειδοποιήσεων από το πάνελ του διαχειριστή γίνεται εύκολα με την δυνατότητα παρατήρησης της κατάστασης κάθε κανόνα ειδοποίησης. Με αυτόν τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα διατήρησης των dashboards απενεργοποιώντας ή ενεργοποιώντας τις ειδοποιήσεις με πολύ εύκολο τρόπο (**Σχήμα 31**).



Σχήμα. 31. Διαχείριση ειδοποιήσεων (Alerts)

Πλέον είναι εφικτή η αποστολή ειδοποιήσεων από το Grafana στο Slack με τους κανόνες που έχουν οριστεί αντίστοιχα (**Σχήμα 32**). Για παράδειγμα κάθε φορά που είναι εφικτή η καλλιέργεια ενός είδους μας αποστέλλεται ένα μήνυμα στο Slack ή σε Email.



Σχήμα. 32. Διαχείριση ειδοποιήσεων (Alerts)

Το θετικό είναι ότι οι ειδοποιήσεις αποστέλλονται μόνο σε περίπτωση αλλαγής της κατάστασης της συνθήκης (βιώσιμη καλλιέργεια ή όχι), ελαχιστοποιώντας έτσι τον όγκο των μηνυμάτων που λαμβάνουμε.

4.3 Πρόβλεψη Μελλοντικών Τιμών με την Αξιοποίηση Μοντέλων Πρόβλεψης

Σχετικά με τις δυνατότητες πρόβλεψη δοκιμάστηκε η διαδικασία της πρόβλεψης μέσω παλινδρόμησης. Ένα δείγμα των προσπαθειών παρουσιάζεται στο **Σχήμα 33**. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζεται η πρόβλεψη των τιμών της εδαφικής υγρασίας για τις επόμενες 6 ώρες (now-1 to now+6h). Με τον τρόπο αυτό είναι εφικτή η πρόβλεψη τιμών για οποιαδήποτε χρήση, ακόμη και για την δημιουργία ειδοποιήσεων με βάση τις προβλεπόμενες τιμές.

Φυσικά η διαδικασία αυτή απαιτεί ένα μεγάλο σύνολο δεδομένων με παρελθοντικές τιμές καθώς και την ολοκλήρωση ενός κύκλου μετρήσεων (πχ. 1 έτος). Με κίτρινο χρώμα διακρίνονται για παράδειγμα οι τιμές που έχουν καταγραφεί και η καμπύλη με πράσινο χρώμα είναι οι τιμές που έχουν προβλεφθεί. Λαμβάνοντας αυτή την προϋπόθεση και με την καταγραφή τιμών σε βάθος χρόνου, οι αντίστοιχες προβλέψεις θα διακρίνονται από υψηλή ακρίβεια.

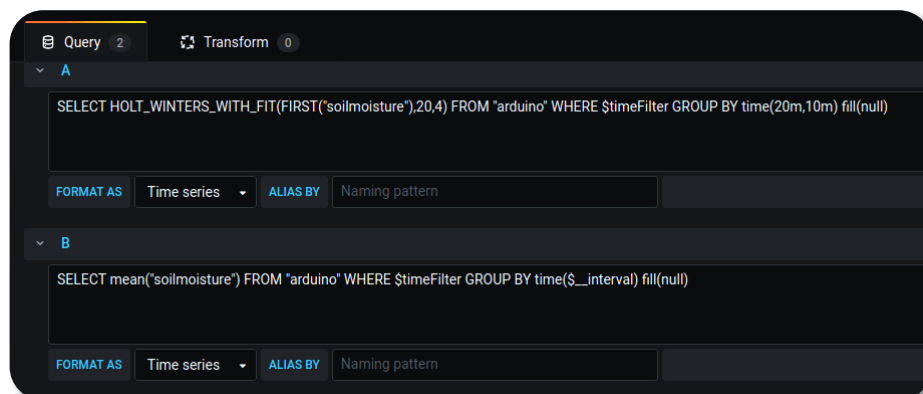
Για την δημιουργία των γραφημάτων στο **Σχήμα 33**, αξιοποιήθηκαν τα SQL ερωτήματα όπως παρουσιάζονται στο **Σχήμα 34**. Με τον τρόπο αυτό στο ίδιο ακριβώς σχήμα παρουσιάζουμε δύο διαφορετικά queries-ερωτήματα για να δούμε την διαφορά

μεταξύ τους. Η πρόβλεψη επιτεύχθηκε με την αξιοποίηση της εκθετικής μεθόδου εξομάλυνσης Hot-Winters. Το μοντέλο αυτό αξιοποιήθηκε για την δοκιμαστική πρόβλεψη τιμών της εδαφικής υγρασίας και έχουμε σκοπό να πειραματιστούμε σε μεγαλύτερο βαθμό στις παραμέτρους και την αποκρισιμότητα του συγκεκριμένου μοντέλου καθώς και να εξετάσουμε και άλλα μοντέλα πρόβλεψης τιμών.



Σχήμα. 33. Πρόβλεψη τιμών υγρασίας εδάφους με την αξιοποίηση του μοντέλου πρόβλεψης Holt-Winters

Το μοντέλο πρόβλεψης Holt-Winters είναι ένας τρόπος μοντελοποίησης και πρόβλεψης της συμπεριφοράς μιας ακολουθίας τιμών με την πάροδο του χρόνου σε μια χρονολογική σειρά (χρονοσειρές). Το μοντέλο αυτό είναι μια από τις πιο δημοφιλείς τεχνικές πρόβλεψης για χρονοσειρές. Παρόλο την παλαιότητα της, εξακολουθεί να είναι αξιοποιήσιμη σε πολλές εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένης της παρακολούθησης όπου χρησιμοποιείται για σκοπούς όπως ανίχνευση ανωμαλιών.



Σχήμα. 34. Ερωτήματα για την δημιουργία της πρόβλεψης

Με την ένταξη της προβλεπτικής μεθόδου είναι εφικτή η δημιουργία ειδοποιήσεων με βάση τις πιθανές μελλοντικές τιμές ή την ειδοποίηση σχετικά με κρίσιμες καταστάσεις ή δυσχερείς περιβαλλοντικές και εδαφικές συνθήκες στο μέλλον. Δεν έχει γίνει πλήρης

ανάλυση για τις δυνατότητες αξιοποίησης αυτής της λειτουργίας, ωστόσο προσδίδει και υπόσχεται πολλές άλλες χρήσεις που ενισχύουν και επεκτείνουν την συγκεκριμένη υλοποίηση.

5 Συμπεράσματα

Στην εργασία αυτή ασχοληθήκαμε με την υλοποίηση ενός συστήματος αισθητήρων και την αναγνώριση καταλληλότητας καλλιέργειας με βάση τους περιβαλλοντικούς παράγοντες και την εδαφική καταλληλότητα. Το δίκτυο αισθητήρων αναπτύχθηκε αξιοποιώντας έναν μικροελεγκτή Arduino και υλοποιήθηκε η κατάλληλη ανάπτυξη του δικτύου αισθητήρων ώστε η συλλογή της πληροφορίας και των δεδομένων να προωθείται σε ένα υπολογιστικό σύστημα για περεταίρω επεξεργασία. Με τον τρόπο αυτό δόθηκε η δυνατότητα της οπτικής απεικόνισης και της πρόβλεψης τιμών καθώς και η δημιουργία και ο διαμοιρασμός σετ δεδομένων για ερευνητικούς σκοπούς.

Πιο συγκεκριμένα η τελική υλοποίηση διακρίνεται από την υψηλής ποιότητας οπτικής αναπαράστασης, υψηλή διασυνδεσιμότητα και φορητότητα του συστήματος και του δικτύου αισθητήρων. Η συνδεσιμότητα επιτεύχθηκε με την αξιοποίηση δικτύου WiFi και την αποθήκευση των χρονοσειρών σε κατάλληλη βάση δεδομένων. Η επιλογή των επιμέρους υπηρεσιών έγινε με στόχο την αξιοποίηση προηγμένων τεχνολογιών όπως η αξιοποίηση του Grafana και της βάσης δεδομένων InfluxDB. Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε ο ορισμός συμβάντων και η οριοθέτηση ειδοποιήσεων για την ενημέρωση του χρήστη για την καταλληλότητα καλλιέργειας. Για κάθε είδος καλλιέργειας ο χρήστης λαμβάνει αντίστοιχο μήνυμα εμπεριέχοντας την μέση τιμή από τις τιμές των αισθητήρων.

Στο πειραματικό μέρος πραγματοποιήθηκε η δοκιμαστική εκτέλεση της προσέγγισης και την επίλυση επιμέρους σφαλμάτων. Οι περιορισμοί που τέθηκαν σχετίζονται με την μεγάλη χρονική διάρκεια που απαιτεί το πειραματικό μέρος, όπως η συλλογή μετρήσεων τουλάχιστον ενός έτους. Μόνο με την συγκεκριμένη προοπτική θα επιτευχθεί η βελτιστοποίηση των μοντέλων για τις ειδοποιήσεις που τέθηκαν καθώς και χρειάζεται εκτεταμένη πειραματική εκτέλεση για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Ωστόσο, παρόλο τους περιορισμούς η υλοποίηση είναι έτοιμη προς χρήση καθώς και έχει χαρτογραφηθεί η ερευνητική προσέγγιση και η περεταίρω αξιοποίηση της συγκεκριμένης υλοποίησης.

Εν κατακλείδι, οι στόχοι της εργασίας για την υλοποίηση του δικτύου αισθητήρων και η καταγραφή των τιμών από τους αισθητήρες, καθώς και η δημιουργία ειδοποιήσεων ολοκληρώθηκε επιτυχώς. Επιπλέον επιτεύχθηκε η δοκιμαστική αξιοποίηση μοντέλου πρόβλεψης τιμών (forecasting μοντέλο Hot Winters) που μπορεί να αξιοποιηθεί περαιτέρω σε περιπτώσεις χρήσεις που δεν έχουν διευκρινιστεί στην εργασία αυτή.

5.1 Μελλοντικές επεκτάσεις

Μελλοντικές επεκτάσεις περιέχουν την δημιουργία περιπτώσεων χρήσεων για την αξιοποίηση του μοντέλου πρόβλεψης τιμών. Σημαντική είναι επίσης η προοπτική της αυτόματης δημιουργίας και εξαγωγής δεδομένων με βάση συγκεκριμένα πρότυπα για τον διαμοιρασμό στην ερευνητική κοινότητα και σε αποθετήρια όπως το Kaggle. Ως αποτέλεσμα, η πιο σημαντική μελλοντική πτυχή της έρευνας αποτελείται από την πειραματική αξιολόγηση της προσέγγισης. Για τον σκοπό αυτό είναι σημαντικός ο καθορισμός και η καταγραφή των βέλτιστων τιμών με βάση την χρονική περίοδο για τις αντίστοιχες καλλιέργειες.

Επιπλέον σημαντική προσθήκη θα αποτελούσε επίσης η προσθήκη αισθητήρων για την εδαφική καταλληλότητα όπως την προσθήκη αισθητήρα για την καταγραφή του εδαφικού pH και των χαρακτηριστικών εδάφους όπως περιεκτικότητα σε φώσφορο και κάλλιο. Η διερεύνηση της εδαφικής καταλληλότητας καθώς και ο καθορισμός των θρεπτικών στοιχείων αποτελεί επίσης μελλοντική προέκταση αυτής της εργασίας.

Παράρτημα Α

Στο συγκεκριμένο παράρτημα παρατίθεται το σύνολο δεδομένων που δημιουργήθηκε για το παρόν έργο. Συγκεκριμένα δίνονται τιμές για τις παρακάτω 59 καλλιέργειες σε μορφή πίνακα.

Καλλιέργεια	pH (min) εδάφους	pH (max) εδάφους	Θερμοκρασία (min)	Θερμοκρασία (max)	Υγρασία (min) εδάφους	Υγρασία (max) εδάφους
Πατάτα	4,5	6,0	18	22	75%	90%
Γλυκοπατάτα	5,4	5,4	21	27	60%	80%
Αγγούρια	5,5	5,5	23	26	60%	90%
Δεντρολίβανο	5,0	6,0	15	18	45%	60%
Μάραθο	5,0	7,0	15	21	45%	60%
Ραδίκι	5,0	6,5	15	18	65%	80%
Μαϊντανός	5,0	7,0	8	29	45%	70%
Φράουλα	5,0	7,5	15	22	65%	85%
Μπανάνα	5,5	6,5	13	27	50%	65%
Ρεπάνι	5,5	5,9	6	18	65%	80%
Ηλιανθος	5,5	5,9	20	25	60%	72%
Βασιλικός	5,5	6,5	27	32	40%	60%
Καρπούζι	5,5	6,5	21	32	65%	85%
Πεπόνι	5,5	6,5	18	20	65%	80%
Φασκόμηλο	5,5	6,5	15	21	55%	68%
Θυμάρι	5,5	7,0	20	30	45%	60%
Κολοκυθάκι	5,5	7,0	18	23	70%	80%
Πιπεριά	5,5	7,0	20	25	55%	70%
Φακή	5,5	7,0	18	30	45%	70%
Δυόσμος	5,5	7,5	14	24	45%	60%
Καλαμπόκι	5,5	7,5	20	30	75%	84%
Καρότο	5,5	7,0	6	20	60%	75%
Κουνουπίδι	5,5	7,5	12	21	65%	75%
Σκόρδο	5,5	7,0	7	20	38%	45%
Ντομάτα	6,0	6,5	20	24	60%	70%
Ανηθος	6,0	6,9	18	25	55%	65%
Μπάμιες	6,0	6,9	15	32	40%	55%
Κρεμμύδι	6,0	7,0	15	25	35%	45%
Μαρούλι	6,0	7,0	15	20	58%	70%
Σέλινο	6,0	7,0	10	20	50%	65%
Λάχανο	6,0	7,0	10	15	60%	78%
Μέντα	6,0	7,5	13	21	50%	65%
Μπιζέλι	6,0	7,5	15	25	55%	73%

Μπρόκολο	6,0	7,0	15	20	55%	70%
Παντζάρι	6,0	7,5	12	22	43%	60%
Σπανάκι	6,0	7,5	15	20	52%	67%
Φασόλια	6,0	7,5	21	24	55%	72%
Μαντζουράνα	6,0	8,0	15	25	45%	60%
Πράσο καλοκαιρινό	6,0	6,0	15	25	70%	87%
Πράσο χειμερινό	6,0	6,0	7,5	25	65%	80%
Σπαράγγια	6,0	8,0	23	29	50%	65%
Αγκινάρα	6,0	7,5	15	20	65%	77%
Κριθάρι	6,0	7,5	12	25	45%	62%
Σιτάρι	6,0	7,8	4	20	45%	65%
Ρύζι	5,5	6,5	25	35	88%	100%
Μύρτιλο	3,8	4,2	1,5	12	45%	65%
Ελιά	5,5	6,5	18	22	40%	65%
Πορτοκαλιά	5,5	7,5	13	37	65%	75%
Φραγκοστάφυλο	6,0	6,9	7	19	70%	80%
Αμπέλι	6,0	7,0	18	22	35%	55%
Βερικοκιά	6,0	7,0	14	28	45%	63%
Λεμονιά	6,0	7,0	21	38	60%	70%
Μελιτζάνα	7,0	7,0	20	25	60%	75%
Αντίδι	6,0	6,0	15	22	60%	75%
Λαχανίδα	7,0	7,0	16	18	65%	78%
Κολοκύθα	7,0	7,0	15	20	70%	85%
Κινόα	7,0	7,0	18	24	55%	70%
Ρόκα	7,0	7,0	18	22	60%	75%

Βιβλιογραφία

- Abbas, Md. Sajid, Md. Aswer Mohiddin, and N. Y. S. Pavan Teja | Ch. Nanda Kumar. 2019. "Automatic Plant Irrigation System." *International Journal of Trend in Scientific Research and Development* Volume-3(Issue-3): 1239–41.
- Ahmad, Firoz, and Laxmi Goparaju. 2017. "Land Evaluation in Terms of Agroforestry Suitability, an Approach to Improve Livelihood and Reduce Poverty: A FAO Based Methodology by Geospatial Solution: A Case Study of Palamu District, Jharkhand, India." *Ecological Questions* 25: 67–84.
- Akshay, Salve, Sagar Sonali, Patne Mahesh, and Jangam Omkar. 2018. "Soil Nutrient Identification Using Arduino and Electrochemical Sensor." *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*: 1327–29. www.irjet.net.
- AL-Taani, Aymen, Yusra Al-husban, and Ibrahim Farhan. 2020. "Land Suitability Evaluation for Agricultural Use Using GIS and Remote Sensing Techniques: The Case Study of Ma'an Governorate, Jordan." *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* (xxxx): 0–8.
- Bunce, James A. 1984. "Effects of Humidity on Photosynthesis." *Journal of Experimental Botany* 35(9): 1245–51.
- Cetin, Mehmet, and Hakan Sevik. 2016. "Measuring the Impact of Selected Plants on Indoor CO2 Concentrations." *Polish Journal of Environmental Studies* 25(3): 973–79.
- Fazel Amiri. 2012. "Application of Geographic Information Systems in Land-Use Suitability Evaluation for Beekeeping: A Case Study of Vahregan Watershed (Iran)." *African Journal of Agricultural Research* 7(1).
- Hasanuzzaman, Mirza et al. 2013. "Physiological, Biochemical, and Molecular Mechanisms of Heat Stress Tolerance in Plants." *International Journal of Molecular Sciences* 14(5): 9643–84.
- Kazemi, Hossein, and Halil Akinci. 2018. "A Land Use Suitability Model for Rainfed Farming by Multi-Criteria Decision-Making Analysis (MCDA) and Geographic Information System (GIS)." *Ecological Engineering* 116(September 2017): 1–6.
- Keertikumar, M., M. Shubham, and R. M. Banakar. 2016. "Evolution of IoT in Smart Vehicles: An Overview." *Proceedings of the 2015 International Conference on Green Computing and Internet of Things, ICGCIoT 2015* (October): 804–9.
- Kumar, Arun et al. 2019. "IoT Based Farming Recommendation System Using Soil Nutrient and Environmental Condition Detection." *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering* 8(11): 3055–60.
- Markovic, Dusan, Ranko Koprivica, Uros Pesovic, and Sinisa Randic. 2015. "Application of IoT in Monitoring and Controlling Agricultural Production." *Acta agriculturae Serbica* 20(40): 145–53.
- Ostovari, Yaser et al. 2019. "GIS and Multi-Criteria Decision-Making Analysis Assessment of Land Suitability for Rapeseed Farming in Calcareous Soils of Semi-Arid Regions." *Ecological Indicators* 103(February): 479–87.

- Parihar, C. M. et al. 2016. "Conservation Agriculture in Irrigated Intensive Maize-Based Systems of North-Western India: Effects on Crop Yields, Water Productivity and Economic Profitability." *Field Crops Research* 193: 104–16.
- Salas López, Rolando et al. 2020. "Land Suitability for Coffee (*Coffea Arabica*) Growing in Amazonas, Peru: Integrated Use of AHP, GIS and RS." *ISPRS International Journal of Geo-Information* 9(11): 673.
- Shah, Farooq, and Wei Wu. 2019. "Soil and Crop Management Strategies to Ensure Higher Crop Productivity within Sustainable Environments." *Sustainability* 11(5): 1485.
- Singh, Anita, Sheo Mohan Prasad, and Rajeev Pratap Singh. 2016. "Plant Responses to Xenobiotics." *Plant Responses to Xenobiotics*: 1–346.
- Sivakumar, M. V.K., R. Gommers, and W. Baier. 2000. "Agrometeorology and Sustainable Agriculture." *Agricultural and Forest Meteorology* 103(1–2): 11–26.
- Taghizadeh-Mehrjardi, Ruhollah et al. 2020. "Land Suitability Assessment and Agricultural Production Sustainability Using Machine Learning Models." *Agronomy* 10(4): 1–20.
- Tashayo, Behnam, Afshin Honarbakhsh, Mohammad Akbari, and Mobin Eftekhari. 2020. "Land Suitability Assessment for Maize Farming Using a GIS-AHP Method for a Semi- Arid Region, Iran." *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 19(5): 332–38.
- Tashayo, Behnam, Afshin Honarbakhsh, Aliasghar Azma, and Mohammad Akbari. 2020. "Combined Fuzzy AHP–GIS for Agricultural Land Suitability Modeling for a Watershed in Southern Iran." *Environmental Management* 66(3): 364–76.
- Tulenkov, Artem et al. 2018. "The Features of Wireless Technologies Application for Smart House Systems." *Proceedings of the 2018 IEEE 4th International Symposium on Wireless Systems within the International Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems, IDAACS-SWS 2018*: 1–5.
- Vasu, Duraisamy et al. 2018. "A Comparative Assessment of Land Suitability Evaluation Methods for Agricultural Land Use Planning at Village Level." *Land Use Policy* 79(January 2019): 146–63. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.08.007>.
- Voesenek, L. A.C.J. et al. 2004. "Plant Hormones Regulate Fast Shoot Elongation under Water: From Genes to Communities." *Ecology* 85(1): 16–27.
- Wang, Chong Ho. 2014. "Farming Methods Effects on the Soil Fertility and Crop Production Under a Rice-Vegetables Cropping Sequences." *Journal of Plant Nutrition* 37(9): 1498–1513.
- Wani, Shabir H. et al. 2016. "Genetic Engineering for Cold Stress Tolerance in Crop Plants." *Advances in Genome Science*: 173–201.
- Κουκουλάκης, Πρόδρομος. 2015. *Τα Προβληματικά Εδάφη Και η Βελτίωσή Τους*.