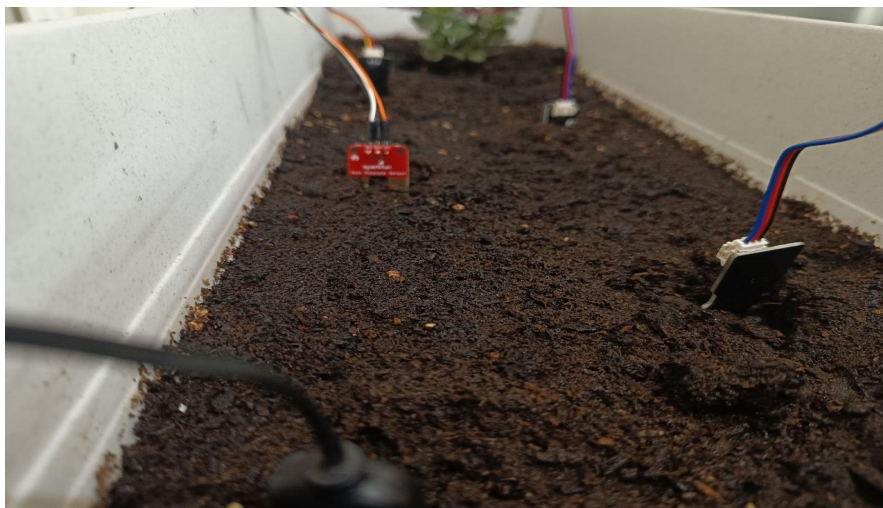


ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
«ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ
ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΓΙΑ ΙΟΤ»



Της φοιτήτριας
Προκοπίδου Κυριακής
Αρ. Μητρώου: 113787

Επιβλέπων
Αμανατιάδης Δημήτριος

Σεπτέμβριος 2026

Τίτλος Π.Ε. Μελέτη και δημιουργία αισθητήρα υγρασίας εδάφους για IoT

Κωδικός Π.Ε. 24197

Ονοματεπώνυμο φοιτητή Προκοπίδου Κυριακή

Ονοματεπώνυμο εισηγητή Αμανατιάδης Δημήτριος

Ημερομηνία ανάληψης Π.Ε. 17/06/2024

Ημερομηνία περάτωσης Π.Ε. 06/09/2026

Βεβαιώνω ότι είμαι η συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως πτυχιακή εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία της φοιτήτριας Προκοπίδου Κυριακής που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

«Αφιερώνω αυτή την εργασία στα παιδιά μου που μου έδωσαν κίνητρο να συνεχίσω τις σπουδές μου»

Πρόλογος

Η ενασχόληση της οικογένειάς μου με τη γεωργία ήταν αυτό που με οδήγησε στην επιλογή της συγκεκριμένης εργασίας. Το όφελος που είχα κατά την εκπόνηση της πτυχιακής εργασίας ήταν να αποκτήσω επιπλέον γνώσεις πάνω στον προγραμματισμό σε Arduino, αλλά και γνώσεις πάνω στην έξυπνη γεωργία, που θα μπορέσω να χρησιμοποιήσω μελλοντικά, αφού η ανάπτυξη της έξυπνης γεωργίας βρίσκεται σε κομβικό σημείο.

Περίληψη

Σε αυτήν την εργασία θα γίνει μια ιστορική αναδρομή του internet και της μετάβασης του σε internet of things. Θα επικεντρωθεί στην σύγχρονη γεωργία και συγκεκριμένα θα αναλυθούν οι αισθητήρες υγρασίας εδάφους, οι τύποι και ο διαφορετικός τρόπος μέτρησης του κάθε αισθητήρα. Επίσης θα εκτελεστεί ένα πείραμα με τους αισθητήρες έτσι ώστε να διαπιστωθεί αν οι αισθητήρες σε βάθος χρόνου έχουν κάποια απώλεια στις μετρήσεις τους και αν διαφοροποιούνται σε θέμα ποιότητας. Τέλος γίνεται μια σύνοψη των αποτελεσμάτων και παρουσιάζονται κάποιες ιδέες και μελλοντικές προτάσεις.

«Design and Development of a Soil Moisture Sensor for IoT»

«Prokopidou Kyriaki»

Abstract

This study begins with a historical overview of the Internet and its evolution into the Internet of Things (IoT). It then focuses on modern agriculture, specifically analyzing soil moisture sensors, their various types, and the distinct measurement methods employed by each. Additionally, an experiment is conducted to determine whether the sensors exhibit measurement drift over time or differ in terms of quality. Finally, the results are summarized, and ideas and proposals for future work are presented.

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ το σύζυγο μου που με τη στήριξή του συνέβαλε στην ολοκλήρωση της πτυχιακής εργασίας.

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	iv
Περίληψη	v
Abstract	vi
Ευχαριστίες	vii
Περιεχόμενα.....	viii
Κατάλογος Σχημάτων	xi
Κατάλογος Πινάκων	xii
Συντομογραφίες	xiii
Κεφάλαιο 1ο: Ιστορία του Διαδικτύου	1
1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Internet	1
1.3 Internet of Things.....	5
1.3.1 Πλεονεκτήματα IoT	6
1.3.2 Μειονεκτήματα IoT.....	8
1.4 Industrial Internet of Things.....	8
1.5 Smart Agriculture.....	9
1.5.1 Precision Agriculture.....	10
1.5.2 Ο ρόλος των αισθητήρων	11
1.6 Επίλογος.....	12
Κεφάλαιο 2ο: Αρχιτεκτονική IoT.....	13
2.1 Εισαγωγή.....	13
2.2 Βασική αρχιτεκτονική.....	13
2.2.1 Επίπεδο Αισθητήρων (Perception Layer)	14
2.2.2 Επίπεδο Δικτύου (Network Layer).....	14
2.2.3 Επίπεδο Επεξεργασίας (Middleware Layer)	15
2.2.4 Επίπεδο Εφαρμογής (Application Layer)	15
2.3 Πρωτόκολλα.....	15
2.3.1 Wi-Fi	16
2.3.2 Bluetooth Low Energy	17
2.3.3 Zigbee.....	17
2.3.4 LoRaWAN	18
2.3.5 NB-IoT	19

2.3.6	LTE-M.....	19
2.3.7	5G.....	19
2.3.8	Ethernet	20
2.3.9	MQTT.....	20
2.3.10	CoAP.....	21
2.3.11	HTTP/HTTPS	21
2.3.12	Συγκριτικός πίνακας	21
2.4	Συσκευές IoT.....	22
2.5	Επίλογος.....	23
Κεφάλαιο 3ο:	Αισθητήρες.....	24
3.1	Εισαγωγή.....	24
3.2	Κατηγορίες αισθητήρων	24
3.3	Αισθητήρες εδάφους	28
3.4	Αισθητήρες υγρασίας.....	30
3.4.1	Αισθητήρες Αντιστάσεως (resistive).....	31
3.4.2	Χωρητικοί Αισθητήρες (capacitive).....	31
3.4.3	Αισθητήρες TDR.....	31
3.4.4	Αισθητήρες FDR.....	32
3.4.5	Νετρονικοί αισθητήρες	33
3.4.6	Tensiometers	34
3.5	Επίλογος.....	34
Κεφάλαιο 4ο:	Μικροελεγκτές.....	35
4.1	Εισαγωγή.....	35
4.2	Arduino	35
4.2.1	Ιστορική αναδρομή.....	35
4.2.2	Πλακέτα Arduino	36
4.2.3	Υλικό.....	36
4.2.4	Λογισμικό.....	39
4.2.5	Πλεονεκτήματα Arduino.....	40
4.2.6	Μειονεκτήματα Arduino	41
4.2.7	Εφαρμογή	41
4.3	ESP8266.....	43
4.3.1	Βασικά Χαρακτηριστικά και λειτουργίες	43
4.3.2	Διεπαφές.....	44
4.3.3	Μειονεκτήματα	45

4.3.4	Εξέλιξη.....	45
4.3.5	Εφαρμογή.....	45
4.4	Raspberry Pi Pico.....	46
4.4.1	Αρχιτεκτονική και Τεχνικά χαρακτηριστικά	47
4.4.2	Raspberry Pi Pico W	47
4.4.3	Λογισμικό.....	48
4.5	Επίλογος.....	48
Κεφάλαιο 5ο:	Πειραματική Μελέτη.....	49
5.1	Εισαγωγή.....	49
5.2	Υλικά.....	49
5.3	Εκτέλεση πειράματος.....	49
5.3.1	Πρώτο στάδιο.....	49
5.3.2	Οπτικοποίηση αποτελεσμάτων	51
5.3.3	Επόμενες δοκιμές.....	52
5.3.4	Τελικά αποτελέσματα.....	54
5.4	Δημιουργία Αισθητήρα υγρασίας εδάφους.....	55
5.5	Επίλογος.....	57
Κεφάλαιο 6ο:	Συμπεράσματα και προτάσεις βελτίωσης.....	58
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....		60
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α : ΚΩΔΙΚΑΣ		64
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β : ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ		72
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ : ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ		76

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1.1 : Λογότυπο ARPANET [27].....	1
Σχήμα 1.2 : DNS Server [28].....	2
Σχήμα 1.3 : Internet of Things [36].....	5
Σχήμα 1.4 : Industrial Internet of Things [37]	8
Σχήμα 1.5 : Smart Farming [29]	9
Σχήμα 2.1 : Αρχιτεκτονική IoT 4 επιπέδων [10]	12
Σχήμα 2.2 : Τεχνολογίες IoT [2]	13
Σχήμα 2.3 : Wi-Fi HaLow [52].....	16
Σχήμα 2.4 : LoRaWAN topology [53].....	17
Σχήμα 2.5 : 5G [9].....	19
Σχήμα 2.6 : Λειτουργία MQTT [51].....	19
Σχήμα 3.1 : Κατηγοριοποίηση με βάση το φυσικό μέγεθος [41]	23
Σχήμα 3.2 : Αισθητήρας ελέγχου θερμοκρασίας [14]	24
Σχήμα 3.3 : Αισθητήρας ελέγχου επιπέδου υγρασίας στον αέρα [15].....	24
Σχήμα 3.4 : Αισθητήρας ανίχνευσης κίνησης [16]	25
Σχήμα 3.5 : Αισθητήρας ανίχνευσης ήχου [18].....	25
Σχήμα 3.6 : Αισθητήρας στάθμης [19]	26
Σχήμα 3.7 : Οπτικός αισθητήρας [20].....	26
Σχήμα 3.8 : Αισθητήρας ελέγχου ποιότητας του αέρα [17].....	27
Σχήμα 3.9 : Αισθητήρας εδάφους [21]	27
Σχήμα 3.10 : Συσκευές Υγείας [22]	28
Σχήμα 3.11 : Αισθητήρες σε smart building [23]	28
Σχήμα 3.12 : Αισθητήρας ελέγχου θρεπτικών στοιχείων [24].....	29
Σχήμα 3.13 : Αισθητήρας TDR [11]	31
Σχήμα 3.14 : Αισθητήρας FDR [12]	32
Σχήμα 3.15 : Νετρονικός Αισθητήρας [3]	32
Σχήμα 3.16 : Τενσιόμετρο [13].....	33
Σχήμα 4.1 : Πλακέτα Arduino UNO.....	35
Σχήμα 4.2 : Επεκτάσεις Arduino [25].....	38
Σχήμα 4.3 : Arduino IDE	39
Σχήμα 4.4 : ESP8266 [49].....	43
Σχήμα 4.5 : Raspberry Pi Pico [26].....	46
Σχήμα 5.1 : Πριν και μετά τη χρήση.....	49
Σχήμα 5.2 : Διάβρωση αισθητήρα	50
Σχήμα 5.3 : Αρχική διάταξη και led.....	50
Σχήμα 5.4 : Εμφάνιση ποσοστού υγρασίας σε οθόνη.....	51
Σχήμα 5.5 : Νέα πειραματική διάταξη	52
Σχήμα 5.6 : WeMos D1 με αισθητήρα χωρητικότητας	52
Σχήμα 5.7 : Εμφάνιση ποσοστού υγρασίας σε client.....	53
Σχήμα 5.8 : Αισθητήρες	53
Σχήμα 5.9 : Υλικά κατασκευής.....	54
Σχήμα 5.10 : DIY αισθητήρας	55
Σχήμα 5.11 : Οξείδωση χαλκού	55

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2-1 Σύγκριση Πρωτοκόλλων	21
--	----

Συντομογραφίες

3GPP	3rd Generation Partnership Project
API	Application Programming Interface
BLE	Bluetooth Low Energy
CoAP	Constrained Application Protocol
DNS	Domain Name System
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
GNSS	Global Navigation Satellite System.
GPS	Global Positioning System
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
HTTPS	Hypertext Transfer Protocol Secure
IDE	Integrated Development Environment
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IIoT	Industrial Internet of Things
Iot	Internet of Things
IP	Internet Protocol
LAN	Local Area Network
LoRaWAN	Long Range Wide Area Network
LPWA	Low Power Wide Area
LTE	Long Term Evolution
LTE-M	LTE for Machine-Type Communications
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
NB-IoT	NarrowBand Internet of Things
pH	potential of Hydrogen
RFID	radio-frequency identification
SRAM	Static Random-Access Memory
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
UDP	User Datagram Protocol
USB	Universal Serial Bus
ΠΕ	Πτυχιακή Εργασία

Κεφάλαιο 1ο: Ιστορία του Διαδικτύου

1.1 Εισαγωγή

Στο πρώτο κεφάλαιο αυτής της εργασίας θα γίνει μια ιστορική αναδρομή στην δημιουργία και εξέλιξη του διαδικτύου(internet) και θα παρουσιαστεί πως από το Internet έγινε μετάβαση στο IoT. Θα γίνει επίσης αναφορά στο τι είναι το IoT. Θα παρουσιαστεί η κλιμάκωση του σε Industrial Internet of Things και τέλος θα γίνει αναφορά στην έξυπνη γεωργία.

1.2 Internet

Η πρώτη ιδέα σχετικά με τη δημιουργία ενός παγκόσμιου συστήματος διασυνδεδεμένων υπολογιστών εμφανίστηκε ήδη από τις αρχές της δεκαετίας του 1960. Μία από τις σημαντικότερες πρώιμες θεωρητικές προσεγγίσεις προήλθε από τον J.C.R. Licklider του Massachusetts Institute of Technology (MIT), ο οποίος το 1962 παρουσίασε την ιδέα ενός «Γαλαξιακού Δικτύου» (Galactic Network).[1]

Σύμφωνα με το όραμα αυτό, θα μπορούσε να δημιουργηθεί ένα παγκόσμιο σύνολο αλληλοσυνδεδεμένων υπολογιστών, μέσω του οποίου οι χρήστες θα είχαν τη δυνατότητα να αποκτούν πρόσβαση σε δεδομένα και προγράμματα ανεξάρτητα από τη γεωγραφική θέση στην οποία βρίσκονταν. Η συγκεκριμένη ιδέα προέβλεπε ουσιαστικά τη δυνατότητα παγκόσμιας επικοινωνίας και ανταλλαγής πληροφοριών, έννοιες οι οποίες αποτελούν βασικά χαρακτηριστικά του σημερινού Διαδικτύου.

Παράλληλα, σημαντική ήταν η συμβολή του Leonard Kleinrock, ο οποίος το 1961 δημοσίευσε εργασία σχετική με τη θεωρία της μεταγωγής πακέτων (packet switching). Η προσέγγιση αυτή αποτέλεσε θεμελιώδες βήμα για την ανάπτυξη των δικτύων υπολογιστών, καθώς επέτρεπε τη μεταφορά δεδομένων με τη μορφή μικρότερων πακέτων αντί της διατήρησης ενός συνεχούς τηλεπικοινωνιακού κυκλώματος.

Η θεωρία αυτή απέκτησε μεγαλύτερη πρακτική σημασία όταν, το 1965, ο Lawrence G. Roberts και ο Thomas Merrill κατάφεραν να συνδέσουν δύο υπολογιστές που βρίσκονταν σε διαφορετικές περιοχές των Ηνωμένων Πολιτειών. Ο υπολογιστής TX-2 στη Μασαχουσέτη συνδέθηκε με τον Q-32 στην Καλιφόρνια μέσω τηλεφωνικής γραμμής χαμηλής ταχύτητας. Το πείραμα απέδειξε ότι ήταν εφικτή η απομακρυσμένη επικοινωνία μεταξύ υπολογιστικών συστημάτων, ενώ παράλληλα ανέδειξε τους περιορισμούς των παραδοσιακών τηλεφωνικών δικτύων, τα οποία βασίζονταν στη μεταγωγή κυκλώματος. Η ανάγκη για μια αποτελεσματικότερη μέθοδο επικοινωνίας ενίσχυσε, επομένως, την κατεύθυνση προς τη μεταγωγή πακέτων.

Το 1966 ο Lawrence Roberts εντάχθηκε στη Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), όπου ανέλαβε την ανάπτυξη της ιδέας ενός δικτύου υπολογιστών. Το 1967 διαμορφώθηκε και δημοσιεύτηκε το αρχικό σχέδιο για τη δημιουργία του ARPANET, ενός δικτύου το οποίο αποτέλεσε τον σημαντικότερο πρόδρομο του σύγχρονου Διαδικτύου.

Η ανάπτυξη του ARPANET πραγματοποιήθηκε με τη συμμετοχή αρκετών ερευνητών και οργανισμών. Η εταιρεία Bolt, Beranek and Newman (BBN) ανέπτυξε τους ειδικούς μεταγωγείς του δικτύου, γνωστούς ως Interface Message Processors (IMPs), ενώ ο Robert Kahn συμμετείχε στον συνολικό σχεδιασμό της αρχιτεκτονικής του συστήματος.

Το πρώτο σημείο σύνδεσης του ARPANET δημιουργήθηκε στο University of California, Los Angeles (UCLA). Τον Σεπτέμβριο του 1969 εγκαταστάθηκε εκεί ο πρώτος μεταγωγέας και συνδέθηκε ο πρώτος υπολογιστής του δικτύου. Το γεγονός αυτό θεωρείται σημαντικός σταθμός στην ιστορία της δικτύωσης υπολογιστών, καθώς αποτέλεσε την αρχή της λειτουργίας του ARPANET ως πραγματικού δικτύου.

Στη συνέχεια, το 1970 ολοκληρώθηκε το πρώτο πρωτόκολλο επικοινωνίας μεταξύ των υπολογιστών του ARPANET, το Network Control Protocol (NCP). Με την υιοθέτησή του από τους κόμβους του δικτύου κατά την περίοδο 1971–1972, οι χρήστες άρχισαν να μπορούν να αναπτύσσουν εφαρμογές οι οποίες αξιοποιούσαν τη νέα υποδομή.



Σχήμα 1.1 : Λογότυπο ARPANET [27]

Ένα από τα σημαντικότερα αποτελέσματα αυτής της περιόδου ήταν η ανάπτυξη του ηλεκτρονικού ταχυδρομείου. Το 1972 ο Ray Tomlinson της BBN δημιούργησε το βασικό λογισμικό αποστολής και ανάγνωσης ηλεκτρονικών μηνυμάτων. Η εφαρμογή αυτή γνώρισε ιδιαίτερα μεγάλη επιτυχία και σύντομα εξελίχθηκε στην πιο δημοφιλή υπηρεσία του ARPANET. Η ανάπτυξη του ηλεκτρονικού ταχυδρομείου απέδειξε ότι το δίκτυο μπορούσε να υποστηρίζει όχι μόνο τεχνικές επικοινωνίες μεταξύ υπολογιστών, αλλά και άμεση επικοινωνία μεταξύ ανθρώπων.

Η αρχική ανάπτυξη του ARPANET οδήγησε σταδιακά στη διαμόρφωση της ευρύτερης έννοιας του Διαδικτύου. Βασική προϋπόθεση αποτέλεσε η δυνατότητα διασύνδεσης διαφορετικών και ανεξάρτητων δικτύων, ακόμη και όταν αυτά χρησιμοποιούσαν διαφορετικές τεχνολογίες και αρχιτεκτονικές.

Η φιλοσοφία αυτή έγινε γνωστή ως δικτύωση ανοικτής αρχιτεκτονικής (open-architecture networking). Σύμφωνα με την προσέγγιση αυτή, κάθε επιμέρους δίκτυο μπορούσε να λειτουργεί αυτόνομα, ενώ παράλληλα να επικοινωνεί με άλλα δίκτυα μέσω ενός κοινού μηχανισμού διασύνδεσης. Η δυνατότητα αυτή θεωρείται θεμελιώδης για τη μετέπειτα ανάπτυξη του Internet, καθώς επέτρεψε την ένωση διαφορετικών δικτύων σε μια ενιαία πληροφοριακή υποδομή.

Σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη αυτή διαδραμάτισαν οι Robert Kahn και Vinton Cerf. Οι δύο ερευνητές συνεργάστηκαν για τον σχεδιασμό ενός νέου πρωτοκόλλου επικοινωνίας το οποίο θα μπορούσε να λειτουργήσει αποτελεσματικά σε ένα σύνολο διαφορετικών δικτύων. Το αποτέλεσμα της εργασίας τους ήταν η ανάπτυξη του Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP).

Αρχικά, το TCP σχεδιάστηκε ως ένα ενιαίο πρωτόκολλο που αναλάμβανε τόσο τη μεταφορά όσο και την προώθηση των δεδομένων. Κατά την εξέλιξη της σχεδίασης διαπιστώθηκε, όμως, ότι οι διαφορετικές εφαρμογές είχαν διαφορετικές απαιτήσεις όσον αφορά την αξιοπιστία και τη διαχείριση των δεδομένων. Για τον λόγο αυτό, το TCP διαχωρίστηκε λειτουργικά από το Internet Protocol (IP).

Το IP ανέλαβε κυρίως τη διευθυνσιοδότηση και την προώθηση των πακέτων, ενώ το TCP ανέλαβε λειτουργίες σχετικές με τον έλεγχο ροής και την αποκατάσταση από απώλεια πακέτων. Παράλληλα,

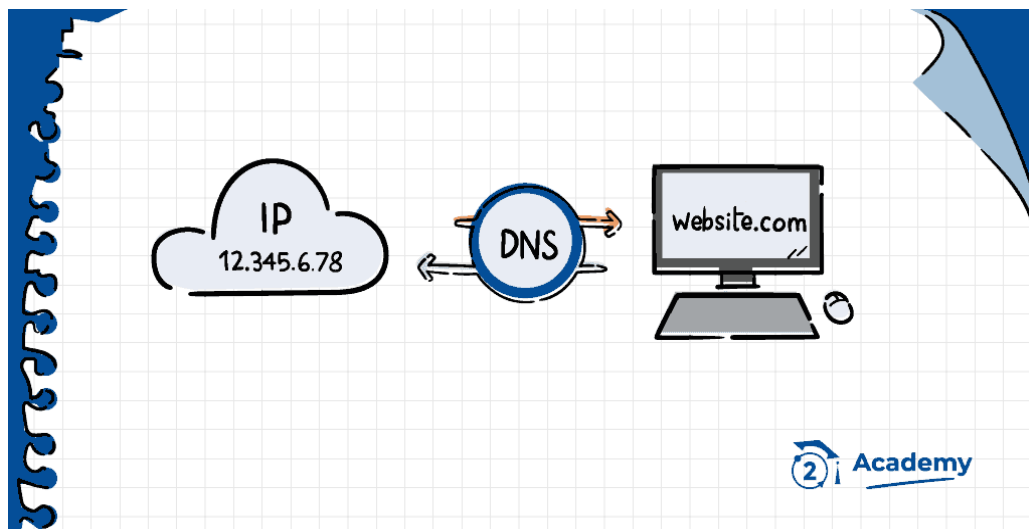
αναπτύχθηκε το User Datagram Protocol (UDP), το οποίο παρείχε έναν απλούστερο μηχανισμό επικοινωνίας για εφαρμογές που δεν απαιτούσαν τις υπηρεσίες αξιοπιστίας του TCP.

Η ανάπτυξη των TCP/IP αποτέλεσε ένα από τα σημαντικότερα σημεία στην ιστορία του Διαδικτύου. Τα πρωτόκολλα σχεδιάστηκαν με γενικό χαρακτήρα και όχι για την εξυπηρέτηση μίας συγκεκριμένης εφαρμογής. Ως αποτέλεσμα, μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως κοινή βάση για την ανάπτυξη διαφορετικών υπηρεσιών, γεγονός που διευκόλυνε σημαντικά τη μελλοντική εξέλιξη του Διαδικτύου.

Η εφαρμογή των πρωτοκόλλων TCP/IP αποτέλεσε αντικείμενο εκτεταμένων πειραματικών προσπαθειών. Η DARPA χρηματοδότησε διαφορετικές υλοποιήσεις του TCP, μεταξύ άλλων στο Stanford University, στη BBN και στο University College London. Οι ανεξάρτητες αυτές υλοποιήσεις κατέδειξαν τη δυνατότητα διαλειτουργικότητας διαφορετικών συστημάτων και ενίσχυσαν την αξιοπιστία της νέας αρχιτεκτονικής.

Κατά τη δεκαετία του 1980, η ανάπτυξη των προσωπικών υπολογιστών, των σταθμών εργασίας και των τοπικών δικτύων (LAN) δημιούργησε τις συνθήκες για ακόμη μεγαλύτερη εξάπλωση του Διαδικτύου. Παράλληλα, η ανάπτυξη της τεχνολογίας Ethernet, η οποία είχε δημιουργηθεί στο Xerox PARC, συνέβαλε σημαντικά στη διάδοση των δικτύων υπολογιστών.

Η διεύθυνση της κλίμακας του Διαδικτύου δημιούργησε νέες τεχνικές απαιτήσεις. Μία από τις σημαντικότερες ήταν η ανάγκη για έναν μηχανισμό ονομασίας των υπολογιστών και των δικτυακών πόρων. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού αναπτύχθηκε το Domain Name System (DNS), το οποίο επέτρεψε την αντιστοίχιση ευανάγνωστων ονομάτων με τις αντίστοιχες διευθύνσεις του Διαδικτύου.



Σχήμα 1.2 : DNS Server [28]

Παράλληλα, αναπτύχθηκαν τεχνικές ιεραρχικής δρομολόγησης και διαχείρισης διευθύνσεων, με σκοπό την αντιμετώπιση της συνεχώς αυξανόμενης κλίμακας του δικτύου. Με τον τρόπο αυτό, η αρχιτεκτονική του Διαδικτύου μπορούσε να επεκτείνεται χωρίς να απαιτείται πλήρης ανασχεδιασμός της συνολικής υποδομής.

Ιδιαίτερα σημαντική υπήρξε επίσης η ενσωμάτωση των TCP/IP σε λειτουργικά συστήματα και ειδικότερα στο Unix BSD του University of California, Berkeley. Η ενσωμάτωση αυτή διευκόλυνε

σημαντικά τη διάδοση των πρωτοκόλλων στην ερευνητική και ακαδημαϊκή κοινότητα, καθώς τα πρωτόκολλα μπορούσαν πλέον να χρησιμοποιηθούν άμεσα από μεγάλο αριθμό ερευνητών και οργανισμών.

Το TCP/IP υιοθετήθηκε ως αμυντικό πρότυπο το 1980 και το 1983 αποτέλεσε τη βάση για τη μετάβαση του ARPANET από το NCP (Network Control Program). Η μετάβαση αυτή επέτρεψε τον διαχωρισμό του δικτύου σε MILNET, για επιχειρησιακές και αμυντικές ανάγκες και ARPANET για ερευνητικούς σκοπούς. Μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1980, το Διαδίκτυο είχε ήδη αρχίσει να αποτελεί υποδομή ευρύτερης εμβέλειας και να χρησιμοποιείται πέρα από τα αρχικά ερευνητικά του όρια.

Κατά τη δεκαετία του 1970 και τις αρχές της δεκαετίας του 1980 αναπτύχθηκαν αρκετά ανεξάρτητα δίκτυα για διαφορετικούς επιστημονικούς και ερευνητικούς σκοπούς. Μεταξύ αυτών περιλαμβάνονταν τα MFENET, HEPNET, SPAN, CSNET, BITNET και USENET, ενώ παράλληλα αναπτύσσονταν και εμπορικές τεχνολογίες δικτύωσης.

Σημαντικός σταθμός υπήρξε η δημιουργία του NSFNET από το National Science Foundation (NSF) των Ηνωμένων Πολιτειών. Το πρόγραμμα αποσκοπούσε στην εξυπηρέτηση της ευρύτερης ακαδημαϊκής και ερευνητικής κοινότητας. Το 1985 αποφασίστηκε ότι το TCP/IP θα αποτελούσε υποχρεωτικό πρότυπο για το NSFNET, γεγονός που ενίσχυσε περαιτέρω την υιοθέτηση των πρωτοκόλλων αυτών.

Το NSFNET συνέβαλε σημαντικά στη μετάβαση από ένα περιορισμένο ερευνητικό δίκτυο σε μια γενικότερη υποδομή δικτύωσης. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του, η υποδομή επεκτάθηκε σημαντικά τόσο ως προς τον αριθμό των κόμβων όσο και ως προς την ταχύτητα των συνδέσεων.

Παράλληλα, το NSF ακολούθησε πολιτικές οι οποίες ενθάρρυναν την ανάπτυξη εμπορικών δικτύων. Η σταδιακή μετάβαση από δημόσια χρηματοδοτούμενη δικτυακή υποδομή σε ιδιωτικά δίκτυα μεγάλης εμβέλειας αποτέλεσε σημαντικό βήμα προς την εμπορική ανάπτυξη του Διαδικτύου.

Το 1990 το ARPANET καταργήθηκε οριστικά, ενώ το TCP/IP είχε πλέον επικρατήσει σε μεγάλο μέρος των δικτύων ευρείας περιοχής παγκοσμίως. Το γεγονός αυτό σηματοδότησε την ολοκλήρωση μιας σημαντικής φάσης μετάβασης από την αρχική ερευνητική υποδομή προς το σύγχρονο παγκόσμιο Διαδίκτυο.

Μετά τη διαμόρφωση της τεχνικής βάσης και την επέκταση της δικτυακής υποδομής, αναδείχθηκε ως κρίσιμο ζήτημα ο τρόπος με τον οποίο οι επιμέρους τεχνολογικές επιλογές θα τεκμηριώνονταν, θα συντονίζονταν και θα μετατρέπονταν σε κοινά αποδεκτά πρότυπα.

Τέλος αυτής της δεκαετίας και αρχές της δεκαετίας του '90 γεννήθηκε ο παγκόσμιος ιστός. Συγκεκριμένα το 1989 από τον Βρετανό επιστήμονα Tim Berners-Lee που πρότεινε ένα σύστημα βασισμένο σε υπερκείμενο που θα μπορεί να διαμοιραστεί στο internet. Η ιδέα αυτή οδήγησε στην δημιουργία του παγκοσμίου ιστού (WWW – World Wide Web) και το 1991 δόθηκε στο κοινό. Ο Tim Berners-Lee δημιούργησε τους πρώτους web browser, server και website φέρνοντας την επανάσταση στον τρόπο που γίνεται η πρόσβαση στα δεδομένα. Το 1993 έκανε την εμφάνισή του ο πρώτος web browser, ο Mosaic, ο οποίος έκανε το διαδίκτυο πιο φιλικό προς το χρήστη και πιο ελκυστικό οπτικά. Εν συνεχεία μετατράπηκε σε Netscape Navigator έναν από τους πιο δημοφιλείς browser του '90. Μέσα στην ίδια δεκαετία εμφανίστηκαν οι μηχανές αναζήτησης, η Yahoo! το 1994, η AltaVista το 1995 και αργότερα η Google το 1998 που έγινε ένα από τα βασικά εργαλεία για την περιήγηση στο γρήγορα αναπτυσσόμενο διαδίκτυο.

Στο internet αυτήν την δεκαετία εμφανίστηκαν εταιρίες για εμπορικό σκοπό, η Amazon (1995) και η eBay (1995) που άλλαξαν τον εμπορικό ορίζοντα. Τέλος της δεκαετίας '90 έγινε η πρώτη “έκρηξη” του ίντερνετ, στην οποία υπήρξε μεγάλη αύξηση με μαζικές επενδύσεις σε εταιρίες τεχνολογίας όπως επίσης και πολλές εταιρίες έβαλαν την κατάληξη “.com” στο όνομα τους. Η διαφήμιση μέσω του διαδικτύου έγινε μια σημαντική βιομηχανία. Λίγα χρόνια αργότερα, το 2000 πολλές υπερεκτιμημένες και μη σταθερές εταιρίες απέτυχαν οδηγώντας την αγορά σε μια κατάρρευση. Κάποιες μεγάλες εταιρίες όπως η Amazon και η Google επέζησαν πάρα την κατάρρευση της αγοράς και έβαλαν τα θεμέλια για το σύγχρονο ίντερνετ.

Την δεκαετία του 2000, ήρθε η δεύτερη γενιά του διαδικτύου με πιο διαδραστικές σελίδες, με τις παραδοσιακές στατικές σελίδες να γίνονται πιο δυναμικές. Σε αυτήν την δεκαετία έγινε και η εμφάνιση των blogs και των κοινωνικών δικτύων My Space (2003), Facebook (2004), YouTube (2005) και Twitter (2006) που άλλαξαν τον τρόπο της online επικοινωνίας, τον τρόπο της συνεργασίας και της επικοινωνίας με την κοινότητα. Ένα ακόμη σημαντικό γεγονός αποτέλεσε και η κυκλοφορία του πρώτου iPhone (2007) αλλά και των android συσκευών. Αυτές οι συσκευές οδήγησαν στη μετακίνηση από τους desktop υπολογιστές στις κινητές συσκευές και εν συνεχεία οι εφαρμογές κινητών αλλά και οι διαδραστικές σελίδες έγιναν ζωτικής σημασίας για τις εταιρίες.[38]

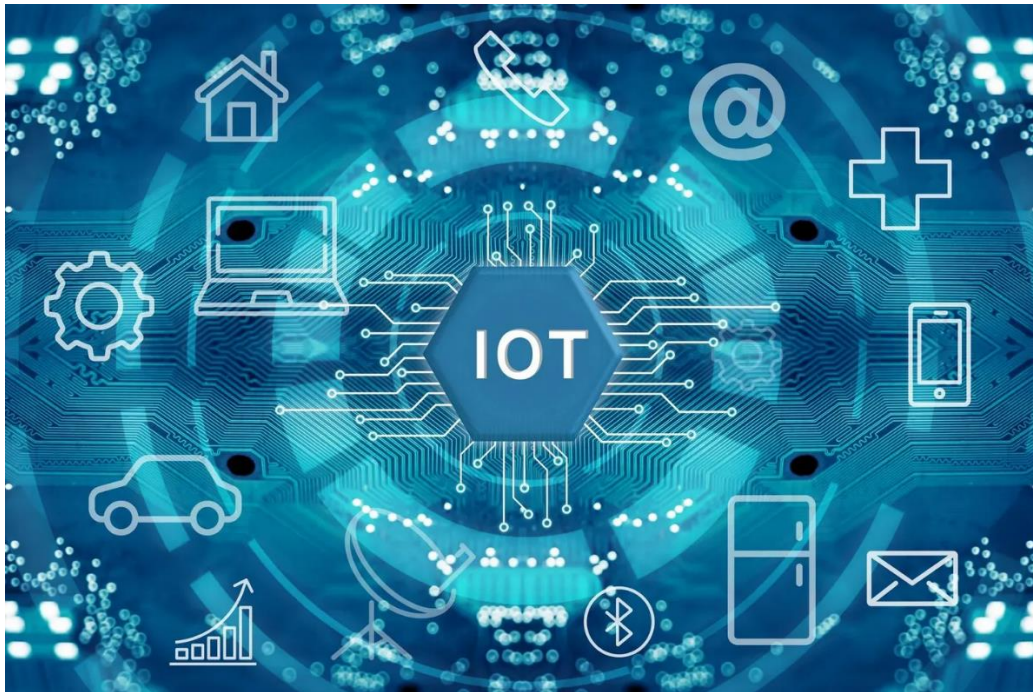
Σημαντικό ορόσημο είναι η εισαγωγή της υπολογιστικής νέφους (cloud computing) που επιτρέπει στους χρήστες να αποθηκεύουν δεδομένα και να λειτουργούν εφαρμογές στο internet αντί τοπικά. Υπηρεσίες όπως Google Drive, Dropbox και Amazon services έγινε η επικρατούσα τάση επιτρέποντας ευέλικτες και επεκτάσιμες διαδικτυακές εμπειρίες. Στην τρέχουσα δεκαετία έκαναν την εμφάνιση τους νέες τεχνολογίες όπως blockchain και cryptocurrencies που εισάγουν νέα μοντέλα για οικονομικά, online ιδιωτικότητα και αποκεντροποίηση αλλάζοντας τις βασικές δομές του internet. Υπήρξε άνοδος της τεχνητής νοημοσύνης, των αυτοματισμών και της μηχανικής μάθησης, κάτι το οποίο έχει σημαντικό αντίκτυπο στην διαμόρφωση του ίντερνετ όπως προσωπικές προτάσεις, ψηφιακούς βοηθούς και αυτόνομα συστήματα. Οι υπηρεσίες ροής (streaming services) και το online περιεχόμενο έχει μετατρέψει το internet σε κατανάλωση πολυμέσων όπου πλατφόρμες ροής έχουν κυριαρχήσει και νέα κοινωνικά δίκτυα έχουν αιχμαλωτίσει την νέα γενιά. Η εξέλιξη των δικτύων πέμπτης γενιάς έχει αυξήσει δραματικά τις ταχύτητες της κινητής τηλεφωνίας, επιτρέποντας περισσότερες συσκευές να συνδεθούν ταυτόχρονα και να υποστηρίξουν καινοτομίες όπως το Internet of Things (IoT).

1.3 Internet of Things

Ο όρος διαδίκτυο των πράγματος, παγκοσμίως γνωστό ως internet of things με το ακρωνύμιο IoT δημιουργήθηκε το 1999 από τον Κέβιν Άστον για να περιγράψει αντικείμενα με τσιπ RFID που στέλνουν δεδομένα. Το IoT αναφέρετε σε ένα δίκτυο από συσκευές με αισθητήρες, λειτουργικό και άλλες τεχνολογίες οι οποίες συνδέονται και ανταλλάσσουν δεδομένα με άλλες συσκευές και συστήματα μέσω του internet. Το IoT δεν δημιουργήθηκε ξαφνικά, αλλά προέκυψε από την εξέλιξη του internet, των ηλεκτρονικών υπολογιστών, των αισθητήρων και των δικτύων επικοινωνίας.

Το Internet χρησιμοποιήθηκε κυρίως για την επικοινωνία και ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ ανθρώπων και υπολογιστών. Με την ανάπτυξη των μικροεπεξεργαστών, των αισθητήρων και των ασύρματων δικτύων έγινε δυνατή η σύνδεση ολόένα και περισσότερων φυσικών αντικειμένων στο Internet. Έτσι ενώ με το internet οι χρήστες είναι κυρίως άνθρωποι, μέσω διάφορων συσκευών και για οποιαδήποτε αλληλεπίδραση απαιτείται ανθρώπινη ενέργεια, στο IoT οι χρήστες είναι οι ίδιες οι συσκευές που αυτόνομα αλληλοεπιδρούν, συλλέγουν δεδομένα και εκτελούν εντολές.

Ανάλογα με τον τομέα εφαρμογής του το IoT μπορεί να χωριστεί σε διάφορες κατηγορίες. Μια από τις πιο σημαντικές κατηγορίες είναι το Industrial IoT που αναφέρεται στην εφαρμογή του IoT στη βιομηχανία, όπου αισθητήρες και έξυπνα συστήματα χρησιμοποιούνται για παρακολούθηση και αυτοματοποίηση της παραγωγής. Η εφαρμογή του IoT στη γεωργία (smart agriculture) που θα μπορούσε να θεωρηθεί και υποκατηγορία του Industrial IoT εμπεριέχει αισθητήρες που μπορούν να παρακολουθούν την υγρασία, είτε στο έδαφος είτε στον αέρα, τη θερμοκρασία ώστε να προγραμματίζονται σωστά οι αγροτικές εργασίες και να βελτιώνεται η παραγωγή. Παράλληλα χρησιμοποιούνται και συσκευές οι οποίες αυτοματοποιούν πλέον τις αγροτικές εργασίες.



Σχήμα 1.3 : Internet of Things [36]

Άλλες κατηγορίες του IoT είναι το smart home όπου χρησιμοποιούνται εφαρμογές για απομακρυσμένο έλεγχο σε συστήματα ασφαλείας, θερμοστάτες και διαχείριση φωτισμού και συσκευών που υπάρχουν σε ένα σπίτι, καθώς και το smart city που αφορά έξυπνο φωτισμό στους δρόμους, ηλεκτρονική διαχείριση απορριμμάτων, συστήματα διαχείριση της κυκλοφορίας και της στάθμευσης. Επίσης υπάρχει το Healthcare IoT που επικεντρώνεται σε συστήματα παρακολούθησης των ασθενών απομακρυσμένα μέσω συσκευών όπως smartwatch που έχουν τη δυνατότητα να παίρνουν μετρήσεις των ζωτικών σημείων, για παράδειγμα πίεση, οξυγόνο και καρδιακούς παλμούς.

Το διαδίκτυο των πραγμάτων χρησιμοποιείται πλέον και στον τομέα των μεταφορών και logistics ώστε να επιτυγχάνονται ο εντοπισμός οχημάτων (GPS), η παρακολούθηση φορτίων και η συντήρηση στόλου αυτοκινήτων.

1.3.1 Πλεονεκτήματα IoT

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα σε πολλούς τομείς της καθημερινής ζωής και της βιομηχανίας που βελτιώνουν την απόδοση, μειώνουν το κόστος και συμβάλλουν στην αναβάθμιση της ποιότητας υπηρεσιών. Τα πλεονεκτήματα του IoT είναι:

Προσβασιμότητα: Το IoT παρέχει εύκολη πρόσβαση σε πληροφορίες από οποιοδήποτε μέρος στον κόσμο, οποιαδήποτε στιγμή και με οποιαδήποτε συσκευή. Διευκολύνει την πρόσβαση σε δεδομένα πραγματικού χρόνου και σε χρήσιμες πληροφορίες μέσω διαισθητικών διεπαφών και αυτοματοποιημένων ειδοποιήσεων.

Επικοινωνία: Το IoT μπορεί να ενισχύσει την επικοινωνία μεταξύ των συνδεδεμένων συσκευών, κάνοντας πιο αποτελεσματική την ανταλλαγή δεδομένων και εξοικονομώντας ενέργεια, ενώ παράλληλα δίνει προτεραιότητα στις κρίσιμες πληροφορίες. Για παράδειγμα, ένας ανιχνευτής κίνησης σε ένα έξυπνο σπίτι μπορεί να ανιχνεύσει δραστηριότητα στην είσοδο και να ενεργοποιήσει τα εξωτερικά φώτα μέσω επικοινωνίας με το σύστημα φωτισμού του σπιτιού.

Εξοικονόμηση χρόνου και κόστους: Το IoT καταφέρνει να κάνει εξοικονόμηση χρόνου και κόστους μέσω της μείωσης των χειροκίνητων διαδικασιών και της αυτοματοποίησης επαναλαμβανόμενων εργασιών. Στη βιομηχανία, για παράδειγμα, η προγνωστική συντήρηση μέσω IoT αισθητήρων παρακολουθεί παραμέτρους όπως η θερμοκρασία και οι κραδασμοί σε πραγματικό χρόνο, βοηθώντας στην έγκαιρη διάγνωση πιθανών βλαβών και στη μείωση του κόστους συντήρησης.

Καλύτερη εξυπηρέτηση πελατών: Το IoT διευκολύνει την ανάπτυξη εξατομικευμένων προϊόντων και υπηρεσιών που προσαρμόζονται στις προτιμήσεις και τις ανάγκες των πελατών. Για παράδειγμα, οι έξυπνες οικιακές συσκευές, τα wearables και οι συγκεκριμένες προτάσεις στον τομέα του λιανικού εμπορίου είναι κάποια από τα παραδείγματα του τρόπου με τον οποίο το IoT βελτιώνει την εμπειρία του πελάτη. Μέσω της χρήσης IoT τεχνολογιών για τη συλλογή δεδομένων σχετικά με τη συμπεριφορά των πελατών, οι επιχειρήσεις έχουν τη δυνατότητα να προσαρμόζουν τις στρατηγικές τους. Ένας τρόπος είναι η παρακολούθηση μέσω των αισθητήρων IoT (πχ κάμερες) για να παρακολουθούν τις κινήσεις των πελατών μέσα στα καταστήματα. Αυτή η παρακολούθηση τους επιτρέπει να προσφέρουν συγκεκριμένες προσφορές και προτάσεις με βάση τη συμπεριφορά και τις προτιμήσεις των πελατών, ενισχύοντας έτσι την αλληλεπίδραση και την ικανοποίηση των χρηστών.

Αυτοματοποίηση: Το IoT αυτοματοποιεί διάφορες διεργασίες, βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα των υπηρεσιών μιας επιχείρησης ή ενός έργου με αποτέλεσμα να μειώνει την ανάγκη για ανθρώπινη παρέμβαση. Για παράδειγμα, στη γεωργία, τα συστήματα άρδευσης με IoT μπορούν να ρυθμίζουν αυτόματα το πότισμα βάσει των μετρήσεων της υγρασίας του εδάφους, των καιρικών προβλέψεων και των αναγκών των καλλιεργειών.

Καλύτερες αποφάσεις: Το IoT παράγει μεγάλες ποσότητες δεδομένων, οι οποίες μπορούν να αναλυθούν για την κατανόηση χρήσιμων πληροφοριών σχετικά με τις λειτουργίες συστημάτων, την συμπεριφορά των καταναλωτών και τις τάσεις της αγοράς με αποτέλεσμα να δημιουργήσουν καλύτερες εμπειρίες για τους πελάτες τους. Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα αυτά, οι επιχειρήσεις μπορούν να λαμβάνουν αποφάσεις για την καλύτερη λειτουργία των συστημάτων και την εξυπηρέτηση πελατών.

Αποδοτικότητα: Η χρήση συσκευών IoT για την αυτοματοποίηση και τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών μπορεί να βελτιώσει την αποδοτικότητα και την παραγωγικότητα των επιχειρήσεων. Η ανάλυση δεδομένων με την χρήση υπολογιστικής άκρης (edge computing) μειώνει τον όγκο των δεδομένων που στέλνονται στο cloud. Η τεχνολογία του edge computing επιτρέπει αυτές τις φυσικές συσκευές να επικοινωνούν πιο αποτελεσματικά σε τοπικά κέντρα επεξεργασίας, ανταλλάσσοντας μόνο τα απαραίτητα δεδομένα με άλλες συσκευές ή υπηρεσίες του cloud. Για παράδειγμα, οι αισθητήρες IoT μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση της απόδοσης του εξοπλισμού και την ανίχνευση ή ακόμη και την επίλυση πιθανών προβλημάτων πριν αυτά προκαλέσουν διακοπή λειτουργίας, μειώνοντας έτσι το κόστος συντήρησης και βελτιώνοντας τον χρόνο λειτουργίας.[46]

1.3.2 Μειονεκτήματα IoT

Το Internet of Things προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα αλλά παράλληλα έχει ευπάθειες και μειονεκτήματα. Κάποια από τα βασικότερα προβλήματα που προκύπτουν είναι:

Ασφάλεια και προσωπικά δεδομένα: Την ώρα που οι συσκευές IoT γίνονται όλο και πιο διαδεδομένες, η ασφάλεια και η ιδιωτικότητα τους γίνεται ολοένα και πιο σημαντική. Πολλές συσκευές IoT είναι ευάλωτες σε επιθέσεις από hacker και άλλες απειλές στον κυβερνοχώρο, κάτι το οποίο μπορεί να φέρει σε κίνδυνο την ασφάλεια και την ιδιωτικότητα προσωπικών δεδομένων. Επιπλέον, οι συσκευές IoT συλλέγουν μεγάλο όγκο από προσωπικά δεδομένα, κάτι που δημιουργεί πρόβλημα σχετικά με την προστασία της ιδιωτικότητας και των προσωπικών δεδομένων.

Νομικά ζητήματα και Δικαιώματα Πνευματικής Ιδιοκτησίας (Intellectual Property Rights - IPR): Σε αυτόν τον τομέα προκύπτουν τρία ζητήματα. Το πρώτο ζήτημα αφορά την ιδιοκτησία και την αδειοδότηση των δεδομένων IoT, καθώς είναι δύσκολο να καθοριστεί ποιος έχει την κυριότητα των δεδομένων που παράγονται από τις συσκευές. Το δεύτερο ζήτημα αναφέρεται στην κατοχύρωση και την παραβίαση πατεντών για εφευρέσεις IoT. Τέλος, το τρίτο ζήτημα αφορά την προστασία και την επιβολή εμπορικών σημάτων και σχεδίων IoT, καθώς οι συσκευές IoT σχετίζονται άμεσα με την επωνυμία και τη φήμη των εταιρειών που τις κατασκευάζουν, καθιστώντας τα ευάλωτα σε παραβιάσεις, απομιμήσεις ή κακή χρήση.

Διαλειτουργικότητα (cross-platform): Οι συσκευές του IoT που κατασκευάζονται από διαφορετικούς προμηθευτές συχνά χρησιμοποιούν διαφορετικά πρότυπα και πρωτόκολλα, με αποτέλεσμα να δυσκολεύει την επικοινωνία μεταξύ των μηχανών. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα διαλειτουργικότητας και στη δημιουργία «σιλό» δεδομένων, εξαιτίας αυτής της απομόνωσης των δεδομένων θα είναι δύσκολο να ενσωματωθούν και να αναλυθούν.

Υπερφόρτωση δεδομένων (data overload): Οι συσκευές IoT παράγουν τεράστιες ποσότητες δεδομένων, κάτι το οποίο μπορεί να υπερφορτώσει τις επιχειρήσεις που δεν είναι κατάλληλα προετοιμασμένες για να τα διαχειριστούν. Η ανάλυση αυτών των δεδομένων και η εξαγωγή χρήσιμων δεδομένων μπορεί να αποτελέσει σημαντικό πρόβλημα, ειδικά για επιχειρήσεις που δεν διαθέτουν τα απαραίτητα εργαλεία ανάλυσης και εξαιτίας αυτού μπορεί να καταλήξει να είναι πιο απαιτητική και δαπανηρή στο μέλλον.

Κόστος και πολυπλοκότητα: Η υλοποίηση ενός συστήματος IoT μπορεί να είναι δαπανηρή και πολύπλοκη, απαιτώντας μεγάλες επενδύσεις σε υλικό, λογισμικό και εγκαταστάσεις. Η διαχείριση και η συντήρηση ενός συστήματος IoT απαιτεί εξειδικευμένες δεξιότητες και γνώση, γεγονός που μπορεί να δυσκολύνει επιχειρήσεις που δεν διαθέτουν τα κατάλληλα μέσα. [47]

1.4 Industrial Internet of Things

Το Industrial Internet of Things (IIoT), ή Βιομηχανικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων, αποτελεί μία από τις σημαντικότερες τεχνολογικές εξελίξεις στον σύγχρονο βιομηχανικό τομέα. Το IIoT είναι η εφαρμογή της τεχνολογίας του Internet of Things (IoT) σε βιομηχανικά περιβάλλοντα, με σκοπό τη σύνδεση μηχανών, αισθητήρων, συσκευών, συστημάτων και ανθρώπων μέσω δικτύων επικοινωνίας. Μέσω αυτής της σύνδεσης, οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις μπορούν να συλλέγουν, να μεταδίδουν και να επεξεργάζονται δεδομένα σε πραγματικό χρόνο.

Βασικό στοιχείο του IIoT είναι η χρήση αισθητήρων και έξυπνων συσκευών, οι οποίοι εγκαθίστανται σε μηχανήματα και παραγωγικές διαδικασίες. Οι αισθητήρες μπορούν να καταγράφουν πληροφορίες όπως η θερμοκρασία, η πίεση, η υγρασία, οι κραδασμοί, η κατανάλωση ενέργειας και η κατάσταση

λειτουργίας ενός μηχανήματος. Τα δεδομένα αυτά μεταφέρονται μέσω δικτύων σε υπολογιστικά συστήματα ή πλατφόρμες cloud, όπου μπορούν να αναλυθούν και να χρησιμοποιηθούν για τη λήψη αποφάσεων.

Το IIoT συνδέεται επίσης με τη Βιομηχανία 4.0 (Industry 4.0). Η Βιομηχανία 4.0 βασίζεται στην ψηφιοποίηση και στην αυτοματοποίηση των παραγωγικών διαδικασιών, ενώ το IIoT αποτελεί μία από τις βασικές τεχνολογίες που επιτρέπουν τη σύνδεση και την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των συστημάτων μιας σύγχρονης βιομηχανίας. Σε ένα έξυπνο εργοστάσιο, οι μηχανές μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους, να ανταλλάσσουν πληροφορίες και να προσαρμόζουν τη λειτουργία τους ανάλογα με τις ανάγκες της παραγωγής. Αυτό συμβάλει στη βελτίωση της παραγωγικότητας, της ποιότητας και της ενεργειακής αποδοτικότητας.



Σχήμα 1.4 : Industrial Internet of Things [37]

1.5 Smart Agriculture

Η Έξυπνη Γεωργία (Smart Agriculture) αποτελεί μία σύγχρονη προσέγγιση στη γεωργική παραγωγή, η οποία βασίζεται στην αξιοποίηση ψηφιακών τεχνολογιών, αισθητήρων, συστημάτων αυτοματισμού και τεχνικών ανάλυσης δεδομένων. Βασικός στόχος της είναι η βελτίωση της αποδοτικότητας και της παραγωγικότητας της γεωργικής διαδικασίας, ενώ παράλληλα επιδιώκεται η ορθολογική χρήση των διαθέσιμων φυσικών πόρων.

Η παραδοσιακή γεωργία βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην εμπειρία του παραγωγού σχετικά με τις ανάγκες των καλλιεργειών. Αντίθετα, η Έξυπνη Γεωργία αξιοποιεί δεδομένα που συλλέγονται από το πραγματικό περιβάλλον της καλλιέργειας. Το IIoT συμβάλει σε αυτό επιτρέποντας τη σύνδεση συσκευών και αισθητήρων στο διαδίκτυο, ώστε να μπορούν να συλλέγουν και να ανταλλάσσουν δεδομένα. Έτσι ο παραγωγός έχει ακριβείς μετρήσεις ώστε να πάρει τις σωστές αποφάσεις σχετικά με την άρδευση, τη λίπανση, την προστασία των φυτών και τη γενικότερη διαχείριση της καλλιέργειας.



Σχήμα 1.5 : Smart Farming [29]

1.5.1 Precision Agriculture

Η Γεωργία Ακριβείας (Precision Agriculture) αποτελεί μια σύγχρονη στρατηγική διαχείρισης της γεωργικής παραγωγής, η οποία βασίζεται στη συλλογή, επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων που αφορούν τις καλλιέργειες, το έδαφος και τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Βασικός της στόχος είναι η αποτελεσματικότερη αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων, η αύξηση της παραγωγικότητας και της ποιότητας των προϊόντων, καθώς και η ενίσχυση της οικονομικής και περιβαλλοντικής βιωσιμότητας της γεωργικής παραγωγής.[8]

Η ανάπτυξη της Γεωργίας Ακριβείας συνδέεται στενά με την εξέλιξη τεχνολογιών όπως τα συστήματα GPS και GNSS, τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS), οι αισθητήρες, τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (drones), η δορυφορική απεικόνιση και τα συστήματα μεταβλητής εφαρμογής (Variable Rate Technology – VRT). Μέσω αυτών των τεχνολογιών είναι δυνατή η συλλογή πληροφοριών σχετικά με την υγρασία του εδάφους, τη θερμοκρασία, τη συγκέντρωση θρεπτικών συστατικών, το pH και άλλα χαρακτηριστικά του εδάφους και των καλλιεργειών.

Ιδιαίτερα σημαντική είναι η χρήση αισθητήρων εδάφους, οι οποίοι επιτρέπουν τη συνεχή παρακολούθηση των συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή ανάπτυξης των φυτών. Οι σύγχρονοι αισθητήρες μπορούν να μεταδίδουν ασύρματα τις μετρήσεις τους, περιορίζοντας την ανάγκη ανθρώπινης παρουσίας και επιτρέποντας την απομακρυσμένη παρακολούθηση μιας καλλιέργειας. Με αυτόν τον τρόπο, ο παραγωγός μπορεί να λαμβάνει αποφάσεις με βάση πραγματικά δεδομένα και όχι αποκλειστικά μέσω εμπειρικών παρατηρήσεων.

Καθοριστικό ρόλο στη σύγχρονη Γεωργία Ακριβείας διαδραματίζει το IoT μέσω του οποίου αισθητήρες, μικροελεγκτές και άλλες ηλεκτρονικές συσκευές μπορούν να συνδέονται σε ένα δίκτυο, να συλλέγουν δεδομένα και να τα μεταδίδουν σε συστήματα επεξεργασίας και παρακολούθησης. Η συγκεκριμένη τεχνολογία μπορεί να εφαρμοστεί, μεταξύ άλλων, στη μέτρηση της υγρασίας του εδάφους και στον έλεγχο συστημάτων άρδευσης.

Οι αισθητήρες υγρασίας εδάφους μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της κατάλληλης χρονικής στιγμής για την άρδευση μιας καλλιέργειας. Οι μετρήσεις μπορούν να μεταδίδονται μέσω ενός συστήματος IoT και να χρησιμοποιούνται για την ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση ενός συστήματος ποτίσματος ανάλογα με τις ανάγκες των φυτών. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να περιοριστεί η άσκοπη κατανάλωση νερού και να διατηρηθεί η υγρασία του εδάφους στα επιθυμητά επίπεδα.

Παράλληλα, οι τεχνολογίες Γεωργίας Ακριβείας συμβάλλουν στην ορθολογικότερη χρήση λιπασμάτων, φυτοπροστατευτικών προϊόντων και άλλων γεωργικών εισροών. Η εφαρμογή της κατάλληλης ποσότητας στον κατάλληλο χρόνο και στο κατάλληλο σημείο μπορεί να μειώσει το οικονομικό κόστος και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της γεωργικής δραστηριότητας.

Επιπλέον, η χρήση drones και δορυφορικών εικόνων επιτρέπει την παρακολούθηση μεγάλων γεωργικών εκτάσεων και την αξιολόγηση της κατάστασης των καλλιεργειών. Μέσω πολυφασματικών εικόνων είναι δυνατό να εντοπιστούν διαφοροποιήσεις στην ανάπτυξη των φυτών, προβλήματα που σχετίζονται με την έλλειψη νερού και άλλες μεταβολές που δεν είναι πάντοτε εύκολα αντιληπτές μέσω απλής οπτικής παρατήρησης.

Σημαντική είναι επίσης η χρήση εφαρμογών για έξυπνα κινητά τηλέφωνα και tablets, μέσω των οποίων ο παραγωγός μπορεί να έχει πρόσβαση σε πληροφορίες σχετικά με την καλλιέργεια, τις καιρικές συνθήκες και τις μετρήσεις των αισθητήρων. Η δυνατότητα αυτή διευκολύνει την απομακρυσμένη παρακολούθηση και διαχείριση μιας γεωργικής εγκατάστασης.

Τέλος, η ανάπτυξη της Τεχνητής Νοημοσύνης και της Μηχανικής Μάθησης (Machine Learning) δημιουργεί νέες δυνατότητες στη Γεωργία Ακριβείας. Τα δεδομένα που συλλέγονται από αισθητήρες, συσκευές IoT, drones και άλλες πηγές μπορούν να αναλυθούν ώστε να εντοπιστούν πρότυπα και να πραγματοποιηθούν προβλέψεις. Μελλοντικά, τέτοια συστήματα μπορούν να συμβάλουν στην περαιτέρω αυτοματοποίηση της άρδευσης και άλλων γεωργικών διαδικασιών.

Η Γεωργία Ακριβείας αποτελεί μια προσέγγιση που συνδυάζει τη γεωργική παραγωγή με τις σύγχρονες ψηφιακές τεχνολογίες. Η αξιοποίηση αισθητήρων, μικροελεγκτών, IoT και αυτοματοποιημένων συστημάτων μπορεί να οδηγήσει σε αποτελεσματικότερη χρήση του νερού και των υπόλοιπων πόρων, καλύτερη παρακολούθηση των καλλιεργειών και περιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της γεωργικής δραστηριότητας.

1.5.2 Ο ρόλος των αισθητήρων

Οι αισθητήρες μπορούν να εγκατασταθούν στο έδαφος, στα φυτά, σε θερμοκήπια ή σε συστήματα άρδευσης. Οι αισθητήρες αυτοί μπορούν να μετρούν παραμέτρους όπως η υγρασία του εδάφους, η θερμοκρασία, η υγρασία του αέρα, το pH, η ηλεκτρική αγωγιμότητα και η ένταση του φωτός. Τα δεδομένα μπορούν στη συνέχεια να μεταφέρονται σε έναν μικροελεγκτή ή σε μια διαδικτυακή πλατφόρμα, όπου αποθηκεύονται και αναλύονται. Η συνεχής συλλογή δεδομένων επιτρέπει την παρακολούθηση της καλλιέργειας σε πραγματικό χρόνο. Έτσι, ο παραγωγός δεν χρειάζεται να βασίζεται αποκλειστικά σε περιοδικούς ελέγχους του χωραφιού, αλλά μπορεί να έχει μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα της κατάστασης της καλλιέργειας.

Ένας από τους σημαντικότερους αισθητήρες για τη γεωργία είναι ο αισθητήρας υγρασίας εδάφους (soil moisture sensor). Ο συγκεκριμένος αισθητήρας χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της ποσότητας νερού που υπάρχει στο έδαφος. Η πληροφορία αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς η σωστή ποσότητα νερού αποτελεί βασική προϋπόθεση για την ανάπτυξη των φυτών. Για παράδειγμα, όταν η υγρασία του εδάφους μειωθεί κάτω από ένα προκαθορισμένο επίπεδο, ένα έξυπνο σύστημα μπορεί να ενεργοποιήσει αυτόματα την άρδευση. Όταν η υγρασία φτάσει στο επιθυμητό επίπεδο, το σύστημα μπορεί να διακόψει την παροχή νερού. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται τόσο η ανεπαρκής όσο και η υπερβολική άρδευση.

1.6 Επίλογος

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάστηκε η σταδιακή εξέλιξη από το παραδοσιακό Internet προς το Internet of Things, καθώς και η ανάπτυξη των τεχνολογιών που το υποστηρίζουν. Η εξέλιξη του διαδικτύου από ένα δίκτυο που αρχικά είχε ως βασικό στόχο την επικοινωνία και την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ υπολογιστών και ανθρώπων, οδήγησε σταδιακά στη δυνατότητα διασύνδεσης φυσικών αντικειμένων, αισθητήρων και έξυπνων συσκευών. Στη συνέχεια παρουσιάστηκε η έννοια του Internet of Things, το οποίο αποτελεί ένα ευρύτερο τεχνολογικό οικοσύστημα όπου οι συσκευές μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους, να συλλέγουν δεδομένα και, σε πολλές περιπτώσεις, να εκτελούν αυτόνομα ενέργειες. Ιδιαίτερη αναφορά έγινε στο Industrial Internet of Things (IIoT), όπου οι τεχνολογίες IoT εφαρμόζονται σε βιομηχανικά περιβάλλοντα καθώς και στο smart agriculture που αποτελεί βασικό στοιχείο της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας. Παράλληλα, έγινε μια αρχική αναφορά στους αισθητήρες που θα παρουσιαστούν εκτενέστερα σε επόμενο κεφάλαιο.

Κεφάλαιο 2ο: Αρχιτεκτονική IoT

2.1 Εισαγωγή

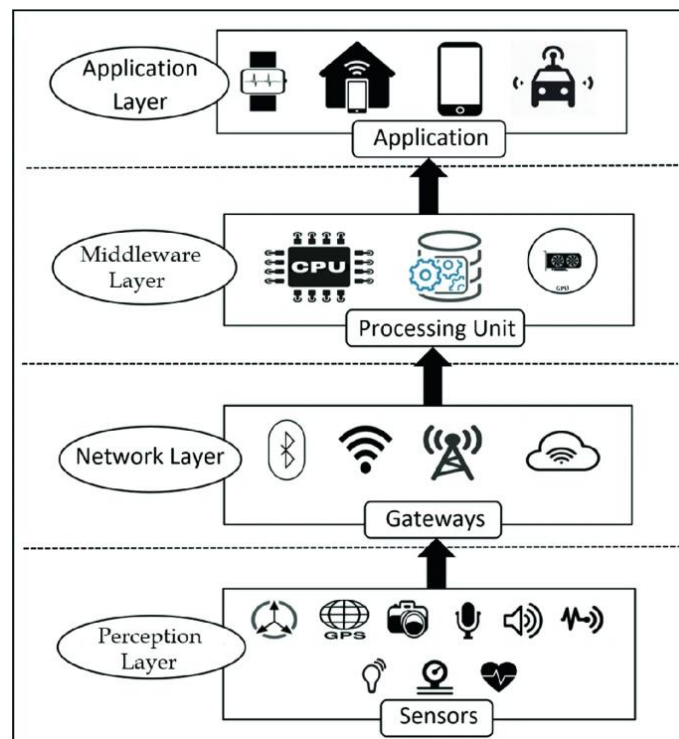
Υπάρχουν διάφορες οπτικές σχετικά με την αρχιτεκτονική του IoT, η οποία μπορεί να περιλαμβάνει 3,4,5 ή και 7 επίπεδα ανάλογα με την πολυπλοκότητα ενός συστήματος. Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναπτυχθεί η αρχιτεκτονική με τα 4 βασικά επίπεδα, θα γίνει αναφορά στα πρωτόκολλα επικοινωνίας, καθώς και στις συσκευές που μπορούν να υπάρξουν σε ένα σύστημα IoT.[33][34]

2.2 Βασική αρχιτεκτονική

Η αρχιτεκτονική του IoT περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο τα διαφορετικά στοιχεία ενός συστήματος IoT συνεργάζονται μεταξύ τους για τη συλλογή, μεταφορά, επεξεργασία και αξιοποίηση δεδομένων. Ένα σύστημα IoT αποτελείται από φυσικές συσκευές, αισθητήρες, δίκτυα επικοινωνίας, υπολογιστικές υποδομές, πλατφόρμες λογισμικού και εφαρμογές που επιτρέπουν την αλληλεπίδραση με τον χρήστη.

Ο βασικός στόχος της αρχιτεκτονικής IoT είναι να δημιουργήσει μια ολοκληρωμένη αλυσίδα επικοινωνίας μεταξύ του φυσικού περιβάλλοντος και των ψηφιακών συστημάτων. Με απλά λόγια, ένας αισθητήρας συλλέγει πληροφορίες από το περιβάλλον, τα δεδομένα μεταφέρονται μέσω ενός δικτύου, στη συνέχεια επεξεργάζονται και τελικά παρουσιάζονται στον χρήστη ή χρησιμοποιούνται αυτόματα για τη λήψη κάποιας απόφασης.

Δεν υπάρχει μία μοναδική αρχιτεκτονική που να εφαρμόζεται σε όλα τα συστήματα IoT. Ωστόσο, ένα από τα πιο διαδεδομένα μοντέλα για την ακαδημαϊκή παρουσίαση του IoT είναι η αρχιτεκτονική τεσσάρων επιπέδων, η οποία αποτελείται από το επίπεδο αισθητήρων, το επίπεδο δικτύου, το επίπεδο επεξεργασίας και το επίπεδο εφαρμογής.



Σχήμα 2.1 : Αρχιτεκτονική IoT 4 επιπέδων [10]

2.2.1 Επίπεδο Αισθητήρων (Perception Layer)

Το κατώτερο επίπεδο ονομάζεται Perception Layer. Αποτελεί το σημείο επαφής του συστήματος IoT με τον φυσικό κόσμο. Στο επίπεδο αυτό βρίσκονται οι αισθητήρες και οι ενεργοποιητές (actuators), οι οποίοι χρησιμοποιούνται για τη συλλογή πληροφοριών ή για την εκτέλεση ενεργειών στο φυσικό περιβάλλον.

Οι αισθητήρες μπορούν να μετρούν διάφορες φυσικές ή περιβαλλοντικές παραμέτρους, όπως:

- θερμοκρασία
- υγρασία
- πίεση
- φωτεινότητα
- κίνηση
- απόσταση
- επίπεδα αερίων
- κραδασμούς
- υγρασία εδάφους

Οι μετρήσεις των αισθητήρων μετατρέπονται σε ηλεκτρικά ή ψηφιακά σήματα, ώστε να μπορούν να υποβληθούν σε επεξεργασία από έναν μικροελεγκτή ή άλλον υπολογιστικό κόμβο.

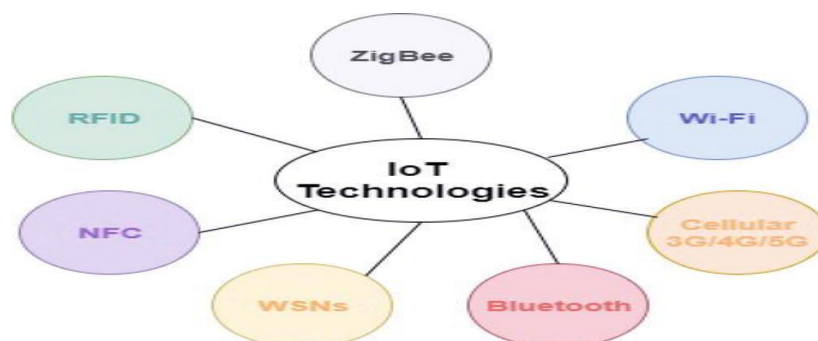
Στο ίδιο επίπεδο μπορούν να βρίσκονται και οι actuators, δηλαδή συσκευές που εκτελούν μια ενέργεια. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι μια αντλία θερμότητας, η οποία μπορεί να ενεργοποιηθεί όταν η θερμοκρασία πέσει κάτω από μια προκαθορισμένη τιμή.

2.2.2 Επίπεδο Δικτύου (Network Layer)

Το επόμενο επίπεδο είναι το Network Layer και βασίζεται στις υπάρχουσες υποδομές κινητής τηλεφωνίας και Internet. Βασικός του ρόλος είναι η μεταφορά των πληροφοριών σε μεγάλες αποστάσεις. Περιλαμβάνει διαφορετικά δίκτυα επικοινωνίας και ενοποιημένα δίκτυα που βασίζονται στο Internet.

Πιο αναλυτικά, η επικοινωνία μπορεί να πραγματοποιείται με διαφορετικές τεχνολογίες, ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής. Ενδεικτικά χρησιμοποιούνται τεχνολογίες όπως Wi-Fi, Ethernet, Bluetooth, Zigbee, LoRaWAN, NB-IoT, LTE/5G.

Σε ένα IoT σύστημα είναι απαραίτητο να υπάρχει αξιόπιστη επικοινωνία μεταξύ των συσκευών. Το επίπεδο δικτύου αναλαμβάνει τη μεταφορά των δεδομένων προς τον κατάλληλο προορισμό.



Σχήμα 2.2 : Τεχνολογίες IoT [2]

2.2.3 Επίπεδο Επεξεργασίας (Middleware Layer)

Το επίπεδο επεξεργασίας συχνά παραλείπεται και συγχέεται με το επίπεδο δικτύου σε μοντέλα τριών στρωμάτων. Σε αυτό πραγματοποιείται η αποθήκευση, επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων που συλλέγονται από τις IoT συσκευές. Τα δεδομένα μπορούν να υποβληθούν σε επεξεργασία σε διαφορετικά σημεία της αρχιτεκτονικής. Μπορούν, για παράδειγμα, να επεξεργάζονται τοπικά σε μια συσκευή Edge Computing, σε έναν gateway(πύλη) ή σε απομακρυσμένες υποδομές Cloud Computing.

Η επεξεργασία μπορεί να περιλαμβάνει: αποθήκευση δεδομένων, φιλτράρισμα δεδομένων, ανάλυση μετρήσεων, εντοπισμό ανωμαλιών, δημιουργία στατιστικών, εφαρμογή αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης, λήψη αυτοματοποιημένων αποφάσεων. Παράλληλα αφαιρείται η πολυποικιλότητα των διαφορετικών συσκευών και τα ακατέργαστα δεδομένα μετατρέπονται σε χρήσιμη πληροφορία.

2.2.4 Επίπεδο Εφαρμογής (Application Layer)

Το ανώτερο επίπεδο, που αποτελεί και τη διεπαφή μεταξύ του IoT και των τελικών χρηστών, είναι το επίπεδο εφαρμογής. Οι χρήστες μπορεί να είναι: άνθρωποι, οργανισμοί, άλλα πληροφοριακά συστήματα.

Το επίπεδο εφαρμογής συνδέει τις τεχνολογίες IoT με τις ανάγκες διαφορετικών κλάδων και παρέχει συγκεκριμένες υπηρεσίες και λύσεις. Στο επίπεδο αυτό τα επεξεργασμένα δεδομένα μετατρέπονται σε χρήσιμες υπηρεσίες και εφαρμογές. Οι εφαρμογές IoT μπορούν να αφορούν πολλούς διαφορετικούς τομείς, όπως:

- έξυπνη γεωργία
- έξυπνα σπίτια
- έξυπνες πόλεις
- βιομηχανία
- υγεία
- μεταφορές
- ενέργεια
- περιβαλλοντική παρακολούθηση

2.3 Πρωτόκολλα

Η αποτελεσματική επικοινωνία μεταξύ των συσκευών αποτελεί βασική προϋπόθεση για τη λειτουργία ενός συστήματος IoT. Οι αισθητήρες, οι μικροελεγκτές, οι ενεργοποιητές, οι πύλες (gateways), οι servers και οι εφαρμογές πρέπει να μπορούν να ανταλλάσσουν δεδομένα με αξιόπιστο και ασφαλή τρόπο.

Ο όρος πρωτόκολλο επικοινωνίας αναφέρεται στο σύνολο των κανόνων που καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο οι συσκευές ανταλλάσσουν πληροφορίες. Στο IoT χρησιμοποιούνται πολλά διαφορετικά πρωτόκολλα, καθώς κάθε εφαρμογή έχει διαφορετικές απαιτήσεις ως προς την εμβέλεια, την ταχύτητα μετάδοσης, την κατανάλωση ενέργειας, το κόστος και την αξιοπιστία.

Είναι σημαντικό να γίνει διάκριση ανάμεσα στα πρωτόκολλα και τις τεχνολογίες δικτύωσης που χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση των συσκευών και στα πρωτόκολλα ανταλλαγής δεδομένων σε ανώτερο επίπεδο. Ένα πλήρες IoT σύστημα μπορεί να χρησιμοποιεί περισσότερα από ένα από αυτά τα πρωτόκολλα ταυτόχρονα.

Τα πρωτόκολλα επικοινωνίας ενός IoT συστήματος μπορούν να ομαδοποιηθούν σε διαφορετικά επίπεδα.[39]

Στο επίπεδο της ασύρματης ή ενσύρματης πρόσβασης χρησιμοποιούνται τεχνολογίες όπως:

- Wi-Fi
- Bluetooth Low Energy
- Zigbee
- LoRaWAN
- NB-IoT
- LTE-M
- 5G
- Ethernet

Σε υψηλότερο επίπεδο χρησιμοποιούνται πρωτόκολλα ανταλλαγής δεδομένων, όπως:

- MQTT
- CoAP
- HTTP/HTTPS

Η επιλογή του κατάλληλου συνδυασμού εξαρτάται από τις απαιτήσεις της εφαρμογής.[40]

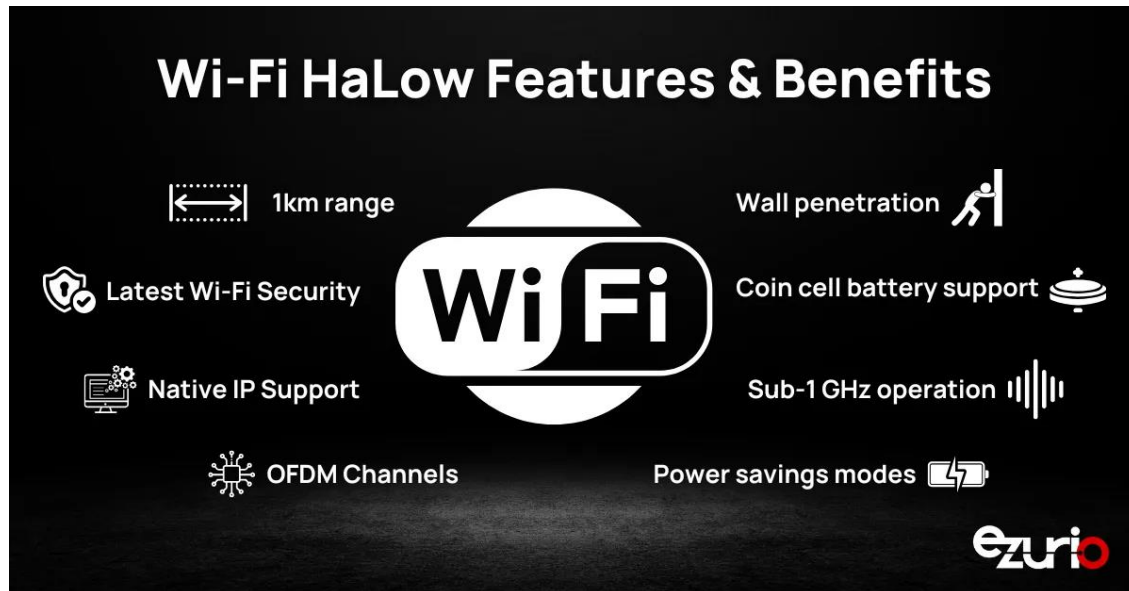
2.3.1 Wi-Fi

Το Wi-Fi αποτελεί μία από τις πιο διαδεδομένες τεχνολογίες ασύρματης δικτύωσης και χρησιμοποιείται ευρέως σε IoT συστήματα, ιδιαίτερα όταν απαιτείται σχετικά υψηλός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων και υπάρχει διαθέσιμο ηλεκτρικό δίκτυο. Η λειτουργία του βασίζεται στην οικογένεια προτύπων IEEE 802.11. Μία συσκευή IoT μπορεί να συνδεθεί σε έναν ασύρματο δρομολογητή (router) και μέσω αυτού να αποκτήσει πρόσβαση σε τοπικό δίκτυο ή στο Internet.

Το Wi-Fi παρουσιάζει υψηλή συμβατότητα με υπάρχουσες δικτυακές υποδομές και επιτρέπει σχετικά υψηλές ταχύτητες μετάδοσης. Για τον λόγο αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε εφαρμογές όπου μεταφέρονται μεγαλύτερες ποσότητες δεδομένων.

Το βασικό μειονέκτημα του Wi-Fi σε πολλές εφαρμογές IoT είναι η μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας σε σχέση με τεχνολογίες που σχεδιάστηκαν εξ αρχής για συσκευές πολύ χαμηλής κατανάλωσης. Συνεπώς, δεν αποτελεί πάντα την καλύτερη επιλογή για αισθητήρες που λειτουργούν αποκλειστικά με μπαταρία για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

Μία ενδιαφέρουσα παραλλαγή για IoT είναι το Wi-Fi HaLow, το οποίο λειτουργεί στη ζώνη κάτω του 1 GHz και έχει σχεδιαστεί για εφαρμογές IoT με ανάγκη μεγαλύτερης κάλυψης και χαμηλότερης κατανάλωσης από τις παραδοσιακές υλοποιήσεις Wi-Fi. Η ύπαρξη πιστοποιημένων Wi-Fi HaLow συσκευών επιβεβαιώνεται από το Wi-Fi Alliance certification ecosystem.



Σχήμα 2.3 : Wi-Fi HaLow [52]

Το Wi-Fi μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε έξυπνα θερμοκήπια, σε συστήματα οικιακού αυτοματισμού, σε συστήματα παρακολούθησης, σε βιομηχανικές εφαρμογές, αλλά και σε IoT συσκευές που βρίσκονται κοντά σε σημείο πρόσβασης.

2.3.2 Bluetooth Low Energy

Το Bluetooth Low Energy (BLE) αποτελεί παραλλαγή της τεχνολογίας Bluetooth που έχει σχεδιαστεί με ιδιαίτερη έμφαση στη χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Το BLE είναι ιδιαίτερα χρήσιμο όταν απαιτείται επικοινωνία μικρής εμβέλειας μεταξύ αισθητήρων και μιας κοντινής συσκευής, όπως ένα smartphone, tablet ή gateway.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα του BLE είναι η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Αυτό το καθιστά κατάλληλο για μικρούς αισθητήρες που λειτουργούν με μπαταρία. Επιπλέον, το BLE υποστηρίζεται από μεγάλο αριθμό smartphones και φορητών συσκευών, γεγονός που διευκολύνει την ανάπτυξη εφαρμογών όπου ο χρήστης χρειάζεται να επικοινωνεί άμεσα με έναν αισθητήρα. Η εμβέλεια είναι γενικά μικρότερη από εκείνη τεχνολογιών LPWAN (Low Power Wide Area Network), ενώ η χρήση του σε μεγάλης έκτασης αγροτικές εγκαταστάσεις μπορεί να απαιτήσει ενδιάμεσους κόμβους ή gateways.

Το BLE μπορεί να χρησιμοποιηθεί, για παράδειγμα, για τη σύνδεση ενός αισθητήρα με ένα κινητό τηλέφωνο. Ο παραγωγός μπορεί να πλησιάσει τον αισθητήρα, να συνδεθεί ασύρματα και να διαβάσει τις μετρήσεις χωρίς να απαιτείται άμεση σύνδεση του αισθητήρα στο Internet.

2.3.3 Zigbee

Το Zigbee είναι τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας χαμηλής κατανάλωσης που βασίζεται σε mesh networking. Η Connectivity Standards Alliance το περιγράφει ως ολοκληρωμένη IoT λύση με έμφαση στη χαμηλή κατανάλωση, την αξιοπιστία, την ασφάλεια και τη διαλειτουργικότητα.

Στην τοπολογία mesh, οι συσκευές μπορούν να λειτουργούν ως κόμβοι που μεταδίδουν δεδομένα μέσω άλλων κόμβων. Έτσι, η πληροφορία δεν είναι απαραίτητο να μεταφέρεται απευθείας από κάθε

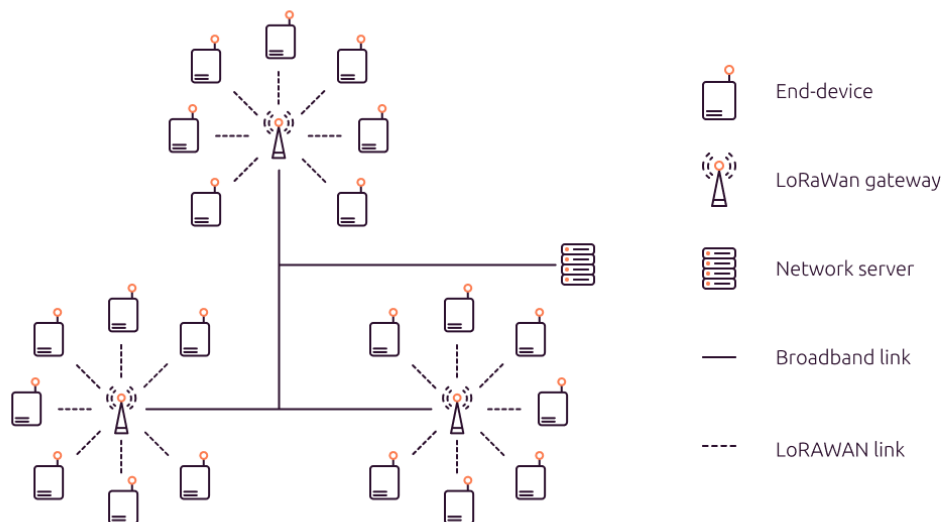
αισθητήρα στον τελικό προορισμό. Εάν κάποιος κόμβος παρουσιάσει πρόβλημα, το δίκτυο μπορεί να χρησιμοποιήσει εναλλακτική διαδρομή. Η τεχνολογία έχει σχεδιαστεί για χαμηλή κατανάλωση και υποστηρίζει ασφαλή επικοινωνία, μεταξύ άλλων με κρυπτογράφηση AES-128. Το Zigbee δεν έχει σχεδιαστεί για πολύ μεγάλες αποστάσεις μεταξύ μιας μεμονωμένης συσκευής και του δικτύου. Η μεγάλη κάλυψη επιτυγχάνεται κυρίως μέσω της ανάπτυξης κατάλληλου mesh δικτύου

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε έξυπνα θερμοκήπια, σε δίκτυα αισθητήρων, σε έξυπνα κτίρια, σε συστήματα φωτισμού, σε παρακολούθηση περιβάλλοντος, σε βιομηχανικά δίκτυα αισθητήρων.

2.3.4 LoRaWAN

Το LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) είναι ένα πρωτόκολλο για εφαρμογές IoT μεγάλης εμβέλειας και χαμηλής κατανάλωσης. Η LoRa Alliance το περιγράφει ως πρωτόκολλο LPWA (Low Power Wide Area) για τη σύνδεση συσκευών που λειτουργούν με μπαταρία σε περιφερειακά, εθνικά ή παγκόσμια δίκτυα.

Η αρχιτεκτονική LoRaWAN βασίζεται συνήθως σε star-of-stars topology. Οι τελικές συσκευές επικοινωνούν με gateways και τα gateways μεταφέρουν τα δεδομένα προς έναν Network Server.



Σχήμα 2.4 : LoRaWAN topology [53]

Το LoRaWAN είναι σχεδιασμένο για πολύ χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, μεγάλη εμβέλεια, μικρό όγκο δεδομένων, αμφίδρομη και ασφαλή επικοινωνία, σε εφαρμογές με μεγάλο αριθμό αισθητήρων. Το μειονέκτημα του είναι ότι δεν προορίζεται για εφαρμογές που απαιτούν πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης ή συνεχή μεταφορά μεγάλων αρχείων. Είναι καταλληλότερο για μικρά πακέτα δεδομένων, όπως θερμοκρασία, υγρασία ή άλλες περιοδικές μετρήσεις.

Όλα τα παραπάνω το καθιστούν κατάλληλο για εφαρμογές Smart Agriculture.

2.3.5 NB-IoT

Το NB-IoT (NarrowBand Internet of Things) αποτελεί τεχνολογία κυψελοειδούς δικτύωσης σχεδιασμένη ειδικά για εφαρμογές IoT και LPWA. Η 3GPP (3rd Generation Partnership Project) έχει αναπτύξει τεχνολογίες όπως το NB-IoT και το LTE-M για να υποστηρίξει διαφορετικές κατηγορίες IoT εφαρμογών. Το NB-IoT χρησιμοποιεί στενότερο εύρος ζώνης και είναι προσαρμοσμένο σε συσκευές χαμηλής κατανάλωσης και μικρότερου όγκου δεδομένων, ενώ το LTE-M παρέχει υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων και υποστηρίζει, μεταξύ άλλων, κινητικότητα.

Το NB-IoT παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα όταν απαιτείται μεγάλη κάλυψη μέσω δικτύου κινητής τηλεφωνίας και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Η λειτουργία του ωστόσο εξαρτάται από την υποδομή του παρόχου κινητής τηλεφωνίας και συνεπώς δεν είναι τόσο ανεξάρτητη από την τηλεπικοινωνιακή υποδομή όσο ένα ιδιωτικό LoRaWAN δίκτυο.

2.3.6 LTE-M

Το LTE-M (LTE for Machine-Type Communications) είναι επίσης τεχνολογία IoT που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο των προτύπων 3GPP. Σε σχέση με το NB-IoT, υποστηρίζει υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων και περισσότερες δυνατότητες για εφαρμογές που απαιτούν κινητικότητα.

Το LTE-M αποτελεί κατάλληλη επιλογή όταν μια συσκευή πρέπει να παραμένει συνδεδεμένη σε κυψελοειδές δίκτυο και παράλληλα χρειάζεται περισσότερη χωρητικότητα επικοινωνίας από αυτή που συνήθως απαιτούν οι απλούστερες LPWA εφαρμογές.

Σε γεωργικές εφαρμογές μπορεί να αξιοποιηθεί σε κινητό εξοπλισμό, γεωργικά μηχανήματα ή συστήματα παρακολούθησης που μετακινούνται μέσα ή μεταξύ αγροτικών περιοχών.

2.3.7 5G

Το 5G αποτελεί την πέμπτη γενιά κυψελοειδών δικτύων και μπορεί να υποστηρίξει μεγάλο εύρος IoT εφαρμογών. Η τεχνολογία σχετίζεται με σενάρια που απαιτούν υψηλή χωρητικότητα, χαμηλή καθυστέρηση και υποστήριξη μεγάλου αριθμού συνδεδεμένων συσκευών. Στο πλαίσιο της εξέλιξης των δικτύων 5G, η 3GPP συνδέει την τεχνολογία με κατηγορίες όπως το massive Machine-Type Communications (mMTC) και τις εφαρμογές υψηλής αξιοπιστίας και χαμηλής καθυστέρησης.

Το 5G μπορεί να είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε προηγμένες εφαρμογές Smart Agriculture που περιλαμβάνουν αυτόνομα γεωργικά μηχανήματα, βίντεο υψηλής ανάλυσης, drones, ρομποτικά συστήματα, απομακρυσμένο έλεγχο, μεγάλο αριθμό συνδεδεμένων συσκευών.



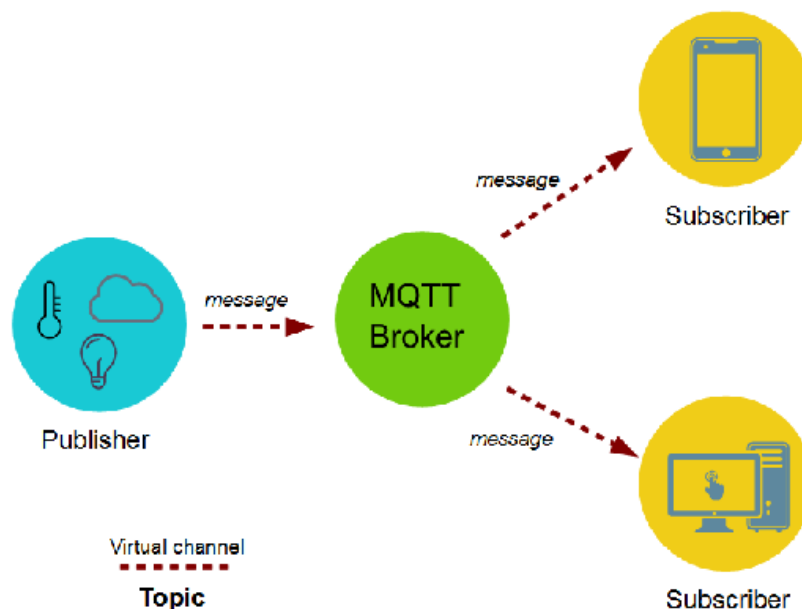
Σχήμα 2.5 : 5G [9]

2.3.8 Ethernet

Το Ethernet είναι ενσύρματη τεχνολογία δικτύωσης και χρησιμοποιείται σε IoT συστήματα όπου απαιτείται υψηλή αξιοπιστία, σταθερότητα και μικρότερη ευαισθησία σε ασύρματες παρεμβολές. Συνήθως το συναντάμε σε βιομηχανικά περιβάλλοντα.

2.3.9 MQTT

Το MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) είναι διαφορετικό από τις παραπάνω τεχνολογίες, καθώς αποτελεί κυρίως πρωτόκολλο ανταλλαγής μηνυμάτων σε επίπεδο εφαρμογής. Είναι ένα πρωτόκολλο σχεδιασμένο μεταξύ άλλων για περιβάλλοντα IoT και δίκτυα με περιορισμένο διαθέσιμο bandwidth. Η έκδοση MQTT 5.0 αποτελεί πρότυπο OASIS (Organization for the Advancement of Structured Information Standards).



Σχήμα 2.6 : Λειτουργία MQTT [51]

2.3.10 CoAP

Το CoAP (Constrained Application Protocol) είναι ένα πρωτόκολλο που σχεδιάστηκε από το IETF (Internet Engineering Task Force) ειδικά για περιορισμένες συσκευές και δίκτυα χαμηλής ισχύος ή περιορισμένου bandwidth. Το CoAP έχει αρχιτεκτονική παρόμοια με τη λογική του Web και χρησιμοποιεί μοντέλο request/response. Είναι σχεδιασμένο ώστε να έχει μικρό overhead και μπορεί να λειτουργεί πάνω από UDP. Υποστηρίζει επίσης μηχανισμούς που διευκολύνουν την επικοινωνία με web-based συστήματα.

Το μικρό μέγεθος των μηνυμάτων και η χαμηλή πολυπλοκότητα το καθιστούν κατάλληλο για μικροελεγκτές και αισθητήρες με περιορισμένους πόρους. Το CoAP μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αισθητήρες που διαθέτουν περιορισμένη υπολογιστική ισχύ και πρέπει να ανταλλάσσουν μικρές ποσότητες δεδομένων με έναν server ή gateway.

2.3.11 HTTP/HTTPS

Το HTTP (Hypertext Transfer Protocol) είναι το κλασικό πρωτόκολλο επικοινωνίας του Web και χρησιμοποιείται επίσης σε πολλές IoT εφαρμογές. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα του HTTP είναι η πολύ μεγάλη διάδοση και η ευκολία ενσωμάτωσής του με web εφαρμογές, REST APIs (Representational State Transfer Application Programming Interface) και cloud υπηρεσίες. Ομοίως και το HTTPS (hypertext transfer protocol secure).

2.3.12 Συγκριτικός πίνακας

Στον παρακάτω πίνακα 2-1 μπορούμε να δούμε συγκεντρωτικά τις διαφορές μεταξύ των πρωτοκόλλων και των διαφόρων τεχνολογιών.

Πίνακας 2-1 Σύγκριση Πρωτοκόλλων

Πρωτόκολλο	Εμβέλεια	Κατανάλωση	Ταχύτητα	Χρήση
Wi-Fi	Μικρή- Μεσαία	Μέτρια/ υψηλή	Υψηλή	Κτίρια, θερμοκήπια, gateways
BLE	Μικρή	Πολύ χαμηλή	μέτρια	Κοντινοί αισθητήρες
Zigbee	Μικρή- μεσαία, μέσω mesh	Χαμηλή	Χαμηλή/ μέτρια	Δίκτυα πολλών αισθητήρων
LoRaWAN	Μεγάλη	Πολύ χαμηλή	χαμηλή	Αγροτικές και απομακρυσμένες περιοχές
NB-IoT	Μεγάλη	Χαμηλή	χαμηλή	Κυψελοειδές δίκτυα
LTE-M	Μεγάλη	Χαμηλή/ μέτρια	Μεγαλύτερη από NB-IoT	Κινητές συσκευές

5G	Μεγάλη	Ανάλογα την εφαρμογή	Πολύ υψηλή	Προηγμένες εφαρμογές, μεγάλος όγκος δεδομένων
ETHERNET	Εξαρτάται από την καλωδίωση	Χωρίς ασύρματη κατανάλωση	Υψηλή	Βιομηχανικά και σταθερά συστήματα
MQTT	Εξαρτάται από το δίκτυο	χαμηλό overhead	Εξαρτάται από το transport	Ανταλλαγή μηνυμάτων
CoAP	Εξαρτάται από το δίκτυο	Πολύ χαμηλό overhead	Κατάλληλο για μικρά μηνύματα	Περιορισμένοι αισθητήρες
HTTP/HTTPS	Εξαρτάται από το δίκτυο	Μεγαλύτερο overhead	Υψηλή	Web APIs και cloud εφαρμογές

2.4 Συσκευές IoT

Το IoT βασίζεται στη σύνδεση φυσικών συσκευών μεταξύ τους και με δικτυακές ή υπολογιστικές υποδομές, ώστε να μπορούν να συλλέγουν, να ανταλλάσσουν και να επεξεργάζονται δεδομένα. Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται σε ένα σύστημα IoT διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους, ανάλογα με την εφαρμογή και τις απαιτήσεις του συστήματος. Ένα ολοκληρωμένο IoT σύστημα μπορεί να περιλαμβάνει αισθητήρες, μικροελεγκτές, ενεργοποιητές, gateways, δικτυακές συσκευές, έξυπνες συσκευές και servers ή cloud υποδομές.

Πιο αναλυτικά, σε ένα σύστημα IoT οι αισθητήρες ο ρόλος των αισθητήρων είναι να ανιχνεύουν και να μετρούν φυσικά ή περιβαλλοντικά μεγέθη και να τα μετατρέπουν σε δεδομένα που μπορούν να επεξεργαστούν ηλεκτρονικά συστήματα. Οι κατηγορίες των αισθητήρων είναι θερμοκρασίας, υγρασίας, πίεσης, φωτός, κίνησης, απόστασης, αερίων, κραδασμών, ήχου, υγρασίας εδάφους.

Έπειτα, υπάρχουν οι μικροελεγκτές που συλλέγουν δεδομένα από τους αισθητήρες, τα επεξεργάζονται και μπορούν να δώσουν εντολές σε άλλες συσκευές όπως για παράδειγμα το Arduino και ο ESP8266.

Οι actuators ή ενεργοποιητές είναι συσκευές που μετατρέπουν μια εντολή του ψηφιακού συστήματος σε φυσική ενέργεια. Παραδείγματα actuators είναι τα ηλεκτρικά ρελέ, οι ηλεκτροβάνες, οι αντλίες νερού, οι ηλεκτρικές κλειδαριές, οι θερμοστάτες.

Για να επικοινωνούν οι IoT συσκευές απαιτούνται και συσκευές δικτύωσης όπως routers, switches, access points, cellular modems, LoRaWAN gateways. Οι συσκευές αυτές επιτρέπουν τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ των IoT κόμβων και των υποδομών του δικτύου. Για παράδειγμα, ένας ESP32 μπορεί να συνδεθεί μέσω Wi-Fi σε έναν router και μέσω αυτού να επικοινωνήσει με έναν server στο Internet.

Το IoT έχει εφαρμοστεί ευρέως και στο περιβάλλον του Smart Home με τις έξυπνες οικιακές συσκευές όπως λαμπτήρες, πρίζες, θερμοστάτες, κάμερες, κλειδαριές, ηχεία, ανιχνευτές καπνού, συσκευές κλιματισμού. Οι συσκευές αυτές μπορούν να συνδέονται σε δίκτυα και να ελέγχονται τοπικά ή απομακρυσμένα μέσω εφαρμογών και έχουν πολύ μεγάλη ζήτηση.

Άλλη μία κατηγορία συσκευών IoT με πολύ μεγάλη ζήτηση είναι τα wearables, δηλαδή smartwatches, fitness trackers, έξυπνα γυαλιά. Πρόκειται για ηλεκτρονικές συσκευές που φοριούνται από τον χρήστη

και συλλέγουν δεδομένα. Οι συσκευές αυτές μπορούν να περιλαμβάνουν αισθητήρες κίνησης, επιτάχυνσης, θερμοκρασίας και άλλους αισθητήρες και να μεταδίδουν τις πληροφορίες σε ένα smartphone. Για ιατρικούς σκοπούς υπάρχουν εμφυτεύσιμοι αισθητήρες για έλεγχο σακχάρου στο αίμα ή για έλεγχο καρδιακών παλμών.

Οι smart meters είναι συσκευές που καταγράφουν και μεταδίδουν μετρήσεις χωρίς να απαιτείται χειροκίνητη καταγραφή. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση ηλεκτρικής ενέργειας, νερού, φυσικού αερίου και θερμικής ενέργειας. Τα δεδομένα μπορούν να αποστέλλονται αυτόματα σε έναν server ή cloud πλατφόρμα, επιτρέποντας την παρακολούθηση της κατανάλωσης.

Τέλος, οι IP κάμερες και οι έξυπνες κάμερες μπορούν να αποτελέσουν IoT συσκευές όταν συνδέονται σε δίκτυο και επιτρέπουν την απομακρυσμένη παρακολούθηση ή επεξεργασία δεδομένων. Οι κάμερες χρησιμοποιούνται σε έξυπνες πόλεις, βιομηχανίες, γεωργικές εγκαταστάσεις, συστήματα ασφαλείας και έξυπνα σπίτια. Ενώ συσκευές εντοπισμού και GPS μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε IoT συστήματα για την παρακολούθηση της θέσης αντικειμένων, οχημάτων, γεωργικών μηχανημάτων ή ζώων.

2.5 Επίλογος

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάστηκαν οι βασικές έννοιες που σχετίζονται με την αρχιτεκτονική και τη λειτουργία του IoT. Αρχικά αναλύθηκε η βασική αρχιτεκτονική των τεσσάρων επιπέδων, η οποία περιλαμβάνει το επίπεδο αισθητήρων, το επίπεδο δικτύου, το επίπεδο επεξεργασίας και το επίπεδο εφαρμογής. Παράλληλα, εξετάστηκαν τα σημαντικότερα πρωτόκολλα και οι τεχνολογίες επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται στα συστήματα IoT και παρουσιάστηκε η μεγάλη ποικιλία συσκευών που μπορούν να συμμετέχουν σε ένα IoT σύστημα.

Η μελέτη της αρχιτεκτονικής, των πρωτοκόλλων και των συσκευών αναδεικνύει ότι το IoT δεν αποτελεί μία μεμονωμένη τεχνολογία, αλλά ένα ολοκληρωμένο και πολυεπίπεδο οικοσύστημα, στο οποίο διαφορετικές τεχνολογίες συνεργάζονται για τη συλλογή, μεταφορά, επεξεργασία και αξιοποίηση δεδομένων. Η αποτελεσματική λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος προϋποθέτει τη σωστή επιλογή και διασύνδεση των επιμέρους στοιχείων, λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαίτερες απαιτήσεις της εφαρμογής. Η κατανόηση αυτών των βασικών αρχών αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την ανάπτυξη πιο εξειδικευμένων εφαρμογών του IoT.

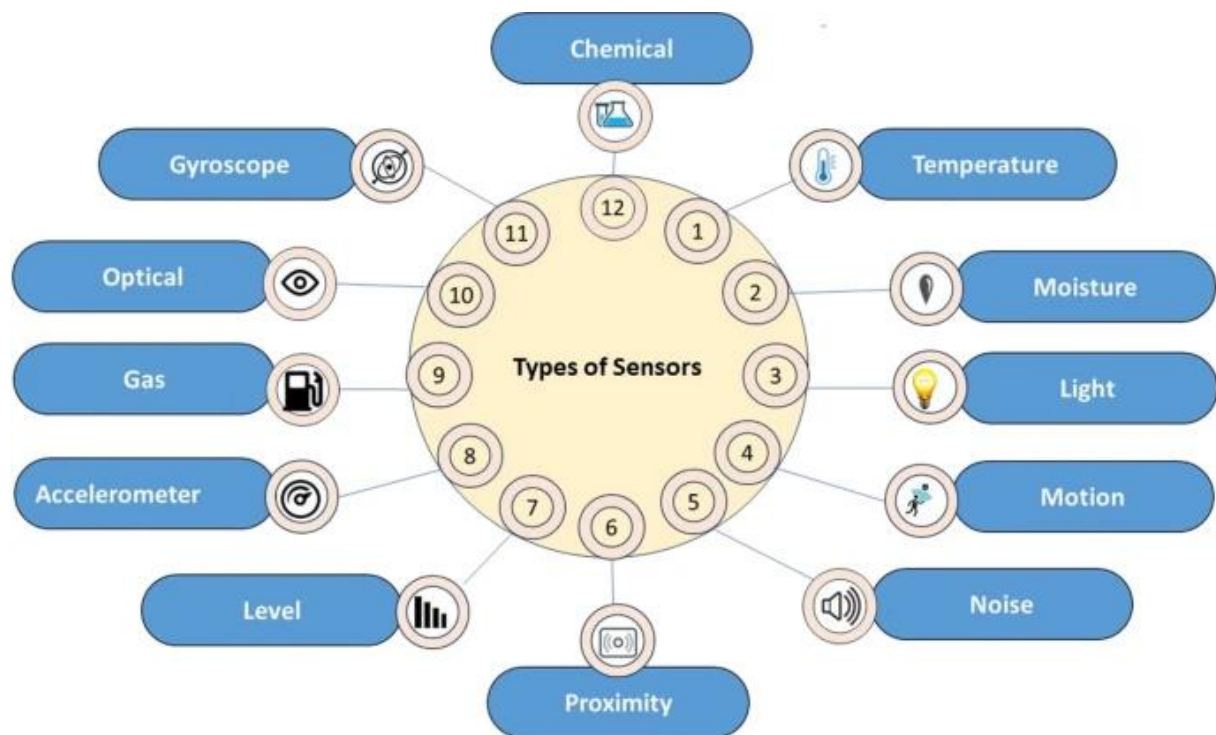
Κεφάλαιο 3ο: Αισθητήρες

3.1 Εισαγωγή

Οι αισθητήρες αποτελούν θεμελιώδη στοιχεία του IoT, καθώς παρέχουν τη σύνδεση μεταξύ του φυσικού και του ψηφιακού κόσμου. Ένα σύστημα IoT μπορεί να χρησιμοποιεί έναν ή περισσότερους αισθητήρες ταυτόχρονα. Οι αισθητήρες IoT μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με το μέγεθος που μετρούν, την αρχή λειτουργίας τους, τον τύπο του σήματος εξόδου, τον τρόπο επικοινωνίας τους ή τον τομέα εφαρμογής τους.[42]

3.2 Κατηγορίες αισθητήρων

Για τη μελέτη των συστημάτων IoT, ιδιαίτερα χρήσιμη είναι η ταξινόμηση με βάση το φυσικό μέγεθος που μετρά ο κάθε αισθητήρας.



Σχήμα 3.1 : Κατηγοριοποίηση με βάση το φυσικό μέγεθος [41]

Οι αισθητήρες θερμοκρασίας αέρα μετρούν τη θερμοκρασία ενός χώρου, μιας συσκευής ή ενός αντικειμένου. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον αυτόματο έλεγχο της θερμοκρασίας σε κτίρια και βιομηχανικά συστήματα.



Σχήμα 3.2 : Αισθητήρας ελέγχου θερμοκρασίας [14]

Έπειτα, οι αισθητήρες υγρασίας χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της υγρασίας κυρίως σε γεωργικές εφαρμογές, παραγωγή τροφίμων, ερευνητικά περιβάλλοντα, συστήματα περιβαλλοντικής προστασίας.



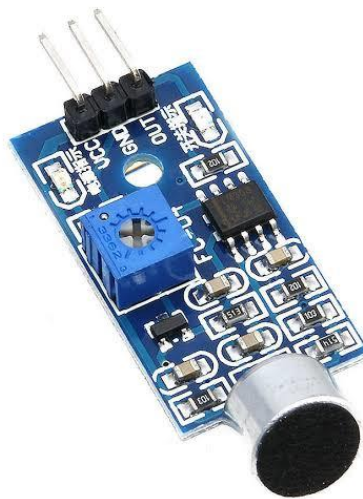
Σχήμα 3.3 : Αισθητήρας ελέγχου επιπέδου υγρασίας στον αέρα [15]

Στη συνέχεια, οι αισθητήρες φωτός χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των συνθηκών φωτισμού. Αποτελούν βασικό στοιχείο των αυτοματοποιημένων συστημάτων φωτισμού σε σύγχρονα σπίτια και πόλεις. Ενώ, οι αισθητήρες κίνησης ανιχνεύουν αλλαγές που προκαλούνται από την κίνηση ανθρώπων ή αντικειμένων. Μπορούν να χρησιμοποιούν radar, υπέρυθρη ακτινοβολία ή υπερήχους.



Σχήμα 3.4 : Αισθητήρας ανίχνευσης κίνησης [16]

Οι αισθητήρες θορύβου μετρούν τα επίπεδα ηχητικής έντασης σε πόλεις, κατοικίες και οχήματα. Όταν η στάθμη θορύβου ξεπερνά ένα προκαθορισμένο όριο, μπορούν να αποστείλουν ειδοποίηση ή να ενεργοποιήσουν μία αυτόματη ενέργεια.



Σχήμα 3.5 : Αισθητήρας ανίχνευσης ήχου [18]

Οι αισθητήρες εγγύτητας χρησιμοποιούν υπέρυθρη ή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία για να ανιχνεύσουν αντικείμενα σε κοντινή απόσταση. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αυτοκίνητα, γκαράζ, καταστήματα, στάδια, αεροδρόμια.

Οι αισθητήρες στάθμης παρακολουθούν την ποσότητα ή το επίπεδο ουσιών. Χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα στη βιομηχανία, τη διαχείριση απορριμμάτων και την επεξεργασία νερού. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο για υγρά όσο και για κοκκώδη στερεά.



Σχήμα 3.6 : Αισθητήρας στάθμης [19]

Τα επιταχυνσιόμετρα μετρούν την επιτάχυνση ενός αντικειμένου και μπορούν να ανιχνεύσουν μεταβολές της βαρύτητας ή απότομες κινήσεις. Χρησιμοποιούνται σε wearables, έξυπνες συσκευές, οχήματα, συστήματα αντικλεπτικής προστασίας.

Οι οπτικοί αισθητήρες χρησιμοποιούνται σε αυτόνομα οχήματα για την ανίχνευση του περιβάλλοντος και την αναγνώριση αντικειμένων δίπλα στον δρόμο. Τα γυροσκόπια χρησιμοποιούνται κυρίως για τον έλεγχο της σταθερότητας και την πλοήγηση.



Σχήμα 3.7 : Οπτικός αισθητήρας [20]

Οι αισθητήρες αερίων παρακολουθούν την ποιότητα του αέρα και μπορούν να ανιχνεύσουν επικίνδυνα αέρια. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση CO₂, αιωρούμενων σωματιδίων και

μονοξειδίου του άνθρακα. Οι αισθητήρες αερίων και χημικών ουσιών είναι ιδιαίτερα σημαντικοί στο Industrial IoT για τον εντοπισμό χημικών ουσιών και τη διασφάλιση της προστασίας του περιβάλλοντος και των εργαζομένων.



Σχήμα 3.8 : Αισθητήρας ελέγχου ποιότητας του αέρα [17]

3.3 Αισθητήρες εδάφους

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης ΠΕ θα χρειαστεί να κατηγοριοποιηθούν οι αισθητήρες και σύμφωνα με τον τομέα εφαρμογής τους. Οι αισθητήρες εδάφους, χρησιμοποιούνται κυρίως στη γεωργία, οι περιβαλλοντικοί αισθητήρες χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση των συνθηκών του φυσικού περιβάλλοντος, οι αισθητήρες Smart Home χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση και τον αυτοματισμό μιας κατοικίας.



Σχήμα 3.9 : Αισθητήρας εδάφους [21]

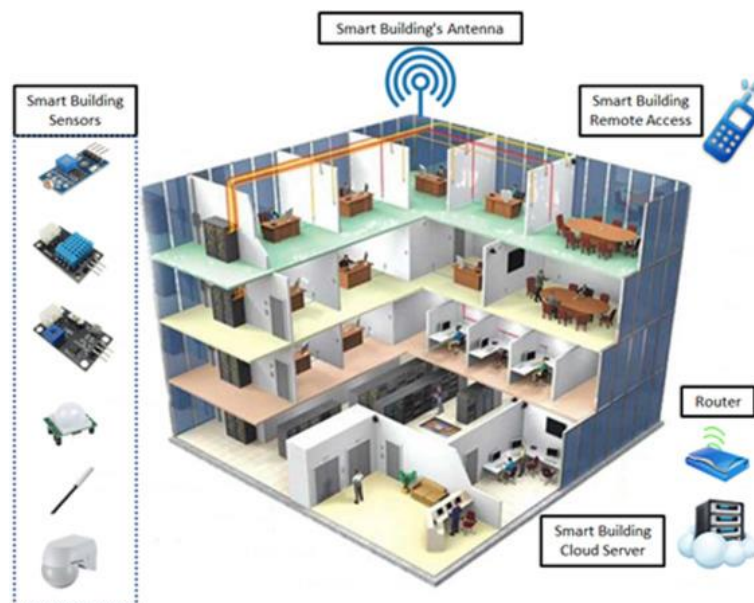
Οι βιομηχανικοί αισθητήρες αποτελούν βασικό στοιχείο του IIoT και οι αισθητήρες υγείας χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές Healthcare IoT και e-Health. Τα σύγχρονα αυτοκίνητα χρησιμοποιούν μεγάλο αριθμό αισθητήρων για τον έλεγχο, την ασφάλεια και την παρακολούθηση του οχήματος. Οι αισθητήρες Smart City χρησιμοποιούνται για τη συλλογή δεδομένων από το αστικό περιβάλλον.



Σχήμα 3.10 : Συσκευές Υγείας [22]

Οι αισθητήρες ενέργειας χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της παραγωγής, κατανάλωσης και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και οι αισθητήρες ασφαλείας χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση ανεπιθύμητων ή επικίνδυνων γεγονότων.

Στη ρομποτική και στα drones χρησιμοποιούνται αισθητήρες για την κατανόηση του περιβάλλοντος και τον έλεγχο της κίνησης και στον τομέα των logistics οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση προϊόντων, οχημάτων και φορτίων. Επίσης οι αισθητήρες Smart Building χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση και αυτοματοποίηση κτιρίων. Τέλος, οι αισθητήρες και οι συσκευές tracking χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση αντικειμένων και περιουσιακών στοιχείων.



Σχήμα 3.11 : Αισθητήρες σε smart building [23]

Η κατηγορία που επικεντρώνεται η ΠΕ είναι οι αισθητήρες εδάφους που χρησιμοποιούνται στη γεωργία ακριβείας και στα συστήματα Smart Agriculture. Στόχος τους είναι η παρακολούθηση των ιδιοτήτων του εδάφους ώστε να λαμβάνονται αποφάσεις σχετικά με την άρδευση, τη λίπανση και τη γενικότερη διαχείριση της καλλιέργειας.

Υποκατηγορίες των αισθητήρων εδάφους είναι αισθητήρες υγρασίας εδάφους, οι αισθητήρες θερμοκρασίας εδάφους, οι αισθητήρες pH, οι αισθητήρες ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) και οι αισθητήρες θρεπτικών στοιχείων.



Σχήμα 3.12 : Αισθητήρας ελέγχου θρεπτικών στοιχείων [24]

3.4 Αισθητήρες υγρασίας

Οι αισθητήρες υγρασίας εδάφους αποτελούν μία από τις σημαντικότερες κατηγορίες αισθητήρων που χρησιμοποιούνται στην έξυπνη γεωργία. Σκοπός τους είναι να ανιχνεύουν ή να εκτιμούν την ποσότητα νερού που υπάρχει στο έδαφος και να μετατρέπουν αυτή την πληροφορία σε ηλεκτρικό σήμα, το οποίο μπορεί να επεξεργαστεί ένας μικροελεγκτής, όπως το Arduino ή ο ESP32, ώστε να ενεργοποιήσει ή να απενεργοποιήσει ένα σύστημα άρδευσης. Η μέτρηση της υγρασίας του εδάφους είναι ιδιαίτερα σημαντική επειδή η διαθέσιμη ποσότητα νερού επηρεάζει άμεσα την ανάπτυξη των φυτών.

Η επιλογή του κατάλληλου αισθητήρα εξαρτάται από την απαιτούμενη ακρίβεια, το είδος του εδάφους, το κόστος, το βάθος μέτρησης και τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Οι κατηγορίες των αισθητήρων υγρασίας εδάφους είναι οι εξής:

- Αντιστάσεως (resistive)
- Χωρητικοί (capacitive)
- TDR (με βάση τη διηλεκτρική σταθερά)

- FDR
- Νετρονικοί αισθητήρες
- Αισθητήρες τάσης νερού (tensiometers)
- Οπτικοί και άλλοι προηγμένοι αισθητήρες

3.4.1 Αισθητήρες Αντιστάσεως (resistive)

Οι αισθητήρες αντίστασης αποτελούν μία από τις απλούστερες και οικονομικότερες λύσεις. Η λειτουργία τους βασίζεται στη μέτρηση της ηλεκτρικής αντίστασης μεταξύ δύο ηλεκτροδίων που εισάγονται στο έδαφος. Το νερό και τα διαλυμένα άλατα αυξάνουν την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους. Επομένως, όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα σε νερό, συνήθως μειώνεται η ηλεκτρική αντίσταση. Οι μετρήσεις σε αυτούς τους αισθητήρες εξαρτώνται από την ποιότητα του εδάφους, το ίδιο και η διάρκεια ζωής τους. Η τιμή τους κυμαίνεται από 1 έως 10 ευρώ, ενώ εύκολα μπορεί κάποιος να κατασκευάσει τέτοιας κατηγορίας αισθητήρες με σχεδόν μηδενικό κόστος.

3.4.2 Χωρητικοί Αισθητήρες (capacitive)

Οι χωρητικοί αισθητήρες αποτελούν μία ιδιαίτερα δημοφιλή λύση, ειδικά σε συστήματα IoT και αυτοματισμού. Η λειτουργία τους βασίζεται στη μεταβολή της χωρητικότητας ενός ηλεκτρικού κυκλώματος λόγω της αλλαγής της διηλεκτρικής σταθεράς του εδάφους. Το νερό έχει πολύ μεγαλύτερη διηλεκτρική σταθερά από τα στερεά συστατικά και τον αέρα του εδάφους. Επομένως, όταν αυξάνεται η ποσότητα νερού, μεταβάλλονται τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα. Έχουν μικρότερη διάβρωση σε σχέση με τους resistive αισθητήρες λόγω του ότι δεν απαιτούν άμεση αγωγίμη επαφή των ηλεκτροδίων με το νερό, ενώ ταυτόχρονα είναι οικονομικοί και καταναλώνουν λίγη ενέργεια. Όπως και οι resistive επηρεάζονται από τη σύσταση του εδάφους. Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες έχουν κόστος που ξεκινάει κάτω από 2 ευρώ, αλλά για επαγγελματική χρήση υπάρχουν εξειδικευμένοι που ξεπερνούν σε κόστος τα 100 ευρώ.

3.4.3 Αισθητήρες TDR

Οι αισθητήρες TDR (Time Domain Reflectometry) χρησιμοποιούν ηλεκτρομαγνητικά κύματα για τον προσδιορισμό της υγρασίας. Ένας ηλεκτρικός παλμός μεταδίδεται μέσω ενός αισθητήρα που βρίσκεται στο έδαφος. Το σήμα ανακλάται και ο χρόνος μετάδοσης/επιστροφής σχετίζεται με τις ηλεκτρομαγνητικές ιδιότητες του εδάφους. Επειδή η διηλεκτρική σταθερά του νερού είναι πολύ υψηλότερη από εκείνη του αέρα και των περισσότερων στερεών συστατικών του εδάφους, η παρουσία νερού επηρεάζει σημαντικά την ταχύτητα διάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού σήματος. Έχουν υψηλή ακρίβεια και δεν επηρεάζονται τόσο από τη ιδιομορφία του εδάφους. Αυτό τους καθιστά κατάλληλους για επιστημονικές και γεωργικές εφαρμογές υψηλών απαιτήσεων. Έχουν υψηλότερο κόστος και πολυπλοκότερο ηλεκτρονικό κύκλωμα. Μεμονωμένα εξαρτήματα έχουν κόστος από 100 ευρώ, συνήθως όμως πωλούνται ως ολοκληρωμένα συστήματα και εκεί οι τιμές κυμαίνονται από 1.300 έως 2.300 ευρώ. Η εγκατάσταση και βαθμονόμηση είναι πιο απαιτητικές σε σχέση με τους προηγούμενους αισθητήρες.



Σχήμα 3.13 : Αισθητήρας TDR [11]

3.4.4 Αισθητήρες FDR

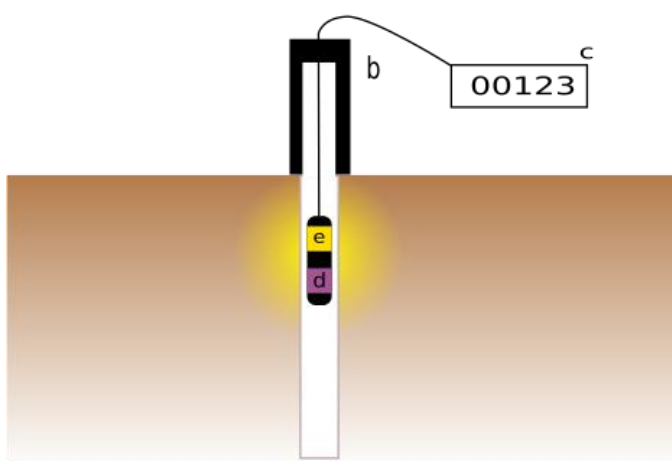
Οι αισθητήρες FDR (Frequency Domain Reflectometry) χρησιμοποιούν ηλεκτρομαγνητικό πεδίο και μετρούν την απόκριση του εδάφους σε συγκεκριμένες συχνότητες. Όπως και στην περίπτωση των TDR, η μέτρηση βασίζεται στην επίδραση της περιεκτικότητας σε νερό στις διηλεκτρικές ιδιότητες του εδάφους. Οι FDR αισθητήρες χρησιμοποιούνται αρκετά σε συστήματα γεωργίας ακριβείας, επειδή μπορούν να παρέχουν συνεχή παρακολούθηση της υγρασίας και ακριβή αποτελέσματα. Η λειτουργία τους επηρεάζεται από τις ιδιότητες του εδάφους. Η ηλεκτρονική σχεδίαση είναι πιο σύνθετη και το κόστος υψηλότερο, ενώ όπως και στους περισσότερους αισθητήρες απαιτείται βαθμονόμηση. Οι αισθητήρες αυτής της κατηγορίας έχουν τη δυνατότητα για παράλληλες μετρήσεις υγρασίας, θερμοκρασίας και θρεπτικών στοιχείων και σαν ολοκληρωμένα συστήματα το κόστος τους ξεπερνάει τα 500 ευρώ.



Σχήμα 3.14 : Αισθητήρας FDR [12]

3.4.5 Νετρονικοί αισθητήρες

Οι νετρονικοί αισθητήρες αποτελούν πιο εξειδικευμένη τεχνολογία. Βασίζονται στην αλληλεπίδραση των νετρονίων με το υδρογόνο που υπάρχει στο νερό του εδάφους. Η μέθοδος μπορεί να προσδιορίσει την περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό και έχει χρησιμοποιηθεί σε επιστημονικές και γεωργικές εφαρμογές. Λόγω του μεγάλου βάθους και όγκου μέτρησης είναι κατάλληλοι για μεγάλες γεωργικές εκτάσεις, ενώ δεν επηρεάζονται με τον ίδιο τρόπο από τη σύσταση του εδάφους όπως οι ηλεκτρικοί αισθητήρες. Παρόλα αυτά έχουν πολύ υψηλό κόστος από 4.000 έως και 13.000 ευρώ και απαιτούν ειδικό εξοπλισμό, ενώ ταυτόχρονα υπάρχουν ζητήματα ακτινοπροστασίας. Δεν είναι πρακτικοί για μικρά IoT συστήματα.



Σχήμα 3.15 : Νετρονικός Αισθητήρας [3]

3.4.6 Tensiometers

Τα тенσιόμετρα διαφέρουν από τους περισσότερους παραπάνω αισθητήρες επειδή δεν μετρούν άμεσα την περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό. Μετρούν την τάση ή το δυναμικό του νερού στο έδαφος. Ένα τυπικό тенσιόμετρο αποτελείται από έναν πορώδη κεραμικό κύλινδρο που βρίσκεται μέσα στο έδαφος και συνδέεται με σύστημα μέτρησης της πίεσης. Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία στη γεωργία, επειδή η ποσότητα νερού από μόνη της δεν αρκεί για να γνωρίζουμε αν το νερό είναι διαθέσιμο στις ρίζες των φυτών. Οι πληροφορίες που παρέχουν είναι σχετικές με τη διαθεσιμότητα του νερού και χρήσιμες για τον προγραμματισμό άρδευσης. Έχουν περιορισμένο εύρος λειτουργίας και δεν παρέχουν άμεση μέτρηση της ογκομετρικής υγρασίας. Ταυτόχρονα η εγκατάστασή τους είναι πιο απαιτητική και για τη σωστή λειτουργία τους απαιτείται συντήρηση. Το κόστος τους ξεκινάει από 70 ευρώ και ανάλογα την τεχνολογία που χρησιμοποιούν, εξειδικευμένα για πιο απαιτητικές καλλιέργειες ή ψηφιακά, φτάνει τα 250 ευρώ.



Σχήμα 3.16 : Τенσιόμετρο [13]

3.5 Επίλογος

Οι αισθητήρες αποτελούν βασικό στοιχείο του Internet of Things, επειδή επιτρέπουν τη μετατροπή των φυσικών γεγονότων και των περιβαλλοντικών συνθηκών σε ψηφιακά δεδομένα. Οι εφαρμογές τους δεν περιορίζονται στη Smart Agriculture, αλλά επεκτείνονται σε Smart Homes, Industrial IoT, Smart Cities, υγεία, μεταφορές, ενέργεια, περιβαλλοντική παρακολούθηση, ρομποτική και πολλές άλλες περιοχές.

Η επιλογή ενός αισθητήρα δεν πρέπει να βασίζεται αποκλειστικά στο κόστος. Πρέπει να λαμβάνονται υπόψη η περιοχή μέτρησης, η ακρίβεια, η ανάλυση, η ευαισθησία, ο χρόνος απόκρισης, η κατανάλωση ενέργειας, η διεπαφή επικοινωνίας, οι περιβαλλοντικές συνθήκες, οι απαιτήσεις βαθμονόμησης και η αξιοπιστία.

Κεφάλαιο 4ο: Μικροελεγκτές

4.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται η έννοια και η βασική αρχιτεκτονική των μικροελεγκτών, οι μνήμες, οι είσοδοι και έξοδοι, οι μετατροπείς αναλογικού σήματος, τα πρωτόκολλα επικοινωνίας και οι κυριότερες πλατφόρμες που χρησιμοποιούνται σε σύγχρονες εφαρμογές. Ιδιαίτερη αναφορά πραγματοποιείται στους μικροελεγκτές και στις πλακέτες Arduino, ESP8266, ESP32 και Raspberry Pi Pico, καθώς παρουσιάζουν σημαντικό ενδιαφέρον για εφαρμογές IoT και έξυπνης γεωργίας.[48]

4.2 Arduino

Το Arduino αποτελεί μία από τις πλέον διαδεδομένες πλατφόρμες ανάπτυξης ηλεκτρονικών εφαρμογών, καθώς συνδυάζει υλικό και λογισμικό σε ένα ενιαίο και σχετικά απλό περιβάλλον ανάπτυξης. Η αξιοποίησή του εκτείνεται από την εκπαίδευση και την ταχεία κατασκευή πρωτοτύπων έως την ανάπτυξη συστημάτων αυτοματισμού, ελέγχου και εφαρμογών που εντάσσονται στο ευρύτερο πεδίο του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things – IoT).[50]

Στο παρόν κεφάλαιο εξετάζεται η πλατφόρμα Arduino ως προς την ιστορική της εξέλιξη, τη δομή και τα βασικά χαρακτηριστικά του υλικού, τις δυνατότητες εισόδου και εξόδου, το σύστημα τροφοδοσίας, τις δυνατότητες επέκτασης και το περιβάλλον ανάπτυξης λογισμικού. Παράλληλα, παρουσιάζονται τα βασικότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της πλατφόρμας, καθώς και ενδεικτικές κατηγορίες εφαρμογών. Η παρουσίαση αυτή αποσκοπεί στη διαμόρφωση του απαραίτητου θεωρητικού υπόβαθρου για την κατανόηση της αξιοποίησης του Arduino στο πλαίσιο της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

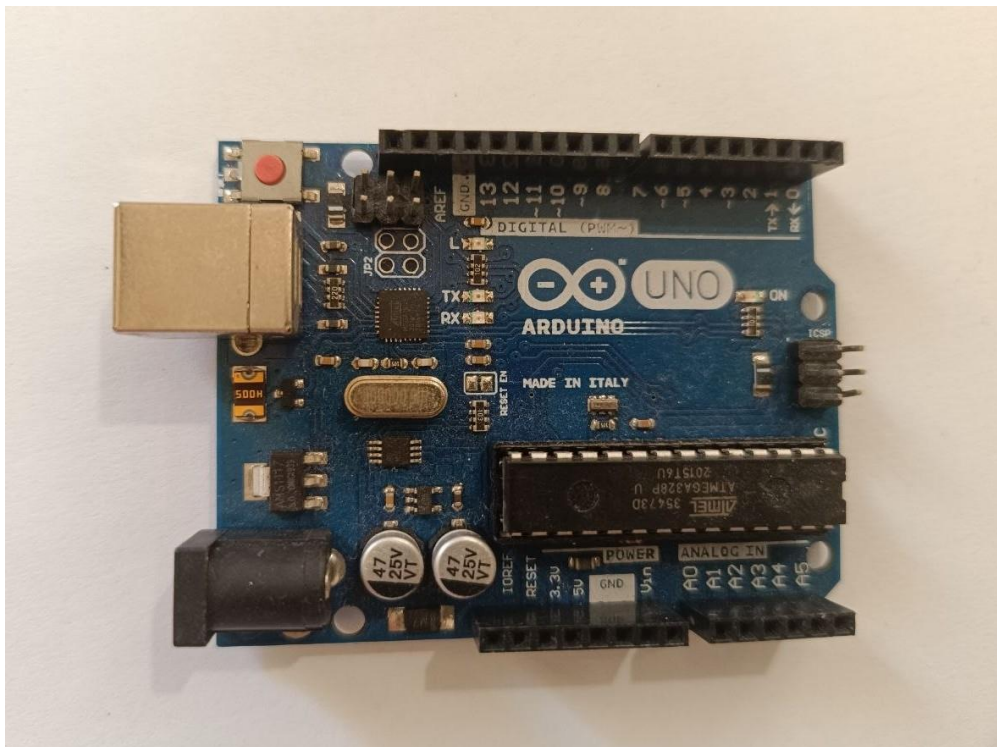
4.2.1 Ιστορική αναδρομή

Μια ομάδα το 2005 στο Ινστιτούτο Σχεδιασμού Αλληλεπίδρασης Ivrea είχε στόχο να δημιουργήσει μία συσκευή γρήγορης δημιουργίας πρωτοτύπων και ελέγχου προγραμμάτων διαδραστικών σχεδίων. Η συσκευή απευθυνόταν σε φοιτητές χωρίς γνώσεις ηλεκτρονικής και προγραμματισμού, η οποία θα ήταν φθηνότερη από τα πρωτότυπα συστήματα που ήταν διαθέσιμα εκείνη την περίοδο. Οι ιδρυτές Massimo Banzi και David Cueartielles, ονόμασαν το σχέδιο αυτό Arduino (Arduin of Ivrea) που μεταφράζεται ελεύθερα ως «γενναίος φίλος» και ξεκίνησαν να παράγουν πλακέτες σε ένα εργοστάσιο στην Ιβρέα, μια κωμόπολη κοντά στο Τορίνο της Ιταλίας. Το σχέδιο του Arduino είναι μια διακλάδωση της πλακέτας Wiring για λογισμικό ανοικτού κώδικα και προγραμματίζεται χρησιμοποιώντας μια γλώσσα βασισμένη στο Wiring, παρόμοια με την γλώσσα προγραμματισμού C++ με απλοποιήσεις και αλλαγές, καθώς και ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης.

Το 2005, μια ομάδα στο Ινστιτούτο Σχεδιασμού Αλληλεπίδρασης Ivrea είχε ως στόχο να δημιουργήσει μια συσκευή γρήγορης δημιουργίας πρωτοτύπων και ελέγχου προγραμμάτων διαδραστικών σχεδίων. Τα αποτελέσματα ήταν άμεσα και το Σεπτέμβριο του 2006 εκδόθηκε το ArduinoMini. Από το 2006 και μετά, σχεδόν κάθε χρόνο ανακοινώνονται νέες πλακέτες βασισμένες στο αρχικό σχέδιο και με στόχο να εξυπηρετήσουν όσο περισσότερο γίνεται όλο και πιο απαιτητικά Project. Στη σημερινή εποχή, πολλές πρακτικές λύσεις και τεχνολογικές εφαρμογές βασίζονται πάνω σε αυτό. Χαρακτηριστικό παράδειγμα το οποίο λειτουργεί με Arduino είναι τα φανάρια στους δρόμους.

4.2.2 Πλακέτα Arduino

Το Arduino είναι μια ανοιχτού κώδικα πλακέτα ανάπτυξης και λογισμικού, η οποία είναι βασισμένη σε έναν single-board μικροελεγκτή (μία πλακέτα) με ένα περιβάλλον ανάπτυξης για τη σύνταξη λογισμικού για αυτήν την πλακέτα. Χάρη στην απλότητα και την προσιτότητα του, το Arduino έχει χρησιμοποιηθεί σε χιλιάδες διαφορετικά έργα και εφαρμογές. Το λογισμικό Arduino είναι εύκολο στην χρήση για αρχάριους, αλλά και αρκετά προηγμένο για έμπειρους χρήστες. Είναι μια πολύ εύχρηστη πλακέτα η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την δημιουργία πρωτοτύπων συσκευών αλλά και για εκπαιδευτικές εργασίες. Επάνω σε αυτή την πλακέτα μπορούν να συνδεθούν διάφορων ειδών αξεσουάρ όπως αισθητήρες θερμοκρασίας, πίεσης, φωτός αλλά και βηματικοί κινητήρες, οθόνες κλπ. Τα προγράμματα μπορούν να προγραμματιστούν στην γλώσσα Wiring. Το Arduino μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη ανεξάρτητων διαδραστικών αντικειμένων αλλά και να συνδεθεί με υπολογιστή μέσω προγραμμάτων σε Processing, Max/MSP, Pure Data, SuperCollider.



Σχήμα 4.1 : Πλακέτα Arduino UNO

4.2.3 Υλικό

Το υλικό (hardware) του Arduino αποτελείται από μια πλακέτα που περιλαμβάνει επεξεργαστή, ψηφιακές και αναλογικές εισόδους/εξόδους, καθώς και θύρες επικοινωνίας. Η αρθρωτή και επεκτάσιμη σχεδίασή του επιτρέπει τη σύνδεση αισθητήρων, κινητήρων και άλλων συσκευών, καθιστώντας το ιδανικό για ποικίλες εφαρμογές.

4.2.3.1 Μικροελεγκτής Atmel AVR

Το hardware της πλακέτας Arduino περιλαμβάνει έναν μικροελεγκτή Atmel AVR ο οποίος είναι η καρδιά του Arduino, όπως τα ATmega328 ή ATmega168 στις νεότερες εκδόσεις και ATmega8 στις παλιότερες. Υπάρχουν επιπλέον κυκλώματα για την εξασφάλιση της ομαλής λειτουργίας και της επικοινωνίας της πλακέτας με το περιβάλλον. Η πιο γνωστή έκδοση βασίζεται στον ATmega328, έναν 8-bit Reduced Instruction Set Computer (RISC) μικροελεγκτή, ο οποίος χρονίζει στα 16MHz. Ο ATmega328 διαθέτει ενσωματωμένη μνήμη τριών τύπων οι οποίοι είναι:

- 2Kb μνήμης Static Random-Access Memory (SRAM) είναι η ωφέλιμη μνήμη που μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα προγράμματά για να αποθηκεύσουν μεταβλητές, πίνακες κ.λπ. κατά την εκτέλεση προγράμματος. Όπως και σε έναν υπολογιστή, η μνήμη χάνει τα δεδομένα της όταν η παροχή ρεύματος στο Arduino σταματήσει ή αν γίνει επαναφορά.
- 1Kb μνήμης Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory (EEPROM) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για «ωμή» εγγραφή/ανάγνωση δεδομένων (χωρίς datatype) ανά byte από τα προγράμματά κατά την εκτέλεση. Σε αντίθεση με την SRAM, η EEPROM δεν χάνει τα περιεχόμενά της με απώλεια τροφοδοσίας ή επαναφοράς οπότε είναι το αντίστοιχο του αποθηκευτικού χώρου.
- 32Kb μνήμης Flash, από τα οποία τα 2Kb χρησιμοποιούνται από το υλικολογισμικό του Arduino που έχει εγκαταστήσει ήδη ο κατασκευαστής του. Το υλικολογισμικό αυτό που στην πραγματικότητα ονομάζεται bootloader είναι αναγκαίο για την εγκατάσταση των προγραμμάτων στον μικροελεγκτή μέσω της θύρας Universal Serial Bus (USB), χωρίς δηλαδή να χρειάζεται εξωτερικός hardware programmer. Τα υπόλοιπα 30Kb της μνήμης Flash χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση των προγραμμάτων, αφού πρώτα μεταγλωττιστούν στον υπολογιστή. Η μνήμη Flash, όπως και η EEPROM δεν χάνει τα περιεχόμενά της με απώλεια τροφοδοσίας ή reset. Επίσης, ενώ η μνήμη Flash υπό κανονικές συνθήκες δεν προορίζεται για χρήση runtime μέσα από τα προγράμματά, λόγω της μικρής συνολικής μνήμης που είναι διαθέσιμη σε αυτά (2Kb SRAM + 1Kb EEPROM), έχει σχεδιαστεί μια βιβλιοθήκη που επιτρέπει την χρήση όσου χώρου περισσεύει (δηλαδή 30Kb μείον το μέγεθος του προγράμματός σε μεταγλωττισμένη μορφή).

4.2.3.2 Είσοδος – Έξοδος

Ο μικροελεγκτής ATmega υποστηρίζει σειριακή επικοινωνία, την οποία το Arduino προωθεί μέσα από έναν ελεγκτή Serial-over-USB ώστε να συνδέεται με τον υπολογιστή μέσω USB. Η σύνδεση αυτή χρησιμοποιείται για την μεταφορά των προγραμμάτων που σχεδιάζονται από τον υπολογιστή στο Arduino αλλά και για αμφίδρομη επικοινωνία του Arduino με τον υπολογιστή μέσα από το πρόγραμμα την ώρα που εκτελείται.

Επιπλέον, στην πάνω πλευρά του Arduino βρίσκονται 14 θηλυκά pin, αριθμημένα από 0 ως 13, που μπορούν να λειτουργήσουν ως ψηφιακές εισοδοι και έξοδοι. Λειτουργούν στα 5V και καθένα μπορεί να παρέχει ή να δεχτεί το πολύ 40mA.

Ως ψηφιακή έξοδος, ένα από αυτά τα pin μπορεί να τεθεί από το πρόγραμμά σε κατάσταση HIGH ή LOW, οπότε το Arduino θα ξέρει αν πρέπει να διοχετεύσει ή όχι ρεύμα στο συγκεκριμένο pin. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να ανάψει και να σβήσει ένα Light Emitting Diode (LED) που έχει συνδεθεί στο συγκεκριμένο pin. Αν πάλι ένα από αυτά τα pin χρησιμοποιηθεί ως ψηφιακή είσοδο μέσα από το πρόγραμμά, με την κατάλληλη εντολή μπορεί να διαβάσει την κατάστασή του (HIGH ή LOW) ανάλογα με το αν η εξωτερική συσκευή που έχει συνδεθεί σε αυτό το pin διοχετεύει ή όχι ρεύμα στο pin (με αυτόν τον τρόπο διαβάζει την κατάσταση ενός διακόπτη). Μερικά από αυτά τα 14 pin, εκτός από ψηφιακές εισοδοι/έξοδοι έχουν και δεύτερη λειτουργία.

Τα pin 0 και 1 λειτουργούν ως Receive (RX) και Transmit (TX) της σειριακής όταν το πρόγραμμα ενεργοποιεί την σειριακή θύρα. Έτσι όταν το πρόγραμμα στέλνει δεδομένα στην σειριακή, αυτά προωθούνται και στην θύρα USB μέσω του ελεγκτή Serial-Over-USB αλλά και στο pin 0 για να τα διαβάσει ενδεχομένως μια άλλη συσκευή (π.χ. ένα δεύτερο Arduino στο δικό του pin 1).

Τα pin 2 και 3 λειτουργούν και ως εξωτερικά δυνατότητα ανίχνευσης διακοπής (interrupt) (interrupt 0 και 1 αντίστοιχα). Με άλλα λόγια, μπορεί να γίνει ρύθμιση μέσα από το πρόγραμμα ώστε να λειτουργούν αποκλειστικά ως ψηφιακές εισοδοι στις οποίες όταν συμβαίνουν συγκεκριμένες αλλαγές, η κανονική ροή του προγράμματος σταματάει άμεσα και εκτελείται μια συγκεκριμένη συνάρτηση. Τα εξωτερικά interrupt είναι ιδιαίτερα χρήσιμα σε εφαρμογές που απαιτούν συγχρονισμό μεγάλης ακρίβειας.

Τα pin 3, 5, 6, 9, 10 και 11 μπορούν να λειτουργήσουν και ως ψευδοαναλογικές έξοδοι με το σύστημα Διαμόρφωση Εύρους Παλμού (Pulse Width Modulation - PWM), δηλαδή το ίδιο σύστημα που διαθέτουν οι μητρικές των υπολογιστών για να ελέγχουν τις ταχύτητες των ανεμιστήρων. Μπορεί να γίνει σύνδεση ενός LED σε κάποιο από αυτά τα pin και να γίνεται πλήρης έλεγχος της φωτεινότητας του με ανάλυση 8bit (256 καταστάσεις από 0-σβηστό ως 255-πλήρως αναμμένο) αντί να υπάρχει απλά η δυνατότητα αναμμένο-σβηστό που παρέχουν οι υπόλοιπες ψηφιακές έξοδοι. Το PWM δεν είναι πραγματικά αναλογικό σύστημα και ότι θέτοντας στην έξοδο την τιμή 127, δεν σημαίνει ότι η έξοδος θα δίνει 2.5V αντί της κανονικής τιμής των 5V, αλλά ότι θα δίνει ένα παλμό που θα εναλλάσσεται με μεγάλη συχνότητα και για ίσους χρόνους μεταξύ των τιμών 0 και 5V.

4.2.3.3 Επεκτάσεις

Οι πλακέτες επέκτασης (shields), χρησιμοποιούνται για να ενισχύσουν και να προσφέρουν νέες δυνατότητες στο Arduino. Τα shields είναι ολοκληρωμένες πλακέτες που έχουν σχεδιαστεί ώστε να κουμπώνουν πάνω στο Arduino, επεκτείνοντας την λειτουργικότητά του.

Ορισμένα από τα πιο δημοφιλή shields που διατίθενται στην αγορά περιλαμβάνουν το Ethernet shield, το οποίο παρέχει την δυνατότητα στον μικροελεγκτή να συνδεθεί σε ένα τοπικό δίκτυο ή στο διαδίκτυο μέσω ενός τυπικού καλωδίου Ethernet. Το Wi-Fi shield παρέχει αντίστοιχη λειτουργία με το Ethernet shield, αλλά χωρίς την ανάγκη καλωδίου, προσφέροντας ασύρματη συνδεσιμότητα.

Άλλες επεκτάσεις είναι τα shields οθόνης, τα οποία προσθέτουν δυνατότητες οπτικής απεικόνισης. Αυτές οι οθόνες μπορεί να κυμαίνονται από απλές οθόνες τύπου calculator έως LED οθόνες αφής, παρόμοιες με αυτές των smartphone. Το Wave shield επιτρέπει στο Arduino να αναπαράγει ήχους και μουσική από κάρτες Secure Digital (SD), ενώ το Global Positioning System (GPS) shield ενσωματώνει δυνατότητες γεωγραφικού εντοπισμού.

Επιπλέον, τα Motor shields δίνουν τη δυνατότητα στο Arduino να ελέγχει διάφορους τύπους μοτέρ με μεγάλη ευκολία. Τέλος, μία ακόμα επέκταση είναι το Proto Shield μια προσχεδιασμένη πλακέτα πρωτοτυποποίησης, συμβατή στις διαστάσεις του Arduino, χωρίς εξαρτήματα για να φτιάξουμε το δικό μας shield.



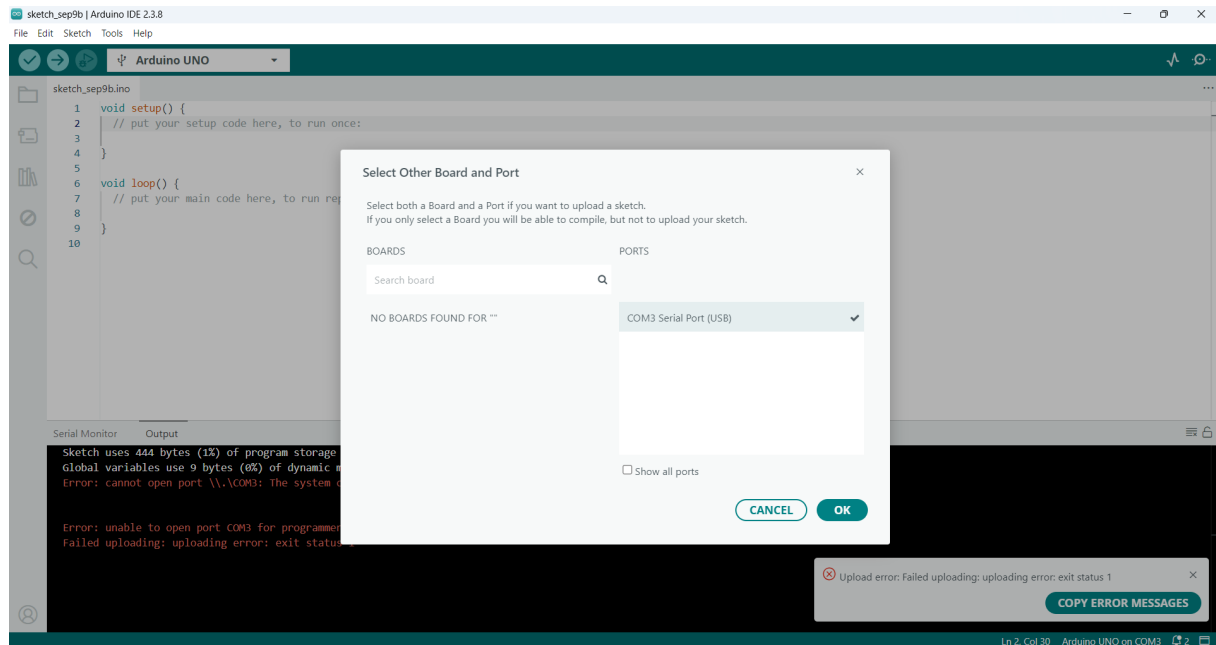
Σχήμα 4.2 : Επεκτάσεις Arduino [25]

4.2.4 Λογισμικό

Το περιβάλλον ανάπτυξης λογισμικού (Integrated Development Environment - IDE) του Arduino είναι ένα πρόγραμμα που διατίθεται δωρεάν και μπορεί να κατεβεί από την επίσημη ιστοσελίδα του Arduino. Η γλώσσα του Arduino βασίζεται στη γλώσσα Wiring, μια παραλλαγή της C/C++ για μικροελεγκτές αρχιτεκτονικής AVR (Alf and Vegard's RISC(Reduced Instruction Set Computer)), υποστηρίζει όλες τις βασικές δομές της C, καθώς και μερικά χαρακτηριστικά της C++. Για compiler χρησιμοποιείται ο AVR gcc και, ως βασική βιβλιοθήκη C, η AVR libc. Το περιβάλλον διαθέτει εξελεγμένο μενού και προσφέρει έτοιμα παραδείγματα χρήσης βασικών λειτουργιών, που διευκολύνουν την ανάπτυξη εφαρμογών.

Η περιοχή μηνυμάτων παρέχει ανατροφοδότηση (feedback) κατά την αποθήκευση και εξαγωγή και εμφανίζει επίσης τυχόν σφάλματα. Η κονσόλα εμφανίζει την έξοδο κειμένου από το περιβάλλον Arduino, συμπεριλαμβανομένων πλήρων μηνυμάτων σφάλματος και άλλων πληροφοριών. Στην κάτω δεξιά γωνία του παραθύρου εμφανίζεται η τρέχουσα πλακέτα και η σειριακή θύρα.

Για να πραγματοποιηθεί η μεταφορά του κώδικα από τον υπολογιστή στον μικροελεγκτή, είναι απαραίτητο να συνδεθεί ο μικροελεγκτής με τον υπολογιστή μέσω ενός καλωδίου USB. Επιπλέον, απαιτείται να δηλωθεί η έκδοση του Arduino που θα χρησιμοποιηθεί, καθώς και να ρυθμιστεί η θύρα USB ώστε να αντιστοιχεί στο περιβάλλον του Arduino IDE.



Σχήμα 4.3 : Arduino IDE

Ο προγραμματιστής αρχικά καθορίζει ποιες θύρες θα χρησιμοποιηθούν ως είσοδοι και ποιες ως έξοδοι μέσα από τη συνάρτηση `setup()`, η οποία εκτελείται μία φορά κατά την έναρξη του προγράμματος. Στη συνέχεια, ο κύριος κώδικας γράφεται στη συνάρτηση `loop()`, η οποία επαναλαμβάνεται συνεχώς, επιτρέποντας την αδιάκοπη εκτέλεση του προγράμματος.

Όταν ολοκληρωθούν οι παραπάνω διαδικασίες, το ανέβασμα του κώδικα γίνεται πατώντας την επιλογή `File` και στη συνέχεια `Upload`. Πριν από το ανέβασμα, ο κώδικας αποθηκεύεται προσωρινά στον υπολογιστή και ελέγχει για σφάλματα μέσω της επιλογής `Verify` (Επαλήθευση). Με αυτόν τον τρόπο διασφαλίζεται η ορθότητα και η επιτυχής μεταφορά του στον μικροελεγκτή.

4.2.5 Πλεονεκτήματα Arduino

Το Arduino έχει καθιερωθεί ως μια από τις πιο γνωστές πλακέτες ανάπτυξης ηλεκτρονικών εφαρμογών, χάρη στα πολλά πλεονεκτήματά του.

- **Απλότητα:** Το Arduino έχει σχεδιαστεί με στόχο να είναι ευανάγνωστο και εύκολο στην χρήση, ακόμα και από αρχάριους χρήστες στον προγραμματισμό ή την ηλεκτρονική. Το περιβάλλον προγραμματισμού Arduino IDE είναι απλό, ο κώδικας που γράφεται είναι κατανοητός, επιτρέποντας σε χρήστες με περιορισμένες τεχνικές γνώσεις να δημιουργήσουν λειτουργικά έργα, καθώς επίσης είναι μία δημιουργική απασχόληση για τους χρήστες.
- **Χαμηλό κόστος:** Το Arduino έχει χαμηλό κόστος καθώς τα περισσότερα μοντέλα του πωλούνται σε χαμηλές τιμές στην αγορά, κάνοντας το προσιτό για μαθητές, χομπίστες και επαγγελματίες. Επιπλέον επειδή είναι ανοιχτού κώδικα, υπάρχουν πολλές φθηνές πλακέτες συμβατές με το Arduino.
- **Ανοιχτού κώδικα:** Το Arduino βασίζεται στην αρχή του ανοιχτού κώδικα, που σημαίνει ότι ο καθένας μπορεί να έχει πρόσβαση στον πηγαίο κώδικα, να τον μελετήσει και να τον τροποποιήσει σύμφωνα με τις ανάγκες του. Αυτό επιτρέπει στους χρήστες να δημιουργήσουν τον δικό τους κώδικα και να τον μοιραστούν με την κοινότητα.

- **Cross-platform:** Το πρόγραμμα του Arduino είναι συμβατό με όλα τα βασικά λειτουργικά συστήματα, καλύπτοντας τις ανάγκες όλων των χρηστών προσωπικών υπολογιστών.
- **Επεκτασιμότητα:** Χάρη στις επεκτάσεις που έχει το Arduino διευκολύνει την σύνδεση με πολυάριθμα αξεσουάρ, τα οποία μπορούν να ενσωματωθούν πάνω στην πλακέτα και να προσφέρουν επιπλέον λειτουργίες. Αυτή η δυνατότητα το καθιστά κατάλληλο για έργα διαφόρων κλιμάκων και απαιτήσεων.
- **Μεγάλη κοινότητα:** Το Arduino διαθέτει μια τεράστια ενεργή παγκόσμια κοινότητα χρηστών. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχουν αμέτρητα φόρουμ και ιστοσελίδες που αναφέρονται στο Arduino και μπορούν να καθοδηγήσουν, βοηθήσουν, διδάξουν και εμπνεύσουν τον κάθε χρήστη.
- **Πολυλειτουργικότητα:** Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μεγάλο εύρος εφαρμογών, από ένα απλό έργο όπως φώτα που αναβοσβήνουν σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, μέχρι και πολύπλοκα έργα όπως ρομπότ, έξυπνα συστήματα σπιτιών και εφαρμογές IoT. Αυτή η ευελιξία το κάνει εξαιρετικά χρήσιμο για προσωπική χρήση.

4.2.6 Μειονεκτήματα Arduino

Παρά τα πολλά πλεονεκτήματα του Arduino, υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα που αξίζει να αναφερθούν.

- **Περιορισμένη μνήμη και αργός ρυθμός εκτέλεσης:** Τα περισσότερα μοντέλα Arduino διαθέτουν περιορισμένη μνήμη (RAM και Flash) και χαμηλή επεξεργαστική ισχύ, καθιστώντας τα ακατάλληλα για πιο απαιτητικές εφαρμογές που χρειάζεται να επεξεργαστούν μεγάλο όγκο δεδομένων ή περίπλοκους αλγόριθμους, περιορίζοντας την απόδοση σε εφαρμογές με απαιτήσεις γρήγορης επεξεργασίας.
- **Μειωμένη υποστήριξη για πολυπύρηνους επεξεργαστές:** Η πλακέτα είναι περιορισμένη σε μονοπύρηνους επεξεργαστές, γεγονός που μπορεί να μην είναι επαρκές για εφαρμογές που απαιτούν παράλληλη επεξεργασία.
- **Περιορισμένες δυνατότητες επικοινωνίας:** Παρά την υποστήριξη για βασικές επικοινωνίες (π.χ., UART, SPI, I2C), η υποστήριξη για πιο προηγμένες τεχνολογίες επικοινωνίας (όπως Bluetooth, Wi-Fi ή Ethernet) χρειάζονται πρόσθετο εξοπλισμό και η σύνδεση τους μπορεί να γίνει πιο περίπλοκη.
- **Χαμηλή αντοχή σε βιομηχανικά περιβάλλοντα:** Ορισμένα μοντέλα Arduino δεν είναι κατάλληλα για λειτουργία σε δύσκολες ή ακραίες συνθήκες (π.χ., πολύ υψηλές ή χαμηλές θερμοκρασίες, υγρασία).
- **Έλλειψη έτοιμων λύσεων για επαγγελματική χρήση:** Αν και το Arduino είναι εξαιρετικό για εκπαιδευτικά project και εφαρμογές τύπου DIY (Do It Yourself), μπορεί να μην είναι η καλύτερη επιλογή για επαγγελματικά ή βιομηχανικά έργα, όπου απαιτούνται υψηλές προδιαγραφές και μεγάλες εγκαταστάσεις.

4.2.7 Εφαρμογή

Το Arduino χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές, τόσο στον τομέα των DIY έργων όσο και στον επαγγελματικό και βιομηχανικό τομέα. Παρακάτω αναφέρονται κάποιες από τις πιο δημοφιλείς εφαρμογές του Arduino.

Έξυπνο σπίτι (Smart Home): Στα έξυπνα σπίτια αποτελεί σημαντικό εργαλείο για την ανάπτυξη αυτοματοποιημένων διαδικασιών μέσα σε μία κατοικία. Μέσω αισθητήρων και ενεργοποιητών μπορεί ο κάθε χρήστης να κάνει έλεγχο θερμοκρασία, να ρυθμίζει τον φωτισμό ανάλογα με τις προτιμήσεις του και να διαχειρίζεται συστήματα ασφαλείας. Στις εφαρμογές αυτές μπορούν να ενταχθούν

τεχνολογίες IoT και οι χρήστες να ελέγχουν και να παρακολουθούν όλες αυτές τις λειτουργίες απομακρυσμένα μέσω εφαρμογών κινητών συσκευών.

Μετρητές περιβαλλοντικών παραμέτρων: Με αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, αερίων ή ακόμη και ποιότητας αέρα, το Arduino μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μέτρηση και την καταγραφή περιβαλλοντικών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Τα συστήματα μπορούν να συλλέξουν τα δεδομένα και να τα επεξεργάζονται τοπικά ή να τα αποθηκεύουν σε ένα απομακρυσμένο σύστημα για περαιτέρω ανάλυση. Αυτές οι εφαρμογές καταφέρνουν να αυξήσουν την αποδοτικότητα των φυσικών πόρων, την έγκαιρη ανίχνευση περιβαλλοντικών προβλημάτων και την λήψη αποφάσεων βάσει των δεδομένων, συμβάλλοντας στην προστασία του περιβάλλοντος.

Αυτόνομα οχήματα: Το Arduino χρησιμοποιείται σε έργα για τη δημιουργία αυτόνομων οχημάτων, όπως αυτοκίνητα ή drones, που βασίζονται σε αισθητήρες και αλγορίθμους για να περιηγηθούν σε ένα περιβάλλον χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση. Η λειτουργία τους είναι να ανιχνεύουν εμπόδια, να υπολογίζουν διαδρομές και να λαμβάνουν αποφάσεις σε πραγματικό χρόνο.

Ρομποτική: Ο μικροελεγκτής χρησιμοποιείται για την κατασκευή διάφορων ειδών ρομπότ, είτε για εκπαιδευτικούς σκοπούς είτε για πιο σύνθετα ρομπότ. Οι χρήστες μπορούν να ελέγχουν κινητήρες, αισθητήρες, κάμερες και άλλες συσκευές για να δημιουργήσουν ρομποτικά συστήματα με δυνατότητες όπως πλοήγηση, αποφυγή εμποδίων και αναγνώριση αντικειμένων.

Έξυπνα ράφια και αποθέματα (Smart Shelves): Στο λιανικό εμπόριο, το Arduino μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την δημιουργία έξυπνων ραφιών που παρακολουθούν σε πραγματικό χρόνο τα αποθέματα και ειδοποιούν το προσωπικό μέσω ενός συνδεδεμένου συστήματος επικοινωνίας όταν τα προϊόντα εξαντλούνται ή χρειάζεται να γίνει αναπλήρωση των προϊόντων. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω χρήσης αισθητήρων βάρους/πίεσης και εναλλακτικά χρήση αισθητήρων ετικέτας RFID.

Μέσα παρακολούθησης υγείας (Health Monitoring Systems): Με την χρήση αισθητήρων, το Arduino μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε φορητές συσκευές που παρακολουθούν ζωτικά σημεία όπως ο καρδιακός ρυθμός, την θερμοκρασία του σώματος, την μέτρηση ζαχάρου ή την αρτηριακή πίεση, βοηθώντας στην διαχείριση και την παρακολούθηση της υγείας σε πραγματικό χρόνο.

Εκπαίδευση: Το Arduino είναι ένα πρακτικό εργαλείο για τον τομέα εκπαίδευσης λόγω της απλότητας και του μικρού κόστους του. Με την υιοθέτηση του Arduino στην εκπαίδευση οι μαθητές αποκτούν γνώσεις στον προγραμματισμό, τα κυκλώματα και τους αισθητήρες, μέσω πραγματικών εφαρμογών και πειραμάτων. Επιτρέπει στους μαθητές να σχεδιάσουν και να κατασκευάσουν τις δικές του ιδέες. Εφαρμόζει την STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) εκπαίδευση μέσω της οποίας οι μαθητές έχουν την δυνατότητα να φτιάξουν ισχυρές βάσεις που τους κατευθύνουν προς τον τομέα της τεχνολογίας. Το Arduino παρέχει μαθήματα στην επίσημη ιστοσελίδα τους για κάθε ηλικία.

Συστήματα ασφαλείας: Με την δυνατότητα διασύνδεσης με άλλες συσκευές ή τεχνολογίες IoT, τα συστήματα ασφαλείας που υποστηρίζουν Arduino μπορούν να ειδοποιούν τους χρήστες σε πραγματικό χρόνο μέσω κινητών συσκευών ή προειδοποιήσεων, προσφέροντας μια οικονομική και προσαρμόσιμη λύση για την προστασία χώρων και περιουσίας. Χρησιμοποιώντας αισθητήρες κίνησης, μικρόφωνα, κάμερες και ανιχνευτές αερίων δημιουργεί εφαρμογές όπως συστήματα ανίχνευσης κίνησης με αισθητήρες, συναγερμούς πόρτας ή παραθύρου με μαγνητικούς αισθητήρες, ανιχνευτές καπνού ή αερίων με αισθητήρες MQ-2.

4.3 ESP8266

Ο ESP8266 είναι μια εκλεπτυσμένη μονάδα Wi-Fi ενσωματωμένη με μικροελεγκτή 32-bit, ικανό να λειτουργεί σε 80MHz και 160MHz. Μπορεί να εκτελέσει RTOS και μπορεί να προγραμματιστεί χρησιμοποιώντας το Arduino IDE για μετάδοση δεδομένων διακομιστή, ενισχύοντας τη χρησιμότητά του σε διαφορετικές εφαρμογές IoT. Διατίθεται από κατασκευαστές όπως ο espressif και το thankinke και διαθέτει διάφορα μοντέλα όπως το ESP-01, το ESP-07 και το ESP-12. Αυτές οι παραλλαγές διαφέρουν σε θύρες IO, φυσικό μέγεθος και χωρητικότητα μνήμης που κυμαίνονται από 8mbit έως 32mbit.

Ο μικροελεγκτής του ESP8266 είναι ικανός να εκτελεί περίπλοκα καθήκοντα, καθιστώντας την κατάλληλη για έξυπνες συσκευές και χειρισμό δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Λειτουργώντας τόσο σε 80MHz όσο και 160MHz, η ενότητα μπορεί να προσαρμόσει την κατανάλωση ενέργειας και την ταχύτητα επεξεργασίας στις συγκεκριμένες απαιτήσεις μιας εφαρμογής, από την ταχεία επεξεργασία δεδομένων έως τις ενεργειακές λειτουργίες.[49]

4.3.1 Βασικά Χαρακτηριστικά και λειτουργίες

Ο ESP8266 ξεχωρίζει για την ισχυρή απόδοση του σε διαφορετικά περιβάλλοντα, χάρη στην υποστήριξή του για πολλαπλά πρωτόκολλα, όπως TCP/IP, HTTP και MQTT. Αυτό το καθιστά μια ευέλικτη επιλογή για απρόσκοπτη ανταλλαγή δεδομένων με διακομιστές και cloud. Αυτή η ευελιξία είναι ιδανική για εφαρμογές IoT, καθώς επιτρέπει στις συσκευές να επικοινωνούν αποτελεσματικά σε ποικίλες υποδομές δικτύου. Λειτουργώντας στα 3,3V, ο ESP8266 έχει σχεδιαστεί για χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, η οποία είναι ιδανική για συσκευές που λειτουργούν με μπαταρίες.

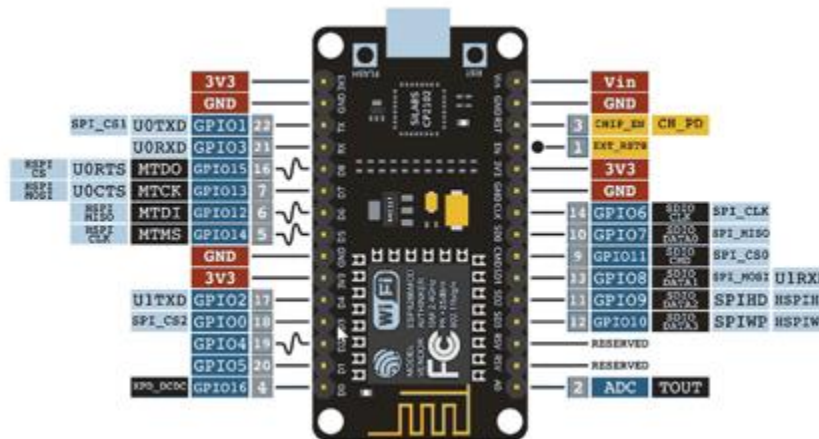
Εξοπλισμένος με ακροδέκτες GPIO, ο ESP8266 επιτρέπει απρόσκοπτες διεπαφές με εξωτερικές συσκευές, διευκολύνοντας την εκτεταμένη προσαρμογή και επέκταση και επωφελείται από ένα πλούσιο περιβάλλον λογισμικού, το οποίο υποστηρίζεται από εξωτερική μνήμη flash, η οποία παρέχει πρόσθετη χωρητικότητα για σύνθετες εφαρμογές.

Το ESP8266 προσφέρει μια ποικιλία λειτουργικών τρόπων λειτουργίας, κάθε τροφοδοτική σε διαφορετικές ανάγκες δικτύωσης. Αυτά περιλαμβάνουν τις λειτουργίες Access Point (AP), Station (STA) και συνδυασμένου σταθμού και σημείου πρόσβασης (STA+AP).

- **Λειτουργία AP:** Σε λειτουργία AP, το ESP8266 λειτουργεί ως τοπικό hotspot, επιτρέποντας στις συσκευές να συνδεθούν απευθείας με αυτό. Αυτή η προσέγγιση είναι ιδανική για σενάρια όπου ο κεντρικός έλεγχος πολλαπλών έξυπνων συσκευών είναι ιδανικός. Φανταστείτε ένα έξυπνο σπίτι όπου κάθε συσκευή IoT πρέπει να διαχειρίζεται άμεσα χωρίς μια υπάρχουσα υποδομή δικτύου. Αυτή η λειτουργία χρησιμοποιείται συχνά στη διαχείριση συστημάτων αυτοματισμού στο σπίτι όπου απαιτείται η επικοινωνία άμεσης συσκευής. Η απλότητα και η άμεση συνδεσιμότητά του αποδεικνύονται πλεονεκτική, ειδικά σε περιβάλλοντα που δεν έχουν υπάρχουσες ρυθμίσεις δικτύου.
- **Λειτουργία STA:** Στη λειτουργία STA, το ESP8266 γίνεται πελάτης δικτύου, ενσωματώνοντας σε ένα μεγαλύτερο δίκτυο μέσω ενός δρομολογητή. Επιτρέπει τη διαχείριση απομακρυσμένης διαχείρισης με βάση το Διαδίκτυο, καθιστώντας δυνατή την έλεγχο των συσκευών από σχεδόν οπουδήποτε. Πολλές έξυπνες λύσεις στο σπίτι αξιοποιούν τη λειτουργία STA για να ενεργοποιήσετε την απομακρυσμένη πρόσβαση.
- **Λειτουργία STA+AP:** Η λειτουργία STA+AP συνδυάζει τα τοπικά οφέλη διαχείρισης της λειτουργίας AP με την εκτεταμένη εμβέλεια της λειτουργίας STA. Αυτή η υβριδική λειτουργία είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τη γεφύρωση απομονωμένων συστημάτων με προσβάσιμα στο Διαδίκτυο. Ο συνδυασμός αυτών των τρόπων ενισχύει την εμπειρία σας επιτρέποντας απρόσκοπτες μεταβάσεις μεταξύ τοπικής και απομακρυσμένης πρόσβασης.

4.3.2 Διεπαφές

Ένας λόγος για τον οποίο ο ESP8266 είναι μια τόσο δημοφιλής επιλογή σε διάφορες εφαρμογές IoT είναι το συμπαγές μέγεθος και η σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας. Παρέχει ένα ευρύ φάσμα διεπαφών υλικού, ενισχύοντας τη λειτουργικότητά του σε διάφορες εφαρμογές.



Σχήμα 4.4 : ESP8266 [49]

Διεπαφή PWM: Η διαμόρφωση πλάτους παλμού (PWM) είναι ένα χαρακτηριστικό που μπορεί μερικές φορές να είναι ένας παίκτης αλλαγής παιχνιδιού για τον περιφερειακό έλεγχο. Αυτό που κάνει το PWM μαγευτικό είναι η ικανότητά του να προσαρμόζει τους κύκλους λειτουργίας για την ακριβή διαχείριση των συσκευών, όπως LED και κινητήρες. Αυτή η τεχνική διαμόρφωσης επιτρέπει τον ακριβή έλεγχο της φωτεινότητας και της ταχύτητας, καθιστώντας την ανεκτίμητη για αποτελεσματική παροχή ενέργειας.

Διεπαφή ADC: Ο αναλογικός σε ψηφιακό μετατροπέα (ADC) στο ESP8266 μεταφράζει αναλογικά σήματα σε ψηφιακά δεδομένα. Αυτό είναι ιδανικό για την ενσωμάτωση αισθητήρων με αναλογικές εξόδους. Σκεφτείτε ότι τα δεδομένα θερμοκρασίας παρακολούθησης του περιβάλλοντος καθίστανται απλά, υποστηρίζοντας τα συστήματα παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο και γρήγορη απόκριση. Το ADC καθιστά αυτή τη διαδικασία εξαιρετικά απλή, γεφυρώνοντας το χάσμα μεταξύ αναλογικών εισόδων και ψηφιακής επεξεργασίας αβίαστα.

PINS GPIO: Οι ακροδέκτες εισόδου/εξόδου γενικού σκοπού (GPIO) παρέχουν ευέλικτη αλληλεπίδραση με διάφορες συσκευές. Είτε διαχειρίζονται εισροές από κουμπιά ή εξόδους οδήγησης σε ενεργοποιητές, οι καρφίτσες GPIO προσφέρουν απaráμιλλη προσαρμοστικότητα. Αυτή η ευελιξία υποστηρίζει ποικίλες πρακτικές εφαρμογές.

Συνδεσιμότητα I2C: Η συνδεσιμότητα του ενσωματωμένου κυκλώματος (I2C) είναι για διασύνδεση με πολλαπλούς αισθητήρες. Αυτό το πρωτόκολλο διαχειρίζεται αποτελεσματικά δεδομένα από συσκευές όπως επιταχυνσιόμετρα, ιδανικό για τη δημιουργία ανταποκρινόμενων και ευφυών συστημάτων.

Διεπαφή SDIO: Η διασύνδεση Secure Digital Input/Output (SDIO) υποστηρίζει λειτουργίες κάρτας SD, ιδανική για εφαρμογές αποθήκευσης δεδομένων. Είτε πρόκειται για περιβαλλοντικά δεδομένα

καταγραφής είτε για καταγραφή αλληλεπιδράσεων χρηστών, η λειτουργικότητα SDIO διευρύνει τις δυνατότητες της μονάδας.

Διεπαφή UART: Η Universal Asynchronous Transmitter (UART) διευκολύνει τη σειριακή επικοινωνία με εξωτερικές συσκευές. Συχνά χρησιμοποιούνται σε διαδικασίες εντοπισμού σφαλμάτων, το UART εξασφαλίζει ομαλή αλληλεπίδραση μεταξύ του ESP8266 και άλλων μικροελεγκτών ή υπολογιστών. Προσφέροντας σαφή και αποτελεσματικά κανάλια επικοινωνίας, διευκολύνοντας την απλή ανάλυση προβλημάτων.

Διεπαφή SPI: Η σειριακή περιφερειακή διεπαφή (SPI) υποστηρίζει ταχεία μεταφορά δεδομένων μεταξύ του ESP8266 και άλλων συσκευών, όπως οθόνες ή πρόσθετης αποθήκευσης. Αυτή η δυνατότητα είναι ιδανική για την απόδοση σε καθήκοντα έντασης δεδομένων.

4.3.3 Μειονεκτήματα

Παρά την επιτυχία του, παρουσιάζει συγκεκριμένους περιορισμούς:

- Διαθέτει περιορισμένο αριθμό ακροδεκτών γενικής εισόδου/εξόδου (GPIO).
- Ενσωματώνει μόνο έναν μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακό σήμα (ADC 10-bit), περιορίζοντας τη σύνδεση πολλαπλών αναλογικών αισθητήρων.
- Διαθέτει έναν μόνο επεξεργαστικό πυρήνα, γεγονός που σημαίνει ότι ο ίδιος πυρήνας πρέπει να διαχειρίζεται ταυτόχρονα το πρωτόκολλο Wi-Fi και τον κώδικα της εφαρμογής.

4.3.4 Εξέλιξη

Πλέον για νέους σχεδιασμούς τη θέση του ESP8266 έχει πάρει ο ESP32 που σχεδιάστηκε για να καλύψει τις ανάγκες πιο απαιτητικών εφαρμογών. Ενσωματώνει έναν ή δύο πυρήνες (Tensilica Xtensa Dual-Core 32-bit) με συχνότητα λειτουργίας έως 240 MHz, προσφέροντας σημαντικά μεγαλύτερη υπολογιστική ισχύ.

Τα κύρια πλεονεκτήματα του ESP32 έναντι του ESP8266 περιλαμβάνουν:

- Υβριδική Συνδεσιμότητα: Εκτός από Wi-Fi, ενσωματώνει Bluetooth (κλασικό και Bluetooth Low Energy - BLE), καθιστώντας τον ιδανικό για επικοινωνία με κινητές συσκευές και αισθητήρες χαμηλής κατανάλωσης.
- Πλούσιο Περιφερειακό Υλικό (I/O): Διαθέτει σημαντικά περισσότερες θύρες GPIO, πολλαπλούς διαύλους επικοινωνίας (SPI, I2C, UART), καθώς και ενσωματωμένους αισθητήρες αφής (Touch Sensors) και αισθητήρα φαινομένου Hall.
- Αναβαθμισμένο ADC: Προσφέρει δύο μετατροπείς ADC των 12-bit με έως και 18 κανάλια εισόδου για ακριβέστερη ανάγνωση αναλογικών δεδομένων.
- Ασφάλεια Υλικού (Hardware Security): Περιλαμβάνει ενσωματωμένους επιταχυντές κρυπτογράφησης (AES, SHA-2, RSA) και δυνατότητα ασφαλούς εκκίνησης (Secure Boot), απαραίτητα στοιχεία για την προστασία δεδομένων στο IoT.[32]

4.3.5 Εφαρμογή

Παρακάτω αναφέρονται κάποιες από τις πιο δημοφιλείς εφαρμογές του ESP8266.

Βιομηχανικός αυτοματισμός: Το ESP8266 κατέχει μια θέση στον βιομηχανικό αυτοματισμό, παρέχοντας δυνατότητες απομακρυσμένης παρακολούθησης που ενισχύουν την επιχειρησιακή απόδοση. Με την απρόσκοπτη ενσωμάτωση με διάφορους αισθητήρες, βελτιστοποιεί τις διαδικασίες παραγωγής.

Απομακρυσμένη παρακολούθηση: Οι βιομηχανίες αξιοποιούν το ESP8266 για να παρακολουθούν τις επιδόσεις των μηχανημάτων και τις περιβαλλοντικές συνθήκες από μακριά. Αυτή η απομακρυσμένη παρακολούθηση βοηθά στην πρόβλεψη των προβλημάτων του εξοπλισμού προτού να καταστούν κρίσιμα, μειώνοντας έτσι το χρόνο διακοπής και μειώνοντας τα έξοδα συντήρησης.

Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων: Στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, το ESP8266 είναι ιδανικό για τη συλλογή και τη μετάδοση περιβαλλοντικών δεδομένων. Η απρόσκοπτη συνδεσιμότητά του με διαφορετικούς αισθητήρες βοηθά στην παρακολούθηση των κλιματικών συνθηκών και της ποιότητας του αέρα. Συνδέοντας με τις πλατφόρμες cloud, το ESP8266 εγγυάται ότι τα δεδομένα που συλλέγονται από διάσπαρτες τοποθεσίες είναι προσβάσιμα για διεξοδική ανάλυση. Αυτή η προσβασιμότητα των δεδομένων είναι για την περιβαλλοντική έρευνα, ανοίγοντας το δρόμο για τη δημιουργία καινοτόμων λύσεων που βασίζονται σε δεδομένα.

Έξυπνα σπίτια: Μέσα στο Smart Home Systems, το ESP8266 εξασφαλίζει αξιόπιστο έλεγχο της ασφάλειας και του φωτισμού. Η προσαρμοστικότητα αυτής της συσκευής επιτρέπει στους ιδιοκτήτες σπιτιού να ελέγχουν τα gadgets μέσω εφαρμογών ή φωνητικών εντολών, παρέχοντας ένα μείγμα ευκολίας και ασφάλειας.

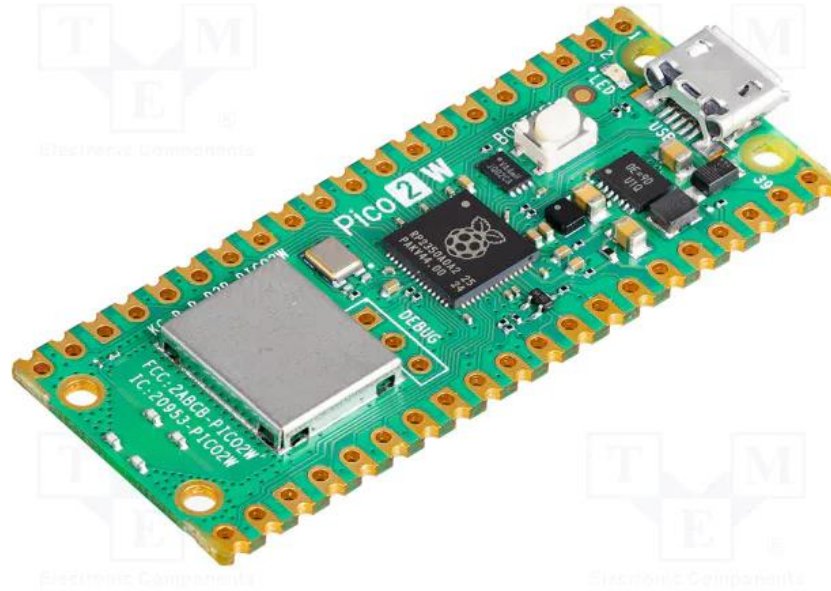
Συσκευές IoT: Η ενσωμάτωση του ESP8266 στις συσκευές IoT εξασφαλίζει σταθερή συνδεσιμότητα Wi-Fi, η οποία ενισχύει τόσο τη λειτουργικότητα όσο και την εμπειρία των χρηστών. Η ισορροπία της απόδοσης και της απόδοσης του καθιστά ιδανικό για πολυάριθμες εφαρμογές IoT.

Εκπαιδευτικά και ερευνητικά περιβάλλοντα: Σε εκπαιδευτικά και ερευνητικά περιβάλλοντα, το ESP8266 υποστηρίζει την πρακτική μάθηση στην ανάπτυξη ενσωματωμένων συστημάτων λόγω της απλότητας και της ευρείας γκάμας εφαρμογών. Οι σπουδαστές και οι εκπαιδευτικοί επωφελούνται από τις δυνατότητές του για να καινοτομήσουν και να προωθήσουν περαιτέρω τα τεχνολογικά όρια.

4.4 Raspberry Pi Pico

Το Raspberry Pi Pico αποτελεί μια χαμηλού κόστους και υψηλής υπολογιστικής ισχύος πλακέτα ανάπτυξης μικροελεγκτή (microcontroller board), η οποία παρουσιάστηκε για πρώτη φορά από το Ίδρυμα Raspberry Pi στις αρχές του 2021. Σε αντίθεση με τους προκατόχους του (όπως τα Raspberry Pi 3, 4 και 5), τα οποία αποτελούν πλήρη ηλεκτρονικά συστήματα single-board computers (SBC) ικανά να εκτελούν λειτουργικά συστήματα γενικής χρήσης (π.χ. Linux), το Pico είναι σχεδιασμένο αποκλειστικά για ενσωματωμένα συστήματα (embedded systems) και εφαρμογές ελέγχου σε πραγματικό χρόνο (real-time control).

Η φιλοσοφία πίσω από την ανάπτυξη του Pico εστιάζει στην παροχή μιας ευέλικτης, ενεργειακά αποδοτικής και οικονομικά προσιτής πλατφόρμας για τη διασύνδεση με το φυσικό περιβάλλον μέσω αισθητήρων (sensors) και ενεργοποιητών (actuators).



Σχήμα 4.5 : Raspberry Pi Pico [26]

4.4.1 Αρχιτεκτονική και Τεχνικά χαρακτηριστικά

Το Raspberry Pi Pico αποτελείται από τον μικροελεγκτή RP2040, ο οποίος αποτελεί τον πρώτο custom μικροεπεξεργαστή που σχεδιάστηκε εσωτερικά (in-house) από την Raspberry Pi. Τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά της πλακέτας περιλαμβάνουν:

- Επεξεργαστής: Διπύρηνος ARM Cortex-M0+ (Dual-core) με μεταβαλλόμενη συχνότητα ρολογιού έως και 133 MHz.
- Μνήμη: 264 KB ενσωματωμένης μνήμης SRAM και 2 MB εξωτερικής μνήμης Flash (μέσω διαύλου QSPI) για την αποθήκευση του κώδικα και των δεδομένων.
- Διασύνδεση Εισόδου/Εξόδου (I/O): Διαθέτει 26 ακίδες (pins) γενικής χρήσης (GPIO - General Purpose Input/Output), εκ των οποίων οι 3 μπορούν να λειτουργήσουν ως αναλογικοί είσοδοι (ADC - Analog-to-Digital Converter) με ανάλυση 12-bit.
- Πρωτόκολλα Επικοινωνίας: Υποστηρίζει standard βιομηχανικά πρωτόκολλα όπως $2 \times$ SPI, $2 \times$ I2C, $2 \times$ UART και $16 \times$ κανάλια PWM (Pulse Width Modulation) για τον έλεγχο κινητήρων και τη διαχείριση ισχύος.
- Προγραμματιζόμενες Ακίδες Εισόδου/Εξόδου (PIO): Ένα από τα πιο καινοτόμα χαρακτηριστικά του RP2040 είναι το υποσύστημα PIO (Programmable I/O). Πρόκειται για αυτόνομες κρατικές μηχανές (state machines) που επιτρέπουν στον χρήστη να δημιουργήσει custom πρωτόκολλα επικοινωνίας ή να διαχειριστεί δεδομένα υψηλής ταχύτητας, χωρίς να επιβαρύνεται ο κεντρικός επεξεργαστής.

4.4.2 Raspberry Pi Pico W

Για τις ανάγκες εφαρμογών που απαιτούν ασύρματη δικτύωση, χρησιμοποιείται η παραλλαγή Raspberry Pi Pico W. Η συγκεκριμένη έκδοση ενσωματώνει το ασύρματο τσιπ CYW43439 της Infineon, το οποίο προσφέρει συνδεσιμότητα σε δίκτυα Wi-Fi 4 (802.11n) στα 2.4 GHz, καθώς και υποστήριξη Bluetooth 5.2. Η προσθήκη αυτή καθιστά το Pico W μια ιδανική και εξαιρετικά χαμηλού

κόστους επιλογή για εφαρμογές στο οικοσύστημα του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT).

4.4.3 Λογισμικό

Το Raspberry Pi Pico υποστηρίζει μια ποικιλία από περιβάλλοντα ανάπτυξης λογισμικού, προσφέροντας ευελιξία ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής:

- MicroPython / CircuitPython: Αποτελούν εκδόσεις της γλώσσας Python βελτιστοποιημένες για μικροελεγκτές. Προσφέρουν γρήγορη ανάπτυξη κώδικα (rapid prototyping) και είναι ιδανικές για εφαρμογές που δεν έχουν κρίσιμους περιορισμούς χρόνου εκτέλεσης.
- C / C++ SDK: Χρησιμοποιείται για εφαρμογές υψηλών επιδόσεων, όπου απαιτείται πλήρης έλεγχος του hardware, ελάχιστη κατανάλωση πόρων και βελτιστοποίηση του χρόνου εκτέλεσης.
- Arduino IDE: Το Pico είναι πλήρως συμβατό με το οικοσύστημα της Arduino, επιτρέποντας τη χρήση υπαρχουσών βιβλιοθηκών και κώδικα.[31]

4.5 Επίλογος

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάστηκαν οι μικροελεγκτές, τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους, το λογισμικό που χρησιμοποιούν καθώς και οι τομείς που χρησιμοποιούνται. Η ανάλυση αυτή θα βοηθήσει ώστε να επιλεγεί ο κατάλληλος μικροελεγκτής για την πειραματική διαδικασία.

Κεφάλαιο 5ο: Πειραματική Μελέτη

5.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθούν τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την εκτέλεση του πειράματος. Βασικός στόχος είναι η σύγκριση των αισθητήρων με βάση την αξιοπιστία και την αντοχή τους και να παρουσιαστεί ένα σύστημα για τη μέτρηση της υγρασίας σε μια καλλιέργεια σε οικιακό περιβάλλον.

5.2 Υλικά

Στην εργασία χρησιμοποιήθηκε το Arduino UNO, μια από τις πιο δημοφιλείς πλακέτες της εταιρείας και το WeMos D1 με ESP8266, πλακέτα που επιτρέπει τη σύνδεση με WiFi και μπορεί να προγραμματιστεί μέσω του Arduino IDE. Επιπλέον χρησιμοποιήθηκαν 9 αισθητήρες οι οποίοι περιγράφονται αναλυτικά στο ΠΡΑΡΤΗΜΑ Β και η αναφορά σε αυτούς, στην περιγραφή της διαδικασίας, θα γίνεται με τον αριθμό σύμφωνα με το παράρτημα.

5.3 Εκτέλεση πειράματος

Χρησιμοποιήθηκαν 2 στρόγγυλες γλάστρες. Η πρώτη (γκρι, αριστερά στο σχήμα 5.3) ύψους 22 εκ. και διαμέτρου 25 εκ. γεμισμένη με φυτόχωμα μέχρι τα 18 εκ. και περιείχε φυτό. Η δεύτερη (μωβ, δεξιά στο σχήμα 5.3) ύψους 22 εκ. και διαμέτρου 18 εκ. γεμισμένη με φυτόχωμα μέχρι τα 15 εκ. και περιείχε σπόρους λουλουδιών. Στην κάθε γλάστρα προστέθηκε ένας αισθητήρας.

Οι τύποι των αισθητήρων που επιλέχθηκαν για να συγκριθούν είναι οι αντιστάσεως και οι χωρητικοί αφού αυτές είναι οι κατηγορίες που ενδείκνυνται για οικιακή χρήση ή για μικρό θερμοκήπιο. Οι αισθητήρες απαιτούν αρχική και τακτική βαθμονόμηση ώστε να παρέχουν αξιόπιστες μετρήσεις. Η διαδικασία αυτή γίνεται βυθίζοντας τον αισθητήρα σε στεγνό χώμα για διάρκεια τουλάχιστον 5 λεπτά ώστε να εμφανιστεί η σωστή μέτρηση. Έπειτα βύθιση του αισθητήρα για άλλα 5 λεπτά σε υγρό χώμα για να εμφανιστεί και εκεί η αρχική τιμή. Για τις ανάγκες του πειράματος και για πιο κατανοητά αποτελέσματα οι αρχικές τιμές μετατράπηκαν σε ποσοστά επί τις 100, άρα η υγρή τιμή πήρε το ποσοστό 100%, ενώ η στεγνή τιμή το 0%. Κάθε αισθητήρας χρειάζεται τη δική του αρχικοποίηση.

5.3.1 Πρώτο στάδιο

Αρχικά, στο Arduino UNO τοποθετήθηκαν οι αισθητήρες 1, 4 και 3, προγραμματίστηκαν σε περιβάλλον Arduino IDE και τοποθετήθηκαν στην πρώτη και τη δεύτερη γλάστρα αντίστοιχα. Έπειτα μέσω του serial monitor εμφανίστηκαν οι τιμές από τους αισθητήρες. Οι αισθητήρες 1 και 3 είχαν διάρκεια ζωής περίπου 3 ημερών. Όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες υπέστησαν διάβρωση κάτι που έγινε αντιληπτό κατά τον έλεγχο μετρήσεων όπου ο αισθητήρας 4 την 3^η ημέρα έδινε ποσοστό υγρασίας 90% ενώ ο 1 και ο 3 0%. Πιο αναλυτικά :

1^η ημέρα

Capacitor Moisture Level: 48%

Resistance RED Moisture Level: 33%

Resistance BLACK Moisture Level: 4%

Μετά από πότισμα με 100 ml νερό

Capacitor Moisture Level: 100%

Κεφάλαιο 5

Resistance RED Moisture Level: 121%

Resistance BLACK Moisture Level: 143%

3^η ημέρα

Capacitor Moisture Level: 90%-----236

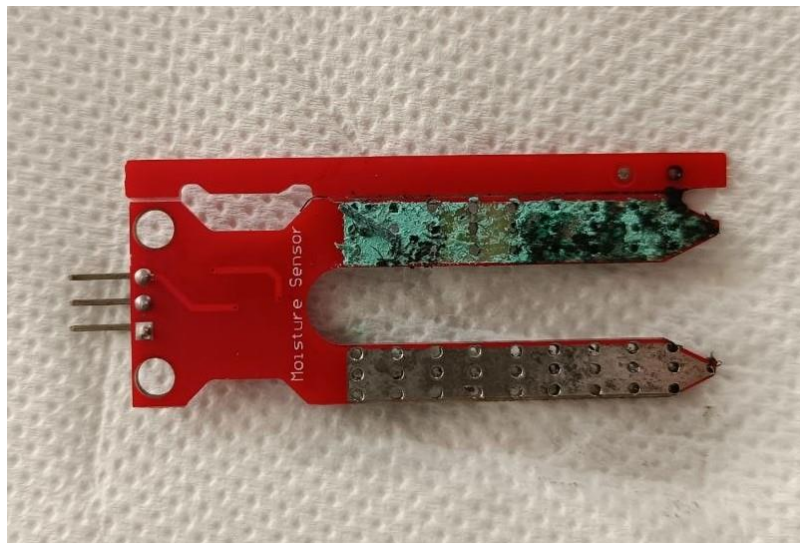
Resistance RED Moisture Level: 0%-----4

Resistance BLACK Moisture Level: 0%-----1023

Αυτό οδήγησε προσθήκη της raw τιμής των αισθητήρων στο output μαζί με το ποσοστό για καλύτερη ανάλυση αποτελεσμάτων. Επίσης ελαττώθηκε η συχνότητα ποτίσματος ώστε να διαπιστωθεί αν το πολύ νερό οδήγησε τόσο σύντομα στη διάβρωση. Όλες οι μετρήσεις εμφανίζονται αναλυτικά στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ.



Σχήμα 5.1 : Πριν και μετά τη χρήση



Σχήμα 5.2 : Διάβρωση αισθητήρα

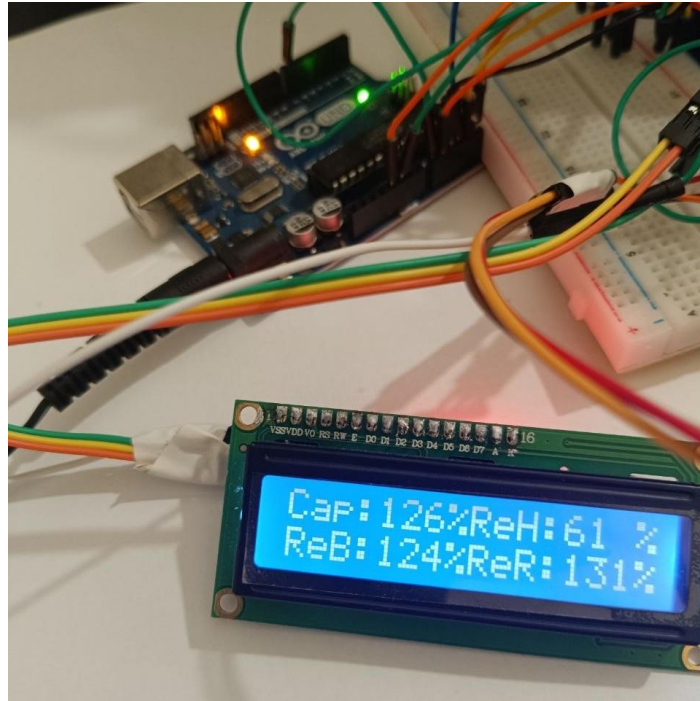
5.3.2 Οπτικοποίηση αποτελεσμάτων

Μετά από μέρες μετρήσεων ώστε να δοκιμαστεί η αντοχή του αισθητήρα 4 και για περισσότερη ευκολία τοποθετήθηκαν και προγραμματίστηκαν led, πράσινο για επαρκή υγρασία και κόκκινο για ποσοστό κάτω του 70%. Παράλληλα αφαιρέθηκαν οι αισθητήρες 1 και 3 και στη δεύτερη γλάστρα τοποθετήθηκε με την προαναφερθείσα διαδικασία αρχικοποίησης ο αισθητήρας 8. Σε αυτό το στάδιο ο μικροελεγκτής συνδέθηκε μόνιμα στο ρεύμα.



Σχήμα 5.3 : Αρχική διάταξη και led

Στη συνέχεια ώστε να εμφανίζεται με περισσότερη ευκολία το ποσοστό υγρασίας προστέθηκε και προγραμματίστηκε οθόνη LCD 2*16.



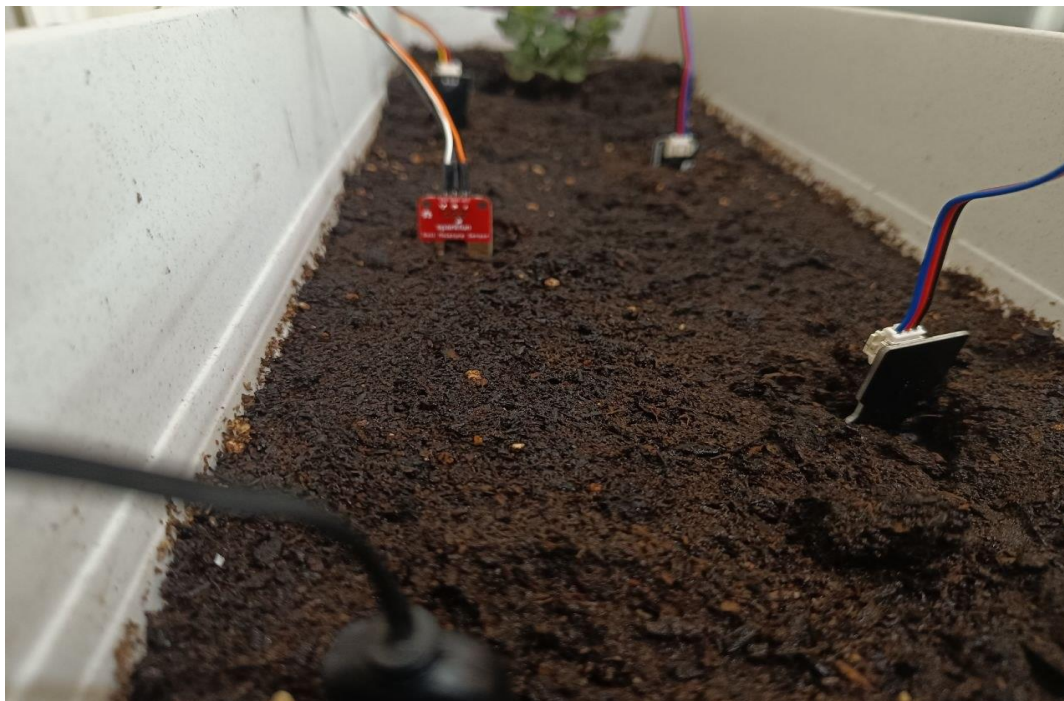
Σχήμα 5.4 : Εμφάνιση ποσοστού υγρασίας σε οθόνη

Επιπλέον, προστέθηκαν ο αισθητήρας 2 και ο αισθητήρας 9 που αντικατέστησε τον αισθητήρα 8 που επίσης οξειδώθηκε. Ο αισθητήρας 9 τοποθετήθηκε χωρίς να συνδεθεί στο μικροελεγκτή, οπότε δεν είχε παροχή ρεύματος και πάλι όμως υπήρξε φθορά.

5.3.3 Επόμενες δοκιμές

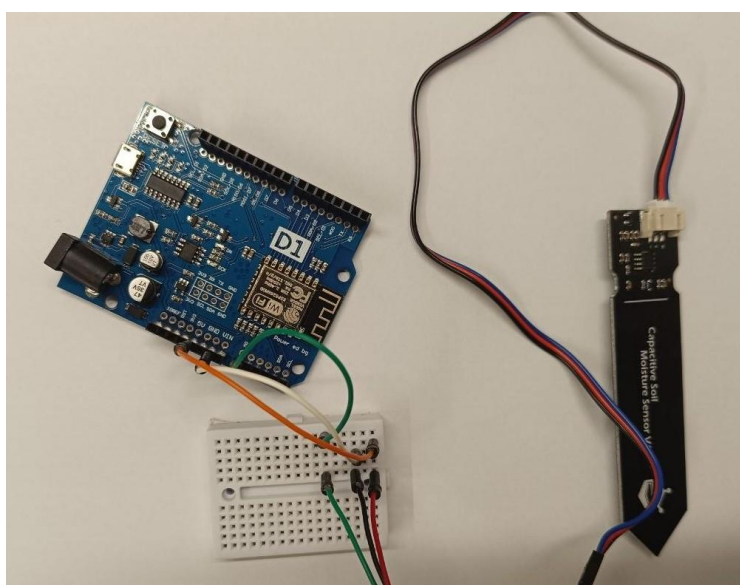
Μετά από μετρήσεις και συνέχεια της έρευνας για την πτυχιακή εργασία επιλέχθηκε καινούρια γλάστρα διαστάσεων 70*20 εκ. και βάθος 20 εκ., γεμάτη μέχρι τα 12 εκ. με φυτόχωμα. Εκεί τοποθετήθηκαν όλοι οι ενεργοί αισθητήρες. Ο λόγος της αλλαγής ήταν για να παίρνουν όλοι οι αισθητήρες μετρήσεις από την ίδια κατάσταση χώματος και υγρασίας για πιο έγκυρες μετρήσεις και πιο εύστοχη σύγκριση ανάμεσα στους αισθητήρες, σε σχέση με την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων και τη διάρκεια ζωής τους. Παράλληλα, έγινε και επιλογή διαφορετικής ποιότητας χώματος ώστε να ελεγχθεί σε τι βαθμό επηρεάζεται η διάρκεια ζωής των αισθητήρων από την ποιότητα και το τύπο του χώματος. Επιπλέον, σημαντικό ρόλο παίζει η ποσότητα του νερού που πέφτει στο χώμα, είτε λόγω ποτίσματος, είτε λόγω καιρικών συνθηκών για παράδειγμα. Η ποσότητα νερού εξαρτάται και από τις ανάγκες της κάθε καλλιέργειας, αφού διαφορετικές απαιτήσεις ποτίσματος έχει ο βασιλικός, διαφορετικές η ντομάτα και διαφορετικές το ρύζι το οποίο ζει και αναπτύσσεται μέσα στο νερό. Αν ενταχθεί ο έλεγχος υγρασίας σε ένα σύστημα αυτοματοποιημένου ποτίσματος με τεχνολογίες IoT, θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν το τι θεωρείται καλό ποσοστό υγρασίας για την κάθε καλλιέργεια ξεχωριστά.

Στην κοινή γλάστρα τοποθετήθηκαν οι αισθητήρες 2, 4, 6 και 7. Ο αισθητήρας 6 προγραμματίστηκε ώστε να λειτουργεί για 15 λεπτά κάθε 6 ώρες, ώστε να ελεγχθεί και πάλι κατά πόσο μπορεί η συνεχόμενη παροχή ρεύματος να επηρεάσει τη διάρκεια ζωής του αισθητήρα.



Σχήμα 5.5 : Νέα πειραματική διάταξη

Επιπλέον, συνδέθηκε ο αισθητήρας 5 μέσω του WeMos D1 ώστε να εμφανίζονται τα αποτελέσματα μετρήσεων σε περιβάλλον web στο τοπικό δίκτυο.



Σχήμα 5.6 : WeMos D1 με αισθητήρα χωρητικότητας

Με τη χρήση της βιβλιοθήκης ESP8266WiFi.h συνδέθηκε ο D1 στο τοπικό δίκτυο και αρχικοποιήθηκε ο web server. Με τον κατάλληλο κώδικα κάθε client που συνδέεται λαμβάνει τις μετρήσεις του αισθητήρα όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες.



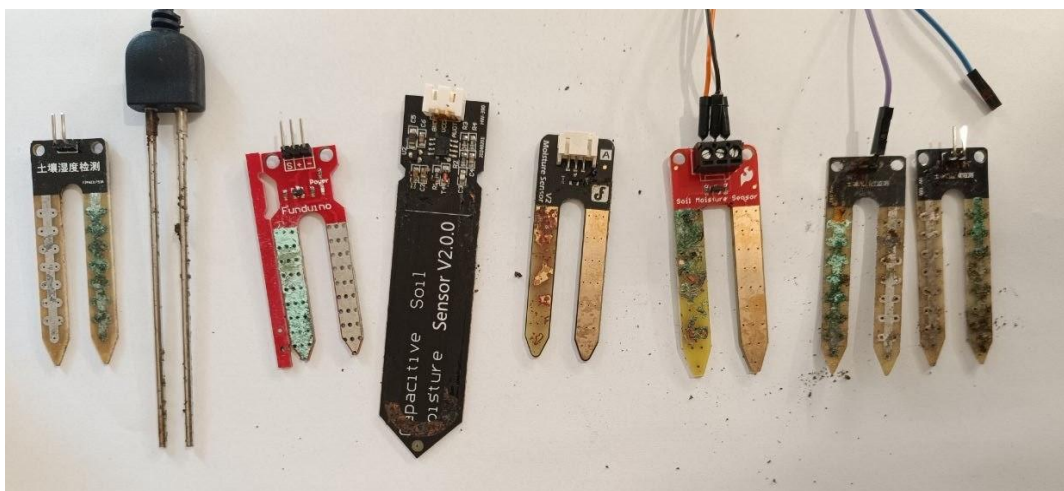
Σχήμα 5.7 : Εμφάνιση ποσοστού υγρασίας σε client

Πιο αναλυτικά, ο client λαμβάνει το μήνυμα soil is dry για υγρασία κάτω του 30%, soil moisture is good για υγρασία κάτω του 70, αλλιώς λαμβάνει το μήνυμα soil is wet. Όλος ο κώδικας είναι διαθέσιμος στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.

5.3.4 Τελικά αποτελέσματα

Συνοψίζοντας παρακάτω αναφέρεται η διάρκεια ζωής του κάθε αισθητήρα:

- 1 και 3 οξειδώθηκαν σε 3 ημέρες
- 8 περίπου 1 εβδομάδα
- 9 περίπου 10 μέρες εμφάνισε φθορά μόνο με βύθιση σε χώμα χωρίς να είναι συνδεδεμένος και χωρίς το χώμα να ποτίζεται
- 2 περίπου 1 μήνας σταδιακά οι μετρήσεις αρχίσαν να παρεκκλίνουν
- 4 χρειάστηκε αρχικοποίηση στις 30 ημέρες, κάποιες φορές τα αποτελέσματα δεν ήταν έγκυρα σύμφωνα και με τους υπόλοιπους και χρειαζόταν επανατοποθέτηση. Δεν είχε εμφανή σημάδια φθοράς μέχρι τους 3 μήνες περίπου
- 6 και 7 στις 5 μέρες τα αποτελέσματα παρέκκλιναν και σε οπτικό έλεγχο φάνηκε η φθορά

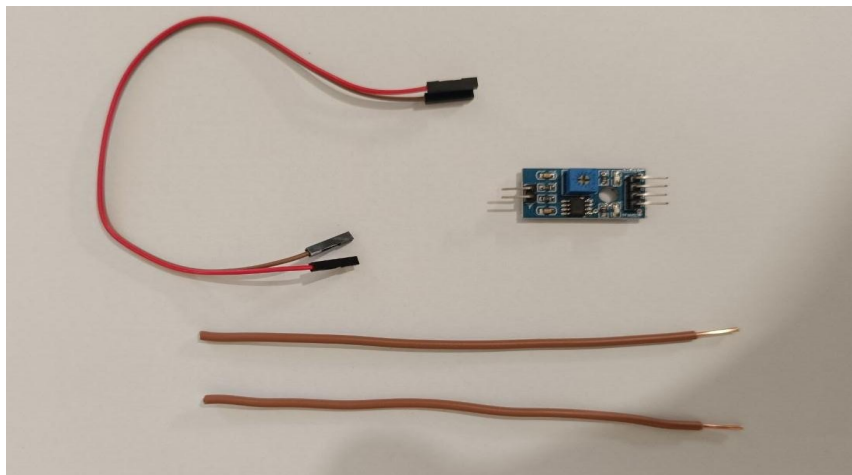


Σχήμα 5.8 : Αισθητήρες

Επισημαίνεται ότι τα αποτελέσματα μπορεί να διαφέρουν από δοκιμές σε μία αγροτική έκταση που είναι εκτεθειμένη σε καιρικές συνθήκες όλο το εικοσιτετράωρο, σε σχέση με τις δοκιμές που έγιναν σε γλάστρες που δεν είναι συνεχώς εκτεθειμένες στον ήλιο, ούτε και σε βροχή. Παράλληλα οι αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν δεν θα μπορούσαν λόγω κατασκευής και χαρακτηριστικών να χρησιμοποιηθούν σε άλλη πέρα της οικιακής χρήσης.

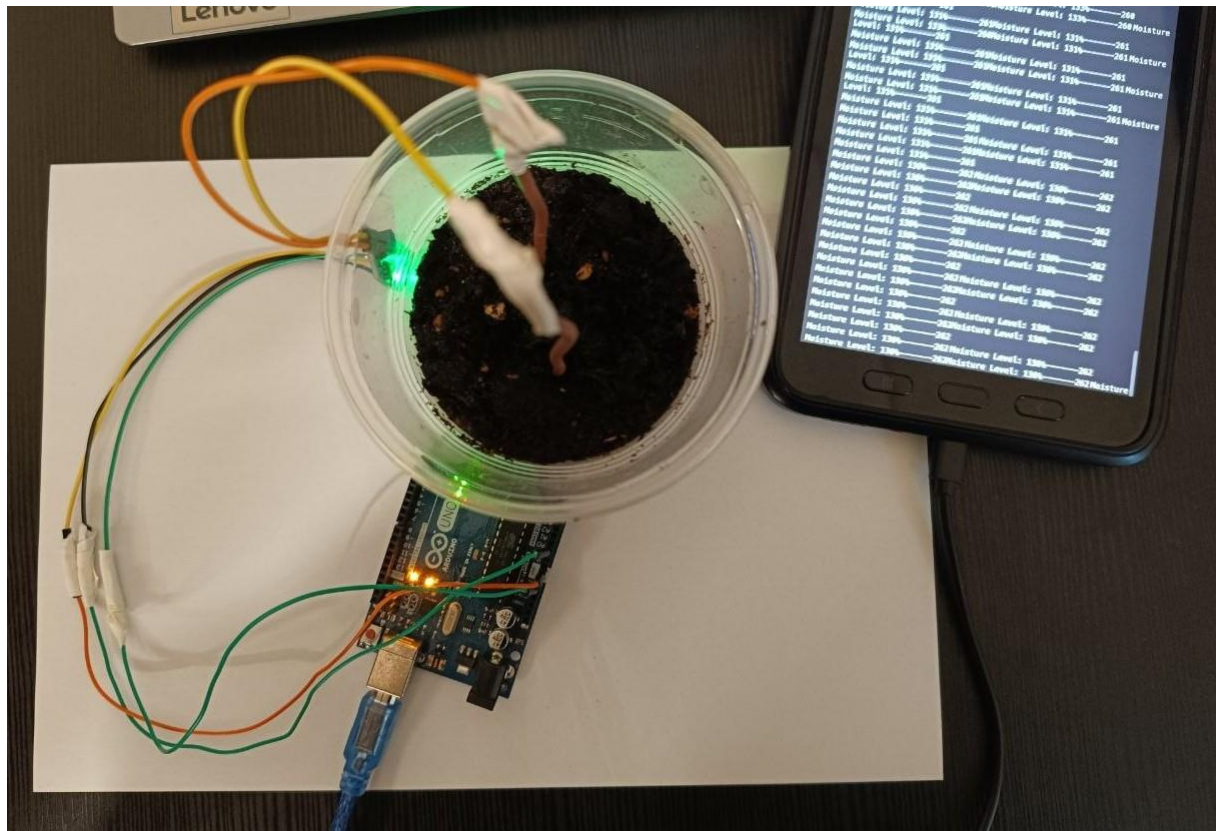
5.4 Δημιουργία Αισθητήρα υγρασίας εδάφους

Στα πλαίσια της ΠΕ έγινε προσπάθεια δημιουργίας ενός αισθητήρα. Με τη μελέτη που έγινε παρατηρήθηκε ότι οι αισθητήρες αντίστασης εμπεριέχουν μία λεπτή επίστρωση αγώγιμου υλικού το οποίο μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα οξειδώνεται και χάνεται η λειτουργικότητα του. Επίσης πολλοί έχουν ενσωματωμένο το κύκλωμα, ενώ άλλοι χρησιμοποιούν εξωτερικά το chip LM393. Χρησιμοποιήθηκε οπότε πλακέτα με αυτό το chip στην οποία αντί του αισθητήρα συνδέθηκαν στα pin της δύο χάλκινα ηλεκτρολογικά καλώδια πάχους 1,5 χιλ. και απογυμνώθηκαν οι άκρες τους στο 1εκ. Έπειτα έγινε προγραμματισμός σε Arduino IDE και αρχικοποίηση σε στεγνό και υγρό χώμα και βύθιση στα 8 εκ. Τα καλώδια μεταξύ τους έχουν τοποθετηθεί σε απόσταση 3 εκ. και σε περίπτωση που αυτή η απόσταση αλλάξει αλλάζουν οι raw τιμές οπότε χρειάζεται νέα αρχικοποίηση έτσι ώστε το ποσοστό που εμφανίζεται να είναι έγκυρο.

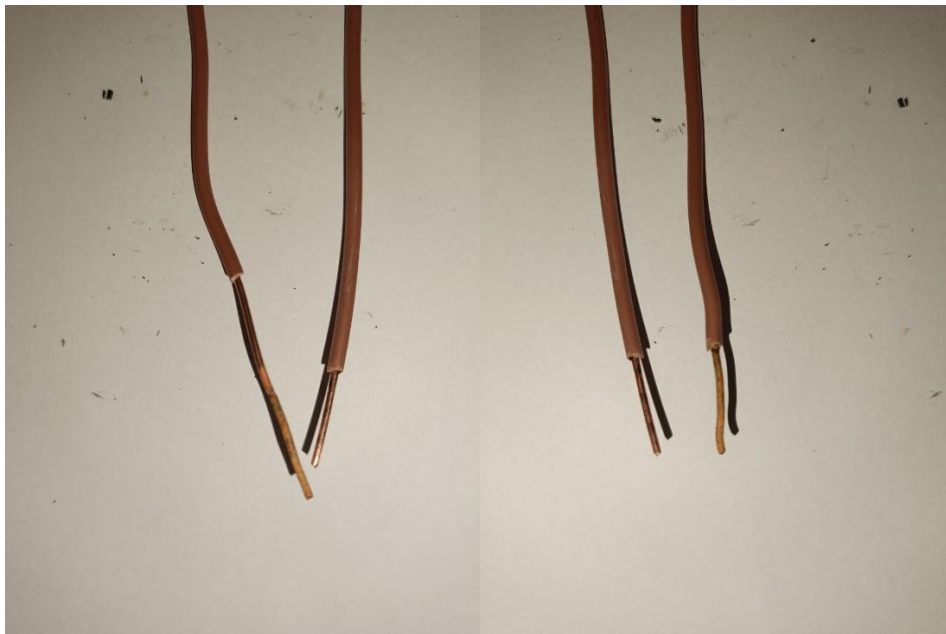


Σχήμα 5.9 : Υλικά κατασκευής

Η οξείδωση εμφανίστηκε τις πρώτες 24 ώρες χωρίς να σταματήσει η λειτουργία του, ενώ το κόστος είναι σχεδόν μηδενικό αφού το chip είναι από αισθητήρα που χάλασε αλλά πωλείται και μεμονωμένα στην τιμή του 1 ευρώ. Εναλλακτικά θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί αντίσταση για ακόμη χαμηλότερο κόστος. Το κόστος του καλωδίου είναι 0,37€/μέτρο. Το πλεονέκτημα είναι ότι κόβοντας το εκτεθειμένο μέρος του καλωδίου μπορεί να συνεχίσει να χρησιμοποιείται ο ίδιος αισθητήρας, λόγω του ότι το υπόλοιπο καλώδιο είναι μονωμένο και δεν έχει επαφή με το έδαφος και την υγρασία ώστε να επέλθει οξείδωση. Παράλληλα ανάλογα τα εκατοστά του καλωδίου που θα χρησιμοποιηθούν μπορεί να πραγματοποιηθεί μεγαλύτερη διείσδυση στο έδαφος για πιο ακριβή αποτελέσματα αλλά και για χρήση σε διαφορετικά είδη καλλιέργειας. Δυστυχώς δεν μπόρεσε να γίνει έλεγχος σε αγροτική έκταση. Επίσης δεν κατέστη δυνατό να ελεγχθεί ο αισθητήρας σε βάθος χρόνου ή να γίνει δοκιμή με άλλα υλικά, για παράδειγμα πιο χοντρό καλώδιο, για να διαπιστωθεί αν θα αυξηθεί η διάρκεια ζωής του.



Σχήμα 5.10 : DIY αισθητήρας



Σχήμα 5.11 : Οξείδωση χαλκού

5.5 Επίλογος

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάστηκε αναλυτικά η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη μελέτη και τη σύγκριση διαφορετικών αισθητήρων υγρασίας εδάφους, καθώς και η ανάπτυξη ενός συστήματος παρακολούθησης της υγρασίας με τη χρήση τεχνολογιών Arduino και IoT.

Αρχικά, πραγματοποιήθηκαν δοκιμές με διαφορετικούς τύπους αισθητήρων σε ξεχωριστές γλάστρες, με στόχο την αξιολόγηση της συμπεριφοράς και της αξιοπιστίας τους. Κατά τη διάρκεια των πρώτων δοκιμών παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφοροποιήσεις στη συμπεριφορά των αισθητήρων που οδήγησαν στη συγκέντρωση των αισθητήρων σε κοινό δοχείο.

Παράλληλα, το σύστημα εξελίχθηκε σταδιακά με την προσθήκη LED για την άμεση οπτική ένδειξη της υγρασίας, οθόνης LCD για την τοπική εμφάνιση των μετρήσεων και του WeMos D1 με ESP8266 για την ασύρματη μετάδοση και παρουσίαση των δεδομένων μέσω τοπικού δικτύου. Τα αποτελέσματα και οι παρατηρήσεις που προέκυψαν θα παρουσιαστούν στο επόμενο κεφάλαιο.

Κεφάλαιο 6ο: Συμπεράσματα και προτάσεις βελτίωσης

Ένα από τα βασικότερα συμπεράσματα που προέκυψαν από το πείραμα είναι ότι η επιλογή του κατάλληλου αισθητήρα υγρασίας αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την αξιοπιστία ενός συστήματος μέτρησης. Κατά τη διάρκεια των δοκιμών παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στη συμπεριφορά των αισθητήρων, τόσο στις μετρήσεις που παρείχαν όσο και στην αντοχή τους κατά την παραμονή τους στο έδαφος.

Ιδιαίτερα σημαντική ήταν η παρατήρηση ότι οι αισθητήρες αντίστασης παρουσίασαν σημάδια διάβρωσης και οξείδωσης μετά από σχετικά μικρό χρονικό διάστημα χρήσης. Οι αισθητήρες 1 και 3 παρουσίασαν σημαντική μεταβολή στη συμπεριφορά τους περίπου μετά από τρεις ημέρες, καθώς οι τιμές που εμφανίζονταν παρουσίαζαν μεγάλη απόκλιση σε σχέση με τις αρχικές τιμές βαθμονόμησης. Το γεγονός αυτό επηρέασε άμεσα την αξιοπιστία των μετρήσεων και οδήγησε στην απομάκρυνσή τους.

Η εμφάνιση της διάβρωσης έδειξε ότι η συνεχής παραμονή ενός αισθητήρα στο υγρό έδαφος μπορεί να αποτελέσει σημαντικό παράγοντα φθοράς, ιδιαίτερα στην περίπτωση των αισθητήρων που λειτουργούν με αγώγιμες επαφές. Παράλληλα, η συμπεριφορά των αισθητήρων έδειξε ότι δεν αρκεί μόνο η αρχική σωστή μέτρηση, αλλά πρέπει να εξετάζεται και η σταθερότητα της μέτρησης σε βάθος χρόνου.

Για τον λόγο αυτό, κατά τη διάρκεια του πειράματος πραγματοποιήθηκε σταδιακή αλλαγή της μεθοδολογίας. Η καταγραφή τόσο της ποσοστιαίας τιμής όσο και της αντίστοιχης raw τιμής αποτέλεσε σημαντική βελτίωση, επειδή επέτρεψε την καλύτερη παρακολούθηση της μεταβολής της συμπεριφοράς των αισθητήρων. Η raw τιμή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εντοπιστούν μεταβολές που δεν είναι εύκολα ορατές μόνο από το τελικό ποσοστό.

Ένα ακόμη σημαντικό συμπέρασμα ήταν η ανάγκη βαθμονόμησης κάθε αισθητήρα ξεχωριστά. Οι αισθητήρες δεν παρουσιάζουν απαραίτητα τις ίδιες ηλεκτρικές τιμές στις ίδιες συνθήκες εδάφους. Συνεπώς, η χρήση κοινών ορίων χωρίς προηγούμενη βαθμονόμηση μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένη εκτίμηση της υγρασίας. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε, με τη λήψη τιμής σε ξηρό και υγρό έδαφος και τη μετατροπή των αποτελεσμάτων σε ποσοστό από 0% έως 100%, αποτέλεσε μια πρακτική μέθοδο για τη σύγκριση των αισθητήρων.

Η μεταφορά όλων των ενεργών αισθητήρων σε μία κοινή γλάστρα αποτέλεσε επίσης σημαντικό βήμα για τη βελτίωση της εγκυρότητας της σύγκρισης. Με αυτόν τον τρόπο όλοι οι αισθητήρες λειτουργούσαν υπό παρόμοιες συνθήκες χώματος και υγρασίας. Έτσι περιορίστηκε η επίδραση παραγόντων που θα μπορούσαν να δημιουργήσουν διαφορετικές συνθήκες μέτρησης μεταξύ των αισθητήρων.

Παράλληλα, η χρήση διαφορετικής ποιότητας και τύπου χώματος έδειξε ότι το έδαφος αποτελεί έναν παράγοντα που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την αξιολόγηση ενός αισθητήρα. Η σύσταση του χώματος, η ποσότητα του νερού και οι συνθήκες ποτίσματος μπορούν να επηρεάσουν τη συμπεριφορά του συστήματος. Για αυτόν τον λόγο, ένας αισθητήρας που λειτουργεί ικανοποιητικά σε μία καλλιέργεια ή σε έναν συγκεκριμένο τύπο χώματος δεν είναι απαραίτητο ότι θα παρουσιάσει ακριβώς την ίδια συμπεριφορά σε διαφορετικές συνθήκες.

Από το πείραμα προέκυψε επίσης ότι η συνεχής παροχή ηλεκτρικού ρεύματος αποτελεί έναν παράγοντα που αξίζει να εξεταστεί σε σχέση με τη διάρκεια ζωής των αισθητήρων. Η δοκιμή του αισθητήρα 6, ο οποίος προγραμματίστηκε να λειτουργεί για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα κάθε έξι ώρες, πραγματοποιήθηκε με σκοπό να διερευνηθεί αν η περιορισμένη τροφοδοσία μπορεί να συμβάλει στη

μείωση της καταπόνησης του αισθητήρα. Η προσέγγιση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική για εφαρμογές στις οποίες απαιτείται μακροχρόνια λειτουργία.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσίασε και η δοκιμή του αισθητήρα 9, ο οποίος τοποθετήθηκε στο χώμα χωρίς να συνδεθεί στο μικροελεγκτή και, συνεπώς, χωρίς παροχή ρεύματος. Παρόλα αυτά, παρατηρήθηκε και σε αυτή την περίπτωση φθορά. Το γεγονός αυτό δείχνει ότι η φθορά δεν μπορεί να αποδοθεί αποκλειστικά στην ηλεκτρική λειτουργία του αισθητήρα και ότι οι συνθήκες του περιβάλλοντος και η συνεχής επαφή με το χώμα και την υγρασία αποτελούν επίσης παράγοντες που πρέπει να εξεταστούν.

Κατά τη διάρκεια του πειράματος, η αρχική απλή διάταξη μέτρησης μετατράπηκε σε ένα πιο ολοκληρωμένο σύστημα παρακολούθησης, το οποίο μπορεί να αποτελέσει βάση για εφαρμογές έξυπνης γεωργίας και αυτοματοποιημένης άρδευσης. Παρότι το σύστημα που αναπτύχθηκε πέτυχε τον βασικό στόχο της μέτρησης και της παρουσίασης της υγρασίας του εδάφους, υπάρχουν αρκετές δυνατότητες βελτίωσης.

Πρώτη και σημαντικότερη βελτίωση είναι η χρήση αισθητήρων μεγαλύτερης αντοχής στη διάβρωση. Η επιλογή αισθητήρων που δεν βασίζονται σε μόνιμα εκτεθειμένες μεταλλικές επαφές μπορεί να περιορίσει τη φθορά που παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια του πειράματος, οπότε και σε συνδυασμό με το κόστος προτείνεται η χρήση αισθητήρων χωρητικότητας.

Μια δεύτερη βελτίωση είναι η εφαρμογή συστηματικότερης διαδικασίας βαθμονόμησης. Αντί να χρησιμοποιούνται μόνο δύο σημεία αναφοράς, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν περισσότερα επίπεδα υγρασίας, δημιουργώντας μια καμπύλη βαθμονόμησης για κάθε αισθητήρα ξεχωριστά. Με αυτόν τον τρόπο θα μπορούσε να επιτευχθεί καλύτερη αντιστοίχιση της raw τιμής με την πραγματική υγρασία του εδάφους.

Επιπλέον, θα ήταν χρήσιμη η καταγραφή των μετρήσεων σε τακτά χρονικά διαστήματα και η αποθήκευσή τους. Η αποθήκευση ιστορικών δεδομένων θα επέτρεπε την παρακολούθηση της εξέλιξης της υγρασίας με την πάροδο του χρόνου και θα διευκόλυνε τη σύγκριση μεταξύ διαφορετικών ημερών, συνθηκών ποτίσματος και αισθητήρων.

Στο επίπεδο της ασύρματης επικοινωνίας, το σύστημα θα μπορούσε να εξελιχθεί από έναν απλό τοπικό web server σε μια εφαρμογή απομακρυσμένης παρακολούθησης. Τα δεδομένα θα μπορούσαν να μεταδίδονται σε μια διαδικτυακή πλατφόρμα ή σε μια εφαρμογή κινητού τηλεφώνου, ώστε ο χρήστης να μπορεί να παρακολουθεί την κατάσταση της καλλιέργειας από απόσταση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Barry M. Leiner, Vinton G. Cerf, David D. Clark, Robert E. Kahn, Leonard Kleinrock, Daniel C. Lynch, Jon Postel, Lawrence G. Roberts, Stephen S. Wolff, *The Past and Future History of the INTERNET*, COMMUNICATIONS OF THE ACM February 1997/Vol. 40, No. 2, pp. 102-108.
- [2] Mehdi Ajana El Khaddar, *Middleware Solutions for the Internet of Things: A Survey*, November 2021. Available : <https://www.intechopen.com/chapters/79246>.
- [3] Neutron probe, *Wikipedia*. Available : https://en.wikipedia.org/wiki/Neutron_probe.

- [4] Arduino Soil Moisture Sensor Tutorial - Complete Wiring Guide & Code. Available : <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/interfacing-soil-moisture-sensor-with-arduino-uno>.
- [5] How Soil Moisture Sensor Works and Interface it with Arduino. Available : <https://lastminuteengineers.com/soil-moisture-sensor-arduino-tutorial/>.
- [6] Arduino Soil Moisture Sensor. Available : https://www.instructables.com/Arduino-Soil-Moisture-Sensor/?amp_page=true.
- [7] Paul McWhorter's YouTube channel. Available : <https://www.youtube.com/@paulmcwhorter>.
- [8] Precision agriculture, *Wikipedia*. Available : https://en.wikipedia.org/wiki/Precision_agriculture.
- [9] Η ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΟΥ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ : ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ. Available : <https://blogs.e-me.edu.gr/hive-pliroforikigxanthi/2020/05/27/>.
- [10] Universal Layers of IoT Architecture and Its Security Analysis. Available : https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-13-9330-3_30.
- [11] Αισθητήρας TDR. Available : <https://achema.gr/product/ygrasiometro-edafous-tdr-150/>.
- [12] Αισθητήρας FDR. Available : <https://achema.gr/product/aisthitiras-edafikis-ygrasias-teros-10/>.
- [13] Τενσιόμετρο. Available : <https://achema.gr/product/tensiometro-montelo-mlt-12cm/>.
- [14] Αισθητήρας θερμοκρασίας. Available : <https://www.kafkas.gr/viomichaniko-yliko/aftomatismos-kinisi/epitirites/epitirites-thermokrasias/>.
- [15] Grove Temperature and Humidity Sensor Pro. Available : <https://why.gr/shop/open-hardware/>.
- [16] Optum Αισθητήρας Ανίχνευσης Κίνησης HC-SR501. Available : <https://shopflix.gr/>.
- [17] Available : https://www.skroutz.gr/c/1600/aisthitires/f/1331146_1331150/aeriou-poiotitas-aera-mq-sensors-epitachynsiometro.html.
- [18] Available : <https://dme.gr/product/esthitiras-anichnefsis-ichou/?srsltid=AfmBOooo9ACFjnQrCi2YEMlnW-Z9wd1iEhBbUDnvEkHtVt5D9AHySR>.
- [19] Available : <https://grobotronics.com/gravity-non-contact-digital-water-liquid-level-sensor.html?srsltid=AfmBOoqU1c40qg7dsxW6YecjKVD6PQ5VDNqflo-pUovrVmzpxOV1QPii>
- [20] Available : <https://www.ariat-tech.gr/blog/understanding-optical-sensors-types,principles,and-applications.html>.
- [21] Available : <https://www.meteoshop.gr/categories/154/eksoplismos-netsens-aisthitires/>.
- [22] Available : <https://www.todaysmedicaldevelopments.com/news/medical-device-sensor-market-globally-1617/>.
- [23] Available : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167739X17314127>.
- [24] Available : <https://achema.gr/product/metritis-ionton-asvestiou-ca2-kai-ph-ca2-ions-and-ph-meter/>.
- [25] Available : <https://randomnerdtutorials.com/25-arduino-shields/>.
- [26] Available : https://www.tme.eu/gr/details/sc1633/raspberry-pi-ensomatomena-sistimata/raspberry-pi/raspberry-pi-pico-2-w/?gclid=Cj0KCQjwh4TVBhCWARIsAG0czmrGINfCInSt6AwQifuMdk_Bjt5ymTKe6ty7v1Kr3Zq0

Shhr2iNdRRlAaAgfyEALw_wcB&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=GRECJA+%5BPLA%5D+CSS&brutto=1.

[27] Available : https://ethw.org/Milestones:Inception_of_the_ARPANET,_1969.

[28] Available : <https://academy.bit2me.com/en/what-is-dns-server/>.

[29] Available : https://www.gruber-genetti.it/en/blog/b/smart-farming-agriculture-4-0-part-i_22.

[30] Arduino guide, Available : <https://docs.arduino.cc/learn/contributions/arduino-writing-style-guide/>.

[31] Raspberry Pi Pico, Available : <https://pip-assets.raspberrypi.com/categories/610-raspberry-pi-pico/documents/RP-008307-DS-2-pico-datasheet.pdf>.

[32] ESP32, Available : https://documentation.espressif.com/esp32_datasheet_en.pdf.

[33] Zhihong Yang, Yufeng Peng, Yingzhao Yue, Xiaobo Wang, Yu Yang, Wenji Liu, “ Study and Application on the Architecture and Key Technologies for IOT”, 2011 International Conference on Multimedia Technology, Hangzhou.

[34] Weigong LV, Fanchao MENG, Ce ZHANG, Yuefei LV, Ning CAO, Jianan JIANG, “ A General Architecture of IoT System”, 2017 IEEE International Conference on Computational Science and Engineering (CSE) and IEEE International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing (EUC).

[35] Georgi T. Nikolov, Borislav T. Ganev, Marin B. Marinov, Vassil T. Galabov, “Comparative Analysis of Sensors for Soil Moisture Measurement”, Proc. XXX International Scientific Conference Electronics - ET2021, September 15 - 17, 2021, Sozopol, Bulgaria.

[36] Andrew Williams, “ What Is IoT? – Internet Of Things Explained”, Available: <https://www.forbes.com/sites/technology/article/what-is-iot/>.

[37] “The Industrial Internet of Things (Roles, Solutions, and Benefits)”, Available: <https://www.ppmashow.co.uk/press-release/industrial-internet-of-things>.

[38] LEONARD KLEINROCK, “HISTORY OF THE INTERNET AND ITS FLEXIBLE FUTURE”, *IEEE Wireless Communications*, February 2008.

[39] C. C. Sobin¹, “A Survey on Architecture, Protocols and Challenges in IoT,” *Springer Science+Business Media*, LLC, part of Springer Nature 2020.

[40] Marco Lombardi, Francesco Pascale, Domenico Santaniello “Internet of Things: A General Overview between Architectures, Protocols and Applications”, *Information 2021*, 12, 87.

[41] Arshi, O., Mondal, S. Advancements in sensors and actuators technologies for smart cities: a comprehensive review. *Smart Constr. Sustain. Cities* 1, 18 (2023). Available: <https://doi.org/10.1007/s44268-023-00022-2>.

[42] Rayes, A., Salam, S. (2019). The Things in IoT: Sensors and Actuators. In: Internet of Things From Hype to Reality. Springer, Cham. Available: https://doi.org/10.1007/978-3-319-99516-8_3.

[43] Heidi Mittelbach, Irene Lehner, Sonia I. Seneviratne, “Comparison of four soil moisture sensor types under field conditions in Switzerland”, H. Mittelbach et al. / *Journal of Hydrology* 430–431 (2012) 39–49.

- [44] Douglas P. B. Renaux, Gabrielly de Q. Pereira, Andre E. Lazzaretti, Gabriel T. C. Hrysay, Marco A. M. Goncalves, Fabio S. Fukuda, Carlos R. E. Lima, Alan B. dos Santos, “A comparative evaluation of low-cost soil-moisture sensors for precision agriculture”, *2025 IEEE SENSORS* | 979-8-3315-4467-6/25/\$31.00 ©2025 IEEE.
- [45] Mehmet Akif Gumuser, Alexander Pichlhofer, Azra Korjenic, “A Comparison of Capacitive Soil Moisture Sensors in Different Substrates for Use in Irrigation Systems”, *Sensors* 2025, 25, 1461.
- [46] Impact Networking. 5 Benefits of the Internet of Things (IoT) for SMBs. Impact My Biz, March 11, 2024. Available: <https://www.impactmybiz.com/blog/blog-5-benefits-of-the-internet-of-things-for-smbbs/>.
- [47] Moure, D., Overcoming challenges in IoT project development. Devin Moure, (2021). Available: <https://devinmoure.com/overcoming-challenges-in-iot-project-development/>.
- [48] Muhammad Samiullah, Muhammad Zohaib Irfan, Abid Rafique, “Microcontrollers: A Comprehensive Overview and Comparative Analysis of Diverse Types”, September 2023.
- [49] “Χαρακτηριστικά ESP8266, Κατασκευή, Εφαρμογές και Πρόσθετες πληροφορίες”, Available : <https://www.ic-components.gr/blog/ESP8266-Features-Construction-Applications-and-Additional-Information.jsp>.
- [50] 4dimkal-robot, Τι είναι το Arduino, 2023. Available: <https://4dimkal-robot.weebly.com/tiota-epsilon943nualphaiota-tauomicron-arduino.html>.
- [51] Naveen Lakkundi, “IoT based Real time data acquisition using MQTT Protocol”, Available : <https://www.skyfilabs.com/project-ideas/iot-based-real-time-data-acquisition-using-mqtt-protocol>.
- [52] Mike Ulanski, “ Wi-Fi HaLow: The Future of Low-Power, Long-Range Connectivity for IoT”, August, 2025, Available: <https://www.ezurio.com/resources/blog/wi-fi-halow-the-future-of-low-power-long-range-connectivity-for-iot?srsId=AfmBOovmasIacWRAbgfSmhDxgVdcg3zY94K0WGaxJuDhcc9ifY5ar6W>.
- [53] “LoRa and LoRaWAN: Revolutionizing IoT Connectivity”, Available : <https://jooby.eu/blog/lora-and-lorawan-revolutionizing-iot-connectivity/>.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α : ΚΩΔΙΚΑΣ

Sensorsplusled.ino

```
const int dry = 511;//αρχικοποίηση μέγιστης τιμής για τον αισθητήρα capacitor
const int wet = 205;//αρχικοποίηση ελάχιστης τιμής για τον αισθητήρα capacitor
const int wetRes = 583;//αρχικοποίηση μέγιστης τιμής για τον αισθητήρα resistance
const int dryRes = 0;//αρχικοποίηση ελάχιστης τιμής για τον αισθητήρα resistance
const int dryResB = 1023;//αρχικοποίηση στεγνής τιμής για τον αισθητήρα resistance black
const int wetResB = 500;//αρχικοποίηση υγρής τιμής για τον αισθητήρα resistance black

//const int dryResBNew = 1020;//αρχικοποίηση στεγνής τιμής για τον αισθητήρα resistance black
//const int wetResBNew = 450;//αρχικοποίηση υγρής τιμής για τον αισθητήρα resistance black
const int dryResBNew = 450;//αρχικοποίηση στεγνής τιμής για τον αισθητήρα resistance black
const int wetResBNew = 150;//αρχικοποίηση υγρής τιμής για τον αισθητήρα resistance black

int ledRed = 13;
int ledGreen =12;

void setup() {
// put your setup code here, to run once:

Serial.begin(9600);
pinMode(ledRed, OUTPUT);
pinMode(ledGreen, OUTPUT);
}

void loop() {
// put your main code here, to run repeatedly:

//capacitor sensor
int sensorVal = analogRead(A0);
int percentageHumidity = map(sensorVal, wet,dry, 100, 0);
Serial.print("Capacitor Moisture Level: ");
Serial.print(percentageHumidity);
Serial.print("%");
```

```

Serial.print("-----");
Serial.println(sensorVal);
if(percentageHumidity >= 70){
  digitalWrite(ledGreen, HIGH);
  digitalWrite(ledRed, LOW);
} else {
  digitalWrite(ledGreen, LOW);
  digitalWrite(ledRed, HIGH);
}
delay(1000);

//Serial.println("telos");
//exit(0);

//resistance RED sensor
//int sensorValue = analogRead(A1);
//int moistureLevel = map(sensorValue, dryRes, wetRes, 0, 100);
//Serial.print("Resistance RED Moisture Level: ");
//Serial.println(sensorValue);
//Serial.print(moistureLevel);
//Serial.print("%");
//Serial.print("-----");
//Serial.println(sensorValue);
//delay(1000);

//resistance BLACKNew sensor

int sensorValue2 = analogRead(A2);
int moistureLevel2 = map(sensorValue2, dryResBNew, wetResBNew, 0, 100);
Serial.print("Resistance BLACK Moisture Level: ");
Serial.print(moistureLevel2);
Serial.print("%");
Serial.print("-----");

```

```

Serial.println(sensorValue2);
Serial.println("-----");
delay(1000);
}

```

SensorPlusLCD.ino

```

#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

//const int dry = 425;//αρχικοποίηση μέγιστης τιμής για τον αισθητήρα capacitor
//const int wet = 207;//αρχικοποίηση ελάχιστης τιμής για τον αισθητήρα capacitor
//const int wetResHard = 145;//αρχικοποίηση μέγιστης τιμής για τον αισθητήρα resistanceHardnes
//const int dryResHard = 205;//αρχικοποίηση ελάχιστης τιμής για τον αισθητήρα resistanceHardnest

//const int dryResBNew = 1020;//αρχικοποίηση στεγνής τιμής για τον αισθητήρα resistance black
//const int wetResBNew = 450;//αρχικοποίηση υγρής τιμής για τον αισθητήρα resistance black
//const int dryResBNew = 980;//αρχικοποίηση στεγνής τιμής για τον αισθητήρα resistance black
//const int wetResBNew = 100;//αρχικοποίηση υγρής τιμής για τον αισθητήρα resistance black

const int dry = 315;//αρχικοποίηση μέγιστης τιμής για τον αισθητήρα capacitor
const int wet = 231;//αρχικοποίηση ελάχιστης τιμής για τον αισθητήρα capacitor
const int wetResHard = 400;//αρχικοποίηση μέγιστης τιμής για τον αισθητήρα resistanceHardnes
const int dryResHard = 300;//αρχικοποίηση ελάχιστης τιμής για τον αισθητήρα resistanceHardnest

//const int dryResBNew = 1020;//αρχικοποίηση στεγνής τιμής για τον αισθητήρα resistance black
//const int wetResBNew = 450;//αρχικοποίηση υγρής τιμής για τον αισθητήρα resistance black
//const int dryResBNew = 200;//αρχικοποίηση στεγνής τιμής για τον αισθητήρα resistance black
//const int wetResBNew = 155;//αρχικοποίηση υγρής τιμής για τον αισθητήρα resistance black

const int dryResBNew = 800;//αρχικοποίηση στεγνής τιμής για τον αισθητήρα resistance black
const int wetResBNew = 350;//αρχικοποίηση υγρής τιμής για τον αισθητήρα resistance black

const int dryResRNew = 850;//αρχικοποίηση στεγνής τιμής για τον αισθητήρα resistance red
const int wetResRNew = 440;//αρχικοποίηση υγρής τιμής για τον αισθητήρα resistance red
const int PIN = 7;
const unsigned long ON_TIME = 900000;
const unsigned long OFF_TIME = 20700000;

unsigned long previousMillis = 0;
bool pin7State = HIGH;

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:

```

```

Serial.begin(9600);

lcd.init();
lcd.backlight();
// x, y
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Cap:");
lcd.setCursor(7, 0);
lcd.print("%ReH:");
lcd.setCursor(15, 0);
lcd.print("%");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("ReB:");
lcd.setCursor(7, 1);
lcd.print("%ReR:");
lcd.setCursor(15, 1);
lcd.print("%");

pinMode(PIN, OUTPUT);
digitalWrite(PIN,HIGH);

}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:

  unsigned long currentMillis = millis();
  if(pin7State == HIGH){

    if(currentMillis - previousMillis >= ON_TIME){
      pin7State = LOW;
      digitalWrite(PIN,LOW);
      lcd.setCursor(12, 1);
      lcd.print("OFF");
      previousMillis = currentMillis;
    }
  }else{

    if(currentMillis - previousMillis >= OFF_TIME){
      pin7State = HIGH;
      digitalWrite(PIN,HIGH);
      previousMillis = currentMillis; } }

  //capacitor sensor
  int sensorVal = analogRead(A0);
  int percentageHumidity = map(sensorVal, wet,dry, 100, 0);
  Serial.print("Capacitor Moisture Level: ");
  Serial.print(percentageHumidity);

```

```

Serial.print("%");
Serial.print("-----");
Serial.println(sensorVal);

lcd.setCursor(4, 0);
lcd.print(percentageHumidity);

delay(1000);

//resistance hardnest sensor
int sensorValue = analogRead(A1);
int moistureLevel = map(sensorValue, dryResHard, wetResHard, 0, 100);
Serial.print("Resistance Hardnest Moisture Level: ");
Serial.print(moistureLevel);
Serial.print("%");
Serial.print("-----");
Serial.println(sensorValue);

lcd.setCursor(12, 0);
lcd.print(moistureLevel);

delay(1000);

//resistance BLACKNew sensor

int sensorValue2 = analogRead(A2);
int moistureLevel2 = map(sensorValue2, dryResBNew, wetResBNew, 0, 100);
Serial.print("Resistance BLACK Moisture Level: ");
Serial.print(moistureLevel2);
Serial.print("%");
Serial.print("-----");
Serial.println(sensorValue2);

lcd.setCursor(4, 1);
lcd.print(moistureLevel2);

delay(1000);

int sensorValue3 = analogRead(A3);
int moistureLevel3 = map(sensorValue3, dryResRNew, wetResRNew, 0, 100);
Serial.print("Resistance RED Moisture Level: ");
Serial.print(moistureLevel3);
Serial.print("%");
Serial.print("-----");
Serial.println(sensorValue3);
Serial.println("-----");

```

```

lcd.setCursor(12, 1);
  lcd.print(moistureLevel3);

delay(1000);
}

```

Websoilmoisturesensor.ino

```

#include<ESP8266WiFi.h>
#define SOIL_SENSOR A0
#define DRY_VALUE 570
#define WET_VALUE 370

const char* ssid = "Redmi Note";
const char* password = "11223344";

WiFiServer server(80);

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  delay(1000);

  Serial.println();
  Serial.println("Starting...");
  // Connect to Wi-Fi
  WiFi.begin(ssid, password);
  Serial.print("Connecting to Wi-Fi");
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
  Serial.println();
  Serial.println("Wi-Fi connected!");
  Serial.print("IP address: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());
  server.begin();
}

```

```

Serial.println("Web server started");
}
// the loop function runs over and over again forever
void loop() {
int rawValue = analogRead(SOIL_SENSOR);
int moisture = map(rawValue, DRY_VALUE, WET_VALUE, 0, 100);
moisture = constrain(moisture, 0, 100);
// Check for smartphone connection
WiFiClient client = server.available();

if (!client) {
    delay(100);
    return;
}
Serial.println("Smartphone connected");
// Wait for request
while (!client.available()) {
    delay(1000);
}
client.readStringUntil('\r');
client.flush();

// Send HTTP response
client.println("HTTP/1.1 200 OK");
client.println("Content-Type: text/html");
client.println("Connection: close");
client.println();
client.println("<!DOCTYPE html>");
client.println("<html>");
client.println("<head>");
client.println("<meta name='viewport' content='width=device-width, initial-scale=1'>");
client.println("<meta http-equiv='refresh' content='5'>");

```

```

client.println("<title>Smart Agriculture</title>");
client.println("</head>");
client.println("<body>");
client.println("<h1>Smart Agriculture</h1>");
client.println("<h2>Soil Moisture</h2>");
client.print("<h1>");
client.print(moisture);
client.println("%</h1>");
client.print("<p>Raw sensor value: ");
client.print(rawValue);
client.println("</p>");

if (moisture < 30) {
client.println("<h3>Soil is DRY</h3>");
} else if (moisture < 70) {
client.println("<h3>Soil moisture is GOOD</h3>");
} else {
client.println("<h3>Soil is WET</h3>");
}
client.println("</body>");
client.println("</html>");
delay(1000);
client.stop();
Serial.println("Client disconnected");
}

```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β : ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ

Οι αισθητήρες που αγοράστηκαν και χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα αυτό είναι οι εξής:

- Αισθητήρας 1: resistance soil moisture sensor αγορασμένος από παγκόσμιο ηλεκτρονικό κατάστημα 1,60€/αισθητήρα



- Αισθητήρας 2: resistance soil moisture sensor με αντοχή στην διάβρωση αγορασμένος από παγκόσμιο ηλεκτρονικό κατάστημα 4,18€



- Αισθητήρας 3: resistance soil moisture sensor αγορασμένος από παγκόσμιο ηλεκτρονικό κατάστημα 1,23€



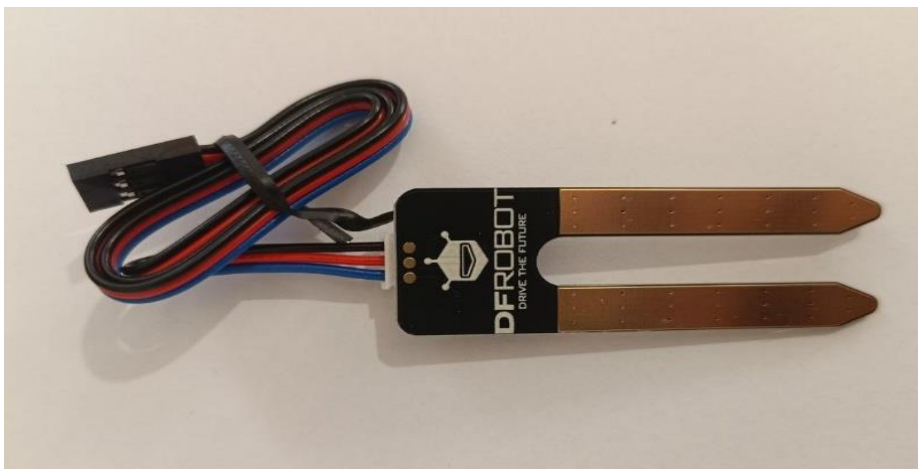
- Αισθητήρας 4: capacitive soil moisture sensor αγορασμένος από παγκόσμιο ηλεκτρονικό κατάστημα 1,51€



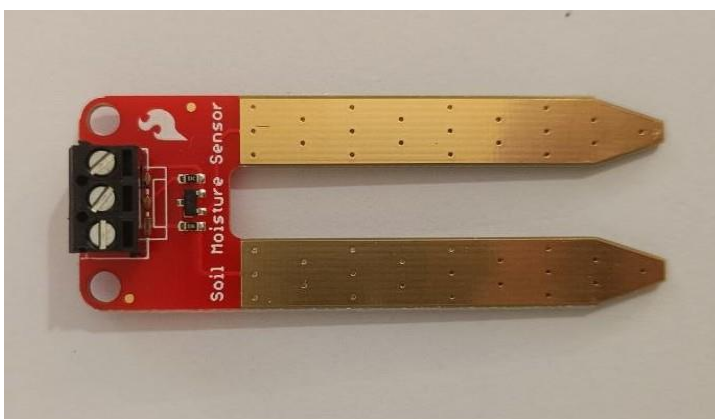
- Αισθητήρας 5: capacitive soil moisture sensor αγορασμένος από Ελληνικό κατάστημα 7,30€



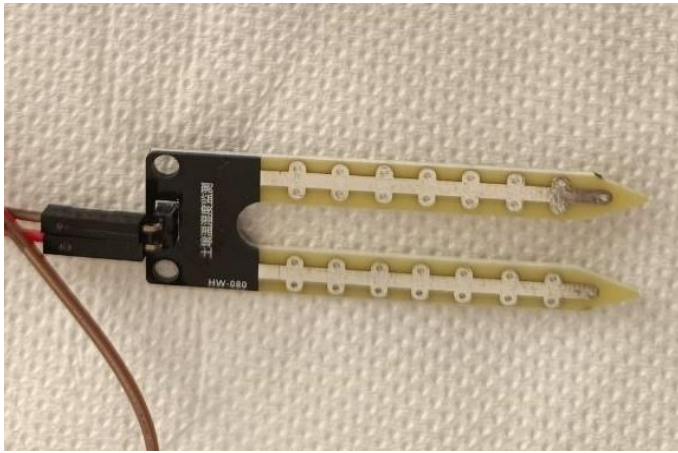
- Αισθητήρας 6: resistance soil moisture sensor αγορασμένος από Ελληνικό κατάστημα 3,40€



- Αισθητήρας 7: resistance soil moisture sensor αγορασμένος από Ελληνικό κατάστημα 7,60€



- Αισθητήρες 8,9: resistance soil moisture sensor αγορασμένος από Ελληνικό κατάστημα 1,90€/αισθητήρα



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ : ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

1^η ημέρα

Capacitor Moisture Level: 48%

Resistance RED Moisture Level: 33%

Resistance BLACK Moisture Level: 4%

μετά το νερό 100 ml

Capacitor Moisture Level: 100%

Resistance RED Moisture Level: 121%

Resistance BLACK Moisture Level: 143%

2^η ημέρα

Capacitor Moisture Level: 98%

Resistance RED Moisture Level: 38%

Resistance BLACK Moisture Level: 147%

μετά το νερό 100ml

Capacitor Moisture Level: 101%

Resistance RED Moisture Level: 42%

Resistance BLACK Moisture Level: 147%

3^η ημέρα

Capacitor Moisture Level: 90%-----236

Resistance RED Moisture Level: 0%-----4

Resistance BLACK Moisture Level: 0%-----1023

10^η ημέρα

Capacitor Moisture Level: 83%-----260

Resistance RED Moisture Level: 0%-----2

Resistance BLACK Moisture Level: 1%-----1015

14^η ημέρα (με ρεύμα)

Capacitor Moisture Level: 100%-----204

Resistance BLACK Moisture Level: 66%-----252

4 λεπτά μετά

Capacitor Moisture Level: 100%-----206

Resistance BLACK Moisture Level: 95%-----165

Επανατοποθετώντας τον capacitor

Capacitor Moisture Level: 95%-----221

Resistance BLACK Moisture Level: 96%-----162

20^η ημέρα

Capacitor Moisture Level: 87%-----246

Resistance BLACK Moisture Level: 32%-----354

10 λεπτά μετά το νερό

Capacitor Moisture Level: 88%-----244

Resistance BLACK Moisture Level: 65%-----255

30^η ημέρα (νέα αρχικοποίηση)

Capacitor Moisture Level: 123%-----211

Resistance Hardnest Moisture Level: 111%-----133

Resistance BLACK Moisture Level: 100%-----155

70^η ημέρα

Capacitor Moisture Level: -210%-----492

Resistance Hardnest Moisture Level: -963%-----778

Resistance BLACK Moisture Level: -1811%-----1015

Μετά το νερό

Capacitor Moisture Level: -285%-----555

Resistance Hardnest Moisture Level: 166%-----100

Resistance BLACK Moisture Level: -453%-----404

90^η ημέρα (κάποιες μέρες μετά από αλλαγή πειραματικής διάταξης και αρχικοποίηση εκ νέου)

Capacitor Moisture Level: 127%-----208

Resistance Hardnest Moisture Level: -5%-----295

Resistance BLACK Moisture Level: 149%-----129

Resistance RED Moisture Level: 174%-----136

Αμέσως μετά το νερό

Capacitor Moisture Level: 141%-----196

Resistance Hardnest Moisture Level: -5%-----295

Resistance BLACK Moisture Level: 146%-----139

Resistance RED Moisture Level: 171%-----148

10 λεπτά μετά το νερό

Capacitor Moisture Level: 121%-----213

Resistance Hardnest Moisture Level: -226%-----74

Resistance BLACK Moisture Level: 177%-----1

Resistance RED Moisture Level: 206%-----2

95^η ημέρα

Resistance BLACK Moisture Level: 8%-----760

Resistance RED Moisture Level: 6%-----822

10 λεπτά μετά το νερό

Resistance BLACK Moisture Level: 18%-----717

Resistance RED Moisture Level: 17%-----777