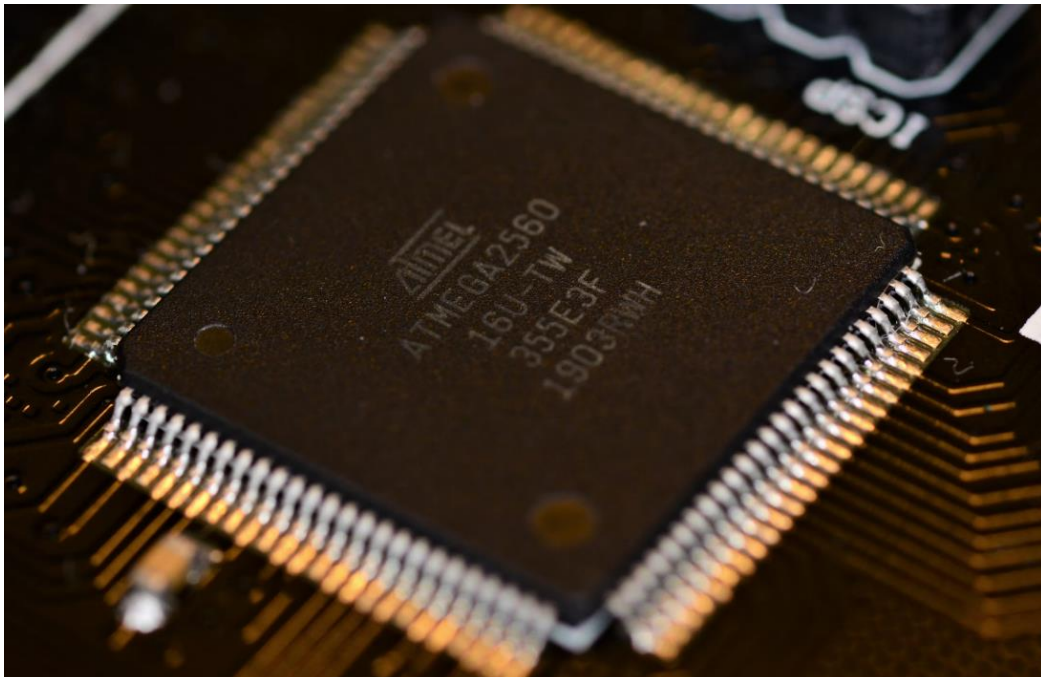


ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ  
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Μελέτη περίπτωσης και εφαρμογή αυτόματου  
συστήματος ποτίσματος με χρήση IoT»



Της φοιτήτριας  
Γεωργιάδου Αναστασίας  
Αρ. Μητρώου: 154588

Επιβλέπων  
Ονοματεπώνυμο Αμανατιάδης  
Δημήτριος

Ημερομηνία 30/05/2025

Τίτλος Π.Ε. Μελέτη περίπτωσης και εφαρμογή αυτόματου συστήματος ποτίσματος με χρήση IoT  
Κωδικός Π.Ε. 24196

Όνοματεπώνυμο φοιτητή/των: Γεωργιάδου Αναστασία

Όνοματεπώνυμο εισηγητή: Αμανατιάδης Δημήτριος

Ημερομηνία ανάληψης Π.Ε. 16/10/2024

Ημερομηνία περάτωσης Π.Ε. 30/05/2025

*Βεβαιώνω ότι είμαι ο 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 Γεωργιάδου Αναστασίας που την εκπόνησε/αν. 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.

*Στον εαυτό μου,  
για κάθε στιγμή που επέλεξα να συνεχίσω,  
όταν θα μπορούσα να είχα σταματήσει.*



## Πρόλογος

Επέλεξα το συγκεκριμένο θέμα για την πτυχιακή μου εργασία γιατί μου φάνηκε ιδιαίτερα ενδιαφέρον καθώς συνδυάζει την τεχνολογία του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things) με την πρακτική εφαρμογή της άρδευσης, ο οποίος είναι ένας τομέας με αυξανόμενη σημασία, τόσο σε αγροτικό όσο και σε οικιακό επίπεδο. Η ενασχόλησή μου με το αντικείμενο είναι και σε επαγγελματικό επίπεδο σχετική καθώς εργάζομαι σε εταιρεία που δραστηριοποιείται στην πώληση προϊόντων και εξαρτημάτων για συστήματα άρδευσης και πότισμα. Η επαφή μου με τον συγκεκριμένο χώρο αποτέλεσε κίνητρο για να εμβαθύνω στις τεχνολογικές προεκτάσεις και δυνατότητες αυτοματοποίησης τέτοιων συστημάτων.

## Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως θέμα την μελέτη και την εφαρμογή ενός αυτόματου συστήματος ποτίσματος με χρήση τεχνολογιών του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT). Η εργασία επικεντρώνεται στον σχεδιασμό ενός συστήματος στο οποίο υπό κανονικές συνθήκες θα επέτρεπε τον αυτόματο έλεγχο άρδευσης με βάση χρονοπρογραμματισμού και μετρήσεων από αισθητήρες.

Για την υλοποίηση αξιοποιήθηκε μικροελεγκτής τύπου Arduino Mega 2560 και Arduino Uno, μία 12V ηλεκτροβάννα για τον έλεγχο της ροής νερού, ένας αισθητήρας υγρασίας για την μέτρηση στο χώμα, μία κάρτα SD για την αποθήκευση δεδομένων και ένα WiFi module ESP8266 μέσω του οποίου θα υπήρχε η δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου και παρακολούθησης από μία διεπαφή χρήστη. Ο χρήστης θα είχε τη δυνατότητα να ρυθμίζει παραμέτρους ποτίσματος ή να ενημερώνεται για την κατάσταση του συστήματος από απόσταση.

Παρά τον περιορισμένο διαθέσιμο χρόνο το σύστημα κατάφερε να φτάσει σε ένα ικανοποιητικό στάδιο λειτουργικότητας με την επιτυχή ενεργοποίηση του αισθητήρα υγρασίας και της ηλεκτροβάννας, επιτυγχάνοντας τον βασικό στόχο του αυτοματισμού. Παράλληλα, έγινε πλήρης σχεδιασμός των υπόλοιπων μερών, όπως της απομακρυσμένης σύνδεσης και του συνολικού αυτοματισμού, τα οποία μπορούν εύκολα να ενσωματωθούν σε μελλοντική φάση.

Η εργασία πρόσφερε πολύτιμη εμπειρία στον τομέα των μικροελεγκτών και ανέδειξε τις δυνατότητες της τεχνολογίας IoT για εφαρμογές στην γεωργία. Η πτυχιακή μπορεί να λειτουργήσει ως βάση για μελλοντική βελτίωση και πλήρη ανάπτυξη ενός λειτουργικού, αυτόνομου συστήματος άρδευσης.

# Case Study and Implementation of an Automated Irrigation System Using IoT

Georgiadou Anastasia

## **Abstract**

The present thesis focuses on the study and implementation of an automated irrigation system using Internet of Things (IoT) technologies. The project aims to design a system that, under normal conditions, would enable automated irrigation control based on scheduling and sensor measurements.

For the implementation, Arduino Mega 2560 and Arduino Uno microcontrollers were used, along with a 12V solenoid valve for water flow control, a soil moisture sensor for ground humidity measurement, an SD card for data storage, and the ESP8266 WiFi module, which would enable remote control and monitoring through a user interface. The user would be able to adjust irrigation parameters or monitor the system status remotely.

Despite the limited available time, the system reached a satisfactory level of functionality, with the successful operation of the soil moisture sensor and the solenoid valve, fulfilling the basic goal of automated irrigation. At the same time, the rest of the components, such as remote connectivity and full automation, were fully designed and can be easily integrated in a future phase.

This thesis provided valuable experience in the field of microcontrollers and highlighted the potential of IoT technologies in agricultural applications. The project can serve as a foundation for future improvement and full development of a functional and autonomous irrigation system.

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κύριο Αμανατιάδη για όλη την υποστήριξη και την βοήθεια που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της προσπάθειας. Τον ευχαριστώ ιδιαίτερα που δέχτηκε να με αναλάβει, δίνοντάς μου την ευκαιρία να ολοκληρώσω την πτυχιακή μου εργασία.

Ευχαριστώ επίσης τον κύριο Τσιρογιάννη για την πολύτιμη συμβολή του, ειδικά στην επίλυση τεχνικών προβλημάτων που αφορούσαν τις συνδέσεις και την λειτουργία του συστήματος.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου, που με στήριξε και στάθηκε δίπλα μου όλα αυτά τα χρόνια, ιδιαίτερα μετά από τις δυσκολίες που χρειάστηκε να ξεπεράσω για να φτάσω ως εδώ.

# Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	v
Περίληψη.....	vi
Abstract .....	vii
Ευχαριστίες .....	viii
Περιεχόμενα .....	ix
Κατάλογος Σχημάτων .....	xii
Κατάλογος Πινάκων.....	xiii
Συνομογραφίες.....	xiv
Κεφάλαιο 1ο: Διαδίκτυο των Πραγμάτων .....	1
1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Ιστορική αναδρομή.....	1
1.3 Ανάλυση του Διαδικτύου των Πραγμάτων .....	2
1.4 Λειτουργία του Διαδικτύου των Πραγμάτων .....	3
1.5 Πλεονεκτήματα του Διαδικτύου των Πραγμάτων.....	4
1.6 Μειονεκτήματα του Διαδικτύου των Πραγμάτων.....	6
1.7 Συστατικά του Διαδικτύου των Πραγμάτων .....	7
1.8 Εφαρμογές του Διαδικτύου των Πραγμάτων .....	8
1.9 Επίλογος.....	9
Κεφάλαιο 2ο: Μικροελεγκτές Arduino.....	10
2.1 Εισαγωγή.....	10
2.2 Ιστορική αναδρομή.....	10
2.3 Πλακέτα Arduino .....	11
2.4 Υλικό.....	11
2.4.1 Μικροελεγκτής Atmel AVR.....	12
2.4.2 Είσοδος – Έξοδος.....	12
2.4.3 Τροφοδοσία .....	14
2.4.4 Επεκτάσεις.....	14
2.5 Λογισμικό.....	15
2.6 Πλεονεκτήματα Arduino .....	16
2.7 Μειονεκτήματα Arduino .....	17
2.8 Εφαρμογές Arduino.....	17
2.9 Επίλογος.....	19

Κεφάλαιο 3ο: Γεωργία.....	20
3.1 Εισαγωγή.....	20
3.2 Ιστορική αναδρομή.....	20
3.3 Γεωργία στην σημερινή εποχή.....	21
3.4 Προβλήματα στην γεωργία.....	22
3.5 Αρχές ορθής διαχείρισης.....	24
3.6 Εφαρμογές τεχνολογιών στην γεωργία.....	26
3.7 Επίλογος.....	28
Κεφάλαιο 4ο: Άρδευση.....	29
4.1 Εισαγωγή.....	29
4.2 Ιστορική αναδρομή.....	29
4.3 Τύποι άρδευσης.....	30
4.3.1 Επιφανειακή άρδευση.....	30
4.3.2 Υπόγεια άρδευση.....	31
4.3.3 Άρδευση με ψεκασμό (τεχνητή βροχή).....	32
4.3.4 Στάγδην άρδευση.....	33
4.4 Κριτήρια επιλογής συστήματος άρδευσης.....	35
4.4.1 Κλίμα.....	35
4.4.2 Έδαφος.....	36
4.4.3 Είδος καλλιέργειας.....	37
4.4.4 Διαθεσιμότητα νερού.....	38
4.4.5 Εργατικό δυναμικό.....	38
4.5 Επίλογος.....	39
Κεφάλαιο 5ο: Υλοποίηση συστήματος.....	40
5.1 Εισαγωγή.....	40
5.2 Περιγραφή και ανάλυση λειτουργιών συστήματος.....	40
5.3 Διάταξη συστήματος.....	41
5.4 Ανάλυση εξαρτημάτων.....	41
5.4.1 Arduino ATmega2560.....	41
5.4.2 Αισθητήρας υγρασίας.....	42
5.4.3 Ηλεκτροβάννα.....	43
5.4.4 Relay Module.....	43
5.4.5 SD Card.....	44
5.4.6 WIFI ESP8266.....	45
5.4.7 Τροφοδοτικό 12V AC-DC.....	45

5.4.8	Λοιπά εξαρτήματα.....	46
5.5	Χώμα και επιλογή τρόπου ποτίσματος.....	46
5.6	Ανάλυση κώδικα .....	47
5.7	Επίλογος.....	49
Κεφάλαιο 6ο:	Συμπεράσματα .....	50
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....		52
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α : ΚΩΔΙΚΑΣ .....		55
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΣ.....		56

## Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1.1: Αναπαράσταση του Διαδικτύου των πραγμάτων .....	2
Σχήμα 1.2: Παράδειγμα λειτουργίας IoT .....	4
Σχήμα 1.3: Στατιστικά για την αποδοτικότητα του IoT στις επιχειρήσεις.....	5
Σχήμα 1.4: Τα νομικά ζητήματα που προκύπτουν .....	6
Σχήμα 1.5: Αναπαράσταση λειτουργίας edge computing .....	7
Σχήμα 1.6: Παράδειγμα αυτοματοποίησης στον τομέα ενέργειας.....	8
Σχήμα 1.7: Παράδειγμα ελέγχου συσκευών με χρήση smartphone .....	9
Σχήμα 2.1: Η πρώτη πρωτότυπη πλακέτα, που δημιουργήθηκε το 2005.....	10
Σχήμα 2.2: Η πιο διάσημη πλακέτα, Arduino Uno .....	11
Σχήμα 2.3: Ο ATmega328P με 28 ακίδες στενής διπλής γραμμής (DIP-28N).....	12
Σχήμα 2.4: Αναλυτική περιγραφή του Arduino Uno .....	13
Σχήμα 2.5: Στα αριστερά είναι τροφοδοσία μέσω βύσματος και στα δεξιά μέσω USB .....	14
Σχήμα 2.6: Arduino Shields .....	14
Σχήμα 2.7: Παράδειγμα κώδικα (sketch) Arduino IDE .....	15
Σχήμα 2.8: Παράδειγμα ρομποτικής .....	18
Σχήμα 3.1: Όργωμα στη Γαλλία, Ζωγραφικός πίνακας του 1849.....	20
Σχήμα 3.2: Χρήση drone για έλεγχο ενός χωραφιού.....	21
Σχήμα 3.3: Λάχανο που έχει υποστεί βακτηριακή ασθένεια.....	22
Σχήμα 3.4: Χωράφι με έλλειψη νερού .....	23
Σχήμα 3.5: Έκκληση της ΔΕΥΑΚ για ορθολογική χρήση νερού .....	24
Σχήμα 3.6: Αποτέλεσμα χρήσης φυτοφαρμάκων στο περιβάλλον .....	25
Σχήμα 3.7: Παράδειγμα χρήσης smart farming.....	26
Σχήμα 3.8: Χρήση ρομπότ για συγκομιδή και έλεγχο ποιότητα .....	27
Σχήμα 3.9: Διαδικασία γενετικής τροποποίησης .....	28
Σχήμα 4.1: Ένας εργάτης χρησιμοποιεί μία κανάτα για να ανεβάσει νερό στην Αρχαία Αίγυπτο.....	30
Σχήμα 4.2: Παράδειγμα επιφανειακής άρδευσης.....	31
Σχήμα 4.3: Παράδειγμα υπόγειας άρδευσης .....	32
Σχήμα 4.4: Παράδειγμα άρδευσης ψεκασμού.....	33
Σχήμα 4.5: Παράδειγμα άρδευσης με σταγόνες.....	34
Σχήμα 4.6: Παράδειγμα ξηρού και γόνιμου κλίματος.....	35
Σχήμα 4.7: Παράδειγμα εδάφους .....	36
Σχήμα 4.8: Διάφορα ειδή καλλιεργειών .....	37
Σχήμα 4.9: Στατιστικά εργατικού δυναμικού στον τομέα γεωργίας.....	39
Σχήμα 5.1: Σχεδιάγραμμα συστήματος.....	41
Σχήμα 5.2: Arduino ATmega2560.....	41
Σχήμα 5.3: Αισθητήρας υγρασίας εδάφους.....	42
Σχήμα 5.4: Ηλεκτροβάνα 12V DC.....	43
Σχήμα 5.5: Relay 2 Channel Module .....	44
Σχήμα 5.6: Αντάπτορας MicroSD με SD Card και Αναγνώστης καρτών.....	44
Σχήμα 5.7: WiFi ESP8266 .....	44
Σχήμα 5.8: Τροφοδοτικό 12V AC-DC και ο αντάπτορας DC Jack με κλέμα 2 ακροδεκτών .....	45
Σχήμα 5.9: Jumper wires, ακροδέκτης και breadboard.....	46
Σχήμα 5.10: Το σύστημα στην πράξη .....	48

## **Κατάλογος Πινάκων**

Πίνακας 1: Ενδεικτικές τιμές για πότισμα .....	46
Πίνακας 2: Κώδικας .....	55
Πίνακας 3: Υλικά και κόστος υλικών .....	56

## Συντομογραφίες

ADC	Analog-to-Digital Converter
AI	Artificial Intelligence
Auto-ID	Auto-Identification
DIY	Do It Yourself
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
GPS	Global Positioning System
GND	Ground
GUI	Graphical User Interface
IDE	Integrated Development Environment
IoT	Internet of Things
IP	Internet Protocol
IPR	Intellectual Property Rights
LAN	Local Area Network
LED	Light Emitting Diode
M2M	Machine-to-Machine
MIT	Massachusetts Institute of Technology
ML	Machine Learning
ml	Millilitre
PWM	Pulse Width Modulation
RISC	Reduced Instruction Set Computer
RFID	Radio Frequency Identification
RX	Receive
SD	Secure Digital
SDI	Subsurface Drip Irrigation
SRAM	Static random-access memory
STEM	Science, Technology, Engineering, Mathematics
TX	Transmit
USB	Universal Serial Bus
ΟΔ	Αρχές Ορθής Διαχείρισης

## Κεφάλαιο 1ο: Διαδίκτυο των Πραγμάτων

### 1.1 Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό εξετάζει το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT), εστιάζοντας στον ορισμό και στη λειτουργία του. Παρουσιάζονται τα βασικά πλεονεκτήματα του IoT, όπως η αποδοτικότητα και η συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, καθώς και τα μειονεκτήματα, κυρίως σε ζητήματα ασφάλειας και ιδιωτικότητας. Επιπλέον, αναλύονται οι τομείς εφαρμογής του, με έμφαση στις έξυπνες πόλεις, την υγεία και την γεωργία.

### 1.2 Ιστορική αναδρομή

Τα πρώτα βήματα της τεχνολογίας Internet of Things καταγράφηκαν γύρω στην δεκαετία του 1950, όταν οι μηχανικοί μιας αμερικανικής εταιρείας επιθυμούσαν να βρουν έναν τρόπο για να αναγνωρίζουν με μοναδικό τρόπο τα αντικείμενα. Αυτό ήταν το πρώτο βήμα προς τη διασύνδεση φυσικών αντικειμένων με ψηφιακές πληροφορίες. Στην συνέχεια, επιστήμονες και μηχανικοί άρχισαν να εξελίσσουν το hardware και τις κινητές-φορητές συσκευές. Ακολουθεί μια συνοπτική ανασκόπηση:

**1955 – Δημιουργία του γραμμωτού κώδικα (barcodes):** Μηχανικοί στην αμερικανική εταιρεία International Business Machines Corporation αναπτύσσουν τα πρώτα barcodes για αντικείμενα, επιτρέποντας την αναγνώριση και παρακολούθηση αντικειμένων (συσκευών και μη) με μοναδική ταυτότητα.

**1961 – Ρολόι Edward Thorp:** Ο Edward Thorp δημιουργεί μια συσκευή για προβλέψεις κύκλων ρουλέτας στο καζίνο του Λας Βέγκας, η οποία ήταν πρωτοποριακή για την εποχή της και χρησιμοποιούσε τεχνολογία αναγνώρισης δεδομένων.

**1967 – Η συσκευή του Hubert Upton:** Ο Hubert Upton δημιουργεί μια συσκευή που βοηθά άτομα με ειδικές ανάγκες να διαβάζουν τα χείλη των άλλων. Αυτή η τεχνολογία ήταν η βάση για την ανάπτυξη του Google glass.

**1995 – Siemens και Machine-to-Machine (M2M) επικοινωνία:** Η Siemens δημιουργεί τμήμα για την ανάπτυξη εφαρμογών M2M, επιτρέποντας στις μηχανές να επικοινωνούν ασύρματα μεταξύ τους. Αυτή η εξέλιξη προετοίμασε το έδαφος για το IoT.

**1999 – Εξέλιξη των Barcodes και Radio Frequency Identification (RFID) από το Massachusetts Institute of Technology (MIT):** Στο MIT, ιδρύεται το auto-identification (Auto-ID), με τον David Brock να ανακοινώνει την εξέλιξη των barcodes σε πιο έξυπνα συστήματα αναγνώρισης, όπως το RFID και το Bluetooth, επιτρέποντας την επικοινωνία δεδομένων μεταξύ συσκευών και αντικειμένων.

**1999 – Πρωτογενής χρήση του όρου IoT:** Ο Kevin Ashton χρησιμοποιεί για πρώτη φορά τον όρο "Internet of Things" σε παρουσίασή του στο MIT το 1999. Από τότε, η έννοια άρχισε να γίνεται δημοφιλής και να χρησιμοποιείται σε πολλές μελέτες και άρθρα.

**2009 – Εξέλιξη του IoT:** Το IoT αρχίζει να αναπτύσσεται με ραγδαίους ρυθμούς, με τη χρήση νέων τεχνολογιών και την συμμετοχή σε συνέδρια, παρουσιάσεις και επιστημονικές μελέτες για την πρόωθηση και εφαρμογή του IoT σε διάφορους τομείς.

**2010 – Αύξηση αισθητήρων και συνδεσιμότητας:** Οι συσκευές IoT άρχισαν να συνδέονται μέσω ασύρματων δικτύων, με εφαρμογές σε έξυπνα σπίτια και πόλεις.

**2014 – Έξυπνες πόλεις και οικιακή αυτοματοποίηση:** Το IoT εντάσσεται στην διαχείριση πόρων και την αυτοματοποίηση των οικιακών συσκευών.

**2015 – Βιομηχανία:** Το IoT εφαρμόζεται στη βιομηχανία για την αυτοματοποίηση και την αποδοτικότητα της παραγωγής.

**2016 – Σύννεφο (Cloud) και Μεγάλα Δεδομένα (Big Data):** Το IoT συνδέεται με υπολογιστικά νέφη και μεγάλα δεδομένα για την ανάλυση και αποθήκευση τεράστιων ποσοτήτων δεδομένων.

**2018 – IoT στον τομέα Υγείας:** Συσκευές IoT χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της υγείας και την βέλτιστη διαχείριση της φροντίδας των ασθενών.

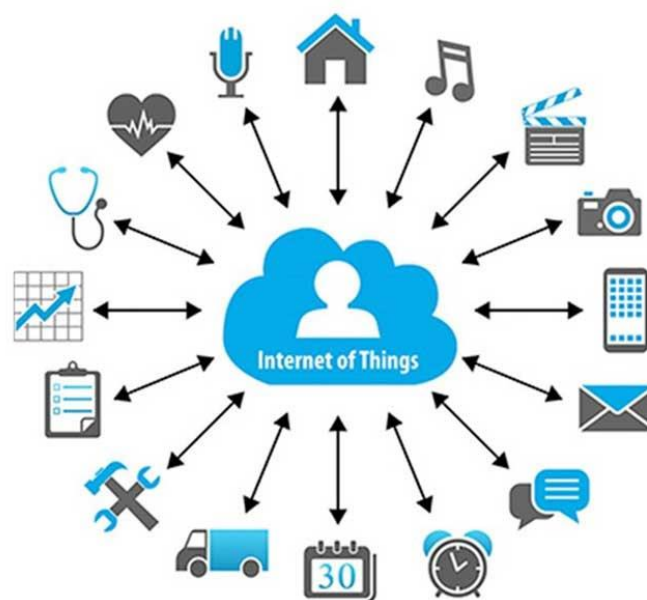
**2020 – 5G και IoT:** Η ανάπτυξη του 5G ενισχύει τη σύνδεση IoT, επιτρέποντας την άμεση επικοινωνία και αυτοματοποίηση σε μεγάλες κλίμακες.

**2022 – μέχρι σήμερα:** Το IoT επεκτείνεται σε νέους τομείς όπως η αγροτεχνολογία, η ασφάλεια και οι έξυπνες πόλεις, σε συνδυασμό με νέες τεχνολογίες όπως η τεχνητή νοημοσύνη (Artificial Intelligence – AI) και το μπλοκ αλυσίδα (blockchain).

Αυτές είναι οι πιο σημαντικές καινοτομίες που οδήγησαν στην σημερινή μορφή του IoT που γνωρίζουμε, το οποίο συνεχίζει να αναπτύσσεται καθημερινά και να επηρεάζει κάθε τομέα της ζωής μας.

### 1.3 Ανάλυση του Διαδικτύου των Πραγμάτων

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων δεν είναι μια ενιαία τεχνολογία αλλά είναι μια συσσώρευση διαφόρων τεχνολογιών που συνεργάζονται παράλληλα, είναι ένα δίκτυο φυσικών διασυνδεδεμένων συσκευών οι οποίες επικοινωνούν και ανταλλάσσουν δεδομένα με άλλες ίδιες συσκευές μέσω του διαδικτύου. Οι συσκευές αυτές συνήθως χρησιμοποιούν τεχνολογίες όπως αισθητήρες και λογισμικά, οι οποίες μπορεί να περιλαμβάνουν μηχανικά και ψηφιακά συστήματα, καθώς και καταναλωτικά υλικά.



Σχήμα 1.1 Αναπαράσταση του Διαδικτύου των Πραγμάτων[7].

Το IoT δίνει την δυνατότητα στις συσκευές που είναι συνδεδεμένες να ελέγχονται απομακρυσμένα μέσω της υπάρχουσας δικτυακής υποδομής, δημιουργώντας ευκαιρίες άμεσης ενσωμάτωσης του φυσικού

κόσμου με τα υπολογιστικά συστήματα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την βελτίωση της ακρίβειας και της αποτελεσματικότητας, καθώς και τη μείωση του κόστους. Μάλιστα, από τη στιγμή που το IoT εξοπλίζεται με αισθητήρες και ενεργοποιητές, γίνεται μέρος έξυπνων συστημάτων της καθημερινότητας, όπως τα έξυπνα σπίτια, οχήματα και πόλεις.

Μέσω του IoT, τα δεδομένα μπορούν να μεταφέρονται μέσω ενός δικτύου χωρίς να χρειάζεται αλληλεπίδραση ανθρώπου με άνθρωπο ή ανθρώπου με υπολογιστή.

Οι συσκευές αυτές καλύπτουν ένα μεγάλο φάσμα, από καθημερινά αντικείμενα οικιακής χρήσης έως και περίπλοκα βιομηχανικά μηχανήματα.

Ολοένα και περισσότερες επιχειρήσεις αποφασίζουν να υιοθετήσουν τεχνολογίες IoT για να λειτουργούν με μεγαλύτερη αποδοτικότητα, να προσφέρουν καλύτερες υπηρεσίες, να παίρνουν πιο σωστές αποφάσεις και να ενισχύσουν την αξία της επιχείρησής τους.

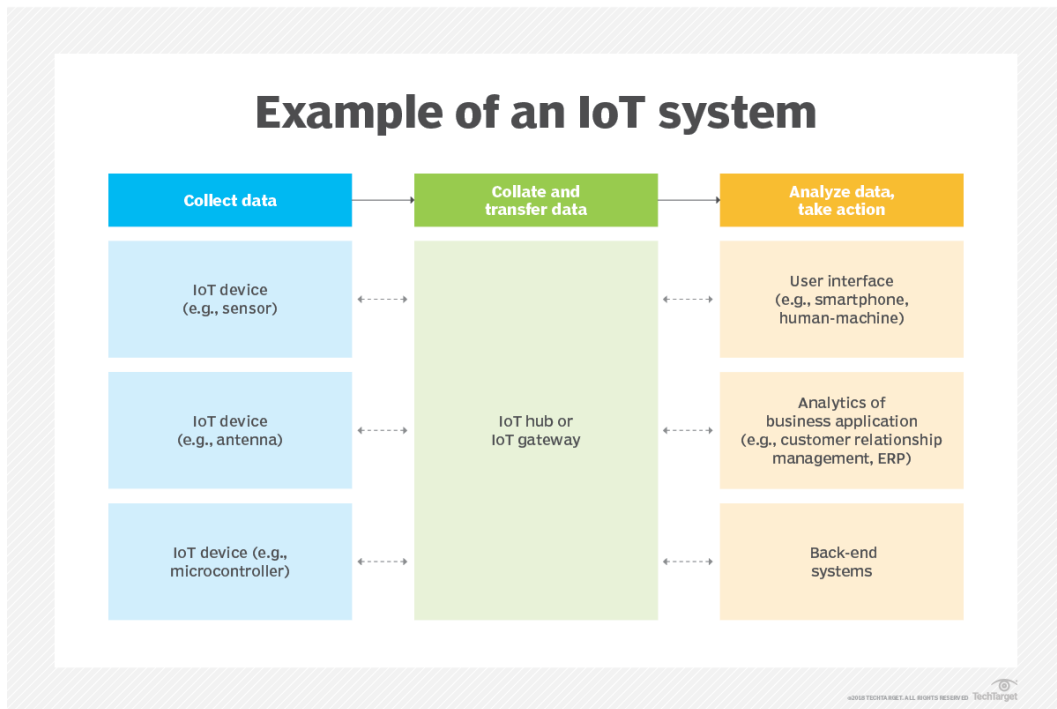
Μια "συσκευή" στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων μπορεί να είναι ένα άτομο με εμφυτεύσιμο καταγραφέα ρυθμού, ένα ζώο εκτροφής με τσιπάκι, ένα αυτοκίνητο με ενσωματωμένους αισθητήρες που ελέγχουν για οποιοδήποτε τεχνικό πρόβλημα και το αναφέρουν στον οδηγό, ή οποιοδήποτε άλλο φυσικό αντικείμενο που μπορεί να διαθέτει μία διεύθυνση πρωτοκόλλου διαδικτύου (Internet Protocol - IP) και να μεταφέρει δεδομένα μέσω ενός δικτύου κατασκευασμένο με τα ίδια πρότυπα.

#### 1.4 Λειτουργία του Διαδικτύου των Πραγμάτων

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων λειτουργεί ως ένα δίκτυο διασυνδεδεμένων συσκευών και συστημάτων που συλλέγουν, ανταλλάσσουν και επεξεργάζονται δεδομένα μέσω του διαδικτύου, χωρίς να απαιτείται ανθρώπινη παρέμβαση. Η λειτουργία του IoT βασίζεται σε τρία βασικά κομμάτια: τις συσκευές, τα δίκτυα επικοινωνίας και την ανάλυση δεδομένων.

1. **Συσκευές:** Οι συσκευές IoT είναι συνήθως εξοπλισμένες με αισθητήρες, ενεργοποιητές και μικροελεγκτές. Αυτές οι συσκευές μοιράζονται δεδομένα από αισθητήρες συνδεδεμένες σε μια πύλη IoT, η οποία λειτουργεί ως κεντρικός κόμβος για τη μετάδοση δεδομένων. Πριν τη μετάδοση, τα δεδομένα μπορούν επίσης να σταλούν σε μια συσκευή άκρης (edge device) όπου αναλύονται τοπικά ή απομακρυσμένα σε κάποιο cloud. Για παράδειγμα, οι αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, κίνησης ή πίεσης μπορούν να καταγράφουν πληροφορίες από το περιβάλλον όπου βρίσκονται και να τις στέλνουν σε ένα απομακρυσμένο περιβάλλον για επεξεργασία.
2. **Δίκτυα επικοινωνίας:** Αφού συλλεχθούν τα δεδομένα από τους αισθητήρες, μεταφέρονται μέσω δικτύων επικοινωνίας στο κέντρο επεξεργασίας δεδομένων ή στο cloud. Τα πρότυπα που χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία μπορεί να περιλαμβάνουν Wi-Fi, Bluetooth, 4G/5G, LoRa, Zigbee και αλλά. Αυτά τα πρωτόκολλα δικτύου επιτρέπουν τη μεταφορά δεδομένων σε μικρές ή μεγάλες αποστάσεις, διευκολύνοντας έτσι την απομακρυσμένη παρακολούθηση και τον έλεγχο μέσω εφαρμογών.
3. **Ανάλυση δεδομένων:** Όταν τα δεδομένα φτάσουν στο κέντρο επεξεργασίας (συνήα σε ένα cloud), μπορούν να αναλυθούν σε πραγματικό χρόνο ή να αποθηκευτούν για μελλοντικές αναλύσεις. Οι έξυπνοι αλγόριθμοι και η τεχνητή νοημοσύνη μπορούν να αξιοποιήσουν αυτά τα δεδομένα για να πάρουν αυτόματες αποφάσεις ή να στείλουν ειδοποιήσεις στους χρήστες. Τα δεδομένα που επεξεργάζονται από αυτές τις συσκευές IoT μπορούν να προκαλέσουν την ενεργοποίηση αυτοματοποιημένων εντολών, όπως η ενεργοποίηση μηχανών ή η ρύθμιση παραμέτρων στα συστήματα. Για την ανάλυση των δεδομένων και την διαχείριση των συσκευών αυτών χρησιμοποιούνται διάφορα γραφικά περιβάλλοντα χρήστη (Graphical User Interface - GUI).

Το σχήμα 1.2 παρουσιάζει την λειτουργία ενός συστήματος IoT, το οποίο συλλέγει δεδομένα μέσω αισθητήρων εγκατεστημένων σε συσκευές και τα μεταφέρει μέσω μιας πύλης IoT (IoT gateway) για ανάλυση. Συγκεκριμένα, οι αισθητήρες μαζεύουν δεδομένα, τα οποία αποστέλλονται μέσω ενός δικτύου σε ένα κέντρο επεξεργασίας ή στο cloud. Στη συνέχεια, τα δεδομένα αναλύονται και οι αποφάσεις λαμβάνονται με βάση αλγόριθμους. Τέλος, οι αποφάσεις αυτές εφαρμόζονται μέσω αυτοματοποιημένων διαδικασιών, ενισχύοντας την αποδοτικότητα και μειώνοντας την ανάγκη για ανθρώπινη παρέμβαση σε διάφορους τομείς.



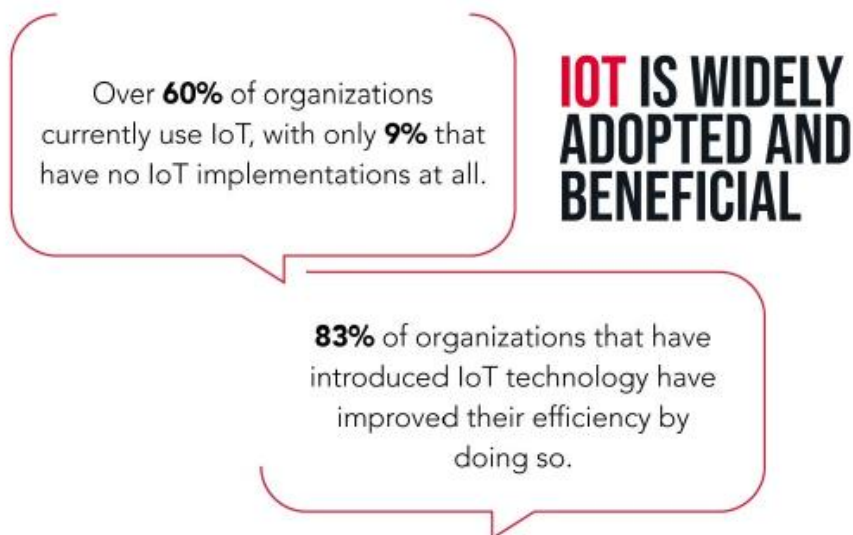
Σχήμα 1.2 Παράδειγμα λειτουργίας IoT[4].

### 1.5 Πλεονεκτήματα του Διαδικτύου των Πραγμάτων

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.



SOURCE: ARUBA, ECLIPSE FOUNDATION



Σχήμα 1.3 Στατιστικά για την αποδοτικότητα του IoT στις επιχειρήσεις [9].

## 1.6 Μειονεκτήματα του Διαδικτύου των Πραγμάτων

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):** Στο Σχήμα 1.4 απεικονίζονται τα τρία ζητήματα που προκύπτουν. 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.

## Legal Challenges in IoT and IPR

The ownership and licensing of IoT data

The patentability and infringement of IoT inventions

The protection and enforcement of IoT trademarks and designs



Σχήμα 1.4 Τα νομικά ζητήματα που προκύπτουν [15].

- **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 δυσκολέψει επιχειρήσεις που δεν διαθέτουν τα κατάλληλα μέσα.

## 1.7 Συστατικά του Διαδικτύου των Πραγμάτων

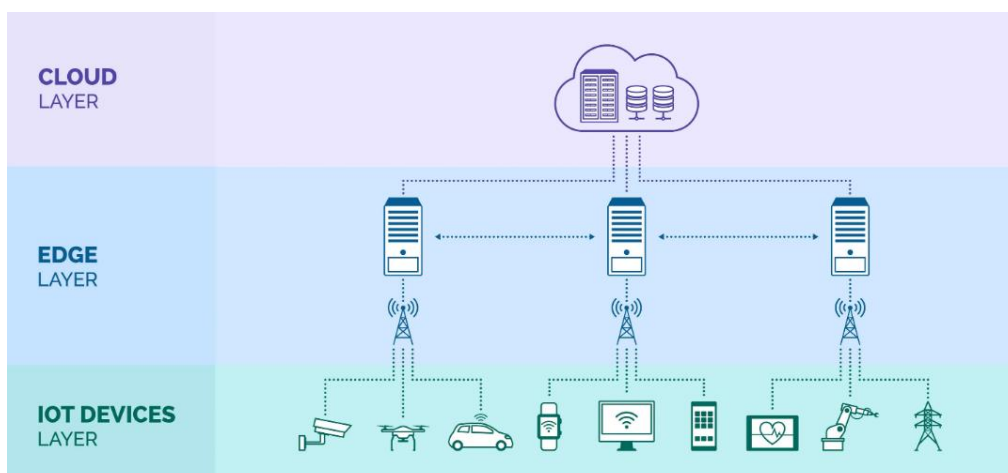
Οι τεχνολογίες του Internet of Things αποτελούν το θεμέλιο για την ανάπτυξη και την υλοποίηση των συσκευών και των συστημάτων. Οι τεχνολογίες αυτές περιλαμβάνουν μια σειρά από πλατφόρμες, αισθητήρες, επικοινωνιακά πρωτόκολλα και λογισμικά.

**Αισθητήρες:** Οι αισθητήρες είναι σημαντικό κομμάτι στο IoT, καθώς συλλέγουν δεδομένα από το περιβάλλον που βρίσκονται. Υπάρχουν διάφοροι τύποι αισθητήρων, όπως αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, πίεσης, φωτός, κίνησης και πολλοί άλλοι, οι οποίοι επιτρέπουν την παρακολούθηση και τον έλεγχο φυσικών μεταβλητών.

**Δικτύωση:** Η επικοινωνία είναι βασικό στοιχείο του IoT, καθώς οι συσκευές πρέπει να ανταλλάσσουν δεδομένα μεταξύ τους και με τα κεντρικά συστήματα επεξεργασίας. Τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται συχνά είναι:

- **Wi-Fi:** Χρησιμοποιείται ευρέως για ασύρματη σύνδεση συσκευών, κυρίως σε εσωτερικούς χώρους.
- **Bluetooth:** Χρησιμοποιείται για επικοινωνία μικρών αποστάσεων και καταναλώνει λιγότερη ενέργεια.
- **Zigbee και Z-Wave:** Πρωτόκολλα χαμηλής ισχύος για οικιακές εφαρμογές και συστήματα ασφαλείας.
- **LoRaWAN:** Πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται για IoT εφαρμογές μεγάλων αποστάσεων.
- **5G και LTE:** Χρησιμοποιούνται για εφαρμογές που απαιτούν υψηλή ταχύτητα και αξιοπιστία στην επικοινωνία δεδομένων.

**Edge Computing:** Το Edge Computing αποτελεί μία τεχνολογία που φέρνει την επεξεργασία δεδομένων όσο πιο κοντά γίνεται στις ίδιες τις IoT συσκευές ή τους χρήστες της, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο την εξάρτηση από το cloud. Αυτό μειώνει τις καθυστερήσεις στην λήψη αποφάσεων και βελτιώνει την απόδοση των συστημάτων, ειδικά σε εφαρμογές όπου απαιτείται άμεση απόκριση.



Σχήμα 1.5 Αναπαράσταση λειτουργίας edge computing [13]

**Cloud πλατφόρμα:** Το Cloud είναι σημαντική πλατφόρμα για το IoT, χάρη σε αυτή παρέχεται μία απαραίτητη υποδομή για την αποθήκευση και επεξεργασία των τεράστιων ποσοτήτων δεδομένων που συλλέγονται. Οι cloud πλατφόρμες επιτρέπουν την απομακρυσμένη πρόσβαση δεδομένων και την

ανάπτυξη εφαρμογών ανάλυσης δεδομένων, προσφέροντας στις επιχειρήσεις και τους χρήστες πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο για την λήψη αποφάσεων.

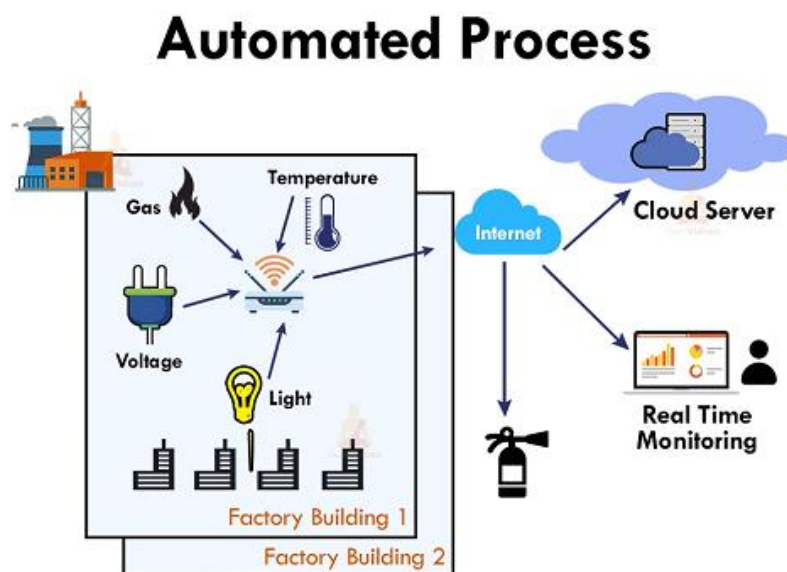
**Ασφάλεια:** Με την αυξημένη χρήση του IoT, η ασφάλεια των δεδομένων και των συσκευών γίνεται ολοένα και πιο σημαντική. Οι IoT συσκευές είναι ευάλωτες σε επιθέσεις. Η ανάπτυξη ισχυρών πρωτοκόλλων κρυπτογράφησης, ελέγχου πρόσβασης και άλλων τεχνικών κυβερνοασφάλειας είναι απαραίτητες. Η ασφαλής μετάδοση δεδομένων και η προστασία της ιδιωτικότητας των χρηστών παραμένουν σημαντικές προκλήσεις.

## 1.8 Εφαρμογές του Διαδικτύου των Πραγμάτων

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων βρίσκει εφαρμογή σε έναν ευρύ φάσμα τομέων, οι οποίοι επωφελούνται από την ικανότητά του να συνδέει και να αυτοματοποιεί συσκευές και συστήματα, βελτιώνοντας έτσι την συνολική απόδοση και λειτουργία ενός συστήματος.

**Τομέας υγείας:** Οι IoT συσκευές, όπως τα συστήματα απομακρυσμένης παρακολούθησης ασθενών, οι έξυπνες ιατρικές συσκευές και οι ανιχνευτές φαρμάκων, επιτρέπουν στους παρόχους υγειονομικής περίθαλψης να παρακολουθούν την κατάσταση της υγείας των ασθενών, να διαχειρίζονται χρόνιες παθήσεις και να παρέχουν έγκαιρες παρεμβάσεις. Τα νοσοκομεία χρησιμοποιούν επίσης IoT συστήματα για τη διαχείριση αποθεμάτων φαρμάκων και ιατρικών εργαλείων.

**Τομέας ενέργειας:** Τα έξυπνα δίκτυα ενέργειας, οι έξυπνοι μετρητές και τα συστήματα διαχείρισης ενέργειας επιτρέπουν στις εταιρείες παροχής ενέργειας και στους καταναλωτές να παρακολουθούν και να βελτιστοποιούν την χρήση ηλεκτρικής ενέργειας. Οι συσκευές IoT και οι αισθητήρες συλλέγουν δεδομένα που βοηθούν στον εντοπισμό των μοτίβων, τις ώρες αιχμής κατανάλωσης και τις περιοχές αναποτελεσματικότητας. Τα έξυπνα δίκτυα χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, έξυπνες συσκευές και προηγμένες τεχνολογίες ελέγχου για την παρακολούθηση και την διαχείριση της κατανάλωσης του ρεύματος σε πραγματικό χρόνο. Προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως η αυτόματη αποκατάσταση μετά από τεχνικές βλάβες, η μείωση της αιχμής της ζήτησης και η μείωση των λειτουργικών εξόδων. Παράλληλα, η συνεχής εποπτεία της κατανάλωσης ενισχύει την ασφάλεια του δικτύου, προστατεύοντάς το από κυβερνοεπιθέσεις και διευκολύνοντας την ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών.



Σχήμα 1.6 Παράδειγμα αυτοματοποίησης στον τομέα ενέργειας [12].

**Τομέας μεταφορών:** Στον τομέα των μεταφορών, οι IoT συσκευές βοηθούν στην παρακολούθηση της απόδοσης των οχημάτων, στη βελτιστοποίηση διαδρομών και στην παρακολούθηση αποστολών. Για παράδειγμα, η κατανάλωση καυσίμου των συνδεδεμένων αυτοκινήτων μπορεί να παρακολουθείται ώστε να μειωθεί το κόστος και να βελτιωθεί η βιωσιμότητα. Οι IoT συσκευές μπορούν επίσης να παρακολουθούν την κατάσταση του φορτίου, διασφαλίζοντας ότι θα φτάσει στον προορισμό του σε βέλτιστη κατάσταση.

**Τομέας πολεοδομίας:** Σε αυτόν τον τομέα το IoT μπορεί να παρακολουθεί τις δραστηριότητες που αφορούν την υποδομή. Οι αισθητήρες μπορούν να ανιχνεύουν αλλαγές ή προβλήματα στα κτίρια και άλλες υποδομές που ενδέχεται να θέσουν σε κίνδυνο την ασφάλεια των υπαλλήλων. Αυτό προσφέρει οφέλη όπως η βελτιωμένη διαχείριση περιστατικών και η άμεση απόκριση, η μείωση των λειτουργικών δαπανών και η βελτίωση του εργασιακού περιβάλλοντος.

**Έξυπνα σπίτια:** Τα έξυπνα σπίτια αξιοποιούν το IoT για την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, της ασφάλειας και της άνεσης των κατοίκων. Μέσω αισθητήρων και αυτοματοποιημένων συστημάτων, μπορούν να ρυθμίζουν τον φωτισμό, την θέρμανση και την ψύξη ανάλογα με την παρουσία ατόμων στον χώρο, μειώνοντας την άσκοπη κατανάλωση ενέργειας. Ένας έξυπνος θερμοστάτης μπορεί να προσαρμόζει την θερμοκρασία σύμφωνα με τις προτιμήσεις των χρηστών ή να απενεργοποιεί την θέρμανση όταν δεν ανιχνεύεται κίνηση στο σπίτι.



1.7 Παράδειγμα ελέγχου συσκευών με χρήση smartphone[17].

**Λιανικό εμπόριο:** Μέσω συσκευών και αισθητήρων, οι έμποροι μπορούν να παρακολουθούν σε πραγματικό χρόνο τα αποθέματα τους, να προσφέρουν προσωποποιημένες προσφορές, να αναλύουν τη συμπεριφορά των πελατών και να αυτοματοποιούν τις διαδικασίες πληρωμής. Επιπλέον, τεχνολογίες όπως τα έξυπνα ράφια και οι κάμερες ασφαλείας βοηθούν στην καλύτερη διαχείριση του καταστήματος και την ενίσχυση της ασφάλειας, προσφέροντας μια πιο αποδοτική και ευχάριστη εμπειρία αγορών.

**Γεωργία:** Το IoT μπορεί να διευκολύνει την ζωή των αγροτών, αυτοματοποιώντας πολλές γεωργικές εργασίες. Οι αισθητήρες μπορούν να συλλέγουν δεδομένα σχετικά με τη βροχόπτωση, την υγρασία, τη θερμοκρασία και τη σύνθεση του εδάφους, ενώ οι IoT συσκευές βοηθούν στην αυτοματοποίηση, όπως το πότισμα και η λίπανση.

## 1.9 Επίλογος

Στο παρόν κεφάλαιο αναλύθηκε η εξέλιξη του Διαδικτύου των Πραγμάτων από τα πρώτα πειράματα της δεκαετίας του 1950, έως τις σύγχρονες εφαρμογές του στην καθημερινότητα. Η λειτουργία του IoT βασίζεται στην σύνδεση συσκευών μέσω του διαδικτύου, επιτρέποντας την αυτοματοποίηση και την βελτιστοποίηση διαδικασιών. Παρά τα πλεονεκτήματα, όπως η αποδοτικότητα και η βελτίωση της ποιότητας ζωής, υπάρχουν προκλήσεις στα ζητήματα ασφάλειας και προστασίας προσωπικών δεδομένων. Τεχνολογίες όπως οι αισθητήρες και τα ασύρματα δίκτυα διευκολύνουν την εφαρμογή του IoT σε πολλούς τομείς, συμβάλλοντας στην περαιτέρω ανάπτυξή του.

## Κεφάλαιο 2ο: Μικροελεγκτές Arduino

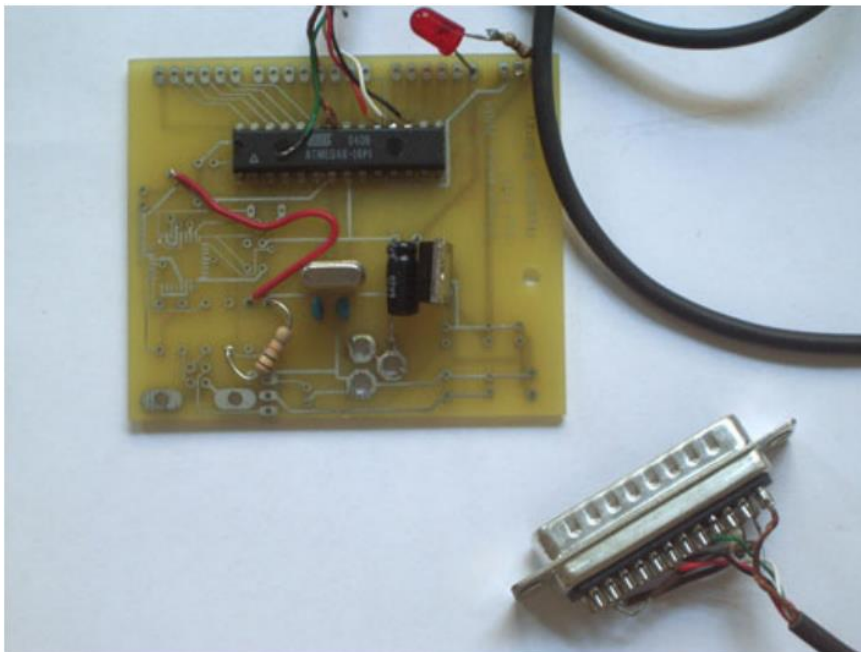
### 2.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθεί η πλακέτα Arduino, η οποία έχει εξελιχθεί σε ένα σημαντικό εργαλείο για την ανάπτυξη συστημάτων αυτοματισμού, εκπαίδευσης και καινοτομίας. Θα αναφερθεί το ιστορικό και η εξέλιξή της, καθώς και η αρχιτεκτονική και τα χαρακτηριστικά που την καθιστούν ιδιαίτερη. Επιπλέον, θα εξεταστεί η γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιείται, οι εφαρμογές της σε διάφορους τομείς, οι επεκτάσεις που χρησιμοποιούνται μέσω shields και modules, καθώς και η εκπαιδευτική της αξία. Το κεφάλαιο στοχεύει να παρέχει μια ολοκληρωμένη εικόνα της πλακέτας, σημειώνοντας την σημασία της στην σύγχρονη τεχνολογία.

### 2.2 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.

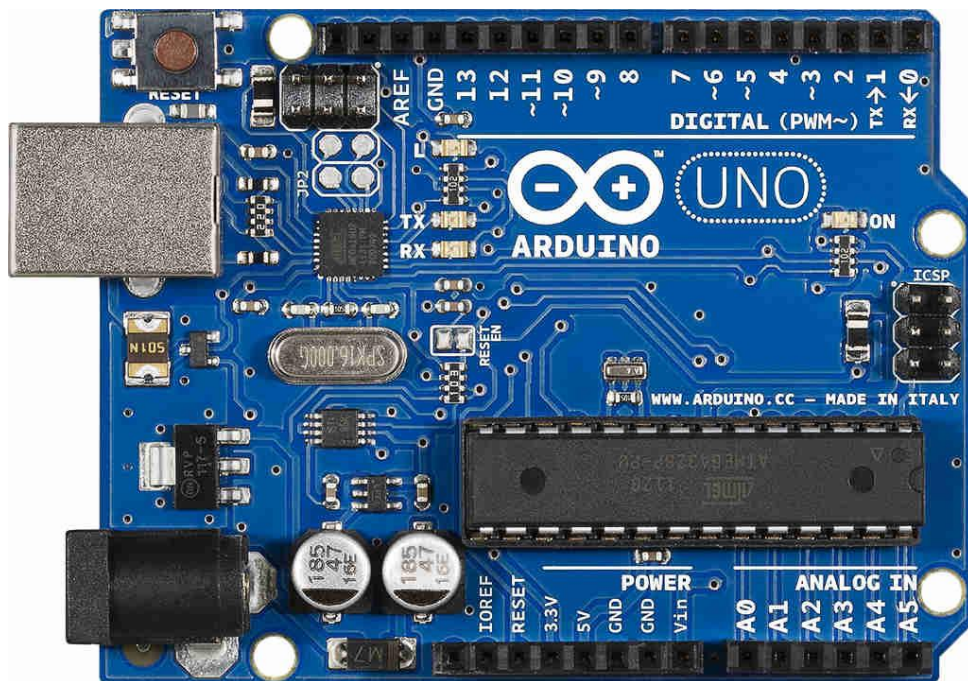


Σχήμα 2.1 Η πρώτη πρωτότυπη πλακέτα, που δημιουργήθηκε το 2005 [20].

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.

### 2.3 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 διαφόρων 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.



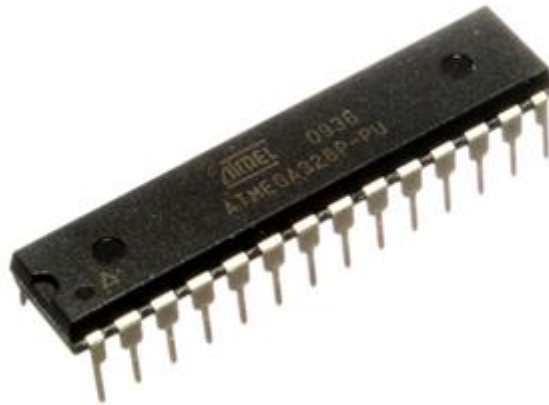
Σχήμα 2.2 Η πιο διάσημη πλακέτα, Arduino Uno.

### 2.4 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.

### 2.4.1 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:



Σχήμα 2.3 Ο ATmega328P με 28 ακίδες στενής διπλής γραμμής (DIP-28N).

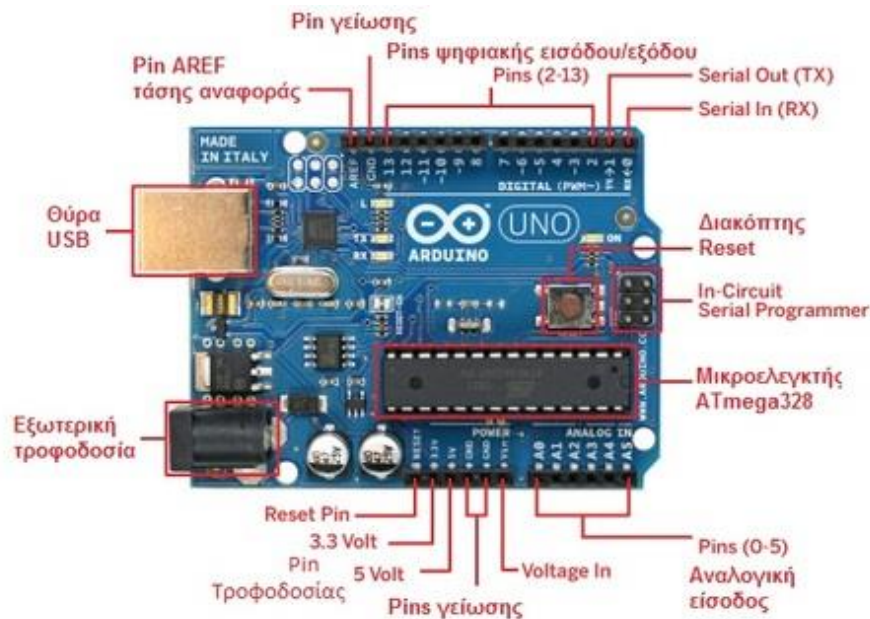
1. 2Kb μνήμης Static Random-Access Memory (SRAM) είναι η ωφέλιμη μνήμη που μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα προγράμματά για να αποθηκεύσουν μεταβλητές, πίνακες κ.λπ. κατά την εκτέλεση προγράμματος. Όπως και σε έναν υπολογιστή, η μνήμη χάνει τα δεδομένα της όταν η παροχή ρεύματος στο Arduino σταματήσει ή αν γίνει επαναφορά.
2. 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.
3. 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).

### 2.4.2 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[17].

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 πρόγραμμα 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 πρόγραμμα, 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.



Σχήμα 2.4 Αναλυτική περιγραφή του Arduino Uno.

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[17].

### 2.4.3 Τροφοδοσία

Το Arduino μπορεί να τροφοδοτηθεί με δύο διασυνδέσεις μέσω USB type B ή μέσω βύσματος 2.1mm. Η απαιτούμενη τάση είναι από 7V έως 12V, ενώ το ιδανικό είναι τα 9V. Τάσεις κάτω από 7V εμποδίζουν το ενσωματωμένο κύκλωμα σταθεροποίησης να παρέχει 5V, ενώ τάσεις πάνω από 12V προκαλούν υπερθέρμανση και ενδεχόμενη βλάβη του σταθεροποιητή. Η τροφοδοσία μπορεί να γίνει από μετασχηματιστή ή μπαταρία που ταιριάζει στο βύσμα. Επιπλέον, διαθέτει έξι pins τροφοδοσίας, καθένα με συγκεκριμένες λειτουργίες, που διευκολύνουν τη σύνδεση περιφερειακών.

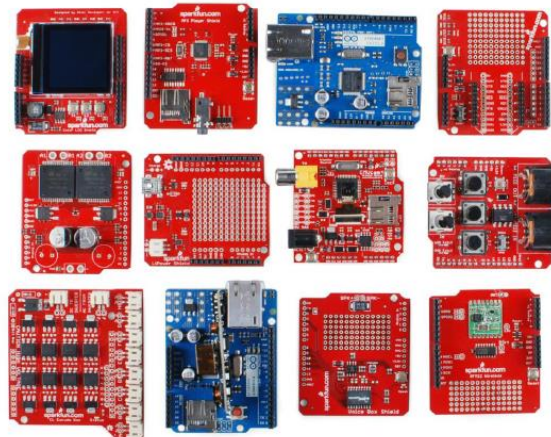
- RESET: Γίνεται επανεκκίνηση όταν το Arduino γειώνεται.
- 3.3V: Παρέχει 3.3V για εξωτερικές συσκευές, τάση που παράγεται από τον μικροελεγκτή.
- 5V: Παρέχει 5V από την τροφοδοσία της συσκευής μέσω σταθεροποιητή τάσης.
- GND: Δύο pins για γείωση της συσκευής.
- Vin: Χρησιμοποιείται είτε για πλήρη τροφοδοσία του Arduino είτε για παροχή τάσης (7-12V) σε εξωτερικές συσκευές.



Σχήμα 2.5 Στα αριστερά είναι τροφοδοσία μέσω βύσματος και στα δεξιά μέσω USB type B.

### 2.4.4 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.



Σχήμα 2.6 Arduino Shields.

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 (Local Area Network - LAN) 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.

## 2.5 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, 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 libe. Το περιβάλλον διαθέτει εξελιγμένο μενού και προσφέρει έτοιμα παραδείγματα χρήσης βασικών λειτουργιών, που διευκολύνουν την ανάπτυξη εφαρμογών. Ο κώδικας που γράφεται στο Arduino ονομάζεται sketch. Το παράδειγμα στο σχήμα 2.7 είναι κώδικας ο οποίος υλοποιεί ένα απλό πρόγραμμα για τον έλεγχο ενός LED. Το πρόγραμμα ενεργοποιεί και απενεργοποιεί το LED σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα 3 δευτερολέπτων.



```

Arduino - 0011 Alpha
File Edit Sketch Tools Help
Blink
/*
 * Blink
 *
 * The basic Arduino example. Turns on an LED on for one second,
 * then off for one second, and so on... We use pin 13 because,
 * depending on your Arduino board, it has either a built-in LED
 * or a built-in resistor so that you need only an LED.
 *
 * http://www.arduino.cc/en/Tutorial/Blink
 */

int ledPin = 13;          // LED connected to digital pin 13

void setup()              // run once, when the sketch starts
{
  pinMode(ledPin, OUTPUT); // sets the digital pin as output
}

void loop()               // run over and over again
{
  digitalWrite(ledPin, HIGH); // sets the LED on
  delay(1000);                // waits for a second
  digitalWrite(ledPin, LOW);  // sets the LED off
  delay(1000);                // waits for a second
}

Done compiling.
Binary sketch size: 1098 bytes (of a 14336 byte maximum)
22
  
```

Σχήμα 2.7 Παράδειγμα sketch Arduino IDE.

Υπάρχουν δυνατότητες αντιγραφής/επικόλλησης και εύρεσης/αντικατάστασης κειμένου. 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.

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.

## 2.6 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 ευάγνωστο 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 προσωπικά πρότζεκτ.

## 2.7 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 πρότζεκτ και εφαρμογές τύπου Κάντο μόνος σου (Do It Yourself – DIY), μπορεί να μην είναι η καλύτερη επιλογή για επαγγελματικά ή βιομηχανικά έργα, όπου απαιτούνται υψηλές προδιαγραφές και μεγάλες εγκαταστάσεις.

## 2.8 Εφαρμογές Arduino

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.

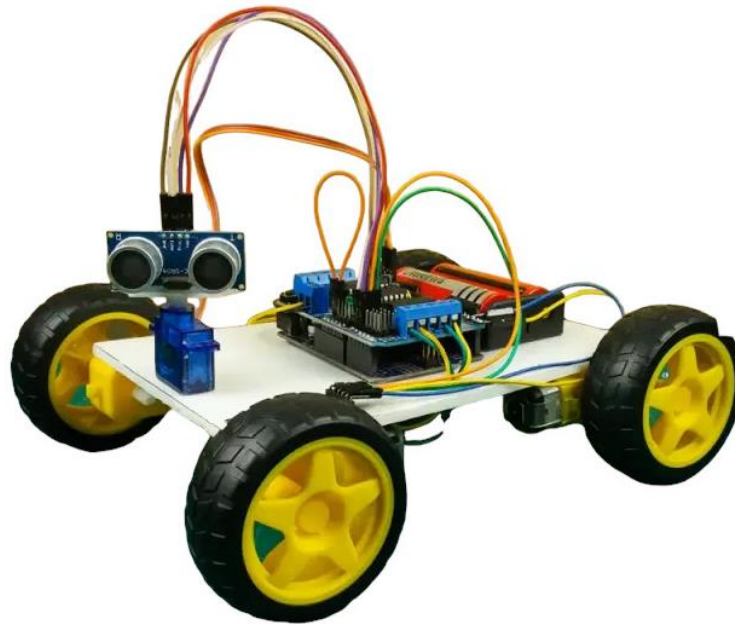
**Έξυπνο σπίτι (Smart Home):** Στα έξυπνα σπίτια αποτελεί σημαντικό εργαλείο για την ανάπτυξη αυτοματοποιημένων διαδικασιών μέσα σε μία κατοικία. Μέσω αισθητήρων και ενεργοποιητών μπορεί ο κάθε χρήστης να κάνει έλεγχο θερμοκρασία, να ρυθμίζει τον φωτισμό ανάλογα με τις προτιμήσεις του και να διαχειρίζεται 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 (Autonomous Vehicles):** Το Arduino χρησιμοποιείται σε έργα για τη δημιουργία αυτόνομων οχημάτων, όπως αυτοκίνητα ή drones, που βασίζονται σε αισθητήρες και αλγόριθμους 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.



Σχήμα 2.8 Παράδειγμα ρομποτικής.

**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.

**DIY εφαρμογές:** Ο κόσμος των DIY χρησιμοποιεί σε μεγάλο βαθμό τις λειτουργίες του Arduino για να δημιουργήσει πρωτότυπα αντικείμενα, όπως ρολόγια, μουσικά όργανα, φωτογραφικές μηχανές και άλλες δημιουργίες που συνδυάζουν προγραμματισμό και ηλεκτρονική σε επίπεδο αρχαρίων.

## 2.9 Επίλογος

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύθηκε το Arduino, ξεκινώντας από την ιστορική του αναδρομή και τον ορισμό του. Παρουσιάστηκαν τα βασικά στοιχεία του υλικού, όπως ο μικροελεγκτής Atmel AVR, οι δυνατότητες εισόδου-εξόδου, η τροφοδοσία και οι επεκτάσεις του. Επιπλέον, αναφέρθηκε η γλώσσα προγραμματισμού και τα βήματα για την ολοκλήρωση ενός sketch. Εξετάστηκαν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του Arduino. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με παραδείγματα εφαρμογών, από απλές εκπαιδευτικές κατασκευές έως και σύνθετα επαγγελματικά συστήματα.

## Κεφάλαιο 3ο: Γεωργία

### 3.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο εξετάζεται η γεωργία, μια θεμελιώδη δραστηριότητα του ανθρώπινου πολιτισμού, που εξελίχθηκε μέσα από τις εποχές. Αναλύονται οι ιστορικές μεταβάσεις από τις παραδοσιακές μεθόδους έως τη σύγχρονη γεωργία ακριβείας, καθώς και οι προκλήσεις που προκύπτουν από την κλιματική αλλαγή, την έλλειψη πόρων και τις κοινωνικές ανισότητες. Αναφέρονται τρόποι με τους οποίους μπορεί να αντιμετωπισθούν τα προβλήματα. Παρουσιάζονται οι τεχνολογικές εφαρμογές, που επαναπροσδιορίζουν τις δυνατότητες και την βιωσιμότητα της γεωργίας.

### 3.2 Ιστορική αναδρομή

**10.000 – 3.000 π.Χ.:** Η γεωργία ξεκινάει με την συλλογή των φυτών και την εξημέρωση ζώων, βασιζόμενη στην δημιουργία απλών εργαλείων και την ανθρώπινη εργασία. Οι καλλιέργειες εντάσσονται στην διατροφή, θέτοντας τα θεμέλια για τις εγκατεστημένες κοινωνίες.

**3.000 π.Χ. – 500 μ.Χ.:** Δημιουργία χάλκινων και σιδερένιων εργαλείων, πιο σημαντικά το άροτρο, που φέρνει μεγαλύτερη αποδοτικότητα και αποτελεσματικότητα στην γεωργία. Εμφανίζονται τα πρώτα συστήματα άρδευσης και οι περίοδοι αγρανάπαυσης χρησιμοποιούνται ευρέως για τη διατήρηση της γονιμότητας του εδάφους.

**500 – 1500 μ.Χ.:** Στο μεσαιωνικό σύστημα εφαρμόζεται αγρανάπαυση με όργωμα και εκχέρσωση με φωτιά. Οι πρακτικές αυτές βελτιώνουν την παραγωγικότητα. Η άροση χρησιμοποιείται πιο συχνά και η τοπική γεωργία διαμορφώνει την αγροτική ζωή. Η γεωργία αποτελεί πλέον κύρια οικονομική δραστηριότητα σε πολλές κοινωνίες.



Σχήμα 3.2 Όργωμα στη Γαλλία, Ζωγραφικός πίνακας του 1849.

**1500 – 1800 μ.Χ.:** Η δημιουργία νέων συστημάτων όπως το σύστημα των τριών χωραφιών και η προηγμένη αμειψισπορά χρησιμοποιούνται για να καλύψουν τον αυξανόμενο πληθυσμό και τη ζήτηση γεωργικών προϊόντων. Η παγκόσμια εξερεύνηση εισάγει νέες καλλιέργειες όπως η πατάτα και ο αραβόσιτος, διαφοροποιώντας τις δίαιτες.

**1800 – 1900 μ.Χ.:** Η Βιομηχανική Επανάσταση φέρνει τα πρώτα ατμοκίνητα μηχανήματα στην γεωργία, μειώνοντας την εξάρτηση από την χειρωνακτική εργασία. Η κατασκευή των σιδηροδρόμων, βελτιώνουν την διανομή των γεωργικών προϊόντων, επεκτείνοντας με αυτόν τον τρόπο τις αγορές και το εμπόριο.

**1900 – 1950 μ.Χ.:** Οι μηχανές τρακτέρ αντικαθιστούν την ζωική εργασία, αλλάζοντας τις γεωργικές πρακτικές. Η μηχανοποίηση γίνεται πιο διαδεδομένη, ενώ οι τεχνολογικές αναπτύξεις δημιουργούν τα συνθετικά λιπάσματα και τα φυτοφάρμακα, βελτιώνει σημαντικά τις αποδόσεις των καλλιεργειών.

**1950 – μέχρι σήμερα:** Η γεωργία εισέρχεται στην εποχή της τεχνολογίας, με καινοτομίες όπως οι ποικιλίες καλλιεργειών υψηλής απόδοσης, τα συστήματα άρδευσης και τα εργαλεία γεωργίας ακριβείας. Η χρήση χημικών εισροών γίνεται συνήθης και οι σύγχρονες τεχνικές αποθήκευσης, συμπεριλαμβανομένης της κατάψυξης, αυξάνουν την διάρκεια ζωής των γεωργικών προϊόντων. Οι περιβαλλοντικές προκλήσεις οδηγούν σε αυξανόμενη έμφαση στις βιώσιμες πρακτικές και στις τεχνολογίες ανθεκτικές στο κλίμα.



Σχήμα 3.1 Χρήση drone για έλεγχο ενός χωραφιού.

### 3.3 Γεωργία στην σημερινή εποχή

Η γεωργία ορίζεται ως το σύνολο των δραστηριοτήτων που σχετίζονται με την καλλιέργεια του εδάφους και την παραγωγή φυτικών προϊόντων. Αποτελεί έναν από τους κύριους παραγωγικούς κλάδους του πρωτογενούς τομέα, με την ανάπτυξή της να εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες, όπως:

- Η καταλληλότητα του εδάφους για την καλλιέργεια συγκεκριμένων φυτών.
- Η έκταση και η μορφολογία της καλλιεργούμενης περιοχής.
- Οι κλιματικές συνθήκες, όπως η θερμοκρασία και οι βροχοπτώσεις.
- Η βιομηχανική υποδομή που υποστηρίζει τη γεωργική παραγωγή.
- Η διαθεσιμότητα καυσίμων και το κόστος τους.
- Η ύπαρξη και η ανάπτυξη δικτύων μεταφοράς προϊόντων.
- Η κατανομή και η συγκέντρωση του πληθυσμού στις διάφορες περιοχές.
- Οι προτιμήσεις των καταναλωτών και οι πολιτικές αποφάσεις που λαμβάνουν οι κυβερνήσεις.

Το κλίμα και η μορφολογία του εδάφους είναι δύο σημαντικοί παράγοντες για την γεωργία, αφού επηρεάζουν άμεσα το είδος των καλλιεργούμενων φυτών σε κάθε περιοχή του πλανήτη. Τα διάφορα επίπεδα των κλιματικών τύπων και των φυσιογραφικών χαρακτηριστικών σε παγκόσμιο επίπεδο δίνουν

την δυνατότητα για την καλλιέργεια ενός ευρέος φάσματος φυτών, καθένα από τα οποία ευδοκimei καλύτερα σε συγκεκριμένες συνθήκες.

Υπάρχουν φυτά που καλλιεργούνται σε πολλές περιοχές του κόσμου, με μικρές διαφοροποιήσεις στην παραγωγή, όπως τα δημητριακά, οι πατάτες και το ζαχαροκάλαμο. Κάποια άλλα φυτά είναι περιορισμένα σε συγκεκριμένες γεωγραφικές ζώνες λόγω των ιδιαίτερων κλιματικών απαιτήσεών τους. Για παράδειγμα, το αμπέλι ευδοκimei σε εύκρατα κλίματα με ήπιους χειμώνες και ζεστά καλοκαίρια, ενώ η ελιά αναπτύσσεται σε ζεστά και ξηρά κλίματα, όπως αυτά που βρίσκονται γύρω από τη Μεσόγειο.

Η μεγάλη γεωγραφική και κλιματική διαφοροποίηση του πλανήτη καθορίζει όχι μόνο την διανομή των καλλιεργειών, αλλά και τη διατροφική κουλτούρα και τις οικονομίες των περιοχών, καθιστώντας την γεωργία έναν πολυδιάστατο και θεμελιώδη τομέα της ανθρώπινης δραστηριότητας. Η διατήρηση αυτής της ποικιλίας και η προσαρμογή της γεωργίας στις παγκόσμιες κλιματικές συνθήκες απαιτεί σύγχρονες λύσεις και καινοτομίες.

Σε μια εποχή που οι τεχνολογικές και περιβαλλοντικές προκλήσεις αυξάνονται, η γεωργία παραμένει θεμέλιο της ανθρώπινης επιβίωσης. Η διατήρηση και η βελτίωση των γεωργικών πρακτικών, μέσω καινοτομιών όπως το IoT και τα αυτοματοποιημένα συστήματα, αποτελεί κλειδί για τη βιώσιμη ανάπτυξη και την κάλυψη των αναγκών του παγκόσμιου πληθυσμού.

#### 3.4 Προβλήματα στην γεωργία

Η γεωργία αντιμετωπίζει πληθώρα προκλήσεων και προβλημάτων, που συνδέονται με την περιβαλλοντική, οικονομική, κοινωνική και τεχνολογική διάσταση.

**Ασθένειες και παράσιτα:** Η άνοδος της θερμοκρασίας και οι μεταβαλλόμενες κλιματικές συνθήκες δημιουργούν πρόσφορο έδαφος για την εξάπλωση των παθογόνων ασθενειών και την αύξηση πληθυσμού των παρασίτων. Οι καλλιέργειες που σε φυσιολογικές συνθήκες ήταν προστατευμένες από συγκεκριμένους απειλές βρίσκονται πλέον σε κίνδυνο από νέες ασθένειες και παράσιτα, μειώνοντας σημαντικά τις αποδόσεις τους. Η αυξανόμενη χρήση φυτοφαρμάκων για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων έχει αρνητικές επιπτώσεις στο έδαφος και την βιοποικιλότητα. Η ανάγκη για την καλύτερη προστασία των καλλιεργειών, δημιουργεί βιώσιμες πρακτικές και βιολογικές μεθόδους προστασίας να γίνονται ολοένα και πιο επιτακτικές για την εξασφάλιση της γεωργικής παραγωγής.



Σχήμα 3.3 Λάχανο που έχει υποστεί βακτηριακή ασθένεια [23].

**Κλιματική αλλαγή:** Η κλιματική αλλαγή είναι από τα πιο σοβαρά προβλήματα στην γεωργία, επηρεάζοντας την παραγωγή και την ασφάλεια των τροφίμων σε παγκόσμια επίπεδο. Η αύξηση της θερμοκρασίας, η μετατόπιση των βροχοπτώσεων και η αύξηση των ακραίων καιρικών φαινομένων,

όπως οι ξηρασίες και οι πλημμύρες, διαταράσσουν τις αποδόσεις των καλλιεργειών και την υγεία των εδαφών. Οι αλλαγές αυτές καταπονούν τους υδάτινους πόρους, μεταβάλλουν τις καλλιεργητικές περιόδους και καθιστούν ορισμένες περιοχές λιγότερο κατάλληλες για τις παραδοσιακές γεωργικές πρακτικές. Ο πολλαπλασιασμός των παρασίτων και των ασθενειών στα θερμότερα κλίματα θέτει περαιτέρω σε κίνδυνο την γεωργική σταθερότητα. Αυτή η αστάθεια καθιστά δύσκολη την πρόβλεψη και τον προγραμματισμό της γεωργικής παραγωγής, ενώ αυξάνει το ρίσκο απωλειών.

**Έλλειψη νερού:** Η έλλειψη νερού στην γεωργία είναι πρόβλημα που απειλεί την παγκόσμια διατροφική ασφάλεια και μέσα διαβίωσης στις αγροτικές περιοχές. Η λειψυδρία, που οφείλεται στην υπερβολική χρήση του νερού, την αύξηση του πληθυσμού και την κλιματική αλλαγή, μειώνει την διαθεσιμότητα του πόρου αυτού για την άρδευση. Οι παρατεταμένες ξηρασίες και τις ασταθείς εποχές βροχοπτώσεων διαταράσσουν την ποιότητα του εδάφους, με αποτέλεσμα να αναγκάσουν τους αγρότες να μην χρησιμοποιούν πλέον τις παραδοσιακές μεθόδους καλλιέργειας αλλά να επενδύσουν σε δαπανηρές νέες τεχνολογίες εξοικονόμησης νερού. Οι περιοχές που βασίζονται στη βροχερή γεωργία είναι ιδιαίτερα ευάλωτες, καθώς η ανεπάρκεια νερού θέτει σε κίνδυνο την υγεία του εδάφους, την ανάπτυξη των φυτών και τις συνολικές αποδόσεις. Η αυξανόμενη ζήτηση νερού στους βιομηχανικούς και αστικούς τομείς επιδεινώνει περισσότερο την κρίση, αναδεικνύοντας την ανάγκη για βιώσιμες πρακτικές διαχείρισης του νερού για την υποστήριξη της ανθεκτικότητας της γεωργίας. Επιπροσθέτως, η ρύπανση των υδάτων από φυτοφάρμακα και λιπάσματα συμβάλει στην μείωση και την ποιότητα των διαθέσιμων πόρων.



Σχήμα 3.4 Χωράφι με έλλειψη νερού [22].

**Κοινωνικές ανισότητες:** Η φτώχεια στις αγροτικές περιοχές, η έλλειψη υποδομών και οι περιορισμένες ευκαιρίες για τους μικροκαλλιεργητές οδηγούν στην εγκατάλειψη των χωριών και στην αύξηση των μαζικών καλλιεργειών από μεγάλες εταιρείες.

**Εξάρτηση εισαγωγών:** Πολλές χώρες βασίζονται στην εισαγωγή σπόρων, λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, κάτι που μεγαλώνει την εξάρτησή τους από τις διεθνείς αγορές και τις τιμές. Αυτό μπορεί να προκαλέσει προβλήματα σε περιόδους κρίσης, εποχές πολέμου ή διαταραχών του εμπορίου.

**Αστάθεια εισοδημάτων:** Οι παραγωγοί συχνά αντιμετωπίζουν οικονομική αβεβαιότητα λόγω των αλλαγών στις τιμές των προϊόντων, των αγροτικών μηχανήματων και προϊόντων που χρειάζονται, των

καιρικών συνθηκών και των απρόβλεπτων φυσικών καταστροφών στις περιοχές τους. Η έλλειψη μηχανημάτων προστασίας και η κρατική ενίσχυση επιδεινώνει την κατάσταση.

**Αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού:** Η αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού προκαλεί σημαντικές πιέσεις στον αγροτικό τομέα, καθώς η ζήτηση για τρόφιμα αυξάνεται με γοργούς ρυθμούς. Η ανάγκη για μεγαλύτερη παραγωγή οδηγεί σε υπερεκμετάλλευση των φυσικών πόρων, με αποτέλεσμα την υποβάθμιση των καλλιεργήσιμων εδαφών και μείωση της βιοποικιλότητας. Παράλληλα με την κλιματική αλλαγή και σε συνδυασμό με τις αυξημένες ανάγκες, δυσχεραίνει περισσότερο την γεωργική παραγωγή, με αποτέλεσμα να απαιτούνται νέες τεχνολογικές λύσεις, όπως η ευφυής γεωργία και η χρήση γενετικά τροποποιημένων καλλιεργειών, για την εξασφάλιση της ποσότητας της τροφής .

### 3.5 Αρχές ορθής διαχείρισης

Οι βασικές Αρχές Ορθής Διαχείρισης (ΟΔ) στην γεωργία είναι ένα σύνολο πρακτικών οι οποίες έχουν στόχο την προστασία του περιβάλλοντος, την αειφορία της γεωργίας και την αποτελεσματική παραγωγή γεωργικών προϊόντων. Αυτές οι αρχές ενσωματώνουν περιβαλλοντικές, κοινωνικές και οικονομικές πρακτικές και χρησιμοποιούνται για να διασφαλίσουν ότι η γεωργία λειτουργεί με τρόπο σωστό και υπεύθυνο προς το περιβάλλον.

**Προστασία του εδάφους:** Είναι απαραίτητη η υιοθέτηση πρακτικών που μειώνουν την κατάχρηση και την διάβρωση του εδάφους, όπως η αμειψισπορά, η κάλυψη του εδάφους και η χρήση οργανικών λιπασμάτων. Η φροντίδα για την διατήρηση της γονιμότητας του εδάφους διασφαλίζει την παραγωγικότητα και την ποιότητα των καλλιεργειών. Η ενίσχυση της έρευνας για βιώσιμες καλλιεργητικές πρακτικές συμβάλλει στην ανάπτυξη μεθόδων που προστατεύουν το έδαφος και ταυτόχρονα αυξάνουν τις αποδόσεις.

**Ορθολογική χρήση νερού:** Η διαχείριση του νερού πρέπει να γίνεται με μεθόδους που μειώνουν την σπατάλη και εξασφαλίζουν την επάρκεια του για την άρδευση και για άλλες χρήσεις. Οι τεχνικές όπως η στάγδην άρδευση, η συλλογή βρόχινου νερού και η ανακύκλωση νερού αποτελούν σημαντικές πρακτικές για την εξοικονόμηση των υδάτινων πόρων. Η ευαισθητοποίηση για την διαχείριση του νερού πρέπει να επεκταθεί, ενθαρρύνοντας τους πολίτες να υιοθετήσουν λύσεις προσαρμοσμένες στις περιβαλλοντικές συνθήκες ανάλογα την περιοχή που βρίσκονται.

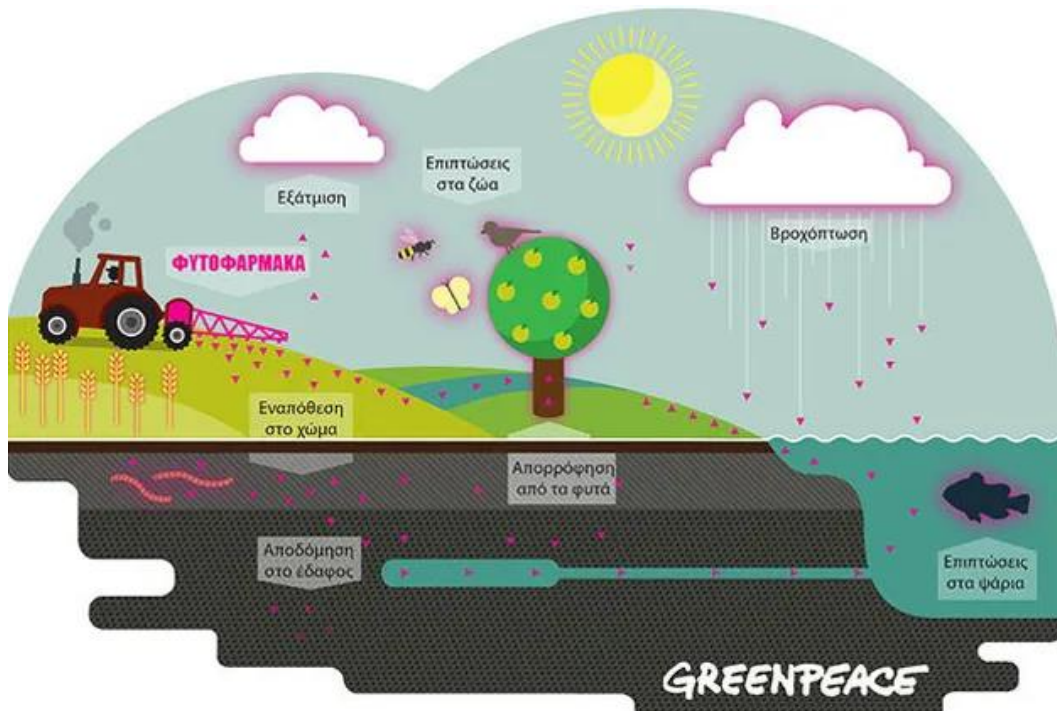


Σχήμα 3.5 Έκκληση της ΔΕΥΑΚ για ορθολογική χρήση νερού[25].

**Εκπαίδευση:** Η συνεχής εκπαίδευση των αγροτών στις νέες τεχνολογίες, στις βιώσιμες πρακτικές και στην ορθή χρήση των πρακτικών βοηθάει για να αντιμετωπίσουν τα προβλήματα που εμφανίζονται. Επίσης, παρέχει τα εργαλεία για την αύξηση της παραγωγικότητας και τη μείωση του κόστους. Παράλληλα, είναι αναγκαία η δημιουργία προγραμμάτων κατάρτισης που ενθαρρύνουν τη συνεργασία και την ανταλλαγή γνώσεων μεταξύ γεωργών διαφορετικών περιοχών και συστημάτων καλλιέργειας.

**Βιωσιμότητα:** Η διαχείριση των φυσικών πόρων πρέπει να γίνεται με τρόπο που να διασφαλίζει την ανανέωση και την διατήρησή τους για τις επόμενες γενιές. Αυτό περιλαμβάνει την μείωση της υπερεκμετάλλευσης και την προώθηση πρακτικών που ενισχύουν τη μακροχρόνια παραγωγικότητα του εδάφους και των οικοσυστημάτων. Είναι σημαντική η υιοθέτηση πολιτικών που ενθαρρύνουν την προστασία των οικολογικών πρακτικών και της εξοικονόμηση ενέργειας σε κάθε στάδιο παραγωγής.

**Μείωση χρήσης χημικών:** Η περιορισμένη χρήση των λιπασμάτων και των φυτοφαρμάκων προστατεύει τόσο το περιβάλλον όσο και την υγεία των ανθρώπων. Η προώθηση βιολογικών λύσεων, όπως η χρήση φυσικών εχθρών των παρασίτων, συμβάλλει στη μείωση των χημικών υπολειμμάτων. Ταυτόχρονα, η υιοθέτηση καινοτόμων τεχνολογιών που παρέχουν εναλλακτικές οικολογικές λύσεις είναι απαραίτητη για την δημιουργία βέλτιστων βιώσιμων παραγωγικών συστημάτων.



Σχήμα 3.6 Αποτέλεσμα χρήσης φυτοφαρμάκων στο περιβάλλον[26].

**Τήρηση των νομοθεσιών:** Η τήρηση των νόμων και των κανονισμών που προστατεύουν το περιβάλλον διασφαλίζει την μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα των γεωργικών δραστηριοτήτων. Η συμμόρφωση περιλαμβάνει την ορθή διαχείριση αποβλήτων, την αποφυγή ρύπανσης και την προστασία της βιοποικιλότητας. Η δημιουργία μηχανισμών παρακολούθησης και αξιολόγησης της περιβαλλοντικής επίπτωσης των γεωργικών πρακτικών συμβάλλει στη διατήρηση της ισορροπίας μεταξύ παραγωγής και οικολογίας.

**Τεχνολογίες:** Η χρήση σύγχρονων τεχνολογιών, όπως η γεωργία ακριβείας και τα συστήματα IoT, βελτιώνουν την αποτελεσματικότητα της παραγωγής και μειώνουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Αυτές οι τεχνολογίες επιτρέπουν την συλλογή δεδομένων για την λήψη αποφάσεων και την

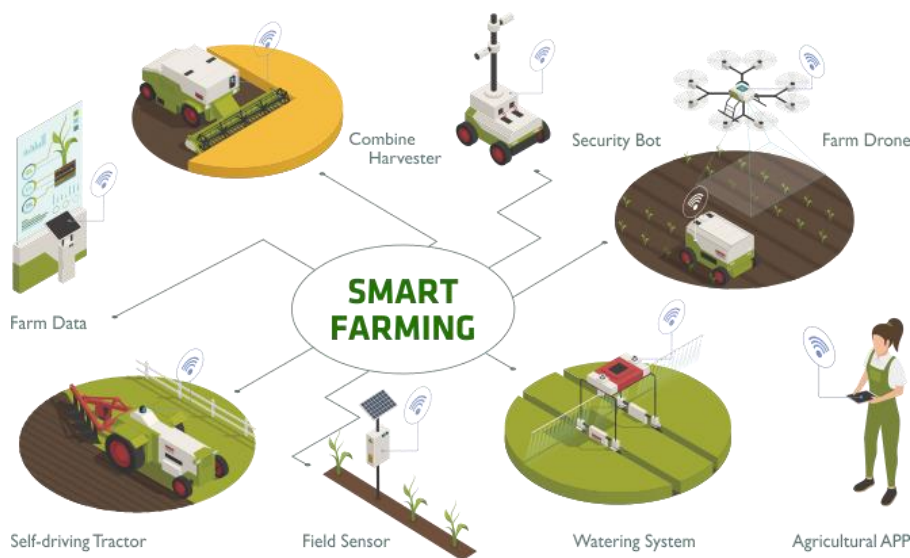
αντιμετώπιση καταστάσεων. Η προώθηση της πρόσβασης των αγροτών σε αυτές τις τεχνολογίες και η παροχή κατάλληλης εκπαίδευσης είναι κρίσιμες για την μέγιστη απόδοση τους.

**Ευθύνη και διαφάνεια:** Η ορθή διαχείριση περιλαμβάνει την ανάληψη ευθύνης για τις πρακτικές που χρησιμοποιούνται και την διασφάλιση της διαφάνειας στις διαδικασίες παραγωγής. Αυτό βοηθά στην οικοδόμηση εμπιστοσύνης μεταξύ παραγωγών, καταναλωτών και φορέων. Παράλληλα, η υιοθέτηση πιστοποιήσεων που προάγουν την βιώσιμη γεωργία βοηθάει να προωθούνται η φήμη και η αξία των προϊόντων στην αγορά.

### 3.6 Εφαρμογές τεχνολογιών στην γεωργία

Υπάρχουν πολλές εφαρμογές τεχνολογιών στην γεωργία και που αναδεικνύονται όλο και περισσότερο, προσφέροντας λύσεις στα ζητήματα που εμφανίζονται που σχετίζονται με την παραγωγή τροφίμων, την κλιματική αλλαγή και την αειφόρο ανάπτυξη. Η ενσωμάτωση τεχνολογιών στον αγροτικό τομέα έχει την δυνατότητα να αυξήσει την παραγωγικότητα, να μειώσει το κόστος και να προάγει τη βιωσιμότητα.

**Έξυπνη γεωργία (Smart Farming):** Συνδυάζει τεχνολογίες αισθητήρων για τη συλλογή δεδομένων, συστήματα γεωεντοπισμού (GPS) και εφαρμογές ανάλυσης δεδομένων, επιτρέποντας την παρακολούθηση κρίσιμων παραμέτρων, όπως η υγρασία του εδάφους, οι συνθήκες του καιρού και η ανάπτυξη των φυτών σε πραγματικό χρόνο. Ακόμη, αξιοποιεί τα συστήματα τηλεματικής και επικοινωνίας για καλύτερη διαχείριση του εξοπλισμού και των διαδικασιών που πρέπει να γίνουν, η χρήση αυτοματισμών και των διάφορων πόρων, όπως λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων. Μέσω αυτών των τεχνολογιών, επιτυγχάνεται η ορθολογική χρήση των πόρων, η μείωση της περιβαλλοντικής ρύπανσης και η αύξηση της αποδοτικότητας, συμβάλλοντας σημαντικά στην βιώσιμη ανάπτυξη της γεωργίας.



Σχήμα 3.7 Παράδειγμα χρήσης smart farming[27].

**Blockchain και ιχνηλασιμότητα:** Το blockchain είναι μία τεχνολογία που μπορεί να φέρει βελτιώσεις στην γεωργία για την διαφάνεια, επιτρέποντας ιχνηλασιμότητα σε κάθε στάδιο της παραγωγής, από την συγκομιδή μέχρι και την κατανάλωση. Μέσω του blockchain, όλα τα δεδομένα που αφορούν την καλλιέργεια, την επεξεργασία, την μεταφορά και την διανομή των τροφίμων καταγράφονται σε ένα αποκεντρωμένο και αμετάβλητο αρχείο. Αυτή η διαδικασία βοηθά στην επιβεβαίωση της ποιότητας των προϊόντων και στη διασφάλιση της ασφάλειας των τροφίμων, καθώς κάθε συναλλαγή ή κίνηση του προϊόντος μπορεί να παρακολουθηθεί και να επαληθευτεί σε πραγματικό χρόνο. Με αυτόν τον τρόπο

οι καταναλωτές μπορούν να είναι βέβαιοι ότι τα τρόφιμα που αγοράζουν πληρούν τα πρότυπα ασφαλείας και ποιότητας, ενώ οι παραγωγοί και οι προμηθευτές επωφελούνται από την ενίσχυση της φήμης τους και τη μείωση του κινδύνου απάτης ή λαθών στην αλυσίδα εφοδιασμού.

**Τεχνητή νοημοσύνη, μεγάλα δεδομένα και γεωργικά ρομπότ:** Ο συνδυασμός αυτών των τριών τεχνολογιών επιτρέπει στους αγρότες να συλλέγουν και να αναλύουν τεράστιες ποσότητες δεδομένων που προέρχονται από διάφορες πηγές και άλλα τεχνολογικά εργαλεία που παρακολουθούν την κατάσταση των καλλιεργειών και του περιβάλλοντος σε πραγματικό χρόνο. Η ανάλυση αυτών των δεδομένων επιτρέπει στους αγρότες να προβλέπουν τις αποδόσεις καλλιεργειών, να εντοπίζουν τα προβλήματα και να βελτιώνουν τις ποσότητες της άρδευσης και λίπανσης. Παράλληλα, Τα αυτόνομα γεωργικά ρομπότ αποτελούν μια πολλά υποσχόμενη λύση στα προβλήματα που αντιμετωπίζει η γεωργική βιομηχανία, όπως η αυξανόμενη ζήτηση τροφίμων και η έλλειψη εργατικού δυναμικού. Αυτές οι ευφυείς μηχανές έχουν τη δυνατότητα να αυτοματοποιούν επαναλαμβανόμενες εργασίες, όπως η συγκομιδή, η σπορά και ο έλεγχος των ζιζανίων συμβάλλοντας στην ασφάλεια του εφοδιασμού τροφίμων. Τα ρομπότ αυτά λειτουργούν με τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης (Machine Learning - ML). Με την εφαρμογή της αυτόνομης τεχνολογίας, η βιομηχανία μπορεί να βελτιώσει τις λειτουργίες και να αυξήσει την παραγωγικότητα.



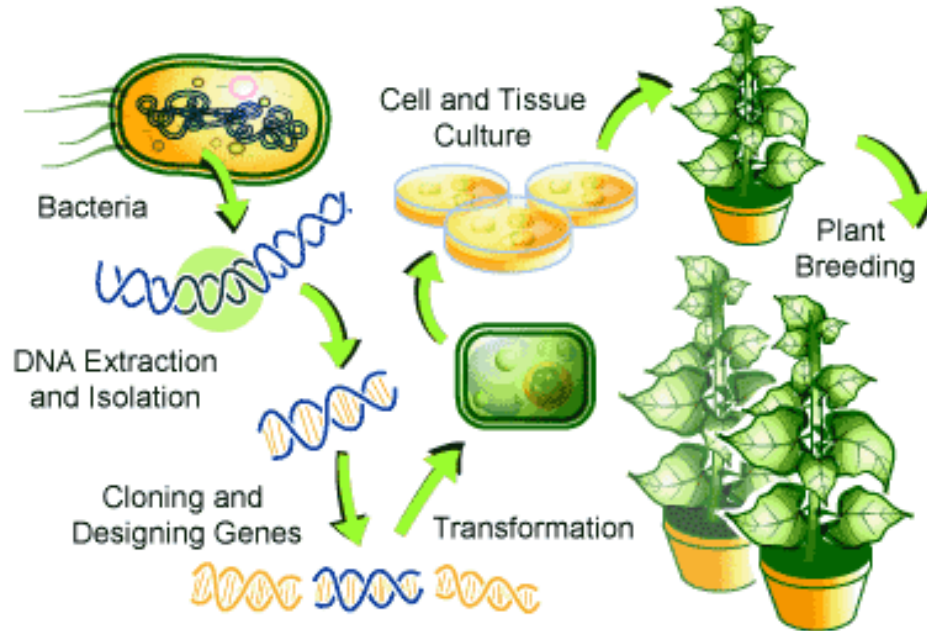
Σχήμα 3.8 Χρήση ρομπότ για συγκομιδή και έλεγχο ποιότητας [30].

**Δορυφορική τεχνολογία και εικόνες:** Οι δορυφορικές εικόνες και τα δεδομένα τηλεπισκόπησης επιτρέπουν στους αγρότες και στις γεωργικές επιχειρήσεις να λαμβάνουν πληροφορίες για την κατάσταση των καλλιεργειών σε μεγάλες εκτάσεις. Η ανάλυση αυτών των δεδομένων διευκολύνει την εκτίμηση των αποδόσεων, την ανίχνευση προβλημάτων, όπως ασθένειες και ξηρασίες, καθώς και την λήψη στρατηγικών αποφάσεων.

**Internet of Things:** Η τεχνολογία IoT έχει φέρει επανάσταση στην γεωργία, μέσω της χρήσης διάφορων διασυνδεδεμένων συσκευών που συλλέγουν και μεταδίδουν δεδομένα από τις καλλιέργειες σε πραγματικό χρόνο. Για παράδειγμα, οι αισθητήρες IoT μπορούν να ενσωματωθούν στα συστήματα άρδευσης, επιτρέποντας την αυτόματη ενεργοποίηση με βάση τις ανάγκες του εδάφους και των φυτών.

**Γενετική μηχανική και βιοτεχνολογία:** Η γενετική μηχανική και η βιοτεχνολογία προσφέρουν επαναστατικές προοπτικές για την ανάπτυξη καλλιεργειών με αντοχή σε ασθένειες, παράσιτα και ακραία καιρικά φαινόμενα. Μέσω της γενετικής τροποποίησης, οι επιστήμονες μπορούν να εισάγουν

συγκεκριμένα γονίδια σε φυτά για να ενισχύσουν τις φυσικές τους άμυνες, να βελτιώσουν την γονιμότητα του εδάφους ή να αυξήσουν την αποδοτικότητα των καλλιεργειών. Ειδικά σε περιοχές με ασταθή κλιματικά φαινόμενα ή σε συνθήκες περιορισμένων πόρων, οι γενετικά τροποποιημένες καλλιέργειες μπορούν να βοηθήσουν στη διασφάλιση της τροφικής ασφάλειας. Η χρήση βιοτεχνολογίας στη γεωργία προάγει την δημιουργία υβριδίων με υψηλότερη αποδοτικότητα και ανθεκτικότητα.



Σχήμα 3.9 Διαδικασία γενετικής τροποποίησης.

Στο σχήμα 3.9 απεικονίζεται η διαδικασία της γενετικής τροποποίησης φυτών μέσω της μοριακής βιολογίας. Πρώτο βήμα είναι η εξαγωγή και απομόνωση του DNA από τα βακτήρια, ακολουθούμενη από την κλωνοποίηση και τον σχεδιασμό των γονιδίων. Στην συνέχεια, το τροποποιημένο DNA εισάγεται σε φυτικά κύτταρα και τα κύτταρα καλλιεργούνται σε κατάλληλες συνθήκες. Τέλος, τα τροποποιημένα φυτά υποβάλλονται σε περισσότερες διασταυρώσεις για βελτίωση μέσω φυτογενετικής επιλογής.

### 3.7 Επίλογος

Αυτό το κεφάλαιο αναφέρθηκε στην η γεωργία, η οποία είναι ένας κρίσιμος τομέας που διαμορφώνει την κοινωνική και οικονομική ζωή των κοινωνιών. Αναλύθηκαν οι προκλήσεις της, τα μέτρα που πρέπει να παρθούν για να μπορεί να αντιμετωπισθεί μέσα από την χρήση καινοτόμων τεχνολογιών και των βιώσιμων πρακτικών, κρίνεται αναγκαία η διατήρηση της τροφικής ασφάλειας. Παράλληλα, οι προσπάθειες αυτές πρέπει να επικεντρώνονται στην μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης, για να εξασφαλιστεί ένα βιώσιμο μέλλον για τις επόμενες γενιές.

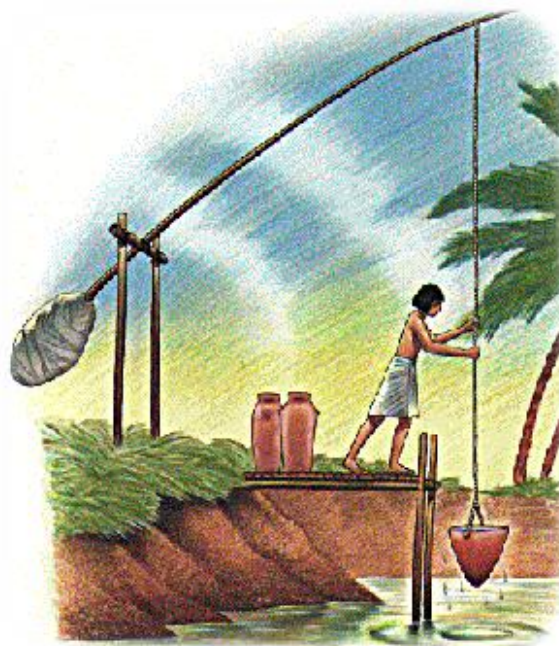
## Κεφάλαιο 4ο: Άρδευση

### 4.1 Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό εξετάζει την εξέλιξη της άρδευσης από την αρχαιότητα έως και σήμερα, αναλύοντας τις διάφορες μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την παροχή νερού στις καλλιέργειες. Παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά της κάθε τεχνικής καθώς και οι προκλήσεις που σχετίζονται με την εφαρμογή τους. Αναλύονται οι λόγοι οι οποίοι επηρεάζουν την επιλογή του κατάλληλου συστήματος άρδευσης.

### 4.2 Ιστορική αναδρομή

Από τα προϊστορικά χρόνια έως την αρχαιότητα, η άρδευση ήταν βασικός παράγοντας στην ανάπτυξη της γεωργίας. Στην Αρχαία Περσία γύρω στο 6000 π.Χ., εφαρμόστηκε για πρώτη φορά η άρδευση για την καλλιέργεια κριθαριού. Μία χιλιετία αργότερο περίπου στο 5000 π.Χ., αναπτύχθηκαν τα πρώτα υπόγεια υδραυλικά δίκτυα, γνωστά ως qanats, τα οποία χρησιμοποιούνται ακόμα έως και σήμερα στην Μέση Ανατολή και την Βόρεια Αφρική. Στην κοιλάδα του Ινδού, το 4500 π.Χ., δημιουργήθηκαν οι πρώτοι γεωργικοί οικισμοί ενώ το 4000 π.Χ. στην κοιλάδα Ζάνα των Άνδεων εμφανίστηκαν τα πρώτα κανάλια άρδευσης στον Νέο Κόσμο. Στον Ινδικό πολιτισμό γύρω στο 3000 π.Χ., δημιουργήθηκαν τεχνητές δεξαμενές αποθήκευσης νερού και εκτεταμένα αρδευτικά κανάλια στην κοιλάδα του Ινδού το 2600 π.Χ. Στην Μεσοποταμία το 2000 π.Χ. εφαρμόστηκε ένα σύστημα συνεχής παροχής νερού μέσω μικρών διαύλων για άρδευση των καλλιεργειών. Στην Αρχαία Αίγυπτο το 1800 π.Χ., ο φαραώ Αμενεμχέτ Γ' αξιοποίησε την φυσική λίμνη της Οασης Φαγιούμ για την αποθήκευση νερού ενώ το 1500 π.Χ. οι Νούβες χρησιμοποίησαν νερόμυλους για την άντληση νερού από τον Νείλο. Στην υποσαχάρια Αφρική γύρω στο 1000 π.Χ. οι οικισμοί της περιοχής του ποταμού Νίγηρα βασιζόντουσαν σε πλημμύρες για την αποθήκευση νερού. Τα qanats διαδόθηκαν στην Ασία, την Μέση Ανατολή και την Βόρεια Αφρική περίπου το 800 π.Χ., βελτιώνοντας σημαντικά τις αρδευτικές δυνατότητες των περιοχών.



Σχήμα 4.1 Ένας εργάτης χρησιμοποιεί μία κανάτα για να ανεβάσει νερό στην Αρχαία Αίγυπτο [31].

Κατά την κλασική και μεσαιωνική εποχή στην Σρι Λάνκα το 300 π.Χ. κατασκευάστηκαν καινοτόμα αρδευτικά έργα με τεχνητές δεξαμενές και υπόγεια κανάλια. Οι Ρωμαίοι το 150 π.Χ. βελτίωσαν τον υδρότροχο που χρησιμοποιούσαν στην Βόρεια Αφρική εξοπλίζοντάς τον με βαλβίδες για μεγαλύτερη απόδοση στην άρδευση. Από τον 12ο αιώνα μ.Χ. στην Σρι Λάνκα επέκτειναν και βελτίωσαν το αρδευτικό σύστημα, το οποίο λειτουργεί μέχρι και σήμερα. Στην Ευρώπη και την Μέση Ανατολή μεταξύ 1500 και 1800 μ.Χ., υιοθετήθηκαν ανεμόμυλοι και μηχανικές αντλίες νερού για άρδευση.

Με την βιομηχανική επανάσταση 1800-1900 μ.Χ. η χρήση των ατμοκίνητων αντλιών και μεταλλικών σωλήνων βελτίωσε σημαντικά την απόδοση των αρδευτικών συστημάτων. Το 1936 κατασκευάστηκε το φράγμα Χούβερ στις ΗΠΑ, ένα από τα πρώτα μεγάλα αρδευτικά έργα του 20ού αιώνα, ενώ το 1970 ολοκληρώθηκε το φράγμα του Ασουάν στην Αίγυπτο, εξασφαλίζοντας σταθερή παροχή νερού και ενέργειας στην χώρα. Την δεκαετία του 1990, αναπτύχθηκε η άρδευση μέσω σταλακτοφόρων σωλήνων, γνωστή ως και σταγδίν άρδευση, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο την σπατάλη του νερού και βελτιώνοντας την απόδοση των καλλιεργειών. Στον 21ο αιώνα, η άρδευση έγινε πιο αποδοτική με την χρήση αισθητήρων, τεχνητής νοημοσύνης και αυτοματοποιημένων συστημάτων, ενώ η ανακύκλωση νερού και η αφαλάτωση συμβάλλουν στην αντιμετώπιση της λειψυδρίας.

### 4.3 Τύποι άρδευσης

Υπάρχουν διάφοροι τύποι άρδευσης, οι οποίοι διαφέρουν ως προς τον τρόπο παροχής νερού στα φυτά. Ο στόχος είναι η ομοιόμορφη κατανομή του νερού, ώστε κάθε φυτό να λαμβάνει την ακριβή ποσότητα που χρειάζεται, αποφεύγοντας τόσο την έλλειψη όσο και την υπερβολική παροχή. Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου άρδευσης εξαρτάται από παράγοντες όπως το είδος της καλλιέργειας, το έδαφος και οι κλιματικές συνθήκες, αλλά και από την παρουσία και τη διαχείριση του υδροφόρου ορίζοντα.

Ο υδροφόρος ορίζοντας, γνωστός και ως ορίζοντας υπόγειων υδάτων ή υδροφορέας, αναφέρεται στο ανώτερο επίπεδο της ζώνης κορεσμού, όπου οι πόροι και τα ρήγματα του εδάφους είναι πλήρως κορεσμένα με νερό. Το νερό αυτό μπορεί να είναι γλυκό, αλατούχο ή υφάλμυρο, ανάλογα με τη γεωγραφική περιοχή και τις τοπικές υδρογεωλογικές συνθήκες. Σε πιο απλούς όρους, ο υδροφόρος ορίζοντας μπορεί να οριστεί ως το βάθος κάτω από το οποίο το έδαφος είναι πλήρως κορεσμένο με νερό.

#### 4.3.1 Επιφανειακή άρδευση

Στην επιφανειακή άρδευση το νερό εφαρμόζεται στην επιφάνεια του αγρού με δύο μεθόδους, είτε στατικά είτε κινούμενο.

Στην πρώτη μέθοδο η επιφάνεια του αγρού πρέπει να είναι πρακτικώς οριζόντια (οριζόντια άρδευση) όπου το νερό συγκρατείται σε λεκάνες άρδευσης. Στην δεύτερη μέθοδο είναι η κεκλιμένη άρδευση, όπου το νερό ρέει σε παράλληλες λωρίδες ή αυλακιών σε εδάφη που έχουν μικρή κλίση. Για την αποτελεσματικότερη εφαρμογή της, απαιτείται καλή ισοπέδωση της έκτασης για να διασφαλιστεί ομοιόμορφη κατανομή του νερού. Η διαμόρφωση των λεκανών, των λωρίδων και των αυλακιών πρέπει να γίνεται προσεκτικά, λαμβάνοντας υπόψιν την σύσταση του εδάφους.

Σε συνεκτικά εδάφη εφόσον η κλίση το επιτρέπει, είναι δυνατή η χρήση μεγαλύτερων αρδευτικών ζωνών ενώ στα ελαφρά εδάφη η υπερβολική έκταση των αρδευτικών ζωνών μπορεί να οδηγήσει σε ανομοιόμορφη άρδευση και μεγάλες απώλειες νερού λόγω βαθιάς διήθησης.

Για μία επιτυχημένη άρδευση πρέπει να ελέγχεται και να ρυθμίζεται η παροχή νερού. Τα στόμια υδροληψίας στα πλαϊνά τοιχώματα της διώρυγας αποτελούν την ιδανική λύση για τον έλεγχο της ροής.

Εναλλακτικά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σιφόνια κυκλικής διατομής, όπου η παροχή εξαρτάται από την διάμετρο και το ύψος φορτίου. Η ρύθμιση της ροής μπορεί να επιτευχθεί μέσω της προσαρμογής του αριθμού των σωλήνων ανά αυλάκι.



Σχήμα 4.2 Παράδειγμα επιφανειακής άρδευσης [28]

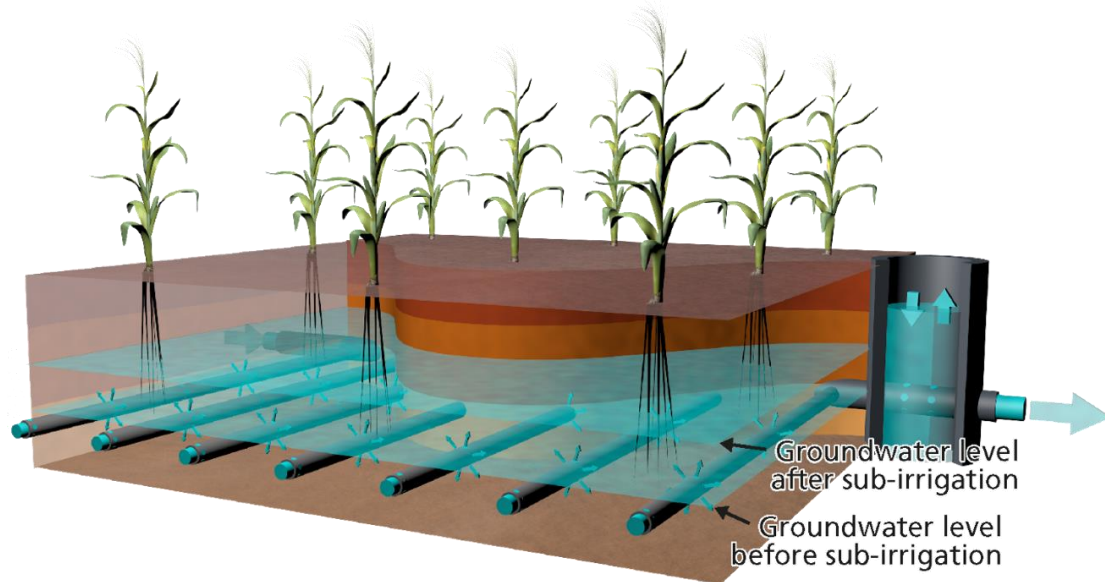
Ωστόσο, η επιφανειακή άρδευση δεν είναι κατάλληλη για όλα τα εδάφη. Σε πολύ υδατοπερατά εδάφη, παρατηρούνται μεγάλες απώλειες λόγω βαθιάς διήθησης με αποτέλεσμα την ρύπανση των υπόγειων υδάτων, ενώ στα αβαθή εδάφη αυξάνεται ο κίνδυνος επιφανειακής απορροής. Παρόμοια προβλήματα εμφανίζονται σε εδάφη με κλίσεις, όπου η δημιουργία αναβαθμίδων αποτελεί μία λύση για κλίσεις έως 6-8%. Όταν σε μια περιοχή υπάρχει μόνιμο πρόβλημα υψηλής υπόγειας στάθμης υδροφόρου ορίζοντα, η άρδευση πρέπει να γίνεται προσεκτικά, χρησιμοποιώντας μικρές δόσεις, για να αποφευχθεί τυχόν ανύψωση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα και περαιτέρω νιτρορύπανση των υπογείων νερών της. Το κόστος ισοπέδωσης του εδάφους είναι σημαντικό καθώς έχει μεγάλο κόστος.

#### 4.3.2 Υπόγεια άρδευση

Η υπόγεια άρδευση χρησιμοποιείται εδώ και πολλά χρόνια σε περιοχές με μεγάλα αποθέματα νερού. Πρόκειται για μια μέθοδο τεχνητής ανύψωσης του υδροφόρου ορίζοντα που επιτρέπει στο έδαφος να υγραίνεται κάτω από το ριζικό σύστημα των φυτών. Τα συστήματα αυτά βρίσκονται σε μόνιμους βοσκοτόπους σε πεδιάδες ή κοιλάδες ποταμών και συνδυάζονται με συστήματα αποστράγγισης. Ένα σύστημα αντλιών, καναλιών ή φραγμάτων, επιτρέπει την αύξηση ή την μείωση της στάθμης του νερού σε ένα δίκτυο από τάφρους και επομένως τον έλεγχο του υδροφόρου ορίζοντα.

Η υπόγεια άρδευση χρησιμοποιείται σε θερμοκήπια. Το νερό παρέχεται από το κάτω μέρος όπου απορροφάτε σταδιακά προς τα πάνω και το περίσσιο νερό συλλέγεται για ανακύκλωση. Ένα διάλυμα νερού και θρεπτικών συστατικών πλημμυρίζει ένα δοχείο ή ρέει μέσα από αυτό σε σύντομο χρονικό διάστημα των 10-20 λεπτών, στην συνέχεια αντλείται πίσω σε μια δεξαμενή συγκράτησης για

επαναχρησιμοποίηση. Η υπόγεια άρδευση στα θερμοκήπια απαιτεί αρκετά καλή διαχείριση και ακριβό εξοπλισμό. Πλεονέκτημα της χρήσης της είναι η διατήρηση του νερού, των θρεπτικών συστατικών και της εξοικονόμηση εργασίας μέσω της μειωμένης συντήρησης μαζί με την αυτοματοποίηση του συστήματος.



Σχήμα 4.3 Παράδειγμα υπόγειας άρδευσης [28].

### 4.3.3 Άρδευση με ψεκασμό (τεχνητή βροχή)

Η άρδευση με τεχνητή βροχή (καταιονισμός) αποτελεί μία μέθοδο κατά την οποία το νερό διασκορπίζεται σε σταγονίδια, προσομοιώνοντας την φυσική βροχή. Σε σύγκριση με τις επιφανειακές μεθόδους άρδευσης, έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να εφαρμοστεί σε ποικίλες εδαφικές και τοπογραφικές συνθήκες, σε εκτάσεις με υψηλή υπόγεια στάθμη υδροφόρου ορίζοντα, σε κεκλιμένα εδάφη ή σε περιοχές με ανώμαλο τοπογραφία.

Για την αποτελεσματικότερη χρήση πρέπει ο ρυθμός εφαρμογής του νερού να είναι ίσος ή μικρότερος από τον ρυθμό που το έδαφος μπορεί να απορροφήσει το νερό, δηλαδή την εκάστοτε στιγμιαία διηθητικότητα. Διαφορετικά, μπορεί να προκληθεί επιφανειακή απορροή, η οποία παρασύρει λιπάσματα και μειώνει την αποτελεσματικότητα της άρδευσης. Η επιλογή των εκτοξευτήρων πρέπει να γίνεται βάσει της σύστασης του εδάφους και των σχετικών τεχνικών πινάκων, ώστε η ένταση καταιονισμού να αντιστοιχεί στην βασική διηθητικότητα του εδάφους, η οποία εκφράζεται συνήθως σε χιλιοστά ύψους νερού ανά ώρα (mm/h). Σε κεκλιμένα εδάφη, η επιφανειακή απορροή εμφανίζεται ταχύτερα, μειώνοντας την απορρόφηση του νερού από το έδαφος γεγονός που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τον σχεδιασμό.

Η σωστή επιλογή και διάταξη των εκτοξευτήρων αποτρέπει απώλειες νερού. Αν χρησιμοποιηθεί εξοπλισμός με ρυθμό εφαρμογής χαμηλότερο από την βασική διηθητικότητα, αποφεύγεται έτσι η επιφανειακή απορροή αλλά αυξάνεται η διάρκεια άρδευσης ενώ παράλληλα αυξάνονται οι απώλειες νερού λόγω της εξάτμισης. Για τον ίδιο λόγο, συνιστάται η αποφυγή άρδευσης κατά τις μεσημεριανές ώρες.

Η διάρκεια της άρδευσης πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη γίνεται ώστε να μειώνονται οι απώλειες. Αν η προκαθορισμένη ποσότητα νερού δεν επιτευχθεί σε μία εφαρμογή η άρδευση μπορεί να επαναλαμβάνεται συχνότερα με μικρότερες δόσεις.

Η σωστή λειτουργία του αρδευτικού εξοπλισμού (σωλήνες, βαλβίδες, ρυθμιστές πίεσης) είναι απαραίτητη για την διασφάλιση της ομοιόμορφης κατανομής του νερού. Επιπλέον, ο άνεμος επηρεάζει σημαντικά την αποτελεσματικότητα της άρδευσης, καθώς παραμορφώνει την κατανομή του νερού στον αγρό. Όταν η ταχύτητα του ανέμου υπερβαίνει τα 4 m/sec (14,4 km/h ή 3 Beaufort), η άρδευση πρέπει να διακόπτεται για να αποφευχθούν μεγάλες απώλειες[47].



Σχήμα 4.4 Παράδειγμα άρδευσης ψεκασμού.

Η άρδευση με τεχνητή βροχή αποτελεί μία ευέλικτη μέθοδο για χρήση σε διαφορετικά είδη εδαφών αρκεί να εφαρμόζεται με σωστό σχεδιασμό και συνεχή παρακολούθηση των αρδευτικών παραμέτρων, ώστε να εξασφαλίζεται η βέλτιστη χρήση των υδατικών πόρων και η αποφυγή περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

#### 4.3.4 Στάγδην άρδευση

Η στάγδην άρδευση γνωστή και ως μικροάρδευση ή τοπική άρδευση, αποτελεί ένα σύστημα το οποίο διανέμει το νερό υπό χαμηλή πίεση μέσω ενός δίκτυο σωλήνων και παρέχει μικρές ποσότητες νερού απευθείας στο έδαφος κοντά στις ρίζες των φυτών. Στην μέθοδο αυτή περιλαμβάνεται η παραδοσιακή στάγδην άρδευση με σταλάκτες, η υπόγεια στάγδην άρδευση (SDI - Subsurface Drip Irrigation) και η άρδευση με μικροψεκασμό.

Η στάγδην άρδευση διαφέρει από τις κλασικές μεθόδους καθώς το νερό διοχετεύεται συγκεκριμένα και όχι σε ολόκληρο τον αγρό. Παρέχει νερό με μικρές ποσότητες της τάξεως των 2-10 λίτρων ανά ώρα, ενώ τα ποτίσματα πραγματοποιούνται συχνότερα. Η εφαρμογή της επικεντρώνεται στο άνω τμήμα του ριζικού συστήματος, ελαχιστοποιώντας τις απώλειες νερού λόγω εξάτμισης, βαθιάς διήθησης ή επιφανειακής απορροής.

Σε σύγκριση με άλλες μεθόδους άρδευσης η στάγδην άρδευση προσαρμόζεται καλύτερα σε εδάφη με έντονες κλίσεις ή ανώμαλη τοπογραφία. Επιτρέπει την προδιάλυση των λιπασμάτων στο νερό, επιτυγχάνοντας δυνατή την ταυτόχρονη εφαρμογή άρδευσης και λίπανσης (υδρολίπανση).

Η μέθοδος αυτή συμβάλλει στην αποτελεσματική χρήση του νερού, λόγω ότι χορηγείται μόνο η απαραίτητη ποσότητα κοντά στις ρίζες των καλλιεργειών, μειώνοντας την σπατάλη. Παράλληλα, επιτρέπει τη σταδιακή και ελεγχόμενη απορρόφηση των λιπασμάτων από τα φυτά, μειώνοντας τις απώλειες και περιορίζοντας τον κίνδυνο νιτρορύπανσης. Επιπλέον, η δυνατότητα αυτοματοποιημένης ρύθμισης των ποσοτήτων νερού καθιστά τη στάγδην άρδευση ιδιαίτερα αποδοτική και εξοικονομεί εργασία.



Σχήμα 4.5 Παράδειγμα άρδευσης με σταγόνες.

Η στάγδην άρδευση δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε καλλιέργειες που σπέρνονται διάσπαρτα, υπάρχουν όμως νεότερες τεχνικές που επιτρέπουν την εφαρμογή της σε γραμμικές καλλιέργειες, με την τοποθέτηση σταλακτοφόρων σωλήνων κατά μήκος των γραμμών σποράς. Η μέθοδος αυτή δεν ευνοεί την παραδοσιακή διασπορά λιπασμάτων σε όλη την επιφάνεια του εδάφους καθώς τα θρεπτικά συστατικά στα ξηρά τμήματα δεν μπορούν να μεταφερθούν στο ριζικό σύστημα των φυτών. Συνεπώς, προτιμάται η υδρολίπανση όπου τα λιπάσματα διαλύονται στο νερό άρδευσης και εφαρμόζονται σταδιακά, επιτρέποντας την συνεχή απορρόφησή τους από τα φυτά καθ' όλη τη διάρκεια της ανάπτυξης.

Η επιλογή των λιπασμάτων είναι καθοριστική για την αποτελεσματική χρήση της. Τα περισσότερα αζωτούχα λιπάσματα, όπως η θειική αμμωνία, η νιτρική αμμωνία και η ουρία είναι υδατοδιαλυτά και κατάλληλα για υδρολίπανση. Ωστόσο, η χρήση θειικής αμμωνίας σε νερό με υψηλή περιεκτικότητα σε ασβέστιο άνω των 70 mg/L μπορεί να προκαλέσει κατακρήμνιση και εμφράξεις στο σύστημα σωληνώσεων.

Για την διασφάλιση της ορθής λειτουργίας της στάγδην άρδευσης, απαιτείται συνεχής έλεγχος του εξοπλισμού και σωστή διαχείριση του συστήματος. Οι αποφράξεις των αγωγών λόγω αλάτων ή μικροσωματιδίων πρέπει να προλαμβάνονται μέσω κατάλληλης συντήρησης και φιλτραρίσματος του νερού. Κατά την εφαρμογή της στάγδην άρδευσης δεν συνιστάται η χρήση ράβδου ελέγχου της υγρασίας καθώς η μέθοδος αυτή υγραίνει μόνο τοπικά το έδαφος κοντά στις ρίζες. Η χρήση της ράβδου κοντά στις ρίζες μπορεί να προκαλέσει προβλήματα.

Η στάγδην άρδευση αποτελεί μία από τις πιο αποδοτικές και περιβαλλοντικά βιώσιμες μεθόδους άρδευσης γιατί επιτρέπει την βέλτιστη χρήση των υδάτινων πόρων, την αποτελεσματική εφαρμογή λιπασμάτων και την μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Ωστόσο, για την επιτυχή εφαρμογή της όπως και όλες οι παραπάνω μέθοδοι απαιτείται προσεκτικός σχεδιασμός, σωστή επιλογή λιπασμάτων και καλή συντήρηση του συστήματος[47].

#### 4.4 Κριτήρια επιλογής συστήματος άρδευσης

Η επιλογή του κατάλληλου συστήματος άρδευσης αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την βέλτιστη αποδοτικότητα των καλλιεργειών και την εξοικονόμηση των φυσικών πόρων. Η διαδικασία αυτή εξαρτάται από έναν συνδυασμό φυσικών και οικονομικών κριτηρίων. Οι φυσικοί παράγοντες περιλαμβάνουν τις ανάγκες των αγρών σε νερό, την ροή του και την δυνατότητα απορρόφησης από το έδαφος. Παράλληλα, οι οικονομικοί παράγοντες, διαμορφώνουν την τελική απόφαση για την επιλογή του κατάλληλου συστήματος. Η ισορροπία μεταξύ αυτών των παραμέτρων είναι απαραίτητη για την μέγιστη και βιώσιμη διαχείριση των υδάτινων πόρων στην αγροτική παραγωγή.

##### 4.4.1 Κλίμα

Το κλίμα διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στον καθορισμό της ποσότητας του νερού που εξατμίζεται από την επιφάνεια του εδάφους καθώς και αυτής που μεταφέρεται στην ατμόσφαιρα μέσω της διαπνοής των φυτών. Στους κλιματικούς παράγοντες, σημαντική σημασία έχουν η ταχύτητα των ανέμων και η θερμοκρασία.



Σχήμα 4.6 Παράδειγμα ξηρού και γόνιμου κλίματος[31].

Συγκεκριμένα η συχνή επικράτηση ανέμων με ταχύτητα άνω των 4 - 5 m/sec καθιστά απαγορευτική την εφαρμογή του συστήματος καταιονισμού, διότι δεν εξασφαλίζεται η ομοιόμορφη άρδευση, με αποτέλεσμα να υπάρχουν περιοχές του εδάφους με περισσευούμενο ή ανεπάρκεια νερού. Η παρουσία υψηλών θερμοκρασιών δυσχεραίνει την εφαρμογή του καταιονισμού λόγω των αυξημένων απωλειών νερού μέσω εξάτμισης. Για τον λόγο αυτό, ακόμη και όταν οι θερμοκρασίες δεν είναι απαγορευτικές, δεν συνιστάται η λειτουργία του δικτύου κατά τις μεσημβρινές ώρες.

Σε αυτές τις περιπτώσεις προτείνεται η επιφανειακή άρδευση, χωρίς να αποκλείεται η άρδευση με σταγόνες ή η χρήση παραλλαγών του καταιονισμού ανάλογα με τις συνθήκες του αγρού. Σε συνθήκες με σοβαρή έλλειψη νερού, προτείνονται επιλογές καλλιεργειών ανθεκτικών στην ξηρασία. Τέλος, σε περιοχές που πλήττονται από παγετούς, ο καταιονισμός μπορεί να λειτουργήσει ως μέσο αντιπαγετικής προστασίας.

### 4.4.2 Έδαφος

Η επιφανειακή άρδευση καθίσταται μη εφαρμόσιμη σε περιοχές με ανώμαλη τοπογραφία και με μεγάλες κλίσεις. Επιπλέον, επιφανειακή άρδευση αποκλείεται σε εδάφη με υψηλή διηθητικότητα μεγαλύτερη από 20 cm/h, καθώς απαιτούνται τα μήκη των αυλακιών πρέπει να είναι μικρά και η πυκνότητά τους μεγάλη, γεγονός που αυξάνει σημαντικά το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης, ενώ παράλληλα εμποδίζει την κυκλοφορία των γεωργικών μηχανημάτων.

Σε αβαθή εδάφη με μεγάλες κλίσεις, η ισοπέδωση αποφεύγεται λόγω του κινδύνου αποκάλυψης άγονων στρωμάτων, κάνοντας αδύνατη την εφαρμογή της επιφανειακής άρδευσης. Επιπλέον, όταν η υπόγεια στάθμη του νερού βρίσκεται σε μικρό βάθος από την επιφάνεια, ο έλεγχος των ποσοτήτων του εφαρμοζόμενου νερού γίνεται δύσκολος, αυξάνοντας τον κίνδυνο ανύψωσης της υπόγεια στάθμης στο βάθος του κύριου ριζοστρώματος των φυτών.

Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει ένα τμήμα υγιούς εδάφους. Το χώμα παρουσιάζει σκούρο χρώμα, ένδειξη υψηλής περιεκτικότητας σε οργανική ύλη, στοιχείο σημαντικό για τη διατήρηση της υγρασίας και τη θρέψη των μικροοργανισμών. Η υφή του εδάφους είναι ψιχιδωτή και σπογγώδης, γεγονός που εξασφαλίζει σωστό αερισμό, επαρκή αποστράγγιση και καλή ανάπτυξη των ριζών. Οι ρίζες στην φωτογραφία εισχωρούν βαθιά και ομοιόμορφα, κάτι που δείχνει απουσία συμπίεσης και ικανοποιητική θρεπτική κατάσταση. Η παρουσία πράσινης πυκνής βλάστησης υποδεικνύει ότι το έδαφος είναι γόνιμο και ικανό να υποστηρίξει υγιή φυτική ανάπτυξη. Όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά συνθέτουν την εικόνα ενός υγιούς και παραγωγικού εδάφους, θεμελιώδους σημασίας για την βιώσιμη γεωργία.



Σχήμα 4.7 Παράδειγμα εδάφους[28].

Ένας ακόμη παράγοντας που εμποδίζει την εφαρμογή της επιφανειακής άρδευσης είναι η αδυναμία πραγματοποίησης των απαραίτητων ισοπεδώσεων κυρίως λόγω έλλειψης των απαραίτητων τεχνικών

μέσων. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η πιο κατάλληλη επιλογή είναι το σύστημα καταιονισμού, το οποίο επιτρέπει την εφαρμογή μικρών αρδευτικών δόσεων.

Εναλλακτικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η άρδευση με σταγόνες ή άλλες παραλλαγές του καταιονισμού, όπως οι μικροεκτοξευτήρες. Στις περιπτώσεις εφαρμογής μεγάλων αρδευτικών δόσεων, άνω των 80 m<sup>3</sup>/στρέμμα, η επιφανειακή άρδευση θεωρείται πιο αποδοτική. Μπορεί να εφαρμοστεί σε όλες τις περιπτώσεις που δεν εμπίπτουν στους παραπάνω περιορισμούς.

#### 4.4.3 Είδος καλλιέργειας

Μια χαρακτηριστική περίπτωση όπου το είδος της καλλιέργειας καθορίζει το σύστημα άρδευσης είναι η καλλιέργεια του ρυζιού, το οποίο υποχρεωτικά απαιτεί την χρήση επιφανειακής άρδευσης συγκεκριμένα με κατάκλιση.

Ορισμένες καλλιέργειες συγκεκριμένα κηπευτικά (π.χ. μαρούλι, ντομάτα), επιβάλλουν την επιφανειακή άρδευση καθώς το φύλλωμά τους δεν πρέπει να βρέχεται κατά την άρδευση λόγω της ευαισθησίας τους σε αρρώστιες. Οι εντατικές κηπευτικές καλλιέργειες, όπως τα λαχανικά που καλλιεργούνται σε σειρές, αρδεύονται κυρίως με τη μέθοδο των αυλακιών.

Η άρδευση των λιβαδιών, των βοσκότοπων, της μηδικής, του τριφυλλιού και συγγενών φυτών πραγματοποιείται συνήθως με το σύστημα επιφανειακής άρδευσης κατά λωρίδες χωρίς να αποκλείεται και η χρήση εκτοξευτήρων υψηλής πίεσης (π.χ. κανόνια). Οι καλλιέργειες καπνού και τεύτων ευνοούνται από την επιφανειακή άρδευση, ενώ το καλαμπόκι, ειδικά όταν καλλιεργείται σε βαριά ή συνήθη εδάφη, αρδεύεται επίσης καλύτερα με επιφανειακή άρδευση. Η τεχνητή βροχή δυσχεραίνει τη μετακίνηση των γραμμών άρδευσης, ιδιαίτερα όταν τα φυτά αποκτούν μεγάλο ύψος[47].



Σχήμα 4.8 Διάφορα είδη καλλιεργειών.

Με την ανάπτυξη υβριδίων καλαμποκιού υψηλής απόδοσης, η πρόσθετη δαπάνη για σταθερές πτέρυγες άρδευσης καθίσταται δικαιολογημένη. Η χρήση υπερυψωμένων εκτοξευτήρων στερεωμένων σε ειδικά

στηρίγματα, συμβάλλει στην αντιμετώπιση του προβλήματος μετακίνησης των πτερύγων άρδευσης ιδιαίτερα για φυτά που ξεπερνούν τα 2,50 μέτρα.

Τα οπωροφόρα δέντρα μπορούν να αρδεύονται με όλα τα συστήματα άρδευσης εκτός αν υπάρχουν παράγοντες που επιβάλλουν την επιλογή συγκεκριμένου συστήματος. Όταν εφαρμόζεται επιφανειακή άρδευση, επικρατεί η μέθοδος κατά λεκάνη ενώ στην περίπτωση του καταιονισμού, η άρδευση μπορεί να πραγματοποιείται είτε κάτω είτε πάνω από την κόμη των δέντρων. Η άρδευση με σταγόνες είναι δυνατή για όλα τα οπωροφόρα, αρκεί το νερό να είναι καλής ποιότητας καθώς η παρουσία αλάτων χωρίς επαρκή απόπλυση ενδέχεται να οδηγήσει σε αλάτωση του εδάφους.

Στις καλλιέργειες θερμοκηπίου μπορούν να εφαρμοστούν όλα τα συστήματα άρδευσης, με την αυτοματοποιημένη άρδευση με σταγόνες να κερδίζει ολοένα και μεγαλύτερο έδαφος.

### 4.4.4 Διαθεσιμότητα νερού

Όταν η διαθέσιμη ποσότητα νερού είναι περιορισμένη, το σύστημα καταιονισμού αποτελεί την καλύτερη επιλογή διότι επιτρέπει την ομοιόμορφη κατανομή του νερού στο χωράφι. Σε περιπτώσεις εξαιρετικά μικρών διαθέσιμων ποσοτήτων νερού, η άρδευση με σταγόνες είναι η καλύτερη λύση. Παράλληλα, η επιφανειακή άρδευση απαιτεί μεγαλύτερες παροχές νερού λόγω των αυξημένων απωλειών από την βαθιά διήθηση με αποτέλεσμα να μην προσφέρει την ίδια προσαρμοστικότητα.

Εκτός από την ποσότητα του νερού σημαντικό ρόλο στην επιλογή είναι η ποιότητα του νερού. Όταν το νερό είναι ψυχρό και οι καλλιέργειες εμφανίζουν ευπάθεια σε χαμηλή θερμοκρασία ή όταν περιέχει άλατα που προκαλούν εγκαύματα στο φύλλωμα τότε το σύστημα καταιονισμού πρέπει να αποφεύγεται. Στις περιπτώσεις αυτές προτιμάται η επιφανειακή άρδευση. Αν είναι εφικτό συνιστάται η προθέρμανση του νερού σε υπαίθριες δεξαμενές ώστε να αποκτήσει θερμοκρασία κοντά στους 25°C.

Για την άρδευση με αλατούχο νερό κατάλληλη μέθοδος είναι η άρδευση με λεκάνες καθώς επιτρέπει αποτελεσματική απόπλυση των αλάτων. Δεύτερη σε προτίμηση είναι η άρδευση κατά λωρίδες ενώ ο καταιονισμός προσφέρει ικανοποιητικά αποτελέσματα σε καλλιέργειες των οποίων το φύλλωμα είναι ανθεκτικό στα άλατα. Η ανεπαρκής άρδευση πρέπει να αποφεύγεται διότι μπορεί να οδηγήσει στην συγκέντρωση αλάτων στην ρίζα των φυτών.

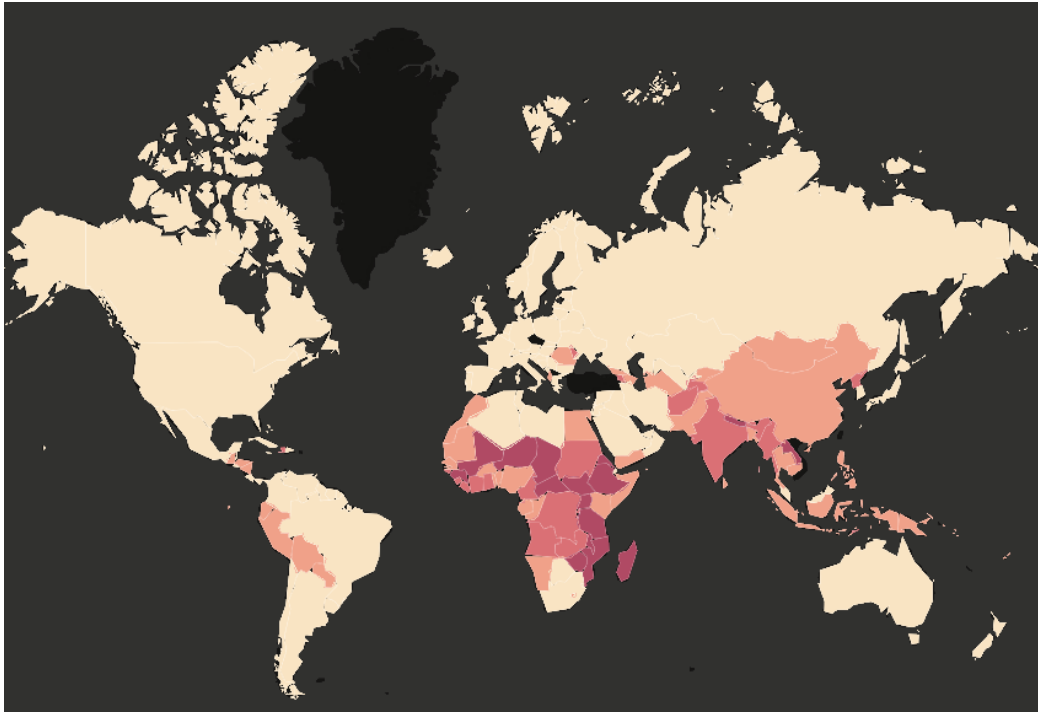
Η άρδευση με σταγόνες απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή σε συνθήκες αλατούχου νερού, καθώς δεν πραγματοποιείται συστηματική απόπλυση των εδαφών. Σε περιοχές με ανεπαρκείς βροχοπτώσεις, ο κίνδυνος αλάτωσης είναι ιδιαίτερα αυξημένος ενώ η αποκατάσταση του προβλήματος απαιτεί μεγάλες ποσότητες νερού, γεγονός που συνεπάγεται στην ανάγκη νέου αρδευτικού δικτύου. Η χρήση αλατούχου νερού πρέπει να συνοδεύεται από συστηματική απόπλυση των εδαφών. Τα αλατούχα νερά προκαλούν προβλήματα φράξεων στους σταλακτήρες του συστήματος με σταγόνες λόγω καθίζησης των αλάτων στην έξοδο του νερού. Το πρόβλημα αυτό είναι μικρότερο στα ακροφύσια των εκτοξευτήρων του συστήματος καταιονισμού καθιστώντας το μια πιο ανθεκτική επιλογή σε τέτοιες συνθήκες.

### 4.4.5 Εργατικό δυναμικό

Η έλλειψη εργατικού δυναμικού σε μια περιοχή ευνοεί την εφαρμογή συστημάτων καταιονισμού και άρδευσης με σταγόνες επειδή απαιτούν λιγότερη ανθρώπινη παρέμβαση. Στο σύστημα καταιονισμού ο αγρότης επεμβαίνει μόνο για την μετακίνηση της γραμμής άρδευσης, εφόσον το δίκτυο είναι συλλογικό. Στο χρονικό διάστημα παραμονής της γραμμής στην ίδια θέση ο αγρότης μπορεί να ασχολείται με άλλες γεωργικές εργασίες. Στις περιπτώσεις μόνιμου δικτύου καταιονισμού η απασχόληση του γεωργού περιορίζεται στο να θέσει σε λειτουργία το δίκτυο και μετά το τέλος της άρδευσης να την διακόψει.

Αντίστοιχα στην άρδευση με σταγόνες αφορά την έναρξη, την διακοπή του συστήματος και τον καθαρισμό των φίλτρων από στέρεες φερτές ύλες, με συστηματική εποπτεία της καλής λειτουργίας των σταλακτήρων.

Όταν υπάρχει διαθέσιμο εργατικό δυναμικό η επιφανειακή άρδευση αποτελεί την οικονομικότερη λύση. Σε περιοχές με ανεπτυγμένο τεχνικό δυναμικό η εγκατάσταση δικτύων καταιονισμού ή άρδευσης με σταγόνες είναι προτιμότερη υπάρχει δυνατότητα επιτόπου επισκευής των βλαβών. Αντίθετα, σε περιοχές με ελλιπή τεχνική υποστήριξη, η επιφανειακή άρδευση παραμένει η πιο ασφαλής επιλογή λόγω της πατροπαράδοτης εμπειρίας στη χρήση της.



Σχήμα 4.9 Στατιστικά εργατικού δυναμικού στον τομέα γεωργίας [46].

Επιπλέον, το επίπεδο ανάπτυξης των αγροτών επηρεάζει την αποδοχή και επιτυχή εφαρμογή των νεότερων συστημάτων άρδευσης. Σε ανεπτυγμένες αγροτικές κοινότητες η συνεργασία για τη δημιουργία συλλογικών δικτύων δημιουργεί οικονομικά βιώσιμη την εφαρμογή αυτών των συστημάτων. Αντίθετα σε υπανάπτυκτες περιοχές οι προσπάθειες για εγκαταστάσεις σύγχρονων και αυτοματοποιημένων συστημάτων άρδευσης έχουν αποτύχει καταλήγοντας σε οικονομικές απώλειες και αδυναμία αξιοποίησης των έργων.

Για την αποφυγή αυτών των προβλημάτων είναι απαραίτητη η εκπαίδευση του τοπικού πληθυσμού στην διοίκηση, την λειτουργία και την συντήρηση των συστημάτων άρδευσης και εγκαταστάσεων.

#### 4.5 Επίλογος

Στο παρόν κεφάλαιο αναλύθηκε η πορεία της άρδευσης από τις πρώτες τεχνικές έως τα σύγχρονα αυτοματοποιημένα συστήματα. Η αποτελεσματική διαχείριση των υδάτινων πόρων αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την βιωσιμότητα της γεωργίας και την προστασία του περιβάλλοντος. Παρόλο που οι νέες τεχνολογίες συμβάλλουν στην μείωση της σπατάλης του νερού εξακολουθούν να υπάρχουν προκλήσεις και η ανάγκη της τεχνικής εκπαίδευσης. Η προσαρμογή των μεθόδων άρδευσης στις εκάστοτε τοπικές συνθήκες και η ορθολογική χρήση του νερού αποτελούν βασικές προϋποθέσεις για την διασφάλιση της αειφόρου ανάπτυξης της γεωργίας.

## Κεφάλαιο 5ο: Υλοποίηση συστήματος

### 5.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η εφαρμογή του αυτόματου συστήματος ποτίσματος, το οποίο σχεδιάστηκε με βάση τις ανάγκες για μία πιο αποδοτική διαχείριση του νερού και την αξιοποίηση των δυνατοτήτων που προσφέρει το IoT. Η υλοποίηση βασίστηκε για προσωπική χρήση και επιλέχθηκαν εξαρτήματα τα οποία είναι οικονομικά, εύκολα στην χρήση και ευρέως διαθέσιμα. Παρουσιάζονται αναλυτικά τα βασικά μέρη του συστήματος όπως οι μικροελεγκτές, οι αισθητήρες και τα modules επικοινωνίας, ενώ γίνεται αναφορά στην σύνδεση, στον τρόπο ποτίσματος και στην λειτουργικότητα καθενός από αυτά.

### 5.2 Περιγραφή και ανάλυση λειτουργιών συστήματος

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός αυτόματου συστήματος άρδευσης το οποίο βασίζεται στον μικροελεγκτή Arduino και ελέγχει την λειτουργία μίας ηλεκτροβάνας για την διαχείριση παροχής νερού σε μία καλλιέργεια ή γλάστρα. Το σύστημα θα δίνει την δυνατότητα αυτόματης ενεργοποίησης και απενεργοποίησης της άρδευσης σύμφωνα με χρονοπρόγραμμα που θα ορίζεται από τον χρήστη.

Η ρύθμιση του προγράμματος ποτίσματος (ημέρα, ώρα και διάρκεια λειτουργίας) θα μπορεί να πραγματοποιείται τοπικά ή απομακρυσμένα μέσω του WiFi ESP826 module. Οι μετρήσεις θα αποθηκεύονται σε ένα αρχείο κειμένου (σε μορφή .txt). Το σύστημα θα ελέγχει συστηματικά το αρχείο και θα εκτελεί αυτόματα το πρόγραμμα άρδευσης σύμφωνα με τις καταχωρημένες τιμές. Η αποθήκευση σε SD κάρτα επιτρέπει την εύκολη τροποποίηση του χρονοδιαγράμματος από τον χρήστη και την καταγραφή αρχείου συμβάντων εφόσον αυτό ζητηθεί.

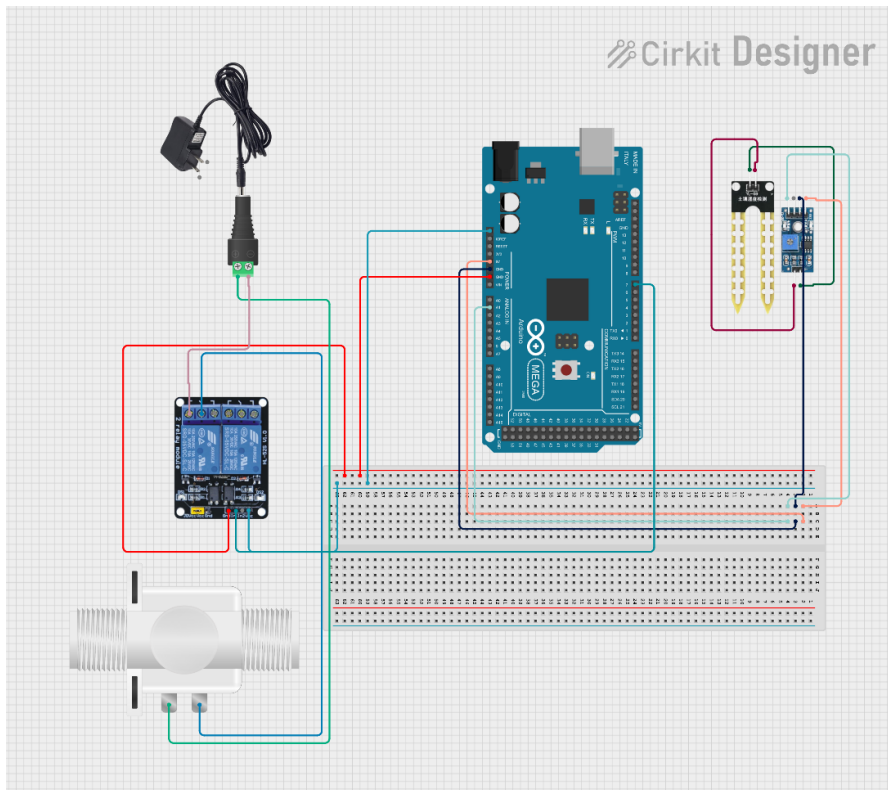
Ο έλεγχος της ηλεκτροβάνας θα γίνεται μέσω ενός ρελέ διπλών καναλιών, το οποίο ενεργοποιείται για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα βάσει των ρυθμίσεων μέσα στον κώδικα. Η ηλεκτροβάνα είναι υπεύθυνη για το άνοιγμα και κλείσιμο του ποτίσματος της καλλιέργειας, τον έλεγχο της λειτουργίας της και αποτελεί το κύριο στοιχείο αυτοματισμού του συστήματος.

Η επιλογή της πλακέτας Arduino Mega πραγματοποιήθηκε λόγω της αυξημένης χωρητικότητας σε εισόδους/εξόδους και της δυνατότητας υποστήριξης πολλαπλών περιφερειακών. Συγκεκριμένα, η μεγάλη χωρητικότητα σε ψηφιακές και αναλογικές εισόδους/εξόδους (I/O pins), σε συνδυασμό με την υποστήριξη πολλαπλών πρωτοκόλλων επικοινωνίας, επιτρέπει την σύνδεση και την διαχείριση πολλών περιφερειακών συσκευών ταυτόχρονα. Αυτά τα χαρακτηριστικά καθιστούν την πλακέτα κατάλληλη για εφαρμογές που απαιτούν ευελιξία και δυνατότητα μελλοντικής επέκτασης.

Το σύστημα σχεδιάστηκε με τρόπο ώστε να είναι επεκτάσιμο και προσαρμόσιμο σε μελλοντικές επεκτάσεις, επιτρέποντας την ενσωμάτωση για επιπλέον γλαστράκια ή μικρών καλλιεργειών άρδευσης, με περισσότερους αισθητήρες όπως θερμοκρασίας, βροχόπτωσης ή υγρασίας αέρα αλλά και μονάδων ελέγχου για περαιτέρω αυτοματοποίηση και βελτιστοποίηση της λειτουργίας του. Η χρήση του Arduino Mega ως βάση εξασφαλίζει την σταθερότητα και την επεκτασιμότητα του συστήματος, χωρίς την ανάγκη αντικατάστασης της κύριας πλατφόρμας σε μελλοντικές αναβαθμίσεις.

### 5.3 Διάταξη συστήματος

Στο σχήμα 5.1 παρουσιάζεται η διάταξη του συστήματος μέσω σχεδίασης Cirkuit Designer.



Σχήμα 5.1 Σχεδιάγραμμα συστήματος.

### 5.4 Ανάλυση εξαρτημάτων

Παρακάτω παρουσιάζετε αναλυτικά ο τρόπος διασύνδεσης των στοιχείων του συστήματος πάνω στην πλακέτα Arduino.

#### 5.4.1 Arduino ATmega2560

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία, χρησιμοποιήθηκε το Arduino ATmega2560 ως βασική πλατφόρμα ανάπτυξης του συστήματος άρδευσης. Το συγκεκριμένο μοντέλο επιλέχθηκε με βάση τις τεχνικές προδιαγραφές του, τα οποία το κάνουν εξαιρετικά κατάλληλο για απαιτητικές εφαρμογές που χρειάζονται χρήση τεχνολογιών του Διαδικτύου των Πραγμάτων, όπου η σύνδεση με πολλαπλά εξαρτήματα και με αισθητήρες είναι απαραίτητη.



Σχήμα 5.2 Arduino ATmega2560.

Ένα βασικό πλεονέκτημα του Arduino ATmega2560, είναι η υποστήριξη πολλαπλών ταυτόχρονων πρωτοκόλλων επικοινωνίας (UART, SPI, I2C), γεγονός που διευκολύνει την ενσωμάτωση διαφορετικών μονάδων επικοινωνίας, όπως το WiFi module ESP8266, χωρίς την ανάγκη εξωτερικών μετατροπέων ή πολυπλεξίας.

### 5.4.2 Αισθητήρας υγρασίας

Ο αισθητήρας υγρασίας συνδέθηκε στα pin A0, 5V, GND του Arduino Mega μέσω ενός breadboard και με τα αντίστοιχα pin του αισθητήρα για την παροχή τάσης και την μέτρηση της υγρασίας του εδάφους. Η λειτουργία του αισθητήρα βασίζεται στην ανίχνευση της αλλαγής στους αισθητήρες του μέσω του εδάφους. Πρόκειται για έναν αισθητήρα υγρασίας εδάφους με αντίσταση, ο οποίος διαθέτει δύο μεταλλικές δαγκάνες που μπαίνουν στο έδαφος. Η αγωγιμότητα εξαρτάται από την περιεκτικότητα του εδάφους σε υγρασία, όσο πιο υγρό είναι το χώμα τόσο μεγαλύτερη είναι η αγωγιμότητα και τόσο υψηλότερη η έξοδος του αναλογικού σήματος.

Οι διαστάσεις του είναι πλάτος 2 εκατοστά και ύψος 6 εκατοστά. Το μέγιστο βάθος που μπορεί να μπει είναι περίπου από 3 έως 4.5 εκατοστά (έως το μαύρο τμήμα της πλακέτας). Δεν συνιστάται η πλήρης εισαγωγή της πλακέτας στο έδαφος καθώς ενδέχεται να προκαλέσει φθορά στα ηλεκτρονικά τμήματα.

Η έξοδος του αισθητήρα είναι αναλογική και επιστρέφει τιμές μεταξύ 0 και 1023 μέσω της εντολής analogRead του Arduino. Τιμές κοντά στο 0 δείχνουν πολύ ξηρό έδαφος, τιμές μεταξύ 300 και 700 αντιστοιχούν σε μέτρια υγρασία, ενώ τιμές πάνω από 700 δηλώνουν ότι το έδαφος είναι αρκετά υγρό ή κορεσμένο.

Ο αισθητήρας χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της υγρασίας του εδάφους και την ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση του συστήματος ποτίσματος ανάλογα με την υγρασία του εδάφους, προσφέροντας με αυτόν τον τρόπο ένα ολοκληρωμένο αυτοματοποιημένο σύστημα ποτίσματος. Σε περίπτωση επέκτασης του συστήματος, ο αισθητήρας υγρασίας μπορεί να ενσωματωθεί με άλλους αισθητήρες για την παρακολούθηση παραμέτρων, βελτιώνοντας την αποδοτικότητα και την ακριβή λειτουργία του συστήματος.



Σχήμα 5.3 Αισθητήρας υγρασίας εδάφους.

Η υγρασία σε ποσοστό υπολογίζεται με τη χρήση του παρακάτω τύπου:

$$\text{Αναλογική Έξοδος} = \frac{\text{ADCValue}}{1024}$$

$$\text{Υγρασία σε ποσοστό} = 100 - (\text{Αναλογική Έξοδος} \times 100)$$

(5.1) Μαθηματική σχέση για την μετατροπή υγρασίας.

Αυτός ο υπολογισμός επιτρέπει την ακριβή μέτρηση της υγρασίας του εδάφους, η οποία αποτυπώνεται σε ποσοστό και διευκολύνει την παρακολούθηση και την διαχείριση των συνθηκών υγρασίας για αγροτικές και κηπουρικές εφαρμογές.

### 5.4.3 Ηλεκτροβάννα

Πλαστικό σώμα με μεταλλικό στήριγμα και αρσενική είσοδο/έξοδο. Οι διαστάσεις της είναι μήκος 9 εκατοστά και πλάτος 4.5 εκατοστά. Η διάμετρος του σπειρώματος είναι  $\Phi 20$  και χρησιμοποιήθηκε με μαύρο σωλήνα άρδευσης 1/2". Η συγκεκριμένη ηλεκτροβάννα μπορεί να ανταπεξέλθει έως και 8 bar.

Η ηλεκτροβάννα 12V DC συνδέθηκε με την βοήθεια ενός αντάπτορα σε ένα διπλό κανάλι ρελέ και με ένα τροφοδοτικό 12V AC-DC για τον έλεγχο του συστήματος ποτίσματος. Η ηλεκτροβάννα είναι υπεύθυνη για την αποκοπή ή την ενεργοποίηση της ροής του νερού στο σύστημα ποτίσματος και λειτουργεί με τροφοδοσία 12V DC.



Σχήμα 5.4 Ηλεκτροβάννα 12V DC.

Η χρήση του ρελέ επιτρέπει στο Arduino να ελέγξει την ηλεκτροβάννα, ενεργοποιώντας ή απενεργοποιώντας την ροή του νερού ανάλογα με την υγρασία του εδάφους ή άλλες ρυθμίσεις του χρήστη. Η ηλεκτροβάννα εξασφαλίζει αξιόπιστη και αποτελεσματική λειτουργία του συστήματος, ενώ το ρελέ προστατεύει το Arduino από υπερφορτώσεις και διασφαλίζει την ασφαλή ενεργοποίηση της βαλβίδας.

### 5.4.4 Relay Module

Το Relay 2 Channel Module συνδέθηκε στο digital pin 7, 5V, GND του Arduino Mega 2560 μέσω ενός breadboard και χρησιμοποιείται για την ασφαλή εναλλαγή υψηλών τάσεων στο σύστημα ποτίσματος. Το module διαθέτει δύο ξεχωριστά ρελέ, τα οποία επιτρέπουν την διαχείριση δύο ανεξάρτητων κυκλωμάτων, καθιστώντας το κατάλληλο για την ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση πολλαπλών συσκευών, όπως η ηλεκτροβάννα και άλλες συσκευές στο σύστημα. Κάθε ρελέ του module μπορεί να ελέγχει μια συσκευή 12V DC (όπως η ηλεκτροβάννα), προστατεύοντας το Arduino από υπερφόρτωσή και διασφαλίζοντας την σωστή λειτουργία του συστήματος. Η σύνδεση του module στο Arduino γίνεται μέσω των pin 7 (για το πρώτο ρελέ) και 8 (για το δεύτερο ρελέ). Το Relay 2 Channel Module παρέχει

επίσης την δυνατότητα απομόνωσης των κυκλωμάτων, εξασφαλίζοντας μεγαλύτερη ασφάλεια κατά την λειτουργία του συστήματος.



Σχήμα 5.5 Relay 2 Channel Module.

### 5.4.5 SD Card

Ο αναγνώστης καρτών microSD συνδέεται στις θύρες 50, 51, 52 και 53 του Arduino Mega, που αντιστοιχούν στα πρότυπα MISO, MOSI, SCK και CS αντίστοιχα και στις γραμμές 5V και GND για την τροφοδοσία του. Ο σκοπός της ενσωμάτωσής του στο σύστημα είναι η αποθήκευση και ανάγνωση των δεδομένων που αφορούν το πρόγραμμα ποτίσματος.

Για την υλοποίηση της λειτουργίας αυτής χρησιμοποιείται η βιβλιοθήκη SD.h η οποία που παρέχει τις απαραίτητες εντολές για την επικοινωνία με την κάρτα μνήμης. Ο συγκεκριμένος αποθηκευτικός μηχανισμός μπορεί να αξιοποιηθεί για καταγραφή (data logging) δεδομένων που συλλέγονται από επιπλέον αισθητήρες, όπως για παράδειγμα μέτρησης θερμοκρασίας ή σχετικής υγρασίας. Η δυνατότητα αυτή θα προσφέρει στον χρήστη πολύτιμες πληροφορίες, συμβάλλοντας στη βελτιστοποίηση της άρδευσης και στη συνολική αποδοτικότητα του συστήματος.



Σχήμα 5.6 Αντάπτορας MicroSD με SD Card και Αναγνώστης καρτών.

Η κάρτα microSD των 32GB έρχεται σε μορφή exFAT και πρέπει να γίνει μετατροπή σε σύστημα αρχείων FAT32 καθώς αυτό είναι το συμβατό format για να μπορεί να το αναγνωρίζει η βιβλιοθήκη SD του Arduino. Η μορφοποίηση αυτή πραγματοποιήθηκε μέσω ενός προγράμματος του υπολογιστή χρησιμοποιώντας την ενσωματωμένη λειτουργία "Format", όπου επιλέχθηκε το FAT32 ως τύπος αρχείου. Μετά την μορφοποίηση, η κάρτα ήταν έτοιμη για χρήση στο σύστημα.

### 5.4.6 WIFI ESP8266

Το WiFi ESP8266 Serial LWIP AP+STA Module συνδέθηκε στο Arduino Mega 2560 μέσω των σειριακών pins TX και RX και επιτρέπει την απομακρυσμένη παρακολούθηση και έλεγχο του συστήματος ποτίσματος μέσω σύνδεσης WiFi. Το ESP8266 λειτουργεί τόσο ως Access Point (AP) όσο και ως Station (STA), επιτρέποντας στο σύστημα να συνδεθεί σε τοπικά δίκτυα WiFi ή να δημιουργήσει το δικό του δίκτυο για επικοινωνία με άλλες συσκευές. Μέσω αυτής της σύνδεσης, ο χρήστης μπορεί να ελέγχει το σύστημα ποτίσματος από οποιαδήποτε απομακρυσμένη τοποθεσία, παρέχοντας δυνατότητες όπως η παρακολούθηση της υγρασίας του εδάφους, η αλλαγή των ρυθμίσεων ποτίσματος και η αποστολή δεδομένων για καταγραφή ή ανάλυση. Η βιβλιοθήκη "ESP8266WiFi.h" χρησιμοποιείται για την εύκολη ενσωμάτωση του ESP8266 στο Arduino και την επικοινωνία μέσω WiFi, καθιστώντας τον ιδανικό για εφαρμογές IoT και αυτοματοποίηση.



Σχήμα 5.7 WiFi ESP8266.

### 5.4.7 Τροφοδοτικό 12V AC-DC

Για την παροχή της απαιτούμενης ηλεκτρικής ισχύος στο σύστημα, χρησιμοποιήθηκε τροφοδοτικό 12V AC-DC. Το τροφοδοτικό αυτό μετατρέπει την εναλλασσόμενη τάση του δικτύου (AC) σε σταθερή τάση συνεχούς ρεύματος (DC) 12V, η οποία είναι απαραίτητη για την σωστή λειτουργία της ηλεκτροβάνας. Η παροχή σταθερής τάσης εξασφαλίζει την σταθερότητα και αξιοπιστία του συστήματος, ενώ η διαθέσιμη ένταση ρεύματος (συνήθως  $\geq 1A$ ) καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες του εξαρτήματος. Το τροφοδοτικό διαθέτει κυκλώματα προστασίας από υπερφόρτωση, υπερθέρμανση και βραχυκύκλωμα, συμβάλλοντας στην ασφάλεια και μακροχρόνια ανθεκτικότητα του συστήματος. Η χρήση εξωτερικού τροφοδοτικού καθιστά το σύστημα ανεξάρτητο από την θύρα USB του υπολογιστή, γεγονός που είναι ιδιαίτερα σημαντικό για αυτόνομες και μόνιμες εγκαταστάσεις του αυτοματοποιημένου ποτίσματος. Χρησιμοποιήθηκε αντάπτορας DC Jack σε κλέμα 2 ακροδεκτών για την σύνδεση του ρελέ και της ηλεκτροβάνας μέσω καλώδιο χαλκού.



Σχήμα 5.8 Τροφοδοτικό 12V AC-DC και ο αντάπτορας DC Jack με κλέμα 2 ακροδεκτών.

### 5.4.8 Λοιπά εξαρτήματα

Τα εξαρτήματα του συστήματος συνδέονται μεταξύ τους χρησιμοποιώντας Jumper Wires διαφόρων μεγεθών για τις συνδέσεις σήματος και επικοινωνίας, ενώ το καλώδιο σιλκόνης χαλκού 1 χιλιοστού χρησιμοποιήθηκε κυρίως για την τροφοδοσία της υψηλής τάσης, στην ηλεκτροβάνα 12V DC και στο ρελέ. Ο αντάπτορας χρησιμοποιήθηκε για την σύνδεση του τροφοδοτικού μαζί με τα καλώδια χαλκού. Για την σύνδεση του καλωδίου με την ηλεκτροβάνα χρειαστήκαν κίτρινοι ακροδέκτες οι οποίοι έπρεπε να πρεσαριστούν με ειδικό εργαλείο ώστε να ακουμπάει το καλώδιο χαλκού πάνω στις άκρες της ηλεκτροβάνας. Το breadboard χρησιμεύει ως βάση για τη προσωρινή σύνδεση των εξαρτημάτων, διευκολύνοντας την ανάπτυξη του πρωτοτύπου χωρίς την ανάγκη συγκόλλησης. Αυτή η διαμόρφωση εξασφαλίζει την ασφαλή και εύκολη διασύνδεση των διαφόρων εξαρτημάτων του συστήματος, επιτρέποντας τη σωστή λειτουργία και τον έλεγχο του ποτιστικού συστήματος μέσω του Arduino Mega 2560.



Σχήμα 5.9 Jumper wires, ακροδέκτης και breadboard.

### 5.5 Χώμα και επιλογή τρόπου ποτίσματος

Το έδαφος το οποίο χρησιμοποιήθηκε είναι ένα δοχείο 400 γραμμαρίων φυτοχώματος γενικής χρήσης για την εφαρμογή του αυτόματου συστήματος άρδευσης. Η μέθοδος άρδευσης που επιλέχθηκε είναι η επιφανειακή άρδευση με την χρήση ενός σωλήνα με διάμετρο 1/2", ο οποίος συνδέεται απευθείας με την βρύση του μπαλκονιού ενός οικιακού σπιτιού όπου η πίεση του νερού θα κυμαίνεται μεταξύ 3 και 4 bar. Η παροχή του νερού θα ελέγχεται μέσω της ηλεκτροβάνας, η οποία θα ενεργοποιείται και θα απενεργοποιείται αυτόματα βάση των μετρήσεων υγρασίας που θα διαβάζει από τον αισθητήρα υγρασίας. Η ηλεκτροβάνα θα παραμένει ανοιχτή για το χρονικό διάστημα αναλόγως με τις ενδείξεις του αισθητήρα ώστε να μπορεί να παρέχει την ποσότητα νερού που απαιτείται για την επίτευξη της επιθυμητής υγρασίας στο έδαφος. Οι τιμές της υγρασίας καταγράφηκαν χειροκίνητα με την διαδικασία προσθήκης νερού ανά 10 χιλιοστό λίτρα (millilitre - ml) μέσα στο έδαφος. Οι μετρήσεις αυτές παρουσιάζονται στον πίνακα 5.2.

Οι συγκεκριμένες τιμές είναι ενδεικτικές και διαφέρουν ανάλογα με τα γραμμάρια του εδάφους που θα πρέπει να ποτίζει καθώς και με το χώμα της καλλιέργειας (τύρφη, κομπόστ, άμμο) και τα συστατικά του εδάφους (λιπάσματα, χημικά, κλπ.).

Για τον λόγο αυτό, η ποσότητα νερού που πρέπει να χορηγηθεί σε κάθε διαφορετικό σύστημα ποτίσματος θα πρέπει να προσαρμόζεται με βάση τις φυσικοχημικές ιδιότητες του συγκεκριμένου εδάφους.

Ένδειξη υγρασίας (%)	Νερό (ml)
0% (τελείως στεγνό)	0 ml
10%	40 ml
20%	80 ml
30%	120 ml
40%	160 ml
50%	200 ml
60%	240 ml
70%	280 ml
80%	320 ml
90%	360 ml
100%(κορεσμένο χώμα)	400 ml

Πίνακας 5.1 Πίνακας τιμών για τις ποσότητες νερού.

Η ποσότητα του νερού που απαιτείται για την αύξηση της υγρασίας του εδάφους από μια τρέχουσα τιμή σε μια επιθυμητή μπορεί να υπολογιστεί με την παρακάτω εξίσωση.

$$\text{Νερό (ml)} = \left( \frac{\% \text{Επιθυμητής} - \% \text{Τρέχουσας Υγρασίας}}{100} \right) \times \text{Μέγιστη Ικανότητα Νερού (ml)}$$

(5.2) Εξίσωση για τα ml.

Η εξίσωση βασίζεται στην υπόθεση ότι η μέγιστη ικανότητα συγκράτησης νερού του εδάφους ισούται με τον όγκο νερού που αντιστοιχεί σε ένα πλήρες κορεσμένο έδαφος. Με τον τρόπο αυτό, η διαφορά μεταξύ της επιθυμητής και της τρέχουσας υγρασίας εκφράζεται ως ποσοστό του μέγιστου όγκου νερού που μπορεί να συγκρατηθεί. Το αποτέλεσμα προσδιορίζει με ακρίβεια την ποσότητα νερού που πρέπει να δοθεί ώστε να φτάσει στην επιθυμητή υγρασία.

Ένα παράδειγμα μίας περίπτωση όπου η τρέχουσα υγρασία είναι 30% και η επιθυμητή είναι 70%, τότε για 400 g χώμα απαιτείται προσθήκη 160 ml νερού. Η εξίσωση στον πίνακα 5.3 επιτρέπει τον υπολογισμό για την ποσότητα του νερού με ακρίβεια, διευκολύνοντας τον έλεγχο της υγρασίας του εδάφους μέσω της αυτοματοποίησης.

## 5.6 Ανάλυση κώδικα

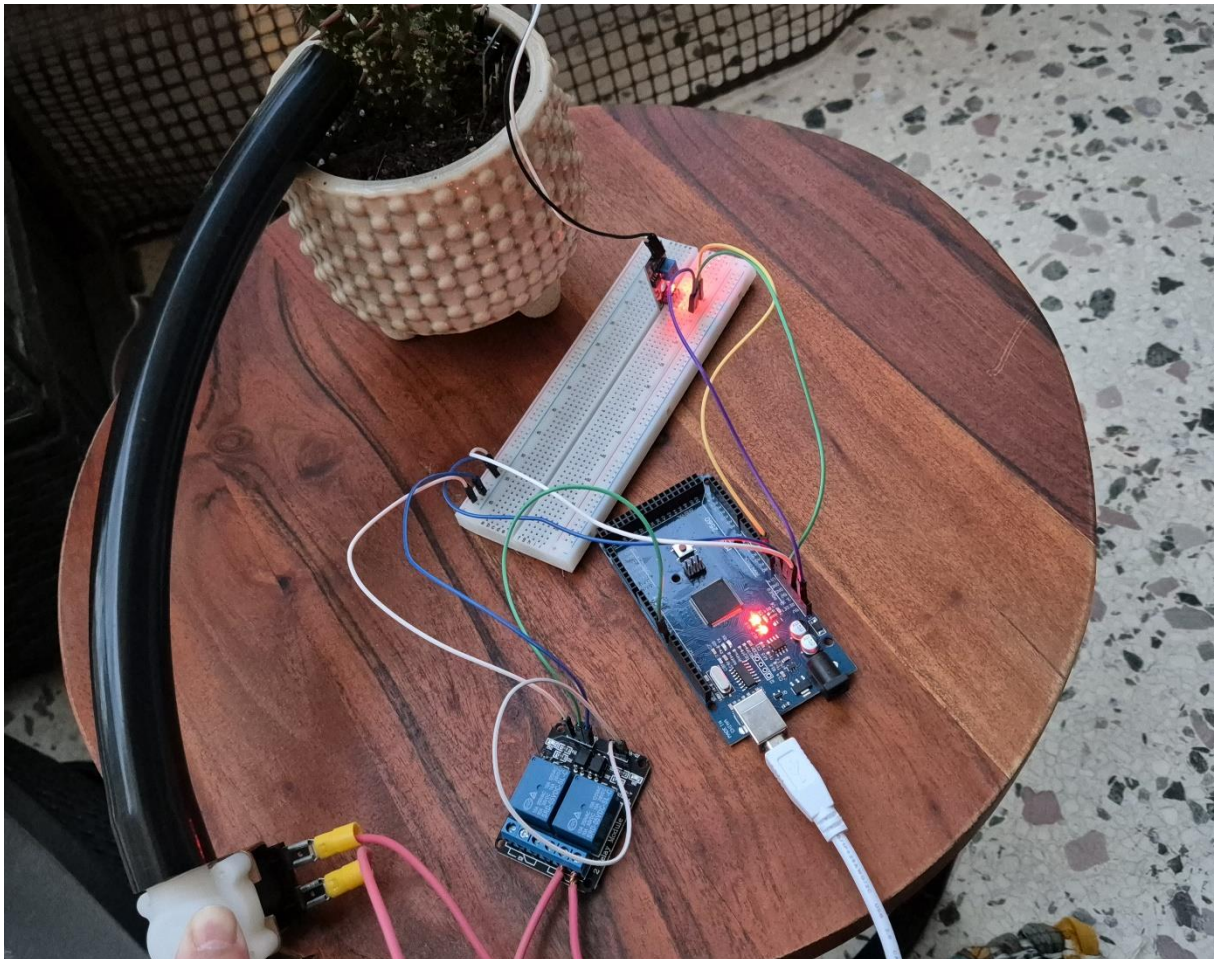
Το σύστημα βασίζεται σε έναν αισθητήρα υγρασίας εδάφους ο οποίος συνδέεται στην αναλογική είσοδο A1 του Arduino (γραμμές 2–3). Η έξοδος ποτίσματος ελέγχεται μέσω ενός ρελέ δύο καναλιών, το οποίο συνδέθηκε στο ψηφιακό pin D7 πάνω στην πλακέτα του Arduino (γραμμή 1).

Κατά την αρχικοποίηση του συστήματος (μέσα στη συνάρτηση setup), ρυθμίζεται η σειριακή επικοινωνία στα 9600 bps και το ρελέ ορίζεται ως έξοδος, παραμένοντας κλειστό στην αρχή (γραμμές 6–8).

Εμφανίζεται επίσης ένα μήνυμα εκκίνησης στο σειριακό monitor για έλεγχο σωστής λειτουργίας (γραμμή 9). Στον βασικό βρόχο loop (γραμμές 11–48), γίνεται η ανάγνωση-μέτρηση της υγρασίας από τον αισθητήρα (γραμμή 13) και η τιμή μετατρέπεται σε ποσοστό με χρήση της συνάρτησης map, λαμβάνοντας ως μέγιστο την στεγνή τιμή (1023) και ως ελάχιστο την υγρή (0) (γραμμή 14).

Αν η υγρασία του εδάφους είναι μικρότερη από 70% (γραμμή 19), τότε το σύστημα ενεργοποιεί έναν βρόχο ποτίσματος (γραμμές 21–34). Σε κάθε επανάληψη, ανοίγει το ρελέ (γραμμή 22), επιτρέποντας την παροχή νερού για 2 δευτερόλεπτα (γραμμή 23) και στην συνέχεια το κλείνει (γραμμή 25), περιμένοντας άλλα 10 δευτερόλεπτα για απορρόφηση του νερού (γραμμή 26). Ακολουθεί νέα μέτρηση υγρασίας (γραμμές 28–30) και ο κύκλος συνεχίζεται μέχρι το επίπεδο υγρασίας να φτάσει ή να ξεπεράσει το 70%.

Αν από την αρχή η υγρασία είναι επαρκής (70% ή περισσότερο), το σύστημα εμφανίζει απλά σχετικό μήνυμα και δεν ενεργοποιεί την διαδικασία ποτίσματος (γραμμές 38–40). Ολόκληρος ο βρόχος εκτελείται κάθε 10 δευτερόλεπτα (γραμμή 48), δίνοντας χρόνο για τις μετρήσεις και της αποφυγής υπερβολικής συχνότητας ενεργοποιήσεων.



Σχήμα 5.10 Το σύστημα στην πράξη.

## 5.7 Επίλογος

Τα εξαρτήματα του συστήματος συνδέονται μεταξύ τους χρησιμοποιώντας Jumper Wires για τις συνδέσεις σήματος και επικοινωνίας, ενώ το καλώδιο χαλκού χρησιμοποιήθηκε κυρίως για την τροφοδοσία υψηλής τάσης, όπως στην ηλεκτροβάννα 12V DC και το ρελέ. Το breadboard χρησιμεύει ως βάση για τη προσωρινή σύνδεση των εξαρτημάτων, διευκολύνοντας την ανάπτυξη του πρωτοτύπου χωρίς την ανάγκη συγκόλλησης. Ο αντίπτορας χρησιμοποιήθηκε για την σύνδεση του τροφοδοτικού μαζί με τα καλώδια χαλκού. Αυτή η διαμόρφωση εξασφαλίζει την ασφαλή και εύκολη διασύνδεση των διαφόρων εξαρτημάτων του συστήματος, επιτρέποντας τη σωστή λειτουργία και τον έλεγχο του ποτιστικού συστήματος μέσω του Arduino Mega 2560.

## Κεφάλαιο 6ο: Συμπεράσματα

Ο σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας ήταν η δημιουργία ενός έξυπνου αυτοματισμένου συστήματος ποτίσματος το οποίο να μπορεί να λειτουργεί αυτόνομα και να ελέγχεται ασύρματα μέσω τεχνολογιών IoT. Η εργασία επικεντρώθηκε στην αξιοποίηση της πλακέτας Arduino για την δημιουργία ενός αυτόματου μηχανισμού ποτίσματος, ο οποίος βασίζεται σε μετρήσεις υγρασίας του εδάφους και ενεργοποιεί την ηλεκτροβάννα με την χρήση ενός ρελέ. Παρότι δεν ολοκληρώθηκε πλήρως η υλοποίηση όλων των προγραμματισμένων λειτουργιών, το σύστημα κατάφερε να φτάσει σε μία σημαντική λειτουργία, η οποία είναι ο αυτοματισμός του ποτίσματος βάση των τιμών υγρασίας που λαμβάνει από τον αισθητήρα υγρασίας.

Η εργασία παρείχε πολύτιμη εμπειρία και γνώση στον τομέα του αυτοματισμού ενώ πρόσφερε εξοικείωση με την αρχιτεκτονική του Arduino, την συνδεσμολογία των εξαρτημάτων του και την επεξεργασία σημάτων από αισθητήρες. Παρά τις τεχνικές δυσκολίες που παρουσιάστηκαν κυρίως λόγω της περιορισμένης εμπειρίας στην υλοποίηση κυκλωμάτων μικροελεγκτών και της διασύνδεσης ηλεκτρονικών μονάδων. Το σύστημα κατάφερε να ανταποκριθεί στις βασικές απαιτήσεις και να προσφέρει σταθερή λειτουργία σε συνθήκες δοκιμής.

Η χρήση του αισθητήρα υγρασίας επέτρεψε την αξιολόγηση του επιπέδου υγρασίας στο έδαφος και την ενεργοποίηση της ηλεκτροβάννας για το πότισμα όταν αυτό ήταν αναγκαίο. Η ηλεκτροβάννα ελεγχόταν επιτυχώς μέσω ρελέ ακολουθώντας τις εντολές που όριζε το λογισμικό. Ο πυρήνας του συστήματος, δηλαδή η λήψη απόφασης με βάση περιβαλλοντικά δεδομένα και η αυτόματη ενεργοποίηση ηλεκτροβάννας, υλοποιήθηκε με επιτυχία και προσφέρει ισχυρές βάσεις για μελλοντικές επεκτάσεις.

Η πλακέτα Arduino αποδείχθηκε κατάλληλη για την κατασκευή τέτοιου είδους εφαρμογών καθώς συνδυάζει χαμηλό κόστος υλοποίησης, την ευελιξία και μεγάλο πλήθος διαθέσιμων εξαρτημάτων. Το σύστημα όπως σχεδιάστηκε μπορεί να προσαρμοστεί για την χρήση του σε οικιακά περιβάλλοντα όπως γλάστρες, μικρές αυλές ή αστικού τύπου καλλιέργειες και να επεκταθεί σύνδεση με εφαρμογές κινητού μέσω Wi-Fi.

Το σύστημα που υλοποιήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας διαθέτει σημαντικά περιθώρια εξέλιξης και βελτιστοποίησης. Ένα από τα βασικότερα πλεονεκτήματα της πλατφόρμας Arduino είναι η ευελιξία της, η οποία επιτρέπει την ενσωμάτωση πρόσθετων λειτουργιών με σχετικά απλές παρεμβάσεις στον κώδικα και στην σχεδίαση του συστήματος.

Μία από τις πρώτες επεκτάσεις που μπορούν να υλοποιηθούν είναι η υποστήριξη πολλαπλών κυκλωμάτων άρδευσης, ώστε το σύστημα να μπορεί να ποτίζει περισσότερες από μία καλλιέργειες ή σημεία αυτόνομα. Αυτό θα μπορούσε να επιτευχθεί είτε με την προσθήκη επιπλέον ρελέ και ηλεκτροβανών είτε με τη χρήση πιο προηγμένων boards που υποστηρίζουν περισσότερα ψηφιακά κανάλια εξόδου. Ένα τέτοιο σύστημα θα είναι ιδανικό για μεγαλύτερους κήπους ή θερμοκήπια όπου υπάρχουν διαφορετικές ανάγκες ποτίσματος ανά σημείο. Η προσθήκη αισθητήρων περιβαλλοντικών παραμέτρων, όπως θερμοκρασίας, υγρασίας αέρα ή βροχόπτωσης, θα ενισχύσει την "ευφυΐα" του συστήματος. Αντίστοιχα, ένας αισθητήρας θερμοκρασίας μπορεί να οδηγήσει σε πιο συχνό πότισμα τις πολύ ζεστές ημέρες ή σε διαφορετικό προγραμματισμό ανάλογα με την εποχικότητα.

Σε πιο προχωρημένο στάδιο, το σύστημα μπορεί να συνδεθεί με ασύρματες τεχνολογίες επικοινωνίας, όπως Wi-Fi ή GSM ώστε να επιτρέπει τον απομακρυσμένο έλεγχο και την παρακολούθηση μέσω εφαρμογής ή ιστοσελίδας. Μέσω αυτής της δυνατότητας, ο χρήστης θα μπορεί να ελέγχει σε πραγματικό χρόνο την υγρασία του εδάφους, να ρυθμίζει το πρόγραμμα ποτίσματος ή να λαμβάνει

ειδοποιήσεις για χαμηλή υγρασία ή σφάλματα στην λειτουργία του συστήματος. Ενδεχομένως, μπορεί να γίνει και σύνδεση με cloud πλατφόρμες, όπως το ThingSpeak ή το Blynk ώστε να αποθηκεύονται τα δεδομένα και να παρέχεται στατιστική ανάλυση και ιστορικό.

Μια άλλη επέκταση είναι η αυτόνομη ενεργειακή παροχή του συστήματος. Σε περιοχές όπου υπάρχουν συχνά διακοπές ρεύματος ή δεν υπάρχει καθόλου ρεύμα, το σύστημα μπορεί να συνδεθεί σε ένα φωτοβολταϊκό πάνελ και μία μπαταρία, δημιουργώντας ένα πλήρως αυτόνομο σύστημα.

Επιπλέον, το σύστημα μπορεί να ενσωματωθεί σε μεγαλύτερες αγροτικές εφαρμογές, με χρήση πιο ισχυρών ελεγκτών (όπως το ESP32 ή ακόμα και Raspberry Pi) και επαγγελματικών εξαρτημάτων. Σε αυτές τις περιπτώσεις, είναι απαραίτητος ο ανασχεδιασμός του κυκλώματος ώστε να ανταποκρίνεται σε αυξημένες απαιτήσεις σε ρεύμα και ανθεκτικότητα καθώς η δημιουργία διεπαφής φιλικής προς τον χρήστη (GUI), που θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί από αγρότες ή τεχνικούς χωρίς ειδικές γνώσεις.

Η εξέλιξη μπορεί να φτάσει μέχρι και στην ολοκληρωμένη γεωργία ακριβείας, όπου το σύστημα ενσωματώνεται σε πλατφόρμες που λαμβάνουν υπόψη ακριβή γεωγραφικά δεδομένα, ιστορικά καιρού και δορυφορικές πληροφορίες. Με αυτόν τον τρόπο, το απλό σύστημα ποτίσματος μετατρέπεται σε ένα έξυπνο σύστημα διαχείρισης καλλιεργειών με στόχο την αποδοτικότερη χρήση των πόρων και την μεγιστοποίηση της παραγωγής.

Συνολικά, οι προοπτικές εξέλιξης του έργου είναι πολλές και ενδιαφέρουσες, τόσο σε τεχνικό όσο και σε κοινωνικό επίπεδο, ανοίγοντας τον δρόμο για πρακτικές εφαρμογές που συνδυάζουν τεχνολογία, καινοτομία και περιβαλλοντική ευαισθησία.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Charalampos Doukas, Building Internet of Things with the Arduino, CreateSpace Independent Publishing Platform, North Charleston, SC, United States, ISBN: 1470023431, (2012).
- [2] Banzi, Masimo, Getting Started with Arduino, O'Reilly Publisher, ISBN: 0596155514 (2009).
- [3] Π. Παπαζόγλου Και Σ. Π. Λιώνης, Ανάπτυξη Εφαρμογών Με Το Arduino, Εκδόσεις Τζιόλα, ISBN: 978-960-418-937-3 (2016).
- [4] A. Bahga και V. Madiseti, *Internet of Things: A Hands-On-Approach*, Universities Press, ISBN: 978-81-7371-954-7, 2015
- [5] Eastern Peak., IoT in agriculture: Technology use cases for smart farming and challenges to consider, 2024. Available: <https://easternpeak.com/blog/iot-in-agriculture-technology-use-cases-for-smart-farming-and-challenges-to-consider/>
- [6] Amazon Web Services. (n.d.). What is IoT?, 2024, Available: <https://aws.amazon.com/what-is/iot/>
- [7] IBM. (n.d.). Internet of Things (IoT): What it is and how it works, 2024. Available: <https://www.ibm.com/topics/internet-of-things>
- [8] TechTarget (n.d.). Internet of Things (IoT), 2024. Available: <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/Internet-of-Things-IoT>
- [9] 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-smb/>
- [10] Moure, D., Overcoming challenges in IoT project development. Devin Moure, (2021). Available: <https://devinmoure.com/overcoming-challenges-in-iot-project-development/>
- [11] Industry News, Επενδύσεις \$2,8 εκατ. στο IoT έως το 2024., 2024, Available: <https://industry-news.gr/viomichania-ependyseis-28-ekatt-sto-iot-eos-to-2024/>
- [12] TechVidvan, "IoT Applications in Energy Sector," 2023. Available: <https://techvidvan.com/tutorials/iot-applications-in-energy-sector/>
- [13] BlazeMeter, what is IoT Edge Computing? 2024, Available: <https://www.blazemeter.com/blog/iot-edge-computing>
- [15] FasterCapital, Legal Challenges in IoT and IPR, 2023. Available: <https://fastercapital.com/topics/legal-challenges-in-iot-and-ipr.html>
- [16] Robobill, Τι είναι το Arduino και πώς λειτουργεί, 2023. Available: <https://robobill.gr/ti-einai-to-arduino-kai-pws-leitourgei/>
- [17] 4dimkal-robot, Τι είναι το Arduino, 2023. Available: <https://4dimkal-robot.weebly.com/tiota-epsilon943nualphaiota-taomicron-arduino.html>
- [18] Arduino, Introduction to Arduino, 2023. Available: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- [19] Arduinobots, Λογισμικό Arduino, 2023. Available: <https://arduinobots.wordpress.com/>
- [20] IEEE Spectrum, The Making of Arduino, 2023. Available: <https://spectrum.ieee.org/the-making-of-arduino>

- [21] Riders AI, What Are Arduino Robotic Coding Examples, 2023. Available: <https://riders.ai/en/blog/what-are-arduino-robotic-coding-examples>
- [22] Apni Kheti, Agriculture Problems and Their Solutions, 2023. Available: <https://blog.apnikheti.com/agriculture-problems-and-their-solutions/>
- [23] Agrivi, Ασθένειες Καλλιεργειών: Ο Εφιάλτης Κάθε Αγρότη, 2023. Available: <https://www.agrivi.com/blog/crop-diseases-the-nightmare-of-every-farmer/>
- [24] NOAA, Εθνική Υπηρεσία Ωκεανών και Ατμόσφαιρας, 2023. Available: <https://www.noaa.gov/>
- [25] Olympia Bima, Έκκληση ΔΕΥΑΚ για Ορθολογική Χρήση, 2023. Available: <https://olympiobima.gr/ekklisi-deyak>
- [26] EfSyn, Φυτοφάρμακα: Ο Τοξικός Μας Εθισμός, 2023. Available: [https://www.efsyn.gr/periballon/oikologika/45038\\_fytofarmaka-o-toxikos-mas-ethismos](https://www.efsyn.gr/periballon/oikologika/45038_fytofarmaka-o-toxikos-mas-ethismos)
- [27] Concave Agri, Έξυπνη Γεωργία, 2023. Available: <https://concaveagri.com/smart-farming/>
- [28] Agravia, Αγροτικά Εφόδια & Προϊόντα, 2024. Available: <https://agravia.gr/>
- [29] OpenGov, Δημόσια Διαβούλευση για την Εθνική Στρατηγική για το Έδαφος, 2023. Available: <http://www.opengov.gr/minenv/?p=6532>
- [30] Biomastores, Τι είναι το έδαφος και ποια είναι τα βασικά του στοιχεία, 2024. Available: <https://www.biomastores.gr/ti-einai-to-edafos-poia-einai-ta-vasika-tou-stoicheia/>
- [31] Ancient Egyptian Water Engineering, University of Wisconsin-Madison, 2025. Διαθέσιμο: <https://ancientengrtech.wisc.edu/ancient-egypt-water-engineering/>
- [32] Resource Watch, Soil Moisture Anomaly - ESA CCI, 2024. Available: <https://resourcewatch.org/data/explore/cc354f7f-2622-44cb-91c1-73559373de72>
- [33] P. V. Vimal and K. S. Shivaprakasha, "IOT based greenhouse environment monitoring and controlling system using Arduino platform," 2017 International Conference on Intelligent Computing, Instrumentation and Control Technologies (ICICICT), Kerala, India, 2017.
- [34] Madakam, S., Ramaswamy, R. and Tripathi, S. Internet of Things (IoT): A Literature Review. Journal of Computer and Communications, (2015).
- [35] Mouha, R. Internet of Things (IoT). Journal of Data Analysis and Information Processing, (2021).
- [36] G. Singh and J. Singh, "Transformative Potential of IoT for Developing Smart Agriculture System: A Systematic Review," India, 2023.
- [37] M. K. Saini and R. K. Saini, "Agriculture monitoring and prediction using Internet of Things (IoT)," 2020 Sixth International Conference on Parallel, Distributed and Grid Computing (PDGC), Wagnaghat, India, 2020
- [38] Kushner, D., The Making of Arduino. IEEE Spectrum, University of Michigan EECS Resources, (2011).
- [39] Sann, M., et al., Use of the Arduino Platform in Fundamentals of Engineering. Retrieved from Academia.edu, (2022).

- [40] J. Hurtuk, M. Chovanec and N. Adam, "The Arduino platform connected to education process," 2017 IEEE 21st International Conference on Intelligent Engineering Systems (INES), Larnaca, Cyprus, 2017.
- [41] A. A. Khan, M. Z. H. Makmud, M. T. Miskon, A. Nair and K. Bidin, "Development of a Weather Station Using IoT Platform Based Arduino Integrated with a Control System for Smart Agriculture Applications," 2024.
- [42] S. Ismaili, F. Idrizi, A. Rustemi, M. Ibraimi and H. Idrizi, "IoT-Based Irrigation System for Smart Agriculture," 2024 XXXIII International Scientific Conference Electronics (ET), Sozopol, Bulgaria, 2024.
- [43] G. Sahitya, N. Balaji and C. D. Naidu, "Wireless sensor network for smart agriculture," 2016 2nd International Conference on Applied and Theoretical Computing and Communication Technology (iCATccT), Bangalore, India, 2016.
- [47] Φασνάκης, Γ., Η χρήση των νέων τεχνολογιών της πληροφορικής στην γεωργία και στην κτηνοτροφία. (Διπλωματική εργασία) Πανεπιστήμιο Μακεδονίας, Θεσσαλονίκη, 2012.
- [48] Díaz, Alejandra & Gebler, Luciano & Maia, Lucia & Medina, Lourdes & Trelles, Sacha, Good Agricultural Practices for more Resilient Agriculture: Guidelines for Producers and Governments by IICA is published under license Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0 IGO (CC-BY-SA 3.0 IGO), 2017.
- [49] Γεωργίου Δημήτριος, Άρδευση Καλλιεργειών Με Αυτοματισμούς, Πτυχιακή εργασία, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, 2013.
- [50] Α. Σ. Ξυγκάς, "Απομακρυσμένος έλεγχος συστήματος άρδευσης με μικροελεγκτή Arduino," Διπλωματική εργασία, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2018.
- [51] Pavithra, D.S., & Srinath, M.S., GSM based Automatic Irrigation System for Efficient Use of Resources and Crop Planning by using an Android Mobile. Journal of Mechanical and Civil Engineering (JOSR-JMCE), Vol. 11, Issue 4, 2014.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α : ΚΩΔΙΚΑΣ

```
1 #define RELAY1 7 // σύνδεση πρώτου ρελέ στο D7 από το IN1
2 int moisturePin = A1; // αρχικοποίηση αισθητήρα υγρασίας
3 int moistureValue = 0; // μεταβλητή υγρασίας
4 int moisturePercent = 0; // μεταβλητή % υγρασίας
5
6 void setup() {
7   Serial.begin(9600);
8   pinMode(RELAY1, OUTPUT);
9   digitalWrite(RELAY1, HIGH); // Κλείνει το ρελέ από την αρχή
10  Serial.println("Το σύστημα ποτίσματος ξεκίνησε.");
11 }
12
13 void loop() {
14   // Μέτρηση της υγρασίας
15   moistureValue = analogRead(moisturePin);
16   moisturePercent = map(moistureValue, 1023, 0, 0, 100);
17
18   Serial.print("Υγρασία: ");
19   Serial.print(moisturePercent);
20   Serial.println("%");
21
22   // Αν είναι κάτω από 70%, μπες σε συνθήκη για έλεγχο ποτίσματος
23   if (moisturePercent < 70) {
24     Serial.println("Ξεκινά πότισμα...");
25
26     while (moisturePercent < 70) {
27       digitalWrite(RELAY1, LOW); // Άνοιγμα ρελέ (πότισμα)
28       Serial.println("Η ηλεκτροβάνα άνοιξε");
29       delay(2000); // Ποτίζει 2 δευτερόλεπτα
30
31       digitalWrite(RELAY1, HIGH); // Κλείσιμο του ρελέ
32       Serial.println("Η ηλεκτροβάνα έκλεισε.");
33       delay(10000); // Περιμένει 10 δευτερόλεπτα για να απορροφήσει το έδαφος
34
35       // Νέα μέτρηση μετά το πότισμα
36       moistureValue = analogRead(moisturePin);
37       moisturePercent = map(moistureValue, 1023, 0, 0, 100);
38       Serial.print("Νέα υγρασία: ");
39       Serial.print(moisturePercent);
40       Serial.println("%");
41     }
42
43     Serial.println("Υγρασία επαρκής. Τέλος ποτίσματος.");
44   } else {
45     Serial.println("Υγρασία επαρκής - Δεν χρειάζεται πότισμα.");
46   }
47
48   delay(10000); // Αναμονή 10'' πριν τον επόμενο έλεγχο}
```

Πίνακας 2. Κώδικας.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΣ

Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται τα εξαρτήματα που χρειάστηκαν για την δημιουργία του αυτόματου ποτίσματος.

Η αγορά των υλικών πραγματοποιήθηκε από 25/10/2024 έως 10/05/2025

Arduino AT Mega 2560	= 17.00 ΕΥΡΩ
Ηλεκτροβάνα 12V DC 2 τεμάχια	= 13,80 ΕΥΡΩ
Τροφοδοτικό 12V DC-AC	= 5.60 ΕΥΡΩ
Ρελέ 2 καναλιών	= 2.90 ΕΥΡΩ
Wi-Fi ESP8266	= 4.00 ΕΥΡΩ
SD Card Module	= 3.10 ΕΥΡΩ
SD Card	= 4.00 ΕΥΡΩ
Αισθητήρας Υγρασίας 2 τεμάχια	= 12.00 ΕΥΡΩ
Jumper wires (διάφορα μεγέθη)	= 4.00 ΕΥΡΩ
Καλώδιο χαλκού (3_μέτρα)	= 4.00 ΕΥΡΩ
Αντάπτορας τροφοδοτικού	= 3.00 ΕΥΡΩ
Connectors κίτρινοι	= 3.00 ΕΥΡΩ
Σταλάκτες 04lit/h	= 1.00 ΕΥΡΩ
Σγρόμπια Φ03	= 2.00 ΕΥΡΩ
Σωλήνας άρδευσης 1/2"	= 1.00 ΕΥΡΩ
<b>Συνολικό κόστος</b>	<b>= 81.40 ΕΥΡΩ</b>

Πίνακας 3. Υλικά και κόστος υλικών.