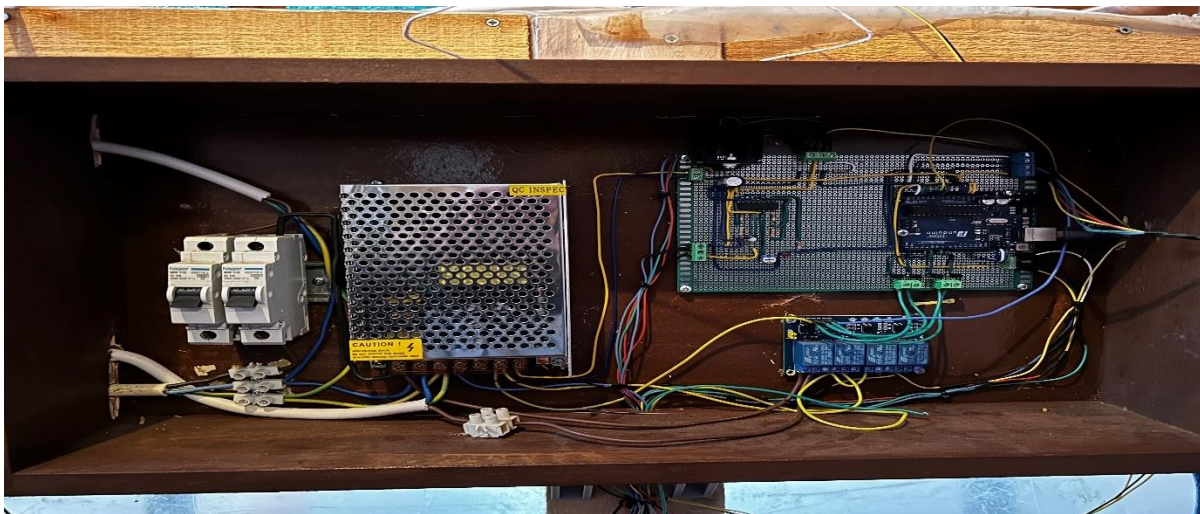




ΔΙΕΘΝΕΣ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ  
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
«Ηλεκτρονικά Ελεγχόμενος Κλιματικός Θάλαμος»



Φοιτητής Σπυριδωνίδη Στέφανου  
Αρ. Μητρώου: 517128

Επιβλέπων  
Αργύριος Χατζόπουλος  
Βαθμίδα Αναπ. Καθηγητής

Ημερομηνία 11/09/2025

Τίτλος Δ.Ε. Ηλεκτρονικά Ελεγχόμενος Κλιματικός Θάλαμος

Κωδικός Δ.Ε. 23286

Ονοματεπώνυμο φοιτητή Σπυριδωνίδης Στέφανος

Ονοματεπώνυμο εισηγητή Χατζόπουλος Αργύριος

Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε. 17/01/2024

Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε. 11/09/2025

*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 διπλωματική εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.Π.Α.Ε.*

*Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Σπυριδωνίδη Στέφανου 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 διπλωματικής 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.

«Στην οικογένεια μου»

## Πρόλογος

Η ανάγκη για ελεγχόμενες συνθήκες καλλιέργειας γίνεται όλο και πιο αναγκαία, καθώς βιώνουμε μια κλιματική αλλαγή και ακραίες συνθήκες που δεν βλέπαμε τα προηγούμενα χρόνια. Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η δημιουργία ενός αυτοματοποιημένου ηλεκτρονικά ελεγχόμενου κλιματικού θαλάμου με την χρήση Arduino. Ο θάλαμος αυτός δηλαδή το θερμοκήπιο έχει στόχο την πλήρη αυτοματοποιημένη ανάπτυξη φυτών με κατάλληλες συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας. Με αυτό τον σκοπό θα βοηθήσουμε έστω και μικρές καλλιέργειες να αναπτύξουν τα φυτά χωρίς να επηρεάζουν οι εξωτερικοί παράγοντες.

Το όφελος μου από την εργασία είναι σημαντικό. Αρχικά από την δημιουργία μακέτας θερμοκηπίου με υλικά όπως ξύλο και νάιλον για την απομόνωση από εξωτερικούς παράγοντες, η χρήση και κατανόηση του μικροελεγκτή Arduino, σε συνδυασμό με αισθητήρες αναλογικούς και ψηφιακούς που οδήγησε στην διαχείριση παραμέτρων όπως η θερμοκρασία και η υγρασία του θαλάμου. Επιπλέον, ο προγραμματισμός με γλώσσα arduino language που βασίζεται σε γλώσσες C/C++ συμβάλει στην λειτουργία του συστήματος.

Τέλος, Βελτίωσα την γνώση μου στον τομέα του 3D Printing κατασκευάζοντας την βάση του υγραντήρα.

## Περίληψη

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας, «Ηλεκτρονικά Ελεγχόμενος Κλιματικός Θάλαμος», είναι η αυτοματοποίηση ενός θερμοκηπίου με τις κατάλληλες συνθήκες για την ανάπτυξη φυτών βασισμένη στην πλατφόρμα του Arduino. Με την χρήση αισθητήρων περιβάλλοντος, θερμοκρασίας χώματος και υγρασίας συγκρίνουμε δεδομένα και προσαρμόζουμε της κατάλληλες συνθήκες ανάπτυξης φυτών.

Ο προγραμματισμός του Arduino με την γλώσσα C/C++ γίνεται προκειμένου να αυτοματοποιήσουμε τον θάλαμο, να συγκρίνουμε τιμές υγρασίας και θερμοκρασίας και στη συνέχεια να ενεργοποιούμε και να απενεργοποιούμε την θερμάστρα, υγραντήρα και την αντλία νερού. Το Arduino λαμβάνει δεδομένα από τους αισθητήρες σε λιγότερο από 1 λεπτό και όταν ξεπεράσουν κάποια όρια ενεργοποιεί ανάλογα την θερμάστρα η τον υγραντήρα. Όταν η υγρασία του φυτού μειωθεί σημαντικά ενεργοποιείται ο υγραντήρας και με την βοήθεια του ανεμιστήρα διανέμεται ομοιόμορφα στον θάλαμο για να την αποφυγή συμπύκνωσης ή μούχλας.

Στη περίπτωση που το δοχείο νερού για τον υγραντήρα μειωθεί σημαντικά ενεργοποιείται η αντλία νερού και με τον αισθητήρα στάθμης όταν φτάσει στο μέγιστο απενεργοποιείται.

Η θερμάστρα ενεργοποιείται όταν η θερμοκρασία πέσει κάτω από τα ιδανικά και προκαθορισμένα επίπεδα θερμοκρασίας ανάλογα με το φυτό που έχουμε επιλέξει να αναπτύξουμε.

Τέλος υπάρχει μία κάμερα για την παρακολούθηση απομακρυσμένα τοποθετημένη μέσα στο θάλαμο με ανθεκτικότητα στην υγρασία και την θερμοκρασία του θαλάμου.

## «Electronically Controlled Climate Chamber»

«Stefanos Spyridonidis»

### **Abstract**

The purpose of this thesis, “Electronically Controlled Climate Chamber”, is the automation of a greenhouse with the appropriate conditions for plant growth, based on the Arduino platform. By using environmental, soil temperature, and soil moisture sensors, data are collected and compared in order to adjust the optimal conditions for plant development.

The Arduino is programmed in C/C++ to automate the chamber, compare humidity and temperature values, and subsequently control the activation or deactivation of the heater, humidifier, and water pump. The Arduino receives data from the sensors in less than one minute, and when certain thresholds are exceeded, it activates the heater or the humidifier accordingly. When plant moisture decreases significantly, the humidifier is activated, and with the assistance of the fan, humidity is evenly distributed throughout the chamber to prevent condensation or mold formation.

In the case where the humidifier’s water tank is significantly depleted, the water pump is activated, and, with the help of a level sensor, it is deactivated once the maximum water level is reached. The heater is activated when the temperature falls below the ideal and predetermined levels, depending on the specific plant selected for cultivation.

Finally, a camera is placed inside the chamber for remote monitoring, designed to withstand the chamber’s humidity and temperature conditions.

## **Ευχαριστίες**

Σε αυτό το σημείο, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου Χατζόπουλο Αργύριο, για τον πολύτιμο χρόνο του και τη βοήθειά του, καθώς και για τις γνώσεις που μοιράστηκε μαζί μου στο αντικείμενο αυτό.

## Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	iv
Περίληψη.....	v
Abstract .....	vi
Ευχαριστίες .....	vii
Περιεχόμενα .....	viii
Κατάλογος Σχημάτων .....	xii
Κατάλογος Πινάκων.....	xii
Συνομογραφίες.....	xiii
Κεφάλαιο 1ο: Ηλεκτρονικά Ελεγχόμενος Κλιματικός Θάλαμος .....	1
1.1 Ο όρος «Ηλεκτρονικά ελεγχόμενος κλιματικός θάλαμος» .....	1
1.2 Θερμοκήπιο.....	1
1.3 Ιστορική αναδρομή.....	2
1.4 Τα Θερμοκήπια στην Ελλάδα .....	2
1.5 Υλικά Κάλυψης Θερμοκηπίων.....	3
1.6 Υλικά Κατασκευής Σκελετού Θερμοκηπίων .....	5
1.7 Περιβαλλοντικές Παράμετροι σε Θερμοκήπιο .....	6
1.8 Επίλογος.....	9
Κεφάλαιο 2ο: Μικροελεγκτής και Αισθητήρια.....	10
2.1 Τι είναι ο μικροελεγκτής.....	10
2.2 Πλατφόρμα Arduino.....	10
2.2.1 Πλακέτα Arduino UNO R3 .....	11
2.2.2 Τροφοδοσία Arduino.....	12
2.2.3 Είσοδοι - Έξοδοι του Arduino.....	13
2.2.4 Εφαρμογή προγραμματισμού Arduino.....	15
2.3 Ηλεκτρονικές Μονάδες (Modules). .....	16
2.3.1 Αισθητήρια Περιβάλλοντος .....	16
2.3.2 Αισθητήρια Υγρασίας Χώματος .....	18
2.3.3 Αισθητήρια Θερμοκρασίας Χώματος .....	19
2.3.4 Οθόνες Απεικόνισης Εξόδου.....	21
2.4 Επιλογή Αισθητήρων για το Θερμοκήπιο.....	22
2.5 Επίλογος.....	24
Κεφάλαιο 3ο: Κατασκευή .....	25

3.1	Κατασκευή βάσης θερμοκηπίου.....	25
3.2	Υλικά κατασκευή κυκλώματος .....	26
3.2.1	Τροφοδοτικό.....	26
3.2.2	Αισθητήρας Περιβάλλοντος.....	27
3.2.3	Αισθητήρας υγρασίας χώματος.....	28
3.2.4	Αισθητήρας θερμοκρασίας χώματος.....	30
3.2.5	Οθόνη Απεικόνισης Εξόδου.....	44
3.2.6	Υγραντήρας.....	45
3.2.7	Αερόθερμο.....	52
3.3	Επίλογος.....	53
Κεφάλαιο 4ο: Συνδεσμολογία συστήματος και αποτελέσματα.....		54
4.1	Συνδεσμολογία Συστήματος.....	54
4.1.1	Συνδεσμολογία Τροφοδοτικού.....	55
4.1.2	Συνδεσμολογία Αισθητήρα Υγρασίας Χώματος:.....	56
4.1.3	Συνδεσμολογία Μονάδα ρελέ 12V.....	58
4.1.4	Συνδεσμολογία Αισθητήρα Περιβάλλοντος.....	59
4.1.5	Συνδεσμολογία Αισθητήρα Στάθμης Υγρών.....	60
4.1.6	Συνδεσμολογία Οθόνης Απεικόνισης Εξόδου.....	61
4.2	Αποτελέσματα και σύγκριση.....	63
4.3	Εξέλιξη και Αναβάθμιση του Θερμοκηπίου .....	66
4.4	Επίλογος.....	71
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....		72
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α : Κώδικας Arduino.....		74

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1: Σύγχρονο θερμοκήπιο.....	<u>1</u>
Εικόνα 1.2: Περιφερειακή κατανομή των θερμοκηπίων στην Ελλάδα .....	<u>3</u>
Εικόνα 1.3: Περαιτότητα του διαφανούς υλικού στο φως.....	<u>4</u>
Εικόνα 1.4: Περιβαλλοντικές παράμετροι θερμοκηπίου .....	<u>6</u>
Εικόνα 1.5: Φωτισμός LED ανάπτυξης φυτών.....	<u>8</u>
Εικόνα 1.6: Σχέση μεταξύ συγκέντρωσης CO <sub>2</sub> και ρυθμού ανάπτυξης των φυτών.....	<u>9</u>
Εικόνα 2.7: Μικροελεγκτής .....	<u>10</u>
Εικόνα 2.8: Εκπαίδευση στην πλατφόρμα Arduino.....	<u>11</u>
Εικόνα 2.9: Arduino Uno R3.....	<u>12</u>
Εικόνα 2.10: Arduino Uno pinout – analog.....	<u>14</u>
Εικόνα 2.11: Arduino Uno pinout – digital.....	<u>15</u>
Εικόνα 2.12: Arduino IDE.....	<u>16</u>
Εικόνα 2.13: Αισθητήρας περιβάλλοντος DHT11.....	<u>17</u>
Εικόνα 2.14: Αισθητήρας περιβάλλοντος BM280.....	<u>18</u>
Εικόνα 2.15: Αισθητήρας υγρασίας εδάφους Waveshare.....	<u>19</u>
Εικόνα 2.16: Αισθητήρας υγρασίας εδάφους Gravity Analog Moisture sensor.....	<u>19</u>
Εικόνα 2.17: PT100 Αισθητήρας θερμοκρασίας.....	<u>20</u>
Εικόνα 2.18: Temperature Sensor – Waterproof (DS18B20).....	<u>21</u>
Εικόνα 2.19: Display 1.5" RGB 128x128 OLED Module.....	<u>21</u>
Εικόνα 2.20: Basic 20x4 Character LCD - White on Blue 5V (I2C Protocol).....	<u>22</u>
Εικόνα 3.21: Κατασκευή θερμοκηπίου.....	<u>25</u>
Εικόνα 3.22: Ηλεκτρονικά εξαρτήματα.....	<u>26</u>
Εικόνα 3.23: Τροφοδοτικό κυκλώματος.....	<u>27</u>
Εικόνα 3.24: Αισθητήρας περιβάλλοντος κυκλώματος.....	<u>28</u>
Εικόνα 3.25: Πειραματικό συμπέρασμα με 100γρ χώματος.....	<u>29</u>
Εικόνα 3.26: Datasheet PT100.....	<u>31</u>
Εικόνα 3.27: PT100 Διαιρέτης τάσης με βαθυπερατό φίλτρο.....	<u>32</u>
Εικόνα 3.28: PT100 Διαιρέτης τάσης με ενισχυτή απομόνωσης.....	<u>32</u>
Εικόνα 3.29: Διαιρέτης τάσης.....	<u>33</u>
Εικόνα 3.30: Buffer σταθερής αναφοράς.....	<u>36</u>
Εικόνα 3.31: Κύκλωμα PT100.....	<u>37</u>

Εικόνα 3.32: Έξοδος U2D PT100.....	<a href="#">38</a>
Εικόνα 3.33: Πειραματικό στάδιο κυκλώματος.....	<a href="#">40</a>
Εικόνα 3.34: 1η Προσπάθεια δημιουργίας πλακέτας.....	<a href="#">40</a>
Εικόνα 3.35: Τελικό κύκλωμα προσαρμογής.....	<a href="#">41</a>
Εικόνα 3.36: Έξοδος κυκλώματος στο Ppsice.....	<a href="#">42</a>
Εικόνα 3.37: Κώδικας PT100.....	<a href="#">44</a>
Εικόνα 3.38: Ultrasonic Water Atomizer.....	<a href="#">46</a>
Εικόνα 3.39: Grow Tent Humidifier.....	<a href="#">47</a>
Εικόνα 3.40: Πίσω όψη κατασκευής δίχως το καπάκι προστασίας.....	<a href="#">48</a>
Εικόνα 3.41: Μπροστά όψη δίχως το καπάκι προστασίας.....	<a href="#">48</a>
Εικόνα 3.42: Waveshare Liquid Level Sensor.....	<a href="#">50</a>
Εικόνα 3.43: Peristaltic Liquid Pump 12V DC.....	<a href="#">51</a>
Εικόνα 3.44: Αερόθερμο.....	<a href="#">52</a>
Εικόνα 4.45: Κύκλωμα LM7805.....	<a href="#">55</a>
Εικόνα 4.46: Κύκλωμα LM7805 στην πλακέτα.....	<a href="#">56</a>
Εικόνα 4.47: Συνδεσμολογία αισθητήρα υγρασίας.....	<a href="#">57</a>
Εικόνα 4.48: Συνδεσμολογία Relay Module 12V.....	<a href="#">58</a>
Εικόνα 4.49: Συνδεσμολογία BME280.....	<a href="#">59</a>
Εικόνα 4.50: Κώδικας BME280.....	<a href="#">60</a>
Εικόνα 4.51: Συνδεσμολογία LCD.....	<a href="#">61</a>
Εικόνα 4.52: Πλακέτα κυκλώματος.....	<a href="#">62</a>
Εικόνα 4.53: Κύκλωμα.....	<a href="#">62</a>
Εικόνα 4.54: Σύγκριση BME - Lascar Θερμοκρασία αέρα.....	<a href="#">63</a>
Εικόνα 4.55: Σύγκριση PT100-Bresser θερμοκρασία εδάφους.....	<a href="#">64</a>
Εικόνα 4.56: Σύγκριση BME-Lascar υγρασία αέρα % .....	<a href="#">65</a>
Εικόνα 4.57: ESP32.....	<a href="#">66</a>
Εικόνα 4.58: ESP32 LVGL.....	<a href="#">67</a>
Εικόνα 4.59: Dashboard.....	<a href="#">68</a>
Εικόνα 4.60: Κάμερες παρακολούθησης.....	<a href="#">68</a>
Εικόνα 4.61: Σύστημα ρύθμισης CO2.....	<a href="#">69</a>
Εικόνα 4.62: Σύστημα τεχνητού φωτισμού.....	<a href="#">70</a>

## Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 4.1: Διάγραμμα Ροής Κυκλώματος.....	<a href="#">54</a>
---	--------------------

## Κατάλογος Πινάκων

Σχήμα 1.1: Περαιτότητα στη μικρού μήκους κύματος και στη μεγάλη μήκους κύματος.....	<a href="#">4</a>
Σχήμα 1.2: Συγκριτικός πίνακας υλικών σκελετού θερμοκηπίων .....	<a href="#">6</a>
Σχήμα 1.3: Πίνακας Θερμοκρασιών Φυτών .....	<a href="#">7</a>
Σχήμα 1.4: Πίνακας Υγρασίας Φυτών .....	<a href="#">7</a>
Σχήμα 2.5: Κριτήρια Επιλογής Αισθητήρων .....	<a href="#">24</a>
Σχήμα 3.6: Επιλογή αντιστάσεων με κριτήρια θορύβου και ισχύος .....	<a href="#">35</a>
Σχήμα 3.7: Θεωρητικές και πειραματικές τιμές .....	<a href="#">38</a>
Σχήμα 3.8: Υλικά κατασκευής.....	<a href="#">39</a>

## Συντομογραφίες

Δ.Ε.	Διπλωματική Εργασία
ΔΙΠΑΕ	Διεθνές Πανεπιστήμιο Ελλάδος
Π.Ε.	Πτυχιακή Εργασία

## Κεφάλαιο 1ο: Ηλεκτρονικά Ελεγχόμενος Κλιματικός Θάλαμος

### 1.1 Ο όρος «Ηλεκτρονικά ελεγχόμενος κλιματικός θάλαμος»

Ο Ηλεκτρονικά ελεγχόμενος κλιματικός θάλαμος είναι ένας ειδικά διαμορφωμένος κλειστός χώρος, στο οποίο οι κύριες περιβαλλοντικές παράμετροι όπως η υγρασία, η θερμοκρασία και ο αέρας, ρυθμίζονται αυτόματα μέσω ηλεκτρονικών συστημάτων. Ο θάλαμος αυτός αξιοποιείται για πειραματικούς ή ερευνητικούς σκοπούς, καθώς επιτρέπει τη δημιουργία κατάλληλων συνθηκών του περιβάλλοντος απαραίτητων για την μελέτη της ανάπτυξης των φυτών.

### 1.2 Θερμοκήπιο.

Το θερμοκήπιο είναι μια στεγανή και περιφραγμένη κατασκευή με στέγη που κυρίως είναι κατασκευασμένο από διαφανές υλικό, όπως πολυαιθυλένιο, πολυκαρβονικά ή πράσινο ύφασμα επικάλυψης, τα υλικά αυτά δημιουργούν και διατηρούν τις κατάλληλες ελεγχόμενες κλιματικές συνθήκες για την καλλιέργεια φυτών όλο τον χρόνο.[1-2]

Ο Σκοπός του θερμοκηπίου είναι η δημιουργίας ενός ελεγχόμενου περιβάλλοντος για την καλλιέργεια φυτών προστατεύοντας τα από τις εξωτερικές κλιματικές συνθήκες και επεκτείνοντας την καλλιεργητική περίοδο.

Αναλυτικά προστασία από τις καιρικές συνθήκες, το θερμοκήπιο προστατεύουν τα φυτά από το ψύχος, την ζέστη, το χαλάζι και τον άνεμο, επιτρέποντας την καλλιέργεια σε εποχές που κανονικά δεν είναι εφικτό. Επεκτείνουμε την καλλιεργητική περίοδο επιτρέποντας την καλλιέργεια φυτών νωρίτερα την άνοιξη ή αργότερα το φθινόπωρο, ακόμη και κατά την διάρκεια του χειμώνα σε περιοχές με κρύο κλίμα.

Βασικό πρόβλημα που λύνει το θερμοκήπιο είναι να κρατά μακριά έντομα και ασθένειες στα φυτά, η κλειστή δομή του θερμοκηπίου μπορεί να βοηθήσει στην προστασία των φυτών μειώνοντας την ανάγκη για φυτοφάρμακα για την καταπολέμηση τους.



Εικόνα 1.1: Σύγχρονο θερμοκήπιο [Online]: <https://unsplash.com/photos/a-greenhouse-filled-with-lots-of-green-plants-mqJp2Bv6bkM>

### 1.3 Ιστορική αναδρομή

Η πρώτη καταγεγραμμένη αναφορά για καλλιέργεια φυτών με χρήση προστατευμένων κατασκευών χρονολογείται από το 14 έως το 37 μ.Χ. στη Ρώμη (Paris και Janick, 2008). Τεχνητές μέθοδοι χρησιμοποιούνταν για την καλλιέργεια φυτών του γένους *Cucumis* καθ' όλη τη διάρκεια του έτους για τον Αυτοκράτορα Τιβέριο. Τα φυτά μεταφέρονταν πάνω σε καρότσια σε προστατευμένα οικήματα, γνωστά ως *Specularia*, κατά τη διάρκεια των ψυχρών νυχτών[3].

Κατά τον 17ο και 18ο αιώνα, κατασκευές γνωστές ως *Orangeries* χρησιμοποιούνταν στη Γαλλία για την προστασία οπωροφόρων δέντρων από το ψύχος (Wearn και Mabberley, 2016). Αυτές οι κατασκευές ήταν ψηλά κτίσματα από τοιχοποιία, με μεγάλα γυάλινα παράθυρα στη νότια πλευρά για να επιτρέπουν την είσοδο του ηλιακού φωτός. Οπωροφόρα δέντρα, όπως πορτοκαλιές σε γλάστρες, μεταφέρονταν σε αυτές τις κατασκευές τον χειμώνα για προστασία από τις χαμηλές θερμοκρασίες[3].

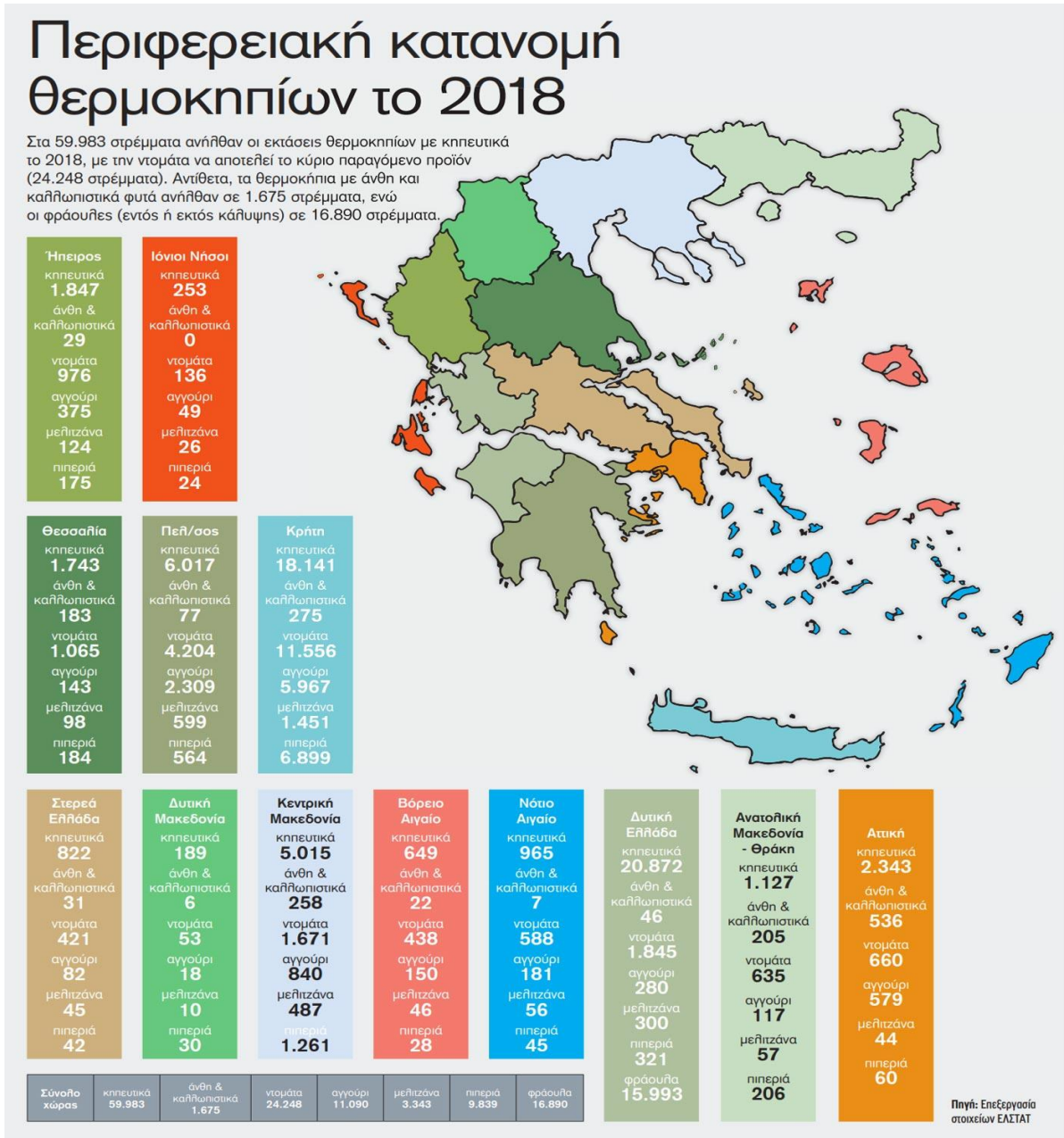
Κατά τον 19ο αιώνα, μεγάλα θερμοκήπια από γυαλί χτίστηκαν στην Ευρώπη για την καλλιέργεια εξωτικών τροπικών φυτών που είχαν συλλεχθεί από άλλες χώρες. Για παράδειγμα, μεγάλες κατασκευές από σφυρήλατο σίδηρο και γυαλί χτίστηκαν στο θερμοκήπιο της Βασιλικής Κηπευτικής Εταιρείας στο Cheswick (1840) και της Βασιλικής Βοτανικής Εταιρείας στο Regent's Park (1842–46) στην Αγγλία[3].

### 1.4 Τα Θερμοκήπια στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα, η εκτός εποχής παραγωγή κηπευτικών σε θερμοκήπια αποτελεί μία από τις σημαντικότερες γεωργικές δραστηριότητες, όπως συμβαίνει σε όλες σχεδόν τις χώρες της μεσογειακής λεκάνης. Από τα φυτά θερμής εποχής, στα ελληνικά θερμοκήπια καλλιεργούνται σε αξιόλογη έκταση η τομάτα, η μελιτζάνα, η πιπεριά, το αγγούρι, το κολοκύθι, το πεπόνι, το καρπούζι και το νωπό φασολάκι. Αντίθετα, η μπάμια πολύ σπάνια καλλιεργείται στο θερμοκήπιο, ενώ το γλυκοκαλάμποκο άρχισε να καλλιεργείται τα τελευταία χρόνια σε μικρή έκταση. Ειδικά το αγγούρι καλλιεργείται συστηματικά και σε αξιόλογη έκταση και το καλοκαίρι στα θερμοκήπια[4].

Αυτό συμβαίνει γιατί οι ποικιλίες αγγουριού που επικρατούν σήμερα για παραγωγή νωπών καρπών είναι πλήρως θηλυκές ή παρθενοκαρπικές, δηλαδή ποικιλίες που παράγουν μόνο θηλυκά άνθη, τα οποία εξελίσσονται σε καρπούς χωρίς να χρειάζονται γονιμοποίηση (Denna, 1973). Οι ποικιλίες αυτές δεν είναι εύκολο να καλλιεργηθούν στην ύπαιθρο για δύο κυρίως λόγους. Ο πρώτος λόγος είναι ο κίνδυνος ανεπιθύμητης γονιμοποίησης των θηλυκών ανθέων, η οποία οδηγεί στο σχηματισμό καρπών κατώτερης ποιότητας οι οποίοι είναι μη εμπορεύσιμοι. Ο δεύτερος λόγος είναι η κακή ποιότητα των καρπών που παράγονται όταν το φυτό αναπτύσσεται υπαίθρια χωρίς κλάδεμα και υποστύλωση, κυρίως επειδή κείτονται στο έδαφος, γιατί το αγγούρι σε φυσικές συνθήκες αναπτύσσεται ως έρπον φυτό[4].

Κατά κανόνα, τα ψυχρής εποχής κηπευτικά που καλλιεργούνται στα θερμοκήπια ανήκουν στα μέτρια ψυχροανθεκτικά, δεδομένου ότι σε πολλές περιοχές της χώρας η παραγωγή τους στην ύπαιθρο τους χειμερινούς μήνες, και κυρίως τον Ιανουάριο και τον Φεβρουάριο, δεν είναι εφικτή. Η θερμοκηπιακή καλλιέργεια κηπευτικών ψυχρής εποχής τον χειμώνα είναι πολύ πιο συχνή στις βορειότερες χώρες της Ευρώπης, δεδομένου ότι εκεί η παραγωγή τους στην ύπαιθρο είναι αδύνατη τους χειμερινούς μήνες, πλην ελαχίστων εξαιρέσεων[4].



Εικόνα 1.2: Περιφερειακή κατανομή των θερμοκηπίων στην Ελλάδα [Online]:

<https://www.yraithros.gr/ellinikos-xartis-thermokipiakon-kalliergeion/>

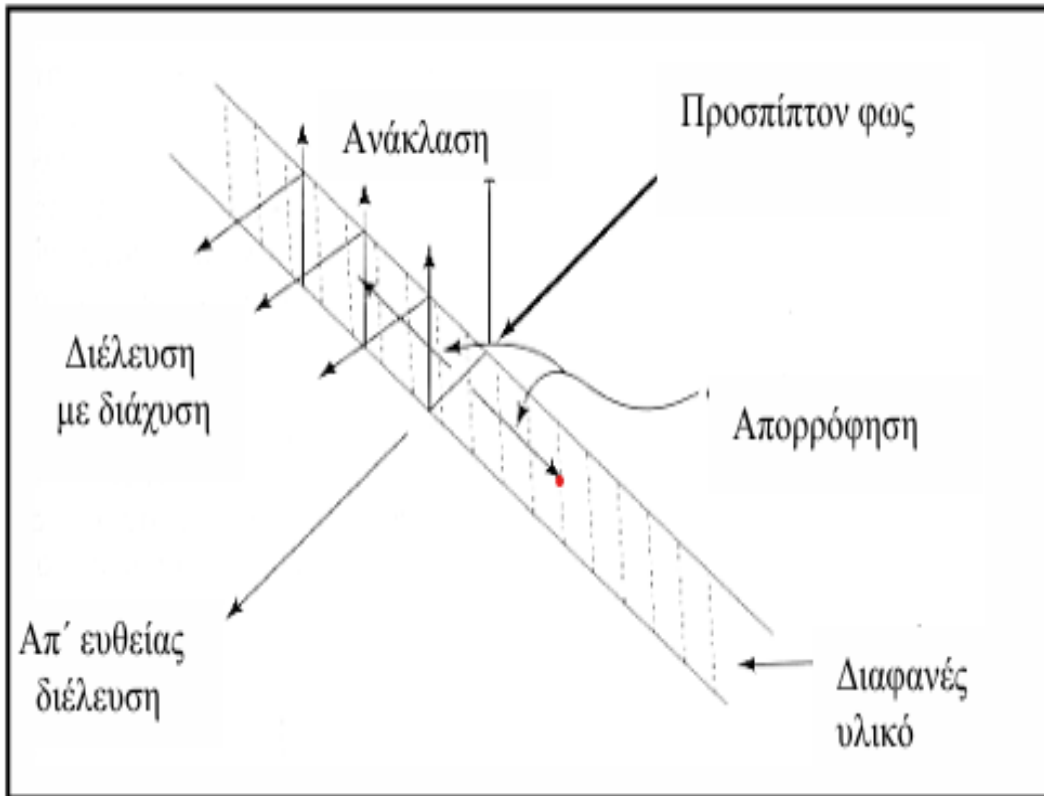
### 1.5 Υλικά Κάλυψης Θερμοκηπίων

Τα θερμοκήπια βασίζονται σε μία κατασκευή η οποία απομονώνει τον εσωτερικό χώρο του από τον περιβάλλον, ωστόσο σημαντικό είναι η επιλογή υλικών κάλυψης για την καλύτερη διαχείριση του ηλίου μέσα σε αυτό. Η ποιότητα και η ποσότητα του φωτός που περνάει στο χώρο των φυτών επηρεάζει πολύ από τις ιδιότητες του διαφανούς υλικού κάλυψης του θερμοκηπίου.

Ένα καλής ποιότητας υλικό κάλυψης πρέπει να επιτρέπει τη διείσδυση όσο το δυνατόν μεγαλύτερης ποσότητας από τον προσπίπτοντα σ' αυτό φωτισμό και να ευνοεί τη διάχυσή του στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, ώστε να υπάρχει ομοιογένεια φωτισμού σε όλο τον καλυπτόμενο χώρο. Επί πλέον και πολύ σημαντικό είναι να επιτρέπει από το φυσικό φως να διέρχονται όλα τα μήκη κύματος τα οποία είναι αναγκαία για την ανάπτυξη των φυτών[5].

το φως αφού πέσει πάνω στο διαφανές υλικό κάλυψης είναι δυνατό[5]:

1. Να ανακλασθεί πάνω στο υλικό.
2. Να απορροφηθεί από το υλικό.
3. Να διέλθει μέσα από το υλικό.



Εικόνα 1.3:Περατότητα του διαφανούς υλικού στο φως[5].

- **Οικονομική θεώρηση επιλογής υλικού κάλυψης**

Η επιλογή υλικού κάλυψης εξαρτάται όχι μόνο από τις φυσικές και μηχανικές του ιδιότητες, αλλά και από το κόστος εγκατάστασης, τη διάρκεια ζωής και τις ανάγκες συντήρησης. Το πολυαιθυλένιο είναι η φθηνότερη λύση, κατάλληλη για θερμοκήπια χαμηλού κόστους ή εποχιακής χρήσης. Τα πολυκαρβονικά και τα ακρυλικά προσφέρουν μεγαλύτερη ενεργειακή αποδοτικότητα και αντοχή, αλλά με πολύ υψηλότερο κόστος επένδυσης. Το γυαλί, αν και ακριβό, παραμένει η πιο διαχρονική λύση με σταθερή περατότητα στο φως.

Πίνακας 1.1: Περατότητα στη μικρού μήκους κύματος και στη μεγάλο μήκους κύματος[5].

Υλικό		Ποσοστό διέλευσης ακτινοβολίας %				
		Φωτεινής				Θερμικής
		Απλή κάλυψη		Διπλή κάλυψη		
		Απ' ευθείας φως	Ολικό φως	Απ' ευθείας φως	Ολικό φως	Απλή κάλυψη
1.	Πολυαιθυλένιο διαφανές καθαρό χωρίς προσμίξεις	93	93	88	-	88
2.	Πολυαιθυλένιο διαφανές κοινό εμπορίου	76	89	-	80	71
3.	Πολυαιθυλένιο U.V.	74	88	-	-	64
4.	Γυαλί	86	90	75	-	1
5.	P.V.C. διαφανές	86	91	-	84	12
6.	P.V.C. «Haze»	-	89	-	82	12
7.	Mylar (πολυεστέρας φύλλο)	86	90	80	-	16
8.	Πολυεστέρας ενισχυμένος με ίνες γυαλιού	68	78	-	64	1
9.	Ακρυλικό διπλού επιπέδου	-	63-83	-	-	-
10.	Polycarbonate διπλού επιπέδου	-	73-77	-	-	-

## 1.6 Υλικά Κατασκευής Σκελετού Θερμοκηπίων

Ο σκελετός αποτελεί το βασικό δομικό στοιχείο του θερμοκηπίου, καθώς στηρίζει το υλικό κάλυψης και εξασφαλίζει την αντοχή της κατασκευής στις μηχανικές καταπονήσεις από άνεμο, βροχή και χιόνι. Η επιλογή του υλικού σκελετού επηρεάζει την ανθεκτικότητα, τη διάρκεια ζωής και το συνολικό κόστος του θερμοκηπίου, ενώ παράλληλα καθορίζει και το βαθμό σκίασης που προκαλείται στο εσωτερικό.

- **Ξύλο**

Το ξύλο αποτέλεσε το πρώτο υλικό σκελετού που χρησιμοποιήθηκε. Είναι οικονομικό, εύκολο στη χρήση και επιτρέπει την κατασκευή μικρών θερμοκηπίων με χαμηλό κόστος. Ωστόσο, παρουσιάζει σοβαρά μειονεκτήματα: μικρή διάρκεια ζωής λόγω προσβολών από υγρασία και έντομα, ανάγκη για συχνή συντήρηση (βαφή, εμποτισμός), και περιορισμένη μηχανική αντοχή. Σήμερα χρησιμοποιείται ελάχιστα, κυρίως σε ερασιτεχνικές κατασκευές ή σε αναπτυσσόμενες χώρες[6].

- **Χάλυβας**

Ο χάλυβας αποτελεί το πιο διαδεδομένο υλικό σκελετού διεθνώς. Διακρίνεται για την υψηλή μηχανική αντοχή, την ακαμψία και τη μεγάλη διάρκεια ζωής. Συνήθως χρησιμοποιείται γαλβανισμένος ώστε να προστατεύεται από τη διάβρωση. Επιτρέπει την κατασκευή θερμοκηπίων μεγάλων διαστάσεων με ελαφριά μορφή σκελετού, μειώνοντας τη σκίαση. Τα μειονεκτήματά του είναι το υψηλότερο κόστος και η ανάγκη για αντιδιαβρωτική προστασία[6].

- **Αλουμίνιο**

Το αλουμίνιο χρησιμοποιείται σε μικρότερο βαθμό, κυρίως σε θερμοκήπια υψηλής τεχνολογίας. Παρουσιάζει εξαιρετική αντοχή στη διάβρωση, μικρό βάρος και καλή αισθητική. Η διάρκεια ζωής του είναι πολύ μεγάλη, ενώ η συντήρηση είναι σχεδόν μηδενική. Ωστόσο, είναι σημαντικά ακριβότερο σε σχέση με τον χάλυβα, γεγονός που περιορίζει τη χρήση του σε επαγγελματικές ή ειδικές εφαρμογές[6].

- **Πλαστικά υλικά (PVC)**

Οι σωλήνες PVC χρησιμοποιήθηκαν ευρέως σε μικρά και πρόχειρα θερμοκήπια λόγω χαμηλού κόστους και ευκολίας συναρμολόγησης. Ωστόσο, παρουσιάζουν μικρή μηχανική αντοχή, μεγάλη παραμόρφωση

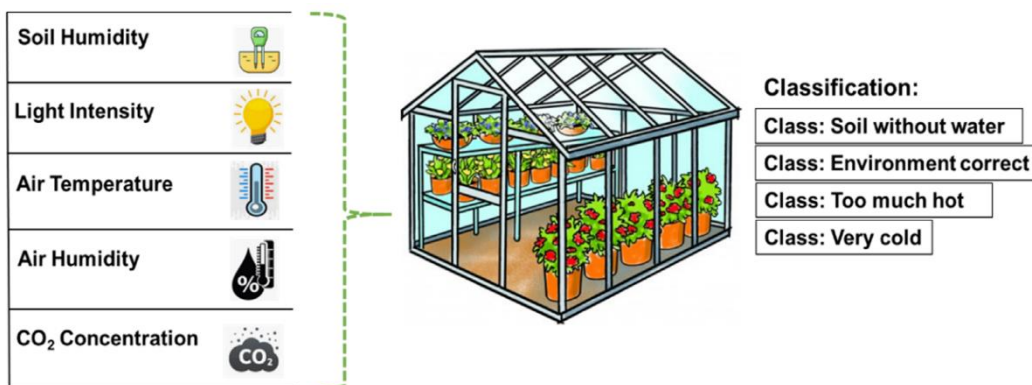
σε φορτία και μικρή διάρκεια ζωής, ειδικά υπό συνθήκες ηλιακής ακτινοβολίας. Σήμερα η χρήση τους έχει περιοριστεί σημαντικά[6].

Πίνακας 1.2: Συγκριτικός πίνακας υλικών σκελετού θερμοκηπίων[6].

Υλικό	Μηχανική αντοχή	Διάρκεια ζωής	Αντοχή σε διάβρωση	Κόστος	Βαθμός σκίασης	Συντήρηση	Κύρια χρήση
Ξύλο	Χαμηλή	5–10 έτη (με συντήρηση)	Χαμηλή	Χαμηλό	Υψηλός (παχιές διατομές)	Υψηλή (βαφή, εμποτισμός)	Μικρά/ερασιτεχνικά θερμοκήπια
Χάλυβας	Πολύ υψηλή	20–30 έτη (γαλβανισμένος)	Μέτρια (χρειάζεται γαλβάνισμα)	Μέτριο	Χαμηλός (λεπτές διατομές)	Μέτρια	Επαγγελματικά θερμοκήπια
Αλουμίνιο	Υψηλή	30+ έτη	Πολύ υψηλή	Υψηλό	Χαμηλός	Ελάχιστη	Υψηλής τεχνολογίας θερμοκήπια
PVC	Χαμηλή	3–7 έτη	Χαμηλή	Πολύ χαμηλό	Μέτριος	Υψηλή (ευαισθησία στον ήλιο)	Πρόχειρα ή προσωρινά θερμοκήπια

### 1.7 Περιβαλλοντικές Παράμετροι σε Θερμοκήπιο

Η ανάπτυξη των φυτών σε ένα θερμοκήπιο εξαρτάται από τη ρύθμιση συγκεκριμένων περιβαλλοντικών παραμέτρων. Οι παράμετροι αυτοί είναι η θερμοκρασία, η υγρασία, ο φωτισμός, ο αερισμός και η υγρασία του εδάφους. Σε επαγγελματικό τομέα ρυθμίζεται και το διοξείδιο του άνθρακα CO<sub>2</sub> που είναι απαραίτητο για την φωτοσύνθεση.



Εικόνα 1.4: Περιβαλλοντικές παράμετροι θερμοκηπίου [Online]: [https://www.researchgate.net/figure/Parameters-affecting-the-greenhouse-rose-yield-environment\\_fig1\\_355904458](https://www.researchgate.net/figure/Parameters-affecting-the-greenhouse-rose-yield-environment_fig1_355904458)

- **Θερμοκρασία**

Η θερμοκρασία αποτελεί τον πιο καθοριστικό παράγοντα για τη φωτοσύνθεση, την αναπνοή και την καρπόδεση των φυτών. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, οι περισσότερες καλλιέργειες λαχανικών θερμής εποχής αναπτύσσονται καλύτερα σε θερμοκρασίες ημέρας 20–28 °C και νύχτας 15–20 °C. Θερμοκρασίες εκτός αυτού του εύρους οδηγούν σε θερμικό στρες, μειωμένη ανάπτυξη ή καθυστέρηση της ανθοφορίας[7].

Η Θερμοκρασία επηρεάζει στην ανάπτυξη των φυτών σημαντικά, υψηλές θερμοκρασίες για μεγάλο διάστημα μπορεί να «σκοτώσει» τα φυτά μαραίνοντας τα και αντίστοιχα η χαμηλή θερμοκρασία να τα παγώσει με αποτέλεσμα να καταστραφεί η καλλιέργεια που έγινε με τόσο κόπο.

Σχήμα 1.3: Πίνακας θερμοκρασιών φυτών [Online]: <https://www.dakotastorage.com/blog/keep-greenhouse-humidity-in-check-how-to-manage-temperature-and-moisture-levels>

	Ημέρα	Νύχτα
<b>Λαχανικά</b>	21-27 °C	16-21 °C
<b>Βότανα</b>	18-24 °C	13-18 °C
<b>Τροπικά φυτά</b>	24-29 °C	18-24 °C
<b>Σπορόφυτα</b>	18-24 °C	16-18 °C
<b>Φυλλώδη Λαχανικά</b>	16-21 °C	10-16 °C

- **Υγρασία**

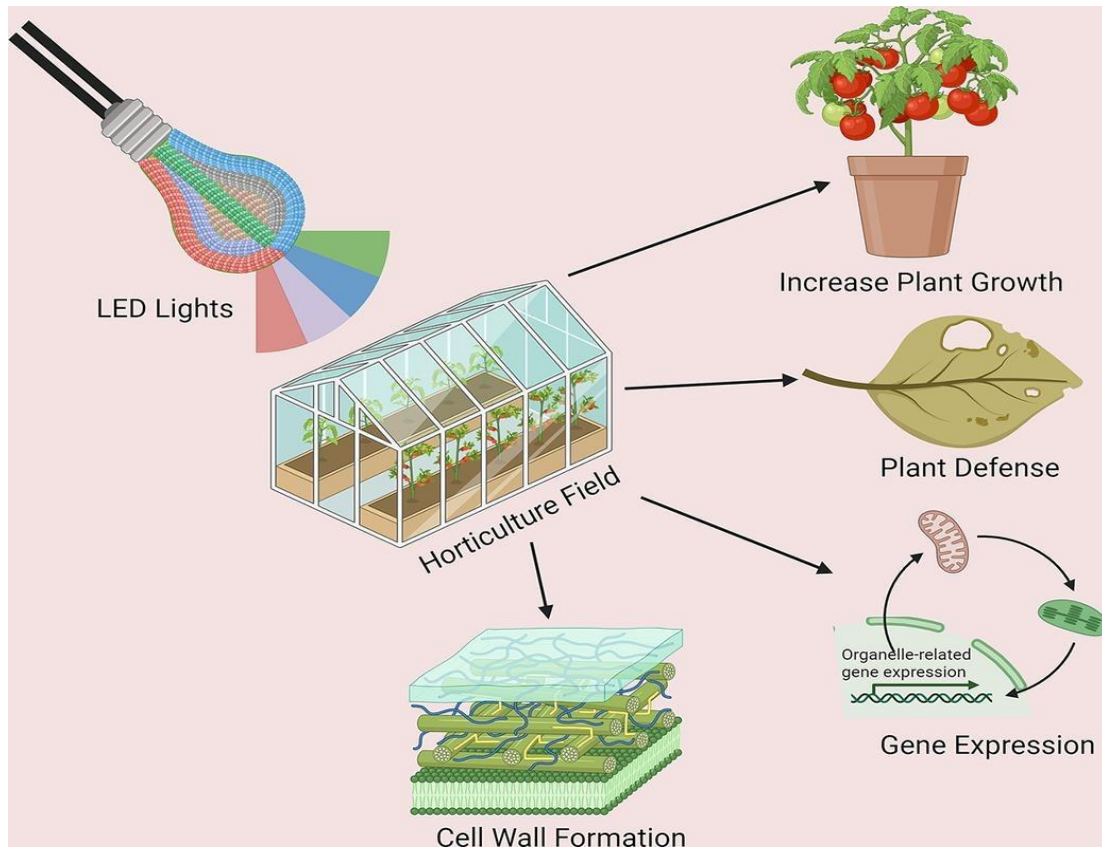
Η υγρασία θεωρείται ο δυσκολότερος κλιματικός παράγοντας σε ένα θερμοκήπιο, υπάρχει η υγρασία του αέρα και του εδάφους. Η σχετική υγρασία εξαρτάται από την θερμοκρασία του αέρα, ενώ τα φυτά συμβάλλουν διακρως στην αύξηση της με την απελευθέρωση νερού μέσω της διαπνοής[8].

Σχήμα 1.4: Πίνακας υγρασίας φυτών [Online]: <https://www.dakotastorage.com/blog/keep-greenhouse-humidity-in-check-how-to-manage-temperature-and-moisture-levels>

	Ημέρα	Νύχτα
<b>Λαχανικά</b>	50-70%	80-90%
<b>Βότανα</b>	40-60%	70-80%
<b>Τροπικά φυτά</b>	60-80%	80-90%
<b>Σπορόφυτα</b>	70-80%	80-90%
<b>Φυλλώδη Λαχανικά</b>	60-75%	80-90%

- **Φωτισμός**

Το φως αποτελεί βασική πηγή ενέργειας για τη φωτοσύνθεση. Στα θερμοκήπια αξιοποιείται κυρίως η ηλιακή ακτινοβολία, ενώ σε περιοχές με περιορισμένη ηλιοφάνεια εφαρμόζεται συμπληρωματικός τεχνητός φωτισμός (LED πλήρους φάσματος), ο οποίος παρατείνει τη φωτοπερίοδο και βελτιώνει την ποιότητα παραγωγής[9].



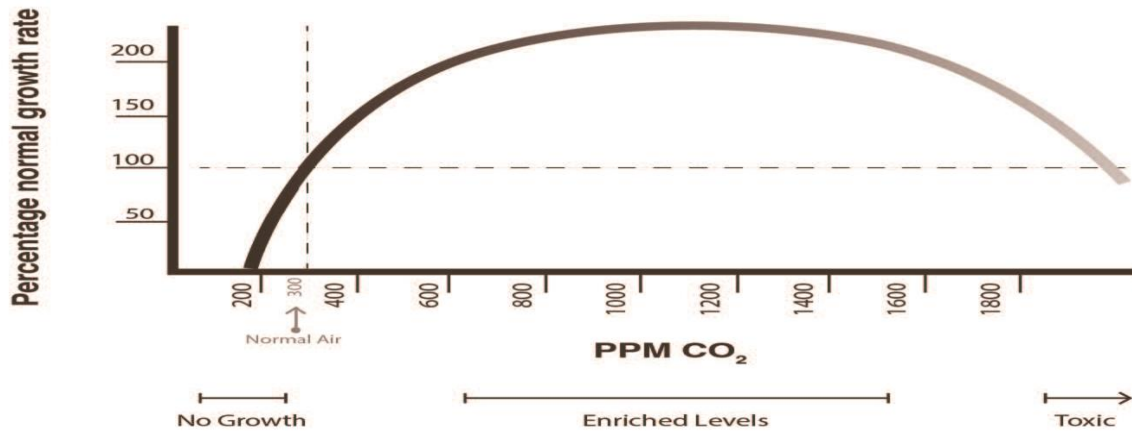
Εικόνα 1.5: Φωτισμός LED ανάπτυξης φυτών[Online]:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590262824000108>

- **Διοξείδιο Του Άνθρακα (CO<sub>2</sub>)**

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) συμμετέχει άμεσα στη φωτοσύνθεση ως βασικό υπόστρωμα για τον σχηματισμό σακχάρων, ενώ η παρουσία του σε επαρκή συγκέντρωση οδηγεί σε αύξηση της βιομάζας, βελτίωση της ποιότητας των καρπών και ενίσχυση της αντοχής των φυτών σε περιβαλλοντικές καταπονήσεις[10]

**Οφέλη από τον εμπλουτισμό CO<sub>2</sub> :**

1. Αύξηση φωτοσύνθεσης και ρυθμού ανάπτυξης.
2. Συντόμευση καλλιεργητικών κύκλων και δυνατότητα για περισσότερες συγκομιδές ετησίως.
3. Βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων (γεύση, υφή, θρεπτική αξία).
4. Μείωση της διαπνοής και καλύτερη αξιοποίηση του νερού.
5. Μεγαλύτερη αντοχή σε καταπονήσεις όπως ξηρασία και αλατότητα.



Εικόνα 1.6: Σχέση μεταξύ συγκέντρωσης CO<sub>2</sub> και ρυθμού ανάπτυξης των φυτών.[Online]: <https://www.hortidaily.com/article/9661469/the-importance-of-co2-levels-in-plant-growth/>

Η φυσική συγκέντρωση CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα κυμαίνεται περίπου στα 400 ppm. Έρευνες έχουν δείξει ότι οι περισσότερες καλλιέργειες τύπου C<sub>3</sub> (π.χ. τομάτα, αγγούρι, πιπεριά) ανταποκρίνονται θετικά όταν η συγκέντρωση αυξάνεται στα **800–1 200 ppm**, παρουσιάζοντας σημαντική αύξηση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας και της απόδοσης. Σε πειράματα παρατηρήθηκε ότι εμπλουτισμός στα **550–650 ppm** οδήγησε σε αύξηση της παραγωγής κατά περίπου **18%**, ενώ συγκεντρώσεις γύρω στα **1 000 ppm** βελτίωσαν την ποιότητα των καρπών (διαλυτά σάκχαρα, χρώμα, σκληρότητα) κατά **10–60%**[10].

## 1.8 Επίλογος

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάστηκε το θεωρητικό υπόβαθρο σχετικά με τον ηλεκτρονικά ελεγχόμενο κλιματικό θάλαμο και αναλύθηκε η έννοια, η ιστορική εξέλιξη και η σημερινή σημασία των θερμοκηπίων στη γεωργική παραγωγή. Δόθηκε έμφαση στη συμβολή τους στην προστασία των καλλιεργειών από δυσμενείς κλιματικές συνθήκες, στην επέκταση της καλλιεργητικής περιόδου, καθώς και στη βελτίωση της ποιότητας και ποσότητας των παραγόμενων προϊόντων.

Επιπλέον, παρουσιάστηκαν οι βασικοί τύποι θερμοκηπίων και οι τεχνικές τους προδιαγραφές, με έμφαση στα υλικά κάλυψης και στον σκελετό, τα οποία καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την ενεργειακή αποδοτικότητα, την ανθεκτικότητα και τη μακροχρόνια λειτουργικότητα της κατασκευής. Εξετάστηκαν, επίσης, οι κύριες περιβαλλοντικές παράμετροι που επηρεάζουν την ανάπτυξη των φυτών (θερμοκρασία, υγρασία, φωτισμός, συγκέντρωση CO<sub>2</sub>), οι οποίες πρέπει να ρυθμίζονται προσεκτικά για τη διατήρηση βέλτιστων συνθηκών.

Συνολικά, το κεφάλαιο ανέδειξε ότι δεν υφίσταται ένα «ιδανικό» σύστημα ή υλικό που να καλύπτει όλες τις ανάγκες. Η επιλογή εξαρτάται από παράγοντες όπως το είδος της καλλιέργειας, οι κλιματικές συνθήκες και οι οικονομικοί πόροι. Ωστόσο, καθίσταται σαφές ότι ο συνδυασμός κατάλληλων υλικών και τεχνολογικών λύσεων αποτελεί βασική προϋπόθεση για την επιτυχία μιας θερμοκηπιακής εγκατάστασης.

Με βάση τα παραπάνω, διαφαίνεται η αναγκαιότητα ενσωμάτωσης σύγχρονων ηλεκτρονικών συστημάτων ελέγχου, τα οποία μπορούν να παρακολουθούν και να ρυθμίζουν αυτόματα τις κρίσιμες παραμέτρους. Στο επόμενο κεφάλαιο θα παρουσιαστούν οι μικροελεγκτές και ειδικότερα η πλατφόρμα Arduino, η οποία αποτελεί το τεχνολογικό εργαλείο για την ανάπτυξη του ηλεκτρονικά ελεγχόμενου κλιματικού θαλάμου.

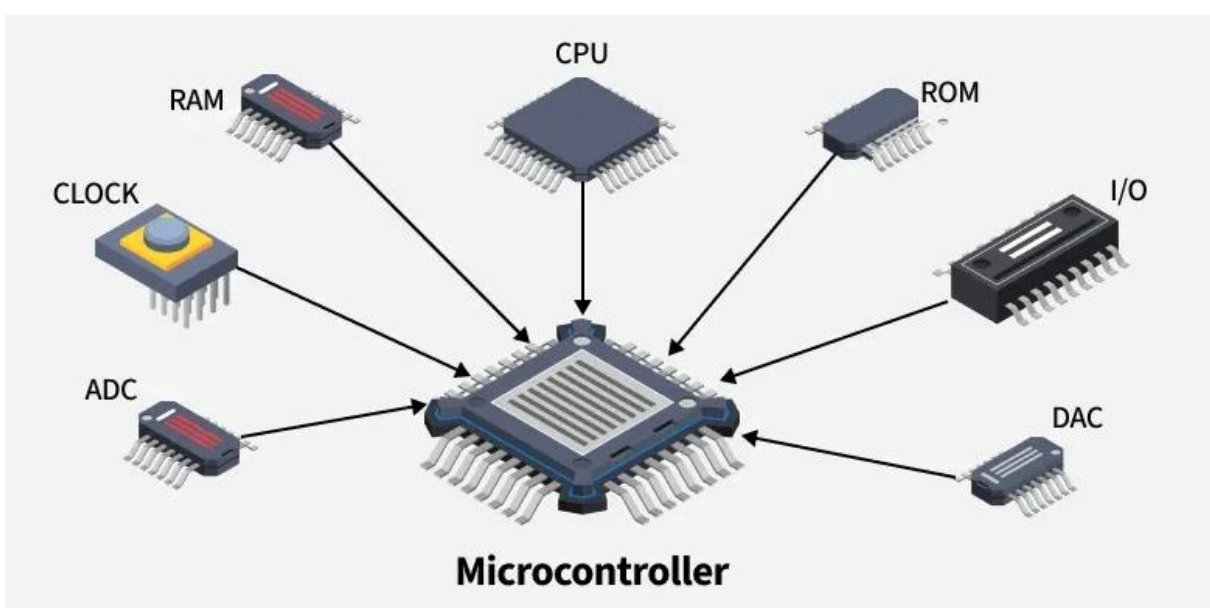
## Κεφάλαιο 2ο: Μικροελεγκτής και Αισθητήρια

### 2.1 Τι είναι ο μικροελεγκτής

Ένας μικροελεγκτής (MCU) είναι ένας μικρός υπολογιστής σε ένα ενιαίο ολοκληρωμένο κύκλωμα που έχει σχεδιαστεί για να ελέγχει συγκεκριμένες εργασίες εντός ηλεκτρονικών συστημάτων. Ένας μικροελεγκτής αποτελείται από έναν ή περισσότερους επεξεργαστές (processor core), περιέχει μνήμη και προγραμματιζόμενες εισόδους και εξόδους (I/O peripherals). Η μνήμη προγράμματος, συνήθως σε μορφή NOR flash, OTP ROM ή RAM, περιλαμβάνεται συχνά στο ίδιο το ολοκληρωμένο κύκλωμα, μαζί με μικρή ποσότητα RAM. Ο Πυρήνας του επεξεργαστή είναι υπεύθυνος για την εκτέλεση εντολών και τον έλεγχο των άλλων στοιχείων του μικροελεγκτή[11].

Οι μικροελεγκτές έχουν σχεδιαστεί για ενσωματωμένες εφαρμογές (embedded applications), σε αντίθεση με τους μικροεπεξεργαστές που χρησιμοποιούνται σε προσωπικούς υπολογιστές ή σε άλλες γενικής χρήσης εφαρμογές, οι οποίες αποτελούνται από διάφορα διακριτά κυκλώματα. Η μνήμη χρησιμοποιείται για την αποθήκευση δεδομένων και κώδικα προγράμματος, ενώ τα περιφερειακά εισόδου/εξόδου χρησιμοποιούνται για την αλληλεπίδραση με το εξωτερικό περιβάλλον.

Ένας μικροελεγκτής είναι μια αυτοτελής επιφάνεια εργασίας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα ενσωματωμένο σύστημα. Μερικοί μικροελεγκτές μπορούν να λειτουργούν με ρυθμούς ρολογιού και να χρησιμοποιούν εκφράσεις τεσσάρων bit. Επειδή πολλές από τις συσκευές που ελέγχουν λειτουργούν με μπαταρία, οι μικροελεγκτές πρέπει συχνά να είναι χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας. Είναι ένας μικρός, χαμηλού κόστους υπολογιστής ενσωματωμένος σε ένα μόνο τσιπ. Συχνά χρησιμοποιείται ως μέρος ενός ενσωματωμένου συστήματος για τον έλεγχο συγκεκριμένων λειτουργιών σε ηλεκτρονικές συσκευές.



Εικόνα 2.7: Μικροελεγκτής[Online]: <https://www.geeksforgeeks.org/digital-logic/microcontroller-and-its-types/>

### 2.2 Πλατφόρμα Arduino

Το Arduino είναι μία πλατφόρμα ανάπτυξης ανοικτού κώδικα. Δηλαδή, μια μητρική πλακέτα ανοικτού κώδικα με ενσωματωμένο μικροελεγκτή και εισόδους/εξόδους, η οποία προγραμματίζεται με τη γλώσσα Wiring. Η γλώσσα Wiring ουσιαστικά είναι μία αντικειμενοστρεφής γλώσσα προγραμματισμού σε μια απλοποιημένη μορφή της γλώσσας προγραμματισμού C και C++. Με την

χρήση της συγκεκριμένης γλώσσας προγραμματισμού καθιστά εύκολο τον προγραμματισμό της πλακέτας ακόμα και για παιδιά από μικρή ηλικία σαν κάποιο πειραματικό μέσο.



Εικόνα 2.8: Εκπαίδευση στην πλατφόρμα Arduino [Online]: [https://nicrobot.com.ng/15-arduino-projects-for-kids-arduino-uno-ideas-for-beginners/?srsltid=AfmBOooMilosIQcVebgFEJ476zQB27R5a9Tsjdo\\_smXvypI7O78v8Qz](https://nicrobot.com.ng/15-arduino-projects-for-kids-arduino-uno-ideas-for-beginners/?srsltid=AfmBOooMilosIQcVebgFEJ476zQB27R5a9Tsjdo_smXvypI7O78v8Qz)

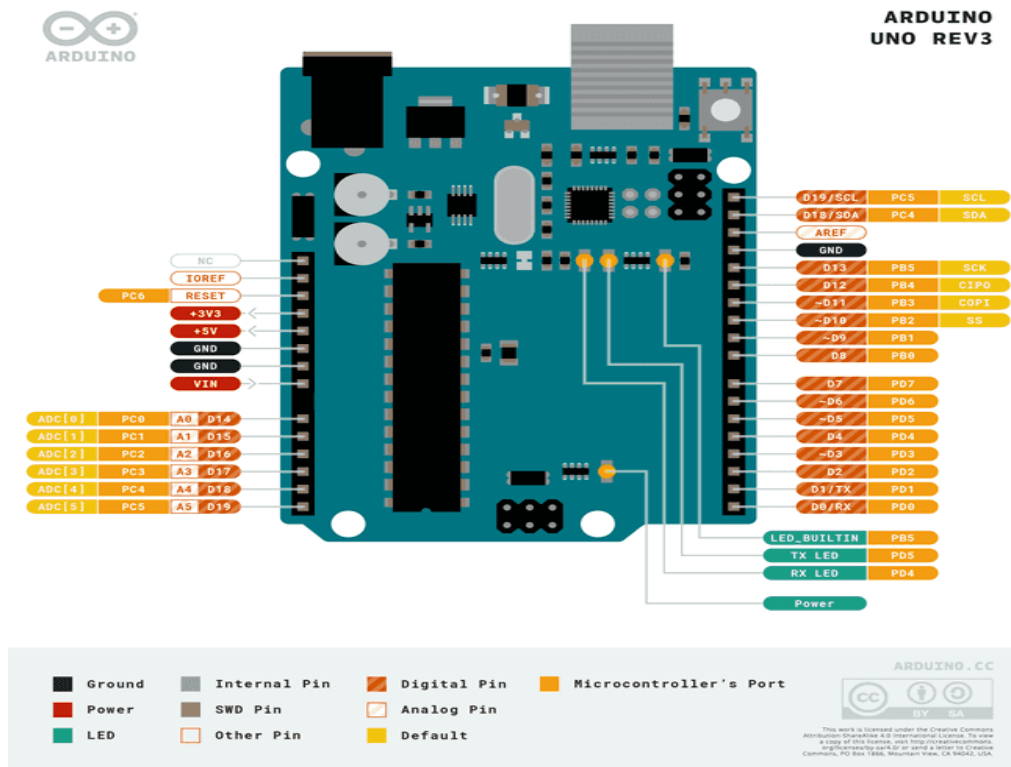
Κάποια από τα βασικά πλεονεκτήματα της πλατφόρμας Arduino είναι:

1. **Ευκολία στην μάθηση και στη χρήση.** Το Arduino χρησιμοποιεί το Arduino IDE, το οποίο βασίζεται στη γλώσσα Wiring (C/C++) και προσφέρει μια απλουστευμένη σύνταξη σε σχέση με άλλες πλατφόρμες. Οι αρχάριοι μπορούν να κατανοήσουν τις βασικές λειτουργίες (π.χ. ανάγνωση αισθητήρα, έλεγχος εξόδου) με ελάχιστο προγραμματιστικό υπόβαθρο.
2. **Εκπαιδευτική και Ερευνητική Αξία.** Η ανοιχτή φιλοσοφία του Arduino (open-source hardware & software) το έχει καταστήσει ένα τυποποιημένο εργαλείο στην εκπαίδευση της φυσικής υπολογιστικών συστημάτων, των ενσωματωμένων συστημάτων (embedded systems) και της ρομποτικής.
3. **Επεκτασιμότητα και Modular Design.** Η αρχιτεκτονική του Arduino επιτρέπει την εύκολη χρήση shields (π.χ. Ethernet, Wi-Fi, GSM) που προσαρμόζονται απευθείας πάνω στη βασική πλακέτα.
4. **Κόστος και Προσβασιμότητα.** Η πλατφόρμα Arduino είναι ιδιαίτερα οικονομική, με τις βασικές εκδόσεις (Uno, Nano). Αυτό καθιστά δυνατή τη χρήση της τόσο σε εκπαιδευτικά εργαστήρια όσο και σε ερευνητικά πρωτότυπα με χαμηλό προϋπολογισμό.

### 2.2.1 Πλακέτα Arduino UNO R3

Η πλατφόρμα **Arduino Uno R3** αποτελεί την τρίτη αναθεωρημένη έκδοση της βασικής σειράς Arduino και είναι μία από τις πλέον διαδεδομένες μητρικές πλακέτες μικροελεγκτών παγκοσμίως. Βασίζεται στον μικροελεγκτή **ATmega328P** της Atmel (Microchip) και έχει σχεδιαστεί ώστε να προσφέρει

ευκολία στη χρήση, χαμηλό κόστος και υψηλή αξιοπιστία, καθιστώντας την κατάλληλη τόσο για εκπαιδευτικούς όσο και για ερευνητικούς σκοπούς.



Εικόνα 2.9: Arduino Uno R3

[Online]: <https://docs.arduino.cc/retired/boards/arduino-uno-rev3-with-long-pins/>

## 2.2.2 Τροφοδοσία Arduino

Η πλακέτα **Arduino Uno R3** μπορεί να τροφοδοτηθεί είτε μέσω της θύρας USB είτε από εξωτερική πηγή ενέργειας. Η επιλογή της πηγής τροφοδοσίας γίνεται αυτόματα από το κύκλωμα της πλακέτας.

Η εξωτερική τροφοδοσία μπορεί να προέρχεται από:

1. Μετασχηματιστή AC–DC (τύπου "wall-wart") με βύσμα 2.1mm.
2. Μπαταρία, η οποία συνδέεται απευθείας στα pin GND και Vin του τμήματος POWER.

Η πλακέτα λειτουργεί με εξωτερική τάση στην περιοχή **6–12 V**, ωστόσο:

1. Κάτω από τα 7 V, η έξοδος των 5V μπορεί να είναι χαμηλότερη και να προκαλέσει αστάθεια.
2. Πάνω από τα 12 V, ο ρυθμιστής τάσης μπορεί να υπερθερμανθεί και να προκληθεί ζημιά.
3. Η συνιστώμενη περιοχή λειτουργίας είναι 7–12 V.

Κύρια Pin Τροφοδοσίας:

1. **Vin** → Είσοδος τάσης όταν χρησιμοποιείται εξωτερική πηγή (αντί για την USB). Από αυτό το pin μπορούμε επίσης να αντλήσουμε την εξωτερική τάση.
2. **5V** → Σταθεροποιημένη έξοδος 5V από τον ενσωματωμένο ρυθμιστή. Η πλακέτα μπορεί να τροφοδοτηθεί είτε από USB (5V), είτε από τον ακροδέκτη DC (7–12V), είτε από το Vin. Η απευθείας τροφοδοσία από το pin 5V παρακάμπτει τον ρυθμιστή και μπορεί να καταστρέψει την πλακέτα.
3. **3V3** → Σταθεροποιημένη έξοδος 3.3V από τον ενσωματωμένο ρυθμιστή, με μέγιστο ρεύμα 50 mA.
4. **GND** → Γείωση (αρνητικός πόλος).
5. **IOREF** → Παρέχει την τάση αναφοράς με την οποία λειτουργεί ο μικροελεγκτής. Οι επεκτάσεις (shields) μπορούν να το χρησιμοποιήσουν για να αναγνωρίσουν αν η πλακέτα λειτουργεί με 5V ή 3.3V.

### 2.2.3 Είσοδοι - Έξοδοι του Arduino

Η πλακέτα **Arduino Uno R3** βασίζεται στον μικροελεγκτή **ATmega328P**, ο οποίος διαθέτει 14 ψηφιακές εισόδους/εξόδους και 6 αναλογικές εισόδους. Η χαρτογράφηση των ακροδεκτών (pin mapping) είναι ίδια για τους μικροελεγκτές **ATmega8**, **ATmega168** και **ATmega328**.

Κάθε ψηφιακό pin μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ως είσοδος είτε ως έξοδος, μέσω των συναρτήσεων `pinMode()`, `digitalWrite()` και `digitalRead()`.

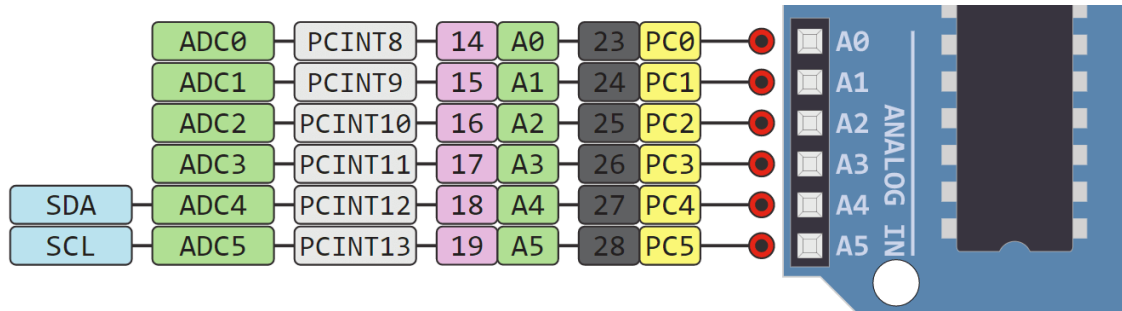
1. Τα pins λειτουργούν σε τάση 5 V.
2. Κάθε pin μπορεί να παρέχει ή να δεχθεί ρεύμα περίπου 20 mA (συνιστώμενη τιμή λειτουργίας).
3. Η μέγιστη τιμή των 40 mA δεν πρέπει να ξεπερνιέται, διαφορετικά υπάρχει κίνδυνος μόνιμης βλάβης του μικροελεγκτή.
4. Κάθε pin διαθέτει εσωτερική αντίσταση pull-up 20–50 kΩ, η οποία είναι απενεργοποιημένη εξ ορισμού.

#### Arduino Uno Pinout – Analog

Η πλακέτα **Arduino Uno** διαθέτει έξι αναλογικές εισόδους (A0–A5), οι οποίες βασίζονται σε κύκλωμα ADC (Analog to Digital Converter). Τα pins αυτά χρησιμοποιούνται κυρίως για την ανάγνωση αναλογικών σημάτων, αλλά μπορούν επίσης να λειτουργήσουν και ως ψηφιακές εισοδοί/εξοδοί[12].

Ο ADC είναι το ηλεκτρονικό κύκλωμα που μετατρέπει ένα αναλογικό σήμα τάσης σε ψηφιακή μορφή. Με αυτόν τον τρόπο, ο μικροελεγκτής –που είναι ψηφιακή συσκευή– μπορεί να κατανοήσει και να επεξεργαστεί φυσικά μεγέθη, όπως θερμοκρασία, φωτεινότητα ή υγρασία, τα οποία αρχικά εκφράζονται ως αναλογικές τάσεις[12].

Στο Arduino Uno, ο ADC έχει ανάλυση 10-bit, γεγονός που σημαίνει ότι το αναλογικό σήμα μετατρέπεται σε μία από 1024 διαφορετικές ψηφιακές τιμές (0–1023). Έτσι, μια αναλογική τάση στο εύρος 0–5V αντιστοιχίζεται σε μια διακριτή ψηφιακή τιμή που μπορεί να επεξεργαστεί ο μικροελεγκτής[12].



Εικόνα 2.10: Arduino Uno pinout – analog

[Online]: <https://www.circuito.io/blog/arduino-uno-pinout/>

### Arduino Uno Pinout – Digital

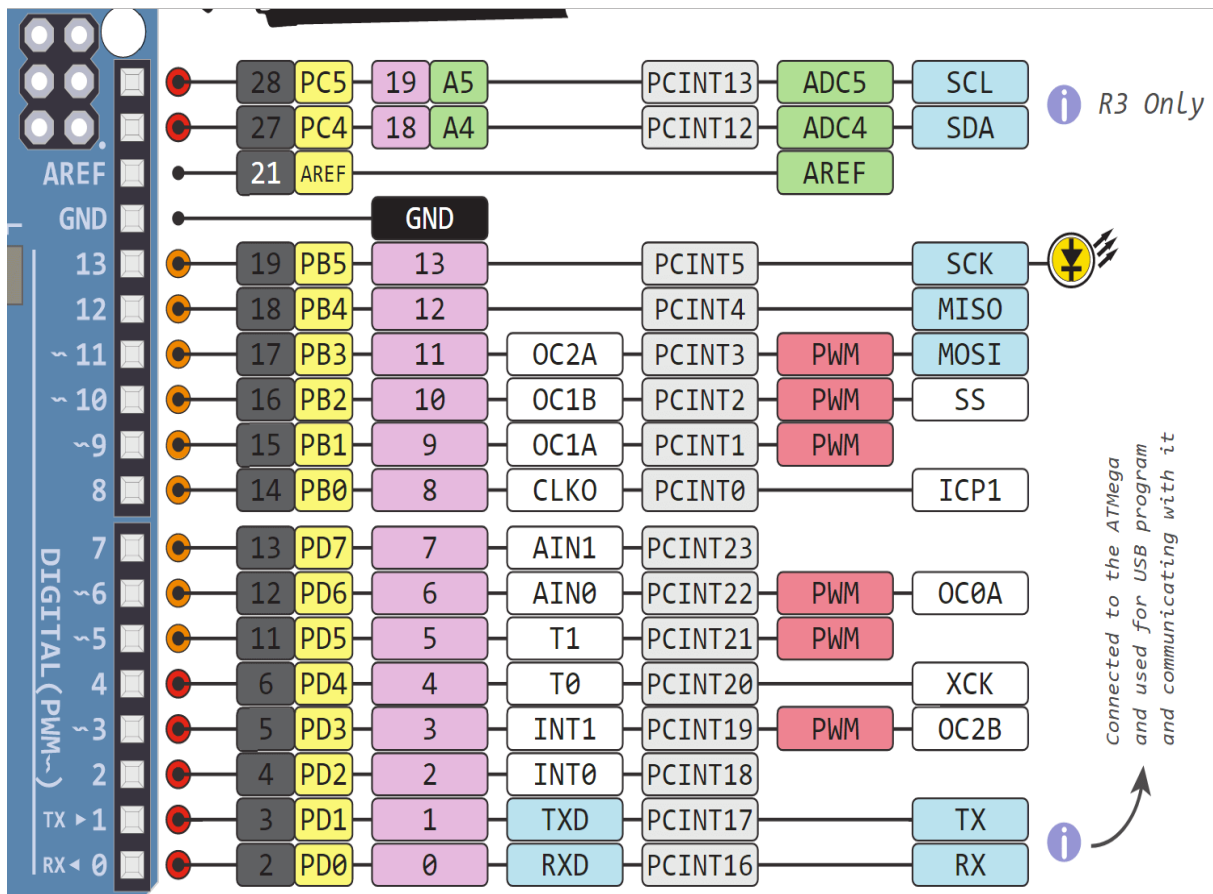
Η πλακέτα Arduino Uno διαθέτει δεκατέσσερα ψηφιακά pins (0–13), τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε ως είσοδοι είτε ως έξοδοι, ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη. Το pin 13 είναι συνδεδεμένο με το ενσωματωμένο LED της πλακέτας, ενώ τα pins 3, 5, 6, 9, 10 και 11 υποστηρίζουν λειτουργία PWM (Pulse Width Modulation), παρέχοντας τη δυνατότητα παραγωγής παλμών μεταβλητού εύρους για τον έλεγχο συσκευών όπως κινητήρες ή φωτεινότητα LED[12].

Κάθε pin μπορεί να παρέχει ή να απορροφήσει ρεύμα έως 40 mA, ωστόσο η συνιστώμενη τιμή λειτουργίας είναι 20 mA, προκειμένου να εξασφαλίζεται η μακροχρόνια αξιοπιστία του μικροελεγκτή. Το συνολικό ρεύμα που μπορούν να διαχειριστούν ταυτόχρονα όλα τα pins δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 200 mA.

Ο όρος «ψηφιακό» αναφέρεται στην αναπαράσταση της τάσης με δύο διακριτές καταστάσεις: LOW (0), που αντιστοιχεί σε 0 V, και HIGH (1), που αντιστοιχεί σε 5 V. Όταν ένα ψηφιακό pin έχει ρυθμιστεί ως έξοδος, μπορεί να δώσει σήμα είτε 0 είτε 5 V. Αντίθετα, όταν λειτουργεί ως είσοδος, λαμβάνει σήμα από εξωτερικό κύκλωμα στο εύρος 0–5 V, το οποίο ο μικροελεγκτής ερμηνεύει ως λογικό 0 ή 1.

Για τον καθορισμό της λογικής κατάστασης εισόδου υπάρχουν όρια τάσης: τιμές κάτω από 0,8 V θεωρούνται λογικό 0, ενώ τιμές άνω των 2 V θεωρούνται λογικό 1. Αν η τάση βρίσκεται μεταξύ των δύο αυτών ορίων, το αποτέλεσμα είναι ακαθόριστο και ενδέχεται να οδηγήσει σε σφάλματα ανάγνωσης.

Συνολικά, τα ψηφιακά pins του Arduino Uno αποτελούν ένα ιδιαίτερα ευέλικτο εργαλείο, καθώς επιτρέπουν τη σύνδεση τόσο απλών εξαρτημάτων, όπως διακόπτες και LED, όσο και πιο σύνθετων συσκευών που απαιτούν επικοινωνία ή έλεγχο μέσω PWM.



Εικόνα 2.11: Arduino Uno pinout – digital

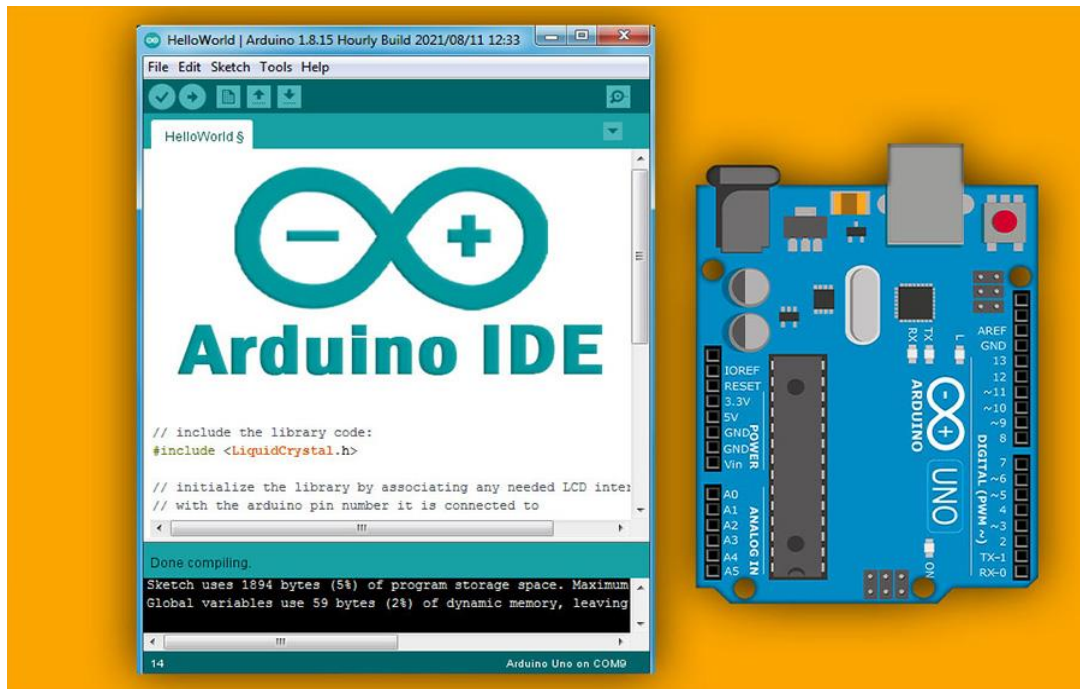
[Online]: <https://www.circuito.io/blog/arduino-uno-pinout/>

## 2.2.4 Εφαρμογή προγραμματισμού Arduino

Το **Arduino IDE (Integrated Development Environment)** είναι το βασικό εργαλείο που χρησιμοποιείται για τη συγγραφή, τη μεταγλώττιση και τη μεταφόρτωση κώδικα σε πλακέτες Arduino. Πρόκειται για ένα δωρεάν και ανοικτού κώδικα λογισμικό, διαθέσιμο για Windows, Linux και macOS, το οποίο προσφέρει ένα απλό και φιλικό περιβάλλον προς τον χρήστη.

Κύρια χαρακτηριστικά:

1. **Επεξεργαστής κώδικα:** Ο χρήστης γράφει προγράμματα (sketches) σε C/C++, με υποστήριξη για βασική χρωματική επισήμανση (syntax highlighting) και απλοποιημένες βιβλιοθήκες.
2. **Κουμπιά γρήγορης πρόσβασης:** Παρέχει εργαλεία για έλεγχο του κώδικα (verify/compile) και μεταφόρτωση (upload) στον μικροελεγκτή.
3. **Σειριακή επικοινωνία:** Διαθέτει Serial Monitor για αποστολή/λήψη δεδομένων από και προς το Arduino σε πραγματικό χρόνο, χρήσιμο για έλεγχο αισθητήρων και debugging.
4. **Διαχείριση βιβλιοθηκών:** Δυνατότητα εγκατάστασης και χρήσης βιβλιοθηκών τρίτων (π.χ. για αισθητήρες, επικοινωνίες, οθόνες).
5. **Board Manager:** Επιτρέπει την επιλογή διαφορετικών πλακετών Arduino και την εγκατάσταση υποστήριξης για νεότερα ή συμβατά boards.



Εικόνα 2.12: Arduino IDE

[Online]: <https://andprof.com/tutorials/what-is-arduino-software-ide-and-how-use-it/>

Η απλότητα του περιβάλλοντος προγραμματισμού επιτρέπει σε αρχάριους να ξεκινήσουν γρήγορα, ενώ ταυτόχρονα δίνει σε προχωρημένους χρήστες τη δυνατότητα να δημιουργήσουν πολύπλοκα συστήματα, όπως γραμμή παραγωγής(ερασιτεχνικός επίπεδο), συστήματα παρακολούθησης δεδομένων ή ρομποτικές εφαρμογές.

### 2.3 Ηλεκτρονικές Μονάδες (Modules).

Τα **modules** είναι έτοιμες ηλεκτρονικές μονάδες που συνδέονται εύκολα με το Arduino για να προσθέσουν νέες λειτουργίες χωρίς πολύπλοκα κυκλώματα. Ουσιαστικά πρόκειται για μικρές πλακέτες με αισθητήρες, ενεργοποιητές ή περιφερειακές συσκευές, που συνοδεύονται από κατάλληλα κυκλώματα και βύσματα για γρήγορη ενσωμάτωση.

Με τη χρήση modules, ο χρήστης μπορεί να επεκτείνει τις δυνατότητες του Arduino σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Για παράδειγμα:

#### 2.3.1 Αισθητήρια Περιβάλλοντος

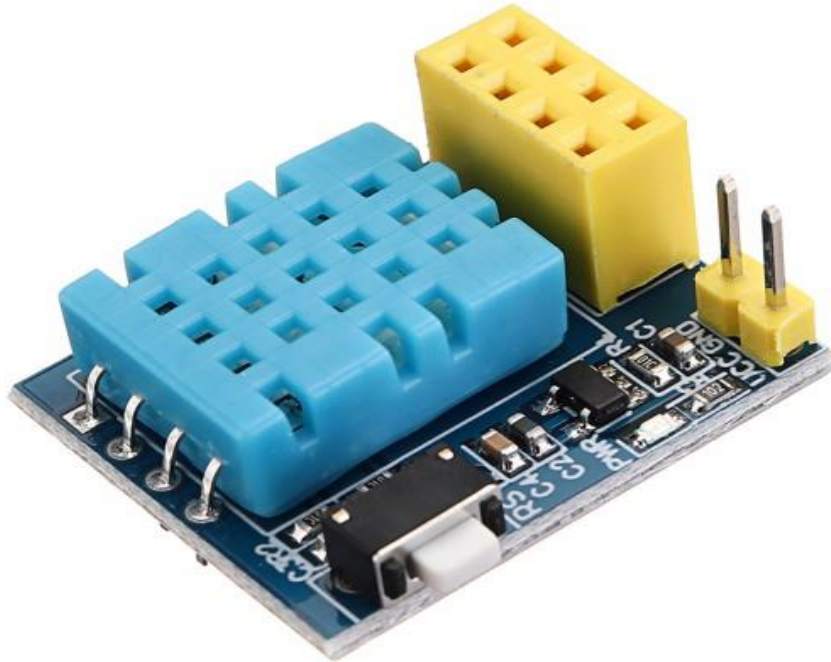
##### Temperature & Humidity Sensor – DHT11 ESP-01/01S

Ο **DHT11** είναι ένας ψηφιακός αισθητήρας θερμοκρασίας και υγρασίας, χαμηλού κόστους και εύχρηστος. Μπορεί να μετρήσει:

1. **Θερμοκρασία:** 0–50 °C, με ακρίβεια περίπου  $\pm 2$  °C
2. **Σχετική υγρασία:** 20–90% RH, με ακρίβεια περίπου  $\pm 5\%$

Ο συνδυασμός με το **ESP-01/01S WiFi module** τον καθιστά ιδιαίτερα χρήσιμο για εφαρμογές IoT, καθώς δίνει τη δυνατότητα συλλογής και αποστολής δεδομένων ασύρματα,

χωρίς την ανάγκη επιπλέον εξοπλισμού. Χρησιμοποιείται σε μικρές εγκαταστάσεις παρακολούθησης κλίματος, θερμοκήπια, συστήματα smart home και αυτόματους μετεωρολογικούς σταθμούς.



Εικόνα 2.13: Αισθητήρας περιβάλλοντος DHT11

[Online]: <https://grobotronics.com/temperature-and-humidity-sensor-dht11-esp-01-01s.html>

### Gravity Αισθητήρας Περιβάλλοντος I2C – BME280

Ο **BME280** της Bosch είναι ένας εξελιγμένος ψηφιακός αισθητήρας πολλαπλών μετρήσεων. Μετράει:

1. **Θερμοκρασία** (−40 έως +85 °C, ακρίβεια ±1 °C)
2. **Σχετική υγρασία** (0–100% RH, ακρίβεια ±3%)
3. **Ατμοσφαιρική πίεση** (300–1100 hPa, ακρίβεια ±1 hPa)

Η επικοινωνία με τον μικροελεγκτή γίνεται μέσω **I2C**, προσφέροντας γρήγορη και αξιόπιστη μετάδοση δεδομένων. Η **Gravity έκδοση** είναι ειδικά σχεδιασμένη για εύκολη ενσωμάτωση με Arduino, διαθέτοντας σταθερό βύσμα και απλή καλωδίωση. Λόγω της υψηλής ακρίβειας, χρησιμοποιείται συχνά σε περιβαλλοντικές μετρήσεις, συστήματα πρόγνωσης καιρού και βιομηχανικές εφαρμογές.



Εικόνα 2.14: Αισθητήρας περιβάλλοντος BM280

[Online]: <https://grobotronics.com/gravity-environmental-sensor-i2c-bme280.html>

### 2.3.2 Αισθητήρια Υγρασίας Χώματος

#### Waveshare Αισθητήρας Υγρασίας Εδάφους

Ο αισθητήρας υγρασίας εδάφους της **Waveshare** είναι μια μονάδα που μετράει την περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό μέσω της αγωγιμότητας. Αποτελείται από δύο μεταλλικές επιφάνειες που, όταν τοποθετούνται στο χώμα, λειτουργούν σαν "δίπολο" που ανιχνεύει τη διαφορά αντίστασης ανάλογα με το ποσοστό υγρασίας.

1. **Τύπος εξόδου:** Συνήθως παρέχει αναλογική και/ή ψηφιακή έξοδο.
2. **Εφαρμογές:** Αυτόματα ποτίσματα, παρακολούθηση αγροτικών καλλιεργειών, συστήματα "έξυπνου θερμοκηπίου".



Εικόνα 2.15: Αισθητήρας υγρασίας εδάφους WaveShare

[Online]: <https://grobotronics.com/waveshare-moisture-sensor.html>

Ο **Gravity Analog Soil Moisture Sensor (corrosion resistant)** είναι μια εξελιγμένη έκδοση αισθητήρα υγρασίας εδάφους, σχεδιασμένη για μεγαλύτερη αντοχή. Διαθέτει ειδική αντιδιαβρωτική επίστρωση στα ηλεκτρόδια, γεγονός που τον καθιστά πιο αξιόπιστο για μακροχρόνια χρήση σε περιβάλλοντα με υγρασία.

1. **Τύπος εξόδου:** Αναλογική έξοδος (0–3 V), εύκολη ανάγνωση από Arduino.
2. **Εφαρμογές:** Ιδανικός για αυτοματοποιημένα συστήματα ποτίσματος, παρακολούθηση υγρασίας σε θερμοκήπια και πειραματικά αγροτικά έργα.



Εικόνα 2.16: Αισθητήρας υγρασίας εδάφους Gravity Analog Moisture sensor

[Online]: <https://grobotronics.com/gravity-analog-soil-moisture-sensor-corrosion-resistant.html>

### 2.3.3 Αισθητήρια Θερμοκρασίας Χώματος

#### PT100 – Αισθητήρας Θερμοκρασίας Χώματος

Ο PT100 είναι ένας αισθητήρας θερμοκρασίας τύπου RTD (Resistance Temperature Detector) πλατίνας, που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του χώματος. Η αντίστασή του είναι 100 Ω σε 0°C και αυξάνεται γραμμικά περίπου 0,385 Ω/°C, προσφέροντας ακριβείς μετρήσεις σε περιβάλλοντα θερμοκηπίου ή αγροτικής καλλιέργειας.

1. **Τύπος εξόδου:** Αντίσταση (απαιτείται κύκλωμα ανάγνωσης ή module MAX31865 για Arduino).

2. **Εφαρμογές:** Ιδανικός για παρακολούθηση θερμοκρασίας εδάφους σε θερμοκήπια, αυτοματοποιημένα συστήματα καλλιέργειας, και πειραματικά αγροτικά έργα όπου απαιτείται ακριβής έλεγχος θερμοκρασίας.



Εικόνα 2.17: PT100 Αισθητήρας θερμοκρασίας

[Online]: <https://twen.rs-online.com/web/p/sensor-development-tools/1840864>

### Temperature Sensor – Waterproof (DS18B20)

Ο **DS18B20** είναι ένας ψηφιακός αισθητήρας θερμοκρασίας, ανθεκτικός στο νερό, κατάλληλος για μέτρηση θερμοκρασίας χώματος, υγρών ή αέρα. Η ψηφιακή του έξοδος τον καθιστά εύκολο στη σύνδεση με μικροελεγκτές όπως το Arduino. Το αδιάβροχο περίβλημα προστατεύει το αισθητήριο σε υγρές ή βρώμικες συνθήκες, γεγονός που τον καθιστά ιδανικό για θερμοκήπια και αγροτικές εφαρμογές.

1. **Τύπος εξόδου:** Ψηφιακή (1-Wire), εύκολη ανάγνωση από Arduino.
2. **Εφαρμογές:** Παρακολούθηση θερμοκρασίας χώματος, υδροπονικών διαλυμάτων, θερμοκηπίων, δεξαμενών νερού ή άλλων υγρών, και αυτοματοποιημένα συστήματα ελέγχου περιβάλλοντος.



Εικόνα 2.18: Temperature Sensor – Waterproof (DS18B20)

[Online]: <https://grobotronics.com/ds18b20-el.html>

### 2.3.4 Οθόνες Απεικόνισης Εξόδου

#### Display 1.5" RGB 128x128 OLED Module

Το **1.5" RGB 128x128 OLED Module** είναι μια μικρή, πολύχρωμη οθόνη τύπου OLED με ανάλυση 128x128 pixels, κατάλληλη για προβολή δεδομένων σε μικροελεγκτές όπως το Arduino. Το RGB OLED επιτρέπει ζωντανά χρώματα, καθιστώντας την οθόνη ιδανική για γραφικά, ενδείξεις αισθητήρων και απλά GUI σε projects θερμοκηπίων ή άλλων αυτοματισμών.

1. **Τύπος εξόδου:** Ψηφιακή (σύνδεση μέσω SPI ή I<sup>2</sup>C, ανάλογα με το module).
2. **Εφαρμογές:** Εμφάνιση θερμοκρασίας, υγρασίας, αγωγιμότητας, ή άλλων δεδομένων αισθητήρων, dashboards σε μικρά αυτοματοποιημένα θερμοκήπια, πειραματικά projects με Arduino.



Εικόνα 2.19: Display 1.5" RGB 128x128 OLED Module

[Online]: <https://grobotronics.com/display-1.5-rgb-128x128-oled-module.html>

### Basic 20x4 Character LCD – White on Blue 5V (I2C Protocol)

Η **Basic 20x4 Character LCD** είναι μια οθόνη χαρακτήρων 20x4, με λευκούς χαρακτήρες σε μπλε φόντο, κατάλληλη για εμφάνιση δεδομένων σε μικροελεγκτές όπως το Arduino. Η χρήση του **I<sup>2</sup>C πρωτοκόλλου** επιτρέπει σύνδεση με μόνο δύο καλώδια (SDA/SCL), μειώνοντας σημαντικά την πολυπλοκότητα του κυκλώματος σε σύγκριση με κλασικές LCD.

**Τύπος εξόδου:** Ψηφιακή (I<sup>2</sup>C, 5V).

#### Πλεονεκτήματα:

1. Εύκολη σύνδεση με Arduino μέσω I<sup>2</sup>C.
2. Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.
3. Αξιόπιστη και καθαρή ανάγνωση χαρακτήρων.
4. Μεγάλη οθόνη χαρακτήρων για βασικές ενδείξεις.

#### Μειονέκτημα:

1. Δεν υποστηρίζει γραφικά ή χρώματα (μόνο χαρακτήρες).
2. Περιορισμένη αισθητική εμφάνιση σε σύγκριση με OLED ή TFT οθόνες.

#### Εφαρμογές:

1. Εμφάνιση θερμοκρασίας, υγρασίας, αγωγιμότητας ή άλλων δεδομένων αισθητήρων.
2. Dashboards για αυτοματοποιημένα θερμοκήπια.
3. Απλές ενδείξεις ή μενού επιλογών σε projects Arduino.



Εικόνα 2.20: Basic 20x4 Character LCD - White on Blue 5V (I2C Protocol)[Online]: <https://grobotronics.com/basic-20x4-character-lcd-white-on-blue-5v-i2c-protocol.html>

## 2.4 Επιλογή Αισθητήρων για το Θερμοκήπιο.

**1. Θερμοκρασία και Υγρασία Αέρα – BME280 vs DHT11**  
Για τη μέτρηση θερμοκρασίας και υγρασίας του αέρα, υπήρχαν δύο επιλογές: ο **DHT11** και ο **BME280**.

#### Κριτήρια επιλογής:

1. **Ακρίβεια μέτρησης:** ο BME280 έχει υψηλότερη ακρίβεια για θερμοκρασία ( $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ) και υγρασία ( $\pm 3\%$ ) σε σύγκριση με τον DHT11 ( $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ,  $\pm 5\%$ ).
2. **Εύρος μέτρησης:** ο BME280 καλύπτει μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών και υγρασίας.
3. **Πρόσθετα δεδομένα:** ο BME280 μετρά και πίεση αέρα, χρήσιμο για παρακολούθηση κλιματολογικών παραμέτρων.
4. **Αξιοπιστία** σε μακροχρόνια χρήση στο θερμοκήπιο.

**Επιλογή: BME280**, λόγω μεγαλύτερης ακρίβειας, αξιοπιστίας και επιπλέον μετρήσεων.

**2. Υγρασία Εδάφους – Gravity Analog Soil Moisture Sensor vs Waveshare**  
Για τη μέτρηση υγρασίας χώματος, υπήρχαν ο Waveshare Soil Moisture Sensor και ο Gravity Analog Soil Moisture Sensor (corrosion resistant).

**Κριτήρια επιλογής:**

1. **Αντοχή στη διάβρωση:** ο Gravity διαθέτει ειδική αντιδιαβρωτική επίστρωση στα ηλεκτρόδια, αυξάνοντας τη διάρκεια ζωής σε υγρά περιβάλλοντα.
2. **Ακρίβεια και ευαισθησία:** και οι δύο αισθητήρες παρέχουν αναλογική έξοδο, αλλά ο Gravity έχει καλύτερη σταθερότητα με την πάροδο του χρόνου.
3. **Μακροχρόνια χρήση** στο θερμοκήπιο, όπου η υγρασία είναι υψηλή.

**Επιλογή: Gravity Analog Soil Moisture Sensor**, λόγω μεγαλύτερης αντοχής στη διάβρωση και αξιοπιστίας.

**3. Θερμοκρασία Χώματος – PT100 vs DS18B20 Waterproof**  
Για τη μέτρηση θερμοκρασίας του χώματος, συγκρίθηκαν ο PT100 και ο DS18B20 Waterproof.

**Κριτήρια επιλογής:**

1. **Ακρίβεια μέτρησης:** ο PT100 προσφέρει  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ , ενώ ο DS18B20  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ .
2. **Σταθερότητα και επαναληψιμότητα** μετρήσεων σε μακροχρόνιο διάστημα.
3. **Ανθεκτικότητα σε θερμοκρασιακές διακυμάνσεις** χώματος και ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές (με κατάλληλο κύκλωμα).

**Επιλογή: PT100**, λόγω υψηλής ακρίβειας και αξιοπιστίας για μετρήσεις χώματος.

Η επιλογή των αισθητήρων έγινε με γνώμονα ακρίβεια, αξιοπιστία και οικονομία. Παρά την ύπαρξη πιο ακριβών επαγγελματικών αισθητήρων, επιλέχθηκαν οι BME280, Gravity Analog Soil Moisture Sensor και PT100, καθώς προσφέρουν αξιόπιστες μετρήσεις σε χαμηλότερο κόστος.

Πίνακας 2.5: Κριτήρια Επιλογής Αισθητήρων.

Παράμετρος	Αισθητήρας	Εναλλακτική	Κριτήρια Επιλογής	Επιλογή
<b>Θερμοκρασία &amp; Υγρασία Αέρα</b>	BME280	DHT11	Υψηλότερη ακρίβεια, μεγαλύτερο εύρος μέτρησης, επιπλέον μέτρηση πίεσης, αξιοπιστία σε μακροχρόνια χρήση	BME280
<b>Υγρασία Εδάφους</b>	Gravity Analog Soil Moisture Sensor (corrosion resistant)	Waveshare Soil Moisture Sensor	Αντοχή στη διάβρωση, καλύτερη σταθερότητα, μακροχρόνια χρήση σε υγρά περιβάλλοντα	Gravity Analog
<b>Θερμοκρασία Χώματος</b>	PT100	DS18B20 Waterproof	Υψηλή ακρίβεια ( $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ ), σταθερότητα μετρήσεων,	PT100

## 2.5 Επίλογος

Συνοψίζοντας, το κεφάλαιο παρουσίασε τον βασικό εξοπλισμό και τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη ενός ηλεκτρονικά ελεγχόμενου θερμοκηπίου. Περιγράψαμε τους μικροελεγκτές και την πλατφόρμα Arduino, κάναμε αναφορά στην πλακέτα Arduino Uno R3 με τις δυνατότητες τροφοδοσίας, εισόδων και εξόδων, καθώς και η εφαρμογή προγραμματισμού Arduino που επιτρέπει τον έλεγχο και την αυτοματοποίηση του συστήματος.

Παράλληλα, αναφέρθηκαν τα διαθέσιμα modules και οι επιλογές αισθητήρων, με έμφαση στην ακρίβεια, αξιοπιστία και οικονομία, γεγονός που καθορίζει την αποτελεσματικότητα του συστήματος.

Η συνδυασμένη χρήση των επιλεγμένων αισθητήρων και modules εξασφαλίζει ένα αξιόπιστο και οικονομικά βιώσιμο σύστημα παρακολούθησης και ελέγχου των παραμέτρων του θερμοκηπίου.

## Κεφάλαιο 3ο: Κατασκευή

### 3.1 Κατασκευή βάσης θερμοκηπίου

Η κατασκευή του θερμοκηπίου και ο σχεδιασμός του είναι καθαρά ερασιτεχνικά και για πειραματικούς σκοπούς την Δ.Ε., ο σχεδιασμός του θερμοκηπίου έγινε με υλικά ξύλο και νάιλον ως πιο οικονομική λύση για την εργασία.

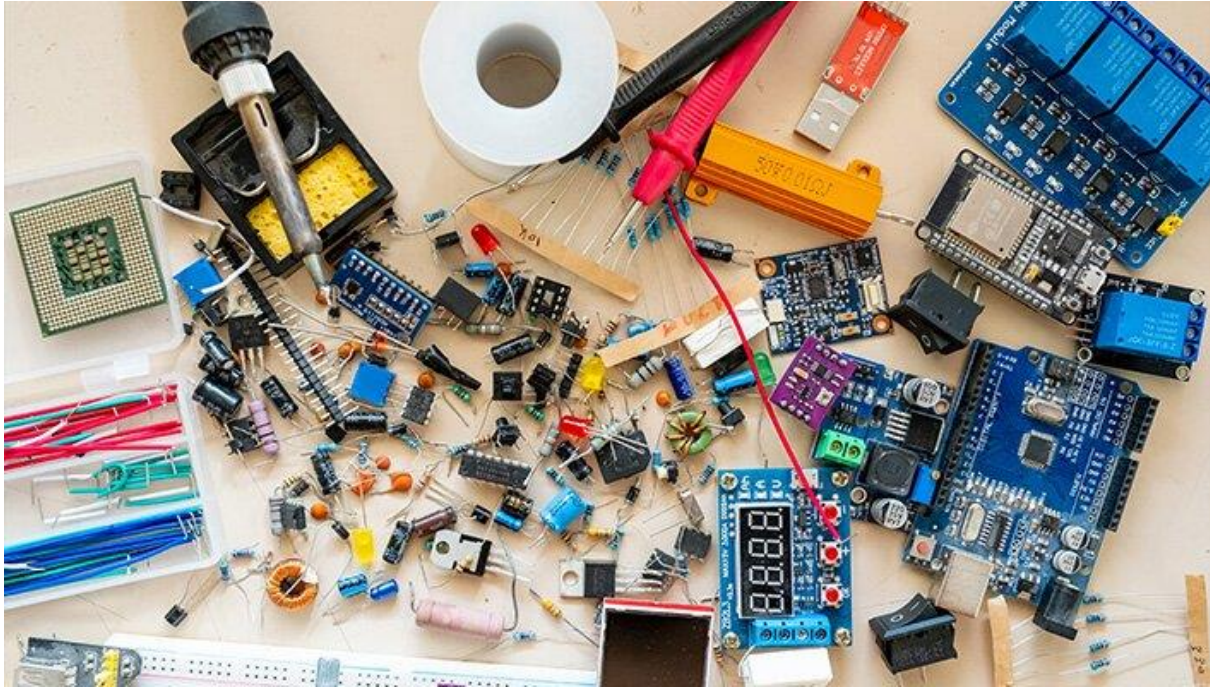


Εικόνα 3.21: Κατασκευή θερμοκηπίου

Συγκεκριμένα σαν βάση βλέπουμε την παλέτα και τοποθετήσαμε ξύλα σαν στήριγμα της βάσης και ένα πλέγμα μετάλλου στην οροφή. Επιπλέον συρτάρι από παλαιό έπιπλο έχει ως το κουτί της κεντρικής μονάδας.

### 3.2 Υλικά κατασκευή κυκλώματος

Για την υλοποίηση της κατασκευής κρίθηκε απαραίτητη η χρήση συγκεκριμένων ηλεκτρονικών και ηλεκτρολογικών εξαρτημάτων, τα οποία εξασφαλίζουν τη λειτουργικότητα και την ασφάλεια του συστήματος. Τα υλικά αυτά αποτελούν τη βάση πάνω στην οποία στηρίζεται η κατασκευή και περιλαμβάνουν τόσο τροφοδοτικά και πλακέτες, όσο και διατάξεις προστασίας όπως διακόπτες και ασφάλειες. Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά τα επιμέρους στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν.



Εικόνα 3.22: Ηλεκτρονικά εξαρτήματα

[Online]: <https://www.pcbtok.com/high-speed-pcb-design/>

#### 3.2.1 Τροφοδοτικό

Το τροφοδοτικό που χρησιμοποιείται στην κατασκευή είναι το SN-HS-100-12 είναι ένα βιομηχανικού τύπου τροφοδοτικό switching mode, με ονομαστική ισχύ 100 W, τάση εξόδου 12 V DC και μέγιστο ρεύμα 8.3 A, σχεδιασμένο για εφαρμογές σταθερού και αξιόπιστου ρεύματος σε ηλεκτρονικά κυκλώματα

- **Βασικά χαρακτηριστικά**

1. **Είσοδος:** 110–220 V AC (χωρίς ανάγκη επιλογής, η είσοδος προσαρμόζεται αυτόματα).
2. **Προστασίες:** ενσωματωμένα κυκλώματα προστασίας από βραχυκύκλωμα, υπερφόρτωση και υπέρταση.
3. **Αποδοτικότητα:** υψηλή απόδοση (~87 %) για οικονομία ενέργειας και περιορισμό θερμικής απώλειας.
4. **Διαστάσεις & σύνδεση:** κομψή κατασκευή, βάρους ~0.38 kg, με αναστρέψιμες βίδες εξόδου για εύκολη εγκατάσταση.

5. **Ρύθμιση Τάσης εξόδου:** με την περιστροφή ποτενσιόμετρο φέρνουμε την τάση στο επιθυμητό επίπεδο

- **Πλεονεκτήματα**

1. Χαμηλό κόστος και συμπαγείς διαστάσεις, ιδανικό για ενσωμάτωση σε μικρής κλίμακας συστήματα ελέγχου.
2. Έτοιμο για χρήση χωρίς ρύθμιση εισόδου (auto-sensing), διευκολύνοντας τη συναρμολόγηση.
3. Προστατευτικές λειτουργίες που ενισχύουν την ασφάλεια του συστήματος.

- **Μειονεκτήματα**

1. **Μη αδιάβροχο:** Δεν είναι κατάλληλο για χρήση σε εξωτερικό χώρο αφού είναι ανοιχτό και υπάρχει περίπτωση να διαπεράσει νερό.



Εικόνα 3.23: Τροφοδοτικό κυκλώματος

### 3.2.2 Αισθητήρας Περιβάλλοντος

Ο αισθητήρας περιβάλλοντος που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή είναι ο BME280, είναι ένας μικρός ψηφιακός αισθητήρας τριών καταγραφικών παγκόσμιας ακρίβειας (υγρασία, πίεση, θερμοκρασία) της Bosch Sensortec. Διαθέτει εξαιρετικά μικρό μέγεθος (2,5 × 2,5 × 0,93 mm) και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, καθιστώντας τον ιδανικό για εφαρμογές σε φορητές συσκευές και IoT περιβάλλοντα.

- **Χαρακτηριστικά:**

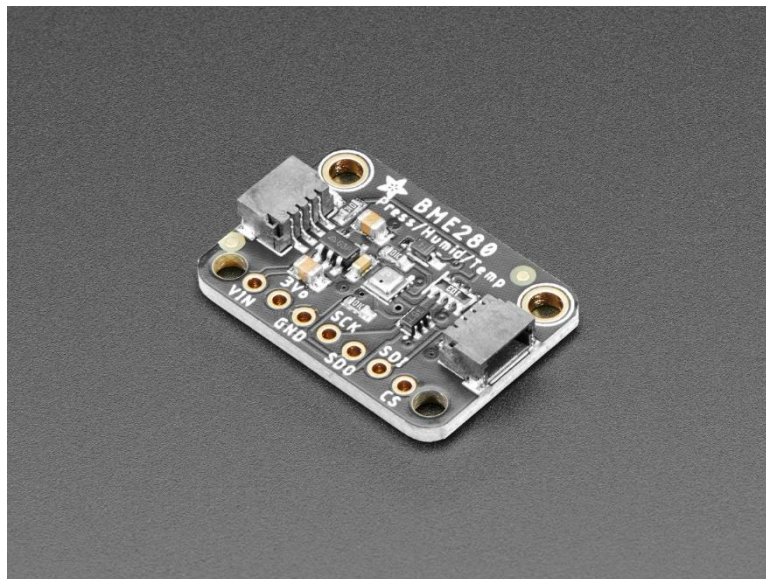
1. **Τροφοδοσία:** 1,71-3.6Volt τάση λειτουργίας
2. **Διαπαφές:** I2C (Inter-Integrated Circuit) και SPI (Serial Peripheral Interface)
3. **Κατανάλωση ισχύος:** < 0,1  $\mu$ A σε sleep mode; ~1,8–3,6  $\mu$ A σε λειτουργία @1 Hz
4. **Υγρασία:** Εύρος: 0–100 % RH, Ακρίβεια:  $\pm 3$  %, Απόκριση: 1 s, Υστέρηση  $\leq 2$  % RH
5. **Θερμοκρασία:** Εύρος:  $-40 \dots +85$  °C, Ακρίβεια:  $\pm 1,0$  °C (0–65 °C), Ανάλυση: 0,01 °C
6. **Πίεση (δεν χρησιμοποιείται στην εργασία):** Εύρος: 300–1100 hPa, Ακρίβεια:  $\pm 1$  hPa

- **Πλεονεκτήματα:**

1. **Συμπαγής:** Μικρό μέγεθος, χαμηλή κατανάλωση, υψηλή ακρίβεια.
2. **Πολλαπλές λειτουργίες:** Μετρά ταυτόχρονα υγρασία, θερμοκρασία και πίεση.
3. **Ευελιξία διεπαφής:** Υποστηρίζει SPI και I<sup>2</sup>C—εύκολη σύνδεση με μικροελεγκτές.
4. **Ακρίβεια:** Στις θερμοκρασίες που λειτουργεί ένα θερμοκήπιο έχει καλύτερη ακρίβεια στις τιμές (0-65°C)

- **Μειονεκτήματα:**

1. **Περιορισμός ακρίβειας σε ακραίες τιμές:** Η ακρίβεια της μέτρησης μειώνεται σε τιμές εκτός του εύρους 0–60 °C ή 0–100 % RH.
2. **Προβλήματα θορύβου:** Όπως σε όλα τα MEMS, μπορεί να υπάρχει θόρυβος σε ακραίες συνθήκες.
3. **Κόστος:** Το εξάρτημα σε σχέση με τα υπόλοιπα είχε μια τιμή της τάξης 28€.



Εικόνα 3.24: Αισθητήρας περιβάλλοντος κυκλώματος

[Online]: <https://grobotronics.com/gravity-environmental-sensor-i2c-bme280.html>

### 3.2.3 Αισθητήρας υγρασίας χώματος

#### Αισθητήρας Υγρασίας Εδάφους – Capacitive (Corrosion Resistant)

Ο συγκεκριμένος αισθητήρας μετρά την υγρασία του εδάφους χρησιμοποιώντας **χωρητική μέτρηση** αντί της πιο συνηθισμένης **αντιστάσεως**, γεγονός που τον καθιστά ανθεκτικό σε διάβρωση και κατάλληλο για μακροχρόνια χρήση σε αγρονομικές ή κηπουρικές εφαρμογές.

- **Χαρακτηριστικά:**

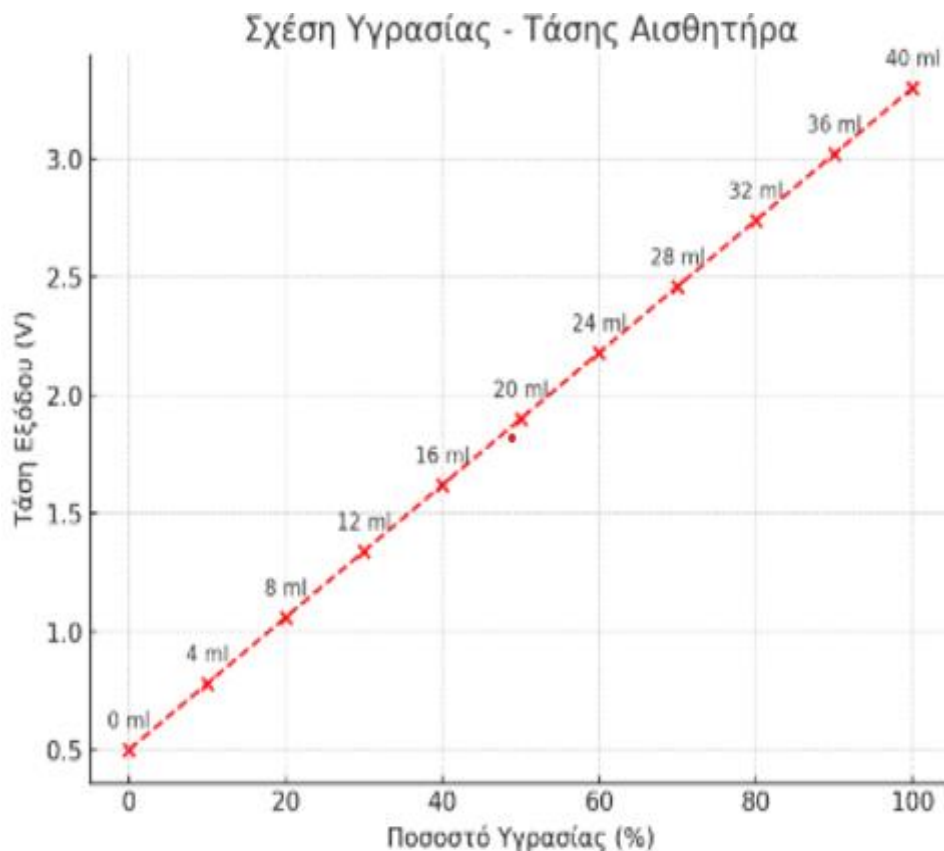
1. **Τάση λειτουργίας:** 3,3 – 5.5Vdc
2. **Έξοδος Τάσης:** ~0–3,0 V (μερικές εκδόσεις έως 2,9 V ή 2,5 V)
3. **Διεπαφή:** Σύνδεση Gravity 3-Pin (PH2.0-3P)
4. **Μέγεθος και βάρος:** μικρό σε μέγεθος κατάλληλο για χρήση μικρού πειραματικού θερμοκηπίου 98 mm × 23 mm (3,86" × 0,91") – 15γρ.

- **Πλεονεκτήματα:**

1. **Ανθεκτικότητα** στη διάβρωση λόγω χωρητικής λειτουργίας και ειδικού υλικού, προσφέροντας μεγαλύτερη διάρκεια ζωής σε σχέση με αντιστατικούς αισθητήρες
2. **Προστατευμένος ρυθμιστής τάσης** ενσωματωμένος στο κύκλωμα, επιτρέποντας λειτουργία απευθείας από 3,3 V έως 5,5 V χωρίς πρόσθετο εξοπλισμό.
3. **Plug & Play συμβατότητα** με Arduino/Gravity I/O Shield μέσω της standardized interface Gravity.

- **Μειονεκτήματα:**

1. **Ο αναλογικός σήματος εξόδου (0–3 V)** σημαίνει ότι απαιτείται βαθμονόμηση και ορισμός επιπέδων “ξηρού” / “υγρού” εδάφους κατά περίπτωση..
2. **Δεν αναφέρονται ρητά χαρακτηριστικά** όπως ευαισθησία, χρονική απόκριση ή ακρίβεια, τα οποία μπορεί να έχουν σημαντικό ρόλο σε εφαρμογές υψηλών απαιτήσεων.
3. **Απαιτείται μετατροπέας ADC** (Analog-to-Digital Converter) για χρήση με π.χ. **Raspberry Pi**.



Εικόνα 3.25: Πειραματικό συμπέρασμα με 100γρ χώματος

### 3.2.4 Αισθητήρας θερμοκρασίας χόματος

#### PT100 με κύκλωμα προσαρμογείς για Arduino

Όπως κάναμε μια σύντομη αναφορά στο PT100 στο προηγούμενο κεφάλαιο, γνωρίζουμε πλέον ότι Ο PT100 είναι ένας αισθητήρας θερμοκρασίας τύπου RTD (Resistance Temperature Detector), δηλαδή Ανιχνευτής Θερμοκρασίας Αντίστασης. Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στην ιδιότητα που έχει η αντίσταση του λευκόχρυσου (Platinum - Pt) να μεταβάλλεται γραμμικά σχεδόν με τη θερμοκρασία.

- **Χαρακτηριστικά:**

1. **Αισθητήριο υλικό:** Λευκόχρυσος (Pt).
2. **Αντίσταση στους 0 °C:** 100 Ω (PT100), υπάρχουν και παραλλαγές όπως PT500, PT1000.
3. **Συντελεστής θερμοκρασίας:** ~0,385 Ω/°C (σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60751).
4. **Εύρος μέτρησης θερμοκρασίας:** Τυπικά -200 °C έως +600 °C.
5. **Γραμμικότητα:** Σχεδόν γραμμική σχέση αντίστασης-θερμοκρασίας, με μικρές αποκλίσεις.
6. **Ακρίβεια:** Πολύ υψηλή, με κατηγορίες ανοχής (Class A, B, 1/3DIN, 1/10DIN).
7. **Διάρκεια ζωής:** Μεγάλη, καθώς το Pt είναι ανθεκτικό στη διάβρωση και τη γήρανση.
8. **Διασύνδεση:** 2,3 ή 4 καλώδια ανάλογα με την ακρίβεια που θέλουμε (3 καλώδια: πιο ακριβής μέτρηση, αντιστάθμιση καλωδίου).

- **Πλεονεκτήματα:**

1. **Υψηλή ακρίβεια** μέτρησης θερμοκρασίας.
2. **Σταθερότητα & επαναληψιμότητα** – κατάλληλος για μακροχρόνιες μετρήσεις.
3. **Μεγάλο εύρος θερμοκρασιών** (-200 °C έως 600 °C τυπικά).
4. **Γραμμική απόκριση** σε σχέση με θερμοκρασία → εύκολος στον υπολογισμό.
5. **Αντοχή στη διάβρωση και χημική σταθερότητα** λόγω λευκόχρυσου.
6. **Καλή αντοχή σε θερμικούς κύκλους** (ψύξη/θέρμανση).

- **Μειονεκτήματα:**

1. **Απαιτήση για ακριβή ηλεκτρονικά κυκλώματα** (για να μετρηθούν μικρές μεταβολές αντίστασης).
2. **Πιο αργή απόκριση** σε σχέση με θερμοστοιχεία (λόγω κατασκευής).
3. **Ευαισθησία σε μηχανικές καταπονήσεις** (λεπτό σύρμα λευκόχρυσου μπορεί να σπάσει).

#### 3.2.4.1 Κύκλωμα Προσαρμογής

Το PT100 χρειάζεται κύκλωμα προσαρμογής για να λειτουργήσει πρέπει ουσιαστικά να μεταφράσουμε την αντίσταση που μεταβάλλεται με την αύξηση ή μείωση της θερμοκρασίας σε τάση εισόδου για το Arduino.

#### Θεωρία:

**LM324 (κάτω-αριστερά):** Buffer της τάσης από το PT100 (διαιρέτης R3-PT100):

Ο PT100 είναι αντίσταση, δεν δίνει άμεσα τάση ή ρεύμα που να μπορούμε να διαβάσουμε.

Ο διαιρέτης τάσης μετατρέπει δηλαδή την αλλαγή αντίστασης σε τάση, που μπορεί να διαβαστεί από το Arduino.

Ένας διαιρέτης τάσης με PT100 αποτελείται από τον αισθητήρα PT100 και μια σταθερή αντίσταση ( $R_{fixed}$ ) σε σειρά, τροφοδοτούμενα από μια πηγή τάσης ( $V_{in}$ ). Η τάση εξόδου  $V_{out}$  μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία σύμφωνα με τον τύπο:

Διαβάζοντας το Datasheet μας δείχνει ότι στους  $0^{\circ}\text{C}$  έχουμε αντίσταση  $R_{PT100} = 100\Omega$ , για  $150^{\circ}\text{C}$  έχουμε αντίσταση  $R_{PT100} = 157,32\Omega$

$^{\circ}\text{C}$	0	-10	-20	-30	-40	-50	-60
-200	18.53	14.36	10.41				
-100	60.20	56.13	52.04	47.93	43.80	39.65	35.48
0	100.00	96.07	92.13	88.17	84.21	80.25	76.28
$^{\circ}\text{C}$	0	+10	+20	+30	+40	+50	+60
0	100.00	103.90	107.79	111.67	115.54	119.40	123.24
+100	138.50	142.28	146.06	149.82	153.57	157.32	161.04
+200	175.84	179.51	183.17	186.82	190.46	194.08	197.70

Εικόνα 3.26: Datasheet PT100[Online]: [https://www.stoerk-tronic.com/fileadmin/erp/dokumente/datenblaetter/en/900001\\_030.pdf](https://www.stoerk-tronic.com/fileadmin/erp/dokumente/datenblaetter/en/900001_030.pdf)

Για  $0^{\circ}\text{C}$  ο τύπος για τον διαιρέτη τάσης είναι:

$$V_{out} = V_{in} * \frac{R_{PT100}}{R_{fixed} + R_{PT100}} \quad (3.1)$$

$$V_{out} = \frac{5 * 100}{100 + 1000} = 0.4545V \quad (3.2)$$

Για  $150^{\circ}\text{C}$  ο διαιρέτης τάσης είναι:

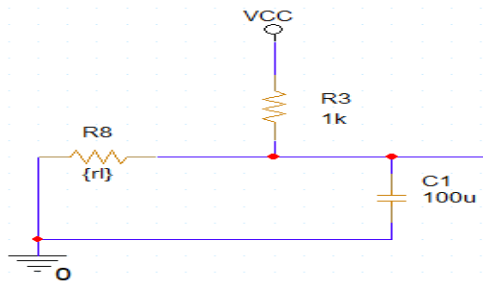
$$V_{out} = \frac{5 * 157.32}{157.32 + 1000} \quad (3.3)$$

**$V_{out} = 0.6757V$**

Προκύπτει άρα  $V_2 - V_1 = 0.6757V - 0.4545V = 0.2252V$

Πρέπει να μετρήσουμε την τάση μεταξύ  $0,4545V$  και  $0,6757V$  που αυτή θα είναι η διαφορά μεταξύ που θα μετράει το Arduino από  $0-150^{\circ}\text{C}$ .

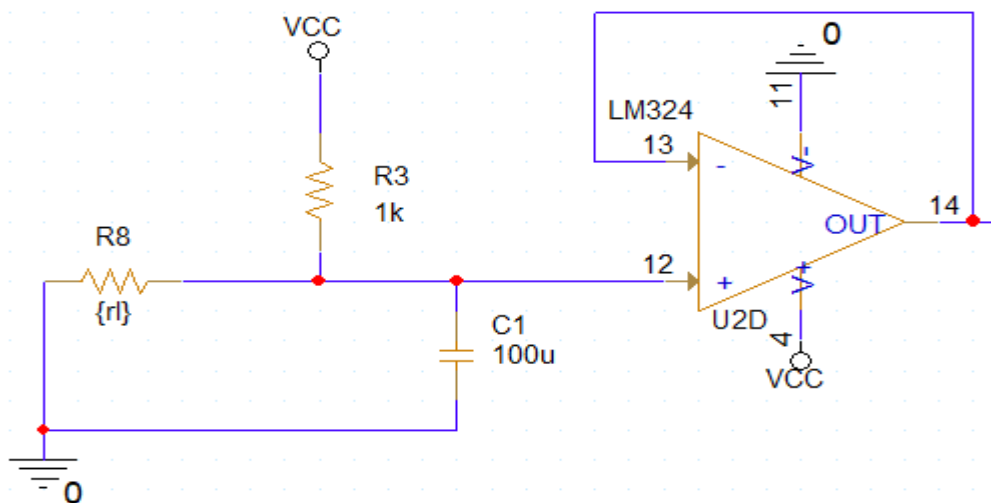
Τα μακριά καλώδια ενός RTD αισθητήρα μπορούν να λειτουργήσουν σαν κεραία και να πιάσουν ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο, ο οποίος αναμειγνύεται με το σήμα της θερμοκρασίας. Η σύνδεση ενός πυκνωτή μεγάλης χωρητικότητας (π.χ.  $100\mu\text{F}$ ) παράλληλα με τον αισθητήρα δημιουργεί ένα low-pass φίλτρο, αποκόπτοντας τον θόρυβο και βελτιώνοντας την ακρίβεια μέτρησης.



Εικόνα 2.27: PT100 Διαιρέτης τάσης με βαθυπερατό φίλτρο

Η ελάχιστη θερμοκρασία που θέλουμε να μετρήσουμε με τον PT100 είναι  $0^{\circ}\text{C}$ . Σε αυτή τη θερμοκρασία, η τάση εξόδου του αισθητήρα είναι  $0,4545\text{ V}$ . Για να έχουμε  $0\text{ V}$  ως έξοδο στους  $0^{\circ}\text{C}$  και να διευκολύνουμε την επεξεργασία του σήματος, χρειάζεται να αφαιρέσουμε αυτή την τάση. Για αυτό χρησιμοποιούμε έναν διαφορικό ενισχυτή, ο οποίος αφαιρεί μια σταθερή τάση από το σήμα εισόδου. Ο διαφορικός ενισχυτής απαιτεί μια σταθερή πηγή τάσης  $0,4545\text{ V}$ , η οποία παρέχεται από έναν άλλο voltage follower. Έτσι, το σήμα του PT100 ξεκινά από  $0\text{ V}$  στους  $0^{\circ}\text{C}$  και παραμένει ακριβές σε όλο το εύρος θερμοκρασίας.

Με την χρήση του LM324 Quadruple Operational Amplifiers ως Voltage Follower (buffer) θα πετύχουμε να προστατεύσουμε το σήμα του αισθητήρα και αποτρέπει το loading effect.



Εικόνα 3.28: PT100 Διαιρέτης τάσης με ενισχυτή απομόνωσης

#### Τι κάνει εδώ ο LM324:

1. **Voltage follower** : δίνει στην έξοδο ακριβώς το  $V_{PT}$  (χωρίς κέρδος).
2. **Προσφέρει πολύ χαμηλή αντίσταση εξόδου**: μπορεί να οδηγήσει άνετα την αντίσταση  $R4$  και το κύκλωμα μίξης χωρίς να πέσει η τάση.
3. **Χάρη στο buffer**, η μέτρηση δεν αλλοιώνεται αν αλλάξουν οι τιμές  $R2$ ,  $R4$ ,  $R5$  στο κομμάτι μίξης που θα δούμε στην συνέχεια.

#### Σφάλματα και περιορισμοί:

1. **Input offset (Vos)**: Το LM324 έχει τυπικά  $2\text{ mV}$  offset.

2. Input bias current: ~20 nA, σε σημείο με Thevenin αντίσταση ~90 Ω (R3||PT100 περίπου 90–100 Ω), προκαλεί σφάλμα <2 μV που είναι αμελητέο.
3. C1 (100 μF): Φιλτράρει χαμηλής συχνότητας θορύβους, αλλά έχει leakage που μπορεί να μετακινήσει λίγο την DC τάση (συνήθως <0.1 mV → <0.1 °C).
4. Κλίμακα τάσης: Η έξοδος είναι μόνο 0.45–0.68 V

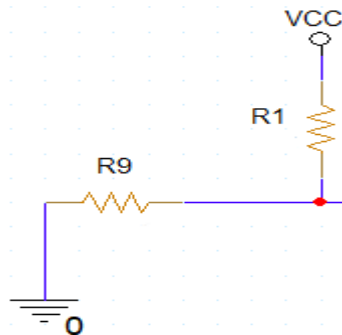
Συμπέρασμα:

1. Το κάτω–αριστερά LM324 είναι buffer της τάσης από τον διαιρέτη R3–PT100.
2. Δίνει έξοδο ~0.45–0.61 V για 0–100 °C, με γραμμική σχέση.
3. Χάρη στο buffer η έξοδος είναι ανεξάρτητη από το υπόλοιπο κύκλωμα και έτοιμη για περαιτέρω επεξεργασία (offset, ενίσχυση, φιλτράρισμα).

**LM324 (πάνω–αριστερά): Buffer σταθερής αναφοράς ≈0.455 V (μηδενισμός/offset).**

Το πάνω–αριστερά LM324 λειτουργεί ως **voltage follower (buffer, κέρδος = 1)**. **Σκοπός του:** να πάρει μια σταθερή τάση από έναν διαιρέτη (R1–R9), να την «καθαρίσει» και να την δώσει με χαμηλή αντίσταση εξόδου στα επόμενα στάδια (μέσω του trimmer R2). Στην πράξη αυτή η τάση είναι η αναφορά μηδενισμού γύρω στα ~0.46 V (σχετίζεται με PT100 στους 0 °C).

Δημιουργούμε ένα διαιρέτη τάσης με τιμή κοντά στο επιθυμητό αποτέλεσμα που αυτό είναι περίπου 0.4545Volt με το να κάνουμε calibrate το R9.



Εικόνα 3.29: Διαιρέτης τάσης

Για 0°C ο τύπος για τον διαιρέτη τάσης είναι:

$$V_{out} = \frac{R_1}{R_9} * (V_2 - V_1) \quad (3.4)$$

$$V_{out} = \frac{R_1}{R_9} * (0.4545V - 0.4545V) \quad (3.5)$$

$$V_{out} = \frac{R_1}{R_9} * 0 \quad (3.6)$$

$$V_{out} = 0 \quad (3.7)$$

**Η έξοδος του διαφορικού ενισχυτή γίνεται μηδέν.**

Για 150°C ο διαιρέτης τάσης είναι:

$$V_{out} = \frac{R_1}{R_9} * (0.6787V - 0.4545V) \quad (3.8)$$

$$V_{out} = \frac{R_1}{R_9} * 0.2252V \quad (3.9)$$

η ολική διαφορά τάσης για όλο το εύρος 0–150°C είναι 0.2252V.

Το Arduino ADC έχει **ανάλυση 10-bit**, δηλαδή 1024 βήματα. Κάθε βήμα (με 5V reference) αντιστοιχεί  $5V / 1024 \approx 4.88mV$  ανά division και συγκεκριμένα  $0.2252V / 0.00488V \approx 47$  divisions και σε θερμοκρασία  $150^\circ C / 47 \approx 3.25^\circ C$  ανά division αυτό δημιουργεί πρόβλημα στη μέτρηση της θερμοκρασίας. Δηλαδή το Arduino μπορεί να «δει» μόνο αλλαγές  $3.25^\circ C$ , πράγμα που είναι πολύ μεγάλο βήμα για ακριβείς μετρήσεις. Γι' αυτό χρειάζεται ενισχυτής για να αυξήσουμε τη διαφορά τάσης.

Για το πρόβλημα αυτό είναι 2 οι λύσεις:

#### **Λύση 1:**

Υψηλή ενίσχυση (gain): Χρειάζεται μεγάλη αύξηση της τάσης, π.χ.  $0.225V \rightarrow 5V$ . Αυτό σημαίνει μεγάλη τιμή αντιστάσεων στο feedback του LM324.

Περιορισμός εξόδου LM324

Σύμφωνα με το datasheet, η **έξοδος δεν φτάνει ακριβώς το 5V supply**, αλλά περίπου **1.5V λιγότερο**. Δηλαδή αν δίνεις 5V στον LM324:  $\max \text{ output} \approx 5V - 1.5V = 3.5V$

Άρα τα τελευταία 1.5V του ADC **δεν χρησιμοποιούνται**, και χάνεται **ανάλυση**.

Για να φτάσουμε όλη την κλίμακα, χρειάζεσαι **εξωτερική τροφοδοσία > 6.5V**, κάτι που δεν είναι στην εργασία μας εφικτό.

#### **Λύση 2:**

Λύση με μικρότερη αναφορά τάσης ADC του Arduino

Το Arduino έχει εσωτερική αναφορά 1.1V και γίνεται  $1.1V / 1024 \approx 1.074 mV$  ανά division Αυτό επιτρέπει να μετράς πολύ μικρότερες αλλαγές τάσης, και άρα πιο ακριβείς μετρήσεις θερμοκρασίας, χωρίς να χρειάζεται υψηλή εξωτερική τροφοδοσία

**Συμπέρασμα** είναι ότι χωρίς ενισχυτή, οι αλλαγές τάσης του PT100 είναι πολύ μικρές για το ADC του Arduino, οπότε η ανάλυση σε θερμοκρασία είναι  $\sim 3.25^\circ\text{C}$  ανά division, κάτι που δεν είναι ακριβές. Ένας ενισχυτής βοηθάει, αλλά έχει περιορισμούς λόγω LM324 και supply. Αντί να αυξήσεις πολύ την τάση, μπορείς να χρησιμοποιήσεις την εσωτερική αναφορά 1.1V του Arduino, που δίνει πολύ καλύτερη ανάλυση για μικρές αλλαγές τάσης.

Αυτό μας δίνει στον τύπο μας το  $V_{out} = 1.1V$

Άρα, για  $150^\circ\text{C}$  ο διαιρέτης τάσης είναι

$$1.1V = \frac{R_1}{R_9} * 0.2252V \quad (3.10)$$

$$\frac{R_1}{R_9} = \frac{1.1}{0.2252} \approx 4.680 \quad (3.11)$$

Συμπέρασμα ότι το  $\text{Gain} = R_B / R_A = 4.680$

Τι πρέπει να προσέξουμε όταν διαλέγουμε τις τιμές  $R_A$  και  $R_B$

Ο λόγος  $R_B / R_A$  πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στο 4.68, για να πάρουμε σωστή ενίσχυση. Αν ο λόγος είναι διαφορετικός, η τάση εξόδου θα είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη από το επιθυμητό 1.1V.

Το  $R_B$  πρέπει να είναι  $\sim 4.68$  φορές το  $R_A$  για να πετύχουμε σωστά την ενίσχυση

Αν επιλέγουμε πολύ μεγάλες τιμές αντιστάσεων για να μειώσουμε κατανάλωση, αυξάνεται ο θόρυβος. Αν είναι πολύ μικρές, έχουμε χαμηλό θόρυβο αλλά μεγαλύτερη κατανάλωση

Πίνακας 3.6: Επιλογή αντιστάσεων με κριτήρια θορύβου και ισχύος

Αντίσταση Εισόδου $R_9$	Αντίσταση Ανάδρασης $R_3$	Θόρυβος ή παράσιτα	Κατανάλωση Ισχύος
1KΩ	4.68KΩ	ελάχιστος	υψηλή
10KΩ	46.8KΩ	μεσαίος	μεσαία
100KΩ	468KΩ	υψηλός	ελάχιστη

Στην περίπτωση μας θα επιλέγουμε τη δεύτερη επιλογή ( $R_A = 10\text{k}\Omega$ ,  $R_B = 46.8\text{k}\Omega$ ) επειδή προσφέρει ισορροπία ανάμεσα σε δύο αντίθετους παράγοντες:

#### Θόρυβος (Noise):

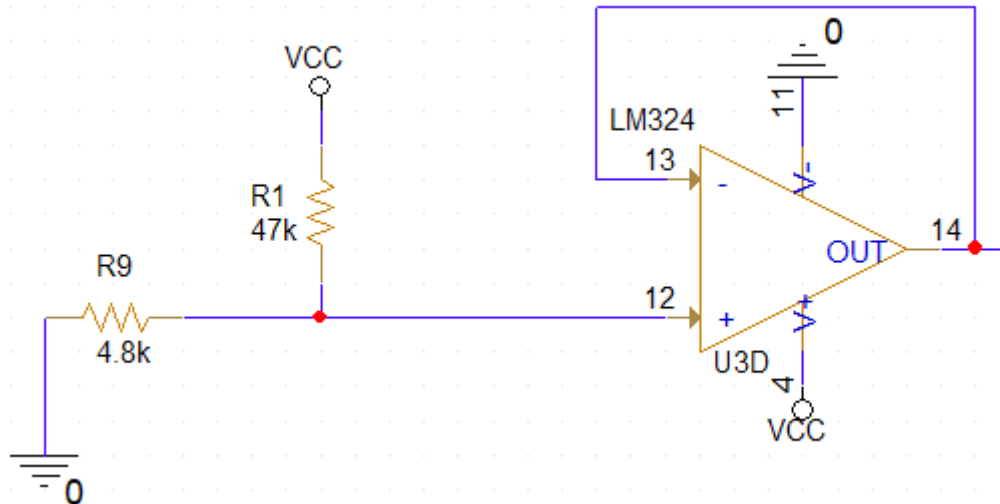
1. Όταν οι αντιστάσεις έχουν πολύ μεγάλες τιμές (π.χ.  $R_A = 100\text{k}\Omega$ ,  $R_B = 468\text{k}\Omega$ ), αυξάνεται ο θερμικός θόρυβος και επηρεάζεται περισσότερο το σήμα.
2. Με  $R_A = 10\text{k}\Omega$  και  $R_B = 46.8\text{k}\Omega$ , ο θόρυβος παραμένει χαμηλός σε σχέση με τον 3ο συνδυασμό.

#### Κατανάλωση Ισχύος (Power Consumption):

1. Όταν οι αντιστάσεις είναι πολύ μικρές (π.χ.  $R_A = 1\text{k}\Omega$ ,  $R_B = 4.68\text{k}\Omega$ ), το κύκλωμα τραβάει περισσότερο ρεύμα αυξάνεται η κατανάλωση ισχύος.
2. Στον 2ο συνδυασμό, η κατανάλωση είναι πολύ μικρότερη από την 1η επιλογή.

Συμπέρασμα: με την δεύτερη επιλογή θα πετύχουμε χαμηλό θόρυβο, λογική κατανάλωση ισχύος και σωστή αναλογία αντιστάσεων. Πραγματικές αντιστάσεις είναι 10KΩ και 47KΩ που μπορούμε να βρούμε στο εμπόριο.

Στην συνέχεια τοποθετείται σε έναν Buffer σταθερής αναφοράς  $\approx 0.455 \text{ V}$  (μηδενισμός/offset).



Εικόνα 3.30: Buffer σταθερής αναφοράς

Η αντίσταση trimmer R9:

$$R_{total} = 47 \text{ k}\Omega + 4.8 \text{ k}\Omega = 51.8 \text{ k} \quad (3.12)$$

$$\frac{4.8}{51.8} = \frac{24}{259} \approx 0.09266 \quad (3.13)$$

$$V_{ref} = 5 \text{ V} * 0.09266 \approx 0.4633 \text{ V} \quad (3.14)$$

Άρα ο buffer δίνει περίπου **0.463 V**.

η θεωρητική τάση του διαιρέτη του PT100 ( $R3=1\text{k}$  σε σειρά με  $PT100=100\Omega$  στους  $0^\circ\text{C}$ ) είναι  $5 \cdot 100 / (1000 + 100) = 0.4545 \text{ V}$  — δηλαδή οι τιμές έχουν επιλεγθεί ώστε η αναφορά του buffer να είναι πολύ κοντά στην τάση του PT100 στους  $0^\circ\text{C}$ .

Στην συνέχεια, Οι δύο “buffers” τροφοδοτούν τον ίδιο κόμβο μέσω R2 (αναφορά) και R4 (PT100).

Το R5 (47 k) προς γη καθορίζει την συνολική αντίσταση του κόμβου και σταθεροποιεί το σημείο λειτουργίας.

Ο κόμβος αυτός δεν υλοποιεί αφαίρεση με ενεργό τρόπο· είναι μια παθητική μίξη/στάθμιση:

$$V_{min} = \left( \frac{\frac{V_{ref}}{R2} + \frac{V_{pt}}{R4}}{\frac{1}{R2} + \frac{1}{R4} + \frac{1}{R5}} \right) \quad (3.15)$$

Το R2 (trimmer) ρυθμίζει offset (πόσο «τραβά» προς το 0.455 V).

Το R4 δίνει το «βάρος» του σήματος του αισθητήρα.

Το R5 βοηθά να είναι «σταθερό» το σημείο και να μην αιωρείται.

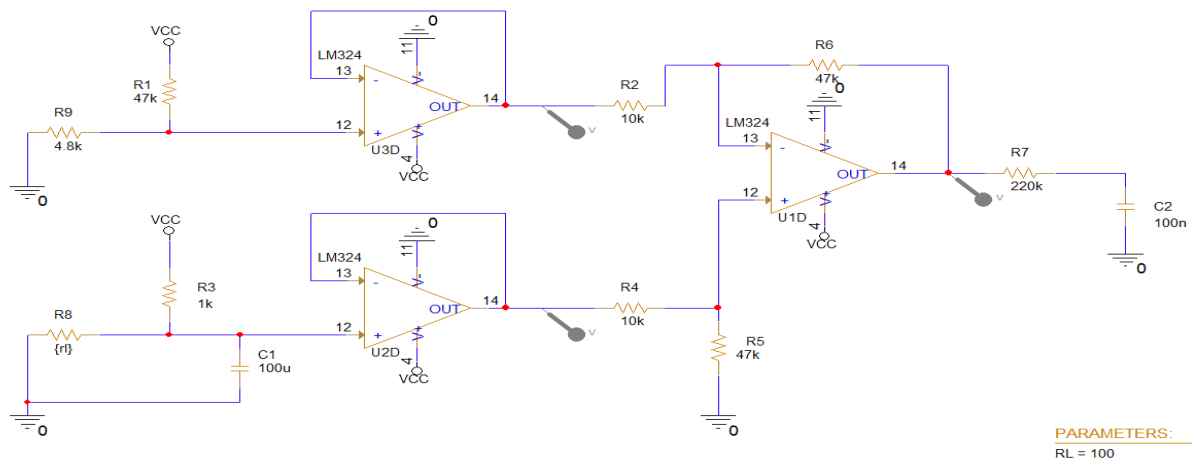
Και τέλος συνδέεται LM324 είναι επίσης σε **voltage follower**: παίρνει το V<sub>mix</sub> και το δίνει στην έξοδο με **πολύ χαμηλή αντίσταση** ώστε να οδηγεί άνετα φίλτρα/καλώδια/Arduino.

R6 (47 k) συνδέει τον κόμβο εισόδου με την έξοδο (σταθεροποίηση του κόμβου μίξης).

R7 (220 k) + C2 (100 nF) φτιάχνουν παθητικό χαμηλοπερατό φίλτρο στην έξοδο. Συχνότητα αποκοπής:

$$f_c \approx \frac{1}{2\pi R_7 C_{21}} \approx \frac{1}{2\pi \cdot 220k \cdot 100nF} \approx 7\text{Hz} \quad (3.16)$$

Άρα κόβει γρήγορα θορύβους/ριπές πάνω από λίγα Hz, αφήνοντας μια **ήρεμη DC τάση** για το Arduino.

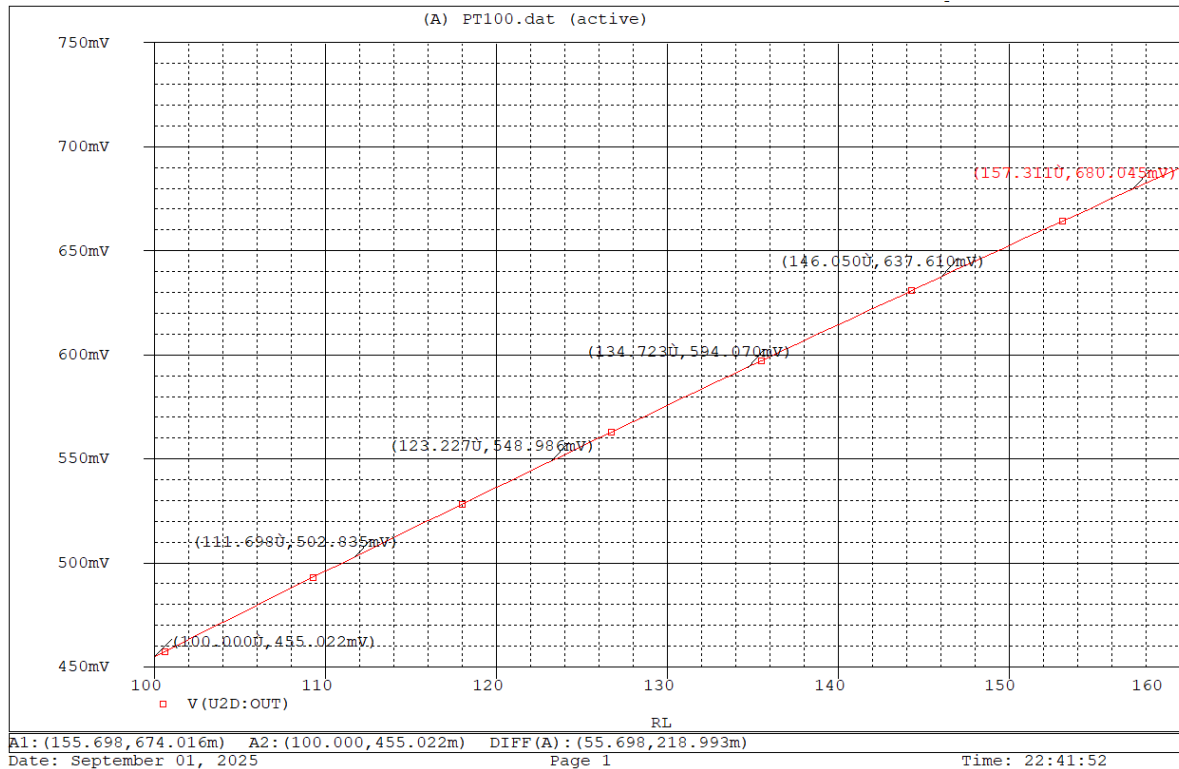


Εικόνα 3.31: Κύκλωμα PT100

### Πειραματικά Pspice:

Ο σκοπός του πειράματος στο PSpice ήταν να προσομοιωθεί το κύκλωμα ενίσχυσης τάσης με LM324 για τον αισθητήρα θερμοκρασίας PT100 και να παρατηρηθεί η έξοδος τάσης σε όλο το εύρος θερμοκρασίας (0–150°C). Στο PSpice δημιουργήθηκε το πλήρες κύκλωμα ενίσχυσης, με τις αντιστάσεις R<sub>A</sub> και R<sub>B</sub> επιλεγμένες ώστε να επιτευχθεί gain περίπου 4.68, σύμφωνα με τον υπολογισμό από τη θεωρητική διαφορά τάσης του PT100 και την αναφορά τάσης του Arduino και να τα συγκρίνουμε.

Το κύκλωμα προσομοιώθηκε για θερμοκρασίες 0, 30, 60, 90, 120 και 150°C, καταγράφοντας τις αντίστοιχες τιμές τάσης εξόδου. Τα αποτελέσματα παρουσιάστηκαν σε πίνακα τάσης–θερμοκρασίας και συγκρίθηκαν με τις θεωρητικές τιμές. Διαπιστώθηκε ότι οι τιμές PSpice συμφωνούν αρκετά καλά με τις θεωρητικές.



Εικόνα 3.32: Έξοδος U2D PT100

Πίνακας 3.7: Θεωρητικές και πειραματικές τιμές

Θερμοκρασία (°C)	Θεωρητική T (V)	PSpice (V)	Απόκλιση Θ-P (%)
0	0.4545	0.455	0.11%
30	0.4995	0.502	0.50%
60	0.5445	0.549	0.83%
90	0.5895	0.594	0.76%
120	0.6345	0.638	0.55%
150	0.6795	0.680	0.07%

### Δημιουργία πλακέτας

Πριν προχωρήσουμε στην ανάλυση του γραμμικού κυκλώματος, παρουσιάζεται η πλακέτα που σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε για τις ανάγκες του πειράματος. Η πλακέτα περιλαμβάνει τον αισθητήρα PT100 και τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα (αντιστάσεις, ποτενσιόμετρο, φίλτρα), ενώ διαθέτει διακριτή περιοχή για την τροφοδοσία και τις εξόδους προς το Arduino.

Μετά την κατασκευή, τα εξαρτήματα συγκολλήθηκαν πάνω στην πλακέτα, εξασφαλίζοντας σταθερότητα και σωστή λειτουργία. Η πλακέτα αποτέλεσε τη βάση για τη μελέτη και τη σύγκριση θεωρητικών, προσομοιωμένων και πειραματικών αποτελεσμάτων.

### Υλικά που χρησιμοποιήθηκαν:

Πίνακας 3.8: Υλικά κατασκευής

Αντιστάσεις	Πυκνωτές	Ολοκληρωμένα
<b>R3 = 1KΩ</b>	<b>100 μF/16V (Electrolytic Capacitor)</b>	<b>U1 = LM324 (Quad Op-Amp)</b>
<b>R2,R4 = 10 KΩ</b>	<b>100 nF (Ceramic Disc)</b>	
<b>R1,R5,R6 = 47KΩ</b>		
<b>R7= 220KΩ</b>		
<b>VR1= 10KΩ</b>		

**Αντιστάσεις:**

Όλες ¼-watt, ±5% Carbon

- Η ισχύς ¼ W είναι επαρκής για τα σήματα χαμηλής τάσης που χειρίζεται το κύκλωμα (Arduino, LM324).
- Η ανοχή ±5% είναι αρκετή για εφαρμογές μέτρησης θερμοκρασίας/συγκριτικού σήματος, όπου δεν απαιτείται εξαιρετική ακρίβεια.

**Πυκνωτές:**

**C1 = 100 μF /16V (Electrolytic)**

- Μεγάλος ηλεκτρολυτικός πυκνωτής για **σταθεροποίηση τροφοδοσίας** (αποφυγή ripple), ειδικά όταν τροφοδοτεί Arduino και op-amp.

**C2 = 100 nF (Ceramic)**

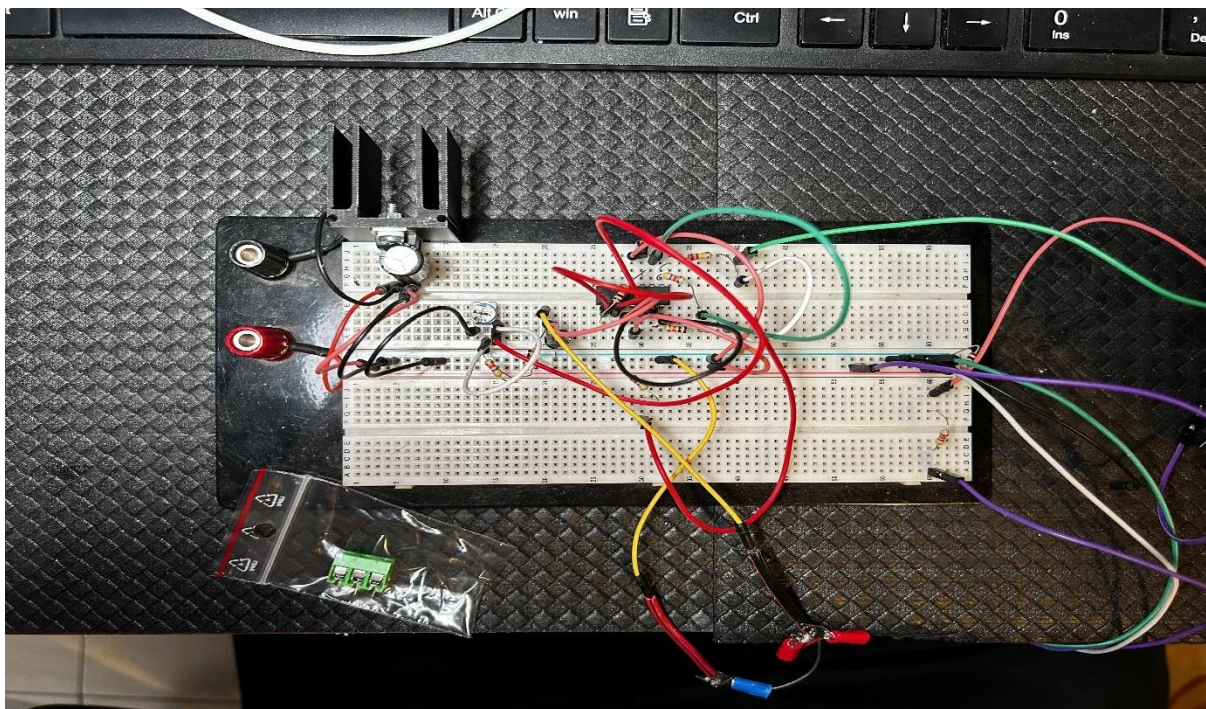
- Μικρός κεραμικός για **φιλτράρισμα υψηλών συχνοτήτων** ή σταθεροποίηση του op-amp, μειώνει τον θόρυβο και αποτρέπει τα oscillations.

**Ολοκληρωμένο:**

**LM324 (Quad Op-Amp)**

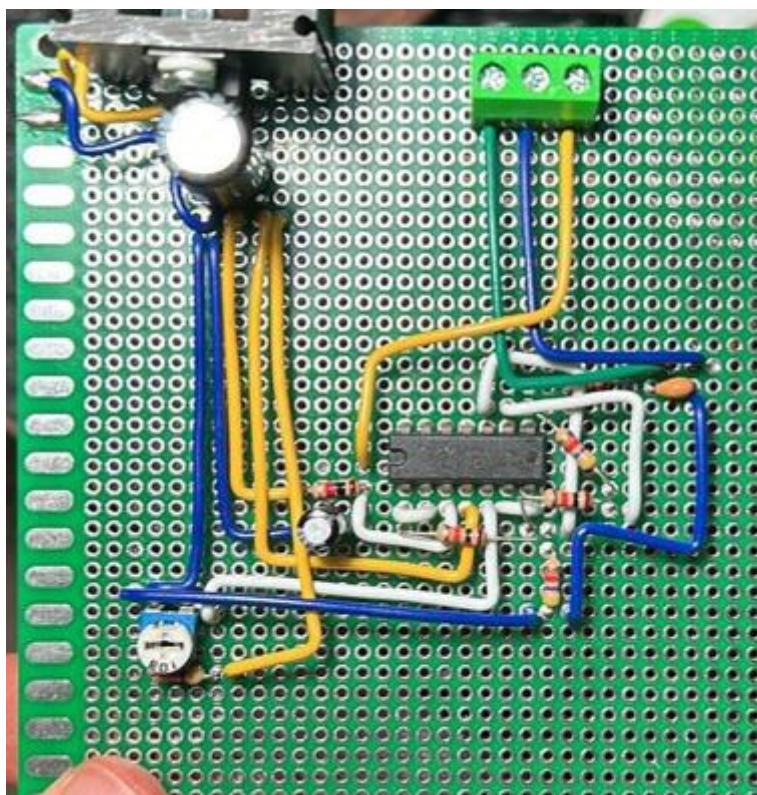
- 4 op-amp σε μία συσκευασία, χαμηλή κατανάλωση και λειτουργεί με μονοπολική τάση (π.χ. 5V του Arduino).
- Χρησιμοποιείται για **ενίσχυση σήματος PT100**, φίλτρα ή συγκριτικά σήματος.

**Πειραματικό στάδιο:**



Εικόνα 3.33: Πειραματικό στάδιο κυκλώματος

**Προσπάθεια δημιουργία πλακέτας:**



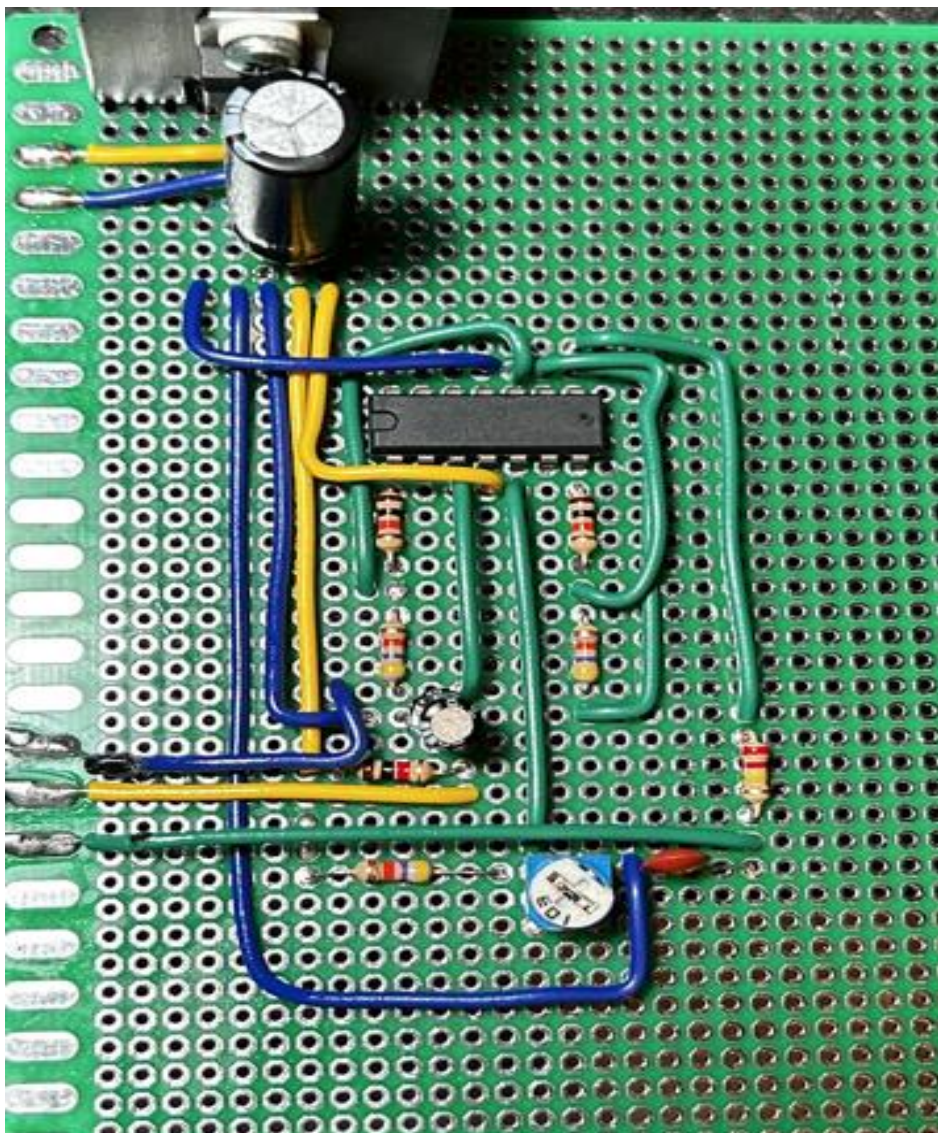
Εικόνα 3.34: 1η Προσπάθεια δημιουργίας πλακέτας

**Τελικό κύκλωμα προσαρμογής σε πλακέτα:**

Στόχος κατά τη σχεδίαση του κυκλώματος ήταν να επιτευχθεί μια διάταξη που να είναι **εύκολα κατανοητή και ευανάγνωστη** για τον αναγνώστη της διπλωματικής εργασίας. Αυτό σημαίνει ότι:

1. **Καθαρή διάταξη:** Τα στοιχεία (αντιστάσεις, πυκνωτές, op-amps, αισθητήρας) έχουν τοποθετηθεί στην πλακέτα με τρόπο που να φαίνεται η ροή του σήματος από την είσοδο μέχρι την έξοδο.
2. **Σαφής σήμανση:** Κάθε στοιχείο φέρει ευδιάκριτη ονομασία και τιμή, ώστε ο αναγνώστης να μπορεί να ταυτοποιήσει εύκολα τον ρόλο του στο κύκλωμα.
3. **Ευκολία στη συντήρηση:** Η κατανοητή διάταξη διευκολύνει τυχόν τροποποιήσεις ή επεκτάσεις του κυκλώματος στο μέλλον.

Με λίγα λόγια, το κύκλωμα δεν σχεδιάστηκε μόνο για λειτουργικότητα, αλλά και για εκπαιδευτική σαφήνεια και τεχνική τεκμηρίωση, ώστε να μπορεί να γίνει κατανοητό και από άτομα που δεν το έχουν δει προηγουμένως.



Εικόνα 3.35: Τελικό κύκλωμα προσαρμογής

**Σύνδεση με το Arduino:**

Το Arduino στην είσοδο του διαβάζει την τάση εξόδου του ολοκληρωμένου, εμείς στην συγκεκριμένη περίπτωση θέλουμε να ξέρουμε την αντίσταση RTD και με αυτό την θερμοκρασία. Για να γίνει αυτό πρέπει να βρούμε μια γραμμική σχέση

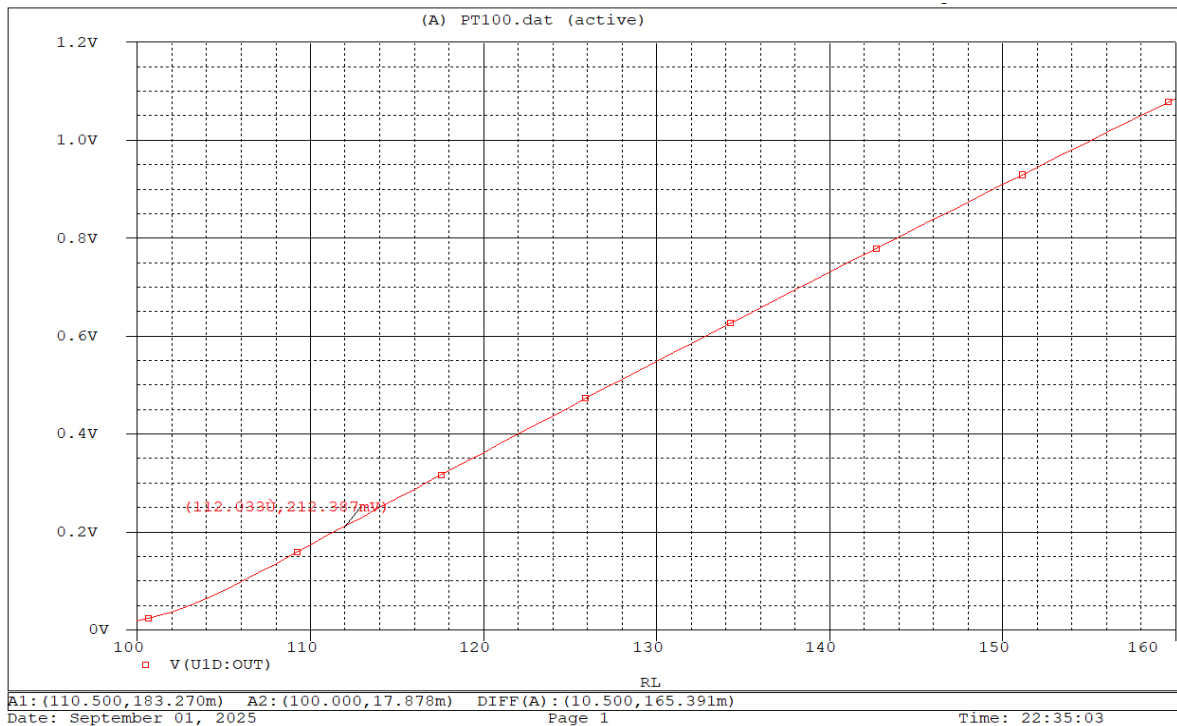
$$y = m * x + b \quad (3.17)$$

Όπου:

- **Y** = αντίσταση RTR\_TRT (σε Ω)
- **X** = τάση V (σε Volt)
- **m** = κλίση (slope)
- **C** = σταθερά (intercept).

**Χρειαζόμαστε 2 γνωστά σημεία:**

- Στους 30°C:  $V_{t1}=0.025V$  ,  $R_{t1}=111.2\Omega$
- Στους 160 °C:  $V_{t2}=1.1V$  ,  $R_{t2}=160\Omega$



Εικόνα 3.36: Έξοδος κυκλώματος στο Ppsice

Άρα υπολογίζουμε την κλίση:

$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} \quad (3.18)$$

$$m = \frac{160\Omega - 111.2\Omega}{1.1V - 0.0217V} = 55 \quad (3.19)$$

Υπολογίζουμε την ευθεία:

$$Y = mX + C \quad (3.20)$$

$$160 = 55 * 1.1 + C \quad (3.21)$$

**Βρίσκουμε το C= 99.6**

Άρα η γραμμική σχέση που συνδέει την τάση με την αντίσταση είναι:

$$RT = 55 * V + 106.85 \quad (3.22)$$

**Συντελεστής θερμικής αντίστασης PT100:**

$$R_T = R_0 * (1 + \alpha * \Delta T) \quad (3.23)$$

Όπου:

1. **RT** = αντίσταση σε θερμοκρασία T
2. **R0** = αντίσταση σε 0 °C ( 100Ω)
3. **α** = συντελεστής θερμικής αντίστασης (°C<sup>-1</sup>)
4. **ΔT=T-0** = διαφορά θερμοκρασίας από 0 °C

$$\alpha = (R_T - R_0)/(R_0 * \Delta T) \quad (3.24)$$

$$\alpha = (138.5 - 100)/(100 * 100) = 0.00385^\circ\text{C}^{-1} \quad (3.25)$$

**A= 0.00385°C<sup>-1</sup>**

**Σημείωση:** PT100 με 3 ακροδέκτες θα ενώσουμε τα 2 ποδαράκια μαζί με το χρώμα μπλέ και το κόκκινο ξεχωριστά για την σύνδεση στο κύκλωμα προσαρμογής.

**Κώδικας για την σύνδεση με το Arduino:**

```

1 // Μεταβλητές δηλωμένες
2 float Volts; // Τάση που διαβάζεται από το Arduino
3 float tempC; // Τελική θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου μετά την βαθμονόμηση
4 float tempF; // Τελική θερμοκρασία σε βαθμούς Φαρενάιτ μετά την βαθμονόμηση
5 float temp1; // Θερμοκρασία πριν την βαθμονόμηση
6 float calibration; // Βαθμονόμηση
7 float Rx; // Αντίσταση του PT100
8
9 // Μεταβλητές που απαιτούνται για τη μετατροπή τάσης σε αντίσταση
10 float C = 99.6; // Σταθερά της ευθείας (Y = mX + C)
11 float slope = 55; // Κλίση της ευθείας (Y = mX + C)
12
13 // Ανάθεση ακίδας για τον αισθητήρα
14 int Vin = A0; // Ακίδα εισόδου τάσης του αισθητήρα
15
16 Timer t; Δημιουργία αντικειμένου Timer
17
18 // Συνάρτηση Setup
19 void setup() {
20
21     t.every(100, takeReading); // Λήψη μέτρησης από τον αισθητήρα κάθε 100ms
22     analogReference(INTERNAL); // Χρήση εσωτερικής αναφοράς 1.1V του ADC του Arduino
23 }
24
25 void takeReading() {
26     // Μετατροπή bits σε τάση
27     Volts = (analogRead(Vin) / 1023.0) * 1.1; // Μετατροπή από bits σε τάση (V)
28
29     // Μετατροπή τάσης σε αντίσταση
30     Rx = Volts * slope + C; // y = mX + C
31
32     // Μετατροπή αντίστασης σε θερμοκρασία
33     temp1 = (Rx / R0 - 1.0) / alpha; // Από τον τύπο Rx = R0 * (1 + alpha * ΔT)
34     calibration = 0.3 + (0.005 * temp1); // Αντίστοιχη διόρθωση για ανοχή κλάσης B PT100
35     tempC = temp1 - calibration; // Τελική θερμοκρασία σε °C
36
37 }

```

Εικόνα 3.37: Κώδικας PT100

### 3.2.5 Οθόνη Απεικόνισης Εξόδου

Για την οπτική απεικόνιση των μετρήσεων και των δεδομένων του κλιματικού θαλάμου, εξετάστηκαν τρεις διαφορετικές επιλογές:

#### 1. Basic 16x2 Character LCD - White on Blue 5V (I2C Protocol)

Πρόκειται για την πιο απλή και οικονομική λύση. Μπορεί να εμφανίζει δύο γραμμές των 16 χαρακτήρων και είναι κατάλληλη για βασικές ενδείξεις θερμοκρασίας, υγρασίας και γενικών μετρήσεων.

#### 2. OLED Display 1.3" 128×64 - I2C

Μικρή σε μέγεθος αλλά με υψηλή ευκρίνεια και δυνατότητα γραφικών. Δίνει τη δυνατότητα παρουσίασης όχι μόνο αριθμητικών τιμών, αλλά και απλών γραφημάτων (π.χ. καμπύλες θερμοκρασίας ή εικονίδια κατάστασης).

#### 3. ESP32 LVGL WIFI & Bluetooth Development Board με 2.4 inch LCD TFT Module

Η πιο εξελιγμένη επιλογή, που παρέχει έγχρωμη οθόνη αφής και δυνατότητα χρήσης του γραφικού περιβάλλοντος LVGL για πιο επαγγελματική διεπαφή χρήστη. Επιπλέον, το ESP32 ενσωματώνει WiFi και Bluetooth, ανοίγοντας το δρόμο για ασύρματη επικοινωνία και απομακρυσμένο έλεγχο.

### Συμπέρασμα επιλογής οθόνης:

Κατά τη φάση της υλοποίησης πραγματοποιήθηκαν δοκιμές με τις δύο πιο προηγμένες επιλογές. Αρχικά, επιχειρήθηκε η χρήση του **ESP32 LVGL WiFi & Bluetooth Development Board με 2.4" LCD TFT Module**. Ωστόσο, η οθόνη αυτή δεν κατέστη δυνατό να συνδεθεί με το Arduino.

Στη συνέχεια δοκιμάστηκε η **OLED Display 1.3" 128×64 - I2C**, η οποία εμφάνισε περιορισμούς λόγω της μικρής διαθέσιμης μνήμης του Arduino, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να πραγματοποιηθεί η επιθυμητή απεικόνιση δεδομένων.

Μετά τις δοκιμές αυτές, κρίθηκε ως πιο κατάλληλη λύση η Basic 16x2 Character LCD - White on Blue 5V (I2C Protocol). Παρά την απλότητά της, αποδείχθηκε πλήρως συμβατή με το Arduino και ικανή να καλύψει τις βασικές ανάγκες απεικόνισης θερμοκρασίας, υγρασίας και λοιπών μετρήσεων του συστήματος.

### Basic 16x2 Character LCD – White on Blue 5V

Η LCD 16x2 είναι μία από τις πιο διαδεδομένες οθόνες για χρήση με μικροελεγκτές, λόγω του χαμηλού κόστους, της απλότητας στη σύνδεση και της αξιοπιστίας της. Μπορεί να εμφανίσει 2 γραμμές των 16 χαρακτήρων (σύνολο 32 χαρακτήρες), γεγονός που την καθιστά κατάλληλη για την απεικόνιση βασικών μετρήσεων όπως θερμοκρασία, υγρασία και κατάσταση συστήματος.

#### Τεχνικά χαρακτηριστικά:

1. **Τάση τροφοδοσίας (Vcc):** 5V DC
2. **Ρεύμα λειτουργίας:** περίπου 1–2 mA (χωρίς οπίσθιο φωτισμό), έως 20 mA με ενεργοποιημένο backlight
3. **Διασύνδεση:** I2C (μέσω I2C module που προσαρμόζεται στο πίσω μέρος της LCD)
4. **Διεύθυνση I2C:** συνήθως 0x27 ή 0x3F (ανάλογα με τον driver chip PCF8574)
5. **Επίπεδο λογικής (Logic level):** TTL συμβατό (0V για LOW, ~5V για HIGH)
6. **Ανάλυση:** 16 χαρακτήρες × 2 γραμμές
7. **Μέγεθος χαρακτήρα:** 5×8 ή 5×10 pixels ανά χαρακτήρα
8. **Διαστάσεις πλακέτας:** περίπου 80 mm × 36 mm × 12 mm
9. **Χρώμα απεικόνισης:** λευκοί χαρακτήρες σε μπλε φόντο
10. **Θερμοκρασία λειτουργίας:** -20 °C έως +70 °C

### 3.2.6 Υγραντήρας

Για την δημιουργία του υγραντήρα εμπνεύστηκα από μια συσκευή αρωματικό χώρου που διαθέτω το οποίο βασίζεται σε έναν κεραμικό πιεζοηλεκτρικό δίσκο ο οποίος δονούνται σε συχνότητες υπερήχων (συνήθως ~1,7 MHz) αυτός ονομάζεται Ultrasonic Water Atomizer ή υγραντήρας υπερήχων.

#### Αρχή λειτουργίας:

1. Ο πιεζοηλεκτρικός δίσκος διεγείρεται από ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα υψηλής συχνότητας.
2. Οι δονήσεις του δίσκου μεταφέρονται στο νερό που βρίσκεται σε επαφή με την επιφάνειά του.
3. Η ταχεία δόνηση προκαλεί σπασίματα των μορίων νερού σε πολύ μικροσκοπικά σταγονίδια (διάμετρος < 5 μm).
4. Αυτά τα σταγονίδια δημιουργούν ένα ορατό “νέφος” ή “ομίχλη”, που απελευθερώνεται στον αέρα.
5. Ο παραγόμενος ατμός είναι κρύος (δεν θερμαίνεται το νερό, σε αντίθεση με υγραντήρες θερμού ατμού).

**Χαρακτηριστικά:**

1. **Τάση λειτουργίας:** συνήθως 12V DC (υπάρχουν και εκδόσεις στα 5V όπως στην εργασία μας).
2. **Ρεύμα κατανάλωσης:** περίπου 1–2A (ανάλογα το μοντέλο).
3. **Συχνότητα λειτουργίας:** ~1,7 MHz.
4. **Παραγωγή ομίχλης:** 300–500 ml/h (για ένα μεσαίο δίσκο).

Συγκεκριμένα, η τάση του κυκλώματος είναι 5V και έγινε η επιλογή του συγκεκριμένου και μάλιστα 2 από αυτά να δουλεύουν παράλληλα στο κύκλωμα.



Εικόνα 3.38: Ultrasonic Water Atomizer[Online]: <https://www.ebay.com/itm/296515469880>

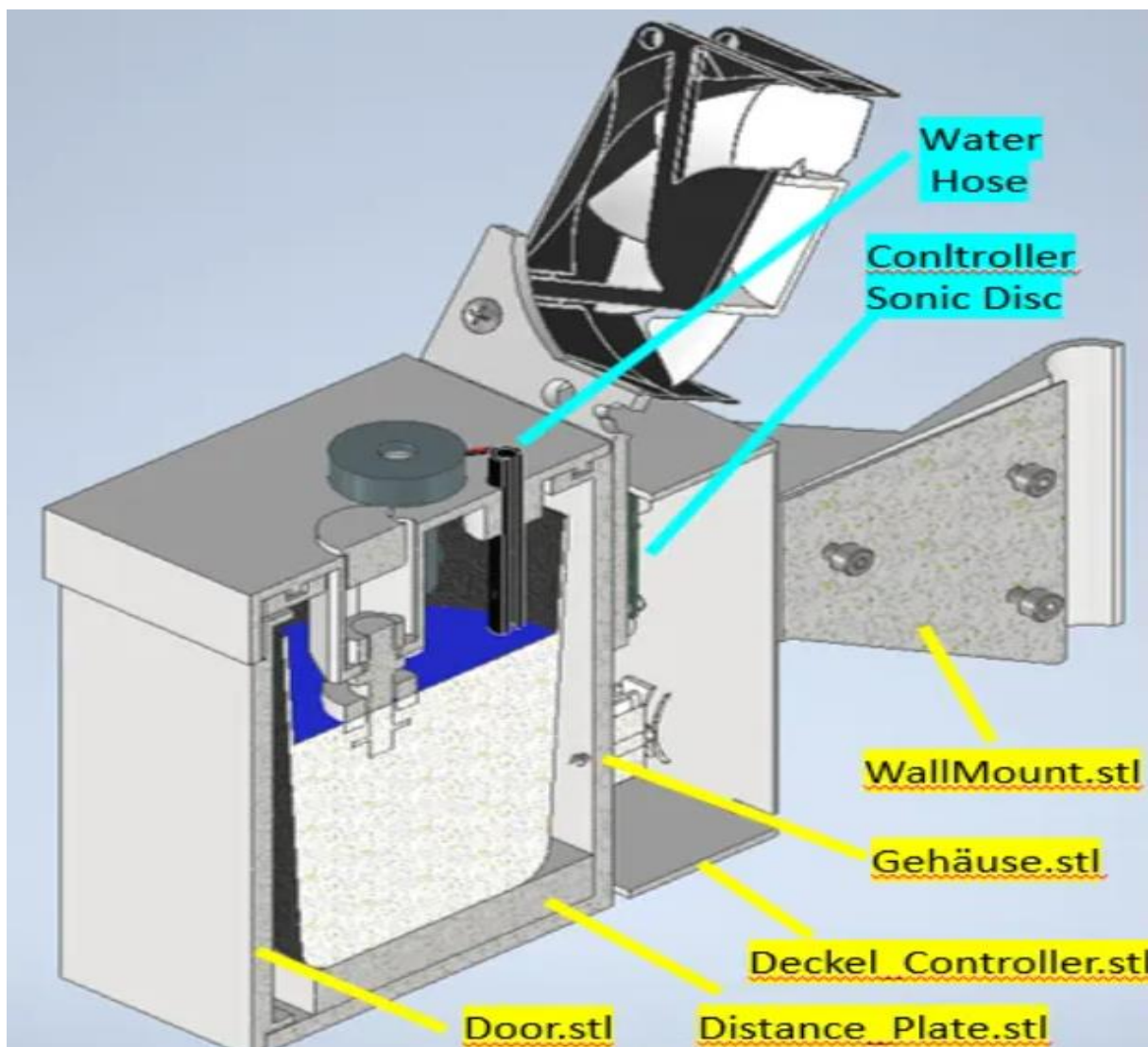
Η τροφοδοσία του γίνεται εξωτερικά από ένα φορτιστή wall plug charger 5V και ο έλεγχος ON/OFF από το Arduino, αυτό το πετύχαμε παραβλέποντας το button με ένα βραχυκύκλωμα και το σήμα του πλέον είναι με εντολή του Arduino.

**Κατασκευή βάσης υγραντήρα:**

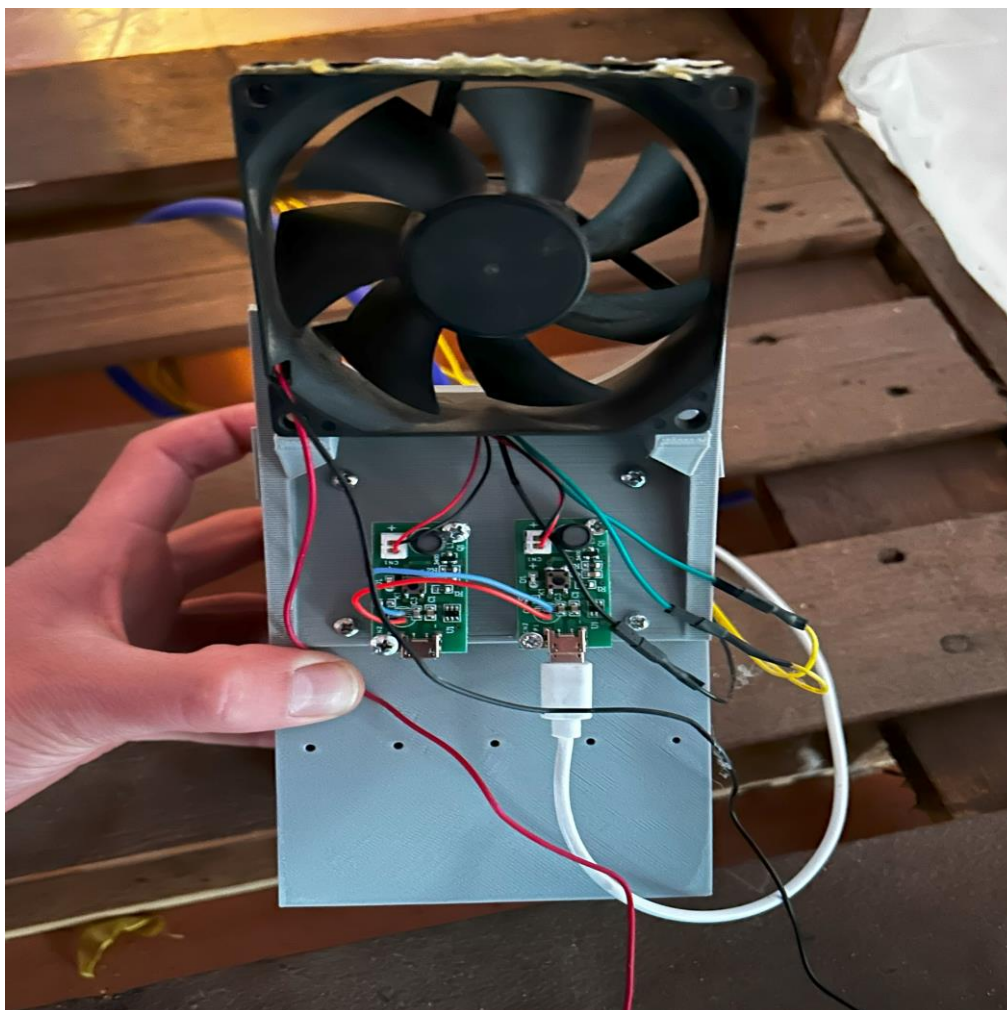
Για την τοποθέτηση του υπερηχητικού υγραντήρα, σχεδιάστηκε και εκτυπώθηκε με 3D εκτυπωτή η βάση στήριξης, χρησιμοποιώντας το μοντέλο 4.1 Grow Tent Humidifier από τον δημιουργό DIY.Mushroom.Tek.

**Το συγκεκριμένο μοντέλο προσφέρει:**

1. Αντιμετώπιση ανάπτυξης αλγών: Ο σχεδιασμός περιλαμβάνει σύστημα που εμποδίζει την είσοδο φωτός στο νερό, μειώνοντας την ανάπτυξη αλγών.
2. Εύκολη συντήρηση: Σχεδιασμένο για εύκολο καθαρισμό και συντήρηση.
3. Αξιοπιστία: Δοκιμασμένο και αποδεδειγμένα αξιόπιστο σε συνθήκες δοκιμαστικής καλλιέργειας.



Εικόνα 3.39: Grow Tent Humidifier[Online]: <https://www.printables.com/model/884112-41-grow-tent-humidifier#preview.KM9Fe>



Εικόνα 3.40: Πίσω όψη κατασκευής δίχως το καπάκι προστασίας



Εικόνα 3.41: Μπροστά όψη δίχως το καπάκι προστασίας

Στις φωτογραφίες φαίνεται μια DIY κατασκευή υγραντήρα ο οποίος περιέχει πέραν του υγραντήρα υπερήχων:

1. Ανεμιστήρα 12V (Τύπου PC)
2. 1 Σωλήνα τροφοδοσίας νερού
3. 1 Ποτήρι
4. Αισθητήρας στάθμης υγρών
5. Αντλία νερού (θα την δούμε σε λίγο)

### Ανεμιστήρα:

Ο ανεμιστήρας που χρησιμοποιείται στην κατασκευή είναι ένας ηλεκτρικός ανεμιστήρας συνεχούς ρεύματος (DC fan) ονομαστικής τάσης 12 V, αντίστοιχος με αυτούς που χρησιμοποιούνται για τον εξαερισμό σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές.

### Κύρια χαρακτηριστικά λειτουργίας:

1. **Τάση τροφοδοσίας:** 12 V DC
2. **Ονομαστικό ρεύμα:** περίπου 0,25 A (αντιστοιχεί σε κατανάλωση ~3 W)
3. **Διαστάσεις:** 92 × 92 × 25 mm
4. **Ταχύτητα περιστροφής:** περίπου 2000–2500 rpm
5. **Παροχή αέρα:** 35–45 CFM (Cubic Feet per Minute)

Στην παρούσα εφαρμογή, ο ανεμιστήρας δεν λειτουργεί συνεχώς αλλά ελέγχεται από μικροελεγκτή (Arduino), ο οποίος μεσολαβεί μεταξύ του αισθητήρα (π.χ. υγρασίας) και του ανεμιστήρα. Η ενεργοποίησή του γίνεται μέσω διακοπτικού στοιχείου ισχύος (ρελέ), ώστε να εξασφαλίζεται ότι ο μικροελεγκτής, που λειτουργεί σε χαμηλή τάση (5 V), μπορεί να διαχειριστεί το φορτίο των 12 V του ανεμιστήρα.

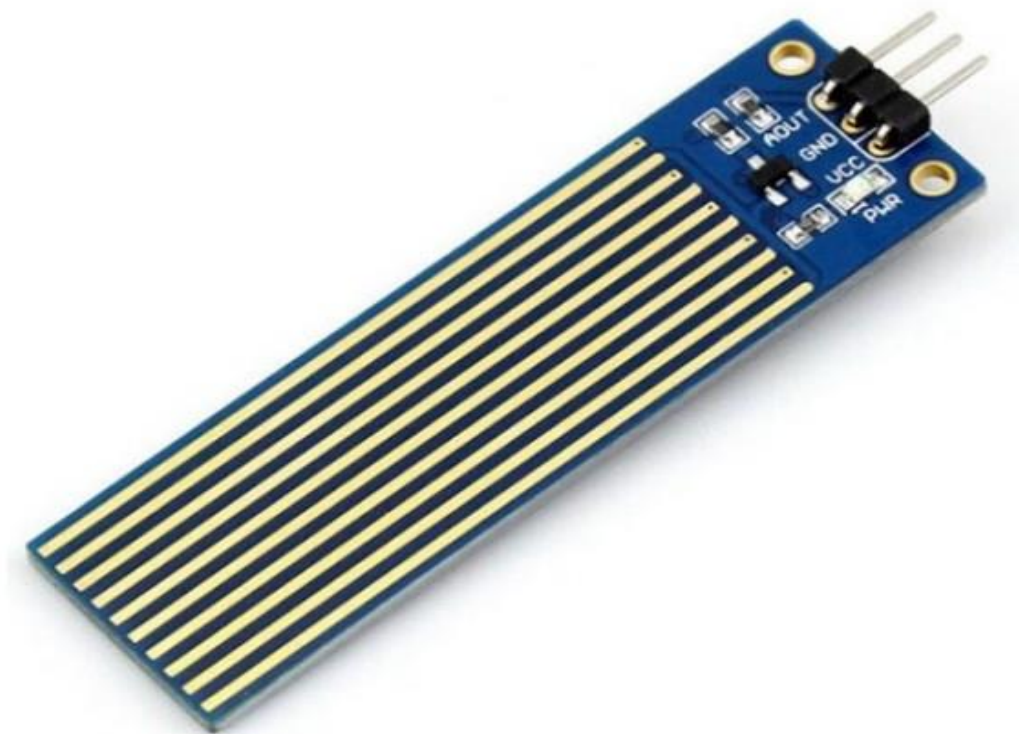
Ο ανεμιστήρας παίζει καθοριστικό ρόλο στη σωστή διαχείριση της υγρασίας στον χώρο. Η βασική του λειτουργία είναι να εξασφαλίζει ομοιόμορφη κυκλοφορία του αέρα, αποτρέποντας τοπικές συγκεντρώσεις υγρασίας που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε σχηματισμό μούχλας ή συμπύκνωσης νερού.

### Αισθητήρας στάθμης υγρών:

Ο αισθητήρας στάθμης υγρών είναι μία διάταξη μέτρησης που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση της παρουσίας ή του ύψους ενός υγρού μέσα σε δοχείο. Ανάλογα με την αρχή λειτουργίας του, μπορεί να παρέχει δυαδική έξοδο (υπάρχει/δεν υπάρχει υγρό) ή αναλογική έξοδο (συνεχής μέτρηση στάθμης).

### Τεχνικά χαρακτηριστικά:

1. **Τάση λειτουργίας:** 2,0 V έως 5,0 V DC, κατάλληλο για χρήση με μικροελεγκτές όπως Arduino (3,3 V ή 5 V)
2. **Εύρος ανίχνευσης:** περίπου 48 mm βύθιση (οριζόντιο/κάθετο, ανάλογα την εγκατάσταση)
3. **Διαστάσεις αισθητήρα:** περίπου 19 mm × 63 mm, με οπές στερέωσης διαμέτρου 2,0 mm
4. **Έξοδος:** αναλογική (AOUT), όπου η τάση αυξάνεται αναλογικά με το βάθος βύθισης



Εικόνα 3.42: Waveshare Liquid Level Sensor[Online] <https://grobotronics.com/waveshare-liquid-level-sensor.html>

Ο αισθητήρας στάθμης υγρών είναι τύπου αγωγιμότητας. Διαθέτει δύο ή περισσότερα μεταλλικά ηλεκτρόδια, τα οποία βυθίζονται μέσα στο δοχείο. Όταν η στάθμη του νερού ανέλθει και τα ηλεκτρόδια καλυφθούν, το κύκλωμα κλείνει και ο αισθητήρας δίνει σήμα στο Arduino ότι υπάρχει επαρκής ποσότητα νερού.

Στην εφαρμογή μας ο συγκεκριμένος αισθητήρας λειτουργεί ως 0 ή 1, όταν είναι στο 1 ενεργοποιεί την αντλία νερού και βάζει το νερό στο ποτήρι όταν φτάσει στο σημείο να το ακουμπήσει το νερό γίνει 0 απενεργοποιεί την αντλία. Ο ρόλος του συγκεκριμένου εξαρτήματος είναι προστατευτικός προς του υγραντήρα υπερήχων και να μην υπερβεί το νερό την ποσότητα που επαρκεί για να μην ξεχειλίσει το ποτήρι.

### **Peristaltic Liquid Pump 12V DC**

Η **Peristaltic Liquid Pump 12V DC** είναι μια αντλία υγρών τύπου περιστροφικής ώθησης (peristaltic), που επιτρέπει την ακριβή μεταφορά υγρών χωρίς να έρχονται σε επαφή με την αντλία. Το υγρό κυκλοφορεί μέσα σε έναν εύκαμπτο σωλήνα, ο οποίος πιέζεται από περιστρεφόμενα έμβολα, προσφέροντας καθαρή και ασφαλή ροή.

**Τεχνικά χαρακτηριστικά:**

1. **Τάση λειτουργίας:** 12 V DC
2. **Ρεύμα:** ~0,3–0,5 A
3. **Παροχή:** ~100–200 mL/min (ανάλογα τον σωλήνα και τις στροφές του κινητήρα)
4. **Υλικό σωλήνα:** σιλικόνη ή TPU (ανθεκτικό, τροφικής χρήσης)
5. **Διάρκεια ζωής:** πολλές εκατοντάδες ώρες λειτουργίας (ανάλογα με τη χρήση)

#### Έλεγχος με Arduino:

Η αντλία, ως φορτίο 12V, δεν μπορεί να οδηγηθεί απευθείας από τον μικροελεγκτή. Συνδέεται με mosfet. Έτσι, το Arduino μπορεί να την ενεργοποιεί/απενεργοποιεί, π.χ. όταν ο αισθητήρας στάθμης ανιχνεύσει χαμηλή στάθμη.

#### Εφαρμογή:

Η αντλία αυτή χρησιμοποιείται για την αυτόματη αναπλήρωση νερού στο δοχείο του υγραντήρα.

1. Όταν η στάθμη πέσει κάτω από το όριο (όπως ανιχνεύεται από τον αισθητήρα Waveshare), το Arduino ενεργοποιεί την αντλία.
2. Η αντλία αντλεί νερό από μια εξωτερική δεξαμενή μέσα στο δοχείο του υγραντήρα.
3. Μόλις ο αισθητήρας επιβεβαιώσει ότι η στάθμη επανήλθε, το Arduino απενεργοποιεί την αντλία.



Εικόνα 3.43: Peristaltic Liquid Pump 12V DC[Online]: <https://grobotronics.com/peristaltic-liquid-pump-12v-dc.html>

### 3.2.7 Αερόθερμο

Το αερόθερμο εντάσσεται στο σύστημα ως σύστημα θέρμανσης. Ελέγχεται από τον μικροελεγκτή μέσω ρελέ 12 V, ο οποίος λειτουργεί ως διακόπτης ισχύος. Ο μικροελεγκτής, βασισμένος στις μετρήσεις των αισθητήρων θερμοκρασίας, ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί το αερόθερμο, διατηρώντας το μικροκλίμα στα προκαθορισμένα όρια.

#### Τεχνικά χαρακτηριστικά:

1. **Τύπος:** Αερόθερμο επιδαπέδιο με ανεμιστήρα και θερμαντικό στοιχείο.
2. **Ονομαστική Ισχύς:** 2000 W.
3. **Τάση λειτουργίας:** 220–240 V AC, 50/60 Hz.
4. **Ρύθμιση Ισχύος:** Συνήθως δύο βαθμίδες (1000 W / 1500W / 2000 W).
5. **Έλεγχος:** Ενσωματωμένος θερμοστάτης και διακόπτης επιλογής λειτουργίας.
6. **Ασφάλεια:** Αυτόματη προστασία υπερθέρμανσης (thermal cut-off).

#### Σύνδεση με Σύστημα Ελέγχου:

1. **Ρεύμα λειτουργίας:**  $I=P/V=1000/230=4.4A$  (1000W) ,  $6.5A(1500W)$  και  $8.7A(2000W)$ .
2. **Σύνδεση με Arduino:** Δεν μπορεί να οδηγηθεί απευθείας. Χρειάζεται ρελέ ή solid state relay (SSR) κατάλληλο για AC φορτία.
3. **Συνηθισμένα Arduino relay modules 12 V** έχουν ονομαστική αντοχή 10 A στα 250 V AC, που θεωρητικά επαρκεί.



Εικόνα 3.44: Αερόθερμο[Online]: <https://teesa.gr/product/aerothermo2000w/>

### 3.3 Επίλογος

Συνοπτικά, σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάστηκε η κατασκευή του ηλεκτρονικά ελεγχόμενου κλιματικού θαλάμου. Περιγράψαμε την βάση του θερμοκηπίου και τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν, ενώ αναλύθηκαν τα κυκλώματα και τα βασικά εξαρτήματα, όπως οι αισθητήρες, η μονάδα ελέγχου, η τροφοδοσία ρεύματος, ο θερμαντήρας και ο υγραντήρας. Παράλληλα, παρουσιάστηκαν σχήματα, πίνακες και μαθηματικές σχέσεις που τεκμηριώνουν τη λειτουργία του συστήματος. Η ολοκλήρωση της κατασκευής αποτέλεσε την πρακτική βάση για την επόμενη φάση της εργασίας, η οποία αφορά την αξιολόγηση και βελτιστοποίηση της λειτουργίας του θαλάμου.

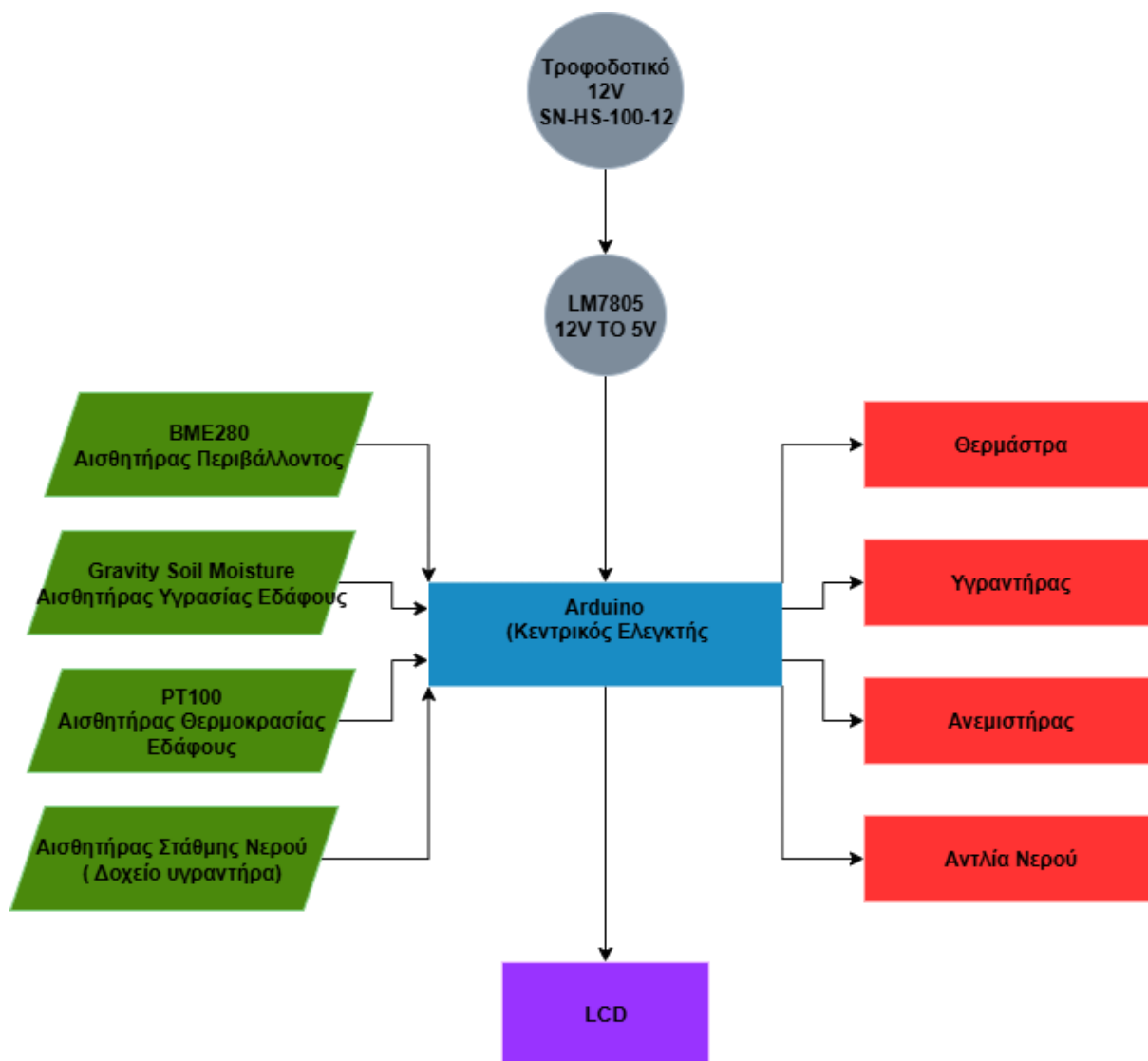
## Κεφάλαιο 4ο: Συνδεσμολογία συστήματος και αποτελέσματα

Σε αυτήν την ενότητα αναλύονται τα συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας και παρουσιάζονται προτάσεις βελτίωσης της.

### 4.1 Συνδεσμολογία Συστήματος

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζεται η συνολική διάταξη του ηλεκτρονικού συστήματος, περιλαμβάνοντας την τροφοδοσία, τη σύνδεση των αισθητήρων, των ρελέ και των υπόλοιπων περιφερειακών συσκευών. Παρουσιάζονται τα βασικά στοιχεία του κυκλώματος, η διαχείριση της ισχύος και η λογική σύνδεσης των συσκευών με το Arduino, ώστε να εξασφαλίζεται ασφαλής και αποδοτική λειτουργία του συστήματος.

Για την συνδεσμολογία του PT100 αναφέραμε αναλυτικά στο προηγούμενο κεφάλαιο 3.2.4



Σχήμα 4.1: Μπλοκ διάγραμμα κυκλώματος

### 4.1.1 Συνδεσμολογία Τροφοδοτικού

#### Τροφοδοσία:

Η τροφοδοσία του συστήματος πραγματοποιείται μέσω δύο διακοπών πίνακα 16 A, οι οποίοι εξασφαλίζουν ασφαλή και ανεξάρτητο χειρισμό των διαφόρων τμημάτων του κυκλώματος:

#### 1. Διακόπτης Τροφοδοσίας Τροφοδοτικού 12 V:

Ο πρώτος διακόπτης ελέγχει την παροχή ρεύματος στο τροφοδοτικό 12 V, το οποίο παρέχει σταθερή τάση για το Arduino, τους αισθητήρες και τα ρελέ. Η χρήση ανεξάρτητου διακόπτη επιτρέπει την ασφαλή απομόνωση του ηλεκτρονικού μέρους κατά τη διάρκεια συντήρησης ή τροποποιήσεων.

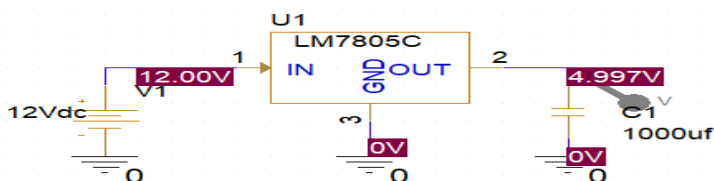
#### 2. Διακόπτης Πρίζας:

Ο δεύτερος διακόπτης ελέγχει την τροφοδοσία ενός πολύμπριζου από όπου τροφοδοτείται η κάμερα παρακολούθησης, και φορτιστής κινητού 5V για το υγραντήρα.

Η διάταξη αυτή προσφέρει ευελιξία και ασφάλεια, μειώνοντας τον κίνδυνο βλάβης των ευαίσθητων ηλεκτρονικών στοιχείων και διευκολύνοντας τον έλεγχο των συσκευών υψηλής ισχύος.

#### Τροφοδοτικό SN-HS-100-12 100W

Με την χρήση του τροφοδοτικού που αναφέραμε πιο πάνω SN-HS-100-12 καταφέρνουμε να έχουμε μια τάση 12V στην έξοδο του, το Arduino χρειάζεται 5V για την λειτουργία του άρα πρέπει να μειώσουμε την τάση, αυτό θα το πετύχουμε με τον γραμμικό σταθεροποιητή τάσης LM7805 ο οποίος θα μετατρέπει την τάση των 12V σε σταθερά 5V.



Εικόνα 4.45: Κύκλωμα LM7805

Για την ομαλοποίηση της τάσης και την αποφυγή διακυμάνσεων, στην είσοδο του σταθεροποιητή τοποθετείται ηλεκτρολυτικός πυκνωτής 1000  $\mu\text{F}$  / 25 V, ο οποίος λειτουργεί ως φίλτρο, μειώνοντας τις αυξομειώσεις και το ηλεκτρικό θόρυβο. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται σταθερή παροχή ρεύματος και προστασία των ευαίσθητων ηλεκτρονικών εξαρτημάτων του κυκλώματος.

Επιπρόσθετα, για την ασφάλεια του σταθεροποιητή τάσης από την υπερθέρμανση που μπορεί να αναπτυχθεί κατά τη λειτουργία του, τοποθετούμε μία ψύκτρα επάνω στο μεταλλικό του περίβλημα. Η ψύκτρα αυξάνει την επιφάνεια απαγωγής θερμότητας και συμβάλλει στη διατήρηση της θερμοκρασίας σε ασφαλή επίπεδα, αποτρέποντας τη θερμική καταπόνηση και ενδεχόμενες βλάβες. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται η αξιόπιστη και συνεχής λειτουργία του σταθεροποιητή, ακόμα και σε συνθήκες αυξημένου φορτίου.



Εικόνα 4.46: Κύκλωμα LM7805 στην πλακέτα

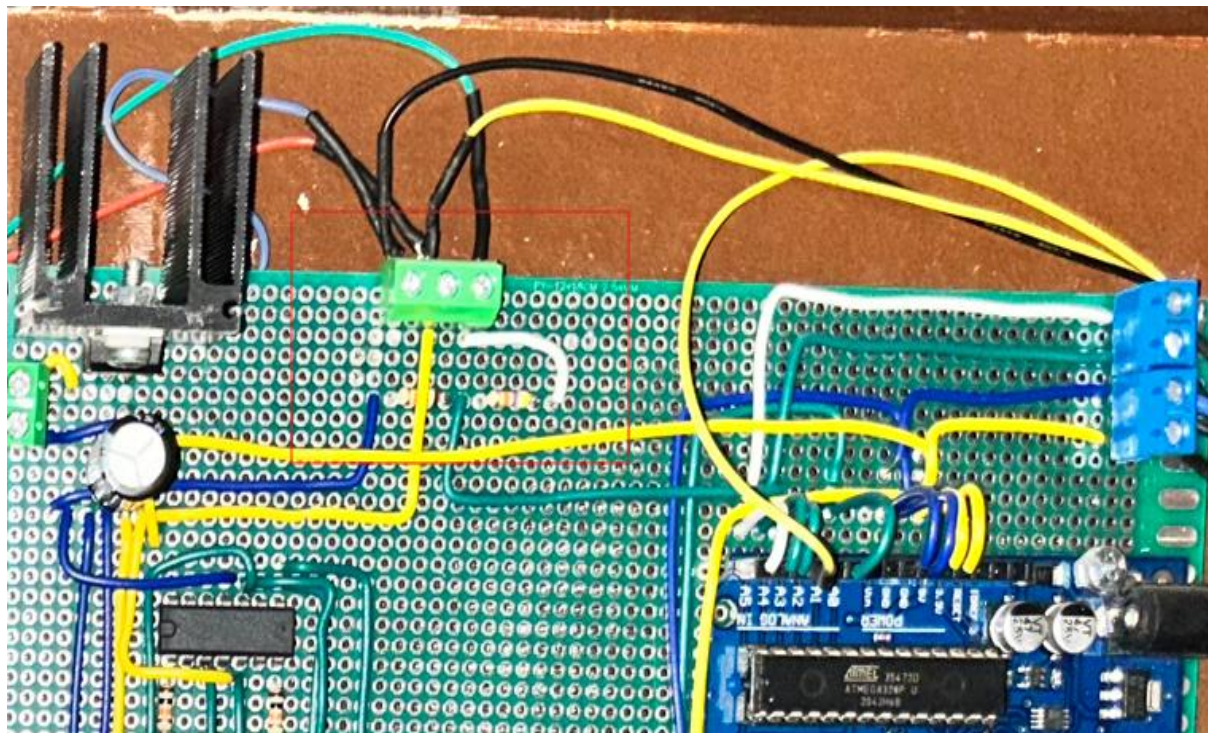
Η έξοδος του LM7805 τροφοδοτεί την είσοδο του Arduino με 5V και έτσι ενεργοποιείται το κύκλωμα.

#### **4.1.2 Συνδεσμολογία Αισθητήρα Υγρασίας Χώματος:**

Το Arduino UNO έχει αναλογικές εισόδους 10-bit (0–1023 ADC) που διαβάζουν τάσεις μέχρι την αναλογική αναφορά τάσης ( $V_{ref}$ ). Από προεπιλογή, η  $V_{ref}$  είναι 5 V, αλλά για μεγαλύτερη ακρίβεια στις μικρές τάσεις μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την εσωτερική αναφορά 1,1 V μέσω της εντολής `analogReference(INTERNAL)`;

#### **Προβληματισμός**

Ο αισθητήρας Gravity Soil Moisture V2 δίνει αναλογική τάση  $\sim 0-3\text{ V}$  ανάλογα με την υγρασία του εδάφους. Αν χρησιμοποιούσαμε απευθείας την INTERNAL  $1,1\text{ V}$ , η τάση εξόδου θα υπερέβαινε τα  $1,1\text{ V} \rightarrow$  ο ADC θα έφτανε στο μέγιστο (1023) για όλες τις υψηλές τιμές, και θα χάναμε σχεδόν όλη την ανάλυση (δοκιμαστικά με τα υλικά που είχαμε χρησιμοποιούσαμε τον παλιό διαιρέτη  $47\text{ k}\Omega/1\text{ k}\Omega$ ).



Εικόνα 4.47: Συνδεσμολογία αισθητήρα υγρασίας

Για να προσαρμόσουμε την έξοδο του αισθητήρα στο  $0-1,1\text{ V}$  του Arduino, χρησιμοποιήθηκε διαιρέτης τάσης:

$$R1=16,9\text{K}\Omega$$

$$R2=10\text{K}\Omega$$

$$V_{out} = V_{in} \cdot \frac{R2}{R1 + R2} \quad (4.26)$$

$$V_{out} = 3\text{V} \cdot \frac{10\text{K}\Omega}{16,9\text{K}\Omega + 10\text{K}\Omega} = 1,11\text{V} \quad (4.27)$$

#### Αποτέλεσμα:

1. Ο Arduino εκμεταλλεύεται όλο το εύρος των 1024 βημάτων του ADC, αυξάνοντας σημαντικά την ακρίβεια της μέτρησης.
2. Ο αισθητήρας προστατεύεται από υπερτάσεις.

3. Το σήμα της υγρασίας του εδάφους προσαρμόζεται ακριβώς στην εσωτερική αναφορά 1,1 V, χωρίς απώλειες ανάλυσης.

#### 4.1.3 Συνδεσμολογία Μονάδα ρελέ 12V

Στο κύκλωμα χρησιμοποιείται ένα ρελέ 12 V για τον έλεγχο συσκευών υψηλής ισχύος, όπως θερμάστρα ή ανεμιστήρας. Η τροφοδοσία του ρελέ παρέχεται απευθείας από το τροφοδοτικό 12 V, ενώ η ενεργοποίηση του πηνίου γίνεται μέσω του Arduino.

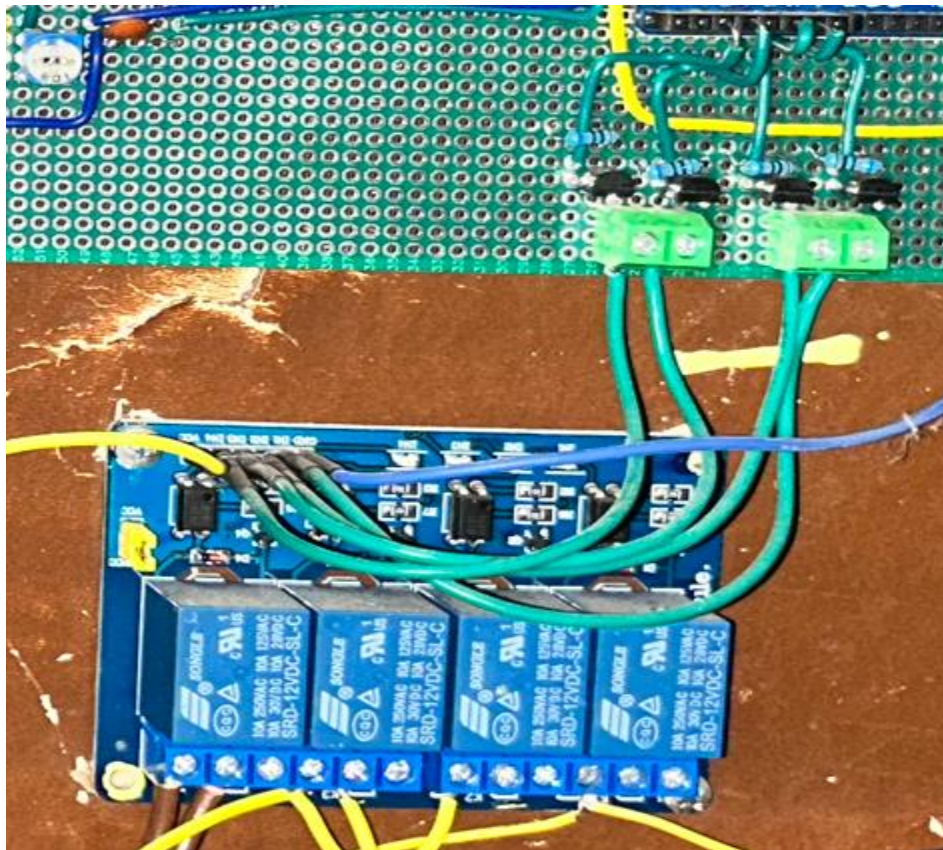
##### Προβληματισμός:

Το Arduino δεν μπορεί να δώσει αρκετό ρεύμα απευθείας για να τροφοδοτήσει το πηνίο του ρελέ (συνήθως 30–50 mA ή και περισσότερο). Για αυτό χρησιμοποιούμε ένα NPN τρανζίστορ 2N2222 ως διακόπτη.

##### Συνδεσμολογία:

Για την ενεργοποίηση του ρελέ 12V χρησιμοποιήθηκε ένα τρανζίστορ NPN τύπου 2N2222, ώστε να μπορεί το Arduino να οδηγήσει το πηνίο του ρελέ με ασφαλή τρόπο. Η συνδεσμολογία είναι η εξής:

1. **Ο ακροδέκτης εκπομπού (E):** του 2N2222 συνδέεται στη γείωση (GND).
2. **Ο ακροδέκτης συλλέκτη (C):** συνδέεται στην είσοδο ελέγχου (IN1) του module ρελέ.
3. **Στη βάση (B):** του τρανζίστορ τοποθετήθηκε αντίσταση 690Ω, η οποία περιορίζει το ρεύμα βάσης και προστατεύει τόσο το Arduino όσο και το ίδιο το τρανζίστορ. Η βάση οδηγείται από την ψηφιακή έξοδο D2 του Arduino.
4. **Το module ρελέ:** τροφοδοτείται με 12V απευθείας από το τροφοδοτικό.



Εικόνα 4.48: Συνδεσμολογία Relay Module 12V

Με αυτόν τον τρόπο, όταν η έξοδος D2 του Arduino βρίσκεται σε λογικό “1”, οδηγείται ρεύμα στη βάση του τρανζίστορ, το οποίο κορένεται και επιτρέπει τη ροή ρεύματος από συλλέκτη προς εκπομπό, ενεργοποιώντας το ρελέ.

Στο σύστημα χρησιμοποιούνται τέσσερα ρελέ, στα οποία συνδέονται τα παρακάτω φορτία:

1. **Ηλεκτρική θερμάστρα:** χρησιμοποιείται για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας στον θάλαμο.
2. **Υγραντήρας :** αυξάνει την υγρασία του αέρα σύμφωνα με τις μετρήσεις των αισθητήρων.
3. **Ανεμιστήρας:** συμβάλλει στην ομοιόμορφη κατανομή της υγρασίας και της θερμότητας στον χώρο.
4. **Αντλία νερού:** τροφοδοτεί με νερό το δοχείο του υγραντήρα, ώστε να εξασφαλίζεται συνεχής λειτουργία του.

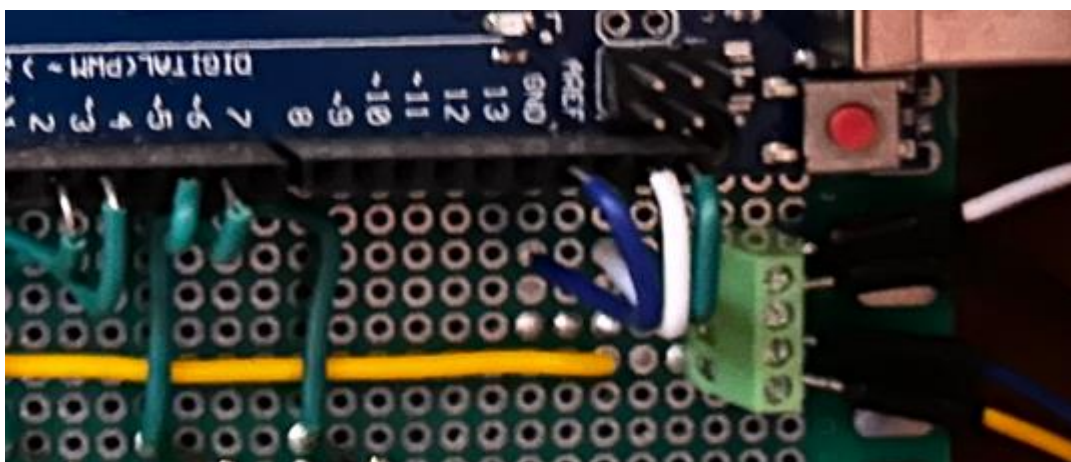
Με αυτόν τον τρόπο, μέσω του Arduino και της κατάλληλης προγραμματισμένης λογικής, γίνεται ο πλήρης έλεγχος των συνθηκών μικροκλίματος.

#### 4.1.4 Συνδεσμολογία Αισθητήρα Περιβάλλοντος

Ο αισθητήρας περιβάλλοντος BME280 χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της θερμοκρασίας, της υγρασίας και της ατμοσφαιρικής πίεσης στον θάλαμο. Για τη σύνδεσή του με τον μικροελεγκτή Arduino υπο επιλέχθηκε το πρωτόκολλο I2C, λόγω της απλότητας και της ανάγκης μόνο τεσσάρων γραμμών επικοινωνίας.

##### Συνδεσμολογία:

1. **Ο ακροδέκτης VCC** του αισθητήρα τροφοδοτείται με 3.3V από το Arduino, εξασφαλίζοντας ασφαλή λειτουργία.
2. **Ο ακροδέκτης GND** συνδέεται με τη κοινή γείωση του Arduino, ώστε να υπάρχει κοινό αναφοράς για τις τάσεις.
3. **Οι γραμμές επικοινωνίας SCL και SDA** συνδέονται αντίστοιχα στα A5 και A4 του Arduino, για τη μεταφορά σήματος ρολογιού και δεδομένων.



Εικόνα 4.49: Συνδεσμολογία BME280

Η επιλογή του πρωτοκόλλου I2C μειώνει σημαντικά τον αριθμό των απαιτούμενων καλωδίων και επιτρέπει την εύκολη διασύνδεση πολλαπλών αισθητήρων στην ίδια γραμμή. Ο μικροελεγκτής αναλαμβάνει την ανάγνωση των μετρήσεων και τη μετατροπή τους σε κατάλληλες τιμές θερμοκρασίας, υγρασίας και πίεσης, οι οποίες μπορούν να εμφανιστούν στην οθόνη LCD ή να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο των εξόδων (θερμαντήρας, υγραντήρας, ανεμιστήρας).

#### Κώδικας:

```

1 // Ενσωμάτωση βιβλιοθηκών για τον αισθητήρα BME280 και επικοινωνία I2C
2 #include <Adafruit_Sensor.h>
3 #include <Adafruit_BME280.h>
4 #include <Wire.h>
5
6 // Δημιουργία αντικειμένου BME280
7 Adafruit_BME280 bme;
8
9 // Ορισμός πίεσης στάθμης θάλασσας για υπολογισμούς (hPa)
10 #define SEALEVELPRESSURE_HPA (1013.25)
11
12 // Ορισμός pins για θερμάστρα και υγραντήρα
13 #define HEATER_PIN 2
14 #define HUMIDIFIER_PIN 6
15
16 // Αρχικοποίηση του αισθητήρα BME280 μέσα στο setup()
17 void setup() {
18   Serial.begin(9600); // Εκκίνηση σειριακής επικοινωνίας για debugging
19   pinMode(HEATER_PIN, OUTPUT); // Θερμάστρα ως έξοδος
20   pinMode(HUMIDIFIER_PIN, OUTPUT); // Υγραντήρας ως έξοδος
21   digitalWrite(HEATER_PIN, HIGH); // Απενεργοποίηση θερμάστρας αρχικά (low trigger)
22   digitalWrite(HUMIDIFIER_PIN, HIGH); // Απενεργοποίηση υγραντήρα αρχικά
23
24   Serial.println(F("BME280 test")); // Μήνυμα εκκίνησης
25   unsigned status = bme.begin(); // Αρχικοποίηση BME280
26   if (!status) {
27     Serial.println("Could not find a valid BME280 sensor, check wiring, address, sensor ID!");
28     while (1) delay(10); // Αν δεν ανιχνευθεί αισθητήρας, σταμάτημα
29   }
30 }
31
32 // Συνάρτηση ελέγχου θερμοκρασίας και υγρασίας αέρα
33 void ControlHeaterAndHumidifier() {
34   float airTemp = bme.readTemperature(); // Ανάγνωση θερμοκρασίας αέρα (°C)
35   float airHumidity = bme.readHumidity(); // Ανάγνωση υγρασίας αέρα (%)

```

Εικόνα 4.50: Κώδικας BME280

#### 4.1.5 Συνδεσμολογία Αισθητήρα Στάθμης Υγρών

Ο αισθητήρας στάθμης υγρών χρησιμοποιείται για την ανίχνευση της ποσότητας νερού στο δοχείο του υγραντήρα, εξασφαλίζοντας την αυτόματη αναπλήρωση όταν η στάθμη μειώνεται κάτω από το καθορισμένο όριο.

#### Συνδεσμολογία:

1. **Τροφοδοσία (VCC):** Ο αισθητήρας τροφοδοτείται από το τροφοδοτικό του κυκλώματος. Ο ακροδέκτης VCC συνδέεται στο +5V
2. **Γείωση (GND):** Η κοινή γείωση διασφαλίζει σταθερή λειτουργία και σωστή μέτρηση.
3. **AOUT (Input):** Το σήμα του αισθητήρα συνδέεται στην αναλογική είσοδο A2 του Arduino, από όπου ο μικροελεγκτής διαβάζει την τρέχουσα στάθμη νερού.

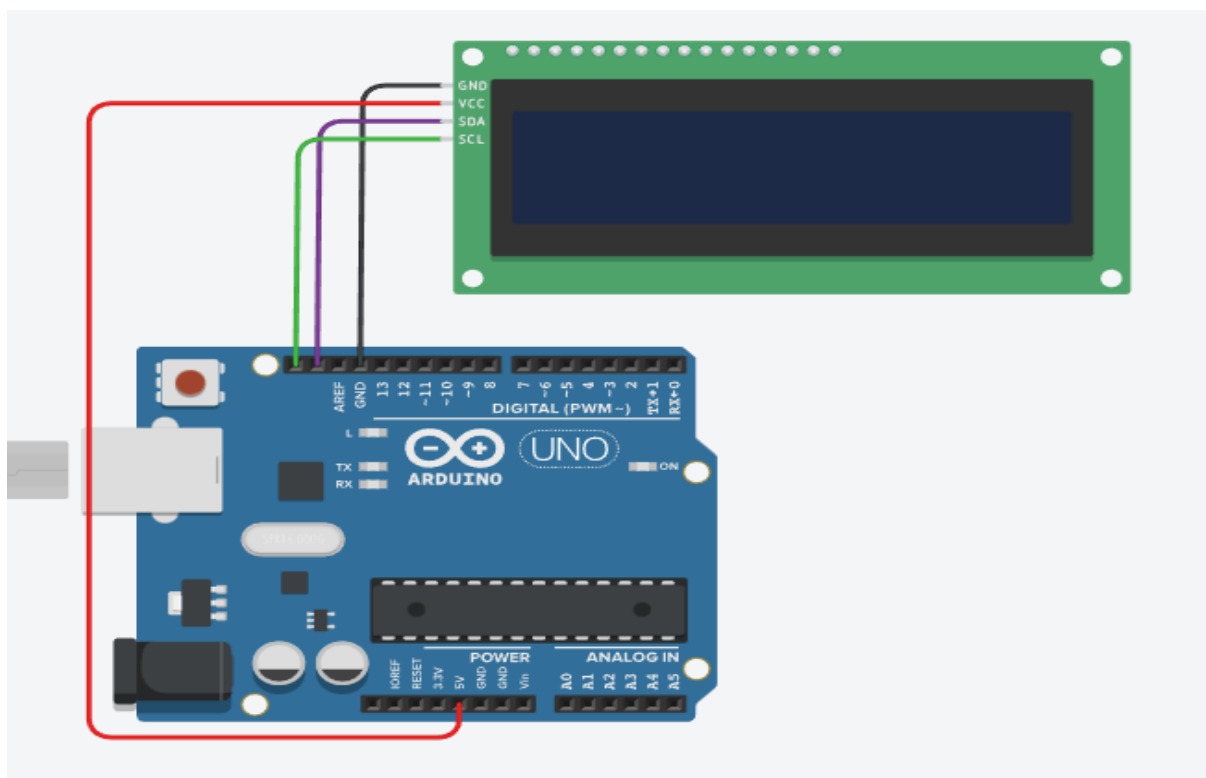
Με αυτή τη συνδεσμολογία, η στάθμη νερού μετράται με ακρίβεια και ο Arduino μπορεί να αποφασίζει την ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση της αντλίας ανάλογα με τις ανάγκες του συστήματος αφού λειτουργεί σαν ON/OFF.

#### 4.1.6 Συνδεσμολογία Οθόνης Απεικόνισης Εξόδου

Η οθόνη LCD 16×2 χρησιμοποιείται για την απεικόνιση των μετρήσεων του θερμοκηπίου (θερμοκρασία αέρα, υγρασία αέρα, θερμοκρασία και υγρασία εδάφους). Για να ελαχιστοποιηθεί η χρήση των pins του Arduino, χρησιμοποιείται μονάδα I<sup>2</sup>C, που απαιτεί μόνο δύο γραμμές επικοινωνίας.

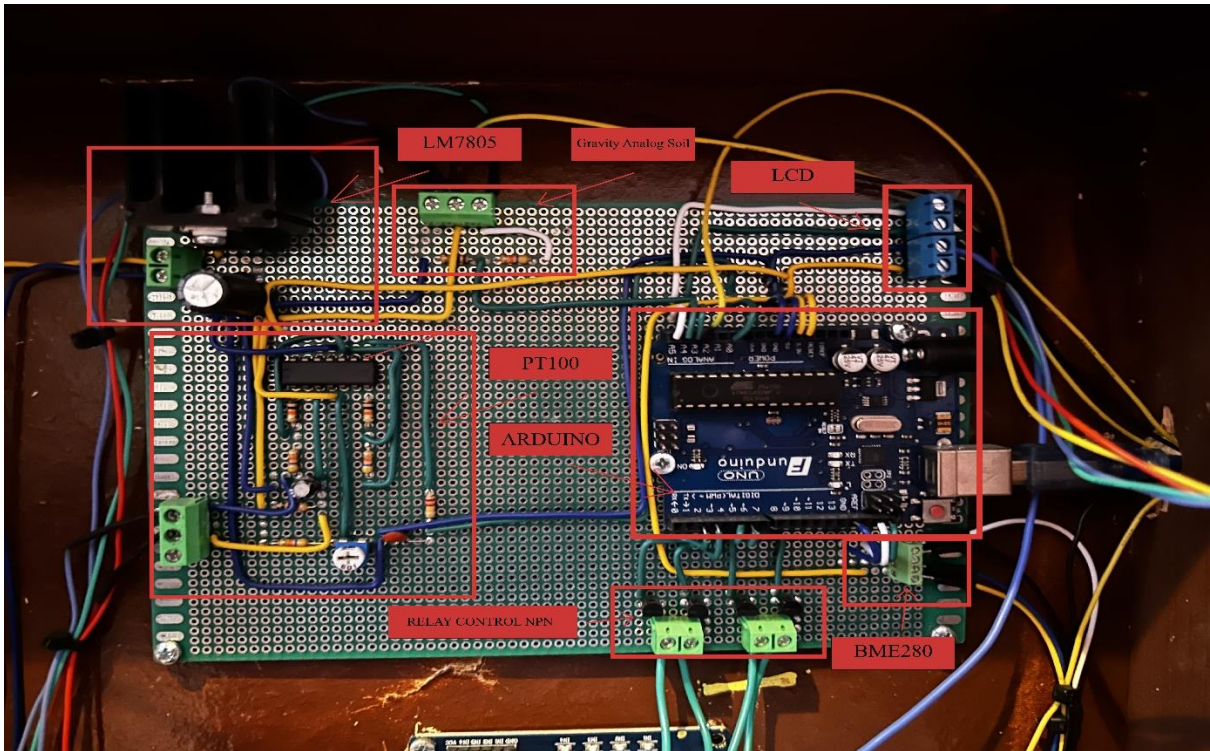
**Συνδεσμολογία:**

1. **VCC:** 5V Arduino για την τροφοδοσία της οθόνης
2. **GND:** GND Arduino για την γείωση της οθόνης
3. **SDA:** Pin A4 του Arduino γραμμή δεδομένων I<sup>2</sup>C
4. **SCL:** Pin A5 του Arduino γραμμή ρολογιού I<sup>2</sup>C

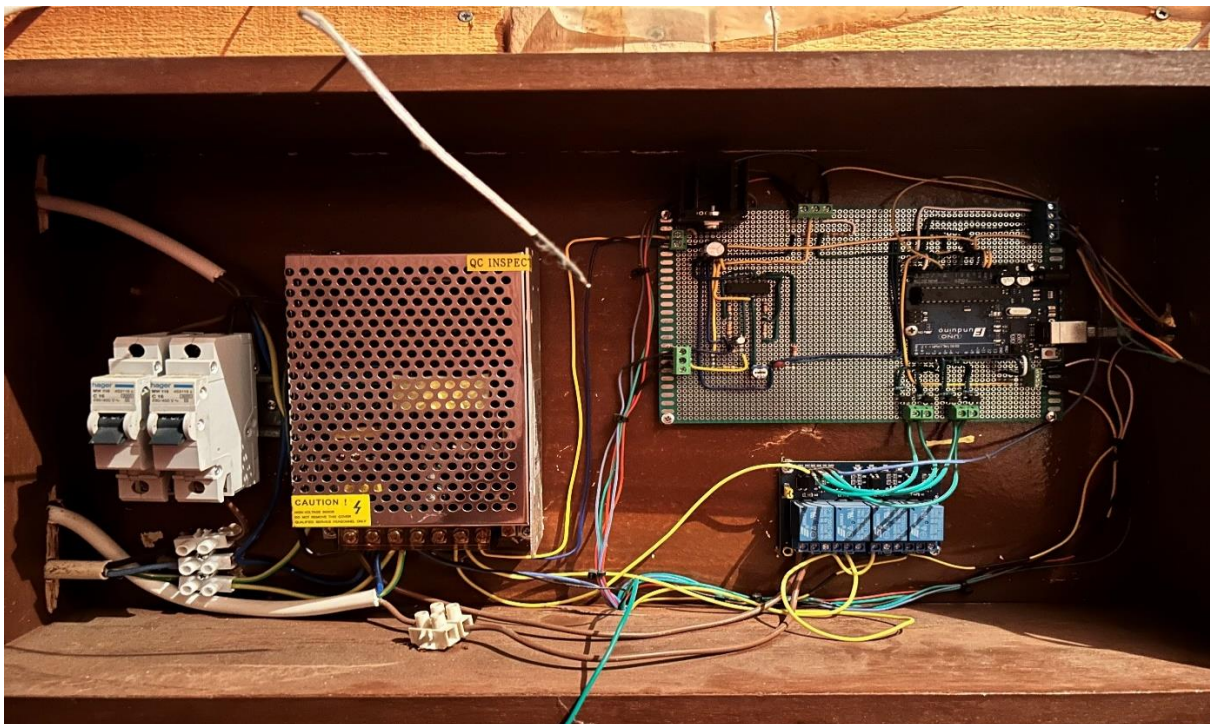


Εικόνα 4.51: Συνδεσμολογία LCD[Online]: <https://www.geeksforgoeks.org/electronics-engineering/how-to-interface-i2c-lcd-display-with-arduino/>

Η χρήση του LCD μειώνει την ανάγκη συνεχούς σύνδεσης σε υπολογιστή και διευκολύνει την απεικόνιση των δεδομένων του Arduino.



Εικόνα 4.52: Πλακέτα κυκλώματος



Εικόνα 4.53: Κύκλωμα

## 4.2 Αποτελέσματα και σύγκριση

Στο πλαίσιο της εργασίας, παρατηρήθηκε η συμπεριφορά της θερμοκρασίας αέρα και του εδάφους κατά τη διάρκεια της ημέρας και η επίδρασή της στην ανάπτυξη των φυτών. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με δύο αισθητήρες περιβάλλοντος (Lascar και BME) και δύο αισθητήρες θερμοκρασίας εδάφους (PT100 και BRESSER).

**Για την εργασία κατάφερα να δανειστώ 2 όργανα μέτρησης το Bresser και το Lascar:**

### **BRESSER 7009972:**

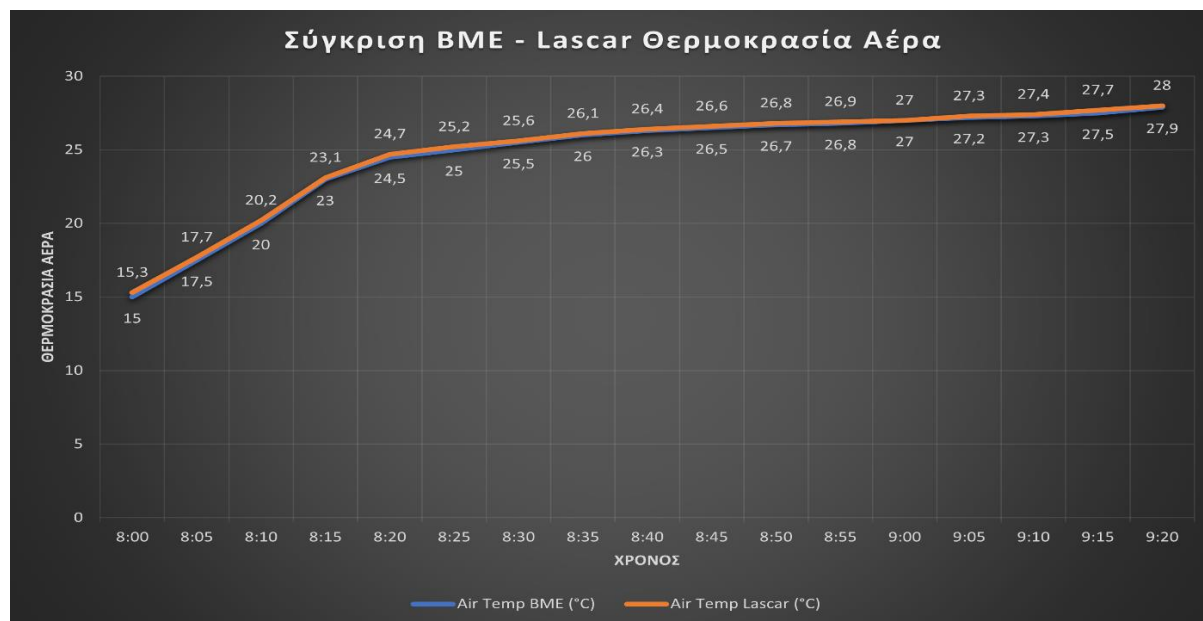
Ο αισθητήρας BRESSER χρησιμοποιείται για την καταγραφή θερμοκρασίας και υγρασίας του χώματος σε θερμοκήπιο. Πρόκειται για ένα επαγγελματικό όργανο με αξιοπιστία  $\pm 0,3$  °C στην θερμοκρασία και  $\pm 3$  %RH στην υγρασία. Λόγω του σχεδιασμού του, καταγράφει ταχύτατα τις μεταβολές του εδάφους, προσφέροντας ακριβή στοιχεία για την παρακολούθηση της θερμικής κατάστασης των φυτών.

### **Lascar EL-USB-2-LCD:**

Ο αισθητήρας Lascar αποτελεί έναν αξιόπιστο αισθητήρα θερμοκρασίας και υγρασίας αέρα. Χρησιμοποιείται για την καταγραφή των κλιματικών συνθηκών στο θερμοκήπιο, παρέχοντας δεδομένα με ακρίβεια  $\pm 0,5$  °C για τη θερμοκρασία και  $\pm 3$  %RH για την υγρασία.

Οι πίνακες που ακολουθούν απεικονίζουν τις μεταβολές των παραμέτρων αυτών κατά τις πρώτες πρωινές ώρες (08:00–11:00), σε συνθήκες όπου η θερμάστρα και ο υγραντήρας ελέγχουν αυτόματα την κλιματική κατάσταση του χώρου

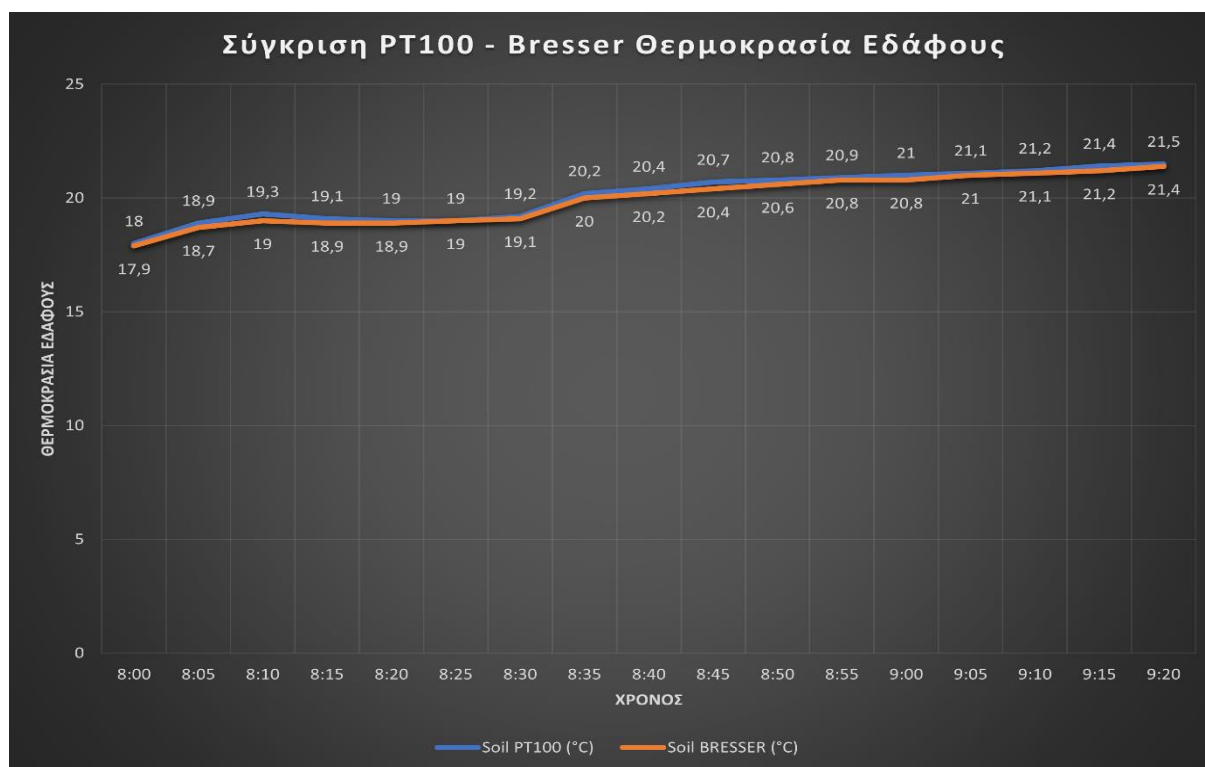
### Σύγκριση Θερμοκρασίας Αέρα



Εικόνα 4.54: Σύγκριση BME - Lascar Θερμοκρασία αέρα

**Παρατηρήσεις:**

1. **Σταδιακή άνοδος θερμοκρασίας:** Η θερμοκρασία αέρα αυξάνεται συνεχώς από τις 8:00 (15 °C) έως τις 9:20 (27,9 °C BME / 28 °C Lascar), δείχνοντας ότι η θερμάστρα λειτουργεί αποτελεσματικά στο θερμοκήπιο.
2. **Συμφωνία μεταξύ αισθητήρων:** Οι μετρήσεις του BME280 και του Lascar είναι πολύ κοντά μεταξύ τους, με απόκλιση συνήθως μικρότερη από 0,3 °C, υποδεικνύοντας αξιοπιστία και καλή βαθμονόμηση των οργάνων.
3. **Σταθεροποίηση μετά τις 8:20:** Μετά την ενεργοποίηση του μηχανισμού απενεργοποίησης της θερμάστρας, η αύξηση της θερμοκρασίας γίνεται πιο αργή.
4. **Ακρίβεια και σταθερότητα:** Οι μικρές αποκλίσεις μεταξύ των δύο αισθητήρων επιβεβαιώνουν τη σταθερότητα των μετρήσεων, ενώ η διακύμανση είναι φυσιολογική για συνθήκες θερμοκηπίου με νάιλον κάλυμμα.
5. **Σφάλμα:** Παρατηρούμε ότι το σφάλμα μεταξύ του BME και Lascar είναι περίπου με 0.3 βαθμούς.

**Σύγκριση Θερμοκρασίας Εδάφους**

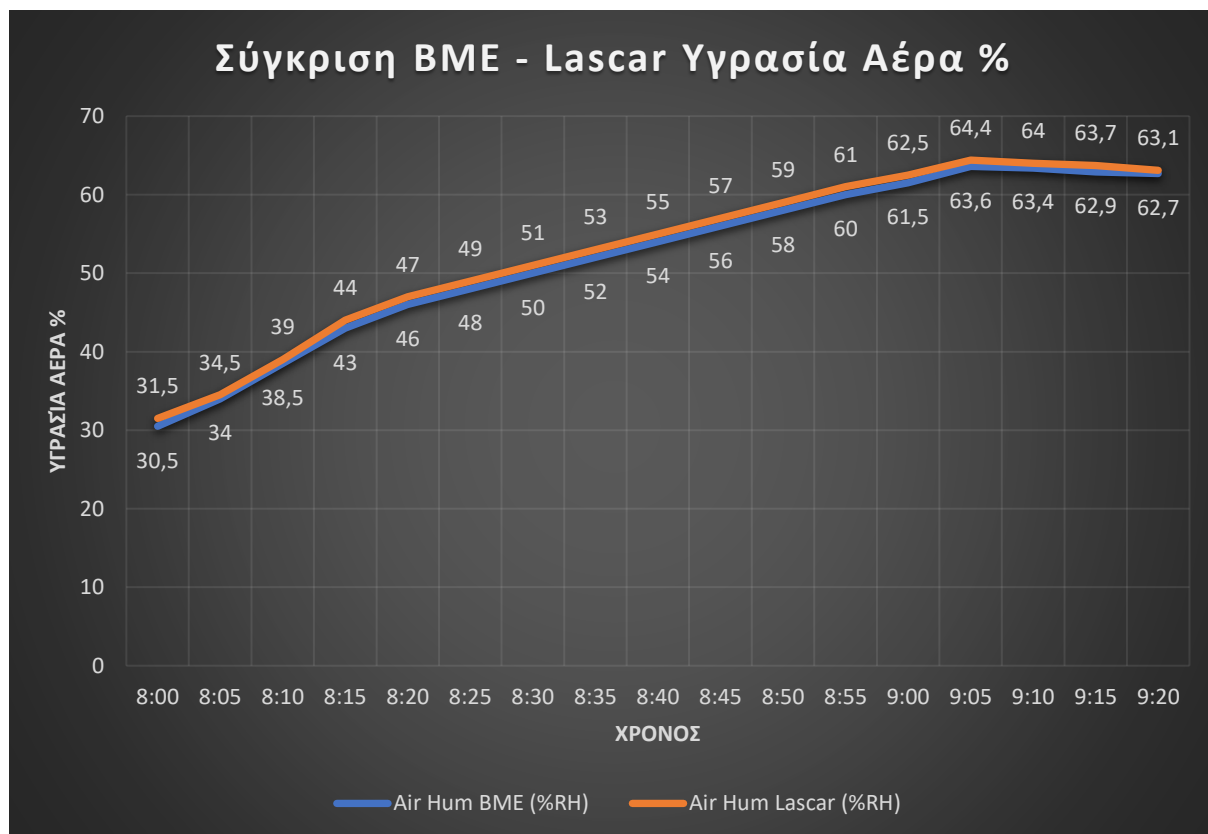
Εικόνα 4.55: Σύγκριση PT100-Bresser θερμοκρασία εδάφους

**Παρατηρήσεις:**

1. **Σταδιακή άνοδος θερμοκρασίας:** Η θερμοκρασία του εδάφους αυξάνεται αργά, από 18 °C στις 8:00 σε ~21,5 °C στις 9:20, υποδεικνύοντας τη μεγαλύτερη θερμική αδράνεια σε σχέση με τον αέρα.
2. **Συμφωνία αισθητήρων:** Οι μετρήσεις των PT100 και Bresser παρουσιάζουν μικρές αποκλίσεις, συνήθως 0,1–0,3 °C, γεγονός που δείχνει καλή αξιοπιστία και συνέπεια μεταξύ των δύο αισθητήρων.

3. **Σταθεροποίηση και ελαφρές διακυμάνσεις:** Στο διάστημα 8:10–8:30 παρατηρείται μικρή πτώση ή σταθεροποίηση της θερμοκρασίας, πιθανώς λόγω θερμικών εξισορροπήσεων ή της αργής απόκρισης του εδάφους στις αλλαγές θερμοκρασίας του αέρα.
4. **Γενική τάση:** Η θερμοκρασία του εδάφους ακολουθεί την αύξηση της θερμοκρασίας αέρα, αλλά με καθυστέρηση, υποδεικνύοντας τη συσχέτιση μεταξύ θερμοκρασίας αέρα και θερμοκρασίας ριζών, κρίσιμη για την ανάπτυξη φυτών.

### Σύγκριση Ποσοστού Υγρασίας Αέρας



Εικόνα 4.56: Σύγκριση BME-Lascar υγρασία αέρα %

### Παρατηρήσεις:

1. **Σταδιακή αύξηση υγρασίας:** Η υγρασία αυξάνεται σταδιακά από ~30–31 % στις 8:00 σε ~62–63 % στις 9:20, υποδεικνύοντας ότι η ενεργοποίηση του υγραντήρα έχει άμεσο αποτέλεσμα στην αύξηση της υγρασίας.
2. **Συμφωνία αισθητήρων:** Οι μετρήσεις των δύο αισθητήρων είναι πολύ κοντά μεταξύ τους, με διαφορές ~0,5–1 %, γεγονός που δείχνει αξιόπιστα δεδομένα και συνέπεια στην καταγραφή.
3. **Σταθεροποίηση μετά τα ~63 %:** Παρατηρούμε ότι μετά τις 9:05 η υγρασία σταθεροποιείται ή παρουσιάζει μικρή πτώση (π.χ. στις 9:10–9:20), λόγω του αυτόματου σβησίματος του υγραντήρα όταν ξεπερνάει το 63%

Από τα δεδομένα αυτά καταλαβαίνουμε ότι η θερμοκρασία και η υγρασία αέρα αυξάνονται σταδιακά κατά το πρωινό διάστημα, με τον έλεγχο της θερμάστρας και του υγραντήρα να διατηρεί τις συνθήκες

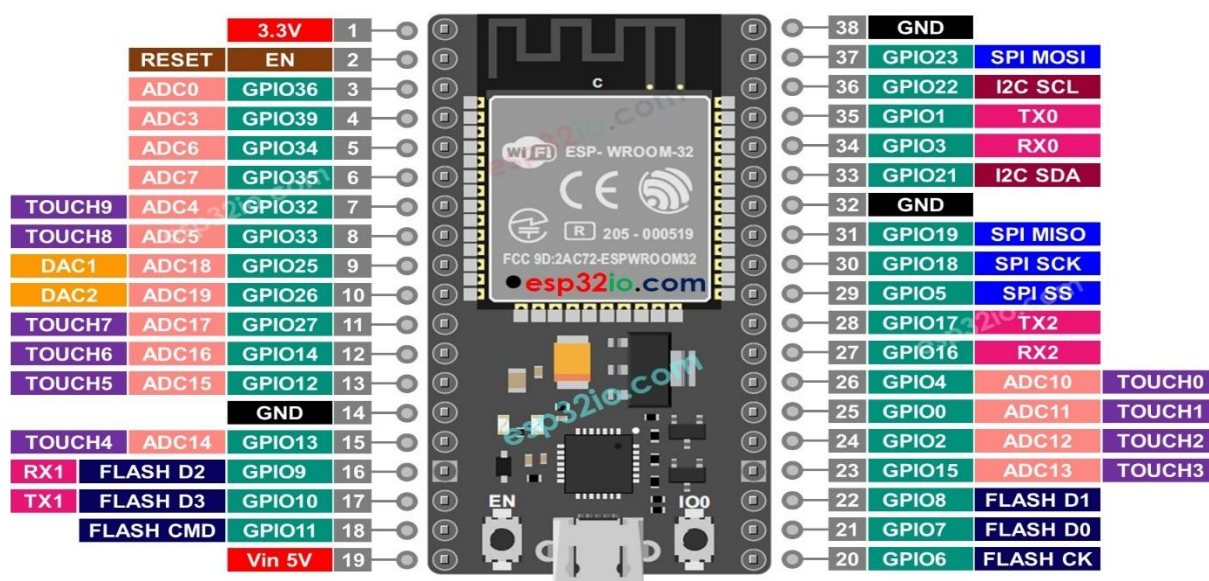
εντός επιθυμητών ορίων. Η θερμοκρασία εδάφους ακολουθεί πιο αργά την αύξηση του αέρα, δείχνοντας μικρή απόκλιση μεταξύ αισθητήρων PT100 και Bresser. Η σύγκριση μεταξύ των μετρήσεων των δύο αισθητήρων αέρα και των δύο αισθητήρων εδάφους δείχνει καλή συμφωνία, με μικρές αποκλίσεις που κρίνονται αποδεκτές για εφαρμογές ανάπτυξης φυτών. Συνολικά, τα δεδομένα επιβεβαιώνουν ότι το σύστημα μπορεί να διατηρεί σταθερές κλιματικές συνθήκες, υποστηρίζοντας την ομοιόμορφη ανάπτυξη των φυτών.

### 4.3 Εξέλιξη και Αναβάθμιση του Θερμοκηπίου

Στο μέρος αυτού του κεφαλαίου θα παρουσιαστούν μερικές ιδέες και προτάσεις για τη μελλοντική αναβάθμιση του ηλεκτρονικού μας θερμοκηπίου. Στόχος είναι να δούμε τρόπους με τους οποίους το σύστημα θα μπορούσε να γίνει πιο αξιόπιστο, λειτουργικό και ολοκληρωμένο, προσφέροντας καλύτερη παρακολούθηση και έλεγχο των συνθηκών καλλιέργειας.

#### Χρήση ESP32

Η αντικατάσταση του Arduino Uno με μικροελεγκτή ESP32 μπορεί να αναβαθμίσει σημαντικά το σύστημα, καθώς το ESP32 διαθέτει ενσωματωμένο Wi-Fi και Bluetooth, επιτρέποντας ασύρματη επικοινωνία και απομακρυσμένο έλεγχο. Επιπλέον, προσφέρει μεγαλύτερη υπολογιστική ισχύ και μνήμη, κάτι που το καθιστά κατάλληλο για πιο σύνθετες εφαρμογές, όπως δημιουργία web server ή dashboard απευθείας στη συσκευή.



Εικόνα 4.57: ESP32[Online]: <https://esp32io.com/>

- **Πλεονεκτήματα:** Ασύρματη συνδεσιμότητα, ισχυρότερη επεξεργαστική ισχύς, χαμηλό κόστος.
- **Μειονεκτήματα:** Απαιτεί πιο προχωρημένες γνώσεις προγραμματισμού, πιθανή δυσκολία σε αρχάριους
- **Κόστος:** ~5–10€.

### Οθόνη Αφής (ESP32 LVGL)

Η ενσωμάτωση μίας οθόνης αφής στο θερμοκήπιο προσφέρει άμεση απεικόνιση δεδομένων, όπως θερμοκρασία, υγρασία ή κατάσταση των συσκευών, ενώ δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να πραγματοποιεί ρυθμίσεις χωρίς τη χρήση υπολογιστή.

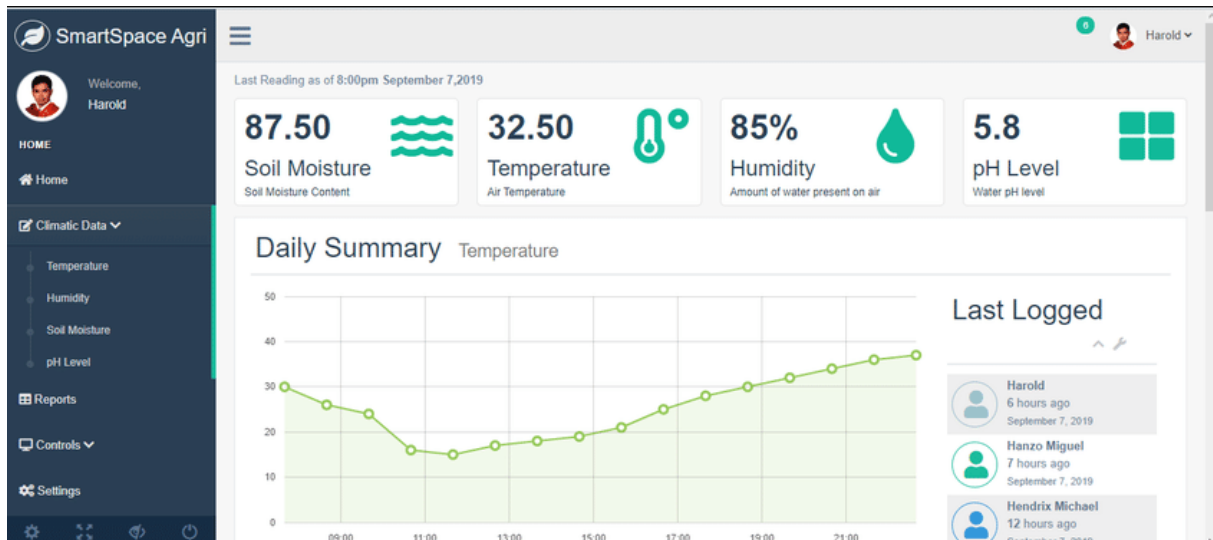


Εικόνα 4.58: ESP32 LVGL[Online]<https://community.dfrobot.com/makelog-314510.html>

- **Πλεονεκτήματα:** Φιλικό περιβάλλον χρήσης, άμεση πρόσβαση στα δεδομένα, εύκολη παραμετροποίηση.
- **Μειονεκτήματα:** Αυξημένη κατανάλωση ενέργειας, ανάγκη για πιο σύνθετο προγραμματισμό (GUI).
- **Κόστος:** ~15–40€.

### Διαδικτυακό Dashboard (Website ή Web App)

Η δημιουργία ενός διαδικτυακού dashboard θα επιτρέψει την παρακολούθηση και τον έλεγχο του θερμοκηπίου από οποιαδήποτε συσκευή με πρόσβαση στο Internet. Μπορεί να παρουσιάζει σε πραγματικό χρόνο μετρήσεις αισθητήρων, να καταγράφει ιστορικά δεδομένα και να προσφέρει δυνατότητα χειρισμού συσκευών.



Εικόνα 4.59: Dashboard[Online] [https://www.researchgate.net/figure/Smart-Space-Greenhouse-Dashboard\\_fig2\\_339935667](https://www.researchgate.net/figure/Smart-Space-Greenhouse-Dashboard_fig2_339935667)

- **Πλεονεκτήματα:** Απομακρυσμένος έλεγχος, πρόσβαση από παντού, δυνατότητα καταγραφής και ανάλυσης δεδομένων.
- **Μειονεκτήματα:** Απαιτεί γνώσεις web ανάπτυξης, πιθανή ανάγκη για server ή cloud hosting.
- **Κόστος:** 0–10€/μήνα (ανάλογα με το hosting) ή προσωπικό μηχάνημα ανοιχτό για να τρέχει ο σερβερ.

### Κάμερα Παρακολούθησης

Η ενσωμάτωση κάμερας δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να ελέγχει οπτικά την κατάσταση του θερμοκηπίου από απόσταση. Η χρήση IP κάμερας επιτρέπει την πρόσβαση σε ζωντανή εικόνα μέσω διαδικτύου.

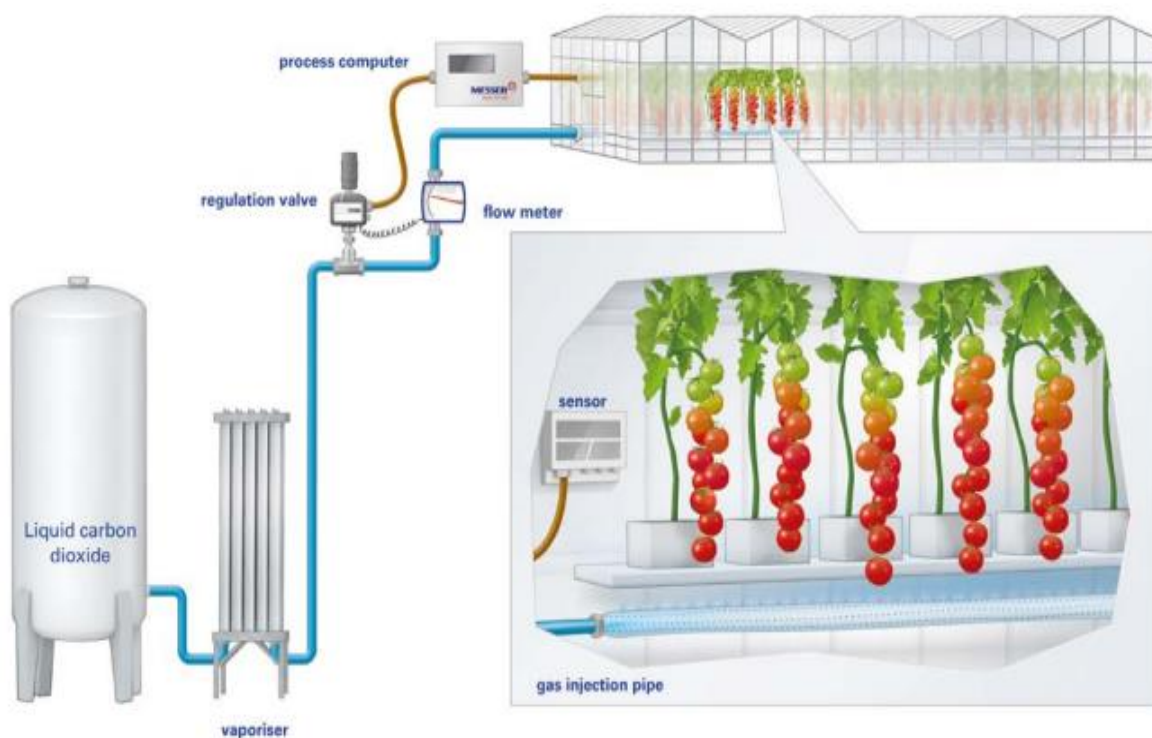


Εικόνα 4.60:Κάμερες παρακολούθησης[Online] <https://www.floraldaily.com/article/9672515/do-smart-sensors-ensure-better-crop-results/>

- **Πλεονεκτήματα:** Άμεση παρακολούθηση ανάπτυξης φυτών, εύκολος εντοπισμός προβλημάτων, δυνατότητα απομακρυσμένης εποπτείας.
- **Μειονεκτήματα:** Απαιτεί καλή σύνδεση στο Internet, ενδεχομένως υψηλή κατανάλωση αποθηκευτικού χώρου για καταγραφή.
- **Κόστος:** ~20–50€.

### Σύστημα Ρύθμισης CO<sub>2</sub>

Η προσθήκη συστήματος μέτρησης και εμπλουτισμού CO<sub>2</sub> στο θερμοκήπιο βελτιώνει τη φωτοσύνθεση, οδηγώντας σε ταχύτερη ανάπτυξη και καλύτερη ποιότητα φυτών. Χρησιμοποιείται κυρίως σε επαγγελματικές καλλιέργειες.



Εικόνα 4.61: Σύστημα ρύθμισης CO<sub>2</sub>[Online] <https://horti-generation.com/how-co2-can-be-consumed-in-a-cultivation-greenhouse/>

- **Πλεονεκτήματα:** Σημαντική αύξηση παραγωγικότητας, βελτίωση ποιότητας καλλιεργειών.
- **Μειονεκτήματα:** Υψηλό κόστος, ανάγκη για προσοχή στη χρήση αερίου, αυξημένη πολυπλοκότητα εγκατάστασης.
- **Κόστος:** >100€ (αισθητήρας + σύστημα παροχής).

## Σύστημα Τεχνητού Φωτισμού

Σε θερμοκήπια εσωτερικού χώρου ή περιοχές με περιορισμένο φως, η χρήση LED πλήρους φάσματος μπορεί να εξασφαλίσει σωστή ανάπτυξη φυτών, καλύπτοντας τις ανάγκες για φωτοσύνθεση.



Εικόνα 4.62: Σύστημα τεχνητού φωτισμού[Online] <https://www.shine.lighting/products/led-grow-lights-for-greenhouse-toplighting/>

- **Πλεονεκτήματα:** Ελεγχόμενη ένταση και διάρκεια φωτός, δυνατότητα καλλιέργειας ανεξάρτητα από τον φυσικό φωτισμό, χαμηλή κατανάλωση με LED.
- **Μειονεκτήματα:** Αυξάνει την κατανάλωση ενέργειας, πιθανή άνοδος θερμοκρασίας, υψηλότερο κόστος για μεγάλες εγκαταστάσεις.
- **Κόστος:** Από ~30–100€ για βασικά LED panels έως >300€ για επαγγελματικά συστήματα.

Συνοψίζοντας, οι μελλοντικές αναβαθμίσεις που μπορούν να ενσωματωθούν στο θερμοκήπιο περιλαμβάνουν τόσο τεχνολογικές λύσεις χαμηλού κόστους (ESP32, οθόνη αφής,) όσο και πιο προχωρημένες επιλογές (διαδικτυακό dashboard, κάμερα παρακολούθησης, σύστημα ρύθμισης CO<sub>2</sub>, τεχνητός φωτισμός). Οι πρώτες προσφέρουν άμεση βελτίωση στη λειτουργικότητα και την ευχρηστία του συστήματος με μικρό κόστος, ενώ οι δεύτερες αυξάνουν την αποδοτικότητα και την αυτοματοποίηση, απαιτώντας όμως μεγαλύτερη επένδυση. Η τελική επιλογή εξαρτάται από τις ανάγκες του χρήστη και το διαθέσιμο budget, ωστόσο είναι σαφές ότι το σύστημα έχει τη δυνατότητα να εξελιχθεί σε έναν πλήρως αυτοματοποιημένο κλιματικό θάλαμο.

#### 4.4 Επίλογος

Σε αυτό το κεφάλαιο, παρουσιάστηκε η τελική σύνδεση του συστήματος και τα αποτελέσματα της λειτουργίας του. Η κατασκευή βασίστηκε σε ένα συνδυασμό αισθητήρων και μονάδων ελέγχου, με το Arduino Uno να αποτελεί τον κεντρικό ελεγκτή. Μέσω του κυκλώματος καταγράφηκαν κρίσιμες παράμετροι του μικροκλίματος (θερμοκρασία και υγρασία αέρα, θερμοκρασία και υγρασία εδάφους), οι οποίες αξιοποιήθηκαν στη συνέχεια για την ενεργοποίηση συσκευών όπως η θέρμανση, ο υγραντήρας και ο ανεμιστήρας.

Η αξιολόγηση έδειξε ότι το κύκλωμα ανταποκρίθηκε ικανοποιητικά, παρέχοντας αξιόπιστες μετρήσεις και σταθερή λειτουργία των συσκευών. Η χρήση των ρελέ για την απομόνωση του μικροελεγκτή από τα φορτία αποδείχθηκε κρίσιμη για την προστασία του συστήματος. Επιπλέον, η σύγκριση των δεδομένων με πραγματικές συνθήκες απέδειξε την ακρίβεια και την πρακτική χρησιμότητα της διάταξης.

Τέλος, κατατέθηκαν προτάσεις για μελλοντική βελτίωση και επέκταση του συστήματος. Η χρήση μικροελεγκτή ESP32 για ασύρματη επικοινωνία, η ενσωμάτωση οθόνης και διαδικτυακού dashboard για απομακρυσμένο έλεγχο, καθώς και η προσθήκη συστημάτων εσωτερικού εξαερισμού, κάμερας παρακολούθησης, εμπλουτισμού CO<sub>2</sub> και τεχνητού φωτισμού, αποτελούν δυνατότητες που θα αναβαθμίσουν τη λειτουργικότητα του θερμοκηπίου.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Βιβλία

- [ ] J. J. Hanan, *Greenhouses: Advanced Technology for Protected Horticulture*. CRC Press, 1998.  
[ ] P. V. Nelson, *Greenhouse Operation and Management*, 7th ed. Prentice Hall, 2012.

### Data Sheet

- Texas Instruments, “Wide VIN1.5-A Fixed Voltage Regulators,” LM7805 datasheet, Jul. 2016.  
Texas Instruments, “Quadruple Operational Amplifiers.” LM324 datasheet, Oct. 2016.  
Stork Tronic, “TF Pt100-3L.” PT100 RTD datasheet, 2023.  
ON Semiconductor, “Amplifier Transistors.” P2N2222A, Jan, 2013.

### Internet Site

- [1] Wikipedia, *Greenhouse*. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Greenhouse>
- [2] Agristudoc, *Green House Technology: Meaning, Types Advantages, Disadvantages, and Components*, 2024. [Online]. Available: <https://agristudoc.com/green-house-technology-protected-cultivation/>
- [3] K. Nemali, *History of Controlled Environment Horticulture: Greenhouses*, HortScience, vol. 57, no. 2, pp.239–246, Φεβρ.2022.[Online]Available: [https://www.researchgate.net/publication/358267715\\_History\\_of\\_Controlled\\_Environment\\_Horticulture\\_Greenhouses](https://www.researchgate.net/publication/358267715_History_of_Controlled_Environment_Horticulture_Greenhouses)
- [5] Τ.Ε.Ι. Ηπείρου, *Ενότητα 10: Τα υλικά κάλυψης των θερμοκηπίων*. [Online]. Available: [https://eclass.teiep.gr/modules/document/file.php/TEXG109/Διδακτικό%20Πακέτο/Ενότητα%2010\\_Τα%20υλικά%20κάλυψης%20των%20θερμοκηπίων.pdf](https://eclass.teiep.gr/modules/document/file.php/TEXG109/Διδακτικό%20Πακέτο/Ενότητα%2010_Τα%20υλικά%20κάλυψης%20των%20θερμοκηπίων.pdf)
- [6] Μ. Θεοχάρης, «Τα υλικά του σκελετού των θερμοκηπίων», Ενότητα 11, \*Γεωργικές και Θερμοκηπιακές Κατασκευές (Θεωρία)\*, ΤΕΙ Ηπείρου, Άρτα, 2015. [Online]. Διαθέσιμο: [https://eclass.teiep.gr/modules/document/file.php/TEXG109/Ενότητα%2011\\_Τα%20υλικά%20του%20σκελετού%20των%20θερμοκηπίων.pdf](https://eclass.teiep.gr/modules/document/file.php/TEXG109/Ενότητα%2011_Τα%20υλικά%20του%20σκελετού%20των%20θερμοκηπίων.pdf)
- [7] DryGair, “Optimal Humidity and Temperature in Greenhouses,” 2022. [Online]. Available: <https://drygair.com/blog/optimal-humidity-temperature-greenhouse/>
- [8] Growing Spaces, “Managing Winter Humidity in a Greenhouse,” 2021. [Online]. Available: <https://growingspaces.com/blog/managing-winter-humidity-in-a-greenhouse/>

[9] ResearchGate, “Greenhouse Lighting Systems,” 2020. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/340441059\\_Greenhouse\\_Lighting\\_Systems](https://www.researchgate.net/publication/340441059_Greenhouse_Lighting_Systems)

[10] “Benefits of Carbon Dioxide Enrichment in Greenhouse Gardening,” Live to Plant, ενημερώθηκε 14 Ιουλίου 2025. [Online]. Διαθέσιμο: <https://livetoplant.com/benefits-of-carbon-dioxide-enrichment-in-greenhouse-gardening/>

[11] “Microcontroller,” \*Wikipedia, The Free Encyclopedia\*. [Online]. Διαθέσιμο: <https://en.wikipedia.org/wiki/Microcontroller>

[12] Anat Zait, "The Full Arduino Uno Pinout Guide [including diagram]," circuito.io, 22 Απρ. 2018. [Online]. Διαθέσιμο: <https://www.circuito.io/blog/arduino-uno-pinout/>.

### **Paper in Conference Proceedings**

[4] Γ. Παπαδάκης και Α. Φραγκουδάκης, «Θερμικές επιδόσεις και σχεδιαστικά χαρακτηριστικά θερμοκηπίων σε μεσογειακά κλίματα», *Biosystems Engineering*, τομ. 80, τχ. 3, σσ. 319–336, 2001.

[4] Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, «Χαρακτηριστικά θερμοκηπίων». [Online]. Διαθέσιμο: <https://www.aua.gr/ekk/wp-content/uploads/2017/01/%CE%A7%CE%91%CE%A1%CE%91%CE%9A%CE%A4%CE%97%CE%A1%CE%99%CE%A3%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%91-%CE%98%CE%95%CE%A1%CE%9C%CE%9F%CE%9A%CE%97%CE%A0%CE%99%CE%A9%CE%9D-1.pdf>

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α : Κώδικας Arduino

```
// Ενσωμάτωση βιβλιοθηκών
#include "Timer.h" // Βιβλιοθήκη για χρονισμένες ενέργειες
#include <LiquidCrystal.h> // Βιβλιοθήκη για LCD
#include <Adafruit_Sensor.h> // Βιβλιοθήκη για αισθητήρες Adafruit
#include <Adafruit_BME280.h> // Βιβλιοθήκη για τον BME280 (θερμοκρασία,
υγρασία, πίεση)
#include <Wire.h> // Βιβλιοθήκη για I2C επικοινωνία
#include <SPI.h> // Βιβλιοθήκη για SPI επικοινωνία
#include <LiquidCrystal_I2C.h> // Βιβλιοθήκη για LCD με I2C

// Αρχικοποίηση BME280
Adafruit_BME280 bme;
#define BME_SCK 13
#define BME_MISO 12
#define BME_MOSI 11
#define BME_CS 10
#define SEALEVELPRESSURE_HPA (1013.25) // Τυπική ατμοσφαιρική πίεση
bool executed = false; // Flag για έλεγχο εκτέλεσης εντολών
θερμάστρας
#define HEATER_PIN 2
#define HUMIDIFIER_PIN 6 // Pin για τον υγραντήρα
int waterlevelvalue = 0; // Τιμή αισθητήρα στάθμης νερού
int waterlevel = A2; // Pin για αισθητήρα στάθμης νερού

// Αρχικοποίηση LCD με I2C
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
bool displayStatus = true; // Flag για εναλλαγή οθόνης LCD

// Αισθητήρας υγρασίας χώματος
const int dry = 285; // Τιμή για ξηρό χώμα
const int wet = 140; // Τιμή για υγρό χώμα
int intervals = (dry - wet) / 3; // Διαχωρισμός σε 3 επίπεδα υγρασίας
int GroundSoilSensor = 0; // Τρέχουσα τιμή αισθητήρα υγρασίας χώματος

// Αισθητήρας θερμοκρασίας χώματος PT100
unsigned long delayTime; // Καθυστέρηση μεταξύ αναγνώσεων
float Volts; // Τάση εισόδου
float temp1; // Υπολογισμένη θερμοκρασία
float calibration; // Διόρθωση θερμοκρασίας
float tempC; // Τελική θερμοκρασία χώματος
float Rx; // Αντίσταση αισθητήρα
float C = 99.6; // Σταθερά υπολογισμού
float slope = 55; // Κλίση υπολογισμού
float R0 = 100.0; // Αρχική αντίσταση PT100
float alpha = 0.00385; // Συντελεστής θερμοκρασιακής μεταβολής
int Vin = A0; // Pin εισόδου PT100
```

```

Timer t; // Δημιουργία αντικειμένου Timer

// Συνάρτηση setup (εκτελείται μια φορά κατά την εκκίνηση)
void setup() {
  Serial.begin(9600); // Ενεργοποίηση σειριακής επικοινωνίας
  analogReference(INTERNAL); // Αναφορά τάσης για analogRead

  pinMode(HEATER_PIN, OUTPUT); // Θερμάστρα ως έξοδος
  pinMode(HUMIDIFIER_PIN, OUTPUT); // Υγραντήρας ως έξοδος
  digitalWrite(HEATER_PIN, HIGH); // Απενεργοποίηση θερμάστρας (low
trigger)
  digitalWrite(HUMIDIFIER_PIN, HIGH); // Απενεργοποίηση υγραντήρα (low trigger)

  lcd.init(); // Αρχικοποίηση LCD
  lcd.backlight(); // Ενεργοποίηση φωτισμού LCD
  pinMode(Vin, INPUT); // PT100 ως είσοδος
  t.every(100, takeReading); // Κλήση takeReading κάθε 100ms
  t.every(500, DisplayToggle); // Κλήση DisplayToggle κάθε 500ms

  Serial.println(F("BME280 test"));
  unsigned status = bme.begin(); // Αρχικοποίηση BME280
  if (!status) { // Έλεγχος αν ο αισθητήρας δεν βρέθηκε
    Serial.println("Could not find a valid BME280 sensor, check wiring,
address, sensor ID!");
    while (1) delay(10); // Ατέρμονος βρόχος αν δεν υπάρχει ο BME280
  }
}

// Συνάρτηση loop (εκτελείται συνεχώς)
void loop() {
  t.update(); // Ενημέρωση χρονοδιακόπτη
  printValues(); // Εκτύπωση τιμών στον σειριακό
  delay(delayTime); // Καθυστέρηση
  GroundSoil(); // Ανάγνωση αισθητήρα υγρασίας χώματος
  ControlHeaterAndHumidifier(); // Έλεγχος θερμάστρας και υγραντήρα
  waterlevelvalue = analogRead(waterlevel); // Ανάγνωση στάθμης νερού
}

// Συνάρτηση για τον έλεγχο θερμάστρας και υγραντήρα
void ControlHeaterAndHumidifier() {
  float airTemp = bme.readTemperature(); // Θερμοκρασία αέρα
  float airHumidity = bme.readHumidity(); // Υγρασία αέρα

  // Έλεγχος θερμάστρας
  if (airTemp < 20.0 || tempC < 18.0) {
    digitalWrite(HEATER_PIN, LOW); // Ενεργοποίηση θερμάστρας
  } else if (airTemp >= 24.0 || tempC >= 20.0) {
    digitalWrite(HEATER_PIN, HIGH); // Απενεργοποίηση θερμάστρας
  }
}

```

```

}

// Έλεγχος υγραντήρα
if (airHumidity < 60.0) {
    digitalWrite(HUMIDIFIER_PIN, LOW); // Ενεργοποίηση υγραντήρα
} else if (airHumidity >= 63.0) {
    digitalWrite(HUMIDIFIER_PIN, HIGH); // Απενεργοποίηση υγραντήρα
}
}

// Συνάρτηση για τον αισθητήρα υγρασίας χώματος
void GroundSoil() {
    GroundSoilSensor = analogRead(3); // Ανάγνωση τιμής αισθητήρα
    Serial.println(GroundSoilSensor);

    // Διαχωρισμός σε επίπεδα υγρασίας
    if (GroundSoilSensor > wet && GroundSoilSensor < (wet + intervals)) {
        Serial.println("Very Wet");
        if (!executed) {
            digitalWrite(HEATER_PIN, LOW); // Θερμάστρα off αν πολύ υγρό
            delay(500);
            executed = true;
        }
    } else if (GroundSoilSensor > (wet + intervals) && GroundSoilSensor < (dry -
intervals)) {
        Serial.println("Wet");
        digitalWrite(HEATER_PIN, LOW); // Θερμάστρα off αν μέτρια υγρασία
        delay(500);
    } else if (GroundSoilSensor < dry && GroundSoilSensor > (dry - intervals)) {
        Serial.println("Dry");
        if (executed) {
            digitalWrite(HEATER_PIN, HIGH); // Θερμάστρα on αν ξηρό
            delay(500);
        }
        executed = false;
    }
}

// Συνάρτηση takeReading για τον αισθητήρα PT100
void takeReading() {
    Volts = (analogRead(Vin) / 255.0) * 1.1; // Μετατροπή ADC σε Volts
    Rx = Volts * slope + C; // Υπολογισμός αντίστασης PT100
    temp1 = (Rx / R0 - 1.0) / alpha; // Υπολογισμός θερμοκρασίας
    calibration = 0.3 + (0.005 * temp1); // Διόρθωση θερμοκρασίας
    tempC = temp1 - calibration; // Τελική θερμοκρασία χώματος
    Serial.println(tempC); // Εκτύπωση θερμοκρασίας
    delay(5000); // Καθυστερήση 5 δευτ.
}
}

```

```

// Συνάρτηση για εμφάνιση θερμοκρασίας και υγρασίας αέρα
void printValues() {
    Serial.println(bme.readTemperature()); // Θερμοκρασία αέρα
    Serial.println(bme.readHumidity()); // Υγρασία αέρα
    Serial.print("Waterlevel:");
    Serial.println(waterlevelvalue); // Στάθμη νερού
}

// Συνάρτηση για εμφάνιση στο LCD (εναλλαγή οθόνης)
void DisplayToggle() {
    lcd.clear(); // Καθαρισμός οθόνης
    if (displayStatus) {
        // Εμφάνιση θερμοκρασίας χώματος και αέρα
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("GndTemp:");
        lcd.setCursor(9, 0);
        lcd.print(tempC);
        lcd.setCursor(14, 0);
        lcd.print((char)223); // Συμβολισμός βαθμού
        lcd.setCursor(15, 0);
        lcd.print("C");

        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("AirTemp:");
        lcd.setCursor(9, 1);
        lcd.print(bme.readTemperature());
        lcd.setCursor(14, 1);
        lcd.print((char)223);
        lcd.setCursor(15, 1);
        lcd.print("C");
    } else {
        // Εμφάνιση υγρασίας χώματος και αέρα
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("GroundSoil:");
        lcd.setCursor(11, 0);
        lcd.print(GroundSoilSensor = ((GroundSoilSensor - dry) * 100) / (wet -
dry));
        lcd.setCursor(14, 0);
        lcd.print("%");

        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("AirHumid:");
        lcd.setCursor(11, 1);
        lcd.print(bme.readHumidity());
        lcd.setCursor(15, 1);
        lcd.print("%");
    }
    displayStatus = !displayStatus; // Εναλλαγή κατάστασης οθόνης
}

```

