

# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



**Δια τμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών**

**Συστήματα Αυτοματισμού**

**Μάθημα:**

Μηχανοτρονικά Συστήματα

**Εξαμηνιαία Εργασία:**

Κατασκευή Έξυπνου Θερμοκηπίου

**Καθηγητής:**

**Ονοματεπώνυμο:** Ευάγγελος Παπαδόπουλος

**Σπουδαστές:**

**Ονοματεπώνυμο:** Ευστάθιος Κατσίρης

**Κατεύθυνση:** Β (Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου και Ρομπωτικής)

**Αριθμός Μητρώου:** 02121204

**Ονοματεπώνυμο:** Ευάγγελος Πίσχινας

**Κατεύθυνση:** Α (Συστήματα Κατασκευών και Παραγωγής)

**Αριθμός Μητρώου:** 02121106

## Περιεχόμενα

<b>Περίληψη</b>	1
<b>Ενότητα 1: Γενικά για τα θερμοκήπια</b>	1
<b>Κεφάλαιο 1.1: Ορισμός των θερμοκηπίων</b>	1
<b>Κεφάλαιο 1.2: Ιστορικά στοιχεία των θερμοκηπίων</b>	1
<b>Κεφάλαιο 1.3: Σκοπός των θερμοκηπίων</b>	2
<b>Κεφάλαιο 1.4: Λειτουργία (φαινόμενο) του θερμοκηπίου</b>	2
<b>Κεφάλαιο 1.5: Υλικά κατασκευής των θερμοκηπίων</b>	3
<b>Κεφάλαιο 1.6: Τύποι των θερμοκηπίων</b>	3
<b>Ενότητα 2: Εξαρτήματα του έξυπνου θερμοκηπίου</b>	4
<b>Κεφάλαιο 2.1: Μηχανολογικά εξαρτήματα του θερμοκηπίου</b>	4
<b>Κεφάλαιο 2.2: Ηλεκτρονικά-ηλεκτρολογικά εξαρτήματα του θερμοκηπίου</b>	5
<b>Κεφάλαιο 2.3: Εργαλεία για την κατασκευή του θερμοκηπίου</b>	21
<b>Κεφάλαιο 2.4: Κόστος των εξαρτημάτων του θερμοκηπίου</b>	22
<b>Ενότητα 3: Κατασκευή του έξυπνου θερμοκηπίου</b>	24
<b>Κεφάλαιο 3.1: Πορεία κατασκευής του θερμοκηπίου</b>	24
<b>Κεφάλαιο 3.2: Συνδεσμολογία των ηλεκτρονικών-ηλεκτρολογικών εξαρτημάτων του θερμοκηπίου</b>	26
<b>Ενότητα 4: Προγραμματισμός του έξυπνου θερμοκηπίου</b>	33
<b>Κεφάλαιο 4.1: Σύστημα ελέγχου του θερμοκηπίου</b>	33
<b>Κεφάλαιο 4.2: Χειροκίνητη λειτουργία του θερμοκηπίου</b>	34
<b>Κεφάλαιο 4.3: Αυτόματη λειτουργία του θερμοκηπίου</b>	34
<b>Κεφάλαιο 4.4: Σύστημα ειδοποίησης</b>	36
<b>Ενότητα 5: Προβλήματα που προέκυψαν και λύσεις που εφαρμόστηκαν</b>	37
<b>Ενότητα 6: Μελλοντικές προεκτάσεις- βελτιώσεις</b>	37
<b>Ενότητα 7: Συμπεράσματα</b>	37
<b>Παράρτημα</b>	38
<b>Πηγές</b>	40

## Περίληψη

Στα πλαίσια του μαθήματος «Μηχανοτρονικά Συστήματα», κατασκευάστηκε ένα μικρό ξύλινο θερμοκήπιο, το οποίο και αυτοματοποιήθηκε με τη χρήση arduino, αισθητήρων και επενεργητών. Στο θερμοκήπιο που κατασκευάστηκε το arduino παίρνει σήμα από έναν αισθητήρα υγρασίας χώματος και από έναν υγρασίας και θερμοκρασίας, και με βάση τις συνθήκες μικρο-κλίματος του εσωτερικού χώρου του θερμοκηπίου, ελέγχει έναν σερβοκινητήρα για την μετακίνηση ενός παραθύρου, μια αντλία για το πότισμα των φυτών του θερμοκηπίου και έναν ανεμιστήρα μαζί με μια βατική αντίσταση για την θέρμανση και για την ψύξη του.

Ο έλεγχος του θερμοκηπίου πραγματοποιείται με δυο τρόπους, είτε αυτόματα σύμφωνα με 27 κανόνες είτε χειροκίνητα σύμφωνα με τις εντολές που δίνει ο χρήστης μέσω τριών κουμπιών. Οι λειτουργίες των τριών κουμπιών στην περίπτωση της χειροκίνητης λειτουργίας αλλά και οι μετρήσεις των αισθητήρων εμφανίζονται στην οθόνη LCD που χρησιμοποιήθηκε στο θερμοκήπιο παρέχοντας έτσι μια ομαλή εμπειρία χρήσης στην περίπτωση της χειροκίνητης λειτουργίας αλλά και έναν τρόπο ελέγχου της απόδοσης του συστήματος αυτομάτου ελέγχου του θερμοκηπίου ανεξαρτήτως αυτής.

Το θερμοκήπιο που κατασκευάστηκε διαθέτει επίσης και σύστημα φωτισμού το οποίο και ενεργοποιείται με τους ίδιους τρόπους με τους οποίους ενεργοποιούνται και τα υπόλοιπα συστήματα, δηλαδή είτε χειροκίνητα είτε αυτόματα. Έτσι όταν έχει επιλεχθεί η χειροκίνητη λειτουργία και έχει πατηθεί το αντίστοιχο κουμπί ή όταν ο φωτισμός είναι χαμηλός δηλαδή η τιμή της φωτοαντίστασης υψηλή ανάβει η λάμπα του θερμοκηπίου.

Τέλος, μέσω ενός αισθητήρα φλόγας και ενός αισθητήρα απόστασης που χρησιμοποιήθηκαν στο θερμοκήπιο ελέγχεται η ακεραιότητα του θερμοκηπίου από άποψη πυρκαγιάς αλλά και η επάρκεια νερού στο δοχείο αντίστοιχα και στην περίπτωση προβλήματος ενεργοποιείται το buzzer που ενσωματώθηκε στο θερμοκήπιο.

## Ενότητα 1: Γενικά για τα θερμοκήπια

### Κεφάλαιο 1.1: Ορισμός των θερμοκηπίων

Θερμοκήπιο μπορεί να οριστεί ως ένας περιφραγμένος και στεγασμένος χώρος με υλικό διαπερατό στην ηλιακή ακτινοβολία (κατά βάση γυαλί ή πλαστικό) μέσα στον οποίο αναπτύσσονται φυτικές καλλιέργειες.

### Κεφάλαιο 1.2: Ιστορικά στοιχεία των θερμοκηπίων

Η ιδέα του θερμοκηπίου ξεκινάει από τα αρχαία χρόνια όπου κάποιοι άνθρωποι προτιμούσαν να καλλιεργούν φυτά σε μέρη όπου προστατεύονταν καλύτερα ή έβλεπαν ότι ευνοούταν γενικά η ανάπτυξή τους.

Ο αυτοκράτορας Τιβέριος στη ρωμαϊκή εποχή, τρεφόταν με ένα φυτό που έμοιαζε με αγγούρι, το οποίο οι κηπουροί του το φύτευαν μέσα σε καρότσια, ώστε τη μέρα να το βγάζουν στον ήλιο ενώ τη νύχτα να το βάζουν σε ειδικούς κλειστούς χώρους για να μη ψύχεται.

Η πρώτη περιγραφή θερμαινόμενου θερμοκηπίου είναι από το Sanga Yorok, ένα κορεάτικο βιβλίο για τη κτηνοτροφία που συντάχθηκε γύρω στο

1450 από έναν βασιλικό γιατρό, με οδηγίες για την κατασκευή ενός θερμοκηπίου για λαχανικά. Η κατασκευή αυτή είχε σύστημα τεχνητής θέρμανσης, το *ondol*, ένα παραδοσιακό σύστημα κορεάτικης ενδοδαπέδιας θέρμανσης για διατήρηση της υγρασίας και της θερμοκρασίας σε καλά επίπεδα για τα φυτά. Τα τοιχώματα αυτών των μονάδων ήταν *cob-walls* (από στάχυ) με σκοπό τη μείωση των θερμικών απωλειών. Επιπλέον αυτές οι κατασκευές είχαν ημιδιαφανή παράθυρα που επέτρεπαν τη διείσδυση φωτός και ταυτόχρονα προστάτευαν τα φυτά από εξωτερικούς παράγοντες.

Ως έννοια τα θερμοκήπια ξεκινάνε τον 17ο αιώνα σε Αγγλία και Ολλανδία αρχικά για φαρμακευτικά φυτά, και στη πορεία για καλλωπιστικά. Από εκεί και μετά συνεχίστηκαν πειραματισμοί σε διάφορα υλικά, και βελτίωση του γυαλιού στα θερμοκήπια, και μέσα στον 20ο αιώνα άρχισαν να δοκιμάζονται θερμοκήπια με PVC αντί για γυαλί.

### **Κεφάλαιο 1.3: Σκοπός των θερμοκηπίων**

Ο σκοπός των θερμοκηπίων είναι η δημιουργία και η διατήρηση μικροκλίματος για την ανάπτυξη των φυτών που βρίσκονται στο εσωτερικό τους αλλά και η προστασία αυτών από τους κλιματικούς παράγοντες του περιβάλλοντος.

Στην σημερινή εποχή με την ανάπτυξη της τεχνολογίας, δίνεται η δυνατότητα εξέλιξης και αυτοματοποίησής τους κυρίως μέσω σύγχρονων μεθόδων αυτομάτου ελέγχου, μέσω μεθόδων ανάλυσης μηχανικών κατασκευών και μέσω του απομακρυσμένου ελέγχου και της απομακρυσμένης επιτήρησης. Έτσι αυξάνεται η παραγωγή των γεωργικών προϊόντων και βελτιώνεται η ποιότητά τους με αποτέλεσμα να αυξάνεται και το κέρδος του παραγωγού.

### **Κεφάλαιο 1.4: Λειτουργία (φαινόμενο) του θερμοκηπίου**

Η λειτουργία του θερμοκηπίου στηρίζεται στο αντίστοιχο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Σύμφωνα με αυτό η διαδικασία κατά την οποία η ατμόσφαιρα ενός πλανήτη συγκρατεί θερμότητα συμβάλλει στην αύξηση της θερμοκρασίας της επιφάνειάς του. Στο φαινόμενο αυτό η γη δέχεται ηλιακή ακτινοβολία και το μεγαλύτερο μέρος αυτής απορροφάτε από το σύστημα γης-ατμόσφαιρας ενώ το υπόλοιπο διαφεύγει στο διάστημα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η γη να ζεσταίνεται και να εκπέμπει πίσω θερμική ακτινοβολία μεγάλο μέρος της οποίας απορροφάτε από την ατμόσφαιρα. Η τελευταία στην συνέχεια επανεκπέμπει ένα ποσό της θερμικής αυτής ακτινοβολίας πίσω στην γη αυξάνοντας ακόμα περισσότερο την θερμοκρασία της επιφάνειάς της.

Στην περίπτωση των θερμοκηπίων οι ακτίνες του ήλιου «πέφτουν» πάνω στο κάλυμμα των θερμοκηπίων με αποτέλεσμα να εισχωρούν εσωτερικά αυτών ενώ παράλληλα η θερμική ακτινοβολία που εκπέμπουν τα φυτά και το έδαφος των θερμοκηπίων λόγω του καλύμματος παγιδεύεται εσωτερικά των θερμοκηπίων. Έτσι το κάλυμμα των θερμοκηπίων επιτρέπει την είσοδο της μικρού μήκους κύματος ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διάρκεια της ημέρας μέσα στο θερμοκήπιο ενώ παράλληλα δεν επιτρέπει την έξοδο της μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας που εκπέμπουν τα φυτά και το έδαφος του θερμοκηπίου με αποτέλεσμα να δημιουργείται μια παγίδα θερμότητας στην οποία και οφείλεται περίπου κατά 30% η αύξηση της θερμοκρασίας του

θερμοκηπίου. Το υπόλοιπο ποσοστό οφείλεται στο φαινόμενο του κλειστού χώρου.

## Κεφάλαιο 1.5: Υλικά κατασκευής των θερμοκηπίων

Τα βασικά μέρη των θερμοκηπίων όσον αφορά το κατασκευαστικό τους κομμάτι είναι ο σκελετός και το κάλυμμα.

Ο σκελετός είναι το στοιχείο πάνω στο οποίο στηρίζεται το κάλυμμα και άλλα μέρη των θερμοκηπίων. Τα πιο συνηθισμένα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή του σκελετού είναι τα εξής:

- Ξύλο: Το ξύλο λόγω της μικρής μηχανικής αντοχής σε σχέση με τα υπόλοιπα υλικά είναι κατάλληλο για την κατασκευή θερμοκηπίων με μικρό ελεύθερο πλάτος κατασκευαστικής μονάδας (κάτω από 6m). Σαν πλεονεκτήματα χρήσης αυτού του υλικού μπορεί να θεωρηθούν το μικρό κόστος, το γεγονός ότι δεν δημιουργεί φθορές στα υπόλοιπα υλικά με τα οποία έρχεται σε επαφή και η υψηλή αντοχή δεδομένου του βάρους του ενώ σαν μειονεκτήματα μπορούν να θεωρηθούν η μικρή μηχανική αντοχή, το γεγονός ότι φθείρεται και το γεγονός ότι καίγεται.
- Χάλυβας: Ο χάλυβας χρησιμοποιείται σε ευρεία κλίμακα και είναι διαμορφωμένος σε σωλήνα ή σε διατομές διαφόρων σχημάτων. Μάλιστα λόγω της υψηλής αντοχής του, απαιτεί σχετικά μικρές διατομές για δεδομένο φορτίο.
- Αλουμίνιο: Το αλουμίνιο υπερτερεί από τον χάλυβα λόγω της μεγαλύτερης αντοχής του σε διάβρωση ενώ παράλληλα διαθέτει και πολλά από τα πλεονεκτήματά του.

Το κάλυμμα των θερμοκηπίων πρόκειται για ένα διαφανές υλικό μέσω του οποίου διέρχεται η ηλιακή ακτινοβολία στο θερμοκήπιο. Τα βασικά υλικά κάλυψης είναι τα εξής:

- Υαλοπίνακας (γυαλί): Το βασικό πλεονέκτημα αυτού του υλικού είναι ο υψηλός δείκτης περατότητας της ορατής ακτινοβολίας χωρίς όμως να διαθέτει και υψηλό δείκτη περατότητας της θερμικής. Επιπλέον ο υαλοπίνακας είναι ένα εύθραυστο υλικό με υψηλό ειδικό βάρος με αποτέλεσμα να χρειάζεται σκελετό υψηλής αντοχής.
- Μαλακό πλαστικό (φύλλα πολυαιθυλενίου PE, εύκαμπτου πολυβινυλοχλωριδίου PVC ή θερμοπλαστικού πολυεστέρα): Τα υλικά αυτά έχουν καλή χημική αδράνεια, καλή διαπερατότητα στο φως και μικρό κόστος. Επίσης τα υλικά αυτά είναι και τα πιο εύκαμπτα σε σχέση με τα υπόλοιπα με αποτέλεσμα να είναι και τα πιο εύκολα στον χειρισμό τους για την κατασκευή των θερμοκηπίων.
- Σκληρό πλαστικό: Τα υλικά αυτά είναι κυρίως ενισχυμένος πολυεστέρας, πολυκαρβονικές επιφάνειες PC, ακριλικές επιφάνειες ή σκληρό PVC.

## Κεφάλαιο 1.6: Τύποι των θερμοκηπίων

Με βάση την διάταξή τους τα θερμοκήπια χωρίζονται στους εξής τύπους:

- Αμφικλινή ή αμφίρρικτα θερμοκήπια: Τα θερμοκήπια αυτά αποτελούνται από δυο κάθετες πλευρές στήριξης και από οροφή σχήματος ισοσκελούς τριγώνου. Τα αμφικλινή ή αμφίρρικτα θερμοκήπια είναι ευρύχωρα και κατάλληλα για παθητικό εξαερισμό.
- Τοξωτά θερμοκήπια: Τα θερμοκήπια αυτά αποτελούνται από δυο αντικριστές ημικυκλικές αψίδες. Είναι εύκολα στην κατασκευή τους και φθηνά, δεν είναι όμως βολικά για συστήματα παθητικού αερισμού και δεν μπορούν να κατασκευαστούν από γυαλί.
- Τροποποιημένα τοξωτά θερμοκήπια: Τα θερμοκήπια αυτού του τύπου είναι στην ουσία ένας συνδυασμός των αμφικλινών και των απλών τοξωτών αφού η βασική κατασκευαστική μονάδα τους αποτελείται από δυο κάθετες πλευρές και από μια «τοξωτή» οροφή.
- Θερμοκήπια γοθτικού τύπου: Τα θερμοκήπια γοθτικού τύπου μοιάζουν με τα τοξωτά με την διαφορά ότι η ημικυκλική αψίδα αντικαθίσταται από γοθτική. Τα θερμοκήπια αυτού του τύπου έχουν καλή αντοχή και προσφέρουν καλό περιβάλλον για τις καλλιέργειες.
- Τροποποιημένα θερμοκήπια γοθτικού τύπου: Τα θερμοκήπια αυτού του τύπου είναι κυρίως παραλλαγές των θερμοκηπίων γοθτικού τύπου που αναφέρθηκαν προηγουμένως.

## Ενότητα 2: Εξαρτήματα του έξυπνου θερμοκηπίου

### Κεφάλαιο 2.1: Μηχανολογικά εξαρτήματα του θερμοκηπίου

Τα μηχανολογικά εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή του θερμοκηπίου αναφέρονται στα εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν στον σκελετό του θερμοκηπίου, στο κάλυμμα του θερμοκηπίου, στην βάση του θερμοκηπίου, στο παράθυρο του θερμοκηπίου, στο σύστημα θέρμανσης και ψύξης του θερμοκηπίου, στο σύστημα ποτίσματος των φυτών του θερμοκηπίου καθώς και στα εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν για την σύνδεση όλων των παραπάνω μεταξύ τους αλλά και στα εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν για την στήριξη των ηλεκτρονικών-ηλεκτρολογικών και άλλων εξαρτημάτων πάνω στον σκελετό, στο κάλυμμα και στην βάση του θερμοκηπίου.

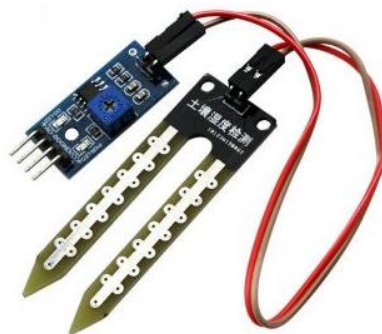
Συγκεκριμένα για τον σκελετό του θερμοκηπίου χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα καδρόνια ξύλου διαστάσεων 2,7cm x 2,7cm x 2,4m (πάχος x πλάτος x μήκος) ενώ ως κάλυμμα χρησιμοποιήθηκε μια διαφανής ζελατίνα από μαλακό PVC διαστάσεων 0.8mm x 1m x 1m. Για την βάση του θερμοκηπίου χρησιμοποιήθηκε ένα ξύλο κόντρα πλακέ διαστάσεων 1,5cm x 45cm x 95cm. Για την στήριξη του παραθύρου πάνω στο κάλυμμα του θερμοκηπίου χρησιμοποιήθηκε ένα ξύλο MDF διαστάσεων 3mm x 18cm x 21cm ενώ για το φύλλο του παραθύρου χρησιμοποιήθηκε ένα κομμάτι χαρτόνι από κουτί παπουτσιών διαστάσεων 2mm x 13cm x 18,5cm. Για την στήριξη του ανεμιστήρα πάνω στο κάλυμμα του θερμοκηπίου χρησιμοποιήθηκαν δυο ίδια κομμάτια από ξύλο MDF διαστάσεων 3mm x 9cm x 9cm. Για την αποθήκευση του νερού ποτίσματος χρησιμοποιήθηκε ένα πλαστικό δοχείο των 3,7L και για το πότισμα των φυτών του θερμοκηπίου χρησιμοποιήθηκε ένα αλφαδολάστιχο μήκους 93,5cm και εσωτερικής διαμέτρου 8mm αλλά και δυο ακριανοί σταλάκτες σταθερής ροής.

Για την στήριξη του αποσπώμενου τμήματος της ζελατίνας χρησιμοποιήθηκαν δυο ίδια ζευγάρια αρσενικού και θηλυκού χριτς χρατς διαστάσεων 39,25cm x 2,5cm (μήκος x πλάτος). Επίσης χρησιμοποιήθηκαν και οκτώ κάθετες γωνίες μαζί με δεκαέξι ξυλόβιδες για την σύνδεση των ξύλων της σκεπής του σκελετού του θερμοκηπίου με το υπόλοιπο τμήμα του σκελετού αλλά και για την σύνδεση ολόκληρου του σκελετού πάνω στην βάση του θερμοκηπίου, τρία δεματικά για την στήριξη του αλφαδολάστιχου πάνω στην σκεπή του θερμοκηπίου, μια τάπα για το αλφαδολάστιχο, μια βάση για τον αισθητήρα υπερήχων μαζί με δυο βίδες και δυο παξιμάδια για την στερέωση του αισθητήρα πάνω στο χείλος του δοχείου των 3,7L, διάφορες κόλλες όπως ένας παντοκολλητής για την σύνδεση των ξύλων του σκελετού του θερμοκηπίου με το κάλυμμά του, μια κόλλα στιγμής για την σύνδεση του άξονα του σερβοκινητήρα με το φύλλο του παραθύρου αλλά και για την σύνδεση του ίδιου του σερβοκινητήρα με το ξύλο MDF που χρησιμοποιήθηκε σαν πλαίσιο και μια ξυλόκολλα για την σύνδεση των ξύλων του σκελετού του θερμοκηπίου μεταξύ τους αλλά και για την σύνδεση ολόκληρου του σκελετού πάνω στην βάση του θερμοκηπίου. Εκτός από τις παραπάνω κόλλες χρησιμοποιήθηκε και κόλλα σε μορφή ταινίας και μάλιστα ταινίας διπλής όψης αλλά και ένα πιστόλι σιλικόνης για την στερέωση των ηλεκτρονικών-ηλεκτρολογικών εξαρτημάτων πάνω στην βάση και στον σκελετό του θερμοκηπίου αντίστοιχα. Τέλος χρησιμοποιήθηκαν και δυο ξυλόβιδες για την σύνδεση της αντλίας και του δοχείου νερού πάνω στην βάση του θερμοκηπίου και ένα καρούλι από σπιράλ καλωδίου μήκους 10m και εσωτερικής διαμέτρου 6mm για την τακτοποίηση των καλωδίων.

## Κεφάλαιο 2.2: Ηλεκτρονικά-ηλεκτρολογικά εξαρτήματα του θερμοκηπίου

Τα ηλεκτρονικά-ηλεκτρολογικά εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή του θερμοκηπίου αναφέρονται στον μικροελεγκτή, στους αισθητήρες, στο τροφοδοτικό, στα ρελέ, στον ανεμιστήρα, στην βατική αντίσταση, στην λάμπα, στην αντλία, στο ράστερ, στα κουμπιά, στην οθόνη LCD, στον σερβοκινητήρα, στον βομβητή καθώς και σε κάποια συμπληρωματικά εξαρτήματα όπως στους μετατροπείς τάσεις, στις αντιστάσεις, στο ποτενσιόμετρο και στα καλώδια.

Για τη μέτρηση της υγρασίας του χώματος των φυτών του θερμοκηπίου χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας υγρασίας χώματος που φαίνεται στην Εικόνα 1.



Εικόνα 1: Αισθητήρας υγρασίας χώματος



Ο συγκεκριμένος αισθητήρας υγρασίας χώματος λειτουργεί με τάση τροφοδοσίας από 3,3V έως και 5V και διαθέτει αναλογική αλλά και ψηφιακή έξοδο. Ο αισθητήρας αυτός αποτελείται από δυο μέρη, από την ακίδα η οποία εισέρχεται μέσα στο χώμα και από την πλακέτα με το ηλεκτρονικό κύκλωμα φιλτραρίσματος, ενίσχυσης και δημιουργίας του αναλογικού και του ψηφιακού σήματος εξόδου. Οι ακροδέκτες αυτού του αισθητήρα είναι τέσσερις από τους οποίους οι δυο είναι ο VCC και GND και οι άλλοι δυο είναι ο A0 και ο D0. Ο ακροδέκτης VCC αντιστοιχεί στο θετικό άκρο της τάσης τροφοδοσίας, ο ακροδέκτης GND αντιστοιχεί στην γείωση, ο ακροδέκτης A0 αντιστοιχεί στην αναλογική έξοδο και ο ακροδέκτης D0 αντιστοιχεί στην ψηφιακή έξοδο.

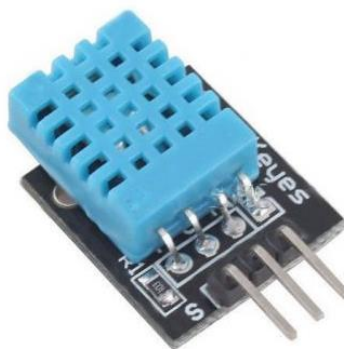
Για το πότισμα των φυτών του θερμοκηπίου χρησιμοποιήθηκε η αντλία της Εικόνας 2.



**Εικόνα 2:** Αντλία μαζί με κολάρο

Η αντλία αυτή πρόκειται για μια αντλία μέγιστης ισχύος 4,8W που λειτουργεί με τάση τροφοδοσίας 12V. Η συγκεκριμένη αντλία λειτουργεί συνδέοντας το κόκκινο καλώδιο στο θετικό άκρο της τάσης τροφοδοσίας και το μαύρο στην γείωση και βυθίζοντάς την μέσα στο δοχείο με το νερό. Με αυτόν τον τρόπο το νερό εισέρχεται από την οπή της ροής εισόδου εξωτερικής διαμέτρου 8mm και εξέρχεται από την οπή της ροής εξόδου εξωτερικής διαμέτρου επίσης 8mm μεταφέροντας έτσι έως και 240L/h. Στην συσκευασία της αντλίας υπήρχε και το κολάρο που φαίνεται μαζί με την αντλία στην Εικόνα 2 για την ασφαλούς στερέωση της αντλίας πάνω στο σημείο τοποθέτησής της.

Για τη μέτρηση της υγρασίας και της θερμοκρασίας του θερμοκηπίου χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας DHT11 που φαίνεται στην Εικόνα 3.



**Εικόνα 3:** Αισθητήρας DHT11



Ο αισθητήρας DHT11 πρόκειται για έναν πολύ διαδεδομένο αισθητήρα υγρασίας και θερμοκρασίας που τροφοδοτείται με τάση από 3,3V μέχρι και 5V. Ο αισθητήρας αυτός σε αντίθεση με τον αισθητήρα υγρασίας χρώματος διαθέτει μόνο ψηφιακή έξοδο η οποία και στον αντίστοιχο ακροδέκτη της πλακέτας υποδηλώνεται με το γράμμα S από την αγγλική λέξη signal. Οι άλλοι δυο ακροδέκτες από τους τρεις που διαθέτει συνολικά ο συγκεκριμένος αισθητήρας αφορούν την τροφοδοσία του με τον ακροδέκτη της γείωσης να υποδηλώνεται πάνω στην πλακέτα με το σύμβολο – και με τον ακροδέκτη του θετικού άκρου της τάσης τροφοδοσίας να μην υποδηλώνεται με κάποιο σύμβολο πάνω σε αυτήν. Ο αισθητήρας αυτός αν και είναι υποδεέστερος από τον διάδοχό του, τον αισθητήρα DHT22, είναι πιο οικονομικός από αυτόν αλλά και αρκετά αξιόλογος για τις απαιτήσεις του θερμοκηπίου. Κάποια σημαντικά χαρακτηριστικά αυτού του αισθητήρα είναι η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας (μόνο 2,5mA μέγιστο ρεύμα), η ικανοποιητική ακρίβεια μέτρησης της θερμοκρασίας στην κλίμακα θερμοκρασιών από 0C° έως και 50C° (ακρίβεια  $\pm 0,5C^\circ$ ) και η ικανοποιητική ακρίβεια μέτρησης της υγρασίας όταν αυτή πραγματοποιείται στην κλίμακα από 20% έως και 80% (ακρίβεια 2%-5%). Ο αισθητήρας αυτός χρησιμοποιήθηκε σε συνδυασμό με πολλά άλλα εξαρτήματα όπως με τον ανεμιστήρα, με την βατική αντίσταση και με τον σερβοκινητήρα για τον έλεγχο της θερμοκρασίας και της υγρασίας του θερμοκηπίου.

Ο ανεμιστήρας που χρησιμοποιήθηκε στο θερμοκήπιο είναι αυτός που φαίνεται στην Εικόνα 4.



**Εικόνα 4:** Ανεμιστήρας

Ο ανεμιστήρας της Εικόνας 4 είναι ένας ανεμιστήρας μεγέθους 10mm x 50mm x 50mm ο οποίος λειτουργεί με τάση τροφοδοσίας τα 12V. Στην ουσία πρόκειται για έναν μικρό ανεμιστήρα με μέγιστη ισχύ τα 0,7W και με παροχή αέρα 18,59m<sup>3</sup>/h. Ο συγκεκριμένος ανεμιστήρας είναι ιδανικός για το θερμοκήπιο αφού μετά από κατάλληλους υπολογισμούς βρέθηκε πως για το τελευταίο η παροχή αέρα πρέπει να είναι τουλάχιστον 4,95m<sup>3</sup>/h δηλαδή μικρότερη από αυτήν του ανεμιστήρα. Για τους υπολογισμούς αυτούς θεωρήθηκε πως ο ανεμιστήρας του θερμοκηπίου πρέπει να μπορεί να δώσει (κυρίως το καλοκαίρι) παροχή αέρα ανά λεπτό τουλάχιστον μια φορά τον όγκο του. Η παραδοχή αυτή ισχύει για τα θερμοκήπια των οποίων οι ανεμιστήρες

χρησιμοποιούνται για δυναμικό εξαερισμό όπως γίνεται και στο θερμοκήπιο που κατασκευάστηκε. Έτσι υπολογίστηκε ο όγκος του θερμοκηπίου όπως φαίνεται παρακάτω

$$V = 40\text{cm} \cdot 55\text{cm} \cdot 30\text{cm} + \frac{55\text{cm} \cdot 15\text{cm} \cdot 40\text{cm}}{2} = 82.500\text{cm}^3$$

και στην συνέχεια έγινε η μετατροπή της μονάδας της παροχής αέρα από  $\text{cm}^3/\text{m}$  σε  $\text{m}^3/\text{h}$  όπως φαίνεται παρακάτω.

$$\frac{82.500}{10^6} \cdot 60 = 4,95\text{m}^3/\text{h}$$

Εκτός όμως από τον παραπάνω ανεμιστήρα που αποτελεί το κύριο σύστημα ψύξης του θερμοκηπίου χρησιμοποιήθηκε και η βατική αντίσταση της Εικόνας 5 η οποία λειτουργεί συνδυαστικά με τον ανεμιστήρα επιτυγχάνοντας έτσι την θέρμανση του θερμοκηπίου.



**Εικόνα 5:** Βατική αντίσταση

Η βατική αντίσταση της Εικόνας 5 είναι μια βατική αντίσταση με ονομαστική τιμή τα 3,3Ωm και μέγιστης ισχύος τα 50W. Η επιλογή της συγκεκριμένης αντίστασης στηρίχθηκε κυρίως σε δοκιμές και όχι τόσο πολύ σε υπολογισμούς. Παρόλ' αυτά έγινε μια προσπάθεια υπολογισμού των θερμικών απωλειών του θερμοκηπίου για την εύρεση της ισχύς της αντίστασης αλλά αφού υπολογίστηκαν οι συντελεστές αγωγιμότητας βρέθηκε πως λόγω των λεπτών επιφανειών του θερμοκηπίου και συγκεκριμένα του καλύμματός του μεγαλύτερη συνεισφορά στη θερμική αντίσταση έχει η φυσική συναγωγή παρά η αγωγή. Έτσι δεν πραγματοποιήθηκαν οι υπολογισμοί για την συναγωγή μιας και αυτό θα ήταν αρκετά χρονοβόρο και επιλέχθηκε η αντίσταση της Εικόνας 5 σαν μια λογική λύση ενώ στην συνέχεια πραγματοποιήθηκαν και δοκιμές για το αν θερμαίνει ή όχι τον χώρο του θερμοκηπίου. Από τις δοκιμές αυτές αποδείχθηκε πως η αντίσταση των 50W της Εικόνας 5 που επιλέχθηκε είναι ιδανική για το θερμοκήπιο που κατασκευάστηκε. Όπως φαίνεται και από την Εικόνα 5 η συγκεκριμένη αντίσταση ενσωματώνει πάνω στο κέλυφός της και δικιά της ψήκτρα (το πορτοκαλί περίβλημα) για την απαγωγή της θερμότητας που δημιουργείται όταν αυτή διαρρέεται από ρεύμα. Αυτό είναι και το φαινόμενο που εκμεταλλευόμαστε για την θέρμανση του θερμοκηπίου. Εφαρμόζοντας τάση ίση με 12V στα άκρα της αντίστασης, αυτή διαρρέεται από ρεύμα ίσο με 3,6A με αποτέλεσμα να ζεσταίνεται και η θερμότητα αυτή να διαχέεται στο εσωτερικό του θερμοκηπίου μέσω του ανεμιστήρα που τοποθετήθηκε από πίσω της.

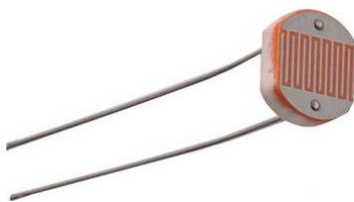
Όσον αφορά την υγρασία αυτή ελέγχεται κυρίως μέσω του παραθύρου ο κύριος μηχανισμός του οποίου είναι ένας σερβοκινητήρας. Βέβαια στη πραγματικότητα το σύστημά μας είναι πολυμεταβλητό, και η σχετική υγρασία μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και αυξάνεται με το πότισμα του φυτού, αλλά λόγω περιπλοκότητας θεωρήσαμε πως η επίδρασή τους στην υγρασία δε είναι πολύ μεγάλη. Ο σερβοκινητήρας που χρησιμοποιήθηκε στο παράθυρο του θερμοκηπίου είναι αυτός που φαίνεται στην Εικόνα 6.



**Εικόνα 6:** Σερβοκινητήρας

Ο σερβοκινητήρας της Εικόνας 6 είναι της σειράς SG και συγκεκριμένα ο SG90. Αυτός ο σερβοκινητήρας λειτουργεί με τάση τροφοδοσίας από 4,2V έως και 6V και η κίνηση του άξονά του ελέγχεται μέσω του σήματος PWM που στέλνεται στον ακροδέκτη με το πορτοκαλί καλώδιο. Οι άλλοι δυο ακροδέκτες δηλαδή ο ακροδέκτης με το κόκκινο και ο ακροδέκτης με το καφέ καλώδιο συνδέονται στο θετικό άκρο της τάσης τροφοδοσίας και στην γείωση αντίστοιχα. Παρόλο που ο συγκεκριμένος κινητήρας είναι ένας μικρός κινητήρας με πλαστικό κέλυφος αλλά και με πλαστικά εσωτερικά μέρη έχει μέγιστη ροπή 1,5kg/cm (όταν τροφοδοτείται με τάση 5V) και μέγιστη γωνία κάλυψης 180° καθιστώντας τον ικανό για την κίνηση του φύλλου του παραθύρου όταν αυτό είναι κατασκευασμένο από λεπτό χαρτόνι όπως συμβαίνει και στο θερμοκήπιο που κατασκευάστηκε.

Στα παραπάνω συστήματα αυτομάτου ελέγχου που ενσωματώθηκαν στο θερμοκήπιο προστέθηκε και αυτό της αυτόματης ενεργοποίησης μιας λάμπας για την επίβλεψη του θερμοκηπίου ακόμα και τις βραδινές ώρες. Για τον σκοπό αυτόν χρησιμοποιήθηκε μια φωτοαντίσταση και μια λάμπα. Η φωτοαντίσταση που χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση της φωτεινότητας που προέρχεται από τον ήλιο ή από οποιαδήποτε άλλη εξωτερική πηγή φωτός είναι γνωστή ως LDR (Light Dependent Resistor) και μια τέτοια αντίσταση φαίνεται στην Εικόνα 7.



**Εικόνα 7:** Φωτοαντίσταση

Λόγω του ότι για να μπορέσει να μετρηθεί η ένταση της φωτεινότητας μέσω της φωτοαντίστασης απαιτείται μετατροπή της μεταβαλλόμενης τιμής αντίστασης σε μεταβαλλόμενη τιμή τάσης ή ρεύματος, χρησιμοποιήθηκε και μια αντίσταση του  $1k\Omega$  και ισχύος  $1/4W$ . Έτσι η φωτοαντίσταση συνδέθηκε σε σειρά με την αντίσταση του  $1k\Omega$  και το ενδιάμεσο σημείο μεταξύ αυτών των δυο αντιστάσεων συνδέθηκε σε μια αναλογική θύρα του arduino δηλαδή του ελεγκτή που χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο όλων των λειτουργιών του θερμοκηπίου.

Όσον αφορά την λάμπα χρησιμοποιήθηκε η λάμπα led που φαίνεται στην Εικόνα 8.



**Εικόνα 8:** Λάμπα LED

Η λάμπα LED που χρησιμοποιήθηκε στο θερμοκήπιο και φαίνεται στην Εικόνα 8 είναι μια λάμπα LED που τροφοδοτείται με DC τάση των 12V παρέχοντας φωτεινή ροή ίση με 345lm. Επειδή όπως αναφέρθηκε και παραπάνω δυο από τις λειτουργίες που ενσωματώθηκαν στο θερμοκήπιο είναι και αυτές του αυτόματου ποτίσματος των φυτών του θερμοκηπίου αλλά και της αυτόματης θέρμανσής του, χρησιμοποιήθηκαν και δυο επιπλέον αισθητήρες αλλά και ένας βομβητής για την ενημέρωση του χρήστη όταν η στάθμη του νερού φτάσει σε πολύ χαμηλά επίπεδα αλλά και όταν ανιχνευτεί φωτιά στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

Για την πρώτη περίπτωση δηλαδή για την ανίχνευση της μείωσης της στάθμης του νερού που αποθηκεύεται στο δοχείο ποτίσματος χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας υπερήχων HC-SR04 που φαίνεται στην Εικόνα 9.



**Εικόνα 9:** Αισθητήρας HC-SR04

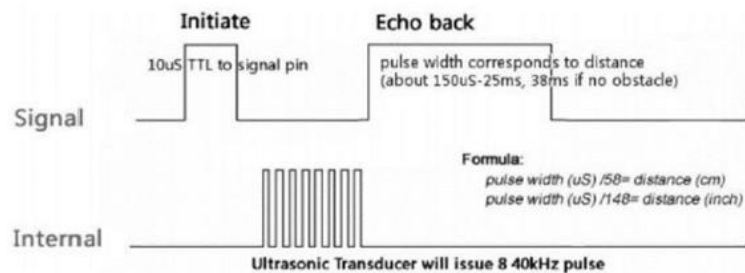
Ο συγκεκριμένος αισθητήρας αποτελείται από έναν πομπό και από έναν δέκτη υπερήχων. Ο πομπός στέλνει υπερηχητικά κύματα συχνότητας 40kHz και έτσι όταν ένα αντικείμενο βρεθεί μπροστά από τον αισθητήρα τα κύματα αυτά προσκρούουν στο αντικείμενο και οι ανακλάσεις τους ανιχνεύονται από τον δέκτη. Ανάλογα με τον χρόνο που χρειάζονται τα ανακλώμενα κύματα να φτάσουν στον δέκτη και δεδομένου ότι η απόσταση του αντικειμένου από τον αισθητήρα είναι μικρότερη των 4m υπολογίζεται η απόσταση του αισθητήρα από το αντικείμενο που βρίσκεται μπροστά του. Μάλιστα επειδή στον υπολογισμό της απόστασης εκτός από τον χρόνο που χρειάζεται το σήμα για να πάει και να γυρίσει εμπεριέχεται και η ταχύτητα του ήχου, η οποία εξαρτάται από την θερμοκρασία αλλά και από την υγρασία του περιβάλλοντος, η απόσταση που μετράει ο αισθητήρας δεν είναι τελείως ακριβής αλλά εμπεριέχει σφάλματα. Η συσχέτιση της ταχύτητας του ήχου από την θερμοκρασία και από την υγρασία του περιβάλλοντος φαίνεται στην Σχέση 1.

$$c \approx 331,4 + (0,606 \cdot T) + (0,0124 \cdot H) \quad (\text{Σχέση 1})$$

Όταν είναι γνωστή η θερμοκρασία (T) του περιβάλλοντος σε βαθμούς κελσίου αλλά και η υγρασία (H) σε ποσοστό % τότε μέσω της Σχέσης 1 υπολογίζεται η ταχύτητα του ήχου σε  $\frac{m}{s}$ . Όταν το αποτέλεσμα της Σχέσης 1 εισαχθεί στην Σχέση 2 τότε μέσω της Σχέσης 2 υπολογίζεται η απόσταση του αντικειμένου από τον αισθητήρα σε m.

$$d = \frac{\Delta T}{2} \cdot c \quad (\text{Σχέση 2})$$

Στην Σχέση 2 ο χρόνος  $\Delta T$  αντιστοιχεί στον χρόνο που χρειάζεται το σήμα ώστε να ταξιδέψει από τον πομπό και να φτάσει στον δέκτη και ο χρόνος αυτός μετρείται σε s. Ο αισθητήρας υπερήχων HC-SR04 λειτουργεί με τάση τροφοδοσίας 5V και διαθέτει τέσσερις ακροδέκτες. Οι ακροδέκτες αυτοί είναι ο ακροδέκτης Vcc που αντιστοιχεί στο θετικό άκρο της τάσης τροφοδοσίας του αισθητήρα, ο ακροδέκτης Gnd που αντιστοιχεί στην γείωση, ο ακροδέκτης Trig στον οποίο εφαρμόζεται ένας παλμός πλάτους 5V έτσι ώστε ο αισθητήρας στην συνέχεια να εκπέμψει οκτώ συνεχόμενους ηχητικούς παλμούς συχνότητας 40kHz και ο ακροδέκτης Echo από τον οποίο και λαμβάνεται ο παλμός που εμπεριέχει την πληροφορία του χρόνου  $\Delta T$  και άρα της απόστασης του αντικειμένου από τον αισθητήρα. Αν υπάρχει αντικείμενο μπροστά από τον αισθητήρα η διάρκεια αυτού του παλμού κυμαίνεται από 150μs έως 25ms ενώ αν δεν υπάρχει αντικείμενο μπροστά από τον αισθητήρα η διάρκεια αυτού του παλμού είναι 38ms. Τα παραπάνω μπορούν να απεικονιστούν και με το χρονικό διάγραμμα των σημάτων Echo και Trig του αισθητήρα HC-SR04 που φαίνεται στην Εικόνα 10.



**Εικόνα 10:** Χρονικό διάγραμμα των σημάτων Echo και Trig του αισθητήρα HC-SR04

Εκτός από τον αισθητήρα HC-SR04 υπάρχει και ο αισθητήρας HY-SRF05 ο οποίος αν και είναι πιο ακριβός από τον πρώτο έχει μεγαλύτερο εύρος μέτρησης και περισσότερους ακροδέκτες. Για την ακρίβεια ο αισθητήρας HY-SRF05 διαθέτει πέντε ακροδέκτες από τους οποίους οι τέσσερις είναι ίδιοι με τους ακροδέκτες του HC-SR04 ενώ ο πέμπτος χρησιμοποιείται στην θέση των δυο ακροδεκτών Echo και Trig του HC-SR04 προκειμένου να μειωθούν οι συνδέσεις μεταξύ του αισθητήρα και του ελεγκτή που χρησιμοποιείται στην εκάστοτε εφαρμογή.

Για την δεύτερη περίπτωση δηλαδή για την ανίχνευση πυρκαγιάς εντός του θερμοκηπίου χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας Ys-17 που φαίνεται στην Εικόνα 11.



**Εικόνα 11:** Αισθητήρας Ys-17

Ο αισθητήρας αυτός μετράει την υπεριώδη ακτινοβολία που εκπέμπει η φλόγα και γενικότερα οποιαδήποτε άλλη πηγή θερμότητας όπως για παράδειγμα ο ήλιος. Σε σειρά με τον παραπάνω αισθητήρα χρησιμοποιήθηκε και μια αντίσταση των 220Ω και ισχύος 1/4W και το ενδιάμεσο σημείο συνδέθηκε σε μια αναλογική θύρα του arduino. Οι ακροδέκτες όπως και το σχήμα αυτού του αισθητήρα μοιάζουν αρκετά με τους ακροδέκτες και το σχήμα ενός led. Το κοντό «ποδαράκι» του αισθητήρα συνδέθηκε με το ένα άκρο της αντίστασης και το μακρύ με την γείωση.

Ο βομβητής ή αλλιώς buzzer που χρησιμοποιήθηκε είναι αυτός που φαίνεται στην Εικόνα 12.



**Εικόνα 12:** Buzzer

Το buzzer πρόκειται για ένα πολύ απλό εξάρτημα το οποίο παράγει ήχους όταν στα άκρα του εφαρμοστεί τάση. Η τάση αυτή για το buzzer που χρησιμοποιήθηκε στο θερμοκήπιο είναι τα 5V αν και το συγκεκριμένο buzzer μπορεί να λειτουργήσει και με μικρότερη τάση αρκεί αυτή να ανήκει στο εύρος από 2V έως και 5V.

Για την απεικόνιση της υγρασίας του χώματος των φυτών του θερμοκηπίου, της θερμοκρασίας και της υγρασίας του θερμοκηπίου καθώς και για το μενού στην περίπτωση της χειροκίνητης λειτουργίας χρησιμοποιήθηκε μια οθόνη LCD (Liquid Crystal Display) μεγέθους 2x16. Το μέγεθος αυτό καθορίζει το πλήθος των χαρακτήρων που μπορούν να εμφανιστούν στην οθόνη και έτσι μια τέτοια οθόνη σαν και αυτή της Εικόνας 13 που χρησιμοποιήθηκε στο θερμοκήπιο μπορεί να απεικονίσει μέχρι και 32 χαρακτήρες.



**Εικόνα 13:** Οθόνη LCD

Η συγκεκριμένη οθόνη τροφοδοτείται με τάση τροφοδοσίας 5V ενώ ταυτόχρονα διαθέτει και δυο ακροδέκτες για τον έλεγχο του πίσω φωτισμού (backlight) καθώς και για τον έλεγχο της αντίθεσης των χαρακτήρων της οθόνης που έχουν μαύρο χρώμα με το φόντο της οθόνης που έχει πράσινο χρώμα. Έτσι στον ακροδέκτη του πίσω φωτισμού συνδέθηκε μια αντίσταση των 100Ωm και ισχύος 1/4W ενώ στον ακροδέκτη έντασης των χαρακτήρων χρησιμοποιήθηκε ένα γραμμικό περιστροφικό ποτενσιόμετρο των 10kΩm. Το ποτενσιόμετρο αυτό φαίνεται στην Εικόνα 14.





**Εικόνα 14:** Γραμμικό περιστροφικό ποτενσιόμετρο των 10kOhm

Στην περίπτωση της οθόνης LCD χρησιμοποιήθηκε και μια μονή θηλυκή γωνιακή πινοσειρά των 20 ακροδεκτών η οποία κολλήθηκε με καλάνι και κολλητήρι στις «πίστες» της πλακέτας της οθόνης LCD για την σύνδεση της οθόνης με το arduino μέσω καλωδίων.

Όσον αφορά τα καλώδια αγοράστηκε ένα κιτ με πέντε καρούλια καλωδίων διαφορετικού χρώματος. Το κιτ αυτό φαίνεται στην Εικόνα 15.



**Εικόνα 15:** Κιτ καλωδίων

Στο κιτ αυτό όλα τα καλώδια είναι πολύκλινα καλώδια σιλικόνης με συνολική διατομή καλωδίου 22AWG. Εκτός από αυτά τα καλώδια χρησιμοποιήθηκαν και δυο πιο χοντρά καλώδια και συγκεκριμένα ένα μαύρο και ένα κόκκινο πολύκλινο καλώδιο σιλικόνης συνολικής διατομής 16AWG το κάθε ένα. Τα καλώδια αυτά χρησιμοποιήθηκαν στην συνδεσμολογία της βατικής αντίστασης με το ρελέ μιας και το ρεύμα που διαρρέεται μέσα από αυτήν όταν στα άκρα της εφαρμοστεί τάση ίση με 12V φτάνει τα 3,6Α. Αυτά τα καλώδια φαίνονται στην Εικόνα 16.



**Εικόνα 16:** Πολύκλινα καλώδια σιλικόνης συνολικής διατομής 16AWG

Εκτός από τα παραπάνω καλώδια χρησιμοποιήθηκαν και καλώδια για κατασκευές που βρίσκονται στο αρχικό ακόμα στάδιο (πρωτότυπο) της τελικής ιδέας τα λεγόμενα Jumper Wires. Συγκεκριμένα από αυτήν την κατηγορία των καλωδίων χρησιμοποιήθηκαν καλώδια τύπου jumper wires

αρσενικό σε αρσενικό σε διάφορα μήκη. Τέτοια καλώδια φαίνονται στην Εικόνα 17.



**Εικόνα 17:** Jumper Wires αρσενικό σε αρσενικό

Επειδή χρειάστηκε να συνδεθούν διαφορετικά καλώδια μεταξύ τους χρησιμοποιώντας κολλητήρι και καλά για καλύτερη και πιο γερή επαφή, χρησιμοποιήθηκαν και θερμοσυστελλόμενα συρρίκνωσης 2:1 χωρίς κόλλα κόκκινου και μαύρου χρώματος και αρχικής διαμέτρου 3,2 και 1,6 έτσι ώστε το γυμνό σημείο από πλευράς μόνωσης δηλαδή το σημείο ένωσης των δυο καλωδίων να μην έρχεται σε επαφή με κάποιο άλλο γυμνό καλώδιο, μέταλλο ή ακόμα και με το νερό.

Για την σύνδεση του τροφοδοτικού, δηλαδή της κύριας μονάδας τροφοδοσίας των συστημάτων του θερμοκηπίου, στο δίκτυο, χρησιμοποιήθηκε και ένα καλώδιο τροφοδοσίας 220V με αγωγό γείωσης. Το καλώδιο αυτό φαίνεται στην Εικόνα 18.



**Εικόνα 18:** Καλώδιο τροφοδοσίας 220V με αγωγό γείωσης

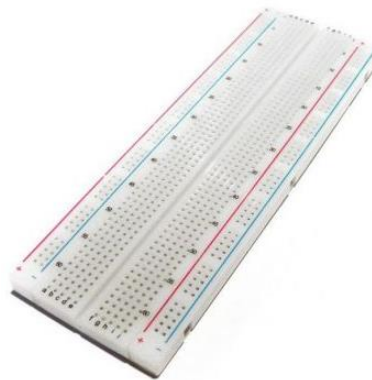
Εκτός από όλα τα παραπάνω εξαρτήματα χρησιμοποιήθηκαν επιπλέον και κουμπιά επιστροφής ή αλλιώς momentary tact switches για την αλληλεπίδραση του χρήστη με τις επιλογές της χειροκίνητης λειτουργίας του θερμοκηπίου. Αυτά τα κουμπιά φαίνονται στην Εικόνα 19.



**Εικόνα 19:** Momentary tact switches

Έτσι χρησιμοποιήθηκαν τρία momentary tact switches με πορτοκαλί χρώμα σαν και αυτά που φαίνονται στην Εικόνα 19. Τα κουμπιά αυτά όπως και όλα τα κουμπιά ενεργοποιούνται με το πάτημα ενώ σε αντίθεση με τα κουμπιά χωρίς επιστροφή τα κουμπιά με επιστροφή παραμένουν ενεργοποιημένα για όσο χρόνο τους ασκείται η δύναμη που τα ενεργοποίησε και απενεργοποιούνται μόλις σταματήσει να υπάρχει αυτή η δύναμη. Κάθε ένα από αυτά τα κουμπιά συνδέθηκε και με μια αντίσταση του  $1k\Omega$  και ισχύος  $1/4W$  έτσι ώστε κάθε ψηφιακή θύρα του arduino στην οποία συνδέθηκε το κάθε κουμπί να βρίσκεται πάντα υπό τάση ανεξάρτητα από την κατάσταση του αντίστοιχου κουμπιού. Οι τρεις αυτές αντιστάσεις του  $1k\Omega$  συνδέθηκαν σε συνδεσμολογία pull-down σε σχέση με τις ψηφιακές θύρες του μικροελεγκτή.

Τα κουμπιά, οι αντιστάσεις ισχύος  $1/4W$ , ο βομβητής και το ποτενσιόμετρο συνδέθηκαν όλα πάνω στο ράστερ γνωστό και ως breadboard. Το breadboard που χρησιμοποιήθηκε στο θερμοκήπιο φαίνεται στην Εικόνα 20.



**Εικόνα 20:** Breadboard

Το συγκεκριμένο breadboard πρόκειται για ένα μεσαίου μεγέθους breadboard με 830 οπές.

Επειδή οι ψηφιακές θύρες εισόδου/εξόδου του arduino δεν μπορούν να «οδηγήσουν» τον ανεμιστήρα, την αντλία, την λάμπα και την βατική αντίσταση λόγω ασυμβατότητας της τάσης αλλά και λόγω των υψηλών απαιτήσεων σε ρεύμα χρησιμοποιήθηκε και μια πλακέτα με τέσσερα ρελέ όσα δηλαδή και τα παραπάνω φορτία για τον έλεγχό τους. Η πλακέτα με τα ρελέ που χρησιμοποιήθηκε στο θερμοκήπιο φαίνεται στην Εικόνα 21.



**Εικόνα 21:** Πλακέτα με ρελέ

Κάθε ένα από αυτά τα ρελέ μπορεί να ελέγξει φορτίο συνεχούς ρεύματος έως και 10A και τάσης έως και 30V μέσω τάσης 5V και ρεύματος 70mA. Παρόλο που το ρεύμα των 70mA είναι μεγαλύτερο από αυτό των ψηφιακών ακροδεκτών εισόδου/εξόδου του arduino (20mA continuous current και 40mA max current), λόγω του τρανζίστορ με το οποίο είναι συνδεδεμένος κάθε ακροδέκτης signal της πλακέτας η ενεργοποίηση και η απενεργοποίηση του κάθε ρελέ επιτυγχάνεται με την σύνδεση των ψηφιακών ακροδεκτών εισόδου/εξόδου του arduino με τους ακροδέκτες signal και με την εναλλαγή της κατάστασης των τρανζίστορ από την κατάσταση on στην κατάσταση off και το αντίστροφο μέσω των σημάτων που διοχετεύονται σε αυτούς. Εκτός από φορτίο συνεχούς ρεύματος στους ακροδέκτες του κάθε ρελέ μπορεί να συνδεθεί και φορτίο εναλλασσόμενου ρεύματος μέγιστης έντασης επίσης 10A. Η πλακέτα που φαίνεται στην Εικόνα 21 εκτός από τα ρελέ και τα τρανζίστορ διαθέτει επίσης και οπτοζεύκτες (optocouplers) προσφέροντας ηλεκτρική απομόνωση μεταξύ των κυκλωμάτων χαμηλής τάσης που στην προκειμένη περίπτωση είναι οι ακροδέκτες του arduino και των κυκλωμάτων υψηλής τάσης που στην προκειμένη περίπτωση είναι το κύκλωμα της αντλίας, το κύκλωμα του ανεμιστήρα, το κύκλωμα της λάμπας και το κύκλωμα της βατικής αντίστασης. Σε κάθε ένα από τα ρελέ της πλακέτας αντιστοιχούν έξι ακροδέκτες από τους οποίους οι δυο είναι κοινοί και για τα τέσσερα ρελέ και έτσι οι συνολικοί ακροδέκτες της πλακέτας είναι 18. Οι έξι ακροδέκτες του κάθε ρελέ είναι ο ακροδέκτης NO, ο ακροδέκτης NC, ο ακροδέκτης C, ο ακροδέκτης VCC, ο ακροδέκτης GND και ο ακροδέκτης IN. Ο ακροδέκτης NO αντιστοιχεί στην normally open επαφή του ρελέ, ο ακροδέκτης NC αντιστοιχεί στην normally closed επαφή του ρελέ, ο ακροδέκτης C αντιστοιχεί στην common επαφή του ρελέ, ο ακροδέκτης VCC αντιστοιχεί στο ένα άκρο του πηνίου του ρελέ και αυτός ο ακροδέκτης συνδέεται στο θετικό άκρο της τάσης τροφοδοσίας, ο ακροδέκτης IN αντιστοιχεί στον ακροδέκτη signal του ρελέ και αυτός ο ακροδέκτης συνδέεται σε μια ψηφιακή θύρα του arduino και τέλος ο ακροδέκτης GND αντιστοιχεί στο άλλο άκρο του πηνίου του ρελέ και αυτός ο ακροδέκτης συνδέεται στην γείωση. Το κάθε φορτίο που ελέγχεται με το ρελέ συνδέεται είτε μεταξύ της NO και της C επαφής είτε μεταξύ της NC και της C επαφής. Η επιλογή της συνδεσμολογίας του φορτίου με τους ακροδέκτες υψηλής τάσης του ρελέ για την εκάστοτε εφαρμογή πραγματοποιείται κάθε φορά ανάλογα με την επιθυμητή συμπεριφορά του φορτίου αμέσως μετά από την ενεργοποίηση του ρελέ με το οποίο είναι συνδεδεμένο. Δηλαδή αν με την ενεργοποίηση του ρελέ η εφαρμογή απαιτεί και την ενεργοποίηση του φορτίου ή με άλλα λόγια την δημιουργία βραχυκυκλώματος μεταξύ των ακροδεκτών του ρελέ στους οποίους συνδέεται το φορτίο τότε οι ακροδέκτες του ρελέ με

τους οποίους πρέπει να συνδεθεί το φορτίο είναι ο ακροδέκτης NO και ο ακροδέκτης C του ρελέ. Αν από την άλλη με την ενεργοποίηση του ρελέ η εφαρμογή απαιτεί την απενεργοποίηση του φορτίου ή με άλλα λόγια την δημιουργία ανοιχτοκυκλώματος μεταξύ των ακροδεκτών του ρελέ στους οποίους συνδέεται το φορτίο τότε οι ακροδέκτες του ρελέ με τους οποίους πρέπει να συνδεθεί το φορτίο είναι ο ακροδέκτης NC και ο ακροδέκτης C του ρελέ. Τα ρελέ που χρησιμοποιήθηκαν στο θερμοκήπιο ενεργοποιούνται με σήμα LOW και απενεργοποιούνται με σήμα HIGH είναι δηλαδή αρνητικής λογικής (active low). Αυτό πρακτικά σημαίνει πως αν στον ακροδέκτη IN ενός ρελέ εφαρμοστεί σήμα LOW το ρελέ θα ενεργοποιηθεί ενώ αν στον ίδιο ακροδέκτη εφαρμοστεί σήμα HIGH το ρελέ θα απενεργοποιηθεί. Από αυτό προκύπτει και το συμπέρασμα πως το τρανζίστορ που συνδέεται στο κάθε ρελέ είναι τρανζίστορ τύπου PNP.

Όπως γίνεται αντιληπτό πολλές από τις μονάδες του θερμοκηπίου που αναφέρθηκαν παραπάνω χρησιμοποιούν τις ψηφιακές θύρες του arduino και έτσι ο ελεγκτής arduino του θερμοκηπίου πρέπει να είναι ένας ελεγκτής με πολλούς ψηφιακούς ακροδέκτες εισόδου/εξόδου, συγκεκριμένα 15 τέτοιους ακροδέκτες, και με αρκετή μνήμη. Έτσι χρησιμοποιήθηκε ο arduino mega 2560 rev3 και συγκεκριμένα ο κλώνος του που φαίνεται στην Εικόνα 22.



**Εικόνα 22:** Arduino mega 2560 rev3

Το arduino mega 2560 rev3 είναι η μεγαλύτερη πλακέτα της οικογένειας arduino αλλά και η πιο ισχυρή από πλευράς δυνατοτήτων μιας και διαθέτει των υψηλής απόδοσης και μικρής κατανάλωσης μικροελεγκτή των 8 bit ATmega2560. Τα χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης πλακέτας φαίνονται στην Εικόνα 23.

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Length	101.52 mm
Width	53.3 mm
Weight	37 g

**Εικόνα 23:** Χαρακτηριστικά του arduino mega 2560 rev3

Όσον αφορά την τροφοδοσία του θερμοκηπίου χρησιμοποιήθηκε ένα τροφοδοτικό μέγιστης ισχύος των 100W. Η επιλογή του τροφοδοτικού έγινε με βάση την τάση αλλά και με βάση το συνολικό ρεύμα που απαιτεί το θερμοκήπιο ώστε να λειτουργεί σωστά. Έτσι αθροίζοντας το μέγιστο ρεύμα της αντλίας, το μέγιστο ρεύμα του σερβοκινητήρα, το μέγιστο ρεύμα του ανεμιστήρα, το ρεύμα της λάμπας, το ρεύμα της βατικής αντίστασης και το ρεύμα του arduino και των υπόλοιπων εξαρτημάτων προκύπτει το μέγιστο συνολικό ρεύμα του θερμοκηπίου που φαίνεται παρακάτω.

$$I_{\max} = (2 \cdot 0,42A) + (2 \cdot 0,05A) + (2 \cdot 0,73A) + 0,333A + 3,9A + 1A = 7,6A$$

Τα γινόμενα στον υπολογισμό του μέγιστου συνολικού ρεύματος είναι κυρίως για λόγους ασφάλειας αφού τα ρεύματα τα οποία πολλαπλασιάζονται με το

δύο αντιστοιχούν σε επαγωγικά φορτία (σε κινητήρες). Με βάση λοιπόν το αποτέλεσμα του παραπάνω αθροίσματος γίνεται φανερό πως το τροφοδοτικό των 100W, τάσης 12V και ρεύματος 8,3A μπορεί να «δώσει» παραπάνω ρεύμα από όσο χρειάζεται το θερμοκήπιο και έτσι πληροί τις απαιτήσεις του. Το τροφοδοτικό φαίνεται στην Εικόνα 24.



**Εικόνα 24:** Τροφοδοτικό 100W

Το συγκεκριμένο τροφοδοτικό διαθέτει επτά κλέμες από τις οποίες οι τρεις αφορούν την είσοδο και οι άλλες τέσσερις τις δύο εξόδους που διαθέτει το τροφοδοτικό. Η είσοδος του τροφοδοτικού συνδέεται στο δίκτυο και οι εξόδοι στα συστήματα του θερμοκηπίου που τροφοδοτούνται με τάση 12V.

Κάποια από αυτά τα συστήματα είναι και οι δύο μετατροπείς τάσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την μετατροπή των 12V σε 5V αλλά και για την μετατροπή των 12V σε 9V που χρειάζεται ο σερβοκινητήρας και ο ελεγκτής arduino αντίστοιχα για να μπορέσουν να λειτουργήσουν. Ο μετατροπέας τάσης που χρησιμοποιήθηκε στο θερμοκήπιο είναι αυτός που φαίνεται στην Εικόνα 25.



**Εικόνα 25:** Μετατροπέας τάσης

Κάθε ένας τέτοιος μετατροπέας στηρίζεται στο ολοκληρωμένο LM317T που πρόκειται στην ουσία για έναν μεταβλητό σταθεροποιητή τάσης. Η πλακέτα της Εικόνας 25 δέχεται στην είσοδό της μια τάση από 4,2V έως και 40V και μετατρέπει την τάση αυτήν σε τάση στην έξοδό της μικρότερη από αυτήν της εισόδου και στο εύρος από 1,2V έως και 37V. Η ρύθμιση της τάσης εξόδου επιτυγχάνεται από το trimmer δηλαδή από την μεταβλητή αντίσταση που βρίσκεται ενσωματωμένη στην πλακέτα.



## Κεφάλαιο 2.3: Εργαλεία για την κατασκευή του θερμοκηπίου

Τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του θερμοκηπίου μπορούν να χωριστούν σε εκείνα που λειτουργούν με ρεύμα και σε εκείνα που λειτουργούν χωρίς ρεύμα.

Στην πρώτη κατηγορία ανήκει το κολλητήρι που χρησιμοποιήθηκε για την επέκταση του μήκους των καλωδίων συνδέοντας καλώδια μεταξύ τους αλλά και για την σύνδεση της πινοσειράς στην πλακέτα της οθόνης LCD. Το κολλητήρι χρησιμοποιήθηκε επίσης και για την σύνδεση της βατικής αντίστασης με τα καλώδια σιλικόνης συνολικής διατομής 16AWG. Ένα άλλο ηλεκτρικό εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε είναι το ηλεκτρικό περιστροφικό πολυεργαλείο μάρκας dremel. Το συγκεκριμένο εργαλείο χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία οπών στον σκελετό και στην βάση του θερμοκηπίου ώστε πάνω σε αυτά να μπορέσουν να βιδωθούν οι γωνίες που χρησιμοποιήθηκαν στο θερμοκήπιο. Επίσης το εργαλείο αυτό χρησιμοποιήθηκε και για την στερέωση της βάσης του αισθητήρα υπερήχων πάνω στο χείλος του δοχείου στο οποίο αποθηκεύεται το νερό ποτίσματος. Ένα επιπλέον εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε και μοιάζει με το πολυεργαλείο dremel είναι το ηλεκτρικό κρουστικό δράπανο που χρησιμοποιήθηκε μαζί με ένα ποτηροτρύπανο για το άνοιγμα της τρύπας των δυο ξύλων MDF πάνω στα οποία κολλήθηκε ο ανεμιστήρας. Έτσι χρησιμοποιήθηκε και ένα ηλεκτρικό πιστόλι σιλικόνης για την κόλληση του ανεμιστήρα πάνω σε αυτά τα ξύλα αλλά και για την κόλληση κάποιων καλωδίων πάνω στην σκεπή του θερμοκηπίου. Το εργαλείο αυτό χρησιμοποιήθηκε επίσης και για την δημιουργία της «γλώσσας» του φύλλου του παραθύρου πάνω στην οποία κολλήθηκε ο πλαστικός σύνδεσμος ο οποίος συνδέεται με τον άξονα του σερβοκινητήρα. Τέλος χρησιμοποιήθηκε και ένα πολύμετρο για την ρύθμιση των μετατροπών τάσης αλλά και για τον έλεγχο της σωστής λειτουργίας των υπόλοιπων συστημάτων του θερμοκηπίου.

Στην δεύτερη κατηγορία εργαλείων δηλαδή στην κατηγορία των εργαλείων που δεν λειτουργούν με ηλεκτρικό ρεύμα και χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του θερμοκηπίου ανήκουν οι σφιγκτήρες (ένας μεγάλος, ένας μικρός και ένας γωνιακός), ο απογυμνωτής καλωδίων, τα κατσαβίδια, το κοπίδι, το κοφτάκι, η σέγα και το καρπωτικό χειρός. Οι σφιγκτήρες όπως είναι προφανές χρησιμοποιήθηκαν για την ένωση των ξύλων του σκελετού του θερμοκηπίου ενώ ο απογυμνωτής καλωδίων και το κοφτάκι χρησιμοποιήθηκαν για την ένωση διαφορετικών καλωδίων μεταξύ τους. Το κοπίδι χρησιμοποιήθηκε για την κοπή της ζελατίνας σε μικρά κομμάτια τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην συνέχεια ως κάλυμμα του θερμοκηπίου αλλά και για την κοπή του χαρτονιού που χρησιμοποιήθηκε ως φύλλο του παραθύρου. Η σέγα χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία του ανοίγματος του παραθύρου δηλαδή για την δημιουργία της εσωτερικής τρύπας στο ξύλο MDF που τοποθετήθηκε εσωτερικά του θερμοκηπίου και πάνω στο οποίο κολλήθηκε ο σερβοκινητήρας. Τέλος το καρπωτικό χειρός χρησιμοποιήθηκε για τον ίδιο λόγο που χρησιμοποιήθηκαν και οι γωνίες δηλαδή για την ενίσχυση της δομής του θερμοκηπίου.

## Κεφάλαιο 2.4: Κόστος των εξαρτημάτων του θερμοκηπίου

Τα μηχανολογικά εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του θερμοκηπίου μπορούν να συγκεντρωθούν στον Πίνακα 1.

Α/Π	Προϊόν	Τιμή Ανά Τεμάχιο (€)	Πλήθος Τεμαχίων	Συνολικό Κόστος Τεμαχίων (€)
1	καδρόνια ξύλου	3,29	4	13,16
2	διαφανής ζελατίνα PVC	15	1	15
3	ξύλο κόντρα πλακέ	11,74	1	11,74
4	ξύλο MDF	2,99	1	2,99
5	δοχείο νερού 3,7L	1,99	1	1,99
6	αλφαδολάστιχο	0,9	1	0,9
7	σταλάκτες σταθερής ροής	6	1	6
8	χρτις χρατς θηλυκό	6,37	1	6,37
9	χρτις χρατς αρσενικό	6,37	1	6,37
10	γωνίες	0,2	8	1,6
11	ξυλόβιδες	0,59	1	0,59
12	δεματικά	0,99	1	0,99
13	τάπα	0,5	1	0,5
14	βάση αισθητήρα υπερήχων	0,6	1	0,6
15	παντοκολλητής	7	1	7
16	κόλλα στιγμής	4,5	1	4,5
17	ξυλόκολα	2,39	1	2,39
18	ταινίας διπλής όψης	10,5	1	10,5

**Πίνακας 1:** Κόστος μηχανολογικών εξαρτημάτων

Στον Πίνακα 1 εκτός από τα εξαρτήματα αναφέρεται και η τιμή του κάθε υλικού ανά τεμάχιο αλλά και πόσα τεμάχια από το κάθε υλικό χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του θερμοκηπίου. Από τα στοιχεία αυτά προκύπτει η τελευταία στήλη του Πίνακα 1 δηλαδή το τελικό κόστος που δαπανήθηκε για το κάθε υλικό. Από το άθροισμα των στοιχείων αυτής της στήλης προκύπτει το συνολικό κόστος των μηχανολογικών εξαρτημάτων. Το κόστος αυτό ανέρχεται στα 93 ευρώ. Ένας παρόμοιος πίνακας αλλά για την περίπτωση των ηλεκτρονικών-ηλεκτρολογικών εξαρτημάτων που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του θερμοκηπίου είναι ο Πίνακας 2.

A/Π	Προϊόν	Τιμή Ανά Τεμάχιο (€)	Πλήθος Τεμαχίων	Συνολικό Κόστος (€)
1	αισθητήρας υγρασίας χώματος	2,2	1	2,2
2	αντλία με κολάρο	7,12	1	7,12
3	αισθητήρας DHT11*	2,4	1	2,4
4	ανεμιστήρας	4,8	1	4,8
5	βατική αντίσταση	4,3	1	4,3
6	σερβοκινητήρας*	3,22	1	3,22
7	φωτοαντίσταση*	0,2	1	0,2
8	λάμπα LED	5,16	1	5,16
9	ντουί	0,48	1	0,48
10	αισθητήρας HC-SR04*	2,5	1	2,5
11	αισθητήρας Ys-17*	0,2	1	0,2
12	buzzer*	0,65	1	0,65
13	οθόνη LCD*	3,2	1	3,2
14	ποτενσιόμετρο 10KOhm*	0,5	1	0,5
15	κιτ καλωδίων	19,9	1	19,9
16	καλώδιο 16AWG μαύρο	0,8	1	0,8
17	καλώδιο 16AWG κόκκινο	0,8	1	0,8
18	jumper wires 20cm*	3,6	1	3,6
19	jumper wires 30cm	2,2	1	2,2
20	καλώδιο τροφοδοσίας 220V	3,6	1	3,6
21	momentary tact switches*	0,2	3	0,6
22	breadboard*	4,2	1	4,2
23	πλακέτα με relays	5,9	1	5,9
24	arduino mega 2560 rev3	29,9	1	29,9
25	τροφοδοτικό 100W	11,5	1	11,5
26	μετατροπέας τάσης	2,2	2	4,4
27	αντιστάσεις 1KOhm 1/4W*	0,02	1	0,02
28	αντιστάσεις 220Ohm 1/4W*	0,02	1	0,02
29	αντιστάσεις 100Ohm 1/4W*	0,02	1	0,02
30	πινοσειρά*	0,96	1	0,96

## Πίνακας 2: Κόστος ηλεκτρονικών-ηλεκτρολογικών εξαρτημάτων

Αθροίζοντας τα στοιχεία της τελευταίας στήλης του Πίνακα 2 προκύπτει το συνολικό κόστος των ηλεκτρονικών-ηλεκτρολογικών εξαρτημάτων που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του θερμοκηπίου. Το κόστος αυτό ανέρχεται στα 125 ευρώ. Επομένως το συνολικό κόστος της κατασκευής ανέρχεται στα 218 ευρώ.

Το ποσό αυτό βέβαια ισχύει στην περίπτωση που πραγματοποιείται η αγορά όλων των παραπάνω εξαρτημάτων και όχι κάποιων από αυτών όπως έγινε για την κατασκευή του θερμοκηπίου της συγκεκριμένης εργασίας μιας και πολλά από αυτά τα είχαμε ήδη στην κατοχή μας. Αυτά τα εξαρτήματα είναι σημειωμένα στους δυο παραπάνω Πίνακες με αστερίσκο. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί πως το ένα τεμάχιο κάποιων από των παραπάνω εξαρτημάτων δεν αντιστοιχεί και σε μια ποσότητα από αυτό το υλικό αλλά σε πολλές όπως για παράδειγμα γίνεται με τις αντιστάσεις ισχύος 1/4W όπου το ένα τεμάχιο αντιστάσεων αντιστοιχεί σε 10 αντιστάσεις που είναι και η ελάχιστη ποσότητα. Στα παραπάνω εξαρτήματα συμπεριλαμβάνεται και το φυτό του θερμοκηπίου το οποίο και επιλέχθηκε να είναι ένα πελαγόφι. Το πελαγόφι πρόκειται για ένα καλλωπιστικό φυτό το οποίο δεν παθαίνει ζημιά όταν το νερό ποτίσματος πέφτει πάνω στα φύλλα του.

## Ενότητα 3: Κατασκευή του έξυπνου θερμοκηπίου

### Κεφάλαιο 3.1: Πορεία κατασκευής του θερμοκηπίου

Για την κατασκευή του θερμοκηπίου σχεδιάστηκε αρχικά ένα προσχέδιο του σκελετού του θερμοκηπίου μαζί με τις διαστάσεις αλλά και τα εξαρτήματα με τα οποία αυτός θα κατασκευαζόταν. Στην συνέχεια σύμφωνα με το προσχέδιο αγοράστηκαν τα τέσσερα καδρόνια ξύλου και τα ξύλα αυτά κόπηκαν κάθετα σε 17 κομμάτια. Από αυτά τα 17 κομμάτια τα τέσσερα χρησιμοποιήθηκαν στις πλευρές με το μεγάλο μήκος, τα οκτώ στις πλευρές με το μικρό μήκος και τα πέντε στην σκεπή του θερμοκηπίου. Μετά το κόψιμο των ξύλων τα 17 κομμάτια ξύλου κολλήθηκαν μεταξύ τους χρησιμοποιώντας την ξυλόκολλα και τους σφιγκτήρες. Μόλις η δομή σταθεροποιήθηκε χρησιμοποιήθηκε το καρφωτικό χειρός για την περαιτέρω ενίσχυσή της.

Αφού δημιουργήθηκε ο σκελετός του θερμοκηπίου αγοράστηκε η διαφανής ζελατίνα μαλακού PVC και αυτή κόπηκε σε έξι κομμάτια χρησιμοποιώντας το κοπίδι. Στην συνέχεια κάποια από αυτά τα κομμάτια κολλήθηκαν κατευθείαν πάνω στον σκελετό του θερμοκηπίου χρησιμοποιώντας τον παντοκολλητή ενώ τα υπόλοιπα κόπηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να αποσπώνται από τον σκελετό του θερμοκηπίου μέσω των χριτς χρατς. Αναλυτικά τα δυο από τα έξι κομμάτια PVC κολλήθηκαν πάνω στις δυο πλευρές του θερμοκηπίου με το μεγάλο μήκος καλύπτοντας την επιφάνεια που ορίζεται από το κάτω ξύλο της κάθε πλευράς μέχρι και το ξύλο που ενώνει τα δυο τρίγωνα της σκεπής του θερμοκηπίου και από τα τέσσερα κομμάτια PVC που παρέμειναν τα δυο κολλήθηκαν στις εκατέρωθεν πλευρές με το μικρό μήκος και συγκεκριμένα στο τμήμα των πλευρών αυτών με σχήμα τριγώνου. Τα δυο τελευταία κομμάτια PVC όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως δεν κολλήθηκαν κατευθείαν πάνω στις ακάλυπτες πλευρές του θερμοκηπίου αλλά χρησιμοποιήθηκε η ταινία στερέωσης χριτς χρατς για να μπορούν να αποσπώνται από τον σκελετό του θερμοκηπίου. Μόλις τα τέσσερα από τα έξι κομμάτια PVC κόλλησαν καλά πάνω στον σκελετό του θερμοκηπίου χρησιμοποιήθηκε το καρφωτικό χειρός που χρησιμοποιήθηκε και στην κατασκευή του ίδιου του σκελετού του θερμοκηπίου προκειμένου τα κομμάτια PVC να στερεωθούν ακόμα καλύτερα πάνω σε αυτόν.

Στο στάδιο αυτό η σύνδεση της σκεπής με το υπόλοιπο τμήμα του σκελετού του θερμοκηπίου ενισχύθηκε με την τοποθέτηση των τεσσάρων γωνιών από τις οκτώ που χρησιμοποιήθηκαν συνολικά. Έτσι οι τέσσερις γωνίες βιδώθηκαν με την βοήθεια του dremel και του σταυροκατσάβιδου πάνω στα καδρόνια ξύλου. Για την εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκαν και τέσσερις ξυλόβιδες.

Η κατασκευή συνεχίστηκε με την προετοιμασία της τοποθέτησης του ανεμιστήρα και με την προετοιμασία της κατασκευής του παραθύρου. Αφού αγοράστηκε ο ανεμιστήρας αλλά και το ξύλο MDF διαστάσεων 3mm x 35cm x 50cm πάνω στο οποίο θα στερεωνόταν ο ανεμιστήρας, με την χρήση της σέγας από το ξύλο αυτό κόπηκαν τα δυο κομμάτια που αναφέρθηκαν σε προηγούμενο Κεφάλαιο και με το ηλεκτρικό κρουστικό δράπανο εφοδιασμένο με το ποτηροτρύπανο δημιουργήθηκε μια τρύπα στο κέντρο αυτών των δυο κομματιών με διάμετρο ίση με την διάμετρο του ανεμιστήρα. Στην συνέχεια μια ίδια τρύπα δημιουργήθηκε και στο κάλυμμα του θερμοκηπίου και τα δυο κομμάτια ξύλου MDF κολλήθηκαν με τον παντοκολλητή το ένα πάνω στο άλλο

με το κάλυμμα του θερμοκηπίου να βρίσκεται ανάμεσα σε αυτά. Στην συνέχεια με το ηλεκτρικό πιστόλι σιλικόνης κολλήθηκε ο ανεμιστήρας πάνω στο ξύλο που τοποθετήθηκε εξωτερικά του θερμοκηπίου.

Για την δημιουργία του παραθύρου ακολουθήθηκε μια παρόμοια πορεία με την διαφορά ότι για την δημιουργία του παραθύρου δεν χρησιμοποιήθηκαν δυο κομμάτια ξύλου MDF όπως έγινε στην τοποθέτηση του ανεμιστήρα αλλά ένα. Συγκεκριμένα από το ξύλο MDF που αγοράστηκε κόπηκε ένα τρίτο κομμάτι με διαστάσεις αυτές που αναφέρονται σε προηγούμενο Κεφάλαιο και με την βοήθεια της σέγας δημιουργήθηκε το άνοιγμα του παραθύρου. Στην συνέχεια ένα λίγο μεγαλύτερο άνοιγμα δημιουργήθηκε και στο κομμάτι PVC που είχε προηγουμένως κολληθεί πάνω στον σκελετό του θερμοκηπίου. Με την χρήση του παντοκολλητή το κομμάτι ξύλου MDF τοποθετήθηκε εσωτερικά του θερμοκηπίου και πάνω σε εκείνο το κομμάτι PVC στο οποίο προηγουμένως είχε δημιουργηθεί το άνοιγμα. Μόλις η κόλλα στερεοποιήθηκε πάνω στο ξύλο MDF και εξωτερικά του θερμοκηπίου τοποθετήθηκε ο σερβοκινητήρας χρησιμοποιώντας αυτήν την φορά κόλλα στιγμής. Η κατασκευή του παραθύρου ολοκληρώθηκε με την δημιουργία του φύλλου του παραθύρου μιας και το πλαίσιο είχε ολοκληρωθεί. Έτσι με το κοπίδι κόπηκε το κομμάτι από το χάρτινο κουτί παπουτσιών που χρησιμοποιήθηκε για φύλλο του παραθύρου και με το ηλεκτρικό πιστόλι σιλικόνης δημιουργήθηκε η «γλώσσα» πάνω στην οποία τοποθετήθηκε με την κόλλα στιγμής ο πλαστικός σύνδεσμος που ενώνεται με τον άξονα του σερβοκινητήρα.

Η κατασκευή συνεχίστηκε με την τοποθέτηση της λάμπας και της βατικής αντίστασης πάνω στην σκεπή του θερμοκηπίου. Βέβαια πριν από την τοποθέτηση αυτών των στοιχείων πάνω στην σκεπή του θερμοκηπίου προηγήθηκε η επέκταση του μήκους των καλωδίων του ντουί της λάμπας αλλά και η σύνδεση των καλωδίων σιλικόνης συνολικής διατομής 16AWG στα άκρα της βατικής αντίστασης. Μετά την πραγματοποίηση αυτών των ενεργειών η βατική αντίσταση αλλά και η λάμπα κρεμάστηκαν από την σκεπή του θερμοκηπίου χρησιμοποιώντας το ηλεκτρικό πιστόλι σιλικόνης. Με την ίδια λογική στερεώθηκε και η φωτοαντίσταση πάνω στην σκεπή του θερμοκηπίου.

Οι ενέργειες που ακολούθησαν ήταν η αγορά του δοχείου των 3,7L και η αγορά των υπόλοιπων ηλεκτρονικών-ηλεκτρολογικών εξαρτημάτων. Με βάση αυτά τα εξαρτήματα σχεδιάστηκε ένα προσχέδιο για την βάση του θερμοκηπίου μαζί με τις διαστάσεις αλλά και το υλικό κατασκευής της. Το προσχέδιο αυτό σχεδιάστηκε αρκετά πιο εύκολα σε σχέση με το πρώτο προσχέδιο μιας και η απλή τοποθέτηση των ηλεκτρονικών-ηλεκτρολογικών εξαρτημάτων αλλά και του δοχείου πάνω σε ένα τραπέζι μαζί με την υπόλοιπη κατασκευή ήταν αρκετή έτσι ώστε να προσδιοριστεί το πλάτος και το μήκος του ξύλου που χρησιμοποιήθηκε ως βάση στο θερμοκήπιο. Όσον αφορά το πάχος αλλά και το υλικό αυτού του ξύλου επιλέχθηκε το ξύλο κόντρα πλακέ πάχους 1,5cm λόγω της ανθεκτικότητας σε τάσεις και σε καιρικές συνθήκες όπως η βροχή. Σύμφωνα λοιπόν με το προσχέδιο της βάσης του θερμοκηπίου αγοράστηκε το συγκεκριμένο ξύλο και στην συνέχεια πάνω σε αυτό τοποθετήθηκε ο σκελετός του θερμοκηπίου. Για την εργασία αυτήν χρησιμοποιήθηκε η ξυλόκολλα που χρησιμοποιήθηκε και για την σύνδεση των ξύλων του σκελετού του θερμοκηπίου μεταξύ τους. Στο στάδιο αυτό τοποθετήθηκαν και οι υπόλοιπες γωνίες για την καλύτερη ένωση του σκελετού του θερμοκηπίου με την βάση του. Σειρά είχε η τοποθέτηση των υπόλοιπων

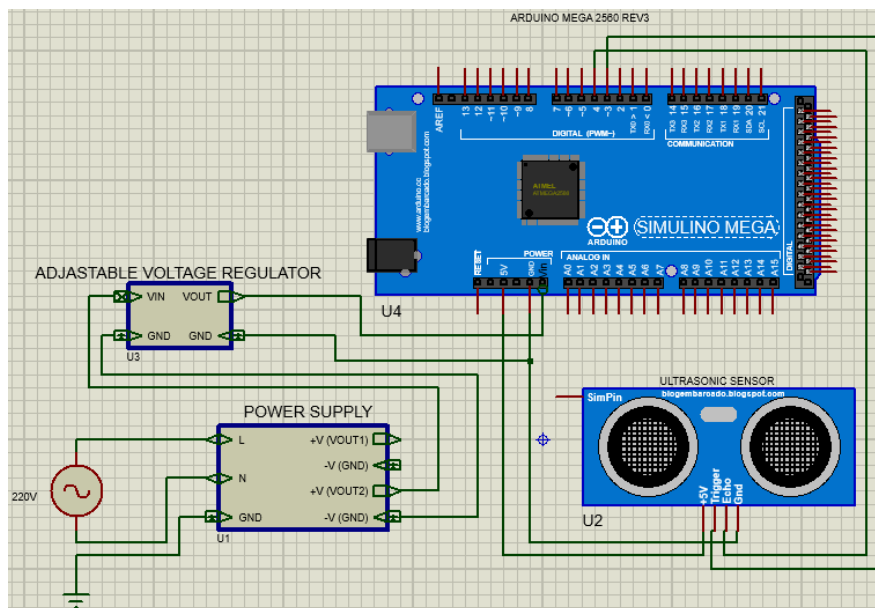
ηλεκτρονικών-ηλεκτρολογικών εξαρτημάτων στην βάση του θερμοκηπίου. Τα εξαρτήματα αυτά τοποθετήθηκαν με την κολλητική ταινία διπλής όψης. Ακολούθησαν η τοποθέτηση του δοχείου αποθήκευσης του νερού στην βάση του θερμοκηπίου και η τοποθέτηση της αντλίας μέσα σε αυτό. Για την τοποθέτηση και των δυο αυτών εξαρτημάτων χρησιμοποιήθηκε το dremel και το σταυροκατσάβιδο. Έτσι χρησιμοποιώντας το dremel δημιουργήθηκαν αρχικά δυο μικρές τρύπες στην βάση του θερμοκηπίου αλλά και στο πάτο του δοχείου των 3,7L και στην συνέχεια το δοχείο νερού καθώς και το κολάρο που συγκρατεί την αντλία βιδώθηκαν πάνω στο ξύλο κόντρα πλακέ με δυο ξυλόβιδες.

Η τροποποίηση του δοχείου συνεχίστηκε με το «φάγωμα» του χείλους του δοχείου χρησιμοποιώντας το dremel έτσι ώστε να μπορέσει η βάση του αισθητήρα υπερήχων να βιδωθεί με τις δυο βίδες και τα δυο παξιμάδια πάνω σε αυτό. Το σύστημα ποτίσματος ολοκληρώθηκε με την τοποθέτηση του αλφαδολάστιχου στην σκεπή του θερμοκηπίου μέσω των τριών δεματικών και τέλος με την τοποθέτηση των δυο σταλαχτών σταθερής ροής και της τάπας. Η κατασκευή του θερμοκηπίου ολοκληρώθηκε με την τοποθέτηση των χριτς χρατς πάνω στον σκελετό του θερμοκηπίου και στα υπόλοιπα κομμάτια PVC και με την σύνδεση των ηλεκτρονικών-ηλεκτρολογικών εξαρτημάτων μεταξύ τους περνώντας τα καλώδια αυτών των συνδέσεων μέσα από τα μαύρα σπιράλ που αγοράστηκαν για αυτόν τον σκοπό.

### **Κεφάλαιο 3.2: Συνδεσμολογία των ηλεκτρονικών-ηλεκτρολογικών εξαρτημάτων του θερμοκηπίου**

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο Κεφάλαιο ένα από τα τελευταία στάδια της κατασκευής του θερμοκηπίου ήταν και η σύνδεση των ηλεκτρονικών-ηλεκτρολογικών εξαρτημάτων μεταξύ τους. Στις συνδέσεις αυτές συμπεριλαμβάνονται οι συνδέσεις των αισθητήρων με το arduino, οι συνδέσεις των ρελέ με τα φορτία (λάμπα, ανεμιστήρας, βατική αντίσταση και αντλία) και με το arduino, η σύνδεση του σερβοκινητήρα με το arduino, η σύνδεση του βομβητή με το arduino και η σύνδεση της οθόνης LCD και των κουμπιών με το arduino.

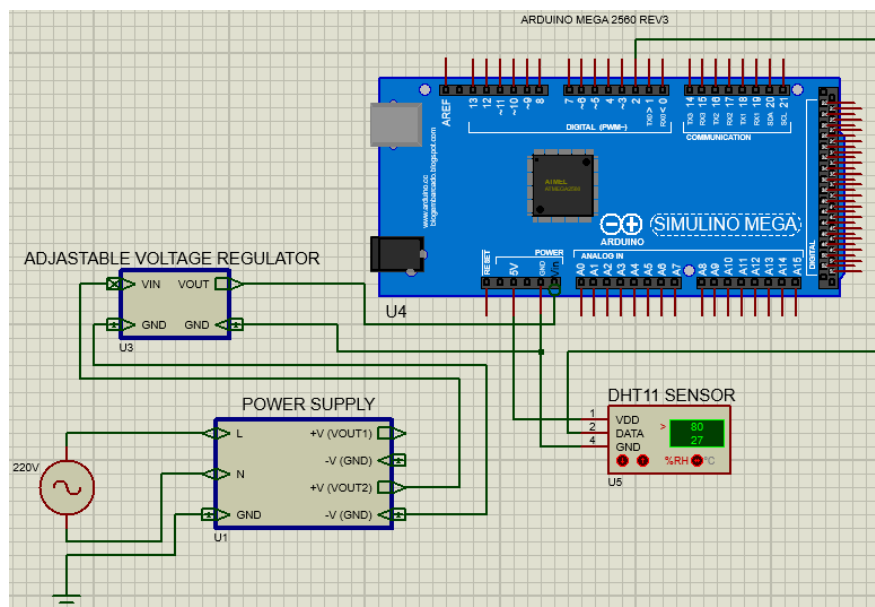
Η συνδεσμολογία του αισθητήρα υπερήχων με το arduino φαίνεται στην Εικόνα 26.



**Εικόνα 26:** Συνδεσμολογία του arduino με τον αισθητήρα υπερήχων

Όπως φαίνεται και από την Εικόνα 26 ο ακροδέκτης Echo του αισθητήρα υπερήχων συνδέθηκε στην ψηφιακή θύρα 4 του arduino ενώ ο ακροδέκτης Trig στην ψηφιακή θύρα 3 του arduino. Το arduino τροφοδοτήθηκε με τάση 9V μέσω του μετατροπέα τάσης και αυτός με την σειρά του με τάση 12V μέσω του τροφοδοτικού. Τέλος ο αισθητήρας υπερήχων τροφοδοτήθηκε με τάση 5V μέσω του arduino.

Η συνδεσμολογία του αισθητήρα θερμοκρασίας και υγρασίας με το arduino φαίνεται στην Εικόνα 27.

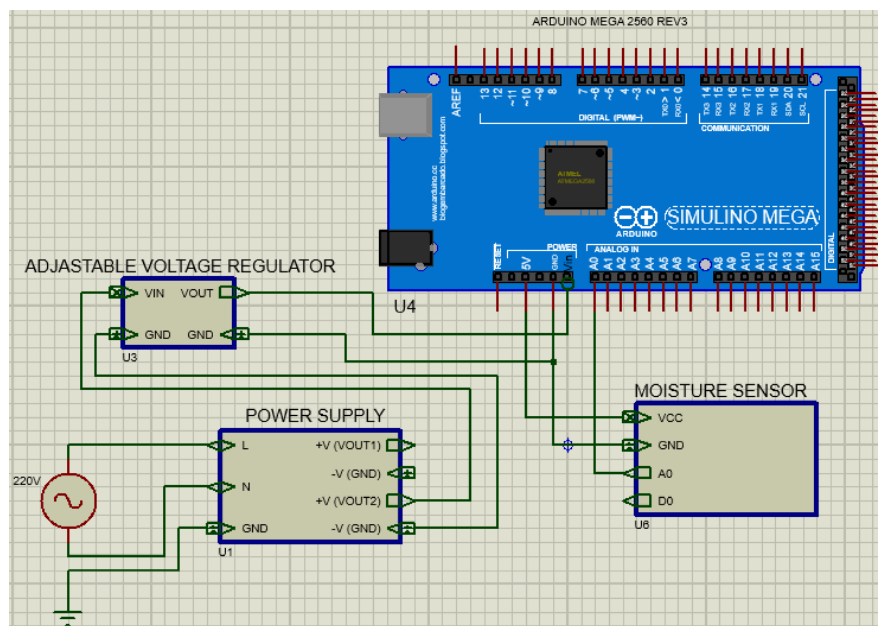


**Εικόνα 27:** Συνδεσμολογία του arduino με τον αισθητήρα θερμοκρασίας και υγρασίας



Όπως φαίνεται και από την Εικόνα 27 η ψηφιακή έξοδος του αισθητήρα DHT11 συνδέθηκε στην ψηφιακή θύρα 2 του arduino. Όπως και στην περίπτωση του αισθητήρα υπερήχων έτσι και εδώ το arduino τροφοδοτήθηκε με τάση 9V μέσω του U3 (μετατροπέας τάσης) και το U3 με τάση 12V μέσω του U1 (τροφοδοτικό πρίζας). Ο αισθητήρας DHT11 τροφοδοτήθηκε με τάση 5V μέσω του arduino.

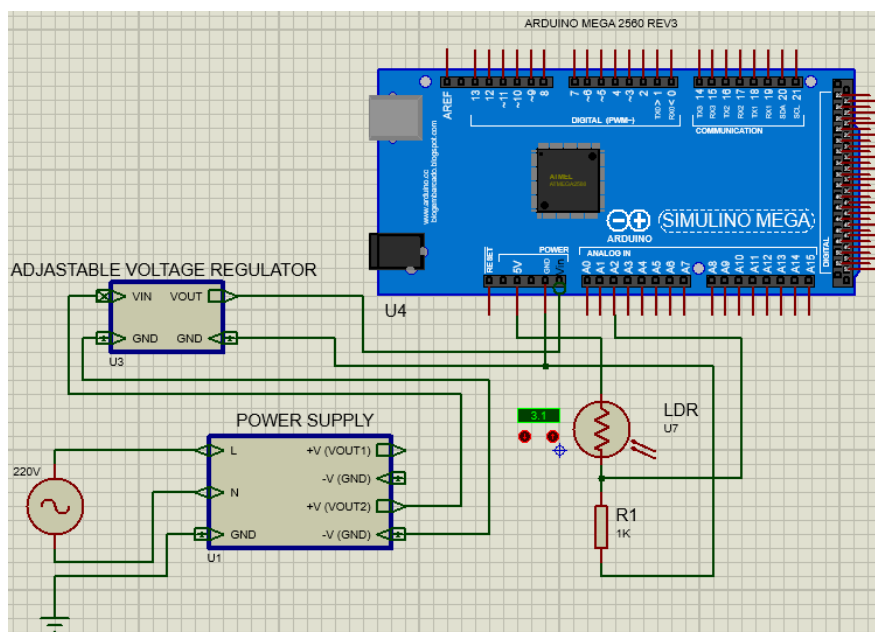
Η συνδεσμολογία του αισθητήρα υγρασίας χώματος με το arduino φαίνεται στην Εικόνα 28.



**Εικόνα 28:** Συνδεσμολογία του arduino με τον αισθητήρα υγρασίας χώματος

Όπως φαίνεται και από την Εικόνα 28 η αναλογική έξοδος του αισθητήρα υγρασίας χώματος συνδέθηκε στην αναλογική θύρα A0 του arduino. Όπως και στις προηγούμενες δυο περιπτώσεις έτσι και εδώ το arduino τροφοδοτήθηκε με τάση 9V μέσω του U3 και το U3 με τάση 12V μέσω του U1. Ο αισθητήρας υγρασίας χώματος τροφοδοτήθηκε με τάση 5V μέσω του arduino.

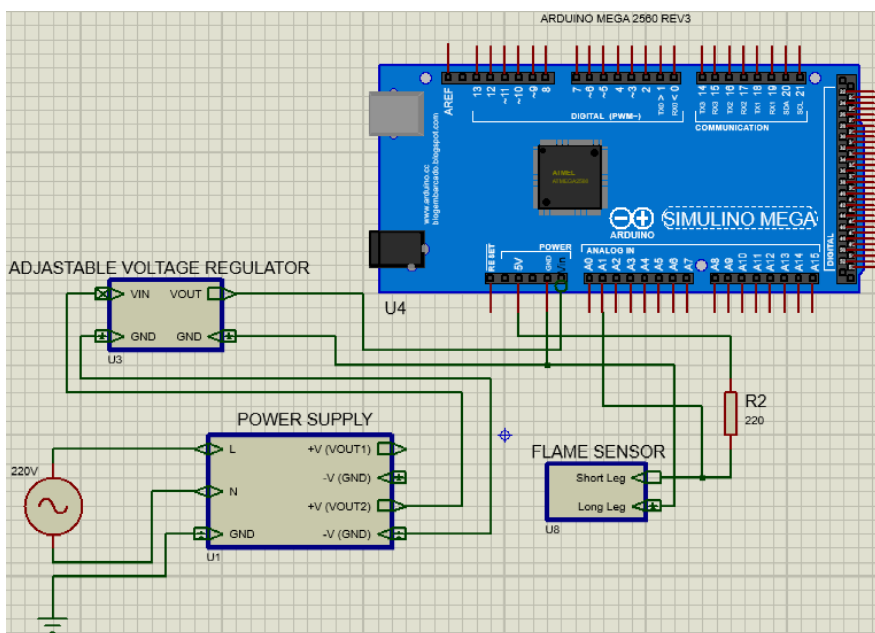
Η συνδεσμολογία της φωτοαντίστασης με το arduino φαίνεται στην Εικόνα 29.



**Εικόνα 29:** Συνδεσμολογία του arduino με την φωτοαντίσταση

Όπως φαίνεται και από την Εικόνα 29 η φωτοαντίσταση συνδέθηκε σε σειρά με την αντίσταση του 1KOhm δημιουργώντας έναν διαιρέτη τάσης και η έξοδος του διαιρέτη τάσης συνδέθηκε στην αναλογική θύρα A2 του arduino. Όπως και στις προηγούμενες τρεις περιπτώσεις έτσι και εδώ το arduino τροφοδοτήθηκε με τάση 9V μέσω του U3 και το U3 με τάση 12V μέσω του U1. Ο διαιρέτης τάσης τροφοδοτήθηκε με τάση 5V μέσω του arduino.

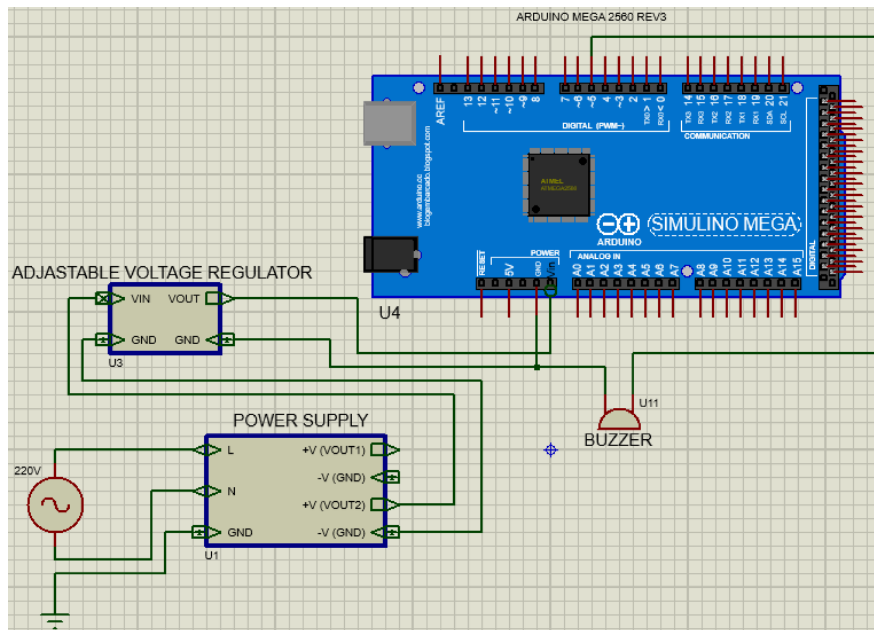
Η συνδεσμολογία του αισθητήρα φλόγας με το arduino φαίνεται στην Εικόνα 30.



**Εικόνα 30:** Συνδεσμολογία του arduino με τον αισθητήρα φλόγας

Όπως φαίνεται και από την Εικόνα 30 ο αισθητήρας φλόγας συνδέθηκε σε σειρά με την αντίσταση των 220Ω και το ενδιάμεσο σημείο συνδέθηκε στην αναλογική θύρα A1 του arduino. Έτσι το ένα «ποδαράκι» του αισθητήρα φλόγας συνδέθηκε στο ένα «ποδαράκι» της αντίστασης αλλά και στην θύρα A1 του arduino και το άλλο στην γείωση. Όπως και στις προηγούμενες τέσσερις περιπτώσεις έτσι και εδώ το arduino τροφοδοτήθηκε με τάση 9V μέσω του U3 και το U3 με τάση 12V μέσω του U1.

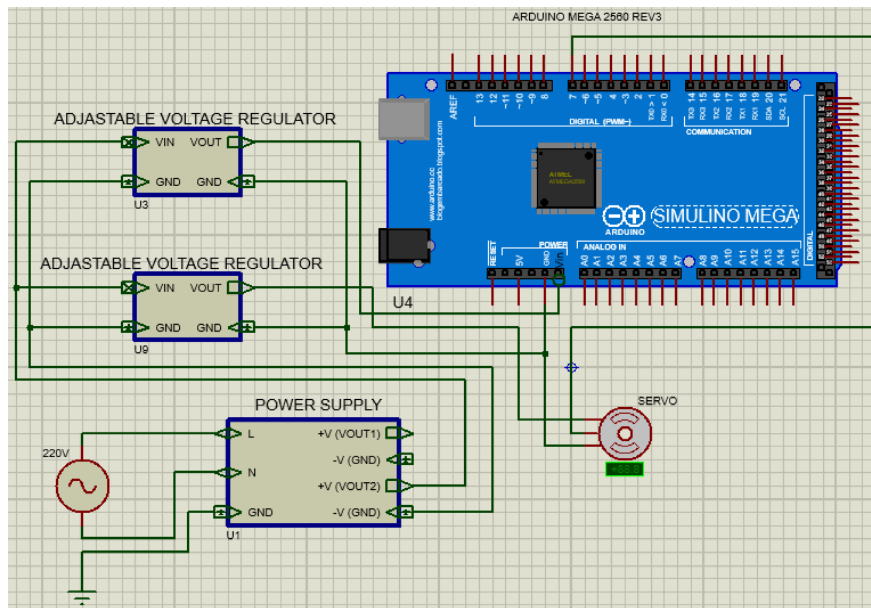
Η συνδεσμολογία του buzzer με το arduino φαίνεται στην Εικόνα 31.



**Εικόνα 31:** Συνδεσμολογία του arduino με το buzzer

Όπως φαίνεται και από την Εικόνα 31 το θετικό άκρο του buzzer συνδέθηκε στην ψηφιακή θύρα 5 του arduino και το αρνητικό στην γείωση. Όπως και στις προηγούμενες πέντε περιπτώσεις έτσι και εδώ το arduino τροφοδοτήθηκε με τάση 9V μέσω του U3 και το U3 με τάση 12V μέσω του U1.

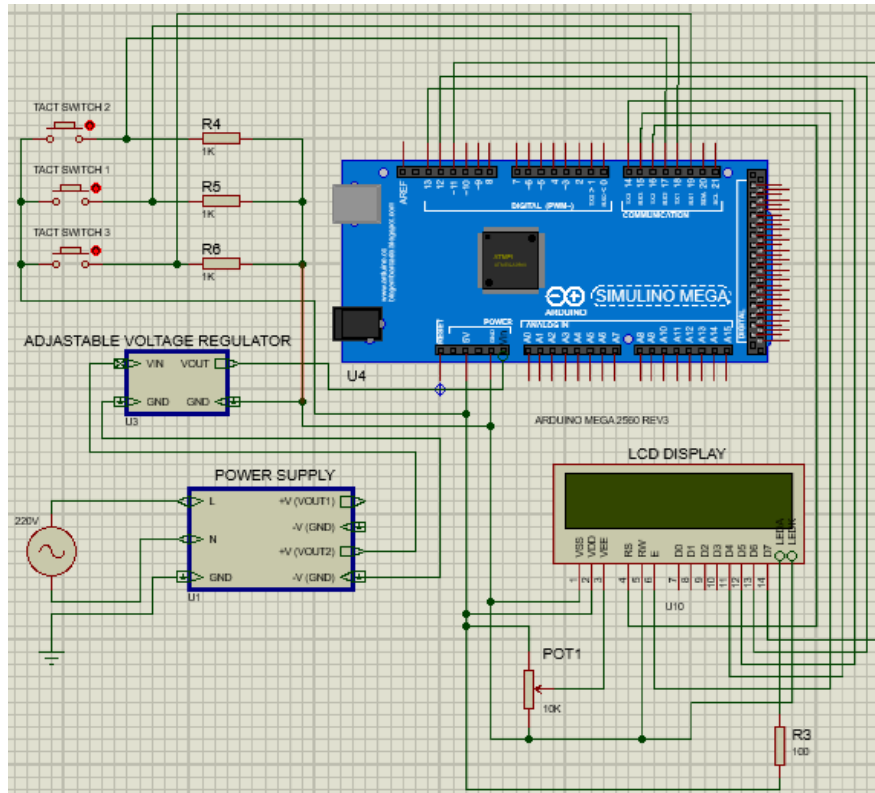
Η συνδεσμολογία του σερβοκινητήρα με το arduino φαίνεται στην Εικόνα 32.



**Εικόνα 32:** Συνδεσμολογία του arduino με τον σερβοκινητήρα

Στην περίπτωση αυτήν όπως φαίνεται και από την Εικόνα 32 χρησιμοποιήθηκε και ο δεύτερος μετατροπέας τάσης για την τροφοδοσία του σερβοκινητήρα με τάση 5V ενώ το arduino τροφοδοτήθηκε με τάση 9V με τον ίδιο μετατροπέα που χρησιμοποιήθηκε και στις παραπάνω περιπτώσεις. Οι δυο μετατροπείς τάσης τροφοδοτήθηκαν με τάση 12V μέσω του τροφοδοτικού. Το καλώδιο για το σήμα PWM του σερβοκινητήρα συνδέθηκε στην ψηφιακή θύρα 7 του arduino.

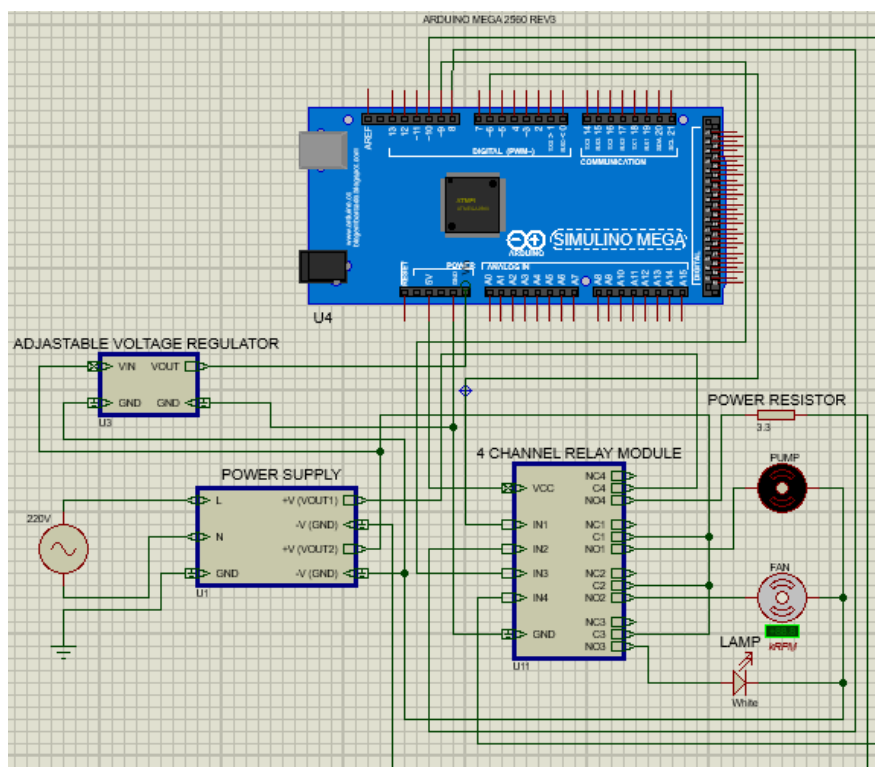
Η συνδεσμολογία της οθόνης LCD και των κουμπιών με το arduino φαίνεται στην Εικόνα 33.



**Εικόνα 33:** Συνδεσμολογία του arduino με την οθόνη LCD και με τα κουμπιά

Από τους 16 συνολικά ακροδέκτες που διαθέτει η οθόνη LCD χρησιμοποιήθηκαν όπως φαίνεται και από την Εικόνα 33 μόνο οι 12 και από τους 12 αυτούς ακροδέκτες μόνο οι έξι είναι σημαντικοί αφού αυτοί οι ακροδέκτες χρησιμοποιήθηκαν στην συνέχεια στον κώδικα του θερμοκηπίου. Οι έξι ακροδέκτες είναι ο ακροδέκτης Register Select (RS), ο ακροδέκτης Enable (E) και οι ακροδέκτες D4 έως D7. Ο ακροδέκτης Register Select συνδέθηκε στην ψηφιακή θύρα 16 του arduino, ο ακροδέκτης Enable στην ψηφιακή θύρα 15 του arduino, ο ακροδέκτης D4 στην ψηφιακή θύρα 14 του arduino, ο ακροδέκτης D5 στην ψηφιακή θύρα 13 του arduino, ο ακροδέκτης D6 στην ψηφιακή θύρα 12 του arduino και ο ακροδέκτης D7 στην ψηφιακή θύρα 11 του arduino. Όσον αφορά τα κουμπιά αυτά συνδέθηκαν μέσω των αντιστάσεων pull-down στις ψηφιακές θύρες 18,17 και 19 του arduino με το πρώτο κουμπί να αντιστοιχεί στην θύρα 18 και το τελευταίο στην θύρα 19. Η οθόνη LCD τροφοδοτήθηκε με τάση 5V μέσω του arduino και το arduino με τάση 9V μέσω του U3. Με την σειρά του το U3 τροφοδοτήθηκε με τάση 12V μέσω του U1.

Τέλος η συνδεσμολογία των ρελέ με τα φορτία και με το arduino φαίνεται στην Εικόνα 34.



**Εικόνα 34:** Συνδεσμολογία των ρελέ με τα φορτία και με το arduino

Η βατική αντίσταση, η αντλία, ο ανεμιστήρας και η λάμπα συνδέθηκαν όπως φαίνεται και από την Εικόνα 34 στις NO επαφές των τεσσάρων ρελέ και οι ακροδέκτες ελέγχου IN1 έως IN4 στους ψηφιακούς ακροδέκτες 6,8,9 και 10 του arduino αντίστοιχα. Με αυτήν την συνδεσμολογία η βατική αντίσταση ελέγχεται μέσω του ακροδέκτη 10, η αντλία μέσω του ακροδέκτη 6, ο ανεμιστήρας μέσω του ακροδέκτη 8 και η λάμπα μέσω του ακροδέκτη 9 του arduino. Στην περίπτωση της συνδεσμολογίας των ρελέ με τα φορτία και με το arduino αξιοποιείται και η δεύτερη έξοδος του τροφοδοτικού και σε αυτήν την έξοδο συνδέεται η βατική αντίσταση μιας και το ρεύμα που την διαρρέει είναι αρκετά μεγάλο. Χρησιμοποιώντας και τις δυο εξόδους του τροφοδοτικού πραγματοποιείται ο διαμοιρασμός της συνολικής ισχύς όλων των εξαρτημάτων στις εξόδους του τροφοδοτικού μειώνοντας έτσι τον κίνδυνο της εμφάνισης βλάβης σε κάποια από αυτές.

## Ενότητα 4: Προγραμματισμός του έξυπνου θερμοκηπίου

### Κεφάλαιο 4.1: Σύστημα ελέγχου του θερμοκηπίου

Μέσω του προγραμματιστικού περιβάλλοντος Arduino IDE «περάστηκε» στον μικροελεγκτή της πλακέτας arduino ο κώδικας που είναι αποθηκευμένος στο αρχείο που αναφέρεται στο Παράρτημα. Ο κώδικας αυτός χωρίζεται σε δυο μέρη, στον κώδικα της αυτόματης και στον κώδικα της χειροκίνητης λειτουργίας με την πρώτη να είναι η default λειτουργία. Η αλλαγή από τη μια στην άλλη λειτουργία επιτυγχάνεται με το πάτημα ενός κουμπιού, το οποίο και συνδέθηκε σε μια ψηφιακή θύρα του arduino που υποστηρίζει hardware

interrupt έτσι ώστε η απόκριση στην αλλαγή της λειτουργίας από την χειροκίνητη στην αυτόματη και το αντίστροφο να είναι πιο γρήγορη.

## **Κεφάλαιο 4.2: Χειροκίνητη λειτουργία του θερμοκηπίου**

Στην χειροκίνητη λειτουργία ο χρήστης επιλέγει ποιο από τα τέσσερα ρελέ στα οποία συνδέονται η αντλία, η βατική αντίσταση, ο ανεμιστήρας και η λάμπα επιθυμεί να ενεργοποιήσει. Πατώντας το κουμπί αλλαγής λειτουργίας και θεωρώντας πως από πριν έχει επιλεχθεί η αυτόματη λειτουργία το θερμοκήπιο μεταβαίνει από την αυτόματη στην χειροκίνητη λειτουργία. Τότε στη οθόνη LCD εμφανίζεται για ένα δευτερόλεπτο το μήνυμα User Control προκειμένου ο χρήστης να ενημερωθεί για την αλλαγή της λειτουργίας. Μετά το μήνυμα αυτό στην οθόνη LCD εμφανίζεται το μήνυμα Open lamp? ρωτώντας τον χρήστη για το εάν η λάμπα θα είναι ανοιχτή ή κλειστή, και το μήνυμα αυτό παραμένει στην οθόνη LCD μέχρι ο χρήστης να πατήσει το κουμπί 1 ή 2 δηλώνοντας την επιθυμητή κατάσταση. Όταν πατηθεί κάποιο από τα δυο κουμπιά εμφανίζεται στην οθόνη LCD Open ή Closed πάλι για ένα δευτερόλεπτο, αναλόγως την επιλογή. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται για τον ανεμιστήρα, για την βατική αντίσταση, για την αντλία και για το παράθυρο. Εδώ να σημειώσουμε ότι η αντλία ενεργοποιείται μόνο για τρία δευτερόλεπτα για να μη μένει συνεχώς ανοιχτή, ενώ εάν ο χρήστης επιθυμεί περισσότερο πότισμα θα πρέπει να πατήσει το κουμπί αλλαγής λειτουργίας δυο φορές και να επαναληφθεί η διαδικασία. Με το που οριστούν όλες οι παράμετροι λειτουργίας, στην οθόνη LCD εμφανίζονται κυκλικά οι συνθήκες θερμοκρασίας, υγρασίας και υγρασίας χώματος (με καθυστέρηση δυο δευτερολέπτων) μέχρι να γίνει αλλαγή λειτουργίας.

## **Κεφάλαιο 4.3: Αυτόματη λειτουργία του θερμοκηπίου**

Στην αυτόματη λειτουργία το arduino «διαβάζει» τις τιμές θερμοκρασίας, υγρασίας και υγρασίας χώματος από τους αισθητήρες και ανάλογα με τις τιμές αυτές ενεργοποιεί τα κατάλληλα ρελέ και το παράθυρο όταν αυτό είναι απαραίτητο.

Αναλόγως τις τιμές των παραπάνω αισθητήρων, για κάθε μια από τις τρεις αυτές παραμέτρους ορίστηκε μια δεύτερη μεταβλητή, που μας δείχνει σε τι εύρος ανήκει η τιμή του κάθε αισθητήρα. Στην περίπτωση της θερμοκρασίας ορίζεται στην αρχή του προγράμματος ως θερμοκρασία  $T_{min} = 17^{\circ}\text{C}$  και  $T_{max} = 21^{\circ}\text{C}$ , και εάν η θερμοκρασία που «διαβάζει» ο αντίστοιχος αισθητήρας είναι μικρότερη από την  $T_{min}$ , η δεύτερη μεταβλητή της θερμοκρασίας παίρνει την τιμή 3, αν η θερμοκρασία είναι μεταξύ  $T_{min}$  και  $T_{max}$  παίρνει την τιμή 2 και αν η θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από την  $T_{max}$  παίρνει την τιμή 1. Για την υγρασία ισχύουν τα ίδια πράγματα με  $HD_{min} = 55\%$  και  $HD_{max} = 70\%$ . Τέλος για την υγρασία χώματος, δε κάναμε τη μετατροπή του σήματος σε υγρασία %, αλλά κάναμε ορισμό των  $soilWet = 400$  και  $soilDry = 600$  με βάση πειράματα και υλικό που βρήκαμε στο internet. Αν λοιπόν η υγρασία εδάφους είναι μικρότερη του  $soilWet$  η δεύτερη μεταβλητή της υγρασίας εδάφους παίρνει την τιμή 3, αν είναι μεταξύ του  $soilWet$  και του  $soilDry$  παίρνει την τιμή 2 και αν είναι μεγαλύτερη του  $soilDry$  παίρνει την τιμή 1.



Εν συνεχεία το arduino «διαβάζει» την τιμή του αισθητήρα φωτοαντίστασης, και αν η τιμή του σήματος είναι πάνω από την τιμή light = 30 τότε το arduino θέτει την κατάσταση του ρελέ λάμπας HIGH ώστε η λάμπα να σβήσει, αλλιώς το arduino θέτει την κατάσταση του ρελέ λάμπας LOW ώστε η λάμπα να ανάψει.

Στην πορεία φτιάξαμε 27 κανόνες για τους 3\*3\*3 συνδυασμούς των δευτερευόντων μεταβλητών, προκειμένου να γίνεται ο αυτόματος έλεγχος του θερμοκηπίου. Οι κανόνες ελέγχου φαίνονται στους παρακάτω Πίνακες.

Θερμοκρασία=1	Υγρασία εδάφους = 1	Υγρασία εδάφους = 2	Υγρασία εδάφους = 3
Υγρασία = 1	Ανεμιστήρας On	Ανεμιστήρας On	Ανεμιστήρας On
	Πότισμα On	Πότισμα Off	Πότισμα Off
	Παράθυρο Open	Παράθυρο Open	Παράθυρο Open
	Αντίσταση Off	Αντίσταση Off	Αντίσταση Off
Υγρασία = 2	Ανεμιστήρας On	Ανεμιστήρας On	Ανεμιστήρας On
	Πότισμα On	Πότισμα Off	Πότισμα Off
	Παράθυρο Open	Παράθυρο Open	Παράθυρο Open
	Αντίσταση Off	Αντίσταση Off	Αντίσταση Off
Υγρασία = 3	Ανεμιστήρας On	Ανεμιστήρας On	Ανεμιστήρας On
	Πότισμα On	Πότισμα Off	Πότισμα Off
	Παράθυρο mid	Παράθυρο mid	Παράθυρο mid
	Αντίσταση Off	Αντίσταση Off	Αντίσταση Off

**Πίνακας 3:** Κανόνες ελέγχου για υψηλή θερμοκρασία

Θερμοκρασία=2	Υγρασία εδάφους = 1	Υγρασία εδάφους = 2	Υγρασία εδάφους = 3
Υγρασία = 1	Ανεμιστήρας Off	Ανεμιστήρας Off	Ανεμιστήρας On
	Πότισμα On	Πότισμα Off	Πότισμα Off
	Παράθυρο Open	Παράθυρο Open	Παράθυρο Open
	Αντίσταση Off	Αντίσταση Off	Αντίσταση Off
Υγρασία = 2	Ανεμιστήρας Off	Ανεμιστήρας Off	Ανεμιστήρας Off
	Πότισμα On	Πότισμα Off	Πότισμα Off
	Παράθυρο mid	Παράθυρο mid	Παράθυρο mid
	Αντίσταση Off	Αντίσταση Off	Αντίσταση Off
Υγρασία = 3	Ανεμιστήρας Off	Ανεμιστήρας Off	Ανεμιστήρας Off
	Πότισμα On	Πότισμα Off	Πότισμα Off
	Παράθυρο closed	Παράθυρο closed	Παράθυρο closed
	Αντίσταση Off	Αντίσταση Off	Αντίσταση Off

**Πίνακας 4:** Κανόνες ελέγχου για μέτρια θερμοκρασία

Θερμοκρασία=3	Υγρασία εδάφους = 1	Υγρασία εδάφους = 2	Υγρασία εδάφους = 3
Υγρασία = 1	Ανεμιστήρας On	Ανεμιστήρας On	Ανεμιστήρας On
	Πότισμα On	Πότισμα Off	Πότισμα Off
	Παράθυρο mid	Παράθυρο mid	Παράθυρο mid
	Αντίσταση On	Αντίσταση On	Αντίσταση Off
Υγρασία = 2	Ανεμιστήρας On	Ανεμιστήρας On	Ανεμιστήρας On
	Πότισμα On	Πότισμα Off	Πότισμα Off
	Παράθυρο Closed	Παράθυρο Closed	Παράθυρο Closed
	Αντίσταση On	Αντίσταση On	Αντίσταση On
Υγρασία = 3	Ανεμιστήρας On	Ανεμιστήρας On	Ανεμιστήρας On
	Πότισμα On	Πότισμα Off	Πότισμα Off
	Παράθυρο Closed	Παράθυρο Closed	Παράθυρο Closed
	Αντίσταση On	Αντίσταση On	Αντίσταση On

**Πίνακας 5:** Κανόνες ελέγχου για χαμηλή θερμοκρασία

Η δομή του ελέγχου σχεδιάστηκε με τη λογική ότι στο κρύο πρέπει να ανοίγει η βατική αντίσταση, όταν ανοίγει η βατική αντίσταση ανοίγει πάντα ο ανεμιστήρας για να ευνοείται η μεταφορά θερμότητας και όταν το χώμα είναι ξηρό ποτίζεται το έδαφος. Γενικά όμως και οι τρεις παράμετροι ως κάποιο βαθμό επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες αφού επιγραμματικά το άνοιγμα του παραθύρου συντελεί στη μείωση της θερμοκρασίας και της υγρασίας (στην περίπτωση που εξωτερικά αυτές οι παράμετροι έχουν μικρότερη τιμή, το οποίο συνήθως ισχύει), το άνοιγμα της βατικής αντίστασης αυξάνει την θερμοκρασία αλλά η αύξηση της θερμοκρασίας μειώνει την σχετική υγρασία και επιταχύνει την εξάτμιση του νερού της γλάστρας κάνοντας το έδαφος πιο ξηρό, το πότισμα αυξάνει την υγρασία και μειώνει λίγο την θερμοκρασία (μέσω της εξάτμισης) κ.α.. Εμείς λοιπόν κατασκευάσαμε το σύνολο των κανόνων βάση των παραπάνω φαινομένων και θέτοντας κάποιες προτεραιότητες στην παράμετρο που θεωρούμε κάθε φορά σημαντικότερη, καθώς η βελτίωση π.χ. της θερμοκρασίας μπορεί να επιδρά αρνητικά στην υγρασία, αλλά βάλαμε προτεραιότητα στην θερμοκρασία. Βέβαια μετά από κάποια πειράματα αλλάξαμε τους κανόνες, καθώς είδαμε διαφορετική απόκριση από αυτή που αναμέναμε. Ως σχόλιο, ο κώδικας των κανόνων θα μπορούσε να είναι πιο μικρός αλλά το ίδιο αποτελεσματικός, όμως για να μπορούμε να κάνουμε πιο εύκολα αλλαγές και να είναι πιο σαφής τον κατασκευάσαμε αναλυτικά.

#### Κεφάλαιο 4.4: Σύστημα ειδοποίησης

Το arduino δέχεται σήμα από έναν αισθητήρα φλόγας και μόλις το σήμα ξεπεράσει ένα συγκεκριμένο κατώφλι σημαίνει πως το θερμοκήπιο έχει πιάσει φωτιά, και έτσι το arduino δίνει σήμα στο buzzer να σημάνει πως υπάρχει πρόβλημα.

Επίσης έχουμε έναν αισθητήρα υπερήχων στην δεξαμενή μας, ο οποίος διαβάζει την απόσταση της επιφάνειας του νερού από αυτόν και στέλνει σήμα στο arduino, έτσι ώστε όταν η στάθμη πέσει κάτω από ένα συγκεκριμένο ύψος, να ενεργοποιηθεί το buzzer για να ειδοποιηθεί ο χρήστης. Αυτή η συνάρτηση (συνάρτηση αναγνώρισης προβλημάτων) καλείται σε διάφορα σημεία στον κώδικα.

## Ενότητα 5: Προβλήματα που προέκυψαν και λύσεις που εφαρμόστηκαν

Αρχικά προσπαθήσαμε να βρούμε από την αγορά κάποιον έτοιμο σκελετό θερμοκηπίου, αλλά σε αυτούς που βρήκαμε δεν μας έκαναν τα ανοίγματα και οι διαστάσεις, οπότε ή θα έπρεπε να τους ανοίγαμε εμείς οπές και να παρεμβαίναμε στην κατασκευή, ή θα έπρεπε να κατασκευάζαμε δικό μας, και εν τέλει ακολουθήσαμε την 2<sup>η</sup> επιλογή.

Ο μεντεσές που αρχικά χρησιμοποιήσαμε για την ελεύθερη κίνηση του παραθύρου καθώς και το ξύλο MDF που τοποθετήσαμε στην θέση του χαρτονιού δηλαδή του φύλλου του παραθύρου δυσκόλευαν την κίνηση του σερβοκινητήρα και για αυτόν τον λόγο αφαιρέσαμε τον μεντεσέ και στην θέση του βάλαμε ταινία. Επίσης αλλάξαμε και το φύλλο του παραθύρου από ξύλο MDF σε χαρτόνι. Από αυτό αφαιρέσαμε υλικό για να μειώσουμε ακόμα περισσότερο το βάρος του.

Ο σερβοκινητήρας που αρχικά χρησιμοποιήσαμε για το παράθυρο, έκανε πολλές ταλαντώσεις, και εν τέλει έσπασε. Ως αποτέλεσμα τον αλλάξαμε με άλλον ο οποίος είχε καλύτερη απόκριση.

Επίσης όταν ενεργοποιούνταν η βατική αντίσταση, ο αισθητήρας φλόγας ανίχνευε την θερμική ακτινοβολία που εκπέμπονταν από αυτήν, και στο arduino φαινόταν σαν να ανιχνεύεται φλόγα, και έτσι με την σειρά του το buzzer έδινε εσφαλμένο σήμα κινδύνου. Το πρόβλημα αυτό το διορθώσαμε μειώνοντας το όριο σήματος στο οποίο θεωρείται πως υπάρχει φλόγα, με αποτέλεσμα όμως να μειώνεται και η ευαισθησία του αισθητήρα σε αυτήν.

## Ενότητα 6: Μελλοντικές προεκτάσεις - βελτιώσεις

Αρχικά στο σύστημά μας θα μπορούσαμε να προσθέταμε επιπλέον αισθητήρες για έλεγχο επιπλέον παραμέτρων, όπως CO<sub>2</sub> ώστε να γίνεται έλεγχος της συγκέντρωσής του για καλύτερη ανάπτυξη των φυτών. Στα θερμοκήπια έχουν γίνει αρκετές εργασίες με ασαφή έλεγχο, PID, νευρωνικά δίκτυα και άλλες μορφές ελέγχου, και εμείς λοιπόν με πειραματισμούς και βελτιώσεις θα μπορούσαμε να δοκιμάζαμε τέτοιους ελεγκτές και να βρίσκαμε τον βέλτιστο για την περίπτωση μας. Η αντικατάσταση των ρελέ με mosfets θα μείωνε το κόστος με μοναδικό αντίκτυπο την αύξηση της πολυπλοκότητας. Θα μπορούσαμε ακόμα να προσθέταμε κουρτίνα με σερβομηχανισμό για να την ανοιγοκλείνει, προκειμένου σε θερμές μέρες να μειώνεται η εισροή θερμότητας μέσα στο θερμοκήπιο. Με ένα bluetooth module ή με ένα τηλεχειριστήριο IR και με τον αντίστοιχο αισθητήρα θα μπορούσαμε να ελέγχαμε εξ αποστάσεως τις λειτουργίες του θερμοκηπίου. Επίσης με την χρήση κάποιας πλακέτας που υποστηρίζει και Wi-Fi όπως το raspberry pi ή το esp32 θα μπορούσαμε να είχαμε πρόσβαση στις τιμές των αισθητήρων χωρίς να χρειάζεται να είμαστε κοντά στο θερμοκήπιο. Τέλος για πιο αποδοτικό έλεγχο υγρασίας θα μπορούσαμε να προσθέταμε σύστημα υδρονέφωσης.

## Ενότητα 7: Συμπεράσματα

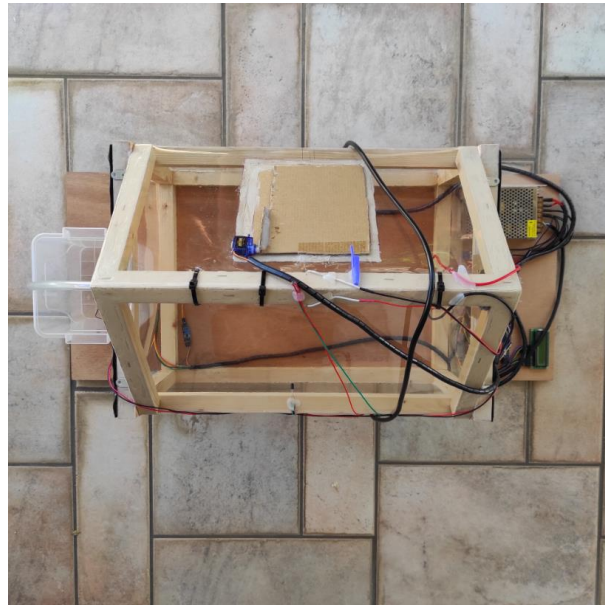
Στην εργασία αυτή ασχοληθήκαμε με την κατασκευή ενός θερμοκηπίου από την σχεδίαση και την κατασκευή του σκελετού μέχρι και την ενσωμάτωση

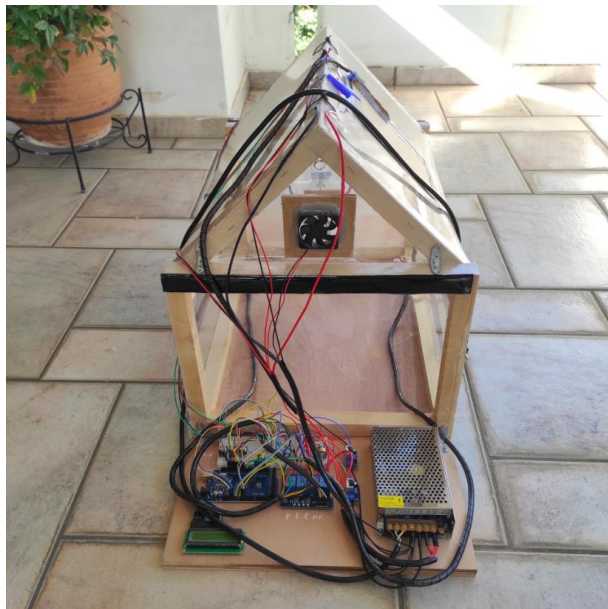
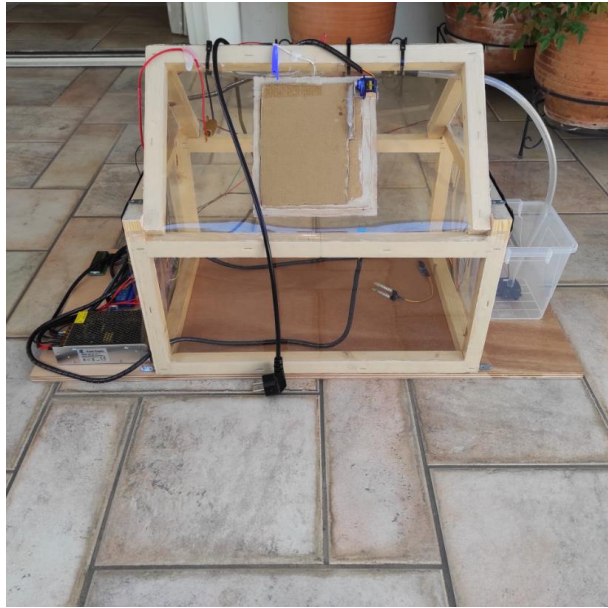
ηλεκτρονικών και άλλων συστημάτων για την αυτοματοποίηση κάποιων βασικών λειτουργιών του προσφέροντας παράλληλα και την επιλογή του χειροκίνητου ελέγχου μέσω τριών κουμπιών. Έτσι δημιουργήθηκε ένα έξυπνο θερμοκήπιο για την ανάπτυξη μικρών φυτών.

Κατά την περίοδο της ενασχόλησής μας με την υλοποίηση του θερμοκηπίου καταπιαστήκαμε με αρκετά πράγματα όπως με την κατασκευή ξύλινων δομών, με αισθητήρες, με κινητήρες, με ηλεκτρονόμους, με πλακέτες arduino και με διάφορα άλλα ηλεκτρονικά και ηλεκτρολογικά εξαρτήματα και έτσι αποκομίσαμε πολλές γνώσεις σχετικά με αυτά και συγκεκριμένα για το πως λειτουργούν και για το πως συνδέονται και επικοινωνούν μεταξύ τους. Επίσης εξοικειωθήκαμε με την χρήση διάφορων εργαλείων και γνωρίσαμε νέα υλικά και τεχνολογίες. Τέλος οι γνώσεις μας πάνω στα θερμοκήπια και στην ανάπτυξη των φυτών διευρύνθηκαν.

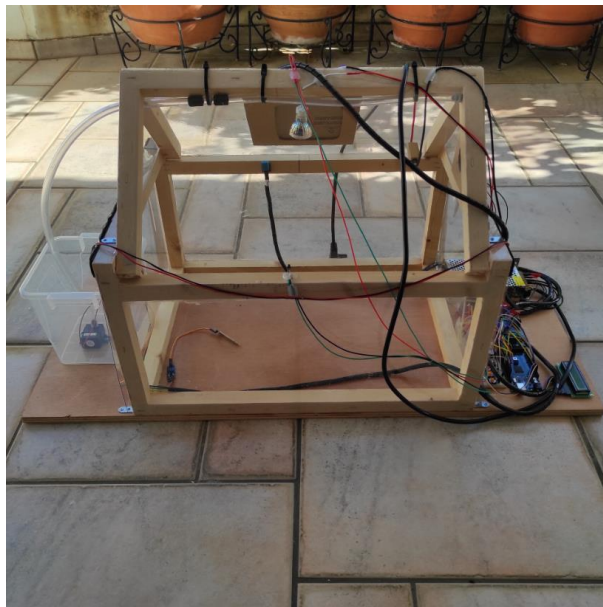
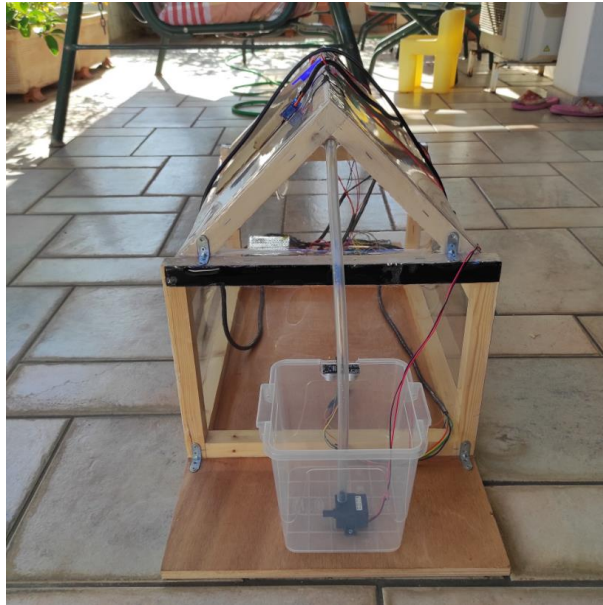
## Παράρτημα

Κάποιες φωτογραφίες του θερμοκηπίου φαίνονται παρακάτω.









Ο κώδικας του arduino βρίσκεται στο αρχείο code\_team\_4.ino.

## Πηγές

Θεοχάρης Μενέλαος, (2015). Γεωργικές και Θερμοκηπιακές Κατασκευές (Θεωρία). ΤΕΙ Ηπείρου.

<https://hellenic-college.gr/wp-content/uploads/works/helcolpedia/projects/life/food/thermokipio-zekas-2013.pdf>

<https://www.ydroponia.gr/index.php/%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CE%AE%CF%80%CE%B9%CE%B1/>

<https://nemertes.library.upatras.gr/server/api/core/bitstreams/f510348b-eec0-48be-b96f-2d614322dc72/content>

<https://nemertes.library.upatras.gr/server/api/core/bitstreams/f67d6dc3-9689-4885-a503-3d727f338340/content>

<https://nemertes.library.upatras.gr/server/api/core/bitstreams/1a603add-163f-4b44-92a2-2950a76395ab/content>

[https://grobotronics.com/images/companies/1/HC-SR04Users\\_Manual.pdf](https://grobotronics.com/images/companies/1/HC-SR04Users_Manual.pdf)

<https://www.arduino.cc/>