

ΣΧΟΛΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ, ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΜΠΟΡΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΥΤΟΣΧΕΔΙΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΩΝ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΧΑΜΗΛΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΓΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΚΑΙΡΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

ΣΙΩΠΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΔΑΣΥΓΕΝΗΣ ΜΗΝΑΣ

05/2023

[Αυτή η σελίδα παραμένει σκοπίμως κενή]

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Σιώπης Κωνσταντίνος, 2023

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της διατριβής από το Πανεπιστημίου Νεάπολις δεν υποδηλώνει απαραιτήτως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Πανεπιστημίου.

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα 2

Κατάλογος Διαγραμμάτων 5

Κατάλογος Εικόνων 5

Κατάλογος Πινάκων 7

Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή 12

1.1 Εισαγωγή 12

1.1.1. Η αξία της Μετεωρολογίας στις ανθρώπινες δραστηριότητες 12

1.1.2. Η εξέλιξη της μετεωρολογίας στην εποχή του IoT 14

1.2 Σκοπός μελέτης 15

1.3 Στόχοι εργασίας 15

1.4 Δομή εργασίας 16

Κεφάλαιο 2 - Θεωρητική Θεμελίωση / Βιβλιογραφική Ανασκόπηση 17

2.1 Μετεωρολογία 17

2.2 Τα φυσικά μεγέθη και τα όργανα μέτρησής τους 18

2.2.1 Θερμοκρασία του αέρα 18

2.2.2 Σχετική Υγρασία 19

2.2.3 Ατμοσφαιρική πίεση 19

2.2.4 Ταχύτητα και κατεύθυνση ανέμου 19

2.2.5 Βροχόπτωση 20

2.3 Μετεωρολογικοί σταθμοί 20

2.3.1 Αυτόματοι Μετεωρολογικοί Σταθμοί 20

2.3.2 Αυτόματοι Μετεωρολογικοί Σταθμοί Χαμηλού Κόστους στο εμπόριο 25

2.3.3 Οι αυτοσχέδιοι Αυτόματοι Μετεωρολογικοί Σταθμοί χαμηλού κόστους 29

2.3.3.1 Επεξεργαστής 29

2.3.3.2 Αισθητήρες 33

2.3.3.3 Επικοινωνία 43

2.3.3.4 Λογισμικό 46

2.3.3.5 Απεικόνιση δεδομένων 48

2.3.3.6 Αποθήκευση δεδομένων 49

2.3.4 Χρήση των μετεωρολογικών σταθμών 49

Κεφάλαιο 3 - Μεθοδολογία Έρευνας 52

3.1 Καθορισμός ερευνητικών ερωτημάτων.....52
3.2 Διεξαγωγή έρευνας.....53
3.3 Οριστικοποίηση βιβλιογραφικού δείγματος.....53
Κεφάλαιο 4 - Παρουσίαση δεδομένων /Αποτελέσματα και σχολιασμός αποτελεσμάτων.....56
4.1 Εμπορικοί Αυτόματοι Μετεωρολογικοί Σταθμοί χαμηλού κόστους.....56
4.1.1 Τροφοδοσία.....57
4.1.2 Αισθητήρες.....57
4.1.3 Συνδεσιμότητα.....58
4.1.4 Απεικόνιση δεδομένων.....59
4.1.5 Πρόγνωση καιρού.....59
4.1.6 Κόστος.....59
4.2 Αυτοσχέδιοι Αυτόματοι Μετεωρολογικοί Σταθμοί χαμηλού κόστους.....60
4.2.1 Χώρα προέλευσης.....62
4.2.2 Κατηγορία Χρήσης.....64
4.2.3 Τροφοδοσία.....64
4.2.4 Αισθητήρες.....65
4.2.5 Επεξεργαστής/Μικροελεγκτής.....76
4.2.6 Συνδεσιμότητα / διεπαφή χρήστη.....77
4.2.7 Απεικόνιση δεδομένων.....78
4.2.8 Αποθήκευση δεδομένων.....80
4.2.9 Πρόγνωση καιρού.....80
4.2.10 Κόστος.....81
4.2.11 Έλεγχος μετρήσεων και σφάλματα.....81
4.2.12 Συχνότητα μέτρησης / λήψης δεδομένων.....82
4.2.13 Αναφορά προβλημάτων.....82
4.2.14 Αξιολόγηση των ερασιτεχνικών μετεωρολογικών σταθμών.....83
4.3 Πλεονεκτήματα/μειονεκτήματα αυτοσχέδιων έναντι εμπορικών σταθμών.....91
Κεφάλαιο 5: Κατασκευή μετεωρολογικού σταθμού με μικροεπεξεργαστή Arduino 93
5.1 Υλικό.....93
5.1.1 Εξαρτήματα και αισθητήρες.....93
5.1.1.1 Μικροελεγκτής.....93
5.1.1.2 Αισθητήρας Θερμοκρασίας και Υγρασίας.....93
5.1.1.3 Βροχόμετρο.....94
5.1.1.4 Ανεμόμετρο.....94
5.1.1.5 GSM Module.....95

5.1.1.6 Φωτοαντίσταση 95
5.1.1.7 LCD οθόνη 95
5.1.1.8 Φωτοβολταϊκό και ελεγκτής 96
5.1.1.9 Συσσωρευτής 96
5.1.1.10 Λοιπά 97
5.1.2 Κόστος 97
5.2 Λογισμικό 97
5.3 Δοκιμή αισθητήρων και περιφερειακών 98
5.3.1 Οθόνη LCD 2004 98
5.3.2 GSM Module 98
5.3.3 Βροχόμετρο Tipping Bucket 98
5.3.4 Αισθητήρας θερμοκρασίας και υγρασίας 98
5.3.5 Ανεμόμετρο 98
5.3.6 Φωτοαντίσταση 99
5.3.7 Φωτοβολταϊκό και ελεγκτής PWM 99
5.4 Συναρτήσεις 99
5.4.1 void setup 99
5.4.2 void loop 100
5.4.3 void getDHT 100
5.4.4 void getWind 101
5.4.5 void getRain 102
5.4.6 void getLDR 103
5.4.7 void printSerial 103
5.4.8 void printLCD 105
5.4.9 void SentMessage 106
5.4.10 void DayCount 107
5.4.11 void Voltage 108
5.4.12 void SIM900power 108
5.5 Υλοποίηση 109
5.6 Έλεγχος μετρήσεων 115
Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα και μελλοντικοί στόχοι 116
Βιβλιογραφία 120
Παράρτημα 127
Κώδικας 139

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Τάση της επιφανειακής θερμοκρασίας παγκοσμίως μεταξύ 1993-2022 σε ^{o}F/δεκαετία 12
Διάγραμμα 2: Αριθμός δημοσιεύσεων ανά έτος 54
Διάγραμμα 3 : Συχνότητα αισθητήρων θερμοκρασίας 67
Διάγραμμα 4: Συχνότητα αισθητήρων υγρασίας 67
Διάγραμμα 5: Συχνότητα χρήσης κοινού αισθητήρα θερμοκρασίας-υγρασίας 68
Διάγραμμα 6: Συχνότητα αισθητήρων ατμοσφαιρικής πίεσης 68
Διάγραμμα 7: Γραφική παράσταση των τιμών V-RPS 72
Διάγραμμα 8: Προσέγγιση με εκθετική συνάρτηση 72
Διάγραμμα 9: Πρωτόκολλα διασύνδεσης 77
Διάγραμμα 10: Βαθμολογία κατηγορίας «περιεχόμενο άρθρου» (Top-20) 87
Διάγραμμα 11: Βαθμολογία κατηγορίας «Αισθητήρες» (Top-20) 87
Διάγραμμα 12: Βαθμολογία κατηγορίας «Συνδεσιμότητα-διεπαφή» (Top-20) 88
Διάγραμμα 13: Βαθμολογία κατηγορίας «Δυνατότητες» (Top-20) 88
Διάγραμμα 14: Βαθμολογία κατηγορίας «Άλλο» (Top-20) 89
Διάγραμμα 15: Συνολική βαθμολογία (Top-20 89
Διάγραμμα 16: Συνολική βαθμολογία (Top-20) ανά κατηγορία 90

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Η γεωγραφική κατανομή των μετεωρολογικών σταθμών 23
Εικόνα 2: Παραδείγματα μετεωρολογικών σταθμών 25
Εικόνα 3: Παράδειγμα compact AWS 26
Εικόνα 4: Παράδειγμα all-in-one AWS 27
Εικόνα 5: Πλακέτες Arduino 30
Εικόνα 6: Raspberry Pi 4 32
Εικόνα 7: Ο Μικροελεγκτής STM32 32
Εικόνα 8: Ο αισθητήρας DHT11 33
Εικόνα 9: Ο αισθητήρας DHT22 34
Εικόνα 10: Ο αισθητήρας LM35 34
Εικόνα 11: Ο αισθητήρας BMP180 35
Εικόνα 12: ο αισθητήρας BMP280 36
Εικόνα 13: Τυπικός αισθητήρας υγρασίας εδάφους 36
Εικόνα 14: Οι αισθητήρες MQ-135 και MQ-2 37
Εικόνα 15: Ο αισθητήρας FC-37 38
Εικόνα 16: Ο μηχανισμός Tipping Bucket 39
Εικόνα 17: Αισθητήρας ύψους νερού 39
Εικόνα 18: Ανεμόμετρο 40
Εικόνα 19: Ανεμοδείκτης 41
Εικόνα 20: Φωτοαντίσταση 41
Εικόνα 21: Αισθητήρας TSL2561 42
Εικόνα 22: Αισθητήρας ML8511 και BH1750FVI 42
Εικόνα 23: Πυρανόμετρο 43
Εικόνα 24: ESP8266 44
Εικόνα 25: Bluetooth adapter HC-05 44
Εικόνα 26: SIM900 και SIM800L 45
Εικόνα 27: XBee Pro S2 45
Εικόνα 28: Παράδειγμα χρήσης εφαρμογής Blynk 46
Εικόνα 29: Η πλατφόρμα ThinkSpeak 47

Εικόνα 30: Περιβάλλον SENA BTerm 47
Εικόνα 31: Οθόνες LCD 1602 και 2004 48
Εικόνα 32: Οθόνες TFT 3,5” και OLED 0,96” 49
Εικόνα 33: Arduino SD Card και SD Shield 49
Εικόνα 34: Κατανομή άρθρων ανά χώρα καταγωγής συγγραφέων 63
Εικόνα 35: Ιδιοκατασκευή αισθητήρα ταχύτητας ανέμου 70
Εικόνα 36: Παράδειγμα ανεμόμετρου με σιγμοειδή επιφάνεια 71
Εικόνα 37: Ανεμόμετρο άρθρου και οπτικός διακόπτης H21A1 71
Εικόνα 38: Διάταξη αυτοσχέδιου ανεμοδείκτη 73
Εικόνα 39: Η διάταξη του ανεμοδείκτη και η τελική υλοποίηση 74
Εικόνα 40: Περίβλημα μέσω 3D εκτυπωτή και τοποθέτηση αισθητήρων 75
Εικόνα 41: Ειδοποίηση στο Tweeter 79
Εικόνα 42: Arduino Mega 2560 και Arduino Mega 2560 Screw Shield 93
Εικόνα 43: Αισθητήρας DHT21 94
Εικόνα 44: βροχόμετρο Tipping Bucket 94
Εικόνα 45: Ανεμόμετρο 3cup 94
Εικόνα 46: SIM900 GSM Module 95
Εικόνα 47: φωτοαντίσταση GL5516 95
Εικόνα 48: Οθόνη LCD 2004 96
Εικόνα 49: Φωτοβολταϊκό και Ελεγκτής PWM 96
Εικόνα 50: Συσσωρευτής 12v/7AH 96
Εικόνα 51: Jumber Wires και breadboard 97
Εικόνα 52: Arduino IDE και Λογισμικό Fritzing 98
Εικόνα 53: Η συνάρτηση void setup 100
Εικόνα 54: Η συνάρτηση void loop 100
Εικόνα 55: Η συνάρτηση getDHT 100
Εικόνα 56: Η συνάρτηση getWind 101
Εικόνα 57: Η συνάρτηση getRain 102
Εικόνα 58: Η συνάρτηση getLDR 103
Εικόνα 59: Η συνάρτηση printSerial 104
Εικόνα 60: Serial Monitor – έλεγχος τιμών 105
Εικόνα 61: Στιγμιότυπο της LCD οθόνης 105
Εικόνα 62: Η συνάρτηση printLCD 106
Εικόνα 63: Η συνάρτηση SentMessage 107
Εικόνα 64: Μήνυμα SMS στο κινητό 107
Εικόνα 65: Η συνάρτηση DayCount 107
Εικόνα 66: Διάγραμμα διαιρέτη τάσης 108
Εικόνα 67: Η συνάρτηση Voltage 108
Εικόνα 68: Η συνάρτηση SIM900power 109
Εικόνα 69: Jumper wires σε breadboard 109
Εικόνα 70: Σχεδιασμός κυκλώματος με το λογισμικό Fritzing 110
Εικόνα 71: Ανεμόμετρο με χρήση rotary encoder 111
Εικόνα 72: Προσαρμογή του Arduino Mega στο Screw Shield 111
Εικόνα 73: Αντάπτορες στο Screw Shield 112
Εικόνα 74: Η οθόνη LCD στο περίβλημα 112
Εικόνα 75: Έξοδοι και είσοδοι αισθητήρων 113
Εικόνα 76: Άνοιγμα για εισαγωγή/εξαγωγή κάρτας SIM 113
Εικόνα 77: Συνδέσεις εκτός κουτιού 114
Εικόνα 78: Συνδέσεις σε PWM Controller 114

Εικόνα 79: Καταγραφέας θερμοκρασίας και υγρασίας PKDL A1 115

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Τεχνικά χαρακτηριστικά των αυτόματων σταθμών του δικτύου NOAAN (Davis Instrumetns, PR57, January 2020). 24
Πίνακας 2: Τεχνικά χαρακτηριστικά Arduino boards 31
Πίνακας 3: Τεχνικά χαρακτηριστικά αισθητήρων ποιότητας αέρα 43
Πίνακας 4: Αισθητήρες και εύρος τιμών ανά μοντέλο μετεωρολογικού σταθμού του εμπορίου 58
Πίνακας 5: Άρθρα ανασκόπησης (έτος-κατηγορία χρήσης) 62
Πίνακας 6: Κατανομή άρθρων ανά χώρα καταγωγής συγγραφέων 63
Πίνακας 7: Άρθρα ανά κατηγορία χρήσης/κίνητρο 64
Πίνακας 8: Τροφοδοσία με φωτοβολταϊκό 64
Πίνακας 9: Αισθητήρες 66
Πίνακας 10: Σύγκριση αισθητήρων BMP280, MPL3115A2 69
Πίνακας 11**:** Άρθρα ανά τύπο αισθητήρα βροχόπτωσης 70
Πίνακας 12**:** Άρθρα ανά τύπο ανεμομέτρου 70
Πίνακας 13: Τάση κινητήρα σε συνάρτηση με RPS 72
Πίνακας 14**:** Άρθρα με ανεμοδείκτη 73
Πίνακας 15**:** Άρθρα με αισθητήρα έντασης φωτός 74
Πίνακας 16: Άρθρα με αισθητήρα ποιότητας αέρα 75
Πίνακας 17: Ιδιοκατασκευές αισθητήρων και πλαισίου 75
Πίνακας 18: Τύποι μικροελεγκτή ανά άρθρο 77
Πίνακας 19: Ακτίνα επικοινωνίας ανά άρθρο 78
Πίνακας 20: Τύποι οθόνης ανά άρθρο 78
Πίνακας 21: Εφαρμογή κινητού 79
Πίνακας 22: Πρόγνωση καιρού με βάση ρυθμό μεταβολής πίεσης 80
Πίνακας 23: Κόστος υλοποίησης 81
Πίνακας 24: Σφάλματα κατά τον έλεγχο των μετρήσεων 82
Πίνακας 25: Συχνότητα μέτρησης 82
Πίνακας 26: Κατηγορίες αξιολόγησης 83
Πίνακας 27: Κατανομή βαθμών ανά κριτήριο 85
Πίνακας 28: Βαθμολογία άρθρων ανά κατηγορία 86
Πίνακας 29: Συμμετοχή σε TOP-10 Ανά κατηγορία και συνολικά TOP-10 91
Πίνακας 30: Κόστος υλικών 97
Πίνακας 31: Άρθρα ανασκόπησης (Αισθητήρες, διαδικασία, σχόλια) 133
Πίνακας 32**:** Άρθρα ανά τύπο αισθητήρα θερμοκρασίας 133
Πίνακας 33: Άρθρα ανά τύπο αισθητήρα υγρασίας 133
Πίνακας 34**:** Άρθρα ανά τύπο αισθητήρα ατμοσφαιρικής πίεσης 133
Πίνακας 35: Βασικά στοιχεία των υπό εξέταση μετεωρολογικών σταθμών χαμηλού κόστους του εμπορίου 137
Πίνακας 36: Σύγκριση μετρήσεων θερμοκρασίας και υγρασίας με καταγραφέα PKDLA1 138

Ονοματεπώνυμο Φοιτητή: Σιώπης Κωνσταντίνος

Τίτλος Μεταπτυχιακής Διατριβής: ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΜΠΟΡΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΥΤΟΣΧΕΔΙΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΩΝ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΧΑΜΗΛΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΓΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΚΑΙΡΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διατριβή εκπονήθηκε στο πλαίσιο των σπουδών για την απόκτηση εξ αποστάσεως μεταπτυχιακού τίτλου στο Πανεπιστήμιο Νεάπολις και εγκρίθηκε στις …… [ημερομηνία έγκρισης] από τα μέλη της Εξεταστικής Επιτροπής.

Εξεταστική Επιτροπή:

Πρώτος επιβλέπων: Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Δασυγένης Μηνάς, Επίκουρος Καθηγητής

Μέλος Εξεταστικής Επιτροπής: Πανεπιστήμιο Νεάπολις Πάφου, Χριστοδούλου Παναγιώτης, Επισκέπτης Λέκτορας

Μέλος Εξεταστικής Επιτροπής: Πανεπιστήμιο Νεάπολις Πάφου, Γεωργιάδης Μιχάλης, Επίκουρος Καθηγητής

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ τους γονείς μου και την οικογένειά μου. Ιδιαίτερα ευχαριστώ τη σύζυγό μου, Ελένη, για τις συμβουλές της, για την υποστήριξη και βοήθειά της με κάθε τρόπο και για την υπομονή της.

Ευχαριστώ ειλικρινά τον επιβλέποντα καθηγητή, κ. Μηνά Δασυγένη, για τη βοήθειά του, την υπομονή του, την ευγένεια και την κατανόησή του σε δύσκολες περιστάσεις.

Περίληψη στην Ελληνική γλώσσα

Τα καιρικά φαινόμενα είναι ευμετάβλητα και μπορούν να επηρεάσουν σε σημαντικό βαθμό το σύνολο των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Συνεπώς, η έγκυρη και έγκαιρη πρόγνωσή τους είναι ύψιστης σημασίας και πεδίο έρευνας μεγάλου αριθμού επιστημόνων.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, παρουσιάζεται μια ανάλυση των αυτοσχέδιων και εμπορικών αυτοματοποιημένων μετεωρολογικών σταθμών χαμηλού κόστους, με στόχο την αξιολόγηση της ακρίβειας, της αξιοπιστίας και της απόδοσής τους. Η μελέτη διερευνά την αυξανόμενη τάση των αυτοσχέδιων μετεωρολογικών σταθμών και τους συγκρίνει με τους εμπορικά διαθέσιμους εναλλακτικούς σταθμούς, μελετώντας τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς κάθε τύπου. Αναλύονται βασικές μετεωρολογικές παράμετροι, συμπεριλαμβανομένης της θερμοκρασίας, της υγρασίας, της ταχύτητας του ανέμου και της βροχόπτωσης, για να καθοριστεί το επίπεδο συμφωνίας μεταξύ των αυτοσχέδιων και των εμπορικών σταθμών.

Η εργασία παρουσιάζει τις βασικές παραμέτρους και τα φυσικά μεγέθη που σχετίζονται με την επιστήμη της μετεωρολογίας. Εντοπίζει και αναλύει τα βασικά χαρακτηριστικά συγκεκριμένων μετεωρολογικών σταθμών του εμπορίου με τη βοήθεια των τεχνικών φυλλαδίων των κατασκευαστών αλλά και των ηλεκτρονικών σελίδων των εμπόρων και εξετάζει, μέσω βιβλιογραφικής ανασκόπησης, ένα ικανό δείγμα δημοσιευμένων ερευνητικών προτάσεων αυτοσχέδιων μετεωρολογικών σταθμών χαμηλού κόστους.

Βασικός στόχος της ανάλυσης είναι η εξαγωγή συμπερασμάτων που αφορούν το λογισμικό, το υλικό, τους αισθητήρες και τον τρόπο επικοινωνίας των υπό εξέταση εμπορικών και αυτοσχέδιων μετεωρολογικών σταθμών αλλά και την καταγραφή των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων της χρήσης των αυτοσχέδιων έναντι των εμπορικών μετεωρολογικών σταθμών.

Τέλος, γίνεται μια προσπάθεια υλοποίησης ενός αυτοσχέδιου μετεωρολογικού σταθμού με τη βοήθεια του μικροελεγκτή Arduino, για να εντοπιστούν οι δυσκολίες και οι περιορισμοί κατασκευής του, καθώς και δυνατότητες που μπορεί να προσφέρει στον κατασκευαστή/χρήστη του για προσωπική και επαγγελματική χρήση.

Περίληψη στην Αγγλική Γλώσσα

Weather conditions are volatile and can have a significant impact on all human activities. Therefore, accurate and prompt forecasting is of utmost importance and constitutes a field of research for many scientists.

This thesis presents an analysis of low-cost homemade and commercial automated weather stations to evaluate their accuracy, reliability and performance. The study explores the growing trend of homemade weather stations and compares them with the commercially available alternative stations, studying the advantages and limitations of each. Key meteorological parameters, including temperature, humidity, wind speed, and precipitation, are analyzed to determine the level of consistency between homemade and commercial stations.

The paper presents the basic parameters and numbers related to the science of meteorology. It identifies and analyses the basic characteristics of specific commercial weather stations by studying the manufacturers' technical specifications manuals and sellers' web pages and by examining a bibliography of an extensive sample of published research proposals of low-cost homemade weather stations.

The main objective of the analysis is to draw conclusions concerning software, hardware, sensors and communication of the commercial and homemade weather stations and to document the advantages and disadvantages of using homemade versus commercial weather stations.

Finally, using the Arduino microcontroller, an attempt is made to implement homemade weather station in order to identify the difficulties and limitations of its construction, as well as the possibilities it can offer to the manufacturer/user for personal and business use.

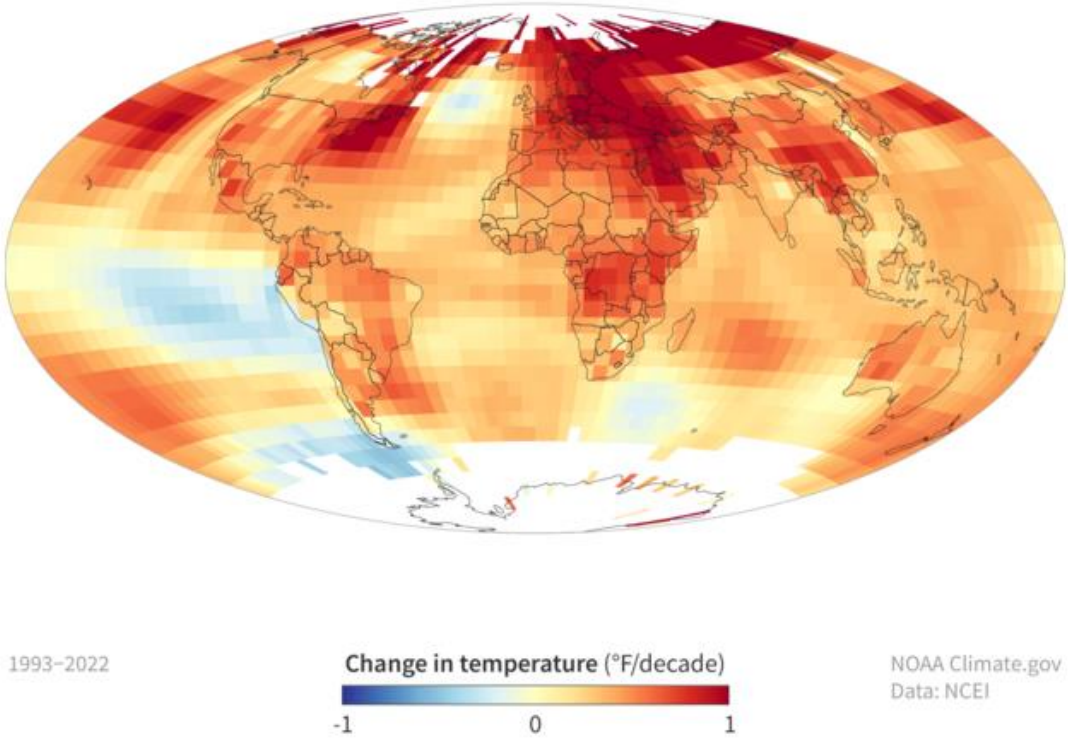
Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή

1.1.1. Η αξία της Μετεωρολογίας στις ανθρώπινες δραστηριότητες

Η μεταβλητότητα της ατμόσφαιρας και των καιρικών συνθηκών ασκεί σημαντική επιρροή στις ανθρώπινες δραστηριότητες και κατ' επέκταση στις οικονομίες των κρατών. Τις τελευταίες δεκαετίες, παρατηρούνται ακραίες τιμές θερμοκρασίας, βροχόπτωσης και ανέμου, οι οποίες επηρεάζουν κάθε χώρα και κάθε τομέα της κοινωνίας. Όλο και πιο συχνά, η είδηση μιας καταστροφής σε μια γωνιά του πλανήτη λόγω των ακραίων καιρικών συνθηκών κάνει την εμφάνισή της.

Σύμφωνα με στοιχεία της NOOA (National Oceanic & Atmospheric Administration), κατά τη διάρκεια της περιόδου 1993-2022, οι περισσότερες ηπειρωτικές περιοχές θερμάνθηκαν ταχύτερα από τις περισσότερες ωκεάνιες περιοχές, με την Αρκτική να κατέχει την πρώτη θέση στην ταχύτητα υπερθέρμανσης (περιοχές με κίτρινο, πορτοκαλί και κόκκινο στο διάγραμμα 1). [39]



Διάγραμμα 1: Τάση της επιφανειακής θερμοκρασίας παγκοσμίως μεταξύ 1993-2022 σε ^{o}F/δεκαετία[1]

[1] [39]

Η πρόσθετη θερμότητα οδηγεί στην εμφάνιση εποχιακών και τοπικών ακραίων θερμοκρασιών, το λιώσιμο των πάγων, τις έντονες βροχοπτώσεις αλλά και την αλλαγή των περιοχών ενδιαιτημάτων φυτών και ζώων, επεκτείνοντας ορισμένες και συρρικνώνοντας άλλες.

Είναι σαφές ότι υπό αυτές τις συνθήκες η σωστή χρήση των μετεωρολογικών, κλιματολογικών, υδρολογικών και συναφών πληροφοριών μπορεί να δώσει τη δυνατότητα σε άτομα, νοικοκυριά, οργανισμούς και κυβερνήσεις να λάβουν αποφάσεις, οι οποίες θα μειώσουν τις επιπτώσεις των φυσικών καταστροφών, θα ενισχύσουν την ασφάλεια, θα αντιμετωπίσουν τις προκλήσεις της δημόσιας υγείας και της καταπολέμησης της φτώχειας. Επιπρόσθετα, θα βελτιώσουν την παραγωγικότητα, θα ενισχύσουν τις εθνικές οικονομίες, θα προστατεύσουν το περιβάλλον και θα παρέχουν μια πιο ασφαλή βάση για μελλοντικό προγραμματισμό.

Η μετεωρολογία, η μελέτη δηλαδή της ατμόσφαιρας και των φαινομένων της, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο σε διάφορους τομείς ανθρωπίνων δραστηριοτήτων. Η πρόγνωση του καιρού είναι ίσως η πιο σημαντική εφαρμογή. Η ακριβής πρόγνωση του καιρού βοηθά τους ανθρώπους να σχεδιάζουν τις καθημερινές δραστηριότητες τους, από επιλογές ένδυσης έως προγραμματισμό ταξιδιού ή εξόδου. Όμως, η πρόγνωση του καιρού είναι εξίσου σημαντική και για έναν σύνολο επιχειρηματικών δραστηριοτήτων, όπως είναι οι γεωργικές εργασίες, οι μεταφορές, η ενέργεια και οι κατασκευές. Η ακριβής και έγκαιρη πρόβλεψη του μικροκλίματος μιας περιοχής είναι πολύ σημαντική, αφού μπορεί να παρέχει πληροφορίες για τις τοπικές καιρικές συνθήκες που μπορούν να επηρεάσουν τις αποφάσεις που λαμβάνονται στο πλαίσιο της επαγγελματικής δραστηριότητας.

Σε μεγαλύτερη κλίμακα, η μετεωρολογία διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην πρόβλεψη των μακροπρόθεσμων κλιματικών προτύπων και τάσεων, η οποία μπορεί να βοηθήσει τις κυβερνήσεις να προγραμματίζουν τις πολιτικές τους επιλογές για το μέλλον.

Η επιστήμη της μετεωρολογίας αποτελεί, επίσης, κρίσιμο παράγοντα στη διαχείριση καταστροφών, αφού με τη βοήθειά της μπορούν να προβλεφθούν φυσικές καταστροφές, όπως τυφώνες, ανεμοστρόβιλοι, πλημμύρες και πυρκαγιές. Η έγκυρη και έγκαιρη πληροφόρηση επιτρέπει την έγκαιρη προειδοποίηση και ενεργοποίηση μηχανισμών έκτακτης ανάγκης. Εκτός από τις φυσικές καταστροφές, η μετεωρολογία μπορεί να βοηθήσει τις κυβερνήσεις στην παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα και τον εντοπισμό των πηγών ρύπανσής του, με στόχο την ανάπτυξη στρατηγικών για τη μείωση των εκπομπών και τη βελτίωση της δημόσιας υγείας.

Τις τελευταίες δεκαετίες, το διαδίκτυο, τα ευφυή τηλέφωνα και οι γενικότερες επιστημονικές και τεχνολογικές εξελίξεις συνεχίζουν να αυξάνουν τη ζήτηση και τη διαθεσιμότητα των μετεωρολογικών, κλιματολογικών και συναφών υπηρεσιών. Ως αποτέλεσμα, δημιουργούνται νέες προκλήσεις που αφορούν τόσο τους παρόχους αυτών των υπηρεσιών όσο και τη διασφάλιση της υψηλής ποιότητας δεδομένων.

1.1.2. Η εξέλιξη της μετεωρολογίας στην εποχή του IoT

Η σημερινή εποχή χαρακτηρίζεται από το IoT (Internet of things), την τεχνολογία του μέλλοντος, η οποία συνδέει πλήθος συσκευών, εξοπλισμένων με αισθητήρες, λογισμικό και τεχνολογίες που τους επιτρέπουν να μεταδίδουν και να λαμβάνουν δεδομένα προς και από άλλες συσκευές και συστήματα.

Η μετεωρολογία, στην εποχή του IoT, μεταλλάσσεται. Συσκευές IoT, όπως αισθητήρες, μετεωρολογικοί σταθμοί και εξοπλισμός παρακολούθησης των φαινομένων, αναπτύσσονται ραγδαία σε διάφορα μέρη του πλανήτη. Καταγράφουν δεδομένα σχετικά με τη θερμοκρασία, την υγρασία, την ατμοσφαιρική πίεση, την ταχύτητα και κατεύθυνση του ανέμου, τη βροχόπτωση κ.α.

Ο μεγάλος όγκος δεδομένων απαιτεί προηγμένες τεχνικές ανάλυσης για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων, όπως οι αλγόριθμοι ανάλυσης μεγάλων δεδομένων. Με τους αλγόριθμους αυτούς, οι επιστήμονες μπορούν να κατανοήσουν καλύτερα τα μετεωρολογικά φαινόμενα, να κάνουν πιο ακριβείς προβλέψεις αλλά και να προειδοποιήσουν τις κυβερνήσεις για ενδεχόμενες καταστροφές από ακραία καιρικά φαινόμενα.

Τα δεδομένα μεταδίδονται ασύρματα σε έναν κεντρικό διακομιστή ή σε μια πλατφόρμα υπολογιστικού νέφους (Cloud computing platform), όπου αναλύονται από τους επιστήμονες. Οι πλατφόρμες αυτές, στις οποίες τα δεδομένα αποθηκεύονται, επεξεργάζονται και αναλύονται, επιτρέπουν τη συνεργασία και την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των μετεωρολογικών οργανισμών και των ενδιαφερόμενων μερών.

Παράλληλα, αλλάζει η οπτικοποίηση των πληροφοριών που εξάγονται μετά την ανάλυση των μετεωρολογικών δεδομένων. Προηγμένα εργαλεία οπτικοποίησης (διαδραστικοί χάρτες και γραφήματα) βοηθούν τους μετεωρολόγους να κατανοήσουν την πολυπλοκότητα των καιρικών φαινομένων και να επικοινωνήσουν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τις πληροφορίες στους ενδιαφερόμενους.

Η χρήση του IoT στη μετεωρολογία δίνει, επίσης, τη δυνατότητα παρακολούθησης του καιρού σε απομακρυσμένες και δυσπρόσιτες περιοχές, όπου δεν είναι απαραίτητη η φυσική παρουσία των επιστημόνων για λήψη μετρήσεων. Αισθητήρες επιτρέπουν ακριβείς προγνώσεις για επικείμενα φαινόμενα σε περιοχές ζωτικής σημασίας, υποστηρίζοντας δραστηριότητες όπως η γεωργία, οι μεταφορές ή η αεροπορία.

Το IoT προσφέρει, επιπλέον, τη δυνατότητα ενσωμάτωσης των μετεωρολογικών συστημάτων με άλλα συστήματα IoT, όπως η γεωργία ακριβείας όπου τα μετεωρολογικά δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτιστοποίηση της άρδευσης και της λίπανσης και οι έξυπνες πόλεις, όπου μπορούν να βοηθήσουν στη διαχείριση της ενέργειας που καταναλώνεται από τα κτήρια.

Συνολικά, η εξέλιξη της μετεωρολογίας στην εποχή του IoT έχει οδηγήσει σε ακριβέστερες και έγκαιρες καιρικές προβλέψεις, οι οποίες συμβάλλουν στον μετριασμό των επιπτώσεων των έντονων καιρικών φαινομένων, στη βελτιωμένη διαχείριση των πόρων αλλά και στη δημόσια ασφάλεια.

1.2 Σκοπός μελέτης

Η παρούσα εργασία αποσκοπεί στην ανάλυση και αξιολόγηση των χαρακτηριστικών των εμπορικών και αυτοσχέδιων αυτοματοποιημένων μετεωρολογικών σταθμών χαμηλού κόστους για εφαρμογές παρακολούθησης των καιρικών φαινομένων. Η αυξανόμενη προσβασιμότητα σε προσιτούς αισθητήρες, μικροελεγκτές και λογισμικό ανοικτού κώδικα επιτρέπει την ανάπτυξη οικονομικά αποδοτικών μετεωρολογικών σταθμών. Η μελέτη θα αξιολογήσει την απόδοση, την ακρίβεια και αξιοπιστία των εμπορικών σταθμών χαμηλού κόστους και των αυτοσχέδιων λύσεων στη λήψη μετεωρολογικών δεδομένων. Τα ευρήματα θα συμβάλουν στην κατανόηση των δυνατοτήτων των αυτοματοποιημένων μετεωρολογικών σταθμών χαμηλού κόστους, των περιορισμών τους και της δυνατότητας εφαρμογής τους σε διάφορα σενάρια παρακολούθησης του καιρού.

1.3 Στόχοι εργασίας

Στόχοι της παρούσας εργασίας είναι:

1. Ο εντοπισμός και η ανάλυση των χαρακτηριστικών των αυτοματοποιημένων μετεωρολογικών σταθμών χαμηλού κόστους του εμπορίου
2. Η καταγραφή και ανάλυση ενός ικανού δείγματος επιστημονικών εργασιών που έχουν ως αντικείμενο μελέτης την κατασκευή αυτοσχέδιων μετεωρολογικών σταθμών για την παρακολούθηση των καιρικών φαινομένων.
3. Η εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με το λογισμικό, το υλικό, τους αισθητήρες και τον τρόπο επικοινωνίας των υπό εξέταση εμπορικών και αυτοσχέδιων μετεωρολογικών σταθμών
4. Η κατασκευή ενός αυτοσχέδιου μετεωρολογικού σταθμού χαμηλού κόστους με τη βοήθεια του μικροελεγκτή Arduino.

1.4 Δομή εργασίας

Η παρούσα εργασία αποτελείται από πέντε κεφάλαια. Στο πρώτο, εισαγωγικό κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στην αξία της μετεωρολογίας στις ανθρώπινες δραστηριότητες και στην επιρροή του IoT, καθώς επίσης παρουσιάζονται ο σκοπός και οι στόχοι της εργασίας. Το δεύτερο κεφάλαιο αναλύει το θεωρητικό πλαίσιο, μέσα στο οποίο διενεργείται η συγκεκριμένη εργασία. Στο πρώτο μέρος γίνεται αναφορά στον ορισμό της μετεωρολογίας, στα φυσικά μεγέθη που αυτή εξετάζει, στα όργανα μέτρησης των φυσικών αυτών μεγεθών, στα είδη των αυτόματων μετεωρολογικών σταθμών και στη χρήση τους. Στο δεύτερο μέρος, εντοπίζονται και αναλύονται τα βασικά χαρακτηριστικά συγκεκριμένων αυτόματων μετεωρολογικών σταθμών χαμηλού κόστους του εμπορίου, ενώ στο τρίτο μέρος καταγράφεται και αναλύεται ένα ικανό δείγμα εργασιών με αντικείμενο μελέτης την κατασκευή αυτοσχέδιων μετεωρολογικών σταθμών. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογία έρευνας, όπου καθορίζονται τα βασικά ερευνητικά ερωτήματα, αναλύεται η μέθοδος έρευνας και ο τρόπος οριστικοποίησης του βιβλιογραφικού δείγματος. Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση και ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων. Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο, παρουσιάζεται το παράδειγμα μελέτης του αυτοσχέδιου μετεωρολογικού σταθμού με τη βοήθεια του μικροελεγκτή Arduino.

Κεφάλαιο 2 - Θεωρητική Θεμελίωση / Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1 Μετεωρολογία

Μετεωρολογία είναι η μελέτη της ατμόσφαιρας και των φαινομένων που συμβαίνουν μέσα σε αυτή. Τον όρο πρωτοσυναντούμε το 340 π.Χ. στο έργο του Αριστοτέλη «Μετεωρολογικά». Εκεί, συγκεντρώνεται όλη η γνώση της εποχής σχετικά με τον καιρό και το κλίμα. Ο όρος μετεωρολογία προέρχεται από την αρχαία Ελληνική λέξη "μετέωρον", με την οποία χαρακτηριζόταν κάθε αντικείμενο που αιωρείται στην ατμόσφαιρα, όπως σύννεφα, σταγόνες βροχής, χαλάζι κλπ. [2]

Αν και στο έργο του, «Μετεωρολογικά», οι απόψεις του Αριστοτέλη σχετικά με τα ατμοσφαιρικά φαινόμενα απείχαν από την πραγματικότητα και κάποιες φορές έρχονταν σε αντίθεση με άλλες, ορθότερες ερμηνείες φαινομένων προγενέστερων Ελλήνων φιλοσόφων, εξακολουθούσαν να γίνονται πλήρως αποδεκτές μέχρι και την εποχή της Αναγέννησης (2000 χρόνια αργότερα). Την εποχή εκείνη, η ανακάλυψη μετεωρολογικών οργάνων, όπως το υγρόμετρο, το θερμόμετρο και το βαρόμετρο έθεσε τις βάσεις για την επεξήγηση συγκεκριμένων καιρικών φαινομένων και τη θεμελίωση κανόνων της φυσικής που ισχύουν μέχρι και σήμερα. [2]

Η ανάπτυξη νέων, καλύτερων μετεωρολογικών οργάνων τον 18ο αι. είχε ως αποτέλεσμα την εξέλιξη της μετεωρολογίας. Η ανακάλυψη του τηλέγραφου το 1843 επέτρεψε τη μετάδοση των καιρικών παρατηρήσεων με συνέπεια την κατανόηση των εννοιών της ροής του ανέμου και της κίνησης των καταιγίδων. [2] Το 1820, η χάραξη των πρώτων μετεωρολογικών χαρτών έκανε φανερή στην πράξη την ύπαρξη βαρομετρικών συστημάτων στην επιφάνεια. Από το 1855 άρχισαν να ιδρύονται οι πρώτες Εθνικές Μετεωρολογικές Υπηρεσίες. Για την επίτευξη της συνεργασίας μεταξύ των διάφορων μετεωρολογικών υπηρεσιών κατά τη σύνταξη χαρτών καιρού, ιδρύθηκε το 1878 ο Διεθνής Μετεωρολογικός Οργανισμός, ο οποίος από το 1950 μετονομάστηκε σε Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (W.M.O.). [56]

Τη δεκαετία του 1950, οι επιστήμονες κατάφεραν να μετατρέψουν τις μαθηματικές εξισώσεις που περιέγραφαν τη συμπεριφορά της ατμόσφαιρας σε λογισμικό (αριθμητικά μοντέλα) που μπορούσε να τρέξει σε υψηλής ταχύτητας (για την εποχή) υπολογιστές. Αυτό αποτέλεσε την αρχή της αριθμητικής πρόγνωσης καιρού. Σήμερα, οι μετεωρολόγοι αξιολογούν τα αποτελέσματα διαφορετικών

αριθμητικών μοντέλων για να κάνουν μετεωρολογικές προγνώσεις. Η εξέλιξη των ραντάρ και των μετεωρολογικών δορυφόρων είχαν ως αποτέλεσμα την παροχή ενός ευρύτερου φάσματος δεδομένων που έκαναν τις προγνώσεις καιρού πιο ακριβείς. [2]

Σήμερα, οι μετεωρολογικές παρατηρήσεις χρησιμοποιούνται για την προετοιμασία σε πραγματικό χρόνο αναλύσεων καιρού, προβλέψεων και προειδοποιήσεων για κακοκαιρία, για τη μελέτη του κλίματος, για τοπικές λειτουργίες που εξαρτώνται από τον καιρό (λειτουργία αεροδρομίων, κατασκευαστικές εργασίες σε στεριά και θάλασσα), για την υδρολογία και τη γεωργική μετεωρολογία, καθώς και για την έρευνα στη μετεωρολογία και την κλιματολογία. [54]

2.2 Τα φυσικά μεγέθη και τα όργανα μέτρησής τους

Στο επόμενο υποκεφάλαιο θα γίνει αναφορά στα βασικά φυσικά μεγέθη που μελετά η επιστήμη της Μετεωρολογίας, καθώς και στα βασικά όργανα μέτρησής τους. Ωστόσο, υπάρχουν περισσότερα φυσικά μεγέθη, όπως η ηλιακή ακτινοβολία, η υπεριώδης ακτινοβολία, τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα, θορύβου κ.α..

2.2.1 Θερμοκρασία του αέρα

Η θερμοκρασία του αέρα αποτελεί το σημαντικότερο φυσικό μέγεθος και τη βασικότερη παράμετρο σε όλες τις μετεωρολογικές μετρήσεις. Ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός ορίζει τη θερμοκρασία του αέρα ως "τη θερμοκρασία που δείχνει ένα θερμόμετρο εκτεθειμένο στον αέρα σε ένα μέρος προστατευμένο από την άμεση ηλιακή ακτινοβολία" [54].

Η βασική μονάδα μέτρησης της θερμοκρασίας στην Ευρώπη είναι η κλίμακα Κελσίου που βασίζεται στη διαστολή του υδραργύρου. Στις Η.Π.Α. χρησιμοποιείται η κλίμακα Φαρενάιτ.

Η θερμοκρασία του αέρα συμβολίζεται με το γράμμα Τ και μετριέται με τα θερμόμετρα. Υπάρχουν 2 τρόποι μέτρησής της, σύμφωνα με τον WMO: είτε ένα θερμόμετρο να έρθει σε θερμοδυναμική ισορροπία με το αντικείμενο και να μετρηθεί στη συνέχεια η θερμοκρασία του ίδιου του θερμομέτρου ή εναλλακτικά να προσδιοριστεί από ένα ραδιόμετρο χωρίς απαίτηση θερμικής Ισορροπίας. Τα θερμόμετρα που μετράνε την επικρατούσα θερμοκρασία είναι γνωστά ως συνηθισμένα θερμόμετρα (ordinary thermometers), ενώ εκείνα που μετρούν τις

ακραίες θερμοκρασίες για μια χρονική περίοδο ονομάζονται μέγιστα ή ελάχιστα θερμόμετρα (maximum or minimum thermometers). [54]

2.2.2 Σχετική Υγρασία

Η μέτρηση της υγρασίας είναι απαραίτητη για την καταγραφή της μετεωρολογικής δραστηριότητας. Το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο μέγεθος μέτρησης της υγρασίας είναι η σχετική υγρασία, δηλαδή, ο λόγος % της παρατηρούμενης πίεσης των υδρατμών του αέρα προς την πίεση των υδρατμών κορεσμού σε σχέση με το νερό στην ίδια θερμοκρασία και πίεση [54]. Συμβολίζεται με το γράμμα U και μετριέται με υγρόμετρα. Υπάρχουν διάφοροι τύποι υγρόμετρων, όπου ο καθένας χρησιμοποιεί διαφορετικές αρχές για τη μέτρηση της υγρασίας. Κάποιες από τις βασικές κατηγορίες υγρομέτρων είναι: τα μηχανικά (υγρόμετρο τρίχας, υγρόμετρο διμεταλλικής λωρίδας), τα ηλεκτρικά (χωρητικότητας, αντίστασης, σημείου δρόσου), τα ψυχόμετρα, τα βαρυμετρικά, τα οπτικά και τα ψηφιακά υγρόμετρα.

2.2.3 Ατμοσφαιρική πίεση

Ως ατμοσφαιρική πίεση σε μια δεδομένη επιφάνεια ορίζεται η δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας που ασκείται λόγω του βάρους της ατμόσφαιρας πάνω της [54]. Η τιμή της εξαρτάται από το ύψος από την επιφάνεια της θάλασσας, η οποία ονομάζεται πίεση μιας ατμόσφαιρας (1 atm). Στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, η τιμή της πίεσης είναι μεγαλύτερη από ό,τι στα ανώτερα. Εκτός από την πραγματική πίεση, προσδιορίζεται η μεταβολή της πίεσης, δηλαδή η διαφορά των μετρήσεων πίεσης στην αρχή και στο τέλος ενός χρονικού διαστήματος και το χαρακτηριστικό της πίεσης, δηλαδή ο τρόπος με τον οποίο μεταβλήθηκε η πίεση μέσα σε αυτό το διάστημα [54]. Συμβολίζεται με το γράμμα P, μονάδες μέτρησης είναι το hPa ή το N/m και όργανα μέτρησης είναι τα βαρόμετρα. Υπάρχουν αρκετές κατηγορίες βαρόμετρων, όπως: Υδραργυρικά βαρόμετρα, ανεροειδή βαρόμετρα, ηλεκτρονικά βαρόμετρα, βαρογράφοι, βαρόμετρα με σωλήνα Bourdon.

2.2.4 Ταχύτητα και κατεύθυνση ανέμου

Η ταχύτητα του ανέμου είναι ένα τρισδιάστατο διανυσματικό μέγεθος με τυχαίες διακυμάνσεις μικρής κλίμακας στο χώρο και το χρόνο [54]. Ποικίλλει με το ύψος πάνω

από το έδαφος στο οποίο μετριέται εξαιτίας της τραχύτητας του εδάφους αλλά και των ατμοσφαιρικών συνθηκών που επικρατούν πάνω από αυτό. Γι' αυτό, οι μετρήσεις γίνονται συνήθως 10 μέτρα πάνω από το έδαφος. Η ταχύτητα του ανέμου μετριέται σε μέτρα ανά δευτερόλεπτο ή χιλιόμετρα ανά ώρα ή σε μίλια ανά ώρα.

Η κατεύθυνση του ανέμου αναφέρεται στην κατεύθυνση από την οποία έρχεται ο άνεμος. Μετριέται σε μοίρες (0^o έως 360^o) ή σε κατευθύνσεις πυξίδας (βόρειος, νότιος, ανατολικός, δυτικός). Κάποια από τα πιο συνηθισμένα όργανα μέτρησης της ταχύτητας και κατεύθυνσης του ανέμου είναι το ανεμόμετρο και ο ανεμοδείκτης.

2.2.5 Βροχόπτωση

Ως βροχόπτωση αναφέρεται το μέγεθος των κατακρημνισμάτων υπό τη μορφή βροχής που πέφτουν από τα σύννεφα ή εναποτίθενται από τον αέρα στο έδαφος μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο [54]. Μονάδα μέτρησης είναι το ύψος βροχής σε mm. Ως ένταση βροχόπτωσης αναφέρεται ο ρυθμός με τον οποίο πέφτει η βροχή στο έδαφος σε μια δεδομένη χρονική περίοδο και μετριέται σε χιλιοστά ανά ώρα [54]. Η μέτρησή της γίνεται μέσω βροχογράφων (τυπικός βροχογράφος, ανατρεπόμενου δοχείου – tipping bucket, με ζύγιση) και υδρομέτρων, τα οποία μπορεί να είναι αυτοματοποιημένα ή χειροκίνητα και η βασική τους λειτουργία είναι η συλλογή του νερό της βροχής και η μέτρηση του όγκου του.

2.3 Μετεωρολογικοί σταθμοί

Ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός (World Meteorological Organization, WMO) αναγνωρίζει δύο τύπους μετεωρολογικών σταθμών: τον Αυτόματο Μετεωρολογικό Σταθμό (Automatic Weather Station, AWS) και τον Αυτόματο Μετεωρολογικό Σταθμό χαμηλού κόστους (Automatic Weather Station – Low Cost, AWS-LC). Παρακάτω αναλύονται τα βασικά τους χαρακτηριστικά και η χρησιμότητά τους.

2.3.1 Αυτόματοι Μετεωρολογικοί Σταθμοί

Ως AWS ορίζεται «ο μετεωρολογικός σταθμός στον οποίο οι παρατηρήσεις γίνονται και μεταδίδονται αυτόματα» [54]. Η χρήση ενός AWS αυξάνει τον αριθμό και την αξιοπιστία των επίγειων παρατηρήσεων. Ένας AWS μπορεί να είναι πλήρως

αυτοματοποιημένος ή μικτός, επιτρέποντας την προσθήκη οπτικών παρατηρήσεων από τον χρήστη. Κάθε AWS μετατρέπει τις μετεωρολογικές μετρήσεις σε ηλεκτρικά σήματα μέσω αισθητήρων, επεξεργάζεται και μετασχηματίζει αυτά τα σήματα σε μετεωρολογικά δεδομένα και μεταδίδει την πληροφορία που προκύπτει. [54]

Οι Αυτόματοι Μετεωρολογικοί Σταθμοί, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό, διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- Light Automatic Weather Stations για τη μέτρηση λίγων μεταβλητών, όπως η βροχόπτωση και η θερμοκρασία αέρα
- Basic Automatic Weather Stations για τη μέτρηση «βασικών» μετεωρολογικών μετρήσεων, όπως η θερμοκρασία αέρα, η σχετική υγρασία, η ταχύτητα και η κατεύθυνση ανέμου, η βροχόπτωση και κάποιες φορές η ατμοσφαιρική πίεση.
- Extended Automatic Weather Stations, οι οποίοι περιλαμβάνουν πρόσθετους αισθητήρες για τη μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας, τη διάρκεια ηλιοφάνειας, τη θερμοκρασία εδάφους, την εξάτμιση κ.α.
- Automatic Weather Stations με αυτοματοποίηση των οπτικών παρατηρήσεων: πρόκειται για Basic ή Extended AWS που περιλαμβάνουν αυτόματη παρατήρηση της ορατότητας, του ύψους της βάσης των σύννεφων και του σημερινού καιρού. Ονομάζονται συνήθως AWOS (automated weather observing system) ή ASOS (automated surface observing system). [54]

Οι παραπάνω κατηγορίες παρέχουν τη δυνατότητα καταγραφής και διαβίβασης δεδομένων, χρησιμοποιώντας ποικίλες μεθόδους. [21]

Ο WMO υποστηρίζει ότι οι σταθμοί που καταγράφουν δεδομένα επί τόπου, χωρίς καμία αυτόματη μετάδοση, χάνουν έδαφος επειδή τα δεδομένα τους δεν είναι διαθέσιμα σε πραγματικό χρόνο ενώ δεν είναι δυνατή η ανίχνευση πιθανής βλάβης του εξοπλισμού.

Οι AWS μπορούν να έχουν πολλαπλές χρήσεις, όπως η ικανοποίηση απαιτήσεων διαφόρων εφαρμογών στην αεροναυτική και γεωργική μετεωρολογία, στην υδρολογία και στην κλιματολογία αλλά και πιο εξειδικευμένων σκοπών όπως η ασφάλεια της πυρηνικής ενέργειας, η ποιότητα του αέρα και των υδάτων ή η οδική μετεωρολογία.

Τις τελευταίες δεκαετίες, ο αριθμός των αυτόματων μετεωρολογικών σταθμών (AWS) και των δικτύων έχει αυξηθεί σημαντικά σε παγκόσμιο επίπεδο. Αυτόματοι μετεωρολογικοί σταθμοί χρησιμοποιούνται τόσο στις εθνικές μετεωρολογικές

υπηρεσίες των κρατών όσο και σε πανεπιστήμια, ερευνητικά ινστιτούτα και ιδιωτικές εταιρείες, ανταποκρινόμενοι στην ανάγκη για πυκνότερη κατανομή των καιρικών παρατηρήσεων και συμβάλλουν στην επέκταση και διάδοση υψηλότερης ποιότητας καιρικών δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά είναι απαραίτητα στην έρευνα που πραγματοποιείται παγκοσμίως για τους κινδύνους και τις περιβαλλοντικές και κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις που επιφέρουν οι ακραίες μετεωρολογικές συνθήκες. [33] Στις Η.Π.Α. και στον Καναδά, ο αριθμός των ιδιωτικών μετεωρολογικών δικτύων άρχισε να αυξάνεται από τη δεκαετία του ’80, προς ικανοποίηση των αναγκών που προέκυψαν στη γεωργία και συνεχίζεται έως και σήμερα όπου νέα ερευνητικά θέματα έρχονται στο προσκήνιο, όπως η αντιμετώπιση των κλιματολογικών και περιβαλλοντικών προβλημάτων [33].

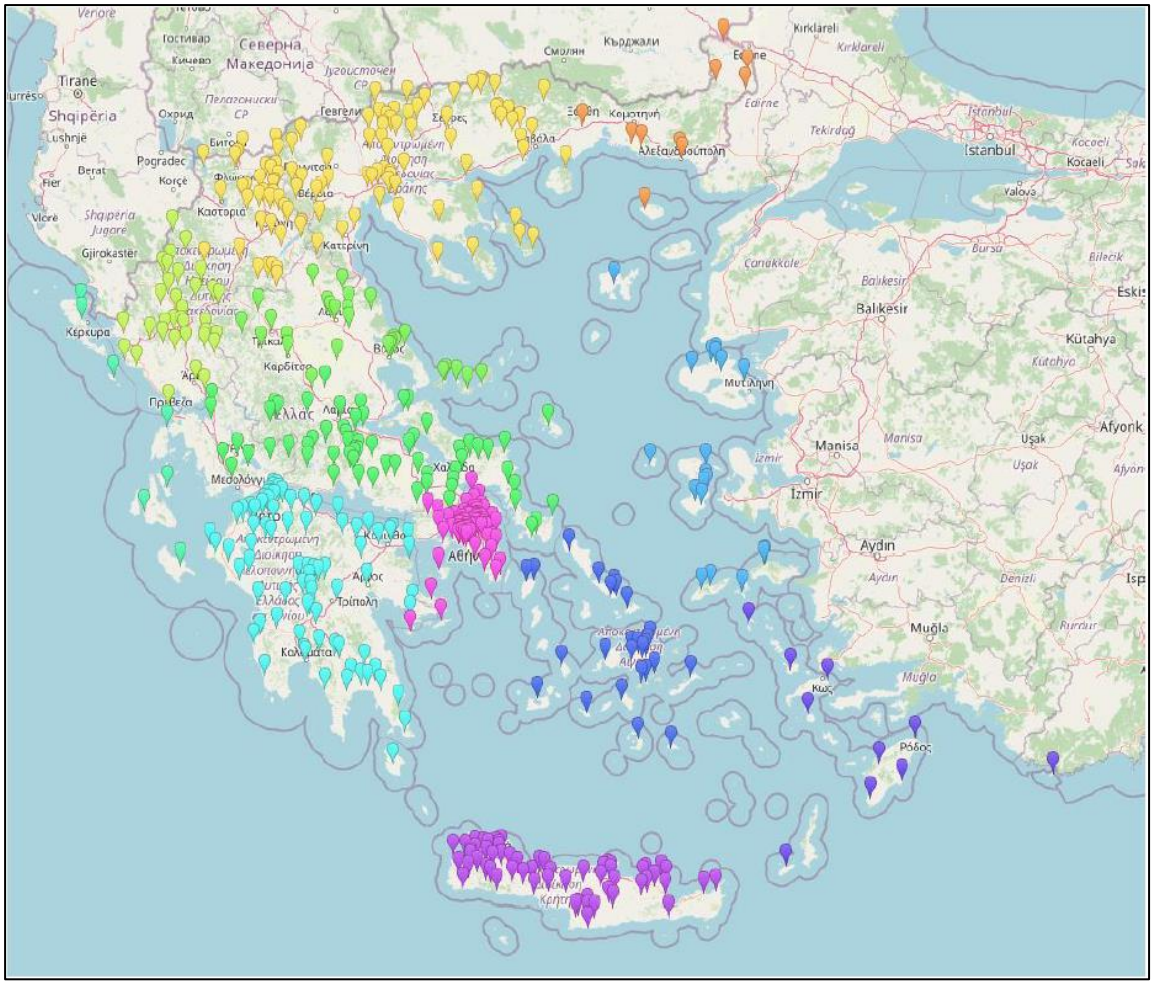
Ο Muller et al, 2013 τόνισε τη σημασία ανάπτυξης πρωτοκόλλου αυτών των δικτύων, ώστε να καθιερωθούν κοινές κατευθυντήριες γραμμές και να εξασφαλιστούν υψηλής ποιότητας δεδομένα [33]. Ο καθορισμός των προτύπων και βέλτιστων πρακτικών για τις κλιματικές παρατηρήσεις γίνεται από τον WMO. Τα πρότυπα αυτά καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα πτυχών των κλιματικών παρατηρήσεων, όπως ο καθορισμός του ελάχιστου συνόλου κλιματικών στοιχείων που πρέπει να παρατηρούνται / μετρούνται στην επιφάνεια, στο υπέδαφος και στον αέρα, ο τύπος, η ποιότητα και τα χαρακτηριστικά των οργάνων μέτρησης, η χωροθέτηση των κλιματολογικών σταθμών, ο σχεδιασμός των κλιματολογικών δικτύων και των διαδικασιών για τη λειτουργία των σταθμών και του δικτύου. Για την κάλυψη όλων των πτυχών ο WMO ανέπτυξε μια σειρά από τεχνικές αναφορές, συμπεριλαμβανομένων οδηγών, εγχειριδίων και εγγράφων κατευθυντήριων γραμμών.[2]

Στην Ελλάδα, το Ινστιτούτο Ερευνών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης (ΙΕΠΒΑ)[3] δημιούργησε το 2006 ένα σχετικά χαμηλού κόστους δίκτυο επίγειων μετεωρολογικών σταθμών με στόχο την κάλυψη όλης της χώρας (συμπεριλαμβανομένων των πολυάριθμων ελληνικών νησιών) με μετάδοση

[2] https://community.wmo.int/en/standards-and-requirements-climate-observations

[3] Το Ινστιτούτο Ερευνών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης (ΙΕΠΒΑ) είναι ένα από τα τρία Ινστιτούτα του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών. Ιδρύθηκε το 1846 και αποτέλεσε την πρώτη μετεωρολογική υπηρεσία της χώρας, λειτουργώντας ένα δίκτυο μετεωρολογικών σταθμών σε όλη την επικράτεια. Σήμερα οι δραστηριότητες του καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα, όπως η πρόγνωση καιρού με σύγχρονα αριθμητικά μοντέλα, η ανάπτυξη ενός συνεχώς επεκτεινόμενου δικτύου αυτόνομων μετεωρολογικών και ακτινομετρικών σταθμών, η εφαρμογή ποικίλων κλιματικών μοντέλων (Regional Climate Models – RCMs) για τη μελέτη των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, η καταγραφή εκπομπών αερίων θερμοκηπίου για τη διαμόρφωση εθνικής ενεργειακής πολιτικής (https://www.iersd.noa.gr/en/istoria-iepva/)

δεδομένων μέσω διαδικτύου. Το δίκτυο αυτό αναφέρεται ως NOAAN (NOA Automatic Network). Σύμφωνα με στοιχεία του 2022, περιλαμβάνει 513 σταθμούς, με γεωγραφική κατανομή όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 1.



Εικόνα 1: Η γεωγραφική κατανομή των μετεωρολογικών σταθμών[4]

Τα δεδομένα του NOAAN, τόσο σε πραγματικό χρόνο όσο και αρχειοθετημένα, χρησιμοποιούνται μεταξύ άλλων για τη μελέτη του αστικού περιβάλλοντος, την κατανόηση των έντονων καιρικών φαινομένων και των επιπτώσεών τους στην κοινωνία, την επικύρωση και επαλήθευση μοντέλων. Επιπλέον, χρησιμοποιούνται στον τομέα της γεωργίας, όχι μόνο για τον καθορισμό του τοπικού μικροκλίματος όπου είναι εγκατεστημένος ο σταθμός αλλά και για την αξιολόγηση των επιπτώσεων των καιρικών συνθηκών στις καλλιέργειες, στον κατασκευαστικό τομέα, στις ασφαλιστικές εταιρείες κ.λπ. [33].

Ο τύπος των σταθμών που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο NOAAN είναι Davis Vantage Pro 2 και περιλαμβάνουν αισθητήρες για την μέτρηση της θερμοκρασίας,

[4] Τα χρώματα συμβολίζουν τα διαφορετικά γεωγραφικά διαμερίσματα. [35]

της υγρασίας, της διεύθυνσης και ταχύτητας του ανέμου, της βροχόπτωσης, της ατμοσφαιρικής πίεσης και της ηλιακής ακτινοβολίας. Η καταγραφή των μετρήσεων, συνήθως, πραγματοποιείται με χρονικό βήμα 10 λεπτών και με το ίδιο βήμα καταχωρούνται οι μετρήσεις στη βάση δεδομένων [55]. Ο Πίνακας 1 παρουσιάζει τα τεχνικά χαρακτηριστικά των σταθμών του δικτύου NOAAN.

Παράμετρος	**Είδος αισθητήρα**	**Εύρος Λειτουργίας**	**Διακριτική Ικανότητα**	**Ακρίβεια**	**Απόκριση**
Θερμοκρασία	Ηλεκτρονικός - δίοδος πυριτίου PN	-40 έως +65 °C	0.1 °C	±0.3 °C	10 έως 12 sec
Υγρασία	Ηλεκτρονικός - πυκνωτής φιλμ	1% έως 100 %	1%	±2%	50 έως 60 sec
Διεύθυνση ανέμου	Ανεμοδείκτης - Ποτενσιόμετρο	0 έως 360°	1°	±3°	2.5 έως 3 sec
Ταχύτητα ανέμου	Κυπελλοφόρο με μαγνητικό διακόπτη	1 έως 80 m/s, 1 έως 320 km/h	0.1 m/s, 1 km/h	±5% max	2.5 έως 3 sec
Βροχόπτωση	Ανατρεπόμενου δοχείου (tipping bucket)	0 έως 6553 mm	0.2 mm	±3-4%	20 έως 24 sec
Ατμοσφαιρική πίεση	Ηλεκτρονικός	540 έως 1100 hPa	0.1 hPa	±1.0 hPa	60 sec
Ηλιακή ακτινοβολία	Φωτοδίοδος πυριτίου με διαχύτη (400-1100nm)	0 έως 1800 Wm^{-2}	1 Wm^{-2}	±5%	50 έως 60 sec

Πίνακας 1: Τεχνικά χαρακτηριστικά των αυτόματων σταθμών του δικτύου NOAAN (Davis Instrumetns, PR57, January 2020)[5].

[5] [55]



Εικόνα 2: Παραδείγματα μετεωρολογικών σταθμών[6]

2.3.2 Αυτόματοι Μετεωρολογικοί Σταθμοί Χαμηλού Κόστους στο εμπόριο

Η μέτρηση των καιρικών φαινομένων, ιστορικά, γίνονταν από επαγγελματικούς - επιστημονικούς μετεωρολογικούς οργανισμούς. Στην τελευταία δεκαετία, καταγράφεται ένας αυξανόμενος αριθμός Αυτόματων Μετεωρολογικών Σταθμών χαμηλού κόστους. Πρόκειται για τον δεύτερο τύπο μετεωρολογικών σταθμών, που αναγνωρίζει ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός. Χρησιμοποιούνται, κυρίως, από χομπίστες μετεωρολόγους ή ιδιωτικές εταιρείες και τα κύρια χαρακτηριστικά τους είναι το χαμηλότερο κόστος χρήσης και αγοράς, η χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας, η δυνατότητα μετάδοσης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο (με ή χωρίς

[6] [55]

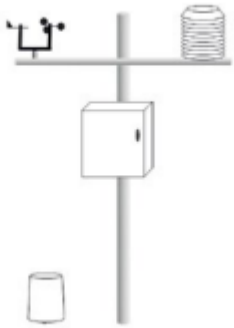
σύστημα καταγραφής) και το μικρό μέγεθός τους [54]. Όμως, η χρήση ηλεκτρονικών και αισθητήρων που παράγονται από κατασκευαστές χωρίς εκτεταμένη εμπειρία στις μετεωρολογικές μετρήσεις και χωρίς κάποια τυποποίηση, καθιστούν την ποιότητα των δεδομένων που συλλέγουν αμφιλεγόμενη. [21]

Οι Αυτόματοι Μετεωρολογικοί Σταθμοί χαμηλού κόστους διακρίνονται σε 3 κατηγορίες, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό:

- Compact (Συμπαγής)
- All-in-one (Όλα σε ένα)
- Stand-alone (Αυτόνομος)

Τα βασικά χαρακτηριστικά και η λειτουργία των σταθμών και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κάθε κατηγορίας αναλύονται παρακάτω.

Ο Compact (Συμπαγής) Αυτόματος Μετεωρολογικός Σταθμός (Compact Automatic Weather Station – Compact AWS) αποτελείται συνήθως από έναν ιστό, μια βάση κι έναν στύλο με βραχίονες στήριξης των οργάνων μέτρησης και συνήθως ένα ερμάριο για την αποθήκευση επεξεργαστή και τροφοδοτικού (εικόνα 3). Είναι παρόμοιοι με τους επαγγελματικούς μετεωρολογικούς σταθμούς μέτρησης. Χρησιμοποιούν, συνήθως, μεμονωμένα όργανα για κάθε μεταβλητή, ικανά να βαθμονομηθούν, να ρυθμιστούν και να αντικατασταθούν μεμονωμένα, αν χρειαστεί. Ορισμένοι έχουν δυνατότητα καταγραφής και μετάδοσης δεδομένων. [54]

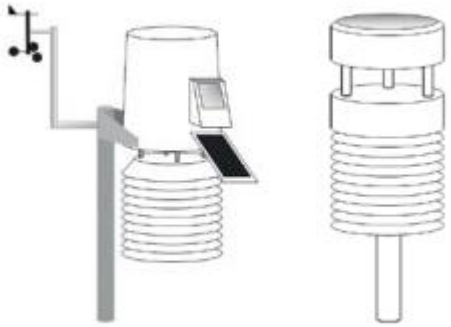


Εικόνα 3: Παράδειγμα compact AWS[7]

Ο All-in-One (Όλα σε ένα) Αυτόματος Μετεωρολογικός Σταθμός συνήθως περιλαμβάνει όργανα μέτρησης θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας και πίεσης με δυνατότητα προσθήκης και άλλων οργάνων, όπως ταχύτητας και κατεύθυνσης ανέμου, βροχόπτωσης, ηλιακής ακτινοβολίας. Ο όρος «all-in-one» αναφέρεται στα στοιχεία του οργάνου μέτρησης ενός σταθμού χαμηλού κόστους και αυτό σημαίνει ότι

[7] [54]

έχει σχεδιαστεί ώστε να αποτελούν ενιαία μονάδα, η οποία τοποθετείται πάνω σε στύλο. Ορισμένα μοντέλα παρέχουν τη δυνατότητα καταγραφής και μετάδοσης περιορισμένου όγκου δεδομένων. Για την παροχή ενέργειας, περιλαμβάνουν συνήθως επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, οι οποίες συμπληρώνονται από μικρό ηλιακό panel [54].



Εικόνα 4: Παράδειγμα all-in-one AWS[8]

Ο Stand Alone (Αυτόνομος) Αυτόματος Μετεωρολογικός Σταθμός χρησιμοποιεί Internet of Things (IoT) συσκευές, ευφυή δηλαδή όργανα που μεταδίδουν πληροφορίες σε κεντρικούς servers, χρησιμοποιώντας χαμηλή ισχύ και χαμηλό εύρος ζώνης μέσω wi-fi, Bluetooth ή διεπαφών διαδικτύου. Υπάρχει, επίσης, ένας διαρκώς αυξανόμενος αριθμός εφαρμογών σε κινητά τηλέφωνα που μετρούν καιρικές παραμέτρους [54]. Η πιο συνηθισμένη διάταξη που χρησιμοποιείται σε αυτόν τον τύπο μετεωρολογικών σταθμών για την ανάπτυξη των διαφόρων οργάνων του είναι η τοπολογία αστέρα. Κάθε συσκευή μέτρησης συνδέεται σε ένα κεντρικό κόμβο, ο οποίος λειτουργεί ως αγωγός για την αποθήκευση και μετάδοση των μηνυμάτων. [21]

Οι μετεωρολογικοί σταθμοί των παραπάνω κατηγοριών παρουσιάζουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και η επιλογή τους από τον χρήστη γίνεται ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζονται.

Τα All-in-one συστήματα έχουν σχεδιαστεί για να είναι εύκολα στην εγκατάσταση και τον χειρισμό, όμως, η ποιότητα των μετρήσεών τους μπορεί να επηρεαστεί από το γεγονός πως όλα τα όργανα μέτρησης είναι συγκεντρωμένα σε μια ενιαία μονάδα, χωρίς να μπορούν να εκτεθούν σωστά στις καιρικές συνθήκες και με κίνδυνο κάποια όργανα να επηρεάζουν τις μετρήσεις των υπολοίπων. Ένα άλλο βασικό μειονέκτημά τους είναι ότι εάν κάποιο από τα όργανα χαλάσει, τότε όλη η μονάδα χρειάζεται επισκευή ή αντικατάσταση. Επίσης, λόγω της ποιότητας της

[8] [54]

κατασκευής τους (πλαστικά εξαρτήματα) δεν φημίζονται για την ανθεκτικότητά τους στις καιρικές συνθήκες, ενώ δεν περιλαμβάνουν τη δυνατότητα χρήσης εξωτερικής παροχής ρεύματος, η οποία σε τοποθεσίες με μικρή ή καθόλου ηλιοφάνεια είναι απαραίτητη.

Τα βασικά πλεονεκτήματα των Compact AWS είναι ότι μπορούν να χρησιμοποιήσουν όργανα του εμπορίου, προσφέρουν τη δυνατότητα αντικατάστασης ελαττωματικών ή χαλασμένων οργάνων και επιτρέπουν καλύτερη διαμόρφωση της θέσης τους. Αντίθετα, η κατασκευή τους είναι ελαφρύτερη και κατά συνέπεια λιγότερο ανθεκτική σε έντονες καιρικές συνθήκες σε σχέση με τους επαγγελματικούς μετεωρολογικούς σταθμούς. Περιλαμβάνουν λογισμικό που επιτρέπει τη συλλογή, μετάδοση και εμφάνιση των μετεωρολογικών δεδομένων. Ολοένα και περισσότεροι κατασκευαστές παρέχουν υπηρεσίες cloud για την συλλογή και αποθήκευση δεδομένων, ενώ αποστέλλουν στατιστικά δεδομένα τα οποία είναι προσβάσιμα είτε μέσω περιηγητή είτε μέσω παρεχόμενου API. Αυτό δίνει τη δυνατότητα παράλληλης και από οπουδήποτε χρήσης των δεδομένων από πολλούς χρήστες. Ωστόσο, το λογισμικό αυτών των συστημάτων ελαχιστοποιεί τις επιλογές των χρηστών να επεκτείνουν τη δικτύωσή τους με άλλα συστήματα AWS. [54]

Οι Stand Alone AWS προσφέρουν τη δυνατότητα βελτιστοποίησης της θέσης τους καθώς και της επιλογής των επιμέρους οργάνων που θα το αποτελούν. Ωστόσο, η λειτουργία και η διαχείριση αυτών των συστημάτων μπορεί να γίνει περίπλοκη. Λόγω του ότι οι IoT τεχνολογίες είναι κάτι πρόσφατο δεν θεωρούνται τόσο δοκιμασμένα συστήματα όσο τα άλλα δύο (all-in-one και compact). Οι επαγγελματίες κατασκευαστές μετεωρολογικών οργάνων είναι σε αρχικό στάδιο όσον αφορά την παραγωγή ειδικών οργάνων για αυτή την κατηγορία, με αποτέλεσμα ό,τι υπάρχει στην αγορά να προέρχεται από κατασκευαστές χωρίς εκτεταμένη εμπειρία στις μετεωρολογικές μετρήσεις που σημαίνει ότι τα δεδομένα που προκύπτουν είναι αμφιβόλου ποιότητας. Γι’ αυτόν τον λόγο, ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός θεωρεί ότι, τουλάχιστον ακόμα, στοχεύουν στην ερασιτεχνική και οικιακή αγορά και δεν είναι κατάλληλα για χρήση από Μετεωρολογικούς Οργανισμούς [54].

Συνοψίζοντας, οι Αυτόματοι Μετεωρολογικοί Σταθμοί χαμηλού κόστους θα μπορούσαν να είναι μέρος ενός επαγγελματικού μετεωρολογικού δικτύου εάν κατανοηθούν σε βάθος οι περιορισμοί στην απόδοση και λειτουργία τους. Ο βασικότερος λόγος εισαγωγής και χρήσης τους στα μετεωρολογικά δίκτυα είναι ότι λόγω του μεγέθους και του κόστους τους μπορούν να προσφέρουν αύξηση της πυκνότητας των σημείων παρατήρησης [54]. Η πυκνή κάλυψη περιοχών με

Αυτόματους Μετεωρολογικούς Σταθμούς είναι αδύνατη, καθώς το κόστος εγκατάστασής τους είναι μεγάλο και απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό τόσο για τη λειτουργία όσο και για τη συντήρησή τους. [44] Επίσης, οι επαγγελματικοί και επιστημονικοί σταθμοί που τοποθετούνται σε ερευνητικούς οργανισμούς, πανεπιστήμια, αεροδρόμια, όντας συχνά σε μακρινή σχετικά απόσταση από σημεία ενδιαφέροντος ενδέχεται να καταγράφουν τιμές που δεν αντιστοιχούν στην πραγματικότητα [10]. Ένα ακόμη σημαντικό πλεονέκτημα των AWS-LC είναι η δυνατότητα αποθήκευσης και διανομής των δεδομένων σε μεγαλύτερη κλίμακα και η λήψη και σύγκριση δεδομένων πολλών ετών για μια συγκεκριμένη περιοχή ή θέση [10]. Ωστόσο, ζητήματα που αφορούν απαιτήσεις των χρηστών για ποιοτικά δεδομένα, το κόστος σε ανθρώπινο δυναμικό για την συντήρησή τους, τη λειτουργία και παρακολούθησή τους πρέπει να ληφθούν υπόψη στο σχεδιασμό του συνολικού δικτύου. [54]

2.3.3 Οι αυτοσχέδιοι Αυτόματοι Μετεωρολογικοί Σταθμοί χαμηλού κόστους

Οι αυτοσχέδιοι αυτόματοι μετεωρολογικοί σταθμοί χαμηλού κόστους μπορεί να αποτελέσουν μια πολύ καλή εναλλακτική επιλογή χαμηλού κόστους για όσους επιθυμούν να έχουν πρόσβαση σε τοπικές καιρικές πληροφορίες. Η κατασκευή αυτοσχέδιων σταθμών επιτρέπει την προσαρμογή των χαρακτηριστικών και μετρήσεων σύμφωνα με τις ανάγκες του χρήστη. Παρακάτω ακολουθούν τα βασικά τμήματα από τα οποία αποτελούνται οι αυτοσχέδιοι μετεωρολογικοί σταθμοί που εξετάζονται στην παρούσα εργασία όσον αφορά τον επεξεργαστή, τους αισθητήρες, το λογισμικό, την επικοινωνία, την προβολή και μεταφορά των δεδομένων. Αναφέρονται τα βασικά τους χαρακτηριστικά και παρουσιάζονται με τη βοήθεια εικόνων που ανακτήθηκαν από το διαδίκτυο.

2.3.3.1 Επεξεργαστής

Οι υπό εξέταση αυτοσχέδιοι μετεωρολογικοί σταθμοί χρησιμοποιούν τους παρακάτω επεξεργαστές:

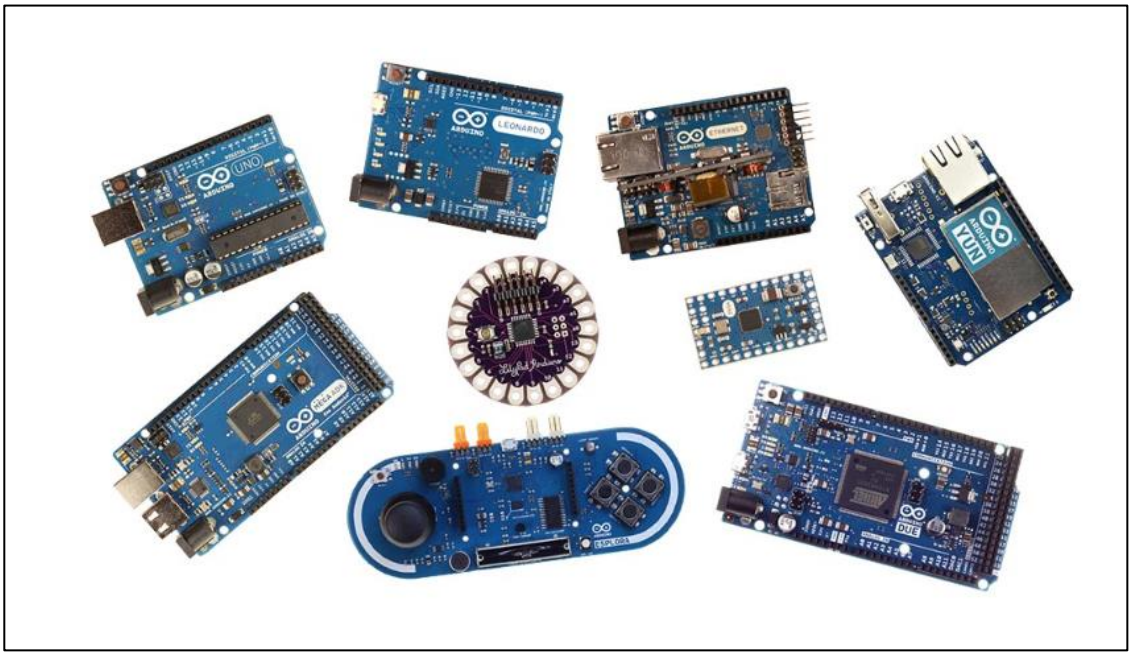
Πλατφόρμα Arduino

Η πλατφόρμα Arduino είναι ανοικτού κώδικα, προσφέροντας εύκολες λύσεις αυτοματισμού τόσο σε επίπεδο υλικού όσο και σε επίπεδο λογισμικού. Διαθέτει

μεγάλη ποικιλία πλακετών (boards), ανάλογα με τις ανάγκες κάθε υλοποίησης. Η πλακέτα περιέχει τόσο αναλογικές όσο και ψηφιακές εισόδους και εξόδους, για τη σύνδεση αισθητήρων, κινητήρων, ρελέ, οθονών κ.α. Οι διαστάσεις ποικίλουν από 45mm x 18mm (Arduino Nano) έως 101mm x 53mm (Arduino Mega).

Ο προγραμματισμός γίνεται μέσω υπολογιστή, σε λογισμικό ανοικτού κώδικα (Arduino IDE). Η σύνδεση γίνεται μέσω καλωδίου USB. Μετά τον προγραμματισμό, η τροφοδοσία της πλακέτας πραγματοποιείται είτε από τη θύρα USB είτε ανεξάρτητα με τάση έως 12v.

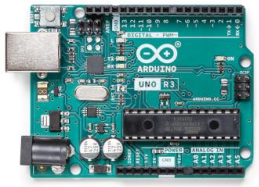
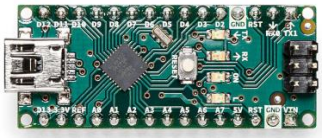
Σχετικά με το κόστος, οι μη αυθεντικές πλακέτες ξεκινούν από περίπου 6€ και φθάνουν μέχρι 15€, ενώ οι αυθεντικές είναι συνήθως 10-15€ ακριβότερες.



Εικόνα 5: Πλακέτες Arduino[9]

Παράλληλα, υπάρχουν αρκετές πλακέτες επέκτασης (Shields) που τοποθετούνται επάλληλα και προσφέρουν επιπλέον δυνατότητες, όπως GPS, θύρα Ethernet, ρελέ κ.α.

[9] https://www.kodlamaegitimi.org/robotik/arduino/arduino-nedir-nerelerde-kullanilir/

	Arduino Uno Rev3	Arduino Mega 2560 Rev3	Arduino Nano
	 [10]	 [11]	 [12]
Εύρος τιμών	$6-$20	$10-$36	$10-$20
Διαστάσεις	68mm x 53mm	101mm x 53mm	18mm x 45mm
Βάρος	25g	37g	7g
Επεξεργαστής	ATmega328P	ATmega2560	ATmega328
Clock speed	16 MHz	16 MHz	16 MHz
Μνήμη Flash	32KB	256KB	32KB
EEPROM	1KB	4KB	1KB
Ψηφιακές Εισ./Εξ.	14	54	22
Αναλογικές Εισ./Εξ.	6	16	8

Πίνακας 2: Τεχνικά χαρακτηριστικά Arduino boards

Πλατφόρμα Raspberry Pi

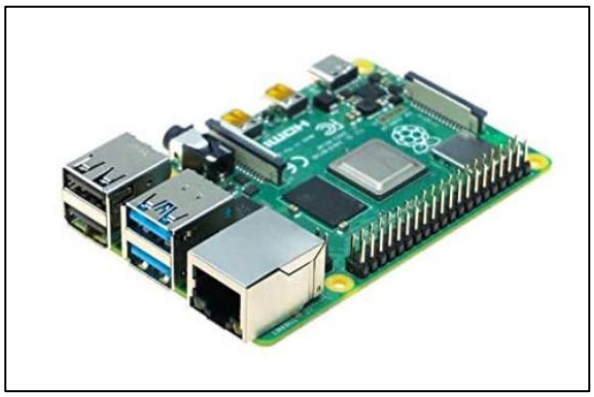
Η πλατφόρμα Raspberry Pi αποτελεί μια δημοφιλή επιλογή τόσο για ερασιτεχνικές υλοποιήσεις αυτοματισμού όσο και ως αυτόνομος ηλεκτρονικός υπολογιστής.

Είναι χαμηλού κόστους, μικρών διαστάσεων (στο μέγεθος πιστωτικής κάρτας) και έχει θύρες USB και HDMI για σύνδεση περιφερειακών συσκευών (πληκτρολόγιο, ποντίκι, οθόνη κ.α.). Ο χρήστης μπορεί να πλοηγηθεί στο διαδίκτυο, να αναπαραγάγει HD βίντεο αλλά και να εγκαταστήσει εφαρμογές, όπως Office. Έχει τη δυνατότητα σύνδεσης με κάμερες και οθόνες αφής και έχει μεγάλο εύρος διαθέσιμων καρτών επέκτασης για υλοποιήσεις που αφορούν τηλεοπτικό σήμα, επεξεργασία ήχου, υλοποιήσεις IoT. Διατίθεται ένα πλήθος διαφορετικών εκδόσεων, ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη. Τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά του είναι:

- Κόστος: 40€ έως 75€
- Επεξεργαστής: Broadcom BCM2711, quad-core Cortex-A72 64-bit SoC @ 1.5GHz
- Μνήμη: 1 GB έως 4GB
- Συνδεσιμότητα: 2.4 GHz και 5.0 GHz IEEE 802.11b/g/n/ac wireless LAN, Bluetooth 5.0, BLE, Gigabit Ethernet, 2 × USB 3.0, 2 × USB 2.0

[10] https://www.cableworks.gr/
[11] https://grobotronics.com/arduino-mega-2560-rev3.html?sl=en
[12] http://t0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRzcxLKUvDnMuef9c72b29gwuY8mD31JcxkSCNz9xt3c8IajFYu

- Θύρα Micro SD
- 2 θύρες micro HDMI
- Τάση λειτουργίας: 5v
- Θερμοκρασία λειτουργίας: 0°C έως 50°C

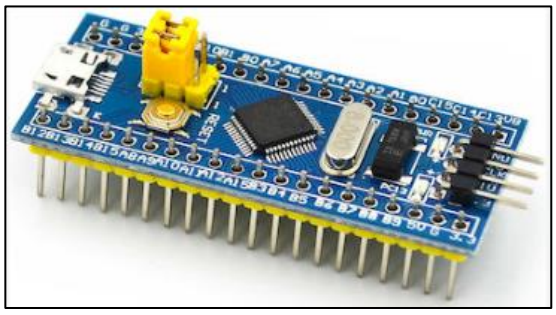


Εικόνα 6: Raspberry Pi 4[13]

Μικροελεγκτής STM32

Ο Μικροελεγκτής STM32 βασίζεται στον επεξεργαστή ARM Cortex-M3 με συχνότητα έως 72MHz. Βασικά του χαρακτηριστικά είναι:

- 512 KB μνήμη Flash
- 2 12bit ADC
- 2 12bit DAC
- 3 16bit timers
- PWM timer



Εικόνα 7: Ο Μικροελεγκτής STM32[14]

[13] https://www.amazon.com/Raspberry-Model-2019-Quad-Bluetooth/dp/B07TC2BK1X
[14] https://www.hellasdigital.gr/electronics/microcontrollers/stm32-arm-system-development-board-stm32f103c8t6/

2.3.3.2 Αισθητήρες

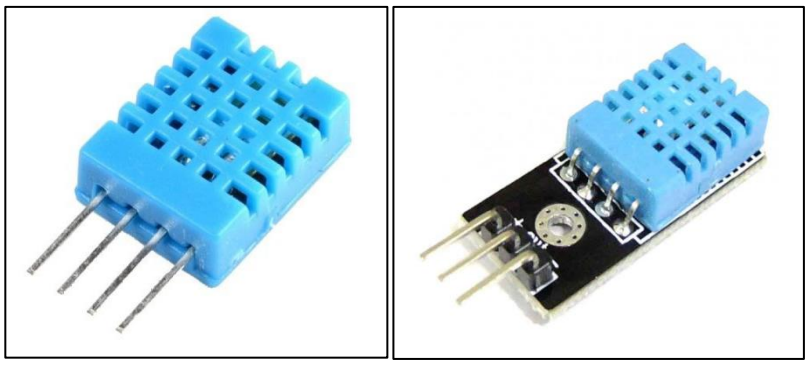
Μια δεύτερη κατηγορία εξαρτημάτων απαραίτητων για τη λειτουργία των σταθμών είναι οι αισθητήρες, οι οποίοι ανάλογα του τι μετρούν διακρίνονται στους παρακάτω:

1. Αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας

DHT11

Ο αισθητήρας DHT11 αποτελεί μια προσιτή και λειτουργική επιλογή για όποιον επιθυμεί να έχει βασική, ερασιτεχνική, μέτρηση και καταγραφή θερμοκρασίας και υγρασίας. Αποτελείται από δύο μέρη: έναν χωρητικό αισθητήρα υγρασίας και ένα thermistor. Ακόμη, περιέχει ένα απλό κύκλωμα για μετατροπή του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό, το οποίο εξάγεται. Τεχνικά χαρακτηριστικά του είναι:

- Εξαιρετικά μικρό κόστος (0,70€-1,00€)
- Εύρος λειτουργίας: 3v-5v (συνεπώς συμβατός με πολλές υλοποιήσεις)
- Κατάλληλος για μέτρηση υγρασίας 20% έως 80% με ακρίβεια 5%
- Κατάλληλος για μέτρηση θερμοκρασίας 0°C έως 50°C (±2°C ακρίβεια)
- Ρυθμός δειγματοληψίας (sampling rate) 1 Hz
    - Μέγεθος: 15.5mm x 12mm x 5.5mm



Εικόνα 8: Ο αισθητήρας DHT11[15] [16]

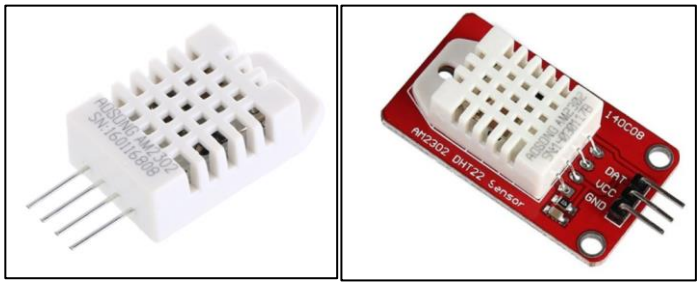
DHT22

Ο αισθητήρας DHT22 μοιράζεται αρκετά κοινά χαρακτηριστικά με τον DHT11. Είναι πιο ακριβός και μεγαλύτερος σε μέγεθος αλλά προσφέρει μεγαλύτερη ακρίβεια

[15] https://www.devobox.com/el/enviromental/110-dht11-digital-humidity-temperature-sensor.html
[16] https://topelectronics.gr/electronics/sensors/temperature/dht11-digital-temperature-and-humidity-sensor/

και μεγαλύτερο εύρος. Έχει ρυθμό δειγματοληψίας 0,5 Hz, κάτι που δεν απασχολεί σε μετρήσεις θερμοκρασίας για μετεωρολογικούς σκοπούς. Τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Μικρό κόστος (1,30€-2,00€)
- Εύρος λειτουργίας: 3v-5v
- Κατάλληλος για μέτρηση υγρασίας 0% έως 100% με ακρίβεια 2%-5%
- Κατάλληλος για μέτρηση θερμοκρασίας -40°C έως 80°C (±0,5°C ακρίβεια)
- Ρυθμός δειγματοληψίας (sampling rate) 1 Hz
- Μέγεθος: 15.5mm x 12mm x 5.5mm



Εικόνα 9: Ο αισθητήρας DHT22[17] [18]

LM35

Ο αισθητήρας LM35 είναι αναλογικός, με βασικές διαφορές από τους DHT11, DHT22 το μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασίας και μεγαλύτερο εύρος τάσης λειτουργίας. Χρησιμεύει για μέτρηση μόνο θερμοκρασίας. Τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Μικρό κόστος (0,30€-0,80€)
- Εύρος λειτουργίας: 4v-30v
- Εύρος θερμοκρασίας -55°C έως 150°C (0,5°C ακρίβεια στους 25°C)



Εικόνα 10: Ο αισθητήρας LM35[19]

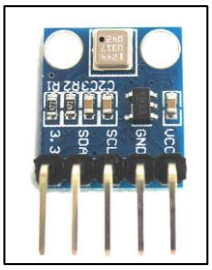
[17] https://electropeak.com/sensor-dht22-1
[18] https://my.cytron.io/p-dht22-sensor-module-breakout
[19] https://www.electronicwings.com/sensors-modules/lm35-temperature-sensor

2. Αισθητήρες βαρομετρικής πίεσης

BMP180

Ο αισθητήρας BMP180 της Bosch χαρακτηρίζεται από υψηλή ακρίβεια και αξιοπιστία. Επικοινωνεί με τον μικροεπεξεργαστή μέσω του πρωτοκόλλου I2C. Μετρώντας την ατμοσφαιρική πίεση, μπορεί αντίστοιχα να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του υψομέτρου και για το λόγο αυτό συναντάται σε ποικίλες ηλεκτρονικές συσκευές (tablet, κινητά τηλέφωνα, GPS). Τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Μικρό κόστος (0,60€-0,80€)
- Εύρος λειτουργίας: 3.3v-5.5v
- Θερμοκρασία λειτουργίας: -40°C έως 80°C
- Κατάλληλος για μέτρηση θερμοκρασίας 0°C έως 65°C
- Εύρος μέτρησης βαρομετρικής πίεσης: 300 hPa έως 1100hPa
- Υψηλή ακρίβεια: ±0.12hPa



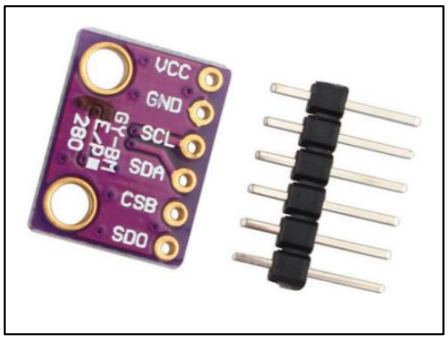
Εικόνα 11: Ο αισθητήρας BMP180[20]

BMP280

Ο αισθητήρας BMP280 αποτελεί εξέλιξη του BMP180. Προσφέρει μεγαλύτερο εύρος μέτρησης θερμοκρασίας και μέτρηση υγρασίας. Υποστηρίζει τα πρωτόκολλα I2C και SPI. Τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Μικρό κόστος (0,70€-1,00€)
- Εύρος λειτουργίας: 3.3v-5.5v
- Θερμοκρασία λειτουργίας: -40°C έως 85°C
- Κατάλληλος για μέτρηση θερμοκρασίας -40°C έως85°C
- Εύρος μέτρησης βαρομετρικής πίεσης: 300 hPa έως 1100hPa
- Υψηλή ακρίβεια: ±0.12hPa
- Διαστάσεις: 11.5mm*15mm

[20]https://components101.com/sensors/bmp180-atmospheric-pressure-sensor

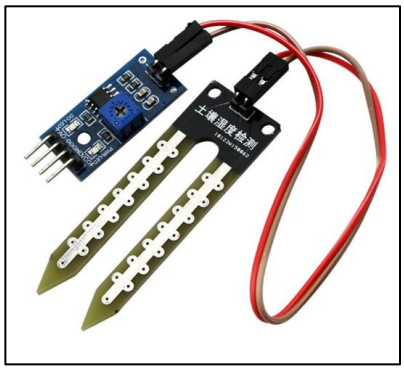


Εικόνα 12: ο αισθητήρας BMP280[21]

3. Αισθητήρες υγρασίας εδάφους

Οι αισθητήρες υγρασίας εδάφους χρησιμοποιούνται κυρίως για εφαρμογές αυτόματου ποτίσματος. Έχουν τόσο ψηφιακή όσο και αναλογική έξοδο. Σε ό,τι αφορά στην ψηφιακή έξοδο, χρησιμοποιείται όταν ο χρήστης επιθυμεί την πληροφόρηση όταν η υγρασία ξεπερνά ένα συγκεκριμένο όριο (π.χ. για ενεργοποίηση ενός ρελέ και έπειτα μιας ηλεκτροβάνας). Όταν, όμως, απαιτείται μεγαλύτερη ακρίβεια ή ανάγνωση/μέτρηση του βαθμού υγρασίας, επιλέγεται η αναλογική έξοδος. Τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Κόστος 1,90€-4,00€
- Τυπική Τάση Εισόδου: 3.3v-5v
- Διασύνδεση: Αναλογική και Ψηφιακή
- Θερμοκρασία λειτουργίας: -40°C έως 125°C
- Διαστάσεις: 30mm x 16mm



Εικόνα 13: Τυπικός αισθητήρας υγρασίας εδάφους[22]

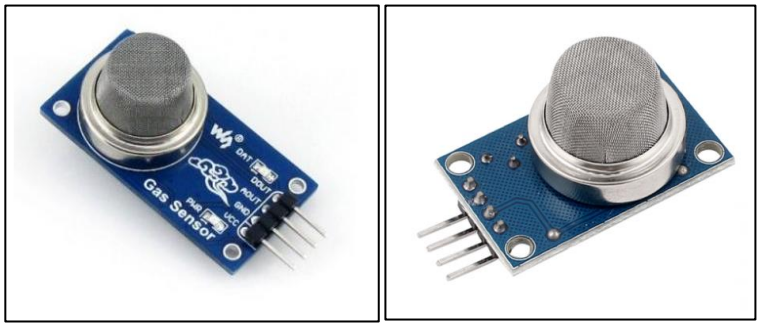
4. Αισθητήρες ποιότητας αέρα

[21] https://dme.gr/product/bmp280-pressure-sensor-module/?gclid=Cj0KCQjwmtGjBhDhARIsAEqfDEdP3BGMim1RaBv8r9bTgVzqRbx8s3NPBav_h9nMrvQdzqXrgmTTSJYaAghyEALw_wcB

[22] https://www.pcfelectronics.nl/en/soil-moisture-sensor-based-on-the-lm393-chip.html

Πρόκειται για αισθητήρες που ανιχνεύουν τη μόλυνση του αέρα. Ανάλογα με τον τύπο, είναι ευαίσθητα στην μέτρηση και ανίχνευση αερίων όπως φυσικό αέριο, μεθάνιο κοινά καυσαέρια αλλά και καπνός. Συνήθεις αισθητήρες είναι οι MQ-2 και MQ-135. Τεχνικά τους χαρακτηριστικά:

- Κόστος 3,50 €- 6,50€
- Τυπική Τάση Εισόδου: 2,5v έως 5v
- Διασύνδεση: Αναλογική και Ψηφιακή
- Εύρος ανιχνεύσιμης συγκέντρωσης: 300-10000ppm



Εικόνα 14: Οι αισθητήρες MQ-135 και MQ-2[23] [24]

5. Αισθητήρες βροχής

FC-37/YL83

Οι αισθητήρες αυτού του τύπου αποτελούνται από 2 μέρη: Μια μικρή πλακέτα που περιέχει το ηλεκτρονικό κύκλωμα (με LED λειτουργία και ποτενσιόμετρο) και τον συλλέκτη, ο οποίος λαμβάνει τις σταγόνες της βροχής. Οι σταγόνες μεταβάλλουν την αντίσταση στην πλακέτα, με αποτέλεσμα όσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα σταγόνων νερού τόσο μικρότερη να είναι η τάση εξόδου. Έχουν τόσο αναλογική όσο και ψηφιακή έξοδο. Τεχνικά τους χαρακτηριστικά:

- Κόστος 2,40€-3,40€
- Τυπική Τάση Εισόδου: 3.3v- 5v
- Διασύνδεση: Αναλογική και Ψηφιακή
- Διαστάσεις: 54mmx39mm

[23] https://grobotronics.com/waveshare-mq-135-gas-sensor-module.html
[24] https://www.cableworks.gr/ilektronika/arduino-and-microcontrollers/mcu-and-components/gas/mq-2-gas-sensor-module-smoke-butane-methane-detection-for-arduino-mq2/



Εικόνα 15: Ο αισθητήρας FC-37[25]

Tipping Bucket

Η διάταξη παρέχει τη δυνατότητα για ακριβή μέτρηση του ύψους βροχής, αποτελώντας μια απλή τεχνικά κατασκευή, με μόνο ηλεκτρονικό μέρος έναν διακόπτη.

Ο τρόπος λειτουργίας της συσκευής παρουσιάζεται παρακάτω: Η συσκευή περιλαμβάνει μια εξωτερική χοάνη, ένας εσωτερικό πλαστικό μέρος που αποτελείται από δύο μικρές δεξαμενές και μπορεί να περιστραφεί μερικώς γύρω από έναν άξονα και έναν διακόπτη που ενεργοποιείται στιγμιαία κατά την περιστροφή. Αρχικά, οι σταγόνες της βροχής συλλέγονται σε μια χοάνη και συγκεντρώνονται στο κέντρο όπου υπάρχουν μικρές οπές. Αφού περάσουν στο εσωτερικό της συσκευής, συσσωρεύονται σε μια από τις δύο δεξαμενές του κινούμενου στελέχους (αυτή που βρίσκεται ψηλότερα). Μόλις συγκεντρωθεί μια ορισμένη ποσότητα νερού (0,279mm), το βάρος της γεμάτης δεξαμενής δημιουργεί ροπή που υπερνικά το βάρος της άλλης πλευράς. Η μια πλευρά κατεβαίνει, αδειάζοντας παράλληλα το νερό στις οπές απορροής ενώ η άλλη πλευρά ανεβαίνει, ώστε να υποδεχθεί τις επόμενες σταγόνες. Κάθε φορά που γίνεται στιγμιαία και ακαριαία η αλλαγή θέσης, ένας διακόπτης (συνήθως μαγνητικός) ενεργοποιείται, στέλνοντας έναν παλμό. Η εναλλασσόμενη αυτή κίνηση παράγει παλμούς που αντιστοιχούν σε ορισμένο ύψος βροχής, δίνοντας τη δυνατότητα εκτίμησης τόσο της συνολικής βροχόπτωσης, με βάση τον αριθμό των παλμών, όσο και του ρυθμού μεταβολής της με βάση τη συχνότητα των παλμών. Τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Κόστος 12€ - 16€
- Τυπική Τάση Εισόδου: 5v έως 12v
- Θερμοκρασία λειτουργίας: 0°C έως 45°C

[25] https://www.aliexpress.com/item/4001363462714.html

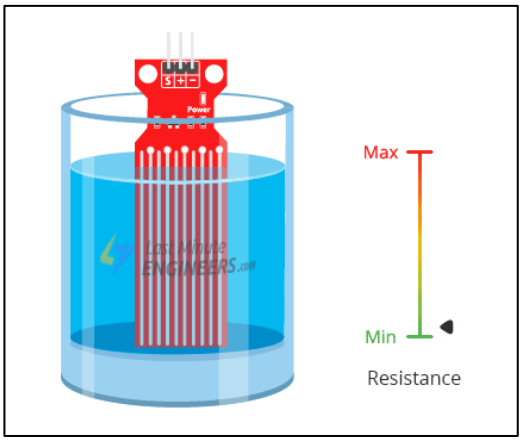
- Ακρίβεια: +/- 3% έως 50mm βροχής/ώρα



Εικόνα 16: Ο μηχανισμός Tipping Bucket[26]

Αισθητήρας ύψους νερού (Water level sensor)

Απαιτείται δοχείο/δεξαμενή στο οποίο θα μετράται το ύψος νερού. Τοποθετείται κάθετα στο επίπεδο που βρίσκεται η επιφάνεια του νερού. Η αντίσταση του αισθητήρα αλλάζει σε συνάρτηση με το ύψος του νερού (όσο βυθίζεται ο αισθητήρας τόσο μειώνεται η μετρούμενη αντίσταση.



Εικόνα 17: Αισθητήρας ύψους νερού[27]

6. Μετρητής έντασης ανέμου

Ανεμόμετρο (cup anemometer)

Πρόκειται για μια διάταξη όπου σε έναν άξονα προσαρμόζονται 3 συνεπίπεδοι βραχίονες που καταλήγουν σε ημισφαιρικά στερεά. Αυτά δέχονται τον αέρα στην

[26] https://www.amazon.in/Generic-Rain-Gauge-Tipping-Bucket/dp/B07LBKRJ18
[27] https://lastminuteengineers.com/water-level-sensor-arduino-tutorial/

κοίλη επιφάνειά τους, αναγκάζοντας τον άξονα να περιστραφεί. Ανάλογα με την ταχύτητα περιστροφής, μεταβάλλεται η τάση στην αναλογική έξοδο, η οποία, τελικά, μεταφράζεται σε ταχύτητα ανέμου. Τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Κόστος 64€ - 80€
- Βάρος: 0,6kg
- Διασύνδεση: Αναλογική
- Τυπική Τάση Εισόδου: 7v έως 24v
- Τάση εξόδου: 0,4v έως 2v
- Μέτρηση ανέμου: 0.5m/s έως 50m/s



Εικόνα 18: Ανεμόμετρο[28]

7. Αισθητήρας κατεύθυνσης ανέμου

Ο αισθητήρας κατεύθυνσης ανέμου ή ανεμοδούρι αποτελείται από έναν κατακόρυφο άξονα που περιστρέφεται γύρω από μια σταθερή βάση. Προσδιορίζει την κατεύθυνση του ανέμου είτε στις 8 βασικές κατευθύνσεις (Β,Ν,ΒΑ,ΒΔ κλπ.) είτε με μεγαλύτερη ακρίβεια. Πρόκειται για ένα εξάρτημα με αναλογική έξοδο, της οποίας οι τιμές μεταβάλλονται καθώς σε κάθε κατεύθυνση υπάρχει διαφορετική αντίσταση. Κατά συνέπεια, η τάση που λαμβάνεται ως έξοδος μπορεί να μεταφραστεί ως γωνία. Τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Κόστος 10€ - 20€
- Διασύνδεση: Αναλογική
- Τυπική Τάση Εισόδου: 12v έως 24v

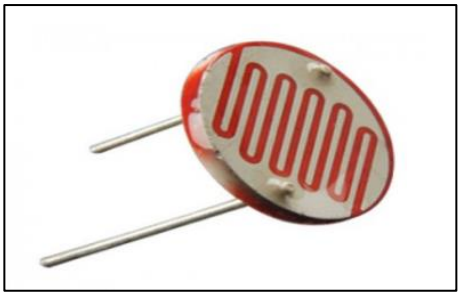
[28] https://www.communica.co.za/products/cmu-3-cup-anemometer-4-20ma



Εικόνα 19: Ανεμοδείκτης[29]

8. Αισθητήρας έντασης φωτός

Η φωτοαντίσταση (LDR) είναι μια μεταβλητή αντίσταση, η τιμή της οποίας αλλάζει ανάλογα με το φως που πέφτει πάνω της. Το μέτρο της αντίστασης είναι αντιστρόφως ανάλογο της ποσότητας του φωτός που λαμβάνει.



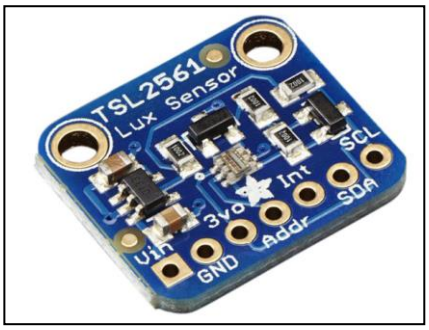
Εικόνα 20: Φωτοαντίσταση[30]

Αισθητήρας TSL2561

Πρόκειται για έναν αισθητήρα υψηλής ακρίβειας, με μεγάλο κόστος. Τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Έχει σχεδόν γραμμική απόκριση σε ορατό και υπέρυθρο φάσμα
- Θερμοκρασία λειτουργίας: -30C /+80C
- Δυναμικό εύρος: 0.1- 40,000 Lux
- Εύρος τάσης: 2.7-3.6 V
- Πρωτόκολλο: I2C
- Κόστος: 20€

[29] https://www.ato.com/wind-direction-anemometer
[30] https://www.elprocus.com/ldr-light-dependent-resistor-circuit-and-working/

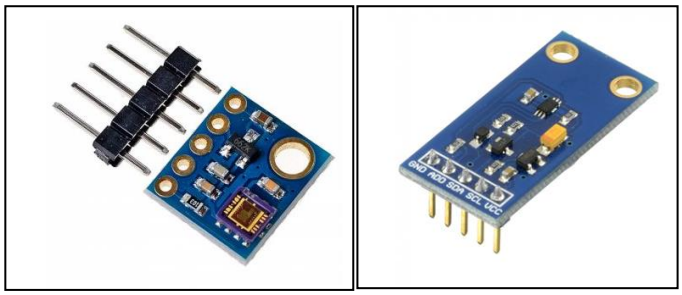


Εικόνα 21: Αισθητήρας TSL2561[31]

Άλλοι αισθητήρες:

Ο αισθητήρας BH1750FVI αποτελεί μια πιο οικονομική επιλογή, στα 6€, ενώ ο αισθητήρας ML8511 χρησιμοποιείται για μέτρηση υπεριώδους ακτινοβολίας. Τεχνικά χαρακτηριστικά αισθητήρα ML8511:

- Ευαισθησία σε UV-A και UV-B
- Τάση λειτουργίας: 2.7 έως 3.6v
- Εύρος λειτουργίας: -20 C έως +70 C
- Εύρος μήκους κύματος: 280-390nm
- Έξοδος: Αναλογική
- Διαστάσεις: 13mm X 11mm X 2mm



Εικόνα 22: Αισθητήρας ML8511 και BH1750FVI[32] [33]

Πυρανόμετρο

Το πυρανόμετρο αποτελεί αξιόπιστο όργανο μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας και χρησιμοποιείται στις επιστήμες της Μετεωρολογίας και της Φυσικής.

[31] https://www.elfadistrelec.no/en/tsl2561-digital-luminosity-light-sensor-5v-adafruit-439/p/30091216
[32] https://www.nodo-shop.nl/en/sensors/114-uv-sensor-ml8511.html
[33] https://www.hellasdigital.gr/electronics/sensors/light-and-color-sensors/bh1750fvi-digital-light-sensor-module-for-arduino-gy-30/



Εικόνα 23: Πυρανόμετρο[34]

9. Αισθητήρες ποιότητας αέρα

Παρακάτω παρουσιάζονται οι αισθητήρες ποιότητας αέρα και τα βασικά τους χαρακτηριστικά:

Αισθητήρας	**MQ-2**	**MQ-136**	**MQ135**	**MQ-7**	**DSM501A**	**MQ-9**	**MQ-2**
Τάση λειτουργίας	DC5V	DC5V	DC5V	DC5V	DC5V	DC5V	DC5V
Ανιχν. συγκέντρωση	300-10000	1-200	10-1000	20-2000			300-10000
Τάση ψηφ. εξόδου	0.1-5V						0.1-5V
Εύρος λειτουργίας (℃)		-10 - 45		-20 - 50			
Τάση αναλ. εξόδου (v)	0.1-0.3V						0.1-0.3V
Μέγεθος (mm)	30×19×20	29×19×24	6x24x25	15×15×12		32×20×16	30×19×20
Κόστος	3,50 €	34		2,90 €	3,70 €	4,7 €	2,80 €

Πίνακας 3: Τεχνικά χαρακτηριστικά αισθητήρων ποιότητας αέρα

2.3.3.3 Επικοινωνία

Όσον αφορά την επικοινωνία οι υπό εξέταση αυτοσχέδιοι σταθμοί χρησιμοποιούν τις παρακάτω επεκτάσεις επικοινωνίας:

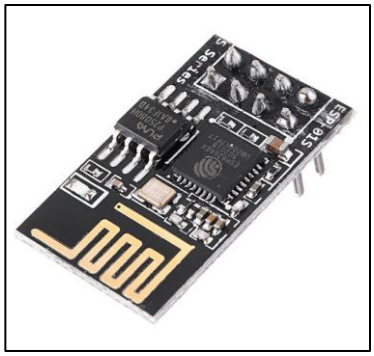
ESP8266

Το ESP8266 αποτελεί την πιο δημοφιλή επέκταση για επικοινωνία με WIFI σε υλοποιήσεις Arduino. Είναι αρκετά οικονομικό και υποστηρίζεται από μεγάλη κοινότητα χρηστών. Τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Κόστος 5€ - 7€
- Πρωτόκολλα: 802.11 b/g/n
- Θερμοκρασία λειτουργίας: -40°C έως 85°C

[34]https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CF%85%CF%81%CE%B1%CE%BD%CF%8C%CE%BC%CE%B5%CF%84%CF%81%CE%BF

- Τάση Εισόδου: 3.3v
- Βάρος: 20g

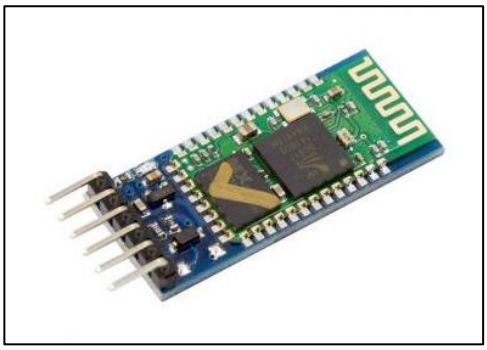


Εικόνα 24: ESP8266[35]

HC-05

Το HC-05 επιτρέπει την επικοινωνία την ασύρματη σειριακή επικοινωνία της επιλεγμένης πλατφόρμας μικροεπεξεργαστή με υπολογιστή για τη μεταφορά δεδομένων μέσω πρωτοκόλλου Bluetooth. Τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Κόστος 4€ - 6€
- Βάρος: 7g
- Εμβέλεια: 10m



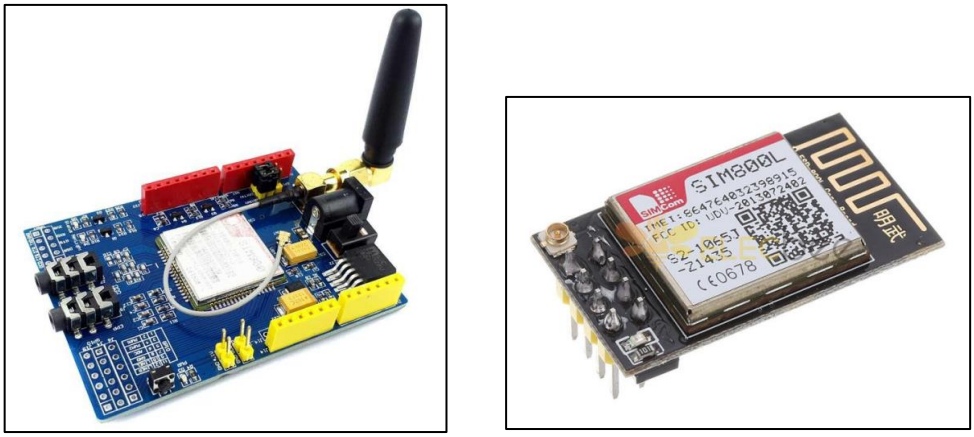
Εικόνα 25: Bluetooth adapter HC-05[36]

SIM900

Η SIM900 είναι ένα περιφερειακό εξάρτημα μικροελεγκτών όπως το Arduino που επιτρέπει τη μεταφορά δεδομένων μέσω του δικτύου κινητής τηλεφωνίας μέσω GSM/GPRS. Δέχεται κάρτα SIM. Εκτός από τη SIM900, υπάρχουν πολλές παρόμοιες υλοποιήσεις όπως η SIM800, SIM800L, SIM800C κ.α. με επιπλέον χαρακτηριστικά ανά μοντέλο όπως υποστήριξη Bluetooth, FM, dual sim, μικρότερο μέγεθος με χρήση micro SIM κλπ. Τεχνικά χαρακτηριστικά:

[35] https://www.elecbee.com/en-24630-ESP8266-ESP-01S-Remote-Serial-Port-WIFI-Transceiver-Wireless-Module
[36] https://grobotronics.com/bluetooth-module-for-arduino-hc05.html?sl=en

- Κόστος 14€ - 20€
- Τυπική Τάση Εισόδου: 5v έως 12v
- GSM / GPRS bands: 850,900,1800,1900 MHz
- Θερμοκρασία λειτουργίας: -40°C έως 85°C
- Διαστάσεις: 85x55x15mm

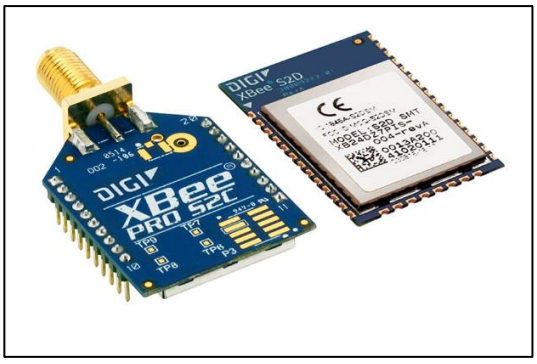


Εικόνα 26: SIM900 και SIM800L[37] [38]

XBee Pro S2

Είναι RF αναμεταδότης που επιτρέπει τη γρήγορη διασύνδεση και επικοινωνία μεταξύ συσκευών IOT. Τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Κόστος 30€ - 45€
- Τυπική Τάση Εισόδου: 2.1v έως 3.6v
- Εμβέλεια (εσωτ. Χώροι): 60m
- Εμβέλεια (εξωτ. Χώροι): 1200m
- Ρυθμός μετάδοσης: RF: 250 Kbps, σειριακή: έως 1 Mbps
- Θερμοκρασία λειτουργίας: -40°C έως 85°C



Εικόνα 27: XBee Pro S2

[37] https://grobotronics.com/gsm-gprs-shield-for-arduino-sim900.html?sl=en
[38] https://www.elecbee.com/en-23521-SIM800L-ESP-800L-GPRS-GSM-Module-Micro-SIM-Card-Core-Board-Pin-Compatible-ESP8266-ESP32-Wireless-Module-5V-DC

2.3.3.4 Λογισμικό

Blynk

Το Blynk είναι μια IOT πλατφόρμα με εφαρμογή σε IOS και Android. Επιτρέπει τη λήψη δεδομένων από πλατφόρμες όπως το Arduino, το Raspberry Pi και το NodeMCU και των έλεγχο ενεργοποιητών (actuator). Παράλληλα, μπορεί να παρουσιάσει σε φιλικό προς τον χρήστη περιβάλλον τα δεδομένα που λαμβάνει αλλά και να τα αποθηκεύσει/ανακαλέσει όταν απαιτηθεί.

Οι βασικές συνιστώσες της εφαρμογής είναι:

- Το Blynk App, που επιτρέπει τη διεπαφή με τον χρήστη μέσω εύχρηστων widget (περισσότερα από 60 διαφορετικά GUI στοιχεία) για προβολή δεδομένων και έλεγχο συσκευών.
- Ο Blynk server, για την επικοινωνία μεταξύ υλικού και εφαρμογής κινητού με την υποστήριξη του Blynk Cloud
- Οι βιβλιοθήκες Blynk, για την επικοινωνία με διαφορετικά πρωτόκολλα και συσκευές.

Μπορεί να επικοινωνήσει με GSM, Wifi ή Ethernet, προσφέροντας δυνατότητα σύνδεσης σε συστήματα Arduino είτε απευθείας είτε με την προσθήκη shield. Ακόμη, η εφαρμογή δίνει τη δυνατότητα για προσθήκη τόσο ειδοποιήσεων όσο και συναγερμών, δίνοντας πληθώρα δυνατοτήτων σε πρότζεκτ IoT. Το κόστος για τις επί πληρωμή εκδόσεις ξεκινά από $5 για προσωπική/ερασιτεχνική χρήση, επεκτείνεται στα $42 για μικρές επιχειρήσεις (μέσω Blynk) και αγγίζει τα $500 στην ακριβότερη έκδοση.



Εικόνα 28: Παράδειγμα χρήσης εφαρμογής Blynk[39]

ThinkSpeak

Το ThinkSpeak είναι μια πλατφόρμα για εφαρμογές IoT, που επιτρέπει τη λήψη, αποθήκευση, ανάλυση και παρουσίαση δεδομένων σε cloud, με δυνατότητες άμεσης

[39] www.softwaresuggest.com

χρήσης των λαμβανόμενων δεδομένων και αποστολής ειδοποιήσεων. Είναι συμβατή με τις γνωστές πλατφόρμες υλικού και λογισμικού όπως Arduino, LoRaWAN, RaspberryPi, ESP822, ESP32. Είναι δημοφιλής σε εφαρμογές ευφυούς γεωργίας και υλοποιήσεων που αφορούν μετεωρολογία και ενέργεια. Χρησιμοποιεί το MATLAB για την επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων.

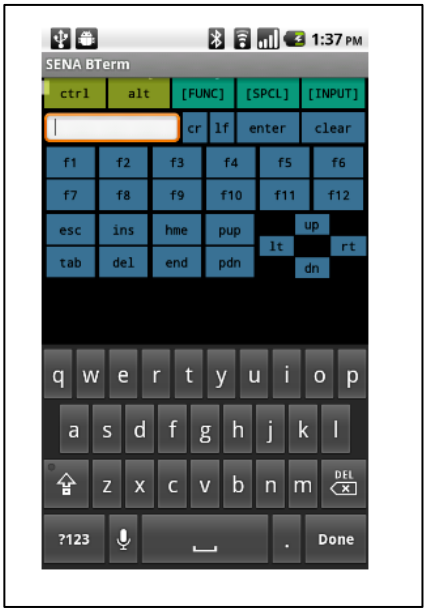
Ανάλογα με το πακέτο, μπορεί να κοστίζει από $79 το χρόνο (μαθητικό/φοιτητικό πακέτο) έως και $710 για εμπορική χρήση.



Εικόνα 29: Η πλατφόρμα ThinkSpeak [40] [41]

SENA BTerm

Πρόκειται για εφαρμογή σε κινητές συσκευές, η οποία επιτρέπει τη διασύνδεση με Bluetooth συσκευές και την ανταλλαγή δεδομένων. Αποτελεί μια πιο απλή εναλλακτική σε σχέση με το Blynk, με αρκετά πιο βασικό περιβάλλον και περιορισμένες δυνατότητες



Εικόνα 30: Περιβάλλον SENA BTerm[42]

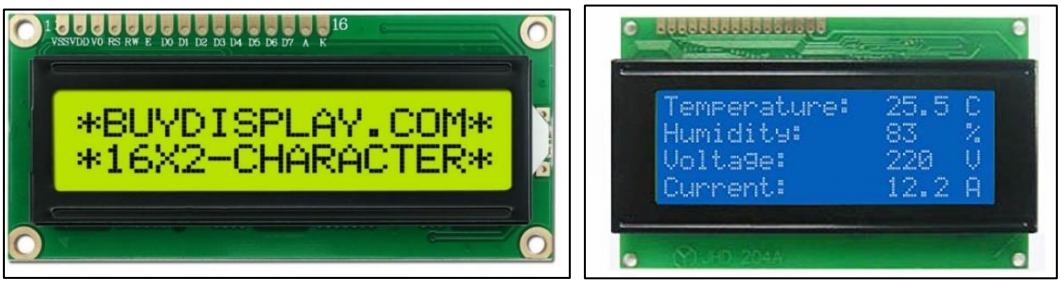
[40] https://thingspeak.com/
[41] https://thingspeak.com/
[42] https://play.google.com/store/apps/details?id=com.sena.bterm&hl=el

2.3.3.5 Απεικόνιση δεδομένων

1602/2004 LCD

Η οθόνη 1602 αποτελεί μια κλασική επιλογή ερασιτεχνών, καθώς είναι αρκετά εύχρηστη και οικονομική. Απεικονίζει 2 γραμμές με 16 χαρακτήρες ανά γραμμή. Υπάρχουν υλοποιήσεις με το πρωτόκολλο I2C, που επιτρέπουν την επικοινωνία με την κεντρική πλακέτα Arduino με μόλις 4 καλώδια.

Η οθόνη 2004 έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με τη 1602, προβάλλοντας, όμως, 4 γραμμές με 20 χαρακτήρες η καθεμιά. Οι οθόνες έχουν δυνατότητα οπίσθιου φωτισμού, σε διάφορα χρώματα. Το κόστος τους κυμαίνεται από 4€ έως 6€.



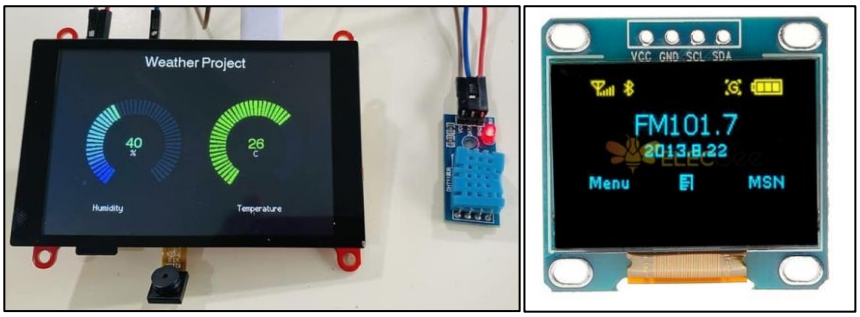
Εικόνα 31: Οθόνες LCD 1602 και 2004[43] [44]

<u>Οθόνες μεγαλύτερου μεγέθους και αφής/ οθόνες OLED</u>

Στην αγορά υπάρχουν προτάσεις για χρήση μεγαλύτερων οθονών, υψηλής ανάλυσης, με δυνατότητα αφής. TFT οθόνες με συνήθεις διαστάσεις τις 3,5 και 4 ίντσες, με δυνατότητα αφής (resistive). Συνήθως συνοδεύονται από υποδοχή κάρτας SD. Αναλύσεις 480 x 320 pixel ή και περισσότερο προσφέρουν τη δυνατότητα σχεδιασμού ενός πιο φιλικού για το χρήστη περιβάλλοντος, όπου παρουσιάζεται πολύ μεγαλύτερος όγκος πληροφορίας σε σχέση με τις LCD των 32 και 80 χαρακτήρων. Παράλληλα, υπάρχει η δυνατότητα αλλαγής χρωμάτων, γραμματοσειρών και μεγέθους, εισαγωγής γεωμετρικών σχημάτων, γραφημάτων κ.α.

Μια ακόμη δημοφιλής πρόταση είναι οι OLED οθόνες. Προσφέρονται σε υλοποιήσεις με μικρότερες διαγώνιους (συνήθως 0,96-1,5 ίντσες) και αναλύσεις (128x32,128x128). Είναι πιο εύχρηστες σε υλοποιήσεις με περιορισμένο μέγεθος ενώ πλεονέκτημα αποτελεί η φύση της OLED τεχνολογίας, με κάθε πίξελ της οθόνης αυτόφωτο.

[43] https://www.buydisplay.com/arduino-character-1602-16x2-lcd-display-module-i2c-3-3v-or-5v
[44] https://quartzcomponents.com/products/20x4-graphical-lcd-blue



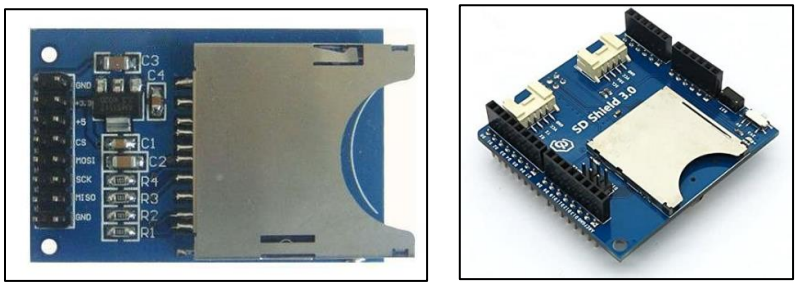
Εικόνα 32: Οθόνες TFT 3,5" και OLED 0,96"[45] [46]

2.3.3.6 Αποθήκευση δεδομένων

Κάρτα SD

Η δυνατότητα χρήσης κάρτας SD προσφέρεται ως SD shield, ως ξεχωριστή κάρτα ή σε περιφερειακά που περιέχουν υποδοχή. Χρησιμεύει στην αποθήκευση και ανάκτηση δεδομένων. Τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Πρωτόκολλο: SPI
- Τάση λειτουργίας: 3.3v-5v



Εικόνα 33: Arduino SD Card και SD Shield[47] [48]

2.3.4 Χρήση των μετεωρολογικών σταθμών

Οι μετεωρολογικοί σταθμοί διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη συλλογή και διαχείριση των μετεωρολογικών δεδομένων. Παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες, οι οποίες είναι απαραίτητες σε μεγάλο μέρος εφαρμογών. Κάποιες από τις πιο σημαντικές είναι:

[45] https://how2electronics.com/weather-monitoring-on-esp32-with-tft-touch-display/
[46] https://www.amazon.in/Sunding-Semiconductor-Accessory-128X64-Resolution/dp/B01GK1OPMQ
[47] https://dme.gr/product/sd-card-reader-module-for-arduino/?gclid=EAIaIQobChMIl--5ksqa_wIVGsh3Ch1uEQ5fEAQYAiABEgIB2fD_BwE
[48] https://wiki.iteadstudio.com/Stackable_SD_Card_shield_V3.0

Η πρόγνωση του καιρού: Οι μετεωρολογικοί σταθμοί παρέχουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για ένα σύνολο φυσικών μεγεθών (θερμοκρασία, υγρασία, κατεύθυνση και ταχύτητα ανέμου, βροχόπτωση, ατμοσφαιρική πίεση, ακτινοβολία, κ.α.), τα οποία είναι απαραίτητα για τον σχεδιασμό μοντέλων πρόβλεψης καιρού. Με τα μοντέλα αυτά οι μετεωρολόγοι μπορούν να προβλέπουν τις καιρικές συνθήκες για το εγγύς μέλλον και να βοηθούν άτομα, επιχειρήσεις, κυβερνήσεις στη λήψη αποφάσεων, αλλά και στην προετοιμασία τους για επικείμενες καταστροφές.

Η παρακολούθηση του κλίματος: Οι μετεωρολογικοί σταθμοί συλλέγουν μακροχρόνια κλιματολογικά δεδομένα, τα οποία βοηθούν τους επιστήμονες στη μελέτη της κλιματικής αλλαγής, στην ανίχνευση κλιματικών μεταβολών και στην αξιολόγηση των επιπτώσεων που έχουν αυτές στα οικοσυστήματα, στη γεωργία, στο περιβάλλον και στους υδάτινους πόρους. Η παρακολούθηση του κλίματος μπορεί να συμβάλει στην ανάπτυξη στρατηγικών μετριασμού των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.

Γεωργικός σχεδιασμός και διαχείριση καλλιεργειών: Η πληροφόρηση για τα μετεωρολογικά δεδομένα αλλά και η έγκυρη πρόγνωση είναι διαδικασίες ζωτικής σημασίας για τους αγρότες. Κάθε καλλιέργεια έχει τις δικές της απαιτήσεις σε θερμοκρασία, υγρασία, άνεμο και φως. Αντίστοιχα, οι αγροτικές εργασίες εξαρτώνται από τον καιρό: Από τον προγραμματισμό ενός ραντίσματος με βάση την πιθανότητα βροχής έως την ποσότητα λίπανσης και τις εξειδικευμένες και ακριβείς παρεμβάσεις ποτίσματος.

Παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές: Η παροχή αξιόπιστων μετεωρολογικών δεδομένων μπορεί να συμβάλει στη μελέτη καταλληλότητας περιοχών για την εγκατάσταση έργων ανανεώσιμης ενέργειας όπως αιολικά πάρκα ή φωτοβολταϊκά πάρκα. Ακριβείς πληροφορίες για την ηλιοφάνεια, την ένταση και την ταχύτητα του ανέμου μιας περιοχής μπορούν να βοηθήσουν στον προσδιορισμό του ενεργειακού δυναμικού της και στη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού και της λειτουργίας της εγκατάστασης [12]. Τόσο η μόλυνση όσο και η μείωση αποθεμάτων νερού λόγω κλιματικής αλλαγής, αύξησης του πληθυσμού αλλά και η αστικοποίηση κάνουν πιο επιτακτική την ανάγκη διαχείρισης και εξοικονόμησης φυσικών πόρων [27].

Παρακολούθηση του περιβάλλοντος: Οι μετεωρολογικοί σταθμοί συνεισφέρουν στη παρακολούθηση του περιβάλλοντος μέσω της παροχής δεδομένων για την ποιότητα του αέρα, τους ατμοσφαιρικούς ρύπους και τα καιρικά φαινόμενα. Η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί σημαντική απειλή για τη δημόσια υγεία, με

συνέπειες στην υγεία του ανθρώπου και μεταβάλλει το οικοσύστημα στο οποίο ζει και κινείται ενώ έχει σοβαρές συνέπειες στο καρδιοαναπνευστικό και πνευμονικό σύστημα του ανθρώπου, από αλλεργίες έως σοβαρές ανεπάρκειες και θανάτους. [16]

Κεφάλαιο 3 - Μεθοδολογία Έρευνας

3.1 Καθορισμός ερευνητικών ερωτημάτων

Παρακάτω παρουσιάζονται τα ερευνητικά ερωτήματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας με τίτλο «ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΜΠΟΡΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΥΤΟΣΧΕΔΙΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΩΝ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΧΑΜΗΛΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΓΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΚΑΙΡΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ», καθώς και οι στόχοι – κίνητρα αυτών. Απαντήσεις στα ερευνητικά αυτά ερωτήματα θα δοθούν στο επόμενο κεφάλαιο.

Ερευνητικό ερώτημα		**Στόχος / Κίνητρο**
Ε.Ε.1	Ποιες πλατφόρμες χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση του Μ.Σ.Χ.Κ.;	Ο εντοπισμός των πιο δημοφιλών υλοποιήσεων και των βασικών χαρακτηριστικών τους
Ε.Ε.2	Ποια είδη αισθητήρων χρησιμοποιούνται για κάθε μέγεθος;	Η εύρεση των βέλτιστων επιλογών με βάση τις επιλογές αισθητήρων ανά άρθρο
Ε.Ε.3	Ποια είναι τα πρωτόκολλα επικοινωνίας για μεταφορά των δεδομένων;	Η εύρεση των πιο δημοφιλών πρωτοκόλλων ανά κατηγορία χρήσης
Ε.Ε.4	Ποιες επιλογές υπάρχουν για διεπαφή με τον χρήστη;	Η εύρεση των διαφορετικών τρόπων απεικόνισης δεδομένων και ανάλυσής τους
Ε.Ε.5	Πώς γίνεται ο έλεγχος της ακρίβειας των μετρήσεων;	Η αναζήτηση των μεθόδων που ακολουθούνται για τον έλεγχο και τη σύγκριση των δεδομένων που συλλέγονται
Ε.Ε.6	Ποια τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των αυτοσχέδιων μετεωρολογικών σταθμών σε σύγκριση με εμπορικά/βιομηχανικά προϊόντα;	Η εύρεση των δυνατών και αδύνατων σημείων κάθε κατηγορίας

3.2 Διεξαγωγή έρευνας

Για τη διεξαγωγή της έρευνας έγινε αναζήτηση στο Google Scholar και στις βιβλιογραφικές βάσεις δεδομένων IEEE Explore, ACM Digital Library, Springer και Academia. Η αναζήτηση πραγματοποιήθηκε στο διάστημα 10/1/23 – 25/2/23.

Οι βασικές λέξεις-κλειδιά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν:

- “Weather station”
- “Embedded system weather station”
- “Iot-based weather station”
- “Low cost weather station”
- “Portable weather station”
- “Prototype weather station”
- “Low cost weather station”

Όσον αφορά τους μετεωρολογικούς σταθμούς του εμπορίου τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους πάρθηκαν από τα φυλλάδια των κατασκευαστών και τις ηλεκτρονικές σελίδες των εμπόρων.

3.3 Οριστικοποίηση βιβλιογραφικού δείγματος

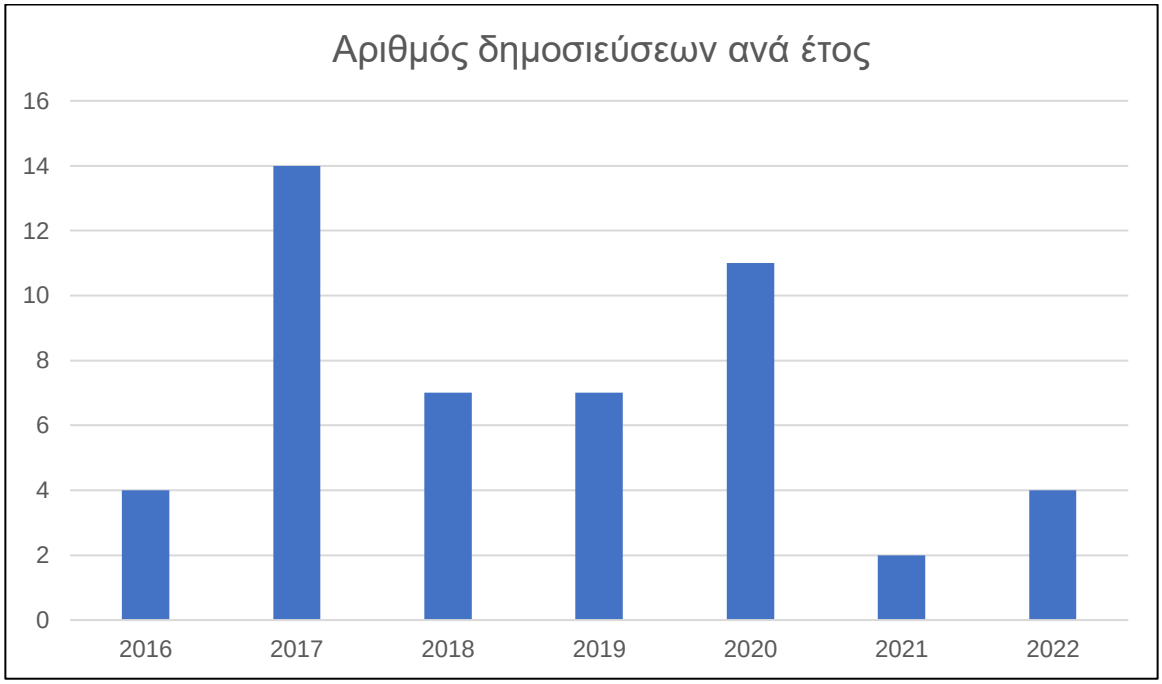
Έπειτα από εκτεταμένη αναζήτηση, εντοπίστηκαν 121 άρθρα. Στη συνέχεια έγινε διαλογή και φιλτράρισμα των παραπάνω άρθρων, με κριτήρια αποκλεισμού:

- Άρθρα που δεν είναι γραμμένα σε ελληνική ή αγγλική γλώσσα
- Άρθρα γραμμένα πριν το 2016
- Άρθρα που προέρχονται από μεταπτυχιακές διατριβές
- Άρθρα που δεν είναι σχετικά με την παρούσα εργασία
- Διπλοεγγραφές
- Άρθρα με μικρή πληροφορία ή ελλιπή στοιχεία

Αποκλείστηκαν 7 άρθρα που ήταν γραμμένα πριν το 2016. Αφαιρέθηκαν 25 άρθρα που δεν είχαν σαφή σχέση με την εργασία. Αντίστοιχα, αποκλείστηκαν 6 άρθρα που ήταν γραμμένα σε μη κατανοητές γλώσσες όπως κινεζικά και τουρκικά. Αφαιρέθηκαν 5 άρθρα που προέρχονταν από μεταπτυχιακές ή διδακτορικές διατριβές και 3 άρθρα που εμφανίστηκαν και σε άλλο αποτέλεσμα αναζήτησης. Παράλληλα, αφαιρέθηκαν 14 άρθρα που είχαν ιδιαίτερη εξειδίκευση (π.χ. σε ένα φυσικό μέγεθος, όπως βροχόπτωση και συγκέντρωση CO_2).

Από τα εναπομείναντα άρθρα, αποκλείστηκαν 12 άρθρα που δεν έδιναν απάντηση σε κανένα από τα ερευνητικά ερωτήματα.

Σχετικά με το έτος δημοσίευσης των άρθρων που μελετήθηκαν, η κατανομή τους φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα – Διάγραμμα 2.



Διάγραμμα 2: Αριθμός δημοσιεύσεων ανά έτος

Σχετικά με τη συχνότητα ανά έτος στο ιστόγραμμα, δεν εντοπίζεται κάποια χαρακτηριστική τάση σχετικά με τη δημοφιλία του θέματος. Πέραν της διακύμανσης στα έτη 2016-2020, μέρος της οποία μπορεί να οφείλεται στην επιλογή του δείγματος, η χαρακτηριστική πτώση στα έτη 2021 και 2022 ενδέχεται να οφείλεται στις συνέπειες της πανδημίας COVID-19.

Η έρευνα υλοποιήθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού Mendeley Reference Manager, ενώ τα οι πληροφορίες κάθε άρθρου καταχωρίστηκαν σε πίνακα Excel, με 55 στήλες-δεδομένα ανά άρθρο (Επεξεργαστής, αισθητήρες, διασύνδεση, Τροφοδοσία, σχόλια κ.α.). Έπειτα, προστέθηκαν 40 στήλες με σκοπό τη βαθμολόγηση κάθε άρθρου στους επιμέρους τομείς.

Όσον αφορά τους μετεωρολογικούς σταθμούς του εμπορίου, δεν βρέθηκαν πληροφορίες σχετικά με το λογισμικό και τους επεξεργαστές που χρησιμοποιούν οι υπό εξέταση μετεωρολογικοί σταθμοί. Τα φυλλάδια των τεχνικών χαρακτηριστικών δεν περιλαμβάνουν τέτοιου είδους στοιχεία, αλλά δίνουν βαρύτητα στον τρόπο

λειτουργίας τους, στους αισθητήρες και τις μέγιστες και ελάχιστες μετρήσεις που μπορούν να καταγράψουν.

Στο επόμενο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της έρευνας. Σχετικά με τα ερευνητικά ερωτήματα, στα 5 πρώτα, οι απαντήσεις δίνονται στις αντίστοιχες παραγράφους του κεφαλαίου 4 όπου αναλύονται στατιστικά τα δεδομένα, ενώ για το ερώτημα 6, η απάντηση δίνεται στην παράγραφο 4.3.

Κεφάλαιο 4 - Παρουσίαση δεδομένων /Αποτελέσματα και σχολιασμός αποτελεσμάτων

4.1 Εμπορικοί Αυτόματοι Μετεωρολογικοί Σταθμοί χαμηλού κόστους

Στο εμπόριο υπάρχει πληθώρα Αυτόματων Μετεωρολογικών Σταθμών χαμηλού κόστους. Στην παρούσα εργασία, επιλέχθηκαν οι παρακάτω σταθμοί, με αναζήτηση πληροφοριών μέσω των ηλεκτρονικών σελίδων των εμπόρων και των φυλλαδίων των κατασκευαστών τους. Η κατάταξή τους έγινε σε αύξουσα σειρά κόστους:

1. Ambient Weather WS-2902C
2. Bresser Wifi Color Weather Center With 5in1 Profi Sensor
3. Netatmo Weather Station
4. BloomSky - SKY2 Weather Camera Station
5. AcuRite 01002 - Atlas Weather Station with Wi-Fi
6. WeatherFlow – Tempest
7. Ambient Weather WS-2000
8. Oregon Scientific WMR86
9. ULTIMETER 2100 Weather Station
10. Aercus Instruments WeatherRanger
11. Bresser Professional 7 in 1 UV Measurement Function
12. Kestrel 5400 WBGT Heat Stress Tracker (HST) & Weather Meter
13. Davis Vantage Vue Weather Station
14. RainWise MK-III
15. Vaisala WXT530
16. Davis Instruments Vantage Pro2
17. Gill MetConnect One
18. Gill MaxiMet GMX600 Compact Weather Station
19. Spectrum WatchDog 3000
20. Onset HOBO RX3000 Remote Monitoring Station

Περισσότερες πληροφορίες για τους σταθμούς αυτούς υπάρχουν στον πίνακα 35 στο παράρτημα.

4.1.1 Τροφοδοσία

Όσον αφορά την τροφοδοσία των υπό εξέταση μετεωρολογικών σταθμών του εμπορίου το 40% διαθέτουν και φωτοβολταϊκό πάνελ, ως εναλλακτική πηγή ενέργειας.

Το 70% των κεντρικών (εσωτερικών) μονάδων των σταθμών τροφοδοτείται από αντάπτορα από 5v έως 12v είτε αποκλειστικά είτε ως εναλλακτική λύση. 20% των υπολοίπων τροφοδοτείται από μπαταρίες AA ή AAA ενώ 10% τροφοδοτείται από φωτοβολταϊκό.

Κύρια πηγή τροφοδοσίας των εξωτερικών μονάδων είναι μπαταρίες AA ή AAA, με εναλλακτική πηγή τροφοδοσίας το φωτοβολταϊκό.

Σε 2 από τις 20 υλοποιήσεις δίνεται δυνατότητα τροφοδοσίας από μπαταρίες μεγαλύτερης χωρητικότητας (6V/4.5AH).

4.1.2 Αισθητήρες

Στον πίνακα 4 παρουσιάζεται το είδος των αισθητήρων που διαθέτουν τα εξεταζόμενα μοντέλα των μετεωρολογικών σταθμών, καθώς και το εύρος των τιμών που δίνουν οι κατασκευαστές για κάθε κατηγορία αισθητήρα.

Το σύνολο των υπό εξέταση μετεωρολογικών σταθμών περιλαμβάνουν αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας και ατμοσφαιρικής πίεσης, ενώ το 90% διαθέτει επίσης αισθητήρες βροχόπτωσης, έντασης και κατεύθυνσης ανέμου. Μικρότερος αριθμός μετεωρολογικών σταθμών περιλαμβάνουν αισθητήρες για τη μέτρηση της ηλιακής και UV ακτινοβολίας (40% και 30% αντίστοιχα), ενώ κάποιοι από αυτούς διαθέτουν και άλλους αισθητήρες (βλ. Πίνακα 4).

#	Θερμοκρασία	Υγρασία αέρα	Ατμοσ/κή πίεση	Βροχόπτωση	Ανεμόμετρο	Ανεμοδείκτης	Ένταση φωτός	UV ακτινοβολία	Άλλο
1	Εσωτ.: -10 to 60°C Εξωτ.: -30 to 60°C	10-99%	299-1100 hPa	0-1000cm	0-45 m/s	0-360°	0 -1580 W/m2	-	
2	-40 to 60°C	1-99%	540-1100 hPa	0-2000cm	0-50 m/s	-	-	-	
3	Εσωτ.: 0 to 50°C Εξωτ.: -40 to 65°C	0-100%	260-1160 hPa	-	-	-	-	-	Ποσοστό CO2 (0-5000 ppm) Επίπεδο θορύβου (35-110dB)
4	-20 to 55°C	0-100%	300-1100 hPa	0 -15cm (μόνο ανίχνευση)	-	-	-	-	

5	Εσωτ.: 0 to 50°C Εξωτ.: -40 to 70°C	1-100%	541-1100 hPa	0-0.025cm	0-72 m/s	0-360°	0-948 W/m2	0-15	
6	-40 to 60°C	0–100%	300-1100 hPa	0-40cm	0-45 m/s	0-359°	0-1900 W/m2	0-14	Σημείο δρόσου Δραστηριότητα κεραυνών απόστασης έως και 25 μιλίων Έναρξη, ένταση και διάρκεια βροχόπτωσης Μέτρηση πυκνότητας αέρα
7	Εσωτ.: -10 to 60°C Εξωτ.: -40 to 65°C	10-99%	300-1100 hPa	0-1000cm	0-45 m/s	0-360°	0-2367 W/m2	0-15	
8	Εσωτ.: -50 to 70°C Εξωτ.: -30 to 60°C	5-95%	700-1050 hPa	0-1000cm	0-56 m/s	0-360°	-	-	
9	Εσωτ.: -10 to 60°C Εξωτ.: -30 to 65°C	10-99%	300-1100 hPa	0-1000cm	0-44 m/s	0-360°	0-3160 W/m2	1-12	Σημείο δρόσου Δραστηριότητα κεραυνών
10	-48 to 66°C	0-100%	931-1067 hPa	0-508cm	1-78 m/s	0-360°	-	-	
11	Εσωτ.: -40 to 70°C Εξωτ.: -40 to 80°C	1-99%	850-1050hPa	0-1000cm	0-80 m/s	0-360°	-	0-15	
12	-29 to 70.0 °C	10-90%	700-1100 hPa	-	0.6-40 m/s	0-360°	-	-	
13	Εσωτ.: 0° to 60°C Εξωτ.: -40 to 65°C	1-100%	540-1100 hPa	0-655 cm	0-89 m/s	1-360°	-	-	
14	Εσωτ.: 0 to 50°C Εξωτ: -54 to 74°C	0-100%	551-1084 hPa	ναι (unlimited)	0-67 m/s	1-360°	-	-	
15	-60 to 70 °C	0-100%	600-1100 hPa	0-20cm	0-60 m/s	0-360°	-	-	
16	Εσωτ.: 0 to 60°C Εξωτ.: -40 to 65°C	0-100%	540-1100 hPa	0-30.5cm	0.89-67 m/s	0-360°	0-1800 W/m2	0-16	
17	-35 to 70.0 °C	0-100%	300-1100 hPa	0-40cm	0-60 m/s	0-360°	-	-	
18	-40 to 70°C	0-100%	300-1100 hPa	0-30cm	0-60 m/s	0-360°	-	-	
19	-40 to 125°C	10-100%	540-1100 hPa	0-5cm	0-89 m/s	0-360°	0-1500 W/m2	-	
20	-40 to 75°C	0-100%	660-1070 hPa	0-254cm	0-76 m/s	0-360°	0-1280 W/m2	-	

Πίνακας 4: Αισθητήρες και εύρος τιμών ανά μοντέλο μετεωρολογικού σταθμού του εμπορίου

4.1.3 Συνδεσιμότητα

Όλοι οι υπό εξέταση μετεωρολογικοί σταθμοί του εμπορίου περιλαμβάνουν τη δυνατότητα σύνδεσης στο διαδίκτυο μέσω Wi-Fi. Αυτό επιτρέπει στους χρήστες την πρόσβαση σε πραγματικό χρόνο στα μετεωρολογικά δεδομένα θερμοκρασίας, υγρασίας, βαρομετρικής πίεσης κ.ο.κ. που οι σταθμοί καταγράφουν, αλλά και τη λήψη ειδοποιήσεων καιρού από οπουδήποτε χρησιμοποιώντας συγκεκριμένες εφαρμογές για smartphone, οι οποίες είναι διαθέσιμες τόσο για συσκευές iOS όσο και για συσκευές Android.

Αρκετές από τις εφαρμογές προσφέρουν τη δυνατότητα ανάλυσης ιστορικών μετεωρολογικών δεδομένων, τη δυνατότητα δημιουργίας γραφημάτων, αλλά και πρόγνωσης καιρού. Η σύνδεσή τους στο διαδίκτυο μέσω Wi-Fi προσφέρει τη δυνατότητα σύνδεσης τους με laptops ή υπολογιστές με σκοπό τη μεταφόρτωση δεδομένων για περαιτέρω ανάλυση.

4.1.4 Απεικόνιση δεδομένων

Οι μετεωρολογικοί σταθμοί του εμπορίου συνοδεύονται από μια μονάδα απεικόνισης (data display) που εμφανίζει σε πραγματικό χρόνο τα μετεωρολογικά δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες. Η μονάδα αυτή μπορεί να είναι μια αυτόνομη συσκευή (LCD κονσόλα οθόνης) ή μπορεί να συνδεθεί σε υπολογιστή ή κινητό μέσω Wi-Fi για απομακρυσμένη παρακολούθηση και ανάλυση δεδομένων.

Η μονάδα απεικόνισης δεδομένων εμφανίζει μια σειρά μεταβλητών καιρού, όπως θερμοκρασία, υγρασία, κατεύθυνση και ταχύτητα ανέμου, ατμοσφαιρική πίεση, βροχόπτωση κ.ο.κ. Ορισμένοι από τους μετεωρολογικούς σταθμούς διαθέτουν πρόσθετα χαρακτηριστικά, όπως συναγερμούς έντονων καιρικών δεδομένων, καταγραφής και απεικόνισης δεδομένων μέσω γραφημάτων.

4.1.5 Πρόγνωση καιρού

Ορισμένοι από τους υπό εξέταση μετεωρολογικούς σταθμούς προσφέρουν τη δυνατότητα πρόγνωσης καιρού, είτε απευθείας, είτε μέσω της μετάδοσης δεδομένων σε οργανισμούς ή πλατφόρμες πρόγνωσης καιρού. Αυτές οι πλατφόρμες χρησιμοποιούν προηγμένους αλγορίθμους και υπολογιστικά μοντέλα για την ανάλυση των μετεωρολογικών δεδομένων και την παροχή προβλέψεων για συγκεκριμένες τοποθεσίες. Αυτό καθιστά τους μετεωρολογικούς σταθμούς ιδιαίτερα χρήσιμους στη γεωργία, τις κατασκευές, τις μεταφορές, την αεροπορία κ.α. όπου απαιτούνται δεδομένα καιρού για τη λήψη αποφάσεων.

4.1.6 Κόστος

Οι μετεωρολογικοί σταθμοί του εμπορίου εμφανίζουν μεγάλες διακυμάνσεις όσον αφορά το κόστος αγοράς τους. Ξεκινούν από μερικές εκατοντάδες ευρώ αλλά μπορούν να φτάσουν έως και μερικές χιλιάδες ευρώ. Οι μετεωρολογικοί σταθμοί που εξετάστηκαν στην παρούσα εργασία κυμαίνονται μεταξύ 170 - 3500 ευρώ, με βάση τις τιμές στις επίσημες ιστοσελίδες των προϊόντων.

Το κόστος αγοράς τους εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως ο αριθμός και ο τύπος των αισθητήρων που περιλαμβάνουν, η ποιότητα κατασκευής τους, η ακρίβεια και συχνότητα των παρατηρήσεων αλλά και ο βαθμός αυτοματοποίησης και ενσωμάτωσής τους με άλλα συστήματα.

Πολλές προσπάθειες για πειραματικούς Μ.Σ. εντοπίζονται σε περιοχές της Ασίας, όπως η Ινδία, η Ινδονησία και η Ταϊλάνδη. Η αδυναμία προμήθειας βιομηχανικών προϊόντων υψηλούς κόστους και η προσπάθεια μείωσης της εξάρτησης από εισαγωγές αποτελούν βασικό κίνητρο. Ακόμη, σε χώρες όπως η Ινδία, όπου η αύξηση του πληθυσμού είναι ραγδαία, η μεγαλύτερη ζήτηση, σε συνδυασμό με την αστικοποίηση και τη μείωση των καλλιεργούμενων εκτάσεων, εντείνουν το πρόβλημα. Η κατάσταση επιδεινώνεται από την κλιματική αλλαγή και την έλλειψη φυσικών πόρων, όπως το νερό, αλλά και εξοπλισμού, ανταλλακτικών και φυτοφαρμάκων. Συνεπώς, αναζητούνται οικονομικές λύσεις βελτιστοποίησης της παραγωγής και εισαγωγής στον τομέα Precision Agriculture. [13]

4.2 Αυτοσχέδιοι Αυτόματοι Μετεωρολογικοί Σταθμοί χαμηλού κόστους

Οι Αυτοσχέδιοι Μετεωρολογικοί Σταθμοί που εξετάζονται στην παρούσα εργασία αντιστοιχούν στα άρθρα που εμφανίζονται στον πίνακα 5. Κάθε άρθρο αριθμείται με έναν μοναδικό αριθμό, ο οποίος χρησιμοποιείται και στην ανάλυση που ακολουθεί.

Άρθρο	**Τίτλος**	**Έτος**	**Κατηγορία χρήσης**
[1]	Raspberry Pi Based Weather Reporting over IoT	2020	Γεωργία
[2]	Low Cost IoT Based Weather Station for Real-Time Monitoring	2020	Αποθέματα ύδατος
[3]	Air Quality Monitoring System Based on IoT using Raspberry Pi	2017	Ατμ. μόλυνση
[4]	Development of an ESP-32 Microcontroller Based Weather Reporting Device	2022	Γεωργία
[5]	An IoT Analytics Approach for Weather Forecasting using Raspberry Pi 3 Model B+	2019	Μετεωρολογία
[6]	Low Cost Weather Monitoring Station Using Raspberry Pi	2017	Μετεωρολογία
[7]	Bluetooth Based Weather Station	2016	Μετεωρολογία
[8]	Efficient IoT based Weather Station	2020	Μετεωρολογία
[9]	Weather Monitoring Using Wireless Sensor Networks based on IOT	2018	Μετεωρολογία
[10]	A Low Cost Automated Weather Station for Real Time Local Measurements	2017	Μετεωρολογία
[11]	Real Time IoT Application of Urban Garden Design	2020	Κήπος
[12]	Weather Monitoring System Using Arduino Uno	2020	Μετεωρολογία

[13]	Smart Farm Monitoring Using Raspberry Pi and Arduino	2016	Κτηνοτροφία
[14]	IoT Based Air Quality and Weather Monitoring System with Android Application	2022	Γεωργία
[15]	An Android smart application for an Arduino based local meteorological data recording	2019	Μετεωρολογία
[16]	Low cost smart weather station using Arduino and ZigBee	2020	Μετεωρολογία
[17]	Evaluation of a Low-Cost, Solar-Powered Weather Station for Small-Scale Wind Farm Site Selection	2018	Μετεωρολογία
[18]	An IoT-based Smart Garden with Weather Station System	2019	Κήπος
[19]	Efficient Design of a Low Cost Portable Weather Station	2018	Μετεωρολογία
[20]	Weather Station Design Using IoT Platform Based On Arduino Mega	2018	Μετεωρολογία
[21]	Comparative analysis of meteorological monitoring using an integrated low-cost environmental unit based on the internet of things (IoT) with an automatic meteorological station (AWS)	2017	Μετεωρολογία
[22]	Cloud Based Weather Station using IoT Devices	2019	Μετεωρολογία
[23]	Weather Station for Educational Purposes based on Atmega8L	2017	Εκπαίδευση
[24]	Iot-Based Weather Station with Python User Interface for Measurment Technique of Educational Purpose	2020	Μετεωρολογία
[25]	Weather monitoring system based on STM32 and One Net Internet of Things platform	2021	Μετεωρολογία
[26]	IoT enabled smart garden kit along with weather station	2020	Κήπος
[27]	Design of micro-automatic weather station for modern power grid based on STM32	2017	Α.Π.Ε.
[28]	Low Cost Weather Station for Climate-Smart Agriculture	2017	Γεωργία
[29]	Design and Implement of a Weather Monitoring Station using CoAP on NB-IoT Network	2020	Μετεωρολογία
[30]	Development of a Weather Station with Water Level and Waterflow Detection using Arduino	2022	Μετεωρολογία
[31]	Prototype weather station uses LoRa wireless connectivity infrastructure	2019	Μετεωρολογία
[32]	IoT Based Weather Station	2020	Μετεωρολογία
[33]	Embedded based Remote Monitoring Station for Live Streaming of Temperature and Humidity	2017	Α.Π.Ε.
[34]	An Intelligent Weather Monitoring System using Internet of Things	2019	Μετεωρολογία
[35]	Smart weather monitoring and real time alert system using IoT	2018	Μετεωρολογία
[36]	IOT Based Data Logger System for Weather Monitoring	2017	Μετεωρολογία
[37]	Wi-Fi Based Portable Weather Station for Monitoring Temperature, Relative Humidity, Pressure, Precipitation, Wind Speed and Direction	2018	Μετεωρολογία
[38]	Design of a low cost automatic meteorological weather station	2019	Μετεωρολογία

[39]	Automatic Irrigation System using Soil Moisture Sensor and Temperature Sensor with Microcontroller AT89S52	2017	Κήπος
[40]	Building a low-cost weather station	2020	Α.Π.Ε.
[41]	IOT Based Smart Weather Station Using Raspberry-PI3	2016	Μετεωρολογία
[42]	MOBILE APP & IoT BASED SMART WEATHER STATION	2017	Μετεωρολογία
[43]	IoT Based Low-cost Weather Station and Monitoring System for Precision Agriculture in India	2018	Γεωργία
[44]	Internet of Things Application for Implementation of Smart Agriculture System	2017	Γεωργία
[45]	Arduino Based Weather Monitoring System	2017	Γεωργία
[46]	IoT based Data Logger System for weather monitoring using Wireless sensor networks	2016	Μετεωρολογία
[47]	WEATHER MONITORING SYSTEM USING ARDUINO UNO	2021	Μετεωρολογία
[48]	Development of a Low Cost Weather Station Using Free Hardware and Software	2017	Μετεωρολογία
[49]	Smart Farming System Using IOT	2022	Κήπος

Πίνακας 5: Άρθρα ανασκόπησης (έτος-κατηγορία χρήσης)

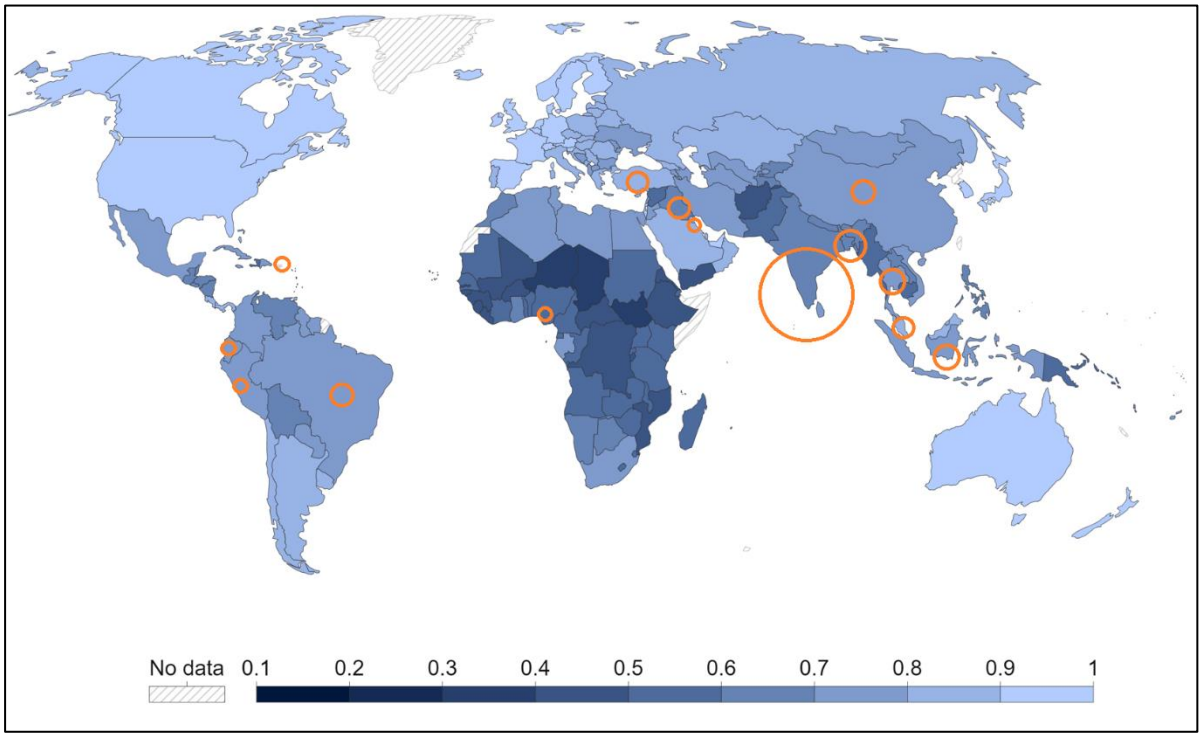
4.2.1 Χώρα προέλευσης

Όπως προκύπτει από τον πίνακα 4 και παρουσιάζεται με μεγαλύτερη ευκρίνεια στην εικόνα που ακολουθεί (εικόνα 34), το 50% των δημοσιεύσεων προέρχονται από την Ινδία. Η Ινδία έχει μια μακρά παράδοση στην μελέτη των μετεωρολογικών φαινομένων, εξαιτίας κυρίως των μεγάλων διακυμάνσεων που παρουσιάζει ο καιρός, με την εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων (μουσώνες, κυκλώνες, ξηρασία και καύσωνες), αλλά και λόγω του μεγάλου μεριδίου που κρατά η γεωργία στην εθνική της οικονομία. Οι αγρότες της βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στις μετεωρολογικές προβλέψεις, όποτε η διαθεσιμότητα αυτοσχέδιων σταθμών τούς επιτρέπει την πρόσβαση σε τοπικές μετεωρολογικές πληροφορίες που αφορούν τις περιοχές δραστηριότητάς τους. [36]

Εξετάζοντας την κατανομή των άρθρων με βάση την ταξινόμηση των χωρών με βάση τον δείκτη HDI (Human Development Index – Δείκτης Ανθρώπινης Ανάπτυξης), που προκύπτει με βάση το προσδόκιμο ζωής, το βιοτικό επίπεδο και την αξιολόγηση σε επιμέρους τομείς όπως η παιδεία, προκύπτει σαφής συσχέτιση:

- Κανένα άρθρο από χώρες με HDI>0,9 (Η.Π.Α., Καναδάς, Αυστραλία, Ιαπωνία, βορειοευρωπαϊκές χώρες)
- Τέσσερα άρθρα από χώρες με 0,8<HDI<0,9 (Τουρκία, Μαλαισία)

- Πέντε άρθρα από χώρες με 0,7<HDI<0,8 (Περού, Ισημερινός, Μαλαισία, Ινδονησία, Κίνα)
- Σαράντα άρθρα από χώρες με HDI<0,7



Εικόνα 34: Κατανομή άρθρων ανά χώρα καταγωγής συγγραφέων

Χώρα	Άρθρα	Δείκτης HDI
Νιγηρία	1	0,535
Ινδία	24	0,633
Μπαγκλαντές	4	0,661
Ιράκ	2	0,686
Ινδονησία	3	0,705
Εκουαδόρ	1	0,740
Βραζιλία	2	0,754
Περού	1	0,762
Κίνα	2	0,768
Ταϊλάνδη	3	0,800
Μαλαισία	2	0,803
Κουβέιτ	1	0,831
Τουρκία	2	0,838
Πουέρτο Ρίκο	1	0,845
Σύνολο	49	

Πίνακας 6: Κατανομή άρθρων ανά χώρα καταγωγής συγγραφέων

4.2.2 Κατηγορία Χρήσης

Στον πίνακα 7 παρουσιάζεται η κατηγορία χρήσης των υπό εξέταση αυτοσχέδιων μετεωρολογικών σταθμών. Το μεγαλύτερο ποσοστό εμφανίζεται να έχει ως κατηγορία χρήσης τη μετεωρολογία γενικά αλλά και την γεωργία, τομέας που εξαρτάται απόλυτα από τις καιρικές συνθήκες και τη σωστή και έγκαιρη πρόβλεψη.

Κατηγορία	Συχνότητα	Άρθρα
Μετεωρολογία/Α.Π.Ε.	3	[27], [33], [40]
Μετεωρολογία/Αποθέματα ύδατος	1	[2]
Μετεωρολογία/Ατμ. ρύπανση	1	[3]
Γεωργία (γενικά)	7	[1], [4], [14], [28], [43], [44], [45]
Μετεωρολογία/Εκπαίδευση	1	[23]
Γεωργία/Κήπος	5	[11], [18], [26], [39], [49]
Κτηνοτροφία	1	[13]
Μετεωρολογία (γενικά)	30	[5],[6],[7],[8],[9],[10],[12],[15],[16],[17], [19],[20],[21],[22],[24],[25],[29],[30], [31],[32],[34],[35],[36],[37],[38],[41], [42],[46], [47],[48]

Πίνακας 7: Άρθρα ανά κατηγορία χρήσης/κίνητρο

4.2.3 Τροφοδοσία

Στον πίνακα 8 παρουσιάζεται ο τρόπος τροφοδοσίας με ενέργεια των υπό εξέταση αυτοσχέδιων μετεωρολογικών σταθμών, όπου στην πλειονότητά τους εμφανίζεται μια μη ολοκληρωμένη πρόταση, με τροφοδοσία από μετασχηματιστή ή 220V. Κάποιοι από τους σταθμούς χρησιμοποιούν φωτοβολταϊκό ως εναλλακτική πηγή ενέργειας.

Άρθρα	Τροφοδοσία
[3]	Μπαταρία και φωτοβολταϊκό
[5]	Μπαταρία και φωτοβολταϊκό
[16]	4 6v πάνελ, 3.7V, 6000 mAh Lithium-Polymer (LiPo)
[18]	220v και φωτοβολταϊκό
[27]	12v (20 watt φωτοβολταϊκό)
[29]	12v φωτοβολταϊκό
[39]	9v μπαταρία και φωτοβολταϊκό

Πίνακας 8: Τροφοδοσία με φωτοβολταϊκό

4.2.4 Αισθητήρες

Στον πίνακα 9 παρουσιάζονται με συνοπτικό τρόπο τα είδη των αισθητήρων που περιλαμβάνει κάθε αυτοσχέδιος μετεωρολογικός σταθμός που εξετάζεται. Οι αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας αποτελούν μέρος όλων σχεδόν των σταθμών, ενώ πιο σπάνιοι είναι οι αισθητήρες ποιότητας αέρα, υγρασίας εδάφους και κατεύθυνσης ανέμου. Ο Πίνακας 31 του παραρτήματος περιέχει αναλυτικές πληροφορίες για τα είδη των αισθητήρων ανά άρθρο.

Άρθρο	Θερμοκρασία	Υγρασία αέρα	Ατμοσ/κή πίεση	Βροχόπτωση	Ανεμόμετρο	Ανεμοδείκτης	Ένταση φωτός	Υγρασία εδάφους	Ποιότητα αέρα
[1]	●	●	●	●			●		
[2]	●	●	●	●	●	●			
[3]	●	●	●						●
[4]	●	●		●			●		
[5]	●	●	●						
[6]	●	●	●		●	●	●		
[7]	●	●							
[8]	●	●	●						
[9]	●						●		
[10]	●	●	●						
[11]	●	●					●		
[12]	●	●	●	●	●		●		●
[13]	●	●					●		●
[14]	●	●							●
[15]	●	●			●				
[16]	●	●	●	●	●				
[17]	●	●	●		●	●			
[18]	●	●	●				●	●	
[19]	●	●	●	●	●				
[20]	●	●	●	●					
[21]	●	●	●						
[22]	●	●	●	●					
[23]	●	●		●	●		●		
[24]	●	●		●	●		●		
[25]	●								
[26]	●	●					●	●	
[27]	●	●			●	●	●		
[28]	●	●			●	●			
[29]	●	●		●	●	●			●

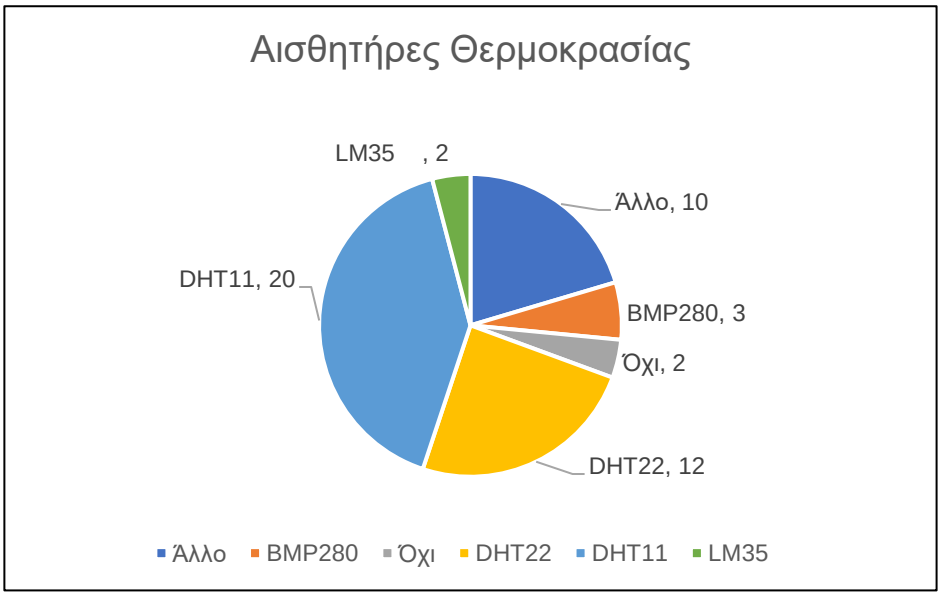
[30]	●			●		●							
[31]			●		●		●						
[32]	●		●		●					●			
[33]	●		●										
[34]	●			●									●
[35]	●					●		●			●	●	●
[36]	●		●			●				●			
[37]	●		●		●		●		●				
[38]			●		●								
[39]	●										●		
[40]	●						●						
[41]	●		●			●		●					
[42]	●		●			●		●					
[43]	●		●		●								
[44]	●		●		●							●	●
[45]	●		●			●				●			
[46]	●		●							●			●
[47]	●		●		●		●						●
[48]	●		●		●		●		●				
[49]	●		●								●		

Πίνακας 9: Αισθητήρες

Παρακάτω εξετάζονται οι αισθητήρες ανά κατηγορία φυσικού μεγέθους μέτρησης με στόχο την εξαγωγή συμπερασμάτων για τη συχνότητα χρήσης τους. Περαιτέρω πληροφορίες περιέχονται στους πίνακες 32-34.

1. Αισθητήρες Θερμοκρασίας

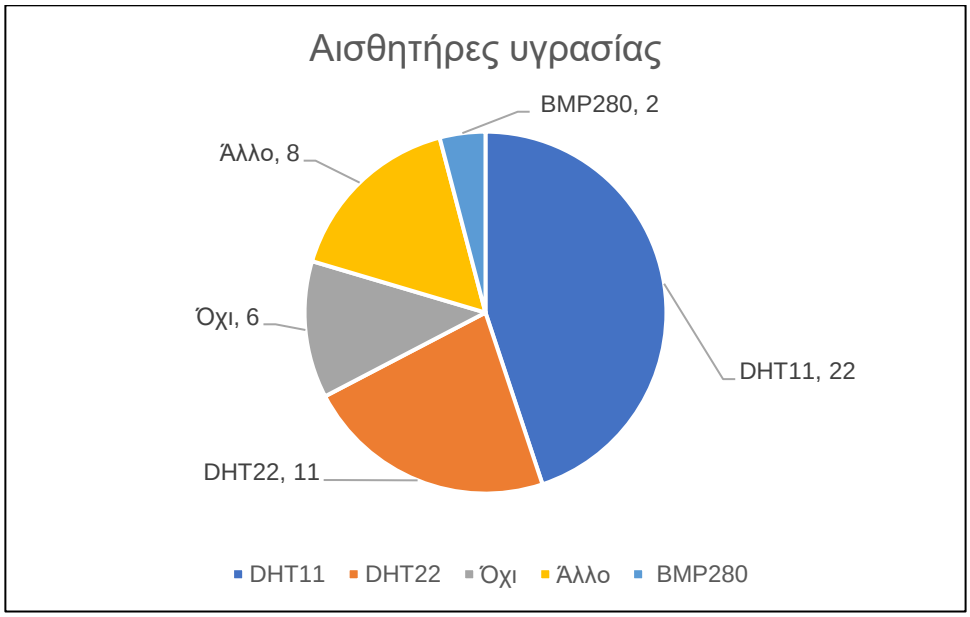
Σύμφωνα με το Διάγραμμα 3, οι αισθητήρες θερμοκρασίας που χρησιμοποιούνται είναι κυρίως οι DHT11 (41%) και DHT22 (24%). Σε 2 περιπτώσεις χρησιμοποιείται ο αναλογικός αισθητήρας LM35, ενώ σε 3 παραδείγματα ο αισθητήρας BMP280, καθώς χρησιμοποιείται για μέτρηση ατμοσφαιρικής πίεσης και δεν απαιτείται επιπλέον αισθητήρας. Στα υπόλοιπα άρθρα χρησιμοποιούνται οι AM2315 (v=1), DS18B20 (v=2), EE06-FT1A1(v=1), HTU21D (v=1) και SHT30 (v=1), ενώ σε 4 άρθρα δεν διευκρινίζεται ο τύπος αισθητήρα.



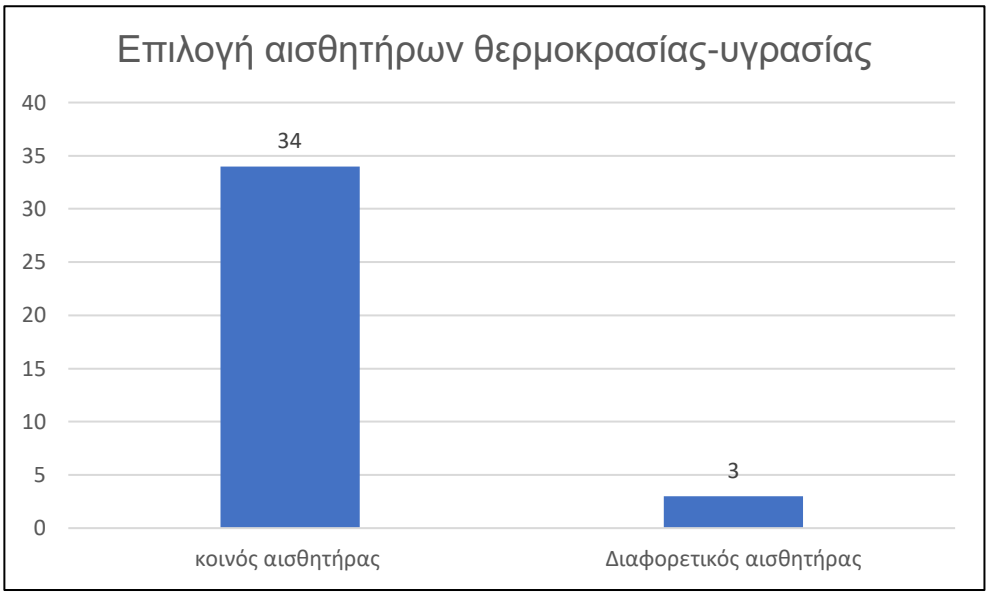
Διάγραμμα 3 : Συχνότητα αισθητήρων θερμοκρασίας

2. Αισθητήρες υγρασίας αέρα

Οι αισθητήρες υγρασίας που χρησιμοποιούνται είναι κυρίως οι DHT11 (45%) και DHT22 (22%). Σε 2 περιπτώσεις χρησιμοποιείται ο αισθητήρας BMP280, καθώς χρησιμοποιείται για μέτρηση ατμοσφαιρικής πίεσης και δεν απαιτείται επιπλέον αισθητήρας. Στα υπόλοιπα άρθρα χρησιμοποιούνται οι AM2315 (v=2), DS18B20 (v=2), EE06-FT1A1(v=1), HTU21D (v=1) και SHT30 (v=1), ενώ σε 4 άρθρα δεν διευκρινίζεται ο τύπος αισθητήρα.



Διάγραμμα 4: Συχνότητα αισθητήρων υγρασίας

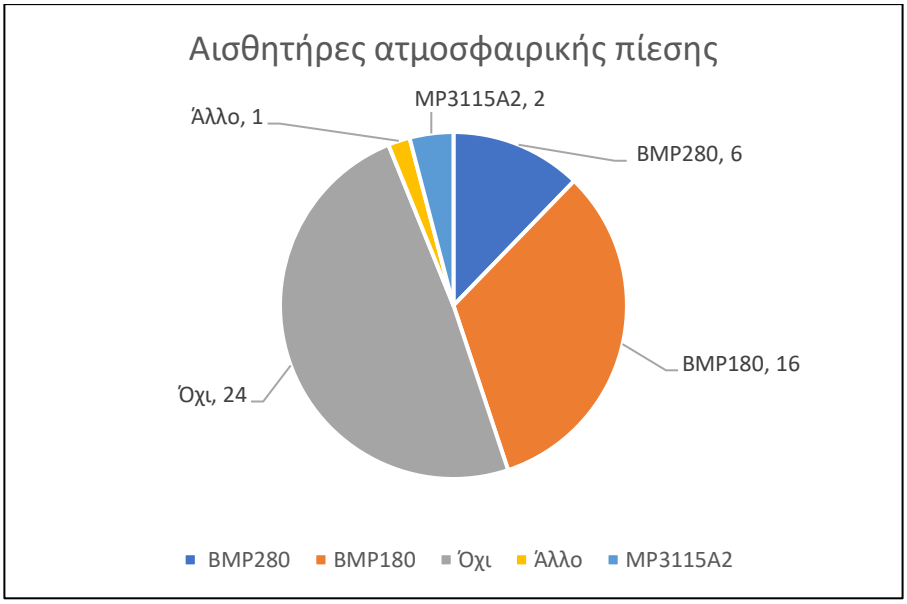


Διάγραμμα 5: Συχνότητα χρήσης κοινού αισθητήρα θερμοκρασίας-υγρασίας

Σύμφωνα με το διάγραμμα 5, σχεδόν σε κάθε περίπτωση, επιλέγεται κοινός αισθητήρας για θερμοκρασία και υγρασία.

3. Αισθητήρες ατμοσφαιρικής πίεσης

Το 49% των άρθρων δεν περιλαμβάνουν αισθητήρα ατμοσφαιρικής πίεσης. Στα 24 άρθρα που περιλαμβάνουν αισθητήρα πίεσης, τα 16 χρησιμοποιούν τον BMP180, τα 6 τον BMP280 και 2 τον MP3115A2. Σε μια περίπτωση δεν αναφέρεται ο τύπος του αισθητήρα.



Διάγραμμα 6: Συχνότητα αισθητήρων ατμοσφαιρικής πίεσης

Ο αισθητήρας BMP280 πλεονεκτεί έναντι του BMP180 με παραπλήσιο κόστος. Τόσο το εύρος μέτρησης όσο και η δυνατότητα διασύνδεσης με πρωτόκολλο SPI τον καθιστούν προτιμότερο. Η μικρότερη συχνότητα χρησιμοποίησής του οφείλεται στο ότι είναι πιο πρόσφατος.

Ο αισθητήρας MP3115A2 έχει αρκετά υψηλό κόστος (16€) χωρίς να προσφέρει μεγαλύτερη ακρίβεια ή εύρος μέτρησης (Πίνακας 10).

	BMP280	**MPL3115A2**
Εύρος λειτουργίας	300 - 1100 hPa	200 - 1100 hPa
Μέγιστη πίεση	20000 hPa	5000 hPa
Μέγιστη ανάλυση	20-bit	20-bit
Ακρίβεια	0.0016 hPa	0.0025 hPa
Απόλυτο σφάλμα	± 1 hPa	± 4 hPa
Σχετικό σφάλμα	± 0.12 hPa	± 0.5 hPa
Temperature Coefficient Offset	1.5 Pa/K	NA
Συχνότητα δειγματοληψίας	157 Hz	100 Hz
FIFO Size	NA	32 samples
Κατανάλωση @ 1Hz	2.7 uA	8.5 uA

Πίνακας 10: Σύγκριση αισθητήρων BMP280, MPL3115A2

4. Αισθητήρες βροχόπτωσης – ύψους βροχής

Ο μηχανισμός Tipping Bucket μπορεί να θεωρηθεί η βέλτιστη επιλογή, όταν σκοπός είναι η μέτρηση του ύψους βροχής. Με τον περιοδικό τρόπο λειτουργίας του παρέχει καλή ακρίβεια και αξιοπιστία.

Αντίθετα, ο αισθητήρας FC-37/YL83 μπορεί να πληροφορήσει για το φαινόμενο αλλά όχι για την ένταση και το τελικό ύψος, που αποτελεί σημαντική πληροφορία, ειδικά στη Γεωργία. Παράλληλα, η διατήρηση σταγόνας στην επιφάνειά του μπορεί να παραπλανήσει, ακόμη και όταν έχει σταματήσει η βροχή.

Σχετικά με τον αισθητήρα ύψους νερού, απαιτείται περίπλοκος μηχανισμός και επιπλέον ηλεκτρονικά και μηχανικά μέρη για την αυτόματη λειτουργία του: σε περίπτωση μεγάλης βροχόπτωσης ή νέας βροχόπτωσης, θα απαιτείται «μηδενισμός» του ύψους μέσω μιας αντλίας που θα αφαιρεί το νερό από το δοχείο.

Τέλος, η επιλογή χρήσης αισθητήρα υπερήχων για την ανίχνευση του ύψους της επιφάνειας του νερού μπορεί να οδηγήσει στα ίδια αποτελέσματα αλλά και με τα ίδια μειονεκτήματα του αισθητήρα ύψους νερού.

Αισθητήρας	Άρθρο	v
FC-37 / YL83	[1], [20], [30], [32], [23], [36], [16], [43], [35]	9
tipping bucket	[37], [24], [48], [41], [42], [2], [4]	7
Water level	[12], [47]	2
Άγνωστο	[19], [22], [29], [31], [45]	5
Όχι	[21], [17], [18], [8], [38], [3], [5], [34], [6], [10], [44], [7], [11], [46], [49], [27], [26], [13], [14], [15], [33], [28], [9], [40], [25], [39]	26

Πίνακας 11**:** Άρθρα ανά τύπο αισθητήρα βροχόπτωσης

5. Αισθητήρες ταχύτητας ανέμου

Σε ό,τι αφορά τη μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου, το 3-cup ανεμόμετρο (Robinson anemometer) είναι ο αισθητήρας που χρησιμοποιείται, με εξαίρεση ιδιοκατασκευή στο άρθρο [40].

Αισθητήρας	Άρθρο	v
Robinson (3 cup) ανεμόμετρο	[16], [12], [35], [2], [19], [47], [31], [48], [29], [17], [6], [28], [23], [37], [41], [42], [27], [15], [24]	19
Σιγμοειδής διάταξη	[40]	1

Πίνακας 12: Άρθρα ανά τύπο ανεμομέτρου

Στα άρθρα [19], [23], [40], [48] προτιμάται η ιδιοκατασκευή αισθητήρα, σύμφωνα με την ίδια αρχή λειτουργίας.

Στο [48], προσαρμόζονται οι 3 βραχίονες με τα ημισφαιρικά κύπελλα στον άξονα περιστροφής και σε ένα σημείο του περιστρεφόμενου δίσκου τοποθετείται μαγνήτης. Αντίστοιχα, στον άξονα περιστροφής τοποθετείται ένας μαγνητικός διακόπτης (reed switch), ο οποίος ενεργοποιείται μια φορά σε κάθε περιστροφή. Αναφέρεται ότι το κόστος του διακόπτη είναι $2,5 ενώ τα υπόλοιπα μέρη κόστισαν $10.

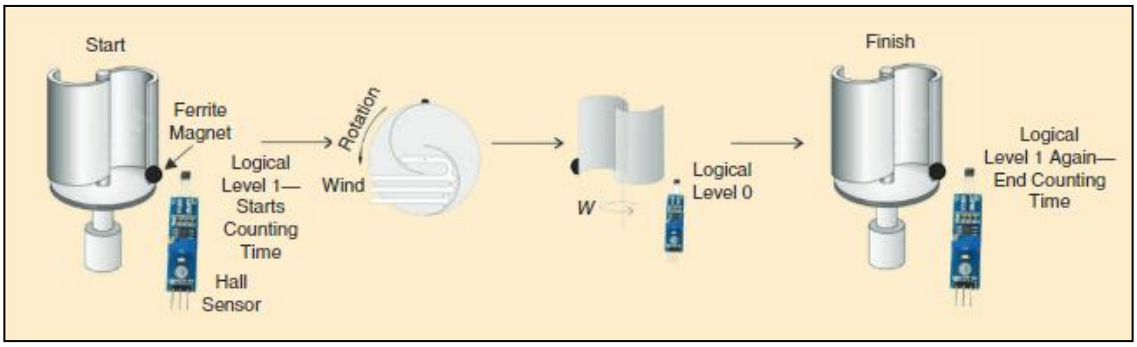


Εικόνα 35: Ιδιοκατασκευή αισθητήρα ταχύτητας ανέμου[49]

[49] [10]

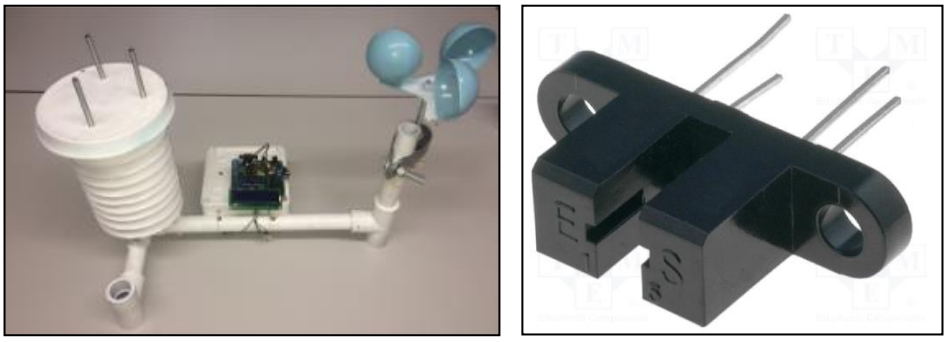
Στο [40], διατηρείται η αρχή λειτουργίας σε ό,τι αφορά το ηλεκτρονικό μέρος αλλά αλλάζει το σχήμα της επιφάνειας που δέχεται τον άνεμο. Αποτελείται από 2 κοίλα μέρη με κάτοψη σχήματος S. Στην υλοποίηση (Εικόνα 36) παρατηρείται ο μηχανισμός σε όψη, σε πρόχειρη και μη στιβαρή υλοποίηση.

Εξετάζοντας τη δεύτερη προσέγγιση ως προς την ευαισθησία, καθώς αποτελείται από 2 συμμετρικά μέρη (αντί για τρία στο Robinson), είναι πιθανόν άνεμος με διεύθυνση σύμφωνα με την εικόνα 37 να γίνεται δυσκολότερα αντιληπτός.



Εικόνα 36: Παράδειγμα ανεμόμετρου με σιγμοειδή επιφάνεια[50]

Στο [23] χρησιμοποιείται ανεμόμετρο Robinson αλλά αντί μαγνητικού διακόπτη χρησιμοποιείται οπτικός (H21A1).



Εικόνα 37: Ανεμόμετρο άρθρου και οπτικός διακόπτης H21A1[51] [52]

Στο άρθρο [19], για τις κοίλες επιφάνειες υποδοχής του ανέμου χρησιμοποιούνται μπαλάκια πινγκ-πονγκ, ενώ δεν γίνεται υπολογισμό αριθμού περιστροφών για τον υπολογισμό της ταχύτητας. Αντίθετα, στον άξονα περιστροφής

[50] [45]
[51] [50]
[52] https://www.tme.eu/en/details/h21a2-i/pcb-photoelectric-sensors/isocom/h21a2/

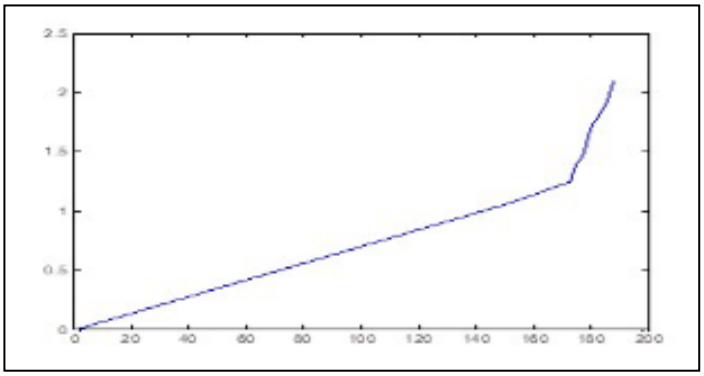
είναι συνδεδεμένος ένας κινητήρας, ο οποίος παράγει τάση σε συνάρτηση με τον ρυθμό περιστροφής.

Στον πίνακα 13 καταγράφεται η τάση στα άκρα του κινητήρα σε διάφορες τιμές συχνότητας περιστροφής.

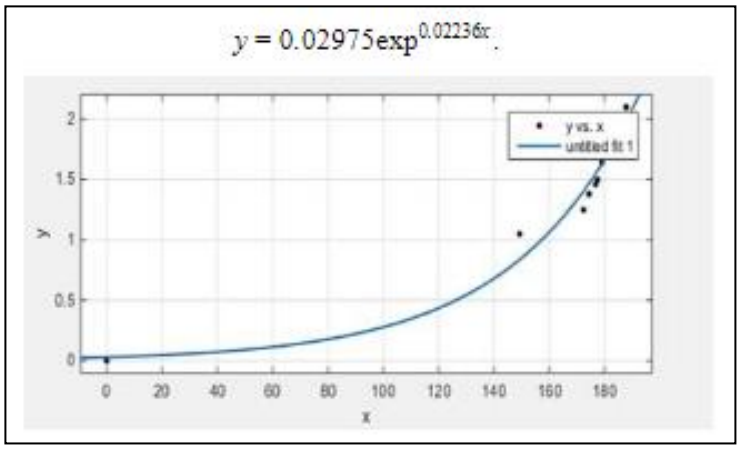
Voltage	RPS
149.3	1.05
172.37	1.25
174.4	1.38
176.73	1.46
177.48	1.5
179	1.64
180.23	1.73
185	1.9
187.8	2.1

Πίνακας 13: Τάση κινητήρα σε συνάρτηση με RPS[53]

Γίνεται γραφική αναπαράσταση των ζευγών τιμών (Διάγραμμα 6) και έπειτα γίνεται προσέγγιση με εκθετική συνάρτηση (Διάγραμμα 7).



Διάγραμμα 7: Γραφική παράσταση των τιμών V-RPS[54]



Διάγραμμα 8: Προσέγγιση με εκθετική συνάρτηση[55]

[53] [20]
[54] [20]
[55] [20]

Σε 2 άρθρα η μέτρηση γίνεται με προσαρμογή κινητήρα και ανάγνωση της τάσης, ενώ σε 1 άρθρο χρησιμοποιείται rotary encoder.

6. Αισθητήρες κατεύθυνσης ανέμου (ανεμοδείκτες)

Σύμφωνα με τον πίνακα 14 το μεγαλύτερο μέρος των υπό εξέταση αυτοσχέδιων σταθμών χρησιμοποιούν ανεμοδείκτες του εμπορίου, όμως υπήρξαν και δύο περιπτώσεις ιδιοκατασκευών, οι οποίες θα εξεταστούν παρακάτω.

Αισθητήρας	**Άρθρο**	**v**
Εμπορικό προϊόν	[27], [28], [29], [17],[6], [17], [6], [37]	19
Ιδιοκατασκευή	[2], [48]	2

Πίνακας 14: Άρθρα με ανεμοδείκτη

Στο άρθρο [48], κατασκευάζεται η διάταξης της εικόνας 38, όπου με τη βοήθεια διαφορετικών αντιστάσεων στις 8 βασικές κατευθύνσεις και τη χρήση μαγνητικού διακόπτη επιστρέφονται διαφορετικές τιμές αντίστασης.

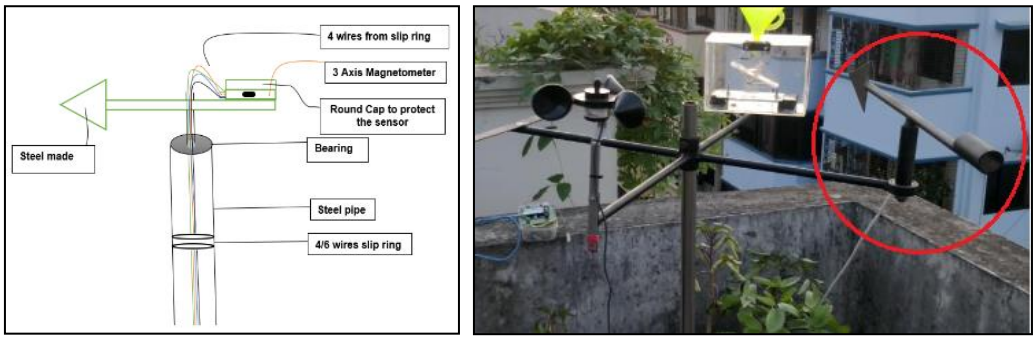


Εικόνα 38: Διάταξη αυτοσχέδιου ανεμοδείκτη[56]

Στο άρθρο [2], επιλέγεται η χρήση μαγνητόμετρου, μια ηλεκτρονικής διάταξης που ανιχνεύει το μαγνητικό πεδίο σε τρεις άξονες (Εικόνα 39).

Με κάθε αλλαγή κατεύθυνσης, ο αισθητήρας αναγνωρίζει τις αλλαγές στο μαγνητικό πεδίο σε δύο άξονες και επιστρέφει τις μετρήσεις στην κεντρική μονάδα.

[56] [10]



Εικόνα 39: Η διάταξη του ανεμοδείκτη και η τελική υλοποίηση[57]

7. Αισθητήρες έντασης φωτός

Στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιείται αισθητήρας LDR, καθώς είναι αρκετά απλός στη σύνδεση και οικονομικός. Στο [24] χρησιμοποιείται φωτοβολταϊκό, ενώ στο [6] επιλέγεται το πυρανόμετρο, ένα επιστημονικό όργανο. Οι υπόλοιποι αισθητήρες είναι ψηφιακοί, με κόστος από 2€ έως 20€.

Αισθητήρας	Άρθρο	v
LDR	[12], [36], [35], [45], [18], [11], [13], [9]	8
BH1750	[1], [27]	2
ML8511	[23]	1
TSL2561	[4]	1
Φωτοβολταϊκό	[24]	1
Πυρανόμετρο	[6]	1
Άγνωστο	[32], [26], [46]	3

Πίνακας 15: Άρθρα με αισθητήρα έντασης φωτός

8. Αισθητήρες ποιότητας αέρα

Στους σταθμούς, όπου εμφανίζεται ο αισθητήρας ποιότητας του αέρα, παρατηρείται ότι χρησιμοποιείται ο αντίστοιχος αισθητήρας, ανάλογα με την επιδίωξη κάθε υλοποίησης. Στον πίνακα 16 παρουσιάζονται οι αισθητήρες που βρέθηκαν ανάλογα με την αέριο ή ουσία ανίχνευσης.

Αισθητήρας	Ανίχνευση	Άρθρο	v
MQ-2	Βουτάνιο, μεθάνιο, καπνός	[13]	1
MQ-131	Όζον	[29]	1
MQ-135	Αμμωνία, Θείο, αρωματικές ενώσεις, καπνός	[34], [14], [3], [13]	4

[57] [4]

MQ7	Μονοξείδιο του Άνθρακα	[35], [14]	2
MQ-9	Μονοξείδιο του Άνθρακα, Μεθάνιο, LPG	[12], [47], [3]	3
DSM501A	Σκόνη	[3]	1
CO2	Διοξείδιο του Άνθρακα	[9], [44], [46]	3
MQ-136	Υδρόθειο	[13]	1

Πίνακας 16: Άρθρα με αισθητήρα ποιότητας αέρα

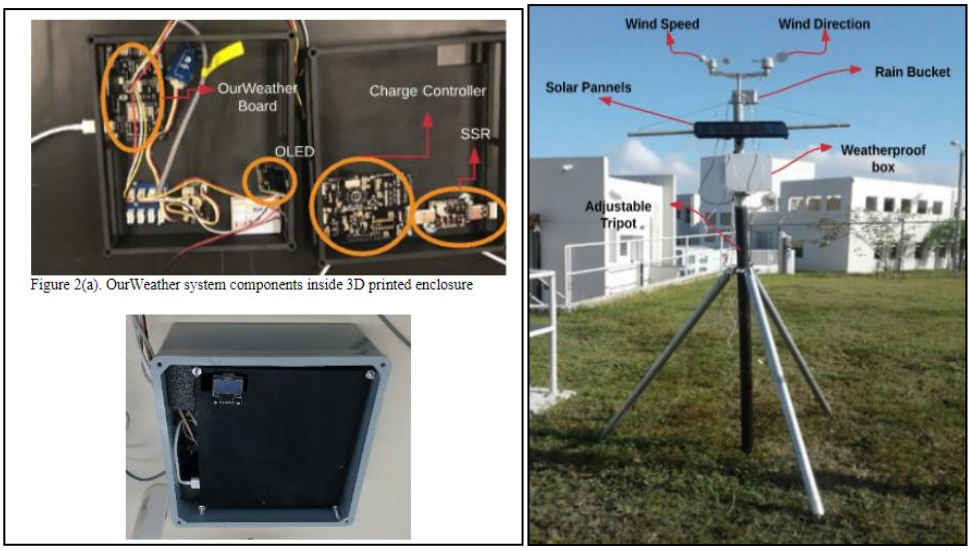
9. Ιδιοκατασκευή αισθητήρων

Ο πίνακας 17 παρουσιάζει τις περιπτώσεις των σταθμών όπου έγινε η χρήση αυτοσχέδιων αισθητήρων.

Άρθρο	Ανεμοδείκτης	Ανεμόμετρο	Βροχόμετρο	Περίβλημα
[2]	●		●	
[40]		●		
[48]	●	●		
[17]		●		●
[19]		●		

Πίνακας 17: Ιδιοκατασκευές αισθητήρων και πλαισίου

Για τους αισθητήρες ανέμου και βροχής, υπάρχει αναφορά στις αντίστοιχες παραγράφους. Σχετικά με το περίβλημα, στο άρθρο [17] γίνεται εκτύπωση περιβλήματος σε 3D εκτυπωτή για τη στέγαση και μόνωση των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, με αποτέλεσμα την άρτια και ολοκληρωμένη υλοποίηση αισθητήρων και μονάδας (Εικόνα 40).



Εικόνα 40: Περίβλημα μέσω 3D εκτυπωτή και τοποθέτηση αισθητήρων[58]

[58] [5]

10. Συμπερασματικά

Σε ό,τι αφορά θερμοκρασία και υγρασία, χρησιμοποιούνται οι αισθητήρες DHT11 και DHT 22, ενώ για την ατμοσφαιρική πίεση οι BMP180 και BMP280, με τον δεύτερο να μετράει και θερμοκρασία.

Για τη μέτρηση της βροχόπτωσης, χρησιμοποιούνται οι αισθητήρες FC-37 και Tipping bucket, με τον δεύτερο τύπο να αποτελεί ακριβέστερη λύση αναφορικά με το ύψος βροχής, ενώ ο πρώτος χρησιμοποιείται ασφαλέστερα ως trigger παρά ως μετρητής ακριβείας.

Σχετικά με την ταχύτητα του ανέμου, χρησιμοποιείται σχεδόν εξολοκλήρου ανεμόμετρο τύπου Robinson (3-cup anemometer) ενώ για την κατεύθυνσή του, αντίστοιχα, ανεμοδείκτης.

Για την ένταση του φωτός επιλέγεται φωτοαντίσταση στην πλειονότητα των άρθρων, ενώ για την ποιότητα του αέρα δεν εντοπίζεται κάποια κυρίαρχη επιλογή, καθώς επιλέγονται οι κατάλληλοι ανάλογα με την επιθυμητή ανίχνευση.

4.2.5 Επεξεργαστής/Μικροελεγκτής

Στον πίνακα 18 παρουσιάζονται οι τύποι των μικροελεγκτών-επεξεργαστών που χρησιμοποιούνται στους υπό εξέταση μετεωρολογικούς σταθμούς, όπου συμπεραίνονται τα παρακάτω:

- Στο 44% των άρθρων επιλέγεται το Arduino, με το 82% αυτών να χρησιμοποιούν συγκεκριμένα το Arduino Uno, καθώς οι είσοδοί του επαρκούν για την προσθήκη των απαιτούμενων αισθητήρων.
- Το 18% των υλοποιήσεων πραγματοποιούνται με NodeMCU ή ESP32, με πλεονέκτημα την ενσωματωμένη δυνατότητα σύνδεσης στο διαδίκτυο μέσω Wifi
- Στο 16% των άρθρων χρησιμοποιείται Raspberry Pi, καθώς αποτελεί αυτόνομο ηλεκτρονικό υπολογιστή, μετά από σύνδεση περιφερειακών όπως πληκτρολόγιο και ποντίκι, διαθέτει δυνατότητα σύνδεσης σε Wifi και δυνατότητα εισαγωγής βάσης δεδομένων στο λειτουργικό του
- Σε 10 περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκε δεύτερος μικροελεγκτής, είτε σε περιπτώσεις ξεχωριστών συσκευών πομπού – δέκτη είτε ως τελικός υπολογιστής διεπαφής του χρήστη

Μικροελεγκτής	Άρθρο	v
Arduino (Mega/Uno)	[33], [38], [20], [45], [2], [3], [7], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [19], [26], [29], [31], [35], [37], [40], [47]	22
Raspberry Pi (2,3,3 B+)	[5], [48], [1], [6], [22], [44], [41], [42]	8
NodeMCU / ESP8266 / ESP32	[8], [18], [30], [34], [32], [49], [24], [4], [43]	9
Άλλο	[25], [27], [36], [21], [9], [46], [23], [39], [17], [28]	10

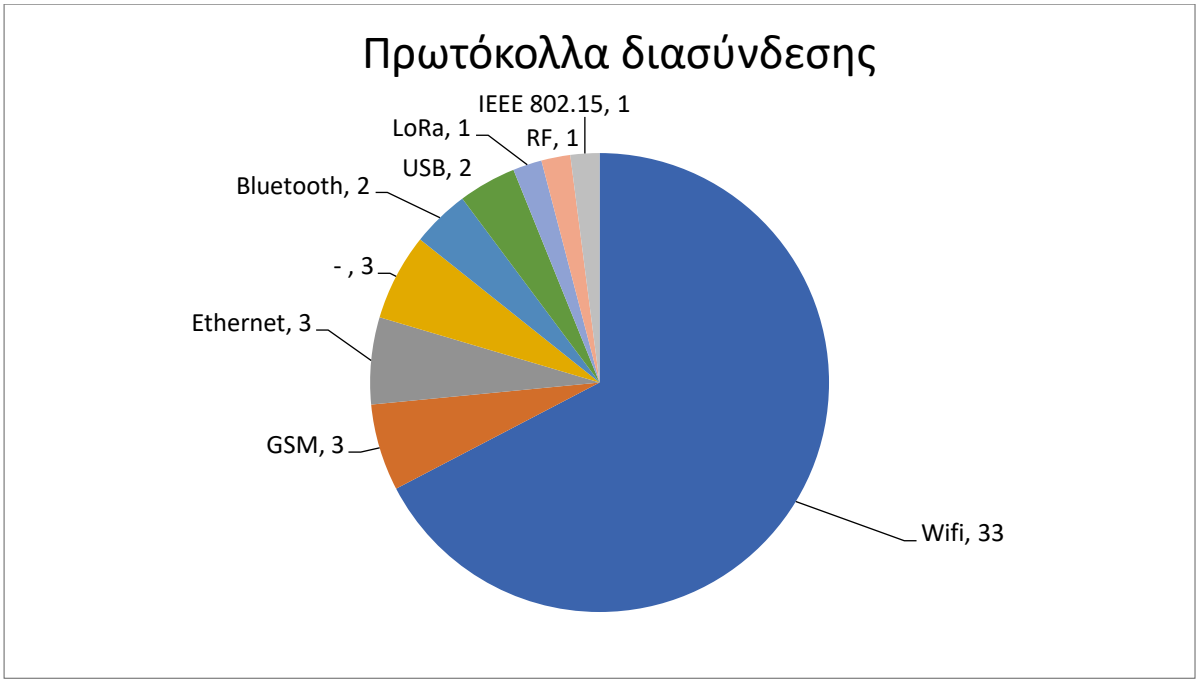
Πίνακας 18: Τύποι μικροελεγκτή ανά άρθρο

4.2.6 Συνδεσιμότητα / διεπαφή χρήστη

Τα πρωτόκολλα διασύνδεσης που επιλέχθηκαν από τα υπό εξέταση παραδείγματα σταθμών παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 9 που ακολουθεί.

Στα 2/3 των άρθρων επιλέγεται η σύνδεση μέσω Wifi, είτε χρησιμοποιώντας πλατφόρμα Raspberry είτε Arduino με προσθήκη κατάλληλου module είτε NodeMCU. Υπάρχουν υλοποιήσεις με Bluetooth, LoRa, GSM και RF, κυρίως με βάση την επιθυμητή μέγιστη απόσταση μεταφοράς των δεδομένων.

Η επικοινωνία με RF στο άρθρο [23] πραγματοποιείται με nRF24L01+ module. Το πρωτόκολλο IEEE 802.15 αφορά Zigbee module. Το πρωτόκολλο Bluetooth αφορά HC-05 module. Σε υλοποιήσεις με Arduino, η ανάγκη σύνδεσης με Wifi καλύφθηκε με προσθήκη NodeMCU ή ESP8266. Στο άρθρα [1] και [25], εκτός από τη σύνδεση σε Wifi δόθηκε και δεύτερη δυνατότητα σύνδεσης, μέσω Ethernet και GSM, αντίστοιχα.



Διάγραμμα 9: Πρωτόκολλα διασύνδεσης

Η μέγιστη ονομαστική απόσταση λειτουργίας κάθε πρωτοκόλλου παρουσιάζεται στον πίνακα 19, με τα αντίστοιχα άρθρα.

Ακτίνα επικοινωνίας	Άρθρο	v
Απεριόριστα (διαδίκτυο)	[1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [14], [17], [18], [20], [21], [22], [24], [25], [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32], [33], [34], [35], [36], [37], [39], [41], [42], [43], [44], [46], [48], [49]	38
64km	[16]	1
100m	[19], [23]	2
10m	[7], [13],[15]	3
1m	[12], [45], [47]	3
0m	[38] ,[40]	2

Πίνακας 19: Ακτίνα επικοινωνίας ανά άρθρο

4.2.7 Απεικόνιση δεδομένων

1. Χρήση οθόνης

Καθώς ο κύριος σκοπός των Μετεωρολογικών σταθμών της έρευνας είναι ο έλεγχος από απόσταση, οι περισσότεροι σταθμοί (33) δεν διαθέτουν οθόνη. Στον πίνακα 20 παρουσιάζονται οι τύποι οθόνης που χρησιμοποιούνται στους σταθμούς που εντοπίστηκε οθόνη. Οι πλειονότητα τους χρησιμοποιεί τύπο οθόνης 1602.

Άρθρο	Οθόνη
[1]	1602
[6]	1602
[14]	1602
[18]	1602
[23]	1602
[26]	1602
[36]	1602
[38]	1602
[39]	1602
[44]	1602
[45]	1602
[4]	1604
[43]	0.96-inch OLED
[25]	3.4-inch TFT-LCD
[16]	Nextion Touchscreen
[17]	OLED

Πίνακας 20: Τύποι οθόνης ανά άρθρο

2. Εφαρμογή σε κινητό

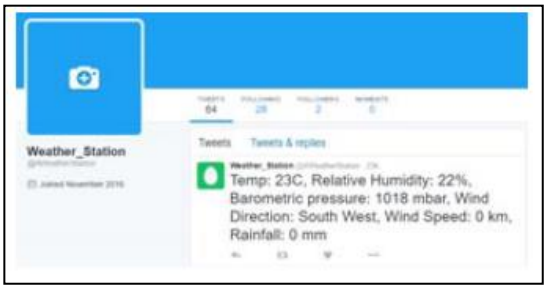
Σε 13 από τα 49 άρθρα η πληροφορία μεταφέρεται σε εφαρμογή κινητού τηλεφώνου. Συνήθεις εφαρμογές είναι το Thinkspeak και το Blynk, πλατφόρμες που υποστηρίζουν απεικόνιση, επεξεργασία, εμφάνιση ιστορικών στοιχείων. Το MIT App Inventor αποτελεί μια λύση για σχεδιασμό εφαρμογής. Η εφαρμογή SENA BTERM έχει καταργηθεί, ενώ στο άρθρο [13] σχεδιάζεται εφαρμογή από τον ερευνητή.

Εφαρμογή κινητού	Άρθρο
Thinkspeak	[31], [32], [34], [43]
Blynk App	[8], [18], [26], [30]
MIT App Inventor	[35]
SENA BTERM	[7]
Άλλο	[13], [14], [15]

Πίνακας 21: Εφαρμογή κινητού

3. Κοινωνικά δίκτυα

Στο άρθρο [10] αποστέλλονται μετρήσεις σε λογαριασμό στο Tweeter, ενώ στο άρθρο [32] η σύνδεση με το Tweeter γίνεται μέσω του Thinkspeak, αποστέλλοντας μετρήσεις είτε περιοδικά είτε βάσει ορισμού φυσιολογικού εύρους.



Εικόνα 41: Ειδοποίηση στο Tweeter[59]

4. Αποστολή ειδοποιήσεων

Εκτός από τις περιπτώσεις όπου αποστέλλονται μηνύματα μέσω εφαρμογής Blynk ή Thinkspeak (mail, tweets, βλ.[10], [13], [32]), στα άρθρα [41] και [43] γίνεται αποστολή μηνύματος SMS.

5. Συμπερασματικά

[59] [12]

Εκτός από την οθόνη (συνήθως LCD 1602) που χρησιμοποιείται για την απεικόνιση στον σταθμό, επιλέγονται οι εφαρμογές Blynk και Thinkspeak τόσο για την αναπαράσταση όσο και για την επεξεργασία και ιστορικότητα των δεδομένων.

4.2.8 Αποθήκευση δεδομένων

Όσον αφορά την αποθήκευση δεδομένων βρέθηκε ότι σε 8 άρθρα χρησιμοποιείται κάρτα SD ([16], [20], [24], [32], [38], [40], [43], [48]) ενώ στις υλοποιήσεις με εφαρμογές Blynk και Thinkspeak, δίνεται η δυνατότητα αποθήκευσης από την εφαρμογή.

Τα άρθρα [3], [4], [5], [8], [10] και [22] αναφέρουν αποθήκευση σε cloud. Στα άρθρα [13] και [17] σχεδιάζεται βάση δεδομένων στο Raspberry και στο [12] βάση δεδομένων σε Python στον τοπικό υπολογιστή.

4.2.9 Πρόγνωση καιρού

Σχετικά με τη δυνατότητα πρόγνωσης καιρού βρέθηκε ότι στο άρθρο [22], τα δεδομένα αποθηκεύονται σε βάση δεδομένων (Amazon DynamoDB) και με ένα μοντέλο πρόγνωσης αποστέλλει μηνύματα για αλλαγές καιρού ή έκτακτα γεγονότα, χρησιμοποιώντας την υπηρεσία Amazon SNS.

Στο άρθρο [20], αναφέρεται ως βασική παράμετρος πρόγνωση η αλλαγή της ατμοσφαιρικής πίεσης, με την πτώση της να σημαίνει βροχή ή συννεφιά. Βαθύτερα, υπολογίζει τον ρυθμό μεταβολής της πίεσης σε σχέση με το χρόνο, ώστε να ελεγχθεί πόσο ραγδαία αυτή αλλάζει και αντίστοιχα οδηγείται σε πρόγνωση (Πίνακας 22)

Analysis	**Output**
dP/dt > 0.25 kPa/h	Increased pressure fast, unstable.
0.05 kPa/h < dP/dt < 0.25 kPa/h	Increased pressure slowly, stable or good weather
-0.05 kPa/h < dP/dt < 0.05 kPa/h	Stable weather conditions
-0.25 kPa/h < dP/dt < -0.05 kPa/h	Pressure drop slowly, light rain / stable
dP/dt < -0.25 kPa/h	Fast pressure drop, storm or unstable

Πίνακας 22: Πρόγνωση καιρού με βάση ρυθμό μεταβολής πίεσης

Ενώ, τέλος, στο άρθρο [5], γίνεται προγραμματισμός με Python σε Jupyter Notebook, για χρήση αλγορίθμου μηχανικής μάθησης. Τα δεδομένα (χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα διετίας) χωρίζονται κατά 80% σε σύνολο εκπαίδευσης και κατά 20% σε σύνολο ελέγχου.

4.2.10 Κόστος

Μόλις σε 3 άρθρα γίνεται αναφορά για το ακριβές κόστος υλοποίησης.

Άρθρο	Κόστος
[1]	86€
[13]	59€
[16]	240€

Πίνακας 23: Κόστος υλοποίησης

4.2.11 Έλεγχος μετρήσεων και σφάλματα

Όσον αφορά τον έλεγχο μετρήσεων στο άρθρο [16] γίνεται σύγκριση των τιμών με αυτές από www.Weather.com, στο [17] γίνονται επί τόπου μετρήσεις με τον επαγγελματικού επιπέδου σταθμό Onset HOBO, στα άρθρα [2]. [8] λαμβάνονται μετρήσεις από online σταθμούς της περιοχής, στο [24] γίνεται εκτενής αναφορά στις μεθόδους επαναληψιμότητας (repeatability, επανάληψη μετρήσεων με το ίδιο όργανο, ίδιο χρήστη, σε διαφορετικούς χρόνους) και αναπαραγωγιμότητας (reproducibility, χρήση όμοιων ή διαφορετικών οργάνων, με άλλους χειριστές, σε διαφορετικές συνθήκες), ενώ τέλος στο το [28] γίνεται σύγκριση με δεδομένα από τον σταθμό Vantage Pro 2, που βρίσκεται τοποθετημένος σε παραπλήσιο βουνό. Αναδυκνεύει τη σημασία της άντλησης δεδομένων από τον χώρο ενδιαφέροντος, καθώς μικρές αλλαγές τοποθεσίας μπορούν να οδηγήσουν σε αισθητές αλλαγές, κυρίως σε σχέση με την ένταση του ανέμου.

Σε ό,τι αφορά στα σφάλματα, δεν υπήρχαν αρκετά ποσοτικά δεδομένα. Η θερμοκρασία και η υγρασία παρουσίασαν μικρότερα σφάλματα, ενώ μεγέθη όπως η βροχόπτωση και ο άνεμος, κυρίως λόγω της τοπικότητας των φαινομένων, παρουσιάζουν μεγαλύτερα σφάλματα.

Άρθρο	Θερμοκρασία	Υγρασία	Ταχύτητα ανέμου	Κατεύθυνση ανέμου	Ατμ. Πίεση	Βροχόπτωση	Υψόμετρο
[17]	<5%	<10%	<10%	<15%			
[16]	1.00%	1.00%	5.00%		0.00%		
[8]	1.20%	3.20%			1,1%	9.00%	5.00%
[20]	3,74%	2,14%			0,32%		
[21]	4.00%	5.00%					
[2]	5.00%	3.00%				9.00%	

Πίνακας 24: Σφάλματα κατά τον έλεγχο των μετρήσεων

4.2.12 Συχνότητα μέτρησης / λήψης δεδομένων

Για λόγους εξοικονόμησης πόρων, προτιμάται η μέτρηση ανά διαστήματα έως και 15 λεπτά. Ειδικά, στο άρθρο [22], αλγόριθμος επιλέγει ποια δεδομένα θα ανεβούν στο cloud. Αν οι διαφορές είναι αμελητέες, δεν ανεβαίνουν, εξοικονομώντας ενέργεια και δικτυακούς πόρους. Τα δεδομένα διαφορετικών αισθητήρων συγκρίνονται και αποστέλλεται ειδοποίηση σε περίπτωση βλάβης ή θορύβου.

Άρθρο	μέτρηση κάθε:
[27]	15 λεπτά
[39]	15 λεπτά
[9]	10 λεπτά
[45]	15 δευτ.
[8]	15 δευτ.
[13]	10 δευτ.
[5]	3 δευτ.
[15]	1 δευτ.

Πίνακας 25: Συχνότητα μέτρησης

4.2.13 Αναφορά προβλημάτων

Στο άρθρο [17] γίνεται αναφορά σε περιπτώσεις κορεσμού του αισθητήρα υγρασίας (ένδειξη 100%) και για περιστασιακές αποσυνδέσεις (μη λήψη δεδομένων), ενώ στο άρθρο 18 αναφέρονται λανθασμένες μετρήσεις ατμοσφαιρικής πίεσης, με ενδεχόμενη εξήγηση προβλήματα στο πρωτόκολλο επικοινωνίας αισθητήρα BMP280 με NodeMCU.

4.2.14 Αξιολόγηση των ερασιτεχνικών μετεωρολογικών σταθμών

Για την αξιολόγηση των υπό εξέταση ερασιτεχνικών μετεωρολογικών σταθμών, με σκοπό την ευκολότερη αναζήτηση από τους ενδιαφερομένους των περιπτώσεων που εμπίπτουν στις αναζητήσεις του, τα χαρακτηριστικά και οι δυνατότητές τους χωρίστηκαν σε 5 κατηγορίες:

Κατηγορία 1. Περιεχόμενο άρθρου

Αξιολογείται το περιεχόμενο του άρθρου ως προς τις παρεχόμενες πληροφορίες σε κατηγορίες ενδιαφέροντος (σφάλματα, κόστος, τροφοδοσία, έλεγχος αποτελεσμάτων, τεχνικά χαρακτηριστικά) αλλά και βοηθητική πληροφορία για τον αναγνώστη όπως διαγράμματα, γραφήματα, φωτογραφίες

Κατηγορία 2. Αισθητήρες / ενεργοποιητές

Αξιολογείται ο αριθμός και το είδος αισθητήρων που χρησιμοποιούνται, με μεγαλύτερη βαρύτητα σε σύνθετους αισθητήρες βροχόπτωσης, ταχύτητας και κατεύθυνσης ανέμου

Κατηγορία 3. Συνδεσιμότητα-διεπαφή

Αξιολογείται η ύπαρξη εναλλακτικού τρόπου επικοινωνίας, η απόσταση μετάδοσης της πληροφορίας, η ύπαρξη οθόνης, η υποστήριξη εφαρμογής σε κινητό, η σύνδεση με κοινωνικά δίκτυα. Κυρίως, η δυνατότητα σύνδεσης στο διαδίκτυο.

Κατηγορία 4. Δυνατότητες

Αξιολογείται η υποστήριξη πολλαπλών πομπών, η δυνατότητα πρόγνωσης, αποθήκευσης και προβολής ιστορικών δεδομένων.

Κατηγορία 5. Άλλο

Αξιολογείται η ύπαρξη ιδιοκατασκευής, η υλοποίηση εφαρμογής και περαιτέρω χαρακτηριστικά που δεν εμπίπτουν σε κατηγορία.

Στον πίνακα 26 παρουσιάζεται η κατανομή των βαθμών ανά ορισμένη κατηγορία:

Κατηγορία	Βαθμοί
Περιεχόμενο άρθρου	200
Αισθητήρες	250
Συνδεσιμότητα/Διεπαφή	320
Δυνατότητες	150
Άλλο	80
Σύνολο	1000

Πίνακας 26: Κατηγορίες αξιολόγησης

Στον πίνακα 27 φαίνεται η κατανομή των βαθμών ανά κριτήριο και ανά κατηγορία, ενώ στον πίνακα 28 καταγράφεται η βαθμολογία κάθε άρθρου ανά κατηγορία και συνολικά.

Κριτήριο	Βαθμοί	Μέγιστο
Περιεχόμενο άρθρου		
Έτος δημοσίευσης	(2023 - έτος) X 2	14
Ύπαρξη διαγράμματος ροής	0 ή 20	20
Ύπαρξη λειτουργικού διαγράμματος	0 ή 20	20
Ύπαρξη διαγράμματος κυκλώματος	0 ή 20	20
Ανάλυση χαρακτηριστικών υλικού	0, 6, 12 ή 18	18
Χρήση γραφημάτων	0, 6, 12 ή 18	18
Φωτογραφίες εγκατάστασης σταθμού	0, 6, 12 ή 18	18
Παράθεση ποσοστών σφάλματος	0 ή 10	10
Αναφορά κόστους	0 ή 7	7
Αναφορά μελλοντικών στόχων	0 ή10	10
Αναφορά προβλημάτων	0 ή10	10
Τροφοδοσία μονάδας	0 ή 5	5
Χρήση φωτοβολταϊκού	0 ή 15	15
Πληροφόρηση για συχνότητα μέτρησης	0 ή 5	5
Έλεγχος αποτελεσμάτων	0 ή10	10
Αισθητήρες/Ενεργοποιητές		
Ατμοσφ. Πίεσης	0 ή 20	20
Θερμοκρασίας	0 ή 20	20
Υγρασίας αέρα	0 ή 20	20
Υγρασίας εδάφους	0 ή 10	10
Ποιότητας αέρα	0 ή 20	20
Βροχόπτωσης	0 ή 40	40
Ταχύτητας ανέμου	0 ή 50	50
Κατεύθυνσης ανέμου	0 ή 50	50
Έντασης φωτός	0 ή 10	10
Ενεργοποιητές	0 ή 10	10
Συνδεσιμότητα/Διεπαφή		
Εναλλακτικό πρωτόκολλο επικοινωνίας	0 ή 20	20
Ακτίνα μετάδοσης	10 ή 30 ή 50 ή 80	80
Υποστήριξη εφαρμογής σε κινητό	0 ή 50	50
Ύπαρξη οθόνης	0 ή 30	30
Χρήση κοιν. Δικτύων	0 ή 40	40
Εϊναι υλοποίηση IoT	0 ή 100	100
Δυνατότητες		
Υποστήριξη πολλαπλών πομπών	0 ή 20	20
Αποθήκευση δεδομένων	0 ή 30	30
Δυνατότητα πρόγνωσης	0 ή 30	60
Προβολή ιστορικών δεδομένων	0 ή 20	20
Προειδοποιητικά μηνύματα/ειδοποιήσεις	0 ή 20	20

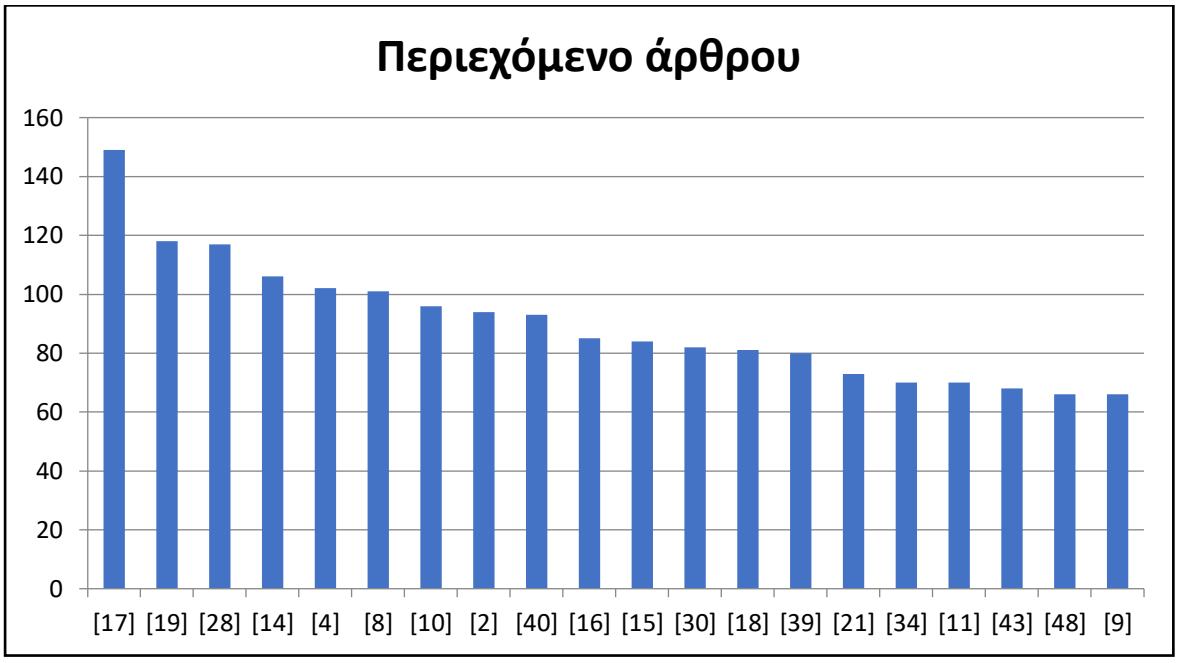
Άλλο		
Ιδιοκατασκευή αισθητήρων	0 ή 20	20
Υλοποίηση εφαρμογής	0 ή 20	20
Σχόλια ερευνητή	10 ή 20 ή 30 ή 40	40
Σύνολο		**1000**

Πίνακας 27: Κατανομή βαθμών ανά κριτήριο

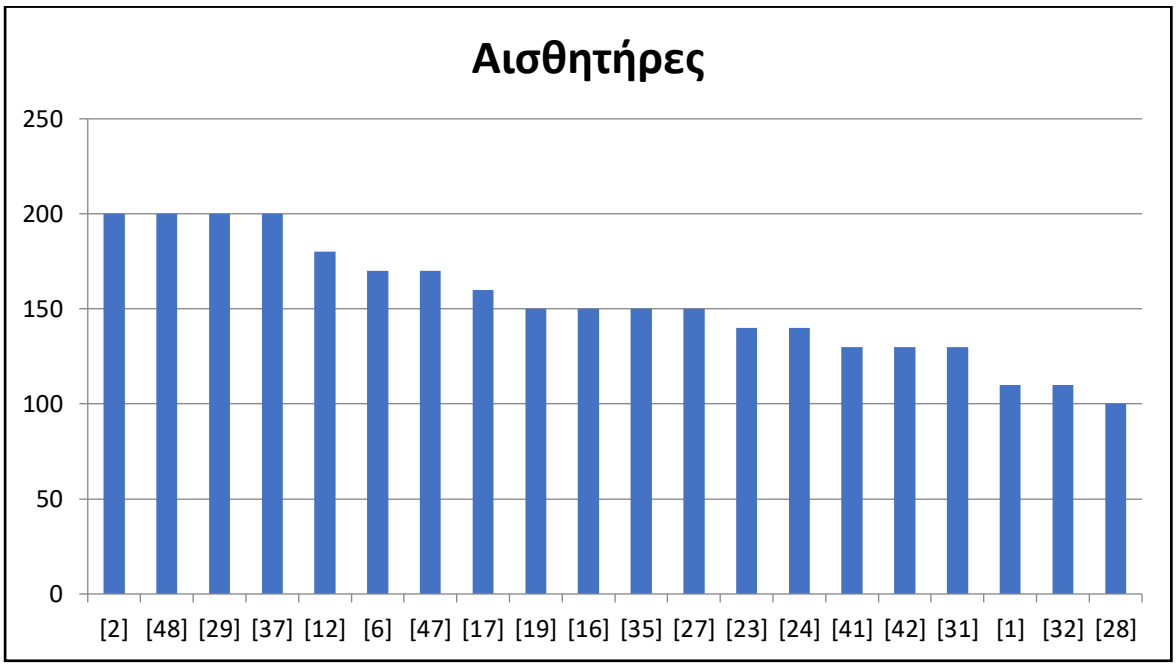
#	Περιεχόμενο άρθρου	Αισθητήρες	Συνδεσιμότητα/Διεπαφή	Δυνατότητες	Άλλο	Σύνολο
[1]	51	110	210	40	0	411
[2]	94	200	180	20	50	544
[3]	49	80	180	40	0	349
[4]	102	90	200	40	0	432
[5]	44	60	180	100	40	424
[6]	65	170	190	50	20	495
[7]	27	40	60	20	0	147
[8]	101	60	230	40	0	431
[9]	66	20	180	40	0	306
[10]	96	60	220	60	0	436
[11]	70	50	180	20	20	340
[12]	51	180	10	40	0	281
[13]	58	72	60	40	40	270
[14]	106	60	240	40	0	446
[15]	84	90	60	0	40	274
[16]	85	150	80	30	0	345
[17]	149	160	90	40	40	479
[18]	81	90	240	60	30	501
[19]	118	150	30	40	10	348
[20]	46	100	200	90	20	456
[21]	73	60	180	0	40	353
[22]	50	100	180	120	40	490
[23]	62	140	40	0	50	292
[24]	56	140	180	30	40	446
[25]	36	20	220	0	0	276
[26]	44	60	240	0	0	344
[27]	57	150	180	0	0	387
[28]	117	100	180	40	0	437
[29]	46	200	180	20	0	446
[30]	82	90	230	40	0	442
[31]	38	130	230	40	0	438
[32]	50	110	270	50	0	480
[33]	49	40	180	0	0	269
[34]	70	60	230	20	40	420
[35]	64	150	230	0	0	444
[36]	34	90	190	0	0	314
[37]	41	200	180	20	0	441
[38]	60	40	10	10	0	120
[39]	80	30	190	20	0	320
[40]	93	70	0	10	10	183
[41]	48	130	180	40	0	398
[42]	40	130	180	20	0	370
[43]	68	100	240	30	0	438
[44]	40	90	190	20	30	370
[45]	64	90	20	0	0	174
[46]	63	80	100	20	0	263
[47]	54	170	10	0	0	234
[48]	66	200	180	30	20	496
[49]	64	60	180	20	0	324

Πίνακας 28: Βαθμολογία άρθρων ανά κατηγορία

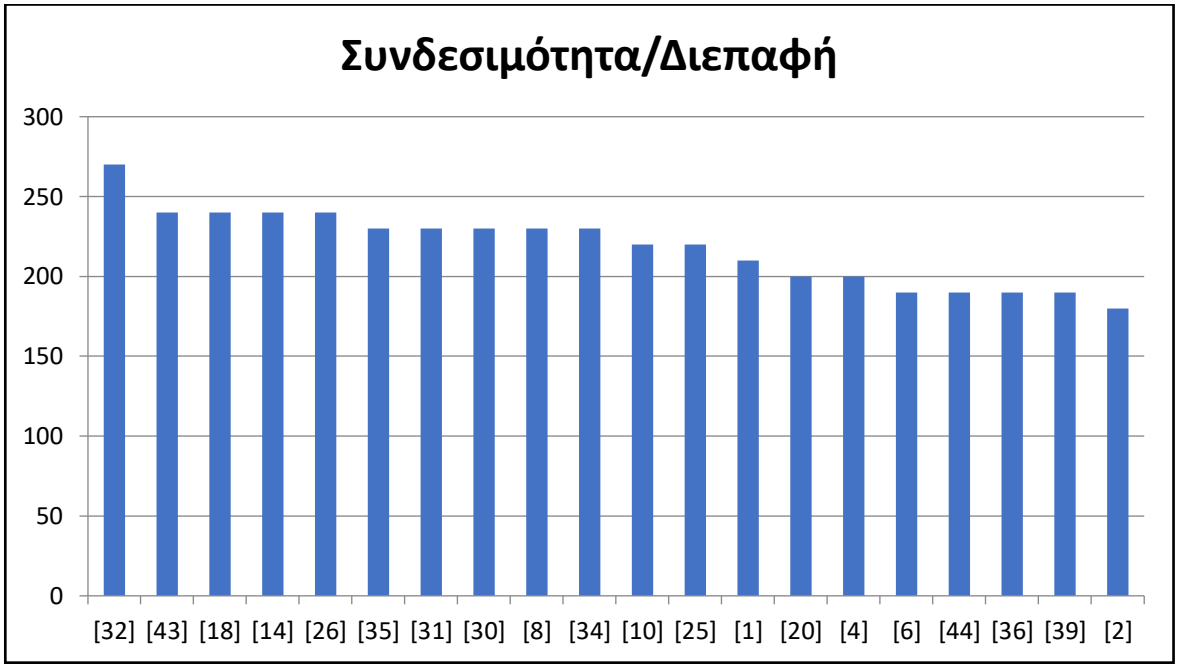
Στα διαγράμματα 10 έως 15 παρουσιάζονται τα 20 άρθρα με την υψηλότερη βαθμολογία ανά κατηγορία, καθώς και με βάση τη βαθμολογία στο σύνολο των κατηγοριών



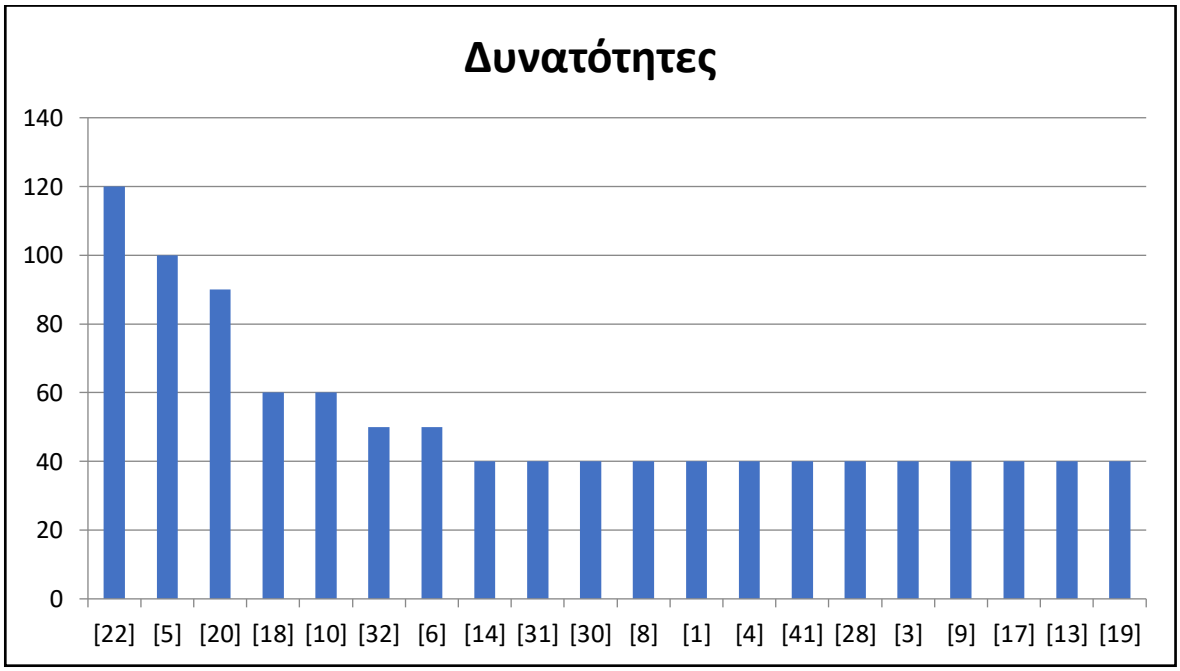
Διάγραμμα 10: Βαθμολογία κατηγορίας «περιεχόμενο άρθρου» (Top-20)



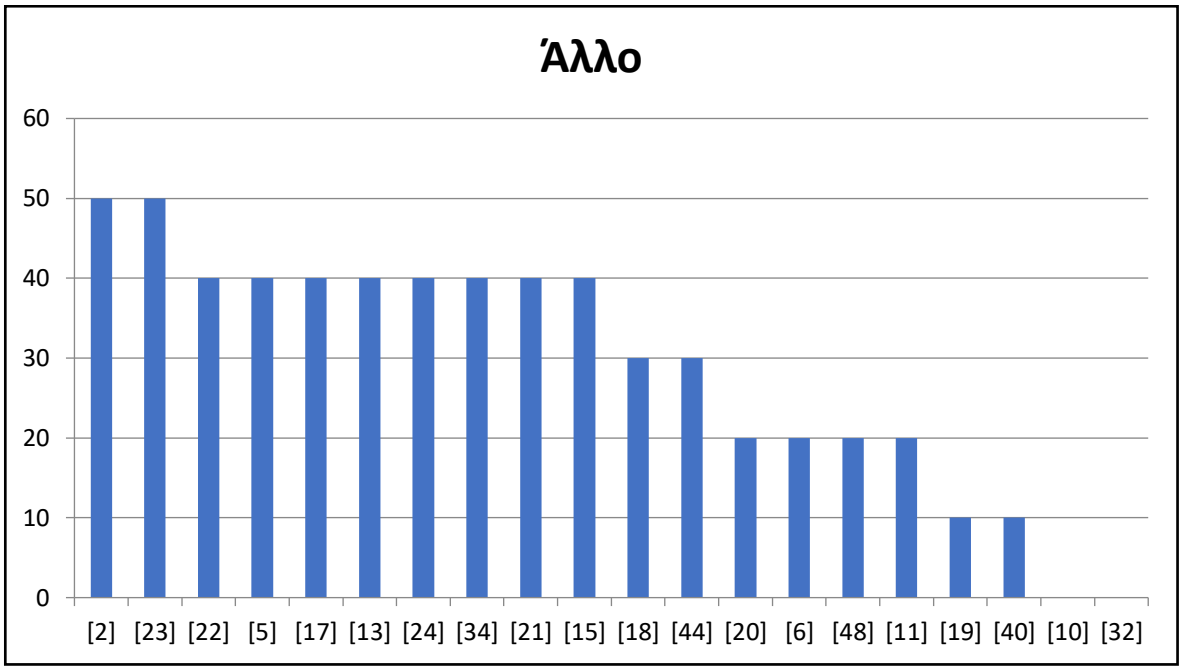
Διάγραμμα 11: Βαθμολογία κατηγορίας «Αισθητήρες» (Top-20)



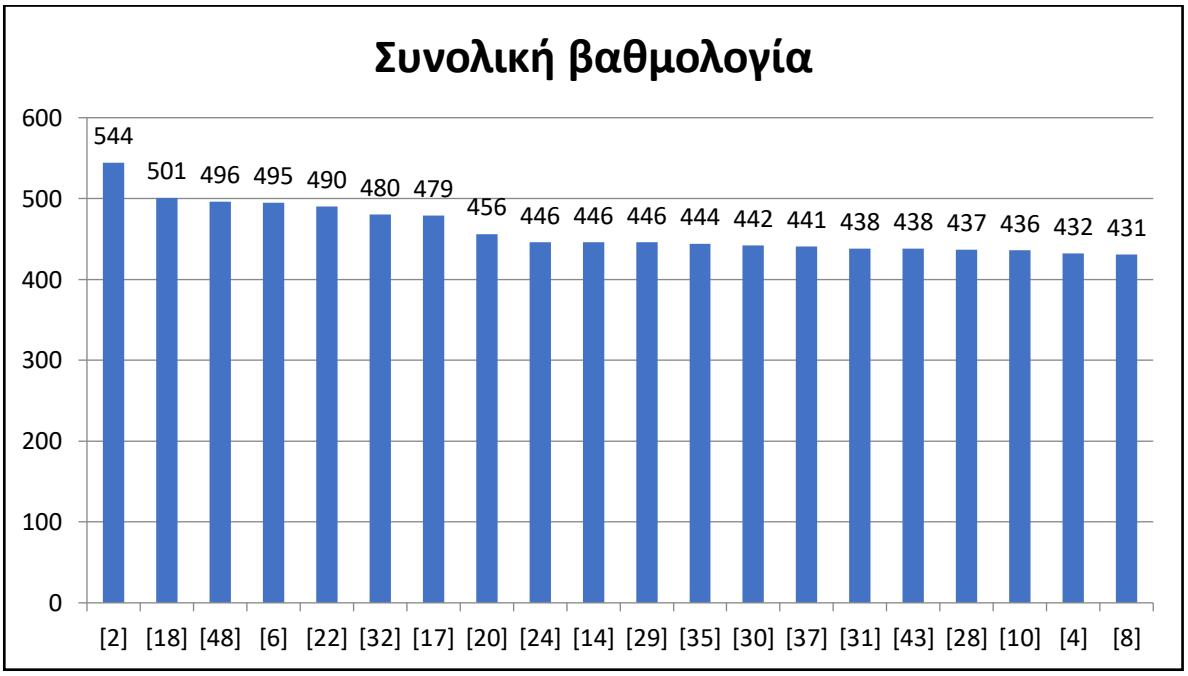
Διάγραμμα 12: Βαθμολογία κατηγορίας «Συνδεσιμότητα-διεπαφή» (Top-20)



Διάγραμμα 13: Βαθμολογία κατηγορίας «Δυνατότητες» (Top-20)

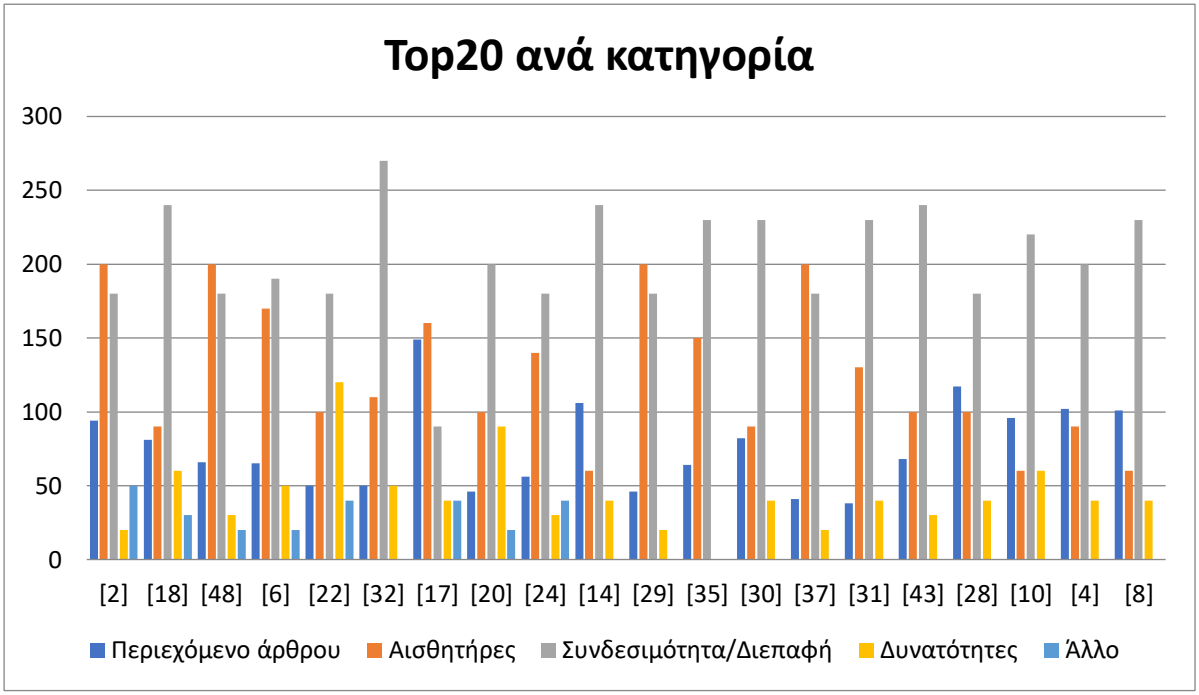


Διάγραμμα 14: Βαθμολογία κατηγορίας «Άλλο» (Top-20)



Διάγραμμα 15: Συνολική βαθμολογία (Top-20

Η αναλυτική βαθμολογία των top-20 άρθρων, με τις επιμέρους βαθμολογίες ανά κατηγορία φαίνεται στο διάγραμμα 16. Σε φθίνουσα σειρά συνολικής βαθμολογίας από αριστερά προς δεξιά.



Διάγραμμα 16: Συνολική βαθμολογία (Top-20) ανά κατηγορία

Στον πίνακα 29, παρουσιάζεται η συμμετοχή κάθε άρθρου σε Top-10 ανά κατηγορία, όπως και στη συνολική βαθμολογία. Έπειτα, στη στήλη 'Αριθμός TOP-10", αναγράφεται το σύνολο των TOP-10 κάθε άρθρου.

#	Περιεχόμενο άρθρου	Αισθητήρες	Συνδεσιμότητα Διεπαφή	Δυνατότητες	Άλλο	Σύνολο	Αριθμός Top-10
[2]	●	●			●	●	4
[18]	●	●			●	●	4
[20]	●		●	●		●	4
[5]		●		●		●	3
[30]			●	●		●	3
[39]				●	●	●	3
[49]			●	●		●	3
[4]		●				●	2
[6]	●	●					2
[13]				●	●		2
[14]	●			●			2
[19]					●	●	2
[24]	●		●				2
[25]				●		●	2
[35]			●	●			2
[40]			●	●			2
[43]			●		●		2
[48]	●	●					2
[10]			●				1
[12]		●					1
[15]			●				1
[16]		●					1
[17]	●						1

[21]								•		1
[22]	•									1
[26]		•								1
[29]								•		1
[31]								•		1
[32]	•									1
[33]		•								1
[34]			•							1
[44]								•		1
[1]										0
[3]										0
[7]										0
[8]										0
[9]										0
[11]										0
[23]										0
[27]										0
[28]										0
[36]										0
[37]										0
[38]										0
[41]										0
[42]										0
[45]										0
[46]										0
[47]										0

Πίνακας 29: Συμμετοχή σε TOP-10 Ανά κατηγορία και συνολικά TOP-10

4.3 Πλεονεκτήματα/μειονεκτήματα αυτοσχέδιων έναντι εμπορικών σταθμών

Η χρήση αυτοσχέδιων μετεωρολογικών σταθμών σε σύγκριση με τους μετεωρολογικούς σταθμούς του εμπορίου παρουσιάζουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα:

Πλεονεκτήματα αυτοσχέδιων έναντι εμπορικών μετεωρολογικών σταθμών:

Χαμηλότερο κόστος: Οι περισσότεροι αυτοσχέδιοι σταθμοί είναι πιο οικονομικοί από τους διαθέσιμους σταθμούς στο εμπόριο [12].

Εξατομίκευση και παραμετροποίηση: Με έναν αυτοσχέδιο σταθμό ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να προσαρμόσει τον σχεδιασμό, τις μετρήσεις και τα χαρακτηριστικά του σταθμού που δημιουργεί ανάλογα με συγκεκριμένες ανάγκες του. Μπορεί να επιλέξει τους αισθητήρες, τις μεθόδους καταγραφής δεδομένων και όλων

των άλλων εξαρτημάτων του σταθμού επιτρέποντας μια εξατομικευμένη παρακολούθηση των καιρικών φαινομένων. Συχνά, οι επαγγελματικοί μετεωρολογικοί σταθμοί δεν είναι παραμετροποιήσιμοι ή τροποποιήσιμοι και στερούνται της δυνατότητας προσθήκης ή αφαίρεσης αισθητήρων ή λοιπών περιφερειακών. Πωλούνται ως ένα κλειστό σύστημα, δεν υπάρχει πρόσβαση στα δεδομένα, παρά μόνο δυνατότητα αποστολής τους σε ένα κλειστό σύστημα αναπαράστασης, το οποίο είναι επίσης λίγο ή καθόλου παραμετροποιήσιμο [10].

Λήψη τοπικών δεδομένων: Οι αυτοσχέδιοι σταθμοί μπορούν να παρέχουν πληροφορίες για τον καιρό σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Αντίθετα, οι εμπορικοί σταθμοί καλύπτουν μεγαλύτερες περιοχές και ενδέχεται να μην καταγράφουν σωστά το μικροκλίμα μιας συγκεκριμένης τοποθεσίας ενδιαφέροντος του χρήστη [12].

Στην Ινδία, για παράδειγμα, οι Αυτόματοι Μετεωρολογικοί σταθμοί. βρίσκονται σε μέση απόσταση 30 χλμ. Όμως με το 50% του εργατικού δυναμικού να απασχολείται στη Γεωργία, είναι εξαιρετικά σημαντική η ακριβής μέτρηση των συνθηκών, στον τόπο ενδιαφέροντος [14].

Μειονεκτήματα αυτοσχέδιων έναντι εμπορικών μετεωρολογικών σταθμών:

Ακρίβεια και βαθμονόμηση: Η ακρίβεια των αυτοσχέδιων μετεωρολογικών σταθμών εξαρτάται από τα επιμέρους εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται, τις διαδικασίες βαθμονόμησης τους, αλλά και από περιβαλλοντικούς παράγοντες. Οι εμπορικοί σταθμοί, συνήθως, υποβάλλονται από μια σειρά αυστηρών δοκιμών και βαθμονόμησης για να εξασφαλίζουν ακριβείς μετρήσεις.

Ανθεκτικότητα και αξιοπιστία: Οι εμπορικοί σταθμοί σχεδιάζονται και κατασκευάζονται ώστε να είναι ανθεκτικοί και αξιόπιστοι. Οι αυτοσχέδιοι ενδέχεται να μην έχουν το ίδιο επίπεδο ανθεκτικότητας, με αποτέλεσμα να απαιτούν τακτική συντήρηση.

Υποστήριξη από υπηρεσίες service και εγγύηση προϊόντος: Οι εμπορικοί σταθμοί συνοδεύονται από υποστήριξη για την αντιμετώπιση προβλημάτων και εγγύηση του κατασκευαστή. Για τους αυτοσχέδιους η αναζήτηση λύσεων σε πιθανά προβλήματα που μπορεί να προκύψουν γίνεται από τον χρήστη.

Συμπερασματικά, η επιλογή χρήσης σταθμών εξαρτάται από το κόστος, το επιθυμητό επίπεδο ακρίβειας, τις ειδικές απαιτήσεις και τον χρόνο που δύναται να επενδύσει ο χρήστης.

Κεφάλαιο 5: Κατασκευή μετεωρολογικού σταθμού με μικροεπεξεργαστή Arduino

Στο παρόν κεφάλαιο, επιχειρείται η κατασκευή ενός Αυτόματου Μετεωρολογικού Σταθμού, με βάση την πλατφόρμα Arduino, με στόχο την έμπρακτη αναζήτηση των προβλημάτων και προκλήσεων που προκύπτουν σε αντίστοιχες υλοποιήσεις.

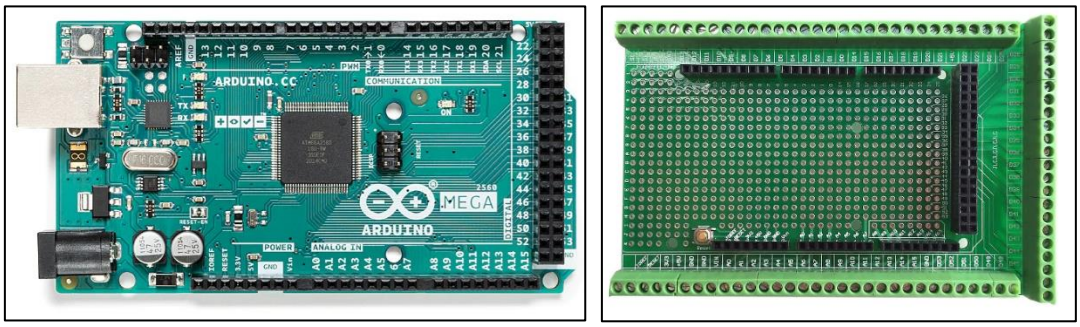
5.1 Υλικό

Σε ό,τι αφορά στο υλικό, αγοράστηκαν αισθητήρες από το διαδίκτυο, σε συνδυασμό με διαθέσιμο υλικό όπως ο μικροελεγκτής Arduino Mega και η SIM900.

5.1.1 Εξαρτήματα και αισθητήρες

5.1.1.1 Μικροελεγκτής

Επιλέχθηκε ο μικροελεγκτής Arduino Mega 2560, καθώς ήταν δυνατό να συνδυαστεί με υπάρχουσα πλακέτα Screw shield, με στόχο τη σταθεροποίηση των συνδέσεων στα τελικά στάδια υλοποίησης

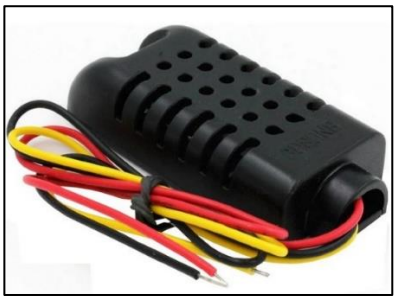


Εικόνα 42: Arduino Mega 2560 και Arduino Mega 2560 Screw Shield[60] [61]

5.1.1.2 Αισθητήρας Θερμοκρασίας και Υγρασίας

Επιλέχθηκε ο αισθητήρας DHT 21, λόγω διαθεσιμότητας και παρόμοιων χαρακτηριστικών με τον DHT 22.

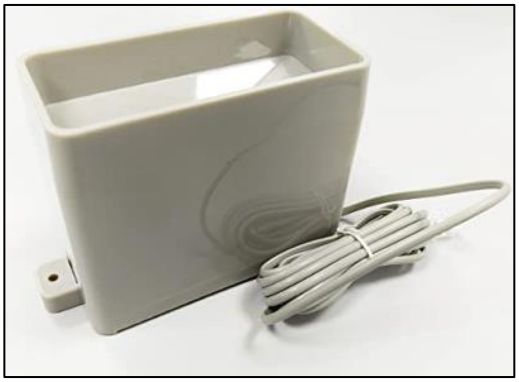
[60] https://grobotronics.com/arduino-mega-2560-rev3.html?sl=en
[61] https://www.fruugo.gr/botao-prototype-screwjunction-box-shield-kit-for-arduino-mega-2560-r3-diy-1pc/



Εικόνα 43: Αισθητήρας DHT21[62]

5.1.1.3 Βροχόμετρο

Αγοράστηκε από κατάστημα του εξωτερικού, τύπου Tipping Bucket



Εικόνα 44: βροχόμετρο Tipping Bucket[63]

5.1.1.4 Ανεμόμετρο

Αγοράστηκε από ελληνικό κατάστημα. Παρότι κατασκευαστικά ήταν υψηλής ποιότητας, δεν λειτούργησε, καθώς ήταν, ενδεχομένως, ελαττωματικό.

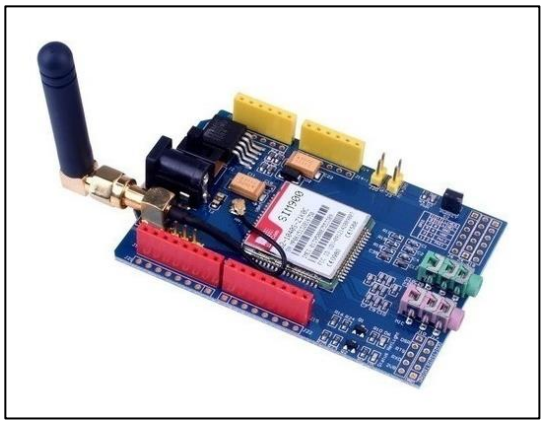


Εικόνα 45: Ανεμόμετρο 3cup[64]

[62] https://www.aerial.net/shop/product_info.php?products_id=1790
[63] https://www.amazon.in/Generic-Rain-Gauge-Tipping-Bucket/dp/B07LBKRJ18
[64] https://www.hellasdigital.gr/electronics/sensors/anemometer/anemometer-kit-0-5v-sen0170/

5.1.1.5 GSM Module

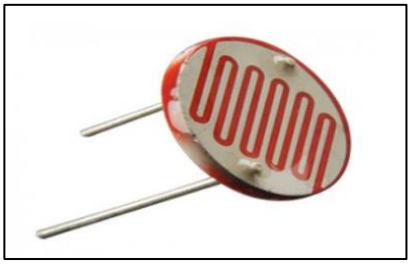
Χρησιμοποιήθηκε SIM900 GSM Module, για την αποστολή SMS



Εικόνα 46: SIM900 GSM Module[65]

5.1.1.6 Φωτοαντίσταση

Χρησιμοποιήθηκε φωτοαντίσταση GL5516, αγορασμένη από κατάστημα εξωτερικού



Εικόνα 47: φωτοαντίσταση GL5516[66]

5.1.1.7 LCD οθόνη

Χρησιμοποιήθηκε οθόνη LCD 2004, 4 γραμμών X 20 χαρακτήρες. Επικράτησε έναντι της επιλογής μιας TFT με δυνατότητας αφής, καθώς η δεύτερη θα απαιτούσε εκτενέστερο κώδικα και χρήση δυνατοτήτων εισαγωγής, που αποτελεί μελλοντικό στόχο.

[65] https://www.cableworks.gr/ilektronika/arduino-and-microcontrollers/modules/gsm/sim900a-900-1800-mhz-gprs-gsm-development-board-module-for-arduino/
[66] https://www.elprocus.com/ldr-light-dependent-resistor-circuit-and-working/



Εικόνα 48: Οθόνη LCD 2004[67]

5.1.1.8 Φωτοβολταϊκό και ελεγκτής

Αγοράστηκαν από ελληνικό κατάστημα. Το φωτοβολταϊκό, με ισχύ 20W, είναι ικανό να φορτίσει τον συσσωρευτή κατά τη διάρκεια μιας ηλιόλουστης ημέρας.



Εικόνα 49: Φωτοβολταϊκό και Ελεγκτής PWM[68] [69]

5.1.1.9 Συσσωρευτής

Ο συσσωρευτής 12v / 7AH τροφοδοτεί μέσω του PWM ελεγκτή τόσο το Arduino Mega όσο και τη SIM900

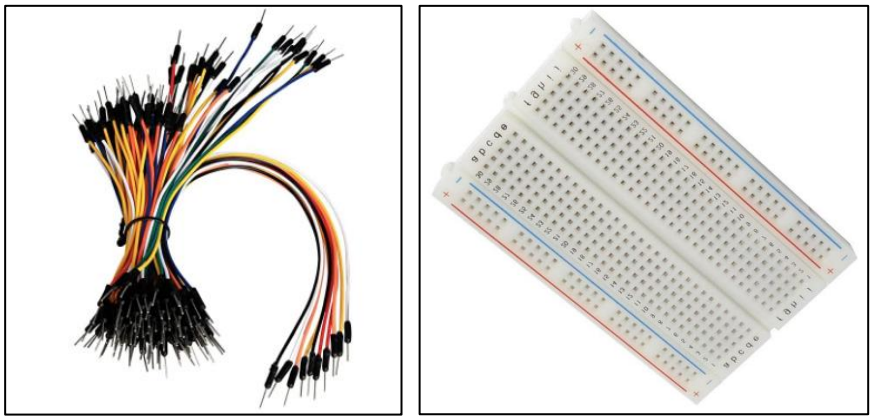


Εικόνα 50: Συσσωρευτής 12v/7AH[70]

[67] https://www.joom.com/el/products/5f533bcdfd4f0701060af5e6
[68] https://avtoex.com.ua/komplekt-solnechnyh-batarey-victron-20w-kontroller-5a-12v-krk-13349030383.html
[69] https://energybatteries.gr/product/victron-energy-bluesolar-pwm-light-12-24v-5a/?gclid=EAIaIQobChMI6uPZ5dCa_wIVGYCDBx0o8AqZEAQYBCABEgLfHfD_BwE
[70] https://www.batteries.gr/gr/csb-ups123606-12v-6ah.html?gclid=EAIaIQobChMI-qfv9dCa_wIV2pJoCR0SvAmrEAQYASABEgIW4vD_BwE

5.1.1.10 Λοιπά

Κατά την αρχική σύνδεση των αισθητήρων, χρησιμοποιήθηκαν Jumber Wires και breadboard, προσδίδοντας ευελιξία σε ενδεχόμενες αλλαγές και διορθώσεις. Μετά τις δοκιμές, αντικαταστάθηκαν από την Screw Shield και καλώδια με αντάπτορες.



Εικόνα 51: Jumber Wires και breadboard[71] [72]

5.1.2 Κόστος

Το συνολικό κόστος των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή του μετεωρολογικού σταθμού με Arduino φαίνονται στον πίνακα 30 που ακολουθεί.

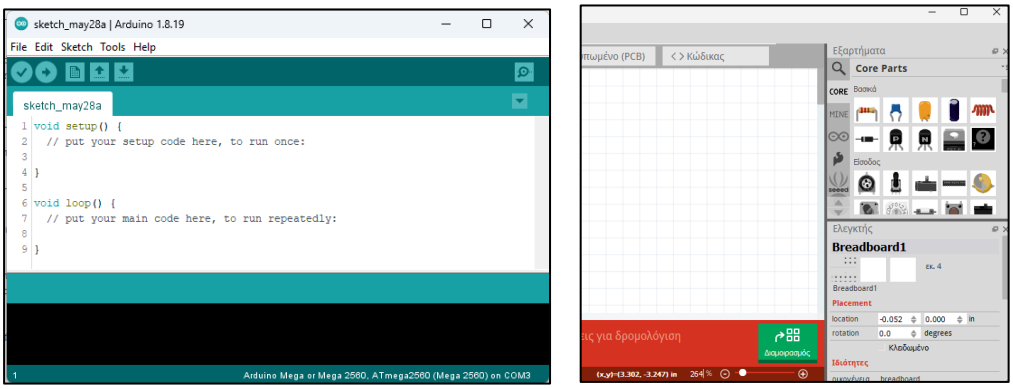
Υλικό	Κόστος	Αγορά από
Arduino Mega 2560	12,99€	Κατάστημα εξωτερικού
Screw Shield	16,95€	Ελληνικό κατάστημα
Οθόνη LCD 2004	4,59€	Κατάστημα εξωτερικού
Tipping Bucket	16,50€	Κατάστημα εξωτερικού
Ανεμόμετρο	65,00€	Ελληνικό κατάστημα
Encoder	24,00€	Κατάστημα εξωτερικού
DHT21	7,95€	Ελληνικό κατάστημα
Φωτοαντίσταση	0,15€	Κατάστημα εξωτερικού
GSM Module	13,95€	Ελληνικό κατάστημα
Φωτοβολταϊκό	28,00€	Ελληνικό κατάστημα
PWM Ελεγκτής	28,04€	Ελληνικό κατάστημα
Συσσωρευτής	17,50€	Ελληνικό κατάστημα
Σύνολο	235,62€	

Πίνακας 30: Κόστος υλικών

5.2 Λογισμικό

Ο κώδικας αναπτύχθηκε μέσω του ανοικτού λογισμικού Arduino IDE, ενώ το διάγραμμα του κυκλώματος σχεδιάστηκε με τη χρήση του λογισμικού Fritzing.

[71] https://www.amazon.com/Solderless-Flexible-Breadboard-Jumper-100pcs/dp/B005TZJ0AM
[72] https://www.devobox.com/el/breadboardsen/52-breadboard-half-size-400-tie-point-white.html



Εικόνα 52: Arduino IDE και Λογισμικό Fritzing

5.3 Δοκιμή αισθητήρων και περιφερειακών

Κατά την έναρξη της υλοποίησης, δοκιμάστηκαν ανεξάρτητα οι αισθητήρες και περιφερειακά όπως η οθόνη και το GSM Module.

5.3.1 Οθόνη LCD 2004

Η σύνδεση της οθόνης πραγματοποιήθηκε μέσω πρωτοκόλλου I2C, στα προκαθορισμένα pin 20 και 21 του Arduino Mega. Λειτούργησε εξαρχής χωρίς κάποιο πρόβλημα.

5.3.2 GSM Module

Συνδέθηκε με Software Serial στα pin 7 και 8. Παρουσιάστηκε πρόβλημα κατά την ανάγνωση SMS. Δεν ήταν δυνατή η λήψη SMS, ενώ ήταν δυνατή η αποστολή.

5.3.3 Βροχόμετρο Tipping Bucket

Πρόκειται, σε επίπεδο κυκλώματος, για έναν διακόπτη. Συνδέθηκε στο ψηφιακό pin 30. Χρησιμοποιήθηκε τεχνική debounce για αποφυγή ανεπιθύμητων ενεργοποιήσεων.

5.3.4 Αισθητήρας θερμοκρασίας και υγρασίας

Συνδέθηκε στο pin 50 και λειτούργησε εξαρχής απροβλημάτιστα.

5.3.5 Ανεμόμετρο

Ενώ, σύμφωνα με τις προδιαγραφές, η έξοδός του δίνει τιμές 0v-5v, ανάλογα με την ταχύτητα περιστροφής του άξονα, η τάση στην έξοδο ήταν σταθερή και ίση με 9,38v, ανεξάρτητα από την ταχύτητα περιστροφής. Έπειτα από αρκετές δοκιμές και πειραματισμούς, επιλέχθηκε εναλλακτικός τρόπος μέτρησης της ταχύτητας του ανέμου, με rotary encoder. Αυτό απαίτησε ανάπτυξη κώδικα και ανάγκη επεμβάσεων σε επίπεδο υλικού ώστε να χρησιμοποιηθεί η διάταξη 3cup αλλά με διαφορετική μέθοδο ανάγνωσης της συχνότητας περιστροφής.

5.3.6 Φωτοαντίσταση

Συνδέθηκε στο αναλογικό pin A1 και λειτούργησε κανονικά.

5.3.7 Φωτοβολταϊκό και ελεγκτής PWM

Το πάνελ, ο συσσωρευτής και η έξοδος προς το Arduino συνδέθηκαν στις αντίστοιχες εισόδους και εξόδους του ελεγκτή PWM.

5.4 Συναρτήσεις

Ο κώδικας δομήθηκε με βάση την κλήση ανεξάρτητων συναρτήσεων για κάθε μέτρηση, όπως και για την απεικόνιση και αποστολή των δεδομένων.

5.4.1 void setup

- Δηλώνεται ο τύπος μεταβλητών όπως η LDR (φωτοαντίσταση)
- Υπολογίζεται η περίμετρος του ανεμόμετρου σε συνάρτηση με την ακτίνα του ($\boldsymbol{L = 2 \cdot \pi \cdot \rho}$)
- Αρχικοποιείται η LCD οθόνη και εμφανίζεται εισαγωγικό μήνυμα
- Καλείται η συνάρτηση SIM900power για την ενεργοποίηση του GSM Module

```
void setup() {
lcd.begin(20,4); //αρχικοποίηση της LCD οθόνης
pinMode(lcdbacklight, OUTPUT);
pinMode(LDRInput,INPUT);
pinMode(VDInput,INPUT);
pinMode(rainPin, INPUT);
digitalWrite(lcdbacklight, HIGH);
lcd.clear();   lcd.setCursor(3,1);    lcd.print("METEO STATION");   delay(800);
lcd.setCursor(8,2);    lcd.print("v. 1.0");   delay(2000); lcd.clear();
WindEncPerim = AnemometerRadius*6.2832; //η περίμετρος του 3cup σε mm
Serial.begin(9600);  //αρχικοποίηση serial monitor και ορισμός συχνότητας
dht.begin(); //αρχικοποίηση DHT
delay(100);
mySerial.begin(9600); //αρχικοποίηση για SIM900
delay(1000);
daymillis = millis(); //Ανάθεση τιμής για έναρξη υπολογισμού της τρέχουσας ημέρας
SIM900power(); // Για ενεργοποίηση του SIM900 μέσω του κώδικα
} //void setup()
```

Εικόνα 53: Η συνάρτηση void setup

5.4.2 void loop

Στον επαναλαμβανόμενο βρόγχο, καλούνται οι συναρτήσεις που αφορούν τόσο τις μετρήσεις των αισθητήρων όσο και την απεικόνιση και αποστολή των δεδομένων

```
void loop() {
DayCount(); //κλήση συνάρτησης υπολογισμού α/α ημέρας και μηδενισμού ημερήσιας βροχόπτωσης
Voltage(); //κλήση της συνάρτησης υπολογισμού της τάσης στα άκρα του συσσωρευτή
getRain(); //κλήση της συνάρτησης υπολογισμού της βροχόπτωσης
getWind(); //κλήση της συνάρτησης υπολογισμού της ταχύτητας ανέμου
getDHT(); //κλήση της συνάρτησης υπολογισμού θερμοκρασίας και υγρασίας
getLDR(); //κλήση της συνάρτησης υπολογισμού της έντασης φωτός
printSerial(); //εκτύπωση τιμών μεταβλητών στην οθόνη του υπολογιστή
printLCD(); //εκτύπωση τιμών μεταβλητών στην οθόνη LCD
SendMessage(); //κλήση της συνάρτησης αποστολής SMS
}//void loop
```

Εικόνα 54: Η συνάρτηση void loop

5.4.3 void getDHT

Μέσω της βιβλιοθήκης του αισθητήρα λαμβάνονται άμεσα οι τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας.

```
void getDHT() { //συνάρτηση για τη μέτρηση θερμοκρασίας και υγρασίας
 hum = dht.readHumidity(); // διάβασε με τη συνάρτηση της βιβλιοθήκης DHT την υγρασία
  temp= dht.readTemperature(); // διάβασε με τη συνάρτηση της βιβλιοθήκης DHT τη θερμοκρασία
} //void getDHT()
```

Εικόνα 55: Η συνάρτηση getDHT

5.4.4 void getWind

Με χρήση της while, υπολογίζεται ο αριθμός των παλμών του encoder για τον χρόνο που έχει οριστεί. Έπειτα, υπολογίζονται οι ταχύτητες **vWind** και **vWindcm**. Η δεύτερη είναι απλώς το εκατονταπλάσιο της πρώτης, για την αποφυγή δεκαδικών στη συνάρτηση switch. Για τη **vWind**:

Αφού υπολογιστεί το **dP**, δηλαδή ο αριθμός των παλμών στο ορισμένο χρονικό διάστημα **WindDurationMillis**, υπολογίζεται ο λόγος **dP/WindEncPulses**, όπου **WindEncPulses** είναι ο αριθμός των παλμών ανά πλήρη περιστροφή. Κατά συνέπεια, υπολογίζεται ο αριθμός των περιστροφών. Ο λόγος αυτός, πολλαπλασιάζεται με την περίμετρο του ανεμομέτρου, **WindEncPerim** για να υπολογιστεί η μετατόπιση στην περίμετρο του κύκλου. Αυτός ο αριθμός, διαιρούμενος με τη διάρκεια μέτρησης, **WindDurationMillis**, δίνει την ταχύτητα περιστροφής. Ο αριθμητής μετράται σε **mm** και ο παρονομαστής σε **msec** οπότε ο λόγος έχει μονάδα **m/sec**.

```
void getWind() {  //η συνάρτηση που μετρά την ταχύτητα ανέμου
startMillis = millis(); //δώσε στην startMillis την τρέχουσα χρονική τιμή
Position0 = 0;
Position1 = 0; //μηδένισε τις δύο τιμές υπολογισμού θέσης στο encoder
Position0 =  WindEnc.read(); //διάβασε αρχική θέση
while ( millis()<=startMillis+WindDurationMillis) // για χρόνο ίσο με WindDurationMillis
{
Position1 =  WindEnc.read(); //διάβασε τη θέση του encoder
}
dP = Position1 - Position0; //υπολόγισε τη διαφορά από την αρχική θέση
if (dP<0) { //αν η διαφορά είναι αρνητική (π.χ. λόγω αντίστροφης τοποθέτησης καλωδίων ή κυρτότητας των ημισφαιρίων του 3cup
  dP=-dP; //άλλαξε το πρόσημο του dP ώστε να είναι μη αρνητικός
}
vWind = ((dP/WindEncPulses)*float(WindEncPerim))/float(WindDurationMillis); //ο λόγος dP/WindEncPulses ισούται ισούται με τον
//αριθμό περιστροφών του ανεμομέτρου.Το γινόμενο του προηγούμενου λόγου επί το float(WindEncPerim) ισούται με τη μετατόπιση επί
//της περιμέτρου σε χιλιοστά. Διαιρώντας την τιμή που προκύπτει με το χρόνο μέτρησης στον οποίο ορίστηκε το dP προκύπτει η
//ταχύτητα σε m/sec καθώς η μετατόπιση έχει μονάδα mm και ο χρόνος μονάδα msec
vWindcm = 100*((dP/WindEncPulses)*WindEncPerim)/WindDurationMillis; //πρόκειται για το vWind επί 100 ώστε να μην υπάρχουν
//δεκαδικά στην παρακάτω switch

    switch (vWindcm) { // για τον υπολογισμό της ταχύτητας σε beaufort συναρτήσει της ταχύτητας σε cm/sec
    case 0 ... 50:     // αν η ταχύτητα του ανέμου είναι από ο έως 50 cm/sec
    bf = 0;            // η ταχύτητα του ανέμου σε κλίμακα beaufort είναι ίση με 0
    break;
    case 51 ... 150:       bf = 1;     break;
    case 151 ... 330:      bf = 2;     break;
    case 331 ... 550:      bf = 3;     break;
    case 551 ... 790:      bf = 4;     break;
    case 791 ... 1070:     bf = 5;     break;
    case 1071 ... 1380:    bf = 6;     break;
    case 1381 ... 1710:    bf = 7;     break;
    case 1711 ... 2070:    bf = 8;     break;
    case 2071 ... 2440:    bf = 9;     break;
    case 2441 ... 2840:    bf = 10;    break;
    }
} //void getWind
```

Εικόνα 56: Η συνάρτηση getWind

5.4.5 void getRain

- Για το ορισμένο χρονικό διάστημα $\boldsymbol{RainDurationMillis}$, μετράται ο αριθμός των ενεργοποιήσεων του μαγνητικού διακόπτη. Αν υπάρξει ενεργοποίηση του διακόπτη σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα από την τελευταία, αυτή δεν υπολογίζεται (debounce).
- Μετρώνται οι παλμοί $\boldsymbol{raincount}$ (μεταβλητή που μηδενίζει σε κάθε loop) και προστίθενται στην $\boldsymbol{dayraincount}$ (μεταβλητή που μηδενίζει κάθε 24h)

- Καθώς η κωνική επιφάνεια πρόσληψης νερού από το tipping bucket έχει διαστάσεις 11cm x 5cm, προκύπτει ότι 1mm βροχής σημαίνει λήψη

$$\boldsymbol{11cm\ x\ 5cm\ x\ 0,1cm = 5,5\ cm^3 = 5,5\ ml\ νερού.}$$

Κατά τη ρίψη $\boldsymbol{500\ ml}$ νερού, μετρήθηκαν $\boldsymbol{234}$ παλμοί, δηλαδή $\boldsymbol{2,1368ml\ ανά\ παλμό}$ ή $\boldsymbol{0,468\ παλμοί\ ανά\ ml.}$ Κατά συνέπεια, το ένα χιλιοστό βροχής απαιτεί:

$$\boldsymbol{5,5 : 2,1368 = 2,5739\ παλμούς}$$

Συνεπώς, κάθε παλμός αντιστοιχεί σε

$$\boldsymbol{1 : 2,5739 = 0,3885\ ml\ βροχής}$$

Η μεταβλητή $\boldsymbol{delayout}$ μετρά τον χρόνο που ο κώδικας εκτελείται εκτός της $\boldsymbol{getRain}()$, αυξάνοντας αντίστοιχα την τιμή της βροχόπτωσης καθώς ορισμένοι παλμοί χάνονται όσο δεν εκτελείται η συνάρτηση (με βάση την ταχύτητα του τελευταίου loop)

```
void getRain() { //συνάρτηση για τη μέτρηση βροχόπτωσης
delayout = millis() - aftergetRain;//υπολογισμός του χρόνου που τρέχει ο κώδικας εκτίς της getRain
raincount = 0; //μηδένισε τη μεταβλητή raincount ώστε να λάβει τιμή μόνο για το συγκεκριμένο loop
startMillis = millis(); //δώσε την τρέχουσα χρονική τιμή στην startMillis
while ( millis()<=startMillis+RainDurationMillis) //όσο η διαφορά millis()-startMillis δεν ξεπερνά την RainDurationMillis
{
rainpinread = digitalRead(rainPin); // αν ο μαγνητικός διακόπτης ενεργοποιηθεί, δώσε τιμή αληθής στην rainpinread
if (rainpinread && millis()-lastraintrigger > debounceDelay) { //αν η rainpinread είναι αληθής και έχει περάσει ικανός
//χρόνος για debounce
lastraintrigger = millis(); // συγχρόνισε με millis την lastraintrigger για τον επόμενο έλεγχο
raincount++; // αύξησε κατά 1 το raincount που μετρά τους παλμούς
} //if (rainpinread && millis()
} // while
dayraincount+=raincount; // πρόσθεσε στο dayraincount το raincount για τον υπολογισμό της ημερήσιας βροχόπτωσης
vrainmmh = 3600*0.3885*1000*float(raincount)/float(RainDurationMillis); //1000 = αναγωγή από msec σε sec, 3600 = αναγωγή από
//δευτερόλεπτα σε ώρα, 0.38854 = μετατροπή παλμών σε mm (2.5742 παλμός / χιλ,  0,3885 χιλ / παλμό)*/
dayrain = 0.3885*dayraincount; //κάθε παλμός αντιστοιχεί σε 0.3885 χιλιοστά βροχής
dayrain += (delayout/RainDurationMillis)*dayrain; //αύξησε το dayrain κατά τέτοιο κλάσμα ίσο τον χρόνο που ο κώδικας δεν
//τρέχει την getRain και δεν διαβάζει υπαρκτούς παλμούς
aftergetRain = millis(); //η aftergetRain παίρνει την τρέχουσα χρονική τιμή για τον επόμενο υπολογισμό
} //void getRain()
```

Εικόνα 57: Η συνάρτηση getRain

5.4.6 void getLDR

Λαμβάνεται η τιμή της φωτοαντίστασης και μέσω switch προκύπτει μήνυμα ηλιοφάνειας, με βάση δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν σε διάφορες συνθήκες.

```
void getLDR() { //συνάρτηση για τη μέτρηση της έντασης φωτός
LDR=analogRead(LDRInput);//διάβασε την τιμή της φωτοαντίστασης (την τάση στο αντίστοιχο αναλογικό pin)
    switch (LDR) {
    case 0 ... 150: //αν η τιμή είναι από 0 έως 150
    light = "Dark"; //επικρατεί σκοτάδι
    break;
    case 151 ... 300:
    light = "V.Cloudy";
    break;
    case 301 ... 500:
    light = "Cloudy";
    break;
    case 501 ... 800:
    light = "Sunny";
    break;
    case 801 ... 1023:
    light = "V.Sunny";
    break;
    }
}
```

Εικόνα 58: Η συνάρτηση getLDR

5.4.7 void printSerial

Η συνάρτηση χρησιμοποιείται για την απεικόνιση στην οθόνη του υπολογιστή τελικών τιμών και παραμέτρων του κώδικα, για έλεγχο και εκσφαλμάτωση.

```
void printSerial() {  //εκτύπωση σε serial monitor βασικών και βοηθητικών μεταβλητών
  Serial.println("-------Wind Data-------");
  Serial.print("Position0="); Serial.print(Position0);Serial.print(", ");
  Serial.print("Position1="); Serial.print(Position1);Serial.print(", ");
  Serial.print("dP=");Serial.print(dP);Serial.println(", ");
  Serial.print("vWind= "); Serial.print(vWind);  Serial.print(" m/sec, ");
  Serial.print("vWindcm= "); Serial.print(vWindcm);  Serial.println(" cm/sec.");
  Serial.print("bf= ");  Serial.print(bf);   Serial.println(" Beaufort.");
  Serial.println("-------Rain Data-------");
  Serial.print("raincount="); Serial.print(raincount);Serial.print(", ");
  Serial.print("dayraincount="); Serial.print(dayraincount);
  Serial.print("dayrain="); Serial.print(dayrain);Serial.print("mm, ");
  Serial.print("vrainmmh= "); Serial.print(vrainmmh);  Serial.println(" mm/h.");
  Serial.print("lastraintrigger= ");  Serial.println(lastraintrigger);
  Serial.println("-------DHT Data-------");
  Serial.print("Humidity: "); Serial.print(hum);
  Serial.print("%,  Temperature: "); Serial.print(temp); Serial.println(" Celsius");
  Serial.println("-------LDR Data-------");
  Serial.print("LDR: ");Serial.print(LDR); Serial.print(", ");
  Serial.print("light: ");Serial.println(light);
  Serial.println("-------SMS-------");
  Serial.print("sendsms: ");Serial.println(sendsms);
  Serial.print("smsmillis: ");Serial.println(smsmillis);
  Serial.print("smsinterval: ");Serial.println(smsinterval);
  Serial.print("smstime: ");Serial.println(smstime);
  Serial.println("-------Misc-------");
  Serial.print("delayout: ");Serial.println(delayout);
  Serial.print("daymillis: ");Serial.println(daymillis);
  Serial.print("daymillis2: ");Serial.println(daymillis2);
  Serial.print("WindDurationMillis: ");Serial.println(WindDurationMillis);
  Serial.print("RainDurationMillis: ");Serial.println(RainDurationMillis);
  Serial.print("daynum: ");Serial.println(daynum);
  Serial.print("VD: ");Serial.print(VD); Serial.print(", ");
  Serial.print("Voltage: ");Serial.print(voltage); Serial.println(" volt ");
  Serial.println("-----------------------------------------------------------------");
}
```

Εικόνα 59: Η συνάρτηση printSerial

```
-------Wind Data-------
Position0=-2, Position1=5867, dP=5869.00,
vWind= 1.23 m/sec, vWindcm= 122 cm/sec.
bf= 1 Beaufort.
-------Rain Data-------
raincount=2, dayraincount=2dayrain=1.55mm, vrainmmh= 279.72 mm/h.
lastraintrigger= 13918
-------DHT Data-------
Humidity: 65.20%,  Temperature: 23.30 Celsius
-------LDR Data-------
LDR: 212, light: V.Cloudy
-------SMS-------
sendsms: 1
smsmillis: 0
smsinterval: 2
smstime: 1
-------Misc-------
delayout: 10039
daymillis: 4038
daymillis2: 0
WindDurationMillis: 1000
RainDurationMillis: 10000
daynum: 1
VD: 0, Voltage: 0 volt
----------------------------------------------------------------
```

Εικόνα 60: Serial Monitor – έλεγχος τιμών

5.4.8 void printLCD

Αφορά στην απεικόνιση των δεδομένων σε LDC οθόνη. Απεικονίζονται:

- στην πρώτη γραμμή: θερμοκρασία, σχετική υγρασία και ηλιοφάνεια.
- στη δεύτερη γραμμή: ταχύτητα ανέμου σε m/s και beaufort
- στην τρίτη γραμμή: ημερήσια βροχόπτωση σε mm και αύξων αριθμός ημέρας
- στην τέταρτη γραμμή: τρέχων ρυθμός βροχόπτωσης (mm/h) και τάση συσσωρευτή



Εικόνα 61: Στιγμιότυπο της LCD οθόνης

```
void printLCD() { //εκτύπωση σε LCD των μετρούμενων τιμών
lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print(temp);
  lcd.print("C");
  lcd.setCursor(7,0);
  lcd.print(int(hum));
  lcd.print("%");
  lcd.setCursor(12,0);
  lcd.print(light);
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Wind:");
  lcd.print(vWind);   lcd.print("m/s | ");
  lcd.print(bf);   lcd.print("Bf");
  lcd.setCursor(0,2);
  lcd.print("Day Rain:");
  if(dayrain < 100) {
  lcd.print(dayrain);
  }
  else {                    //αν η ταχύτητα είναι μεγαλύτερη ή ίση με 100, συνεπώς τουλάχιστον 4ψήφιος,
    //εμφάνισε μόνο το ακέραιο μέρος ώστε να μη δεσμευτούν ψηφία της οθόνης και να χωρέσει η τιμή της τρέχουσας ημέρας
  lcd.print(int(dayrain));
  }
    lcd.print("mm");
  lcd.setCursor(17,2);
  lcd.print("D");
  lcd.print(daynum);
  lcd.setCursor(0,3);
  lcd.print("Inst.R:");
  if(vrainmmh < 1000) {
  lcd.print(vrainmmh);
  }
  else {
  lcd.print(int(vrainmmh)); //αν η ταχύτητα είναι μεγαλύτερη ή ίση με 1000, συνεπώς τουλάχιστον 4ψήφιος, εμφάνισε μόνο
  //το ακέραιο μέρος ώστε να μη δεσμευτούν ψηφία της οθόνης και να χωρέσει η μονάδα μέτρησης mm/h
  }
  lcd.print("mm/h");
  lcd.setCursor(17,3);
  lcd.print(voltage);
  lcd.print("v");
} //void printLCD()
```

Εικόνα 62: Η συνάρτηση printLCD

5.4.9 void SentMessage

Αφορά στην αποστολή των μετρήσεων με SMS, περιοδικά, αφού ελέγξει αν έχει παρέλθει ο απαιτούμενος χρόνος.

```
void SendMessage() {
if (millis() - smsmillis > smsinterval * 60 *1000) { //Αν ο τρέχων χρόνος μείον το χρόνο που εστάλη το τελευταίο sms
//είναι μεγαλύτερο από τον ορισμένο χρόνο αποστολής sms
smstime = true;  //κάνε αληθή τη λογική μεταβλητή smstime
}
else {
smstime = false; //κάνε ceyd;h τη λογική μεταβλητή smstime
}
if (smstime || testmode) {//Αν έχει περάσει ο απαιτούμενος χρόνος για αποστολή SMS ή ο κώδικας "τρέχει" σε testmode

  smsmillis = millis(); //εξίσωσε smsmillis με millis() για εκκίνηση νέας μέτρησης περιόδου αποστολής SMS
  mySerial.println("AT+CMGF=1"); //θέσε τη SIM900 σε mode αποστολής/λήψης SMS
  updateSerial(); //κάλεσε την  updateSerial()
  mySerial.println("AT+CMGS=\"+306979903310\"");//αριθμός αποστολέα
  updateSerial();
  mySerial.print("Temp: ");     mySerial.print(temp);        mySerial.println("C");
  mySerial.print("Hum: ");      mySerial.print(int(hum));    mySerial.println("%");
  mySerial.print("Wind: ");     mySerial.print(vWind);       mySerial.print("m/s, ");
                                mySerial.print(bf);          mySerial.println("Bf");
  mySerial.print("Day Rain: ");      mySerial.print(dayrain);     mySerial.println("mm");
  mySerial.print("Instant Rain: ");     mySerial.print(vrainmmh);    mySerial.println("mm/h");
  mySerial.print("Light: ");    mySerial.println(light);
  mySerial.print("Voltage: ");  mySerial.print(voltage);       mySerial.println(" volt");
  mySerial.print("Day: ");  mySerial.print(daynum);       mySerial.println(".");
  updateSerial();
  mySerial.write(26);
}

}//SendMessage()
```

Εικόνα 63: Η συνάρτηση SentMessage



Εικόνα 64: Μήνυμα SMS στο κινητό

5.4.10 void DayCount

Υπολογίζει τον αριθμό της ημέρας από την έναρξη λειτουργίας και μηδενίζει τη μεταβλητή που μετρά την ημερήσια βροχόπτωση.

```
void DayCount() //συνάρτηση που καλείται για υπλογισμό αριθμού ημέρας και μηδενισμό βροχόπτωσης
{
if (millis() - daymillis > 86400000) {//αν η διαφορά ξεπεράσει τη διάρκεια 24 ωρών
daymillis = millis(); //μηδένισε τη διαφορά
dayraincount = 0; //μηδένισε τους ημερήσιους παλμούς βροχόπτωσης
daynum++;  //αύξησε κατά 1 την τρέχουσα ημέρα
}
}
```

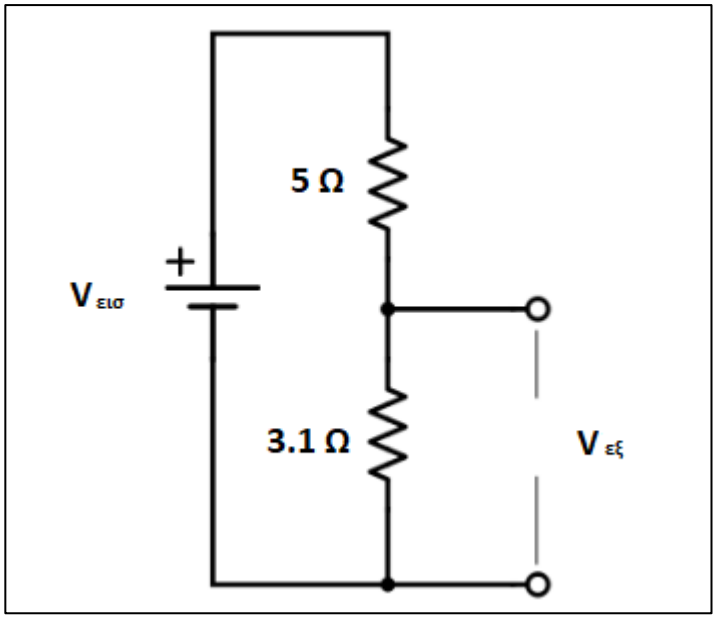
Εικόνα 65: Η συνάρτηση DayCount

5.4.11 void Voltage

Υπολογίζει την τάση στα άκρα του συσσωρευτή, ως ένδειξη κατάστασης φόρτισης, με διάταξη διαιρέτη τάσης και χρήση του τύπου:

$$V_{εξ} = V_{εισ} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

και χρήση αντιστάσεων $3.1\ \Omega$ και $5\ \Omega$, τάση από 0 έως 13,5v από τον συσσωρευτή οδηγεί σε έξοδο από 0v έως 5v που μετριέται στο αναλογικό pin με τιμές από 0 έως 1023.



Εικόνα 66: Διάγραμμα διαιρέτη τάσης

```
void Voltage() //συνάρτηση μετρά την τάση στα άκρα του συσσωρευτή
{
VD=analogRead(VDInput);//διάβασε την τιμή της τάσης από τον διαιρέτη τάσης
voltage = 13.5 * VD /1023; //Με βάση τις τιμές των αντιστάσεων, όταν η έξοδος είναι 5v, η είσοδος είναι 13.5v
}
```

Εικόνα 67: Η συνάρτηση Voltage

5.4.12 void SIM900power

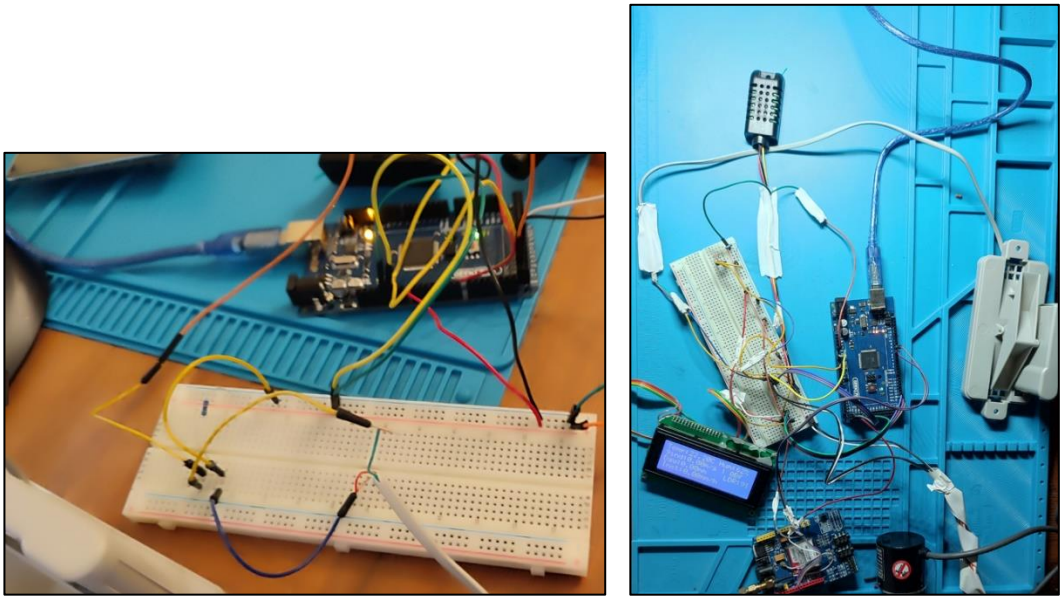
Με εναλλαγές από LOW σε HIGH και αντίστροφα, οδηγεί μέσω κώδικα σε αποτέλεσμα όμοιο με το χειροκίνητο πάτημα διακόπτη για την εκκίνηση του GSM Module και την αναζήτηση σήματος.

```
void SIM900power() //συνάρτηση που αφορά την ενεργοποίηση της SIM900 μέσω κώδικα
{
digitalWrite(sim900autoonpin,LOW);      delay(1000);    //απενεργοποίησε τον εικονικό διακόπτη (ανοικτό κύκλωμα)
digitalWrite(sim900autoonpin,HIGH);       delay(2000);  //απενεργοποίησε τον εικονικό διακόπτη (κλειστό κύκλωμα)
digitalWrite(sim900autoonpin,LOW);      delay(3000);    //απενεργοποίησε τον εικονικό διακόπτη (ανοικτό κύκλωμα)
}
```

Εικόνα 68: Η συνάρτηση SIM900power

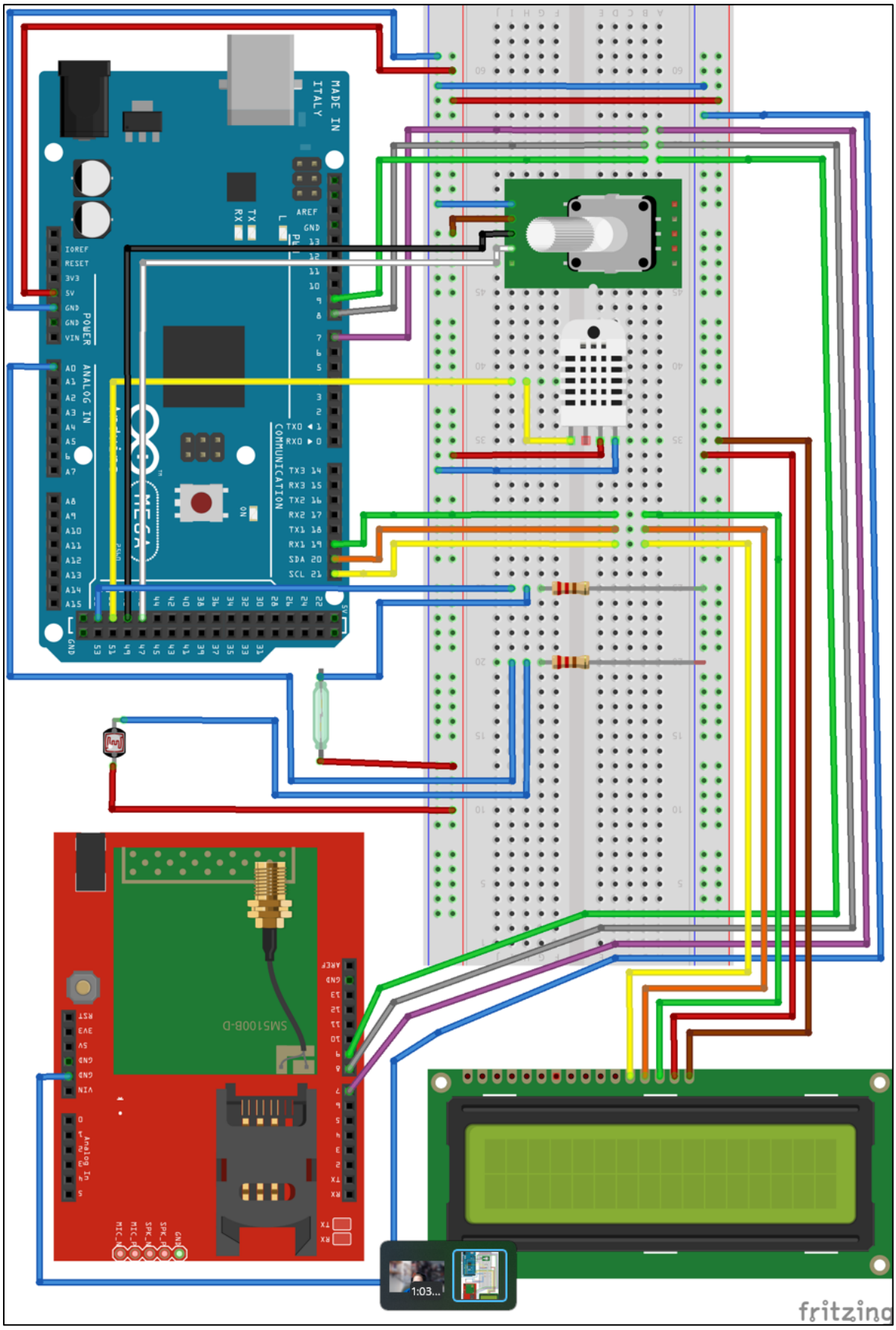
5.5 Υλοποίηση

Η αρχική σύνδεση με Jumper wires σε breadboard, παρά την αβεβαιότητα στις συνδέσεις εξυπηρετεί στην απαιτούμενη ευελιξία και αποτρέπει λανθασμένες κολλήσεις/ μόνιμες συνδέσεις (εικόνα 69).



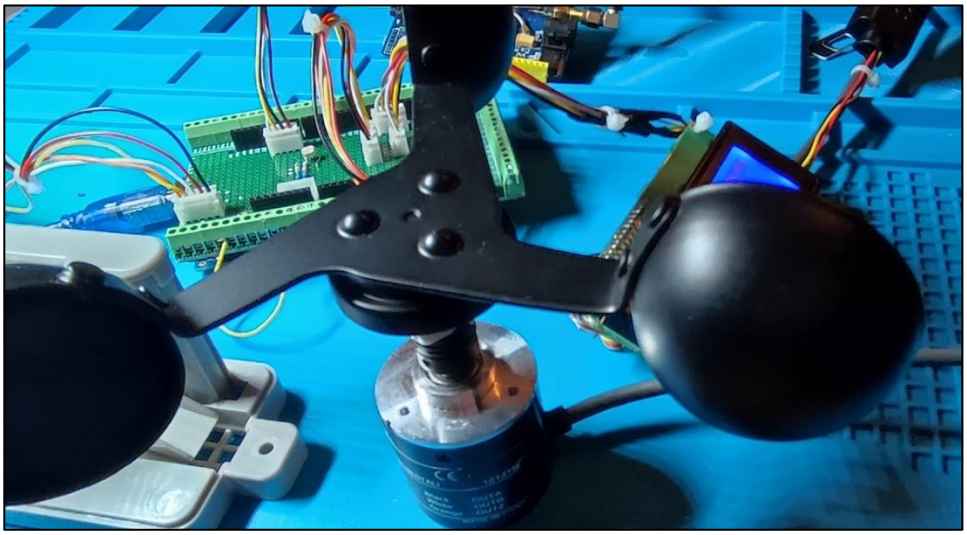
Εικόνα 69: Jumper wires σε breadboard

Με την οριστικοποίηση των συνδέσεων, σχεδιάστηκε το κύκλωμα στο λογισμικό Fritzing για μελλοντική αναφορά και δυνατότητα αναπαραγωγής (εικόνα 70). Η οθόνη LCD συνδέθηκε μέσω επιπλέον πλακέτας με το πρωτόκολλο I2C, χωρίς την ύπαρξη αντίστοιχου module στη βιβλιοθήκη του Fritzing. Τα pin 19,20,21 και Vcc, GND καταλήγουν σε κύκλωμα I2C και όχι στα εικονιζόμενα pin της LCD.



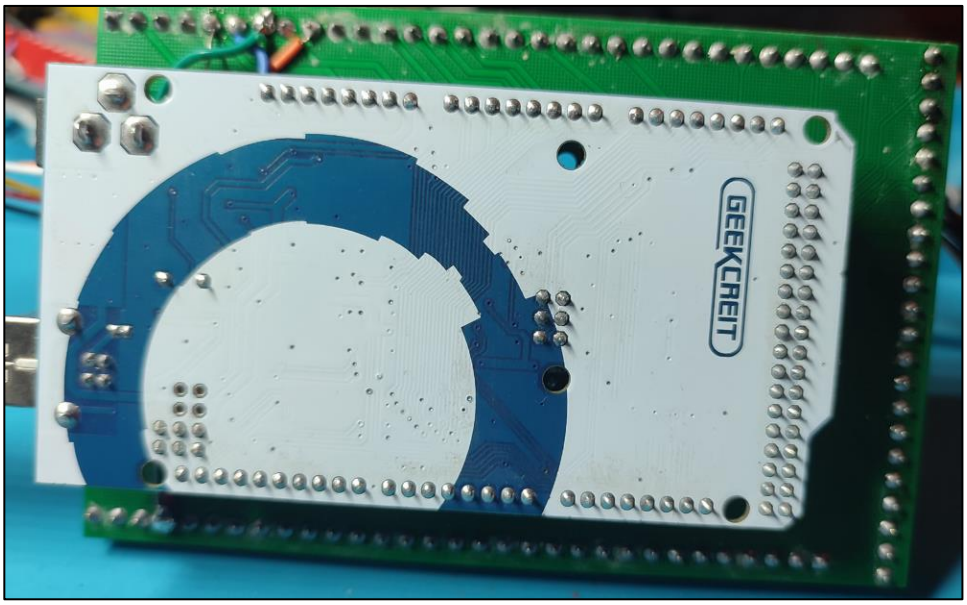
Εικόνα 70: Σχεδιασμός κυκλώματος με το λογισμικό Fritzing

Η προσαρμογή του 3cup ανεμομέτρου σε rotary encoder έλυσε το πρόβλημα της μη λειτουργίας του αισθητήρα (εικόνα 71)

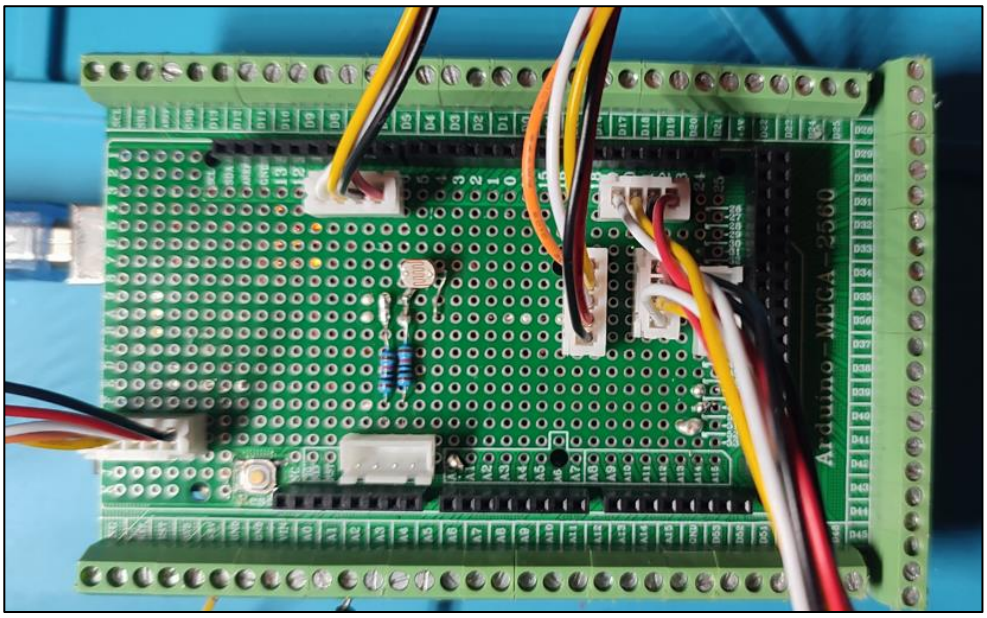


Εικόνα 71: Ανεμόμετρο με χρήση rotary encoder

Η προσαρμογή του Arduino Mega στο Screw Shield (εικόνα 72) συνετέλεσε στην αποφυγή ασταθών συνδέσεων και απλοποίησε την καλωδίωση, με αντάπτορες σύνδεσης των αισθητήρων και κόλληση αντιστάσεων/υλοποίηση μέρους του κυκλώματος από την εσωτερική πλευρά.



Εικόνα 72: Προσαρμογή του Arduino Mega στο Screw Shield



Εικόνα 73: Αντάπτορες στο Screw Shield

Για την τοποθέτηση των βασικών πλακετών (Arduino Mega, GSM module, LCD οθόνη σε κάποιο κουτί, χρησιμοποιήθηκε το περίβλημα εξωτερικού σκληρού δίσκου, με το άνοιγμα των απαιτούμενων οπών και ανοιγμάτων (εικόνες 74, 75, 76). Έγινε εισαγωγή πληκτρολογίου, με σκοπό τη μελλοντική εξέλιξη του κώδικα, με δυνατότητα παραμετροποίησης (παράμετροι, αριθμός κινητού, αλλαγή κλίμακας C σε F, εισαγωγή κωδικού).



Εικόνα 74: Η οθόνη LCD στο περίβλημα

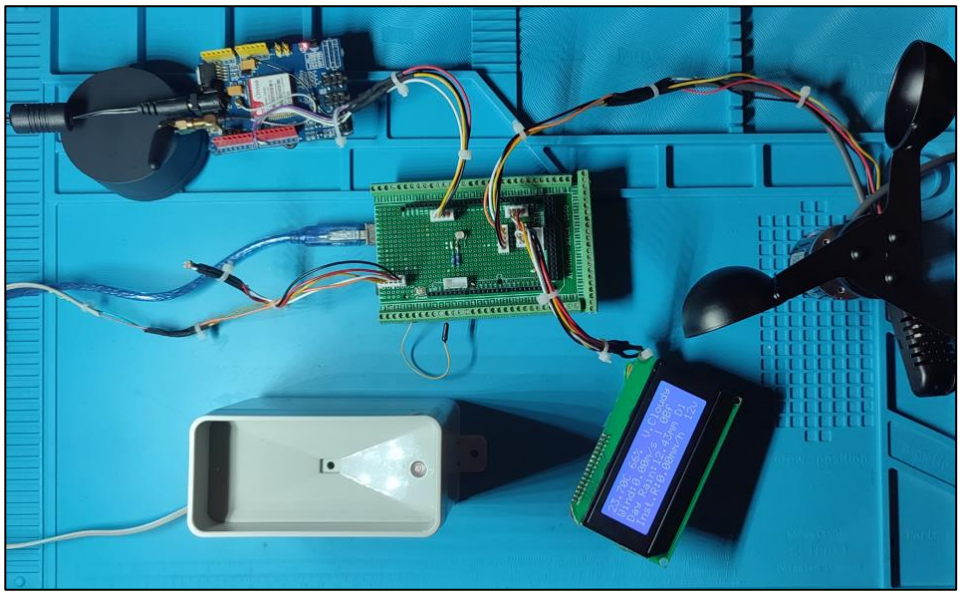


Εικόνα 75: Έξοδοι και είσοδοι αισθητήρων



Εικόνα 76: Άνοιγμα για εισαγωγή/εξαγωγή κάρτας SIM

Το σύνολο των εξαρτημάτων, πριν την εισαγωγή στο κουτί, απεικονίζεται στην εικόνα 77.



Εικόνα 77: Συνδέσεις εκτός κουτιού

Στην εικόνα 78 απεικονίζεται η σύνδεση στον ελεγκτή του φωτοβολταϊκού των:

- φωτοβολταϊκό πάνελ (κεραμιδί καλώδιο , + -)
- Συσσωρευτής (άσπρο καλώδιο, + -)
- Έξοδος προς Arduino/GSM (μαύρο καλώδιο, + -)



Εικόνα 78: Συνδέσεις σε PWM Controller

5.6 Έλεγχος μετρήσεων

Για τον έλεγχο των τιμών θερμοκρασίας και υγρασίας, χρησιμοποιήθηκε ο καταγραφέας θερμοκρασίας και υγρασίας Parkside PKDL A1. Ρυθμίστηκε για λήψη μετρήσεων ανά 30 λεπτά για διάρκεια 24 ωρών, με ταυτόχρονη μέτρηση από τον αυτοσχέδιο σταθμό. Η μέση απόκλιση στη θερμοκρασία ήταν 1,4°C, με μέγιστη απόκλιση 4,4°C. Σχετικά με την υγρασία, η μέση απόκλιση ήταν 4,2%, με μέγιστη τιμή 11,4%. Ο Πίνακας 36 του παραρτήματος περιέχει το σύνολο των μετρήσεων των δύο αισθητήρων.



Εικόνα 79: Καταγραφέας θερμοκρασίας και υγρασίας PKDL A1[73]

Ο αισθητήρας βροχόπτωσης δεν δοκιμάστηκε σε πραγματικές συνθήκες αλλά προσομοιώνοντας τη βροχή με ρίψη νερού χειροκίνητα. Οι μετρήσεις ήταν απόλυτα ακριβείς, με τη συμβολή της δυνατότητας debounce.

Σχετικά με το ανεμόμετρο, δεν ήταν δυνατή η χρήση δεύτερου ανεμομέτρου για σύγκριση. Καθώς η χειροκίνητη περιστροφή σε μετρήσιμες συχνότητες περιστροφής έδινε συνεπή αποτελέσματα, εκτιμάται ότι αντίστοιχα θα λειτουργεί σε πραγματικές συνθήκες.

[73] https://www.lidl.de/p/parkside-klimadatenlogger-pkdl-a1-mess-aufzeichnungsintervall-einstellbar/p100361442

Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα και μελλοντικοί στόχοι

Η δυνατότητα πρόγνωσης του καιρού και συστηματικής μελέτης του κλίματος αποτελεί εξαιρετικά χρήσιμο εργαλείο σε επίπεδο κρατών και φορέων, σε ό,τι αφορά στην κλιματική αλλαγή την ενεργοποίηση μηχανισμών σε φυσικές καταστροφές και καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, την προστασία του πολίτη και τον εθνικό προγραμματισμό για τη Γεωργία. υλοποίηση επενδύσεων που εξαρτώνται από τις καιρικές συνθήκες). Αντίστοιχα, σε ατομικό και επαγγελματικό επίπεδο, η συμβολή της Μετεωρολογίας στη Γεωργία, στις μεταφορές και στον κατασκευαστικό τομέα είναι καθοριστική, ενώ αποτελεί οδηγό και σε επιλογές που αφορούν μετακίνηση ή προγραμματισμό ταξιδιών.

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας, η μαζική παραγωγή τόσο μεμονωμένων εξαρτημάτων όσο και μετεωρολογικών σταθμών, οδήγησε στην πτώση των τιμών, με αποτέλεσμα την αύξηση του πλήθους ιδιωτών, επιχειρήσεων και φορέων με δυνατότητα αγοράς και χρήσης ενός Μ.Σ. Επιπρόσθετα, η εδραίωση του Διαδικτύου των Πραγμάτων και διείσδυσή του στον τομέα της Μετεωρολογίας, έδωσαν τη δυνατότητα δικτύωσης των Μ.Σ., απομακρυσμένης χρήσης και λήψης δεδομένων και αυτοματοποιημένου ελέγχου μηχανισμών που εξαρτώνται από μετεωρολογικές παραμέτρους. Κατά συνέπεια, η χρήση Αυτόματων Μετεωρολογικών Σταθμών (Α.Μ.Σ.) που δεν απαιτούν ανθρώπινη παρουσία ή συνεχή έλεγχο κέρδισε έδαφος έναντι παραδοσιακών μοντέλων.

Στην αγορά, εντοπίζονται Α.Μ.Σ. που ξεκινούν από λίγες εκατοντάδες ευρώ και φθάνουν έως 3.500€ και χαρακτηρίζονται από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό ως χαμηλού κόστους, σε αντίθεση με εξειδικευμένα προϊόντα προϊόντα υψηλών προδιαγραφών που απευθύνονται σε πανεπιστημιακά ιδρύματα ή κρατικούς και ιδιωτικούς φορείς με αυξημένες απαιτήσεις σε δυνατότητες, ακρίβεια και αξιοπιστία. Οι Αυτόματοι Μετεωρολογικοί Σταθμοί Χαμηλού Κόστους (Α.Μ.Σ.Χ.Κ.), οι οποίοι χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες (Stand Alone, All in One και Stand Alone), προσφέρουν τη δυνατότητα πύκνωσης του δικτύου λόγω μικρότερου κόστους, με αποτέλεσμα την καλύτερη κάλυψη. Παράλληλα, η τοποθέτησή τους ακριβώς στο σημείο ενδιαφέροντος προσφέρει ακριβέστερα αποτελέσματα, ιδιαίτερα σε μεγέθη που μπορούν να παρουσιάσουν αποκλίσεις σε μικρές αποστάσεις, όπως η βροχόπτωση, η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου.

Οι Α.Μ.Σ.Χ.Κ. προσφέρουν στο σύνολό τους μετρήσεις θερμοκρασίας και υγρασίας, ενώ στο 90% υπάρχει μέτρηση βροχόπτωσης, έντασης και κατεύθυνσης

ανέμου. Πιο ακριβές ή εξειδικευμένες προτάσεις έχουν αισθητήρες ηλιακής και UV ακτινοβολίας, όπως και ποιότητας αέρα με μέτρηση συγκέντρωσης αερίων όπως μονοξείδιο του άνθρακα, βουτάνιο και μεθάνιο. Σχετικά με τη συνδεσιμότητα, προσφέρουν δυνατότητα σύνδεσης στο διαδίκτυο μέσω Wifi, με δυνατότητα απεικόνισης δεδομένων σε υπολογιστή ή κινητό. Ορισμένα προϊόντα περιλαμβάνουν δυνατότητες πρόγνωσης καιρού, καταγραφής και απεικόνισης ιστορικών δεδομένων και αποστολής ειδοποιήσεων και συναγερμών.

Καθώς το κόστος των Α.Μ.Σ.Χ.Κ. τους καθιστά απαγορευτικούς για σημαντικό ποσοστό του πληθυσμού, ιδιαίτερα σε χώρες χαμηλότερου βιοτικού επιπέδου, εμφανίστηκε η ανάγκη υλοποίησης εναλλακτικών, Αυτοσχέδιων Μετεωρολογικών Σταθμών (Α.Μ.Σ.). Με την πρόσβαση σε αισθητήρες και μικροελεγκτές, με διάφορες πλατφόρμες (Arduino, Raspberry, ESP32) και τη διαθεσιμότητα τεχνολογιών επικοινωνίας από το διαδίκτυο μέχρι το 5G και το LoRa, η ανάπτυξη Α.Μ.Σ. γνωρίζει άνθηση παγκοσμίως και ιδιαίτερα σε χώρες όπως η Ινδία και λοιπές μη δυτικές κοινωνίες, όπως η Ινδία. Η εξάρτηση του πληθυσμού από τη Γεωργία οδηγεί σε ανάπτυξη οικονομικών προτάσεων για την παρακολούθηση των καιρικών φαινομένων. Με τη μελέτη 49 άρθρων που αφορούν Α.Μ.Σ., έγινε ανάλυση και ταξινόμηση με βάση τα χαρακτηριστικά τους.

Σχετικά με την πλατφόρμα, σχεδόν στα μισά άρθρα χρησιμοποιείται το Arduino Uno, ενώ ακολουθούν Raspberry, NodeMCU και ESP32. Στους αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας, βασική επιλογή είναι δύο τύποι αισθητήρων (DHT11, DHT22), όπως και στους αισθητήρες ατμοσφαιρικής πίεσης (BMP180, BMP280). Για τη μέτρηση της βροχόπτωσης, αξιόπιστη επιλογή αποτελεί ο μηχανισμός Tipping Bucket. Αντίστοιχα, στη μέτρηση του ανέμου χρησιμοποιείται το ανεμόμετρο Robinson και μια φωτοαντίσταση για τη μέτρηση της φωτεινότητας. Σε ό,τι αφορά τη διασύνδεση, επικρατεί το Wifi, με άμεση δυνατότητα εκμετάλλευσης IOT εφαρμογών. Σε μερικές περιπτώσεις αποστέλλονται ειδοποιήσεις σε κοινωνικά δίκτυα ή εφαρμογές κινητού. Σχετικά με την ακρίβεια των μετρήσεων, μόλις σε 6 άρθρα παρουσιάζονται δεδομένα, κυρίως για μετρήσεις θερμοκρασίας και υγρασίας, με λιγότερες μετρήσεις για άνεμο, βροχόπτωση και ατμοσφαιρική πίεση.

Με βάση τις ελάχιστες αναφορές για το κόστος αλλά και την καταγραφή των τιμών της αγοράς ανά εξάρτημα, προκύπτει ότι το κόστος για την ανάπτυξη ενός αυτοσχέδιου Α.Μ.Σ. είναι σημαντικά χαμηλότερο από τις εμπορικές προτάσεις, καθώς 200€-250€ είναι αρκετά για προσθήκη όλων των βασικών αισθητήρων, δυνατοτήτων διασύνδεσης και τροφοδοσίας, όπως το φωτοβολταϊκό. Βέβαια, στην

πλειονότητα των προτάσεων δεν υπάρχει ολοκληρωμένη υλοποίηση, με προδιαγραφές που διασφαλίζουν μόνωση εξαρτημάτων, αντοχή στις καιρικές συνθήκες και στιβαρές συνδέσεις μηχανικών και ηλεκτρονικών μερών.

Κατά συνέπεια, εξετάζοντας τα πλεονεκτήματα των Αυτοσχέδιων Μετεωρολογικών Σταθμών έναντι των Εμπορικών προτάσεων, η διαφορά στο κόστος αποτελεί βασικό και καθοριστικό κίνητρο. Μια υλοποίηση χωρίς κατασκευαστικές απαιτήσεις μπορεί να κυμανθεί στα 100€, με δυνατότητες διασύνδεσης στο διαδίκτυο και επένδυση σε χρόνο για προγραμματισμό. Παράλληλα, η δυνατότητα εξατομίκευσης, τόσο σε επίπεδο επιλογής αισθητήρων και υλικού όσο και σε επιλογές και παραμετροποιήσεις λειτουργίας αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα των Α.Μ.Σ. Αυτή η διαφοροποίηση επεκτείνεται, πέρα από την αρχική επιλογή και κατά τη χρήση της συσκευής, με δυνατότητα αλλαγών, προσθήκης αισθητήρων και λοιπών δυνατοτήτων και ευκολία σε αντικατάσταση σε περίπτωση βλάβης. Παράπλευρο όφελος του χαμηλότερου κόστους αποτελεί η δυνατότητα υλοποίησης περισσότερων σταθμών για βέλτιστη κάλυψη.

Σχετικά με τα πλεονεκτήματα των εμπορικών Α.Μ.Σ., αυτά πηγάζουν κατά κύριο λόγο από τη διαδικασία παραγωγής τους. Πρόκειται για συσκευές που προκύπτουν, ιδιαίτερα στις πιο ακριβές προτάσεις, από έρευνα ομάδων ως προς την ακρίβεια των μετρήσεων και τη σωστή υλοποίηση και επικοινωνία μεταξύ των επιμέρους τμημάτων. Ομοίως, ξεχωρίζουν ως προς την ανθεκτικότητα και αξιοπιστία, καθώς προορίζονται για χρήση σε εξωτερικό περιβάλλον και δυνητικά αντίξοες συνθήκες. Όσο ανεβαίνει το κόστος, παρέχονται προτάσεις με στιβαρές κατασκευές, ικανές να αντέξουν σε άνεμο και δονήσεις, υψηλή θερμοκρασία και υγρασία, με δυνατότητα μόνωσης. Τέλος, η υποστήριξη σχετικά με το service και η παροχή εγγύησης αποτελεί ασφάλεια για τη σωστή λειτουργία.

Ορισμένες από τις παραπάνω διαφοροποιήσεις εντοπίστηκαν κατά την υλοποίηση ενός Αυτοσχέδιου Μετεωρολογικού Σταθμού. Ενώ υπήρχε πληθώρα επιλογών σε ό,τι αφορά στους αισθητήρες, παρουσιάστηκε πρόβλημα κατά τη λειτουργία του ανεμομέτρου, το οποίο αντιμετωπίστηκε με χρήση encoder. Ακόμη, συγκρίσιμος με το χρόνο υλοποίησης του κώδικα υπήρξε ο χρόνος που απαιτήθηκε για μια καλή καλωδίωση, με χρήση σειράς από αντάπτορες και προσθήκη αντιστάσεων και λοιπών ενώσεων σε screw shield. Σε περίπτωση υλοποίησης μιας στιβαρής κατασκευής για κανονική χρήση, θα ανέβαινε τόσο το κόστος όσο και ο απαιτούμενος χρόνος ενασχόλησης.

Εκτός από τον παραπάνω στόχο, μελλοντικά, υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης του κώδικα για ανάπτυξη εύχρηστου interface, με προσθήκη υλικού όπως πληκτρολόγιο ή οθόνη αφής. Ως συνέπεια, ο χρήστης θα έχει δυνατότητα παραμετροποίησης σε μονάδες (°C ή °F) σε χρόνους μέτρησης και λοιπές ρυθμίσεις αποστολής δεδομένων. Ακόμη, προτεραιότητα αποτελεί η δυνατότητα μετάβασης από επικοινωνία με δίκτυο GSM σε σύνδεση στο διαδίκτυο. Η προσθήκη αισθητήρων όπως ατμοσφαιρικής πίεσης και κατεύθυνσης ανέμου μπορούν να ολοκληρώσουν το φάσμα των μετρήσιμων μεγεθών.

Βιβλιογραφία

1. Aarthi, N., Lakshmi, A. R., Kamimozhi, C.T., Kituthika, S. και Yogeswaran, S. 2017, “IOT Based Data Logger System for Weather Monitoring”, *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology IJSRCSEIT*, Volume 2 (2), p. 51-55, Διαθέσιμο Online
2. Ahrens, C.D. 2009, *Meterorology Today, An introduction to Weather, Climate and the Environment* (e-book) Cengage Learning: USA Διαθέσιμο Online
3. Akilan, T., Astya, R., Singh, A. K., Chitransh, A. και Singh, A. 2020 "Raspberry Pi Based Weather Reporting over IoT," *2nd International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking (ICACCCN)*, Greater Noida, India, 2020, p. 540-544, doi: 10.1109/ICACCCN51052.2020.9362971
4. Alam, M. J., Rafi, S. A., Badhan, A. A., Islam, M. N., Shuvo, S. I., και Saleque, A. M., 2020 "Low Cost IoT Based Weather Station for Real-Time Monitoring," *IEEE 2nd International Conference on Circuits and Systems (ICCS)*, Chengdu, China, 2020, p. 127-133, doi: 10.1109/ICCS51219.2020.9336596.
5. Aponte-Roa, D. A., Montalvan, L. B., Velazquez, C., Espinoza, A. A., Velazquez, L. F. και Serrano, R. 2018, "Evaluation of a low-cost, solar-powered weather station for small-scale wind farm site selection," *IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)*, Houston, TX, USA, 2018, p. 1-5, doi: 10.1109/I2MTC.2018.8409853.
6. Arbain Sulaiman, N. b. και Darrawi bin Sadli, M. D., 2019, "An IoT-based Smart Garden with Weather Station System," *IEEE 9th Symposium on Computer Applications & Industrial Electronics (ISCAIE)*, Malaysia, 2019, p. 38-43, doi: 10.1109/ISCAIE.2019.8743837.
7. Babalola, T. E., Babaola, A.D. και Olokun, M.S. 2022, “Development of an ESP-32 Microcontroller Based Weather Reporting Device”, *Journal of Engineering Research and Reports*, Volume 22 (11), p. 27-38, Διαθέσιμο Online
8. Baste, P., και Dighe, D.D. 2017, “Low Cost Weather Monitoring Station Using Raspberry Pi”, *International Research Journal of Engineering and Technology*, Volume 4 (5), Διαθέσιμο Online

9. Bhat, M., Kolwalkar, C., Bangera, T. και Chawla, A. 2015, “Bluetooth Based Weather Station”, *International Journal of Engineering Trends and Technology*, Volume 28 (2), p. 98-101, doi: 10.14445/22315381/IJETT-V28P219
10. Brito, R. C., Favarim, F., Calin, G. και Todt, E., 2017 "Development of a low cost weather station using free hardware and software", *Latin American Robotics Symposium (LARS) and 2017 Brazilian Symposium on Robotics (SBR)*, Curitiba, Brazil, 2017, p. 1-6, doi: 10.1109/SBR-LARS-R.2017.8215292.
11. Carranco, J. S., Salgado, F. D., Sellers, C. και Torres, H. 2017, "Comparative analysis of meteorological monitoring using an integrated low-cost environmental unit based on the Internet of Things (IoT) with an Automatic Meteorological Station (AWS)," *IEEE Second Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM)*, Salinas, Ecuador, 2017, p. 1-6, doi: 10.1109/ETCM.2017.8247466.
12. Farhat, M., Abdul-Niby, M., Abdullah, M. και Nazzal, A. 2017, “A Low Cost Automated Weather Station for Real Time Local Measurements”, *Engineering, Technology & Applied Science Research*, Volume 7 (3), p. 1615-1618, Διαθέσιμο Online
13. Giri, L. G., Sindhu, P. 2020, “*Real Time IoT Application of Urban Garden Design”, International Journal of Computer Sciences and Engineering*, Volume 8 (9) doi: https://doi.org/10.26438/ijcse/v8i9.106109
14. Gotmare, V., Kolte, R. και Thengodkar, R. 2021 “Weather monitoring system using Arduino uno”, *International Engineering Journal For Research & Development*, Volume 5 (5), Διαθέσιμο Online
15. Halder, S. και Sivakumar, G. 2017, “Embedded based Remote Monitoring Station for Live Streaming of Temperature and Humidity”, *International Conference on Electrical, Electronics, Communication, Computer, and Optimization Techniques (ICEECCOT)*, Mysuru, India, p. 284-287, doi: 10.1109/ICEECCOT.2017.8284683.
16. Haq, A., Hasan, S. S., Rahman, M. Z., Das, D. και Ullah, A. 2022 "IoT Based Air Quality and Weather Monitoring System with Android Application," *International Conference on Innovations in Science, Engineering and Technology (ICISET)*, Chittagong, Bangladesh, 2022, p. 24-28, doi: 10.1109/ICISET54810.2022.9775870.
17. Hasan, I. J., Salih N. A. J., Abdulkhaleq, N. I. και Mnati, M.J. 2019, “An Android smart application for an Arduino based local meteorological data recording”, *IOP*

Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 518 (4), doi: 10.1088/1757-899X/518/4/042014

18. Hashmi, S., Pawar, J., Manegopale, P. και Wagh, K. 2022, “Weather monitoring system using Arduino Uno”, SSRN, Διαθέσιμο Online
19. Hussein, Z. K., Hadi, H.J., Abdul-Mutaleb, M. R. Mezaal, Y. S. 2020, “Low cost smart weather station using Arduino and ZigBee”, *Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, Volume 18 (1), doi: http://doi.org/10.12928/telkomnika.v18i1.12784
20. Imtiaz, A., Omar, S. G. και Ali, T. A. 2018, "Efficient Design of a Low Cost Portable Weather Station," *International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI)*, Coimbatore, India, 2018, p. 1-7, doi: 10.1109/ICCCI.2018.8441207.
21. Ioannou, K., Karampatzakis, D., Amanatidis, P., Aggelopoulos, V. και Karmiris, I. 2021, “Low-Cost Automatic Weather Stations in the Internet of Things”, *MDPI*, Διαθέσιμο Online
22. Iswanto, Megantoro, P. και Pramudita B. A. 2020, “Iot-Based Weather Station with Python User Interface for Measurment Technique of Educational Purpose”, *International Conference on Science and Applied Science (ICSAS2020)*, doi: 10.1063/5.0030365
23. Ji, Z., και Bin, R. 2021, “Weather monitoring system based on STM32 andOneNet Internet of Things platform”, *Journal of Physics: Conference Series*, *International Conference on Mechanical Engineering, Intelligent Manufacturing and Automation Technology (MEMAT)*, Volume 1820, doi: 10.1088/1742-6596/1820/1/012150
24. Jindarat, S. και Wuttidittachotti, P., "Smart farm monitoring using Raspberry Pi and Arduino," *2015 International Conference on Computer, Communications, and Control Technology (I4CT)*, Kuching, Malaysia, 2015, p. 284-288, doi: 10.1109/I4CT.2015.7219582.
25. Kaewwonsri, K. και Silanon, K. 2020, "Design and Implement of a Weather Monitoring Station using CoAP on NB-IoT Network," *17th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, Phuket, Thailand, 2020, p. 230-233, doi: 10.1109/ECTI-CON49241.2020.9158290.

26. Kapoor, P. και Barbhuiya, F. A. 2019, "Cloud Based Weather Station using IoT Devices," *TENCON 2019 - 2019 IEEE Region 10 Conference (TENCON)*, Kochi, India, 2019, pp. 2357-2362, doi: 10.1109/TENCON.2019.8929528.
27. Karjagi, A., και Begewadi, T. 2020, “IoT enabled smart garden kit along with weather station”, *International Research Journal of Engineering and Technology*, Volume 7 (7), Διαθέσιμο Online
28. Kodali, R.K. και Mandal, S. 2016, “IoT Based Weather Station”, *Conference: 2016 International Conference on Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies (ICCICCT)*, doi: 10.1109/ICCICCT.2016.7988038.
29. Krishna, K. L., Silver, O., Malende, W. F. και Anuradha, K. 2017, "Internet of Things application for implementation of smart agriculture system," *International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC)*, Palladam, India, p. 54-59, doi: 10.1109/I-SMAC.2017.8058236.
30. Krishnamutrhi, K., Thapa, S., Kothari, L. και Prakash, A. 2015, “Arduino Based Weather Monitoring System”, *International Journal of Engineering Research and General Science*, Volume 3 (2), p. 452-458, Διαθέσιμο Online
31. Kumar, S. και Jasuja, A. 2017 "Air quality monitoring system based on IoT using Raspberry Pi", *International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA)*, Greater Noida, India, 2017, p. 1341-1346, doi: 10.1109/CCAA.2017.8230005.
32. Kusriyanto, M., και Putra, A. A., 2018, "Weather Station Design Using IoT Platform Based On Arduino Mega," *International Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD)*, Bandung, Indonesia, p. 1-4, doi: 10.1109/ISESD.2018.8605456.
33. Lagouvardos, K., Kotroni, V., Bezes, A., Koletsis, I., Kopania, T., Lykoudis, S., Mazarakis, N., Papagiannaki, K. και Vougioukas, S. 2017, “The automatic weather stations NOANN network of the National ‘Observatory of Athens: operation and database”, *Geoscience Data Journal*, Volume 4 (1), p. 4-16, Διαθέσιμο Online
34. Li, H., Ochani, M. K. και Zhang, H. 2017, “Design of micro-automatic weather station for modern power grid based on STM32”, *The Journal of Engineering*, Volume 2017 (13), p. 1629-1634, doi: https://doi.org/10.1049/joe.2017.0608.
35. Mamat, N.H., Shazali, H. A. και Othman, W. Z. 2021, “Development of a Weather Station with WaterLevel and Waterflow Detection using Arduino”, *Journal of Physics: Conference Series*, *International Conference on Robotic*

Automation System 2021 (ICORAS 2021), Volume 2319, doi: 10.1088/1742-6596/2319/1/012020.

36. Math, R. K. M. και Dharwadkar, N. V. 2018, "IoT Based Low-cost Weather Station and Monitoring System for Precision Agriculture in India,"*2nd International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC)I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC), 2nd International Conference on*, Palladam, India, 2018, p. 81-86, doi: 10.1109/I-SMAC.2018.8653749.
37. Muck, P. Y., και Homam, M. J., 2018, "IOT Based Smart Weather Station Using Raspberry-PI3", *International Journal of Engineering & Technology*, Volume: 7 (4.30), p. 145-148, doi: 10.14419/ijet.v7i4.30.22085
38. Murdyantoro, E., Seteawan, R., Rosyadi, I., Nugraha, A. WW., Susilawati, H. και Ramadhani, Y. 2019, "Prototype weather station uses LoRa wireless connectivity infrastructure", *Journal of Physics: Conference Series, International Conference On Engineering, Technology and Innovative Researches 18–19 September 2019, Purwokerto, Indonesia*, Volume 1367, doi: 10.1088/1742-6596/1367/1/012089.
39. NOOA, Lindey, R. και Dahlman, L. 2023, "Climate Change: Global Temperature", published January 18, 2023, Διαθέσιμο Online
40. Prasanna, M., Iyapparaja, M., Vinothkumar, M., Ramamurthy, B. και Manivannan, S. S. 2019, "An Intelligent Weather Monitoring System using Internet of Things", *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, Volume 8 (4), doi: D10.35940/ijrte.D8464.118419
41. Punjabi, H. C., Agarwal, S., Khithani, V. και Muddaliar, V. 2017, "Smart farming using IoT", *International Journal of Electronics and Communication Engineering and Technology (IJECET),* Volume 8 (1), p. 58-66, Διαθέσιμο Online
42. Rahut, Y., Afreen, R. και Kamini, D. 2018, "Smart weather monitoring and real time alert system using IoT", *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, Volume: 05 (10), p. 848-854, Διαθέσιμο Online
43. Ram, K.S.S. και Gupta A.N.P.S., 2016, "IoT based Data Logger System for weather monitoring using Wireless sensor networks", *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT),* Volume 32 (2), p. 71-75, Διαθέσιμο Online

44. Sabanci, K., Rusen, S.E. και Konuralp, A. 2019. “Design of a low cost automatic meteorological weather station”, *Journal of Engineering Research and Applied Science*, Volume 8 (2), p. 1153-1159 Διαθέσιμο Online
45. Santos, T. F. και Ferreira, V. H. 2020, "Building a Low-Cost Weather Station" *IEEE Potentials*, Volume 39 (5), p. 35-40, doi: 10.1109/MPOT.2018.2869918.
46. Sarkar, I., Pal, B., Datta, A. και Roy, S. 2019, “Wi-Fi Based Portable Weather Station for Monitoring Temperature, RelativeHumidity, Pressure, Precipitation, Wind Speed and Direction”, *Information and Communication Technology for Sustainable Development, Proceedings of ICT4SD 2018,* p. 399-404, doi: 10.1007/978-981-13-7166-0_39.
47. Satyanarayana, K. N. V., Reddy, S. R. N., Suresh Varma, K. N. V. και Kanaka Raju, P. 2017, “Mobile app & IoT based smart weather station”, *International Journal of Electronics, Communications & Instrumentation Engineering Research and Development (IJECIERD)*, Volume 7 (4), p. 7-14, Διαθέσιμο Online
48. Shahadat, A. S., Islam Ayon, S. και Khatun, M.R. 2020, "Efficient IoT based Weather Station," *2020 IEEE International Women in Engineering (WIE) Conference on Electrical and Computer Engineering (WIECON-ECE)*, Bhubaneswar, India, 2020, p. 227-230, doi: 10.1109/WIECON-ECE52138.2020.9398041.
49. Siri Chandana, L., Raga Sekhar, A.J., 2018, “Weather Monitoring Using Wireless Sensor Networks based on IOT”, *International Journal of Scientific Research in Science and Technology IJSRST*, Διαθέσιμο Oniline
50. Solano, G., Lama, F., Terrazos, J. και Tarillo, J. 2017, “Weather station for educational purposes based on Atmega8L”, *IEEE XXIV International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing (INTERCON)*, doi: 10.1109/INTERCON.2017.8079728
51. Srilikhitha, I., Saikumar, M. M., Rajan, N., Neha, M. L. και Ganesan, M. 2017, "Automatic irrigation system using soil moisture sensor and temperature sensor with microcontroller AT89S52," *International Conference on Signal Processing and Communication (ICSPC)*, Coimbatore, India, 2017, p. 186-190, doi: 10.1109/CSPC.2017.8305835.
52. Tenzin, S., Siyang, S., Pobkrut, T. και Kerdcharoen, T. 2017, "Low cost weather station for climate-smart agriculture," *9th International Conference on*

Knowledge and Smart Technology (KST), Chonburi, Thailand, 2017, p. 172-177, doi: 10.1109/KST.2017.7886085.

53. Varghese, L., Deepak, G. και Santhanavijayan, A. 2019, "An IoT Analytics Approach for Weather Forecasting using Raspberry Pi 3 Model B+," 2019 Fifteenth International Conference on Information Processing (ICINPRO), Bengaluru, India, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICInPro47689.2019.9092107
54. WMO 2021, “Guide to Instruments and Methods of Observation Volume III – Observing Systems”, No. 8, Διαθέσιμο Online
55. ΕΑΑ 2002, Meteo, Δίκτυο Αυτόματων Μετεωρολογικών Σταθμών Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών
56. Σιδέρης, Σ. (2011), “Μετεωρολογία Ορισμός, Ιστορία, Κλάδοι”, *meteoclub.gr*, Διαθέσιμο Online

Παράρτημα

#	Τίτλος	Αισθητήρες	Διαδικασία	Σχόλια
[1]	Raspberry Pi Based Weather Reporting over IoT	Χρησιμοποιεί Raspberry Pi 3 με αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, ατμοσφαιρικής πίεσης, έντασης φωτός και βροχόπτωσης. Συνδέεται με Sparkfun Server μέσω Wifi ή Ethernet για γραφική αναπαράσταση των δεδομένων	Τα δεδομένα αποστέλλονται από το Raspberry σε οθόνη LCD και στο Cloud	
[2]	Low Cost IoT Based Weather Station for Real-Time Monitoring	Συλλέγει δεδομένα για θερμοκρασία, ατμ.πίεση, υγρασία, κατεύθυνση και ένταση ανέμου, ύψος βροχής και τα μεταδίδει στο NodeMCU. Έπειτα αποστέλλονται στην εφαρμογή ThingSpeak. Χρησιμοποιεί αυτοσχέδια Tipping Bucket και ανεμοδείκτη	Τα δεδομένα συλλέγονται από το Arduino και μέσω NodeMCU μεταδίδονται στην πλατφόρμα Thinkspeak	Εκτενής ανάλυση των χαρακτηριστικών του υλικού και γραφήματα σχετικά με το σφάλμα. Ιδιοκατασκευή ανεμοδείκτη και tipping bucket
[3]	Air Quality Monitoring System Based on IoT using Raspberry Pi	Εστιάζει στη μέτρηση της ποιότητας αέρα, διαθέτοντας αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας και ατμ. Πίεσης. Χρησιμοποιεί το IoT πρωτόκολλο MQTT για μεταφορά των δεδομένων	Τα δεδομένα συλλέγονται από τους αισθητήρες, μεταφέρονται στο Arduino, έπειτα στο Raspberry Pi 2. Με USB Wifi Adapter αποστέλλονται στο Cloud	Η επιλογή Raspberry 2 χωρίς Wifi οδηγεί στην ανάγκη προσθήκης συσκευής Wifi.
[4]	Development of an ESP-32 MicrocontrollerBased Weather Reporting Device	Διαθέτει αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, βροχόπτωσης, έντασης φωτός. Διαθέτει φωτοβολταϊκό και τα δεδομένα ανεβαίνουν σε cloud.	Τα δεδομένα συλλέγονται από τους αισθητήρες, μεταφέρονται στο EPS32, έπειτα σε οθόνη LCD και σε Cloud για γραφική αναπαράσταση.	
[5]	An IoT Analytics Approach for Weather Forecasting using Raspberry Pi 3 Model B+	Διαθέτει αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας και ατμοσφαιρικής πίεσης	Τα δεδομένα αποστέλλονται από το Raspberry σε Thinkspeak server, μέσω Wifi. Έπειτα, εξάγονται σε κάρτα SD για περαιτέρω επεξεργασία και πρόγνωση.	Μέσω κώδικα σε Python γίνεται επεξεργασία των δεδομένων με αλγόριθμο μηχανικής μάθησης, με μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης.
[6]	Low Cost Weather Monitoring Station Using Raspberry Pi	Διαθέτει αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, βροχόπτωσης, ατμ. Πίεσης, έντασης και κατεύθυνσης ανέμου. Διαθέτει φωτοβολταϊκό και τροφοδοτείται από μπαταρία. Χρησιμοποιεί πυρανόμετρο για τη μέτρηση της έντασης του φωτός.	Το Raspberry Pi 3 συλλέγει τα δεδομένα από τους αισθητήρες, τα αποθηκεύει σε κάρτα μνήμες και τα προωθεί μέσω Wifi σε server με βάση δεδομένων ενώ τα εμφανίζει και στη συσκευή, σε οθόνη LCD.	Περιγράφει αναλυτικά το υλικό, έχει εικόνες από μετρήσεις και την ιστοσελίδα του server, χωρίς ανάλυση για την εφαρμογή
[7]	Bluetooth Based Weather Station	Διαθέτει αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας. Δεν είναι IoT συσκευή, με σύνδεση μόνο με Bluetooth	Το Arduino Uno συλλέγει τις μετρήσεις και αποστέλλει μέσω του Bluetooth module HC-05 τα δεδομένα σε συσκευή κινητού, μέσω της εφαρμογής SENA BTERM	Περιορισμένοι αισθητήρες, δεν συνδέεται στο διαδίκτυο ενώ η εφαρμογή SENA BTERM δεν είναι συμβατή με τις τελευταίες εκδόσεις Android
[8]	Efficient IoT based Weather Station	Διαθέτει αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας και ατμ. Πίεσης. Χρησιμοποιεί την εφαρμογή Blynk.	Οι αισθητήρες στέλνουν τα δεδομένα σε NodeMCU, έπειτα μέσω WIFI σε cloud, στην εφαρμογή Blynk.	Έχει περιγραφή του υλικού, των βιβλιοθηκών και συγκρίσεις μετρήσεων

[9]	Weather Monitoring Using Wireless Sensor Networks based on IOT	Διαθέτει αισθητήρα θερμοκρασίας, υγρασίας, συγκέντρωσης CO2 και έντασης φωτός. Τα δεδομένα μεταδίδονται μέσω Wifi.	Οι αισθητήρες στέλνουν τα δεδομένα σε NodeMCU, έπειτα μέσω WIFI σε cloud, στην εφαρμογή Blynk.	Για τον προγραμματισμό του χρησιμοποιεί το λογισμικό The Keil uVision IDE
[10]	A Low Cost Automated Weather Station for Real Time Local Measurements	Διαθέτει αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, βροχόπτωσης, ατμ. Πίεσης, έντασης και κατεύθυνσης ανέμου.	Ο εξωτερικός σταθμός στέλνει τα δεδομένα όλων των αισθητήρων στον εσωτερικό σταθμό (434MHz wireless module), ο οποίος μετράει επίσης θερμοκρασία εσωτερικού χώρου. Τα δεδομένα εμφανίζονται σε οθόνη LCD αλλά προωθούνται και σε εφαρμογή Blynk	Διαθέτει προαιρετικά θύρες Ethernet
[11]	Real Time IoT Application of Urban Garden Design	Η συσκευή παρακολουθεί την υγρασία του αέρα, την υγρασία του χώματος, τη θερμοκρασία και την ένταση φωτός.	Το Arduino Uno λαμβάνει τα δεδομένα από τους αισθητήρες, τα αποστέλλει μέσω Zigbee στο Raspberry Pi, το οποίο τα λαμβάνει και τα ανεβάζει σε cloud	
[12]	Weather Monitoring System Using Arduino Uno	Διαθέτει αισθητήρες ατμ.πίεσης, θερμοκρασίας, υγρασίας, βροχόπτωσης και ποιότητας για μεθάνιο, CO και LPG. Διαθέτει GPS module, ενώ δεν είναι IoT συσκευή.	Το Arduino λαμβάνει τα δεδομένα από τους αισθητήρες και έπειτα μεταφέρονται σε υπολογιστή μέσω USB όπου γίνεται γραφική απεικόνιση σε πρόγραμμα Python	Σε σχεδιάγραμμα εμφανίζονται η ανάλυση δεδομένων και πρόγνωση αλλά δεν γίνεται περαιτέρω αναφορά στο κείμενο
[13]	Smart Farm Monitoring Using Raspberry Pi and Arduino	Διαθέτει αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας και τρεις αισθητήρες ανίχνευσης αερίων.	Το Raspberry Pi βρίσκεται στον πυρήνα του σχεδιασμού. Είναι συνδεδεμένο μέσω UART με το Arduino, το οποίο λαμβάνει τα δεδομένα από τους αισθητήρες θερμοκρασίας, φωτός, συγκέντρωσης αερίων. Παράλληλα, λαμβάνει εικόνα από κάμερα, ενώ ελέγχει βάσει των τιμών των δεδομένων ένα ρελέ για έλεγχο φωτός και εξαερισμού. Τα δεδομένα τηρούνται σε βάση δεδομένων σε LINUX (εγκατεστημένο στο Raspberry) ενώ μέσω AP μπορούν να μεταδοθούν σε συσκευή κινητού. Όλα τα δεδομένα μεταφέρονται στο κινητό, όπως και ειδοποιήσεις/συναγερμοί, ενώ μέσω της εφαρμογής είναι δυνατός ο χειρισμός φώτων, ανεμιστήρα, κάμερας καθώς και αλλαγή ρυθμίσεων.	Έχει αρκετά περιεκτικό διάγραμμα ροής
[14]	IoT Based Air Quality and Weather Monitoring System with Android Application	Διαθέτει αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας και ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Η εφαρμογή στο κινητό έχει υλοποιηθεί μέσω του MIT App Inventor.	Το Arduino λαμβάνει τα δεδομένα από τους αισθητήρες και έπειτα τα μεταδίδει σε οθόνη LCD, ενώ μέσω Wifi αποστέλλονται σε εφαρμογή κινητού με τη βοήθεια του Thinkspeak	

[15]	An Android smart application for an Arduino basedlocal meteorological data recording	Διαθέτει αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας και έντασης ανέμου. Αποστέλλει δεδομένα σε εφαρμογή του ερευνητή (κατασκευή με Appbuilder).	Τα δεδομένα των μετρήσεων μεταφέρονται από το Arduino σε συσκευή κινητού, μέσω Bluetooth	Εστιάζει στα τεχνικά χαρακτηριστικά των αισθητήρων DHT11,DHT22, με σύγκριση
[16]	Low cost smart weather station using Arduino and ZigBee	Διαθέτει αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, βροχόπτωσης, ατμ. πίεσης, έντασης ανέμου σκόνης. Δεν είναι IoT αλλά έχει ακτίνα 64km μέσω Zigbee	Το Arduino συλλέγει τα δεδομένα των αισθητήρων, τα εμφανίζει σε οθόνη LCD και μέσω Zigbee τα αποστέλλει σε δεύτερο Arduino, όπου καταγράφονται σε SD και προβάλλονται σε οθόνη αφής.	
[17]	Evaluation of a Low-Cost, Solar-Powered Weather Station for Small-Scale Wind Farm Site Selection	Διαθέτει αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, έντασης και κατεύθυνσης ανέμου. Τροφοδοτείται από μπαταρία Li-Po, η οποία φορτίζει μέσω 4 ηλιακών πάνελ.	Το Adafruit Huzzah συλλέγει τα δεδομένα, τα οποία προβάλλονται σε οθόνη και αποστέλλονται μέσω WIFI σε Raspberry Pi	Δίνεται προσοχή στην υλοποίηση με 3D εκτύπωση κουτιού με μόνωση και κατασκευή στιβαρού τρίποδα για τη στήριξη της μονάδας και των οργάνων. Παρουσιάζεται πλήθος γραφημάτων για συγκρίσεις μετρήσεων με άλλο σταθμό.
[18]	An IoT-based Smart Garden with Weather Station System	Στόχος η βελτιστοποίηση ανάπτυξης φυτού. Διαθέτει αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, ατμ. Πίεσης, υγρασίας εδάφους, έντασης φωτός. Διαθέτει τεχνητό φωτισμό LED και αντλία ποτίσματος.	Οι τιμές των αισθητήρων λαμβάνονται από NodeMCU, το οποίο τα αποστέλλει στο Blynk. Παράλληλα, το Arduino εμφανίζει τις μετρήσεις σε οθόνη και με βάση τις τιμές των μετρήσεων ενεργοποιεί τεχνητό φωτισμό και αντλία ποτίσματος	Επαναλαμβανόμενες μετρήσεις θερμοκρασίας και υγρασίας και σύγκριση με δεδομένα Μ.Σ.
[19]	Efficient Design of a Low Cost Portable Weather Station	Διαθέτει αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, ταχύτητας ανέμου και βροχόπτωσης. Σε περίπτωση διακοπής ηλεκτρικής παροχής, υπάρχει εναλλακτική τροφοδοσία από φωτοβολταϊκό.	Οι τιμές των μετρήσεων μεταφέρονται από το Arfuino μέσω του Ethernet Shield σε υπολογιστή όπου εισάγονται σε ΒΔ.	
[20]	Weather Station Design Using IoT Platform Based On Arduino Mega	Διαθέτει αισθητήρες θερμοκρασίας, πίεσης, υγρασίας και βροχόπτωσης. Συνδέεται στο διαδίκτυο με ESP8266.	Το Arduino μεταφέρει τα δεδομένα των μετρήσεων σε οθόνη TFT, κάρτα SD και μέσω Wifi σε ιστοσελίδα	Πρόγνωση μέσω υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής της ατμοσφαιρικής πίεσης
[21]	Comparative analysis of meteorological monitoring using an integrated low-cost environmental unit based on the internet of things (IoT) with an automatic meteorological station (AWS)	Χρησιμοποιεί μόνο τον αισθητήρα BMP280 για μέτρηση θερμοκρασίας, υγρασίας και ατμ. Πίεσης. Μέσω της πλατφόρμας Xbee συνδέεται στο διαδίκτυο	Ο αισθητήρας BMP280 στέλνει τα δεδομένα των μετρήσεων στο Xbee, το οποίο συνδέεται σε δίκτυο WIFI Και τα δεδομένα εμφανίζονται σε ιστοσελίδα.	Έχει εξαιρετικές συγκρίσεις με μαθηματικό υπόβαθρο. Ποιοτική κατασκευή και υλοποίηση

[22]	Cloud Based Weather Station using IoT Devices	Διαθέτει αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, έντασης ανέμου, ατμοσφαιρικής πίεσης και βροχόπτωσης.	Οι αισθητήρες στέλνουν τα δεδομένα σε Raspberry PI Zero W και από εκεί μεταφέρονται στο Raspberry Pi 3, όπου υπόκεινται σε επεξεργασία\	Αλγόριθμος επιλέγει ποια δεδομένα θα ανεβούν στο cloud. Αν οι διαφορές είναι αμελητέες, δεν ανεβαίνουν, εξοικονομώντας ενέργεια και δικτυακούς πόρους. Τα δεδομένα διαφορετικών αισθητήρων συγκρίνονται και αποστέλλεται ειδοποίηση σε περίπτωση βλάβης ή θορύβου
[23]	Weather Station for Educational Purposes based on Atmega8L	Διαθέτει αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, βροχόπτωσης και έντασης ανέμου	Οι μετρήσεις λαμβάνονται από τους αισθητήρε, προβάλλονται σε LCD οθόνη και μεταδίδονται μέσω RF στον δέκτη,	Ιδιοκατασκευή πλακέτας με Atmega8L επεξεργαστή, MAX232 για σειριακή επικοινωνία και λοιπά ηλεκτρικά εξαρτήματα για τροφοδοσία
[24]	Iot-Based Weather Station with Python User Interface for Measurment Technique of Educational Purpose	Διαθέτει αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, έντασης ανέμου, βροχόπτωσης και ηλιακής ακτινοβολίας	Οι μετρήσεις λαμβάνονται από τους αισθητήρες και μεταδίδονται μέσω Wifi. Λαμβάνονται από Raspberry Pi, όπου προβάλλονται σε οθόνη, ενώ αποθηκεύονται και σε κάρτα SD. Έχει σχεδιαστεί γραφικό περιβάλλον σε Python για την απεικόνιση των δεδομένων με γραφήματα radar και ραβδογράμματα	Έχει αναλυτικό έλεγχο και σύγκριση των μετρήσιμων τιμών, με εμβάθυνση στις μεθόδους επαναληψιμότητας και αναπαραγωγιμότητας
[25]	Weather monitoring system based on STM32 andOneNet Internet of Things platform	Μετράει μόνο τη θερμοκρασία, μεταδίδοντας τα δεδομένα μέσω Wifi, ενώ υποστηρίζει και αποστολή δεδομένων μέσω GSM	Ο αισθητήρας θερμοκρασίας αποστέλλει τα δεδομένα μέσω ESP8266. Η θερμοκρασία προβάλλεται σε οθόνη 3.2". Παράλληλα, αποστέλλονται ειδοποιήσεις σε περιπτώσεις προσέγγισης οριακών τιμών	
[26]	IOT ENABLED SMART GARDENKITALONG WITH WEATHER STATION	Διαθέτει αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, υγρασίας εδάφους και βροχόπτωσης.	Οι μετρήσεις λαμβάνονται από Arduino και μέσω Wifi module εμφανίζονται στο κινητό (Blynk App).	
[27]	Design of micro-automatic weather station for modern power grid based on STM32	Διαθέτει αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, έντασης και κατεύθυνσης ανέμου. Ακόμη, διαθέτει GPS module για γεωγραφικό εντοπισμό. Η τροφοδοσία μπορεί να γίνει από το δίκτυο (220v) αλλά υπάρχει και δυνατότητα φόρτισης της μπαταρίας από φωτοβολταϊκό και ανεμογεννήτρια, με στόχο την αυτονομία σε απομακρυσμένες περιοχές.	Τα δεδομένα μεταδίδονται σε webserver μέσω GPRS module	
[28]	Low Cost Weather Station for Climate-Smart Agriculture	Διαθέτει αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, έντασης και κατεύθυνσης ανέμου	Τα δεδομένα των αισθητήρων συλλέγονται από το Microchip PIC24FJ64 και μέσω Xbee module μεταδίδονται σε Raspberry Pi.	

[29]	Design and Implement of a Weather Monitoring Station using CoAP on NB-IoT Network	Διαθέτει αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, έντασης, κατεύθυνσης ανέμου, βροχόπτωσης και ατμ. Πίεσης. Οι μετρήσεις ανέμου και βροχόπτωσης γίνονται μέσω Arduino Weather Kit	Τα δεδομένα συλλέγονται από Arduino Uno, μεταδίδονται μέσω I2C σε Arduino Mega 2560 όπου μέσω NB-IoT module μεταφέρονται σε Cloud Server	
[30]	Development of a Weather Station with WaterLevel and Waterflow Detection using Arduino	Διαθέτει αισθητήρες ατμ. πίεσης, θερμοκρασίας, βροχόπτωσης. Τροφοδοτείται από φωτοβολταϊκό.	Τα δεδομένα αποστέλλονται μέσω Wifi σε εφαρμογή κινητού (Blynk App)	
[31]	Prototype weather station uses LoRa wireless connectivity infrastructure	Διαθέτει αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, ατμ. Πίεσης, βροχόπτωσης, έντασης ανέμου.	Τα δεδομένα αποστέλλονται μέσω LoRa σε IoT Server και εμφανίζονται σε εφαρμογή ThingSpeak σε κινητό ή υπολογιστή	
[32]	IoT Based Weather Station	Διαθέτει αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας, ατμ. Πίεσης, βροχόπτωσης και έντασης φωτός. Υπάρχει αισθητήρας καπνού	Τα δεδομένα μεταφέρονται μέσω Wifi στην πλατφόρμα Thinkspeak. Το Thinkspeak δίνει τη δυνατότητα για αποστολή mail ή tweet, περιοδικά ή ως ειδοποιήσεις.	
[33]	Embedded based Remote Monitoring Station for Live Streaming of Temperature and Humidity	Διαθέτει αισθητήρα θερμοκρασίας και υγρασίας	Τα δεδομένα αποστέλλονται τοπικά σε υπολογιστή μέσω Ethernet shield και σε ιστοσελίδα μέσω USB shield.	
[34]	An Intelligent Weather Monitoring System using Internet of Things	Διαθέτει αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας και ατμ. Πίεσης	Τα δεδομένα αποστέλλονται από το NodeMCU σε Cloud, εξάγονται σε R Studio και γίνεται επεξεργασία (γραμμ. παλινδρόμηση). Τα αποτελέσματα εμφανίζονται είτε στο Arduino IDE, είτε σε R Studio και Thinkspeak.	Γίνεται επεξεργασία των μετρήσεων (με γραμμική παλινδρόμηση) για παρουσίαση δεδομένων μεγάλου χρονικού διαστήματος
[35]	Smart weather monitoring and real time alert system using IoT	Διαθέτει αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας εδάφους, συγκέντρωσης CO, βροχόπτωσης και ταχύτητας ανέμου	Τα δεδομένα συλλέγονται από το Arduino Uno και μέσω NodeMCU μεταδίδονται τόσο σε ιστοσελίδα, παράλληλα με γραφική απεικόνιση με χρήση του περιβάλλοντος Ubidots είτε σε android εφαρμογή	αισθητήρας ηλιακής ακτινοβολίας GY8511
[36]	IOT Based Data Logger System for Weather Monitoring	Διαθέτει αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, έντασης φωτός και βροχόπτωσης.	Τα δεδομένα των αισθητήρων συλλέγονται από το MSP430 και μέσω Ethernet μεταδίδονται σε ιστοσελίδα	Απαιτείται η χρήση του λογισμικού Energia για τον προγραμματισμό του MSP430
[37]	Wi-Fi Based Portable Weather Station for Monitoring Temperature, Relative, Humidity, Pressure, Precipitation, Wind Speed and Direction	Διαθέτει αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, ατμ. πίεσης, βροχόπτωσης, έντασης ανέμου.	Οι μετρήσεις μεταφέρονται μέσω NodeMCU στην πλατφόρμα Thinkspeak για γραφική απεικόνιση	

[38]	Design of a low cost automatic meteorological weather station	Διαθέτει αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας και ατμ. πίεσης.	Τα δεδομένα συλλέγονται από το Arduino Mega και απεικονίζονται σε LCD οθόνη, ενώ αποθηκεύονται και σε κάρτα SD.	
[39]	Automatic Irrigation System using Soil Moisture Sensor and Temperature Sensor with Microcontroller AT89S52	Έχει αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας εδάφους.	Τα δεδομένα εμφανίζονται σε LCD οθόνη, ενώ αποστέλλονται και μέσω SMS σε κινητό. Παράλληλα, βάσει των τιμών των αισθητήρων ενεργοποιείται και απενεργοποιείται αντλία	
[40]	Building a low-cost weather station	Έχει αισθητήρες θερμοκρασίας και ταχύτητας ανέμου	Τα δεδομένα αποθηκεύονται σε κάρτα SD κάθε 15 λεπτά. Έπειτα, εξάγονται για επεξεργασία σε υπολογιστή ως TXT αρχείο	
[41]	IOT Based Smart Weather Station Using Raspberry-PI3	Διαθέτει αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, βροχόπτωσης και ταχύτητας ανέμου	Τα δεδομένα των αισθητήρων συλλέγονται από το Raspberry-pi3 και αποστέλλονται μέσω Wifi σε Cloud.	
[42]	MOBILE APP & IoT BASED SMART WEATHER STATION	Διαθέτει αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, βροχόπτωσης, ταχύτητας και κατεύθυνσης ανέμου και έντασης φωτός	Τα δεδομένα των αισθητήρων συλλέγονται από το Raspberry-pi3 και αποστέλλονται μέσω Wifi σε Cloud.	
[43]	IoT Based Low-cost Weather Station and Monitoring System for Precision Agriculture in India	Διαθέτει αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, βροχόπτωσης και ατμ. Πίεσης	Τα δεδομένα μεταφέρονται μέσω Wifi σε cloud όπου απεικονίζονται μέσω της πλατφόρμας Thinkspeak	
[44]	Internet of Things Application for Implementation of Smart Agriculture System	Διαθέτει αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, pH, CO2, UV και υγρασίας εδάφους	Τα δεδομένα μεταδίδονται μέσω Wifi σε υπολογιστή	Η συσκευή είναι τοποθετημένη σε τηλεκατευθυνόμενο όχημα, με σκοπό τη λήψη μετρήσεων από διάφορα σημεία. Το όχημα διαθέτει αισθητήρες αποφυγής εμποδίων, ηλιακό πάνελ και κάμερα
[45]	Arduino Based Weather Monitoring System	Διαθέτει αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, έντασης φωτός και βροχόπτωσης	Τα δεδομένα απεικονίζονται σε οθόνη LCD και σε τοπικό υπολογιστή	
[46]	IoT based Data Logger System for weather monitoring using Wireless sensor networks	Διαθέτει αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, έντασης φωτός και CO2	Τα δεδομένα συλλέγονται από το LPC2148	
[47]	WEATHER MONITORING SYSTEM USING ARDUINO UNO	Διαθέτει αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, βροχόπτωσης, ταχύτητας ανέμου και ποιότητας αέρα	Τα δεδομένα αποστέλλονται μέσω του Arduino Uno σε υπολογιστή (μέσω USB) όπου αποθηκεύονται σε βάση δεδομένων(Python)	
[48]	Development of a Low Cost Weather Station Using Free Hardware and Software	Διαθέτει αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, βροχόπτωσης, ταχύτητας και κατεύθυνσης ανέμου	Τα δεδομένα μεταδίδονται μέσω Wifi σε υπολογιστή και σε κινητό	

[49]	Smart Farming System Using IOT	Διαθέτει αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας και υγρασίας εδάφους	Τα δεδομένα μεταδίδονται μέσω Wifi σε εφαρμογή κινητού (Blynk). Βάσει των τιμών ενεργοποιείται αντλία ποτίσματος

Πίνακας 31: Άρθρα ανασκόπησης (Αισθητήρες, διαδικασία, σχόλια)

Αισθητήρας	**Άρθρο**	**v**
DHT11	[34], [35], [1], [7], [8], [10], [11], [12], [16], [18], [19], [23], [24], [32], [41], [42], [45], [46], [47], [49]	20
DHT22	[2], [3], [4], [5], [13], [14], [15], [20], [22], [40], [43], [48]	12
Άγνωστο	[9], [26], [28], [44]	4
BMP280	[21], [30]	3
DS18B20	[25], [27]	2
LM35	[36], [39]	2
AM2315	[17]	1
EE06-FT1A1	[33]	1
HTU21D	[37]	1
SHT30	[29]	1
Όχι	[31], [38]	2

Πίνακας 32: Άρθρα ανά τύπο αισθητήρα θερμοκρασίας

Αισθητήρας	**Άρθρο**	**v**
DHT11	[1], [7], [8], [11], [12], [16], [18], [19], [23], [24], [32], [41], [42], [45], [46], [47], [49], [27], [36], [26], [31], [38]	22
DHT22	[2], [3], [4], [5], [13], [14], [15], [20], [22], [43], [48]	11
BMP280	[6]	1
AM2315	[17], [21]	2
EE06-FT1A1	[33]	1
HTU21D	[37], [10]	2
SHT30	[29]	1
Άγνωστο	[28], [44], [9]	3
Όχι	[30], [34], [35], [40], [25], [39]	6

Πίνακας 33: Άρθρα ανά τύπο αισθητήρα υγρασίας

Αισθητήρας	**Άρθρο**	**v**
BMP280	[21], [17], [18], [22], [30], [6]	6
BMP180	[1], [8], [12], [16], [19], [32], [47], [31], [38], [2], [3], [5], [20], [43], [48], [34]	16
MP3115A2	[10], [37]	2
Άγνωστο	[44]	1
Όχι	[7], [11], [23], [24], [41], [42], [45], [46], [49], [27], [36], [26], [4], [13], [14], [15], [33], [29], [28], [9], [35], [40], [25], [39]	24

Πίνακας 34: Άρθρα ανά τύπο αισθητήρα ατμοσφαιρικής πίεσης

	Ονομασία	Κόστος in €	τροφοδοσία	Επικ/νία	θερμ. λειτ.	Βάρος	App σε κινητό	Δεδομένα σε Η/Υ	Σχόλια
1	Ambient Weather WS-2902C	170	Indoor: 5V DC Adaptor, 3xAAA Outdoor: 3xAAA φωτοβολταΪκό	wifi	-40 to 65°C	1.7Kg	✓	✓	Κονσόλα οθόνης, Πρόβλεψη καιρού, ρολόι, ημερολόγιο, αποστολή ειδοποιήσεων στο κινητό ή στο pc, ιστορικά δεδομένα
2	Bresser Wifi Color Weather Center With 5in1 Profi Sensor 7002580	180	3x AA, 1.5V	wifi	-40 to +60°C	673gr	✓	✓	Συναγερμός θερμοκρασίας, Πρόγνωση καιρού, Προειδοποίηση καταιγίδας Λειτουργία ξυπνητηριού, Λειτουργία ηρεμίας, Συναγερμός υψηλής/χαμηλής στάθμης, Αποθήκευση δεδομένων ιστορικού, Φάσεις Σελήνης, Προειδοποίηση πάγου, πολύχρωμη οθόνη, Ένδειξη εσωτερικού κλίματος, Εβδομαδιαία ένδειξη, Δείκτης καιρού
3	Netatmo Weather Station	200	Indoor: USB power adapter Outdoor: 2 x AAA, USB power adapter	wifi	-40 to +65°C	800gr	✓	✓	Δυνατότητα σύνδεσης με πολλαπλούς χρήστες από διαφορετικές συσκευές, Αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, πίεσης, ποσοστό CO2 με εύρος μέτρησης 0 - 5000ppm και επίπεδο θορύβου με εύρος μέτρησης 35db-110dB, πρόσθετοι αισθητήρες έντασης και κατεύθυνσης ανέμου, βροχόπτωσης
4	BloomSky - SKY2 Weather Camera Station	260	DC 12V-2A Φωτοβολταϊκό	wifi	-20 to 55°C	820gr	✓	✓	Αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, βαρομετρικής πίεσης και βροχόπτωσης (μόνο ανίχνευση) Διαθέτει HD smart weather camera με ευρυγώνιο φακό (170 μοίρες) που ενεργοποιείται την αυγή και απενεργοποιείται το σούρουπο με βάση τις ώρες ανατολής και δύσης του ήλιου της τοπικής περιοχής, αποτυπώνοντας μια εικόνα του ουρανού κάθε λίγα λεπτά. Οι εικόνες και το timelapse της ημέρας μπορούν να μοιραστούν μέσω της δωρεάν εφαρμογής BloomSky, ενώ τα ιστορικά δεδομένα είναι διαθέσιμα στο χρήστη μέσω ενός πίνακα ελέγχου. Συνοδεύεται από ηλιακό πάνελ Μπορεί να συνδυαστεί με ένα εξάρτημα STORM για τη μέτρηση της ταχύτητας και της κατεύθυνσης του ανέμου, της ποσότητας βροχόπτωσης και της υπεριώδους ακτινοβολίας.
5	AcuRite 01002 - Atlas Weather Station with Wi-Fi	280	AC adapter, AA	wifi	-40 to 70°C	3.4Kg	✓	✓	Κονσόλα οθόνης, Πρόβλεψη καιρού, ρολόι, Θερμόμετρο εσωτ.-εξωτ, υγρασία εξωτ, Μετρητής βροχής που αδειάζει μόνος του (ανατρεπόμενος κάδος), υψηλές/χαμηλές τιμές και συσσώρευση ανά μήνα, Διαγράμματα 6 ή 48 ωρών: εξωτερική θερμοκρασία, υγρασία, βαρομετρική πίεση, υπεριώδης ακτινοβολία, ένταση φωτός, ταχύτητα ανέμου και βροχόπτωση

6	WeatherFlow - Tempest	300	solar powered	wifi	-40 to +60°C	1.4Kg			Ενσωματωμένοι αισθητήρες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας του εξωτερικού αέρα, σημείο δρόσου, δείκτης θερμότητας και ψύχος ανέμου, πίεσης, ταχύτητας και κατεύθυνσης ανέμου, δραστηριότητα κεραυνών απόστασης έως και 25 μιλίων, έναρξη, ένταση και διάρκεια βροχόπτωσης, μέτρηση πυκνότητας αέρα, υπεριώδους και ηλιακής ακτινοβολίας, αυτο-βαθμονόμηση
7	Ambient Weather WS-2000	300	5V DC, AA	wifi	-40C to +65°C	2Kg			Διαθέτει μια σειρά ασύρματων αισθητήρων θερμοκρασίας, υγρασίας, ταχύτητας και κατεύθυνσης ανέμου, βροχόπτωσης και βαρομετρικής πίεσης. Διαθέτει έγχρωμη κονσόλα οθόνης που εμφανίζει όλα τα δεδομένα καιρού και παρέχει προσαρμόσιμες ειδοποιήσεις. Υποστηρίζει επίσης συνδεσιμότητα Wi-Fi και η πρόσβαση σε αυτόν μπορεί να γίνει μέσω εφαρμογής smartphone ή προγράμματος περιήγησης στο διαδίκτυο.
8	Oregon Scientific WMR86	360	3 x AA, 1.5V	wifi	-30 to 60°C	0.5 Kg			Κονσόλα οθόνης, τοπική πρόγνωση καιρού, ρολόι, αισθητήρες ταχύτητας και κατεύθυνσης ανέμου, εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασία και υγρασίας, βαρομετρικής πίεσης, βροχόπτωσης με ραβδογράμματα και μέγιστες/μικρότερες μετρήσεις για τις τελευταίες 24 ώρες. Διατίθενται πρόσθετοι αισθητήρες για UV
9	ULTIMETER 2100 Weather Station	365	AC adapter 12 v DC output Provision for 9-volt alkaline battery	wifi	-48 to +66°C	1kg			Κονσόλα με φωτιζόμενη οθόνη και φωτιζόμενο πληκτρολόγιο, μετρήσεις ανέμου υψηλής ακρίβειας. Εμφανίζει στιγμιαίο άνεμο και ακραίες τιμές. Μετρά επίσης εσωτερικές και εξωτερικές θερμοκρασίες, ατμοσφαιρική πίεση.
10	Aercus Instruments WeatherRanger	387	Indoor: 2 x AAA Outdoor: 3 x AA	wifi	-30 to + 65°C	1.5Kg			Πλήρης έγχρωμη κονσόλα TFT LCD, Άμεση δημοσίευση στο διαδίκτυο, βροχογράφος που αδειάζει μόνος του, Σημείο δρόσου, Πρόγνωση μικρής εμβέλειας, Ανατολή, ηλιοβασίλεμα, φάση της σελήνης, Ημερομηνία/ώρα, εμφανίζει γραφήματα ιστορικού για τις κύριες καιρικές παραμέτρους, Τεράστιο ενσωματωμένο σύστημα καταγραφής δεδομένων (66 μέτρα μετρήσεων), Προσαρμόσιμοι συναγερμοί καιρού (υψηλοί και χαμηλοί για κάθε μεταβλητή), Παρακολούθηση ελάχιστων και μέγιστων τιμών για κάθε μεταβλητή Προειδοποίηση καταιγίδας, Ασύρματοι αισθητήρες μεταδίδουν δεδομένα έως και 100m (οπτική επαφή) στην οθόνη LCD, Το ηλιακό πάνελ για τους αισθητήρες εξωτερικού χώρου παρατείνει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας.

11	Bresser Professional 7 in 1 UV Measurement Function	449	5v dc, 3 x AAA	wifi	-5 έως +50	1.84Kg			Λειτουργία ξυπνητηριού, Πρόγνωση καιρού, Φάσεις Σελήνης, Συναγερμός θερμοκρασίας, Συναγερμός υψηλής/χαμηλής στάθμης θερμοκρασίας, Αποθήκευση δεδομένων ιστορικού, Συμβατό με διαδικτυακές πλατφόρμες καιρού, πολύχρωμη οθόνη, Οπισθοφωτισμός, Ευρετήριο καιρού, Ώρα και ημερομηνία, Ένδειξη ημέρας της εβδομάδας, Χρόνος ηλιακού εγκαύματος Ανατολή και δύση του ηλίου, Δείκτης εσωτερικού κλίματος, Μνήμη μέγιστης/ελάχιστης τιμής, Προειδοποίηση πάγου, Δείκτης Beaufort Αυτόματη ώρα διαδικτύου, Προειδοποίηση καταιγίδας
12	Kestrel 5400 WBGT Heat Stress Tracker (HST) & Weather Meter	500	AA	wifi	-30 to 60.0 °C	121g			Βομβητής και φως συναγερμού, εναλλασσόμενος φωτισμός - Λευκό/Κόκκινο, Ένδειξη διάρκειας ζωής μπαταρίας, Μαύρος αισθητήρας θερμοκρασίας (1in/2.5cm), Προβολή γραφήματος καταγραφής δεδομένων, Καταγραφή δεδομένων - Ρυθμιζόμενο διάστημα, Ημερομηνία & ώρα, Ψηφιακή πυξίδα, Ενσωματωμένο αναδιπλούμενο κάλυμμα πτερωτής, Διαισθητικό πληκτρολόγιο αφής Up/Down/Enter, Ασύρματη επικοινωνία LiNK (Bluetooth χαμηλής ενέργειας), Πολύγλωσσα μενού, Αισθητήρας πίεσης ελάχιστης/μέγιστης/μέσης ανάγνωσης, Αισθητήρας σχετικής υγρασίας, Αισθητήρας θερμοκρασίας, Αδιάβροχος
13	Davis Vantage Vue Weather Station	634	Outdoor: φωτοβολταϊκό Inddor: Batteries or AC-power adapter	wifi	-40 to +65°C	2.5Kg			Αυτή είναι μια δημοφιλής επιλογή για πολλούς λάτρεις του καιρού και επαγγελματίες. Είναι ένας ασύρματος, συμπαγής και ανθεκτικός σταθμός που παρέχει ακριβή δεδομένα καιρού σε πραγματικό χρόνο. Διαθέτει μια ανθεκτική σουίτα αισθητήρων εξωτερικού χώρου που μπορεί να μετρήσει τη θερμοκρασία, την υγρασία, την ταχύτητα του ανέμου, την κατεύθυνση του ανέμου, τη βροχόπτωση και τη βαρομετρική πίεση. Ο σταθμός περιλαμβάνει επίσης μια κονσόλα LCD που εμφανίζει όλα τα δεδομένα καιρού και μια σειρά από προσαρμόσιμες ειδοποιήσεις.
14	RainWise MK-III	1000-1400	φωτοβολταΪκό 6v	wifi	-54 to 74°C	3.2Kg			Θερμόμετρο εσωτ.-εξωτ, υγρασία εξωτ, σημείο δρόσου, βαρόμετρο, Μετρητής βροχής που αδειάζει μόνος του (ανατρεπόμενος κάδος) με συλλέκτη βροχής διαμέτρου οκτώ ιντσών Εμβέλεια μετάδοσης πάνω από ένα μίλι Μετάδοση δεδομένων καιρού κάθε 2 δευτερόλεπτα
15	Vaisala WXT530	1300-2500	φωτοβολταϊκό, DC, AC	wifi	-52 to 60 °C	0.5-0.7Kg			Σειρά μετεωρολογικών οργάνων που παρέχουν 6 καιρικές παραμέτρους (ατμοσφαιρική πίεση, θερμοκρασία, υγρασία, βροχόπτωση, κατεύθυνση και ταχύτητα ανέμου), Σύνδεση

									αναλογικών αισθητήρων άλλων κατασκευαστών (Temperature PT1000, solar radiation, water/snow level, tipping bucket)
16	Davis Instruments Vantage Pro2	1700	Indoor: 230V adapter Outdoor: φωτοβολταϊκό 12v	wifi	-40 to +65°C	5.67Kg			Κονσόλα οθόνης Φάση Σελήνης και ώρα ηλιοβασιλέματος και ανατολής Πρόγνωση καιρού Γραφικά στην οθόνη Διαμόρφωση περισσότερων από 70 ταυτόχρονων συναγερμών για την ειδοποίηση των μετεωρολογικών κινδύνων. Περισσότερα από 100 διαφορετικά μηνύματα δείχνουν επιπλέον λεπτομέρειες για τις προβλέψεις και τις τρέχουσες συνθήκες.
17	MetConnect One	2300	5-30V DC, 12Vdc	wifi	-35 to 70.0 °C	3Kg			Υψηλής ποιότητας ενσωματωμένοι αισθητήρες θερμοκρασίας υγρασίας, πίεσης, ταχύτητας και κατεύθυνσης ανέμου, πρόσθετοι αισθητήρες βροχόπτωσης (κάδος ανατροπής),
18	Gill MaxiMet GMX600 Compact Weather Station	2500	5-30V DC, 12Vdc	wifi	-35 to 70.0 °C	0.8Kg			Υψηλής ποιότητας ενσωματωμένοι αισθητήρες θερμοκρασίας υγρασίας, πίεσης, πρόσθετοι αισθητήρες ταχύτητας και κατεύθυνσης ανέμου, GPS, ενσωματωμένο οπτικό βροχόμετρο που ανιχνεύει αυτόματα το νερό που προσκρούει στην εξωτερική του επιφάνεια και παρέχει μετρήσεις με βάση το μέγεθος και τον αριθμό των σταγόνων
19	Spectrum WatchDog 3000	2000-3500	3.5W solar panel, Rechargeable 6V/4.5AH SLA battery, optional AC/DC power adapter	Cellular Modem, Wi-Fi, Direct Connection to PC, and USB	-30 to 55°C	4.5 kg			εσωτερικό μόντεμ και ενσωματωμένη ηλιακή ενέργεια. Συνδέεται μέσω Bluetooth με smartphones με τη δωρεάν εφαρμογή WatchDog Mobile App. Χρησιμοποιήστε την εφαρμογή για να διαμορφώσετε το σταθμό και να ελέγξετε τις τρέχουσες συνθήκες. Αυτόματη μεταφόρτωση των δεδομένων σε υπολογιστή ή στο διαδίκτυο για περαιτέρω ανάλυση
20	Onset HOBO RX3000 Remote Monitoring Station	από 1300	4 Volt, 10 Ahr or external power by AC power adapter, 5 V DC to 17 V DC with external DC power cable	wifi and ethernet	-40 to 60°C	2.2Kg			Υποστήριξη ενός ευρύ φάσματος αισθητήρων, Κονσόλα LCD, Cloud-based αποθήκευση των μετεωρ. δεδομένων μέσω του HOBOlink και 24/7 πρόσβαση αυτών μέσω ίντερνετ, αποστολή ειδοποιήσεων, λειτουργία Plug-and-play, μνήμη 32 MB

Πίνακας 35: Βασικά στοιχεία των υπό εξέταση μετεωρολογικών σταθμών χαμηλού κόστους του εμπορίου

ΩΡΑ	ΘΕΡΜ. ΚΑΤΑΓΡ.(℃)	ΥΓΡΑΣΙΑ ΚΑΤΑΓΡ.(%)	ΘΕΡΜ. DHT21(℃)	ΥΓΡΑΣΙΑ DHT21(%)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜ.(℃)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΥΓΡ.(%)	ΩΡΑ	ΘΕΡΜ. ΚΑΤΑΓΡ.(℃)	ΥΓΡΑΣΙΑ ΚΑΤΑΓΡ.(%)	ΘΕΡΜ. DHT21(℃)	ΥΓΡΑΣΙΑ DHT21(%)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜ.(℃)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΥΓΡ.(%)
20:57:22	23,6	55,8	23,9	55,0	0.60	0.80	08:57:22	23,8	56,7	20,0	65,0	3.80	-8.30
21:27:22	23,2	57,7	23,0	55,0	0.20	2.70	09:27:22	24,9	57,6	22,0	61,0	2.90	-3.40
21:57:22	22,6	65,3	23,0	58,0	-0.40	7.30	09:57:22	27,4	51,0	23,0	58,0	4.40	-7.00
22:27:22	21,9	70,4	23,0	59,0	-0.10	11.40	10:27:22	26,9	52,2	24,0	60,0	2.90	-7.80
22:57:22	21,4	71,2	22,0	68,0	0.40	3.20	10:57:22	28,4	45,7	26,0	53,0	2.40	-7.30
23:27:22	21,1	72,7	21,0	73,0	0.10	-0.30	11:27:22	28,2	50,2	26,0	55,0	2.20	-4.80
23:57:22	21,0	74,0	21,0	74,0	1.00	0.00	11:57:22	29,7	45,2	27,0	47,0	2.70	-1.80
00:27:22	20,9	71,5	20,0	75,0	0.90	-3.50	12:27:22	29,5	44,6	27,0	53,0	2.50	-8.40
00:57:22	20,7	70,2	20,0	75,0	0.70	-4.80	12:57:22	31,4	41,4	29,0	46,0	2.40	-4.60
01:27:22	20,5	70,6	20,0	73,0	0.50	-2.40	13:27:22	30,0	42,7	29,0	45,0	1.00	-2.30
01:57:22	20,5	69,3	20,0	72,0	0.50	-2.70	13:57:22	29,7	43,0	30,0	43,0	-0.30	0.00
02:27:22	20,5	68,1	20,0	72,0	0.50	-3.90	14:27:22	29,1	44,7	28,0	47,0	1.10	-2.30
02:57:22	20,6	66,2	20,0	71,0	0.60	-4.80	14:57:22	29.80	43,3	27,0	48,0	2.80	-4.70
03:27:22	20,8	65,0	20,0	69,0	0.80	-4.00	15:27:22	31,1	40,6	27,0	48,0	4.10	-7.40
03:57:22	20,7	64,8	20,0	68,0	0.70	-3.20	15:57:22	30,1	47,6	29,0	49,0	1.10	-1.40
04:27:22	20,6	63,8	20,0	66,0	0.60	-2.20	16:27:22	28,8	49,2	28,0	47,0	0.80	2.20
04:57:22	20,8	64,1	20,0	66,0	0.80	-1.90	16:57:22	29,0	46,6	28,0	53,0	1.00	-6.40
05:27:22	20,3	68,3	20,0	66,0	0.30	2.30	17:27:22	28,8	48,4	27,0	54,0	1.80	-5.60
05:57:22	20,1	69,1	20,0	65,0	0.10	4.10	17:57:22	26,4	53,7	27,0	50,0	-0.60	3.70
06:27:22	20,0	70,5	19,0	71,0	1.00	-0.50	18:27:22	24,7	55,5	27,0	52,0	-2.30	3.50
06:57:22	20,2	68,6	19,0	72,0	1.20	-3.40	18:57:22	23,7	56,2	25,0	56,0	-1.30	0.20
07:27:22	21,1	66,1	19,0	74,0	2.10	-7.90	19:27:22	22,6	58,3	24,0	56,0	-1.40	2.30
07:57:22	21,3	62,8	19,0	71,0	2.30	-8.20	19:57:22	22,1	60,3	23,0	58,0	-0.90	2.30
08:27:22	22,7	60,1	20,0	69,0	2.70	-8.90	20:27:22	22,1	67,0	22,0	59,0	0.10	8.00

Πίνακας 36: Σύγκριση μετρήσεων θερμοκρασίας και υγρασίας με καταγραφέα PKDLA1

Κώδικας

```
//METEO STATION / 22-05-2023

//INPUT PINS_____________________________________________________________________
int LDRInput=A1; //Η φωτοαντίσταση συνδέεται στο αναλογικό pin A1
int VDInput=A2; //Η είσοδος του διαιρέτη τάσης
const int rainPin = 30; // Το pin που συνδέεται ο αισθητήρας βροχόπτωσης
#define DHTPIN 50 //Το pin που συνδέεται η επιστροφή από τον αισθητήρα DTH21
int encpin1 = 46; //Το pin που συνδέεται η πρώτη έξοδος του encoder
int encpin2 = 48; //Το pin που συνδέεται η δεύτερη έξοδος του encoder

//OUTPUT PINS____________________________________________________________________
int lcdbacklight = 19; // θα χρησιμοποιηθεί για την απενεργοποίηση του οπίσθιου φωτισμού της οθόνης για
//εξοικονόμηση ενέργειας
int sim900autoonpin = 9; //για αυτόματη ενεργοποίηση της SIM900 κατά την εκκίνηση του προγράμματος
//(διαφορετικά απαιτείται πάτημα κουμπιού)

//WIND___________________________________________________________________________
#include <Encoder.h> //βιβλιοθήκη για τη χρήση του rotary encoder
Encoder WindEnc(encpin1, encpin2); // τα pin στα οποία συνδέονται οι έξοδοι του rotary encoder
long Position0 = 0; // μεταβλητή που λαμβάνει την αρχική θέση του encoder
long Position1 = 0; // μεταβλητή που λαμβάνει την τελική θέση του encoder
float dP = 0; // Η διαφορά Position1 - Position0 που δηλώνει πόσοι παλμοί διαβάστηκαν στο encoder του ανεμόμετρου
long WindDurationMillis = 1000; //μεταβλητή που δηλώνει τον χρόνο που θα γίνεται μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου ανά loop
long AnemometerRadius = 80; // Η ακτίνα του ανεμόμετρου σε mm
int WindEncPulses = 2400; // ο αριθμός των παλμών ανά περιστροφή του encoder που μετρά την ταχύτητα του ανέμου
long vWindcm = 0; // Η ταχύτητα του ανέμου σε cm/s. Χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ταχύτητας σε Beaufort.
long WindEncPerim = 0; // Η περίμετρος του ανεμόμετρου σε mm
long startMillis = 0; // γίνεται millis() για να αρχίσει να μετρά τον χρόνο που το encoder διαβάζει την ταχύτητα του ανέμου
int bf = 0; //μεταβλητή μέτρησης της ταχύτητας του ανέμου σε Beaufort
float vWind = 0; //η ταχύτητα του ανέμου σε m/s
```

```
//RAIN_____________________________________________________________________________
long RainDurationMillis = 10000; //μεταβλητή που δηλώνει τον χρόνο που θα γίνεται μέτρηση της βροχόπτωσης ανά loop
long aftergetRain = 0; //χρησιμοποιείται για υπολογισμό του χρόνου κατά τον οποίο "τρέχει" κώδικας εκτός της getRain()
long debounceDelay = 200;    // the debounce time; increase if the output flickers
long delayout = 0; //χρησιμοποιείται για υπολογισμό του χρόνου κατά τον οποίο "τρέχει" κώδικας εκτός της getRain()
int raincount = 0; // ο αριθμός των ενεργοποιήσεων του αισθητήρα βροχόπτωσης
int dayraincount = 0; // ο ημερήσιος αριθμός των ενεργοποιήσεων του αισθητήρα βροχόπτωσης
long lastraintrigger = 0; // Είναι ο τελευταίος παλμός βροχόπτωσης. Χρησιμοποιείται για τον υπολογισμού του χρονικού
//διαστήματος μεταξύ των 2 τελευταίων παλμών βροχόπτωσης
long vrain = 0; //η ταχύτητα της βροχόπτωσης ως msec ανά διάστημα παλμών
float vrainmmh = 0; //η ταχύτητα της βροχόπτωσης σε χιλιοστά ανά ώρα
unsigned long daymillis = 0; //χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της βροχής στο τελευταίο 24ωρο
unsigned long daymillis2 = 0; //χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της βροχής στο τελευταίο 24ωρο
boolean rainpinread = LOW; // λογική μεταβλητή που γίνεται αληθής όταν ληφθεί παλμός από το βροχόμετρο.
//Χρησιμοποιείται σε if loop στην getRain()
float PulsePermm = 2.5742; // οι παλμοί ανά mm για το συγκεκριμένο tipping bucket
float dayrain = 0; // μεταβλητή που μετράει το ύψος βροχής στη διάρκεια μιας ημέρας

//LDR_____________________________________________________________________________
int LDR = 0; //Η μεταβλητή που λαμβάνει την τιμή που επιστρέφει η φωτοαντίσταση
String light = ""; //συμβολοσειρά που παίρνει τιμές βάσει των διαστημάτων της
//LDR (Dark, Very Cloudy, Cloudy, Sunny, Very Sunny)

//VOLTAGE_____________________________________________________________________________
int voltage = 0; //Η τιμή της τάσης του συσσωρευτή (ακέραιος)
int VD = 0; //Η μεταβλητή που λαμβάνει την τιμή που επιστρέφει ο διαιρέτης τάσης

//SMS_____________________________________________________________________________
#include <SoftwareSerial.h> //βιβλιοθήκη για επικοινωνία module όπως GSM
SoftwareSerial mySerial(7, 8); //σύνδεση της SIM900 στα pin 7 και 8
boolean sendsms = true; // όταν είναι αληθής, το πρόγραμμα στέλνει περιοδικά μηνύματα
```

```
boolean testmode = true; //όταν είναι true δεν απαιτείται χρόνος για αποστολή SMS
unsigned long smsmillis = 0; //χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του χρόνου επαναποστολής SMS
int smsinterval = 2; // ο χρόνος αποστολής περιοδικών SMS σε λεπτά.
boolean smstime = true; // όταν είναι true σημαίνει ότι έχει περάσει χρόνος ώστε να αποσταλεί SMS

//DHT_____________________________________________________________________________
#include <DHT.h>; //βιβλιοθήκη για τον αισθητήρα DHT
#define DHTTYPE DHT21  // Δήλωση του τύπου του αισθητήρα (DHT 21  (AM2301))
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);   // Αρχικοποίηση του αισθητήρα DHT21
float hum;  // Μεταβλητή που διαβάζει την τιμή υγρασίας από τον DHT21
float temp; //Μεταβλητή που διαβάζει την τιμή θερμοκρασίας από τον DHT21

//LCD_____________________________________________________________________________

#include <Wire.h>  // βιβλιοθήκη που αφορά τη χρήση του πρωτοκόλλου I2C
#include <LiquidCrystal_I2C.h> //βιβλιοθήκη για χρήση της LCD οθόνης
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE); //

//MISC_____________________________________________________________________________
int daynum = 1; // αύξων αριθμός ημέρας


//VOID SETUP_____________________________________________________________________________
void setup() {
lcd.begin(20,4); //αρχικοποίηση της LCD οθόνης
pinMode(lcdbacklight, OUTPUT);
pinMode(LDRInput,INPUT);
pinMode(VDInput,INPUT);
pinMode(rainPin, INPUT);
digitalWrite(lcdbacklight, HIGH);
lcd.clear();   lcd.setCursor(3,1);    lcd.print("METEO STATION");   delay(800);
lcd.setCursor(8,2);    lcd.print("v. 1.0");   delay(2000); lcd.clear();
```

```
WindEncPerim = AnemometerRadius*6.2832; //η περίμετρος του 3cup σε mm
Serial.begin(9600);  //αρχικοποίηση serial monitor και ορισμός συχνότητας
dht.begin(); //αρχικοποίηση DHT
delay(100);
mySerial.begin(9600); //αρχικοποίηση για SIM900
delay(1000);
daymillis = millis(); //Ανάθεση τιμής για έναρξη υπολογισμού της τρέχουσας ημέρας
SIM900power(); // Για ενεργοποίηση του SIM900 μέσω του κώδικα
} //void setup()


//VOID LOOP_____________________________________________________________________
void loop() {
DayCount(); //κλήση συνάρτησης υπολογισμού α/α ημέρας και μηδενισμού ημερήσιας βροχόπτωσης
Voltage(); //κλήση της συνάρτησης υπολογισμού της τάσης στα άκρα του συσσωρευτή
getRain(); //κλήση της συνάρτησης υπολογισμού της βροχόπτωσης
getWind(); //κλήση της συνάρτησης υπολογισμού της ταχύτητας ανέμου
getDHT(); //κλήση της συνάρτησης υπολογισμού θερμοκρασίας και υγρασίας
getLDR(); //κλήση της συνάρτησης υπολογισμού της έντασης φωτός
printSerial(); //εκτύπωση τιμών μεταβλητών στην οθόνη του υπολογιστή
printLCD(); //εκτύπωση τιμών μεταβλητών στην οθόνη LCD
SendMessage(); //κλήση της συνάρτησης αποστολής SMS
} //void loop

//VOID GETWIND_____________________________________________________________________
void getWind() {  //η συνάρτηση που μετρά την ταχύτητα ανέμου
startMillis = millis(); //δώσε στην startMillis την τρέχουσα χρονική τιμή
Position0 = 0;
Position1 = 0; //μηδένισε τις δύο τιμές υπολογισμού θέσης στο encoder
Position0 =  WindEnc.read(); //διάβασε αρχική θέση
while ( millis()<=startMillis+WindDurationMillis) // για χρόνο ίσο με WindDurationMillis
{
```

```
Position1 =  WindEnc.read(); //διάβασε τη θέση του encoder
}
dP = Position1 - Position0; //υπολόγισε τη διαφορά από την αρχική θέση
if (dP<0) { //αν η διαφορά είναι αρνητική (π.χ. λόγω αντίστροφης τοποθέτησης καλωδίων ή κυρτότητας των ημισφαιρίων του 3cup
  dP=-dP; //άλλαξε το πρόσημο του dP ώστε να είναι μη αρνητικός
}
vWind = ((dP/WindEncPulses)*float(WindEncPerim))/float(WindDurationMillis); //ο λόγος dP/WindEncPulses ισούται με τον
//αριθμό περιστροφών του ανεμομέτρου. Το γινόμενο του προηγούμενου λόγου επί το float(WindEncPerim) ισούται με τη μετατόπιση επί
//της περιμέτρου σε χιλιοστά. Διαιρώντας την τιμή που προκύπτει με το χρόνο μέτρησης στον οποίο ορίστηκε το dP προκύπτει η
//ταχύτητα σε m/sec καθώς η μετατόπιση έχει μονάδα mm και ο χρόνος μονάδα msec
vWindcm = 100*((dP/WindEncPulses)*WindEncPerim)/WindDurationMillis; //πρόκειται για το vWind επί 100 ώστε να μην υπάρχουν
//δεκαδικά στην παρακάτω switch

   switch (vWindcm) { // για τον υπολογισμό της ταχύτητας σε beaufort συναρτήσει της ταχύτητας σε cm/sec
   case 0 ... 50:     // αν η ταχύτητα του ανέμου είναι από ο έως 50 cm/sec
   bf = 0;           // η ταχύτητα του ανέμου σε κλίμακα beaufort είναι ίση με 0
   break;
   case 51 ... 150:       bf = 1;     break;
   case 151 ... 330:      bf = 2;     break;
   case 331 ... 550:      bf = 3;     break;
   case 551 ... 790:      bf = 4;     break;
   case 791 ... 1070:     bf = 5;     break;
   case 1071 ... 1380:    bf = 6;     break;
   case 1381 ... 1710:    bf = 7;     break;
   case 1711 ... 2070:    bf = 8;     break;
   case 2071 ... 2440:    bf = 9;     break;
   case 2441 ... 2840:    bf = 10;    break;
   }
} //void getWind
```

```
//VOID GETDHT_____________________________________________________________________________
void getDHT() { //συνάρτηση για τη μέτρηση θερμοκρασίας και υγρασίας
 hum = dht.readHumidity(); // διάβασε με τη συνάρτηση της βιβλιοθήκης DHT την υγρασία
  temp= dht.readTemperature(); // διάβασε με τη συνάρτηση της βιβλιοθήκης DHT τη θερμοκρασία
} //void getDHT()

//VOID GETRAIN_____________________________________________________________________________
void getRain() { //συνάρτηση για τη μέτρηση βροχόπτωσης
delayout = millis() - aftergetRain; //υπολογισμός του χρόνου που τρέχει ο κώδικας εκτός της getRain
raincount = 0; //μηδένισε τη μεταβλητή raincount ώστε να λάβει τιμή μόνο για το συγκεκριμένο loop
startMillis = millis(); //δώσε την τρέχουσα χρονική τιμή στην startMillis
while ( millis()<=startMillis+RainDurationMillis) //όσο η διαφορά millis()-startMillis δεν ξεπερνά την RainDurationMillis
{
rainpinread = digitalRead(rainPin); // αν ο μαγνητικός διακόπτης ενεργοποιηθεί, δώσε τιμή αληθής στην rainpinread
if (rainpinread && millis()-lastraintrigger > debounceDelay) { //αν η rainpinread είναι αληθής και έχει περάσει ικανός
//χρόνος για debounce
lastraintrigger = millis(); // συγχρόνισε με millis την lastraintrigger για τον επόμενο έλεγχο
raincount++; // αύξησε κατά 1 το raincount που μετρά τους παλμούς
} //if (rainpinread && millis()
} // while
dayraincount+=raincount; // πρόσθεσε στο dayraincount το raincount για τον υπολογισμό της ημερήσιας βροχόπτωσης
vrainmmh = 3600*0.3885*1000*float(raincount)/float(RainDurationMillis); //1000 = αναγωγή από msec σε sec, 3600 = αναγωγή από
//δευτερόλεπτα σε ώρα, 0.38854 = μετατροπή παλμών σε mm (2.5742 παλμός / χιλ,  0,3885 χιλ / παλμό)
dayrain = 0.3885*dayraincount; //κάθε παλμός αντιστοιχεί σε 0.3885 χιλιοστά βροχής
dayrain += (delayout/RainDurationMillis)*dayrain; //αύξησε το dayrain κατά τέτοιο κλάσμα ίσο τον χρόνο που ο κώδικας δεν
//τρέχει την getRain και δεν διαβάζει υπαρκτούς παλμούς
aftergetRain = millis(); //η aftergetRain παίρνει την τρέχουσα χρονική τιμή για τον επόμενο υπολογισμό
} //void getRain()

//VOID GETLDR_____________________________________________________________________________
void getLDR() { //συνάρτηση για τη μέτρηση της έντασης φωτός
LDR=analogRead(LDRInput); //διάβασε την τιμή της φωτοαντίστασης (την τάση στο αντίστοιχο αναλογικό pin)
```

```
   switch (LDR) {
   case 0 ... 150: //αν η τιμή είναι από 0 έως 150
   light = "Dark"; //επικρατεί σκοτάδι
   break;
   case 151 ... 300:
   light = "V.Cloudy";
   break;
   case 301 ... 500:
   light = "Cloudy";
   break;
   case 501 ... 800:
   light = "Sunny";
   break;
   case 801 ... 1023:
   light = "V.Sunny";
   break;
   }
}

//VOID PRINTSERIAL_____________________________________________________________________________
void printSerial() {  //εκτύπωση σε serial monitor βασικών και βοηθητικών μεταβλητών
  Serial.println("-------Wind Data-------");
  Serial.print("Position0="); Serial.print(Position0);Serial.print(", ");
  Serial.print("Position1="); Serial.print(Position1);Serial.print(", ");
  Serial.print("dP=");Serial.print(dP);Serial.println(", ");
  Serial.print("vWind= "); Serial.print(vWind);  Serial.print(" m/sec, ");
  Serial.print("vWindcm= "); Serial.print(vWindcm);  Serial.println(" cm/sec.");
  Serial.print("bf= ");  Serial.print(bf);   Serial.println(" Beaufort.");
  Serial.println("-------Rain Data-------");
  Serial.print("raincount="); Serial.print(raincount);Serial.print(", ");
  Serial.print("dayraincount="); Serial.print(dayraincount);
  Serial.print("dayrain="); Serial.print(dayrain);Serial.print("mm, ");
```

```
  Serial.print("vrainmmh= "); Serial.print(vrainmmh);  Serial.println(" mm/h.");
  Serial.print("lastraintrigger= ");  Serial.println(lastraintrigger);
  Serial.println("-------DHT Data-------");
  Serial.print("Humidity: "); Serial.print(hum);
  Serial.print("%,  Temperature: "); Serial.print(temp); Serial.println(" Celsius");
  Serial.println("-------LDR Data-------");
  Serial.print("LDR: ");Serial.print(LDR); Serial.print(", ");
  Serial.print("light: ");Serial.println(light);
  Serial.println("-------SMS-------");
  Serial.print("sendsms: ");Serial.println(sendsms);
  Serial.print("smsmillis: ");Serial.println(smsmillis);
  Serial.print("smsinterval: ");Serial.println(smsinterval);
  Serial.print("smstime: ");Serial.println(smstime);
  Serial.println("-------Misc-------");
  Serial.print("delayout: ");Serial.println(delayout);
  Serial.print("daymillis: ");Serial.println(daymillis);
  Serial.print("daymillis2: ");Serial.println(daymillis2);
  Serial.print("WindDurationMillis: ");Serial.println(WindDurationMillis);
  Serial.print("RainDurationMillis: ");Serial.println(RainDurationMillis);
  Serial.print("daynum: ");Serial.println(daynum);
  Serial.print("VD: ");Serial.print(VD); Serial.print(", ");
  Serial.print("Voltage: ");Serial.print(voltage); Serial.println(" volt ");
  Serial.println("------------------------------------------------------------");
}

//VOID PRINTLCD_____________________________________________________________________________
void printLCD() { //εκτύπωση σε LCD των μετρούμενων τιμών
lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print(temp);
  lcd.print("C");
  lcd.setCursor(7,0);
```

```
lcd.print(int(hum));
lcd.print("%");
lcd.setCursor(12,0);
lcd.print(light);
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Wind:");
lcd.print(vWind);   lcd.print("m/s | ");
lcd.print(bf);   lcd.print("Bf");
lcd.setCursor(0,2);
lcd.print("Day Rain:");
if(dayrain < 100) {
lcd.print(dayrain);
}
else {                  //αν η ταχύτητα είναι μεγαλύτερη ή ίση με 100, συνεπώς τουλάχιστον 4ψήφιος,
  //εμφάνισε μόνο το ακέραιο μέρος ώστε να μη δεσμευτούν ψηφία της οθόνης και να χωρέσει η τιμή της τρέχουσας ημέρας
lcd.print(int(dayrain));
}
  lcd.print("mm");
lcd.setCursor(17,2);
lcd.print("D");
lcd.print(daynum);
lcd.setCursor(0,3);
lcd.print("Inst.R:");
if(vrainmmh < 1000) {
lcd.print(vrainmmh);
}
else {
lcd.print(int(vrainmmh)); //αν η ταχύτητα είναι μεγαλύτερη ή ίση με 1000, συνεπώς τουλάχιστον 4ψήφιος, εμφάνισε μόνο
//το ακέραιο μέρος ώστε να μη δεσμευτούν ψηφία της οθόνης και να χωρέσει η μονάδα μέτρησης mm/h
}
lcd.print("mm/h");
lcd.setCursor(17,3);
```

```
  lcd.print(voltage);
  lcd.print("v");
} //void printLCD()

//VOID SENDMESSAGE_____________________________________________________________________
void SendMessage() {
if (millis() - smsmillis > smsinterval * 60 *1000) { //Αν ο τρέχων χρόνος μείον το χρόνο που εστάλη το τελευταίο sms
//είναι μεγαλύτερο από τον ορισμένο χρόνο αποστολής sms
smstime = true;  //κάνε αληθή τη λογική μεταβλητή smstime
}
else {
smstime = false; //κάνε ψευδή τη λογική μεταβλητή smstime
}
if (smstime || testmode) {//Αν έχει περάσει ο απαιτούμενος χρόνος για αποστολή SMS ή ο κώδικας "τρέχει" σε testmode

  smsmillis = millis(); //εξίσωσε smsmillis με millis() για εκκίνηση νέας μέτρησης περιόδου αποστολής SMS
  mySerial.println("AT+CMGF=1"); //θέσε τη SIM900 σε mode αποστολής/λήψης SMS
  updateSerial(); //κάλεσε την  updateSerial()
  mySerial.println("AT+CMGS=\"+306979903310\"");//αριθμός αποστολέα
  updateSerial();
  mySerial.print("Temp: ");     mySerial.print(temp);        mySerial.println("C");
  mySerial.print("Hum: ");      mySerial.print(int(hum));    mySerial.println("%");
  mySerial.print("Wind: ");     mySerial.print(vWind);       mySerial.print("m/s, ");
                                mySerial.print(bf);          mySerial.println("Bf");
  mySerial.print("Day Rain: ");      mySerial.print(dayrain);     mySerial.println("mm");
  mySerial.print("Instant Rain: ");     mySerial.print(vrainmmh);    mySerial.println("mm/h");
  mySerial.print("Light: ");    mySerial.println(light);
  mySerial.print("Voltage: ");  mySerial.print(voltage);      mySerial.println(" volt");
  mySerial.print("Day: ");  mySerial.print(daynum);       mySerial.println(".");
  updateSerial();
  mySerial.write(26);
}
```

```
}//SendMessage()

//VOID UPDATESERIAL_____________________________________________________________________
void updateSerial() //συνάρτηση που καλείται για την αποστολή SMS
{
  delay(500);
  while (Serial.available())
  {
    mySerial.write(Serial.read());
  }
  while(mySerial.available())
  {
    Serial.write(mySerial.read());
}
}

//VOID DAYCOUNT_____________________________________________________________________
void DayCount() //συνάρτηση που καλείται για υπολογισμό αριθμού ημέρας και μηδενισμό βροχόπτωσης
{
if (millis() - daymillis > 86400000) { //αν η διαφορά ξεπεράσει τη διάρκεια 24 ωρών
daymillis = millis(); //μηδένισε τη διαφορά
dayraincount = 0; //μηδένισε τους ημερήσιους παλμούς βροχόπτωσης
daynum++;  //αύξησε κατά 1 την τρέχουσα ημέρα
}
}

//VOID VOLTAGE_____________________________________________________________________
void Voltage() //συνάρτηση μετρά την τάση στα άκρα του συσσωρευτή
{
VD=analogRead(VDInput);//διάβασε την τιμή της τάσης από τον διαιρέτη τάσης
voltage = 13.5 * VD /1023; //Με βάση τις τιμές των αντιστάσεων, όταν η έξοδος είναι 5v, η είσοδος είναι 13.5v
}
```

```
//VOID SIM900POWER_____________________________________________________________________
void SIM900power() //συνάρτηση που αφορά την ενεργοποίηση της SIM900 μέσω κώδικα
{
digitalWrite(sim900autoonpin,LOW);     delay(1000);    //απενεργοποίησε τον εικονικό διακόπτη (ανοικτό κύκλωμα)
digitalWrite(sim900autoonpin,HIGH);     delay(2000);  //απενεργοποίησε τον εικονικό διακόπτη (κλειστό κύκλωμα)
digitalWrite(sim900autoonpin,LOW);     delay(3000);    //απενεργοποίησε τον εικονικό διακόπτη (ανοικτό κύκλωμα)
} \
```