



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ»

Εκπόνηση: Γεώργιος Μαρκαντώνης

Επιβλέπων καθηγητής: Γεώργιος Κ.Δ. Σαχαρίδης

Τριμελής Επιτροπή: Γεώργιος Κ.Δ. Σαχαρίδης,

Δημήτριος Παντελής,

Γεώργιος Λυμπερόπουλος

ΒΟΛΟΣ 2018

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ως αιωρούμενα σωματίδια χαρακτηρίζουμε κάθε σώμα, στερεό ή υγρό, εκτός του νερού, που βρίσκεται σε διασπορά και έχει διάμετρο μεγαλύτερη από $2 \cdot 10^{-4}$ μm , αλλά μικρότερη από περίπου $5 \cdot 10^2$ μm . Η παρακολούθηση και ο περιορισμός της συγκέντρωσης τους στην ατμόσφαιρα αποτελεί βασικό στόχο τόσο των ίδιων των αναπτυγμένων κρατών όσο και οργανισμών και οργανώσεων βαρύνουσας σημασίας. Είναι γεγονός πως η παρακολούθηση των ποσοτήτων και γενικότερα η μελέτη των αιωρούμενων σωματιδίων είναι διαδικασίες που μόλις τα τελευταία 50 χρόνια έχουν απασχολήσει τους επιστήμονες.

Σκοπός της παρούσας εργασίας με τίτλο «Μέτρηση της ποιότητας του αέρα» είναι η δημιουργία δύο συσκευών μέτρησης των αιωρούμενων σωματιδίων, η σύγκριση των επιδόσεων τους και η χρήση τους ώστε να παρθούν χρήσιμα συμπεράσματα για τα επίπεδα την αέριας ρύπανσης στην πόλη του Βόλου και της Λάρισας. Για την ανάλυση των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν οδηγίες τόσο από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) αλλά και από τον Παγκόσμιο οργανισμό Υγείας (Π.Ο.Υ.). Οι μετρήσεις στην πόλη του Βόλου και της Λάρισας έγιναν το χρονικό διάστημα Μαΐου – Ιουνίου 2018 σε σημεία τέτοια ώστε να μας δίνουν μια σφαιρική άποψη για την ρύπανση της πόλης. Έμπνευση αποτέλεσε η εργασία “A survey of wireless sensor network based air pollution monitoring systems” των Wei Ying Yi, Kin Ming Lo, Terrence Mak, Kwong Sak Leung, Yee Leung and Mei Ling Meng.

Στην συγκεκριμένη μελέτη που εκπονήσαμε θα βρείτε στοιχεία που αφορούν γενικότερα την ατμοσφαιρική ρύπανση, του ρύπου και τις συνέπειες που έχουν στον άνθρωπο και στο περιβάλλον. Αναλυτικά στοιχεία για τις οδηγίες των διεθνών και των εγχώριων αρμόδιων οργανισμών καθώς και χρήσιμα συμπεράσματα για την αξιοπιστία των συσκευών που χρησιμοποιήσαμε.

Εργαστήκαμε, αντιμετωπίζοντας ρεαλιστικά την κατάσταση που επικρατεί στις πόλεις χωρίς να κάνουμε υποθέσεις. Μελετήσαμε τις επιλογές που μας προσέφερε η παγκόσμια αγορά έως να καταλήξουμε στην επιλογή και την αγορά των εξαρτημάτων των συσκευών. Αναπτύξαμε κώδικα που προσφέρει την δυνατότητα παρακολούθησης και αποθήκευσης των αποτελεσμάτων σε διαδικτυακή πλατφόρμα. Τέλος μελετήσαμε προσεκτικά και καταλήξαμε σε ασφαλή συμπεράσματα.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή κύριο Σαχαρίδη Γεώργιο για την σημαντική συνδρομή, την καθοδήγηση και την διαρκή ενασχόλησή του με την παρούσα εργασία. Την τριμελή επιτροπή αποτελούμενη από τους κυρίους Λυμπερόπουλο Γεώργιο, Παντελή Δημήτριο και Σαχαρίδη Γεώργιο κατά τον έλεγχο της εργασίας. Για τις σημαντικότερες γνώσεις και απαραίτητες πληροφορίες που μου έδωσε, ευχαριστώ τον κύριο Ανδρίτσο Νικόλαο. Παράλληλα, ευχαριστώ το τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για την παραχώρηση των χώρων του τόσο για τις έρευνες όσο και για την παρουσίαση της εργασίας. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά και φίλους για την στήριξή τους σε όλη μου την πορεία μέχρι σήμερα.

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
Κατάλογος Εικόνων	4
Κατάλογος Πινάκων	6
1) ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
1.1) Ποιότητα αέρα και πως μας επηρεάζει	7
1.2) Κύριοι αέριοι ρύποι.....	9
1.3) Οργανισμοί.....	14
1.4) Κατηγορίες και χαρακτηριστικά αιωρούμενων σωματιδίων	17
1.4.1) Παραμονή σωματιδίων στην ατμόσφαιρα και απομάκρυνση	18
1.5) Πηγές παραγωγής.....	21
1.6) Επιπτώσεις στην υγεία και συνέπειες	22
1.6.1) Επιπτώσεις στο περιβάλλον.....	23
2) ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΛΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ, ΣΥΝΔΕΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ	25
2.1) Αναζήτηση και επιλογή μελών συσκευής και περιφερειακών	25
2.2) Μέλη πρώτης συσκευής.....	36
2.3) Στήσιμο και σύνδεση πρώτης συσκευής.....	39
2.4) Προγραμματισμός.....	42
2.5) Μέλη δεύτερης συσκευής	59
2.6) Στήσιμο και σύνδεση δεύτερης συσκευής	64
2.7) Προγραμματισμός δεύτερης συσκευής.....	70
3) ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	83
3.1) Η πόλη της Λάρισας	83
3.2) Διαδικασία μετρήσεων.....	84
3.2.1) Επιλογή σημείων	84
3.2.2) Μέθοδος μετρήσεων	87
3.3) Μετρήσεις	87
4) ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	97
4.1) Σχολιασμός συσκευών	97
4.2) Συμπεράσματα για την πόλη της Λάρισας.....	98
4.3) Προτάσεις για βελτίωση και εξέλιξη	101
4.4) Προτάσεις για εξέλιξη.....	102
Βιβλιογραφία	103

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1 Παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα σε βιομηχανική ζώνη.....	10
Εικόνα 2 Παραγωγή διοξειδίου του θείου από εργοστάσιο.....	11
Εικόνα 3 Η πόλη της Αθήνας με εμφανή την ύπαρξη αιωρούμενων σωματιδίων	12
Εικόνα 4 Λονδίνο - Δεκέμβρης 1952, GreatSmog, WTTW	14
Εικόνα 5 Κατηγορίες σωματιδίων	18
Εικόνα 6 καθίζηση σφαίρας.....	19
Εικόνα 7 Παράδειγμα Νόμος Stokes	20
Εικόνα 8 Απόθεση σωματιδίων	21
Εικόνα 9 Αιθαλομίχλη Βόλος	24
Εικόνα 10 Καταστροφές κτηρίων από την αέρια ρύπανση	24
Εικόνα 11 Αισθητήρας PM 2.5 Groveseed.....	26
Εικόνα 12 Αισθητήρας HK Laser	27
Εικόνα 13 Αισθητήρας Sensirionsds011	28
Εικόνα 14 Αισθητήρας Sensirionsds018	29
Εικόνα 15 Αισθητήρας Sensirionsds019	30
Εικόνα 16 Αισθητήρας Alphasense OPC-R1.....	31
Εικόνα 17 Αισθητήρας Alphasense OPC-N3	31
Εικόνα 18 Αισθητήρας Alphasense OPC-N2	32
Εικόνα 19 Αισθητήρας SEN0233	33
Εικόνα 20 Αισθητήρας Gravity	33
Εικόνα 21 Συσκευή Sensirionsds 607.....	34
Εικόνα 22 Συσκευή Dustrak DRX AEROSOL MONITOR 8533	35
Εικόνα 23 PPD42NS Grove Dust Sensor	36
Εικόνα 24 Αισθητήρας ποιότητας αέρα.....	37
Εικόνα 25 Αισθητήρας για θερμοκρασία και υγρασία	37
Εικόνα 26 Grovebaseshield V2.....	38
Εικόνα 27 Σύνδεση καλωδίων αισθητήρων.....	39
Εικόνα 28 Σύνδεση grove base shield με Arduino board	39
Εικόνα 29 Σύνδεση Grove base shield με Arduino board	40
Εικόνα 30 Ρύθμιση ρεύματος στα 5V.....	40
Εικόνα 31 Τοποθέτηση καλωδίων αισθητήρων στις αντίστοιχες θύρες.....	41
Εικόνα 32 Αισθητήρας Grove με ασημένιο στέλεχος	41
Εικόνα 33 Σύνδεση καλωδίων	42

Εικόνα 34 Εγκατάσταση λογισμικού arduino.....	42
Εικόνα 35 Δημιουργία Φόρμας.....	43
Εικόνα 36 Εισαγωγή ερώτησης	44
Εικόνα 37 Κώδικας σελίδας google forms	45
Εικόνα 38Επικύρωση κώδικα και ανέβασμα στη συσκευή	57
Εικόνα 39 Μετρήσεις στη φόρμα Google.....	57
Εικόνα 40 Σύστημα μετατροπής Dylol (υγρασία και συντελεστές).....	58
Εικόνα 41 Εισαγωγή μετρήσεων και μετατροπή	59
Εικόνα 42 Αισθητήρας Gravity	60
Εικόνα 43 Arduino Yun.....	61
Εικόνα 44 IO Expansion Shield.....	62
Εικόνα 45 Καλώδια Arduino	62
Εικόνα 46Χρονοδιακόπτης.....	63
Εικόνα 47 Σύνδεση καλωδίων με αισθητήρα	64
Εικόνα 48 Σύνδεση καλωδίων στον αντάπτορα	64
Εικόνα 49 IOExpansionShieldσημεία σύνδεσης καλωδίων	65
Εικόνα 50ArduinoYun σημεία σύνδεσης καλωδίων	66
Εικόνα 51IOExpansionShield σημεία σύνδεσης καλωδίων	67
Εικόνα 52 IO Expansion Shield pin ζεύξης.....	68
Εικόνα 53 Ο χρονοδιακόπτης μετά την ρύθμιση	69
Εικόνα 54 Σύνδεση Arduino με τα καλώδια micro-USB και Ethernet.....	69
Εικόνα 55 Η θέση της πόλης Λάρισας.....	83
Εικόνα 56 1ο σημείο μετρήσεων(Παναγούλη-Παπακυριαζή).....	84
Εικόνα 57 2ο σημείο μέτρησης(Πλατεία Εβραίων).....	85
Εικόνα 58 3ο σημείο μέτρησης(Πηνειός).....	86
Εικόνα 59 Κάλυψη και εμβέλεια σημείων.....	87
Εικόνα 60 Σύγκριση μετρήσεων σημείο 3-Λάρισα	98
Εικόνα 61 Μετρήσεις σημείο 1 Λάρισα	98
Εικόνα 62 Μετρήσεις σημείο 2 Λάρισα	99
Εικόνα 63 Μετρήσεις σημείο 3 Λάρισα	100
Εικόνα 64 Ποιότητα αέρα-Ευρώπη	101

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 Μετρήσεις σημείου 1	87
Πίνακας 2 Μετρήσεις σημείου 1	89
Πίνακας 3 Μετρήσεις σημείου 2	90
Πίνακας 4 Μετρήσεις σημείου 2	91
Πίνακας 5 Μετρήσεις σημείου 3	92
Πίνακας 6 Μετρήσεις σημείου 3	93
Πίνακας 7 Συγκριτικός Πίνακας μετρήσεων στο σημείο 3-Λάρισα.....	95

1) ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1) Ποιότητα αέρα και πως μας επηρεάζει

Η κακή ποιότητα του αέρα και οι συνέπειες αυτού του φαινομένου, είναι ένα από τα ποικίλα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι σύγχρονες μεγαλουπόλεις. Σύμφωνα με στοιχεία που έχει δημοσιεύσει ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας περίπου 40 εκατομμύρια κάτοικοι των 115 μεγαλύτερων πόλεων της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι εκτεθειμένοι σε αέρα που υπερβαίνει, για τουλάχιστον ένα ρύπο, τα όρια που έχει θεσπίσει ο Π.Ο.Υ.. Επίσης σε παρόμοια έρευνα του ίδιου οργανισμού διαπιστώθηκε πως στην Ευρώπη η έκθεση σε σωματίδια μειώνει το προσδόκιμο ζωής κάθε ατόμου κατά μέσο όρο σχεδόν 1 έτος. Συνεπώς, θα μπορούσε η ατμοσφαιρική ρύπανση να χαρακτηριστεί ως ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που καλείται να αντιμετωπίσει και μάλιστα άμεσα η ανθρωπότητα.

Ευθύνη για την δημιουργία και κατ' επέκταση την εξάπλωση του προβλήματος αυτού έχει ο ίδιος ο άνθρωπος. Η ανεξέλεγκτη συγκέντρωση μεγάλου πληθυσμού στα αστικά κέντρα σε συνδυασμό με τις ολοένα αυξανόμενες ανάγκες των πολιτών έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των ρύπων. Καθημερινές συνήθειες, όπως η μετακίνηση, η χρήση η ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών αλλά και πολλές καθημερινές ανάγκες του ανθρώπου απαιτούν ενέργεια. Αυτή παράγεται είτε μεμονωμένα (π.χ. ατομικοί λέβητες), είτε μαζικά (π.χ. εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας). Όμως η επιμονή και η εξάρτηση του ανθρώπου σε «ρυπογόνες» πηγές ενέργειας όπως το πετρέλαιο και τα παράγωγα του έχει άμεσο αντίκτυπο στην ποιότητα του αέρα που αναπνέει και όχι μόνο.

Παράλληλα, η ραγδαία ανάπτυξη της Βιομηχανίας που παρατηρείται στις μέρες μας, είναι και αυτή σίγουρα ένας από τους βασικούς λόγους που παρατηρούνται προβλήματα στον ατμοσφαιρικό αέρα. Ως φυσικό επακόλουθο της αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού και των αναγκών του, σημαντική αύξηση παρατηρήθηκε και στον αριθμό των εργοστασίων. Τα αέρια απόβλητα της βιομηχανίας έχουν αποδειχθεί ιδιαίτερα επιβλαβή για την υγεία του ανθρώπου. Πρέπει να τονιστεί πως ο περιορισμός των αερίων ρύπων είναι μια εξαιρετικά ακριβή διαδικασία για την οποία απαιτείται και κατάλληλη τεχνογνωσία. Για τον λόγο αυτόν, αναπτυσσόμενες χώρες που δεν διαθέτουν την οικονομική ευχέρεια ή την τεχνολογική επάρκεια δεν μπορούν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις μιας τέτοιας διαδικασίας. Ωστόσο, στις τεχνολογικά ανεπτυγμένες χώρες γίνονται προσπάθειες για τον περιορισμό των ρύπων των εργοστασίων, με τον κυριότερο παράγοντα καθυστέρησης της διαδικασίας να είναι ο οικονομικός.

Τι εννοούμε όμως αναφερόμενοι στην ποιότητα του αέρα; Με τον όρο αυτό χαρακτηρίζουμε την συνολική κατάσταση του ατμοσφαιρικού αέρα μιας περιοχής. Σχετίζεται με τον βαθμό στον οποίο ο αέρας είναι καθαρός, απαλλαγμένος από τους διάφορους ρύπους, σκόνη, καπνό, νέφος και διάφορα άλλα επιβλαβή

αέρια. Ο προσδιορισμός της ποιότητας του γίνεται με βάση την ανάλυση διαφόρων δεικτών που απεικονίζουν το επίπεδο κάθε ρύπου. Καλή ποιότητα αέρα είναι αναγκαία για την επίτευξη μιας καλής ποιότητας ζωής. Αντίθετα, η κακή ποιότητα αέρα έχει άμεσες συνέπειες τόσο στον άνθρωπο όσο και στο περιβάλλον.

Όσο αφορά τον άνθρωπο, οι συνέπειες αφορούν κυρίως την υγεία του. Τα προβλήματα που προκαλούνται αφορούν κυρίως στο αναπνευστικό και καρδιαγγειακό σύστημα. Ιδιαίτερα ευάλωτοι σε τέτοιου είδους προβλήματα είναι οι υπερήλικες και τα άτομα που ανήκουν στις ευπαθείς ομάδες. Πιο συγκεκριμένα, οι επιδράσεις στην υγεία μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο κατηγορίες, τις οξείες και τις χρόνιες. Οι πρώτες σχετίζονται με τις άμεσες συνέπειες που εμφανίζονται μετά από την έκθεση του ανθρώπου σε κακής ποιότητας αέρα. Έχει παρατηρηθεί πως την ίδια ή και τις επόμενες ημέρες μετά από επεισόδια ρύπανσης, είναι αυξημένα τα κρούσματα επιβάρυνσης της υγείας ασθενών που πάσχουν από αναπνευστική ανεπάρκεια, άσθμα, χρόνια βρογχίτιδα και καρδιακά ή κυκλοφορικά νοσήματα. Οι δεύτερες, αφορούν στην πρόκληση προβλημάτων υγείας σε υγιή άτομα λόγω της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Αν και η μελέτη των χρόνιων επιδράσεων είναι μια δύσκολη και σύνθετη διαδικασία, τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει έρευνες που δείχνουν πως οι κάτοικοι περιοχών με ατμοσφαιρική ρύπανση έχουν αυξημένες πιθανότητες να αναπτύξουν αναπνευστικά και καρδιαγγειακά προβλήματα. Παράλληλα, πρέπει να τονιστεί πως η αέρια ρύπανση είναι μία από τις βασικότερες αιτίες πρόκλησης καρκίνου του πνεύμονα. Τέλος, δεν μπορούμε να μην αναφερθούμε στα προβλήματα που δημιουργούνται σε ότι αφορά την απόκτηση απογόνων. Σημαντική μείωση παρατηρείται στη γονιμότητα των ανδρών, ενώ οι γυναίκες που εκτίθενται και κακής ποιότητας αέρα κατά την περίοδο της κύησης, εμφανίζουν αυξημένες πιθανότητες να παρουσιάσουν επιπλοκές αλλά και να προκληθεί βλάβη στην υγεία του βρέφους.

Η αέρια ρύπανση έχει λάβει πλέον ανησυχητικές διαστάσεις σε σχέση με τις επιπτώσεις που έχει στην ανθρώπινη υγεία. Χαρακτηριστικά, σύμφωνα με την έκθεση το Ευρωπαϊκού Οργανισμού για το περιβάλλον, κάθε χρόνο στις Ευρωπαϊκές μεγαλουπόλεις, λόγω της ατμοσφαιρικής ρύπανσης χάνουν τη ζωή τους περίπου 60.000 άνθρωποι. Αντίστοιχα, σε παγκόσμια κλίμακα ο αριθμός αυτός αγγίζει τα 3.000.000 άτομα γεγονός που καταδεικνύει την άμεση ανάγκη για επίλυση.

Οι συνέπειες που παρατηρούνται στο περιβάλλον δεν περιορίζονται μόνο στις περιοχές που παρατηρείται η ρυπασμένη ατμόσφαιρα. Αντίθετα επηρεάζουν τον πλανήτη στο σύνολό του. Είναι γεγονός πως το φαινόμενο του θερμοκηπίου δεν αφήνει ανεπηρέαστη καμιά «γειτονιά» της Γης. Η μεγάλη αύξηση της ποσότητας των αερίων του θερμοκηπίου με τη πάροδο των ετών έχει ως συνέπεια την διαρκή αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη. Προκαλώντας έτσι, λιώσιμο των πάγων και αύξηση της στάθμης της θάλασσας. Διαταράσσοντας παράλληλα την χλωρίδα και την πανίδα διάφορων περιοχών, οδηγεί σε

συρρίκνωση του πληθυσμού ακόμη και σε εξαφάνιση ορισμένων ειδών. Επιπρόσθετα, η παρουσία στην ατμόσφαιρα οξειδίων (όπως αυτά του θείου και του νατρίου) έχει ως συνέπεια την μείωση του ΡΗ της βροχής και την εμφάνιση του φαινομένου της όξινης βροχής. Η όξινη βροχή, είναι ικανή να καταστρέψει βιοτόπους, να εξαφανίσει δάση και να αλλοιώσει έργα τέχνης και διάφορα δημιουργήματα του ανθρώπου όπως ο Παρθενώνας.

1.2) Κύριοι αέριοι ρύποι

Είδαμε τι είναι η αέρια ρύπανση και ποιες είναι οι επιπτώσεις της στον άνθρωπο και στο περιβάλλον. Ποιοι όμως είναι οι ρύποι εκείνοι που καθιστούν τον αέρα που αναπνέουμε ρυπασμένο; Από που παράγονται και ποιες είναι οι επιμέρους επιπτώσεις τους;

Αρχικά, οι ρύποι κατηγοριοποιούνται με βάση ορισμένα χαρακτηριστικά τους. Σε πρωτογενείς ρύπους, που εκπέμπονται απ' ευθείας στην ατμόσφαιρα και σε δευτερογενείς ρύπους, που σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα κατόπιν χημικών αντιδράσεων. Επίσης διακρίνονται σε δύο ακόμη κατηγορίες ανάλογα με την κατάσταση που εντοπίζονται στην ατμόσφαιρα. Αυτές είναι οι αέριοι ρύποι, που όπως μαρτυρά και το όνομά τους εντοπίζονται σε αέρια μορφή και οι σωματιδιακοί ρύποι, που έχουν στερεή μορφή.

- Μονοξείδιο του άνθρακα (CO).

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι ένα άχρωμο, άοσμο και άγευστο αέριο. Είναι εξαιρετικά επικίνδυνο για τον άνθρωπο μιας και εμποδίζει την μεταφορά οξυγόνου στους κυτταρικούς ιστούς με αποτέλεσμα να προκαλείται ασφυξία. Πηγές παραγωγής του είναι η ατελής καύση ορυκτών καυσίμων και οι δασικές πυρκαγιές. Το μονοξείδιο του άνθρακα που υπάρχει στη ατμόσφαιρα δεν παίζει άμεσο ρόλο στην πρόκληση των δυσμενών επιπτώσεων στο περιβάλλον αλλά έμμεσο. Επηρεάζει την ικανότητα της ατμόσφαιρας να καθαρίζεται από άλλους ρύπους και σε συνδυασμό με την ηλιακή ακτινοβολία, συμμετέχει στη δημιουργία κατώτερου ατμοσφαιρικού όζοντος και νέφους.

- Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)

Η ύπαρξη του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα δεν το καθιστά απαραίτητα αέριο ρύπο. Προβλήματα προκαλούνται όταν η ποσότητα του ξεπεράσει ορισμένα όρια και τότε χαρακτηρίζεται αέριος ρύπος. Είναι άχρωμο άοσμο, άγευστο, και μη τοξικό αέριο της γήινης ατμόσφαιρας. Διαδραματίζει κομβικό ρόλο στην γλωρίδα μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης. Όταν όμως τα όρια ξεπερνιούνται συμβάλει τα μέγιστα στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Κύρια πηγή παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα είναι η καύση ορυκτών καυσίμων που γίνεται τόσο στη βιομηχανία όσο και στην κάλυψη καθημερινών αναγκών των πολιτών όπως η μετακίνηση και η θέρμανση. Δυστυχώς, τον Απρίλιο του 2018 η μηνιαία συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα της Γης ξεπέρασε για πρώτη φορά στη μετεωρολογική

ιστορία τα 410ppm(μέρη ανά εκατομμύριο). Η πλειονότητα των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα προέρχονται από τις μεγάλες και τεχνολογικά ανεπτυγμένες χώρες στις οποίες πέφτει και το βάρος του ζητήματος του περιορισμού του.



Εικόνα 1 Παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα σε βιομηχανική ζώνη

- Οξείδια το Αζώτου(NO_x)

Με την χρήση του όρου αυτού αναφερόμαστε στο σύνολο των χημικών ενώσεων που περιέχουν άζωτο και οξυγόνο σε διάφορες αναλογίες. Το συνηθέστερο οξείδιο που παρατηρείται στην ατμόσφαιρα είναι το διοξείδιο του αζώτου. Παρατηρείται συχνά με γυμνό μάτι ως στρώμα καφέ ομίχλης πάνω από αστικό τοπίο. Τα οχήματα και οι θερμικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν τις βασικές πηγές παραγωγής οξειδίων του αζώτου. Στην ατμόσφαιρα είναι ιδιαίτερα επικίνδυνα αφού αντιδρούν με τις οργανικές ενώσεις (ενώσεις του άνθρακα) και παράγουν το τροποσφαιρικό όζον. Επίσης αντιδρούν με το διοξείδιο του θείου και την αμμωνία με αποτέλεσμα την δημιουργία οξέων που παρασύρονται από την βροχή και σχηματίζουν την όξινη βροχή.

- Διοξείδιο του Θείου(SO_x)

Το διοξείδιο του θείου είναι παράγωγο της καύσης ορυκτών καυσίμων που δεν έχουν αποθιωθεί πλήρως και της διύλισης του πετρελαίου. Βασική αιτία που καθιστά το διοξείδιο του θείου αέριο ρύπο είναι πως έχει την δυνατότητα να διαλύεται με τους υδρατμούς, να αντιδρά με άλλες ενώσεις και να δίνει διάφορα οξέα. Τα οξέα αυτά, όπως και στην περίπτωση των οξειδίων του αζώτου, παρασύρονται από την βροχή δημιουργώντας την όξινη βροχή. Επίσης μπορεί να προκαλέσει αναπνευστικά προβλήματα όταν εισπνέεται από ηλικιωμένους ή παιδιά.



Εικόνα 2 Παραγωγή διοξειδίου του θείου από εργοστάσιο

- Πτητικές οργανικές ενώσεις

Οι πτητικές οργανικές ενώσεις ή αλλιώς τα VOCs (Volatile Organic Compounds) είναι χημικές ενώσεις του άνθρακα, με υψηλή τάση ατμών σε θερμοκρασία δωματίου που εκπέμπονται από πολλά προϊόντα που χρησιμοποιούμε καθημερινά. Σε αυτά συγκαταλέγονται τα καύσιμα, τα εντομοκτόνα, οι μπογιές, οι κόλλες, διάφορα οικοδομικά υλικά κ.α.. Συμπεριλαμβάνονται στους αέριους ρύπους επειδή συμμετέχουν στον σχηματισμό του φωτοχημικού νέφους, κάποιες απ' αυτές, όπως η φορμαλδεΐδη είναι καρκινογόνες και άλλες, συμβάλλουν στη δημιουργία του τροποσφαιρικού όζοντος. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν οι χλωροφθοράνθρακες, το βενζόλιο, αιθανικός αιθυλεστέρας, και η προπανόνη.

- Αιωρούμενα σωματίδια (PMx)

Τα αιωρούμενα σωματίδια είναι ένα μίγμα μικρών στερεών σωματιδίων και σταγονιδίων. Συνήθως περιλαμβάνουν διάφορες χημικές ενώσεις, μέταλλα, χώμα και σκόνη. Κατατάσσονται σε τρεις κύριες κατηγορίες. Τα PM1, που είναι τα αιωρούμενα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη του 1 μm (μικρόμετρο). Τα PM2.5, που είναι σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 2.5 μm και μεγαλύτερη από 1 μm και τέλος, τα PM10 που έχουν διάμετρο μεταξύ 2.5 μm και 10 μm. Τα PM2.5 εκπέμπονται από δασικές ή άλλες πυρκαγιές, από θερμοηλεκτρικούς σταθμούς, την βιομηχανία και τις μετακινήσεις. Σχηματίζονται επίσης και ως δευτερογενής ρύπος, κατόπιν χημικών αντιδράσεων που διενεργούνται στην ατμόσφαιρα. Τα PM10 συναντώνται κυρίως στο οδικό δίκτυο και σε περιοχές όπου υπάρχει ανθρώπινη δραστηριότητα που παράγει σκόνη όπως εργοτάξια ή λατομεία. Τα αιωρούμενα σωματίδια οποιασδήποτε διαμέτρου είναι ιδιαίτερος επιβλαβής για την υγεία, διότι μπορούν μέσω της αναπνοής να καταλήξουν στους πνεύμονες δημιουργώντας ανεπανόρθωτες βλάβες όχι μόνο στο αναπνευστικό σύστημα. Πέραν όμως της ανθρώπινης υγείας, πρόβλημα δημιουργείται και στο περιβάλλον. Μειώνεται η ορατότητα, η εναπόθεση τους επιδρά στα οικοσυστήματα και είναι ικανά να καταστρέψουν καλλιέργειες.



Εικόνα 3 Η πόλη της Αθήνας με εμφανή την ύπαρξη αιωρούμενων σωματιδίων

- Τροποσφαιρικό όζον (O₃)

Το όζον όταν βρίσκεται στην στρατόσφαιρα όχι απλά δεν αποτελεί ρύπο αλλά είναι απαραίτητο για την διατήρηση των περιβαλλοντικών συνθηκών που επικρατούν στην επιφάνεια της Γης. Όταν όμως σχηματίζεται στην τροπόσφαιρα είναι ένας επιβλαβής δευτερογενής ρύπος. Είναι άχρωμο και έχει δριμεία οσμή. Παράγεται από χημικές αντιδράσεις στην ατμόσφαιρα των οξειδίων του αζώτου και των πτητικών οργανικών ενώσεων με την συνδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας. Σε περίπτωση που εισπνευσθεί, είναι σε θέση να προκαλέσει ποικίλα προβλήματα υγείας. Ο πόνος στο στήθος, ο ερεθισμός του λαιμού, τα εμφράγματα και ο τραυματισμός των ιστών των πνευμόνων είναι ορισμένα απ' αυτά.

Παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα

Είδαμε πως η ποιότητα του αέρα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζουμε την ποσότητα των ρύπων του αέρα που αναπνέουμε. Οι κίνδυνοι που εγκυμονούν είναι πολλοί τόσο για την υγεία όσο και για το περιβάλλον. Κατά συνέπεια, είναι απαραίτητη η συνεχής παρακολούθηση και ο έλεγχος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Είναι μια σύνθετη διαδικασία, που περιλαμβάνει τη συλλογή δεδομένων για τον προσδιορισμό των επιπέδων, της κατανομής και της χρονικής εξέλιξης των μεγθών που σχετίζονται με την ποιότητα του αέρα. Πιο συγκεκριμένα, αναλύονται οι συγκεντρώσεις των ρύπων της ατμόσφαιρας, η εναπόθεση τους στο έδαφος ή στις υδάτινες επιφάνειες καθώς και το πόσο επηρεάζεται απ' αυτά ο άνθρωπος και τα οικοσυστήματα.

Ιστορική αναδρομή

Είναι γεγονός πως η παρακολούθηση της αέριας ρύπανσης δεν ήταν πάντα αναγκαία. Τις περιόδους όπου ο άνθρωπος συνυπήρχε αρμονικά με την φύση, χωρίς να παράγει επιβλαβή ρύπους, διατηρούταν η ισορροπία στις ποσότητες κάθε ουσίας στην ατμόσφαιρα. Όμως, η τεχνολογική εξέλιξη και η βιομηχανική επανάσταση με ότι αυτή συνδυάστηκε οδήγησε σε εκτόξευση των ρύπων. Κομβικής σημασίας χρονική περίοδος για την αφύπνιση των επιστημόνων και την πρόοδο ώστε να φτάσουμε στο σήμερα και τις μεγάλες προσπάθειες για την βελτίωση της κατάστασης είναι ο Δεκέμβριος του 1952. Τότε, στο Λονδίνο έκανε την εμφάνιση του το «Μεγάλο νέφος» (GreatSmog). Ήταν το πρώτο σημαντικό δείγμα ότι η κατάσταση των αερίων ρύπων ξεφεύγει από τον έλεγχο. Ο θάνατος χιλιάδων πολιτών κινητοποίησε αρχικά το σύνολο του Ηνωμένου Βασιλείου και κατόπιν ολόκληρο τον πλανήτη. Τότε ξεκίνησαν στις μεγάλες πόλεις να μετρούν την ποιότητα της ατμόσφαιρας.

Την ίδια χρονική περίοδο, δεύτερες σκέψεις για την καταλληλότητα των καυσίμων που χρησιμοποιούνταν έκαναν την εμφάνισή τους. Πλέον δεν είχε σημασία μόνο η απόδοση των μηχανών που κατασκευάζονταν αλλά και το οικολογικό τους αποτύπωμα. Φυσικά με την πάροδο του χρόνου ήρθαν στην επιφάνεια και

μελέτες που τόνιζαν την επικινδυνότητα των αερίων αυτών. Οι πολίτες και τα κράτη ευαισθητοποιήθηκαν περισσότερο. Υπογράφηκαν συνθήκες για τον έλεγχο συγκεκριμένων αερίων και τον περιορισμό φαινομένων όπως το φαινόμενο του θερμοκηπίου, που συμφωνήθηκαν μέτρα για τον περιορισμό του με το Πρωτόκολλο του Κιότο το 1997. Φτάνοντας στο σήμερα που, η σημασία της παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα είναι μέγιστης σημασίας, με την επιστήμη και την τεχνολογία να συνδυάζονται αρμονικά προς αυτή την κατεύθυνση.



Εικόνα 4 Λονδίνο - Δεκέμβρης 1952, GreatSmog, WTTW

1.3) Οργανισμοί

Εν έτη 2018, τα ανεπτυγμένα κράτη διαθέτουν τον δικό τους οργανισμό, που είναι υπεύθυνος για την παρακολούθηση και τον έλεγχο της ποιότητας του αέρα. Όμως υπάρχουν και διακρατικοί ή παγκόσμιοι οργανισμοί που ασχολούνται με το θέμα αυτό. Όσο αφορά την χώρα μας οι βασικότεροι οργανισμοί από τους οποίους δέχεται επιτήρηση είναι:

- Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας

Ο Π.Ο.Υ. είναι ένας ανεξάρτητος οργανισμός, υπό την αιγίδα του Ο.Η.Ε., που δραστηριοποιείται στο πεδίο της υγείας. Έχει γίνει κατανοητό πλέον πως το ζήτημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι άμεσα σχετιζόμενο με την ανθρώπινη υγεία. Για τον λόγο αυτό, η παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα στις χώρες μέλη του είναι μια απ' τις βασικές του αρμοδιότητες. Σήμερα αριθμεί 194 μέλη ένα εκ των οποίων

και η χώρα μας. Έτσι η Ελλάδα οφείλει να υπακούει στις συμβουλές του Π.Ο.Υ. και να δρα με γνώμονα και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της. Σύμφωνα με τις οδηγίες του οργανισμού τα επιτρεπτά όρια της ρύπανσης στον αέρα κυμαίνονται στα παρακάτω επίπεδα:

Ρύπος	Μέση ποσότητα	Χρονικό περιθώριο
NO_x	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 έτος
	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 ώρα
SO₂	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	24 ώρες
	500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	10 λεπτά
PM_{2.5}	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 έτος
	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	24 ώρες
PM₁₀	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 έτος
	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	24 ώρες
Τροποσφαιρικό O₃	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	8 ώρες

- Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος

Ο οργανισμός της Ευρωπαϊκής Ένωσης με αρμοδιότητα την παροχή έγκαιρης και ανεξάρτητης πληροφόρησης για ζητήματα που αφορούν στο περιβάλλον. Έχει ενεργό ρόλο στην λήψη αποφάσεων από τα κράτη μέλη της ένωσης με κατεύθυνση την βελτίωση του περιβάλλοντος και βοήθα στην οργάνωση των κρατικών περιβαλλοντικών φορέων. Σύμφωνα με τον Ε.Ο.Π. τα επίπεδα της ρύπανσης πρέπει να περιορίζονται στις παρακάτω τιμές:

Ρύπος	Μέση ποσότητα	Χρονικό περιθώριο
CO	10 mg/m^3	8 ώρες
NO_x	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 έτος
	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 ώρα

SO₂	125 µg/m ³	24 ώρες
	350 µg/m ³	10 λεπτά
PM_{2.5}	25 µg/m ³	1 έτος
PM₁₀	40 µg/m ³	1 έτος
	50 µg/m ³	24 ώρες
Τροποσφαιρικό O₃	120 µg/m ³	8 ώρες

- Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας

Στην Ελλάδα την παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης παρακολουθεί το αρμόδιο υπουργείο. Σε συνεργασία με τους Ευρωπαϊκούς και Παγκόσμιους φορείς φροντίζει να τηρούνται τα όρια που τίθενται μέσω της νομοθεσίας, δρα για τον περιορισμό των ρύπων και ευαισθητοποιεί τους πολίτες σε περιβαλλοντικά ζητήματα. Σύμφωνα με την Ελληνική νομοθεσία τα όρια των ρύπων που πρέπει να τηρούνται είναι:

Ρύπος	Μέση ποσότητα	Χρονικό περιθώριο
NO_x	40 µg/m ³	1 έτος
	200 µg/m ³	1 ώρα
SO₂	125 µg/m ³	24 ώρες
PM_{2.5}	25 µg/m ³	1 έτος
PM₁₀	40 µg/m ³	1 έτος
	50 µg/m ³	24 ώρες
Τροποσφαιρικό O₃	120 µg/m ³	8 ώρες

Ατμοσφαιρική ρύπανση στην Ελλάδα

Η Ελλάδα δεν είναι χώρα με ιδιαίτερα ανεπτυγμένη την «βαριά» βιομηχανία. Κατά συνέπεια είναι περιορισμένοι και οι ρύποι των εργοστασίων. Επιπρόσθετα, διασπορά του πληθυσμού της, με εξαίρεση την πρωτεύουσα, δεν επιτρέπει και την συγκέντρωση πολλών οχημάτων σε αστικές περιοχές. Αυτά, σε συνδυασμό με τις δράσεις για περιορισμό των ρύπων και του πλούσιου φυσικού περιβάλλοντος (δάση και θάλασσα) δεν επιτρέπουν την εκτόξευση των αερίων ρύπων σε επικίνδυνα επίπεδα. Σύμφωνα με την τελευταία δημοσιευμένη ετήσια έκθεση για την ατμοσφαιρική ρύπανση (2016) του αρμόδιου Υπουργείου, με εξαίρεση τα PM10 σε ορισμένες τοποθεσίες, δεν παρατηρήθηκε υπέρβαση των μέσων ετήσιων ορίων που ορίζονται από εθνική νομοθεσία. Οι περιπτώσεις που παρατηρήθηκαν να είναι εκτός ορίων, θα μπορούσαν να αιτιολογηθούν από την συχνή παρουσία Αφρικανικής σκόνης που εκτοξεύει τους δείκτες.

1.4) Κατηγορίες και χαρακτηριστικά αιωρούμενων σωματιδίων

Ως σωματιδιακή ύλη χαρακτηρίζεται οποιοδήποτε μεγέθους υλικό στον αέρα σε υγρή ή στερεή μορφή. Τα σωματίδια συμμετέχουν σε φωτοχημικές διεργασίες στην ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα να αλλάζει η φυσικοχημική σύσταση τους ενώ συμμετέχουν και σε πολλές χημικές αντιδράσεις. Ταξινομούνται με βάση το μέγεθος, το σχήμα, την πυκνότητα, την τοξικότητα αλλά και την ικανότητα συμμετοχής σε αντιδράσεις. Έτσι προκύπτουν τα λεπτόκοκκα αιωρούμενα σωματίδια (PM 2.5) με βάση την αεροδυναμική τους διάμετρο (διάμετρος σφαίρας με πυκνότητα 1 g/ml η οποία καθιζάνει με τον ίδιο ρυθμό με το υπό εξέταση σωματίδιο σε ακίνητο αέριο) Πηγή: Σημειώσεις: Τεχνολογίες Βιομηχανικής Αντιρρύπανσης –Ανδρίτσος Ν. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας 2017. Αξίζει να σημειωθεί πως υπάρχουν και τα νανοσωματίδια ($d < 50\text{nm}$), τα σωματίδια Aitken ($d < 0.1\mu\text{m}$) και τέλος τα χονδροειδή με $d > 2.5\mu\text{m}$. Επίσης ταξινομούνται με βάση τη συμπεριφορά στο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου. Τα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη των 100 μικρών χαρακτηρίζονται ως εσπνεύσιμα, τα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη των 10 μικρών ως θωρακικό κλάσμα και τα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 4 μικρά ως αναπνεύσιμα. Μια ακόμη κατηγοριοποίηση προκύπτει από τον σχηματισμό τους ώστε να προκύπτουν τα αερολύματα συμπύκνωσης (σχηματίζονται από συμπύκνωση ατμών ή αντιδράσεις αερίων) και τα αερολύματα διασποράς (σχηματίζονται από θραύση στερεών ή διασπορά σκόνης). Τέλος με βάση τη φυσική κατάσταση προκύπτουν στερεά αερολύματα όπως καπνός, σκόνη, αιθάλη, τέφρα και υγρά αερολύματα όπως ομίχλη και εκνεφώματα. Αξίζει να αναφερθεί πως η συγκέντρωση σωματιδίων μετράται ως ο αριθμός σωματιδίων προς τη μονάδα του μετρούμενου όγκου, όμως έχει επικρατήσει η μονάδα μέτρησης μάζας προς όγκο και συγκεκριμένα μικρογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο.

1.4.1) Παραμονή σωματιδίων στην ατμόσφαιρα και απομάκρυνση

Με την είσοδο των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα υπάρχει ένας συγκεκριμένος χρόνος παραμονής που εξαρτάται από την ταχύτητα καθίζησης. Η ταχύτητα αυτή περιγράφεται από τον νόμο του Stokes με τον εξής τύπο: Πηγή: Μηχανική ρευστών “Streete Wylie Bedford” και Έλεγχος αέριας ρύπανσης “David Cooper C. Alley F.C”..

Αιωρούμενα Σωματίδια(Particulate Matter)

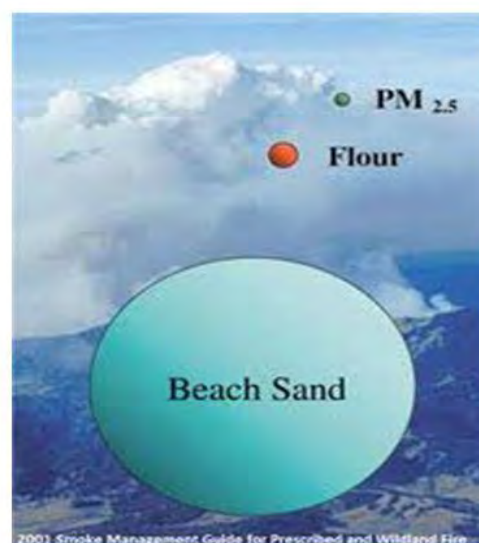
PM10: αεροδυναμική
διάμετρος < 10 μm

PM2,5: αεροδυναμική
διάμετρος < 2,5 μm

Ultrafine PM: αεροδυναμική
διάμετρος < 0.1 μm

Coarse PM: αεροδυναμική διάμετρος
2.5-10 μm

Ολικά αιωρούμενα σωματίδια(TSP):
Όλα τα σωματίδια έως 45 μm



$$V_{ts} = \frac{PpDp^2g}{18\mu}$$

Εικόνα 5 Κατηγορίες σωματιδίων

Όπου:

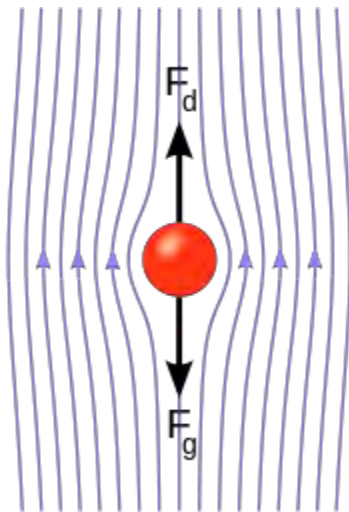
V_{ts} : η τελική ταχύτητα πτώσης των σωματιδίων σε cm/sec

g : η επιτάχυνση της βαρύτητας

Pp : η πυκνότητα του σωματιδίου σε g/cm^3

D_p : η ακτίνα σωματιδίου σε μm

μ : ιξώδες του μέσου καθίζησης



Εικόνα 6 καθίζηση σφαίρας

Παράδειγμα Νόμου Stokes:

Έστω σωματίδια με τις παρακάτω διαμέτρους που εναποτίθενται σε ένα μέσο. Πόσο χρόνο θα πάρει να αποτεθούν σε βάθος 1 μέτρου?

- 5.0×10^{-2} mm (fine sand)
- 5.0×10^{-3} mm (silt)
- 5.0×10^{-4} mm (clay)

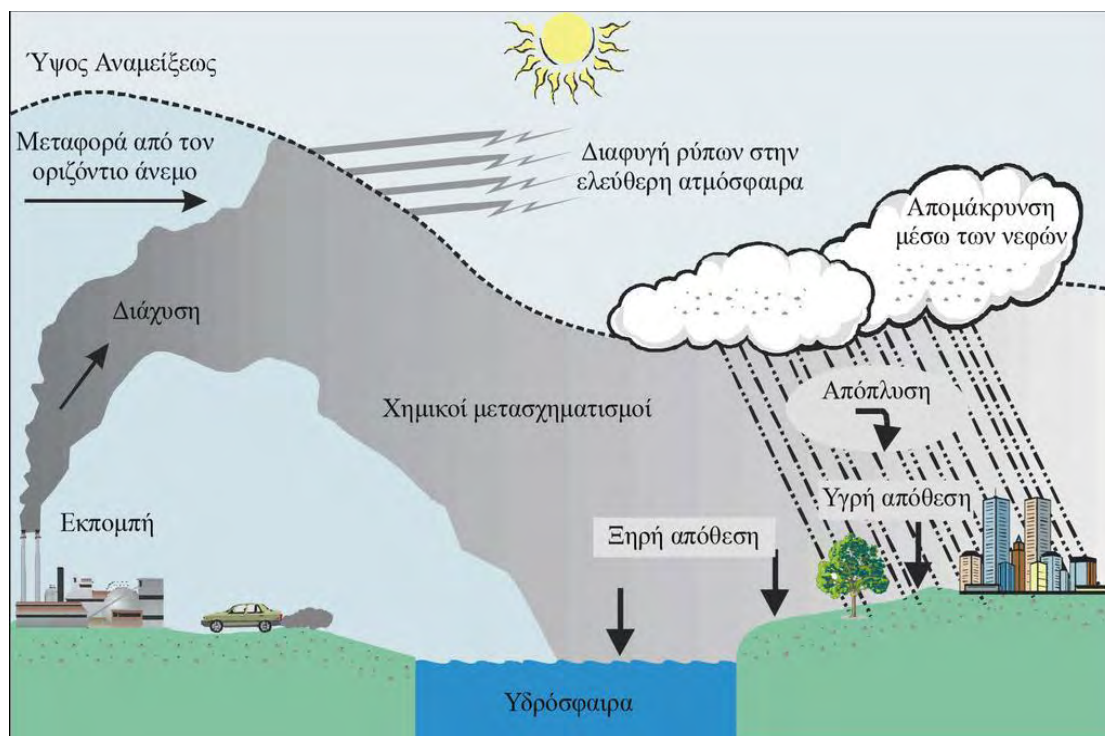
$$u = \frac{d^2 g (\rho_s - \rho_f)}{18 \eta}$$

$$\eta = 1.0 \times 10^{-3} \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

$$\rho_s = 2650 \text{ kg m}^{-3}$$

Εικόνα 7 Παράδειγμα Νόμος Stokes

Γίνεται εύκολα κατανοητό πως η ταχύτητα είναι ανάλογη της διαμέτρου των σωματιδίων και κατ' επέκταση ο χρόνος παραμονής αντιστρόφως ανάλογος της διαμέτρου. Συγκεκριμένα ο χρόνος παραμονής σωματιδίων με διάμετρο της τάξης των 20μm είναι μερικές ώρες, των σωματιδίων με διάμετρο 2 έως 3 μm είναι 2-4 ημέρες και τέλος τα σωματίδια με διάμετρο 0.1 έως 1μm έχουνε μεγάλους χρόνους παραμονής και διατηρούνται στην ατμόσφαιρα. Για να απομακρυνθούνε αυτά τα σωματίδια υπάρχουν 2 φυσικοί τρόποι. Αυτοί είναι η ξηρή και η υγρή απόθεση. Η ξηρή απόθεση συμβαίνει μέσω της βαρυτικής καθίζησης των σωματιδίων με την πάροδο του χρόνου και μέσω των ατμοσφαιρικών συμβάντων που αναταράσσουν την ατμόσφαιρα. Η υγρή απόθεση επιτυγχάνεται μέσω διεργασιών που συμβαίνουν είτε μέσα είτε έξω από τα σύννεφα. Όταν τα σωματίδια είναι μέσα στα σύννεφα τελείται η λεγόμενη βροχόπλυση με αυτά να παραμένουν στο εσωτερικό των σταγονιδίων της βροχής. Έξω από τα σύννεφα τελείται η απόπλυση με τα σωματίδια να απομακρύνονται μέσω των υδατικών κατακρημνίσεων.



Εικόνα 8 Απόθεση σωματιδίων

1.5) Πηγές παραγωγής

Όπως και οι αέριοι ρύποι έτσι και τα σωματίδια χωρίζονται σε πρωτογενή και δευτερογενή. Τα πρωτογενή βρίσκονται στην ατμόσφαιρα από μηχανικές και φυσικές διαδικασίες ενώ τα δευτερογενή προκύπτουν από χημικές διεργασίες. Έτσι όσον αφορά τις φυσικές πηγές είναι :

- Μεταφορά σταγονιδίων από θάλασσες και ωκεανούς. Είναι η πηγή με τη μεγαλύτερη συνεισφορά στη συνολική μάζα των σωματιδίων και επιτυγχάνεται μέσω ανέμων και κυμάτων.
- Σκόνη: Σε ερήμους και αποψιλωμένες περιοχές οι άνεμοι παρασύρουν σωματίδια , μέταλλα και οργανικές ουσίες οι οποίες εναποτίθενται στην ατμόσφαιρα.
- Ηφαιστειακές εκρήξεις: Με τις εκρήξεις ηφαιστειών απελευθερώνονται σωματίδια πλούσια σε ορυκτά αλλά και μεγάλες ποσότητες στάχτης οργανικής ύλης.
- Καύσεις : Είτε με τη καύση βιομάζας είτε γενικά με την ατελή καύση υλικών παράγονται αιωρούμενα σωματίδια με θειικές και νιτρικές ρίζες αλλά και οργανική ύλη.

Παράλληλα με τις φυσικές πηγές έχουμε την επίδραση των ανθρωπογενών ή δευτερογενών πηγών. Εδώ συγκαταλέγεται η καύση ορυκτών καυσίμων για μεταφορές, θέρμανση ή παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, δραστηριότητες οι οποίες παράγουν σωματίδια με τη μορφή στάχτης και καπνού με θεικές και νιτρικές ρίζες. Σημαντική επίδραση επίσης έχει η επανακυκλοφορία σκόνης από καθημερινές ανθρώπινες δραστηριότητες στις πόλεις.

1.6) Επιπτώσεις στην υγεία και συνέπειες

Το 92% του παγκόσμιου πληθυσμού ζει σε περιοχές στις οποίες οι συνθήκες της ατμόσφαιρας είναι εκτός των προδιαγραφών που έχουν τεθεί από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας. Οι τυπικές συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων σε μια απομακρυσμένη περιοχή είναι της τάξης των 100-200 σωματιδίων cm^{-3} , ενώ σε αστικές ή και περιβαλλοντικά επιβαρυνμένες περιοχές υπερβαίνουν τα 6000 σωματίδια cm^{-3} . Λόγω της επικινδυνότητας των αιωρούμενων σωματιδίων για τον άνθρωπο η Ευρωπαϊκή Ένωση και άλλες οργανώσεις και θεσμοί θέσπισαν μια σειρά από μέτρα τα οποία πρέπει να τηρούνται ώστε να προστατεύεται η ανθρώπινη υγεία. (Πηγή: Εταιρεία TSI Inc.). Τα όρια που έχουν προσδιορισθεί από τον ΠΟΥ για τα μικροσωματίδια είναι τα 10 γραμμάρια ανά κυβικό μέτρο αέρα (σε ετήσιο μέσο όρο). Πρέπει να τονιστεί πως οι πλούσιες χώρες πάνε καλύτερα σε σχέση με τα φτωχά κράτη στην ποιότητα του αέρα με μόνη παραφρονία την Ευρώπη όπου χρησιμοποιείται περισσότερο πετρέλαιο στις μεταφορές.

Συγκεκριμένα τα όρια της Ε.Ε:

PM2.5 :

- Ο ετήσιος μέσος όρος να είναι $\leq 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Η Οδηγία εφαρμόστηκε την 11.06.2008

- Στόχος είναι ο ετήσιος μέσος όρος να είναι $\leq 25 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Απώτερος στόχος είναι η περαιτέρω μείωση της συγκέντρωσης των αερολυμάτων σε τιμές $\leq 12-17 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

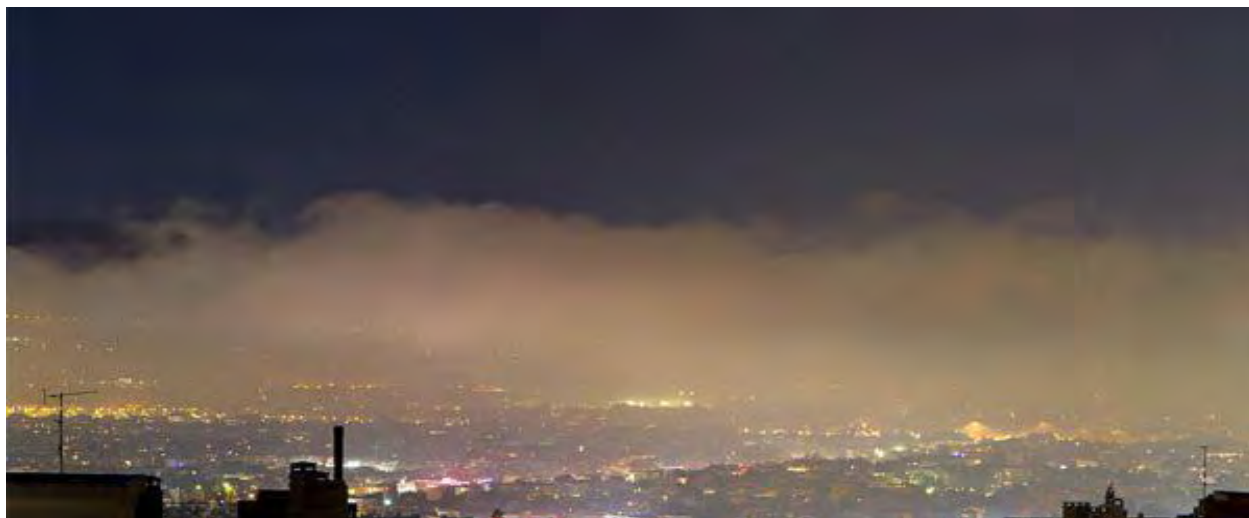
Η Οδηγία έχει σαν στόχο εφαρμογής την 01.01.2020. Αξίζει να σημειωθεί πως στον Βόλο την Τετάρτη 23 Νοεμβρίου 2017 η συγκέντρωση έφτασε σε 154 μικρογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο ξεπερνώντας κατά πολύ τα επιτρεπόμενα όρια και προκαλώντας ανησυχία. (Πηγή: Εφημερίδα Ταχυδρόμος Βόλου)

Εκτός από τα προφανή προβλήματα που προκύπτουν από την περιορισμένη ορατότητα και τη συμμετοχή των σωματιδίων σε φαινόμενα όπως η όξινη βροχή (διάβρωση κτισμάτων), η επίπτωσή τους είναι σημαντική και στην άμεση υγεία των ανθρώπων. Με την απόθεση τους στο αναπνευστικό σύστημα έχουμε επιβράδυνση αναπνοής και εμφάνιση έντονου βήχα, άσθματος, βρογχίτιδας Χ.Α.Π (χρόνια αποφρακτική

πνευμονοπάθεια) , και σε αρκετές περιπτώσεις εμφάνιση αμιαντώσεων και καρκίνων. Οι συνέπειες των σωματιδίων δεν περιορίζονται μόνο στα αναπνευστικά προβλήματα αλλά συμμετέχουν και σε πολλά καρδιαγγειακά νοσήματα. Η εναπόθεση τους στα αγγεία προκαλεί στενώσεις , με αποτέλεσμα να προκαλούνται εμφράγματα. Δυστυχώς οι ρύποι δεν είναι τοξικοί μόνο σε μεγάλες ποσότητες αλλά λειτουργούν και σωρευτικά σε μικρές ποσότητες κυρίως σε ευπαθείς ομάδες δημιουργώντας εξασθένηση του ανοσοποιητικού, εμφάνιση πρόωρων θανάτων και σε ακραίες περιπτώσεις αλλαγές στο DNA. Υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες παρατηρούνται αλλαγές στο DNA ανθρώπων που ζούνε στην ύπαιθρο σε αντίθεση με ανθρώπους της πόλης. (Πηγή: Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας).

1.6.1) Επιπτώσεις στο περιβάλλον

Όσον αφορά το περιβάλλον και τα φυτά, τα αιωρούμενα σωματίδια μπορούνε να εισέλθουνε σε αυτά με τον ίδιο μηχανισμό όπως και στον άνθρωπο επηρεάζοντας την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία και κατ' επέκταση την φωτοσύνθεση. Επίσης εναποτίθενται στο έδαφος αλλοιώνοντας τη χημική σύσταση των θρεπτικών ουσιών που προσλαμβάνουν τα φυτά. Αποτέλεσμα αυτού είναι η νέκρωση φυλλωμάτων, μειωμένη ανάπτυξη και συσσώρευση τοξικών ουσιών. Επιπλέον η ρίψη σωματιδίων μπορεί να αλλοιώσει τη σύσταση του εδάφους ή να μετατρέψει λίμνες και ποτάμια σε αρκετά όξινα περιβάλλοντα ζημιώνοντας τους ζώντες οργανισμούς αλλά και καταστρέφοντας τις σχέσεις ισορροπίας μεταξύ των οικοσυστημάτων. Τα αιωρούμενα σωματίδια μπορούνε να περιορίσουνε σημαντικά την ορατότητα καθώς λόγω του σχήματος και των μεγεθών τους ανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία και τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος (Cess R. Etal., 1997; Lohmann U. etal., 1997; Twomey S. 1974). Τέλος μεγάλη είναι η επίδραση αιθάλης και όξινων βροχών σε μνημεία αρχαιολογικούς χώρους και κτίσματα.



Εικόνα 9 Αιθαλομίχλη Βόλος



Εικόνα 10 Καταστροφές κτηρίων από την αέρια ρύπανση

2) ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΛΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ, ΣΥΝΔΕΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ

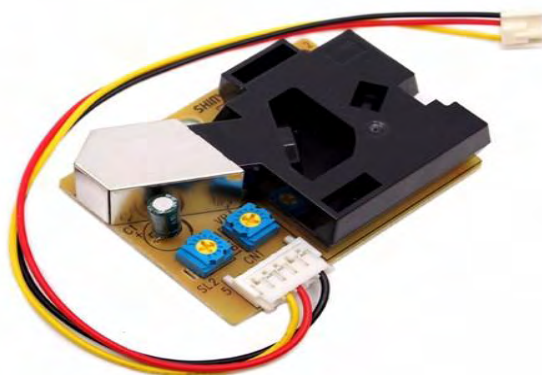
Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται όλοι οι αισθητήρες καθώς και τα περιφερειακά που αναζητήθηκαν για τη δημιουργία δύο συσκευών μέτρησης σωματιδίων PM 2.5, θερμοκρασίας και υγρασίας με ακρίβεια.

2.1) Αναζήτηση και επιλογή μελών συσκευής και περιφερειακών

Με σκοπό τη δημιουργία συσκευών μέτρησης σωματιδίων PM2.5 αναζητήθηκαν αισθητήρες μέτρησης σωματιδίων, μικροεπεξεργαστές κώδικες και φυσικά τα απαραίτητα συνδεσμολογικά στοιχεία. Παράλληλα μελετήθηκαν και κάποιες έτοιμες συσκευές του εμπορίου. Οι πιθανοί μικροεπεξεργαστές στους οποίους μπορούσαν να συνδεθούν αισθητήρες μέτρησης ποιότητας του αέρα ήταν arduinoκλάσης YUN και Raspberry-Pi. Οι αισθητήρες και οι συσκευές παρατίθενται παρακάτω με τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους. Εδώ πρέπει να σημειωθεί πως για τη μέτρηση σωματιδίων τα πράγματα είναι λίγο πιο περίπλοκα από ότι σε άλλους ρύπους λόγω της ιδιομορφίας και της ποικιλίας των PMx. Έτσι υπάρχουν 2 βασικές κατηγορίες μέτρησης, αυτές που χρησιμοποιούν μια μέθοδο σήμανσης και έπειτα μετρούν τη συγκέντρωση από κάποιο φίλτρο και αυτές που μετρούν σε αληθινό χρόνο. Στην 1^η κατηγορία ανήκουν οι μέθοδοι κωνικών στοιχείων ταλάντωσης, η μέθοδος β-ακτινοβολίας και η μέθοδος μαύρου καπνού. Όπως γίνεται κατανοητό αυτές οι μέθοδοι λειτουργούν με ροή αέρα όπου τα σωματίδια έρχονται σε επαφή με β-ακτινοβολία ή απλά περνούν από τον θάλαμο και μετρούν τη συγκέντρωση από ένα φίλτρο στο οποίο προσκρούουν. Η πιο διαδεδομένη είναι η μέθοδος β-ακτινοβολίας. Στην 2^η κατηγορία ανήκουν οι μέθοδοι της σκέδασης φωτός, της απευθείας απεικόνισης και της επισκόπισης φωτός. Η μέθοδος σκέδασης φωτός είναι από τις πιο ακριβείς και διαδεδομένες σε χαμηλό κόστος. Η λειτουργία της βασίζεται σε ροή αέρα μέσω ενός θαλάμου όπου συνυπάρχει μια ισχυρή ακτίνα laser. Τα σωματίδια σκεδάζουν την ακτίνα η οποία προσκρούει στα τοιχώματα υπό γωνία και έτσι μετράται η συγκέντρωση αλλά και το μέγεθος σωματιδίων. Με σαφείς τις μεθόδους μέτρησης, παρακάτω ακολουθούν οι συσκευές και οι αισθητήρες με όλα τα χαρακτηριστικά τους.

GrovedustseedsensorPPD42NS

Ο παρακάτω αισθητήρας είναι της εταιρείας Grove-seed. Οι διαστάσεις του είναι 59x45x22mm, λειτουργεί σε ρεύμα 90 μιλιαμπέρ (mA) και τάση 4.75 ως 5.75 Βόλτ (V). Σε συνθήκες θερμοκρασίας από 0 ως 45 βαθμούς Κελσίου (°C) και υγρασίας 0 ως 95 % ανιχνεύει σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη του 1 μικρόμετρου και έχει εύρος ανίχνευσης 0 ως 8000 σωματίδια ανά λίτρο. Πρέπει να σημειωθεί πως οι μετρήσεις που θα λάβουμε με αυτόν τον αισθητήρα είναι σε σωματίδια ανά 0.01 κυβικό πόδι (pcs/0.01cf) και η αντιστοίχιση των αποτελεσμάτων σε μικρογραμμάρια ανά κυβικό πόδι γίνεται με τη χρήση ενός φύλλου excel από την εταιρεία Dylis όπου είναι απαραίτητος ο συνυπολογισμός υγρασίας και θερμοκρασίας.



Εικόνα 11 Αισθητήρας PM 2.5 Groveseed

HK-A5 Laser PM 2.5V1.0

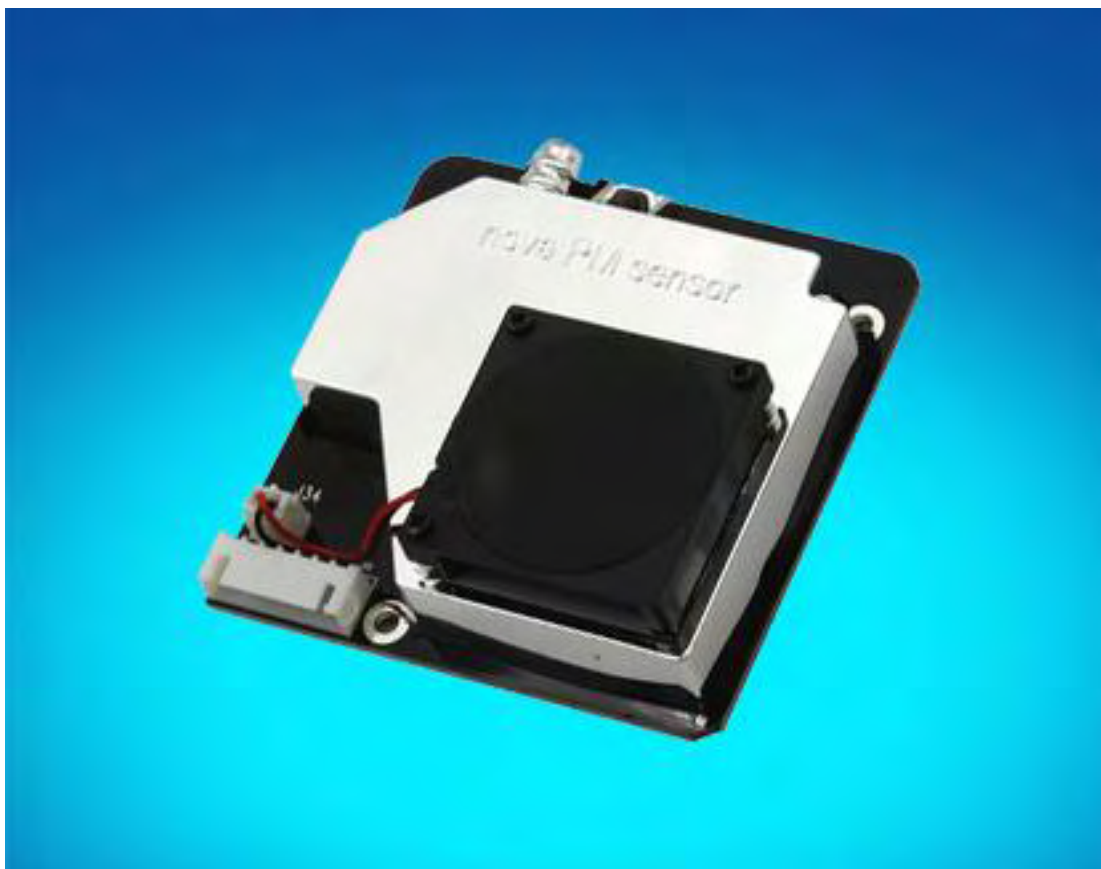
Ο αισθητήρας «HK-A5 LaserPM 2.5V1.0» είναι ένα μεμονωμένο εξάρτημα μέτρησης σωματιδίων από 0.3 έως 10 μm. Δύναται να τοποθετηθεί είτε σε εσωτερικό, είτε σε εξωτερικό χώρο. Η μορφή στην οποία λαμβάνονται τα δεδομένα είναι στην ευχέρεια του χειριστή. Αυτά μπορούν να παρουσιάζονται σε μικρή οθόνη (που δεν περιλαμβάνεται στην συσκευασία) ή σε κάποιο «cloud». Όσο αφορά στα χαρακτηριστικά της, δεν αντιμετωπίζει πρόβλημα με τις συνθήκες υγρασίας ενώ η θερμοκρασία την επηρεάζει στις ακραίες τιμές χαμηλότερα από -20°C και υψηλότερα από 50°C. Απαιτεί ρεύμα τάσης 4.95 ~ 5.05V και μέγιστη ένταση ηλεκτρικού ρεύματος 120mA. Τέλος, κατασκευάζεται και εμπορεύεται από την Μαλαισιανής προέλευσης εταιρία «DFRobot».



Εικόνα 12 Αισθητήρας HK Laser

Sensirionsds 011

Ο αισθητήρας «Sensirionsds 011» αποτελεί ένα μεμονωμένο εξάρτημα για μέτρηση αιωρούμενων σωματιδίων PM2.5 και PM10. Δεν επιδέχεται περιορισμών στο που θα τοποθετηθεί. Για τις μετρήσεις χρησιμοποιείται η μέθοδος της σκέδασης φωτός («Laser»). Για την λειτουργία του απαιτείται τάση 5V. Σε αντίθεση με άλλους σένσορας επηρεάζεται από τις εξωτερικές συνθήκες. Για την αξιοπιστία των μετρήσεων η υγρασία δεν πρέπει να υπερβαίνει το 70% ενώ η θερμοκρασία πρέπει να βρίσκεται μεταξύ των -10°C και $+50^{\circ}\text{C}$. Στην υποθετική περίπτωση όπου ο αισθητήρας μετρά υπό συνθήκες $25^{\circ}\text{C}, 50\% \text{RH}$ παρατηρείται μια μέγιστη απόκλιση της τάξης του $\pm 15\%$. Σε περίπτωση που το 15% της μέτρησης είναι μικρότερο από $10\mu\text{g}/\text{m}^3$, η απόκλιση πρέπει να θεωρείται $\pm 10\mu\text{g}/\text{m}^3$. Καταλήγοντας, χώρα προέλευσης είναι η Κίνα όπου σχεδιάστηκε και συναρμολογείται από την NovaFitnessCo.,Ltd..



Εικόνα 13 Αισθητήρας Sensirionsds011

Sensirionsds 018

Ο «Sensirionsds 018» είναι ένας αισθητήρας που μετρά αιωρούμενα σωματίδια με διάμετρο 0.3-10 μm . Όπως και οι περισσότεροι από τους αισθητήρες του εμπορίου, χρησιμοποιεί την μέθοδο της σκέδασης φωτός για τον υπολογισμό των ποσοτήτων και τοποθετείται τόσο σε εσωτερικούς όσο και σε εξωτερικούς χώρους. Παράλληλα δεν μένει ανεπηρέαστος από τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες. Έτσι η αξιοπιστία των μετρήσεων επηρεάζεται από την υγρασία η οποία δεν πρέπει να υπερβαίνει το 70% ενώ η θερμοκρασία πρέπει να βρίσκεται μεταξύ των -10°C και $+50^{\circ}\text{C}$. Στα αποτελέσματα που λαμβάνουμε είναι απαραίτητο να συνυπολογίζουμε ένα σφάλμα που στις ιδανικές συνθήκες (25°C , 50%RH) είναι της τάξης του $\pm 15\%$ με ελάχιστη τιμή τα $\pm 10\mu\text{g}/\text{m}^3$. Κατασκευάστρια εταιρία είναι η Κινεζική NovaFitnessCo.,Ltd..



Εικόνα 14 Αισθητήρας Sensirionsds018

Sensirionsds 019

Ο «Sensirionsds 019» είναι ένας αισθητήρας τελευταίας γενιάς. Έχει την δυνατότητα να κάνει μετρήσεις για PM2.5, PM10 και PM100. Αποτελεί ιδανική επιλογή για περιβάλλον με αρκετή σκόνη μιας και μπορεί να εντοπίσει ποσότητες έως 1999.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα PM2.5, έως 2999.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα PM10 και έως 29999 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα PM100. Παράλληλα, μπορεί να δουλέψει σε συνθήκες υγρασίας 0 – 98 % RH και θερμοκρασίας από -20°C έως 60°C. Στην περίπτωση που χρησιμοποιήσουμε την συγκεκριμένη συσκευή είναι απαραίτητο να συνυπολογίσουμε ένα σφάλμα που σχετίζεται με την υγρασία και την διάμετρο των σωματιδίων. Πιο συγκεκριμένα για υγρασία της τάξης του 70% έχουμε τα εξής σφάλματα, για PM2.5 $\pm 10\%$ για PM10 $\pm 15\%$ και για PM100 $\pm 18\%$, αν η υγρασία κυμαίνεται στο 98% έχουμε για PM2.5 $\pm 8\%$, για PM10 $\pm 10\%$ και για PM100 $\pm 30\%$. Υπεύθυνη για την σχεδίαση, την κατασκευή και την εμπορία είναι η Κινεζική εταιρία NovaFitnessCo.,Ltd..



Εικόνα 15 Αισθητήρας Sensirionsds019

AlphasenseOPC-R1

Πρόκειται για αισθητήρα της εταιρείας Alphasense για τη μέτρηση σωματιδίων PM1, 2.5, 10 με χρήση λογισμικού και μικροεπεξεργαστή με τη μέθοδο σκέδασης φωτός(Laser) σε συνθήκες αστικού περιβάλλοντος. Η ροή μετράται σε λίτρα ανά λεπτό (L/min) και συγκεκριμένα η ροή εισέρχεται με 1.6 λίτρα ανά λεπτό με παροχή ρεύματος 95μλιαμπέρ (mA) και τάση 4.8 ως 5 Βόλτ(V). Λειτουργεί σε θερμοκρασίες μεταξύ -10 και 50 βαθμών Κελσίου (°C) και σε συνθήκες υγρασίας 0 ως 95 % ενώ μετράει σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο από 0.4 ως 12.4 μικρόμετρα(μm) με σφάλμα 0.2% σε 10.000.000 σωματίδια ανά λίτρο.



Εικόνα 16 Αισθητήρας Alphasense OPC-R1

Alphasense OPC-N3

Στο ίδιο μήκος κύματος ο αισθητήρας OPC-N3 λειτουργεί για μέτρηση σωματιδίων PM_{1,2.5,10} με τη μέθοδο σκέδασης φωτός. Μετρά σωματίδια διαμέτρου 0.35 ως 40 μικρόμετρα(μm) με ροή 5.5 λίτρων ανά λεπτό και σφάλμα 0.84%. Λειτουργεί με παροχή ρεύματος 180 μιλιμπέρ (mA) και τάσης από 4.8 ως 5.2 Βόλτ(V) , σε θερμοκρασίες -10 ως 50 βαθμούς Κελσίου (°C) και υγρασίας 0 ως 95%.



Εικόνα 17 Αισθητήρας Alphasense OPC-N3

Alphasense OPC-N2

Η αρχική έκδοση των αισθητήρων της Alphasense είναι ο αισθητήρας OPC-N2. Μετράει σωματίδια διαμέτρου 0.38 ως 17 με σφάλμα 0.84% με ροή 1.2 λίτρα ανά λεπτό σε 175 μιλιμπέρ (mA) και τάση 4.8 ως 5.2 Βόλτ (V). Οι συνθήκες θερμοκρασίας κυμαίνονται από -1 ως 50 βαθμού Κελσίου (°C) και οι υγρασίας από 0 ως 99%.



Εικόνα 18 Αισθητήρας Alphasense OPC-N2

Air quality monitor (PM 2.5, Formaldehyde, Temperature & Humidity sensor) (SEN0233)

Πρόκειται για αισθητήρα της εταιρείας DFRobot ο οποίος μετρά εκτός από PM2.5 φορμαλδεΐδη θερμοκρασία και υγρασία. Λειτουργεί με τη μέθοδο σκέδασης φωτός υπολογίζοντας τη συγκέντρωση σωματιδίων από τη γωνία πρόσκρουσης στα τοιχώματα μετά τη σκέδαση. Είναι εργαλείο με πολλές χρήσεις και εφαρμογές σε δραστηριότητες περιβαλλοντικού χαρακτήρα με ακρίβεια και φιλικό προς τον χρήστη. Η ελάχιστη διάμετρος σωματιδίων που εντοπίζει είναι 0.3 μικρόμετρα σε αληθινό χρόνο. Οι διαστάσεις του είναι 50x38x21 mm ενώ λειτουργεί σε τάση 5 Βόλτ (V) ρεύμα 100 μιλιαμπέρ (mA). Μετρά σωματίδια με 50% επιτυχία για διάμετρο 0.3 μικρόμετρα και 98% επιτυχία για διάμετρο μεγαλύτερη από 0.5 μm. Το εύρος λάθους του είναι +- 10μικρογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο (μg/m³). Όσον αφορά τη θερμοκρασία λειτουργεί σε εύρος -10 ως 60 βαθμούς Κελσίου (°C) με ακρίβεια 0.1 (°C) και εύρος λάθους +- 0,5(°C). Σχετικά με την υγρασία λειτουργεί σε εύρος 0 ως 99% με ακρίβεια 0.1% και μέγιστο λάθος +- 2%. Τέλος για τις μετρήσεις φορμαλδεΐδης έχει ακρίβεια 0.001 μιλιγραμμάρια ανά κυβικό μέτρο (mg/m³) και εύρος λάθους μικρότερο από +- 5%.



Εικόνα 19 Αισθητήρας SEN0233

Gravity: Laser PM2.5 Air quality sensor for Arduino (SEN0177)

Ο παρακάτω αισθητήρας είναι της εταιρείας DFRobot για μέτρηση σωματιδίων PM 2.5 με διάμετρο από 0.3 ως 10 μικρόμετρα (μm) σε διάφορες εφαρμογές περιβαλλοντικού χαρακτήρα. Λειτουργεί με τη μέθοδο σκέδασης φωτός σε παροχές ρεύματος ως 120 μιλιμπέρ (mA) και 4.95 ως 5.05 Βόλτ (V) , σε θερμοκρασίες -20 ως 50 βαθμούς Κελσίου ($^{\circ}\text{C}$) από 0 ως 99% υγρασία. Μετράει σε εύρος 0 ως 1000 μιλιγκράμ ανά κυβικό μέτρο (mg/m^3) με χρονικό περιθώριο 10 δευτερόλεπτα (s) ενώ οι διαστάσεις του είναι 46*35*20mm.



Εικόνα 20 Αισθητήρας Gravity

Έτοιμες συσκευές

Sensirionsds 607

Η «Sensirionsds 607» είναι μια ολοκληρωμένη συσκευή μέτρησης συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων. Πιο συγκεκριμένα είναι σε θέση να υπολογίσει την συγκέντρωση των PM2.5 και PM10. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στην LCD οθόνη που διαθέτει η συσκευή και τα αποθηκεύει για χρονικό διάστημα έως 24 ώρες. Σε συνεχή λειτουργία μπορεί να βρίσκεται για 30 το πολύ ώρες μιας και διαθέτει μπαταρία για την τροφοδοσία της. Είναι ιδανικό για εσωτερικούς χώρους. Κατά τις μετρήσεις του η θερμοκρασία περιβάλλοντος πρέπει να είναι μεταξύ 5 και 45 °C. Παράλληλα το μέγιστο σφάλμα σε κανονικές συνθήκες (25°C, 50%RH) είναι 20% με μέγιστη τιμή τα $\pm 30\mu\text{g}/\text{m}^3$. Η προέλευση του είναι από την Κίνα και την εταιρία NovaFitness Co.,Ltd..



Εικόνα 21 Συσκευή Sensirionsds 607

DUSTTRAK DRX AEROSOL MONITOR 8533

Η «DUSTTRAK DRX AEROSOL MONITOR 8533» αποτελεί μια ολοκληρωμένη συσκευή μέτρησης και παρακολούθησης αιωρούμενων σωματιδίων από 1 έως και 10 μm. Είναι κατάλληλη για περιβάλλον γραφείου, σκληρούς βιομηχανικούς χώρους εργασίας, χώρους περιβάλλοντος και άλλες εξωτερικές εφαρμογές. Προσφέρει την δυνατότητα παρακολούθησης των στοιχείων που μετρά μέσω ενσωματωμένης οθόνης DustTrak DRX. Επίσης, είναι σε θέση να αποστέλλει τα αποτελέσματα των μετρήσεων σε «Cloud» της εταιρίας ώστε να υπάρχει και η επιλογή της απομακρυσμένης παρακολούθησης. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για την διενέργεια των μετρήσεων είναι μέθοδος «Laser» Η τροφοδοσία ενέργειας γίνεται μέσω μπαταριών. Κατασκευάστρια εταιρία είναι η TSI Inc. με έδρα τις ΗΠΑ.



Εικόνα 22ΣυσκευήDustrak DRX AEROSOL MONITOR 8533

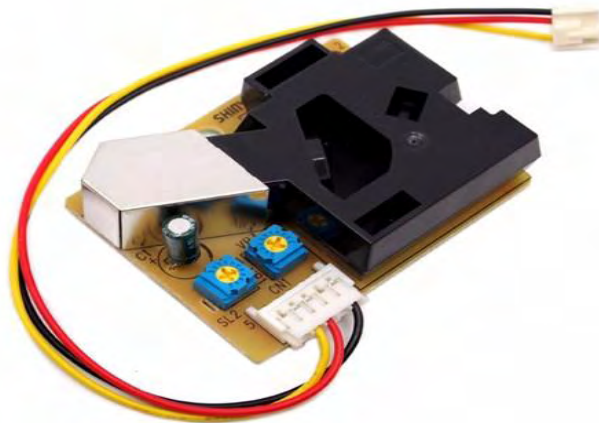
2.2) Μέλη πρώτης συσκευής

Η τελική επιλογή είχε ως αποτέλεσμα την αγορά των επιμέρους κομματιών από την εταιρία Grove-Seed για τη μέτρηση σωματιδίων PM2.5, της ποιότητας του αέρα με κλίμακα, θερμοκρασίας και της υγρασίας ώστε να προκύψουν αποτελέσματα με σχετική ακρίβεια και αξιοπιστία. Επελέγησαν με γνώμονα την τιμή αλλά και την ύπαρξη κώδικα που συνδυάζεται από προϋπάρχουσα εργασία με τίτλο **DIYSENSEYOURCITYWORKSHOP** από την εταιρεία **GRAYAREA**.

Παρακάτω παρατίθενται όλα τα μέρη που αγοράσθηκαν και συναρμολογήθηκαν για την ολοκληρωμένη δημιουργία της συσκευής μας.

- 1) Αισθητήρας για PM2.5 :

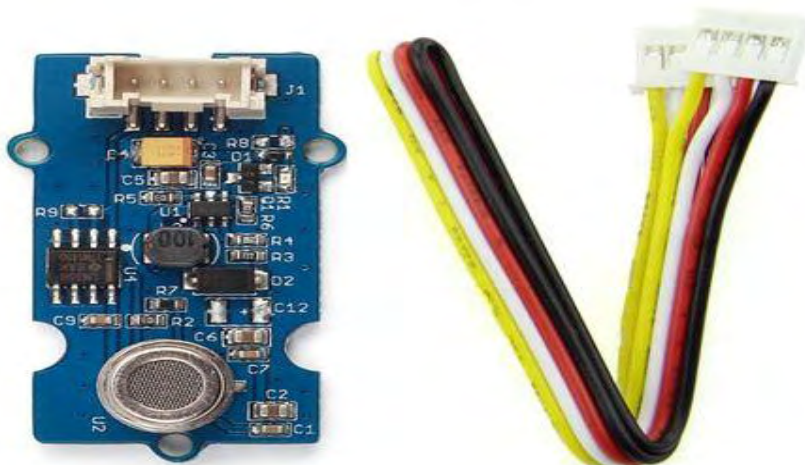
GroveDustsensorPPD42NS



Εικόνα 23 PPD42NS Grove Dust Sensor

2) Αισθητήρας για ποιότητα αέρα ως προς CO₂ και άλλα αέρια.

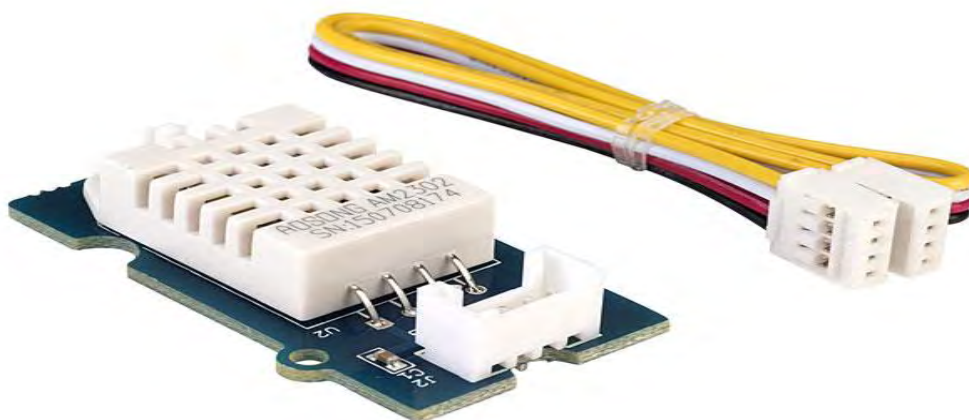
GroveAir-qualitySensor



Εικόνα 24 Αισθητήρας ποιότητας αέρα

3) Αισθητήρας για θερμοκρασία και υγρασία.

Grove Temperature and humidity sensor



Εικόνα 25 Αισθητήρας για θερμοκρασία και υγρασία

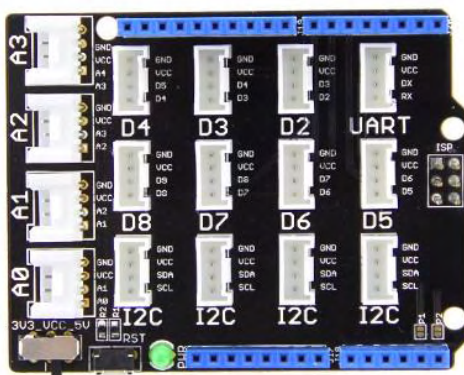
Επιλέξαμε τα περιφερειακά:

- 1) Seeeduinocloud-arduino



Εικόνα 16 SeeeduinoCloud -Arduino YUN

- 2) Grovebaseshield V2



Εικόνα 26 Grovebaseshield V2

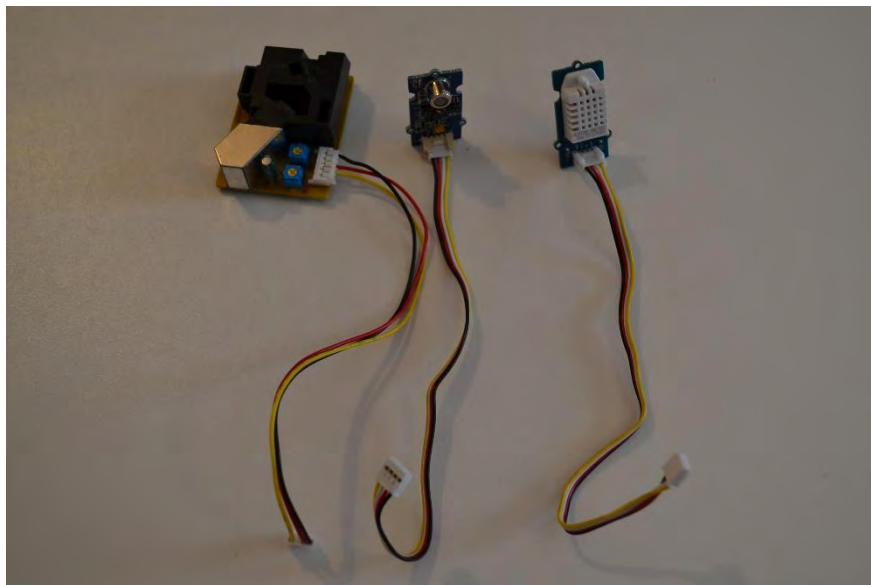
Η επιλογή έγινε λόγω συμβατότητας των παραπάνω αισθητήρων με τον επεξεργαστή seeeduino-arduino ο οποίος περιέχει κεραία WI-FI αλλά και θύρα ethernet για την εξυπηρέτηση των σκοπών μας. Το grovebaseshield επελέγη για την καλύτερη και ασφαλέστερη σύνδεση όλων των εξαρτημάτων κάτι που προτείνεται και από την εταιρεία GroveSeed. Το απαραίτητο λογισμικό είναι το Arduino 1.5.8(αυτό

προτείνεται αλλά είναι συμβατές και οι μεταγενέστερες εκδόσεις). Τέλος έγινε η αγορά καλωδίου Ethernet και micro-usb για ίντερνετ και ρεύμα στα 5V αντίστοιχα.

2.3) Στήσιμο και σύνδεση πρώτης συσκευής

Βήμα 1°

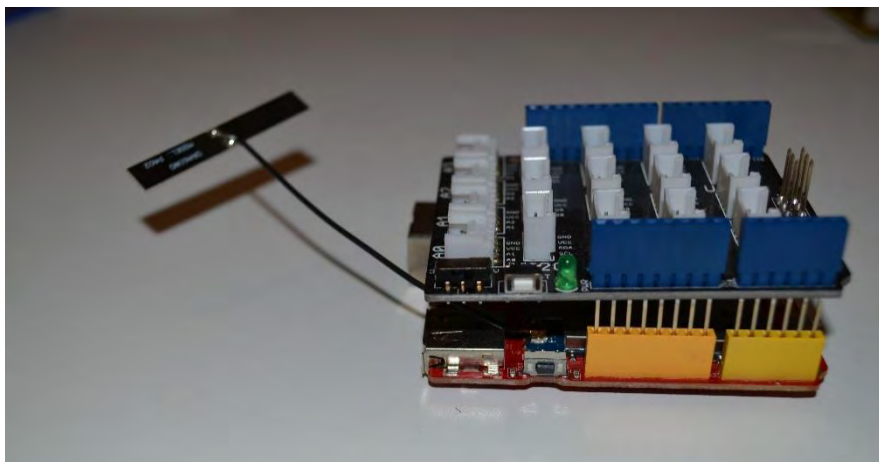
Συνδέουμε τα καλώδια των αισθητήρων, που βρίσκονται στην ίδια συσκευασία, με τους αισθητήρες.



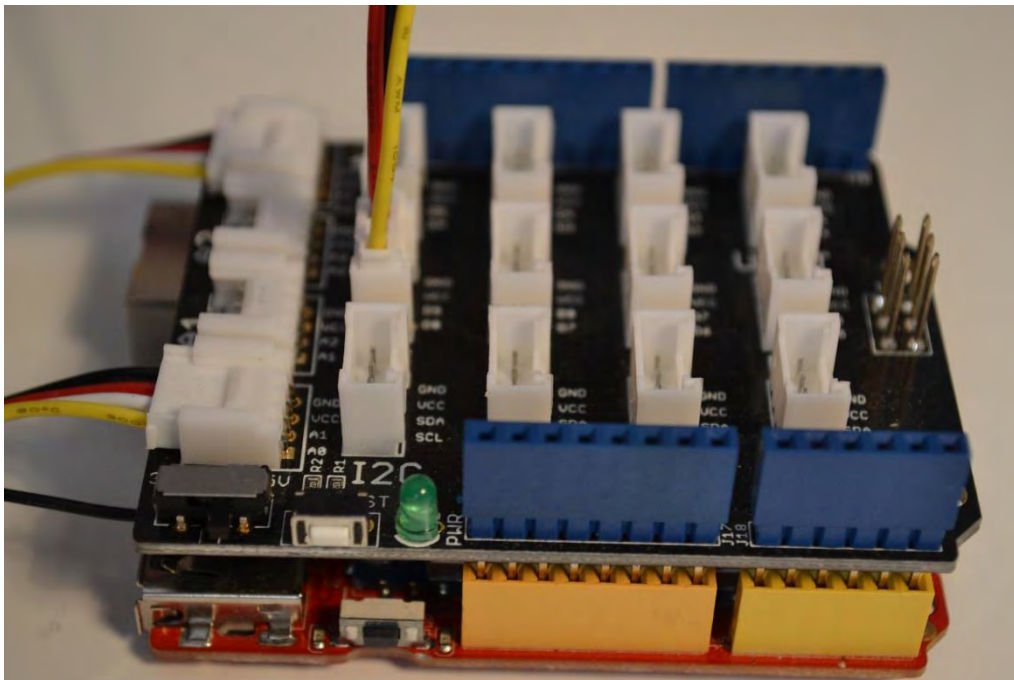
Εικόνα 27 Σύνδεση καλωδίων αισθητήρων

Βήμα 2°

Συνδέουμε τον επεξεργαστή arduino–seeeduinoboard με το grovebaseshield μέσω των ακίδων στις κίτρινες εσοχές.



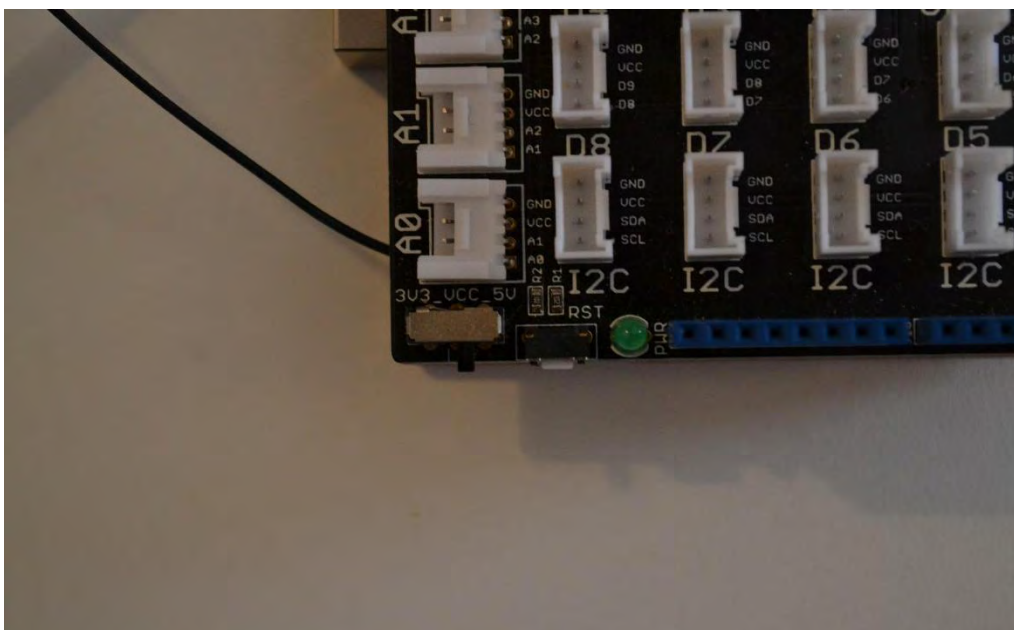
Εικόνα 28 Σύνδεση grove base shield με Arduino board



Εικόνα 29 Σύνδεση Grove base shield με Arduino board

Βήμα 3^ο

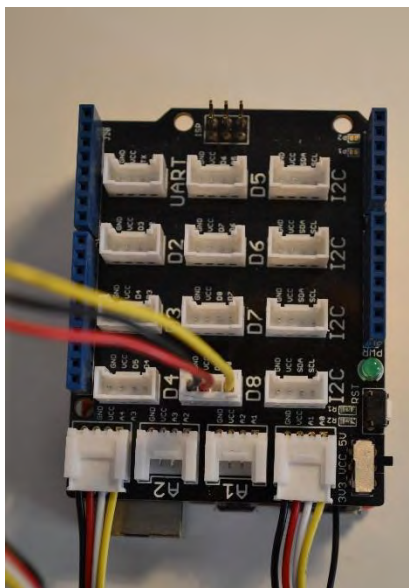
Ρυθμίζουμε την επιλογή ρεύματος στα 5V.



Εικόνα 30 Ρύθμιση ρεύματος στα 5V

Βήμα 4°

Τοποθετούμε τους αισθητήρες με τα καλώδια με απαλές κινήσεις στις ανάλογες θέσεις αναλογικού, ψηφιακού ή I2C τρόπου σύνδεσης. Ο αισθητήρας για PM2.5 συνδέεται στο D8, ο αισθητήρας υγρασίας και θερμοκρασίας στο A0, και ο αισθητήρας ποιότητας αέρα στο A3.



Εικόνα 31 Τοποθέτηση καλωδίων αισθητήρων στις αντίστοιχες θύρες

Βήμα 5°

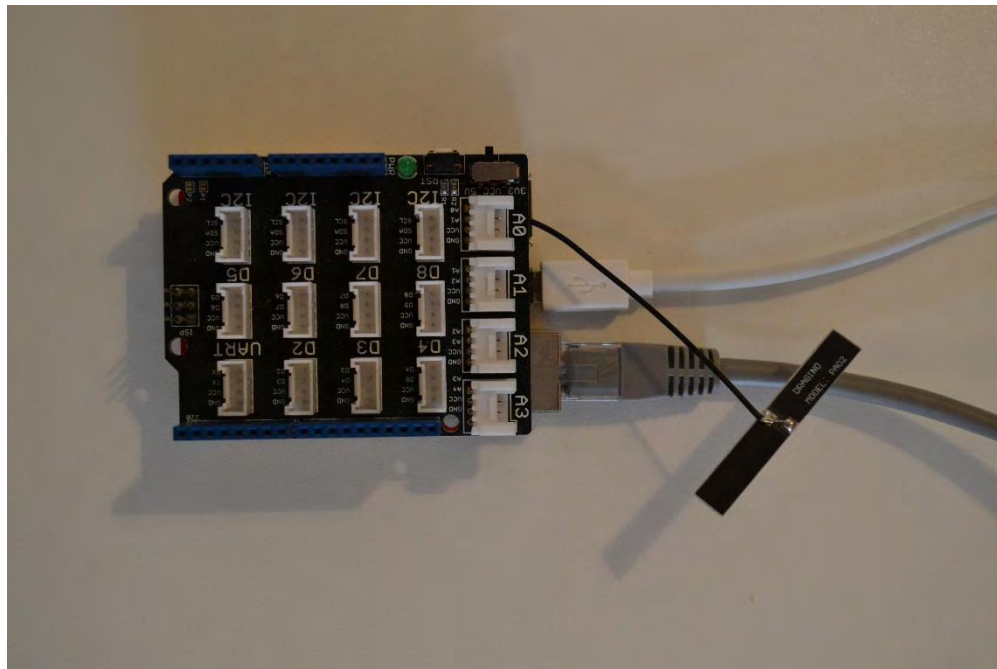
Το σύστημα τοποθετείται σε ένα κουτί για ασφάλεια από εξωτερικούς παράγοντες με τον αισθητήρα σωματιδίων να έχει το ασημένιο στέλεχος του προς τα πάνω.



Εικόνα 32 Αισθητήρας Grovome ασημένιο στέλεχος

Βήμα 6^ο

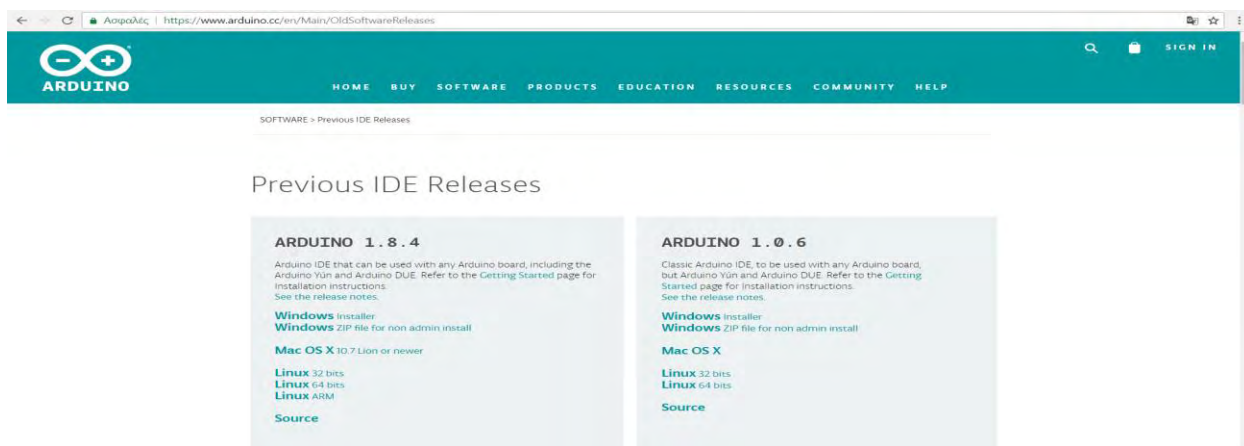
Συνδέουμε τον επεξεργαστή με το καλώδιο Ethernet(router) και micro-usbκαι κατ' επέκταση με τον υπολογιστή μας για να το προγραμματίσουμε.



Εικόνα 33 Σύνδεση καλωδίων

2.4) Προγραμματισμός

Κατεβάζουμε το λογισμικό Arduino 1.5.8 ή νεότερη έκδοση από την σελίδα <https://www.arduino.cc/en/Main/OldSoftwareReleases> και το εγκαθιστούμε.



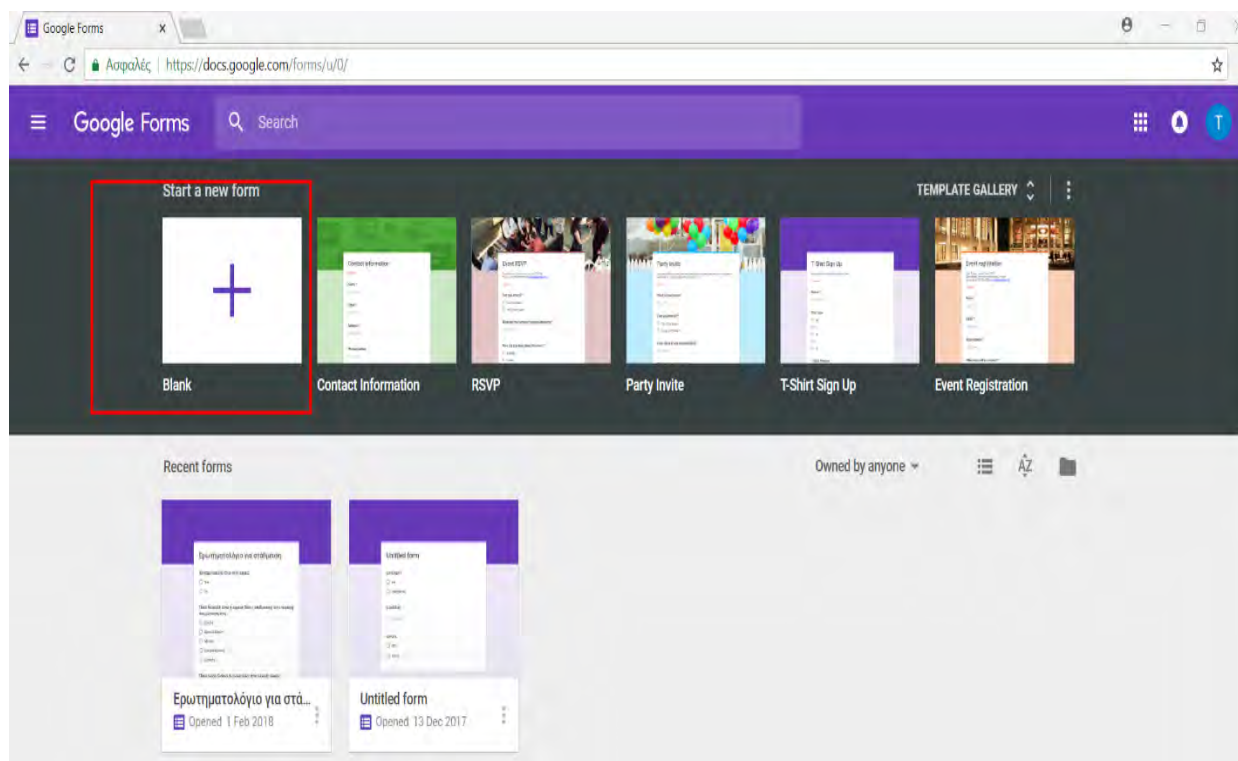
Εικόνα 34 Εγκατάσταση λογισμικού arduino

Συνδέουμε με το καλώδιο micro-usb τον μικροεπεξεργαστή με τον υπολογιστή μας από την USBΘήρα. Στη συνέχεια δημιουργούμε μια φόρμα στην πλατφόρμα «GoogleForms» Οι ερωτήσεις μας στο

ερωτηματολόγιο της φόρμας είναι με τη σειρά «SensorName», «Dust», «Temperature», «Humidity», «AirQuality».

Για την δημιουργία φόρμας απαντήσεων στην πλατφόρμα «GoogleForms» ακολουθούμε την παρακάτω διαδικασία.

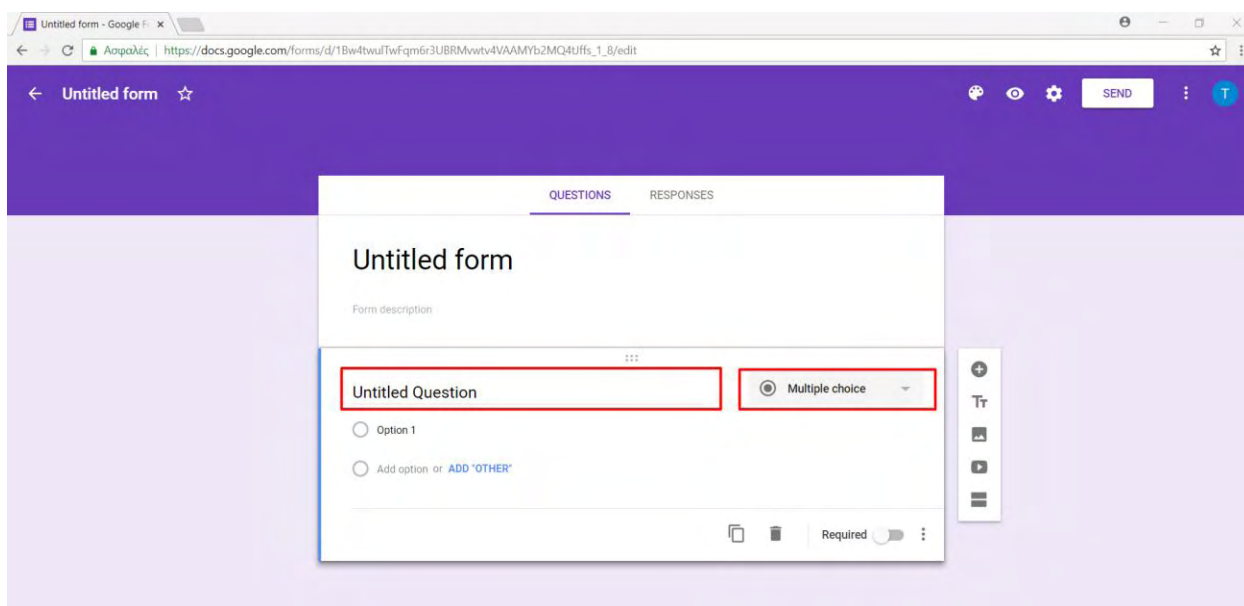
1. Επισκεπτόμαστε την ιστοσελίδα <https://www.google.com/forms/about/>
2. Δημιουργούμε λογαριασμό ή εισερχόμαστε στον λογαριασμό σε περίπτωση που διαθέτουμε. Στο πάνω και αριστερά μέρος της σελίδα επιλέγουμε το εικονίδιο με τον σταυρό.



Εικόνα 35 Δημιουργία Φόρμας

3. Επιλέγουμε το περιθώριο που γράφει «UntitledQuestion» και διατυπώνουμε το ερώτημά μας.

4. Διαλέγουμε το είδος της απάντησης να είναι κείμενο, από τις επιλογές που προσφέρονται στο πλάι της σελίδας.



Εικόνα 36 Εισαγωγή ερώτησης

5. Επιλέγουμε τον σταυρό (+) στο πλάι και προσθέτουμε και τις υπόλοιπες ερωτήσεις με την ίδια διαδικασία.

Η συσκευή μας θα προγραμματιστεί να μετρά 1 φορά ανά 30 δευτερόλεπτα (s) και ανά 10 μετρήσεις, δηλαδή ανά 5 λεπτά, να ανεβάζει τον μέσο όρο των μετρήσεων στην σελίδα μας με τα αποτελέσματα στον Google-Forms λογαριασμό μας. Για να το πετύχουμε όμως αυτό οφείλουμε να συνθέσουμε έναν νέο κώδικα συνδυάζοντας έτοιμα μοντέλα και γνώσεις. Αγοράζοντας τους παραπάνω αισθητήρες, η εταιρία προσφέρει την δυνατότητα για έναν κώδικα οποίος εμφανίζει στην οθόνη του υπολογιστή μας τις διάφορες μετρήσεις. Με την χρήση αυτών των προτύπων θα προχωρήσουμε.

Στο τμήμα που φαίνεται ο κώδικας συνολικά, εμφανίζονται ορισμένα σημεία με **κόκκινο** και **πράσινο** χρώμα. Τα σημεία αυτά πρέπει να τα αλλάζουμε κάθε φορά ώστε να τα προσαρμόσουμε στην εκάστοτε συσκευή. Τα κόκκινα είναι κομμάτια τα οποία σχετίζονται με το ανέβασμα των δεδομένων στην πλατφόρμα ενώ τα πράσινα με τις απαιτήσεις μας σχετικά με τις μετρήσεις.

Το πρώτο κόκκινο αφορά στο URL της φόρμας που καλείται να συμπληρώσει κάθε φορά η συσκευή μας ώστε να λαμβάνουμε τα αποτελέσματα από την πλατφόρμα.


```
#include "Arduino.h"

#include <Process.h>

#define UPLOAD_INT 10

char SENSOR_NAME[] = "EpisimoA";

char FORM_KEY[] = "1FAIpQLSfou2KP9JCFMadBOa3u1J637UcBvYWBPwbz1akiMbSO2Axvzw";

#define DHTPIN A0

#define DHTTYPE DHT22 // DHT 22 (AM2302)

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

AirQualityairqualitysensor;

int current_quality = -1;

float total_quality = 0;

float total_temp = 0;

float total_hum = 0;

float total_dust = 0;

int totalsamples = 0;

int actualsamples = 0;
```

```
int pin = 8;

unsigned long duration;

unsigned long starttime;

unsigned long sampletime_ms = 30000;

unsigned long lowpulseoccupancy = 0;

float ratio = 0;

float concentration = 0;

void setup() {

  Serial.begin(9600);

  pinMode(8, INPUT);

  Bridge.begin();

  starttime = millis();//get the current time;

  dht.begin();

  airqualitysensor.init(14);

  Serial.println("Begin");

  delay(20000);

}

void loop() {

  duration = pulseIn(pin, LOW);

  lowpulseoccupancy = lowpulseoccupancy + duration;
```



```
if ((millis() - starttime) >= sampletime_ms)
{
    //read dust sensor

    ratio = lowpulseoccupancy / (sampletime_ms * 10.0); // Integer percentage 0=>100

    concentration = (1.1 * pow(ratio, 3) - 3.8 * pow(ratio, 2) + 520 * ratio + 0.62) ; // using spec sheet curve

    Serial.print("concentration = ");

    Serial.print(concentration);

    Serial.println(" pcs/0.1cf");

    //Serial.println("\n");

    lowpulseoccupancy = 0;

    starttime = millis();

    //read dust sensor

    if(concentration > 100.0){

        total_dust = total_dust + concentration;

        actualsamples=actualsamples+1;

    }

    totalsamples = totalsamples + 1;

    //read humidity & temperature

    float h = dht.readHumidity();

    float t = dht.readTemperature();
```

```
if (isnan(t) || isnan(h))
{
    //Serial.println("Failed to read from DHT");
}
else
{
    //Serial.print("Humidity: ");
    //Serial.print(h);
    //Serial.print(" %\t");
    //Serial.print("Temperature: ");
    //Serial.print(t);
    //Serial.println(" *C");
total_hum = total_hum + h;
total_temp = total_temp +t;
}

//read humidity & temperature

//read air quality
current_quality = airqualitysensor.slope();

if (current_quality>= 0)// if a valid data returned.
{
    //if (current_quality == 0)
```

```
//Serial.println("High pollution! Force signal active");

//else if (current_quality == 1)

//Serial.println("High pollution!");

//else if (current_quality == 2)

//Serial.println("Low pollution!");

//else if (current_quality == 3)

//Serial.println("Fresh air");

total_quality = total_quality + current_quality;

}

//read air quality

if (totalsamples >= UPLOAD_INT) {

float avg_dust = 0;

Process p;

if(actualsamples > 0){

avg_dust = total_dust / actualsamples;

}

float avg_temp = total_temp / totalsamples;

float avg_hum = total_hum / totalsamples;

float avg_quality = total_quality / totalsamples;
```

```

p.runShellCommand("curl -s
\"https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfou2KP9JCFMadBOa3u1J637UcBvYWBPwbz1akiMbS
O2Axvzw/formResponse?entry.1331126501=" + String(SENSOR_NAME) + "&entry.548666481=" +
String(avg_dust) + "&entry.294940913=" + String(avg_temp) + "&entry.1430787400=" +
String(avg_hum) + "&entry.1641866293=" + String(avg_quality) + "&submit=Submit\" -k >/dev/null");

```

```

    while (p.running());

```

```

total_dust = 0;

```

```

total_temp=0;

```

```

total_hum=0;

```

```

total_quality=0;

```

```

totalsamples = 0;

```

```

actualsamples= 0;

```

```

    }

```

```

}

```

```

}

```

```

ISR(TIMER1_OVF_vect)

```

```

{

```

```

    if (airqualitysensor.counter == 61) //set 2 seconds as a detected duty

```

```

    {

```

```

        airqualitysensor.last_vol = airqualitysensor.first_vol;

```

```

        airqualitysensor.first_vol = analogRead(A3);

```

```

airqualitysensor.counter = 0;

airqualitysensor.timer_index = 1;

    PORTB = PORTB ^ 0x20;

}

else

{

airqualitysensor.counter++;

}

}ΤΕΛΟΣ ΚΩΔΙΚΑ

```

Ας δούμε αναλυτικά τον κώδικά μας και ποια η λειτουργία κάθε κομματιού:

Καλούμε ορισμένες βιβλιοθήκες. Αυτές είναι «DHT.h», «AirQuality.h», «Arduino.h», και «Process.h».

```

#include "DHT.h"

#include "AirQuality.h"

#include "Arduino.h"

#include <Process.h>

```

Ορίζουμε ως μεταβλητή, τον αριθμό των μετρήσεων ανά τις οποίες θέλουμε να ανεβάζει τον μέσο όρο στην πλατφόρμα. Επίσης εδώ φαίνεται και το όνομα της συσκευής μας καθώς και το «κλειδί» της φόρμας των αποτελεσμάτων, το οποίο φαίνεται στη διεύθυνση στο πάνω μέρος του φυλλομετρητή μας.

```

#define UPLOAD_INT 10

char SENSOR_NAME[] = "EpisimoA";

charFORM_KEY[] = "1FAIpQLSfou2KP9JCFMadBOa3u1J637UcBvYWBPwbz1akiMbSO2Axvzw";

```

Ορίζουμε και ονομάζουμε τις μεταβλητές μας που αφορούν στις μετρήσεις και τις θέτουμε ίσες με το 0.

```

float total_quality = 0;

```

```
float total_temp = 0;
```

```
float total_hum = 0;
```

```
float total_dust = 0;
```

```
inttotalsamples = 0;
```

```
intactualsamples = 0;
```

Ορίζουμε και ονομάζουμε τις μεταβλητές μας που αφορούν στους χρόνους. Ιδιαίτερο σημείο εδώ αποτελεί η ύπαρξη της μεταβλητής `sampletime_ms` που σχετίζεται με τη συχνότητα των μετρήσεων. Προσοχή, ο χρόνος πρέπει να αναφέρεται σε ms.

```
int pin = 8;
```

```
unsigned long duration;
```

```
unsigned long starttime;
```

```
unsigned long sampletime_ms = 30000;
```

```
unsigned long lowpulseoccupancy = 0;
```

```
float ratio = 0;
```

```
floatconcentration = 0;
```

Το κομμάτι που προτείνει ο κατασκευαστής ώστε να λαμβάνουμε τις μετρήσεις.

```
void setup() {
```

```
  Serial.begin(9600);
```

```
  pinMode(8, INPUT);
```

```
  Bridge.begin();
```

```
  starttime = millis();//get the current time;
```

```
  dht.begin();
```

```
  airqualitysensor.init(14);
```

```
Serial.println("Begin");

delay(20000);

}

void loop() {

    duration = pulseIn(pin, LOW);

    lowpulseoccupancy = lowpulseoccupancy + duration;

    if ((millis() - starttime) >= sampletime_ms)

    {

        //read dust sensor

        ratio = lowpulseoccupancy / (sampletime_ms * 10.0); // Integer percentage 0=>100

        concentration = (1.1 * pow(ratio, 3) - 3.8 * pow(ratio, 2) + 520 * ratio + 0.62) ; // using spec sheet curve

        Serial.print("concentration = ");

        Serial.print(concentration);

        Serial.println(" pcs/0.1cf");

        //Serial.println("\n");

        lowpulseoccupancy = 0;

        starttime = millis();

        //read dust sensor

        if(concentration > 100.0){

            total_dust = total_dust + concentration;

            actualsamples=actualsamples+1;
```

Εδώ αξίζει να σχολιάσουμε τρία πράγματα.

1. Η εξίσωση που ο κατασκευαστής δίνει ώστε να μπορούμε να πάρουμε τα αποτελέσματα μας σε pcs/0.01cf, η οποία είναι :

```
//read dust sensor
```

```
ratio = lowpulseoccupancy / (sampletime_ms * 10.0); // Integer percentage 0=>100
```

```
concentration = (1.1 * pow(ratio, 3) - 3.8 * pow(ratio, 2) + 520 * ratio + 0.62) ; // using spec sheet curve
```

2. Ο αθροιστής δικής μας προσθήκης ώστε να χρησιμοποιήσουμε το σύνολο των αποτελεσμάτων για να εξάγουμε τον Μέσο Όρο: total_dust = total_dust + concentration;

3. Ο αθροιστής των μετρήσεων: totalsamples=totalsamples+1;

Οι αθροιστές για τις μετρήσεις των υπόλοιπων αισθητήρων.

```
total_hum = total_hum + h;
```

```
total_temp = total_temp +t;
```

```
total_quality = total_quality + current_quality;
```

Ορισμός των μεταβλητών που σχετίζονται με τους μέσους όρους των μετρήσεων. και των συναρτήσεων που θα τους δίνουν τιμές.

```
float avg_temp = total_temp / totalsamples;
```

```
float avg_hum = total_hum / totalsamples;
```

```
float avg_quality = total_quality / totalsamples;
```

Η διαδικασία φιλτραρίσματος και απομάκρυνσης μηδενικών μετρήσεων.

```
if (totalsamples>= UPLOAD_INT) {
```

```
float avg_dust = 0;
```

```
Process p;
```



```

    if(actualsamples>0){

avg_dust = total_dust / actualsamples;

if(concentration > 100.0){

total_dust = total_dust + concentration;

actualsamples=actualsamples+1;

```

Εδώ φαίνεται το που ανεβαίνει κάθε πληροφορία.

```

p.runShellCommand("curl\"https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfou2KP9JCFMadBOa3u1J637
UcBvYWBPwbz1akiMbSO2Axvzw/formResponse?entry.1331126501=" + String(SENSOR_NAME) +
"&entry.548666481=" + String(avg_dust) + "&entry.294940913=" + String(avg_temp) +
"&entry.1430787400=" + String(avg_hum) + "&entry.1641866293=" + String(avg_quality) +
"&submit=Submit\" -k >/dev/null");

```

Θέτουμε στο 0 όλες τις μεταβλητές ώστε να επαναληφθεί η διαδικασία και να ανέβουν νέες μετρήσεις.

```

total_dust = 0;

total_temp=0;

total_hum=0;

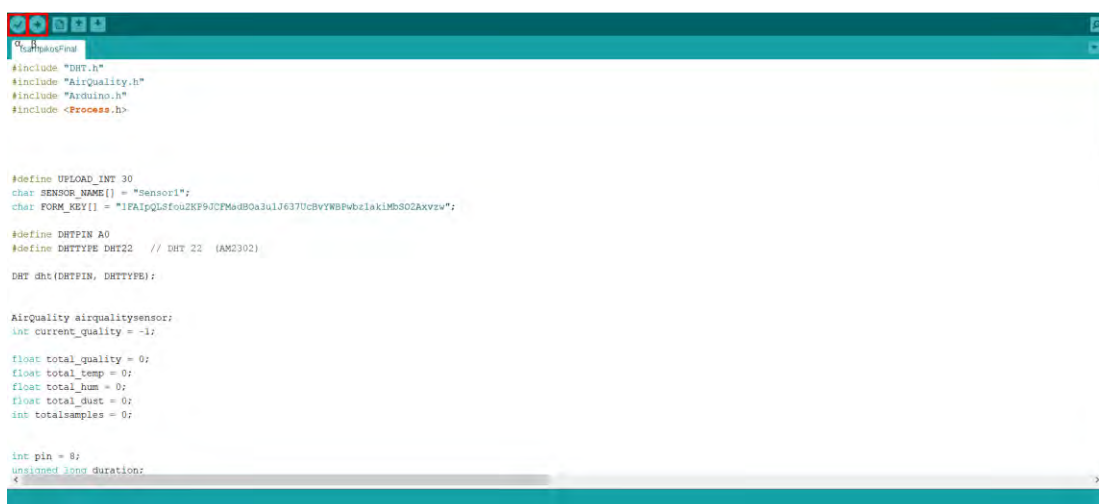
    total_quality=0;

totalsamples = 0;

actualsamples= 0;

```

Αφού τροποποιήσουμε τον κώδικα σύμφωνα με τις επιθυμίες μας, επιλέγουμε «Επικύρωση» και μετά «Ανέβασμα».



```

#include "DHT.h"
#include "AirQuality.h"
#include "Arduino.h"
#include <Process.h>

#define UPLOAD_INT 30
char SENSOR_NAME[] = "Sensor1";
char FORM_KEY[] = "1FAIpQLStfou2KFP9UCFMe4B0a3u1J6370cBVYWBw6zIak1M6S02Akvv";

#define DHTPIN A0
#define DHTTYPE DHT22 // DHT 22 (AM2302)

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

AirQuality airqualitysensor;
int current_quality = -1;

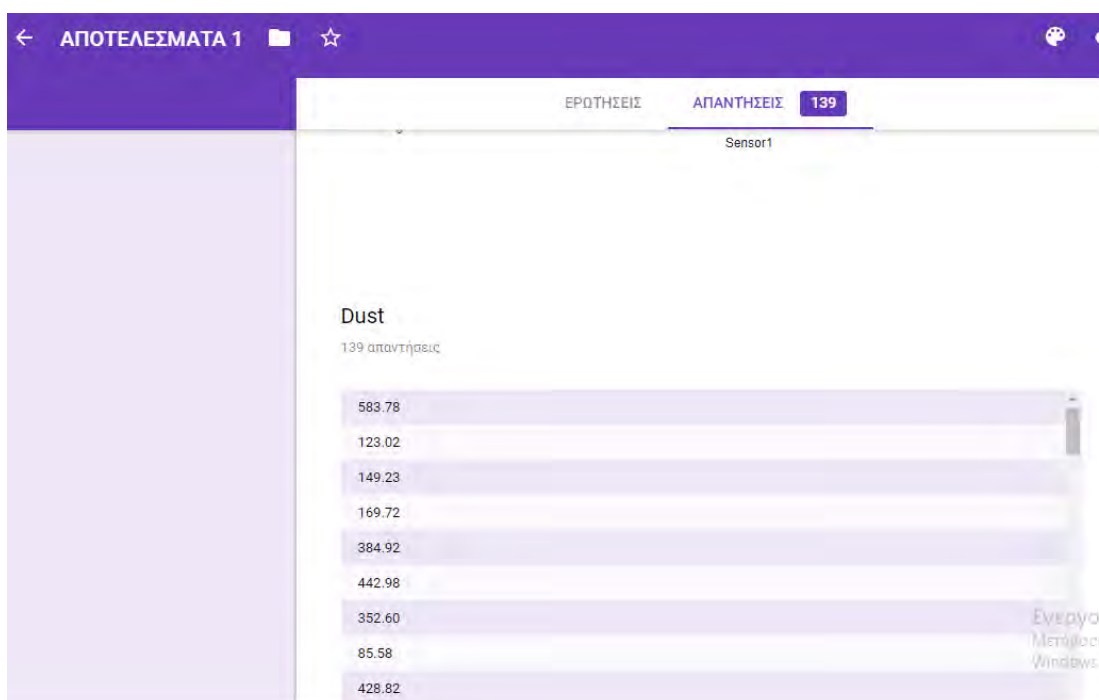
float total_quality = 0;
float total_temp = 0;
float total_hum = 0;
float total_dust = 0;
int totalsamples = 0;

int pin = 8;
unsigned long duration;

```

Εικόνα 38Επικύρωση κώδικα και ανέβασμα στη συσκευή

Στο τέλος η εικόνα που λαμβάνουμε στην πλατφόρμα της Google έχει την παρακάτω μορφή.



Εικόνα 39Μετρήσεις στη φόρμα Google

Τα αποτελέσματα που θα λάβουμε είναι όπως έχει ήδη αναφερθεί σε μονάδα μέτρησης σωματίδια ανά 0.01 κυβικό πόδι (pcs/0.01cf). Για την μετατροπή τους σε μικρογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο θα χρησιμοποιήσουμε το «Dylos conversion sheet». Αυτό είναι διαθέσιμο σε κάθε χρήστη πληκτρολογώντας την φράση «Dylos conversion sheet» στην μηχανή αναζήτησης Google και κατεβάζοντας το φύλλο excel.

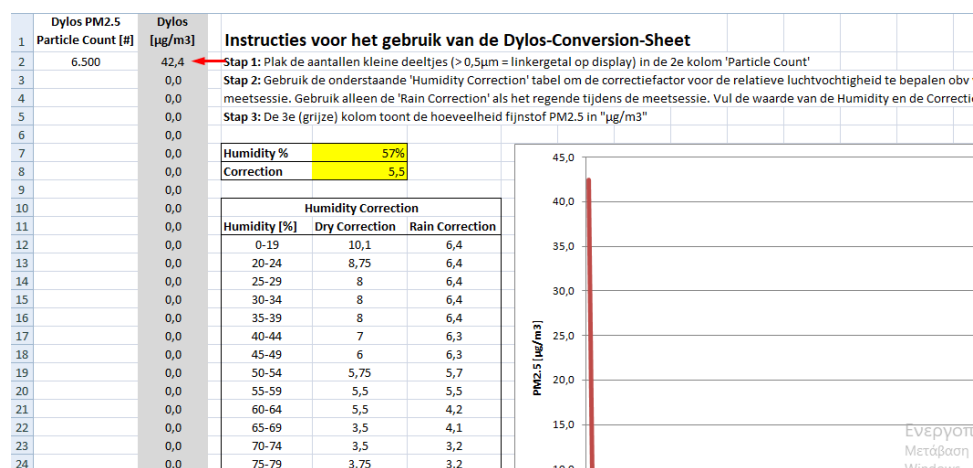
Η λειτουργία του βασίζεται στη μέτρηση της υγρασίας (από τον αισθητήρα μας) και στην εξαγωγή ενός μέσου διορθωτικού συντελεστή όπως προτείνεται. Έπειτα μπορούμε να εισάγουμε τις μετρήσεις μας και να δούμε αυτόματα την μετατροπή σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$ που είναι το ισοδύναμο του μικρογραμμαρίου ανά κυβικό μέτρο.

Έστω για παράδειγμα πως λαμβάνουμε ένδειξη για 57% και 58% υγρασία. Τότε αναζητούμε στον πίνακα τις τιμές 57% και 58%, εξάγουμε τον μέσο όρο των συντελεστών διόρθωσης που στην προκειμένη είναι $(5.5+5.5)/2=5.5$ και το τοποθετούμε στο κελί με τίτλο διόρθωση (correction).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	Elapsed Time [s]	Dylos PM2.5 Particle Count [#]	Dylos [ug/m3]									
1												
2	60		0,00		Step 1: Paste particle counts into Particle Count column							
3	120		0,00		Step 2: Use the "Humidity Correction" table to input the relative humidity during the time							
4	180		0,00		Step 3: The Grey "ug/m3" column should display the correct converted data							
5	240		0,00									
6	300		0,00		Humidity %	0,29						
7	360		0,00		Correction	8						
8	420		0,00									
9	480		0,00		Humidity Correction							
10	540		0,00		Humidity [% Dry Correctio Rain Correction							
11	600		0,00		0-19	10,1	6,4					
12	660		0,00		20-24	8,75	6,4					
13	720		0,00		25-29	8	6,4					
14	780		0,00		30-34	8	6,4					
15	840		0,00		35-39	8	6,4					
16	900		0,00		40-44	7	6,3					
17	960		0,00		45-49	6	6,3					
18	1020		0,00		50-54	5,75	5,7					
19	1080		0,00		55-59	5,5	5,5					
20	1140		0,00		60-64	5,5	4,2					
21	1200		0,00		65-69	3,5	4,1					
22	1260		0,00		70-74	3,5	3,2					
23	1320		0,00		75-79	3,75	3,2					

Εικόνα 40 Σύστημα μετατροπής Dylos (υγρασία και συντελεστές)

Τέλος μπορούμε να εισάγουμε τις τιμές σωματιδίων που έχουμε λάβει, να πατήσουμε το πλήκτρο enter και να δούμε την μετατροπή αλλά και το σχηματισμό διαγράμματος συγκέντρωσης – χρόνου.



Εικόνα 41 Εισαγωγή μετρήσεων και μετατροπή

2.5) Μέλη δεύτερης συσκευής

Ακολουθήσαμε μια διαδικασία παρόμοια με την κατασκευή της πρώτης συσκευής που περιεγράφηκε πρωτύτερα. Για την κατασκευή της εμπιστευθήκαμε μια εταιρία Μαλαισιανής προέλευσης. Κομβικό ρόλο, στην επιλογή των επιμέρους κομματιών, είχε και η διαθεσιμότητα τους στη χώρα μας. Πιο συγκεκριμένα επιλέξαμε τον παρακάτω αισθητήρα και τα απαραίτητα περιφερειακά εξαρτήματα:

- i) Αισθητήρας Gravity: Laser PM2.5 Air quality sensor for Arduino (SEN0177)



Εικόνα 42 Αισθητήρας Gravity

- Εύρος μετρήσεων ΑΣ: 0 ~ 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Μονάδες μέτρησης: 1 $\mu\text{g} / \text{m}^3 = 1\mu\text{g} / \text{m}^3$
- Σφάλμα μετρήσεων ΑΣ: $\pm 10\% @ 100 \sim 500\mu\text{g}/\text{m}^3$ $\pm 10\mu\text{g}/\text{m}^3 @ 0 \sim 100\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Εύρος μετρήσεων θερμοκρασίας: -10~50 °C
- Σφάλμα μετρήσεων θερμοκρασίας: ± 0.5 °C
- Εύρος μετρήσεων υγρασίας: 0 ~ 99%
- Σφάλμα μετρήσεων υγρασίας: $\pm 2\%$
- MTTF: ≥ 3 χρόνια

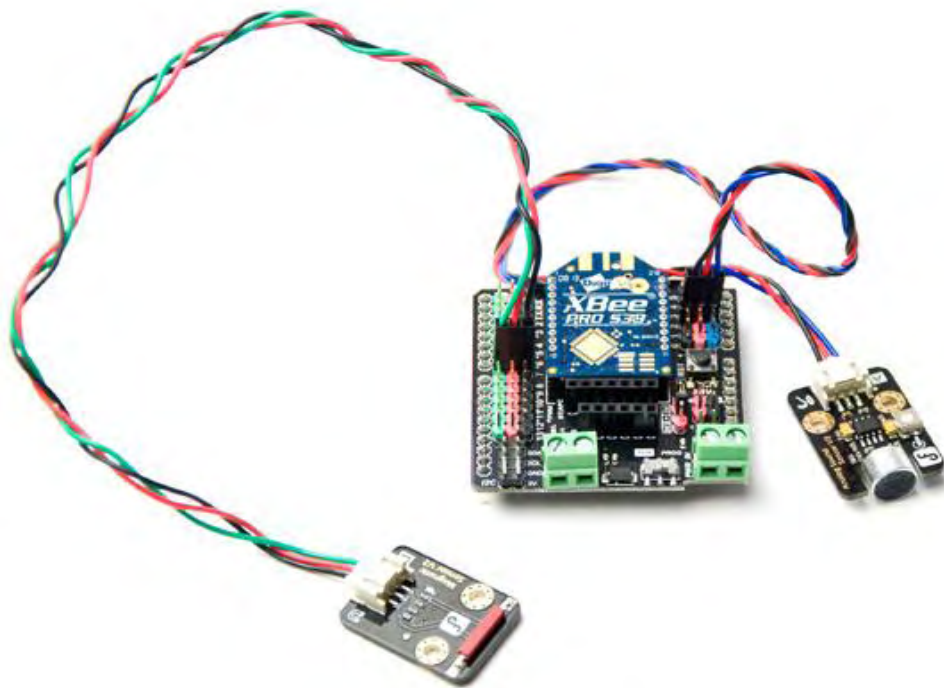
ii) ArduinoYun



Εικόνα 43 Arduino Yun

Χρησιμοποιήσαμε το ArduinoYun διότι συνδυάζει όλες τις απαραίτητες λειτουργίες και δυνατότητες. Διαθέτει θύρα Ethernet για σύνδεση στο διαδίκτυο με αντίστοιχο καλώδιο. Είναι κλάσης Yun, που το επιτρέπει να επικοινωνεί με πλατφόρμες που χρησιμοποιούν λογισμικό Linux, όπως η πλατφόρμα «GoogleForms» που χρησιμοποιήσαμε για την συγκέντρωση των αποτελεσμάτων μας. Τα χαρακτηριστικά αυτά θα μπορούσαν να προσδοθούν και σε άλλους μικροεπεξεργαστές με την χρήση ειδικών shield. Όμως στην συνδεσμολογία που θα αναλύσουμε παρακάτω, υπάρχουν ήδη ένα «shield» καθώς και ένας αντάπτορας που δεν ήταν δυνατόν να παραληφθούν. Έτσι η χρήση κι άλλων «shield» θα έκανε την συσκευή μας πιο ευάλωτη σε τεχνικά προβλήματα και αρκετά δυσκολότερη την μετακίνησή της.

iii) Gravity: IO Expansion Shield for Arduino V7.1(DFR0265)



Εικόνα 44 IO Expansion Shield

Είναι απαραίτητο για να κουμπώνει ο αντάπτορας του αισθητήρα, μιας και δεν διαθέτει τέτοια θύρα ο μικροεπεξεργαστής.

iv) Καλώδια Arduino



Εικόνα 45 Καλώδια Arduino

Η χρήση των καλωδίων αυτών κατέστη αναγκαία επειδή δεν γινόταν καλή επαφή μεταξύ αντάπτορα και «shield» και «shield» με τον μικροεπεξεργαστή.

ν) Χρονοδιακόπτης πρίζας Legrand

Ο χρονοδιακόπτης πρίζας επανεκκινεί τις συσκευές ώστε να αποφεύγονται διακοπές λειτουργίας. Η



Εικόνα 46Χρονοδιακόπτης

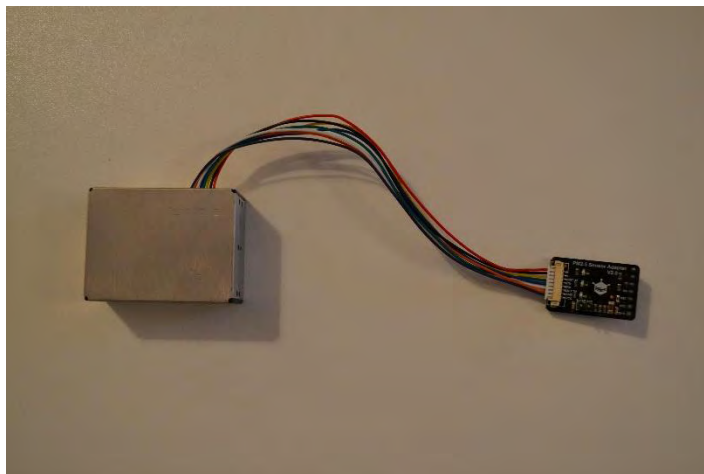
διαδικασία δεν ήταν δυνατό να γίνει μέσω κώδικα στις συσκευές.

2.6) Στήσιμο και σύνδεση δεύτερης συσκευής

Ξεκινώντας την σύνδεση των επιμέρους κομματιών, απαραίτητη είναι η προσοχή διότι υπάρχουν μέρη της συσκευής ιδιαίτερα εύθραυστα.

Βήμα 1°

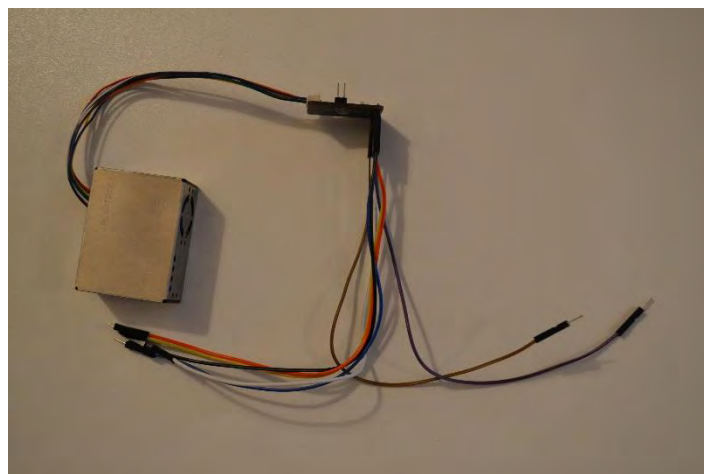
Συνδέουμε στον αισθητήρα τα καλώδια που τον συνοδεύουν από τον κατασκευαστή και τον ενώνουν με τον αντάπτορα που επίσης τον συνοδεύει.



Εικόνα 47 Σύνδεση καλωδίων με αισθητήρα

Βήμα 2°

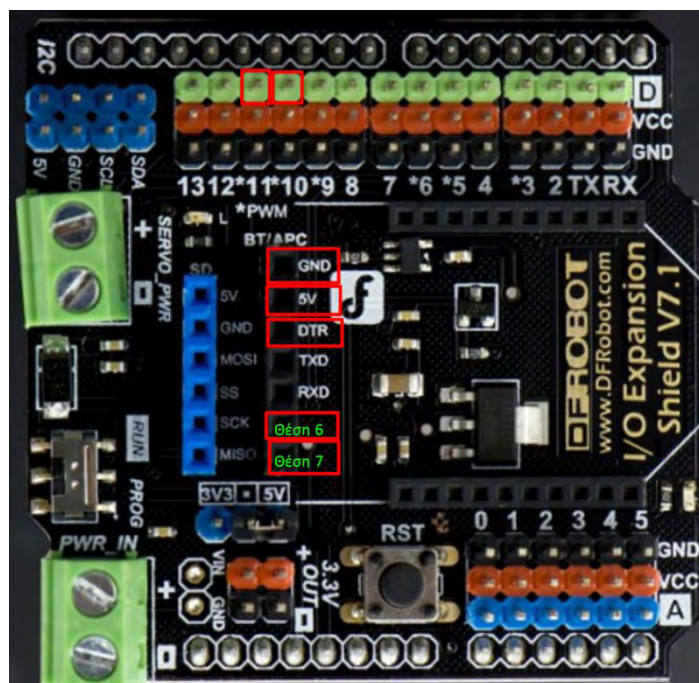
Συνδέουμε την μία άκρη των πρώτων 7, 2 θηλυκών – θηλυκών και 5 αρσενικών - θηλυκών, καλωδίων Arduino στον αντάπτορα του αισθητήρα



Εικόνα 48 Σύνδεση καλωδίων στον αντάπτορα

Βήμα 3°

Ενώνουμε την άλλη άκρη των καλωδίων Arduino που συνδέσαμε στον αντάπτορα, με το IO-Shield. Η ένωση πρέπει να γίνει ώστε το κάθε καλώδιο να συνδεθεί στο σωστό pin για την ανάλογη λειτουργία. Η αντιστοιχία είναι η εξής:



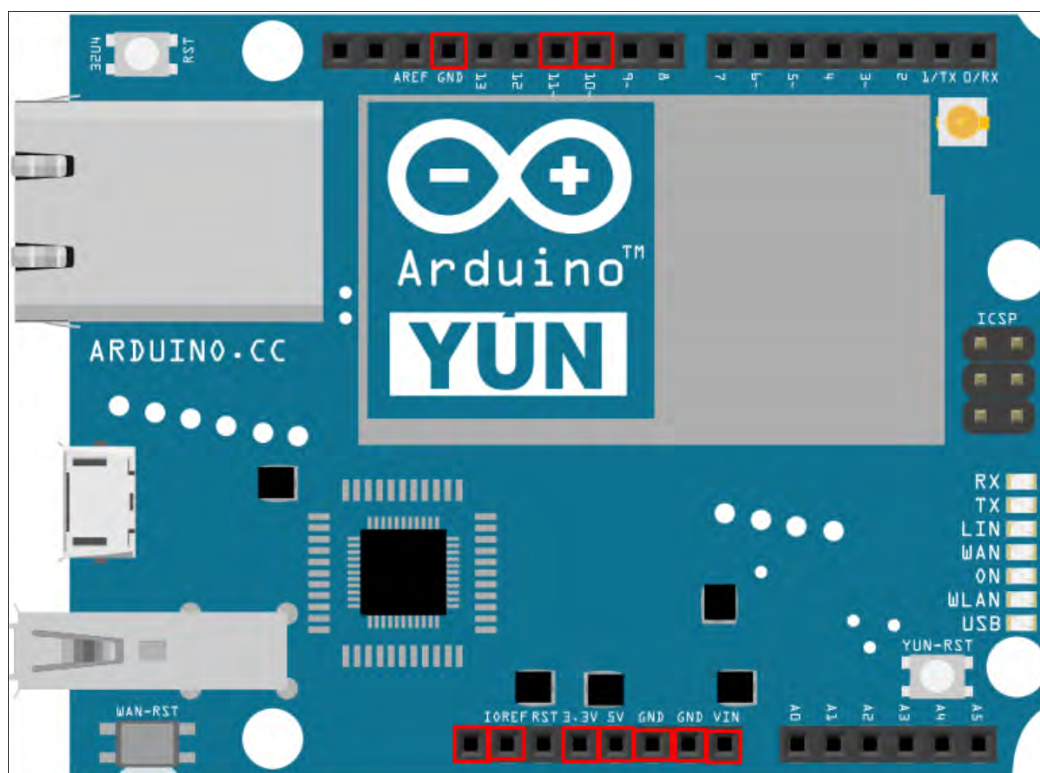
Εικόνα 49 IOExpansionShieldσημεία σύνδεσης καλωδίων

ΘΕΣΗ ΣΤΟΝ ΑΝΤΑΠΤΟΡΑ	ΘΕΣΗ ΣΤΟ IO-SHIELD
GND	GND
VCC	5V
RST	DTR
TX	10* πράσινο
RX	11* πράσινο
6 ^η θέση	6 ^η θέση
7 ^η θέση	7 ^η θέση

Βήμα 4°

Σύνδεση 10 καλωδίων Arduino, αρσενικό – θηλυκό, στην πλακέτα Arduino Yun. Οι θύρες στις οποίες πρέπει να συνδέσουμε την αρσενική άκρη του καλωδίου είναι οι εξής:

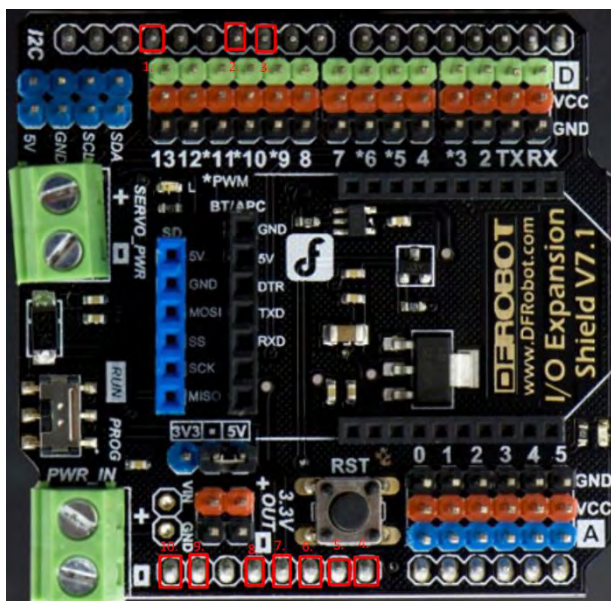
1. GND
2. 10-
3. 11-
4. Vin
5. GND
6. GND
7. 5V
8. 3.3V
9. IOREF
10. NC



Εικόνα 50 Arduino Yun σημεία σύνδεσης καλωδίων

Βήμα 5°

Ενώνουμε τα καλώδια Arduino, που συνδέσαμε στο προηγούμενο βήμα στο ArduinoYun, με την κάτω επιφάνεια του IO-Shield. Στο σημείο αυτό πρέπει να εντοπίσουμε τα ανάλογα pins στο IO-Shield.

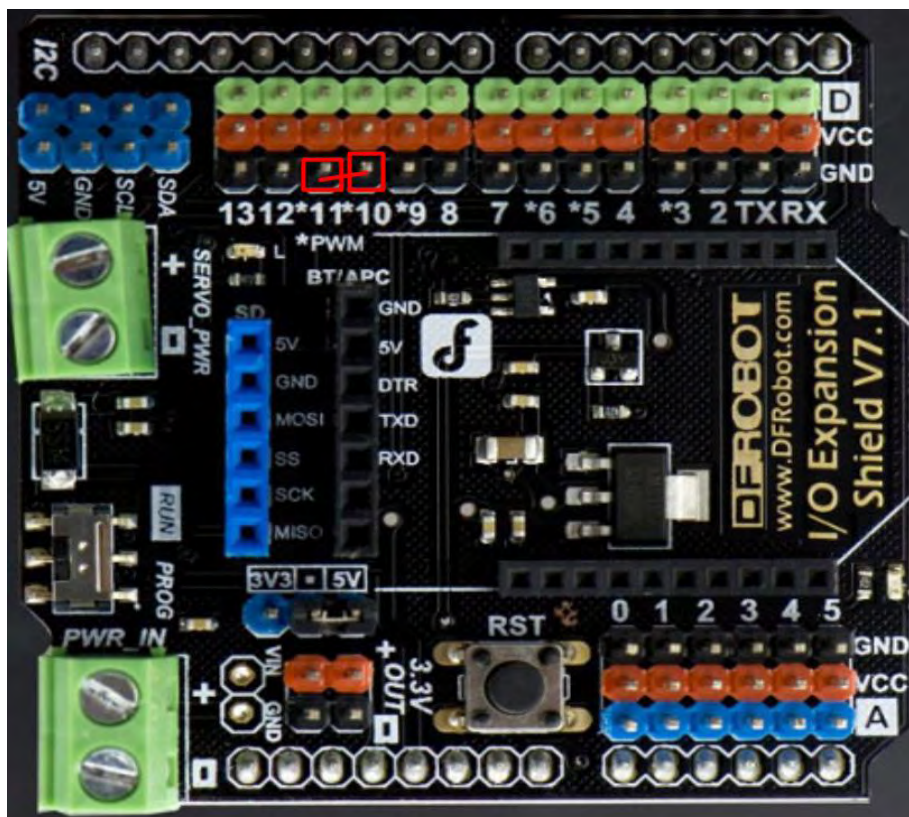


Εικόνα 51 I/O Expansion Shield σημεία σύνδεσης καλωδίων

Στην παραπάνω φωτογραφία φαίνεται η αντιστοιχία των pins. Φυσικά η σύνδεση γίνεται με το pin που βρίσκεται στην πίσω πλευρά του shield.

Βήμα 6°

Χρησιμοποιούμε ένα καλώδιο Arduino με σκοπό να δημιουργήσουμε το κανάλι επικοινωνίας του αισθητήρα με την πλακέτα Arduino. Γεφυρώνουμε στο IO-Shield τα 10*μαύρο – 11* μαύρο μεταξύ τους. Πρέπει να κάνουμε αυτή την σύνδεση διότι ο αισθητήρας χρησιμοποιεί το ίδιο κανάλι επικοινωνίας που χρειάζεται η πλακέτα Arduino ώστε να επικοινωνεί με την πλατφόρμα GoogleForms.



Εικόνα 52 IO Expansion Shield pin ζεύξης

Βήμα 7°

Ρυθμίζουμε τον χρονοδιακόπτη να επανεκκινεί μία φορά το 24ωρο.



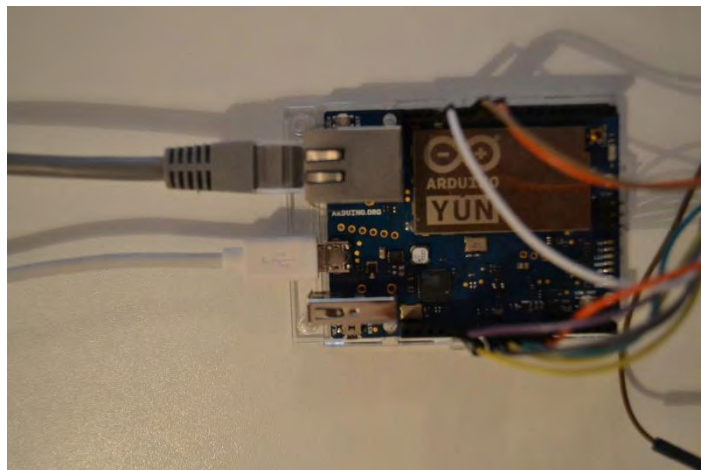
Εικόνα 53 Ο χρονοδιακόπτης μετά την ρύθμιση

Βήμα 8°

Συνδέουμε το ArduinoYun στο ρεύμα μέσω του καλωδίου micro-usb.

Βήμα 9°

Συνδέουμε το Arduino Yun με το ρούτερ μας με καλώδιο Ethernet μέσω της θύρας Ethernet.



Εικόνα 54 Σύνδεση Arduino με τα καλώδια micro-USB και Ethernet

2.7) Προγραμματισμός δεύτερης συσκευής

Έχοντας κατεβάσει το λογισμικό Arduino 1.5.8 ή μεταγενέστερο , το εγκαθιστούμε σύμφωνα με τις οδηγίες που παρουσιάστηκαν παραπάνω. Επίσης δημιουργούμε μια νέα φόρμα στην πλατφόρμα «GoogleForms» με ερωτήσεις «PM», «Temperature»,«Humidity»,«FRM» Ανοίγουμε το πρόγραμμα Arduino 1.5.8 και επιλέγουμε newsketch από την επιλογή πάνω αριστερά, όπου μπορούμε να συνθέσουμε τον κώδικα μας. Αφού έχουμε συνδέσει τον μικροεπεξεργαστή (και κατ' επέκταση όλη τη συσκευή) με τον υπολογιστή μας μέσω καλωδίου micro-usb πατάμε επικύρωση κώδικα και ανέβασμα ώστε η συσκευή να είναι έτοιμη για λειτουργία, με τις επιλογές που παρουσιάστηκαν και στην 1^η συσκευή.

Ο κώδικας που αναπτύχθηκε τελικά για τη 2η συσκευή, είναι σε γλώσσα C++ με κάποιες βασικές εντολές τύπου arduino (π.χ. void setup) και είναι ο παρακάτω:

ΑΡΧΗΚΩΔΙΚΑ

```
/*
```

```
@file SEN0233.ino
```

```
@brief Air Quality Monitor (PM 2.5, HCHO, Temperature & Humidity)
```

```
@n Get the module here: https://www.dfrobot.com/product-1612.html
```

```
@n This example is to detect formaldehyde, PM2.5, temperature and humidity in the environment.
```

```
@copyright [DFRobot](http://www.dfrobot.com), 2017
```

```
@copyright GNU Lesser General Public License
```

```
@author [lijun](ju.li@dfrobot.com)
```

```
@version V1.0
```

```
@date 2017-03-01
```

```
*/
```

```
#include <Process.h>

#define UPLOAD_INT 30

char SENSOR_NAME[] = "newBIGTEST";

unsigned long sampletime_ms = 10000;

float total_fmd = 0;

float total_temp = 0;

float total_hum = 0;

float total_pm = 0;

int totalsamples = 0;

#include <AltSoftSerial.h>

#include <SoftwareSerial.h>

SoftwareSerialmySerial(10,11); // Software RX, TX

char col;

unsigned long starttime;

unsigned int PMSa = 0,FMHDSa = 0,TPSa = 0,HDSa = 0,PMSb = 0,FMHDSb = 0,TPSb = 0,HDSb = 0;

unsigned int PMS = 0,FMHDS = 0,TPS = 0,HDS = 0,CR1 = 0,CR2 = 0;

unsigned char buffer_RTT[40]={}; //Serial buffer; Received Data

char tempStr[15];
```



```
void setup()
{
  pinMode(10,INPUT);
  pinMode(11,OUTPUT);
  Serial.begin(115200);
  mySerial.begin(9600);
  starttime = millis();

  //mySerial.listen();
  Serial.println("hello");
  Bridge.begin();
}

void loop()
{

  Serial.println("loop");
  mySerial.listen();
  while(!mySerial.available());
  Serial.println("loop...");
  while(mySerial.available()>0)    //Data check: weather there is any Data in mySerial
  {
```

```
for(int i=0;i<40;i++)
{
    col =mySerial.read();
buffer_RTT[i]=(char)col;
delay(2);
}

mySerial.flush();

CR1 =(buffer_RTT[38]<<8) + buffer_RTT[39];

CR2 = 0;

for(int i=0;i<38;i++)

    CR2 += buffer_RTT[i];

if(CR1 == CR2)           //Check
{

    if ((millis() - starttime) >= sampletime_ms)
    {
starttime = millis();

PMSa=buffer_RTT[12];    //Read PM2.5 High 8-bit
```

```

PMSb=buffer_RTT[13];    //Read PM2.5 Low 8-bit

    PMS=(PMSa<<8)+PMSb;    //PM2.5 value

total_pm = total_pm + PMS;

totalsamples = totalsamples + 1;

FMHDSa=buffer_RTT[28];    //Read Formaldehyde High 8-bit

FMHDSb=buffer_RTT[29];    //Read Formaldehyde Low 8-bit

    FMHDS=(FMHDSa<<8)+FMHDSb;    //Formaldehyde value

total_fmd = total_fmd +FMHDS;

TPSa=buffer_RTT[30];    //Read Temperature High 8-bit

TPSb=buffer_RTT[31];    //Read Temperature Low 8-bit

    TPS=(TPSa<<8)+TPSb;    //Temperature value

total_temp = total_temp +TPS;

HDSa=buffer_RTT[32];    //Read Humidity High 8-bit

HDSb=buffer_RTT[33];    //Read Humidity Low 8-bit

    HDS=(HDSa<<8)+HDSb;    //Humidity value

total_hum = total_hum + HDS;

}

}

Serial.println("-----uart-----");

Serial.print("Temp : ");

```

```
sprintf(tempStr, "%d%d.%d", TPS/100, (TPS/10)%10, TPS%10);

Serial.print(tempStr);

Serial.println(" C");          //Serial print Temperature

Serial.print("RH : ");

sprintf(tempStr, "%d%d.%d", HDS/100, (HDS/10)%10, HDS%10);

Serial.print(tempStr);        //Serial print humidity

Serial.println(" %");

Serial.print("HCHO : ");

Serial.print(FMHDS);

Serial.println(" ug/m3");      //Serial print formaldehyde, unit: ug/m3

Serial.print("PM2.5: ");

Serial.print(PMS);

Serial.println(" ug/m3");      //Serial print PM2.5, unit: ug/m3

Serial.println();

if (totalsamples >= UPLOAD_INT) {

    Process p;

    float avg_pm = total_pm / totalsamples;

    float avg_temp = total_temp / totalsamples;

    float avg_hum = total_hum / totalsamples;

    float avg_fmd = total_fmd / totalsamples;
```

```

String          curlcmd          =          "curl          -m          10          -s
\"https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdjlac95yS2Z0uXDpa2Z2pDjf668tfX60nZvN05GoUH4D
GPqw/";

curlcmd += "formResponse?entry.1735674168=" + String(SENSOR_NAME);

curlcmd += "&entry.2080434781=" + String(avg_pm);

curlcmd += "&entry.1291582835=" + String(avg_temp/10);

curlcmd += "&entry.538070520=" + String(avg_hum/10);

curlcmd += "&entry.1180556163=" + String(avg_fmd);

curlcmd += "&submit=Submit\" -k >/dev/null";

p.runShellCommand(curlcmd);

    //while (p.running());

total_pm = 0;

total_temp=0;

total_hum=0;

total_fmd=0;

totalsamples = 0;

}

}

}

```

ΤΕΛΟΣ ΚΩΔΙΚΑ

Ας δούμε αναλυτικά τον κώδικά μας και ποια η λειτουργία κάθε κομματιού:

Αρχικά καλούμε ορισμένες βιβλιοθήκες. Αυτές είναι «AltsoftwareSerial.h» «SoftwareSerial.h» «Process.h»

```
#include <Process.h>
```

```
#include <AltSoftSerial.h>
```

```
#include <SoftwareSerial.h>
```

Έπειτα ορίζουμε ως μεταβλητή τον αριθμό των μετρήσεων ανά τις οποίες θα ανεβαίνει ο μέσος όρος στην πλατφόρμα. Επιπλέον εδώ δηλώνεται και το όνομα της συσκευής.

```
#define UPLOAD_INT 30
```

```
char SENSOR_NAME[] = "newBIGTEST";
```

Στο επόμενο βήμα ορίζουμε τις μεταβλητές μας σχετικά με τις μετρήσεις αλλά και σχετικά με τους χρόνους και τις αρχικοποιούμε θέτοντας την τιμή τους ίση με 0. Πρέπει να τονισθεί πως ο χρόνος δηλώνεται σε ms, ενώ ιδιαίτερη σημασία έχει η μεταβλητή `sampletime_ms` η οποία δηλώνει τη συχνότητα των μετρήσεων(στην προκειμένη 10000ms=10sec).

```
float total_fmd = 0;
```

```
float total_temp = 0;
```

```
float total_hum = 0;
```

```
float total_pm = 0;
```

```
int totalsamples = 0;
```

```
#include <AltSoftSerial.h>
```

```
#include <SoftwareSerial.h>
```

```
SoftwareSerialmySerial(10,11); // Software RX, TX
```

```
char col;
```

```
unsigned long starttime;
```

```
unsigned int PMSa = 0,FMHDSa = 0,TPSa = 0,HDSa = 0,PMSb = 0,FMHDSb = 0,TPSb = 0,HDSb = 0;
```

```
unsigned int PMS = 0,FMHDS = 0,TPS = 0,HDS = 0,CR1 = 0,CR2 = 0;
```

```
unsigned char buffer_RTT[40]={}; //Serial buffer; Received Data
```

```
char tempStr[15];
```

Το τμήμα του κώδικα σχετικά με την μέτρηση των σωματιδίων, της θερμοκρασίας, της υγρασίας και της φορμαλδεΰδης είναι το εξής:

```
void loop()
```

```
{
```

```
Serial.println("loop");
```

```
mySerial.listen();
```

```
while(!mySerial.available());
```

```
Serial.println("loop...");
```

```
while(mySerial.available()>0) //Data check: weather there is any Data in mySerial
```

```
{
```

```
for(int i=0;i<40;i++)
{
    col =mySerial.read();
buffer_RTT[i]=(char)col;
delay(2);
}

mySerial.flush();

CR1 =(buffer_RTT[38]<<8) + buffer_RTT[39];

CR2 = 0;

for(int i=0;i<38;i++)

    CR2 += buffer_RTT[i];

if(CR1 == CR2)           //Check
{

    if ((millis() - starttime) >= sampletime_ms)
    {
starttime = millis();

PMSa=buffer_RTT[12];    //Read PM2.5 High 8-bit
```



```

PMSb=buffer_RTT[13];    //Read PM2.5 Low 8-bit

    PMS=(PMSa<<8)+PMSb;    //PM2.5 value

total_pm = total_pm + PMS;

totalsamples = totalsamples + 1;

FMHDSa=buffer_RTT[28];    //Read Formaldehyde High 8-bit

FMHDSb=buffer_RTT[29];    //Read Formaldehyde Low 8-bit

    FMHDS=(FMHDSa<<8)+FMHDSb;    //Formaldehyde value

total_fmd = total_fmd +FMHDS;

TPSa=buffer_RTT[30];    //Read Temperature High 8-bit

TPSb=buffer_RTT[31];    //Read Temperature Low 8-bit

    TPS=(TPSa<<8)+TPSb;    //Temperature value

total_temp = total_temp +TPS;

HDSa=buffer_RTT[32];    //Read Humidity High 8-bit

HDSb=buffer_RTT[33];    //Read Humidity Low 8-bit

    HDS=(HDSa<<8)+HDSb;    //Humidity value

total_hum = total_hum + HDS;

}

}

```

Εδώ αξίζει να σημειωθεί πως η συγκέντρωση των σωματιδίων είναι απευθείας σε μικρογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Επίσης έχουμε προσθέσει τον αθροιστή totalsamples και τους αθροιστές total_pm ,

total_fmd, total_temp και total_hum ώστε με τη διαίρεση τους να προκύπτει ο μέσος όρος για κάθε μετρούμενη ποσότητα.

```
if (totalsamples >= UPLOAD_INT) {

    Process p;

    float avg_pm = total_pm / totalsamples;

    float avg_temp = total_temp / totalsamples;

    float avg_hum = total_hum / totalsamples;

    float avg_fmd = total_fmd / totalsamples;
```

Με την παρακάτω εντολή φαίνεται πως ανεβαίνουν οι μετρήσεις σε μια επιλεγμένη σελίδα googleforms κάθε 5 λεπτά.

```
String curlcmd = "curl -m 10 -s \
\"https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdjIac95yS2Z0uXDpa2Z2pDjf668tfX60nZvN05GoUH4DGPqw/\";

curlcmd += "formResponse?entry.1735674168=" + String(SENSOR_NAME);

curlcmd += "&entry.2080434781=" + String(avg_pm);

curlcmd += "&entry.1291582835=" + String(avg_temp/10);

curlcmd += "&entry.538070520=" + String(avg_hum/10);

curlcmd += "&entry.1180556163=" + String(avg_fmd);

curlcmd += "&submit=Submit\" -k >/dev/null";

p.runShellCommand(curlcmd);

//while (p.running());
```

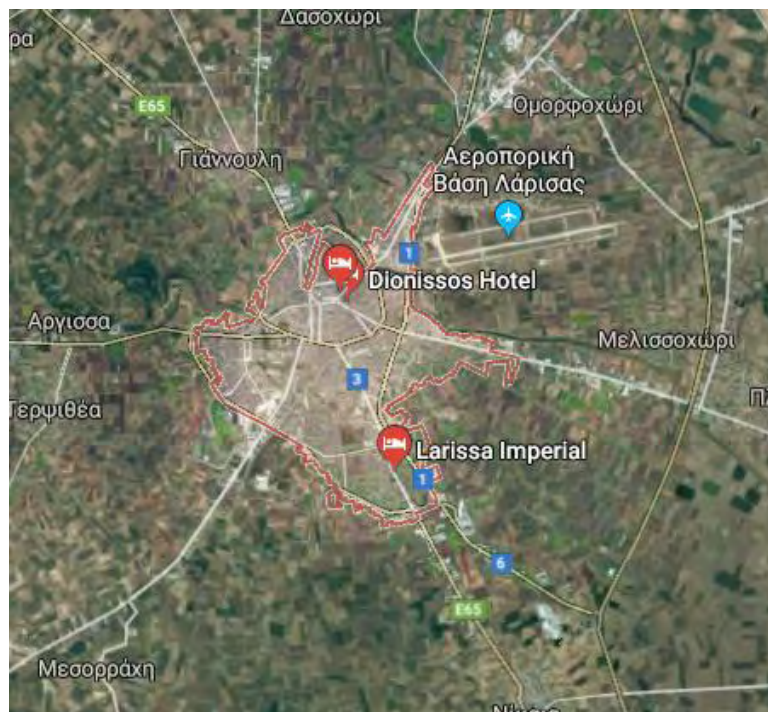
Τα τμήματα του κώδικα που είναι με κόκκινο είναι το αναγνωριστικό της σελίδας Google και οι αριθμοί κάθε κελιού της φόρμας που έχουμε δημιουργήσει για το ανέβασμα των δεδομένων. Πρέπει να αλλάζουν κάθε φορά ανάλογα με τη συσκευή και ανάλογα αν θέλουμε να δημιουργήσουμε νέα φόρμα. Το αναγνωριστικό της σελίδας βρίσκεται πάνω στον φύλλομετρητή μας ενώ οι αριθμοί των κελιών είναι ορατοί εάν πατήσουμε δεξί κλικ στη σελίδα Google και επιλέξουμε εμφάνιση κώδικα σελίδας όπως αναλυτικά παρουσιάστηκε κατά την περιγραφή της δημιουργίας της πρώτης συσκευής.

3) ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Έπειτα από την κατασκευή των 2 συσκευών προχωρήσαμε σε συγκριτικές μετρήσεις σε 3 σημεία στην πόλη της Λάρισας για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη συγκέντρωση σωματιδίων.

3.1) Η πόλη της Λάρισας

Η Λάρισα είναι πόλη της Θεσσαλίας, πρωτεύουσα του ομώνυμου νομού, καθώς και της Περιφέρειας Θεσσαλίας. Αποτελεί σημαντικό εμπορικό κέντρο και κόμβο επικοινωνιών και συγκοινωνιών. Η πόλη της Λάρισας αριθμεί 144.651 κατοίκους και περιλαμβάνει έκταση 19000 στρεμμάτων και ο μόνιμος πληθυσμός ανέρχεται σε 162.591 κατοίκους καθιστώντας τον έναν από τους μεγαλύτερους πληθυσμιακά δήμους της χώρας. Σήμερα η Λάρισα ούσα μια από τις μεγαλύτερες πόλεις διαθέτει 3 νοσοκομεία, είναι η έδρα της αποκεντρωμένης διοίκησης της Θεσσαλίας-Στερεάς, του ΝΑΤΟ καθώς και πολλών σχολών και Τ.Ε.Ι. με χιλιάδες φοιτητές. Καταλαμβάνει την πρώτη θέση μεταξύ ελληνικών πόλεων σε ποσοστό κάλυψης πρασίνου ανά τ.μ. αστικού χώρου. Όσον αφορά τις μεταφορές διαθέτει 17 γραμμές αστικών λεωφορείων, μεγάλο στόλο ΚΤΕΛ, σιδηροδρομικές γραμμές που ενώνουν την πόλη με Θεσσαλονίκη, Βόλο και Αθήνα και στρατιωτικό αεροδρόμιο. Τέλος το κλίμα της Λάρισας έχει στοιχεία ηπειρωτικού κλίματος της πεδινής Θεσσαλίας με μέση ετήσια θερμοκρασία 15.7 βαθμών Κελσίου και συχνά φαινόμενα μεταφοράς σκόνης.



Εικόνα 55 Η θέση της πόλης Λάρισας

3.2) Διαδικασία μετρήσεων

Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν οι συσκευές που αναπτύχθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια με αισθητήρες των εταιρειών Grove seed και DFRobot. Οι μετρήσεις καταγράφηκαν από την Τρίτη 5 Ιουνίου 2018 έως την Δευτέρα 11 Ιουνίου 2018 σε 3 διαφορετικά σημεία της πόλης.

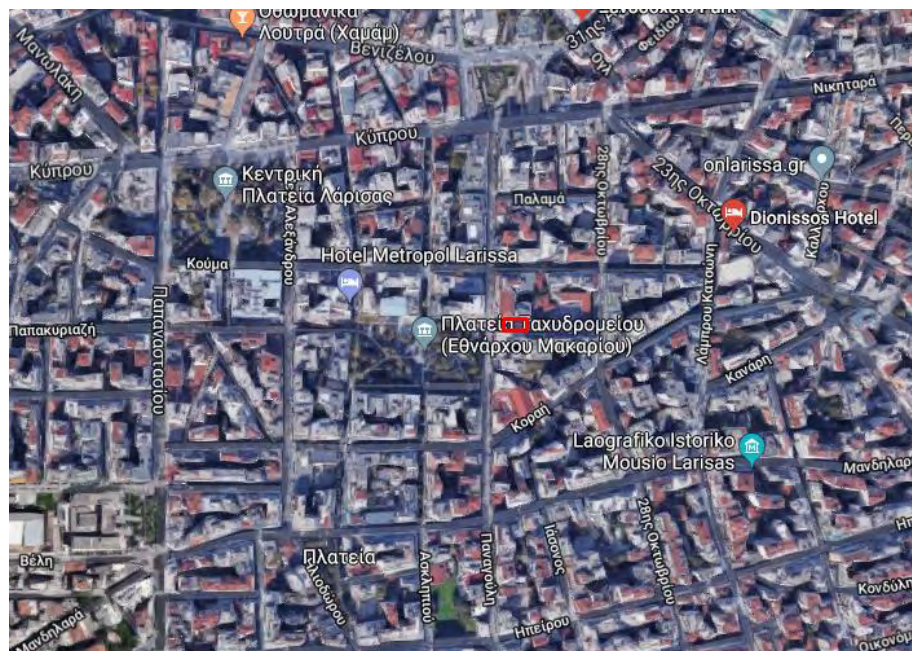
3.2.1) Επιλογή σημείων

Με τις μετρήσεις σκοπός ήταν να εξαχθεί ένα συμπέρασμα για τη συγκέντρωση σκόνης στο κέντρο της Λάρισας. Έτσι επιλέχθηκαν τα παρακάτω 3 σημεία που καλύπτουν αρκετά μεγάλες αλλά και διαφορετικές περιοχές της πόλης.

Σημείο 1°

Στη συμβολή των οδών Παπακυριαζή και Παναγούλη.

Το σημείο αυτό επιλέχθηκε λόγω του γεγονότος πως ανήκει στην “καρδιά” του κέντρου της Λάρισας, σε έναν από του πιο πολυσύχναστους δρόμους –πλατείες με σημαντικές ανθρωπογενείς δραστηριότητες(π.χ. μεταφορές) να λαμβάνουν χώρα.

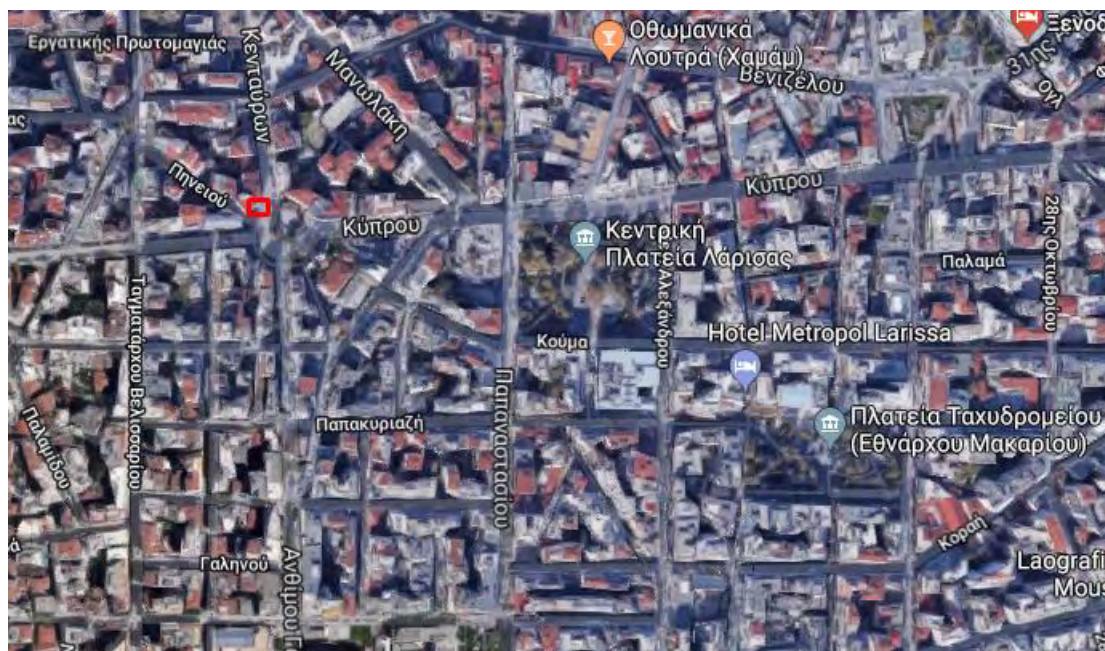


Εικόνα 56 1ο σημείο μετρήσεων(Παναγούλη-Παπακυριαζή)

Σημείο 2°

Επί της οδού Κενταύρων(Πλατεία Εβραίων)

Το επόμενο σημείο ήταν στην οδό Κενταύρων επίσης στο κέντρο της Λάρισας δίπλα στην πολυσύχναστη οδό Ανθίμου Γαζή , με συχνή και έντονη κίνηση λεωφορείων και οχημάτων.



Εικόνα 57 2ο σημείο μέτρησης(Πλατεία Εβραίων)

Σημείο 3°

Επί της οδού Αρχιεπισκόπου Δωροθέου

Το τελευταίο σημείο επιλέχθηκε ως ένα σημείο μιας πιο ήσυχης και σχετικά αποκεντρωμένης περιοχής με αρκετή παρουσία πράσινου. Επίσης ο γνωστός ποταμός Πηνειός διασχίζει την περιοχή , διαχωρίζοντας την από το ευρύτερο κέντρο.



Εικόνα 58 3ο σημείο μέτρησης(Πηνειός)



Εικόνα 59 Κάλυψη και εμβέλεια σημείων

3.2.2) Μέθοδος μετρήσεων

Οι συσκευές παρέμειναν στα επιλεγμένα σημεία για 48 ώρες συνεχόμενα σε εξωτερικούς χώρους προστατευμένες από ήλιο, βροχή και γενικά εξωτερικούς παράγοντες. Επίσης προσπαθήσαμε να μην εμποδίζεται η ροή ώστε να έχουμε καλύτερα και πιο ακριβή αποτελέσματα. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων τα αποτελέσματα αποθηκεύονταν στην πλατφόρμα Google forms δίνοντας μας τη δυνατότητα για παρακολούθηση και επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο.

3.3) Μετρήσεις

Στο 1^ο σημείο οι μετρήσεις έλαβαν χώρα από την Τρίτη 5 Ιουνίου στις 17:11 ως την Πέμπτη 7 Ιουνίου στις 17:11.

Συσκευή Grove:

Πίνακας 1 Μετρήσεις σημείου 1

ΗΜ/ΝΙΑ & ΩΡΑ	Μ.Ο. ΑΣ (μg/m ³)	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΥΓΡΑΣΙΑ (%)
5/6/2018 17:00	0.34	34.27	20.38
5/6/2018 18:00	0.34	33.25	21.45
5/6/2018 19:00	0.39	32.11	22.41

5/6/2018 20:00	1.93	30.64	23.83
5/6/2018 21:00	3.58	29.29	24.97
5/6/2018 22:00	3.58	28.35	25.02
5/6/2018 23:00	2.82	27.27	27.04
6/6/2018 0:00	4.01	26.18	28.26
6/6/2018 1:00	3.33	25.68	29.16
6/6/2018 2:00	2.41	25.28	31.64
6/6/2018 3:00	2.62	24.60	33.02
6/6/2018 4:00	3.48	23.61	32.19
6/6/2018 5:00	3.01	23.20	33.49
6/6/2018 6:00	2.21	23.02	37.12
6/6/2018 7:00	0.69	22.97	41.75
6/6/2018 8:00	0.73	24.61	39.69
6/6/2018 9:00	0.66	26.48	36.06
6/6/2018 10:00	0.59	28.56	31.41
6/6/2018 11:00	0.75	31.40	26.53
6/6/2018 12:00	0.72	33.98	24.14
6/6/2018 13:00	0.49	33.12	23.45
6/6/2018 14:00	0.36	33.38	23.08
6/6/2018 15:00	0.29	33.76	23.02
6/6/2018 16:00	0.36	33.47	23.82
6/6/2018 17:00	0.40	33.34	24.62
6/6/2018 18:00	0.33	32.85	25.44
6/6/2018 19:00	0.61	30.35	33.04
6/6/2018 20:00	2.67	28.77	35.10
6/6/2018 21:00	4.17	28.03	39.81
6/6/2018 22:00	4.66	27.50	42.61
6/6/2018 23:00	4.47	26.43	45.17
7/6/2018 0:00	3.94	25.55	45.09
7/6/2018 1:00	4.20	24.76	52.40
7/6/2018 2:00	4.53	24.19	64.25
7/6/2018 3:00	3.98	24.03	62.06
7/6/2018 4:00	4.68	23.56	60.13
7/6/2018 5:00	4.99	23.68	59.02
7/6/2018 6:00	5.74	22.95	61.91
7/6/2018 7:00	1.52	23.05	63.11
7/6/2018 8:00	1.06	24.42	57.85
7/6/2018 9:00	1.02	26.99	53.89
7/6/2018 10:00	0.71	28.49	46.63
7/6/2018 11:00	0.71	30.90	39.15
7/6/2018 12:00	0.62	32.37	33.57
7/6/2018 13:00	0.48	33.42	30.17
7/6/2018 14:00	0.59	34.01	30.54
7/6/2018 15:00	0.54	34.20	30.46
7/6/2018 16:00	0.60	33.88	30.83
7/6/2018 17:00	0.84	32.81	32.39

Συσκευή DFrobot:

Πίνακας 2 Μετρήσεις σημείου 1

ΗΜ/ΝΙΑ & ΩΡΑ	Μ.Ο. ΑΣ (μg/m ³)	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΥΓΡΑΣΙΑ (%)
5/6/2018 17:00	19.44	29.84	19.14
5/6/2018 18:00	7.37	29.11	20.26
5/6/2018 19:00	5.49	28.01	22.04
5/6/2018 20:00	5.75	26.82	24.12
5/6/2018 21:00	8.19	25.83	25.69
5/6/2018 22:00	7.66	25.11	25.71
5/6/2018 23:00	10.57	24.32	28.52
6/6/2018 0:00	8.38	23.18	30.94
6/6/2018 1:00	7.53	22.78	32.39
6/6/2018 2:00	7.88	22.55	35.71
6/6/2018 3:00	8.29	21.95	37.51
6/6/2018 4:00	9.83	20.94	37.21
6/6/2018 5:00	10.63	20.58	38.97
6/6/2018 6:00	11.51	20.47	43.29
6/6/2018 7:00	10.95	20.33	48.53
6/6/2018 8:00	11.65	21.60	45.95
6/6/2018 9:00	11.07	23.02	42.04
6/6/2018 10:00	12.23	25.25	34.91
6/6/2018 11:00	9.70	27.35	28.41
6/6/2018 12:00	17.18	29.47	24.81
6/6/2018 13:00	16.12	29.01	23.21
6/6/2018 14:00	7.99	29.08	22.98
6/6/2018 15:00	9.85	29.55	22.63
6/6/2018 16:00	9.89	29.37	23.83
6/6/2018 17:00	16.59	29.27	24.93
6/6/2018 18:00	15.34	28.81	27.18
6/6/2018 19:00	15.05	26.96	36.49
6/6/2018 20:00	32.47	25.55	39.38
6/6/2018 21:00	32.00	25.04	44.22
6/6/2018 22:00	38.84	24.70	46.76
6/6/2018 23:00	33.06	23.73	49.70
7/6/2018 0:00	16.98	22.67	50.78
7/6/2018 1:00	17.74	22.11	58.67
7/6/2018 2:00	26.81	21.61	71.52
7/6/2018 3:00	25.71	21.44	69.51
7/6/2018 4:00	24.44	20.84	68.51
7/6/2018 5:00	26.00	21.02	66.66
7/6/2018 6:00	29.99	20.33	70.65
7/6/2018 7:00	32.09	20.43	71.83
7/6/2018 8:00	27.34	21.52	65.88
7/6/2018 9:00	30.09	23.84	59.64
7/6/2018 10:00	25.53	24.96	51.82

7/6/2018 11:00	18.88	26.82	43.30
7/6/2018 12:00	16.95	28.09	37.71
7/6/2018 13:00	18.23	29.10	33.28
7/6/2018 14:00	37.65	29.86	33.06
7/6/2018 15:00	45.73	30.07	33.14
7/6/2018 16:00	37.08	30.05	33.10
7/6/2018 17:00	42.14	29.24	34.83

Στο 2^ο σημείο οι μετρήσεις έγιναν από την Πέμπτη 7 Ιουνίου στις 18:00 ως το Σάββατο 9 Ιουνίου στις 18:00.

Συσκευή Grove:

Πίνακας 3 Μετρήσεις σημείου 2

ΗΜ/ΝΙΑ & ΩΡΑ	Μ.Ο. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ΑΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ($^{\circ}\text{C}$)	ΥΓΡΑΣΙΑ (%)
7/6/2018 18:00	0.53		31.53	33.47
7/6/2018 19:00	0.75		30.07	35.10
7/6/2018 20:00	2.46		28.50	37.87
7/6/2018 21:00	3.50		27.50	38.10
7/6/2018 22:00	3.77		27.02	40.35
7/6/2018 23:00	3.86		26.46	44.93
8/6/2018 0:00	2.86		25.98	47.55
8/6/2018 1:00	3.67		25.22	50.51
8/6/2018 2:00	4.39		24.17	53.30
8/6/2018 3:00	3.58		24.11	54.20
8/6/2018 4:00	3.26		23.41	56.18
8/6/2018 5:00	4.62		22.73	58.62
8/6/2018 6:00	2.93		22.50	60.18
8/6/2018 7:00	1.06		23.48	59.12
8/6/2018 8:00	1.10		26.24	53.09
8/6/2018 9:00	0.85		27.46	48.41
8/6/2018 10:00	0.85		29.20	43.59
8/6/2018 11:00	0.68		30.72	36.65
8/6/2018 12:00	0.62		32.24	32.78
8/6/2018 13:00	0.59		33.62	34.31
8/6/2018 14:00	0.54		33.79	34.61
8/6/2018 15:00	0.67		32.54	37.21
8/6/2018 16:00	0.63		31.52	41.91
8/6/2018 17:00	0.74		30.86	41.39
8/6/2018 18:00	0.79		30.36	40.53
8/6/2018 19:00	0.86		29.02	43.24
8/6/2018 20:00	2.53		27.55	45.72
8/6/2018 21:00	3.94		26.54	48.01
8/6/2018 22:00	3.61		26.15	46.87
8/6/2018 23:00	2.92		25.96	46.68

9/6/2018 0:00	2.47	25.59	48.76
9/6/2018 1:00	2.07	25.03	49.75
9/6/2018 2:00	2.63	24.93	50.33
9/6/2018 3:00	2.66	24.33	54.38
9/6/2018 4:00	2.12	24.01	54.23
9/6/2018 5:00	2.94	22.89	59.25
9/6/2018 6:00	2.60	22.24	61.78
9/6/2018 7:00	1.16	23.96	59.66
9/6/2018 8:00	0.94	25.41	56.77
9/6/2018 9:00	1.04	26.84	51.93
9/6/2018 10:00	0.86	28.59	45.67
9/6/2018 11:00	0.66	30.62	37.03
9/6/2018 12:00	0.65	31.06	35.41
9/6/2018 13:00	0.59	33.62	34.31
9/6/2018 14:00	0.50	33.29	28.34
9/6/2018 15:00	0.48	33.45	27.70
9/6/2018 16:00	0.45	33.69	26.69
9/6/2018 17:00	0.47	33.05	26.60

Συσκευή DFrobot:

Πίνακας 4 Μετρήσεις σημείου 2

ΗΜ/ΝΙΑ & ΩΡΑ	Μ.Ο. ΑΣ (μg/m ³)	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΥΓΡΑΣΙΑ (%)
7/6/2018 18:00	17.33	27.79	37.05
7/6/2018 19:00	17.58	26.64	38.79
7/6/2018 20:00	21.36	25.28	41.71
7/6/2018 21:00	21.42	24.61	42.63
7/6/2018 22:00	26.61	24.05	44.37
7/6/2018 23:00	21.64	23.53	49.61
8/6/2018 0:00	22.32	23.17	51.98
8/6/2018 1:00	23.51	22.32	56.10
8/6/2018 2:00	24.43	21.48	59.46
8/6/2018 3:00	26.16	21.45	60.54
8/6/2018 4:00	27.70	20.81	63.33
8/6/2018 5:00	30.66	20.19	66.83
8/6/2018 6:00	32.95	19.99	69.01
8/6/2018 7:00	32.42	20.73	67.84
8/6/2018 8:00	29.50	22.99	59.67
8/6/2018 9:00	32.43	24.22	53.41
8/6/2018 10:00	31.42	25.74	47.71
8/6/2018 11:00	22.93	26.87	40.71
8/6/2018 12:00	25.08	28.17	36.38
8/6/2018 13:00	28.05	29.25	38.45
8/6/2018 14:00	30.83	29.53	38.48
8/6/2018 15:00	30.03	28.73	40.75

8/6/2018 16:00	30.28	27.79	46.16
8/6/2018 17:00	29.98	27.30	46.18
8/6/2018 18:00	27.77	26.85	44.08
8/6/2018 19:00	31.00	25.67	47.33
8/6/2018 20:00	34.57	24.44	50.00
8/6/2018 21:00	42.32	23.64	52.34
8/6/2018 22:00	42.07	23.33	51.15
8/6/2018 23:00	37.77	23.19	50.77
9/6/2018 0:00	33.45	22.86	53.17
9/6/2018 1:00	31.92	22.26	54.84
9/6/2018 2:00	31.45	22.28	55.12
9/6/2018 3:00	32.10	21.70	60.41
9/6/2018 4:00	28.70	21.45	60.33
9/6/2018 5:00	34.97	20.38	67.37
9/6/2018 6:00	37.68	19.87	70.33
9/6/2018 7:00	34.70	21.18	67.82
9/6/2018 8:00	33.03	22.46	63.56
9/6/2018 9:00	34.05	23.69	57.46
9/6/2018 10:00	35.05	25.00	50.70
9/6/2018 11:00	29.99	26.51	45.68
9/6/2018 12:00	25.08	28.17	36.38
9/6/2018 13:00	16.51	28.04	32.57
9/6/2018 14:00	19.73	29.09	30.48
9/6/2018 15:00	20.29	29.26	29.51
9/6/2018 16:00	14.88	29.44	28.09
9/6/2018 17:00	14.82	29.00	28.03

Στο 3^ο σημείο οι μετρήσεις έγιναν από το Σάββατο 9 Ιουνίου στις 19:00 ως τη Δευτέρα 11 Ιουνίου στις 19:00 οπότε και τελείωσε η διαδικασία.

Συσκευή Grove:

Πίνακας 5 Μετρήσεις σημείου 3

ΗΜ/ΝΙΑ & ΩΡΑ	Μ.Ο. ΑΣ (μg/m ³)	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΥΓΡΑΣΙΑ (%)
9/6/2018 19:00	0.47	30.55	28.27
9/6/2018 20:00	0.80	29.66	29.56
9/6/2018 21:00	1.96	28.37	32.18
9/6/2018 22:00	2.41	28.35	38.58
9/6/2018 23:00	2.33	27.49	46.20
10/6/2018 0:00	2.65	26.66	42.55
10/6/2018 1:00	2.33	25.97	41.94
10/6/2018 2:00	1.62	24.53	40.48
10/6/2018 3:00	1.44	24.01	39.02
10/6/2018 4:00	1.50	23.32	40.45
10/6/2018 5:00	1.53	22.93	41.78

10/6/2018 6:00	1.47	22.95	42.06
10/6/2018 7:00	0.69	23.59	42.63
10/6/2018 8:00	0.64	21.77	35.36
10/6/2018 9:00	0.59	27.77	34.11
10/6/2018 10:00	0.46	29.80	30.33
10/6/2018 11:00	0.44	30.47	29.93
10/6/2018 12:00	0.37	32.45	28.43
10/6/2018 13:00	0.50	34.46	29.34
10/6/2018 14:00	0.42	33.78	29.37
10/6/2018 15:00	0.44	32.98	30.69
10/6/2018 16:00	0.48	32.12	30.81
10/6/2018 17:00	0.51	31.55	34.26
10/6/2018 18:00	0.56	31.48	34.19
10/6/2018 19:00	0.72	28.88	38.79
10/6/2018 20:00	2.34	27.51	42.84
10/6/2018 21:00	2.53	26.75	44.43
10/6/2018 22:00	2.56	25.61	47.85
10/6/2018 23:00	2.39	25.30	50.97
11/6/2018 0:00	2.90	24.81	52.24
11/6/2018 1:00	2.61	24.83	51.76
11/6/2018 2:00	2.87	23.64	54.86
11/6/2018 3:00	2.63	22.81	57.60
11/6/2018 4:00	3.11	22.51	58.51
11/6/2018 5:00	3.28	21.80	60.77
11/6/2018 6:00	2.26	21.79	60.97
11/6/2018 7:00	1.00	22.62	57.15
11/6/2018 8:00	0.85	25.26	51.13
11/6/2018 9:00	0.71	27.06	46.34
11/6/2018 10:00	0.68	29.22	39.87
11/6/2018 11:00	0.61	30.45	36.47
11/6/2018 12:00	0.61	32.55	31.84
11/6/2018 13:00	0.55	31.75	30.58
11/6/2018 14:00	0.51	32.42	29.85
11/6/2018 15:00	0.44	32.70	29.12
11/6/2018 16:00	0.37	32.72	28.88
11/6/2018 17:00	0.43	31.89	28.57
11/6/2018 18:00	0.46	30.81	29.28

Συσκευή DFrobot:

Πίνακας 6 Μετρήσεις σημείου 3

ΗΜ/ΝΙΑ & ΩΡΑ	Μ.Ο. ΑΣ (μg/m ³)	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΥΓΡΑΣΙΑ (%)
9/6/2018 19:00	5.60	26.71	30.75
9/6/2018 20:00	20.16	25.99	32.75
9/6/2018 21:00	27.04	25.12	35.76

9/6/2018 22:00	30.05	25.30	42.24
9/6/2018 23:00	31.17	24.56	50.15
10/6/2018 0:00	17.95	23.68	46.77
10/6/2018 1:00	13.10	23.14	45.90
10/6/2018 2:00	9.63	21.81	45.50
10/6/2018 3:00	6.55	21.35	43.55
10/6/2018 4:00	6.28	20.74	45.58
10/6/2018 5:00	6.33	20.47	47.04
10/6/2018 6:00	6.15	20.49	47.40
10/6/2018 7:00	6.46	21.13	47.71
10/6/2018 8:00	8.48	22.35	46.26
10/6/2018 9:00	5.26	24.22	38.63
10/6/2018 10:00	7.63	26.06	33.81
10/6/2018 11:00	10.06	26.77	33.00
10/6/2018 12:00	9.03	28.03	31.20
10/6/2018 13:00	24.50	29.98	32.36
10/6/2018 14:00	10.92	29.35	32.56
10/6/2018 15:00	13.64	28.81	33.74
10/6/2018 16:00	11.31	28.18	34.21
10/6/2018 17:00	12.99	27.49	38.85
10/6/2018 18:00	22.12	27.43	38.46
10/6/2018 19:00	31.76	25.72	42.77
10/6/2018 20:00	31.76	25.72	42.77
10/6/2018 21:00	25.63	23.75	49.27
10/6/2018 22:00	14.23	22.66	53.58
10/6/2018 23:00	18.44	22.37	57.14
11/6/2018 0:00	22.71	21.93	58.65
11/6/2018 1:00	23.86	22.03	57.69
11/6/2018 2:00	21.89	20.68	63.31
11/6/2018 3:00	21.29	20.28	65.70
11/6/2018 4:00	24.43	20.06	66.72
11/6/2018 5:00	27.74	19.43	69.88
11/6/2018 6:00	28.26	19.39	70.27
11/6/2018 7:00	25.18	19.91	66.27
11/6/2018 8:00	22.74	21.91	58.27
11/6/2018 9:00	23.81	23.94	50.67
11/6/2018 10:00	28.89	25.68	44.02
11/6/2018 11:00	23.89	26.49	41.09
11/6/2018 12:00	19.50	28.11	35.96
11/6/2018 13:00	16.84	27.85	33.97
11/6/2018 14:00	20.21	28.43	32.71
11/6/2018 15:00	16.55	28.70	31.59
11/6/2018 16:00	15.76	28.79	30.87
11/6/2018 17:00	12.99	27.49	38.85
11/6/2018 18:00	12.76	27.26	31.50

Πίνακας 7 Συγκριτικός Πίνακας μετρήσεων στο σημείο 3-Λάρισα

ΗΜ/ΝΙΑ & ΩΡΑ	Μ.Ο. ΑΣ (μg/m ³)	Μ.Ο. ΑΣ (μg/m ³)
9/6/2018 19:00	5.60	0.47
9/6/2018 20:00	20.16	0.80
9/6/2018 21:00	27.04	1.96
9/6/2018 22:00	30.05	2.41
9/6/2018 23:00	31.17	2.33
10/6/2018 0:00	17.95	2.65
10/6/2018 1:00	13.10	2.33
10/6/2018 2:00	9.63	1.62
10/6/2018 3:00	6.55	1.44
10/6/2018 4:00	6.28	1.50
10/6/2018 5:00	6.33	1.53
10/6/2018 6:00	6.15	1.47
10/6/2018 7:00	6.46	0.69
10/6/2018 8:00	8.48	0.64
10/6/2018 9:00	5.26	0.59
10/6/2018 10:00	7.63	0.46
10/6/2018 11:00	10.06	0.44
10/6/2018 12:00	9.03	0.37
10/6/2018 13:00	24.50	0.50
10/6/2018 14:00	10.92	0.42
10/6/2018 15:00	13.64	0.44
10/6/2018 16:00	11.31	0.48
10/6/2018 17:00	12.99	0.51
10/6/2018 18:00	22.12	0.56
10/6/2018 19:00	31.76	0.72
10/6/2018 20:00	31.76	2.34
10/6/2018 21:00	25.63	2.53
10/6/2018 22:00	14.23	2.56
10/6/2018 23:00	18.44	2.39
11/6/2018 0:00	22.71	2.90
11/6/2018 1:00	23.86	2.61
11/6/2018 2:00	21.89	2.87
11/6/2018 3:00	21.29	2.63
11/6/2018 4:00	24.43	3.11
11/6/2018 5:00	27.74	3.28
11/6/2018 6:00	28.26	2.26
11/6/2018 7:00	25.18	1.00
11/6/2018 8:00	22.74	0.85
11/6/2018 9:00	23.81	0.71
11/6/2018 10:00	28.89	0.68
11/6/2018 11:00	23.89	0.61
11/6/2018 12:00	19.50	0.61
11/6/2018 13:00	16.84	0.55
11/6/2018 14:00	20.21	0.51

11/6/2018 15:00	16.55	0.44
11/6/2018 16:00	15.76	0.37
11/6/2018 17:00	12.99	0.43
11/6/2018 18:00	12.76	0.46

4) ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μια ανάλυση των μετρήσεων που προέκυψαν ώστε να εξαχθεί ένα συμπέρασμα για την ποιότητα του αέρα ως προς τα σωματίδια PM 2.5 στην πόλη της Λάρισας. Επιπλέον θα αναλυθούν και οι δυνατότητες των 2 συσκευών ως προς το ζητούμενο σκοπό.

4.1) Σχολιασμός συσκευών

Όπως αναπτύχθηκε στο 2^ο κεφάλαιο αναζητήθηκαν 2 αισθητήρες για την κατασκευή 2 συσκευών μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων PM2.5. Οι συσκευές τοποθετήθηκαν ταυτόχρονα στα επιλεγμένα σημεία σε εξωτερικούς χώρους προστατευμένες και υπό τις ίδιες συνθήκες(θερμοκρασία, υγρασία).

Συσκευή Grove:

Αποτελεί μια σχετικά μέτρια λύση για την μέτρηση αιωρούμενων σωματιδίων καθώς δεν μπορεί να εξαχθεί ακριβές ποσοτικό συμπέρασμα για την συγκέντρωση των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Προσφέρεται όμως η δυνατότητα για ποιοτικά συμπεράσματα δίνοντας μια τάση για τη συγκέντρωση. Η χρήση επιπλέον λογισμικού για τη μετατροπή των μετρήσεων από pcs/0.01cf σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$ καθιστά τη χρήση της λίγο πιο περίπλοκη. Όσον αφορά τα τεχνικά χαρακτηριστικά της σε σχέση με την τιμή της αποτελεί μια σχετικά καλή λύση για πειραματισμό.

Συσκευή DFrobot:

Η απόδοση της 2^{ης} συσκευής χαρακτηρίζεται από υψηλή ακρίβεια, ταχύτητα και απευθείας απεικόνιση των μετρήσεων σε μονάδες που μας αφορούν. Η συσκευή αυτή έχει ενσωματωμένο αισθητήρα θερμοκρασίας και υγρασίας δίνοντας και εκεί πολύ ακριβή αποτελέσματα, συνυπολογίζοντας βέβαια τα σφάλματα του κατασκευαστή που έχουν ήδη αναφερθεί. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εκπαιδευτικούς αλλά και επαγγελματικούς σκοπούς.

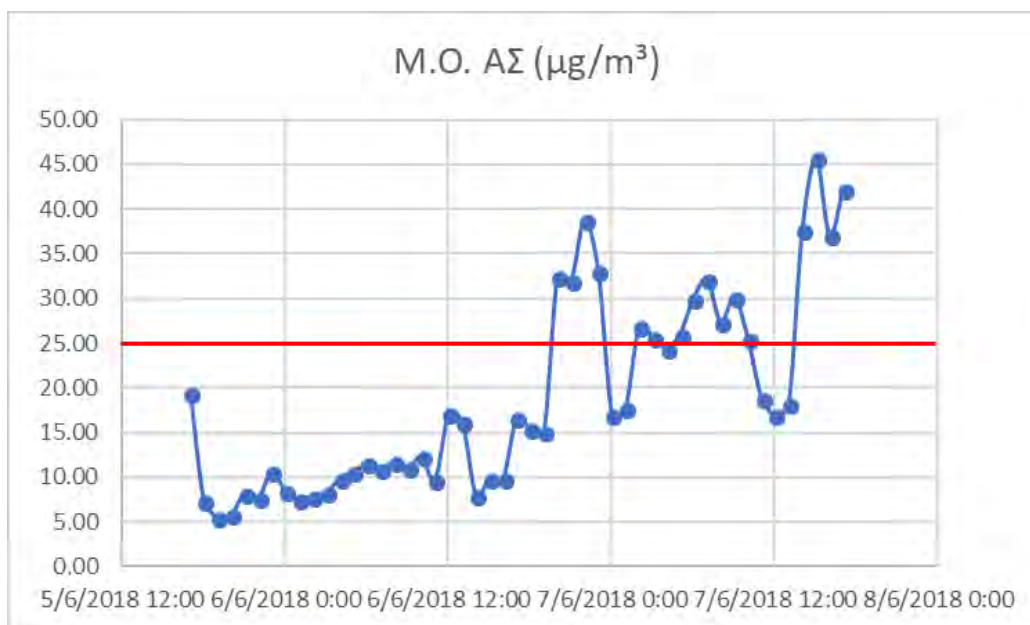
Τα παραπάνω μπορούν να επιβεβαιωθούν με τα παρακάτω ενδεικτικά διαγράμματα για τη συγκέντρωση των σωματιδίων όπου φαίνεται η απόκλιση των 2 συσκευών ως προς την ακρίβεια, οδηγώντας μας στον ποσοτικό σχολιασμό μόνο της δεύτερης. Τέλος αξίζει να σημειωθεί πως η διαδικασία μέτρησης ολοκληρώθηκε χωρίς καμία διακοπή ή πρόβλημα τεχνικής φύσεως.



Εικόνα 60 Σύγκριση μετρήσεων σημείο 3-Λάρισα

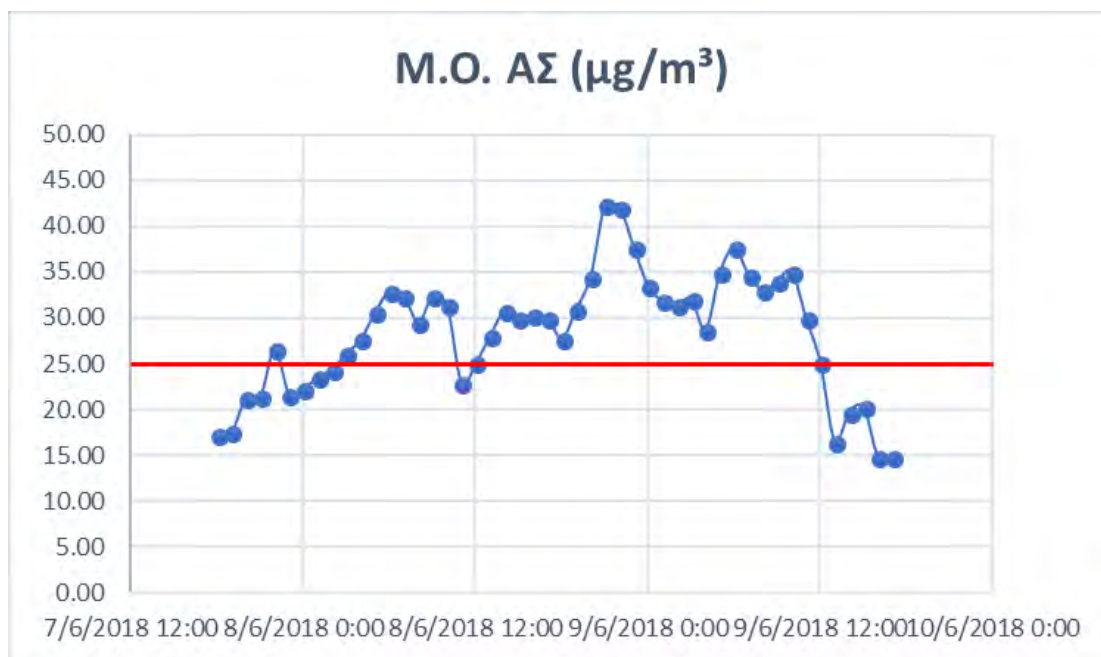
4.2) Συμπεράσματα για την πόλη της Λάρισας

Μετά την σύγκριση των 2 συσκευών θα αναλυθούν οι μετρήσεις της 2^{ης} συσκευής για ακριβή ποσοτικά αποτελέσματα στην πόλη της Λάρισας. Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας και την Ευρωπαϊκή Ένωση, το ημερήσιο όριο για την ποσότητα των αιωρούμενων σωματιδίων τοποθετείται στα 25 μικρογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Το σημείο αυτό απεικονίζεται και στα διαγράμματά μας με την κόκκινη γραμμή.



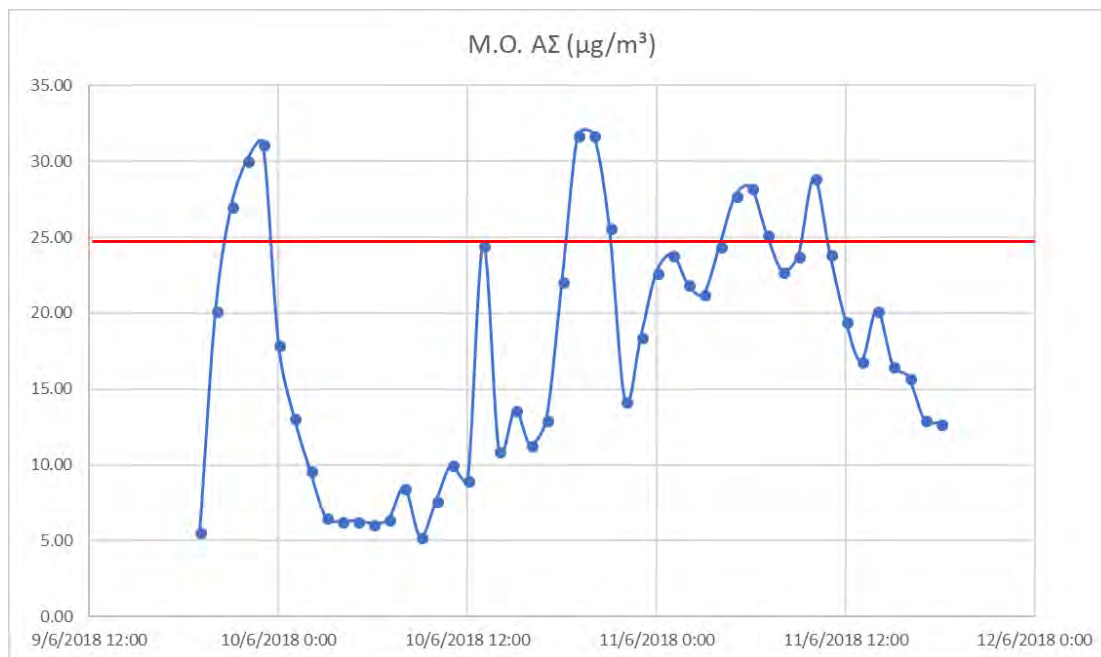
Εικόνα 61 Μετρήσεις σημείο 1 Λάρισα

Σύμφωνα με τις μετρήσεις στο 1^ο σημείο(Παναγούλη με Παπακυριαζή) ο μέσος όρος του πρώτου 24ώρου είναι $9.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ενώ στο 2^ο 24ωρο είναι περίπου $24\mu\text{g}/\text{m}^3$. Η περιοχή αυτή είναι στο κέντρο της Λάρισας και η αρχική εντύπωση ήταν πως θα υπάρχουν υψηλές μετρήσεις λόγω αυξημένης κίνησης και δραστηριοτήτων που λαμβάνουν χώρα φυσιολογικά στο κέντρο μιας πόλης. Εκτός της 1^{ης} ημέρας πιθανώς λόγω άπνοιας οι μετρήσεις ήταν κατά κύριο λόγο αυξημένες και πάνω από τα όρια ειδικά ώρες αιχμής όπως 10:00 με 13:00 το μεσημέρι και μετά τις 21:00 το βράδυ. Η υψηλότερη τιμή σημειώθηκε στις 7/6 στις 12:00 και έφτασε τα $45\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Εικόνα 62 Μετρήσεις σημείο 2 Λάρισα

Οι μετρήσεις που ελήφθησαν από το 2^ο σημείο της πόλης (Πλατεία Εβραίων) είναι αρκετά αποθαρρυντικές καθώς είναι αρκετά υψηλές. Το 1^ο 24ωρο ο μέσος όρος είναι κοντά στα $25.16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ενώ το 2^ο 24ωρο στα $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Όπως αναμενόταν και πάλι σε μια κατοικία σε έναν από τους πιο κεντρικούς δρόμους οι ενδείξεις είναι αρκετά μεγάλες και οι περισσότερες μετρήσεις βρίσκονται πάνω από τα όρια. Αξίζει να σημειωθεί πως εκείνο το διήμερο υπήρχε και μεταφορά αφρικανικής σκόνης η οποία σαφώς επηρέασε τα αποτελέσματα. Οι μεγαλύτερες τιμές σημειώθηκαν κυρίως τις πρώτες πρωινές ώρες και τις βραδινές όπου μπορεί να υποθεθεί πως η κίνηση αυτοκινήτων και λεωφορείων διαδραμάτισε σημαντικό ρόλο. Η μεγαλύτερη τιμή ανέρχεται στα $43\mu\text{g}/\text{m}^3$ στις 9/6 το βράδυ.



Εικόνα 63 Μετρήσεις σημείο 3 Λάρισα

Το 3^ο σημείο που είχε επιλεγθεί ήταν μια κατοικία κοντά στον Πηνειό ποταμό σε μια περιοχή πρασίνου και σχετικά αποκεντρωμένη. Οι περισσότερες μετρήσεις ήταν κάτω από τα όρια. Το 1^ο 24ωρο ο μέσος όρος ήταν 14.3 µg/m³ ενώ το 2^ο 24ωρο 20.7µg/m³ . Η γενική εικόνα όπως αναμενόταν είναι πως οι μετρήσεις είναι σημαντικά μικρότερες από τα 2 προηγούμενα σημεία και εμφανίζουν μια περιοδικότητα μέσα στην ημέρα. Η μεγαλύτερη τιμή ήταν 32µg/m³ στις 9/6 το βράδυ. Το πρωί είναι λίγο υψηλότερες και το βράδυ υποχωρούν. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε μετακινήσεις ή αυξημένη κίνηση κάποιες ώρες αιχμής.

Ένα γενικό συμπέρασμα για τη πόλη της Λάρισας που μπορεί να εξαχθεί με βάση τις μετρήσεις είναι πως η πόλη έχει πρόβλημα με τη συγκέντρωση σκόνης και ειδικά σε μια περίοδο που λείπουν φαινόμενα αιθαλομίχλης, καύσεων λόγω θέρμανσης και έντονης υγρασίας καθώς είναι καλοκαίρι. Η κατάσταση είναι σχετικά επιβαρυνμένη στο κέντρο λόγω κίνησης, παλαιών οχημάτων και ανθρωπίνων δραστηριοτήτων. Κοντά σε "πράσινες" περιοχές με έντονη βλάστηση , τα φαινόμενα υποχωρούν όμως υπάρχει περιθώριο για βελτίωση.

4.3) Προτάσεις για βελτίωση και εξέλιξη

ΜΙΚΡΟΣΩ-ΜΑΤΙΔΙΑ	Αριθμός ημερών που υπερβαίνονται τα όρια ανά έτος
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	208
Μισκόλτς (Ουγγαρία)	201
ΑΘΗΝΑ	174
Βουδαπέστη (Ουγγαρία)	166
ΛΑΡΙΣΑ	151
Λευκωσία (Κύπρος)	144
ΠΑΤΡΑ	138
Λιέγη (Βέλγιο)	132
Βάλνιους (Λιθουανία)	118
Οπόρτο (Πορτογαλία)	109
Κοϊμברה (Πορτογαλία)	99
Γιανσκι (Πολωνία)	97
ΒΟΛΟΣ	95
Πιέκς (Ουγγαρία)	93
Μπιντγκόστς (Πολωνία)	93
Οστράβα (Τσεχία)	91
Μπρατισλάβα (Σλοβακία)	87
Λάμπρι (Τσεχία)	87
Μάντσεστερ (Αγγλία)	71
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	69

Εικόνα 64 Ποιότητα αέρα-Ευρώπη

- Με την έρευνα της εφημερίδας "ΤΑ ΝΕΑ", η οποία κατατάσσει στις ευρωπαϊκές πόλεις με την χειρότερη ποιότητα αέρα τη Λάρισα και τον Βόλο, γίνεται προφανής η ανάγκη για μέτρα βελτίωσης. Αρχικά θα πρέπει να υιοθετηθεί ένας πιο "ευρωπαϊκός" τρόπος ζωής όσον αφορά την χρήση του αυτοκινήτου στο κέντρο της πόλης που πολλές φορές εξυπηρετείται από τα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς. Επιπρόσθετα πρέπει να γίνει ώθηση προς την χρήση ποδηλάτου ενώ παράλληλα πρέπει να αναζητηθούν λύσεις ηλεκτροκίνητου χαρακτήρα στα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς και να γίνει αντικατάσταση παλαιών πετρελαιοκίνητων λεωφορείων με λεωφορεία νέας τεχνολογίας. Μια ουσιαστική αναδόμηση της πόλης με περισσότερους πεζοδρόμους, δενδροφυτεύσεις και σωστά περιφερειακά δίκτυα θα βοηθήσει σημαντικά στο πρόβλημα. Πέρα από τις μεταφορές υπάρχει περιθώριο βελτίωσης και στον τομέα των βιομηχανιών όπου μπορεί να γίνει αυστηρότερος έλεγχος των εκπομπών και μετέπειτα λήψη μέτρων όταν τα όρια ξεπερνιούνται. Συγκεκριμένα τα μέτρα αυτά μπορεί να είναι:
- Περιορισμός κατά 30% της βιομηχανικής-βιοτεχνικής δραστηριότητας ο οποίος θα αποδεικνύεται με στοιχεία μείωσης παραγωγής ή και κατανάλωσης καυσίμου, σε σχέση με το μέσο όρο λειτουργίας των προηγούμενων επτά ημερών. Εξαιρούνται οι μονάδες συνεχούς πυράς και οι μονάδες που χρησιμοποιούν αέρια καύσιμα.

- Απαγόρευση κυκλοφορίας όλων των ΙΧ επιβατικών βενζινοκίνητων μη καταλυτικών, των ΙΧ πετρελαιοκίνητων και όλων των πετρελαιοκίνητων φορτηγών ιδιωτικής χρήσης στις περιοχές που θα καθορίζονται στην ανακοίνωση κήρυξης της εφαρμογής των βραχυπρόθεσμων μέτρων.
- Απαγόρευση κυκλοφορίας όλων των σχολικών λεωφορείων καθώς και όλων των φορτηγών δημόσιας χρήσης στις περιοχές που θα καθορίζονται στην ανακοίνωση κήρυξης της εφαρμογής των βραχυπρόθεσμων μέτρων,
- Κυκλοφορία των ταξί με σύστημα μονών -ζυγών.
- Διακοπή της λειτουργίας των εγκαταστάσεων κεντρικής θέρμανσης σε όλες τις δημόσιες υπηρεσίες, με εξαίρεση των εγκαταστάσεων που χρησιμοποιούν αέρια καύσιμα. Εξαιρούνται τα κτήρια περίθαλψης και κοινωνικής πρόνοιας και συγκεκριμένα τα νοσοκομεία, οι κλινικές, τα αγροτικά - περιφερειακά ιατρεία, οι υγειονομικοί σταθμοί, τα κέντρα υγείας, τα ψυχιατρεία, τα ιδρύματα ατόμων με ειδικές ανάγκες, τα ιδρύματα χρονίως πασχόντων, οι οίκοι ευγηρίας – γηροκομεία, τα βρεφοκομεία, τα οικοτροφεία - ορφανοτροφεία, οι ξενώνες, τα άσυλα καθώς και οι βρεφικοί, βρεφονηπιακοί, παιδικοί σταθμοί, νηπιαγωγεία και σχολεία πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης.

4.4) Προτάσεις για εξέλιξη

Με την τεχνολογία να καλπάζει και τον τομέα του Internet of things να αναπτύσσεται συνεχώς προκύπτουν ορισμένες προτάσεις για περαιτέρω εξέλιξη της παρούσας εργασίας. Η εργασία αυτή ήταν μια πρώτη προσπάθεια να μετρηθεί η συγκέντρωση των σωματιδίων στη πόλη της Λάρισας με χαμηλό κόστος και λειτουργικό τρόπο , με σκοπό να εξαχθούν συμπεράσματα για την ποιότητα του αέρα. Τα συμπεράσματα αυτά με τη σειρά τους οδηγούν σε μια ομάδα δράσεων για βελτίωση της κατάστασης. Δεδομένου ότι είναι κάτι νέο για την πόλη της Λάρισας θα μπορούσαν να γίνουν οι εξής βελτιώσεις:

- Δημιουργία περισσότερων συσκευών και τοποθέτηση σε στρατηγικά σημεία.
- Τοποθέτηση συσκευών σε κατοικίες ή σε Μέσα Μαζικής Μεταφοράς που καλύπτουν μεγάλο μέρος της πόλης(άρα καλύτερα συμπεράσματα).
- Βελτίωση τρόπου αποθήκευσης δεδομένων και δομής συσκευών.

Βιβλιογραφία

- 1) Wei Ying Yi, Kin Ming Lo, Terrence Mak, Kwong Sak Leung, Yee Leung and Mei Ling Meng , 2015 , ``A survey of wireless sensor network based air pollution monitoring systems``
- 2) Ανδρίτσος Ν. ,2017, Σημειώσεις: Τεχνολογίες Βιομηχανικής Αντιρρύπανσης-Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
- 3) Streete Wylie Bedford, ``Μηχανική ρευστών``
- 4) David Cooper C. Alley F.C,``Έλεγχος αέριας ρύπανσης``
- 5) Εταιρεία TSI Inc.
- 6) Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας
- 7) Cess R. Etal., 1997; Lohmann U. etal., 1997; Twomey S. 1974
- 8) Μπέσα Μ. ,2015, ``Συγκριτική μελέτη της πρότυπης σταθμικής μεθόδου μέτρησης PM2.5 και 10 με τη μέθοδο της αυτόματης καταγραφής``
- 9) Aleixandre , M., Gerboles, M. Review of Small Commercial Sensors for Indicative Monitoring of Ambient Gas. Chem. Eng. Trans. 2012, 30, 169–174.
- 10) Gerboles, M.; Buzica, D. Evaluation of Micro-Sensors to Monitor Ozone in Ambient Air; Technical report, Joint Research Center, Institute for Environment and Sustainability, 2009.
- 11) Grover, B.D.; Kleinman, M.; Eatough, N.L.; Eatough, D.J.; Hopke, P.K.; Long, R.W.; Wilson, W.E.; Meyer, M.B.; Ambs, J.L. Measurement of total PM2.5 mass (nonvolatile plus semivolatile) with the Filter Dynamic Measurement System tapered element oscillating microbalance monitor. J. Geophys. Res: Atmos. 2005, 110, pp. 148–157.
- 12) Air Quality Expert Group. Methods for Monitoring Particulate Concentrations. In Particulate Matter in the United Kingdom; Department for the Environment, Food and Rural Affairs: London, UK, 2005; pp. 134–143.
- 13) <https://www.arduino.cc/>
- 14) <http://www.who.int/>
- 15) <http://inovafitness.com/index.html>
- 16) <https://www.dfrobot.com/>
- 17) http://wiki.seeedstudio.com/Grove-Dust_Sensor/
- 18) <http://www.alphasense.com/>
- 19) <https://www.sensirion.com/>
- 20) <http://www.europeanlung.org/el/>
- 21) <http://www.tsi.com/dust-monitors/>