

Ιόνιο Πανεπιστήμιο

Τμήμα Πληροφορικής

ΠΜΣ Ψηφιακές Εφαρμογές και Καινοτομία

Capstone Project

Εξόρυξη γνώσης ποιότητας αέρα με χρήση αισθητήρων χαμηλού κόστους

Naoussa Air Quality

Mining air quality knowledge using low cost sensors: Naoussa Air Quality

Μητσιάνης Χρήστος - ΠΚΜ201908 - c19mits@ionio.gr

Επιβλέπων: Δρ. Μάρκος Αυλωνίτης, Επίκουρος Καθηγητής

Μέλη επιτροπής:

Δρ. Μανώλης Μαραγκουδάκης, Καθηγητής

Δρ. Κώστας Ποϊραζίδης, Αναπληρωτής Καθηγητής

Ακαδημαϊκό έτος 2020 - 2021

Κέρκυρα, Φεβρουάριος 2021

Η σελίδα είναι σκοπίμως λευκή

Πίνακας Περιεχομένων

Πίνακας Περιεχομένων **2**

Σύνοψη **4**

Abstract **5**

Εισαγωγή **6**

Αναγκαιότητα της έρευνας 7

Κύριοι ατμοσφαιρικοί ρύποι 8

Νοσηρότητα σχετιζόμενη την ατμοσφαιρική ρύπανση 9

Σχέσεις αιτιότητας 9

Επισκόπηση βιβλιογραφίας **10**

Μεθοδολογία αναζήτησης 10

Επισκόπηση 10

Ερευνητικό ερώτημα και μεθοδολογία **12**

Ερευνώμενη γεωγραφική τοποθεσία **13**

Προετοιμασία και τοποθέτηση σταθμών μέτρησης **14**

Προσωπικός μετεωρολογικός σταθμός 14

Smart Citizen Kits 16

Επίλυση προβλημάτων 17

Προετοιμασία πειράματος και επιλογή σημείων τοποθέτησης 18

Προεπισκόπηση δεδομένων **20**

WeatherCloud 20

Smart Citizen Kits 21

Τα πρώτα συμπεράσματα 22

Πλατφόρμα και υπηρεσία ενημέρωσης για την ποιότητα αέρα - IQAir 26

Συλλογή, προεπεξεργασία και περιγραφή ανάλυση **27**

Συλλογή, προεπεξεργασία και περιγραφική ανάλυση δεδομένων μετεωρολογικού σταθμού 27

Συλλογή γεωγραφικών πληροφοριών των σημείων τοποθέτησης σταθμών Smart Citizen Kit 32

Συλλογή, προεπεξεργασία και περιγραφική ανάλυση δεδομένων - Smart Citizen Kit 34

Αποσύνθεση - Decomposition **37**

Συσχέτιση τάσεων - Trend correlation 38

Ενοποίηση, μετασχηματισμοί δεδομένων και οπτικοποίηση δεδομένων **40**

Οπτικοποίηση και εξαγωγή γνώσης 41

Ευρωπαϊκή Κλίμακα Ποιότητας Αέρα (European Air Quality Index) 46

Υπολογισμός AQI ανά ώρα και μετασχηματισμός ανά ώρα 48

Κατανομή AQI με βάση την κατεύθυνση του ανέμου και σχέση pm2.5 με την ταχύτητα του ανέμου 52

Κύριες Συσχετίσεις **65**

PM / Ταχύτητα και ριπή ανέμου 65

PM / Ατμοσφαιρική πίεση 67
PM / Σχετική υγρασία 69
Συγκρίσεις περιοχών 69
Πίνακας βασικών συσχετίσεων 71

Γραμμική παλινδρόμηση 72
Επιλογή ανεξάρτητων μεταβλητών 72
Δόμηση γραμμικών μοντέλων 73
α1. Απλή γραμμική παλινδρόμηση (PM2.5 ← Wind Speed) 73
α2. Απλή γραμμική παλινδρόμηση (PM2.5 ← AtmPressure) 73
β1. Πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση (PM2.5 ← WindSpeed & AtmPressure) 74
β2. Πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση με ονοματική μεταβλητική (PM2.5 ← WindSpeed & AtmPressure & Winds) 75
γ. Πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση με ονοματική μεταβλητική και τετραγωνικούς όρους (PM2.5 ← WindSpeed & AtmPressure & Winds & WindSpeed2 & AtmPressure2) 78

Επιλογή μοντέλου 82

Προτάσεις 83

Συμπεράσματα 84

Βιβλιογραφία - Ιστογραφία 86

Σύνοψη

Η ατμοσφαιρική ρύπανση κρίνεται ένας από τους μεγαλύτερους περιβαλλοντικους κινδύνους. Η πρόωρη θνησιμότητα στην Ευρώπη λόγω της ατμοσφαιρικής ρύπανσης αγγίζει τους 400.000 θανάτους κάθε χρόνο. Τα υγειονομικά κόστη από την ατμοσφαιρική ρύπανση αγγίζουν τα 1,575 τρις δολάρια / έτος. Στην περιοχή της Νάουσας, Ημαθίας, μιας περιοχής που έχει πληγεί από παράλλες και οικονομικές υφέσεις οι κάτοικοι από το 2010 οδηγήθηκαν στη λύση της καύσης καυσόξυλων σε λέβητες, σόμπες και τζάκια. Το γεγονός αυτό έχει δημιουργήσει φαινόμενα αποπνητικής ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην περιοχή επιδρά πολυπαραγοντικά στις πτυχές των οικονομικών και κοινωνικών δραστηριοτήτων. Συγκεκριμένα, η ρύπανση ευθύνεται αναλογικά για τους πρόωρους θανάτους και την απομείωση της υγείας των κατοίκων. Επίσης, συμβάλει στην απομείωση της αγροτικής παραγωγής και συντελεί ως κίνητρο απόρριψης της περιοχής για τουρισμό. Μέσα από την ανάλυση των δεδομένων από 12 σταθμούς μέτρησεις γίνεται αντιληπτό πως η ταχύτητα του ανέμου μειώνει τις συγκεντρώσεις μικροσωματιδίων, εξήχθει επιπλεον η γνώση ότι χρειάζεται άνεμος ταχύτητας 2-3 m/s για ώστε οι συγκεντρώσεις να φτάσουν κάτω από τα επιτρεπτά επίπεδα. Επιπλέον, η ατμοσφαιρική πίεση παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τις συγκεντρώσεις καθώς η υψηλή ατμοσφαιρική πίεση συγκρατεί τους ρύπους χαμηλότερα, ενώ συμβαίνει το αντίθετο με την χαμηλή ατμοσφαιρική πίεση. Κατ' αναλογία στις 24 ώρες μιας μέρας, στο διάστημα μελέτης, η Νάουσα παρουσίασε 11 ώρες ακραία κακή ποιότητα αέρα, 5 ώρες πολύ κακή ποιότητα αέρα, 6 ώρες κακή ποιότητα αέρα, 0,6 ώρες μέτρια ποιότητα αέρα, 1,2 ώρες καλή ποιότητα αέρα και 0,2 ώρες πολύ καλή ποιότητα αέρα. Σύμφωνα με την μεθοδολογία του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος, στο διάστημα 9/1 με 11/2 σε συνολική διάρκεια δείγματος 34 ημερών η πόλη της Νάουσας παρουσιάζει στο 47,1% των ημερών ακραία κακή ποιότητα αέρα, 44,1% των ημερών πολύ κακή ποιότητα αέρα και 8,8% των ημερών κακή ποιότητα αέρα. Η μελέτη των γραμμικών μοντέλων παλινδρόμησης έδειξε πως το 86,3% της μεταβολής της συγκέντρωσης μικροσωματιδίων PM2.5 μπορεί να ερμηνευθεί μέσα από τις μεταβολές των όρων της ταχύτητας του ανέμου, της ατμοσφαιρικής πίεσης, της κατεύθυνσης του ανέμου, της ταχύτητας του ανέμου στο τετράγωνο και της ατμοσφαιρικής πίεσης στο τετράγωνο. Σε αυτό το γραμμικό μοντέλο το τυπικό σφάλμα μεταξύ παρατηρήσεων και μοντέλου είναι 10,48 mg/m^3.

Abstract

Air pollution is considered one of the biggest environmental hazards. Premature mortality in Europe due to air pollution reaches 400,000 deaths each year. Air pollution sanitation costs close to $ 1,575 trillion / year. In the area of Naoussa, Imathia, an area that has been affected by parallel and economic recessions, residents since 2010 were led to the solution of burning firewood in boilers, stoves and fireplaces. This has created phenomena of stagnant air pollution. Air pollution in the region has a multifactorial effect on aspects of economic and social activities. In particular, pollution is proportionally responsible for premature deaths and deteriorating health of residents. It also contributes to the reduction of agricultural production and also as an incentive to reject the area for tourism. Through the analysis of the data from 12 measurement stations it is understood that the wind speed reduces the concentrations of microparticles, in addition to that a wind speed of 2-3 m/s is needed for the concentrations to reach below the allowable levels. Also, atmospheric pressure is positively correlated with concentrations, as high atmospheric pressure keeps pollutants lower, while the opposite is true of low atmospheric pressure. By analogy within 24 hours of a day, during the study period, Naoussa presented 11 hours of extremely poor air quality, 5 hours of very poor air quality, 6 hours of poor air quality, 0.6 hours of moderate air quality, 1.2 hours of good quality air and 0.2 hours very good air quality. According to the methodology of the European Environment Agency, in the period 9/1 to 11/2 in a total sample duration of 34 days the city of Naoussa presents in 47.1% of the days extreme poor air quality, 44.1% of the days very poor quality air and 8.8% of days poor air quality. The study of linear regression models showed that 86.3% of the change in the concentration of PM2.5 microparticles can be interpreted through changes in the terms of wind speed, atmospheric pressure, wind direction, wind speed squared and atmospheric pressure squared. In this linear model the standard error between observations and model is 10.48 mg / m^3.

Εισαγωγή

Η οικονομική κρίση του 2010 στην Ελλάδα επέφερε δραστικές μεταβολές στο βιοτικό επίπεδο των πολιτών. Πέραν όμως από τις άμεσες και προφανείς υπάρχουν πολλές και πολυπαραγοντικές συνέπειες της κρίσης. Μια από αυτές είναι η μεταστροφή στους τρόπους και τα μέσα θέρμανσης σε πολλές περιοχές της Ελλάδας. Οι φόροι και οι αυξήσεις στις τιμές του πετρελαίου σε συνδυασμό με την μείωση των εισοδημάτων οδήγησαν ένα αξιοσημείωτο κομμάτι του πληθυσμού στην καύση ξύλου και άλλων παρεμφερών προϊόντων. Αυτή η μεταστροφή περιγράφεται από την Sindosi κ.ά. (2019) για την περιοχή των Ιωαννίνων όπου οι μετρήσεις μικροσωματιδίων 10μm (PM_{10}) και 2.5μm ($PM_{2.5}$) μετά το 2010 παρουσιάζουν μια απότομη αύξηση κατά τους χειμερινούς μήνες, γεγονός που αποδίδεται στην καύση ξύλου. Επίσης σε παρουσίαση συνεδρίου οι ερευνητές του Εργαστηρίου Μετάδοσης Θερμότητας και Περιβαλλοντικής Μηχανικής του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του ΑΠΘ, αναφέρουν πως τον χειμώνα του 2011-2012 παρατηρήθηκε 37% μείωση σε σχέση με τον αναμενόμενο στην κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος των νοικοκυριών, γεγονός που συνηγορεί κατά το μέρος που του αναλογεί στην μεταστροφή στον τρόπο θέρμανσης (Τασιούλας χ.χ.).

Επιπλέον, εισοδοματικές και οικονομικές αιτίες οδήγησαν τους έλληνες, κυρίως των βόρειων περιοχών της Ελλάδας, να αναζητήσουν τρόπους θέρμανσης με καύση επίπλων, ξύλων που έχουν υποστεί χημικές επεξεργασίες, ακόμα και άλλων υλικών και σκουπιδιών. Η μεταστροφή αυτή στον τρόπο θέρμανσης των νοικοκυριών έχει ως αποτέλεσμα την απομείωση της ποιότητας του αέρα. Η απομείωση αυτή στην ποιότητα του αέρα είναι μια από τις πολλές συνιστώσες που δέχτηκε η υγεία των ελλήνων, ως απόρροια της οικονομικής ύφεσης. Σύμφωνα με την αναφορά της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Περιβάλλοντος (European Environment Agency., 2020) η έκθεση σε μικροσωματίδια (pm) 2.5μm ευθύνεται για 379.000 πρόωρους θανάτους, κατά αναλογία στην Ευρώπη των 28. Επιπλέον η έκθεση σε διοξείδιο του αζώτου (NO_2) για 54.000 πρόωρους θανάτους και η έκθεση σε όζον (O_3) για 19.400 πρόωρους θανάτους. Αξίζει να σημειωθεί πως η μεγαλύτερη επίδραση στην υγεία από τις συγκεντρώσεις μικροσωματιδίων $PM_{2.5}$ παρουσιάζεται στις γειτονικές βαλκανικές χώρες (Κόσοβο, Σερβία, Αλβανία, Βουλγαρία και Βόρεια Μακεδονία) και οι μικρότερες κυρίως στις χώρες της Βαλτικής (Νορβηγία, Σουηδία, Φινλανδία και Ισλανδία και Ιρλανδία).

Στην Ελλάδα πέρα από τις μεγάλες πόλεις της Αθήνας και Θεσσαλονίκης, δεν υπάρχουν αρκετά δεδομένα για την ποιότητα αέρα (Sindosi κ.ά., 2019) σε βάθος χρόνου. Το δίκτυο σταθμών των κρατικών φορέων σταδιακά επεκτείνεται (*Δεδομένα Μετρήσεων Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης* -, χ.χ.), ενώ δήμοι, όπως της Θέρμης, Θεσσαλονίκης υλοποιούν δράσεις παρακολούθησης της ποιότητας αέρα με χρήση αισθητήρων χαμηλού κόστους (Symeonidis κ.ά., 2020).

Αναγκαιότητα της έρευνας

Το 2017 στην περιφέρεια της Κεντρικής Μακεδονίας καταγράφηκαν 21 ενεργοί σταθμοί μέτρησης ατμοσφαιρικών ρύπων. Όλοι οι σταθμοί βρίσκονται στην περιφερειακή ενότητα Θεσσαλονίκης (Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας - Διεύθυνση Σχεδιασμού και Αντιμετώπισης Εκτάκτων Αναγκών, 2017). Ως εκ τούτου, στις υπόλοιπες περιφερειακές ενότητες και συγκεκριμένα στη Νάουσα, Ημαθίας δεν υπάρχουν επίσημα καταγεγραμμένοι επίσημα, μέχρι στιγμής, σταθμοί μέτρησης.

Το κενό αυτό έρχεται μερικώς να καλύψει η παρούσα έρευνα αξιοποιώντας τεχνολογίες αισθητήρων χαμηλού κόστους, δημιουργώντας σύνολα δεδομένων, εξάγωντας γνώση και κάνοντας μια αρχική εκτίμηση της ποιότητας αέρα για την περίοδο Ιανουαρίου - Φεβρουαρίου 2021.

Η περιοχή της Νάουσας, Ημαθίας υπέστει την τελευταία αποβιομηχάνιση από το 1970 έως το 2006, και από άλλοτε κέντρο της κλωστοϋφαντουργίας με πλήθος βιομηχανιών και χιλιάδες εργαζόμενους σε αυτά, έφτασε το 2010 να έχει μια κλωστοϋφαντουργία (μετεγγατεστημένη εκτός πόλης) με μερικές δεκάδες εργαζομένους. Η αποβιομηχάνιση συνετέλεσε στην συρρίκνωση εισοδημάτων και οικονομικής δραστηριότητας, πριν το 2010, και συνεπικουρήθηκε από την οικονομική ύφεση από το 2010 και έπειτα. Στο δυσμενές αυτό οικονομικό σκηνικό οι κάτοικοι οδηγήθηκαν σε μείωση δαπανών, με διέξοδο, στον τομέα της θέρμανσης, την καύση ξύλου και παράγωγων ξύλου. Ο φυσικός πόρος της ξυλείας προέρχεται κατά κύριο λόγο από τον ορεινό όγκο του Βερμίου και ως παράγωγο των εργασιών που πραγματοποιούνται στα αγροκτήματα της περιοχής. Πλήθος συμπολιτών βρέθηκαν κάτω όριο της φτώχειας την περίοδο αυτή. Ο Δήμος Η. Π Νάουσας ως κάτοχος της μεγαλύτερης δασικής έκτασης στην Ελλάδα, ενεργοποίησε πολιτική διάθεσης καυσόξυλων σε δικαιούχους βάσει οικονομικών κριτηρίων. Η οικονομία και οι πολιτικές επιδρούν στην ποιότητα του αέρα, το γεγονός αυτό καθιστά αναγκαία την παρούσα έρευνα για την τεκμηρίωση βελτιωτικών πολιτικών και στρατηγικών δράσεων σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο.

Άλλος ένας παράγοντας μελέτης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι το υγειονομικό οικονομικό βάρος που καλούνται οι πολίτες να επωμιστούν. Στα 1,575 τρις US $ / έτος ανέρχεται η εκτίμηση του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας για το κόστος από πρόωρους θανάτους και προβλήματα υγείας που σχετίζονται με την ατμοσφαιρική ρύπανση (*Economic Cost of the Health Impact of Air Pollution in Europe: Clean Air, Health and Wealth*, 2015). Θα πρέπει να μας απασχολήσει το κόστος αυτό καθ ότι ο πληθυσμός της Ευρώπης και Ελλάδας γερνούν (*Πληθυσμιακή διάρθρωση και δημογραφική γήρανση - Statistics Explained*, 2020).

Τοπικά στην περιοχή μελέτης (Νάουσα, Ημαθία) μια ακόμη παράμετρος είναι η αγροτική παραγωγή, καθότι είναι βασικός πλέον πυλώνας της οικονομίας της περιοχής. Οι αγροτικές παραγωγές μπορούν να νοσήσουν όταν εκτίθενται σε μεγάλες συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικών ρύπων (Griffiths, 2003). Επιπλέον, η επικάθιση βαρέων μετάλλων όπως κάδμιο και μόλυβδος επιδρούν αρνητικά στα φυλλώδη λαχανικά (Noh κ.ά., 2019).

Οι τουριστικές επιχειρήσεις της περιοχής και τα μελλοντικά επιχειρηματικά μοντέλα που βασίζονται στον τουρισμό κινδυνεύουν από την κακή ποιότητα αέρα. Οι κρατήσεις και η τουριστική δραστηριότητα μειώνεται όσο τα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης αυξάνονται, καθότι οι επισκέπτες γνωρίζουν ή ενημερώνονται για τις περιβαλλοντικές συνθήκες και επιλέγουν ανάλογα (Zhou κ.ά (2018) στο Eusébio κ.ά., 2020). Επιπλέον η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να καθορίσει τις τιμές των ακινήτων σε μια περιοχή.

Συμπερασματικά, “η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι ο σημαντικότερος περιβαλλοντικός κίνδυνος για την υγεία στην Ευρωπαϊκή Ένωση” (European Court of Auditors., 2018) γεγονός που δηλώνει την αναγκαιότητα σε ενδελεχή έρευνα - μελέτη και πολιτικές βελτίωσης της ποιότητας αέρα και κατ’ επέκταση της ζωής των κατοίκων.

Κύριοι ατμοσφαιρικοί ρύποι

Αιωρούμενα μικροσωματίδια

Στα αιωρούμενα μικροσωματίδια (Particulate Matter - PM) εντάσσονται υγρά ή στερεά σωματίδια που αιωρούνται στον αέρα. Ευρύ είναι το πλήθος των ουσιών που μπορούν να έχουν μικροσωματιδιακή μορφή και να αιωρούνται είναι ενδεικτικά η γύρη, τα ανθρακικά αεροζόλ από καύση ορυκτών καυσίμων και βιομάζας, εδαφική σκόνη, νιτρικά αεροζόλ, κ.α (Μαρκαντωνάκη, 2015). Ένας βασικός τρόπος κατάταξης των μικροσωματιδίων είναι ανάλογα με το μέγεθός τους σε σωματίδια μεγέθους έως 10 μm PM_{10}, σε σωματίδια μεγέθους έως 2.5 μm $PM_{2.5}$ και σε σωματίδια μεγέθους έως 1μm. Ανάλογα με την σύστασή τους, την πυκνότητά τους και το μέγεθός τους μπορούν να ιδωθούν με γυμνό μάτι με την μορφή σκόνης ή καπνού.

Στην παρούσα έρευνα μετρώνται και οι τρεις κατηγορίες με ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την εξαγωγή δεικτών ποιότητας αέρα στις κατηγορίες PM_{10} και $PM_{2.5}$.

PM_{10}: Πρόκειται για εισπνεύσιμα αιωρούμενα σωματίδια με μέγεθος αεροδυναμικής διαμέτρου μέχρι 10 μm. Μπορούν να περάσουν στο ανώτερο αναπνευστικό σύστημα (μύτη, ρινοφάρυγγας και λάρυγγας), λόγω μεγέθους δεν περνάνε στο κατώτερο (τραχεία - βρόγχοι). Το ανώτερο ανώτερο αναπνευστικό σύστημα αποβάλει τα σωματίδια, ενώ ένα μέρος τους μπορεί να περάσει και στο κατώτερο. Παράλληλα, η διάρκεια παραμονής στο σύστημα είναι μικρή (Μαρκαντωνάκη, 2015).

$PM_{2.5}$: Πρόκειται για λεπτόκοκκα (**fine**) σωματίδια με μέγεθος αεροδυναμικής διαμέτρου μέχρι 2,5 μm. Μπορούν να περάσουν από το ανώτερο αναπνευστικό επίπεδο στις θωρακικές αναπνευστικές οδούς μέχρι τους τερματικούς βρόχους. Τα άκρως επικίνδυνα είναι τα μικρότερα σωματίδια από 2 μm και κυριότερα τα σωματίδια από 0,1 - 1 μm καθώς έχουν την δυνατότητα να φτάσουν μέχρι τις πνευμονικές κυψελίδες όπου γίνεται η ανταλλαγή του αέρα στους πνεύμονες, και να παραμείνουν για μήνες. Αιωρούμενα σωματίδια 2,5 μm αποτελούνται κυρίως από τοξικές για τον άνθρωπο ενώσεις (Μαρκαντωνάκη, 2015)(US EPA, 2016).

NO_2: Διοξείδιο του αζώτου είναι τοξικό αέριο, ερεθίζει τους πνεύμονες προκαλώντας βλάβη στα κύτταρα που τους περιβάλλουν με αποτέλεσμα εμφύσημα και χρόνια βρογχίτιδα (Κωστίκα, 2013).

SO_2: Διοξείδιο του θείου είναι τοξικό άχρωμο αέριο με έντονη οσμή, μπορεί να προκαλέσει σοβαρά αναπνευστικά προβλήματα και αλλοιώσεις σε βλάστηση και μέταλλα. Προέρχεται κυρίως από την καύση ορυκτών καυσίμων και βιομηχανίες.(European Lung Foundation, χ.χ.).

O_3: Τροποσφαιρικό όζον είναι άχρωμο αέριο το οποίο κοντά στο έδαφος είναι κακό καθώς δημιουργείται από χημικές αντιδράσεις των ακτίνων του ήλιου και οργανικών αερίων και οξειδίων του αζώτου, τα οποία προέρχονται από αυτοκίνητα, ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες, βιομηχανικούς λέβητες διυλιστήρια, εργοστάσια επεξεργασίας χημικών κ.α (European Lung Foundation, χ.χ.).

Νοσηρότητα σχετιζόμενη την ατμοσφαιρική ρύπανση

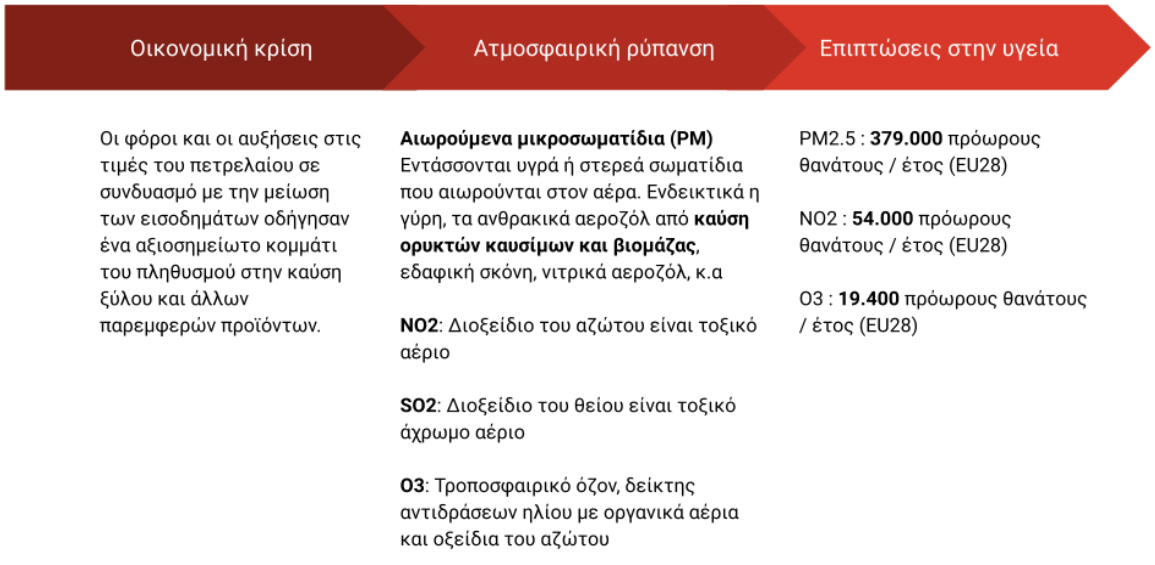
Το φάσμα της νοσηρότητας που σχετίζεται η ατμοσφαιρική ρύπανση εκτείνεται σε:

- αναπνευστικά προβλήματα
- βρογχίτιδα
- άσθμα
- καρκίνοι του αναπνευστικού
- καρδιαγγειακές παθήσεις
- λιποβαρή νεογνά
- προωρότητα τοκετού και αυξημένη πιθανότητα αποβολής
- συναισθηματικό στρες και γνωστική απομείωση
- διαβήτης

(Kim κ.ά., 2015)(Franck κ.ά., 2011)(Zhang κ.ά., 2021)(Petkus κ.ά., 2021)

Σχέσεις αιτιότητας

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι σχέσεις αιτιότητας σχετιζόμενες με την ατμοσφαιρική ρύπανση στην περιοχή της Νάουσας, Ημαθίας



Σχέσεις αιτιότητας της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στη Νάουσα, Ημαθίας

Επισκόπηση βιβλιογραφίας

Μεθοδολογία αναζήτησης

Για την βιβλιογραφική επισκόπηση πραγματοποιήθηκαν αναζήσεις στην βάση επιστημονικής βιβλιογραφίας Scopus. Χρησιμοποιήθηκαν όροι όπως “air quality”, “pm 2.5 και wind speed”, “pm 2.5 και correlations”, “pm 2.5 και analysis”, “pm 2.5 και forecast model”. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά μερικές αναζητήσεις και το πλήθος αποτελεσμάτων της βάσης.

Πίνακας: Αναζητήσεις στην βιβλιογραφική βάση Scopus και πλήθος αποτελεσμάτων

Όροι αναζήτησης	Αποτελέσματα
air quality	171798
air quality particulate matter	22537
air quality particulate matter analysis	11281
pm 2.5 wind speed	726
pm 2.5 correlations	2045
pm 2.5 analysis	7285
pm 2.5 forecast	222
pm 2.5 winter	2156
pm 2.5 forecast model	194

Επισκόπηση

Στο πεδίο της μοντελοποίησης και της πρόγνωσης τα ολοκληρωμένα αυτοπαλινδρωμικά μοντέλα κινούμενου μέσου όρου (ARIMA) έχουν ευρεία χρήση στην πρόγνωση χρονοσειρών (Castelli κ.ά., 2020). Συγκεκριμένα στην έρευνα των Siew κ.ά., (2008) με χρήση ARIMA η πρόγνωση του δείκτη ατμοσφαιρικής ρύπανσης ανέρχεται στο 95% του διαστήματος εμπιστοσύνης. Δοκιμάζοντας Principal Component Analysis και Support Vector Regression οι Castelli κ.ά., (2020) προβλέπουν την ωριαία ατμοσφαιρική ρύπανση. Ένα στοχαστικό μοντέλο εφαρμόζει ο Lee, (2020) στο οποίο εφαρμόζονται περιβαλλοντικές δυναμικές όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η κατεύθυνση και ταχύτητα του ανέμου. Μέσα από τεχνητό νευρωνικό δίκτυο το μοντέλο προβλέπει επιτυχώς τα επίπεδα συγκεντρώσεων PM σε διάφορες περιοχές της πόλης. Την ακρίβεια των μοντέλων των τεχνητών νευρωνικών δικτύων και του μοντέλου Holt-Winter στην ημερήσια πρόβλεψη των τιμών συγκέντρωσης δείχνουν οι Ventura κ.ά., (2019) γεγονός που δηλώνει την πληθώρα των εργαλείων μοντελοποίησης και ικανοποιητικής πρόβλεψης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Αναλύοντας τάσεις (trends) στις συγκεντρώσεις $PM_{2.5}$ και PM_{10} οι Pandey κ.ά., (2012) δείχνουν πως κατά την διάρκεια των μουσώνων στην Ινδία τα $PM_{2.5}$ είναι στο 25% των PM_{10} , ενώ κατά την διάρκεια του χειμώνα η αναλογία φτάνει στο 75%, γεγονός που αποδίδεται στις άμεσες εκπομπές ρύπων από μεταφορές και καύση βιοκαυσίμων.

Προσεγγίζοντας την συσχέτιση των κυριότερων ρύπων μέσα από την τεχνική της συσταδοποίησης X-means και K-means οι Arce κ.ά., (2018) πραγματοιούν εξαγωγή γνώσης για την ατμοσφαιρική ρύπανση σε αστικό περιβάλλον.

Οι Lin κ.ά., (2020) αναλύουν την σχέση της συγκέντρωσης $PM_{2.5}$ με δορυφορικά δεδομένα. Με δειγματοληψία στα $PM_{2.5}$ από διάφορα σημεία και με χρήση Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) εξάγουν μια μέθοδο η οποία παρέχει ικανοποιητικές χρονοχρονικές κατανομές των συγκεντρώσεων $PM_{2.5}$.

Η ακρίβεια των μετρήσεων εγείρεται σαν θέμα από τους Clements κ.ά., (2019) και καλούν την επιστημονική κοινότητα να επιστήσει την προσοχή της καθώς πολλοί PM αισθητήρες χαμηλού κόστους μπορούν να επηρεαστούν από τα στοιχεία κατασκευής τους όπως η ένταση της λάμπας που έχουν, η ταχύτητα του ανεμιστήρα, η καθαρότητα των οπτικών στοιχείων. Ως σημείωση αφήνουν πως πως τα δεδομένα από αισθητήρες χαμηλού κόστους θα πρέπει να αντιπαραβάλονται με μετρήσεις από υψηλών προδιαγραφών μετρικά όργανα. Παρόλα αυτά, για τον αισθητήρα μικροσωματιδίων που χρησιμοποιείται στην παρούσα έρευνα (Plantower PMS5003) η εργαστηριακή έρευνα (Bulot κ.ά., 2020) δείχνει πως οι μετρικές του είναι αξιόλογες στις μετρήσεις μικρών μικροσωματιδίων και στις μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης λόγω καπνού.

Με την χρήση αισθητήρων χαμηλού κόστους οι Ahangar κ.ά., (2019) κατέληξαν να δημιουργήσουν καλύτερης χωρικής ανάλυσης χάρτες σε σύγκριση με το αραιό δίκτυο των σταθμών ατμοσφαιρικής ρύπανσης, γεγονός που δηλώνει πως οι μετρήσεις και δράσεις που θα ληφθούν μπορούν να γίνουν με μεγάλη γεωχωρική ακρίβεια. Στο πλαίσιο αυτό οι Hasenfratz κ.ά., (2015) εγκατέστησαν αισθητήρες στα βαγόνια του τραμ στην Ζυρίχη με στόχο την καλύτερη γεωχωρική απεικόνιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Ενώ, για την αποτύπωση των κόκκινων ζωνών και την έγκαιρη προειδοποίηση του ποδηλατιστή οι Elen κ.ά., (2012) εγκατέστησαν αισθητήρες χαμηλού κόστους σε ποδήλατα.

Ερευνητικό ερώτημα και μεθοδολογία

Η παρούσα εργασία καλείται να απαντήσει στο εξής ερώτημα:

“Πως οι τεχνικές ανάλυσης και επεξεργασίας δεδομένων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή γνώσης, συγκεκριμένα στην αναγνώριση των συσχετίσεων και μοτίβων των ρύπων $PM_{2.5}$ και PM_{10} με περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως η ταχύτητα και κατεύθυνση του ανέμου, η θερμοκρασία, η ατμοσφαιρική πίεση και η υγρασία”

Βασική υπόθεση προς απόδειξη της εργασίας είναι η εξής: “Όταν φυσάει η ατμοσφαιρική ρύπανση μειώνεται”

Για να απαντηθούν τα παραπάνω ερωτήματα και για τον έλεγχο της υπόθεσης εργασίας πραγματοποιήθηκε μια πειραματική διαδικασία και η ανάλυση δεδομένων αυτής. Η πειραματική διαδικασία περιελάμβανε την εγκατάσταση μετεωρολογικού σταθμού (Προσωπικού μετεωρολογικού σταθμού - PWS) και σταθμών μέτρησης περιβαλλοντικών παραγόντων και αιωρούμενων μικροσωματιδίων PM.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε περιγράφεται συνοπτικά στα στάδια:

- Προετοιμασία για την συλλογή δεδομένων - Ορισμός σημείων δειγματοληψίας - Επικοινωνία για σύμφωνη γνώμη στην εγκατάσταση των σταθμών
- Παραλαβή - τεχνικός έλεγχος - διόρθωση μετρητικών σταθμών
- Εγκατάσταση, έλεγχος και επίλυση προβλημάτων σε μετρικούς σταθμούς
- Δημιουργία μεταδεδομένων - (Γεωγραφική θέση, Προσανατολισμός, Περιοχή, κ.α)
- Συλλογή δεδομένων από ιστοχώρους πρόγνωσης ατμοσφαιρικής ρύπανσης για σύγκριση
- Προεπισκόπηση δεδομένων και εξαγωγή αρχικών συμπερασμάτων
- Συλλογή δεδομένων
- Προεπεξεργασία δεδομένων (Μετατροπή σε κατάλληλη μορφή, καθαρισμός, συμπλήρωση τιμών, και ενοποίηση δεδομένων)
- Αποσύνθεση σε τάσεις και οπτικοποίηση των τάσεων
- Συσχέτιση των τάσεων
- Δημιουργία συνόλων δεδομένων με διαφορετικές χρονικές αναλύσεις
- Δημιουργία μέσων όρων για την ερευνόμενη περιοχή
- Διακριτοποίηση και δημιουργία πρόσθετων χαρακτηριστικών για τον υπολογισμό της κλίμακας ποιότητας αέρα σύμφωνα με την μεθοδολογία του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος
- Μετασχηματισμός δεδομένων με βάση την ώρα της ημέρα
- Μετασχηματισμός δεδομένων με βάση την κατεύθυνση και ταχύτητα του ανέμου
- Εξαγωγή και ερμηνεία συσχετίσεων
- Δημιουργία μοντέλων γραμμικής παλινδρόμησης
- Επιλογή μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης

Ερευνώμενη γεωγραφική τοποθεσία

Η έρευνα πραγματοποιείται στη Νάουσα, Ημαθίας στην Κεντρική Μακεδονία. Η πόλη βρίσκεται στους πρόποδες του όρους Βέρμιο. Είναι 22 χιλιόμετρα βορειότερα από την Βέροια, πρωτεύουσα της περιφερειακής ενότητας. Η δημοτική κοινότητα της Νάουσας (πόλη της Νάουσας) έχει πληθυσμό κατοίκων 19.268 (‘Δήμος Ηρωικής Πόλης Νάουσας’, 2020). Στα δυτικά - νοτιοδυτικά βρίσκεται το όρος Βέροιο, ενώ βρίσκεται πάνω από την αποξηραμένη λίμνη των Γιαννιτσών. Στα βορειοανατολικά βρίσκεται το όρος Πάικο, ενώ στα ανατολικά σε απόσταση 100 χλμ βρίσκεται η πόλη της Θεσσαλονίκης και ο Θερμαϊκός κόλπος.



Η θέση της Νάουσας στους πρόποδες του όρους Βέρμιο



Η θέση της Νάουσας σε σχέση με τον κάμπο των Γιαννιτσών, το όρος Πάικο και την Θεσσαλονίκη

Προετοιμασία και τοποθέτηση σταθμών μέτρησης

Προσωπικός μετεωρολογικός σταθμός

Για τις ανάγκες της παρούσας έρευνας έγινε προμήθεια και εγκατάσταση προσωπικού μετεωρολογικού σταθμού. Ο βασικός λόγος για την προμήθεια ήταν η μέτρηση της κατεύθυνσης και της ταχύτητας του ανέμου.

Συνολικά τα δεδομένα που συλλέγει ο σταθμός είναι

- Θερμοκρασία αέρα εξωτερικού χώρου - ^{o}C
- Σχετική υγρασία εξωτερικού χώρου - %rh
- Βροχόπτωση - mm
- Ταχύτητα βροχόπτωσης - mm/h
- Ταχύτητα ανέμου - m/s
- Κατεύθυνση ανέμου - Αζιμούθια γωνία
- Εσωτερική θερμοκρασία - ^{o}C
- Εσωτερική υγρασία - %rh
- Ατμοσφαιρική πίεση - hPa

Επιπλέον βάσει υπολογισμών ορίζει:

- Σημείο δρόσου - ^{o}C
- Αίσθηση ψύχους/θερμότητας - ^{o}C

Βασικό χαρακτηριστικό για την επιλογή του ήταν η δυνατότητα ασύρματης σύνδεσης στο διαδίκτυο και μετάδοσης των δεδομένων του στις υπηρεσίες - πλατφόρμες Weather Underground και WeatherCloud.

Η υπηρεσία Weather Underground της IBM χρησιμοποιεί τα δεδομένα του σταθμού και άλλων επίγειων σταθμων σε συνδυασμό με δορυφορικά δεδομένα και δεδομένα από ραντάρ για την βέλτιστη εκπαίδευση αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης με στόχο την εξαγωγή υπερτοπικών προγνώσεων καιρού.

Η υπηρεσία Weather Cloud προσφέρει την δυνατότητα οπτικοποίησης δεδομένων σε dashboards. Βασικό χαρακτηριστικό της υπηρεσίας που αξιοποιήθηκε στην παρούσα εργασία είναι η δυνατότητα λήψης των δεδομένων τους server της υπηρεσίας.



Ο προσωπικός μετεωρολογικός σταθμός (PWS) και τα δεδομένα που συλλέγονται

Επιπλέον τροποποιήσεις και αλλαγές στον μετεωρολογικό σταθμό ήταν αναγκαίες για την εύρυθμη λειτουργία του. Χαρακτηριστικά έγινε τροποποίηση της τροφοδοσίας της εξωτερικής μονάδας σε τροφοδοσία από μετασχηματιστή και όχι από μπαταρίες ώστε να μπορεί να εγκατασταθεί χωρίς διαρκή συντήρηση και αλλαγή μπαταριών. Ο σταθμός εγκαταστάθηκε και σταθεροποιήθηκε σε ανοξείδωτη σωλήνα γαλβανιζέ. Στην τελική του θέση βρίσκεται σε ύψος 10 μέτρων από το έδαφος, ενώ έχει προσανατολισμό τον βορρά.



Τροποποιήσεις για τροφοδότηση της εξωτερικής μονάδας με καλώδιο - μετασχηματιστή



Εργασίες τοποθέτησης



Τελική τοποθέτηση σε ύψος 10m από το έδαφος

Εργασίες και τοποθέτηση του μετεωρολογικού σταθμού

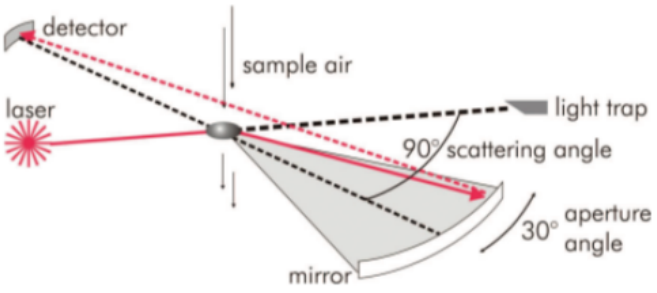
Smart Citizen Kits

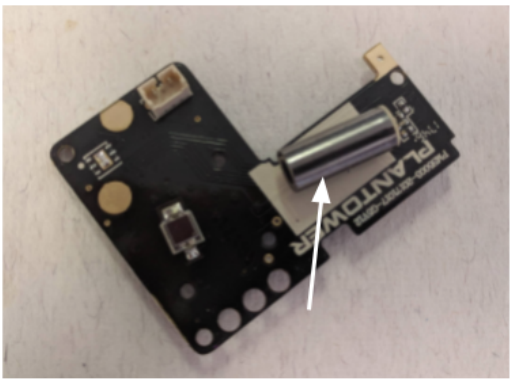
Από το Εργαστήριο Υπολογιστικής Μοντελοποίησης και με την συνεργασία του κ. Μάρκου Αυλωνίτη και του κ. Νικόλαου Πολυμενάκου έγινε διαμόρφωση, τροποποίηση και αποστολή 14ων Smart Citizen Kits.

Το Smart Citizen Kit είναι μια προσπάθεια που ξεκίνησε την Βαρκελώνη από ομάδες πολιτών με στόχο την καταγραφή περιβαλλοντικών δεδομένων και την τεκμηρίωση προτάσεων προς τον δήμο και την περιφέρεια ώστε να ληφθούν αποφάσεις επίλυσης προβλημάτων. Αποτελείται από έναν μικροελεγκτή Arduino και συλλέγει δεδομένα από μια πλακέτα με αισθητήρες, αποστέλλει τα δεδομένα του μέσω WiFi σε μια διαδικτυακή πλατφόρμα από όπου γίνεται η προσπέλαση και οπτικοποίηση τους - https://smartcitizen.me/kits/. Τα δεδομένα που συλλέγει η συγκεκριμένη πλακέτα αισθητήρων είναι:

- Θερμοκρασία Αέρα - ^{o}C
- Σχετική υγρασία - %rh
- Θόρυβο - dBA
- Φωτεινότητα - lx
- Ατμοσφαιρική πίεση - kPa
- Αντιστοιχία σε εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (eCO2) - ppm
- Πτητικές οργανικές ενώσεις (TVOC) - ppm

Επιπλέον στην κάρτα των αισθητήρων συνδέεται μετρητής μικροσωματιδίων Plantower PSM 5003 για μέτρηση των μικροσωματιδίων 1μm, 2,5μm και 10 μm σε μικρογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο (μg/m^3 ή ug/m^3). Η βασική αρχή λειτουργίας του συγκεκριμένου αισθητήρα είναι η μέτρηση της σκέδασης του φωτός από τα μικροσωματίδια που περνούν από μια περιοχή. Όσο μεγαλύτερο είναι το πλήθος των σωματιδίων τόσο μεγαλύτερη η σκέδαση της φωτεινής ακτίνας (Grimm & Eatough, 2009).

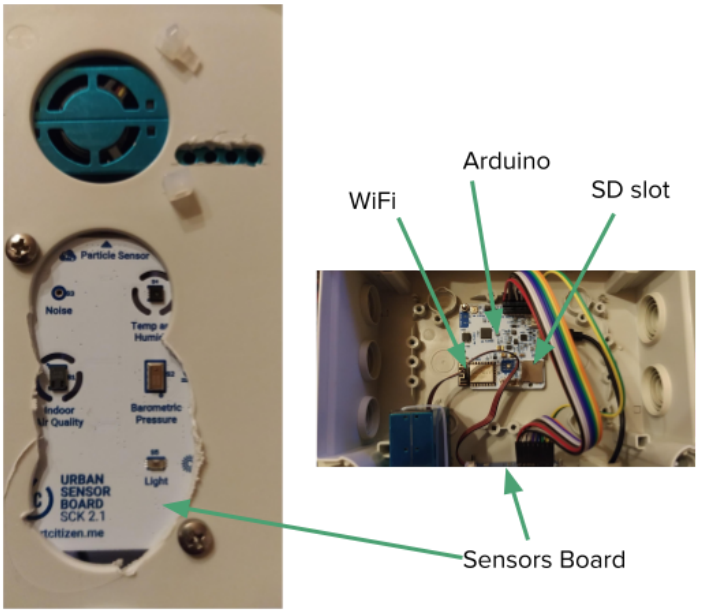




Εικόνα αριστερά: Αρχή λειτουργίας αισθητήρων μέτρησης με σκέδαση του φωτός
Εικόνα δεξιά: Το εσωτερικό μέρος του αισθητήρα και το laser εκπομπής φωτός

Which sensors does the kit include?

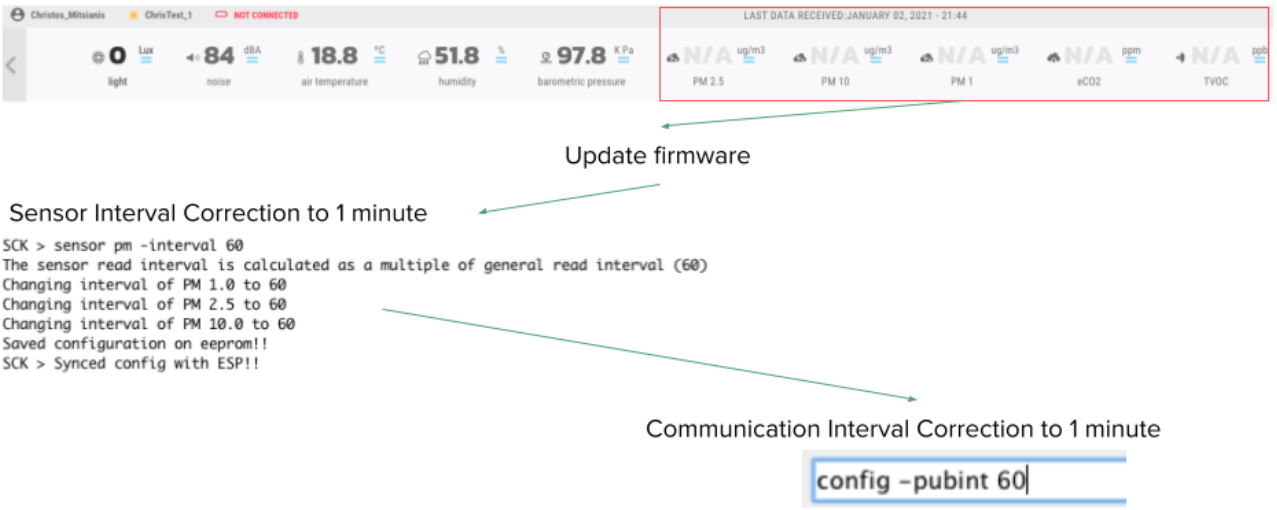
Air Temperature	°C	Sensirion SHT31
Relative Humidity	%rh	
Noise Level	dBA	Invensense ICS4342
Ambient Light	lx	Rohm BH1721FVC
Barometric pressure	kPa	NXP MPL3115A2
Equivalent Carbon Dioxide	ppm	AMS CCS811
Volatile Organic Compounds	ppb	
Particle Matter (PM1/2.5/10)	µg/m³	Plantower PMS 5003



Τα δεδομένα που συλλέγει ένα Smart Citizen Kit, οι αισθητήρες και η πλακέτα arduino

Επίλυση προβλημάτων

Βασικό μέρος της εργασίας πριν την συλλογή των δεδομένων είχε να κάνει με την επίλυση προβλημάτων. Αποδείχτηκε πως αρκετοί από τους σταθμούς είχαν διαφορετικό υλικολογισμικό εγκατεστημένο με αποτέλεσμα να βγάζουν προβλήματα ή να μην αναγνωρίζουν την κάρτα αισθητήρων. Τελικά εγκαταστάθηκε σωστά και ενημερωμένα το υλικολογισμικό σε αυτούς τους σταθμούς. Στο νέο υλικολογισμικό δόθηκαν οδηγίες για καταγραφή δεδομένων ανά λεπτό και αποστολή δεδομένων στην πλατφόρμα ανά λεπτό.

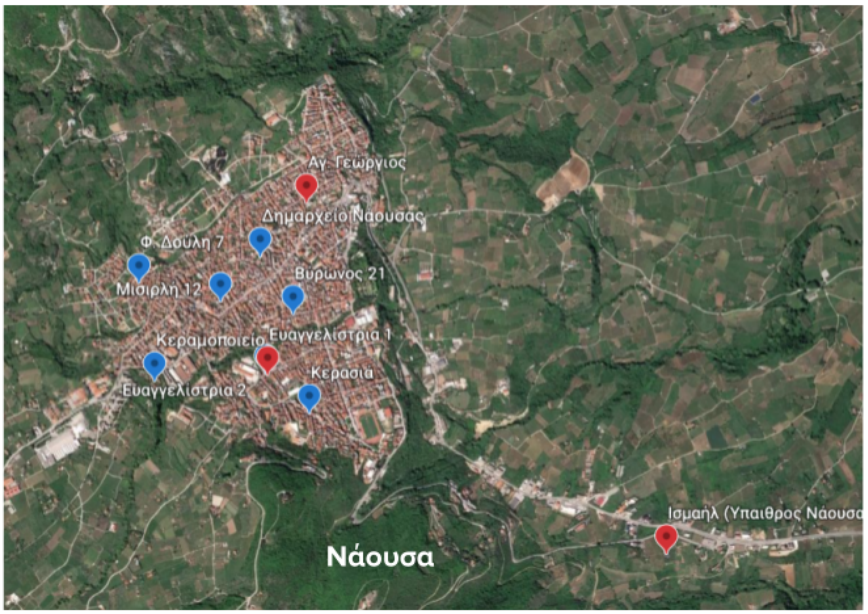


Ενέργειες αποσφαλμάτωσης στο υλικολογισμικό για την σωστή καταγραφή και μετάδοση των δεδομένων

Προετοιμασία πειράματος και επιλογή σημείων τοποθέτησης

Η τοποθέτηση των Smart Citizen Kits πραγματοποιήθηκε για λόγους ασφαλείας σε σπίτια γνωστών και φίλων. Για την επιλογή των σημείων λήφθηκαν υπ όψιν η δυνατότητα μέγιστης γεωγραφικής κάλυψης και η δημιουργία τριγώνων μεταξύ των σταθμών στον χάρτη ενώ επίσης δόθηκε έμφαση στην καταγραφή διαφορετικών κομματιών - γειτονιών της πόλης. Επιπλέον, χαρακτηριστικά που θα έπρεπε να ληφθούν είναι να τοποθετηθούν σταθμοί στον πυρήνα της πόλης και περιφερειακά αυτής με στόχο την καταγραφή πιθανών διαφοροποιήσεων στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Ακόμη, για λόγους σύγκρισης τοποθετήθηκε σταθμός σε οικία εντός της υπαίθρου και σταθμός στην γειτονική πόλη και πρωτεύουσα Βέροια. Τέλος, τοποθετήθηκαν σταθμοί σε μικρή απόσταση μεταξύ τους με διαφορετικό προσανατολισμό (ανατολικό μπαλκόνι, δυτικό μπαλκόνι) με στόχο τις συγκρίσεις μεταξύ τους, ενώ τοποθετήθηκε και ένας σταθμός ποιότητας αέρα σε εσωτερικό χώρο σπιτιού (υπνοδωμάτιο - γραφείο).

9 εντός πόλης
1 εσωτερικό χώρο



1 εκτός πόλης

Smart Citizen Kits - Τελικά σημεία τοποθέτησης στην Νάουσα
Σημ: Με μπλε χρώμα έχουν σημειωθεί οι σταθμοί με προσανατολισμό βόρειο, με κόκκινο οι σταθμοί με νότιο

1 γειτονική πόλη



Smart Citizen Kits - Σημείο τοποθέτησης στην γειτονική πόλη της Βέροιας
Σημ: Με μπλε χρώμα έχουν σημειωθεί οι σταθμοί με προσανατολισμό βόρειο, με κόκκινο οι σταθμοί με νότιο

Προεπισκόπηση δεδομένων

Κατά την περίοδο συλλογής των δεδομένων γινόταν συνεχής προεπισκόπηση των δεδομένων μέσα από πλατφόρμες και dashboards.

WeatherCloud

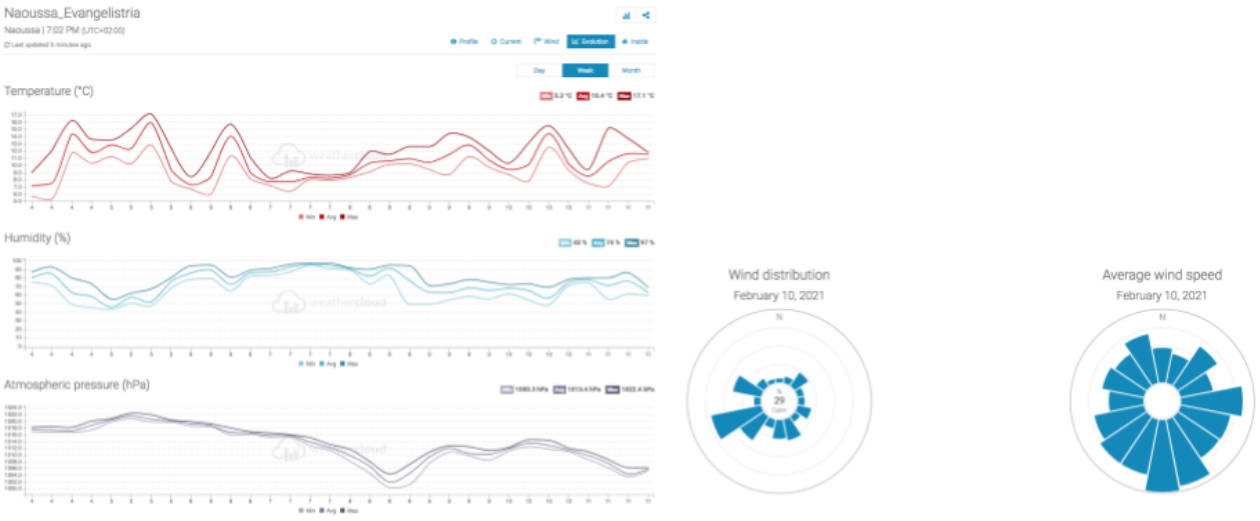
Στην πλατφόρμα WeatherCloud επισκόπηση των περιβαλλοντικών δεδομένων, και οπτική ανάγνωση των δεδομένων με ενέργειες για την κατανόηση των συνθηκών. Τα δεδομένα που παρέχει το WeatherCloud είναι

- Θερμοκρασία
- Σχετική υγρασία
- Ατμοσφαιρική πίεση
- Σημείο δρόσου
- Αίσθηση ψύχους
- Βροχή
- Ρυθμός βροχόπτωσης

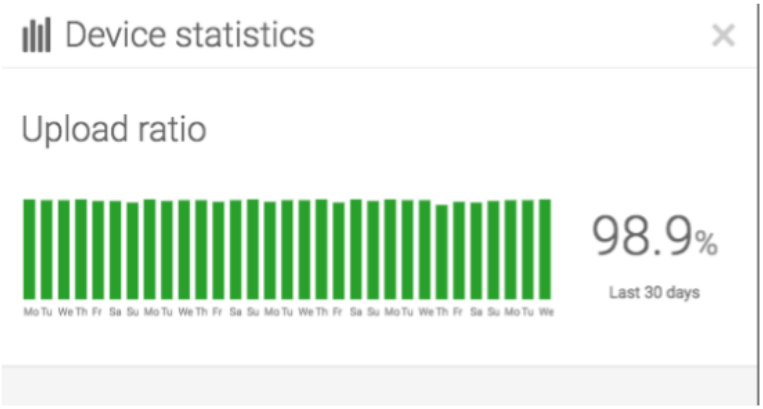
Στην καρτέλα σχετικών πληροφοριών για τον άνεμο παρουσιάζονται πληροφορίες όπως

- Ταχύτητα ανέμου
- Μέση ταχύτητα ανέμου
- Ριπή ανέμου
- Κατεύθυνση ανέμου
- Μέση κατεύθυνση ανέμου
- Κατανομή ανέμου σε διάγραμμα rose wind για την προηγούμενη μέρα
- Μέση ταχύτητα ανέμου σε διάγραμμα rose wind

Επιπλέον παρουσιάζονται γραφήματα χρόνου για τις περιβαλλοντικές μεταβλητές, και πληροφορίες για τις μεταβλητές περιβάλλοντος εσωτερικού χώρου. Τέλος, παρουσιάζεται σε διάγραμμα η αναλογία επιτυχούς ανεβάσματος δεδομένων από τον μετεωρολογικό σταθμό στην βάση δεδομένων του WeatherCloud γεγονός που είναι χρήσιμο για τον έλεγχο της συνδεσιμότητας και των ελλιπών τιμών κατά την φάση της προεπεξεργασίας των δεδομένων.



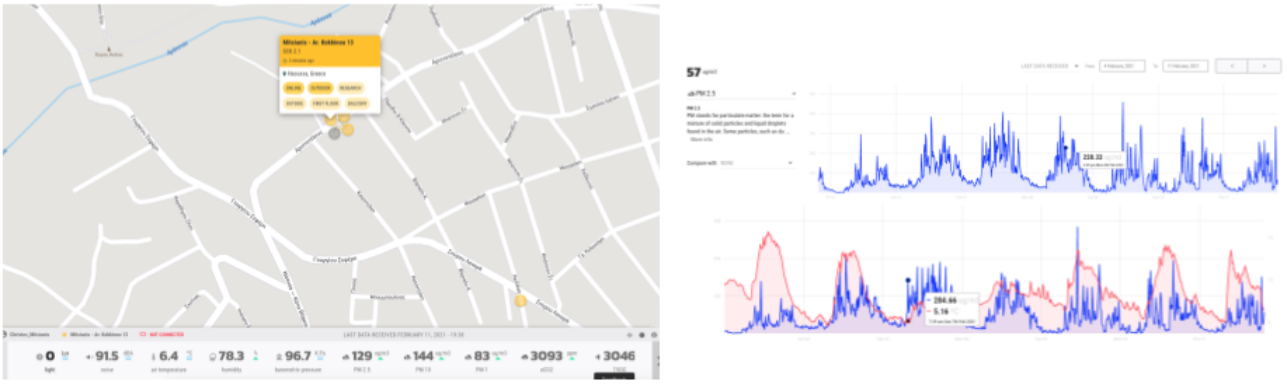
WeatherCloud - Διαγράμματα προβολής περιβαλλοντικών μεταβλητών σε βάθος χρόνου



WeatherCloud - Διάγραμμα αναλογίας επιτυχούς αποστολής δεδομένων στην βάση της υπηρεσίας, χρήσιμο για τον έλεγχο συνδεσιμότητας και ελλιπών τιμών στην φάση της προεπεξεργασίας

Smart Citizen Kits

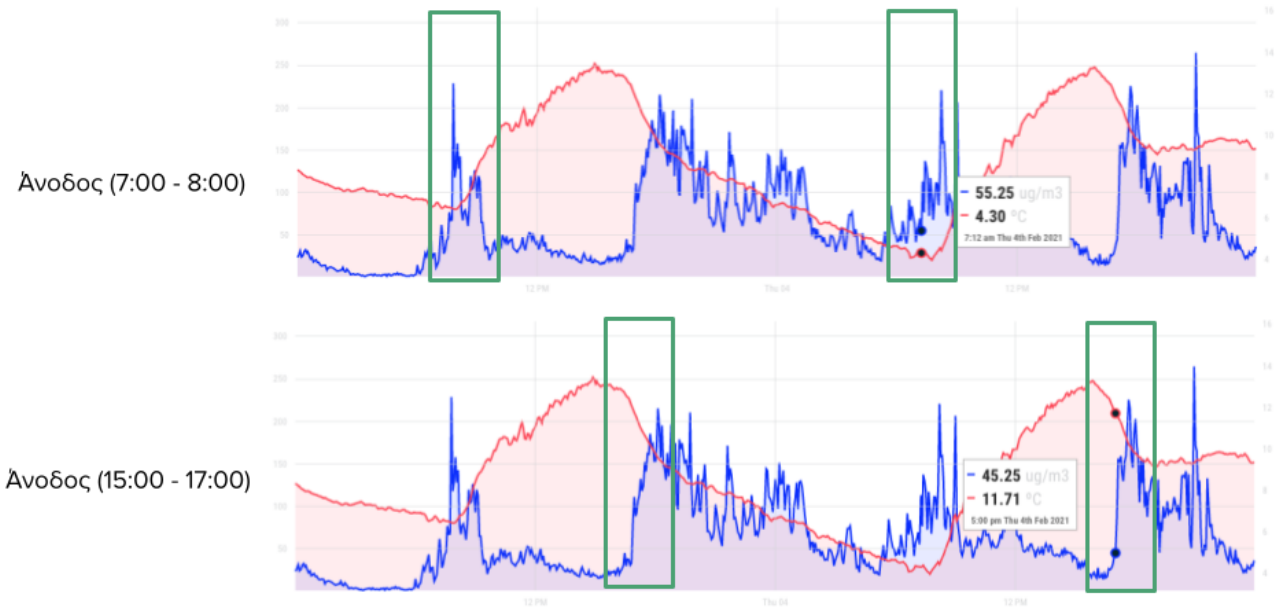
Η πλατφόρμα του Smart Citizen παρουσιάζει όλους τους σταθμούς με βάση την γεωγραφική τους τοποθέτηση. Παρουσιάζει σε μπάρα πληροφοριών τις τελευταίες τιμές που έχει δώσει ο σταθμός και ο χρόνος που έχει γίνει η τελευταία αποστολή των δεδομένων. Επιπλέον, δίνει δυνατότητα για παραγωγή γραφημάτων (plot) συγκρίνοντας τις μετρήσεις.



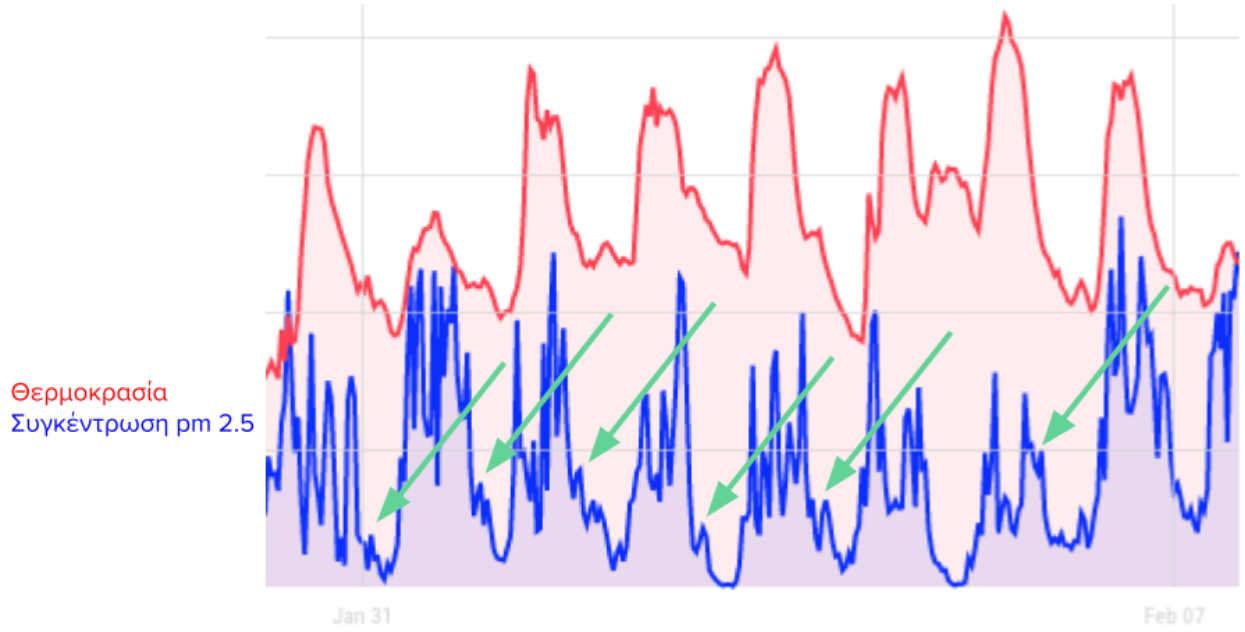
WeatherCloud - Οι πληροφορίες στην πλατφόρμα Smart Citizen και οι παραγωγή συγκριτικών γραφημάτων

Τα πρώτα συμπεράσματα

Από τα γραφήματα του Smart Citizen παρατηρειται μια εποχικότητα στο φαινόμενο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, με δύο κορυφώσεις στην διάρκεια της ημέρας. Η πρώτη άνοδος συμβαίνει στις 7:00 - 8:00 το πρωί, ενώ η δεύτερη άνοδος το μεσημέρι περίπου στις 15:00 - 17:00. Το γεγονός αυτό μπορεί να συνδεθεί με τον τρόπο λειτουργίας και θέρμανσης αρκετών σπιτιών στην πόλη της Νάουσας. Συγκεκριμένα αρκετοί κάνουν χρήση ξυλολέβητα, και τον τροφοδοτούν 2-3 φορές την ημέρα, συνήθως η πρώτη τροφοδότηση και εκκίνηση του ξυλολέβητα γίνεται το πρωί και η δεύτερη με την επιστροφή στο σπίτι από πρωινές δουλειές το μεσημέρι και εφόσον έχουν καεί τα ξύλα από το πρωί. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε πολλές έρευνες το πρωινό πέταγμα στις μετρήσεις συνδέεται με την μετακίνηση των ανθρώπων. Στην περίπτωση της παρούσας έρευνας, η μετακινήσεις ήταν περιορισμένες λόγω κορονοϊού. Τέλος, παρουσιάζεται ένα τελευταίο μικρό πέταγμα στις τιμές περίπου στα μεσάνυχτα δεδομένο που ενδέχεται να είναι καταγραφή της τελευταίας τροφοδότησης για θέρμανση πριν από την νυχτερινή κατάκλιση.

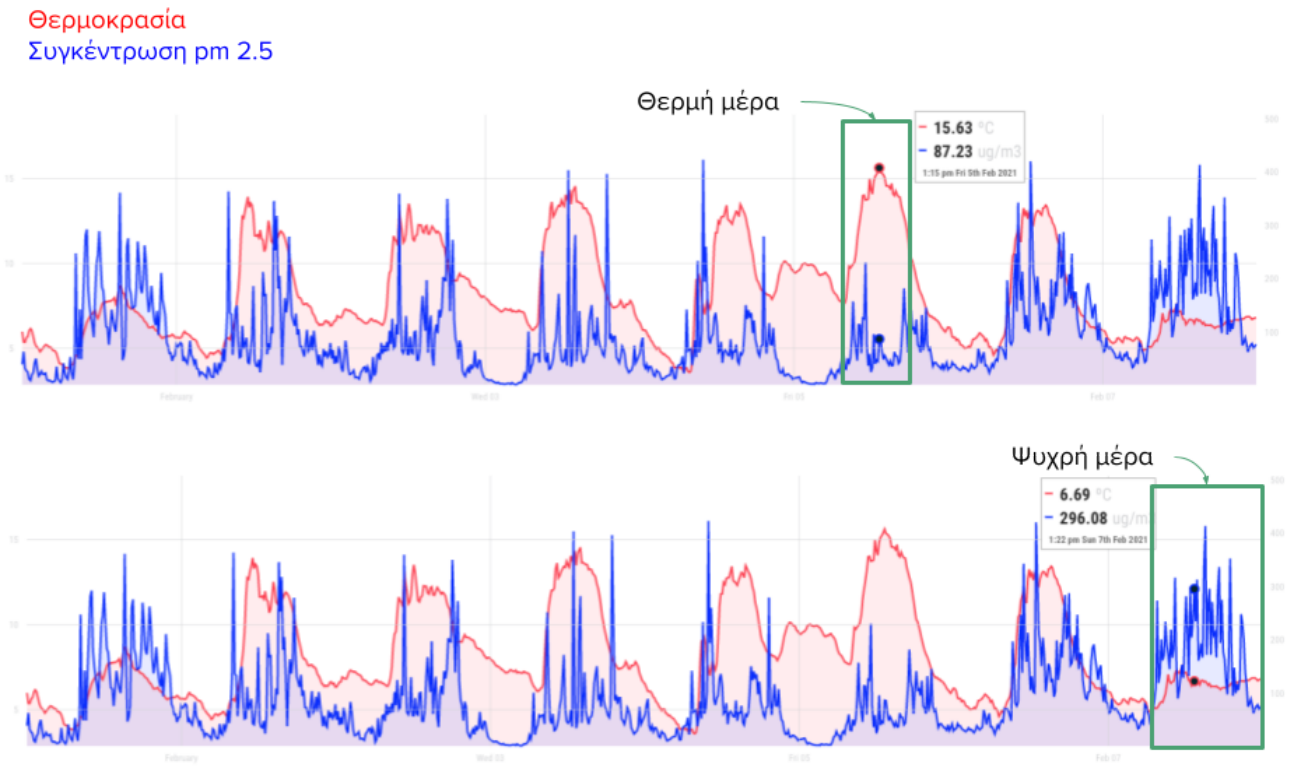


Smart Citizen Plots - Με κόκκινο παρουσιάζεται το γράφημα της θερμοκρασίας, με μπλε οι μετρήσεις μικροσωματιδίων. Παρουσιάζονται δύο “πετάγματα” στις συγκεντρώσεις μικροσωματιδίων το πρωί 7:00 - 8:00 και το μεσημέρι 15:00 - 17:00



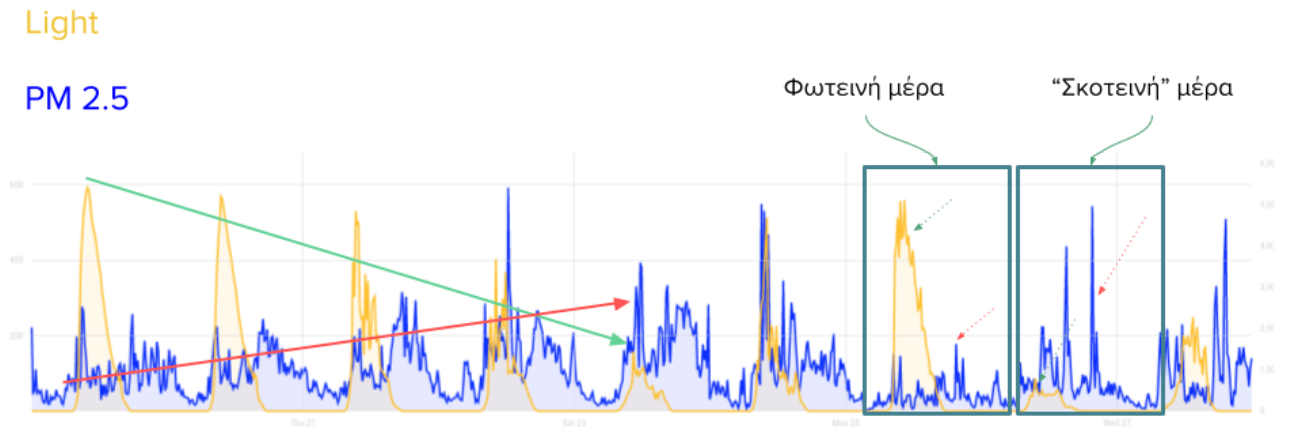
Smart Citizen Plot - Τα τελευταία “πετάγματα” πριν από τα μεσάνυχτα δηλώνουν την τελευταία τροφοδοσία εστιών και συστημάτων θέρμανσης

Οι μεταβολές στην θερμοκρασία μιας μέρας φαίνεται να παρουσιάζουν μεταβολές στις συγκεντρώσεις των μικροσωματιδίων. Όπως παρουσιάζεται στα επόμενα διαγράμματα σε μια θερμή μέρα τα αιωρούμενα μικροσωματίδια παρουσιάσουν μια τάση προς τα κάτω, ενώ σε μια ψυχρή μέρα παρουσιάζονται υψηλές τιμές.



Smart Citizen Plot - Σύγκριση θερμής μέρας με ψυχρή μέρα με εμφανή διαφορά στις συγκεντρώσεις μικροσωματιδίων

Η σχέση φωτός και συγκέντρωσης μικροσωματιδίων παρουσιάζει και αυτή αντιστρόφως ανάλογη σχέση. Στην φωτεινή μέρα φαίνεται η συγκέντρωση να είναι χαμηλή, ενώ στην επόμενη "σκοτεινή μέρα" η συγκέντρωση να παρουσιάζει μεγάλα πετάγματα.

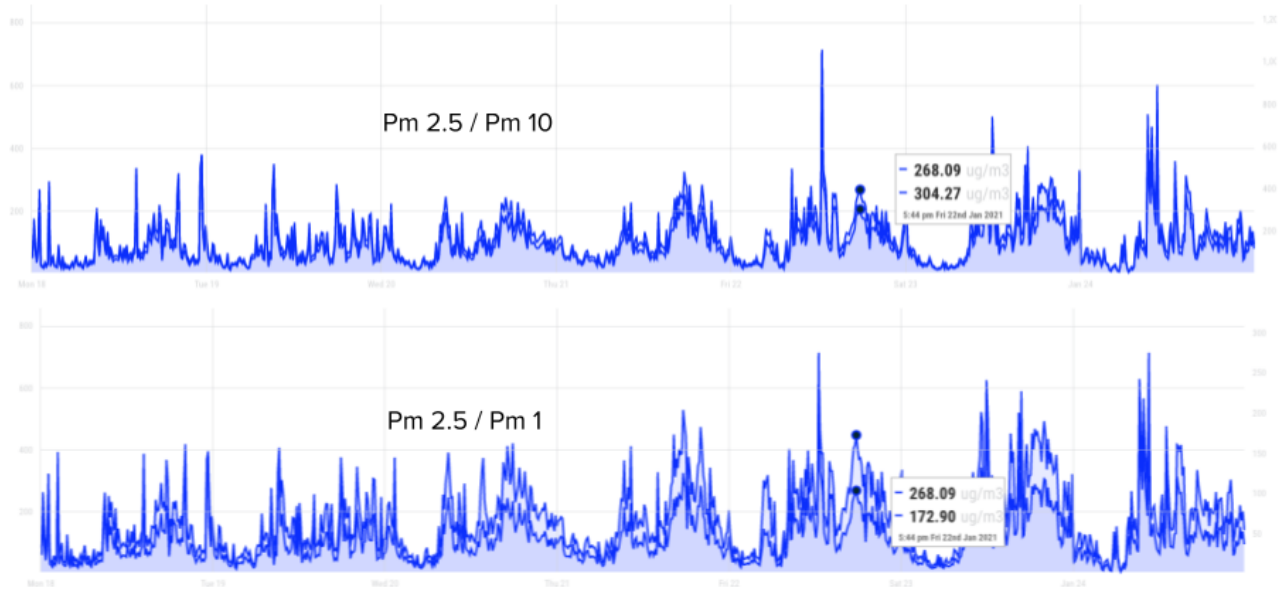


Smart Citizen Plot - Σχέση φωτός και PM 2.5

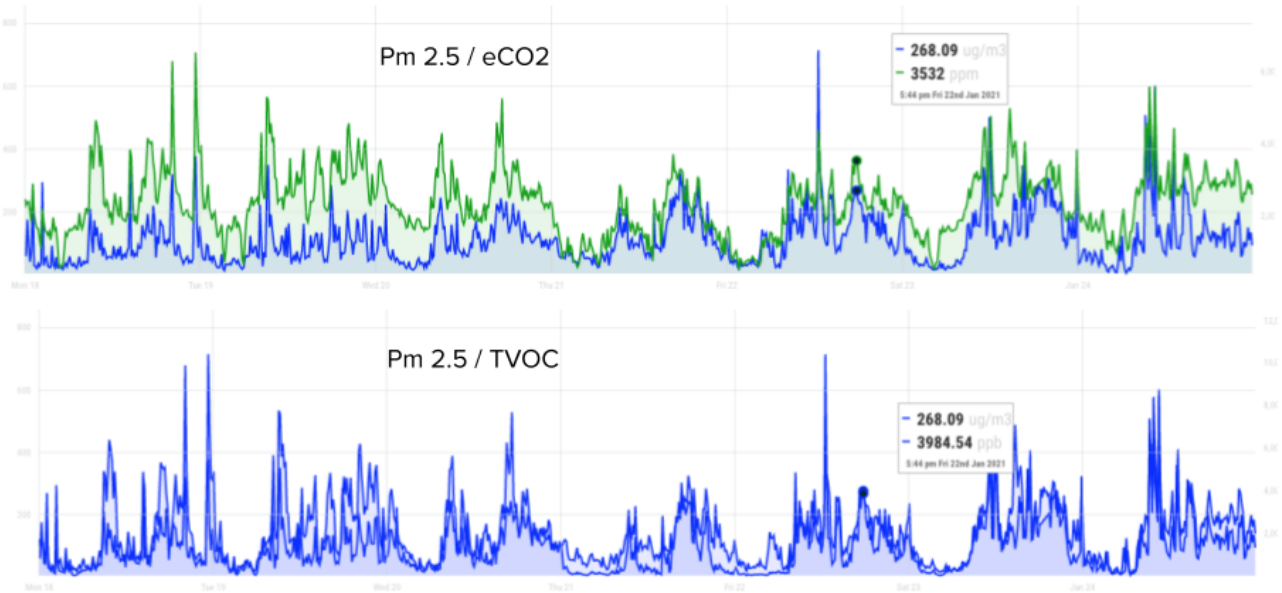
Αξίζει να σημειωθεί πως οι παραπάνω σχέσεις θερμοκρασίας, φωτός και συγκεντρώσεων μικροσωματιδίων είναι ενδείξεις συσχετίσεων και δεν μπορούν να θεωρηθούν συσχετίσεις και αιτιάσεις καθότι λείπει από τις μετρήσεις του Smart Citizen Kit το στοιχείο του ανέμου, στοιχείο που πιθανόν αυτό να οφείλεται για την μικρή συγκέντρωση μικροσωματιδίων σε μια θερμή ή φωτεινή

μέρα. Στην συνέχεια αναλύονται μέσα από τον πίνακα συσχέτισης, οι συσχετίσεις των μεταβλητών και οι στατιστικές τους μετρικές.

Οι μετρήσεις PM 1, 2.5, 10 δείχνουν ισχυρές συσχετίσεις μεταξύ τους παρομοίως και οι μετρήσεις PM με eCO2 και TVOC.



Smart Citizen Plot - Σχέσεις pm 2.5, pm 10 & pm 1



Smart Citizen Plot - Σχέση pm 2.5, eCO2 και TVOC

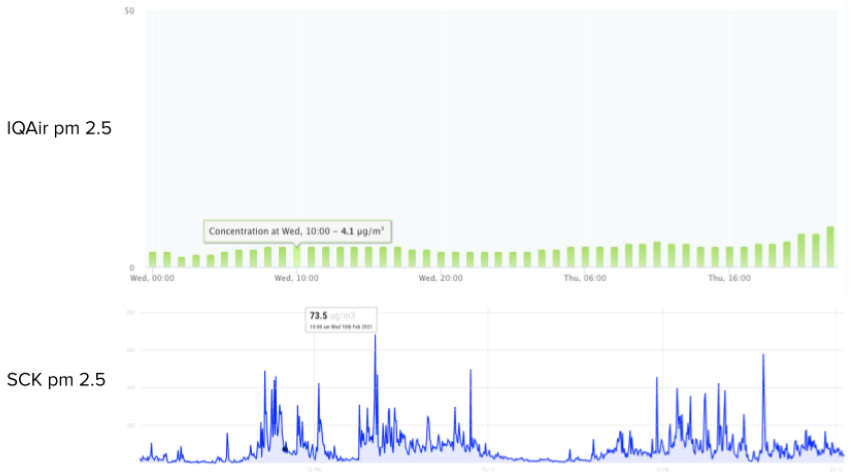
Οι σχέσεις θερμοκρασίας, υγρασίας και φωτός παρουσιάζονται επόμενα διαγράμματα, όπου φαίνεται η επίδραση του φωτός στην μείωση της υγρασίας ή τον τρόπο με τον οποίον καταγράφεται από τους αισθητήρες μια βροχερή ή συννεφιασμένη μέρα, με λίγο φως και αρκετά υψηλή υγρασία.



Smart Citizen Plot - Σχέσεις θερμοκρασίας, φωτεινότητας, σχετικής υγρασίας (Η άνοδος της θερμοκρασίας συνοδεύεται από πρώτη της υγρασίας τα πρωινά. Η πιθανή παροδική βροχόπτωση ή νεφοκάλυψη παρουσιάζεται με απότομη άνοδο της υγρασίας και πτώση της φωτεινότητας (και θερμοκρασίας), ενώ μια "σκοτεινή" μέρα με υγρασία δηλωνει νεφοκάλυψη ή βροχόπτωση

Πλατφόρμα και υπηρεσία ενημέρωσης για την ποιότητα αέρα - IQAir

Η υπηρεσία ενημέρωσης IQAir παρέχει δεδομένα και εκτιμήσεις σχετικά με την ποιότητα αέρα, επιπλέον παρουσιάζει προγνώσεις για την συγκέντρωση μικροσωματιδίων για τις επόμενες 5 μέρες. Για περαιτέρω έρευνα και σύγκριση κατα την περίοδο έρευνας πραγματοποιήθηκε προεπισκόπηση και συλλογή των δεδομένων που διατίθενται στην πλατφόρμα. Η εκτίμηση για την περιοχή της Νάουσας γίνεται βάσει μοντέλων επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων. Όπως παρουσιάζεται σε διάγραμμα στην συνέχεια αυτή η εκτίμηση είναι ανακριβής καθώς η διαφορά της από τους σταθμούς μέτρησης είναι ιδιαιτέρως μεγάλη.

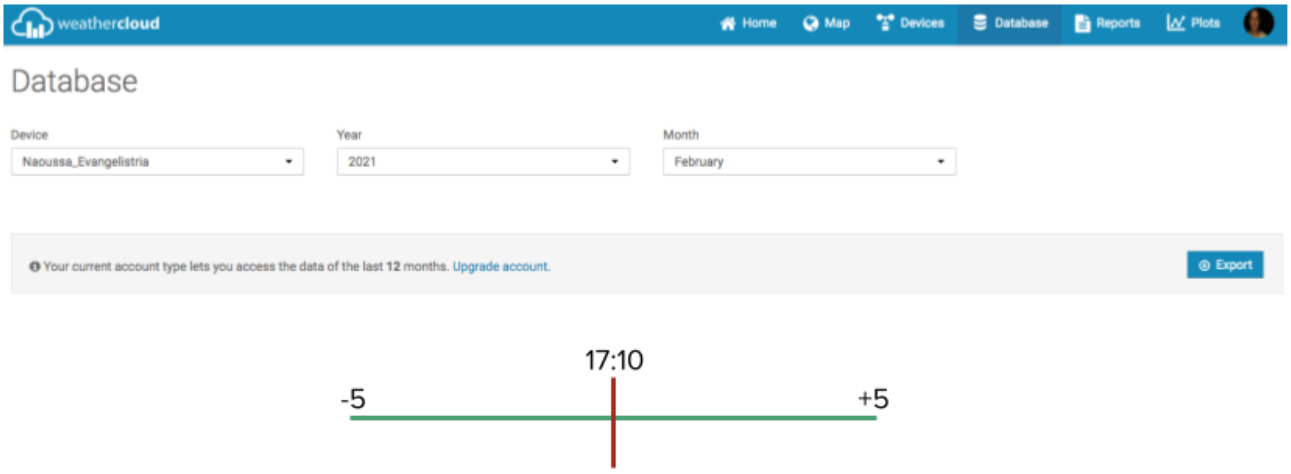


IQAir - Evolution plot και σύγκριση με Smart Citizen Kit

Συλλογή, προεπεξεργασία και περιγραφή ανάλυση

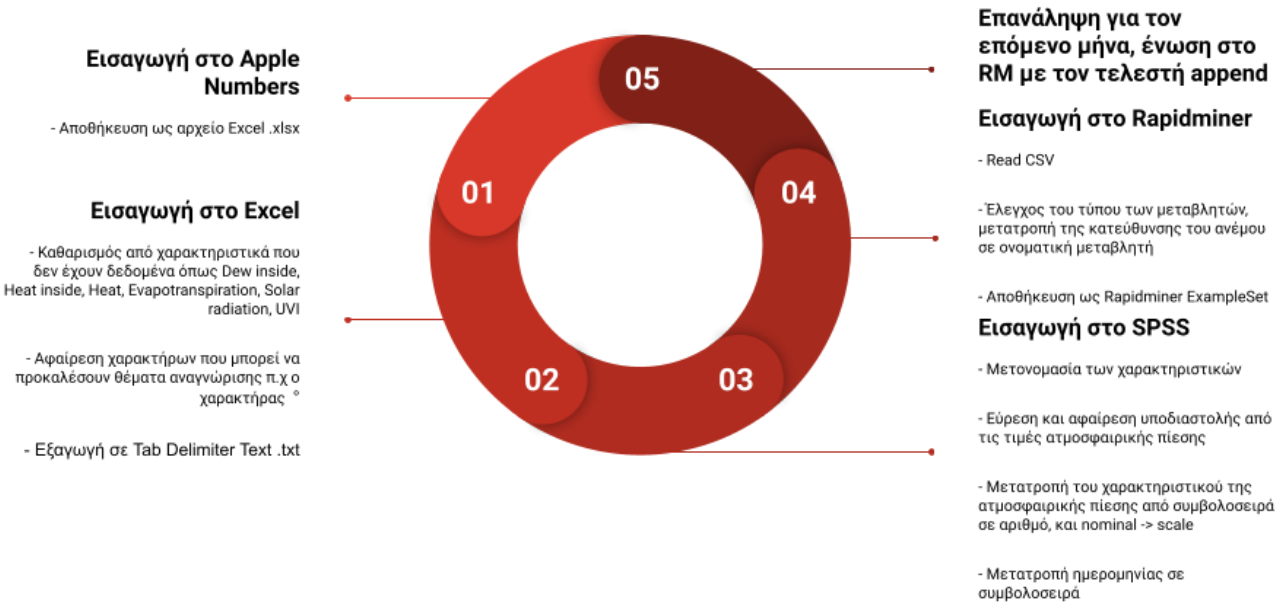
Συλλογή, προεπεξεργασία και περιγραφική ανάλυση δεδομένων μετεωρολογικού σταθμού

Πραγματοποιήθηκε λήψη των δεδομένων από την πλατφόρμα του WeatherCloud. Τα δεδομένα που δίνει το WeatherCloud είναι σε χρονική ανάλυση 10 λέπτου. Μετά από πειραματισμούς στον χρόνο λήψης του αρχείου βγήκε το συμπέρασμα ότι ο τρόπος με τον οποίο πραγματοποιεί τους μέσους όρους το WeatherCloud είναι καταγράφοντας πριν 5 λεπτά από την εξαγώμενη ώρα (timestamp) και 5 λεπτά μετά από αυτή, και στην συνέχεια στο 6 λεπτό από αυτή ανεβάζει την τιμή στην βάση του. Το γεγονός αυτό και το συμπέρασμα αυτό είναι ιδιαιτέρως σημαντικό διότι με αυτό τον τρόπο ακολουθήθηκε και στην συνέχεια ο υπολογισμός μέσων όρων από τους υπόλοιπους αισθητήρες και αποφεύγεται η διολίσθηση τιμών και τα lags μεταξύ των μετρήσεων από των μετεωρολογικό σταθμό και τα Smart Citizen Kits.



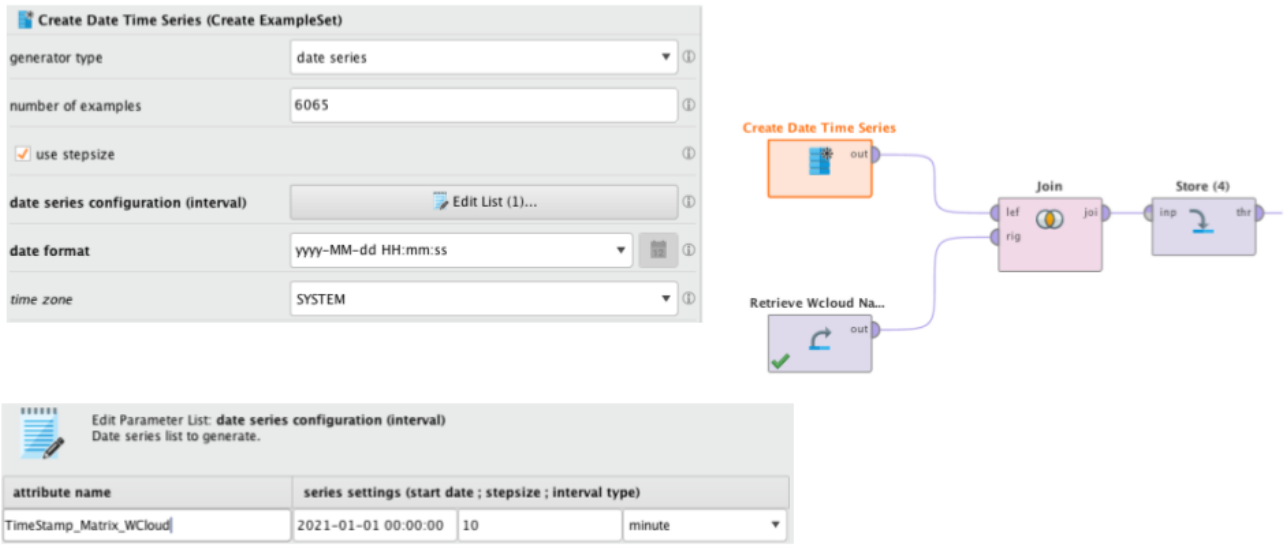
WeatherCloud - Λήψη δεδομένων μετεωρολογικού σταθμού σε χρονική ανάλυση 10 λεπτών

Στην συνέχεια λόγω ασυμβατότητας του αρχείου έγιναν δοκιμές και μετατροπές στην κατάλληλη μορφή ώστε να εισαχθεί στην τελική εφαρμογή επεξεργασίας των δεδομένων Rapidminer. Αναλυτικά τα βήματα και η διαδικασία παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα.



Personal Weather Station Data - Μετατροπές σε κωδικοποιήσεις και καθαρισμός

Μετά τον έλεγχο του τύπου των μεταβλητών στο Rapidminer, δημιουργήθηκε μια μήτρα εγγραφών, μια χρονοσειρά ανά 10 λεπτό. Στόχος είναι η μήτρα και τα δεδομένα να ενωθούν και να ενσωματωθούν με αποτέλεσμα να εμφανιστούν ποιά παραδείγματα - χρονικές τιμές δεν παρουσιάζονται στο σύνολο δεδομένων που κατέβηκε από το WeatherCloud. Η τεχνική τεχνική αυτή κρίθηκε αναγκαία και βέλτιστη πρακτική διότι ο έλεγχος χαμένων θα γινόταν πολύ χρονοβόρος.



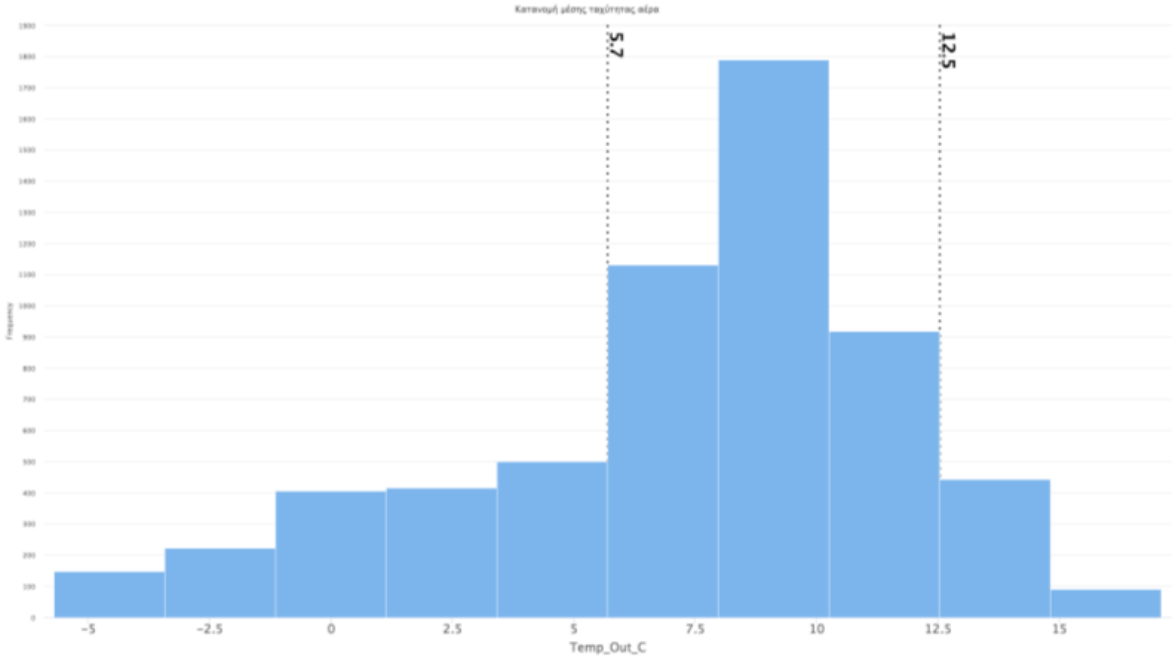
PWS Data - Δημιουργία μήτρας εγγραφών (χρονοσειρά) ανά 10λεπτο και ενσωμάτωση των δεδομένων από τον σταθμό (outer join)

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται η συνοπτικη περιγραφή του συνόλου των δεδομένων.

Πίνακας περιγραφής συνόλου δεδομένων μετεωρολογικού σταθμού

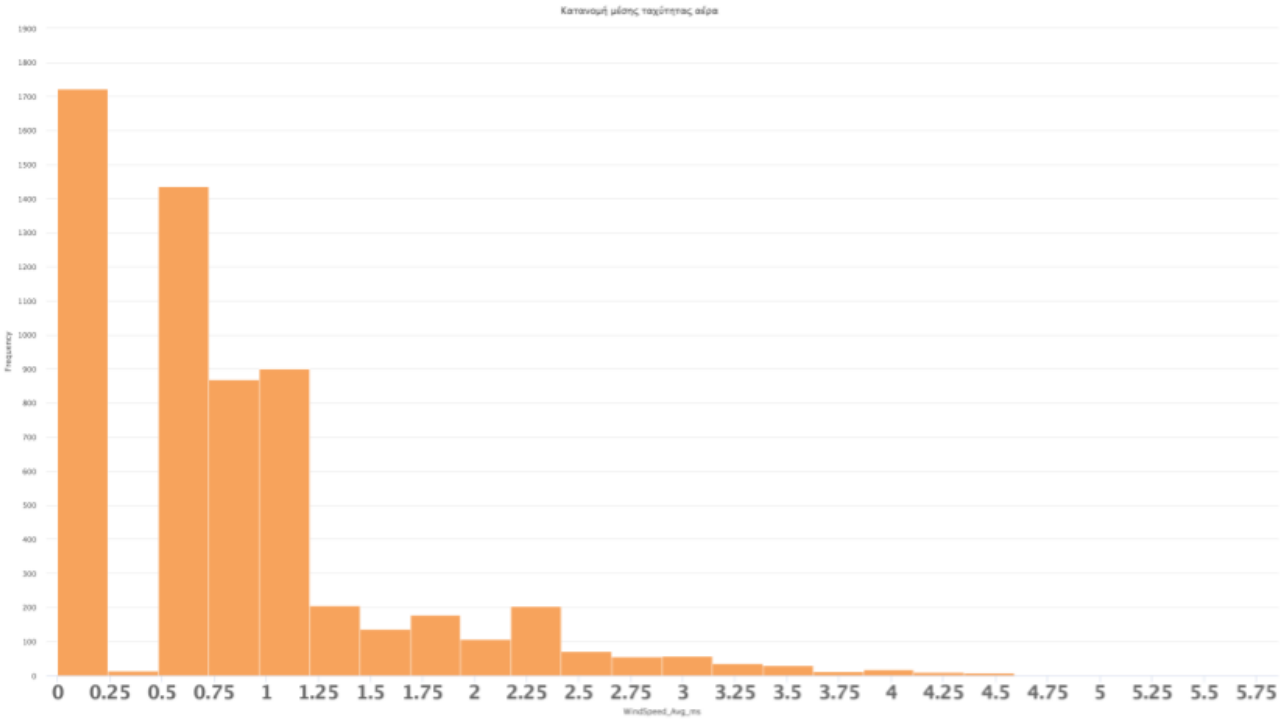
Περιγραφή	**Πλήθος δειγμάτων**	**6065**		**Πλήθος χαρακτηριστικών**	**13**		
	Τύπος	**Ελλείπουσες Τιμές**	**Ελάχιστο**	**Μέγιστο**	**Διάρκεια**		**Ονομασία στο dataset**
Ημερομηνία - Ώρα - Ζώνη	Date	65	2021-01-01 00:00:00	2021-02-12 00:02:40	42 μέρες 2 ώ 40λ		Date_TimeEuropeAthens
					Μέσος όρος	**Μονάδα μέτρησης**	
Θερμοκρασία εσωτερικού χώρου	Real	80	15,9	27,4	22,234	Βαθμοί Κελσίου	Temp_In_C
Θερμοκρασία εξωτερικού χώρου	Real	78	-5,9	17,1	7,240	Βαθμοί Κελσίου	Temp_Out_C
Αίσθηση ψύχους - θερμότητας	Real	82	-10,8	17,1	6,969	Βαθμοί Κελσίου	Chill_Out_C
Σημείο δρόσου εξωτερικού χώρου	Real	85	-14,4	11	1,832	Βαθμοί Κελσίου	Dew_Out_C
Υγρασία (σχετική) εσωτερικού χώρου	Integer	81	10	54	34,364	Ποσοστό σχετικής υγρασίας	Hum_In_Percent
Υγρασία (σχετική) εξωτερικού χώρου	Integer	80	28	98	70,547	Ποσοστό σχετικής υγρασίας	Hum_Out_Percent
Ταχύτητα ριπής ανέμου	Real	81	0	7,7	0,862	Μέτρα ανά δευτερόλεπτο (m/s)	WindSpeed_Gust_ms
Μέση ταχύτητα ανέμου	Real	78	0	5,8	0,862	Μέτρα ανά δευτερόλεπτο (m/s)	WindSpeed_Avg_ms
Μέση κατεύθυνση ανέμου	Nominal	80	Λιγότερες φορές εμφάνισης = 0	Περισσότερες φορές εμφάνισης = 248		Αζιμουθιαία γωνία	WindDirection_Avg_deg
Ατμοσφαιρική πίεση (σχετική)	Real	77	998	1027,1	1013,221	hPa (Εκατόπασκάλ)	AtmPressure_hPa
Βροχόπτωση	Real	78	0	42	2,63	Χιλιοστά βροχής	Rain_mm
Ταχύτητα βροχόπτωσης	Real	82	0	8,4	0,094	Χιλιοστά βροχής ανά ώρα	RainRate_mmh

Παρατηρούμε πως με μέσο όρο 7,24 βαθμούς Κελσίου η θερμοκρασία το μεγαλύτερο πλήθος των θερμοκρασιών βρίσκεται μεταξύ των 5,7 και 12,5 βαθμών Κελσίου.



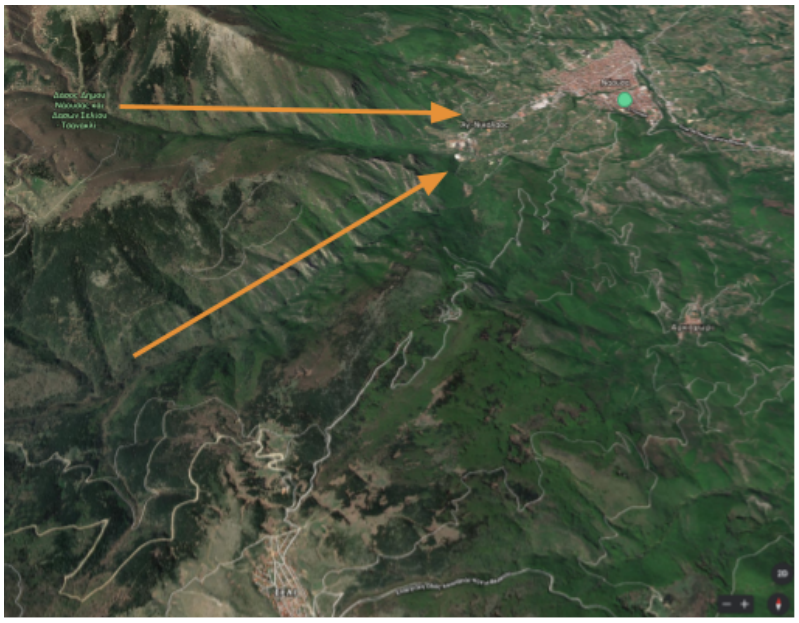
PWS Data - Περιγραφική ανάλυση δεδομένων - Θερμοκρασία

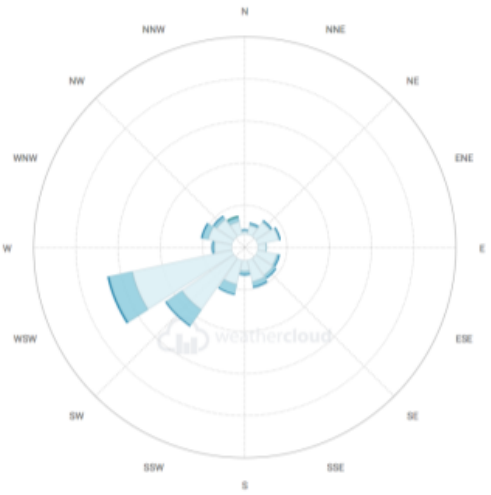
Ενώ συμπερασματικά για τον άνεμο μπορούμε να δούμε πως τις περισσότερες φορές δεν ξεπερνά το 1 m/s.



PWS Data - Περιγραφική ανάλυση δεδομένων - Μέση ταχύτητα ανέμου

Η κυρίαρχη κατεύθυνση του ανέμου είναι δυτική-νοτιοδυτική γεγονός που μπορεί να συνδεθεί με τους καθοδικούς ανέμους προερχόμενους από το όρος Βέρμιο. Μάλιστα, σε ερώτηση προς τους μεγαλύτερους σε ηλικία ο άνεμος αυτός χαρακτηρίστηκε ως ο Σελιότης, ο άνεμος που κατεβαίνει από το Σέλι, το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται από τον χάρτη.



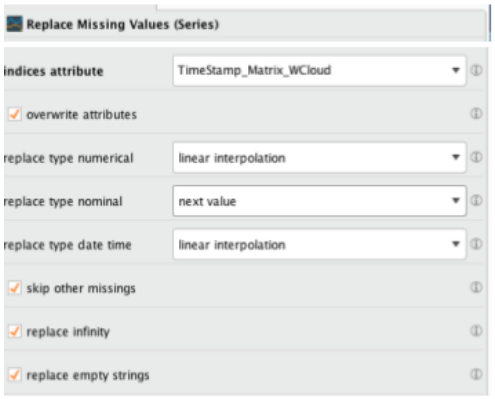


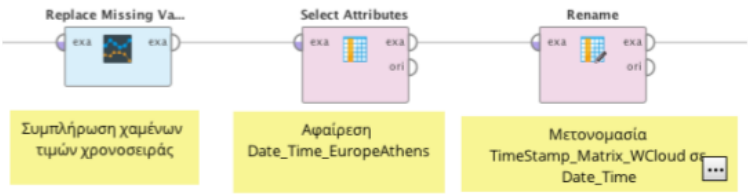
PWS Data - Περιγραφική ανάλυση δεδομένων - Κατανομή κατεύθυνσης ανέμου

Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε συμπληρωση χαμένων τιμών με την τεχνική της γραμμικής παρεμβολής για τις αριθμητικές μεταβλητές, ενώ για τις ονοματικές συμπληρώθηκαν με τις επόμενες τιμές.

Αριθμητικές μεταβλητές και χρόνος → Γραμμική παρεμβολή

Ονοματικές μεταβλητές → Επόμενη μεταβλητή

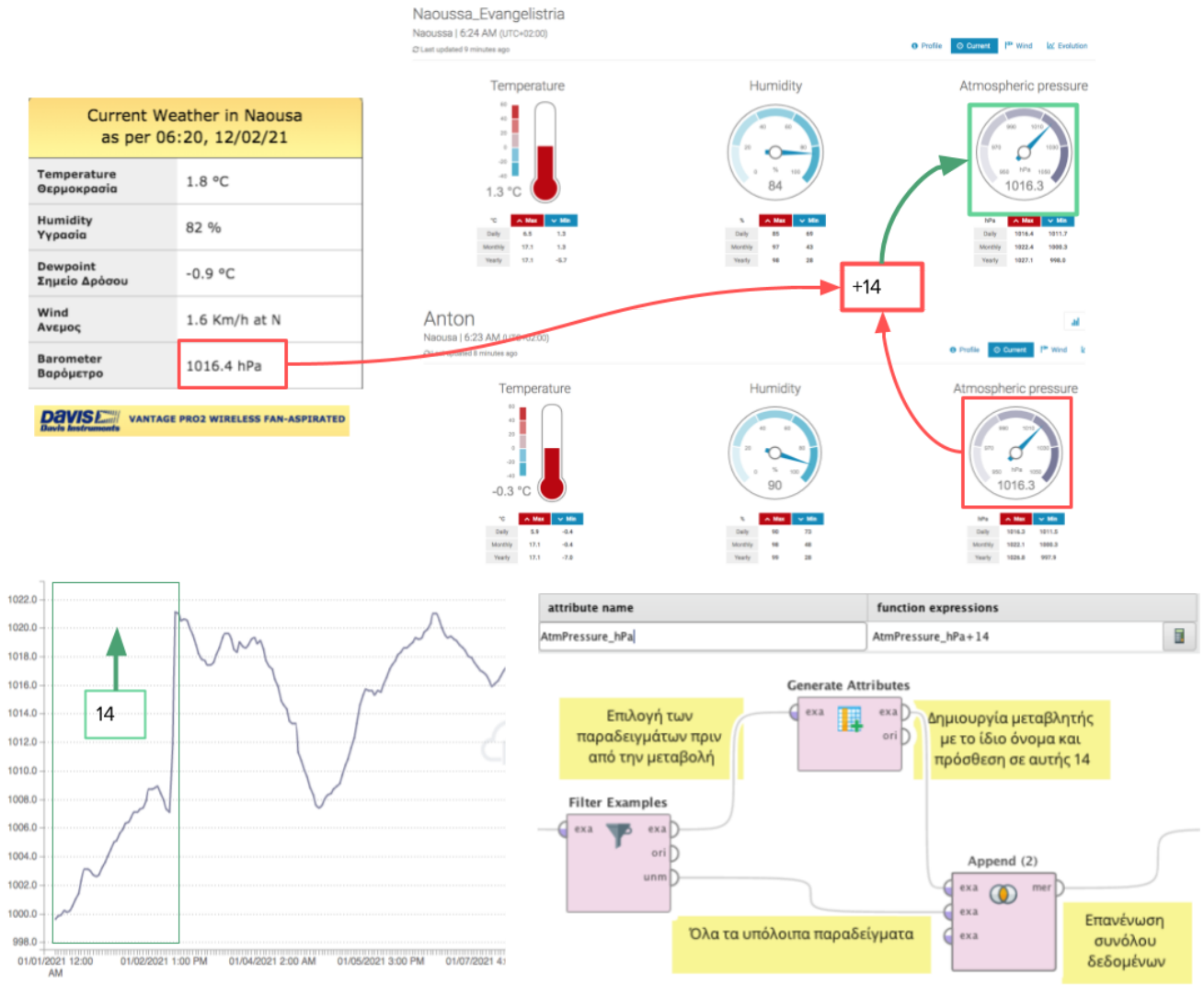




PWS Data - Συμπλήρωση χαμένων τιμών

Επιπλέον έγινε διόρθωση στην σχετική ατμοσφαιρική πίεση, αφού μετά από παρατηρήσεις και προεπισκόπηση δεδομένων παρατηρήθηκε ότι ο σταθμός έδινε αισθητά μεγαλύτερη σχετική ατμοσφαιρική πίεση σε σχέση με τους γειτονικούς στο δημαρχείο της πόλης και στην περιοχή κεραμοποιείο. Για τον λόγο αυτό στις 2 Ιανουαρίου έγινε μεταβολή κατά +14 hPa στον μετεωρολογικό βαθμό. Αυτή η μεταβολή έπρεπε να περάσει και για τις υπόλοιπες τιμές, δηλαδή για

τις τιμές από 1 έως 2 Ιανουαρίου, έτσι ώστε το σύνολο των δεδομένων να έχει όσο το δυνατόν ποιοτικότερα δεδομένα.



PWS Data - Διόρθωση σχετικής ατμοσφαιρικής πίεσης

Συλλογή γεωγραφικών πληροφοριών των σημείων τοποθέτησης σταθμών Smart Citizen Kit

Για την χωρική αναφορά των σταθμών λήφθηκαν δεδομένα σχετικά με τις συντεταγμένες των σημείων που τοποθετήθηκαν οι σταθμοί Smart Citizen, επιπλέον υπολογίστηκε η κατεύθυνση στην οποία είναι στραμμένα και το υψόμετρο στο οποίο βρίσκονται. Ακόμα, υπολογίστηκε κατά προσέγγιση ο ανοιχτός χώρος στον οποίο είναι εκτεθειμένα. Ο χώρος αυτός εκτιμήθηκε υπολογίζοντας 10 μέτρα πλάτος στην ευθεία με την πρόσοψη του κτιρίου που βρίσκονται και για μήκος τέθηκε το όριο στο πρώτο σπίτι ή κτίσμα που θα βρισκόταν μπροστά από το σπίτι.



Γεωγραφικά δεδομένα (μεταδεδομένα) - Υπολογισμός χωρικής επιφάνειας (10 μέτρα Χ το μήκος μέχρι το πρώτο εμπόδιο)

Τέλος σημειώθηκε αν ο χώρος είναι κλειστός με την έννοια αν ο σταθμός βρίσκεται εντός συμπλέγματος κατοικιών με περιορισμένη έκθεση στον άνεμο ή αν βρίσκεται σε δρόμο και είναι εκτεθειμένα στον άνεμο.

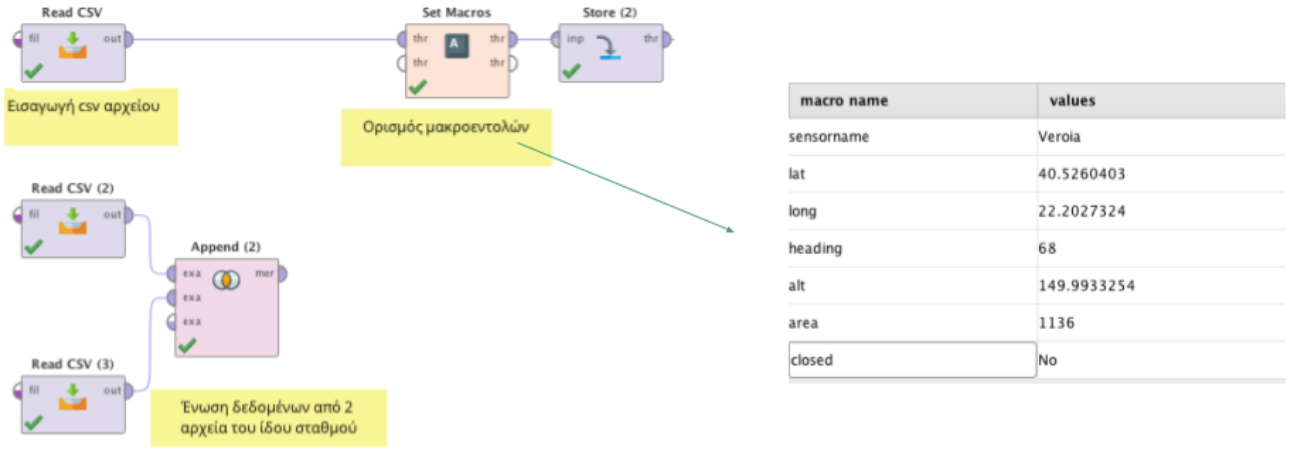
Τα γεωγραφικά δεδομένα συλλέχθηκαν για την πληρότητα των δεδομένων που συνοδεύουν τις μετρήσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και για μελλοντική χρήση σε γεωχωρική απεικόνιση αυτής και συσχέτιση χώρου και της θέσης με την ατμοσφαιρική ρύπανση.

Πίνακας σημείων τοποθέτησης σταθμών Smart Citizen Kit

	Latitude	Longitude	Heading (deg)	Altitude (m)	Area (m^2)	Closed area
Ευαγγελίστρια 1	40.6259416	22.0676259	135	364.7887474	256	Yes
Ευαγγελίστρια 2	40.626015	22.067522	315	364.8747679	152	No
Ευαγγελίστρια Εσ. Χώρος	40.6260175	22.0675935	248	364.2945531	115	Yes
Κερασιά	40.6242457	22.0700644	338	355.9230144	150	No
Βύρωνος 21	40.6286337	22.0691112	338	348.7258037	52	No
Μισιρλή 12	40.6292	22.0648839	45	363.1648403	95	Yes
Φ. Δούλη 7	40.6300215	22.0601401	292	378.6468184	33	No
Δημαρχείο Νάουσας	40.6311855	22.0671863	22	350.8451762	456	No
Αγ. Γεώργιος	40.6335711	22.0698824	158	334.5369267	275	Yes
Κεραμοποιείο	40.6257066	22.0611212	45	417.1420899	250	No
Ισμαήλ (Ύπαιθρος)	40.6178721	22.0910905	248	241.5187591	140	No
Βέροια	40.5260403	22.2027324	68	149.9933254	1136	No

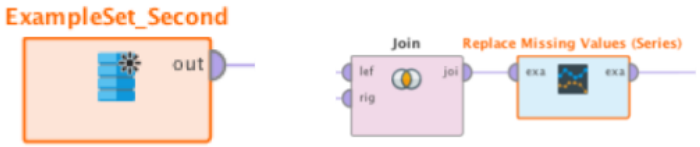
Συλλογή, προεπεξεργασία και περιγραφική ανάλυση δεδομένων - Smart Citizen Kit

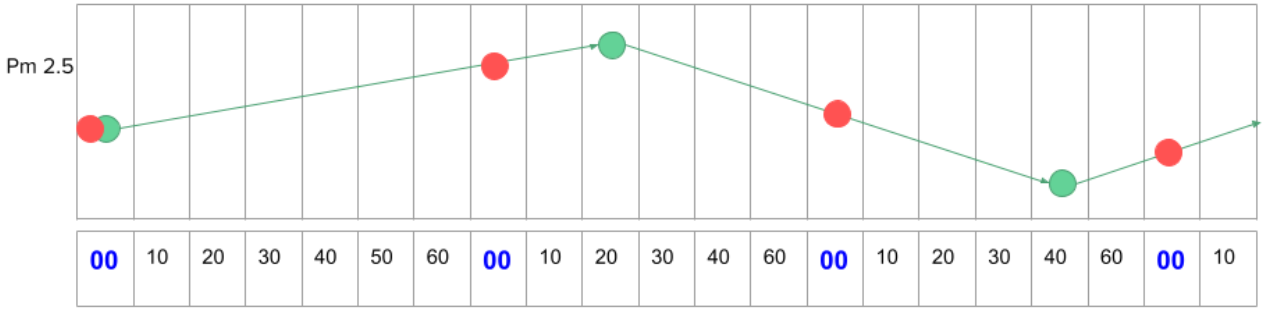
Κατά την φάση της εισαγωγής των δεδομένων πραγματοποιήθηκε η ενσωμάτωση των γεωγραφικών δεδομένων για κάθε σταθμό μέτρησης με την χρήση μακροεντολών. Επίσης από το ίδιο σημείο που είχαν σπάσει σε δύο αρχεία (κυριότερος λόγος τα τεχνικά προβλήματα και αντικατάσταση του σταθμού μέτρησης με άλλον) ενώνονται σε ένα σύνολο δεδομένων.



Εισαγωγή των δεδομένων από τους σταθμούς μέτρησης, με παράλληλη εισαγωγή γεωγραφικών δεδομένων. Ενώ όποτε είναι αναγκαίο γίνεται ένωση δεδομένων από 2 αρχεία του ίδιου σημείου

Στην συνέχεια τα δεδομένα αποθηκεύονται σε dataset. Οι καταγραφές των Smart Citizen Kits γίνονται και αποστέλλονται ανά λεπτό. Το πρόβλημα που έχρηζε αντιμετώπισης ήταν πως οι σταθμοί έστελναν δεδομένα με μη σταθερό χρονικό διάστημα σε ανάλυση λεπτού. Για παράδειγμα ο σταθμός μπορεί να έστελνε στις 10:13:34 και η επόμενη καταγραφή να είναι στις 10:14:46. Το πρόβλημα αυτό λύθηκε πραγματοποιώντας και πάλι μήτρα (matrix) χρονοσειράς με ανάλυση δευτερολέπτου και βάζοντας τα δεδομένα μέσα σε αυτή δημιουργώντας ουσιαστικά για κάθε λεπτό 59 ελλείπουσες τιμές και μια καταγραφή του αισθητήρα. Στην συνέχεια πραγματοποιείται η συμπλήρωση ελλιπών τιμών με την τεχνική γραμμικής παρεμβολής. Με αυτό τον τρόπο συμπληρωνονται όλες οι τιμές για κάθε δευτερόλεπτο. Για την επιστροφή σε σύνολο δεδομένων με χρονική ανάλυση λεπτού γίνεται δειγματοληψία των παραδειγμάτων που έχουν την τιμή των δευτερολέπτων = 00. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η συμπληρωση των τιμών και η ορθή χρονική απόσταση των τιμών.

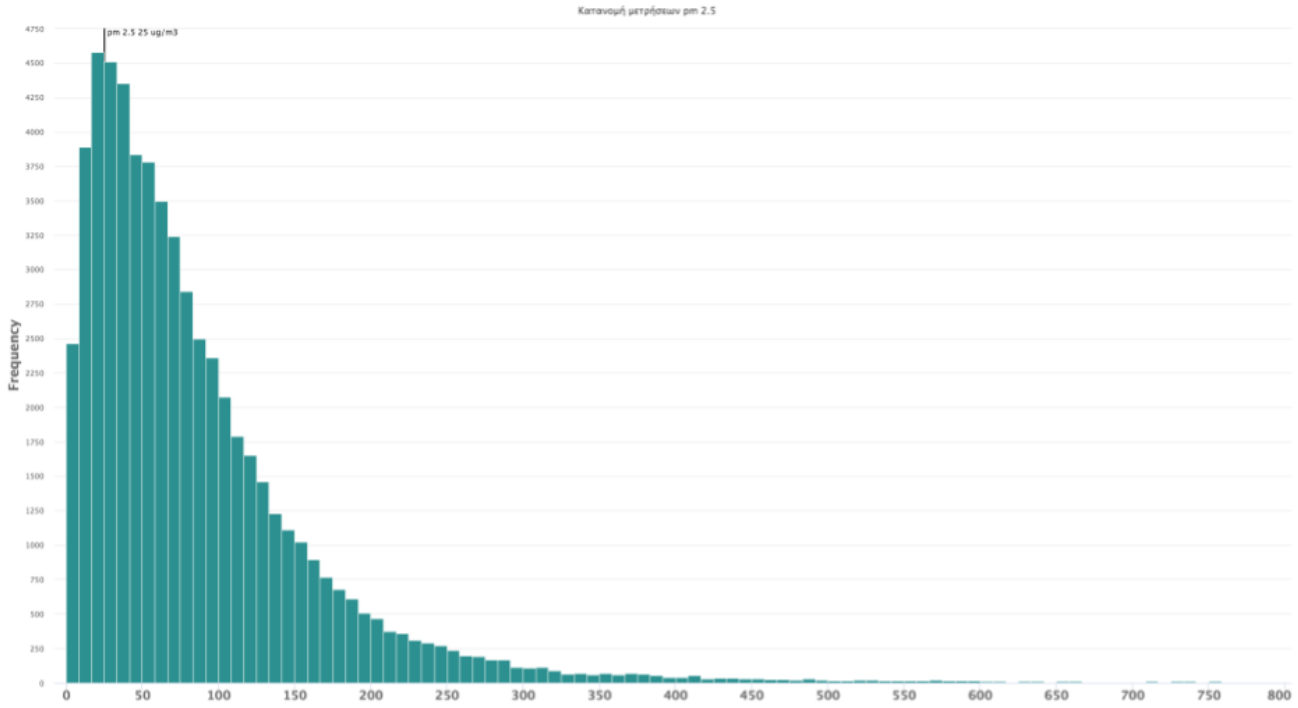




Πάνω: Μέρος της διαδικασίας στην οποία δημιουργήθηκε σύνολο δεδομένων ανά δευτερόλεπτο, στην συνέχεια ενώθηκε με τα δεδομένα από τον σταθμό και συμπληρώθηκαν οι τιμές με την τεχνική της γραμμικής παρεμβολής.

Κάτω: Με πράσινα σημεία παρουσιάζονται οι πραγματικές καταγραφές από τον σταθμό, στην συνέχεια η γραμμική παρεμβολή δημιουργεί από σημείο σε σημείο για κάθε δευτερόλεπτο. Τέλος, με την χρήση φίλτρου γίνεται δειγματοληψία για τα δευτερόλεπτα που ίσα με 00

Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε οπτική η κατανομή των τιμών PM2.5 από έναν σταθμό μέτρησης. Στο διάγραμμα έχει σημειώνει με μαύρη γραμμή τα 25 μg/m^3 τα οποία είναι η οδηγία του Παγκόσμιο Οργανισμού Υγείας για την ποιότητα αέρα. Είναι ξεκάθαρο πως αθροιστικά οι συχνότητες εμφάνισης τιμών πάνω από το όριο υπερτερούν το σύνολο των τιμών εμφάνισης τιμών κάτω από το όριο. Από αυτό το διάγραμμα έχουμε μια πρώτη απεικόνιση και εκτίμηση για την ατμοσφαιρική ρύπανση στην περιοχή του σταθμού μέτρησης.



Διάγραμμα κατανομής των μετρήσεων PM 2.5 στον σταθμό μέτρησης “Ευαγγελίστρια 1”. (Με μαύρη γραμμή σημειώνονται τα 25 μg/m^3, όριο - οδηγία του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας για την ποιότητα αέρα.

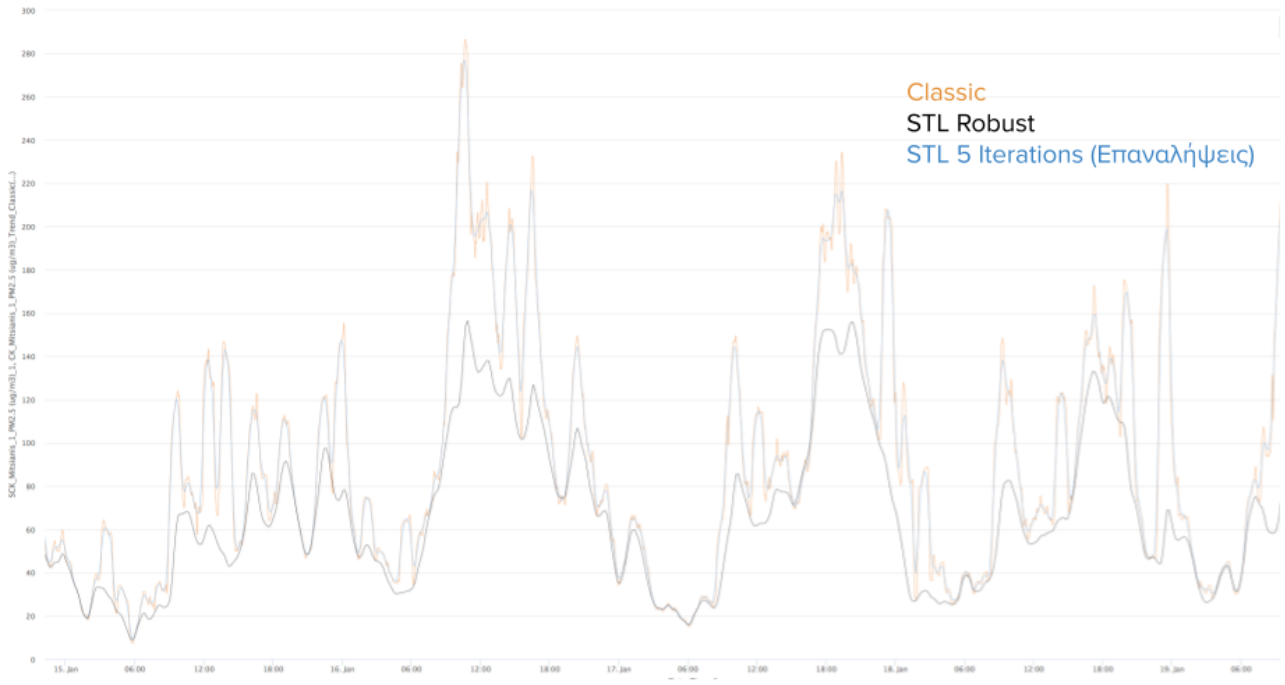
Το διάγραμμα αυτό μας δηλώνει πως η κατανομή των PM 2.5 έχει χαρακτηριστικά λογαριθμικής κατανομής.

Αποσύνθεση - Decomposition

Για να γίνει πιο ευδιάκριτη η τάση των μετρήσεων PM2.5 έγινε αποσύνθεση της χρονοσειράς σε α) τάση, β) εποχικότητα, γ) σφάλμα. Δοκιμαστηκαν 3 τρόποι αποσύνθεσης: α) κλασσική αποσύνθεση με την χρήση κινούμενου μέσου όρου, με την προσθετική μέθοδο, β) αποσύνθεση με χρήση εκτιμώμενης εξομάλυνσης της διασποράς (LOESS) με αποκλεισμό των ακραίων τιμών, και γ) αποσύνθεση με χρήση εκτιμώμενης εξομάλυνσης της διασποράς (LOESS) χωρίς αποκλεισμό ακραίων τιμών, με 5 επαναληπτικές διαδικασίες. Στους τρεις τρόπους αποσυνθεσεις δοκιμάστηκαν αρχικά διάφορες τιμές στην εποχικότητα με τελική επιλογή τα 60 παραδείγματα, και στο πλάτος του παραθύρου υπολογισμών τα 15 παραδείγματα.

Αξίζει να σημειωθεί πως βασικός λόγος που επιλέχθηκε η διαδικασία της αποσύνθεσης στην αρχή της επεξεργασίας των δεδομένων είναι η ομαλοποίηση και ο καθαρισμός των δεδομένων από ανωμαλίες και υπερβολικά ακραίες τιμές.

Μέσα από το πείραμα αναδείχθηκε πως η επιλογή STL Decomposition με 5 επαναλήψεις περιγράφει σε ικανοποιητικό βαθμό τις μεταβολές των δεδομένων, ενώ παράλληλα διώχνει την καλά σφάλματα και εποχικότητα.



Decomposition - 3 δοκιμές αποσύνθεσης της χρονοσειράς. Μέσα από τις δοκιμές επιλέχθηκε η STL με 5 επαναλήψεις.

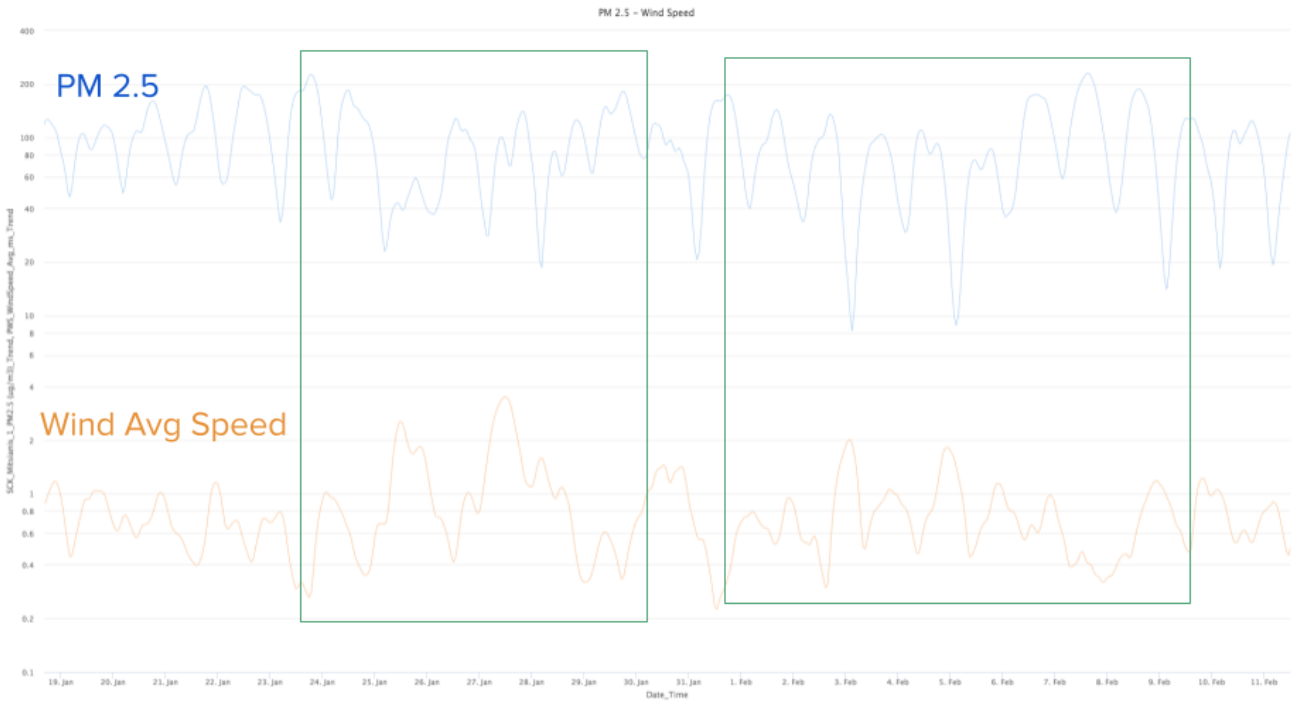
Η αποσύνθεση και συγκεκριμένα η STL αποσύνθεση με αποκλεισμό ακραίων τιμών παρότι είναι καλή τεχνική για καθαρισμό των δεδομένων δεν επιλέχθηκε διότι μείωνε τις αισθητά τις κορυφές των δεδομένων. Επίσης, μετά από έρευνα στην βιβλιογραφία και την μεθοδολογία επεξεργασίας δεδομένων από PM μετρήσεις ο αποκλεισμός των τιμών δεν ήταν ξεκάθαρη τεχνική και τυποποιημένη διαδικασία. Επιπρόσθετα, στην μεθοδολογία για τον υπολογισμό του δείκτη

ποιότητας αέρα (όπως περιγράφεται παρακάτω) δεν γίνεται αναφορά για διαδικασία αποσύνθεσης παρά μόνο για μέσους όρους τιμών ανά 24ωρο. Τα παραπάνω δεδομένα οδήγησαν σε αυτό το σημείο της έρευνας οι τάσεις σε των περιβαλλοντικών δεδομένων και των μετρήσεων από τα Smart Citizen Kits να συσχετιστούν σε έναν πίνακα συσχέτισης και να γίνει μελλοντικά επιπρόσθετη έρευνα σχετικά με τον τρόπο αποκλεισμού ακραίων τιμών στις μετρήσεις από αισθητήρες PM.

Συσχέτιση τάσεων - Trend correlation

Η συσχέτιση των τάσεων έγινε λαμβάνοντας τα δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού και του Smart Citizen Kit το οποίο βρίσκεται περίπου 5 μέτρα κάτω από τον σταθμό.

Με την παραγωγή διαγραμμάτων γίνονται εμφανής τα δεδομένα που υποστηρίζουν την υπόθεση εργασίας, δηλαδή παρατηρείται μια πτώση των μικροσωματιδίων όταν υπάρχει αύξηση στην ταχύτητα του ανέμου, και το αντίστροφο πως παρατηρείται αύξηση των μικροσωματιδίων όταν υπάρχει πτώση στην ταχύτητα του ανέμου.



Διάγραμμα στο οποίο φαίνεται η αρνητική συσχέτιση των τάσεων συγκέντρωσης PM2.5 και της ταχύτητας του ανέμου. Σημ: άξονας y σε λογαριθμική κλίμακα

Αναλυτικά οι συσχετίσεις των τάσεων με περίοδο 3 ημέρες εποχικότητα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας συσχέτισης - Trends (Διάρκεια δείγματος: 42 μέρες)

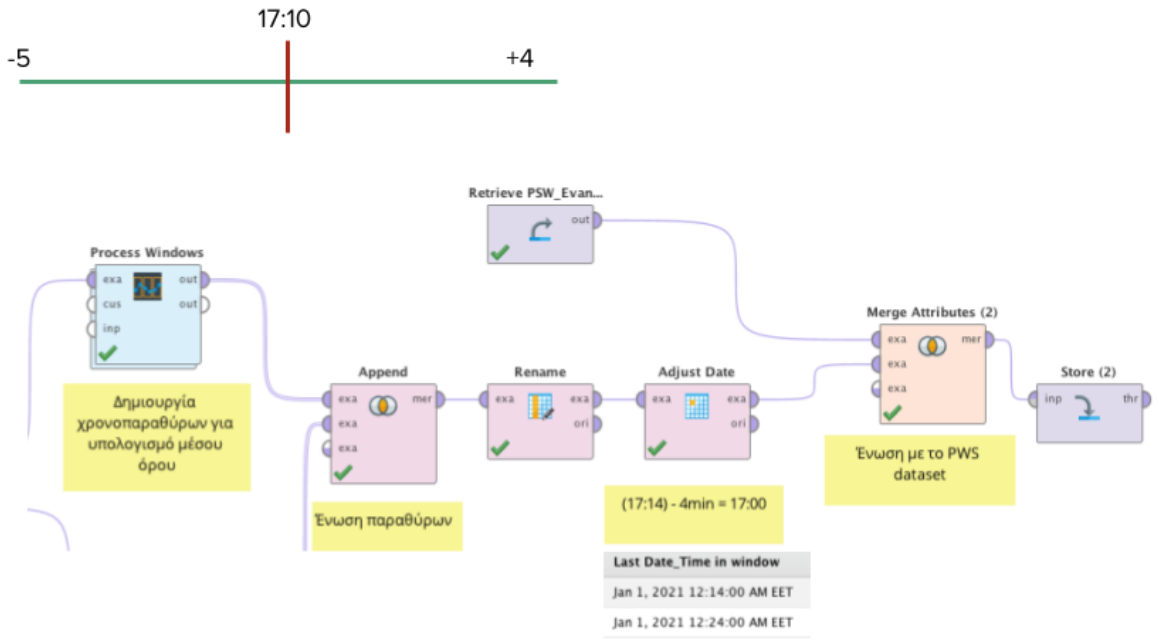
	PM2.5 (ug/m3)	Temp Out (C)	Hum Out (%)	AtmPressure (hPa)	WindSpeed Avg (ms)	WindSpeed Gust (ms)	Rain (mm)	RainRate (mmh)	Temp In (C)	Hum In (%)	Light (lux)	Noise (dBA)	PM1 (ug/m3)	PM10 (ug/m3)	eCO2 (ppm)	TVOC (ppb)
Temp Out (C)	-0,267	1,000	0,545	-0,261	-0,252	-0,247	0,133	0,182	-0,307	0,814	-0,678	0,555	-0,217	-0,330	-0,122	-0,172
Hum Out (%)	0,221	0,545	1,000	-0,140	-0,824	-0,816	0,609	0,648	0,022	0,749	-0,773	0,657	0,235	0,179	-0,634	-0,669
AtmPressure (hPa)	-0,016	-0,261	-0,140	1,000	0,009	-0,011	-0,207	-0,186	-0,383	-0,179	0,473	-0,282	0,019	-0,015	-0,431	-0,412
WindSpeed Avg (ms)	-0,509	-0,252	-0,824	0,009	1,000	1,000	-0,428	-0,441	-0,136	-0,383	0,573	-0,541	-0,533	-0,475	0,505	0,542
WindSpeed Gust (ms)	-0,511	-0,247	-0,816	-0,011	1,000	1,000	-0,416	-0,429	-0,132	-0,373	0,555	-0,535	-0,536	-0,477	0,510	0,546
Rain (mm)	0,012	0,133	0,609	-0,207	-0,428	-0,416	1,000	0,970	0,238	0,394	-0,534	0,200	-0,007	0,013	-0,444	-0,407
RainRate (mmh)	0,049	0,182	0,648	-0,186	-0,441	-0,429	0,970	1,000	0,211	0,420	-0,582	0,243	0,038	0,045	-0,429	-0,392
Temp In (C)	0,490	-0,307	0,022	-0,383	-0,136	-0,132	0,238	0,211	1,000	-0,398	-0,023	0,054	0,427	0,512	0,028	0,069
Hum In (%)	-0,371	0,814	0,749	-0,179	-0,383	-0,373	0,394	0,420	-0,398	1,000	-0,678	0,503	-0,349	-0,417	-0,395	-0,441
Light (lux)	-0,189	-0,678	-0,773	0,473	0,573	0,555	-0,534	-0,582	-0,023	-0,678	1,000	-0,589	-0,223	-0,142	0,250	0,276
Noise (dBA)	0,207	0,555	0,657	-0,282	-0,541	-0,535	0,200	0,243	0,054	0,503	-0,589	1,000	0,208	0,168	-0,155	-0,210
PM1 (ug/m3)	0,992	-0,217	0,235	0,019	-0,533	-0,536	-0,007	0,038	0,427	-0,349	-0,223	0,208	1,000	0,983	-0,156	-0,139
PM2.5 (ug/m3)	1,000	-0,267	0,221	-0,016	-0,509	-0,511	0,012	0,049	0,490	-0,371	-0,189	0,207	0,992	0,997	-0,139	-0,120
PM10 (ug/m3)	0,997	-0,330	0,179	-0,015	-0,475	-0,477	0,013	0,045	0,512	-0,417	-0,142	0,168	0,983	1,000	-0,118	-0,096
eCO2 (ppm)	-0,139	-0,122	-0,634	-0,431	0,505	0,510	-0,444	-0,429	0,028	-0,395	0,250	-0,155	-0,156	-0,118	1,000	0,991
TVOC (ppb)	-0,120	-0,172	-0,669	-0,412	0,542	0,546	-0,407	-0,392	0,069	-0,441	0,276	-0,210	-0,139	-0,096	0,991	1,000

Τα βασικά συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν από τον παραπάνω πίνακα είναι πως:

- Μερική αρνητική συσχέτιση παρουσιάζεται μεταξύ PM2.5 και τα ταχύτητας ανέμου, μάλιστα με την η ριπή του ανέμου η συσχέτιση είναι -0,511.
- Μερική θετική συσχέτιση παρουσιάζεται μεταξύ της θερμοκρασίας του εσωτερικού χώρου και της συγκέντρωσης PM2.5, γεγονός που οφείλεται στην ξυλόσομπα που χρησιμοποιείται για την θερμανση του εσωτερικού χώρου.
- Ισχυρή συσχέτιση παρουσιάζεται μεταξύ των μετρήσεων PM2.5, 10 και 1
- Η σχετική εξωτερική υγρασία παρουσιάζει ισχυρή αρνητική συσχέτιση με την ταχύτητα του ανέμου. Το γεγονός αυτό ερμηνεύεται καθώς ο άνεμος μπορεί να διαλύσει την υγρασία του αέρα και να την μετακινήσει.
- Η υγρασία έχει αρνητική συσχέτιση με την φωτεινότητα. Το γεγονός αυτό ερμηνεύεται καθώς στις βροχερές, υγρές μέρες με νεφοκάλυψη η ένταση του φωτός είναι μικρή, ενώ στις καθαρές μεγάλη.

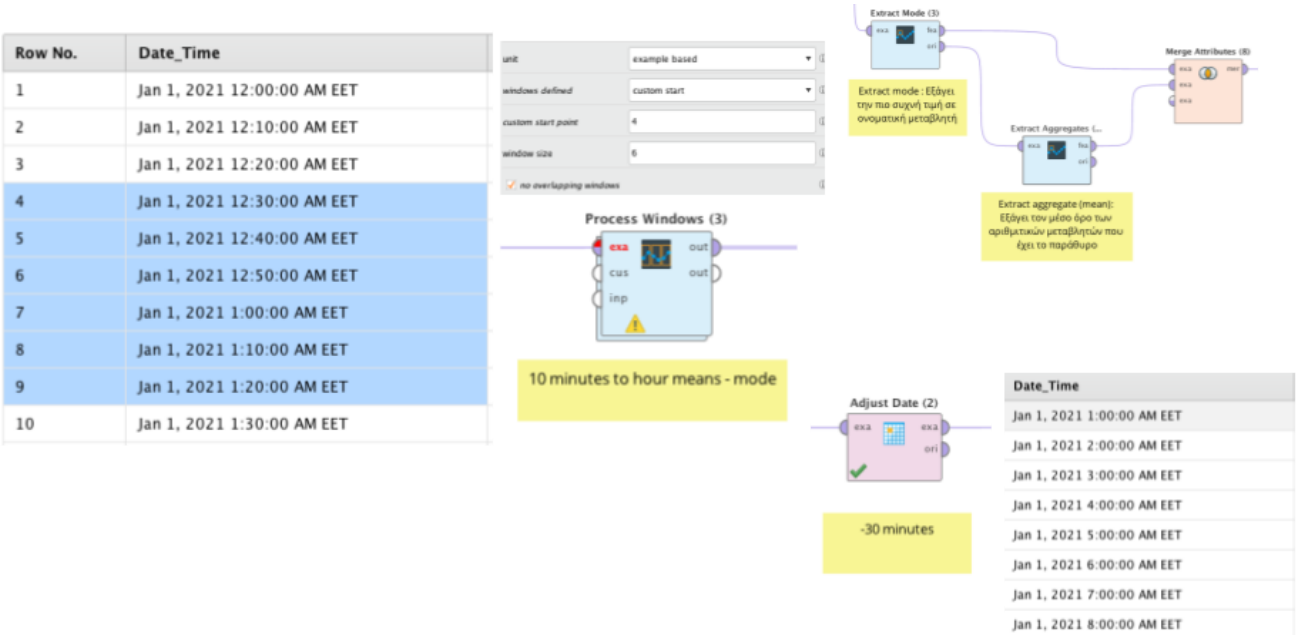
Ενοποίηση, μετασχηματισμοί δεδομένων και οπτικοποίηση δεδομένων

Τα δεδομένα από τους σταθμούς SCK ενοποιήθηκαν και ανά δεκάλεπτο εξήχθησαν μέσοι όροι. Και ενώθηκαν στο τέλος με τα δεδομένα από τον μετεωρολογικό σταθμό.



Διαδικασία μετατροπής χρονικής ανάλυσης από 1 λεπτό σε 10λεπτο για τους σταθμούς SCK και ένωσή τους με το σύνολο δεδομένων του μετεωρολογικού σταθμού

Με την αντίστοιχη διαδικασία έγινε και η μετατροπή σε ωριαία ανάλυση συνδυάζοντας μετρήσεις 30 λεπτά πριν την ώρα υπολογισμού και 20 λεπτά μετά αυτής.

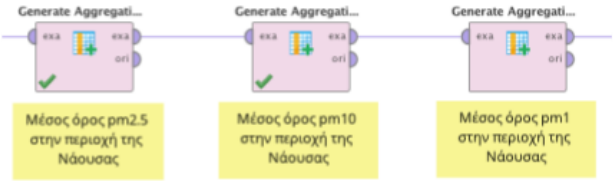


Row No.	Date_Time
1	Jan 1, 2021 12:00:00 AM EET
2	Jan 1, 2021 12:10:00 AM EET
3	Jan 1, 2021 12:20:00 AM EET
4	Jan 1, 2021 12:30:00 AM EET
5	Jan 1, 2021 12:40:00 AM EET
6	Jan 1, 2021 12:50:00 AM EET
7	Jan 1, 2021 1:00:00 AM EET
8	Jan 1, 2021 1:10:00 AM EET
9	Jan 1, 2021 1:20:00 AM EET
10	Jan 1, 2021 1:30:00 AM EET

Date_Time
Jan 1, 2021 1:00:00 AM EET
Jan 1, 2021 2:00:00 AM EET
Jan 1, 2021 3:00:00 AM EET
Jan 1, 2021 4:00:00 AM EET
Jan 1, 2021 5:00:00 AM EET
Jan 1, 2021 6:00:00 AM EET
Jan 1, 2021 7:00:00 AM EET
Jan 1, 2021 8:00:00 AM EET

Διαδικασία μετατροπής χρονικής ανάλυσης από 10λεπτο σε 1 ώρα

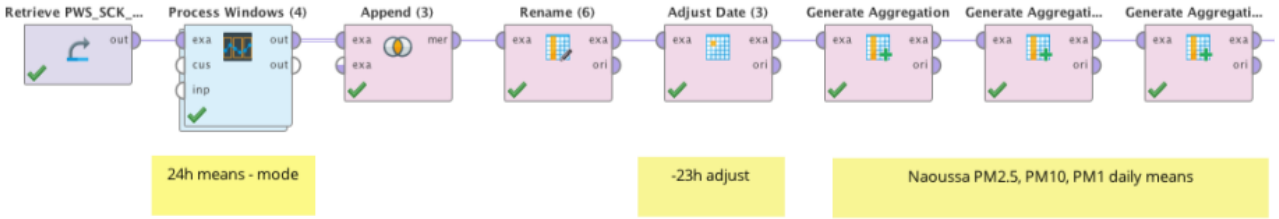
Ακόμη για κάθε ώρα υπολογίστηκαν οι μέσοι όροι από τους σταθμούς μέτρησης στην πόλη της Νάουσας.





Υπό διαδικασία υπολογισμού μέσων για την πόλη της Νάουσας εμφωλευμένη στην διαδικασία μετατροπής χρονικής ανάλυσης από 10λεπτο σε 1 ώρα

Και στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε μετατροπή του συνόλου των δεδομένων σε χρονική ανάλυση ημέρας.



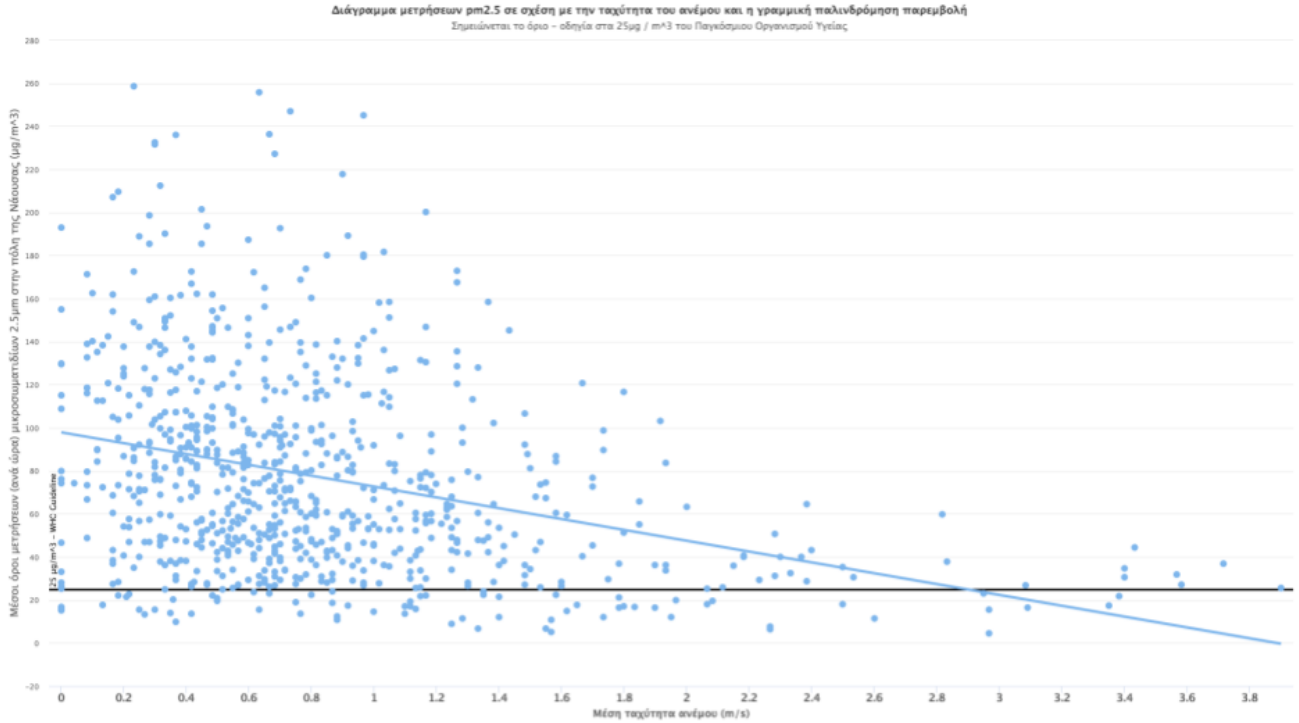
Date_Time	PM2.5_Naoussa_Daily	PM10_Naoussa_Daily	PM1_Naoussa_Daily
Jan 9, 2021 12:00:00 AM EET	84.372	96.190	54.373
Jan 10, 2021 12:00:00 AM EET	76.565	88.852	47.375
Jan 11, 2021 12:00:00 AM EET	73.747	84.248	46.530
Jan 12, 2021 12:00:00 AM EET	83.763	98.971	50.252
Jan 13, 2021 12:00:00 AM EET	71.178	81.134	45.837
Jan 14, 2021 12:00:00 AM EET	59.924	68.878	39.269
Jan 15, 2021 12:00:00 AM EET	59.400	68.889	38.104
Jan 16, 2021 12:00:00 AM EET	77.490	92.193	47.694
Jan 17, 2021 12:00:00 AM EET	79.104	94.563	48.671
Jan 18, 2021 12:00:00 AM EET	66.451	79.060	41.091
Jan 19, 2021 12:00:00 AM EET	88.483	103.670	55.989
Jan 20, 2021 12:00:00 AM EET	119.768	139.273	75.808
Jan 21, 2021 12:00:00 AM EET	128.612	148.196	81.908

Μετατροπή σε χρονική ανάλυση 1 μέρας

Οπτικοποίηση και εξαγωγή γνώσης

Μέσω της οπτικοποίησης των ωραίων μετρήσεων γίνεται αντιληπτό ότι η μετρήσεις κατά μέσο όρο στην πόλη της Νάουσας είναι πάνω από την οδηγία του Παγκόσμιου οργανισμού υγείας.

Επίσης, στο διάγραμμα των μετρήσεων στον άξονα του ανέμου φαίνεται ξεκάθαρα με γραμμική παρεμβολή η αρνητική σχέση του ανέμου. Παράλληλα εξάγεται ουσιαστική και χρήσιμη πληροφορία σχετικά με την ταχύτητα του ανέμου που χρειάζεται για να “καθαρίζει” η πόλη και να πέσει κάτω από το όριο των 25 μg/m^3, συγκεκριμένα χρειάζεται άνεμος περίπου 3 m/s για να μειωθεί η συγκέντρωση μικροσωματιδίων και να επιτευχθεί το όριο.



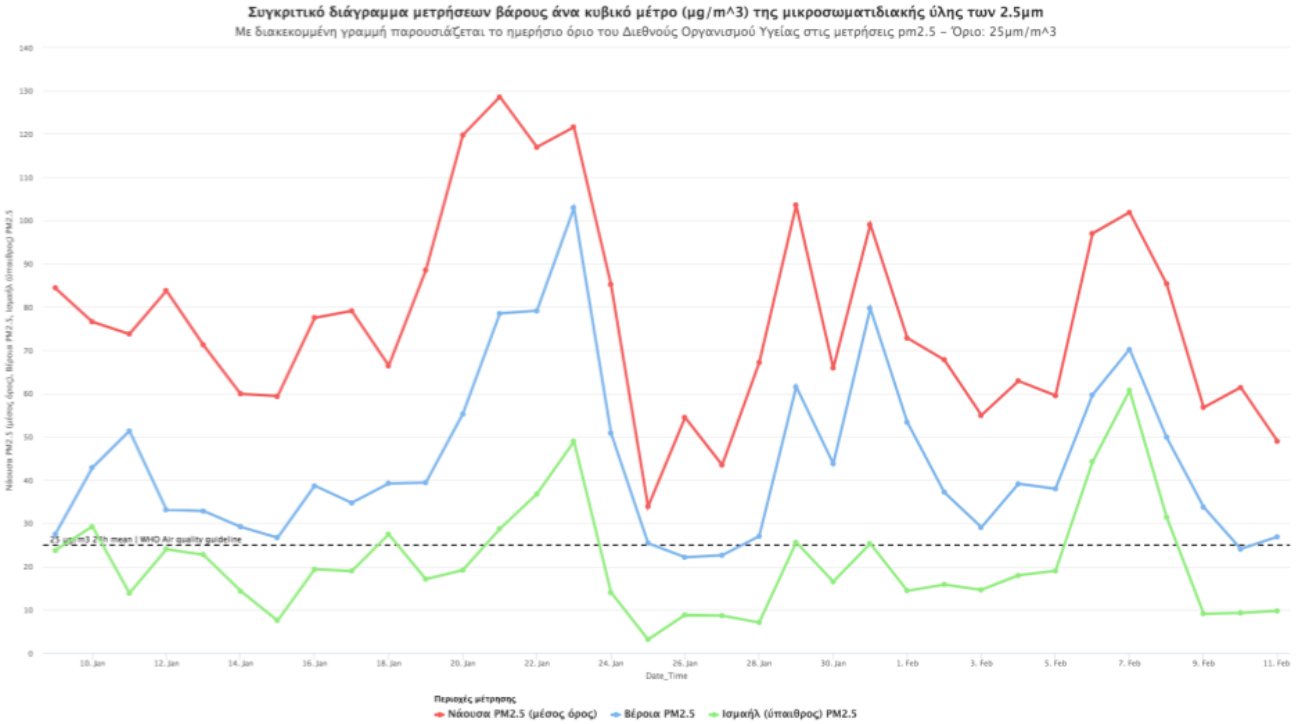
Διάγραμμα μετρήσεων ΠΜ2.5 (ανά ώρα) κατά μέσο όρο στη πόλη της Νάουσας σε σχέση με την ταχύτητα του ανέμου και η γραμμική παλινδρόμηση παρεμβολή.
Χ άξονας = Μέση ταχύτητα του ανέμου | Υ άξονας = Μέσοι όροι μετρήσεων PM2.5 στην πόλη της Νάουσας

Επίσης επίσης πραγματοποιήθηκε οπτικοποίηση δεδομένων σταθμού μέτρησης σε σχέση με την κατεύθυνση. Στο παρακάτω διάγραμμα διάγραμμα φαίνεται η επιρροή του ανέμου και συγκεκριμένα του βορειανατολικού ανέμου στις μετρήσεις του σταθμού. Παράλληλα έγινε γεωγραφική εκτίμηση της προέλευσης των μικροσωματιδίων PM2.5 σε σχέση την κατεύθυνση του ανέμου.



Αριστερά: Διάγραμμα κατανομής μετρήσεων PM2.5 σε σχέση με την κατεύθυνση του ανέμου.
Δεξιά: Γεωγραφική επιβεβαίωση του διαγράμματος μέσα από την σημείωση των καπνοδόχων στον χάρτη.
Φαίνεται η επιρροή της βορειοανατολικής καπνοδόχου στις μετρησεις του σταθμου

Η σύγκριση του μέσου όρου της Νάουσας σε σχέση με την γειτονική πόλη της Βέροιας και τον σταθμό στην ύπαιθρο της πόλης δείχνει πως κορυφή στις μετρήσεις είναι η πόλη της Νάουσας, παραμένοντας στο σύνολο των 34 ημερών πάνω από την οδηγία του ΠΟΥ. Μάλιστα φαίνονται κοινές διακυμάνσεις γεγονός που δείχνει ότι οι περιβαλλοντικοί ή αιτιατικοί παράγοντες επηρεάζουν ταυτόχρονα και τις 3 συγκρινόμενες περιοχές.

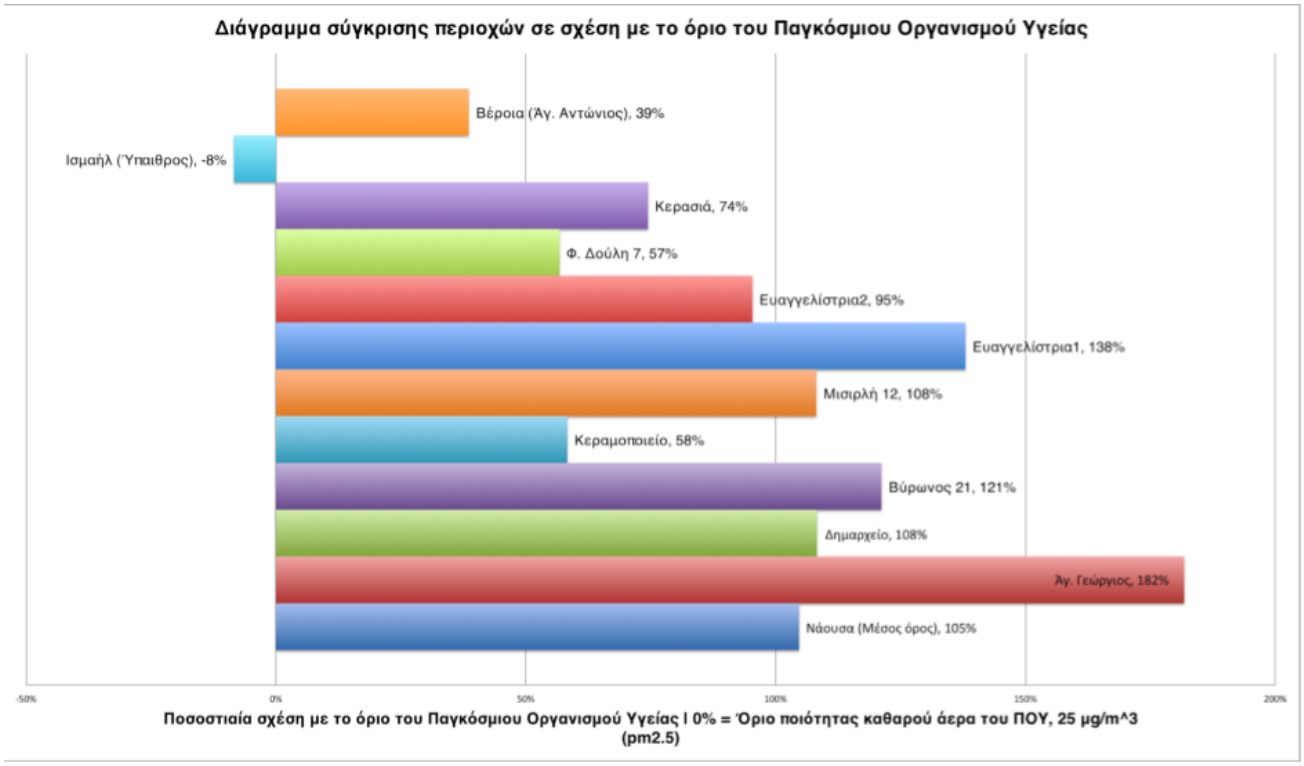


Διάγραμμα σύγκρισης μετρήσεων βάρους ανά κυβικό μέτρο (μg/m^3) της μικροσωματιδιακής ύλης των 2.5μm στις τρεις περιοχές.

Με κόκκινο σημειώνεται ο μέσος όρος των μετρήσεων στην πόλη της Νάουσας, με μπλε οι μετρήσεις από τον σταθμό στην Βέροιας, με πράσινο οι μετρήσεις από τον σταθμό της υπαίθρο της Νάουσας.

Με διακεκομμένη γραμμή παρουσιάζεται το ημερήσιο όριο - οδηγία του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας. Η πόλη της Νάουσας παραμένει στο σύνολο των 34 ημερών πάνω από το όριο γεγονός που υποδηλώνει την επιβαρυμένη με ρύπους ατμόσφαιρα.

Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε μετασχηματισμός των δεδομένων και εξαγωγής της ποσοστιαίας σχέσης των μετρήσεων από τις περιοχές με το όριο του ΠΟΥ.



Διάγραμμα σύγκρισης περιοχών σε σχέση με το όριο του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας. Παρατηρείται στο διάγραμμα ότι κατά μέσο όρο η περιοχή της Νάουσας είναι 2 φορές πάνω από το όριο, 105%, με περιοχές όπως ο Άγιος Γεώργιος να αγγίζει τις 4 φορές πάνω από το όριο, 182%. Η περιοχή της Βέροιας είναι 39% πάνω από το όριο, ενώ η περιοχή της υπαίθρου της Νάουσας είναι 8% κάτω από το όριο.

Ευρωπαϊκή Κλίμακα Ποιότητας Αέρα (European Air Quality Index)

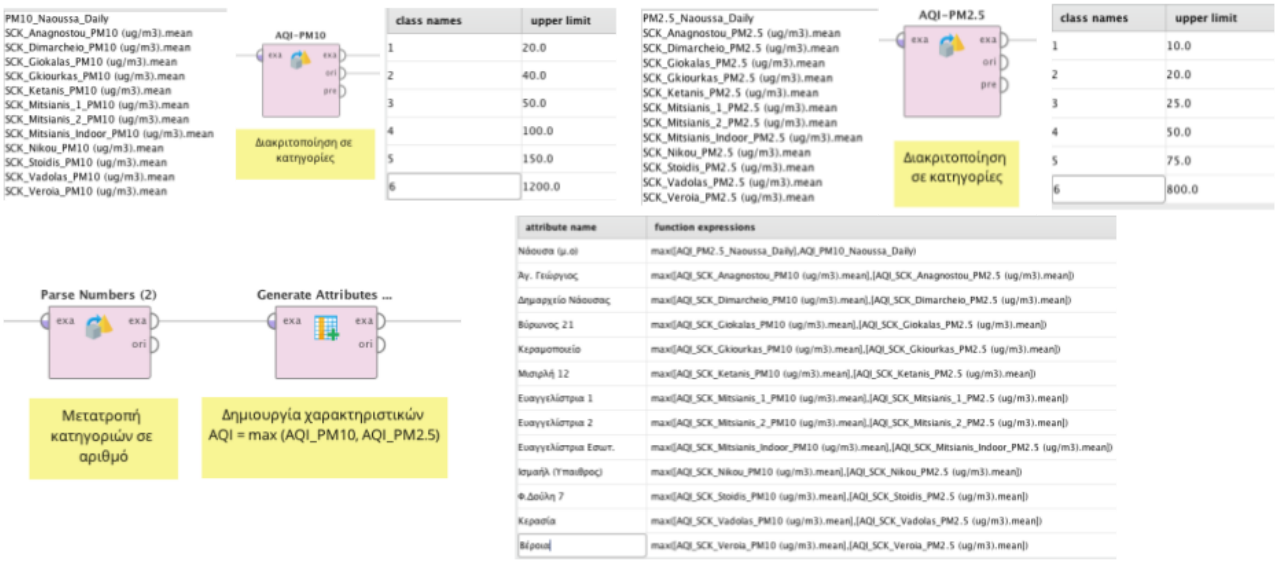
Λόγω της πολυπαραγοντικής φύσης της ποιότητας του αέρα που βασίζεται στις μετρήσεις διαφορετικών ρύπων και για την καλύτερη κατανόηση από το ευρύ κοινό έχουν θεσπιστεί διάφορες κλίμακες για την ποιότητα του αέρα. Με την βοήθεια των κλιμάκων αυτών γίνεται κατανοητή πόσο επιβαρυμένη είναι ατμόσφαιρά και δίνονται οδηγίες για το κοινό. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία και η κλίμακα του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος.

Η κλίμακα ορίζει 6 επίπεδα με αντίστοιχα διαστήματα στους διαφόρους ρύπους, στην συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν οι μετρήσεις από τους ρύπους PM2.5 και PM10 για τον υπολογισμό των μετρήσεων. Πραγματοποιήθηκε διακριτοποίηση των τιμών στα διαστήματα που ορίζει η κλίμακα και ακολουθήθηκε η μεθοδολογία του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος για τον ορισμό ποιότητας αέρα. Συγκεκριμένα, οι 24ωροι μέσοι όροι διακριτοποιήθηκαν στα πεδία τιμών της κλίμακας για ρύπους PM2.5 και PM10, στην συνέχεια δημιουργείται η τιμή της κλίμακας λαμβάνοντας την μέγιστη τιμή μεταξύ διακριτοποιημένων τιμων PM2.5 και PM10.

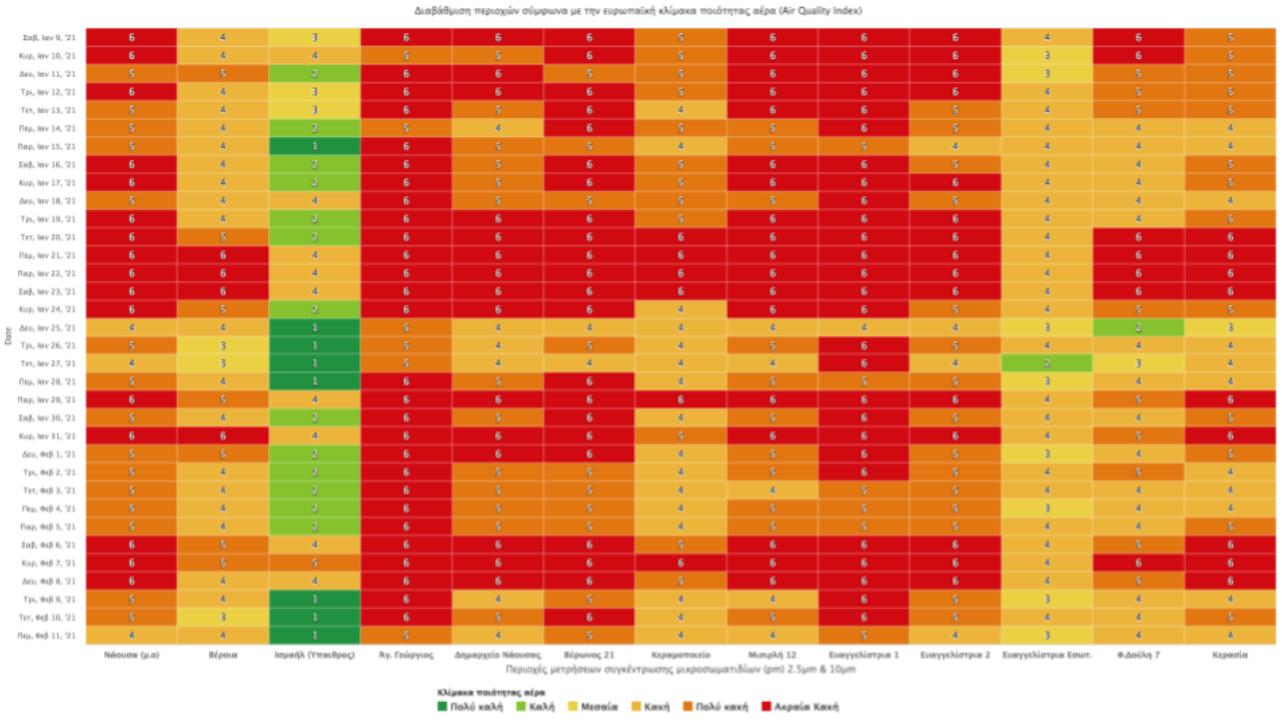
Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η κλίμακα με τα όρια στους ρύπους PM10 και PM2.5, παράλληλα με τις οδηγίες για τον γενικό πληθυσμό και τις ευπαθείς ομάδες

Ευρωπαϊκή Κλίμακα Ποιότητας Αέρα

Air Quality Index	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Περιγραφή	Πολύ καλή	Καλή	Μεσαία	Κακή	Πολύ κακή	Ακραία κακή
PM10	0-20	20-40	40-50	50-100	100-150	150-1200
PM2.5	0-10	10-20	20-25	25-50	50-75	75-800
Οδηγίες στον γενικό πληθυσμό	Η ποιότητα αέρα είναι καλή. Απολαύστε τις συνήθεις σας εξωτερικές δραστηριότητες	Απολαύστε τις συνήθεις σας εξωτερικές δραστηριότητες	Απολαύστε τις συνήθεις σας εξωτερικές δραστηριότητες	Αν παρουσιάσετε συμπτώματα όπως τσούξιμο (πόνο) στα μάτια, βήχα ή πονόλαιμο, σκεφτείτε να μειώσετε τις έντονες εξωτερικές δραστηριότητες	Αν παρουσιάσετε συμπτώματα όπως τσούξιμο (πόνο) στα μάτια, βήχα ή πονόλαιμο, σκεφτείτε να μειώσετε τις έντονες εξωτερικές δραστηριότητες	Μειώστε τις εξωτερικές δραστηριότητες
Οδηγίες στις ευπαθείς ομάδες του πληθυσμού	Η ποιότητα αέρα είναι καλή. Απολαύστε τις συνήθεις σας εξωτερικές δραστηριότητες	Απολαύστε τις συνήθεις σας εξωτερικές δραστηριότητες	Αν παρουσιάσετε προβλήματα, σκεφτείτε να μειώσετε τις έντονες εξωτερικές δραστηριότητες	Αν παρουσιάσετε συμπτώματα, σκεφτείτε να μειώσετε οποιαδήποτε σωματική δραστηριότητα, ιδιαιτέρως σε εξωτερικούς χώρους	Μειώστε τις σωματικές δραστηριότητες, με έμφαση τις εξωτερικές, ιδιαιτέρως δε αν παρουσιάζετε συμπτώματα	Αποφύγετε τις εξωτερικές δραστηριότητες



Διαδικασία υπολογισμού Air Quality Index.
Λογική συνάρτηση AQI = max {AQI-PM2.5 24h mean}, {AQI-PM10 24h mean}

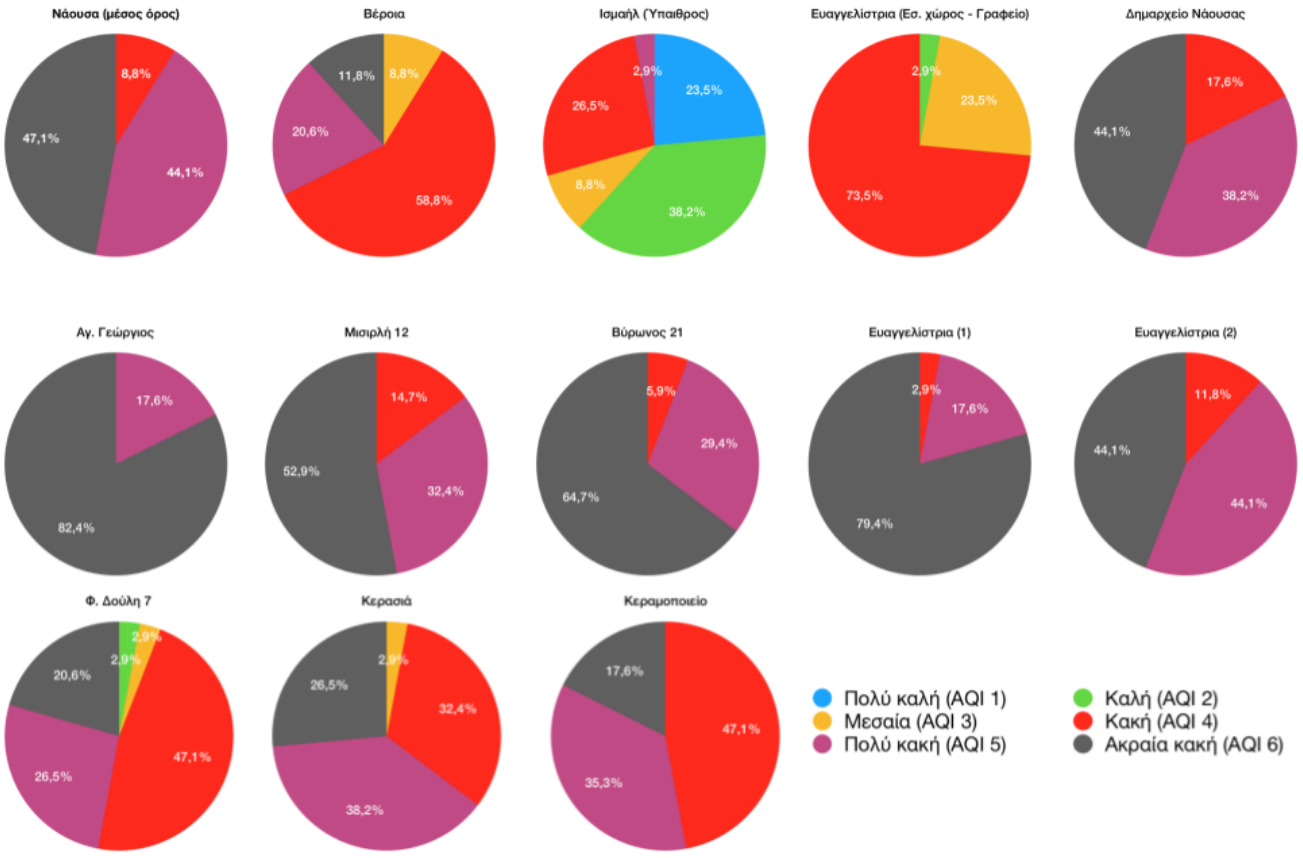


Διάγραμμα heatmap | Χρωματική διαβάθμιση των περιοχών στην κλίμακα ποιότητας αέρα.
Υ άξονας: Ημέρες
Χ άξονας: Περιοχές

Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε μετασχηματισμός των δεδομένων και ποσόστωση των τιμών AQI στο πλαίσιο του χρόνου. Στην περίοδο 9 Ιανουαρίου 2021 με 11 Φεβρουαρίου 2021 και με διάρκεια 34 ημερών, λαμβάνοντας 24ωρους μέσους όρους και υπολογίζοντας την κλίμακα ποιότητας αέρα βγήκαν τα εξής συμπεράσματα:

- Η πόλη της Νάουσας (λαμβάνοντας τον μέσο όρο των σταθμών) εχει στο προαναφερόμενο διάστημα 47,1% ακραία κακή ποιότητα, 44,1% πολύ κακή ποιότητα και 8,8 κακή ποιότητα.
- Ο σταθμός της Βέροιας έδειξε 11,8% ακραία κακή, 20% πολύ κακή, 58% κακή και 8% μεσαία ποιότητα αέρα.
- Η ύπαιθρος της Νάουσας έδειξε 3% πολύ κακή, 26,5 κακή, 8% μεσαία, 38% καλή και 22,5% πολύ καλή ποιότητα αέρα
- Η περιοχή της πόλης της Νάουσας με την χειρότερη ποιότητα αέρα είναι ο Άγιος Γεώργιος με 82% ακραία κακή, και 17% πολύ κακή ποιότητα αέρα
- Η περιοχή της πόλης της Νάουσας με την καλύτερη ποιότητα αέρα είναι στην οδό Φ. Δούλη με 20% ακραία κακή, 26% πολύ κακή, 47% κακή, 3% μέτρια, 3% καλή ποιότητα αέρα.
- Ο σταθμός εσωτερικού χώρου εντός οικίας έδειξε 73% κακή, 23% μέτρια και 3% καλή ποιότητα αέρα

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα διαγράμματα των μετρήσεων



Υπολογισμός ποιότητας αέρα με βάση τους 24 μέσους όρους

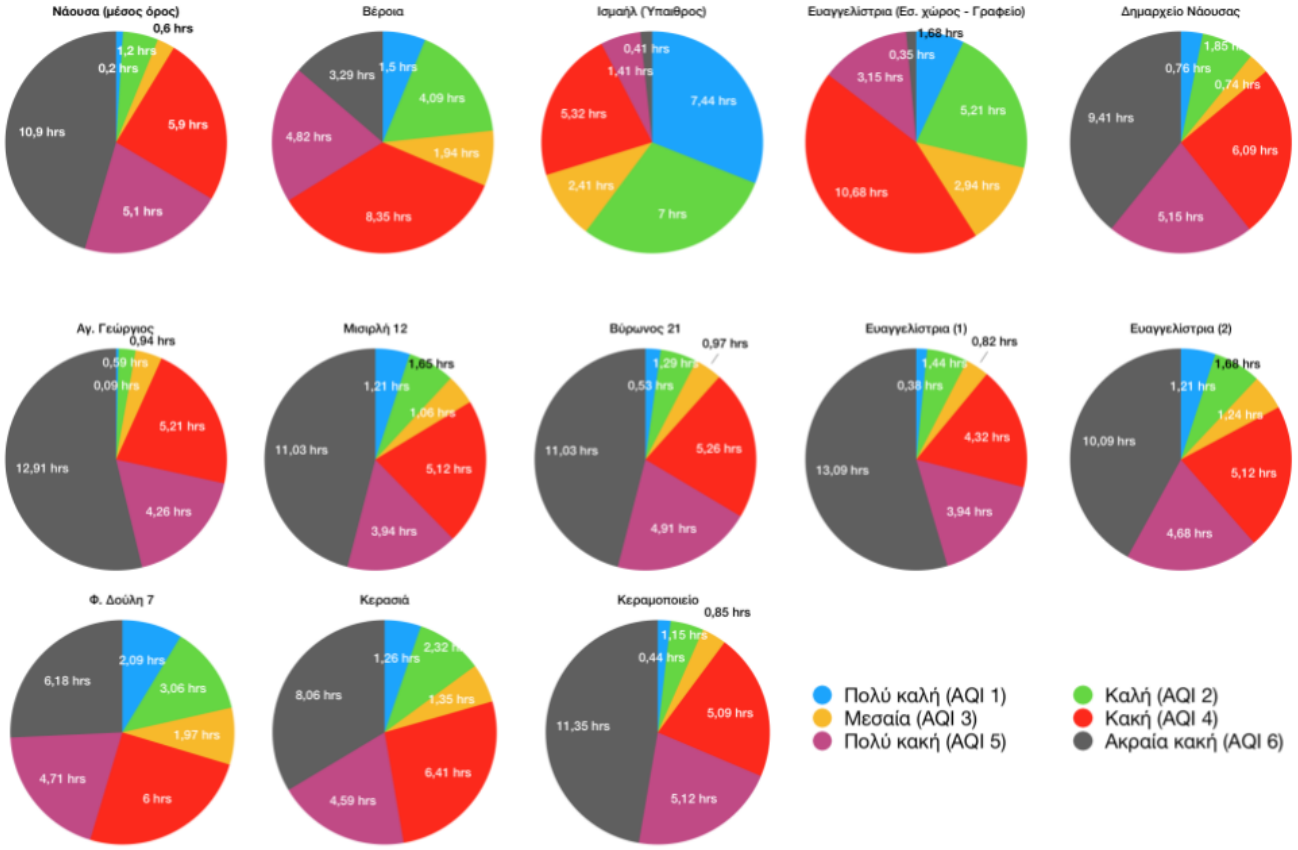
Υπολογισμός AQI ανά ώρα και μετασχηματισμός ανά ώρα

Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε υπολογισμός ανά ώρα του AQI και έγινε μετασχηματισμός των δεδομένων και υπολογισμός ποσόστωσης ανά ώρες μιας μέρας.

Κατά μέσο όρο στην διάρκεια μιας μέρας:

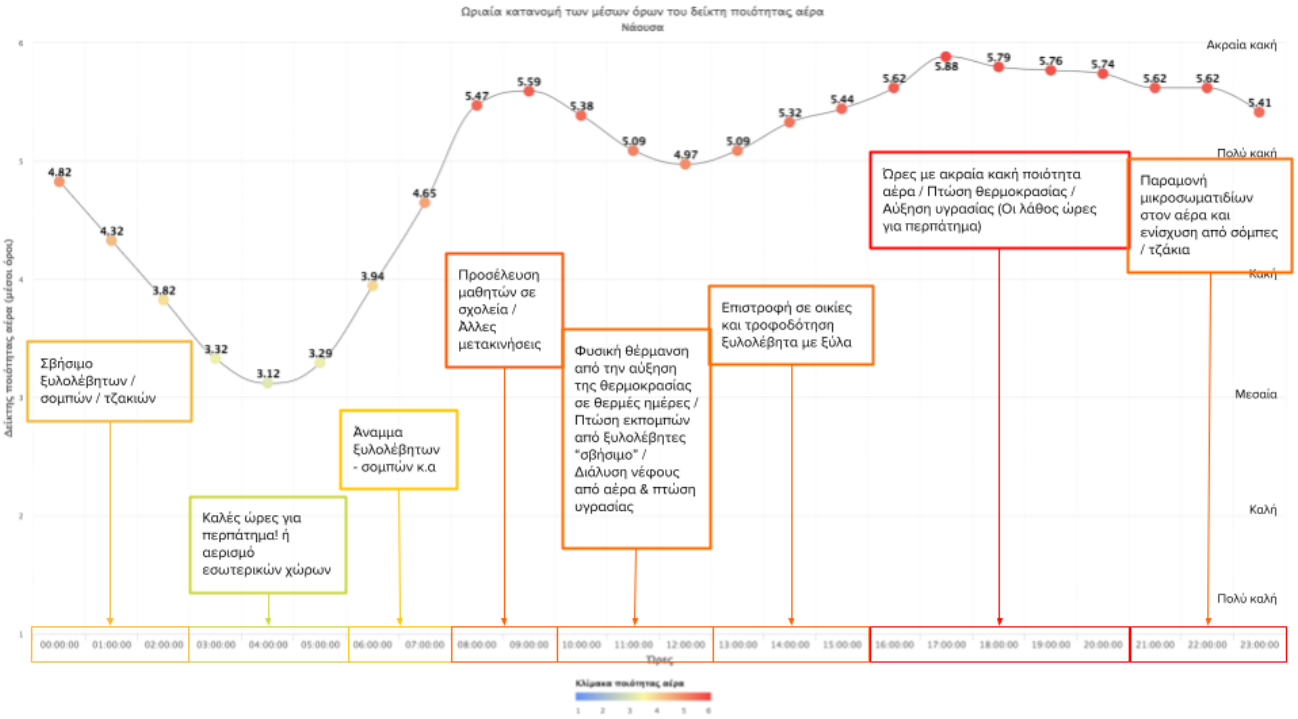
- Η πόλη της Νάουσας έχει 11 ώρες ακραία κακή, 5 ώρες πολύ κακή, 6 ώρες κακή, 0,6 ώρες μεσαία, 1,2 ώρες καλή και 0,2 ώρες πολύ καλή ποιότητα αέρα
- Ο σταθμός της Βέροιας έχει 3 ώρες ακραία κακή, 5 ώρες πολύ κακή, 8 ώρες κακή, 2 ώρες μεσαία, 4 ώρες κακή και 1 ώρα πολύ καλή ποιότητα αέρα
- Ο σταθμός εσωτερικού χώρου έχει 0,41 ώρες ακραία κακή, 1 ώρα πολύ κακή, 5 ώρες κακή, 2 ώρες μεσαία, 7 ώρες καλή και 7 ώρες πολύ καλή ποιότητα αέρα.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα διαγράμματα υπολογισμού AQI ανά ώρα και η αναλογική ποσόστωση ως ώρες μιας μέρας.

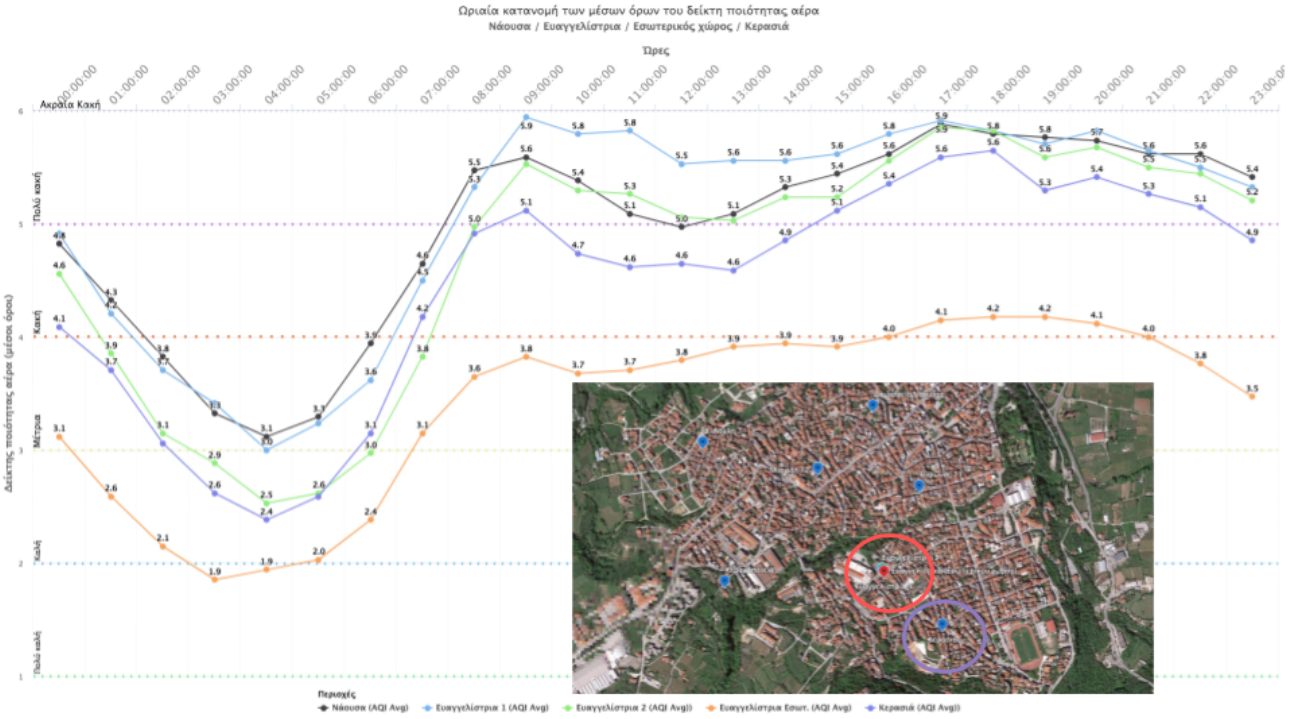


Υπολογισμός ποιότητας αέρα ανά ώρα. Οι αναλογίες είναι εκφρασμένες ώρες ώρες μιας ημέρας

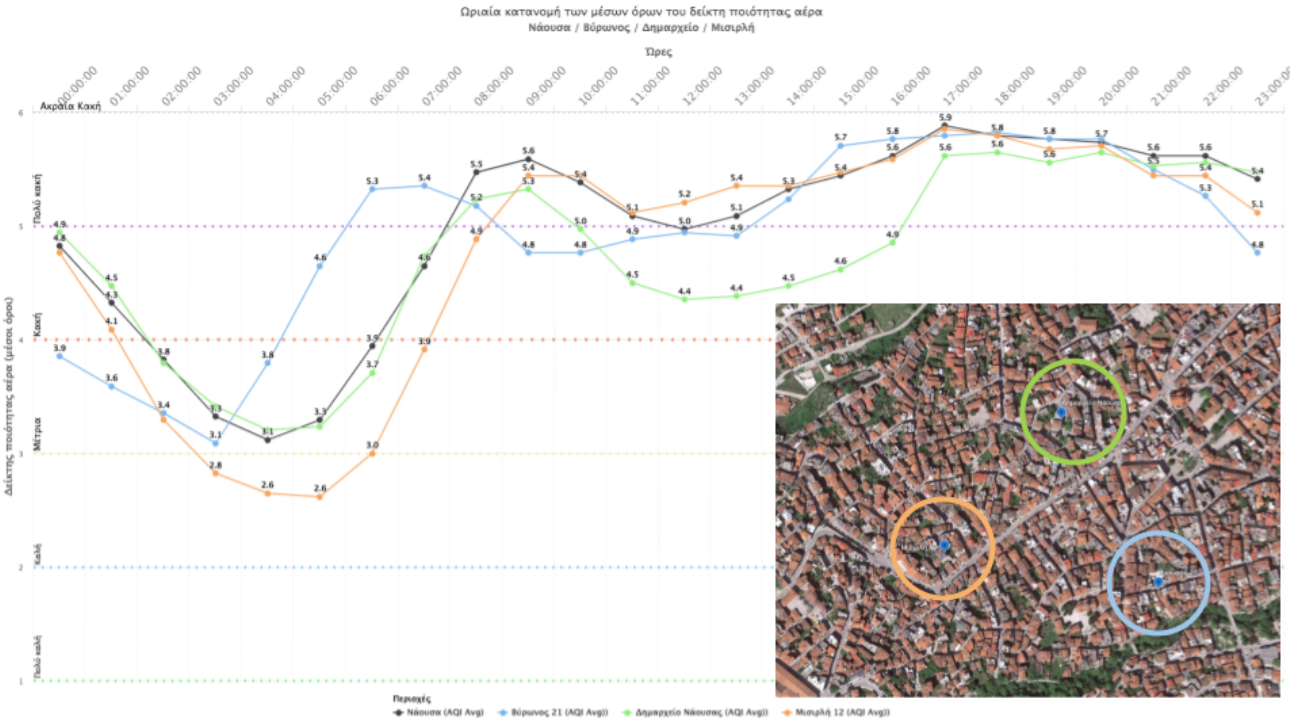
Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε μετασχηματισμός των δεδομένων και εξαγωγή του μέσου όρου AQI στο πλαίσιο του χρόνου.



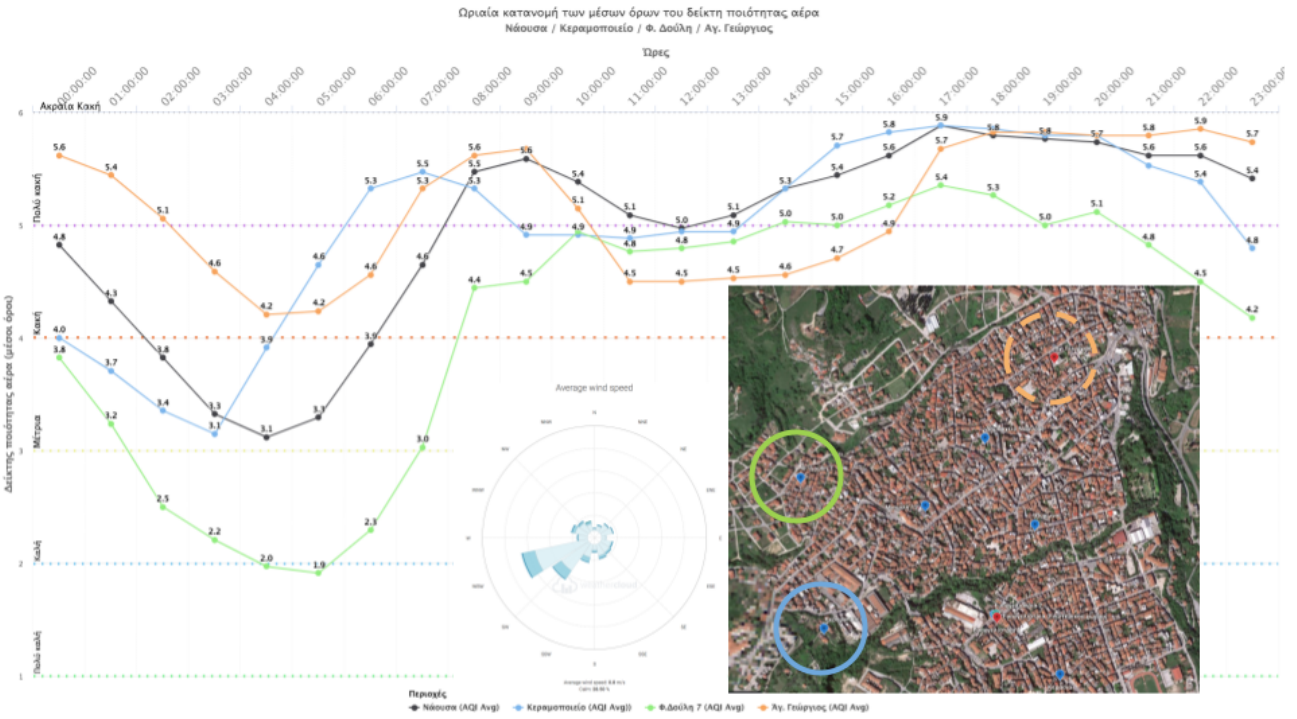
Ωριαία κατανομή των μέσων όρων του δείκτη ποιότητας αέρα στην περιοχή της Νάουσας



Ωριαία κατανομή των μέσων όρων του δείκτη ποιότητας αέρα στους σταθμούς Ευαγγελίστρια, εσωτερικού χώρου και Κερασιά



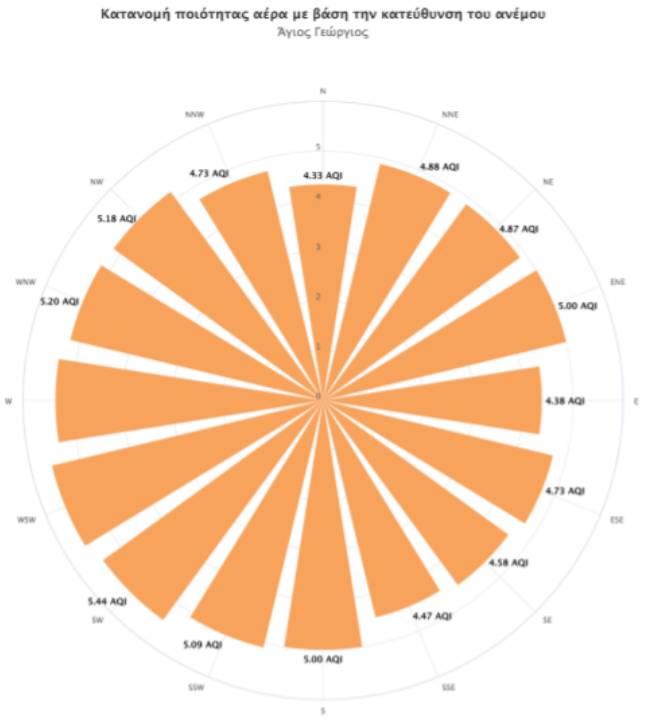
Ωριαία κατανομή των μέσων όρων του δείκτη ποιότητας αέρα στους σταθμούς Δημαρχείο, Βύρωνος, Μισιρλή



Ωριαία κατανομή των μέσων όρων του δείκτη ποιότητας αέρα στους σταθμούς Κεραμοποιείο, Φ. Δούλη, Άγ. Γεώργιος

Η υψηλή ατμοσφαιρική ρύπανση της περιοχής Άγιος Γεώργιος (πορτοκαλί) μπορεί να ερμηνευτεί διότι οι άνεμοι στην περιοχή είναι κυρίως δυτικοί - νοτιοδυτικοί, συμπαρασύρωντας την ρύπανση από όλη την πόλη προς την περιοχή του Αγίου Γεωργίου επιδεινώνοντας την όλη ατμόσφαιρα. Η ερμηνεία αυτή εξετάζεται στην συνέχεια.

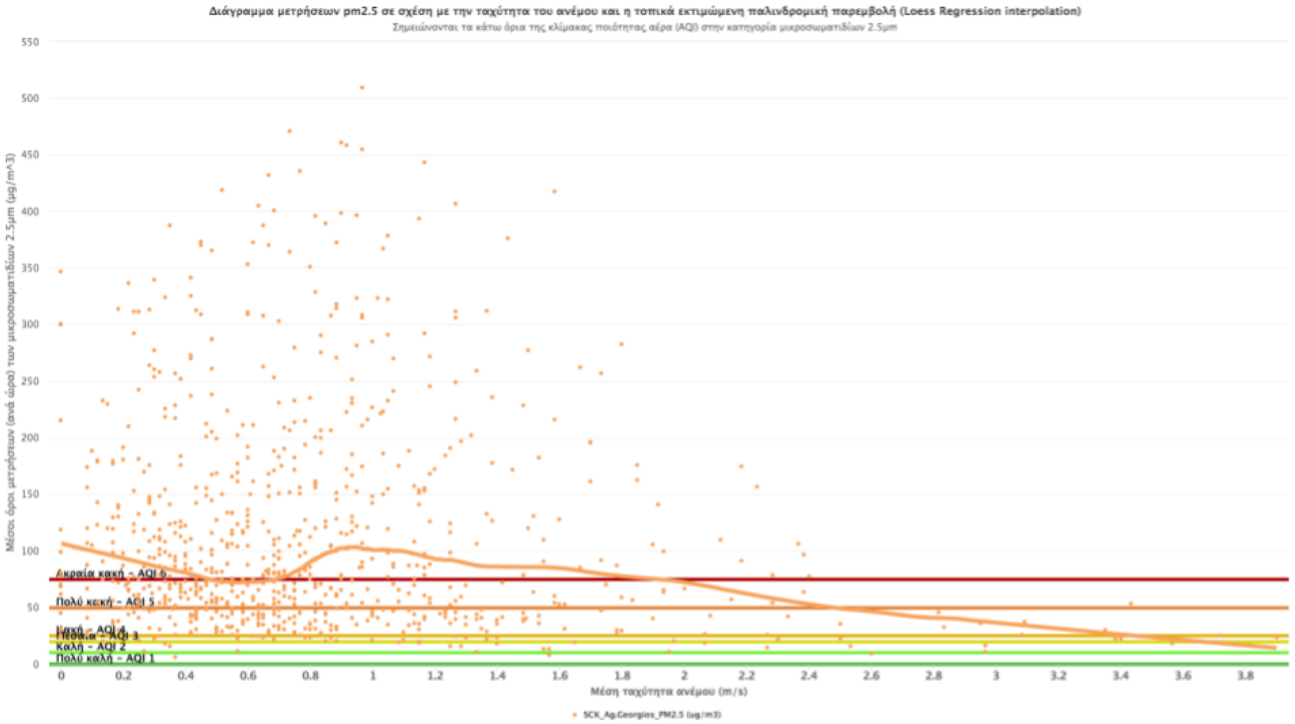
Κατανομή AQI με βάση την κατεύθυνση του ανέμου και σχέση pm2.5 με την ταχύτητα του ανέμου





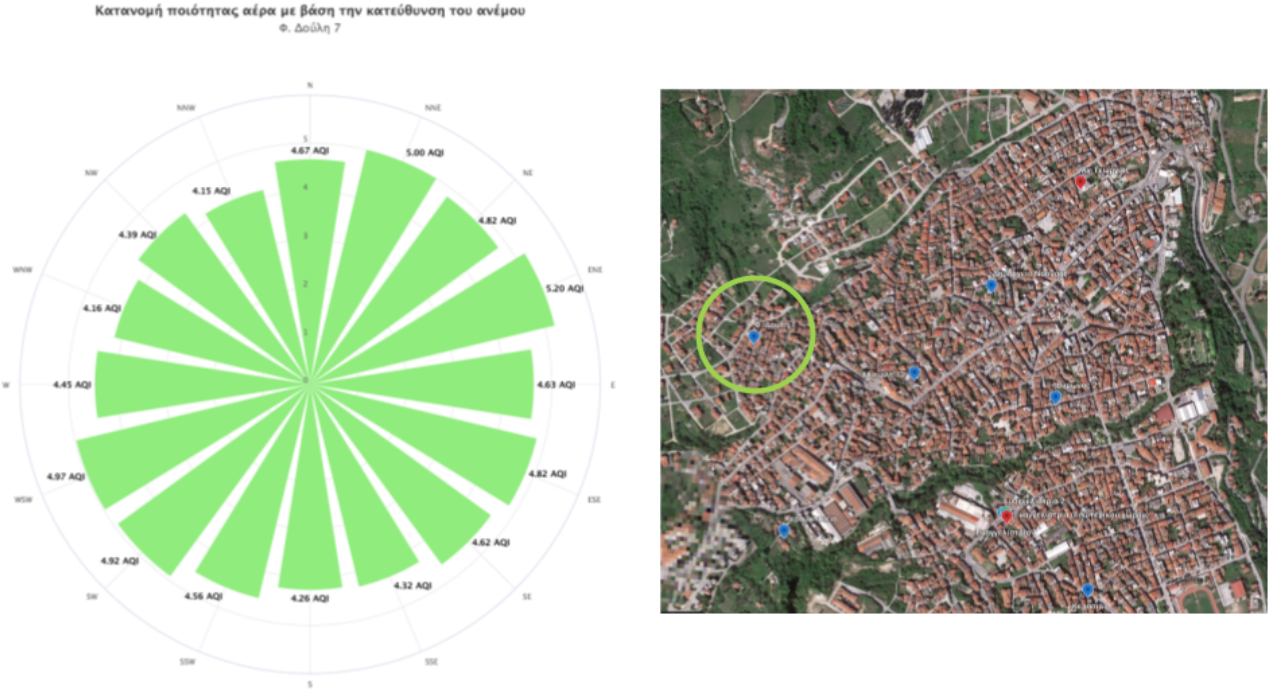
Κατανομή ποιότητας αέρα με βάση την κατεύθυνση του ανέμου (Άγιος Γεώργιος)

Η παραπάνω υπόθεση πως ο δυτικός - νοτιοδυτικός άνεμος συμπαρασύρει την ατμοσφαιρική ρύπανση της πόλης προς τον Άγιο Γεώργιο επιβεβαιώνονται, καθότι η περιοχή Άγιος Γεώργιος παρουσιάζει υψηλές τιμές στην κλίμακα ποιότητας αέρα όταν φυσάει από δυτικά - νοτιοδυτικά.



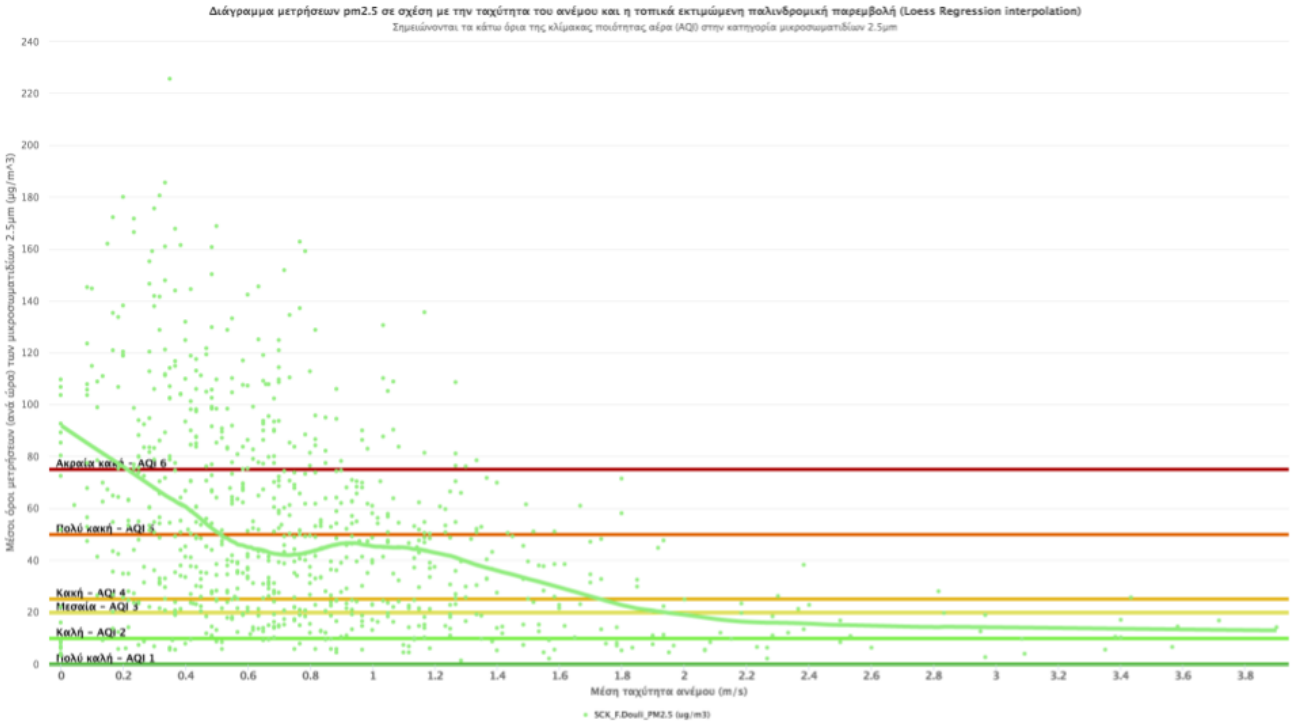
Διάγραμμα μετρήσεων PM2.5 σε σχέση με την ταχύτητα του ανέμου και η τοπικά εκτιμώμενη παλινδρομική παρεμβολή (Loess Regression Interpolation)
Σημειώνονται τα κάτω όρια της κλίμακας AQI στην κατηγορία PM2.5
Περιοχή: Άγιος Γεώργιος

Ερμηνεία 1: Θα πρέπει να φυσούν άνεμοι ταχύτητας 2m/s ώστε η περιοχή να βρεθεί από την ακραία κακή κατηγορία στην πολύ κακή.
Ερμηνεία 2: Θα πρέπει να φυσούν άνεμοι ταχύτητας 3,6 m/s ώστε η περιοχή να βρεθεί στην καλή κατηγορία ποιότητας αέρα.



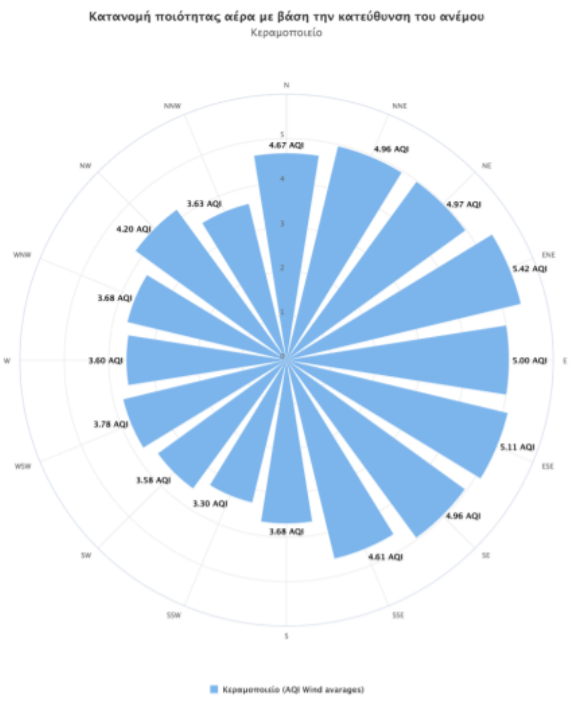
Κατανομή ποιότητας αέρα με βάση την κατεύθυνση του ανέμου (Φ. Δούλη)

Στην περιοχή Φ. Δούλη παρατηρείται πως οι νοτιοδυτικοί άνεμοι παρασύρουν ρύπους από τις παραπάνω περιοχές, ενώ οι βορειοανατολικοί παρασύρουν ρύπους από την πόλη.



Διάγραμμα μετρήσεων PM2.5 σε σχέση με την ταχύτητα του ανέμου και η τοπικά εκτιμώμενη παλινδρομική παρεμβολή (Loess Regression Interpolation)
Σημειώνονται τα κάτω όρια της κλίμακας AQI στην κατηγορία PM2.5
Περιοχή: Φ. Δούλη

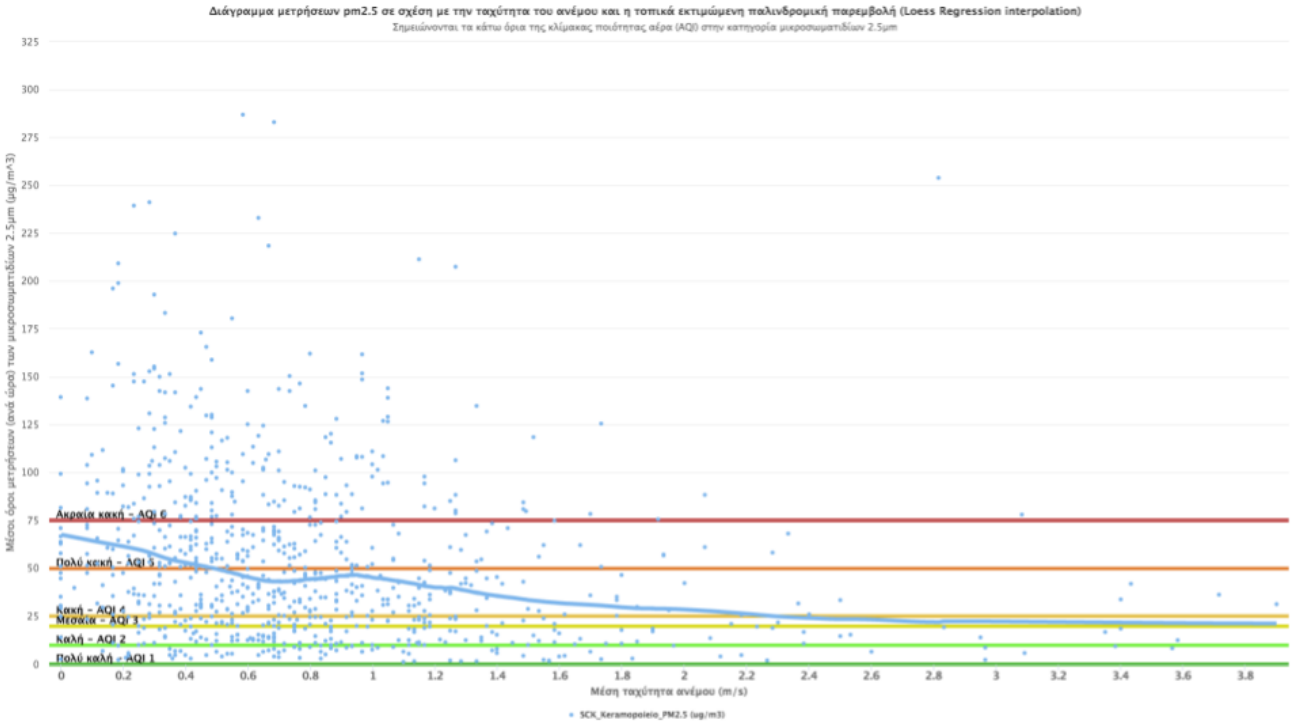
Ερμηνεία 1: Θα πρέπει να φυσούν άνεμοι ταχύτητας 0,2 m/s ώστε η περιοχή να βρεθεί από την ακραία κακή κατηγορία στην πολύ κακή.
Ερμηνεία 2: Θα πρέπει να φυσούν άνεμοι ταχύτητας 2 m/s ώστε η περιοχή να βρεθεί στην καλή κατηγορία ποιότητας αέρα.





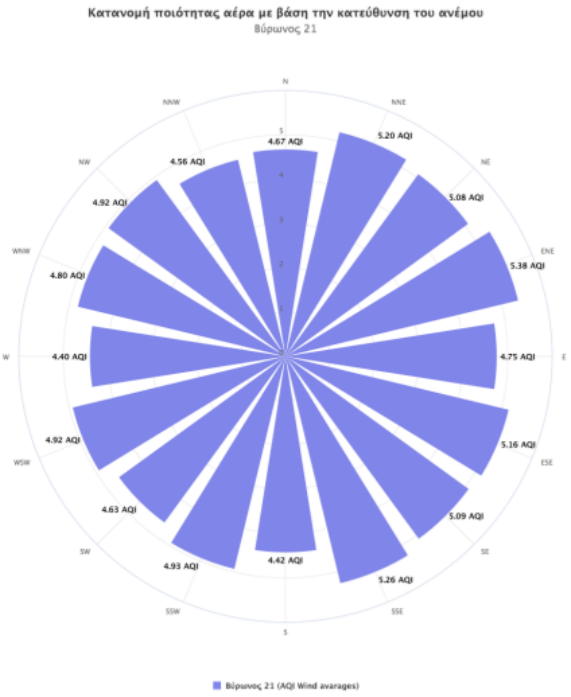
Κατανομή ποιότητας αέρα με βάση την κατεύθυνση του ανέμου (Κεραμοποιείο)

Στην περιοχή Κεραμοποιείο φαίνεται ξεκάθαρα ότι η κλίμακα αυξάνεται όταν φυσούν άνεμοι που έχουν περάσει πάνω από την πόλη της Νάουσας.



Διάγραμμα μετρήσεων PM2.5 σε σχέση με την ταχύτητα του ανέμου και η τοπικά εκτιμώμενη παλινδρομική παρεμβολή (Loess Regression Interpolation)
Σημειώνονται τα κάτω όρια της κλίμακας AQI στην κατηγορία PM2.5
Περιοχή: Κεραμοποιείο

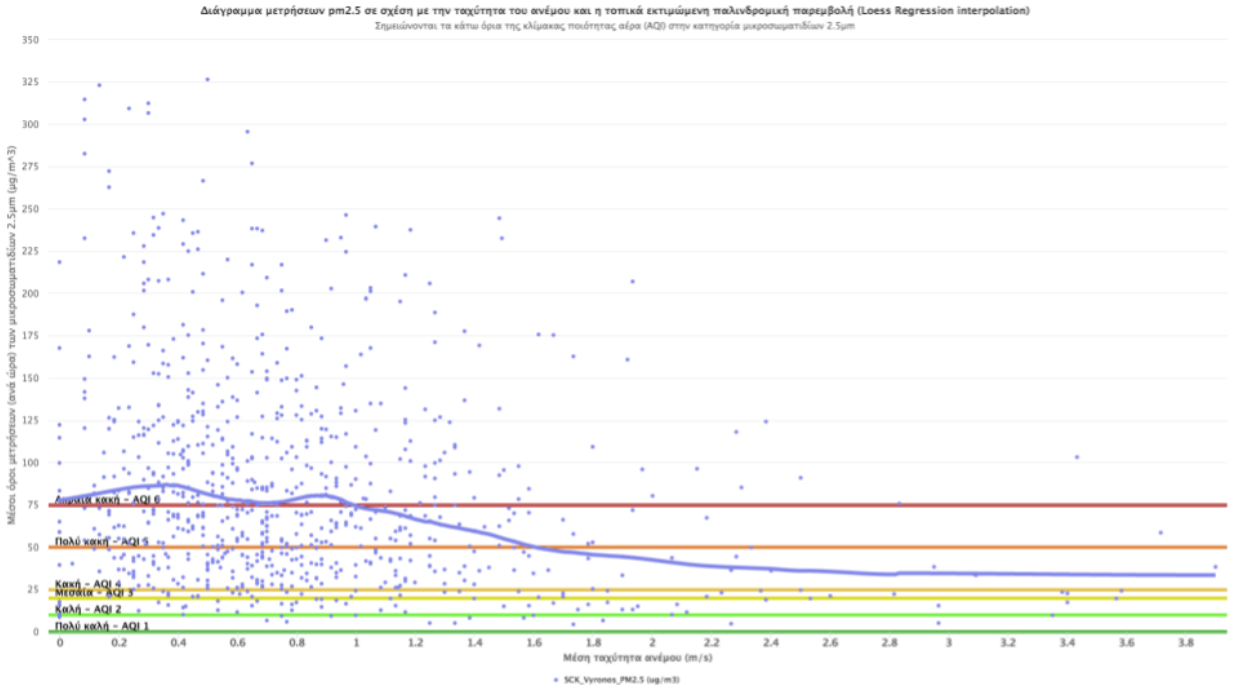
Ερμηνεία 1: Θα πρέπει να φυσούν άνεμοι ταχύτητας 0,4 m/s ώστε η περιοχή να βρεθεί από την πολύ κακή κατηγορία στην κακή.
Ερμηνεία 2: Οι άνεμοι μεγαλύτερης ταχύτητας δεν κατεβάζουν κατηγορία σε καλή διότι φαίνεται να συμπαρασύρουν την ρύπανση της πόλης





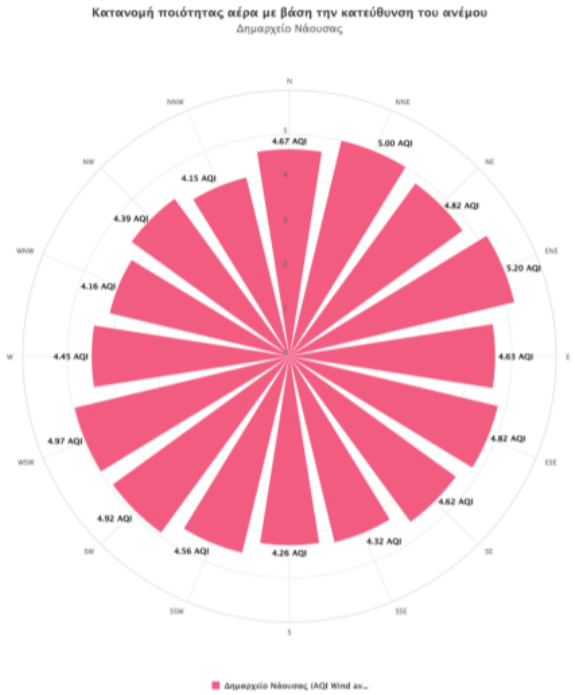
Κατανομή ποιότητας αέρα με βάση την κατεύθυνση του ανέμου (Βύρωνος)

Όταν φυσούν άνεμοι δυτικοί και ανατολικοί η οδός Βύρωνος φαίνεται να λειτουργεί ως κανάλι αέρα και να μειώνεται η ατμοσφαιρική ρύπανση



Διάγραμμα μετρήσεων PM2.5 σε σχέση με την ταχύτητα του ανέμου και η τοπικά εκτιμώμενη παλινδρομική παρεμβολή (Loess Regression Interpolation)
Σημειώνονται τα κάτω όρια της κλίμακας AQI στην κατηγορία PM2.5
Περιοχή: Βύρωνος

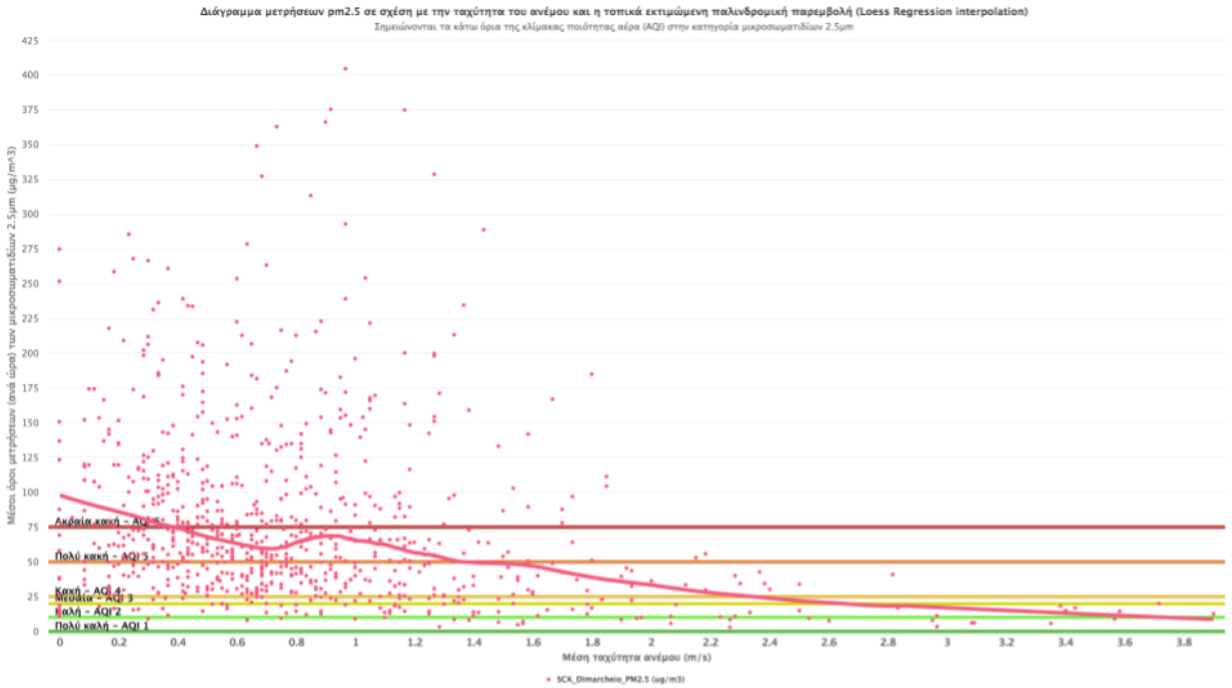
Ερμηνεία 1: Θα πρέπει να φυσούν άνεμοι ταχύτητας 1 m/s ώστε η περιοχή να βρεθεί από την ακραία κακή κατηγορία στην πολύ κακή.
Ερμηνεία 2: Μεγαλύτερης ταχύτητας άνεμοι φαίνεται στα δεδομένα να μην κατεβάζουν την κατηγορία σε καλή, διότι συμπαρασύρουν ρύπους από άλλες περιοχές





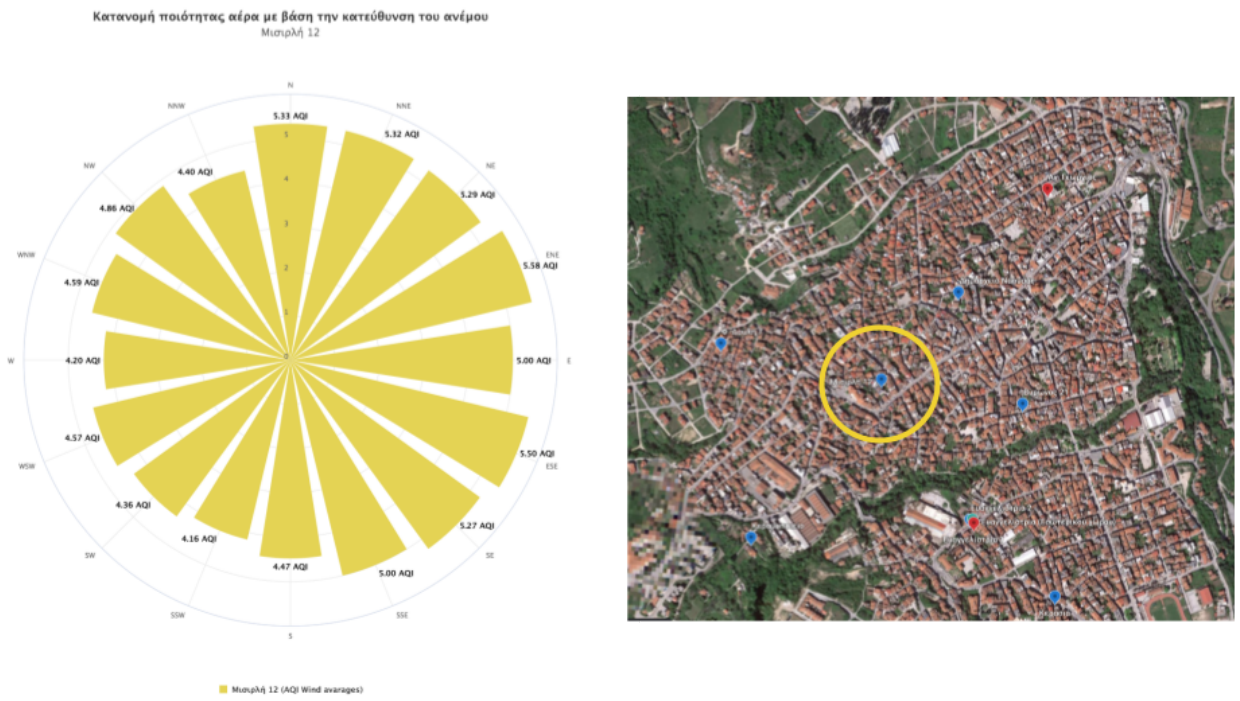
Κατανομή ποιότητας αέρα με βάση την κατεύθυνση του ανέμου (Δημαρχείο)

Στην περιοχή του Δημαρχείου φαίνεται πως καθοδικοί άνεμοι από το βουνό συμπαρασύρουν ρύπανση από τις νοτιοδυτικές περιοχές της πόλης, ενώ οι ανοδικοί άνεμοι προς στο βουνό συμπαρασύρουν ρύπανση από τις βορειοανατολικές περιοχές της πόλης.



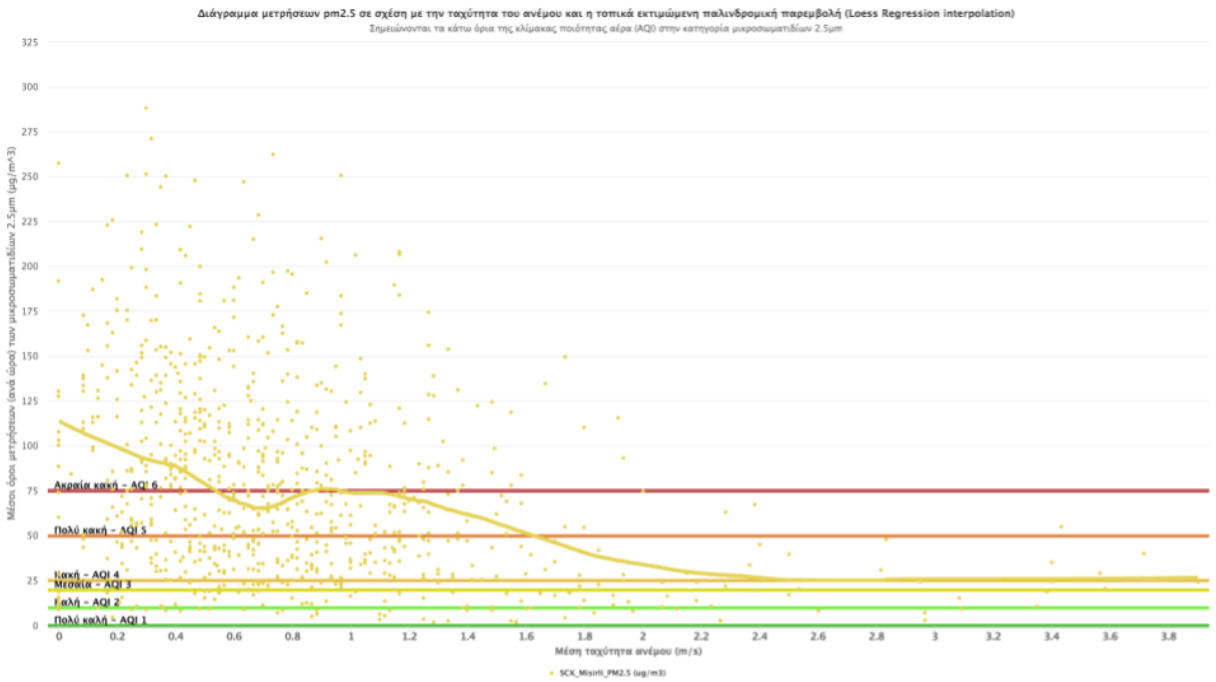
Διάγραμμα μετρήσεων PM2.5 σε σχέση με την ταχύτητα του ανέμου και η τοπικά εκτιμώμενη παλινδρομική παρεμβολή (Loess Regression Interpolation)
Σημειώνονται τα κάτω όρια της κλίμακας AQI στην κατηγορία PM2.5
Περιοχή: Δημαρχείο

Ερμηνεία 1: Θα πρέπει να φυσούν άνεμοι ταχύτητας 0,4 m/s ώστε η περιοχή να βρεθεί από την ακραία κακή κατηγορία στην πολύ κακή.
Ερμηνεία 2: Θα πρέπει να φυσούν άνεμοι ταχύτητας 3,4 m/s ώστε η περιοχή να βρεθεί σε καλή κατηγορία



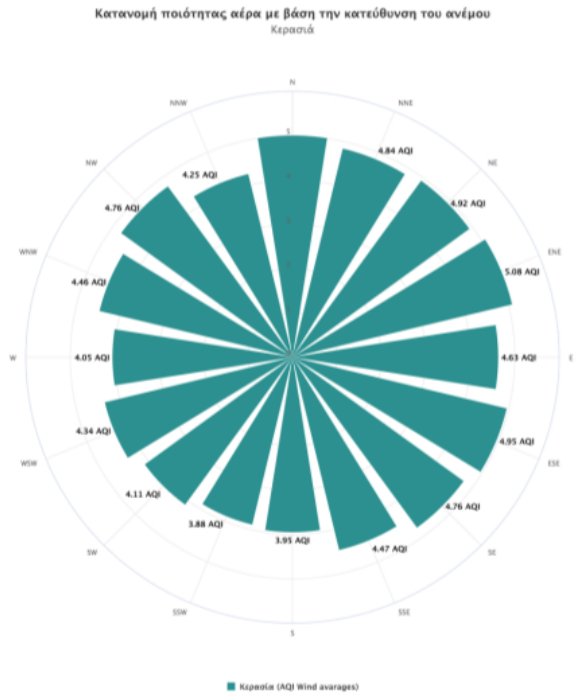
Κατανομή ποιότητας αέρα με βάση την κατεύθυνση του ανέμου (Μισιρλή)

Στην περιοχή Μισιρλή οι δυτικοί άνεμοι δίνουν μεγαλύτερες τιμές στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Το γεγονός μπορεί να ερμηνευτεί από τον προσανατολισμό του σταθμού μέτρησης και την δυτική έκθεση του σταθμό σε κυκλοφορία ανέμου.



Διάγραμμα μετρήσεων PM2.5 σε σχέση με την ταχύτητα του ανέμου και η τοπικά εκτιμώμενη παλινδρομική παρεμβολή (Loess Regression Interpolation)
Σημειώνονται τα κάτω όρια της κλίμακας AQI στην κατηγορία PM2.5
Περιοχή: Μισιρλή

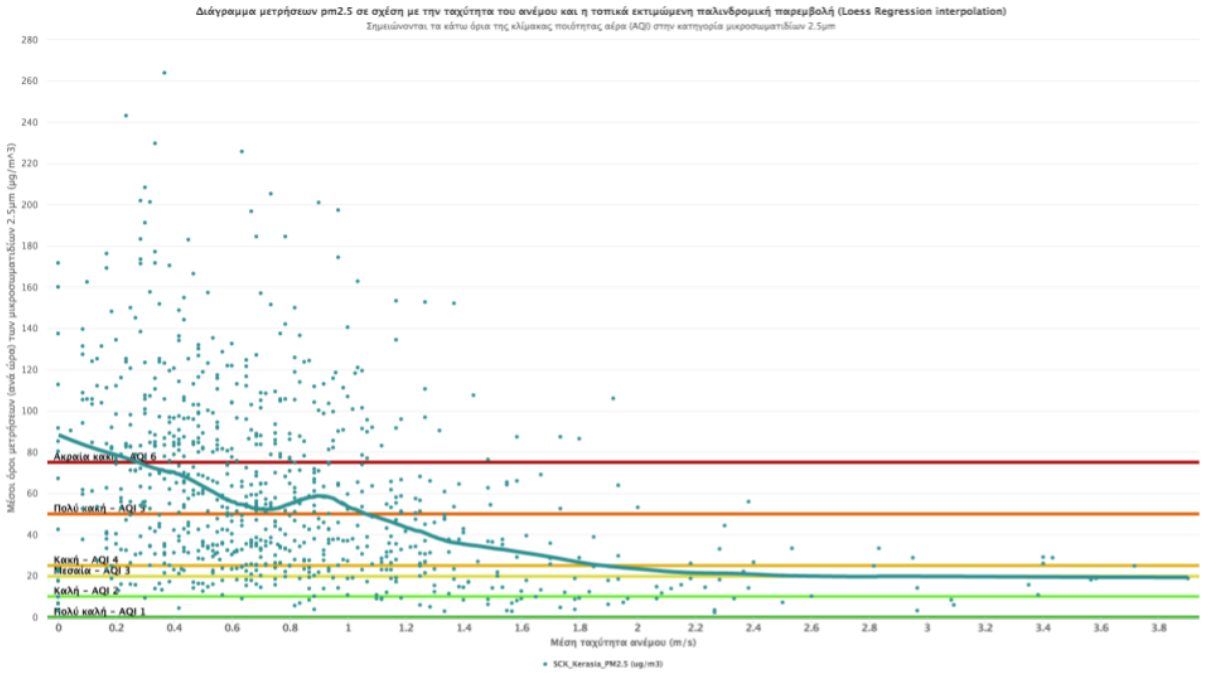
Ερμηνεία 1: Θα πρέπει να φυσούν άνεμοι ταχύτητας 0,6 m/s ώστε η περιοχή να βρεθεί από την ακραία κακή κατηγορία στην πολύ κακή.
Ερμηνεία 2: Μεγαλύτερες ταχύτητες ανέμου δεν κατεβάζουν τις μετρήσεις σε καλή κλίμακα, γεγονός που οφείλεται στον κλειστό χώρο από πολυκατοικίες και την μη έκθεση του σταθμού σε άμεσο ρεύμα αέρα





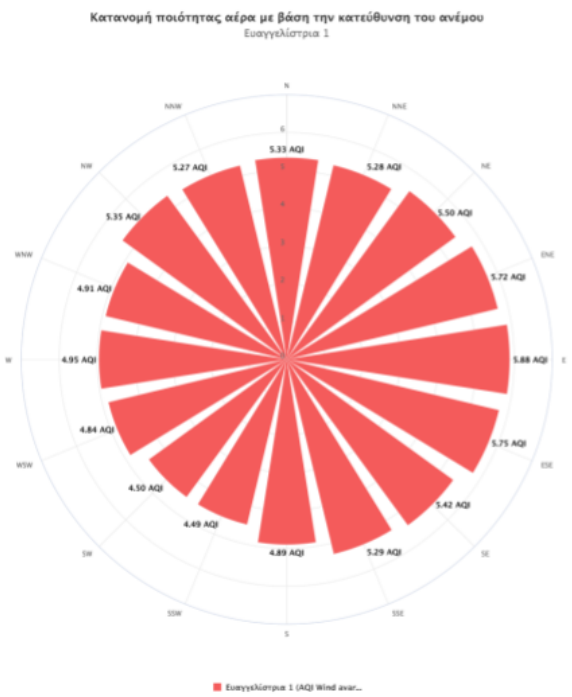
Κατανομή ποιότητας αέρα με βάση την κατεύθυνση του ανέμου (Κερασιά)

Η μη ύπαρξη αρκετών σπιτιών στα δυτικά του σταθμού Κερασιά είναι ο λόγος που οι δυτικοί άνεμοι παρουσιάζουν χαμηλές τιμές στην κλίμακα ποιότητας αέρα, ενώ η οικιστική περιοχή ανατολικά της Κερασιάς συντελεί στην αύξηση των ρύπων όταν φυσούν ανατολικοί άνεμοι.



Διάγραμμα μετρήσεων PM2.5 σε σχέση με την ταχύτητα του ανέμου και η τοπικά εκτιμώμενη παλινδρομική παρεμβολή (Loess Regression Interpolation)
Σημειώνονται τα κάτω όρια της κλίμακας AQI στην κατηγορία PM2.5
Περιοχή: Κερασιά

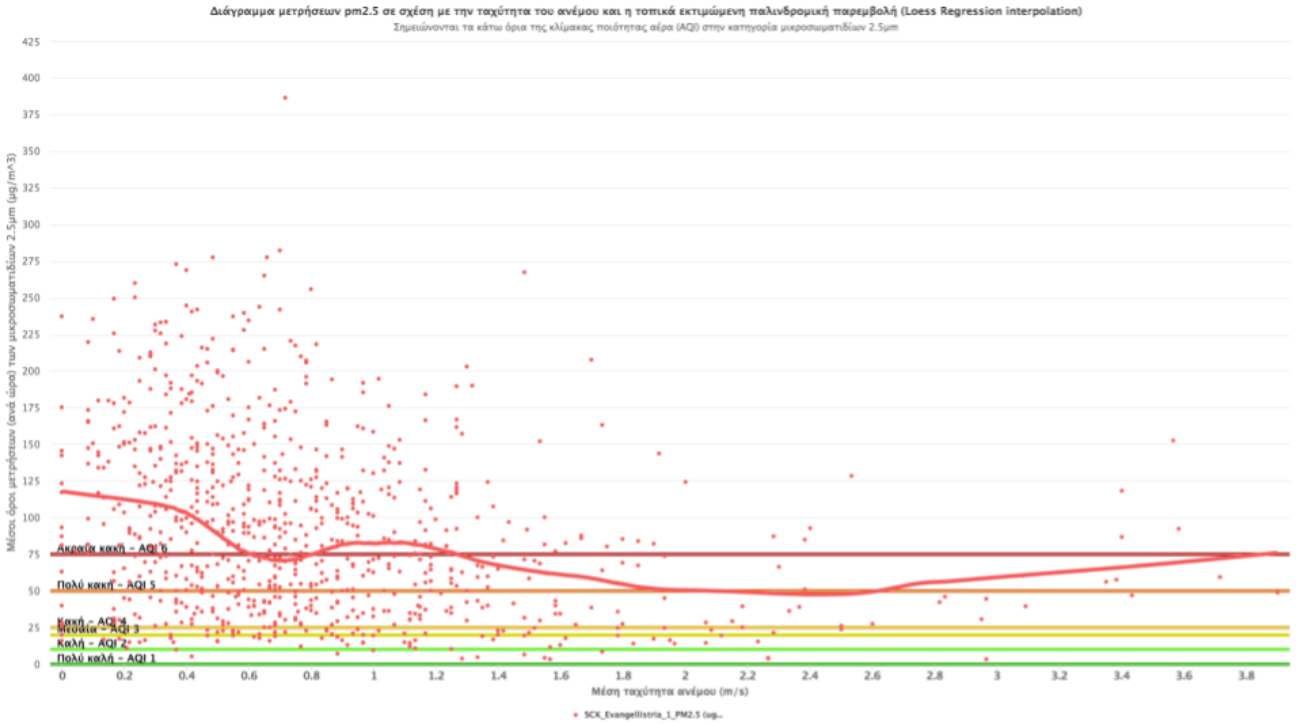
Ερμηνεία 1: Θα πρέπει να φυσούν άνεμοι ταχύτητας 0,2 m/s ώστε η περιοχή να βρεθεί από την ακραία κακή κατηγορία στην πολύ κακή.
Ερμηνεία 2: Μεγαλύτερες ταχύτητες ανέμου δεν κατεβάζουν τις μετρήσεις σε καλή κλίμακα





Κατανομή ποιότητας αέρα με βάση την κατεύθυνση του ανέμου (Ευαγγελίστρια)

Στα ανατολικά και νότια του σταθμού Ευαγγελίστρια 1 έχουν καταγραφεί 7 καπνοδόχοι με γεγονός που επηρεάζουν την ποιότητα αέρα όταν φυσούν άνεμου από ανατολικά.



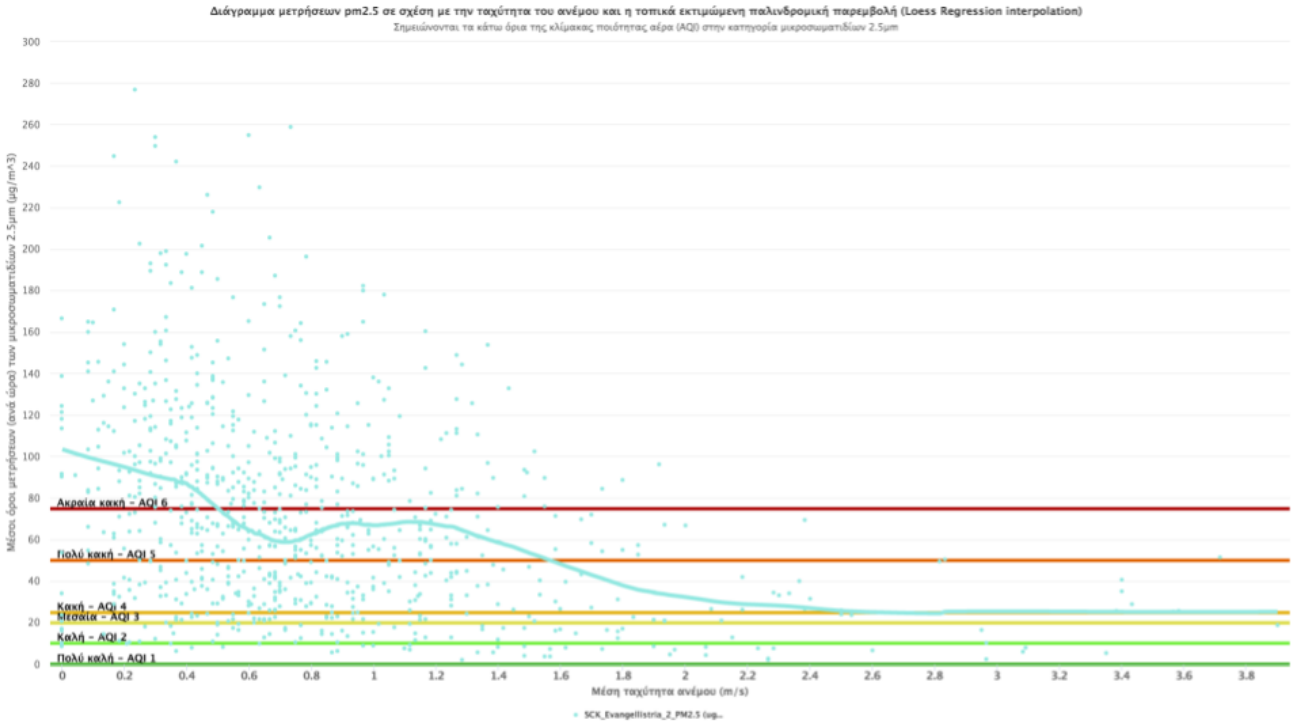
Διάγραμμα μετρήσεων PM2.5 σε σχέση με την ταχύτητα του ανέμου και η τοπικά εκτιμώμενη παλινδρομική παρεμβολή (Loess Regression Interpolation)
Σημειώνονται τα κάτω όρια της κλίμακας AQI στην κατηγορία PM2.5
Περιοχή: Ευαγγελίστρια 1

Ερμηνεία 1: Θα πρέπει να φυσούν άνεμοι ταχύτητας 1,4 m/s ώστε η περιοχή να βρεθεί από την ακραία κακή κατηγορία στην πολύ κακή.
Ερμηνεία 2: Μεγαλύτερες ταχύτητες ανέμου από 2,6 m/s φαίνεται να επιδρούν στην αύξηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης





Κατανομή ποιότητας αέρα με βάση την κατεύθυνση του ανέμου (Ευαγγελίστρια 2)



Διάγραμμα μετρήσεων PM2.5 σε σχέση με την ταχύτητα του ανέμου και η τοπικά εκτιμώμενη παλινδρομική παρεμβολή (Loess Regression Interpolation)
Σημειώνονται τα κάτω όρια της κλίμακας AQI στην κατηγορία PM2.5
Περιοχή: Ευαγγελίστρια 2

Ερμηνεία 1: Θα πρέπει να φυσούν άνεμοι ταχύτητας 0,5 m/s ώστε η περιοχή να βρεθεί από την ακραία κακή κατηγορία στην πολύ κακή.
Ερμηνεία 2: Μεγαλύτερες ταχύτητες ανέμου δεν φαίνεται κατεβάζουν την κατηγορία σε καλή

Κύριες Συσχετίσεις

Συσχετίστηκαν οι μέσοι όροι των καταγραφών της διάρκειας των 34 ημερών.

PM / Ταχύτητα και ριπή ανέμου

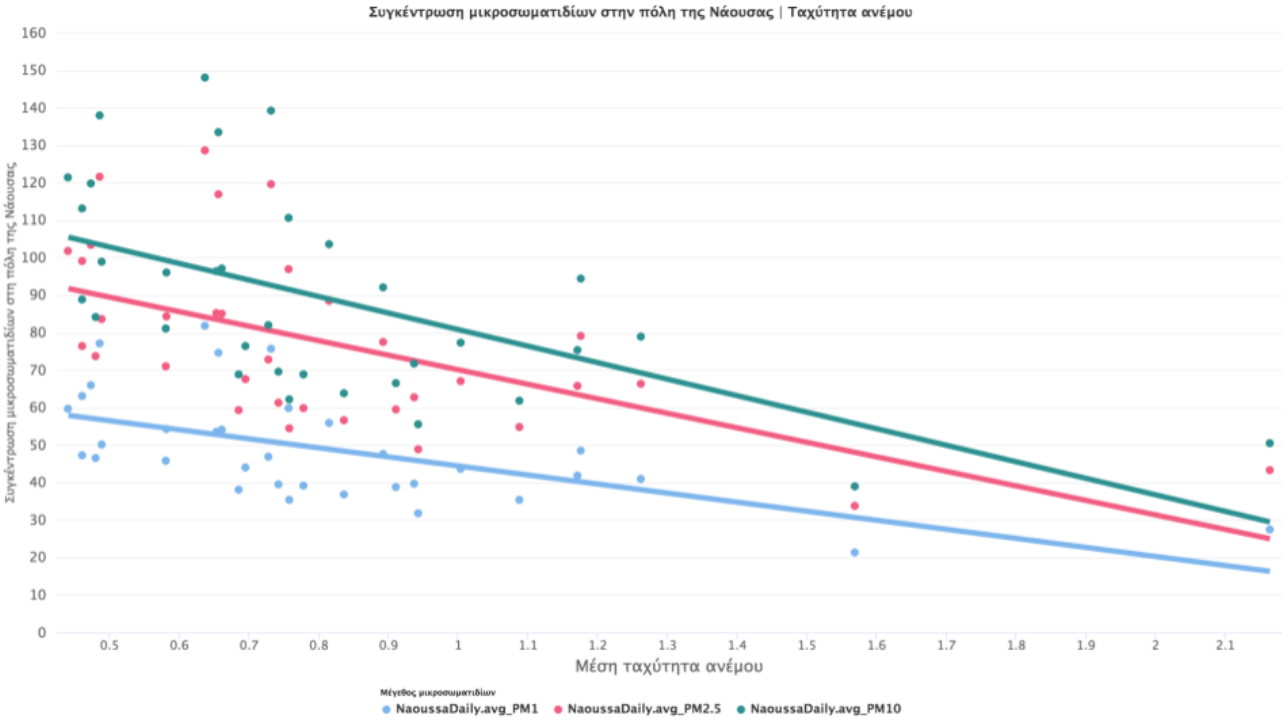
Από τα αποτελέσματα του πίνακα συσχέτισης εξάγονται τα εξής συμπεράσματα σχετικά με την ταχύτητα του ανέμου και τις συγκεντρώσεις σε PM1, 2.5 και 10 για την περιοχή της Νάουσας:

- Μέτρια συσχέτιση μεταξύ ταχύτητας ανέμου και PM με συντελεστής συσχέτισης ≈ -0,6
- Ο συντελεστής συσχέτισης της ριπής του ανέμου με την συγκέντρωση PM είναι μεγαλύτερος σε απόλυτο μέγεθος από τον συντελεστή συσχέτισης σε απόλυτο μέγεθος της ταχύτητας του ανέμου με την συγκέντρωση PM2.5. $| r_{pm,\ Wind} | < | r_{pm,\ Gust} |$
- Ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ ανέμου και συγκέντρωσης PM στα μικροσωματίδια 1μm είναι απόλυτο μέγεθος μεγαλύτερος από τους αντίστοιχους συντελεστές στα μικροσωματίδια 2.5μm και 10μm. Γεγονός που δείχνει πως η επίδραση του ανέμου τα σωματίδια μικρότερης διαμέτρου είναι μεγαλύτερη από την επίδραση του ανέμου στα σωματίδια μεγαλύτερης διαμέτρου. $| r_{pm1,\ Wind\ -\ Gust} | > | r_{pm2.5,\ Wind\ -\ Gust} | > | r_{pm10,\ Wind\ -\ Gust} |$

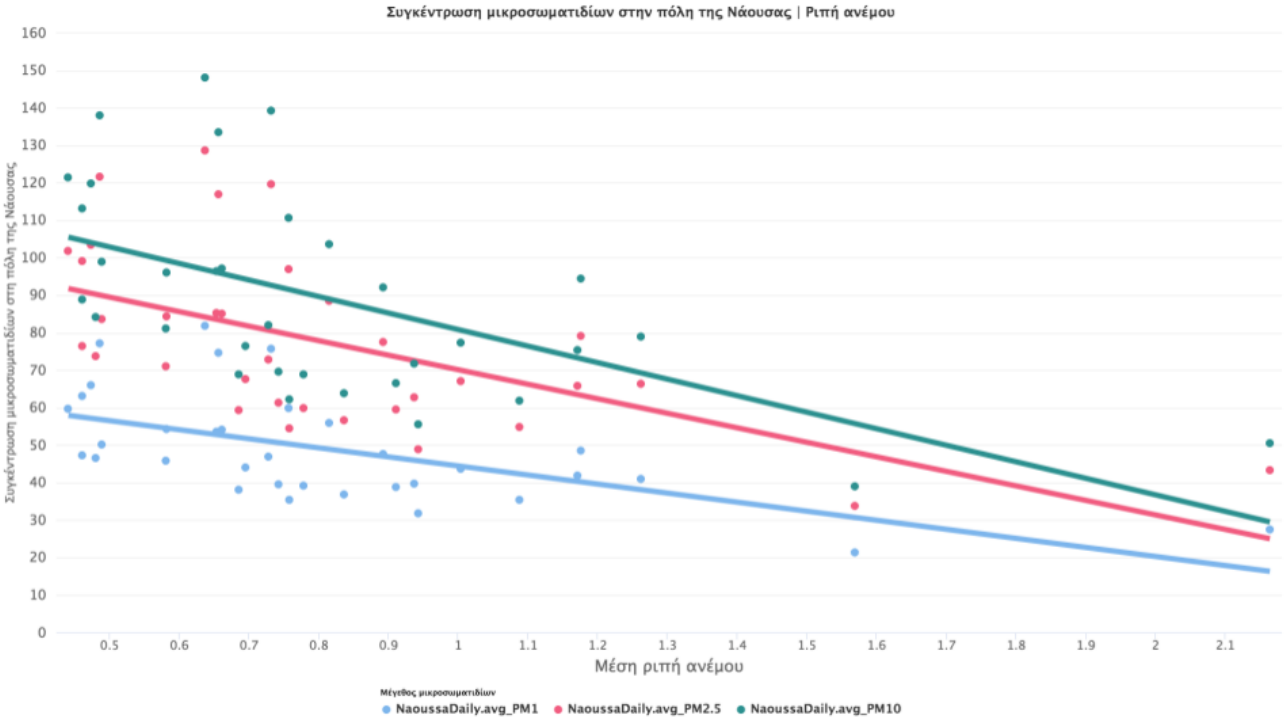
Στην συνέχεια ακολουθούν διαγράμματα και οι γραμμικές παλινδρομικες παρεμβολές που δείχνουν την αρνητική συσχέτιση των δύο μεγεθών. Παράλληλα παρουσιάζονται οι πίνακες συσχέτισης με τις τιμές p να βρίσκονται κάτω από το 0,05 σε όλες τις περιπτώσεις γεγονός που καθιστά στατιστικά σημαντική την συσχέτιση των μεγεθών.

Πίνακας συσχέτισης PM και με ταχύτητα και ριπή ανέμου

	WindSpeed_Avg_ms	p-values < 0,05	WindSpeed_Gust_ms	p-values < 0,05
NaoussaDaily.avg_PM2.5	-0,591	0,0002	-0,593	0,0002
NaoussaDaily.avg_PM10	-0,579	0,0003	-0,581	0,0003
NaoussaDaily.avg_PM1	-0,593	0,0002	-0,596	0,0002



Η συγκέντρωση των μικροσωματιδίων PM1, PM2.5 και PM10 στην πόλη της Νάουσας σε σχέση με την μέση ταχύτητα του ανέμου



Η συγκέντρωση των μικροσωματιδίων PM1, PM2.5 και PM10 στην πόλη της Νάουσας σε σχέση με την μέση ριπή του ανέμου

PM / Ατμοσφαιρική πίεση

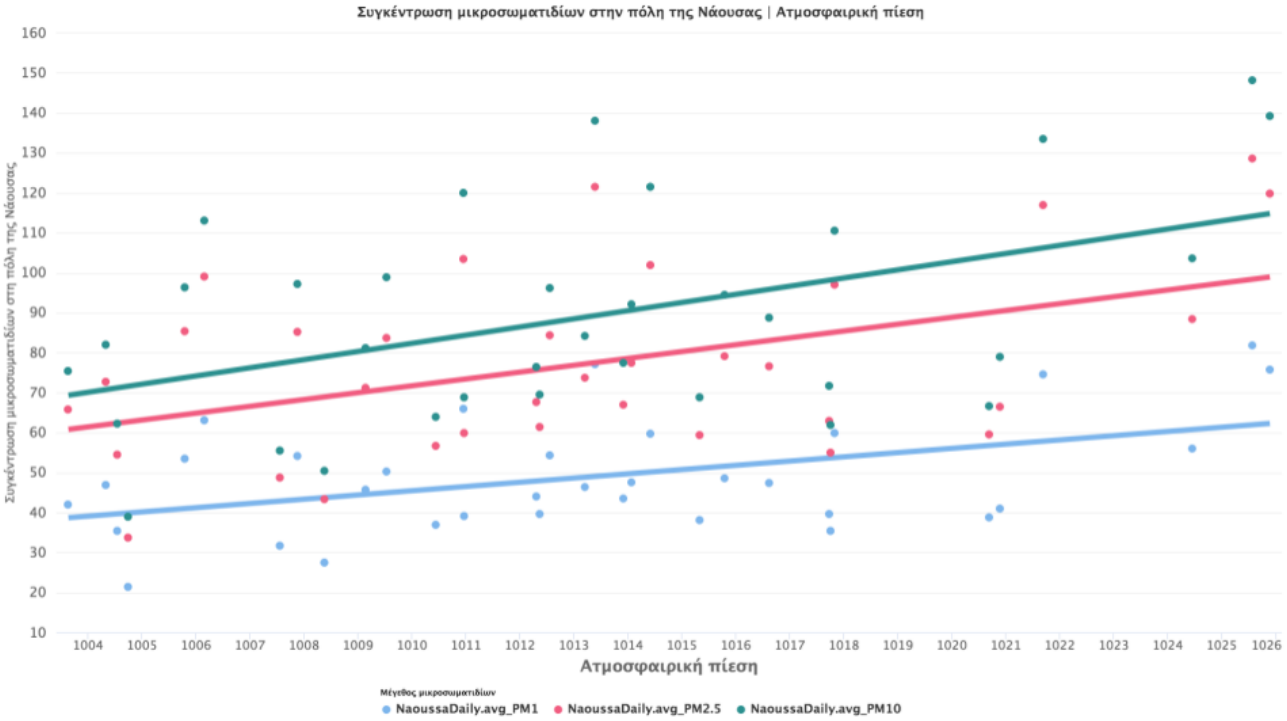
Από τα αποτελέσματα του πίνακα συσχέτισης εξάγονται τα εξής συμπεράσματα σχετικά με την ατμοσφαιρική πίεση και τις συγκεντρώσεις σε PM1, 2.5 και 10 για την περιοχή της Νάουσας:

- Μέτρια θετική συσχέτιση της ατμοσφαιρικής πίεσης με την συγκέντρωση μικροσωματιδίων $r_{pm,\ Atm\ Pressure} \approx +0,5$
- Αυτή η θετική συσχέτιση μπορεί να ερμηνευθεί καθότι η υψηλή ατμοσφαιρική πίεση συμπιέζει τον αερα προς τα κάτω με αποτέλεσμα τα μικροσωματίδια να μένουν σε χαμηλότερο ύψος, ενώ η αραιή ατμοσφαιρική πίεση αφήνει τα μικροσωματίδια να ανέβουν σε μεγαλύτερα ύψη και να διαλυθούν.
- Σε απόλυτα μεγέθη συσχέτιση της μέγιστης ατμοσφαιρικής πίεσης με τις συγκεντρώσεις είναι μεγαλύτερη από την μέση. $| r_{pm,\ Atm\ Pressure} | < | r_{pm,\ Atm\ Pressure.max} |$

Στην συνέχεια ακολουθούν διαγράμματα και οι γραμμικές παλινδρομικες παρεμβολές που δείχνουν την θετική συσχέτιση των δύο μεγεθών. Παράλληλα παρουσιάζονται οι πίνακες συσχέτισης με τις τιμές p να βρίσκονται κάτω από το 0,05 σε όλες τις περιπτώσεις γεγονός που καθιστά στατιστικά σημαντική την συσχέτιση των μεγεθών.

Πίνακας συσχέτισης PM και με την ατμοσφαιρική πίεση

	AtmPressure_hPa	p-values < 0,05	AtmPressure_hPa.max	p-values < 0,05
NaoussaDaily.avg_PM2.5	0,459	0,0063	0,503	0,0024
NaoussaDaily.avg_PM10	0,471	0,0049	0,511	0,002
NaoussaDaily.avg_PM1	0,457	0,0066	0,501	0,0025



Η συγκέντρωση των μικροσωματιδίων PM1, PM2.5 και PM10 στην πόλη της Νάουσας σε σχέση με μέση ατμοσφαιρική πίεση

PM / Σχετική υγρασία

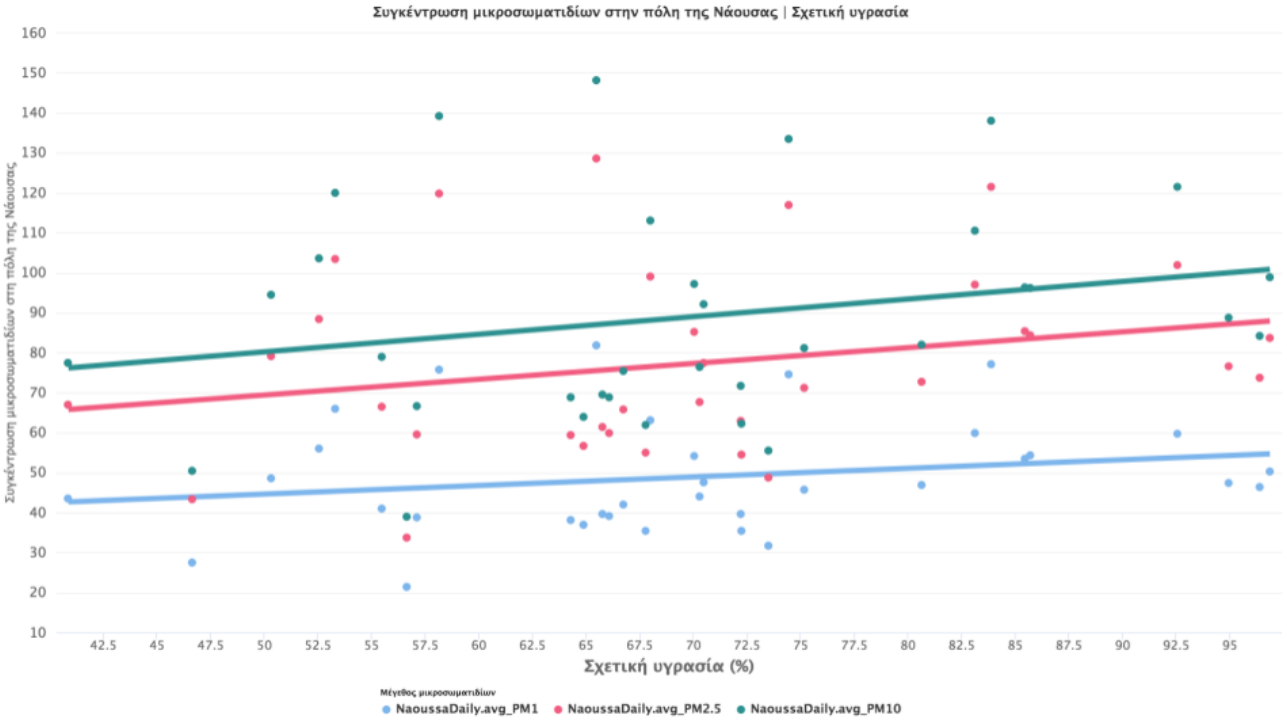
Από τα αποτελέσματα του πίνακα συσχέτισης εξάγονται τα εξής συμπεράσματα σχετικά με την υγρασία και τις συγκεντρώσεις σε PM1, 2.5 και 10 για την περιοχή της Νάουσας:

- Είναι στατιστικά σημαντική η απόρριψη των συσχετίσεων (p-value > 0,05).
- Η συσχέτιση μεταξύ της υγρασίας και της συγκέντρωσης PM είναι μικρομεσαία $r_{pm,\,rh} \approx +0{,}23$

Στην συνέχεια ακολουθούν διαγράμματα και οι γραμμικές παλινδρομικες παρεμβολές που δείχνουν την θετική συσχέτιση των δύο μεγεθών.

Πίνακας συσχέτισης PM και με την υγρασία

	Hum_Out_Percent	p-value > 0,05
NaoussaDaily.avg_PM2.5	0,245	0,1634
NaoussaDaily.avg_PM10	0,235	0,1819
NaoussaDaily.avg_PM1	0,214	0,2245



Η συγκέντρωση των μικροσωματιδίων PM1, PM2.5 και PM10 στην πόλη της Νάουσας σε σχέση με την σχετική υγρασία

Συγκρίσεις περιοχών

Ο άνεμος φαίνεται να επιδρά περισσότερο στην περιοχή Φ. Δούλη ενώ στην η περιοχή Αγ. Γεώργιος επηρεάζεται λιγότερο από τον άνεμο. Αυτό φαίνεται στα παρακάτω διαγράμματα μέσα από την σύγκριση των απόλυτων τιμών των συσχετίσεων PM με τον άνεμο.





Σχέσεις PM με την ταχύτητα του ανέμου. Με μπλε χρώμα η περιοχή Φ. Δούλη και με κόκκινο η περιοχή Αγ. Γεώργιος

Πίνακας βασικών συσχετίσεων

Σε δείγμα 34 ημερών συσχετίστηκε η συγκέντρωση PM 2.5, η ταχύτητα του ανέμου, η θερμοκρασία, η υγρασία, η ατμοσφαιρική πίεση και η κατεύθυνση του ανέμου και εξήχθει ο παρακάτω πίνακας συσχετίσεων.

Πίνακας βασικών συσχετίσεων

Sample 1	Sample 2	Correlation	95% CI for ρ	P-Value
WindSpeed_Avg_ms	**NaoussaDaily.avg_PM2.5**	**-0,591**	**(-0,774; -0,316)**	**0,000**
AtmPressure_hPa	**NaoussaDaily.avg_PM2.5**	**0,459**	**(0,143; 0,690)**	**0,006**
Temp_Out_C	*NaoussaDaily.avg_PM2.5*	*-0,150*	*(-0,465; 0,198)*	*0,396*
Hum_Out_Percent	NaoussaDaily.avg_PM2.5	0,245	(-0,102; 0,538)	0,163
Wind Direction	NaoussaDaily.avg_PM2.5	0,227	(-0,121; 0,525)	0,197

Από τον πίνακα βασικών συσχετίσεων φαίνεται πως η συσχέτιση θερμοκρασίας και συγκέντρωσης σωματιδίων PM 2.5 δεν είναι στατιστικά σημαντική και αποκλείεται από περεταίρω ανάλυση.

Γραμμική παλινδρόμηση

Η γραμμική παλινδρόμηση είναι μια στατιστική μέθοδος κατα την οποία η μεταβολή μιας εξαρτημένης μεταβλητής, στην συγκεκριμένη περίπτωση η μεταβολή της συγκέντρωσης μικροσωματιδίων PM2.5, εκφράζεται με μια γραμμική σχέση με ανεξάρτητες μεταβλητές, στην συγκεκριμένη περίπτωση ταχύτητα ανέμου, υγρασία, ατμοσφαιρική πίεση. Επίσης για κάθε τιμή της ονοματικής μεταβλητής (Κατεύθυνση ανέμου) εξάγεται και μια διαφορετική γραμμική σχέση μεταξύ εξαρτημένης μεταβλητής και ανεξάρτητων μεταβλητών.

Επιλογή ανεξάρτητων μεταβλητών

Με το λογισμικό στατιστικής επεξεργασίας Minitab και την επιλογή “Best Subsets” έγινε η σύγκριση των στατιστικών μετρικών για την επιλογή του καλύτερου συνδυασμού ανεξάρτητων μεταβλητών. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι μετρικές και οι ανεξάρτητες μεταβλητές.

Πίνακας επιλογής ανεξάρτητων μεταβλητών.

Vars	R-Sq	R-Sq (adj)	R-Sq (pred)	Mallows Cp	S	WindSpeed_ Avg_ms	AtmPressure _hPa	Wind (Dir)	Hum_Out _Percent
1	34,9	32,9	24,4	15,2	18,957	X			
1	21,1	18,6	9,8	24,8	20,874		X		
2	50,7	47,6	35,2	6,2	16,754	X	X		
2	45,0	41,5	11,3	10,2	17,703	X		X	
3	57,7	53,5	21,0	**3,3**	15,781	X	X	X	
3	50,8	45,9	31,0	8,1	17,016	X	X		X
4	58,2	52,4	19,2	5,0	15,956	X	X	X	X

Από τον πίνακα εξάγουμε το συμπέρασμα πως οι μεταβλητές που είναι χρήσιμες για την μοντελοποίηση της μεταβολής της συγκέντρωσης μικροσωματιδίων PM2.5 είναι:

- Η ταχύτητα του ανέμου (αριθμητική μεταβλητή)
- Η ατμοσφαιρική πίεση (αριθμητική μεταβλητή)
- Η κατεύθυνση του ανέμου (ονοματική μεταβλητή).

Στο συμπέρασμα αυτό καταλήγουμε καθώς το μοντέλο με τις παραπάνω μεταβλητές έχει το ελάχιστο μέγεθος στην στατιστική μετρική Mallows Cp (Stephanie, 2020), γεγονός που υποδηλώνει το ελάχιστο μη ερμηνεύσιμο σφάλμα.

Δόμηση γραμμικών μοντέλων

Για την γραμμική μοντελοποίηση υλοποιήθηκε μια σειρά πειραμάτων. Αυτά τα πειράματα αρχικά ξεκίνησαν με την δημιουργία απλών γραμμικών μοντέλων, ενώ στην συνέχεια τα γραμμικά μοντέλα έγιναν πιο σύνθετα.

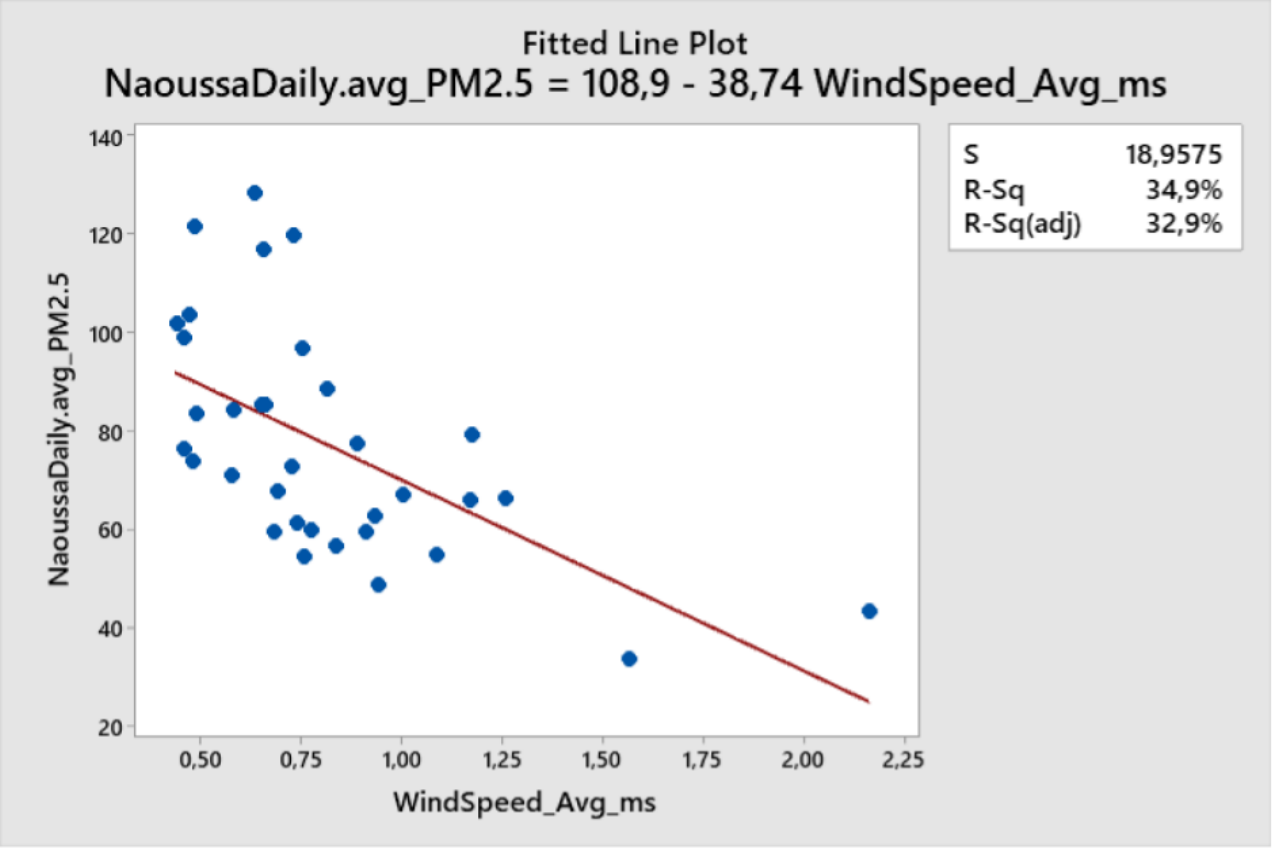
α1. Απλή γραμμική παλινδρόμηση (PM2.5 ← Wind Speed)

Αρχικά υλοποιήθηκε μια απλή γραμμική παλινδρόμηση με εξαρτημένη μεταβλητή τη συγκέντρωση PM2.5 και ανεξάρτητη μεταβλητή την ταχύτητα του ανέμου.

Η γραμμική εξίσωση της παλινδρόμησης εκφράζεται ως: **PM2.5 = 108,9 - 38,74 WindSpeed**

Από την παραπάνω γραμμική σχέση, μπορούμε να εξάγουμε τα εξής:

- Για **WindSpeed = 0**, τότε PM2.5 = 108,9 - 38,74*0 → **PM2.5 = 108,8**
- Για **PM2.5 = 0**, τότε 0 = 108,9 - 38,74*WindSpeed → **WindSpeed = 2,811 m/s**
- Επιπλέον από τον συντελεστή της ταχύτητας του αέρα συμπεραίνουμε πως η αύξηση ενός (1) m/s στην ταχύτητα του ανέμου επιφέρει μείωση 38,74 μg/m^3



Η απλή γραμμική παλινδρόμηση, και η γραμμική εξίσωση με εξαρτημένη μεταβλητή PM2.5 και ανεξάρτητη την WindSpeed.

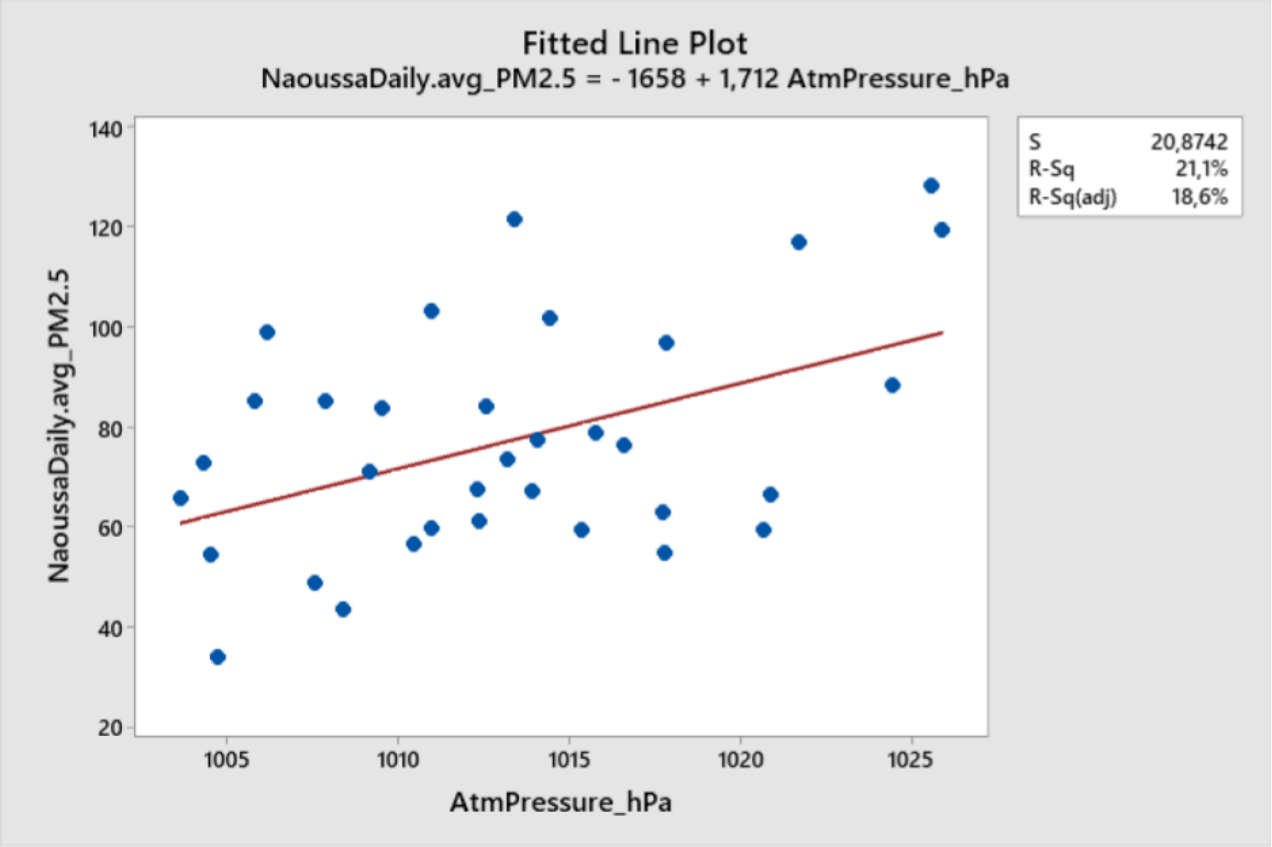
α2. Απλή γραμμική παλινδρόμηση (PM2.5 ← AtmPressure)

Αντίστοιχα έγινε μια απλή γραμμική παλινδρόμηση με ανεξάρτητη μεταβλητή την ατμοσφαιρική πίεση.

Η γραμμική εξίσωση της παλινδρόμησης εκφράζεται ως: **PM2.5 = -1658 + 1,712 AtmPressure**

Δεν έχει ουσιαστική σημασία νόημα η επίλυση με PM2.5 ή AtmPressure ίση με το 0 καθώς η μεταβλητή AtmPressure οι τιμές που παίρνει είναι ορίζονται από το φυσικό μέγεθος της ατμοσφαιρικής πίεσης και κυμαίνεται συνήθως γύρω από τα 1000 hPa, με απόκλιση 40 hPa.

Αξίζει να σημειωθεί πως η αύξηση ενός (1) hPa στην ατμοσφαιρική πίεση του αέρα επιφέρει αύξηση 1,712 μg/m^3 των μικροσωματιδίων PM2.5.



Η απλή γραμμική παλινδρόμηση, και η γραμμική εξίσωση με εξαρτημένη μεταβλητή PM2.5 και ανεξάρτητη την AtmPressure.

β1. Πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση (PM2.5 ← WindSpeed & AtmPressure)

Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε μια πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση με εξαρτημένη μεταβλητή την συγκέντρωση PM2.5 και ανεξάρτητες μεταβλητές την ταχύτητα του ανέμου παράλληλα με την ατμοσφαιρική πίεση.

Η εξίσωση της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης εκφράζεται ως:

PM2.5 = -1406 - 35,92 WindSpeed + 1,493 AtmPressure

Στην πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση σημαντικό στοιχείο είναι ο κίνδυνος πολυσυγγραμμικότητας. Η μεταβολή μιας ανεξάρτητης μεταβλητής μπορεί να οφείλεται σε μια άλλη ανεξάρτητη μεταβλητή του μοντέλου γεγονός που ονομάζεται πολυσυγγραμμικότητα. Ο στατιστικός δείκτης VIF δείχνει πολυσυγγραμικές σχέσεις και όσο μεγαλύτερος τόσο πιο έντονες αυτές οι

σχέσεις. Στην παρούσα περίπτωση ο δείκτης VIF είναι χαμηλός, 1,01 γεγονός που δείχνει την μη ύπαρξη πολυσυγγραμμικότητας μεταξύ ταχύτητας του ανέμου και ατμοσφαιρικής πίεσης.

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	95% CI	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-1406	480	(-2385; -427)	-2,93	0,006	
WindSpeed_Avg_ms	-35,92	8,31	(-52,87; -18,97)	-4,32	0,000	1,01
AtmPressure_hPa	1,493	0,473	(0,529; 2,457)	3,16	0,004	1,01

Ο χαμηλός δείκτης VIF δείχνει την μη ύπαρξη πολυσυγγραμμικότητας

Σχεδόν η μισή (R^2=50,75%) μεταβολή της μεταβλητής PM2.5 μπορεί να ερμηνευθεί μέσα από την μεταβολή των ανεξάρτητων μεταβλητών WindSpeed και AtmPressure. Επιπλέον η μέση διακύμανση του σφάλματος (S) μεταξύ των παρατηρήσεων και του γραμμικού μοντέλου είναι 16,7 μm/m^3.

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	2	8966	50,75%	8966	4482,8	15,97	0,000
WindSpeed_Avg_ms	1	6167	34,91%	5242	5241,6	18,67	0,000
AtmPressure_hPa	1	2799	15,84%	2799	2798,5	9,97	0,004
Error	31	8702	49,25%	8702	280,7		
Total	33	17667	100,00%				

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)	AICc	BIC
16,7542	50,75%	47,57%	11440,7	35,24%	294,39	299,12

Πίνακες μετρικών της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης με εξαρτημένη μεταβλητή PM2.5 και ανεξάρτητες τις WindSpeed και AtmPressure.

β2. Πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση με ονοματική μεταβλητική (PM2.5 ← WindSpeed & AtmPressure & Winds)

Ακολούθως προστέθηκε και η διεύθυνση του ανέμου ως μεταβλητή με αποτέλεσμα να εξαχθούν γραμμικές συναρτήσεις για κάθε διεύθυνση ανέμου.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι συναρτήσεις για κάθε διεύθυνση του ανέμου και οι συντελεστές τους.

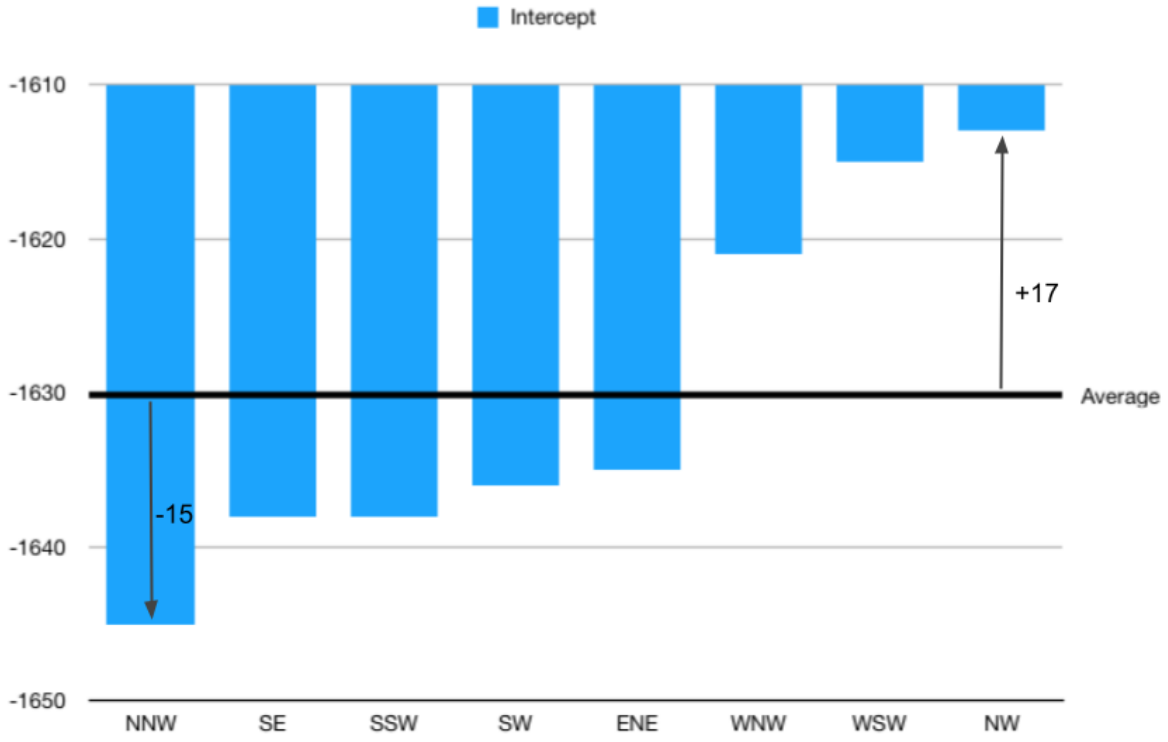
Regression Equation

Winds

ENE	NaoussaDaily.avg_PM2.5 =	-1635	- 43,63 WindSpeed_Avg_ms + 1,713 AtmPressure_hPa
NNW	NaoussaDaily.avg_PM2.5 =	-1645	- 43,63 WindSpeed_Avg_ms + 1,713 AtmPressure_hPa
NW	NaoussaDaily.avg_PM2.5 =	-1613	- 43,63 WindSpeed_Avg_ms + 1,713 AtmPressure_hPa
SE	NaoussaDaily.avg_PM2.5 =	-1638	- 43,63 WindSpeed_Avg_ms + 1,713 AtmPressure_hPa
SSW	NaoussaDaily.avg_PM2.5 =	-1638	- 43,63 WindSpeed_Avg_ms + 1,713 AtmPressure_hPa
SW	NaoussaDaily.avg_PM2.5 =	-1636	- 43,63 WindSpeed_Avg_ms + 1,713 AtmPressure_hPa
WNW	NaoussaDaily.avg_PM2.5 =	-1621	- 43,63 WindSpeed_Avg_ms + 1,713 AtmPressure_hPa
WSW	NaoussaDaily.avg_PM2.5 =	-1615	- 43,63 WindSpeed_Avg_ms + 1,713 AtmPressure_hPa

Οι γραμμικές συναρτήσεις του μοντέλου για τις διαφορετικές κατευθύνσεις του ανέμου, και οι συντελεστές συνεισφοράς στο μοντέλο

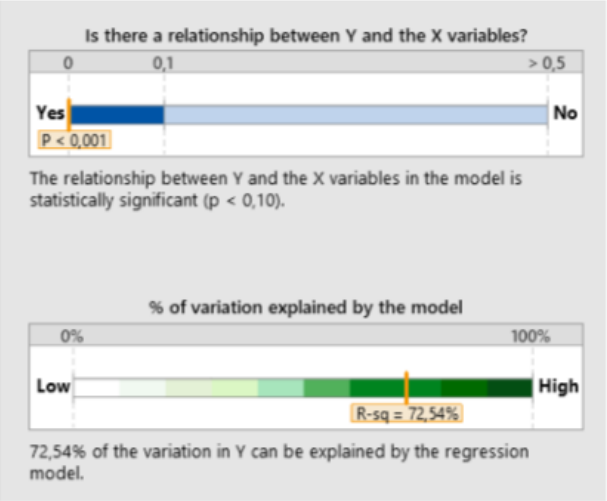
Από τους συντελεστές γίνεται αντιληπτό πως ο βόρειος - βορειοδυτικός άνεμος μεταβάλει έντονα με αρνητικό πρόσημο αναλογικά με τον μέσο όρο τις συγκεντρώσεις μικροσωματιδίων, ενώ ο βορειοδυτικός, ο δυτικός - βορειοδυτικός και ο δυτικός - νοτιοδυτικός μεταβάλει με θετικό πρόσημο αναλογικά με τον μέσο όρο την συγκέντρωση μικροσωματιδίων. Παρακάτω αναλύεται η συνεισφορά της κάθε κατεύθυνσης ανέμου στο μοντέλο.



Σχεδιάγραμμα σύγκρισης συντελεστών των γραμμικών συναρτήσεων για κάθε κατεύθυνση ανέμου.

Σχολιάζοντας τις μετρικές του μοντέλου πλέον το 72,54% της μεταβολής της εξαρτημένης μεταβλητής (συγκέντρωσης μικροσωματιδίων) μπορεί να εξηγηθεί μέσα από το γραμμικό μοντέλο παλινδρόμησης. Επιπλέον η τυπική απόκλιση σφάλματος (S) μεταξύ των παρατηρήσεων και του γραμμικού μοντέλου είναι 14,21 μm/m^3.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι μετρικές μέσα από το πρόγραμμα στατιστικής επεξεργασίας Minitab.



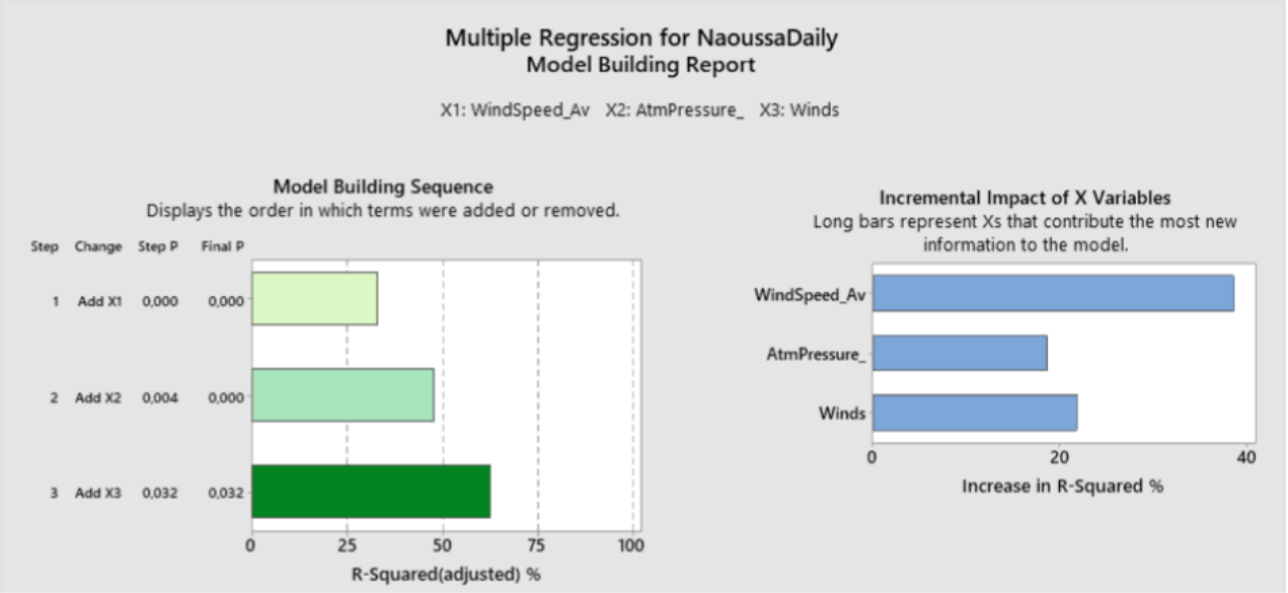
Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)	AICc	BIC
14,2187	72,54%	62,24%	*	*	299,16	303,95

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	9	12815	72,54%	12815	1423,9	7,04	0,000
WindSpeed_Avg_ms	1	6167	34,91%	6817	6816,9	33,72	0,000
AtmPressure_hPa	1	2799	15,84%	3289	3289,2	16,27	0,000
Winds	7	3850	21,79%	3850	550,0	2,72	0,032
Error	24	4852	27,46%	4852	202,2		
Total	33	17667	100,00%				

Στατιστικές μετρικές και αποτελέσματα για το μοντέλο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης με ονοματική μεταβλητή (Winds).



Αριστερά: Αναφορά δόμησης του μοντέλου προσθέτοντας μεταβλητές και η μεταβολή του R^2(adjusted) με την προσθήκη μεταβλητών.
Δεξιά: Διάγραμμα συνεισφοράς πληροφορίας στο μοντέλο

γ. Πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση με ονοματική μεταβλητική και τετραγωνικούς όρους (PM2.5 ← WindSpeed & AtmPressure & Winds & WindSpeed^2 & AtmPressure^2)

Τέλος πραγματοποιήθηκε μοντέλο στο οποίο εφαρμόζονται τετραγωνικοί όροι στις μεταβλητές WindSpeed και AtmPressure. Οι τετραγωνικοί όροι είναι στοιχείο των φυσικών φαινομένων. Όπως

και τα προηγούμενα μοντέλα έτσι και αυτό, στόχος τους είναι να ερμηνεύσουν την μεταβολή στις συγκεντρώσεις μικροσωματιδίων, μια πιο ενδελεχής έρευνα αυτών των μοντέλων είναι αναγκαία από ειδικούς στο πεδίο των επιστημών της ατμόσφαιρας.

Η εφαρμογή των τετραγωνικών όρων έγινε στο λογισμικό Minitab επιλέγοντας την επιλογή “Fit 2-way interactions and quadratic terms”

Για κάθε κατεύθυνση του ανέμου δημιουργήθηκαν οι εξής γραμμικές εξισώσεις.

Regression Equation

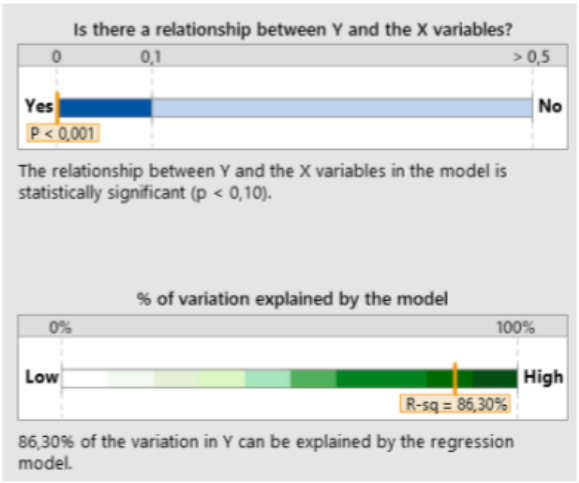
Winds

ENE	NaoussaDaily.avg_PM2.5 =	95063 - 155,4 WindSpeed_Avg_ms - 189,0 AtmPressure_hPa + 48,1 WindSpeed_Avg_ms*WindSpeed_Avg_ms + 0,0941 AtmPressure_hPa*AtmPressure_hPa
NNW	NaoussaDaily.avg_PM2.5 =	95059 - 155,4 WindSpeed_Avg_ms - 189,0 AtmPressure_hPa + 48,1 WindSpeed_Avg_ms*WindSpeed_Avg_ms + 0,0941 AtmPressure_hPa*AtmPressure_hPa
NW	NaoussaDaily.avg_PM2.5 =	95082 - 155,4 WindSpeed_Avg_ms - 189,0 AtmPressure_hPa + 48,1 WindSpeed_Avg_ms*WindSpeed_Avg_ms + 0,0941 AtmPressure_hPa*AtmPressure_hPa
SE	NaoussaDaily.avg_PM2.5 =	95076 - 155,4 WindSpeed_Avg_ms - 189,0 AtmPressure_hPa + 48,1 WindSpeed_Avg_ms*WindSpeed_Avg_ms + 0,0941 AtmPressure_hPa*AtmPressure_hPa
SSW	NaoussaDaily.avg_PM2.5 =	95078 - 155,4 WindSpeed_Avg_ms - 189,0 AtmPressure_hPa + 48,1 WindSpeed_Avg_ms*WindSpeed_Avg_ms + 0,0941 AtmPressure_hPa*AtmPressure_hPa
SW	NaoussaDaily.avg_PM2.5 =	95074 - 155,4 WindSpeed_Avg_ms - 189,0 AtmPressure_hPa + 48,1 WindSpeed_Avg_ms*WindSpeed_Avg_ms + 0,0941 AtmPressure_hPa*AtmPressure_hPa
WNW	NaoussaDaily.avg_PM2.5 =	95097 - 155,4 WindSpeed_Avg_ms - 189,0 AtmPressure_hPa + 48,1 WindSpeed_Avg_ms*WindSpeed_Avg_ms + 0,0941 AtmPressure_hPa*AtmPressure_hPa
WSW	NaoussaDaily.avg_PM2.5 =	95093 - 155,4 WindSpeed_Avg_ms - 189,0 AtmPressure_hPa + 48,1 WindSpeed_Avg_ms*WindSpeed_Avg_ms + 0,0941 AtmPressure_hPa*AtmPressure_hPa

Οι γραμμικές εξισώσεις για κάθε κατεύθυνση του ανέμου στο μοντέλο (PM2.5 ← WindSpeed & AtmPressure & Winds & WindSpeed2 & AtmPressure2)

Σχολιάζοντας το τελευταίο μοντέλο, παρατηρείται πως παρουσιάζει τις καλύτερες στατιστικές μετρικές καθώς το 86,30% της μεταβολής της εξαρτημένης μεταβλητής (συγκέντρωσης

μικροσωματιδίων) μπορεί να εξηγηθεί μέσα από το γραμμικό μοντέλο παλινδρόμησης. Επιπλέον η τυπική απόκλιση σφάλματος (S) μεταξύ των παρατηρήσεων και του γραμμικού μοντέλου είναι μόλις 10,48 μm/m^3. Παρακάτω παρουσιάζονται οι μετρικές του μοντέλου μέσα από το πρόγραμμα στατιστικής επεξεργασίας Minitab.



Model Summary

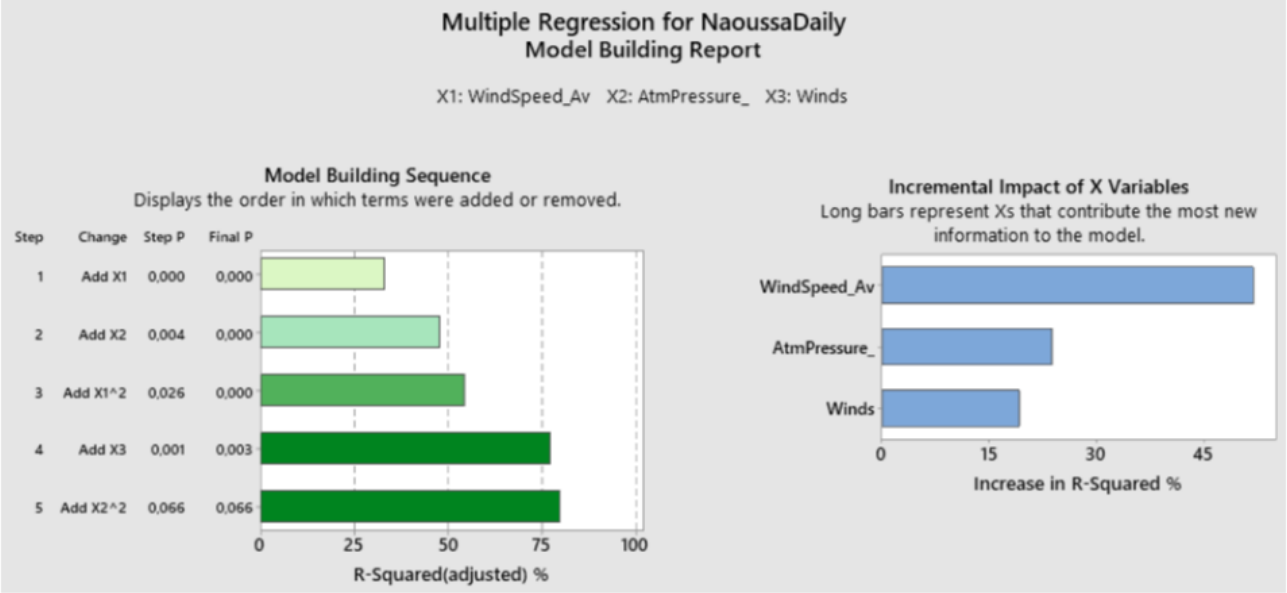
S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)	AICc	BIC
10,4889	86,30%	79,45%	*	*	285,71	287,35

Analysis of Variance

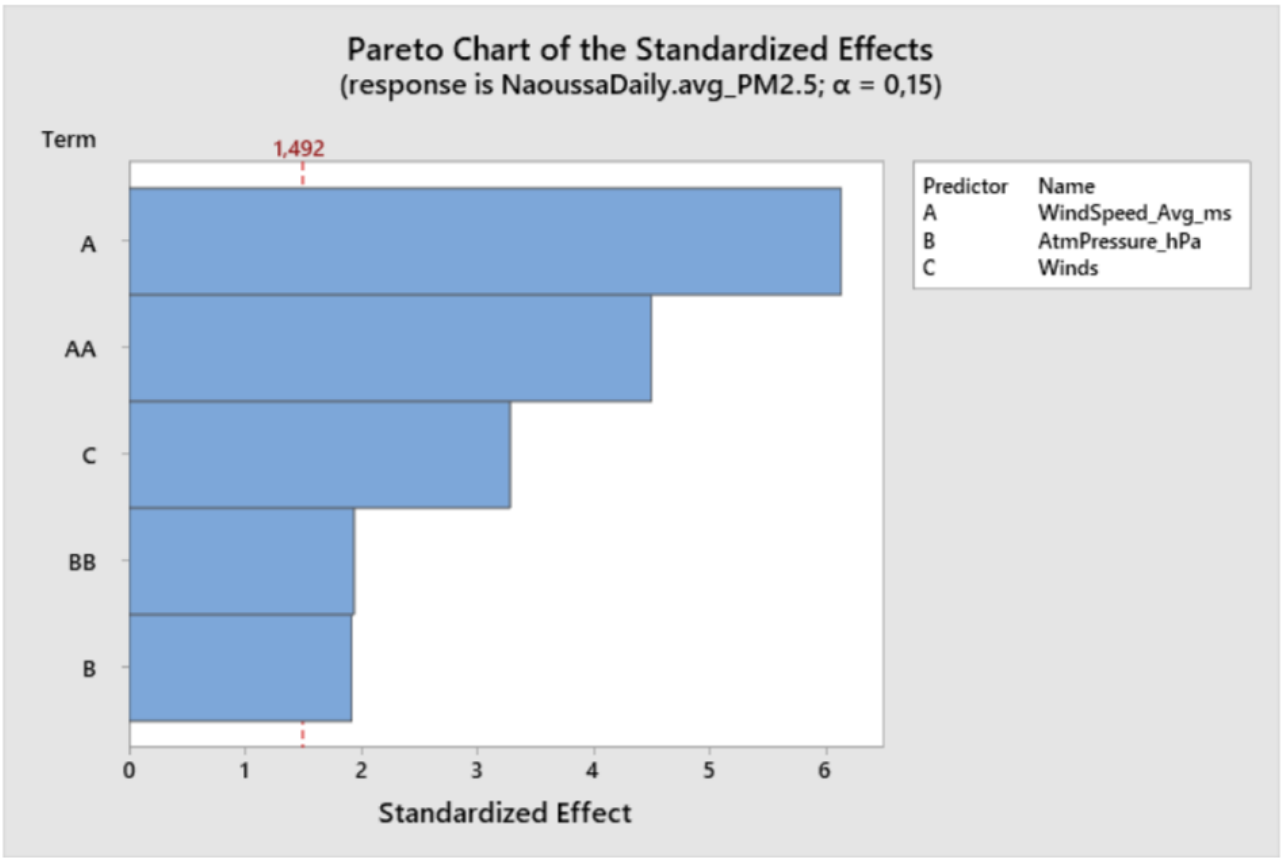
Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value
Regression	11	15247,1	86,30%	15247,1	1386,1	12,60
WindSpeed_Avg_ms	1	6167,1	34,91%	4132,5	4132,5	37,56
AtmPressure_hPa	1	2798,5	15,84%	404,4	404,4	3,68
Winds	7	3849,7	21,79%	3392,5	484,6	4,41
WindSpeed_Avg_ms*WindSpeed_Avg_ms	1	2019,4	11,43%	2225,1	2225,1	20,23
AtmPressure_hPa*AtmPressure_hPa	1	412,4	2,33%	412,4	412,4	3,75
Error	22	2420,4	13,70%	2420,4	110,0	
Total	33	17667,5	100,00%			

Source	P-Value
Regression	0,000
WindSpeed_Avg_ms	0,000
AtmPressure_hPa	0,068
Winds	0,003
WindSpeed_Avg_ms*WindSpeed_Avg_ms	0,000
AtmPressure_hPa*AtmPressure_hPa	0,066
Error	
Total	

Στατιστικές μετρικές και αποτελέσματα για το μοντέλο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης (PM2.5 ← WindSpeed & AtmPressure & Winds & WindSpeed^2 & AtmPressure^2)



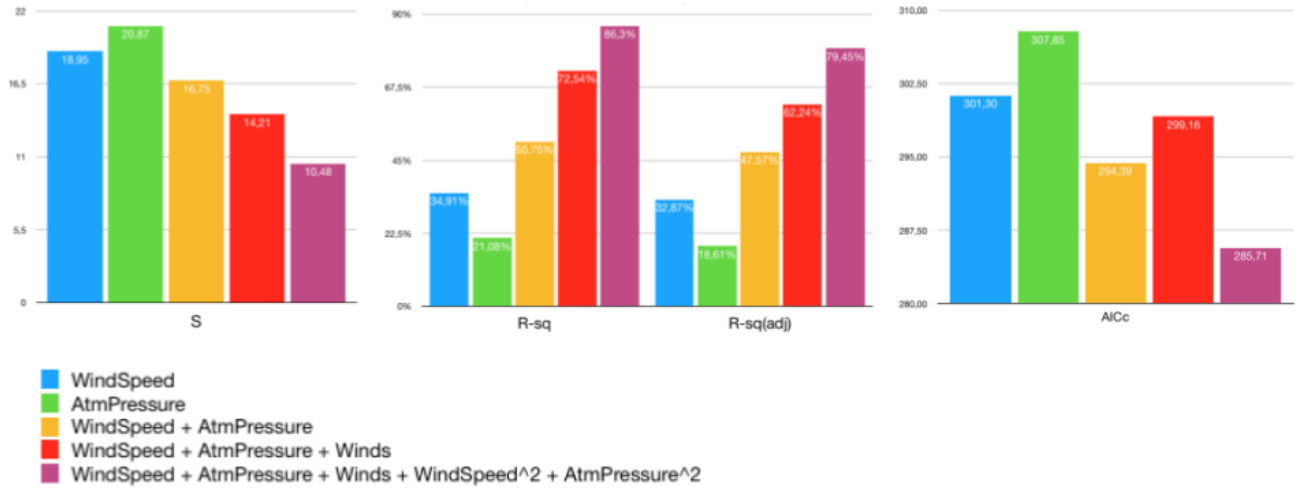
Αριστερά: Αναφορά δόμησης του μοντέλου προσθέτοντας μεταβλητές και η μεταβολή του R^2(adjusted) με την προσθήκη μεταβλητών.
Δεξιά: Διάγραμμα συνεισφοράς πληροφορίας στο μοντέλο



Στο διάγραμμα pareto δηλώνεται η σημαντικότητα των μεταβλητών. Με κόκκινη διακεκομμένη γραμμή παρουσιάζεται το όριο της στατιστιστικής σημαντικότητας με α=0,15. Λαμβάνοντας υπόψην τα παραπάνω όλες οι μεταβλητές και οι τετραγωνικοί όροι είναι στατιστικά σημαντικές για το μοντέλο.

Επιλογή μοντέλου

Για την επιλογή του κατάλληλου μοντέλου έγινε σύγκριση των μετρικών τους. Οι μετρικές που συγκρίνονται είναι η τυπική απόκλιση σφάλματος (S) μετρική που όσο μικρότερη είναι τόσο καλύτερο είναι το μοντέλο, οι μετρικές R^2 και R^2 adj όπου όσο μεγαλύτερες είναι τόσο το μοντέλο εφαρμόζει καλύτερα στα δεδομένα, και η βασική μετρική για να συγκρίνουμε γραμμικά μοντέλα είναι η μετρική AIC όπου η μικρότερη τιμή αυτής της μετρικής δείχνει και το καλύτερο μοντέλο (*Akaike Information Criterion | When & How to Use It*, 2020). Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται οι μετρικές και τα συγκρινόμενα μοντέλα.



Στα διαγράμματα παρουσιάζονται οι μετρικές τυπική απόκλιση σφάλματος (S), οι μετρικές R^2 και R^2 adj, και η μετρική AIC. Το μοντέλο με την χαμηλότερη τιμή AIC είναι το μοντέλο που κρίνεται ως καλύτερο.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, το μοντέλο που κρίνεται ως καλύτερο είναι το μοντέλο της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης με ονοματική μεταβλητή και τετραγωνικούς όρους,

(PM2.5 ← WindSpeed & AtmPressure & Winds & $WindSpeed^2$ & $AtmPressure^2$)

Προτάσεις

Προτάσεις για την βελτίωση του αέρα μπορούν να περιλαμβάνουν θεσμικές κινήσεις, πρωτοβουλίες πολιτών και τεχνολογικές λύσεις για την έγκαιρη προειδοποίηση. Μερικές προτάσεις που μπορούν να συμβάλλουν στην βελτίωση της ποιότητας του αέρα είναι οι εξής:

- Ευαισθητοποίηση του κοινού για την ποιότητα του αέρα και δημοσιοποίηση σε μέσα μαζικής ενημέρωσης των αποτελεσμάτων της έρευνας
- Ευαισθητοποίηση και ενημέρωση του κοινού για τον ρόλο των υγρών ξύλων στην παραγωγή αερίων ατελούς καύσης
- Εμπορία μόνο πιστοποιημένων καυσόξυλων που έχουν αφυγρανθεί για μια 3ετία
- Δημιουργία ειδικού κλιμακίου για τον έλεγχο θερμαντικών συστημάτων και εστιών, με έλεγχο ανά δύο χρόνια και επιβολή προστίμων σε περιπτώσεις που βρεθούν ασυντήρητα συστήματα και καπνοδόχοι. Έλεγχοι του ποσοστού υγρασίας των προς εμπορία καυσόξυλων.
- Επιδοτήσεις για την ενεργειακή αναβάθμιση και μείωση των ενεργειακών απωλειών των σπιτιών
- Επιδοτήσεις για εγκατάσταση φίλτρων συγκράτησης ρυπογόνων εκπομπών στις καπνοδόχους των σπιτιών
- Έλεγχοι για λαθροϋλοτομία
- Συστήματα πρόγνωσης και έγκαιρης προειδοποίησης με σύνδεση των ενημερώσεων τους στα μέσα μαζικής επικοινωνίας και σε ειδικές περιπτώσεις ειδοποιήσεις με SMS. Επίσης, θυροκόλληση της πρόγνωσης ποιότητας αέρα στα σχολεία ώστε εκπαιδευτικοί, γονείς και μαθητές να γνωρίζουν αν είναι κατάλληλη η ποιότητα αέρα για δραστηριότητες σε εξωτερικό χώρο.
- Επιχειρηματικές δράσεις - πρωτοβουλίες με πιθανή επιδότηση μέσω κράτους ή φορέων για εγκατάσταση συστημάτων καθαρισμού αέρα σε σπίτια, εσωτερικούς δημόσιους χώρους και επιχειρήσεις.

Συμπεράσματα

Η βελτίωση της ποιότητας του αέρα είναι ουσιαστική περιβαλλοντική πρόκληση στην εποχή μας. Η σύνδεση της ποιότητας του αέρα με τους πρόωρους θανάτους και την επίδρασή της στην εμφάνιση ή επιδείνωση ασθενειών την καθιστά έναν από τους μεγαλύτερους περιβαλλοντικούς κινδύνους. Η περιοχή της Νάουσας βρέθηκε στο διάστημα 34 ημερών βρέθηκε να έχει 47,1% των ημερών ακραία κακή ποιότητα αέρα, 44,1% των ημερών πολύ κακή και 8% των ημερών κακή ποιότητα αέρα. Η Νάουσα είναι 105% των ημερών πάνω από το όριο του ΠΟΥ, συγκριτικά η Βέροια φαίνεται να έχει καλύτερη ποιότητα αέρα από την Νάουσας αφού είναι στο 39% των ημερών πάνω από το όριο του ΠΟΥ. Αξίζει να σημειωθεί πως ακόμα και η ύπαιθρος και η εξοχή της Νάουσας που βρίσκεται εκατοντάδες μέτρα μακριά από την πόλη παρουσιάζουν κορυφώσεις που βρίσκονται πάνω από τα επιτρεπτά όρια, γεγονός που μπορεί να ερμηνευθεί στην μετακινούμενη ατμοσφαιρική ρύπανση και στις όμοιες περιβαλλοντικές συνθήκες.

Η υπόθεση εργασίας πως ο άνεμος μειώνει την ατμοσφαιρική ρύπανση επιβεβαιώθηκε, μάλιστα εξήχθη η γνώση πως χρειάζεται άνεμος τουλάχιστον 2-3 m/s ώστε η ρύπανση να φτάσει στα 25 μm/m^3 το οποίο είναι και το όριο - οδηγία του Διεθνούς Οργανισμού Υγείας. Δυστυχώς οι άνεμοι στην περιοχή δεν είναι τόσο ισχυροί. Οι νοτιοδυτικοί άνεμοι που έπνεαν στην περιοχή την περίοδο της έρευνας συνέβαλαν στις αυξημένες τιμές συγκεντρώσεων στην περιοχή Αγ. Γεώργιος με αποτέλεσμα το 82,4 % των ημερών στην συγκεκριμένη περιοχή να είναι ακραία κακή η ποιότητα του αέρα και το υπόλοιπο 17,6% πολύ κακή.

Αναλύοντας ανά ώρα την ατμοσφαιρική ρύπανση είναι δυνατόν να εξαχθούν τα μοτίβα και οι συμπεριφορές των κατοίκων σε σχέση με την θέρμανση. Το πρωί 6:00 - 7:00 παρατηρείται αύξηση των ρύπων γεγονός που συνδέεται με το άναμμα σομπών και ξυλολέβητων. Αξίζει να σημειωθεί πως έρευνα πραγματοποιείται στο χρονικό διάστημα των περιορισμών της κυκλοφορίας, άρα και ο ρόλος της μετακινήσεων είναι μικρός σε αυτή την αύξηση. Στις 8:00 ώρα η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει ήδη κορυφωθεί η ατμοσφαιρική ρύπανση γεγονός που θα πρέπει να προβληματίσει την τοπική κοινωνία καθότι είναι η ώρα προσέλευσης των μαθητών στα σχολεία. Από τις 11:00 μέχρι τις 13:00 παρουσιάζεται μια μείωση των συγκεντρώσεων. Η δεύτερη κορύφωση παρουσιάζεται στις 17:00 με τα επίπεδα να παραμένουν υψηλά έως τις 23:00. Αξίζει να σημειωθεί πως σε αυτό το χρονικό διάστημα οι πολίτες βγαίνουν έξω για να κάνουν τον απογευματινό τους περίπατο και βρίσκονται εκτεθειμένοι στο “κόκκινο” της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Η μελέτη των γραμμικών μοντέλων παλινδρόμησης έδειξε πως το 86,3% της μεταβολής της συγκέντρωσης μικροσωματιδίων PM2.5 μπορεί να ερμηνευθεί μέσα από τις μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου, της ατμοσφαιρικής πίεσης, της κατεύθυνσης του ανέμου, της ταχύτητας του ανέμου στο τετράγωνο και της ατμοσφαιρικής πίεσης στο τετράγωνο. Στο μοντέλο αυτό το τυπικό σφάλμα μεταξύ παρατήρησης και μοντέλου είναι 10,48 mg/m^3.

Ως εξέλιξη της παρούσας έρευνας είναι δυνατόν να αναζητηθούν συσχετίσεις μεταξύ γεωγραφικών και πολεοδομικών χαρακτηριστικών, και η γεωγραφική οπτικοποίηση των δεδομένων. Επίσης αναζητούνται μοντέλα πρόγνωσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, και τα μοντέλα πρόγνωσης ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τηλεπισκόπηση. Ακόμα, επόμενο βήμα είναι η αναλογιστική μελέτη και αναγωγή των πρόωρων θανάτων στον πληθυσμό της πόλης. Επιπλέον, αξίζει να αναλυθεί η χρονική διαφορά των μετρήσεων σε σχέση με την τοποθεσία, την ταχύτητα του ανέμου και την κατεύθυνση του ώστε να βρεθούν σχέσεις μεταξύ τους. Τέλος, απώτερος στόχος είναι η δημιουργία συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης σχετικά με την ποιότητα του αέρα και η ενσωμάτωσή του στα μέσα μαζικής επικοινωνίας της περιοχής.

Βιβλιογραφία - Ιστογραφία

Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας - Διεύθυνση Σχεδιασμού και Αντιμετώπισης Εκτάκτων Αναγκών. (2017). *Χαρτογραφική απεικόνιση σταθμών μέτρησης αέριας ρύπανσης στην ελληνική επικράτεια* (σ. 180). https://www.civilprotection.gr/sites/default/gscp_uploads/teyhos_harton_stathmon_metrisis_aerias_rypansis.pdf

Γραμμική παρεμβολή | Γιώργος Παναγόπουλος. (χ.χ.). Ανακτήθηκε 12 Φεβρουάριος 2021, από https://teicm.panagop.com/?page_id=594

Δεδομένα Μετρήσεων Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης -. (χ.χ.). Ανακτήθηκε 21 Φεβρουάριος 2021, από http://ypen.gov.gr/perivallon/poiotita-tis-atmosfairas/dedomena-metriseon-atmosfairikis-rypansis/

Δήμος Ηρωικής Πόλης Νάουσας. (2020). Στο *Βικιπαίδεια*. https://el.wikipedia.org/w/index.php?title=%CE%94%CE%AE%CE%BC%CE%BF%CF%82_%CE%97%CF%81%CF%89%CE%B9%CE%BA%CE%AE%CF%82_%CE%A0%CF%8C%CE%BB%CE%B7%CF%82_%CE%9D%CE%AC%CE%BF%CF%85%CF%83%CE%B1%CF%82&oldid=8446228

Η Επιτροπή προτείνει νέες οριακές τιμές για την ποιότητα του αέρα. (1997). [Text]. European Commission - European Commission. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/el/IP_97_853

Κωστίκα, Ξ. (2013). *Μελέτη τρωτότητας από μακροπρόθεσμη έκθεση σε τοξικές αέριες ουσίες και αναλυτικότερα για την περίπτωση του διοξειδίου του αζώτου (NO2)*. Πολυτεχνείο Κρήτης.

Μαρκαντωνάκη, Χ. (2015). *Μελέτη για τον επιμερισμό της συνεισφοράς των καύσεων ξύλων και ορυκτών καυσίμων στην ατμοσφαιρική συγκέντρωση της σωματιδιακής αιθάλης*. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Πληθυσμιακή διάρθρωση και δημογραφική γήρανση—Statistics Explained. (2020). https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Population_structure_and_ageing/el#H_.CE.B4.CE.B9.CE.AC.CE.BC.CE.B5.CF.83.CE.B7_.CE.B7.CE.BB.CE.B9.CE.BA.CE.AF.CE.B1_.CE.B5.CE.AF.CE.BD.CE.B1.CE.B9_.CF.85.CF.88.CE.B7.CE.BB.CF.8C.CF.84.CE.B5.CF.81.CE.B7_.CF.83.CF.84.CE.B7.CE.BD_.CE.99.CF.84.CE.B1.CE.BB.CE.AF.CE.B1

Τασιούλας, Τ. (χ.χ.). *Η κρίση βλάπτει σοβαρά τον αέρα που αναπνέουμε στη Θεσσαλονίκη*. Η κρίση βλάπτει σοβαρά τον αέρα που αναπνέουμε στη Θεσσαλονίκη. Ανακτήθηκε 20 Φεβρουάριος 2021, από https://www.voria.gr/article/i-krisi-vlapti-sovara-ton-aera-pou-anapneoume-sti-thessaloniki

Absolute Vs. Relative Barometric Pressure. (χ.χ.). Sciencing. Ανακτήθηκε 12 Φεβρουάριος 2021, από https://sciencing.com/absolute-vs-relative-barometric-pressure-13425786.html

Ahangar, F., Freedman, F., & Venkatram, A. (2019). Using Low-Cost Air Quality Sensor Networks to Improve the Spatial and Temporal Resolution of Concentration Maps. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *16*(7), 1252. https://doi.org/10.3390/ijerph16071252

Akaike Information Criterion | When & How to Use It. (2020, Μάρτιος 26). Scribbr. https://www.scribbr.com/statistics/akaike-information-criterion/

Amarillo, A., Carreras, H., Krisna, T., Mignola, M., Tavera Busso, I., & Wendisch, M. (2021). Exploratory analysis of carbonaceous PM2.5 species in urban environments: Relationship with meteorological variables and satellite data. *Atmospheric Environment*, *245*, 117987. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117987

Apte, J. S., Marshall, J. D., Cohen, A. J., & Brauer, M. (2015). Addressing Global Mortality from Ambient PM 2.5. *Environmental Science & Technology*, *49*(13), 8057–8066. https://doi.org/10.1021/acs.est.5b01236

Arce, D., Lima, F., Orellana Cordero, M. P., Ortega, J., Sellers, C., & Ortega, P. (2018). Discovering behavioral patterns among air pollutants: A data mining approach. *Enfoque UTE*, *9*(4), 168–179. https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n4.411

Aric LaBarr. (2019, Μάιος 6). *What is Time Series Decomposition*. https://www.youtube.com/watch?v=0ar9extHObg

Bai, Y., Zeng, B., Li, C., & Zhang, J. (2019). An ensemble long short-term memory neural network for hourly PM2.5 concentration forecasting. *Chemosphere*, *222*, 286–294. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.01.121

Banga, A., Ahuja, R., & Sharma, S. C. (2021). Performance analysis of regression algorithms and feature selection techniques to predict PM2.5 in smart cities. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*. https://doi.org/10.1007/s13198-020-01049-9

Beljaars, A. C. M. (1987). *THE MEASUREMENT OF GUSTINESS AT ROUTINE WIND STATIONS· A REVIEW*. 52.

Bresser GmbH. (χ.χ.). *Instruction Manual—Bresser WiFi Colour 5-in-1* (Manual Manual_7002580-7002581_WIFI-Colour-WS-5in1_en_BRESSER_v012020a; σ. 24). Bresser GmbH. www.bresser.de

Bulot, F. M. J., Russell, H. S., Rezaei, M., Johnson, M. S., Ossont, S. J. J., Morris, A. K. R., Basford, P. J., Easton, N. H. C., Foster, G. L., Loxham, M., & Cox, S. J. (2020). Laboratory Comparison of Low-Cost Particulate Matter Sensors to Measure Transient Events of Pollution. *Sensors*, *20*(8), 2219. https://doi.org/10.3390/s20082219

Castell, N., Kobernus, M., Liu, H.-Y., Schneider, P., Lahoz, W., Berre, A. J., & Noll, J. (2015). Mobile technologies and services for environmental monitoring: The Citi-Sense-MOB approach. *Urban Climate*, *14*, 370–382. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2014.08.002

Castelli, M., Clemente, F. M., Popovič, A., Silva, S., & Vanneschi, L. (2020). A Machine Learning Approach to Predict Air Quality in California. *Complexity*, *2020*, 1–23. https://doi.org/10.1155/2020/8049504

Chakrabarty, R. K., Beeler, P., Liu, P., Goswami, S., Harvey, R. D., Pervez, S., van Donkelaar, A., & Martin, R. V. (2021). Ambient PM2.5 exposure and rapid spread of COVID-19 in the United States. *Science of The Total Environment*, *760*, 143391. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143391

Chen, F., Yamashita, K., Kurokawa, J., & Klimont, Z. (2015). Cost–Benefit Analysis of Reducing Premature Mortality Caused by Exposure to Ozone and PM2.5 in East Asia in 2020. *Water, Air, & Soil Pollution*, *226*(4), 108. https://doi.org/10.1007/s11270-015-2316-7

Chen, S., Cui, K., Yu, T.-Y., Chao, H.-R., Hsu, Y.-C., Lu, I.-C., Arcega, R. D., Tsai, M.-H., Lin, S.-L., Chao, W.-C., Chen, C., & Yu, K.-L. J. (2019). A Big Data Analysis of PM2.5 and PM10 from Low Cost Air Quality Sensors near Traffic Areas. *Aerosol and Air Quality Research*, *19*(8), 1721–1733. https://doi.org/10.4209/aaqr.2019.06.0328

Clements, A. L., Reece, S., Conner, T., & Williams, R. (2019). Observed data quality concerns involving low-cost air sensors. *Atmospheric Environment: X*, *3*, 100034. https://doi.org/10.1016/j.aeaoa.2019.100034

Coelho, S., Rafael, S., Lopes, D., Miranda, A. I., & Ferreira, J. (2021). How changing climate may influence air pollution control strategies for 2030? *Science of The Total Environment*, *758*, 143911. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143911

Copernicus air quality index | euronews. (χ.χ.). Ανακτήθηκε 17 Φεβρουάριος 2021, από https://www.euronews.com/weather/copernicus-air-quality-index

DeGaetano, A. T., & Doherty, O. M. (2004). Temporal, spatial and meteorological variations in hourly PM2.5 concentration extremes in New York City. *Atmospheric Environment*, *38*(11), 1547–1558. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2003.12.020

Dionisio, K. L., Rooney, M. S., Arku, R. E., Friedman, A. B., Hughes, A. F., Vallarino, J., Agyei-Mensah, S., Spengler, J. D., & Ezzati, M. (2010). Within-Neighborhood Patterns and Sources of Particle Pollution: Mobile Monitoring and Geographic Information System Analysis in Four Communities in Accra, Ghana. *Environmental Health Perspectives*, *118*(5), 607–613. https://doi.org/10.1289/ehp.0901365

DiscovAir | Copernicus. (χ.χ.). Ανακτήθηκε 16 Φεβρουάριος 2021, από https://atmosphere.copernicus.eu/discovair

Economic cost of the health impact of air pollution in Europe: Clean air, health and wealth. (2015). 66.

Elen, B., Peters, J., Poppel, M., Bleux, N., Theunis, J., Reggente, M., & Standaert, A. (2012). The Aeroflex: A Bicycle for Mobile Air Quality Measurements. *Sensors*, *13*(1), 221–240. https://doi.org/10.3390/s130100221

European Air Quality Index—European Environment Agency. (χ.χ.). Ανακτήθηκε 17 Φεβρουάριος 2021, από https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality-index

European Court of Auditors. (2018). *Ατμοσφαιρική ρύπανση: η προστασία της υγείας μας παραμένει ανεπαρκής. Ειδική έκθεση αριθ. 23, 2018.* Publications Office. https://data.europa.eu/doi/10.2865/170737

European Environment Agency. (2020). *Air quality in Europe: 2020 report.* Publications Office. https://data.europa.eu/doi/10.2800/786656

European Lung Foundation. (χ.χ.). *Ατμοσφαιρική ρύπανση και πνεύμονες*.

Eusébio, C., Carneiro, M. J., Madaleno, M., Robaina, M., Rodrigues, V., Russo, M., Relvas, H., Gama, C., Lopes, M., Seixas, V., Borrego, C., & Monteiro, A. (2020). The impact of air quality on tourism: A systematic literature review. *Journal of Tourism Futures*, *ahead-of-print*(ahead-of-print). https://doi.org/10.1108/JTF-06-2019-0049

Franck, U., Odeh, S., Wiedensohler, A., Wehner, B., & Herbarth, O. (2011). The effect of particle size on cardiovascular disorders—The smaller the worse. *Science of The Total Environment*, *409*(20), 4217–4221. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.05.049

Gibert, K., Horsburgh, J. S., Athanasiadis, I. N., & Holmes, G. (2018). Environmental Data Science. *Environmental Modelling & Software*, *106*, 4–12. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.04.005

Gramsch, E., Morales, L., Baeza, M., Ayala, C., Soto, C., Neira, J., Pérez, P., & Moreno, F. (2020). Citizens' Surveillance Micro-network for the Mapping of PM2.5 in the City of

Concón, Chile. *Aerosol and Air Quality Research*, *20*(2), 358–368. https://doi.org/10.4209/aaqr.2019.04.0179

Griffiths, H. (2003). *Effects of Air Pollution on Agricultural Crops*. http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/facts/01-015.htm

Grimm, H., & Eatough, D. J. (2009). Aerosol Measurement: The Use of Optical Light Scattering for the Determination of Particulate Size Distribution, and Particulate Mass, Including the Semi-Volatile Fraction. *Journal of the Air & Waste Management Association*, *59*(1), 101–107. https://doi.org/10.3155/1047-3289.59.1.101

Gupta, P., Christopher, S. A., Wang, J., Gehrig, R., Lee, Y., & Kumar, N. (2006). Satellite remote sensing of particulate matter and air quality assessment over global cities. *Atmospheric Environment*, *40*(30), 5880–5892. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.03.016

Hapidin, D. A., Munir, M. M., Suprijadi, & Khairurrijal, K. (2020). Development of a new personal air filter test system using a low-cost particulate matter (PM) sensor. *Aerosol Science and Technology*, *54*(2), 203–216. https://doi.org/10.1080/02786826.2019.1678734

Harrison, R. M., & Yin, J. (2000). Particulate matter in the atmosphere: Which particle properties are important for its effects on health? *Science of The Total Environment*, *249*(1–3), 85–101. https://doi.org/10.1016/S0048-9697(99)00513-6

Hasenfratz, D., Saukh, O., Walser, C., Hueglin, C., Fierz, M., Arn, T., Beutel, J., & Thiele, L. (2015). Deriving high-resolution urban air pollution maps using mobile sensor nodes. *Pervasive and Mobile Computing*, *16*, 268–285. https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2014.11.008

Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE project, Recommendations for concentration–response functions for cost–benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide. (χ.χ.). 60.

Hedworth, H. A., Sayahi, T., Kelly, K. E., & Saad, T. (2021). The effectiveness of drones in measuring particulate matter. *Journal of Aerosol Science*, *152*, 105702. https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2020.105702

Ho, S. H. (2013). Satellite imagery for urban air quality evaluation: Using Landsat and Systeme Pour l'Observation de la Terre image for particulate matter concentration retrieval. *HKIE Transactions*, *20*(4), 196–205. https://doi.org/10.1080/1023697X.2013.861184

Huang, G., Li, X., Zhang, B., & Ren, J. (2021). PM2.5 concentration forecasting at surface monitoring sites using GRU neural network based on empirical mode decomposition. *Science of The Total Environment*, *768*, 144516. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144516

Hystad, P., Yusuf, S., & Brauer, M. (2020). Air pollution health impacts: The knowns and unknowns for reliable global burden calculations. *Cardiovascular Research*, *116*(11), 1794–1796. https://doi.org/10.1093/cvr/cvaa092

Imani, M. (2021). Particulate matter (PM2.5 and PM10) generation map using MODIS Level-1 satellite images and deep neural network. *Journal of Environmental Management*, *281*, 111888. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111888

Jiang, Yixuan, Zhu, X., Chen, C., Ge, Y., Wang, W., Zhao, Z., Cai, J., & Kan, H. (2021). On-field test and data calibration of a low-cost sensor for fine particles exposure assessment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *211*, 111958. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.111958

Jiang, Yueqi, Xing, J., Wang, S., Chang, X., Liu, S., Shi, A., Liu, B., & Sahu, S. K. (2021). Understand the local and regional contributions on air pollution from the view of human health impacts. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, *15*(5), 88. https://doi.org/10.1007/s11783-020-1382-2

Jiang, Z., Cheng, H., Zhang, P., & Kang, T. (2021). Influence of urban morphological parameters on the distribution and diffusion of air pollutants: A case study in China. *Journal of Environmental Sciences*, *105*, 163–172. https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.12.035

Kim, K.-H., Kabir, E., & Kabir, S. (2015). A review on the human health impact of airborne particulate matter. *Environment International*, *74*, 136–143. https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.10.005

Kosmopoulos, G., Salamalikis, V., Pandis, S. N., Yannopoulos, P., Bloutsos, A. A., & Kazantzidis, A. (2020). Low-cost sensors for measuring airborne particulate matter: Field evaluation and calibration at a South-Eastern European site. *Science of The Total Environment*, *748*, 141396. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141396

Kotchenruther, R. A. (2020). Recent changes in winter PM2.5 contributions from wood smoke, motor vehicles, and other sources in the Northwest U.S. *Atmospheric Environment*, *237*, 117724. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117724

Kuhn, T., Jayaratne, R., Thai, P. K., Christensen, B., Liu, X., Dunbabin, M., Lamont, R., Zing, I., Wainwright, D., Witte, C., Neale, D., & Morawska, L. (2021). Air quality during and after the Commonwealth Games 2018 in Australia: Multiple benefits of monitoring. *Journal of Aerosol Science*, *152*, 105707. https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2020.105707

Lassman, W., Pierce, J. R., Bangs, E. J., Sullivan, A. P., Ford, B., Mengistu Tsidu, G., Sherman, J. P., Collett, J. L., & Bililign, S. (2020). Using Low-Cost Measurement Systems to Investigate Air Quality: A Case Study in Palapye, Botswana. *Atmosphere*, *11*(6), 583. https://doi.org/10.3390/atmos11060583

Lee, Y.-W. (2020). A stochastic model of particulate matters with AI-enabled technique-based IoT gas detectors for air quality assessment. *Microelectronic Engineering*, *229*, 111346. https://doi.org/10.1016/j.mee.2020.111346

Lim, S. S., Vos, T., Flaxman, A. D., Danaei, G., Shibuya, K., Adair-Rohani, H., AlMazroa, M. A., Amann, M., Anderson, H. R., Andrews, K. G., Aryee, M., Atkinson, C., Bacchus, L. J., Bahalim, A. N., Balakrishnan, K., Balmes, J., Barker-Collo, S., Baxter, A., Bell, M. L., … Ezzati, M. (2012). A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990–2010: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *The Lancet*, *380*(9859), 2224–2260. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)61766-8

Lin, C., Labzovskii, L. D., Leung Mak, H. W., Fung, J. C. H., Lau, A. K. H., Kenea, S. T., Bilal, M., Vande Hey, J. D., Lu, X., & Ma, J. (2020). Observation of PM2.5 using a combination of

satellite remote sensing and low-cost sensor network in Siberian urban areas with limited reference monitoring. *Atmospheric Environment*, *227*, 117410. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117410

Lin, H., Ratnapradipa, K., Wang, X., Zhang, Y., Xu, Y., Yao, Z., Dong, G., Liu, T., Clark, J., Dick, R., Xiao, J., Zeng, W., Li, X., Qian, Z. (Min), & Ma, W. (2017). Hourly peak concentration measuring the PM 2.5 -mortality association: Results from six cities in the Pearl River Delta study. *Atmospheric Environment*, *161*, 27–33. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.04.015

Liu, H.-Y., Schneider, P., Haugen, R., & Vogt, M. (χ.χ.). *Performance Assessment of a Low-Cost PM2.5 Sensor for a near Four-Month Period in Oslo, Norway*. 19.

Liu, S., Xing, J., Westervelt, D. M., Liu, S., Ding, D., Fiore, A. M., Kinney, P. L., Zhang, Y., He, M. Z., Zhang, H., Sahu, S. K., Zhang, F., Zhao, B., & Wang, S. (2021). Role of emission controls in reducing the 2050 climate change penalty for PM2.5 in China. *Science of The Total Environment*, *765*, 144338. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144338

Liu, X., Jayaratne, R., Thai, P., Kuhn, T., Zing, I., Christensen, B., Lamont, R., Dunbabin, M., Zhu, S., Gao, J., Wainwright, D., Neale, D., Kan, R., Kirkwood, J., & Morawska, L. (2020). Low-cost sensors as an alternative for long-term air quality monitoring. *Environmental Research*, *185*, 109438. https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109438

Lu, X., Sha, Y. H., Li, Z., Huang, Y., Chen, W., Chen, D., Shen, J., Chen, Y., & Fung, J. C. H. (2021). Development and application of a hybrid long-short term memory – three dimensional variational technique for the improvement of PM2.5 forecasting. *Science of The Total Environment*, *770*, 144221. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144221

Ly, B.-T., Matsumi, Y., Vu, T. V., Sekiguchi, K., Nguyen, T.-T., Pham, C.-T., Nghiem, T.-D., Ngo, I.-H., Kurotsuchi, Y., Nguyen, T.-H., & Nakayama, T. (2021). The effects of meteorological conditions and long-range transport on PM2.5 levels in Hanoi revealed from multi-site measurement using compact sensors and machine learning approach. *Journal of Aerosol Science*, *152*, 105716. https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2020.105716

Manojkumar, N., & Srimuruganandam, B. (2021). Health benefits of achieving fine particulate matter standards in India – A nationwide assessment. *Science of The Total Environment*, *763*, 142999. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142999

Mehmood, K., Bao, Y., Abrar, M. M., Petropoulos, G. P., Saifullah, Soban, A., Saud, S., Khan, Z. A., Khan, S. M., & Fahad, S. (2021). Spatiotemporal variability of COVID-19 pandemic in relation to air pollution, climate and socioeconomic factors in Pakistan. *Chemosphere*, *271*, 129584. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129584

N. Genikomsakis, K., Galatoulas, N.-F., I. Dallas, P., Candanedo Ibarra, L., Margaritis, D., & S. Ioakimidis, C. (2018). Development and On-Field Testing of Low-Cost Portable System for Monitoring PM2.5 Concentrations. *Sensors*, *18*(4), 1056. https://doi.org/10.3390/s18041056

Noh, K., Thi, L. T., & Jeong, B. R. (2019). Particulate matter in the cultivation area may contaminate leafy vegetables with heavy metals above safe levels in Korea. *Environmental Science and Pollution Research*, *26*(25), 25762–25774. https://doi.org/10.1007/s11356-019-05825-4

Noor, N. M., Al Bakri Abdullah, M. M., Yahaya, A. S., & Ramli, N. A. (2014). Comparison of Linear Interpolation Method and Mean Method to Replace the Missing Values in Environmental Data Set. *Materials Science Forum*, *803*, 278–281. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.803.278

Núñez-Alonso, D., Pérez-Arribas, L. V., Manzoor, S., & Cáceres, J. O. (2019). Statistical Tools for Air Pollution Assessment: Multivariate and Spatial Analysis Studies in the Madrid Region. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, *2019*, 1–9. https://doi.org/10.1155/2019/9753927

OECD. (2016). *The economic consequences of outdoor air pollution*.

Pandey, P., Khan, A. H., Verma, A. K., Singh, K. A., Mathur, N., Kisku, G. C., & Barman, S. C. (2012). Seasonal Trends of PM2.5 and PM10 in Ambient Air and Their Correlation in

Ambient Air of Lucknow City, India. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, *88*(2), 265–270. https://doi.org/10.1007/s00128-011-0466-x

Penza, M., Suriano, D., Villani, M. G., Spinelle, L., & Gerboles, M. (2014). Towards air quality indices in smart cities by calibrated low-cost sensors applied to networks. *IEEE SENSORS 2014 Proceedings*, 2012–2017. https://doi.org/10.1109/ICSENS.2014.6985429

Petkus, A. J., Wang, X., Beavers, D. P., Chui, H. C., Espeland, M. A., Gatz, M., Gruenewald, T., Kaufman, J. D., Manson, J. E., Resnick, S. M., Stewart, J. D., Wellenius, G. A., Whitsel, E. A., Widaman, K., Younan, D., & Chen, J.-C. (2021). Outdoor air pollution exposure and inter-relation of global cognitive performance and emotional distress in older women. *Environmental Pollution*, *271*, 116282. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116282

Rojas, J. P., Urdanivia, F. R., Garay, R. A., García, A. J., Enciso, C., Medina, E. A., Toro, R. A., Manzano, C., & Leiva-Guzmán, M. A. (2021). Effects of COVID-19 pandemic control measures on air pollution in Lima metropolitan area, Peru in South America. *Air Quality, Atmosphere & Health*. https://doi.org/10.1007/s11869-021-00990-3

Sathe, Y., Gupta, P., Bawase, M., Lamsal, L., Patadia, F., & Thipse, S. (2021). Surface and satellite observations of air pollution in India during COVID-19 lockdown: Implication to air quality. *Sustainable Cities and Society*, *66*, 102688. https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102688

Sharma, E., Deo, R. C., Prasad, R., Parisi, A. V., & Raj, N. (2020). Deep Air Quality Forecasts: Suspended Particulate Matter Modeling With Convolutional Neural and Long Short-Term Memory Networks. *IEEE Access*, *8*, 209503–209516. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3039002

Shen, H., Hou, W., Zhu, Y., Zheng, S., Ainiwaer, S., Shen, G., Chen, Y., Cheng, H., Hu, J., Wan, Y., & Tao, S. (2021). Temporal and spatial variation of PM2.5 in indoor air monitored by low-cost sensors. *Science of The Total Environment*, *770*, 145304. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145304

Shin, U., Park, S.-H., Park, J.-S., Koo, J.-H., Yoo, C., Kim, S., & Lee, J. (2021). Predictability of PM2.5 in Seoul based on atmospheric blocking forecasts using the NCEP global forecast system. *Atmospheric Environment*, *246*, 118141. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.118141

Siew, L. Y., Chin, L. Y., & Wee, P. M. J. (2008). *ARIMA AND INTEGRATED ARFIMA MODELS FOR FORECASTING AIR POLLUTION INDEX IN SHAH ALAM, SELANGOR*. *12*(1), 7.

Sindosi, O. A., Markozannes, G., Rizos, E., & Ntzani, E. (2019). Effects of economic crisis on air quality in Ioannina, Greece. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, *54*(8), 768–781. https://doi.org/10.1080/10934529.2019.1592534

Smargiassi, A., Brand, A., Fournier, M., Tessier, F., Goudreau, S., Rousseau, J., & Benjamin, M. (2012). A spatiotemporal land-use regression model of winter fine particulate levels in residential neighbourhoods. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, *22*(4), 331–338. https://doi.org/10.1038/jes.2012.26

Srbinovska, M., Andova, V., Mateska, A. K., & Krstevska, M. C. (2021). The effect of small green walls on reduction of particulate matter concentration in open areas. *Journal of Cleaner Production*, *279*, 123306. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123306

Stephanie. (2020, Μάρτιος 5). *Mallows' Cp*. Statistics How To. https://www.statisticshowto.com/mallows-cp/

Su, X., Sutarlie, L., & Loh, X. J. (2020). Sensors and Analytical Technologies for Air Quality: Particulate Matters and Bioaerosols. *Chemistry – An Asian Journal*, *15*(24), 4241–4255. https://doi.org/10.1002/asia.202001051

Symeonidis, P., Mitropoulos, P., Taskaris, S., Vakkas, T., Adamopoulou, E., Karakirios, D., Salamalikis, V., Kosmopoulos, G., & Kazantzidis, A. (2020). ThermiAir: An innovative air quality monitoring system for airborne particulate matter in Thermi, Greece. *Proceedings of the 13th International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance*, 775–778. https://doi.org/10.1145/3428502.3428618

Tian, J., Cai, T., Shang, J., Schauer, J. J., Yang, S., Zhang, L., & Zhang, Y. (2019). Effects of the emergency control measures in Beijing on air quality improvement. *Atmospheric Pollution Research*, *10*(2), 580–586. https://doi.org/10.1016/j.apr.2018.10.005

Top Tip Bio. (2020, Αύγουστος 10). *Spearman Correlation Explained (Inc. Test Assumptions)*. https://www.youtube.com/watch?v=JwNwbu-g2m0

Tsai, C. W., Hsiao, Y.-R., Lin, M.-L., & Hsu, Y. (2020). Development of a noise-assisted multivariate empirical mode decomposition framework for characterizing PM 2.5 air pollution in Taiwan and its relation to hydro-meteorological factors. *Environment International*, *139*, 105669. https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105669

US EPA, O. (2016, Απρίλιος 19). *Particulate Matter (PM) Basics* [Overviews and Factsheets]. US EPA. https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics

Ventura, L. M. B., de Oliveira Pinto, F., Soares, L. M., Luna, A. S., & Gioda, A. (2019). Forecast of daily PM2.5 concentrations applying artificial neural networks and Holt–Winters models. *Air Quality, Atmosphere & Health*, *12*(3), 317–325. https://doi.org/10.1007/s11869-018-00660-x

Wang, W.-C. V., Lung, S.-C. C., & Liu, C.-H. (2020). Application of Machine Learning for the in-Field Correction of a PM2.5 Low-Cost Sensor Network. *Sensors*, *20*(17), 5002. https://doi.org/10.3390/s20175002

Whalley, J., & Zandi, S. (2016). Particulate Matter Sampling Techniques and Data Modelling Methods. *Air Quality - Measurement and Modeling*. https://doi.org/10.5772/65054

What does the asterisk (*) mean on some locations' AQI? (χ.χ.). Ανακτήθηκε 12 Φεβρουάριος 2021, από http://support.iqair.com/en/articles/3029386-what-does-the-asterisk-mean-on-some-locations-aqi

World Health Organization (Επιμ.). (2006). *Air quality guidelines: Global update 2005: particulate matter, ozone, nitrogen dioxide, and sulfur dioxide*. World Health Organization.

Wu, Y., Yang, X., Wang, H., Jia, G., & Wang, T. (2021). Relationship between ambient PM2.5 exposure and blood cadmium level in children under 14 years in Beijing, China. *Journal of Hazardous Materials*, *403*, 123871. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123871

Xu, J., Jia, C., Yu, H., Xu, H., Ji, D., Wang, C., Xiao, H., & He, J. (2021). Characteristics, sources, and health risks of PM2.5-bound trace elements in representative areas of Northern Zhejiang Province, China. *Chemosphere*, *272*, 129632. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129632

Ye, L., & Wang, Y. (2020). Long-Term Air Quality Study in Fairbanks, Alaska: Air Pollutant Temporal Variations, Correlations, and PM2.5 Source Apportionment. *Atmosphere*, *11*(11), 1203. https://doi.org/10.3390/atmos11111203

Zhang, Q., Sun, S., Sui, X., Ding, L., Yang, M., Li, C., Zhang, C., Zhang, X., Hao, J., Xu, Y., Lin, S., Ding, R., & Cao, J. (2021). Associations between weekly air pollution exposure and congenital heart disease. *Science of The Total Environment*, *757*, 143821. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143821

Zhou, H., Zhang, F., Du, Z., & Liu, R. (2021). Forecasting PM2.5 using hybrid graph convolution-based model considering dynamic wind-field to offer the benefit of spatial interpretability. *Environmental Pollution*, *273*, 116473. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116473

Zhou, L., Zhang, J., Lu, T., Bao, M., Deng, X., & Hu, X. (2021). Pollution patterns and their meteorological analysis all over China. *Atmospheric Environment*, *246*, 118108. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.118108

Zikova, N., Masiol, M., Chalupa, D., Rich, D., Ferro, A., & Hopke, P. (2017). Estimating Hourly Concentrations of PM2.5 across a Metropolitan Area Using Low-Cost Particle Monitors. *Sensors*, *17*(8), 1922. https://doi.org/10.3390/s17081922