

Εκπαιδευτική Δραστηριότητα 4

PurpleAir: Ανάλυση Ατμοσφαιρικών Παραμέτρων Βοήθημα εκπαιδευτικού



Photo by [Ahmer Kalam](#) on [Unsplash](#)



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών
— ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837 —



Κοινοφελές Ίδρυμα
Ιωάννη Σ. Λάτση



ΚΟΙΝΟΦΕΛΕΣ ΙΔΡΥΜΑ
"ΜΑΡΙΑ ΤΣΑΚΟΣ"

climateacademy.gr
climateacad@gmail.com

Μαυρουδής Φαίδων, MSc

PurpleAir: Ανάλυση Ατμοσφαιρικών Παραμέτρων

Θέμα: Χρήση και ανάλυση δεδομένων θερμοκρασίας, υγρασίας και αιωρούμενων σωματιδίων (ΑΣ) που έχουν ληφθεί από τους μετρητές του δικτύου PurpleAir Map και ειδικότερα τους αισθητήρες PurpleAir Flex για την μελέτη και αξιολόγηση της ποιότητας του αέρα.

Προθέρμανση

Για την κατάλληλη προεργασία προτείνουμε να επισκεφτείτε την [σελίδα «Κλιματική Εκπαίδευση»](#) της Κλιματικής Ακαδημίας. Εκεί θα βρείτε υποστηρικτικό υλικό για την παρούσα εργασία και χρήσιμα quiz για να ελέγξετε τις νέες γνώσεις σας!

SENSOR MODELS					
	PIXEL	TOUCH	CLASSIC+	FLEX	ZEN
Μετρά ΑΣ2.5	☒	☒	☒	☒	☒
Αισθητήρας θερμοκρασίας, υγρασίας πίεσης	☐	☒	☒	☒	☒
Αισθητήρας VOC	☐	☒	☐	☒	☒
Σύνδεση με χάρτη πραγματικού χρόνου	☐	☒	☒	☒	☒
Αντοχή στον καιρό	☐	☐	☒	☒	☒
Κάρτα μνήμης SD	☐	☐	☐	☒	☒
Διπλοί Μετρητές σωματιδίων	☐	☐	☒	☒	☒
Οθόνη αφής πλήρους φάσματος LED	☒	☒	☐	☐	☒
Swappable Mounting Options	☐	☐	☐	☐	☒

SD Variant Available

purpleair.com

Σκοπός: Τι κερδίζω;

-  Εξοικείωση με το όργανο μέτρησης PurpleAir Flex
-  Εξάσκηση στην στατιστική ανάλυση περιβαλλοντικών δεδομένων
-  Κατανόηση των ορίων ποιότητας αέρα

Ήξερες ότι;

- ✓ Οι αισθητήρες PurpleAir Flex καταγράφουν την ποιότητα του αέρα, αποτυπώνοντας τα επίπεδα ρύπανσης στην ατμόσφαιρα.
- ✓ Τα PM2.5* είναι τόσο μικρά που εισχωρούν βαθιά στους πνεύμονες.
- ✓ Ο αισθητήρας PurpleAir Flex μπορεί να τοποθετηθεί σε σπίτια ή σχολεία και να αξιοποιηθεί τόσο από την επιστημονική κοινότητα όσο και από μη κυβερνητικές οργανώσεις, σχολεία αλλά και ενδιαφερόμενους πολίτες.

- ✓ Τα αιωρούμενα σωματίδια μπορούν να κάνουν τον ουρανό πιο θολό και να συμβάλλουν στον σχηματισμό των νεφών.
- ✓ Ορισμένα αιωρούμενα σωματίδια ανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία, μειώνοντας τη θερμοκρασία της επιφάνειας της Γης.
- ✓ Η υγρασία επηρεάζει τη μέτρηση και την ακρίβεια των μετρήσεων των αιωρούμενων σωματιδίων.
- ✓ Οι αισθητήρες PurpleAir Flex καταγράφουν επίσης παραμέτρους όπως θερμοκρασία και υγρασία αέρα.
- ✓ Το δίκτυο PurpleAir αποτελεί μια παγκόσμια πλατφόρμα με χιλιάδες ενεργούς μετρητές που παρέχουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο.

*Τα αιωρούμενα σωματίδια (particulate matter, PM) συμβολίζονται με τα γράμματα ΑΣ ή PM και έναν αριθμό, όπως 1, 2.5 ή 10 (π.χ. PM2.5). Ο αριθμός αυτός εκφράζει τη μέγιστη αεροδυναμική διάμετρο (δηλαδή το μέγεθος που θα είχε το σωματίδιο αν είχε σφαιρικό σχήμα και συμπεριφερόταν αεροδυναμικά όπως μια σφαίρα).

Για παράδειγμα, τα PM1 είναι αιωρούμενα σωματίδια διάφορων σχημάτων με δυναμική διάμετρο έως 1μm.

$$1\mu m = \frac{1}{1000000} m$$

Διαδικασία: Ξετυλίγουμε το κουβάρι

 **ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ.** Για την στατιστική μελέτη των δεδομένων PurpleAir υπάρχουν πολλά διαθέσιμα δωρεάν εργαλεία. Μια καλή πρόταση είναι η χρήση υπολογιστικών φύλλων όπως είναι τα Microsoft Excel, Google Spreadsheets, OpenOffice κα. Διαφορετικά η ανάλυση μπορεί να γίνει σε γλώσσα προγραμματισμού ή στο χέρι.

 **ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ.** Για το φύλλο αυτό εργασίας έχουμε επιλέξει ελληνικά νησιά που διαθέτουν αισθητήρα PurpleAir Flex στο πλαίσιο της Κλιματικής Ακαδημίας, με τα δεδομένα τους να είναι καταχωρημένα στη βάση του δικτύου. Συγκεκριμένα, θα αναλύσουμε τα δεδομένα από το σχολείο της Νισύρου.

Μπορείτε να λάβετε δεδομένα από άλλους σταθμούς από τον διαδραστικό χάρτη πραγματικού χρόνου της PurpleAir εδώ → <https://map.purpleair.com/>

 **ΔΕΔΟΜΕΝΑ.** Τα δεδομένα με τα οποία θα γίνει η ανάλυση είναι αυτά που παρέχει το όργανο PurpleAir flex δηλαδή θερμοκρασία αέρα, υγρασία αέρα και τα επίπεδα αιωρούμενων σωματιδίων PM1, PM2.5 και PM10. Χρησιμοποιούνται ημερήσιες τιμές των δεδομένων για ένα σχολείο της Νισύρου για 17 μέρες του 2025 (Πίνακας 1).

Πίνακας 1

Ημερομηνία	Σχετική υγρασία %	Θερμοκρασία °C	PM2.5	PM10
16-Μαρ-25	31	22	4.5	6.7
6-Απρ-25	44	13	7.4	9.2
13-Απρ-25	49	18	9.9	12.8
20-Απρ-25	54	19	13	16.8
27-Απρ-25	56	18	14.2	17.4
4-Μαϊ-25	44	22	6.9	10.3
11-Μαϊ-25	51	19	8.2	12.4
18-Μαϊ-25	46	22	4.2	6.6
25-Μαϊ-25	48	22	8.7	13.6
1-Ιουν-25	52	23	12.3	15.4
8-Ιουν-25	49	26	21.7	28.1
15-Ιουν-25	45	25	19.1	24.1
22-Ιουν-25	42	27	12.4	16
29-Ιουν-25	41	28	14.5	18.1
6-Ιουλ-25	52	26	11.4	14.4
13-Ιουλ-25	53	27	15.6	20.1
20-Ιουλ-25	44	29	14.8	16.9

Βήματα: Πώς το κάνω;

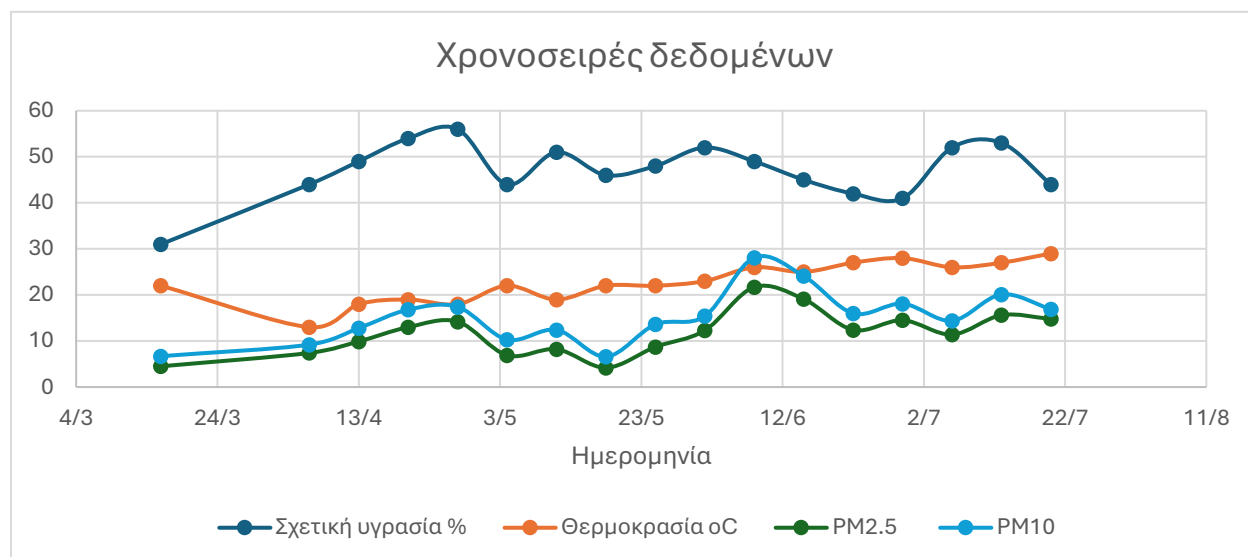
 Ανοίγουμε το πρόγραμμα επεξεργασίας δεδομένων (ή το τετράδιο αν γίνει στο χέρι) και συμπληρώνουμε τον Πίνακα δεδομένων όπως παρουσιάζεται παραπάνω (Πίνακας 1).

 Ελέγχουμε τη διαθεσιμότητα δεδομένων για τη χρονική περίοδο που μελετάμε. Στην περίπτωση μας, διαθέτουμε ημερήσιες τιμές θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας και PM2.5 / PM10 από τις 16 Μαρτίου 2025 έως τις 20 Ιουλίου 2025.

 **Φτιάχνουμε διαγράμματα χρονοσειρών (timeseries) για να αποτυπώσουμε παραστατικά την εξέλιξη των μεταβλητών στο χρόνο.**

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται οι χρονοσειρές όλων των ατμοσφαιρικών παραμέτρων σε κοινό σύστημα αξόνων. Ωστόσο, για μεγαλύτερη σαφήνεια θα ήταν προτιμότερο να δημιουργηθούν τρία ξεχωριστά διαγράμματα: ένα για τη θερμοκρασία, ένα για τη σχετική υγρασία και ένα για τα αιωρούμενα σωματίδια (PM2.5 και PM10).

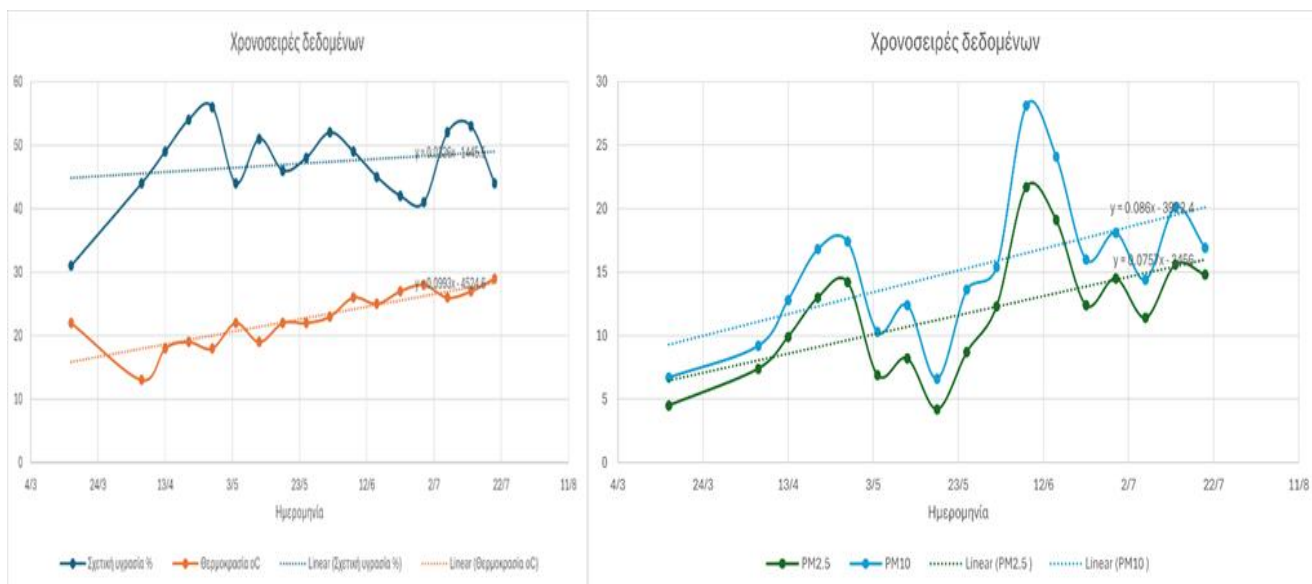
Για τη διαμόρφωση των διαγραμμάτων, προτείνεται να επιλέξετε διάγραμμα διασποράς με καμπύλες που ενώνουν τα σημεία – δεδομένα (data points).



🔍 Από τις χρονοσειρές αυτές, ποιες παρουσιάζουν αύξηση ή μείωση με το χρόνο; Είναι όλες εξίσου ομαλές ή υπάρχουν κάποιες με σημαντική μεταβλητότητα; Πώς εξηγούνται οι παρατηρήσεις σας;

Για κάθε χρονοσειρά μπορείτε να επιλέξετε να εμφανιστεί η γραμμή τάσης (trendline) για να έχετε μια πιο ξεκάθαρη εικόνα της τάσης των χρονοσειρών. Θυμηθείτε να επιλέξετε γραμμική (linear). Το διάγραμμα με τις γραμμές τάσης δίνεται παρακάτω (Χρονοσειρές δεδομένων (τάση)).

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα και επιβεβαιώνεται από τις εξισώσεις των γραμμών τάσης, όλες οι χρονοσειρές εμφανίζουν γενικά αυξητική τάση. Η θερμοκρασία παρουσιάζει τις μικρότερες διακυμάνσεις, με την αύξηση να αποδίδεται στην εποχική μετάβαση από την άνοιξη προς το καλοκαίρι. Αντίθετα, η σχετική υγρασία και οι συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων (PM) εμφανίζουν εντονότερες διακυμάνσεις, οι οποίες σχετίζονται με τις εκάστοτε μετεωρολογικές συνθήκες (π.χ. βροχοπτώσεις, άνεμος, επεισόδια μεταφοράς σκόνης, ανθρωπογενείς δραστηριότητες).



🔍 Διακρίνετε κάποια συσχέτιση μεταξύ της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας ή μεταξύ των PM2.5 και PM10;**

****** Όταν εξετάζουμε δεδομένα σε ότι αφορά τη συσχέτιση τους, ελέγχουμε αν δύο παράμετροι έχουν θετική συσχέτιση δηλαδή αυξάνονται ή μειώνονται ταυτόχρονα, ή αν έχουν αρνητική συσχέτιση δηλαδή όταν αυξάνεται το ένα να μειώνεται το άλλο ή αν δεν συσχετίζονται.

Μεταξύ της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας παρατηρείται ότι η συσχέτιση δεν είναι σταθερή. Για παράδειγμα, στο διάστημα 6/4–20/4 διακρίνεται θετική συσχέτιση, καθώς και οι δύο παράμετροι εμφανίζουν αυξητική τάση, ενώ από 27/4 έως 25/5 καταγράφεται η αρνητική τους συσχέτιση. Είναι γνωστό ότι, όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του αέρα, αυξάνεται η ικανότητά του να συγκρατεί υδρατμούς, άρα για την ίδια ποσότητα υδρατμών η σχετική υγρασία είναι μικρότερη. Παράλληλα όμως, επειδή τα δεδομένα προέρχονται από PurpleAir σε εξωτερικό χώρο, οι μετρήσεις επηρεάζονται και από τοπικούς παράγοντες όπως βροχόπτωση, εξάτμιση ή άνεμο, κάτι που εξηγεί γιατί η συσχέτιση δεν είναι πάντα ξεκάθαρη.

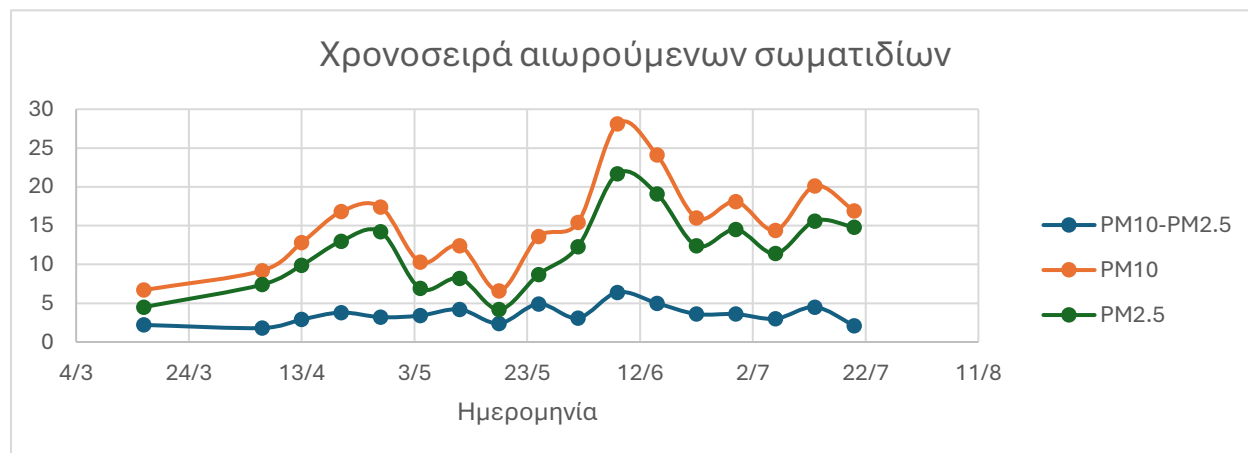
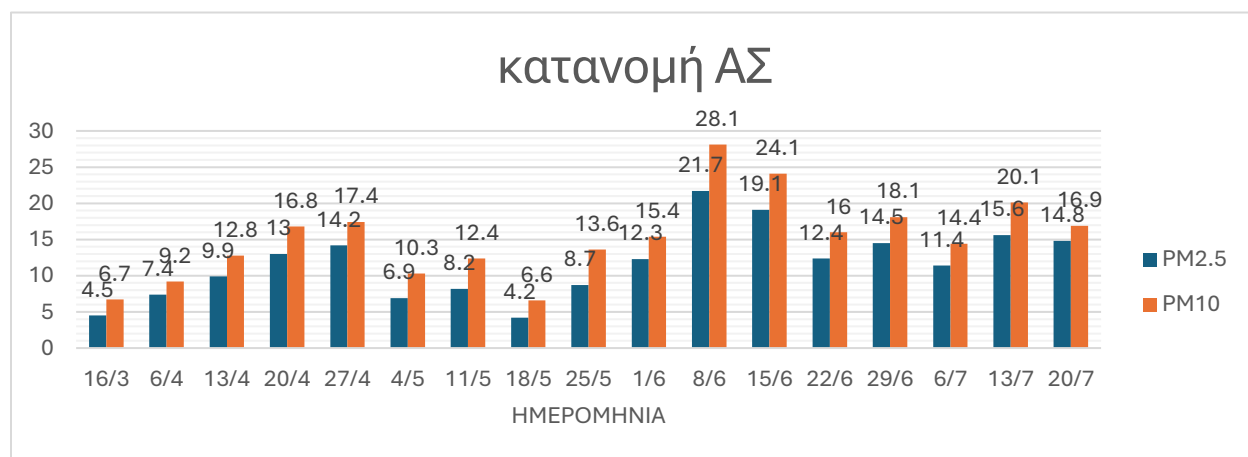
Στη σύγκριση των PM2.5 και PM10, οι δύο χρονοσειρές είναι πολύ παρόμοιες και εμφανίζουν σταθερά θετική συσχέτιση σε όλη την περίοδο μελέτης, καθώς τα PM2.5 αποτελούν υποσύνολο των PM10. Αυτό είναι αναμενόμενο και μπορεί να αξιοποιηθεί για συζήτηση με τους μαθητές σχετικά με το πώς διαφορετικά μεγέθη σωματιδίων συμβάλλουν στη συνολική ατμοσφαιρική ρύπανση.

📌 Σε αυτό το σημείο είναι χρήσιμο να συζητηθεί με τους μαθητές η τελευταία πρόταση.

🔍 Για πιο λεπτομερή μελέτη των αιωρούμενων σωματιδίων, μπορούμε να φτιάξουμε ένα διάγραμμα με μπάρες (όπως το διάγραμμα «κατανομή ΑΣ»). Επιλέγουμε αυτόν τον τρόπο παρουσίασης γιατί τα PM10 περιλαμβάνουν τα PM2.5. Καθώς τα PM10 συμπεριλαμβάνουν αιωρούμενα σωματίδια με διάμετρο από 0 έως 10μm, μέρος αυτών είναι και τα αιωρούμενα σωματίδια από 0 έως 2.5μm. Έτσι, αν από τις μετρήσεις των PM10 αφαιρέσουμε αυτές των PM2.5, τι θα έχουμε καταφέρει να υπολογίσουμε;

Μπορούμε να παριστάνουμε γραφικά τις χρονοσειρές των PM10, PM2.5 και της διαφοράς τους («Χρονοσειρά αιωρούμενων σωματιδίων»). Έτσι μπορούμε να διακρίνουμε ποιες ημέρες υπερτερούσαν τα μικρότερα σωματίδια και ποιες τα μεγαλύτερα.

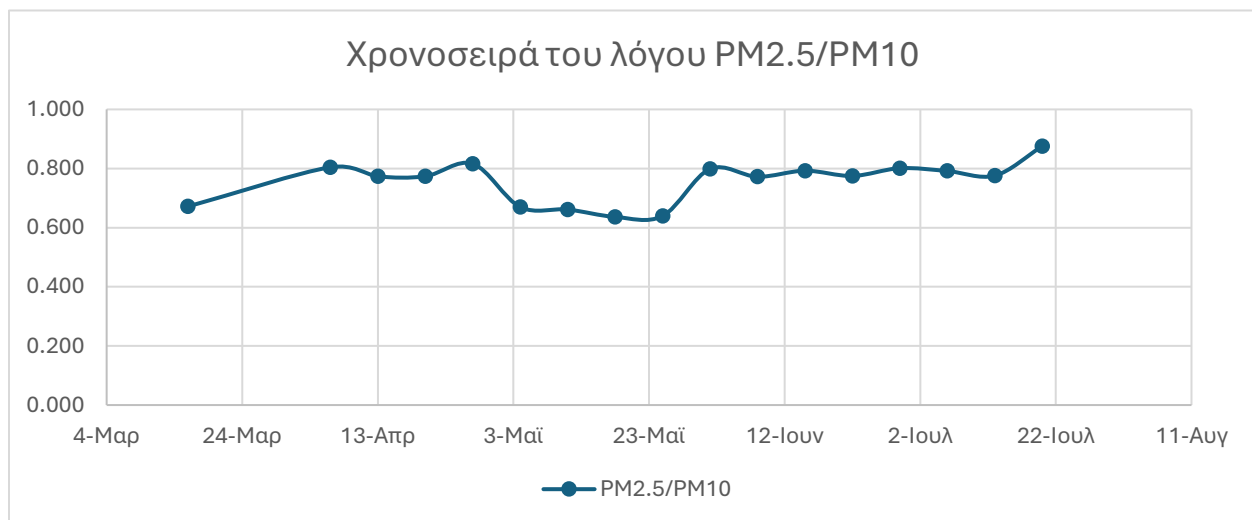
Η διαφορά στις τιμές των PM10 από τα PM2.5 εκφράζει την ποσότητα σωματιδίων στην ατμόσφαιρα με ισοδύναμες διαμέτρους από 2.5 έως 10μm. Αυτή είναι μια χρήσιμη πληροφορία όταν θέλουμε να μελετήσουμε φαινόμενα που επηρεάζονται διαφορετικά από τα μικρά από ότι τα μεγάλα σωματίδια. Πχ για θέματα της υγείας μεγαλύτερο ενδιαφέρον έχουν τα PM2.5 αφού αυτά μπορούν να εισχωρήσουν στους πνεύμονες των ανθρώπων.



👤 Μπορούμε ακόμα να μελετήσουμε τον λόγο PM10 / PM2.5 για κάθε ημέρα και να τον παριστάνουμε γραφικά. Ο λόγος είναι σταθερός ή αλλάζει; Τι σημαίνει αυτό για την αέρια ρύπανση που σχετίζεται με αιωρούμενα σωματίδια;

Ημερομηνία	PM2.5	PM10	PM2.5/PM10
16-Μαρ-25	4.5	6.7	0.672
6-Απρ-25	7.4	9.2	0.804
13-Απρ-25	9.9	12.8	0.773
20-Απρ-25	13	16.8	0.774
27-Απρ-25	14.2	17.4	0.816
4-Μαΐ-25	6.9	10.3	0.670
11-Μαΐ-25	8.2	12.4	0.661
18-Μαΐ-25	4.2	6.6	0.636
25-Μαΐ-25	8.7	13.6	0.640
1-Ιουν-25	12.3	15.4	0.799
8-Ιουν-25	21.7	28.1	0.772
15-Ιουν-25	19.1	24.1	0.793
22-Ιουν-25	12.4	16	0.775
29-Ιουν-25	14.5	18.1	0.801
6-Ιουλ-25	11.4	14.4	0.792
13-Ιουλ-25	15.6	20.1	0.776
20-Ιουλ-25	14.8	16.9	0.876

Με αυτή την γραφική παράσταση μπορούμε να λάβουμε μια παρόμοια πληροφορία με την προηγούμενη, συγκεκριμένα μπορούμε να λάβουμε το ποσοστό των PM10 που είναι μόνο PM2.5 (πχ αν $\frac{PM2.5}{PM10} = 0,8$ το 80% των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα έχει ισοδύναμη διάμετρο μικρότερη των 2.5μm).



Προσοχή : Ο λόγος $PM_{2.5}/PM_{10}$ δίνει μια καλή εκτίμηση της αναλογίας λεπτών σωματιδίων, αλλά τα αποτελέσματα επηρεάζονται από περιορισμούς και σφάλματα των αισθητήρων.

📖 Αν παρατηρήσουμε τα δεδομένα στον Πίνακα 1, θα δούμε ότι στις 18 Μαΐου και στις 15 Ιουνίου, η σχετική υγρασία είναι περίπου η ίδια (45-46%), η θερμοκρασία είναι διαφορετική (22 και 25 °C) αλλά τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν πολύ διαφορετικές τιμές. Ποιοι παράγοντες επηρεάζουν τις συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα;

Οι συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων (PM) είναι ιδιαίτερα ευμετάβλητες, καθώς επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες: τις εκπομπές (φυσικές και ανθρωπογενείς), τις μετεωρολογικές συνθήκες (άνεμος, υγρασία, θερμοκρασία), τη γεωγραφική θέση και την κάλυψη γης (π.χ. αστικές περιοχές, παράκτιες ζώνες), καθώς και την ανθρώπινη δραστηριότητα (μεταφορές, καύσεις, οικοδομικές εργασίες). Για παράδειγμα, η γύρη που απελευθερώνεται από φυτά με τον άνεμο, η σκόνη από δρόμους λόγω οχημάτων, το θαλασσινό αλάτι από εξάτμιση και κυματισμό, ή η σκόνη από εργοτάξια αποτελούν συνηθισμένες πηγές ΑΣ.

Επιπλέον, οι συγκεντρώσεις μεταβάλλονται και από φυσικοχημικές διεργασίες των ίδιων των σωματιδίων. Τα μικρότερα σωματίδια (π.χ. $PM_{2.5}$) μπορεί να συγκρουστούν και να συσσωματωθούν, σχηματίζοντας μεγαλύτερα (π.χ. $PM_{2.5-10}$). Έτσι, η συγκέντρωση των $PM_{2.5}$ μπορεί να μειώνεται, ενώ να αυξάνονται τα PM μεγαλύτερων διαμέτρων. Ωστόσο, η ολική συγκέντρωση PM_{10} (που περιλαμβάνει όλα τα σωματίδια $<10 \mu m$) συνήθως παραμένει περίπου σταθερή, καθώς δεν χάνεται μάζα αλλά αλλάζει η κατανομή μεγέθους τους ανάλογα με τη διάμετρο. Μείωση στο PM_{10} θα παρατηρηθεί μόνο αν προκύψει απομάκρυνση ή κατακρήμνιση σωματιδίων (π.χ. με βροχόπτωση ή καθίζηση).

? Ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής

1. Τα αιωρούμενα σωματίδια $PM_{2.5}$ έχουν διάμετρο:

A. Μέχρι 25 μm B. Μέχρι 10 μm **C. Μέχρι 2.5 μm** D. Μέχρι 0.5 μm

2. Γιατί τα $PM_{2.5}$ θεωρούνται πιο επικίνδυνα από τα PM_{10} ;

A. Επειδή είναι βαρύτερα και πέφτουν πιο γρήγορα στο έδαφος

B. Επειδή είναι μικρότερα και μπορούν να διεισδύσουν βαθύτερα στους πνεύμονες

- C. Επειδή περιέχουν μόνο χημικές ουσίες
 - D. Επειδή τα συναντάμε μόνο σε εργοστάσια
-

3. Ποιες από τις παρακάτω επιδράσεις στην υγεία δεν σχετίζονται με υψηλές συγκεντρώσεις PM_{2.5};

- A. Προβλήματα στο αναπνευστικό σύστημα
- B. Αυξημένος κίνδυνος καρδιαγγειακών νοσημάτων

C. Τραυματισμοί

- D. Ερεθισμός στα μάτια
-

4. Ποιοι παράγοντες μπορούν να αυξήσουν τις συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα;

A. Καύση ξύλων και ορυκτών καυσίμων

- B. Έντονη βροχόπτωση
 - C. Ηλιοφάνεια με καθαρό ουρανό
 - D. Μειωμένη κυκλοφορία οχημάτων
-

5. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO), ποιο είναι το ανώτατο ημερήσιο όριο ασφαλείας για το PM_{2.5};

- A. 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ B. 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ **C. 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** D. 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Σύμφωνα με τις πιο πρόσφατες οδηγίες ποιότητας αέρα της WHO (2021), η ανώτατη συνιστώμενη ημερήσια (24-ώρη) συγκέντρωση για το PM_{2.5} είναι 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Κλιματική αλλαγή και ατμοσφαιρικές μετρήσεις

Ακόμα και σήμερα, τα αιωρούμενα σωματίδια παραμένουν ένας από πιο αβέβαιους αλλά κρίσιμους παράγοντες του κλιματικού συστήματος. Ο ρόλος τους είναι τόσο άμεσος όσο και έμμεσος. Αλληλοεπιδρούν με την ακτινοβολία ανακλώντας, σκεδάζοντας ή απορροφώντας την, επηρεάζοντας έτσι τη θερμοκρασία τόσο της επιφάνειας της Γης όσο και του αέρα.

Παράλληλα, επηρεάζουν τον σχηματισμό, τη διάρκεια ζωής και τις ιδιότητες των νεφών, καθώς λειτουργούν ως πυρήνες συμπύκνωσης υδρατμών, διευκολύνοντας τον σχηματισμό νεφοσταγόνων και βροχοσταγόνων. Μάλιστα, η παρουσία τους μπορεί να αυξήσει τη διαδικασία συμπύκνωσης υδρατμών έως και 200 φορές σε σχέση με τη φυσική συμπύκνωση λόγω θερμοκρασίας.

Η μεγάλη ποικιλία στα χαρακτηριστικά των αιωρούμενων σωματιδίων (μέγεθος, χημική σύσταση, σχήμα) οδηγεί σε διαφορετικούς μηχανισμούς αλληλεπίδρασης με το περιβάλλον, καθιστώντας τη συμβολή τους στον ενεργειακό ισοζύγιο της Γης (την ισορροπία μεταξύ της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας και της εξερχόμενης γήινης ακτινοβολίας) και κατ' επέκταση στην κλιματική αλλαγή ιδιαίτερα σύνθετο και δύσκολο να ποσοτικοποιηθεί.

+ Δείτε ακόμα...

Οι Μεγαλύτερες Περιβαλλοντικές Προκλήσεις του Σήμερα

Ιστότοποι με κλιματικό ενδιαφέρον

Τεχνητή Νοημοσύνη: Νέο «Όπλο» στην Αντιμετώπιση των Κλιματικών Κινδύνων για τη Γεωργία στην ΕΕ