

**Α.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Χωρική και χρονική διακύμανση της ποιότητας της
ατμόσφαιρας στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης**



Σπουδαστής: ΠΑΡΓΙΝΟΣ ΧΑΡΙΛΑΟΣ

Υπεύθυνος Καθηγητής: Δρ Κων/νος Μουστρής

**ΑΙΓΑΛΕΩ
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2017**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα Εργασία, μελετάται και παρουσιάζεται η χωροχρονική κατανομή των ατμοσφαιρικών ρύπων στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης για τη χρονική περίοδο 2001–2011. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκε ένα δείκτη ατμοσφαιρικής ρύπανσης, γνωστός ως Ευρωπαϊκός Περιφερειακός Δείκτης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης (European Regional Pollution Index-ERPI). Πιο συγκεκριμένα, με βάση τις καταγεγραμμένες τιμές του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Κλιματικής Αλλαγής για πέντε ρύπους (O_3 , CO , NO_2 , SO_2 και PM_{10}) στους σταθμούς καταγραφής και παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, Αγία Σοφία, Καλαμαριά, Κορδελιό, Σίνδο και του Πανεπιστημίου, υπολογίστηκαν οι ημερήσιες τιμές του δείκτη ERPI για τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο 2001-2011. Στη συνέχεια, και με βάση τις τιμές του δείκτη, αποτυπώθηκε η ποιότητα της ατμόσφαιρας στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης (ΕΠΘ) για την εξεταζόμενη χρονική περίοδο και αναφέρθηκαν οι πιθανές επιπτώσεις στον πληθυσμό της πόλης.

Λέξεις κλειδιά: Ατμοσφαιρική ρύπανση, Δείκτης ERPI, Ποιότητα Ατμόσφαιρας, Ευρύτερη Περιοχή Θεσσαλονίκης, Ελλάδα

ABSTRACT

The aim of this dissertation is the study of temporal and spatial variation of air pollution at different locations within the greater Thessaloniki area (GTA) during the time period 2001-2011. For this purpose, an air pollution index known as European Regional Pollution Index (ERPI) was used. Specifically, hourly values of five different pollutants (O_3 , CO , NO_2 , SO_2 and PM_{10}) from five different locations within the GTA (Agia Sophia, Kalamaria, Kordelio, Sindo and Panepistimio) were used, covering the examined period 2001-2011. The aforementioned data have been recorded by the network of air pollution control stations belonging to the Hellenic Ministry of Environment and Energy (HMEE).

Finally, according to the results of ERPI, the quality of the atmosphere about the area of Thessaloniki for the period of 2001-2011 was depicted. Moreover, potential consequences about the population of the town were mentioned.

Key words: Air pollution, ERPI, Air Quality, Greater Thessaloniki Area, Greece

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ		Σελ. 2
ABSTRACT		Σελ. 2
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ		Σελ. 3
Κεφάλαιο 1^ο	Γενικά περί ατμοσφαιρικών ρύπων και Νομοθεσίας Ευρωπαϊκής Ένωσης	Σελ. 5
1.1	Ατμοσφαιρικοί ρύποι	Σελ. 5
1.2	Οι κυριότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι και οι επιπτώσεις τους	Σελ. 7
1.2.1	Όζον (O ₃)	Σελ. 7
1.2.2	Μονοξείδιο του Άνθρακα (CO)	Σελ. 8
1.2.3	Οξείδια του Αζώτου (NO _x)	Σελ. 8
1.2.4	Διοξείδιο του Θείου (SO ₂)	Σελ. 9
1.2.5	Στερεά Αιωρούμενα Σωματίδια	Σελ. 10
1.2.6	Μόλυβδος (Pb)	Σελ. 11
1.2.7	Τοξικοί αέριοι ρύποι	Σελ. 11
1.3	Ατμοσφαιρικοί ρύποι και δημόσια υγεία	Σελ. 13
1.4	Ευρωπαϊκή νομοθεσία για την ατμοσφαιρική ρύπανση	Σελ. 17
Κεφάλαιο 2^ο	Γενικά περί Δεικτών Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης	Σελ. 19
2.1	Δείκτες Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης	Σελ. 19
2.1.1	Πρότυπος Δείκτης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης (Pollution Standards Index – PSI)	Σελ. 19
2.1.2	Δείκτης Ρύπανσης του Αέρα του Hong-Kong Air Pollution Index – API)	Σελ. 23
2.1.3	Ημερήσιος Δείκτης Ποιότητας Αέρα (Daily Air Quality Index – DAQ _x)	Σελ. 24
2.1.4	Δείκτης Ποιότητας Αέρα (Air Quality Index – AQI)	Σελ. 27
2.1.5	Δείκτης Ρύπανσης του Αέρα του Bristol (Bristol Air Pollution Index – BAPI)	Σελ. 31
2.1.6	Ινδικός Δείκτης Ποιότητας του Αέρα (Indian Air Quality Index, IND–AQI)	Σελ. 32
2.1.7	Τοπικός Δείκτης Ρύπανσης (Regional Pollution Index – RPI)	Σελ. 34
2.1.8	Ευρωπαϊκός Τοπικός Δείκτης Ρύπανσης (European Regional Pollution Index – ERPI)	Σελ. 35

Κεφάλαιο 3°	Όζον (O ₃)	Σελ. 37
Κεφάλαιο 4°	Μονοξείδιο του Άνθρακα (CO)	Σελ. 43
Κεφάλαιο 5°	Διοξείδιο του Αζώτου (NO ₂)	Σελ. 48
Κεφάλαιο 6°	Διοξείδιο του Θείου (SO ₂)	Σελ. 53
Κεφάλαιο 7°	Σωματίδια PM ₁₀	Σελ. 58
Κεφάλαιο 8°	Τελικός ERPI για την ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης κατά την περίοδο 2001 – 2011	Σελ. 63
Κεφάλαιο 9°	Χωρική κατανομή του δείκτη ERPI	Σελ. 69
Κεφάλαιο 10°	Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις	Σελ. 70
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		Σελ. 73

Κεφάλαιο 1^ο

Γενικά περί Ατμοσφαιρικών ρύπων και Νομοθεσίας Ευρωπαϊκής Ένωσης

1.1 Ατμοσφαιρικοί ρύποι

Η γη περιβάλλεται από ένα λεπτό στρώμα μίγματος αερίων, την Ατμόσφαιρα. Η έκταση της φθάνει τα 100 χιλιόμετρα σε ύψος και αντιστοιχεί στο 1,5% περίπου της διαμέτρου της γης.

Η **καθαρή ατμόσφαιρα**, δηλαδή ο «καθαρός αέρας», είναι άχρωμη, άοσμη και άγευστη. Δε μπορεί να γίνει αισθητή παρά μόνο όταν βρίσκεται σε κίνηση. Είναι επίσης ευκίνητη, ελαστική, διασταλτή και συμπιεστή. Είναι διαπερατή σε έναν μεγάλο αριθμό ακτινοβολιών και αποτελεί βασικό παράγοντα υποστήριξης και διατήρησης της ζωής στον πλανήτη μας καθώς λειτουργεί ως φίλτρο, απορροφώντας τις βλαπτικές, για τη ζωή, ακτινοβολίες. Επίσης, δρα ως θερμοστάτης αποτρέποντας τις μεγάλες θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ ημέρας και νύχτας.

Η ατμόσφαιρα περιέχει αέρια, υδατμούς και σωματίδια που παράγονται από διάφορες φυσικές δραστηριότητες. Η σύνθεση της στην επιφάνεια της γης περιλαμβάνει σε εκατοστιαία κατ' όγκων συγκέντρωση τα συστατικά, όπως παρουσιάζονται στον ακόλουθο **Πίνακα 1.1**

Πίνακας 1.1: Ποσοστιαία σύσταση κ.ο του «καθαρού» ξηρού ατμοσφαιρικού αέρα [1] (Boubel et al., 1994).

Συστατικό	Σύμβολο	% κ.ο
Άζωτο	N ₂	78.09
Οξυγόνο	O ₂	20.94
Αργό	Ar	0.93
Διοξείδιο του άνθρακα	CO ₂	0.032
Νέο	Ne	0.0018
Ήλιο	He	0.00052
Μεθάνιο	CH ₄	0.00015
Κρυπτό	Kr	0.0001
Υποξείδιο του αζώτου	N ₂ O	0.00005
Υδρογόνο	H ₂	0.00005
Ξένο	Xe	0.000008
Όζον	O ₃	(0.01-0.04) 10 ⁻⁴

Αντίθετα, **ατμοσφαιρική ρύπανση**, καλείται η ύπαρξη στην ατμόσφαιρα κάθε είδους ουσιών, θορύβου, ακτινοβολίας ή άλλων μορφών ενέργειας, για τέτοιο χρονικό διάστημα και σε τέτοια συγκέντρωση, ώστε να προκαλούνται δυσμενείς συνθήκες στους ζωντανούς οργανισμούς (άνθρωπος, φυτά, ζώα) και στις υλικές

κατασκευές. Γενικότερα όταν η παρουσία αυτών των συστατικών καθιστά το περιβάλλον ακατάλληλο για τις επιθυμητές χρήσεις του.

Ειδικότερα, ορίζουμε ως **Ατμοσφαιρικούς Ρύπους** τις αέριες ουσίες που εμφανίζονται στην ατμόσφαιρα και είτε δεν αποτελούν φυσικά συστατικά της, είτε παρουσιάζονται σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις από αυτές με τις οποίες υπάρχουν στον «καθαρό» ξηρό ατμοσφαιρικό αέρα, επηρεάζοντας έτσι δυσμενώς τις συνθήκες διαβίωσης του ανθρώπου.

Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τους πρωτογενείς και τους δευτερογενείς ρύπους. [2]

Πρωτογενείς, ονομάζονται οι ρύποι που σχηματίζονται και εκπέμπονται στο περιβάλλον απ' ευθείας από τις πηγές τους. Είναι ενώσεις με απλή χημική δομή όπως το διοξείδιο του θείου, το υδρόθειο, υδρογονάνθρακες, οξείδια του αζώτου, μονοξείδιο του άνθρακα, μόλυβδος, αμίαντος, αιωρούμενα σωματίδια και ο καπνός.

Δευτερογενείς, ονομάζονται οι ρύποι που σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα μετά από μια σειρά χημικών αντιδράσεων των πρωτογενών. Οι ενώσεις άνθρακα, αζώτου και θείου των πρωτογενών ρύπων, συμμετέχοντας σε αντιδράσεις οξειδωσης, παράγουν δευτερογενείς ρύπους όπως το όζον, διάφορες αλδεΐδες και κετόνες, πολύπλοκα άλλα προϊόντα γνωστά και ως PAN (Νιτρικά Υπεροξυακετύλια), τριοξείδιο του θείου, το θειικό οξύ και τα θειικά άλατα τα περισσότερα από τα οποία είναι τοξικά.

Οι πηγές παραγωγής και εκπομπής των ρύπων στην ατμόσφαιρα χωρίζονται και αυτές σε δύο κατηγορίες τις φυσικές και τις ανθρωπογενείς πηγές. **Φυσικές** πηγές παραγωγής και εκπομπής ρύπων στην ατμόσφαιρα θεωρούνται το έδαφος, τα ηφαίστεια, οι πυρκαγιές και οι ωκεανοί. Ως **ανθρωπογενείς** πηγές θεωρούνται η βιομηχανία, η θέρμανση, η παραγωγή ενέργειας, οι μεταφορές και τα ατυχήματα μεγάλης κλίμακας που προκαλούνται από την ανθρώπινη δραστηριότητα. [3] (Βαλκανάς, 1992).

Στον ακόλουθο **Πίνακα 1.2** παρουσιάζονται οι κυριότεροι ρύποι που εμφανίζονται στην ατμόσφαιρα.

Πίνακας 1.2: Οι κυριότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι

CO	Μονοξείδιο του άνθρακα
Pb	Μόλυβδος
NO ₂	Διοξείδιο του αζώτου
NO _x	Οξείδια του αζώτου
O ₃	Όζον
TSP, PM ₁₀ , PM _{2.5}	Αιωρούμενα σωματίδια
SO ₂	Διοξείδιο του θείου
SO _x	Οξείδια του θείου
CFCs	Χλωροφθοράνθρακες
CH ₄	Μεθάνιο
CO ₂	Διοξείδιο του άνθρακα
VOCs	Πτητικές ασταθείς οργανικές ενώσεις

1.2 Οι κυριότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι και οι επιπτώσεις τους

Η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει επιπτώσεις στη δημόσια υγεία καθώς και στο περιβάλλον. Για το λόγο αυτό τα τελευταία χρόνια αποτελεί μέζον ζήτημα για αρκετές χώρες. Η αυξημένη ατμοσφαιρική ρύπανση σχετίζεται με αναπνευστικά προβλήματα και καρδιοπάθειες, έχει άμεση αρνητική επίδραση στα άτομα που πάσχουν από άσθμα ή άλλες αναπνευστικές ασθένειες. Μακροπρόθεσμη έκθεση σε ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να προκαλέσει καρκίνο και βλάβες στο ανοσοποιητικό σύστημα, νευρολογικά προβλήματα ή ακόμη και θάνατο.

Ακολουθώς γίνεται αναφορά σε κάθε ρύπο ξεχωριστά αναφέροντας τις πηγές του στην ατμόσφαιρα αλλά και τις πιθανές επιπτώσεις του στην ανθρώπινη υγεία και ζωή γενικότερα.

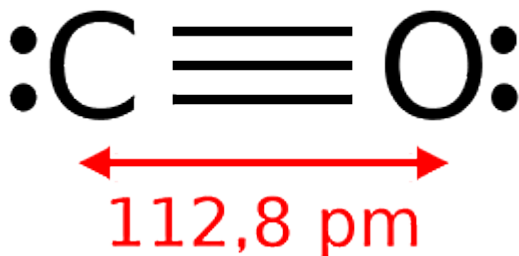
1.2.1 Όζον (O_3)

Το **όζον** είναι τριατομικό μόριο οξυγόνου και κατατάσσεται στους δευτερογενείς ρύπους. Είναι ένα αέριο σχετικά άχρωμο, άοσμο και ασταθές, λίγο διαλυτό στο νερό, διασπάται εύκολα και δεν αφήνει υπολείμματα. Στην στρατόσφαιρα, το όζον, θεωρείται ευεργετικό για τον άνθρωπο και το περιβάλλον καθώς απορροφά το μεγαλύτερο μέρος του υπεριώδους τμήματος της ηλιακής ακτινοβολίας. Αντίθετα, στην τροπόσφαιρα φυσιολογικά δεν υπάρχει. Δημιουργείται όμως σαν αποτέλεσμα των πολύπλοκων χημικών μετασχηματισμών πρωτογενών ρυπαντών όπως τα οξείδια του αζώτου, τα καυσαέρια των αυτοκινήτων και της βιομηχανίας, αλλά και τις πτητικές οργανικές ενώσεις που σε συνδυασμό με την ηλιακή ακτινοβολία αντιδρούν με το οξυγόνο παράγοντας όζον (O_3).



Η παρουσία αυτή του όζοντος στα χαμηλά στρώματα της ατμόσφαιρας έχει δυσμενείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία προκαλώντας κυρίως αναπνευστικά προβλήματα. Το όζον επιδρά επίσης αρνητικά και στο περιβάλλον, στη βλάστηση αλλά και στα οικοσυστήματα.

1.2.2 Μονοξείδιο του Άνθρακα (CO)



Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι ένα αέριο άχρωμο, άοσμο, άγευστο, ελάχιστα διαλυτό στο νερό και ελαφρύτερο από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Αποτελεί προϊόν ατελούς καύσης οργανικών ενώσεων σε συνθήκες έλλειψης οξυγόνου.

Κυριότερη πηγή του στην ατμόσφαιρα είναι η λειτουργία και η χρήση των αυτοκινήτων. Άλλες

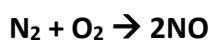
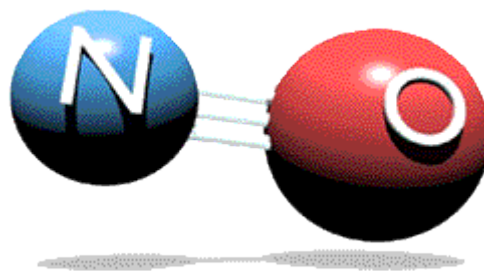
πηγές παραγωγής και εκπομπής CO είναι τα διυλιστήρια πετρελαίου, η χαλυβουργία, τα ηφαίστεια, οι δασικές πυρκαγιές και διάφορες άλλες δράσεις βακτηριακής φύσης.

Στον ανθρώπινο οργανισμό επιδρά δεσμεύοντας επιλεκτικά την αιμοσφαιρίνη του αίματος, κάτι που έχει σαν αποτέλεσμα την δύσκολη μεταφορά οξυγόνου από τους πνεύμονες στους ιστούς προκαλώντας έτσι ναυτίες, πονοκεφάλους, ζαλάδες κλπ. Αυξημένη έκθεση σε χαμηλές συγκεντρώσεις CO, επηρεάζει δυσμενώς άτομα με καρδιακά προβλήματα και μειώνει τις σωματικές επιδόσεις νεαρών και υγιών ατόμων. Ακόμη, έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις CO έχει ως αποτέλεσμα την ξαφνική απώλεια της συνειδήσεως που συνεχιζόμενη μπορεί να προκαλέσει και το θάνατο, χωρίς ταυτόχρονα να εμφανίζονται ιδιαίτερες αναπνευστικές διαταραχές ώστε να γίνεται αντιληπτό από τον άνθρωπο.

1.2.3 Οξείδια του Αζώτου (NO_x)

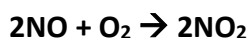
Στην ατμοσφαιρική ρύπανση με τον όρο Οξείδια του Αζώτου αναφερόμαστε κατά κύριο λόγο σε δυο από τις πολλές ενώσεις που μπορούν να σχηματίσουν το Άζωτο και το Οξυγόνο. Αυτές είναι το Μονοξείδιο του Αζώτου (NO) και το Διοξείδιο του Αζώτου (NO₂).

Το άζωτο ως γνωστό αποτελεί το 78% περίπου του ατμοσφαιρικού αέρα. Κατά την καύση σχηματίζει οξείδια. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία της καύσης, τόσο μεγαλύτερη είναι και η ποσότητα των σχηματιζόμενων οξειδίων του αζώτου.



Το μονοξείδιο του αζώτου (NO) είναι ένα αέριο άχρωμο και άοσμο με μικρή τοξικότητα. Οι κυριότερες πηγές του στην ατμόσφαιρα, είναι οι μηχανές εσωτερικής καύσης, οι βιομηχανικοί καυστήρες, οι καυστήρες κεντρικής θέρμανσης, οι καυστήρες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και γενικά οι κλίβανοι που καίγονται ορυκτά καύσιμα.

Το NO στη συνέχεια με διάφορες χημικές αντιδράσεις που συντελούνται στην ατμόσφαιρα και ενισχύονται με την παρουσία της ηλιακής ακτινοβολίας, μετατρέπεται σε διοξείδιο του αζώτου (NO₂).

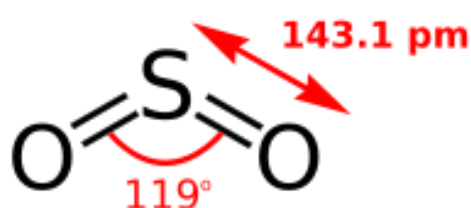


Το διοξείδιο του αζώτου (NO₂) έχει έντονη οσμή και ένα κόκκινο, κίτρινο και καστανό χρώμα. Η παρουσία του στην ατμόσφαιρα έχει επιπλέον αποτέλεσμα τη μείωση της φωτεινότητας και συντελεί στη δημιουργία της φωτοχημικής αιθαλομίχλης.

Στον άνθρωπο, έκθεση μικρής σχετικά χρονικής διάρκειας μπορεί να οδηγήσει σε αναπνευστικές δυσλειτουργίες. Ενώ η παρατεταμένη έκθεση σε σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις προκαλεί ευαισθησία του αναπνευστικού συστήματος και μόνιμες αλλοιώσεις των πνευμόνων.

Στο περιβάλλον τα οξείδια του αζώτου προκαλούν σημαντικές αλλαγές στη σύσταση ορισμένων ειδών βλάστησης, υδροβιότοπων και χερσαίων εκτάσεων. Δημιουργούν όξινη βροχή. Μειώνουν την ορατότητα. Αυξάνουν τα επίπεδα τοξινών σε διάφορα είδη ψαριών και άλλων υδρόβιων ζώων.

1.2.4 Διοξείδιο του Θείου (SO₂)



Το διοξείδιο του θείου είναι ένα αέριο άχρωμο, άοσμο σε μικρές συγκεντρώσεις αλλά με έντονη ερεθιστική οσμή σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις. Προέρχεται από την καύση υγρών και στερεών καυσίμων τα οποία περιέχουν θείο σαν πρόσμιξη. Επίσης μπορεί να δημιουργηθεί από την δραστηριότητα φυσικών πηγών όπως τα ηφαιίστεια και η σήψη οργανικών ουσιών.

Διαλύεται στην υγρασία που περιέχεται στον ατμοσφαιρικό αέρα και σχηματίζειθειώδες οξύ (H₂SO₃). Στον ξηρό αέρα οξειδώνεται σε τριοξείδιο του θείου (SO₃) το οποίο με τη σειρά του μετατρέπεται τελικά σεθειικό οξύ (H₂SO₄) που είναι κύριο συστατικό της όξινης βροχής.

Είναι ένας από τους χαρακτηριστικούς ρύπους που εμφανίζονται σε αστικές περιοχές. Έτσι το διοξείδιο του θείου προέρχεται από τη χρήση του πετρελαίου σε τέσσερις μεγάλους τομείς σήμερα. Τη Βιομηχανία, την Ηλεκτροπαραγωγή, τις Μεταφορές και τον Τριτογενή τομέα όπου έχει αντικαταστήσει όλες τις άλλες παραδοσιακές πηγές θερμότητας.

Υπάρχουν και φυσικές πηγές παραγωγής διοξειδίου του θείου, όπως οι πυρκαγιές και η σκόνη από απογυμνωμένο έδαφος.

Στον άνθρωπο η επίδραση του διοξειδίου του θείου προκαλεί σε πρώτη φάση αναπνευστικές δυσκολίες και σοβαρούς ερεθισμούς στην καρδιά. Σε περιπτώσεις αυξημένης έκθεσης σε μεγάλες συγκεντρώσεις διοξειδίου του θείου προκαλούνται παράλυση και διάβρωση των αναπνευστικών οργάνων. Άτομα με καρδιοαγγειακές παθήσεις ή χρόνιες παθήσεις των πνευμόνων, καθώς επίσης

παιδιά και ηλικιωμένοι, αποτελούν ομάδες υψηλού κινδύνου στην παρουσία διοξειδίου του θείου στην ατμόσφαιρα.

Σε συνδυασμό με άλλες ρυπαντικές ουσίες όπως τα αιωρούμενα σωματίδια και ο καπνός, το διοξείδιο του θείου αποτελεί ιδιαίτερη απειλή για την υγεία και έχει προκαλέσει επανειλημμένα σοβαρά επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Τέλος, το SO_2 είναι πρόδρομος συνήθως των αιωρούμενων σωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των $2.5 \mu\text{m}$, ενός παράγοντα με σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία.

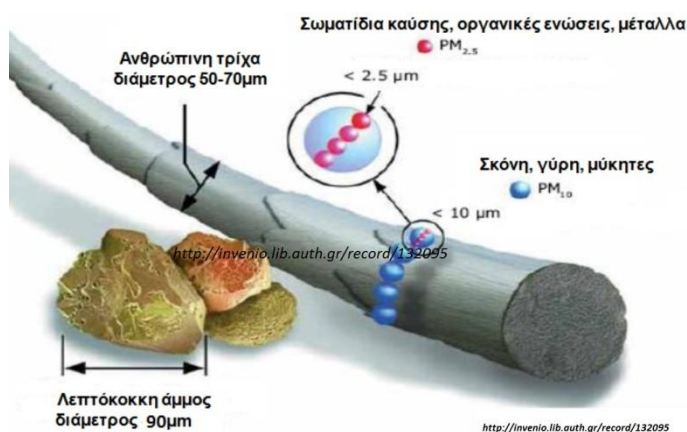
1.2.5 Στερεά Αιωρούμενα Σωματίδια

Αιωρούμενα σωματίδια (Particulate Matters ή PM) ονομάζονται όλα τα σώματα στερεά και υγρά, εκτός του νερού, που είναι διεσπαρμένα στην ατμόσφαιρα και έχουν αεροδυναμική διάμετρο μεγαλύτερη από $0.0002 \mu\text{m}$ και δεν ξεπερνά τα $500 \mu\text{m}$ περίπου. Αιωρούμενα σωματίδια χαρακτηρίζονται η σκόνη, η ιπτάμενη τέφρα και ο καπνός.

Είναι προϊόντα ατελούς καύσης και κατά πλειοψηφία φεύγουν προς τον αέρα απευθείας από τις πηγές τους, όπως οι καπνοδόχοι και οι εξατμίσεις των οχημάτων. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις όπου αέρια όπως CO , SO_2 , NO_x και VOCs, αντιδρούν με διάφορες άλλες ενώσεις του ατμοσφαιρικού αέρα και παράγουν έτσι τα λεπτόκοκκα σωματίδια.

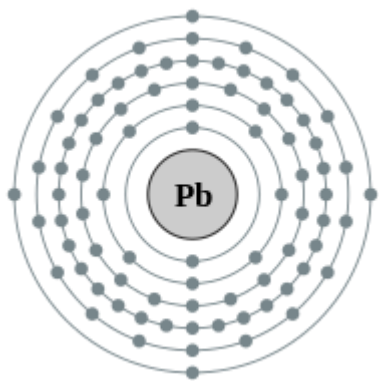
Η ύπαρξη των αιωρούμενων σωματιδίων έχει πολύ σημαντικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία αλλά και σε όλους τους τομείς του περιβάλλοντος. Η επίδρασή τους στην ανθρώπινη υγεία εξαρτάται από το μέγεθος τους διότι αυτό καθορίζει τη δυνατότητα εισχώρησης τους στον ανθρώπινο οργανισμό με τη διαδικασία της αναπνοής. Τα μικροσκοπικά αυτά σωματίδια προκαλούν ασθένειες στο αναπνευστικό και στους πνεύμονες και μπορούν να οδηγήσουν ακόμη και το θάνατο. Ομάδα υψηλού κινδύνου αποτελούν ηλικιωμένοι, παιδιά και γενικότερα άτομα που πάσχουν από άσθμα.

Σε ότι αφορά στο περιβάλλον, τα αιωρούμενα σωματίδια προκαλούν ελάττωση της ορατότητας καθώς και της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στη γη εξαιτίας της παρουσίας τους στην ατμόσφαιρα. Τα αιωρούμενα σωματίδια ανάλογα με το μέγεθός τους και τη συγκέντρωσή τους στην ατμόσφαιρα, διαθλούν, περιθλούν, διαχέουν ή ακόμα και αποκόπτουν το φως.



1.2.6 Μόλυβδος (Pb)

Ο μόλυβδος αιωρείται στην ατμόσφαιρα με την μορφή λεπτότατων σωματιδίων. Έχει σαν κύριες πηγές εκπομπής του τις μεταφορές, τη χρήση καυσίμων που περιέχουν μόλυβδο, τη χρήση γαιανθράκων, βαριές βιομηχανίες, χυτήρια, εργοστάσια κατασκευής μπαταριών, καύση απορριμμάτων κλπ. Αποτελεί έντονο πρόβλημα της περιοχής όπου εκπέμπεται και όπως όλοι οι ατμοσφαιρικοί ρύποι επηρεάζει την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον.



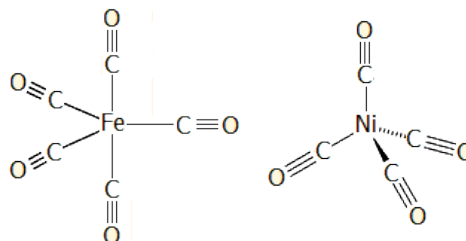
Οι κυριότερες επιδράσεις του αφορούν το νευρικό σύστημα καθώς και την καρδιά. Η κατάποση ή η απευθείας εισπνοή μόλυβδου και ενώσεων του (σκόνη, βαφές κλπ) μπορούν να προκαλέσουν διαταραχές στον ύπνο, αδυναμία, ανορεξία, πονοκέφαλο και διανοητικές διαταραχές. Σε υψηλά ποσοστά συγκέντρωσης μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στην πνευματική ανάπτυξη και δραστηριότητα, τη λειτουργία των νεφρών και τη σύσταση του αίματος. Ομάδα υψηλού κινδύνου αποτελούν τα παιδιά στα οποία προκαλεί υπερκινητικότητα.

Στο περιβάλλον, ο εκπεμπόμενος στην ατμόσφαιρα μόλυβδος, όταν πέσει στη γη ρυπαίνει τα νερά καθώς και τις καλλιέργειες με αποτέλεσμα τη δυνατότητα εισόδου στον οργανισμό και μέσω των τροφών.

1.2.7 Τοξικοί αέριοι ρύποι

Ορισμένοι από τους πιο βασικούς αέριους ρύπους είναι το αρσενικό, ο αμίαντος, το βενζόλιο κ.α. Κύριες πηγές εκπομπής των τοξικών αέριων ρύπων στην ατμόσφαιρα και στο περιβάλλον είναι οι χημικές βιομηχανίες, οι βιομηχανικές δραστηριότητες, εκπομπές από τα καύσιμα και τις μηχανές των οχημάτων και τα οικοδομικά υλικά, αλλά και από φυσικές πηγές όπως εκρήξεις ηφαιστειών, δασικές πυρκαγιές κλπ. Γενικότερα μπορούν να χαρακτηριστούν ως τοξικοί αέριοι ρύποι εκείνοι που προκαλούν δυσμενείς επιπτώσεις στα οικοσυστήματα και το περιβάλλον.

Στον άνθρωπο οι επιδράσεις των τοξικών αέριων ρύπων είναι η εμφάνιση καρκίνου, αναπνευστικών προβλημάτων, γενετικών ανωμαλιών, στείρωσης και άλλων σοβαρών προβλημάτων υγείας. Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορούν να προκαλέσουν ακόμα και το θάνατο ή σοβαρές κακώσεις αν από ατύχημα απελευθερωθούν στο περιβάλλον σε μεγάλες συγκεντρώσεις. Τα αποτελέσματα της έκθεσης του ανθρώπου σε τοξικούς ρύπους μπορεί να είναι άμεσα εμφανίσιμα ή πάλι μπορούν να αναπτυχθούν και να εμφανισθούν σταδιακά μετά από αρκετούς μήνες ή και χρόνια μετά από την αρχική του έκθεση.



Αντίστοιχες επιπτώσεις υπάρχουν από τους τοξικούς ρύπους και για τα ζώα. Εμφανίζουν και αυτά προβλήματα υγείας παρόμοια με αυτά του ανθρώπου. Τοξικοί ρύποι οι οποίοι βρίσκονται σε υδροβιότοπους, συσσωρεύονται στα φυτά και στους διάφορους οργανισμούς, με αποτέλεσμα μέσω της τροφικής αλυσίδας να περνούν στους ανθρώπους σε σχετικά μεγαλύτερες τις περισσότερες φορές ποσότητες. Στον ακόλουθο **Πίνακα 1.3** παρατίθενται οι κυριότεροι τοξικοί αέριοι ρύποι.

Πίνακας 1.3: Κυριότεροι τοξικοί αέριοι ρύποι

Ακεταλδεΐδη	Φορμαλδεΐδη
Ακρολεΐνη	Εξαχλωροβενζόλιο
Ακρυλονιτρίλιο	Υδραζίνη
Ενώσεις αρσενικού	Ενώσεις μολύβδου
Βενζόλιο	Ενώσεις μαγγανίου
Ενώσεις βηρυλλίου	Ενώσεις υδραργύρου
1,3 – βουταδιένιο	Μεθυλοχλωρίδιο
Ενώσεις καδμίου	Ενώσεις νικελίου
Τετραχλωράνθρακας	Υπερχλωρικό αιθυλένιο
Χλωροφόρμιο	Πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs)
Ενώσεις χρωμίου	Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (POM)
1,2 – διχλωροπροπένιο	Κινολίνη
Αιωρούμενα σωματίδια από diesel	1,1,2,2 – τετραχλωροαιθάνιο
Διβρωμοαιθυλένιο	Τριχλωροαιθυλένιο
Διχλωροαιθυλένιο	Βινυλοχλωρίδιο
Αιθυλενοξειδίο	Αμίαντος
Αρσενικό	

1.3 Ατμοσφαιρικοί ρύποι και δημόσια υγεία

Οι επιδράσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στη δημόσια υγεία άρχισαν να γίνονται αντιληπτές από την εκβιομηχάνιση της Βόρειας Αμερικής και Βόρειας Ευρώπης. Μέχρι και το 1990, οι επιστήμονες καθώς και οι υπεύθυνοι για το περιβάλλον υποστήριζαν πως τα τρέχοντα επίπεδα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης δεν ήταν επιβλαβή για την υγεία. Από το 1990 και έπειτα, πλήθος μελετών και δημοσιεύσεων αναφέρονται στις επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στη δημόσια υγεία, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι ακόμη και τα χαμηλότερα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης συνδέονταν με σοβαρές επιδράσεις στην υγεία και στο περιβάλλον.

Στο ακόλουθο **Σχήμα 1.1** φαίνεται η πυραμίδα των επιπτώσεων στην υγεία από την έκθεση του ανθρώπου στην ατμοσφαιρική ρύπανση [4] (Dominici et al. 2003).



Σχήμα 1.1: Πυραμίδα επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία (Dominici et al. 2003)

Διαπιστώθηκε ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση ήταν υπεύθυνη για διάφορες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία όπως η μείωση της αναπνευστικής ικανότητας, η αύξηση της συχνότητας των αναπνευστικών συμπτωμάτων και της χρήσης φαρμάκων, η μείωση της δραστηριότητας, η αύξηση των επισκέψεων σε γιατρούς και εξωτερικά ιατρεία, μέχρι και σοβαρότερες επιδράσεις όπως η αύξηση των εισαγωγών επειγόντων περιστατικών στα νοσοκομεία (με νοσήματα του αναπνευστικού και καρδιαγγειακού συστήματος), την αύξηση της θνησιμότητας και τη μείωση του προσδόκιμου επιβίωσης.

Στον ακόλουθο **Πίνακα 1.4** δίνονται τα κυριότερα προβλήματα που μπορεί να προκαλέσει στον άνθρωπο και στην υγεία του η ατμοσφαιρική ρύπανση και οι σχετιζόμενοι με αυτά ρύποι [5] (Council Directive 96/92/EC 1996).

Πίνακας 1.4: Ασθένειες και σχετιζόμενοι με αυτές ατμοσφαιρικοί ρύποι
(Council Directive 96/92/EC, 1996)

Ασθένειες	Σχετιζόμενοι ρύποι
Καρκίνος Καρκίνος του αναπνευστικού συστήματος Καρκίνος του πεπτικού συστήματος	Διοξείδιο του θείου Θειικά άλατα Αιωρούμενα σωματίδια Αμίαντος, Νικέλιο, Βηρύλλιο, Χρώμιο και γενικά τοξικές ουσίες Γενική ατμοσφαιρική ρύπανση
Ασθένειες του αναπνευστικού συστήματος που αυξάνουν τη νοσηρότητα και τη θνησιμότητα	Αιωρούμενα σωματίδια Διοξείδιο του θείου Διοξείδιο του αζώτου Καπνός Καυσαέρια αυτοκινήτων
Βρογχίτιδα	Αιωρούμενα σωματίδια Διοξείδιο του θείου Διοξείδιο του αζώτου Καπνός Καυσαέρια αυτοκινήτων
Πνευμονία	Διοξείδιο του θείου Καπνός Θειικά άλατα Πτώση αιθάλης
Φυματίωση	Διοξείδιο του θείου Αιωρούμενα σωματίδια
Εμφύσημα	Γενική ατμοσφαιρική ρύπανση Οξείδια του αζώτου
Καρδιαγγειακή νοσηρότητα και θνησιμότητα	Γενική ατμοσφαιρική ρύπανση Διοξείδιο του θείου Θειικά άλατα Αιωρούμενα σωματίδια

Στον ακόλουθο **Πίνακα 1.5** παρατίθενται οι κυριότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι, οι πηγές από τις οποίες προέρχονται και οι συνέπειες που αυτοί προκαλούν στη δημόσια υγεία [6],[7] (Council Directive 96/92/EC 1996, Council Directive 1999/30/EC 1999).

Πίνακας 1.5: Συμπτώματα που σχετίζονται με την ατμοσφαιρική ρύπανση και οι συνέπειές τους [6],[7] (ΕC 1996, 1999)

ΡΥΠΟΣ	ΠΗΓΕΣ	ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ
Διοξείδιο του αζώτου	Κάθε είδους καύση (αυτοκίνητα, θέρμανση κλπ). Παράγονται οξείδια του αζώτου (NO_x) που στη συνέχεια παρουσία όζοντος σχηματίζουν διοξείδιο του αζώτου.	Γενική ενόχληση στο αναπνευστικό σύστημα συμπεριλαμβανομένης της αυξανόμενης πιθανότητας της αναπνευστικής μόλυνσης και της εξασθενημένης λειτουργίας των πνευμόνων.
Μονοξείδιο του άνθρακα	Μεταφορές και βιομηχανία. Γενικά η καύση βασισμένων στον άνθρακα καυσίμων.	Μειώνει την ικανότητα μεταφοράς οξυγόνου στο αίμα. Σε χαμηλά επίπεδα μειώνει τη συγκέντρωση και σε πιο υψηλά επίπεδα προκαλεί πονοκέφαλους, ναυτία, ίλιγγο. Σε πολύ υψηλά επίπεδα μπορεί να οδηγήσει στο θάνατο.
Διοξείδιο του θείου	Καύση των στερεών καυσίμων και του πετρελαίου.	Προκαλεί δυσκολίες στην αναπνοή, ενόχληση στα μάτια, στη μύτη, στο λαιμό και στους πνεύμονες. Οι άνθρωποι που πάσχουν από άσθμα είναι πολύ πιο ευάλωτοι.
Όζον	Είναι φωτοχημικός ρύπος. Σχηματίζεται μετά από χημική αντίδραση άλλων ρύπων, παρουσία ηλιακού φωτός.	Η έκθεση στο όζον μπορεί να προκαλέσει μια ερεθιστική επίδραση στους πνεύμονες, φλεγμονή της αναπνευστικής οδού και βραχυπρόθεσμα αναπνευστικά προβλήματα.
Μόλυβδος	Βενζίνη και βιομηχανία.	Επηρεάζει τη διανοητική ανάπτυξη των παιδιών, στις δε πολύ υψηλές δόσεις δηλητηριάζει τον οργανισμό προκαλώντας ζημιές στον εγκέφαλο και διάφορα άλλα όργανα.
Βενζόλιο	Καύση και διανομή πετρελαίου.	Έκθεση για μεγάλα χρονικά διαστήματα

		μπορεί να οδηγήσει σε καρκίνο.
1,3 Βουταδιένιο	Καύση της βενζίνης και του ντίζελ και η παραγωγή των ελαστικών για τα αυτοκίνητα.	Έκθεση για μεγάλα χρονικά διαστήματα μπορεί να οδηγήσει σε καρκίνο.
Πρωτογενή αιωρούμενα σωματίδια	Κίνηση οχημάτων (μηχανές ντίζελ, φρένα και ελαστικά αυτοκινήτων). Βιομηχανικές πηγές (μονάδες παραγωγής ενέργειας).	Αναπνευστικά και καρδιαγγειακά προβλήματα. Έχουν μακροχρόνιες επιπτώσεις στον οργανισμό.
Δευτερογενή αιωρούμενα σωματίδια	Σχηματίζονται με την οξείδωση παρουσία όζοντος μερικών αέριων ρύπων (SO ₂ , NO ₂). Δημιουργούν στην ατμόσφαιρα λεπτόκοκκα σωματίδια.	Αναπνευστικά και καρδιαγγειακά προβλήματα. Έχουν μακροχρόνιες επιπτώσεις στον οργανισμό.

1.4 Ευρωπαϊκή νομοθεσία για την ατμοσφαιρική ρύπανση

Το βασικό πλαίσιο αναφοράς, για την εκτίμηση και τη διαχείριση της ποιότητας του αέρα του περιβάλλοντος για την Ευρωπαϊκή Ένωση καθορίζεται ουσιαστικά από την Οδηγία Πλαίσιο 1996/62/ΕΚ η οποία κατ' επέκταση εφαρμόζεται και στη χώρα μας.

Οδηγία 96/62/ΕΚ:

- ✓ ορίζει τις βασικές αρχές δράσης για όλα τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Επιπλέον, τα καθιστά υπεύθυνα για την εφαρμογή της οδηγίας με σκοπό τη διατήρηση αλλά και τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα εντός αυτών. Αυτό προϋποθέτει τον έλεγχο και τη μέτρηση της ποιότητας του αέρα του περιβάλλοντος σε όλη την επικράτεια των κρατών μελών. Η εκτίμηση αυτή καθίσταται υποχρεωτική για περιοχές με πληθυσμό άνω των 250000 κατοίκων ή για περιοχές όπου οι συγκεντρώσεις προσεγγίζουν τις οριακές τιμές. Οι οριακές τιμές και τα όρια συναγερμού, για κάθε ρύπο, καθορίζονται από το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο.
- ✓ Τα κράτη μέλη μεριμνούν για την τήρηση των οριακών τιμών. Για το λόγο αυτό οφείλουν να εκπονούν σχέδιο ή πρόγραμμα και στη συνέχεια να λαμβάνουν τα απαραίτητα μέτρα, έτσι ώστε να εκπληρώνονται οι γενικοί στόχοι της Οδηγίας Πλαίσιο. Επιπλέον,

πρέπει να εκτιμούν τον κίνδυνο υπέρβασης των ορίων συναγερμού και να εκπονούν σχέδια δράσης με βραχυχρόνια μέτρα. Ακόμη, τα κράτη μέλη είναι υποχρεωμένα να καταρτίσουν κατάλογο των ζωνών και των οικισμών όπου τα επίπεδα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης υπερβαίνουν τις οριακές τιμές.

- ✓ Σε περιπτώσεις υπέρβασης των ορίων συναγερμού, τα κράτη μέλη είναι υποχρεωμένα να μεριμνούν για την ενημέρωση του κοινού και να παρέχουν κάποιες ελάχιστες πληροφορίες για την αντιμετώπιση της κατάστασης. Επίσης, να διαβιβάζουν στην αρμόδια Επιτροπή κάθε σχετική πληροφορία.
- ✓ Σε περίπτωση που ορισμένες ζώνες και οικιστικές περιοχές παρουσιάζουν κατώτερα επίπεδα ρύπανσης από τις οριακές τιμές, τα κράτη μέλη οφείλουν να διατηρούν αυτά τα επίπεδα ρύπανσης.

Σε συνδυασμό με την Οδηγία Πλαίσιο 1996/62/ΕΚ, η Επιτροπή για την καλύτερη εφαρμογή της, προχώρησε στην εκπόνηση θυγατρικών οδηγιών με στόχο την κάλυψη όλων των εξεταζόμενων ρύπων. Οι θυγατρικές αυτές οδηγίες καθορίζουν τις επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις, τα περιθώρια ανοχής, τις τιμές - στόχους τις βασικές αρχές για την εγκατάσταση και λειτουργία σταθμών μέτρησης με στόχο την παροχή μετρήσεων, τα σχέδια δράσης σε περίπτωση υπέρβασης των ορίων, τους μακροπρόθεσμους στόχους, τα όρια συναγερμού και όρια ενημέρωσης του κοινού κ.α. Οι οδηγίες αυτές είναι:

Οδηγία 1999/30/ΕΚ: Είναι η πρώτη θυγατρική οδηγία της Οδηγίας Πλαίσιο 96/92/ΕΚ που εκδόθηκε στις 22 Απριλίου 1999 από το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο και αφορά στις οριακές τιμές διοξειδίου του θείου, οξειδίων του αζώτου, σωματιδίων και μολυβδου, στον αέρα του περιβάλλοντος. [6] (Council Directive 1999/30/EC)

Οδηγία 2000/69/ΕΚ: Αποτελεί τη δεύτερη θυγατρική οδηγία της Οδηγίας Πλαίσιο 96/92/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου της 16^{ης} Νοεμβρίου 2000 και αφορά στις οριακές τιμές βενζολίου και μονοξειδίου του άνθρακα στον αέρα του περιβάλλοντος. [7] (Council Directive 2000/69/EC)

Οδηγία 2002/3/ΕΚ: Είναι η τρίτη κατά σειρά θυγατρική οδηγία της Οδηγίας Πλαίσιο 96/92/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 12^{ης} Φεβρουαρίου 2002, σχετικά με το όζον (O₃) στον ατμοσφαιρικό αέρα. [8] (Council Directive 2002/3/EC)

Οδηγία 2004/ 107/ΕΚ: Η τέταρτη θυγατρική οδηγία της Οδηγίας Πλαίσιο 96/92/ΕΚ και αφορά στις οριακές τιμές του αρσενικού, καδμίου, υδραργύρου, νικελίου και των πολυκυκλικών υδρογονανθράκων στον ατμοσφαιρικό αέρα.

Μετά την βασική Οδηγία Πλαίσιο 96/92/ΕΚ και των τεσσάρων θυγατρικών οδηγιών, το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 21ης Μαΐου 2008, προχωρά στην έκδοση της ακόλουθης οδηγίας:

Οδηγία 2008/50/ΕΚ:

Αφορά στην ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη, η οποία συσσωματώνει την 96/62/ΕΚ και τις τέσσερις θυγατρικές της, όπως και την απόφαση 97/101/ΕΚ για την καθιέρωση διαδικασίας για την αμοιβαία ανταλλαγή πληροφοριών και δεδομένων ατμοσφαιρικής ρύπανσης από μεμονωμένους σταθμούς και δίκτυα.

Εκτός της Οδηγίας Πλαίσιο 96/62/ΕΚ και των θυγατρικών της, έχει εκδοθεί παράλληλα και μια σειρά άλλων οδηγιών που έχουν σχέση με τον έλεγχο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Ενδεικτικά αναφέρονται:

1. Οδηγία 94/63/ΕΚ, σχετικά με τον έλεγχο και περιορισμό των πτητικών οργανικών ουσιών VOCs από την αποθήκευση και διάθεση της βενζίνης.
2. Οδηγία 96/91/ΕΚ, για τον ολοκληρωμένο έλεγχο και πρόληψη της ρύπανσης.
3. Οδηγία 98/70/ΕΚ, σχετικά με την ποιότητα των καυσίμων βενζίνης και ντίζελ.
4. Οδηγία 99/13/ΕΚ, σχετικά με τον περιορισμό των πτητικών οργανικών ουσιών VOCs που οφείλονται στη χρήση οργανικών διαλυτών.
5. Οδηγία 99/96/ΕΚ, σχετικά με την προσέγγιση των νομοθεσιών των κρατών μελών σε σχέση με τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν κατά της εκπομπής αερίων και σωματιδιακών ρύπων από τους κινητήρες των αυτοκινήτων.
6. Οδηγία 01/27/ΕΚ, σχετικά με την προσαρμογή στην τεχνική πρόοδο της οδηγίας 88/77/ΕΕΕ του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου.
7. Οδηγία 01/80/ΕΚ, σχετικά με τον περιορισμό των εκπομπών στην ατμόσφαιρα συγκεκριμένων ρύπων.
8. Οδηγία 01/81/ΕΚ, σχετικά με τα εθνικά ανώτατα όρια εκπομπών για συγκεκριμένους ατμοσφαιρικούς ρύπους. (www.ypeka.gr)

Κεφάλαιο 2°

Γενικά περί Δεικτών Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης

2.1 Δείκτες Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης

Δείκτες ατμοσφαιρικής ρύπανσης χαρακτηρίζονται οι αριθμητικές τιμές που προκύπτουν από κάποιους αλγόριθμους εισάγοντας σε αυτούς τις τιμές των συγκεντρώσεων του υπό μελέτη κάθε φορά ατμοσφαιρικού ρύπου. Με τον τρόπο αυτό παρέχεται η δυνατότητα καλύτερης αποτίμησης της ποιότητας της ατμόσφαιρας και κατά συνέπεια των πιθανών επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στον πληθυσμό.

Ανά τον κόσμο χρησιμοποιούνται διάφορα κριτήρια για τον υπολογισμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης αλλά και τον χαρακτηρισμό της ποιότητας της ατμοσφαιρικής μιας περιοχής. Για το λόγο αυτό έχουν εισαχθεί διάφοροι περιβαλλοντικοί δείκτες ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της περιοχής. Η υποκειμενικότητα τους αυτή αποτελεί και το βασικό πρόβλημα των δεικτών ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Συγκεκριμένα, υπάρχουν χώρες που έχουν δημιουργήσει δικούς τους Δείκτες Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης με βάση τα εθνικά τους όρια ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Έτσι, δημιουργείται μια δυσκολία στην σύγκριση των τιμών της ατμοσφαιρικής ρύπανσης μεταξύ διαφορετικών Δεικτών.

Στη συνέχεια ακολουθεί μια χρονική αναφορά στους κυριότερους Δείκτες Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης σε παγκόσμια κλίμακα.

2.1.1 Πρότυπος Δείκτης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης (Pollution Standards Index-PSI)

Ο Δείκτης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης (Ott and Thom 1976, Ott and Hunt 1976, Thom and Ott 1976) εισήχθη στα μέσα της δεκαετίας του '70 από την Αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος (U.S.E.P.A.) λόγω της δραματικής αύξησης του αριθμού των ανθρώπων που εμφάνιζαν συμπτώματα αναπνευστικών δυσλειτουργιών. Η δημιουργία αυτού του Δείκτη Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης ήταν η τυποποίηση των εκθέσεων που αναφέρονταν στην ατμοσφαιρική ρύπανση.

Είναι ένας περιβαλλοντικός δείκτης, κατάλληλος για την εκτίμηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα μιας περιοχής και υπολογίζεται από τις τιμές συγκέντρωσης των ρύπων NO₂, SO₂, CO, O₃ και αιωρούμενων σωματιδίων (TSP).

Ο δείκτης PSI μετατρέπει τις τιμές συγκέντρωσης των ρύπων σε απλές αριθμητικές τιμές που κυμαίνονται μεταξύ του 0 και του 500 δίνοντας έτσι ξεχωριστές κατηγορίες ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, όπως φαίνεται και στον ακόλουθο **Πίνακα 2.1**, με βάση την τιμή του δείκτη (Boudel et al. 1994).

Πίνακας 2.1: Κλίμακα εκτίμησης της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα βάση τις τιμές του δείκτη PSI [1] (Boudel et al. 1994)

PSI	Κατηγορία ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα
0-50	Καλή
51-100	Μέτρια
101-200	Ανθυγιεινή
201-300	Πολύ ανθυγιεινή
>300	Επικίνδυνη για τη δημόσια υγεία

Για τον υπολογισμό της ημερήσιας τιμής του δείκτη, υπολογίζονται πέντε επιμέρους υποδείκτες, ένας για κάθε ρύπο. Η μέγιστη τιμή αυτών των πέντε υποδεικτών, αποτελεί και την ημερήσια τιμή του δείκτη PSI, σύμφωνα την ακόλουθη σχέση:

$$PSI = \max(I_1, I_2, I_3, I_4, I_5)$$

όπου:

I_1 είναι ο επιμέρους δείκτης με βάση τις μέσες 24ωρες τιμές συγκέντρωσης PM_{10}

I_2 ο επιμέρους δείκτης με βάση τις μέσες 24ωρες τιμές συγκέντρωσης του SO_2

I_3 ο επιμέρους δείκτης με βάση τις μέσες 8ωρες τιμές συγκέντρωσης του CO

I_4 ο επιμέρους δείκτης με βάση τις ωριαίες τιμές συγκέντρωσης του O_3

I_5 ο επιμέρους δείκτης με βάση τις τιμές συγκέντρωσης του NO_2

Οι τιμές των επιμέρους δεικτών και τα αντίστοιχα όρια τιμών συγκέντρωσης των ρύπων που τις διαμορφώνουν, δίνονται στον **Πίνακα 2.2**.

Πίνακας 2.2: Τιμές των επιμέρους δεικτών του δείκτη PSI [1] (Boudel et al. 1994)

I_i	PM_{10} $\mu g/m^3$ (24 hr)	SO_2 $\mu g/m^3$ (24 hr)	CO mg/m^3 (8 hr)	O_3 $\mu g/m^3$ (1 hr)	NO_2 $\mu g/m^3$ (1 hr)
0	0	0	0	0	***
50	50	80	5	118	***
100	150	365	10	235	***
200	380	800	17	400	1130
300	420	1600	34	800	2260
400	500	2100	46	1000	3000
500	>500	>2100	>46	>1000	>3000

Ο υπολογισμός των τιμών του επιμέρους δείκτη I_1 γίνεται από τα επίπεδα των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων. Από τις τιμές της 2^{ης} στήλης του Πίνακα 4.9 διαπιστώνεται ότι ο επιμέρους δείκτης I_1 εκφράζεται από μια συνεχή και κατά τμήματα γραμμική συνάρτηση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων.

Με βάση την κατά τμήματα παρατηρούμενη γραμμικότητα, καθορίζεται η συνάρτηση υπολογισμού των τιμών του επιμέρους δείκτη I_1 που αντιστοιχεί στις 24ωρες συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων με τη βοήθεια κατάλληλης μεθόδου παρεμβολής (παρεμβολή με συναρτήσεις splines), που είναι :

$$I_1 = \frac{I_{i+1} - I_i}{C_{i+1} - C_i} (C - C_i) + I_i$$

όπου I_i με $i=0(1)6$ είναι οι τιμές του επιμέρους δείκτη I_1 και C_i με $i=0(1)6$ είναι οι αντίστοιχες 24ωρες τιμές της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων, που εμφανίζονται στον **Πίνακα 2.3**.

Από τις τιμές του **Πίνακα 2.3** διαπιστώνεται ότι ο επιμέρους δείκτης I_1 εκφράζεται από μια συνεχή και κατά τμήματα γραμμική συνάρτηση της συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων. Στους **Πίνακες 2.3** έως **2.7** δίνονται οι συναρτήσεις πρώτου βαθμού που ισχύουν τμηματικά μεταξύ των διαδοχικών ζευγών των σημείων του **Πίνακα 2.3** για κάθε έναν από τους εξεταζόμενους ατμοσφαιρικούς ρύπους χωριστά.

Πίνακας 2.3: Συναρτήσεις υπολογισμού τιμών επιμέρους δείκτη για το όζον

O ₃ (1h) μg/m ³	PSI	Συναρτήσεις πρώτου βαθμού
0-118	0-50	0.4166*[O₃]
118-235	50-100	0.4274*[O₃]-0.439
235-400	100-200	0.606*[O₃]-42.424
400-800	200-300	0.25*[O₃]+100
800-1200	300-500	0.5*[O₃]-100

Πίνακας 2.4: Συναρτήσεις υπολογισμού τιμών επιμέρους δείκτη για το διοξείδιο του θείου

SO ₂ (24h) μg/m ³	PSI	Συναρτήσεις πρώτου βαθμού
0-80	0-50	0.625*[SO₂]
80-365	50-100	0.1754*[SO₂]+35.965
365-800	100-200	0.2298*[SO₂]+16.0919
800-1600	200-300	0.125 *[SO₂]+100
1600-2100	300-400	0.2*[SO₂]-20
2100-2620	400-500	0.1923*[SO₂]-3.8461

Πίνακας 2.5: Συναρτήσεις υπολογισμού τιμών επιμέρους δείκτη για το μονοξείδιο του άνθρακα

CO (8h) mg/m ³	PSI	Συναρτήσεις πρώτου βαθμού
0-5	0-50	10*[CO]
5-10	50-100	10*[CO]
10-17	100-200	14.2857*[CO]-42.86
17-34	200-300	5.882*[CO]+100
34-46	300-400	8.333*[CO]+16.666
46-57.5	400-500	8,6959*[CO]

Πίνακας 2.6: Συναρτήσεις υπολογισμού τιμών επιμέρους δείκτη για τα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀

PM ₁₀ (24h) μg/m ³	PSI	Συναρτήσεις πρώτου βαθμού
0-50	0-50	[PM ₁₀]
50-150	50-100	0.5*[PM ₁₀]+25
150-380	100-200	0.435*[PM ₁₀]+34.7826
380-420	200-300	2.5*[PM ₁₀]-750
420-500	300-400	1.25*[PM ₁₀]-225
500-625	400-500	0.8*[PM ₁₀]

Πίνακας 2.7: Συναρτήσεις υπολογισμού τιμών επιμέρους δείκτη για το διοξείδιο του αζώτου

NO ₂ (1h) μg/m ³	PSI	Συναρτήσεις πρώτου βαθμού
***	0-50	***
***	50-100	***
***	100-200	***
1130-2260	200-300	0.08849*[NO ₂]+100
2260-3000	300-400	0.1351*[NO ₂]-5.405
3000-3750	400-500	0.1333*[NO ₂]

Η κλίμακα εκτίμησης της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα συνδέεται με άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις στη δημόσια υγεία και κυρίως σε ευπαθείς ομάδες του πληθυσμού, όπως νήπια, ηλικιωμένοι, άνθρωποι με αναπνευστικά και καρδιολογικά προβλήματα κλπ.

Στον **Πίνακα 2.8** εμφανίζονται , σε σχέση με την τιμή του δείκτη PSI, οι πιθανές επιπτώσεις στην υγεία του πληθυσμού της υπό μελέτη περιοχής.

Πίνακας 2.8: Κλίμακα συσχέτισης της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα με πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία της υπό μελέτη περιοχής (Boudel et al. 1994)

PSI	Κατηγορία ποιότητας ατμοσφαιρικού αέρα	Πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία
0-50	Καλή	Καμία επίπτωση για το σύνολο του πληθυσμού
51-100	Μέτρια	Μερικές ή καθόλου επιπτώσεις στο σύνολο του πληθυσμού
101-200	Ανθυγιεινή	Ελαφρά επιδείνωση των συμπτωμάτων στις πιο ευάλωτες κατηγορίες του πληθυσμού, με συμπτώματα ερεθισμού της υγείας του πληθυσμού
201-300	Πολύ ανθυγιεινή	Σημαντική επιδείνωση των συμπτωμάτων και μειωμένη αντοχή σε άτομα με καρδιακά ή αναπνευστικά προβλήματα υγείας. Εκτεταμένα συμπτώματα στην υγεία του πληθυσμού
>300	Επικίνδυνα ανθυγιεινή	Πρώιμη εμφάνιση ορισμένων ασθενειών με σημαντική αύξηση της επιδείνωσης των συμπτωμάτων και μείωση της αντοχής στην υγεία του ανθρώπου. Σε περιπτώσεις όπου $PSI > 400$, ενδέχεται να προκληθούν πρόωροι θάνατοι από ασθένειες και κυρίως σε ηλικιωμένα άτομα.

2.1.2 Δείκτης Ρύπανσης του Αέρα του Hong-Kong (Hong-Kong Air Pollution Index-API)

Στα μέσα του 1995, το Τμήμα Προστασίας του Περιβάλλοντος στο Hong-Kong ανέπτυξε και χρησιμοποίησε ένα δείκτη ποιότητας του αέρα με σκοπό την παρακολούθηση και καταγραφή της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα με την ταυτόχρονη ενημέρωση τόσο της πολιτείας για τη λήψη μέτρων, όσο και του πληθυσμού. Ο δείκτης αυτός είναι γνωστός ως Honh - Kong Air Pollution Index-API.

Ο υπολογισμός του δείκτη βασίζεται στις τιμές συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων NO_2 , SO_2 , CO , O_3 και εισπνεόμενων αιωρούμενων σωματιδίων γνωστών ως RSP (Respirable Suspended Particulates). Οι τιμές που παίρνει ο δείκτης κυμαίνονται από 0 έως και 500 και με βάση αυτές, δίνονται οι κατηγορίες ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα καθώς και οι πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία, όπως παρουσιάζεται και στον ακόλουθο **Πίνακα 2.9**.

Πίνακας 2.9: Κατηγορίες τιμών του δείκτη API και πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία [9](Hong-Kong Medical Association. Available at: <http://www.info.gov.hk>)

Τιμές δείκτη API	Κατηγορία ποιότητας αέρα	Πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία
0-25	Καλή	Κανένα πρόβλημα για τη δημόσια υγεία
26-50	Μέτρια	Χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα στο σύνολο του πληθυσμού
51-100	Κακή	Ελάχιστοι άνθρωποι εμφανίζουν προβλήματα και ιδιαίτερα αυτοί που είναι εκτεθειμένοι σε τέτοια ποιότητα αέρα για μεγάλα χρονικά διαστήματα
101-200	Πολύ κακή	Άνθρωποι με καρδιακά και αναπνευστικά προβλήματα θα παρουσιάζουν επιδείνωση της υγείας τους. Συμπτώματα δυσφορίας θα εμφανίσουν ακόμα και άνθρωποι χωρίς προβλήματα υγείας στο παρελθόν.
201-500	Επικίνδυνη	Άνθρωποι με καρδιακά και αναπνευστικά προβλήματα θα παρουσιάζουν σοβαρή επιδείνωση της υγείας τους. Συμπτώματα έντονης δυσφορίας θα εμφανίσουν ακόμα και άνθρωποι χωρίς προβλήματα υγείας στο παρελθόν.

Στον **Πίνακα 2.10** παρουσιάζονται οι επιμέρους τιμές του δείκτη API και τα αντίστοιχα όρια των τιμών συγκέντρωσης των ρύπων που τις διαμορφώνουν.

Πίνακας 2.10: Ταξινόμηση τιμών του δείκτη API με βάση τις τιμές συγκεντρώσεων των ατμοσφαιρικών ρύπων που τις διαμορφώνουν (Hong-Kong Medical Association. Available at: <http://www.info.gov.hk>).

Τιμές δείκτη API	RSP (24 hr) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	SO ₂ (24 hr) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	SO ₂ (1 hr) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	NO ₂ (24 hr) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	NO ₂ (1 hr) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	CO (8 hr) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	CO (1 hr) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	O ₃ (1 hr) $\mu\text{g}/\text{m}^3$
0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	28	40	200	40	75	2500	7500	60
50	55	80	400	80	150	5000	15000	120
100	180	350	800	150	300	10000	30000	240
200	350	800	1600	280	1130	17000	60000	400
300	420	1600	2400	565	2260	34000	90000	800
400	500	2100	3200	750	3000	46000	120000	1000
500	600	2620	4000	940	3750	57000	150000	1200

2.1.3 Ημερήσιος Δείκτης Ποιότητας Αέρα (Daily Air Quality Index-DAQx)

Στις αρχές της δεκαετίας του 2000 στο Freiburg της Γερμανίας, αναπτύχθηκε και εξετάστηκε ένας δείκτης ατμοσφαιρικής ρύπανσης που αναφέρεται σε ημερήσια βάση. Για τη δημιουργία του δείκτη αυτού, συνεργάστηκαν το Ινστιτούτο

Μετεωρολογίας του Πανεπιστημίου με το Ινστιτούτο Έρευνας και Πληροφόρησης Επικίνδυνων Ουσιών της πόλης (Mayer et al. 2002a, 2002b).

Έχει επικρατήσει η αναφορά στον δείκτη αυτό με τα αρχικά DAQx (**D**aily **A**ir **Q**uality index) και οι τιμές του δείκτη αυτού υπολογίζονται με βάση την ακόλουθη σχέση για τους ρύπους NO₂, SO₂, CO, O₃ και PM₁₀:

$$DAQx = \left[\left(\frac{DAQx_{\text{άνω}} - DAQx_{\text{κάτω}}}{C_{\text{άνω}} - C_{\text{κάτω}}} \right) \times (C_{\text{στιγ.}} - C_{\text{κάτω}}) \right] + DAQx_{\text{κάτω}}$$

όπου :

C_{στιγ.} : η μέγιστη ημερήσια ωριαία τιμή συγκέντρωσης του ατμοσφαιρικού ρύπου (NO₂, SO₂ και O₃ σε µg/m³), η μεγαλύτερη ημερήσια μέση τιμή συγκέντρωσης κυλιόμενου 8ωρου για το CO σε mg/m³ και η μέση ημερήσια τιμή συγκέντρωσης των PM₁₀ σε µg/m³.

C_{άνω} : το άνω όριο συγκέντρωσης κάθε ρύπου (Πίνακας 2.2)

C_{κάτω} : το κάτω όριο συγκέντρωσης κάθε ρύπου (Πίνακας 2.2)

DAQx_{άνω} : η τιμή του δείκτη σύμφωνα με την τιμή συγκέντρωσης C_{άνω} (Πίνακας 2.2)

DAQx_{κάτω} : η τιμή του δείκτη σύμφωνα με την τιμή συγκέντρωσης C_{κάτω} (Πίνακας 2.2)

Για κάθε ρύπο, υπολογίζεται η μέγιστη ημερήσια τιμή του δείκτη. Τέλος, ως ημερήσια τιμή του δείκτη DAQx αναφέρεται η μεγαλύτερη από τις επιμέρους τιμές που έχουν προκύψει για κάθε ρύπο χωριστά.

Στους **Πίνακες 2.11** έως **2.15** εμφανίζονται, για κάθε ρύπο χωριστά, οι επιμέρους κατά τμήματα γραμμικές συναρτήσεις, με βάση τις οποίες υπολογίζονται οι τιμές του δείκτη DAQx.

Πίνακας 2.11: Επιμέρους συναρτήσεις υπολογισμού τιμών του δείκτη DAQx για το διοξείδιο του θείου

SO ₂ (µg/m ³) (1 hr)	Επιμέρους συναρτήσεις πρώτου βαθμού	Τιμή DAQx	Τάξη DAQx	Κατηγορία ποιότητας αέρα
0-24	0.0375*C + 0.5	0.5-1.4	1	Πολύ καλή
25-49	0.0375*C + 0.5625	1.5-2.4	2	Καλή
50-119	0.0131*C + 1.8478	2.5-3.4	3	Ικανοποιητική
120-349	0.0039*C + 3.03	3.5-4.4	4	Επαρκής
350-999	0.0014*C + 4.01	4.5-5.4	5	Κακή
≥1000	0.0055*C	≥5.5	6	Πολύ κακή

Πίνακας 2.12: Επιμέρους συναρτήσεις υπολογισμού τιμών του δείκτη DAQx για το μονοξείδιο του άνθρακα.

CO (mg/m ³) (8 hr)	Επιμέρους συναρτήσεις πρώτου βαθμού	Τιμή DAQx	Τάξη DAQx	Κατηγορία ποιότητας αέρα
0.0-0.9	C + 0.5	0.5-1.4	1	Πολύ καλή
1.0-1.9	C + 0.5	1.5-2.4	2	Καλή
2.0-3.9	0.04737*C + 1.5526	2.5-3.4	3	Ικανοποιητική
4.0-9.9	0.1525*C + 2.8898	3.5-4.4	4	Επαρκής
10.0-29.9	0.0452*C + 4.0477	4.5-5.4	5	Κακή
≥30.0	0.18333*C	≥5.5	6	Πολύ κακή

Πίνακας 2.13: Επιμέρους συναρτήσεις υπολογισμού τιμών του δείκτη DAQx για το διοξείδιο του αζώτου

NO ₂ (μg/m ³) (1 hr)	Επιμέρους συναρτήσεις πρώτου βαθμού	Τιμή DAQx	Τάξη DAQx	Κατηγορία ποιότητας αέρα
0-24	0.0375*C + 0.5	0.5-1.4	1	Πολύ καλή
25-49	0.0375*C + 0.5625	1.5-2.4	2	Καλή
50-99	0.01834*C + 1.5816	2.5-3.4	3	Ικανοποιητική
100-199	0.0091*C + 2.5909	3.5-4.4	4	Επαρκής
200-499	0.003*C + 3.898	4.5-5.4	5	Κακή
≥500	0.011*C	≥5.5	6	Πολύ κακή

Πίνακας 2.14: Επιμέρους συναρτήσεις υπολογισμού τιμών του δείκτη DAQx για το όζον

O ₃ (μg/m ³) (1 hr)	Επιμέρους συναρτήσεις πρώτου βαθμού	Τιμή DAQx	Τάξη DAQx	Κατηγορία ποιότητας αέρα
0-32	0.02815*C + 0.5	0.5-1.4	1	Πολύ καλή
33-64	0.029*C + 0.5419	1.5-2.4	2	Καλή
65-119	0.01666*C + 1.4166	2.5-3.4	3	Ικανοποιητική
120-179	0.01525*C + 1.6695	3.5-4.4	4	Επαρκής
180-239	0.01525*C + 1.7542	4.5-5.4	5	Κακή
≥240	0.02292*C	≥5.5	6	Πολύ κακή

Πίνακας 2.15: Επιμέρους συναρτήσεις υπολογισμού τιμών του δείκτη DAQx για τα αιωρούμενα σωματίδια (PM₁₀)

PM ₁₀ (μg/m ³) (24 hr)	Επιμέρους συναρτήσεις πρώτου βαθμού	Τιμή DAQx	Τάξη DAQx	Κατηγορία ποιότητας αέρα
0.0-9.9	0.0909*C + 0.5	0.5-1.4	1	Πολύ καλή
10.0-19.9	0.0909*C + 0.5909	1.5-2.4	2	Καλή
20.0-34.9	0.0604*C + 1.2919	2.5-3.4	3	Ικανοποιητική
35.0-49.9	0.0604*C + 1.3859	3.5-4.4	4	Επαρκής
50.0-99.9	0.018*C + 3.5982	4.5-5.4	5	Κακή
≥100	0.055*C	≥5.5	6	Πολύ κακή

Με βάση τις τιμές συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων όπου υπολογίζεται η ημερήσια τιμή του Δείκτη DAQx, έχει δημιουργηθεί ο ακόλουθος πίνακας για τον χαρακτηρισμό της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα.

Πίνακας 2.16: Ταξινόμηση τιμών του δείκτη DAQx και της ποιότητας της ατμόσφαιρας με βάση τις τιμές συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων NO₂, SO₂, CO, O₃ και PM₁₀. (Mayer et al. 2002a, 2002b)

SO ₂ (μg/m ³) (1 hr)	CO (mg/m ³) (8 hr)	NO ₂ (μg/m ³) (1 hr)	O ₃ (μg/m ³) (1 hr)	PM ₁₀ (μg/m ³) (24 hr)	Τιμή DAQx	Τάξη DAQx	Κατηγορία ποιότητας αέρα
0-24	0.0-0.9	0-24	0-32	0.0-9.9	0.5-1.4	1	Πολύ καλή
25-49	1.0-1.9	25-49	33-64	10.0-19.9	1.5-2.4	2	Καλή
50-119	2.0-3.9	50-99	65-119	20.0-34.9	2.5-3.4	3	Ικανοποιητική
120-349	4.0-9.9	100-199	120-179	35.0-49.9	3.5-4.4	4	Επαρκής
350-999	10.0-29.9	200-499	180-239	50.0-99.9	4.5-5.4	5	Κακή
≥1000	≥30.0	≥500	≥240	≥100	≥5.5	6	Πολύ κακή

2.1.4 Δείκτης Ποιότητας Αέρα (Air Quality Index-AQI)

Η Αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος (U.S.E.P.A), το 1999, αναθεώρησε και μετασχημάτισε τον πρότυπο δείκτη ατμοσφαιρικής ρύπανσης PSI, μετονομάζοντας τον παράλληλα σε Δείκτη Ποιότητας Αέρα (Air Quality Index-AQI). Ο δείκτης AQI υπολογίζεται για κάθε ρύπο χωριστά, με βάση την παρακάτω εξίσωση (U.S.E.P.A, 1999):

$$I_i = \frac{I_{\text{άνω}} - I_{\text{κάτω}}}{C_{\text{άνω}} - C_{\text{κάτω}}} * (C_{\text{στιγ.}} - C_{\text{κάτω}}) + I_{\text{κάτω}}$$

όπου:

$I_{άνω}$: η τιμή του δείκτη AQI σύμφωνα με την τιμή συγκέντρωσης $C_{άνω}$ (Πίνακας 2.16)

$I_{κάτω}$: η τιμή του δείκτη AQI σύμφωνα με την τιμή συγκέντρωσης $C_{κάτω}$ (Πίνακας 2.16)

$C_{στιγ.}$: η τιμή συγκέντρωσης του ρύπου τη στιγμή που υπολογίζεται ο δείκτης και με βάση τα εθνικά όρια ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Πίνακας 2.16)

$C_{άνω}$: η ανώτερη τιμή συγκέντρωσης κάθε ρύπου χωριστά (Πίνακας 2.16)

$C_{κάτω}$: η μικρότερη τιμή συγκέντρωσης κάθε ρύπου χωριστά (Πίνακας 2.16)

Στον **Πίνακα 2.17** (Franceschini et al. 2005) δίνονται οι τιμές συγκέντρωσης με τα άνω και κάτω όριά τους, για κάθε ρύπο χωριστά καθώς επίσης και οι αντίστοιχες ανώτερες και κατώτερες τιμές του δείκτη ατμοσφαιρικής ρύπανσης AQI.

Αφού υπολογιστούν οι επιμέρους δείκτες, για κάθε ρύπο χωριστά, ως ημερήσια τιμή του δείκτη AQI θεωρείται η μεγαλύτερη από τις επιμέρους τιμές.

Πίνακας 2.17: Τιμές των επιμέρους δεικτών του δείκτη AQI (Franceschini et al. 2005)

Τιμή AQI	0-50	51-100	101-150	151-200	201-300	301-500
PM ₁₀ μg/m ³ (24 hr)	0-54	55-154	155-254	255-354	355-424	>424
PM _{2.5} μg/m ³ (24 hr)	0-15.4	15.5-40.4	40.5-65.4	65.5-150.4	150.5-250.4	>250.4
CO ppm (8 hr)	0-4.4	4.5-9.4	9.5-12.4	12.5-15.4	15.5-30.4	>30.4
SO ₂ ppm (24 hr)	0-0.034	0.035-0.144	0.145-0.225	0.225-0.304	0.305-0.604	>0.604
O ₃ ppm (8 hr)	0-0.064	0.065-0.084	0.085-0.104	0.105-0.124	0.125-0.374	>0.374
O ₃ ppm (1 hr)	***	***	0.125-0.164	0.165-0.204	0.205-0.404	>0.404
NO ₂ ppm (1hr)	***	***	***	***	0.65-1.24	>1.24

Από τις τιμές του **Πίνακα 2.17** διαπιστώνεται ότι ο επιμέρους δείκτης I_i εκφράζεται από μια συνεχή και κατά τμήματα γραμμική συνάρτηση της συγκέντρωσης του εκάστοτε ατμοσφαιρικού ρύπου.

Στους **Πίνακες 2.18** έως **2.22** παρουσιάζονται οι συναρτήσεις πρώτου βαθμού που ισχύουν τμηματικά μεταξύ των διαδοχικών ζευγών των σημείων του **Πίνακα 2.16** για κάθε έναν από τους εξεταζόμενους ατμοσφαιρικούς ρύπους χωριστά.

Πίνακας 2.18: Συναρτήσεις υπολογισμού τιμών επιμέρους δείκτη για το όζον

O₃ (8 hr) μg/m³	AQI	Συναρτήσεις πρώτου βαθμού
0-137	0-50	$0.3649 \cdot [O_3]$
138-180	51-100	$1.1666 \cdot [O_3] - 110$
181-223	101-150	$1.1666 \cdot [O_3] - 110$
224-266	151-200	$1.1666 \cdot [O_3] - 110$
267-800	201-300	$0.1857 \cdot [O_3] + 151$
>800	301-500	$0.3758 \cdot [O_3]$

Πίνακας 2.19: Συναρτήσεις υπολογισμού τιμών επιμέρους δείκτη για το διοξείδιο του θείου

SO₂ (24 hr) μg/m³	AQI	Συναρτήσεις πρώτου βαθμού
0-97	0-50	$0.5154 \cdot [SO_2]$
98-412	51-100	$0.156 \cdot [SO_2] + 35.7$
413-640	101-150	$0.2158 \cdot [SO_2] + 11.85$
641-869	151-200	$0.2149 \cdot [SO_2] + 13.2$
870-1727	201-300	$0.1155 \cdot [SO_2] + 100.5$
1728-2300	301-500	$0.3479 \cdot [SO_2] - 300.2$

Πίνακας 2.20: Συναρτήσεις υπολογισμού τιμών επιμέρους δείκτη για το μονοξείδιο του άνθρακα

CO (8 hr) mg/m³	AQI	Συναρτήσεις πρώτου βαθμού
0-5.5	0-50	$9.0909 \cdot [CO]$
5.6-11.76	51-100	$7.9545 \cdot [CO] + 6.4545$
11.77-15.5	101-150	$13.1367 \cdot [CO] - 53.62$
15.6-19.25	151-200	$13.4246 \cdot [CO] - 58.42$
19.26-38.0	201-300	$5.2828 \cdot [CO] + 99.253$
38.1-50.5	301-500	$16.0484 \cdot [CO] - 310.4$

Πίνακας 2.21: Συναρτήσεις υπολογισμού τιμών επιμέρους δείκτη για τα αιωρούμενα σωματίδια (PM₁₀)

PM ₁₀ (24 hr) μg/m ³	AQI	Συναρτήσεις πρώτου βαθμού
0-54	0-50	0.9259*[PM ₁₀]
55-154	51-100	0.4949*[PM ₁₀]+23.778
155-254	101-150	0.4949*[PM ₁₀]+24.283
255-354	151-200	0.4949*[PM ₁₀]+24.788
355-424	201-300	1.4349*[PM ₁₀]-308.35
425-604	301-500	1.1117*[PM ₁₀]-171.49

Πίνακας 2.22: Συναρτήσεις υπολογισμού τιμών επιμέρους δείκτη για το διοξείδιο του αζώτου

NO ₂ (1 hr) μg/m ³	AQI	Συναρτήσεις πρώτου βαθμού
***	0-50	***
***	51-100	***
***	101-150	***
***	151-200	***
1330-2542	201-300	0.0817*[NO ₂]+92.361
2543-4182	301-500	0.1214*[NO ₂]-7.7596

Ο δείκτης AQI δημιουργήθηκε με σκοπό την κατανόηση των πιθανών επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στη δημόσια υγεία, σε τοπικό επίπεδο. Για το λόγο αυτό χωρίζεται σε έξι διαφορετικές κατηγορίες ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα που με τη σειρά τους αντιπροσωπεύονται από έξι διαφορετικά χρώματα, όπως εμφανίζονται και στον ακόλουθο **Πίνακα 2.23**. Σε κάθε κατηγορία τιμών του δείκτη AQI αντιστοιχούν και κάποιες πιθανές επιπτώσεις στην υγεία του πληθυσμού (U.S. EPA 1999).

Πίνακας 2.23: Κατηγορίες τιμών του δείκτη AQI και πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία (U.S. EPA 1999)

Τιμές δείκτη AQI	Κατηγορία ποιότητας αέρα	Πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία
0-50	Καλή	Καμία επίπτωση για το σύνολο του πληθυσμού
51-100	Μέτρια	Μερικές ή καθόλου επιπτώσεις στο σύνολο του πληθυσμού
101-150	Ανθυγιεινή για ευαίσθητες ομάδες του πληθυσμού	Ελαφρά επιδείνωση των συμπτωμάτων στις πιο ευάλωτες κατηγορίες του πληθυσμού, με συμπτώματα ερεθισμού της υγείας του πληθυσμού
151-200	Ανθυγιεινή	Σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία των πιο ευάλωτων ομάδων του πληθυσμού
201-300	Πολύ ανθυγιεινή	Σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία του συνόλου σχεδόν του πληθυσμού
301-500	Επικίνδυνα ανθυγιεινή	Σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία του συνόλου του πληθυσμού με ανάγκη λήψης άμεσων μέτρων

2.1.5 Δείκτης Ρύπανσης του Αέρα του Bristol (Bristol Air Pollution Index-BAPI)

Το 2006 στη Μεγάλη Βρετανία ο δήμος του Bristol, χρησιμοποιεί ένα δείκτη ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα που βασίστηκε σε ένα πλήθος μελετών πάνω στις επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στη δημόσια υγεία (Bristol City Council Air Quality 2006). Ο δείκτης BAPI υπολογίζεται με βάση τη συγκέντρωση των ατμοσφαιρικών ρύπων NO₂, SO₂, CO, O₃ και PM₁₀. Συγκεκριμένα, υπολογίζεται για κάθε έναν από τους ρύπους αυτούς και ως ημερήσια τιμή του δείκτη θεωρείται η μεγαλύτερη τιμή του, στο σύνολο των πέντε εξεταζόμενων ρύπων.

Στον Πίνακα 2.24 δίνονται οι τιμές του δείκτη BAPI καθώς επίσης ο χαρακτηρισμός της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα με τις αντίστοιχες πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία.

Πίνακας 2.24: Τιμές του δείκτη BAPI και χαρακτηρισμός της ποιότητας του αέρα με τις πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία (Bristol City Council Air Quality 2006)

Τιμές δείκτη BAPI	Κατηγορία ποιότητας αέρα	Πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία
1-3	Καλή	Καμία ενόχληση δεν παρατηρείται ακόμα και σε ευαίσθητες ομάδες του πληθυσμού
4-6	Μέτρια	Λίγες ενοχλήσεις σε ευαίσθητες ομάδες του πληθυσμού χωρίς την ανάγκη λήψης μέτρων
7-9	Κακή	Σοβαρά προβλήματα σε ευαίσθητες ομάδες του πληθυσμού. Ανάγκη λήψης μέτρων για τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης
10	Πολύ κακή	Επικίνδυνα συμπτώματα για την υγεία του πληθυσμού. Ανάγκη επιβολής άμεσων μέτρων για την προστασία της υγείας του πληθυσμού

Στον **Πίνακα 2.25** δίνονται τα επιμέρους όρια συγκέντρωσης κάθε ρύπου με την αντίστοιχη τιμή του δείκτη BAPI.

Πίνακας 2.25: Ταξινόμηση τιμών του δείκτη BAPI με βάση τις τιμές συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων NO₂, SO₂, CO, O₃ και PM₁₀ (Bristol City Council Air Quality 2006)

Τιμή δείκτη (BAPI)	Κατηγορία ποιότητας αέρα	PM ₁₀ (24 hr) μg/m ³	SO ₂ Μέση τιμή (15 min) μg/m ³	CO (8 hr) mg/m ³	O ₃ (8 hr) μg/m ³	NO ₂ (1 hr) μg/m ³
1	Καλή	0-16	0-88	0-3.8	0-32	0-95
2	Καλή	17-32	89-176	3.9-7.6	33-66	96-190
3	Καλή	33-49	177-265	7.7-11.5	67-99	191-286
4	Μέτρια	50-57	266-354	11.6-13.4	100-126	287-381
5	Μέτρια	58-66	355-442	13.5-15.4	127-152	382-476
6	Μέτρια	67-74	443-531	15.5-17.3	153-179	477-572
7	Κακή	75-82	532-708	17.4-19.2	180-239	573-635
8	Κακή	83-91	709-886	19.3-21.2	240-299	636-700
9	Κακή	92-99	887-1063	21.3-23.1	300-359	701-763
10	Πολύ κακή	>99	>1063	>23.1	>359	>763

2.1.6 Ινδικός Δείκτης Ποιότητας του Αέρα (Indian Air Quality Index, IND-AQI)

Στο Νέο Δελχί της Ινδίας, δημιουργείται από το Κέντρο Ελέγχου Ρύπανσης της πόλης, ένας Εθνικός Δείκτης Ποιότητας της Ατμόσφαιρας, ο Ινδικός AQI (IND-AQI), με σκοπό να αποτυπώσει την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα. Ο δείκτης αυτός βασίζεται στην ίδια περίπου λογική με τον Αμερικανικό δείκτη ποιότητας του αέρα AQI.

Οι τιμές συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων παρακολουθούνται και καταγράφονται από το Εθνικό Πρόγραμμα Παρακολούθησης της Ποιότητας του Ατμοσφαιρικού Αέρα της Ινδίας και αφορούν στους ρύπους NO₂, SO₂, CO, O₃ και PM₁₀. Για τον προσδιορισμό της ημερήσιας τιμής του δείκτη είναι απαραίτητη η καταγραφή της συγκέντρωσης τουλάχιστον τριών από τους πέντε υπό μελέτη ρύπους.

Για κάθε ρύπο υπολογίζεται ένας υποδείκτης με βάση όρια που έχουν οριστεί για τις τιμές συγκέντρωσής του (**Πίνακας 2.26**). Ως ημερήσια τιμή του δείκτη IND-AQI θεωρείται η μεγαλύτερη τιμή από αυτές των υποδεικτών. Στη συνέχεια και στον **Πίνακα 2.26** εμφανίζονται τόσο οι τιμές των επιμέρους δεικτών, όσο και τα αντίστοιχα όρια τιμών συγκέντρωσης των ρύπων που τις διαμορφώνουν.

Πίνακας 2.26: Ταξινόμηση τιμών του δείκτη IND-AQI με βάση τις τιμές συγκεντρώσεων των λαμβανομένων υπόψη ατμοσφαιρικών ρύπων (Basis for Indian Air Quality Index, IND-AQI. Available at: <http://home.iitk.ac.in>)

Τιμή δείκτη IND-AQI	PM ₁₀ (24 hr) μg/m ³	SO ₂ (24 hr) μg/m ³	CO (8 hr) mg/m ³	O ₃ (8 hr) μg/m ³	NO ₂ (1 hr) μg/m ³
0-100	0-100	0-80	0-2	0-157	0-80
101-200	101-150	81-367	2.1-12.0	158-196	81-180
201-300	151-350	368-786	12.1-17.0	197-235	181-564
301-400	351-420	787-1572	17.1-35.0	236-784 (μέση ωριαία τιμή)	565-1272
401-500	>420	>1572	>35.0	>784 (μέση ωριαία τιμή)	>1272

Τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί στην Ινδία, ένα Εθνικό Δίκτυο παρακολούθησης της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, κυρίως με τη χρήση και τη βοήθεια του διαδικτύου. Δεδομένα ατμοσφαιρικής ρύπανσης φτάνουν σε μια κεντρική μονάδα από διαφορετικές περιοχές της χώρας και υπολογίζεται ο δείκτης IND-AQI για κάθε περιοχή χωριστά.

Ο δείκτης IND-AQI είναι, κατά βάση, δείκτης ατμοσφαιρικής ρύπανσης που σχετίζεται με τις πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία. Στον **Πίνακα 2.27** εμφανίζονται κατά κατηγορία οι τιμές του δείκτη καθώς επίσης και η κατηγορία της ποιότητας του αέρα, με βάση τις τιμές αυτές.

Πίνακας 2.27: Τιμές του δείκτη IND-AQI και χαρακτηρισμός της ποιότητας του αέρα [16] (Basis for Indian Air Quality Index, IND-AQI. Available at: <http://home.iitk.ac.in>)

Τιμές δείκτη IND-AQI	Κατηγορία ποιότητας αέρα
0-100	Καλή
101-200	Μέτρια
201-300	Φτωχή
301-400	Πολύ φτωχή
401-500	Επικίνδυνη

2.1.7 Τοπικός Δείκτης Ρύπανσης (Regional Pollution Index-RPI)

Η Αυστραλία θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως πρωτοπόρος σε θέματα που αφορούν την ατμοσφαιρική ρύπανση. Από τη δεκαετία του 1960, στο Sydney, παρακολουθείται η ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα, ενώ από το 1980 εκδίδονται καθημερινά ημερήσια δελτία ποιότητας της ατμόσφαιρας (NSW Environment Protection Authority 1998, NSW Department of Health 2006, NSW Department of Environment and Conservation 2006). Το 1993, το δίκτυο παρακολούθησης της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα επεκτείνεται περαιτέρω στην πόλη. Αυτό είχε ως άμεση συνέπεια τη δυνατότητα καταγραφής μεγαλύτερου όγκου αλλά και αναλυτικότερων τιμών συγκεντρώσεων των ατμοσφαιρικών ρύπων.

Φυσιολογική εξέλιξη όλων των παραπάνω αποτελούσε η δημιουργία ενός Τοπικού Δείκτη Ρύπανσης ο οποίος ονομάστηκε RPI, τιμές του οποίου υπολογίζονται και δίνονται στο κοινό για το ανατολικό, βόρειο και νότιο Sydney. Ο δείκτης RPI υπολογίζεται δύο φορές την ημέρα. Η πρωινή αναφορά καλύπτει την περίοδο από τις 15:00 το απόγευμα της προηγούμενης ημέρας, μέχρι τις 06:00 το πρωί της ημέρας που γίνεται η πρωινή αναφορά. Η δεύτερη αναφορά της τιμής του δείκτη καλύπτει χρονικά την περίοδο από τις 06:00 πμ, μέχρι τις 15:00 μμ της ίδιας ημέρας. Οι αναφορές αυτές βασίζονται στις μετρήσεις των συγκεντρώσεων του όζοντος και του διοξειδίου του αζώτου.

Ο δείκτης RPI, για κάθε ρύπο ξεχωριστά, υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση:

$$RPI = \frac{\text{ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΡΥΠΟΥ}}{\text{ΟΡΙΑΚΗ ΤΙΜΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΡΥΠΟΥ}} \times 50$$

Για κάθε περιοχή της πόλης, η μεγαλύτερη τιμή που προκύπτει για το δείκτη RPI, με βάση τις τιμές του δείκτη που υπολογίζονται για κάθε ρύπο χωριστά, είναι η τιμή του δείκτη για την περιοχή αυτή.

Ο δείκτης RPI μπορεί να κατηγοριοποιηθεί (**Πίνακας 2.28**) με βάση τις τιμές του ως χαμηλός, μέτριος και υψηλός, που σημαίνει αντίστοιχα καλή, μέτρια και κακή ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα.

Πίνακας 2.28: Κλίμακα εκτίμησης της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα με βάση τις τιμές του δείκτη RPI (NSW Department of Environment and Conservation, Sydney, 2006)

Τιμή RPI	Δείκτη	Χαρακτηρισμός δείκτη RPI	Χαρακτηρισμός ποιότητας της ατμόσφαιρας
$0 \leq RPI < 25$	Χαμηλός		Καλή
$25 \leq RPI < 50$	Μέτριος		Μέτρια
$RPI \geq 50$	Υψηλός		Κακή

Αναλυτικότερα, όταν ο δείκτης παίρνει τιμές μικρότερες του 25, σημαίνει πρακτικά ότι κανένας από τους μετρούμενους ρύπους δεν εμφανίζει τιμές συγκέντρωσης μεγαλύτερες από το 50% της οριακής του τιμής. Όταν ο δείκτης παίρνει τιμές μεταξύ του 25 και του 50, σημαίνει ότι ένας τουλάχιστον από τους

μετρούμενους ρύπους έχει συγκέντρωση μεταξύ του 50% με 100% της οριακής του τιμής.

Τέλος, αν ο δείκτης έχει τιμή μεγαλύτερη ή ίση του 50, αυτό πρακτικά σημαίνει πως ένας τουλάχιστον από τους υπό παρακολούθηση ατμοσφαιρικούς ρύπους, εμφανίζει τιμές συγκέντρωσης μεγαλύτερες του 100% της οριακής του τιμής, δηλαδή έχουμε επεισόδιο ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

2.1.8 Ευρωπαϊκός Τοπικός Δείκτης Ρύπανσης (European Regional Pollution Index-ERPI)

Ο Αυστραλιανός Τοπικός Δείκτης Ρύπανσης RPI που αναφέρθηκε παραπάνω, αποτέλεσε τη βάση για την δημιουργία του Ευρωπαϊκού Τοπικού Δείκτη Ρύπανσης (European Regional Pollution Index-ERPI, Μουστρής 2009), αποτελώντας ουσιαστικά μια τροποποίηση του. Συγκεκριμένα, ο δείκτης αυτός προσαρμόστηκε στην Ευρωπαϊκή Νομοθεσία.

Για τον υπολογισμό των τιμών του δείκτη ατμοσφαιρικής ρύπανσης ERPI, ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

- A.** Κάθε ώρα της ημέρας υπολογίζεται για κάθε ατμοσφαιρικό ρύπο χωριστά η τιμή του δείκτη ERPI, σύμφωνα με τη **Σχέση 2.1**:

$$ERPI = \frac{\text{ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΡΥΠΟΥ}}{\text{ΟΡΙΑΚΗ ΤΙΜΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΡΥΠΟΥ}} \times 50$$

- Για τους ρύπους NO₂ και SO₂ ο υπολογισμός αυτός γίνεται σε ωριαία βάση
- Για το CO και το O₃ ο υπολογισμός του δείκτη γίνεται πάλι ανά ώρα αλλά με βάση τη μέση τιμή του κυλιόμενου οκταώρου, που αντιστοιχεί στην ώρα αυτή για την οποία υπολογίζεται η τιμή του δείκτη.
- Για τα σωματίδια (PM₁₀) γίνεται μια φορά την ημέρα και με βάση την μέση ημερήσια τιμή συγκέντρωσής τους.

Στον **Πίνακα 2.29** δίνονται οι οριακές τιμές συγκέντρωσης που χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό των τιμών του δείκτη ERPI, όπως αυτές έχουν καθοριστεί από την Οδηγία Πλαίσιο 96/62/EC της Ευρωπαϊκής Ένωσης και των θυγατρικών της οδηγιών που ακολούθησαν.

Πίνακας 2.29: Οριακές τιμές συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων που διαμορφώνουν τις τιμές του δείκτη ERPI

Ατμοσφαιρικός Ρύπος	Οριακή Τιμή Συγκέντρωσης
NO ₂	Ωριαία τιμή: 200 µg/m ³
SO ₂	Ωριαία τιμή: 350 µg/m ³
CO	Μέγιστη μέση τιμή οκταώρου: 10 mg/m ³
O ₃	Μέγιστη μέση τιμή οκταώρου: 120 µg/m ³
PM ₁₀	Μέση ημερήσια τιμή : 50 µg/m ³

- B.** Με το παραπάνω βήμα, έχουν υπολογισθεί και δημιουργηθεί σε κάθε ώρα τις ημέρας, για τους ρύπους NO₂, CO, SO₂ και O₃, τέσσερις τιμές (υποδείκτες) του δείκτη ERPI, μία για κάθε ρύπο. Η μεγαλύτερη από αυτές τις τιμές, αποτελεί την ημερήσια τιμή του δείκτη ERPI, για τους ρύπους NO₂, CO, SO₂ και O₃. Στο τέλος της ημέρας υπολογίζεται και η τιμή (υποδείκτης) του δείκτη ERPI με βάση τη μέση ημερήσια τιμή συγκέντρωσης των PM₁₀. Η τελική ημερήσια τιμή του δείκτη ERPI, για μια συγκεκριμένη γεωγραφικά περιοχή, είναι η μεγαλύτερη μεταξύ των δύο αυτών τιμών.

Στον **Πίνακα 2.30** παρουσιάζονται οι κατηγορίες ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα συναρτήσει των τιμών του δείκτη ERPI.

Πίνακας 2.30: Ταξινόμηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα με βάση τις τιμές του δείκτη ατμοσφαιρικής ρύπανσης ERPI

Τιμή ERPI	Τάξη ERPI	Ταξινόμηση ποιότητας αέρα
0 – 2	1	Πολύ καλή
2 – 21	2	Καλή
21 – 40	3	Ικανοποιητική
40 – 60	4	Επαρκής
60 – 79	5	Κακή
≥79	6	Πολύ κακή

Κεφάλαιο 3^ο

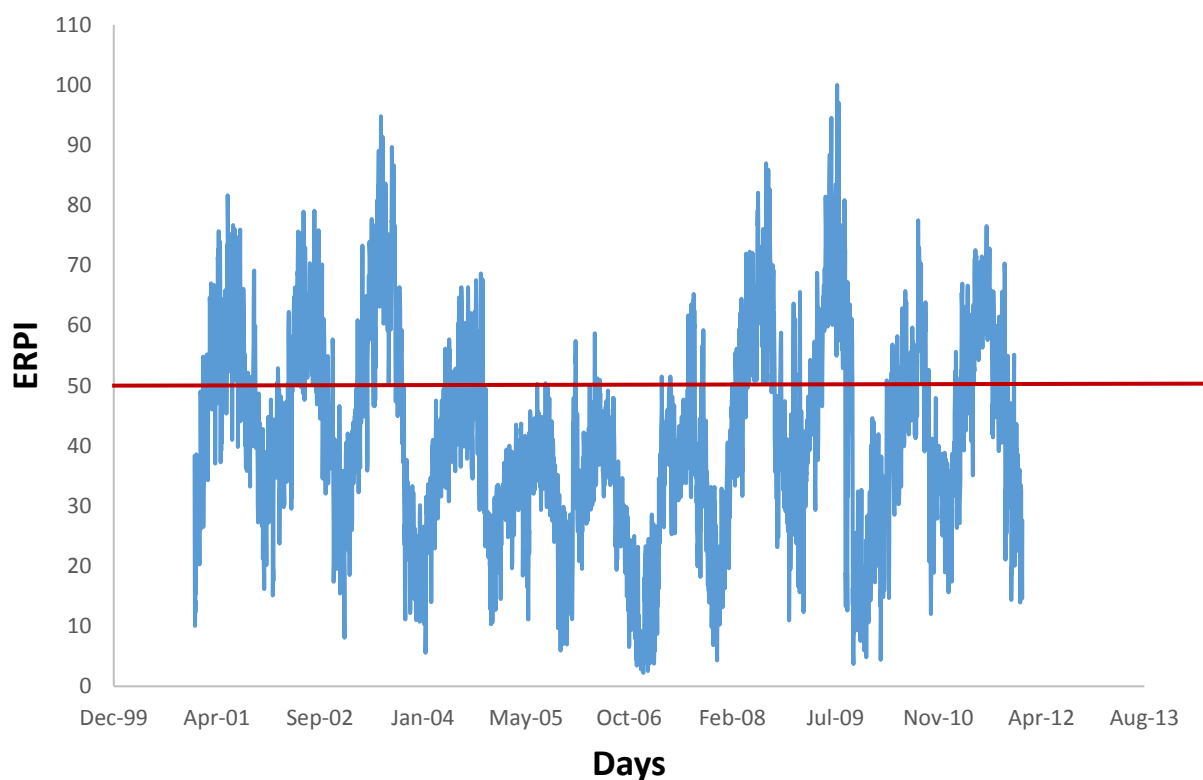
Όζον (O₃)

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης ERPI για την μελέτη της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στην ευρύτερη περιοχή της πόλης της Θεσσαλονίκης. Η μελέτη αυτή έγινε με τον υπολογισμό των ημερήσιων τιμών του δείκτη ατμοσφαιρικής ρύπανσης (ERPI) για την πόλη. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκαν οι ημερήσιες τιμές συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων O₃, CO, NO₂, SO₂, και PM₁₀ για τη χρονική περίοδο 2001 – 2011.

Τα δεδομένα αυτά έχουν καταγραφεί από το δίκτυο σταθμών παρακολούθησης της ποιότητας της ατμοσφαίρας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ). Οι σταθμοί του δικτύου, των οποίων οι καταγραφές χρησιμοποιήθηκαν για την παρούσα εργασία, βρίσκονται εγκατεστημένοι στις περιοχές της Αγίας Σοφίας, Καλαμαριάς, Κορδελιού, Πανοράματος και Σίνδου.

Ακολουθεί η ανάλυση και η συμπεριφορά των ατμοσφαιρικών ρύπων καθώς και τα αποτελέσματα των υπολογισμών.

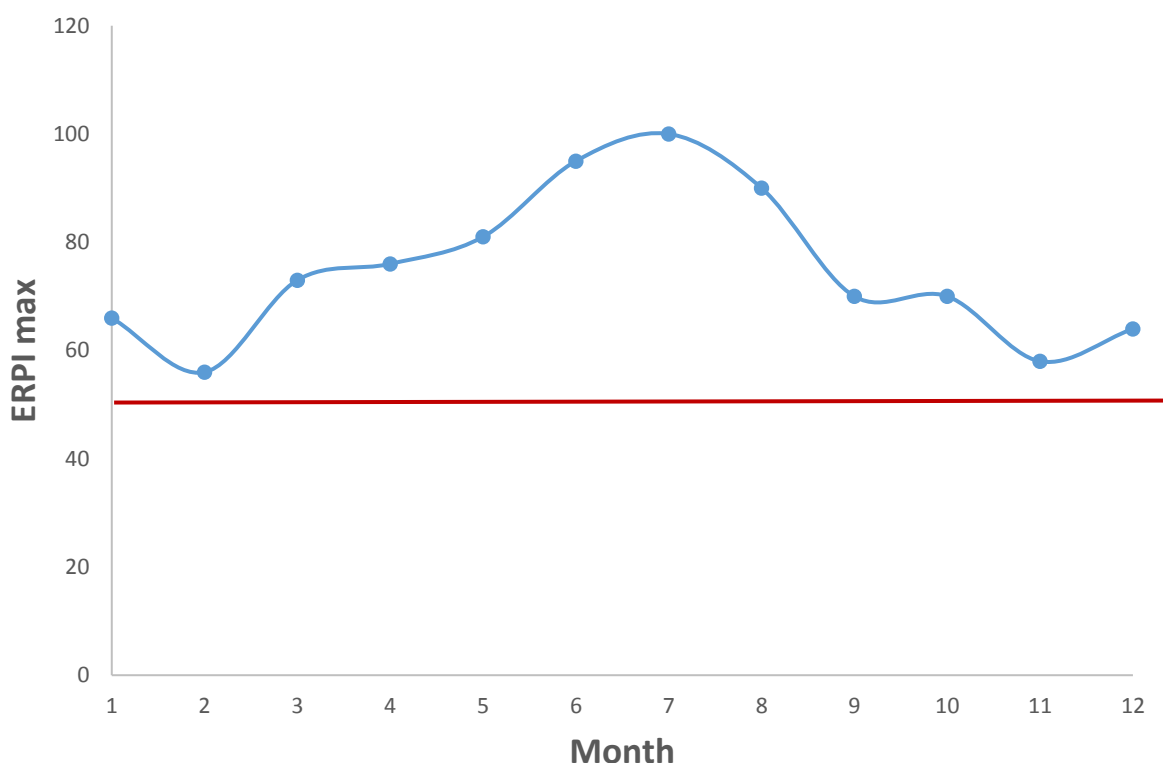
Στο ακόλουθο **Σχήμα 3.1** αποτυπώνεται η πορεία του δείκτη ERPI για το όζον σε καθημερινή βάση κατά την περίοδο 2001 – 2011. Ο υπολογισμός αυτός πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τη **Σχέση 2.1**. Όπου ως ημερήσια τιμή συγκέντρωσης για το όζον, θεωρήθηκε η μέγιστη τιμή του ρύπου για κάθε ημέρα του διαστήματος που μελετάται.



Σχήμα 3.1: Ενδοετήσια πορεία του δείκτη ERPI για το όζον κατά την περίοδο 2001 – 2011

Στο παραπάνω **Σχήμα 3.1**, παρατηρείται η πορεία του δείκτη στη χρονική περίοδο της μελέτης. Αξίζει να σημειωθεί πως κατά τις περιόδους 2001 – 2003 καθώς και 2008 – 2010 ο δείκτης παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση στις τιμές του. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η τιμή του δείκτη, $ERPI = 8$ (12/2002) και η μέγιστη τιμή του $ERPI = 95$ (06/2013). Αντίθετα κατά τα ενδιάμεσα έτη 2005 και 2006, οι τιμές που εμφανίζει ο δείκτης έχουν εμφανώς μικρότερο εύρος και κυμαίνονται από $ERPI = 6$ (12/2005) έως $ERPI = 59$ (04/2006). Επίσης, διαπιστώνεται ότι κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου του έτους (Μάιος-Σεπτέμβριος) η τιμή του δείκτη ξεπερνάει την τιμή 60 σχεδόν σε όλα τα εξεταζόμενα έτη, που αντιστοιχεί σε μια κακή ποιότητα του αέρα.

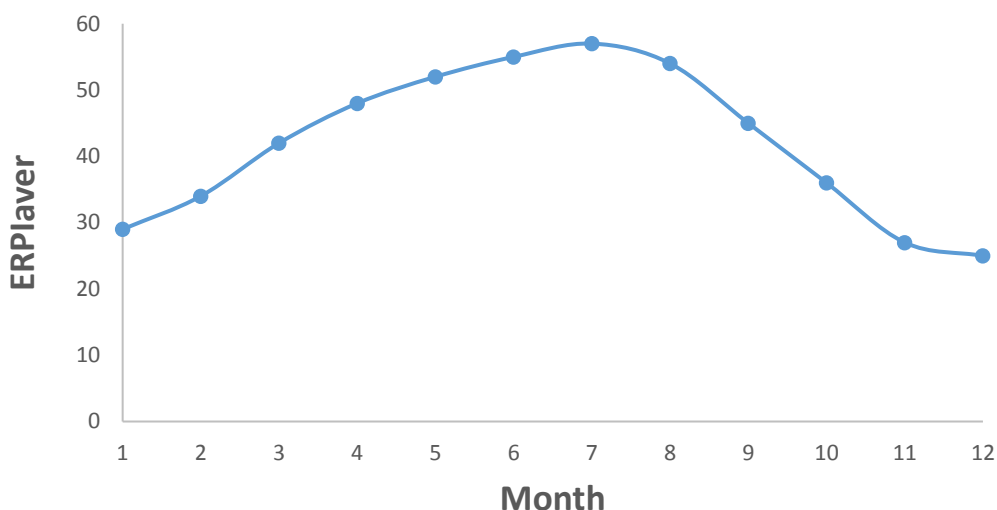
Στο ακόλουθο **Σχήμα 3.2** αποτυπώνεται η συμπεριφορά του δείκτη $ERPI$ για το όζον, σε συνάρτηση με τους δώδεκα μήνες του έτους. Για το σκοπό αυτό συγκεντρώθηκαν δώδεκα μέγιστες τιμές του δείκτη $ERPI$ (μια για κάθε μήνα) για την χρονική περίοδο 2001 – 2011. Για παράδειγμα, η μέγιστη τιμή του δείκτη για τον Ιανουάριο, όποιο έτος κι αν καταγράφηκε αυτή, κοκ.



Σχήμα 3.2: Εποχικότητα του δείκτη $ERPI$ συναρτήσει των μέγιστων τιμών του δείκτη

Στο παραπάνω **Σχήμα 3.2** παρατηρείται ότι η πορεία του δείκτη παρουσιάζει μια αυξητική τάση ξεκινώντας από το μήνα Φεβρουάριο, φθάνοντας στη μέγιστη τιμή του τον μήνα Ιούλιο. Ακολούθως υπάρχει πτώση των τιμών του δείκτη. Γίνεται εύκολα αντιληπτό πως κατά τους θερινούς μήνες οι τιμές του δείκτη $ERPI$ είναι αυξημένες σαν συνέπεια των συγκεντρώσεων του Όζοντος στην ατμόσφαιρα. Φαίνεται όμως ότι σε κάθε μήνα και σε σχέση με την απόλυτη μέγιστη τιμή του δείκτη για το όζον, στη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου, η ποιότητα του αέρα είναι κακή ($ERPI \geq 60$).

Στο ακόλουθο Σχήμα 3.3 αποτυπώνεται η συμπεριφορά του δείκτη ERPI για το όζον, συναρτήσει του μέσου όρου των τιμών που παρουσιάζει ο δείκτης για κάθε μήνα στο διάστημα 2001–2011. Σκοπός του συγκεκριμένου γραφήματος είναι να αποδείξει την ύπαρξη ή μη εποχικότητας του δείκτη.

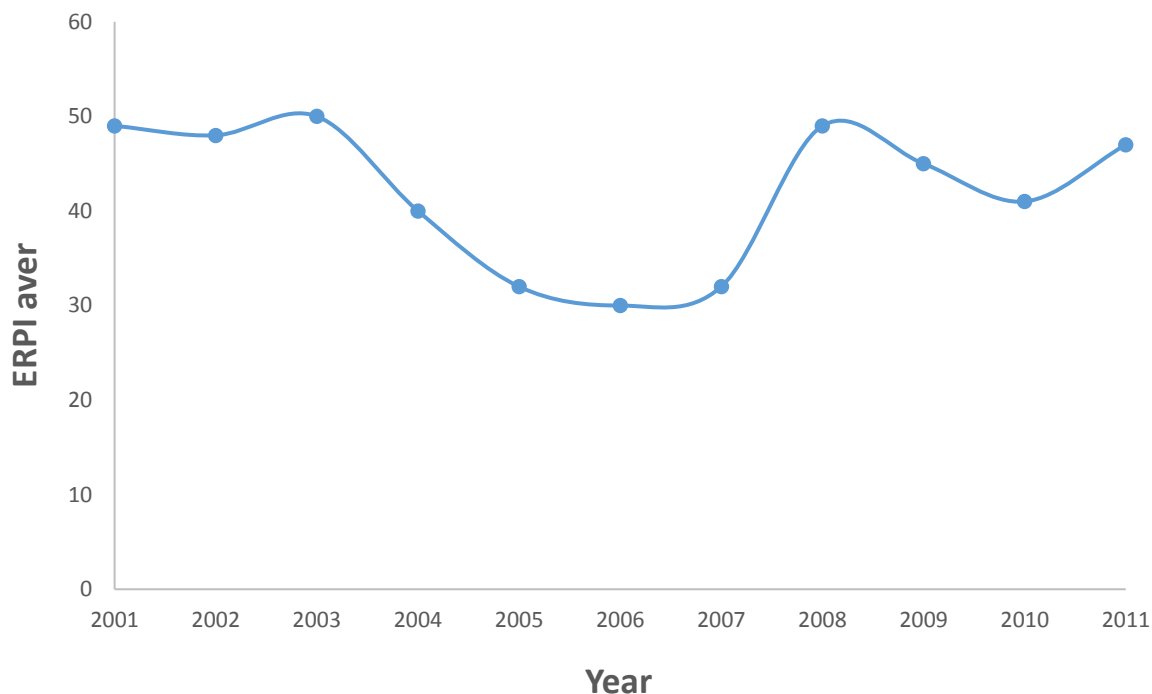


Σχήμα 3.3: Εποχικότητα του δείκτη ERPI συναρτήσει του μέσου όρου των τιμών του δείκτη

Από το παραπάνω Σχήμα 3.3 παρατηρείται μια ανοδική πορεία του δείκτη ERPI ξεκινώντας από τον Ιανουάριο με αποκορύφωμα την μέγιστη τιμή του, ERPI = 57 (Ιούλιος). Στη συνέχεια ο δείκτης παρουσιάζει πτωτική τάση μέχρι και το τέλος του έτους.

Συμπερασματικά από το Σχήμα 3.2 και Σχήμα 3.3 γίνεται εύκολα αντιληπτό πως ο δείκτης παρουσιάζει εποχικότητα, με τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις να εμφανίζονται κατά τους θερινούς μήνες σε αντίθεση με τους χειμερινούς, όπου οι τιμές είναι μικρότερες. Σε κάθε όμως περίπτωση και σε σχέση πάντα με τις μέσες μηνιαίες τιμές του δείκτη για το όζον, φαίνεται ότι η ποιότητα του αέρα είναι τουλάχιστον επαρκής ($ERPI < 60$).

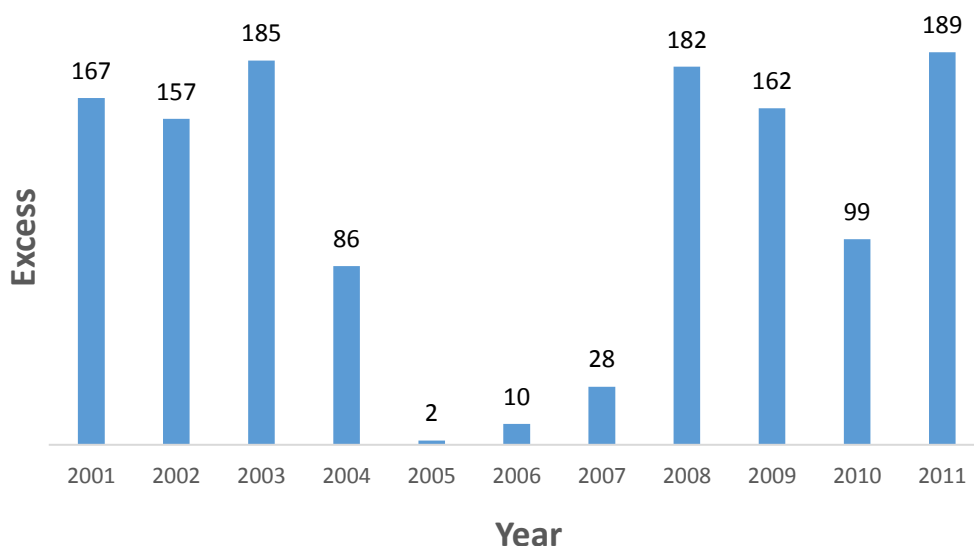
Στο ακόλουθο **Σχήμα 3.4** αποτυπώνονται οι μέσες ετήσιες τιμές του δείκτη ERPI για το όζον. Για το σκοπό αυτό υπολογίστηκε μια μέση τιμή του δείκτη ERPI για κάθε έτος καθ' όλη τη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001 – 2011.



Σχήμα 3.4: Ετήσια πορεία του δείκτη ERPI κατά την περίοδο 2001 – 2011

Όπως φαίνεται και από το **Σχήμα 3.4** ο δείκτης ERPI κατά τα έτη 2001 έως 2003 εμφάνισε τις υψηλότερες τιμές (49, 48 και 50). Στη συνέχεια ακολούθησε μια πτωτική τάση έως το 2006 (ERPI = 30) όπου ξεκίνησε και πάλι η ανοδική πορεία του δείκτη για να παραμείνει σε υψηλά επίπεδα μέχρι και το 2011 (ERPI = 47).

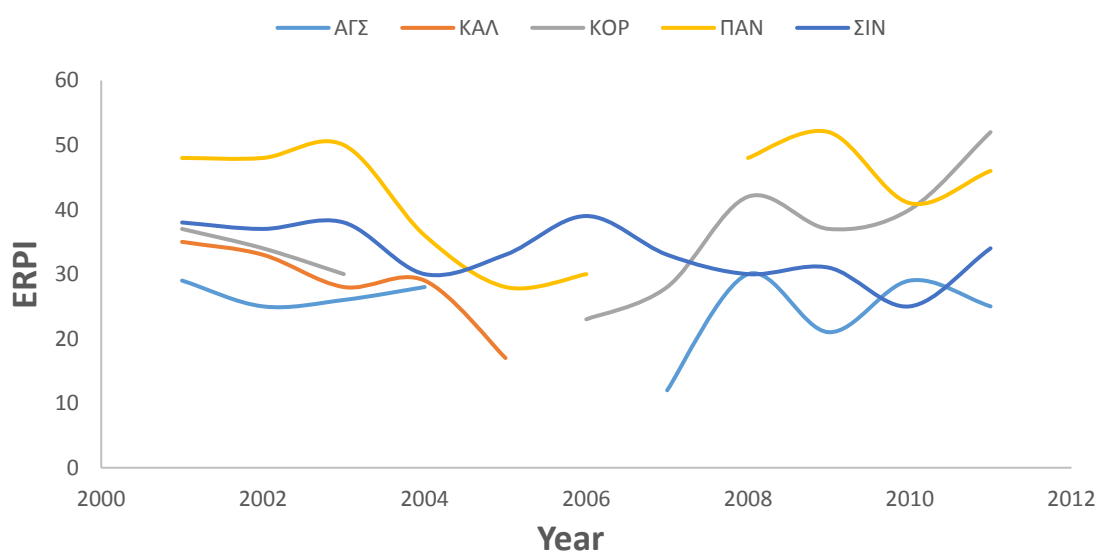
Στο ακόλουθο **Σχήμα 3.5** καταγράφονται οι ετήσιες υπερβάσεις που κατέγραψε ο δείκτης ERPI κατά την περίοδο 2001 – 2011. Οι περιπτώσεις όπου ο δείκτης υπερβαίνει τις 50 μονάδες καταγράφονται ως υπερβάσεις. Το ακόλουθο γράφημα προέκυψε από το άθροισμα των υπερβάσεων όλων των σταθμών καταγραφής για κάθε έτος της περιόδου που μελετάται.



Σχήμα 3.5: Αριθμός ετήσιων υπερβάσεων της επιτρεπόμενης τιμής του δείκτη ERPI κατά την περίοδο 2001 – 2011

Όπως παρατηρείται από το **Σχήμα 3.5** οι περισσότερες υπερβάσεις έχουν καταγραφεί κατά τα έτη 2003, 2008 και 2011 με σύνολο 185, 182 και 189 αντίστοιχα ετησίως. Υψηλά επίσης νούμερα εμφανίζονται και κατά τα έτη 2002 και 2009. Στον αντίποδα οι χρονιές με τις λιγότερες υπερβάσεις είναι τα έτη 2005, 2006 και 2007 με λιγότερες από 28 υπερβάσεις ετησίως.

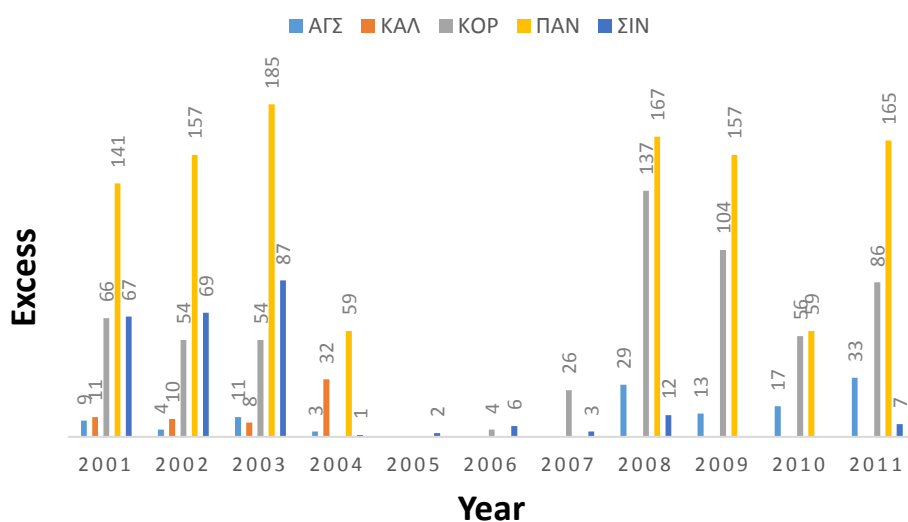
Στο ακόλουθο **Σχήμα 3.6** απεικονίζεται η πορεία του δείκτη ERPI για το όζον σε κάθε έναν από τους πέντε σταθμούς του δικτύου παρακολούθησης της ατμοσφαίρας, κατά τη χρονική περίοδο 2001 – 2011.



Σχήμα 3.6: Ετήσια πορεία του δείκτη ERPI ανά σταθμό για την περίοδο 2001 – 2011

Το παραπάνω γράφημα δείχνει την πορεία του δείκτη ERPI σε όλους τους σταθμούς μετρήσεων για την περίοδο 2001 – 2011. Παρατηρείται ότι η γραφική παράσταση του δείκτη ERPI για το σταθμό Πανοράματος κατέγραψε τις υψηλότερες τιμές για τα περισσότερα χρόνια της περιόδου 2001 – 2011 σε σύγκριση με τους άλλους σταθμούς. Στα μέσα περίπου τοποθετείται η γραφική του δείκτη για το σταθμό Σίνδου, ενώ υψηλές τιμές παρουσιάζει και ο δείκτης στο σταθμό Κορδελιού από το 2007 και μετά. Τις χαμηλότερες τιμές κατά πλειοψηφία παρουσιάζει η γραφική απεικόνιση του δείκτη για το σταθμό Αγίας Σοφίας.

Στο ακόλουθο **Σχήμα 3.7** καταγράφονται οι υπερβάσεις του δείκτη ERPI ξεχωριστά για κάθε σταθμό του δικτύου μετρήσεων. Αναλυτικότερα έχουν καταγραφεί οι φορές όπου ο δείκτης ξεπέρασε τις 50 μονάδες σε κάθε σταθμό, κάθε χρόνο της περιόδου 2001 – 2011.



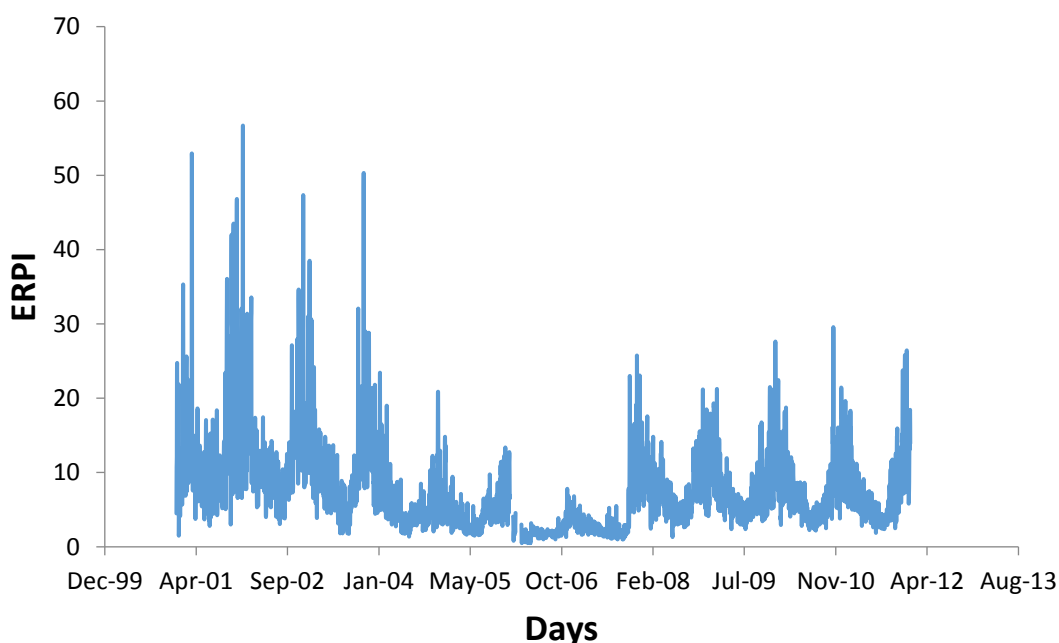
Σχήμα 3.7: Αριθμός ετήσιων υπερβάσεων της επιτρεπόμενης τιμής του δείκτη ERPI ανά σταθμό κατά την περίοδο 2001 – 2011

Εύκολα συμπεραίνεται ότι οι περισσότερες υπερβάσεις έχουν καταγραφεί στο σταθμό Πανοράματος για τα περισσότερα έτη, με αποκορύφωμα το έτος 2003 όπου καταγράφηκαν 185 υπερβάσεις. Ο σταθμός Κορδελιού επίσης έχει καταγράψει σημαντικές υπερβάσεις κατά τις χρονιές 2008, 2009 και 2011. Ο σταθμός Πανοράματος κατέγραψε και αυτός πλήθος υπερβάσεων μετά το έτος 2008. Προφανέστατα το μικρότερο πλήθος υπερβάσεων σε σύγκριση με όλους τους σταθμούς, κατέγραψε ο σταθμός Καλαμαριάς.

Κεφάλαιο 4^ο

Μονοξείδιο του Άνθρακα (CO)

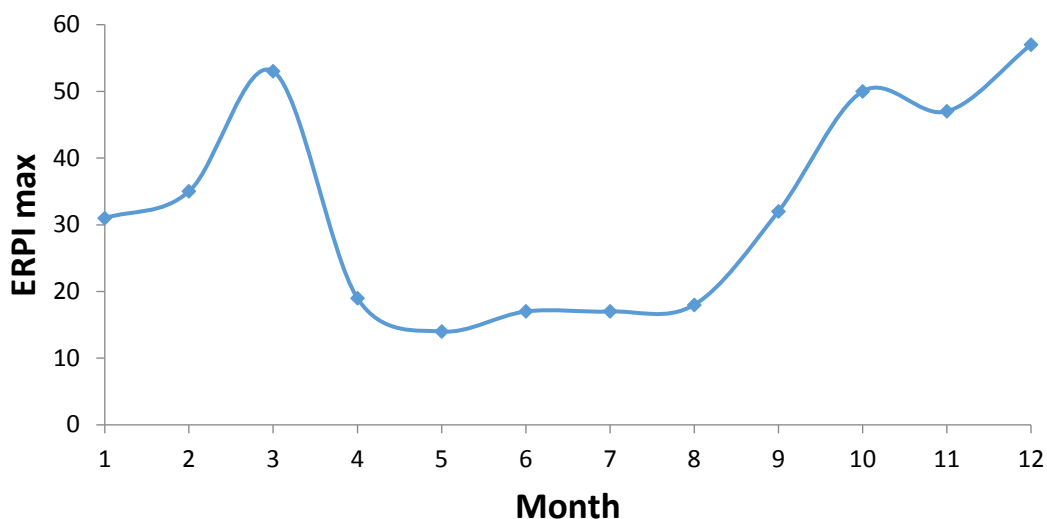
Στο ακόλουθο **Σχήμα 4.1** αποτυπώνεται η πορεία του δείκτη ERPI για το μονοξείδιο του άνθρακα σε καθημερινή βάση κατά την περίοδο 2001 – 2011. Ο υπολογισμός αυτός πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τη **Σχέση 2.1**. Όπου ως ημερήσια τιμή συγκέντρωσης για το μονοξείδιο, θεωρήθηκε η μέγιστη τιμή του ρύπου για κάθε ημέρα του διαστήματος που μελετάται.



Σχήμα 4.1: Ενδοετήσια πορεία του δείκτη ERPI κατά την περίοδο 2001 – 2011

Στο παραπάνω **Σχήμα 4.1**, παρατηρείται η πορεία του δείκτη στη χρονική περίοδο της μελέτης. Αξίζει να σημειωθεί πως κατά τις περιόδους 2000 – 2005 καθώς και 2008 – 2012 ο δείκτης παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση στις τιμές του. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η τιμή του δείκτη, $ERPI = 4$ (01/2001) και η μέγιστη τιμή του $ERPI = 50$ (12/2001). Αντίθετα κατά τα ενδιάμεσα έτη 2005 και 2007, οι τιμές που εμφανίζει ο δείκτης έχουν εμφανώς μικρότερο εύρος και κυμαίνονται από $ERPI = 12$ (11/2005) έως $ERPI = 1$ (04/2006).

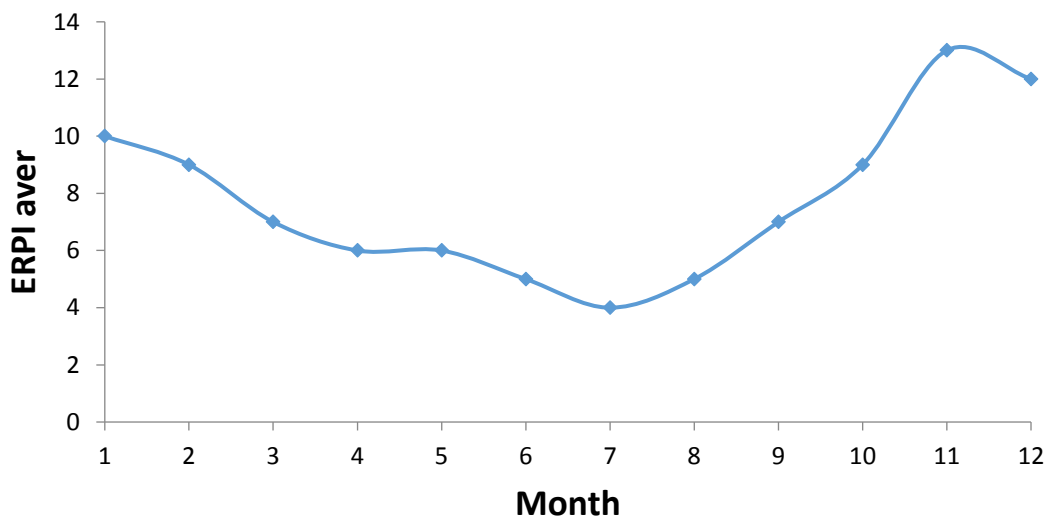
Στο ακόλουθο **Σχήμα 4.2** αποτυπώνεται η συμπεριφορά του δείκτη ERPI για το μονοξείδιο του άνθρακα, σε συνάρτηση με τους δώδεκα μήνες του έτους. Για το σκοπό αυτό συγκεντρώθηκαν δώδεκα μέγιστες τιμές του δείκτη ERPI (μία για κάθε μήνα) για την χρονική περίοδο 2001 – 2011. Για παράδειγμα, η μέγιστη τιμή του δείκτη για τον Ιανουάριο, όποιο έτος κι αν καταγράφηκε αυτή, κοκ.



Σχήμα 4.2: Εποχικότητα του δείκτη ERPI συναρτήσει των μέγιστων τιμών του δείκτη

Στο παραπάνω **Σχήμα 4.2** παρατηρείται ότι η πορεία του δείκτη παρουσιάζει μια αυξητική τάση κατά τους χειμερινούς μήνες, με μέγιστες τιμές τους μήνες Μάρτιο και Δεκέμβριο, όπου ο δείκτης κατέγραψε τις τιμές 53 και 57 αντίστοιχα. Αντίθετα, κατά τους θερινούς μήνες υπάρχει πτώση των τιμών του δείκτη.

Στο ακόλουθο **Σχήμα 4.3** αποτυπώνεται η συμπεριφορά του δείκτη ERPI για το μονοξείδιο του άνθρακα, συναρτήσει του μέσου όρου των τιμών που παρουσιάζει ο δείκτης για κάθε μήνα στο διάστημα 2001 – 2011. Σκοπός του συγκεκριμένου γραφήματος είναι να αποδείξει την ύπαρξη ή μη εποχικότητας του δείκτη.



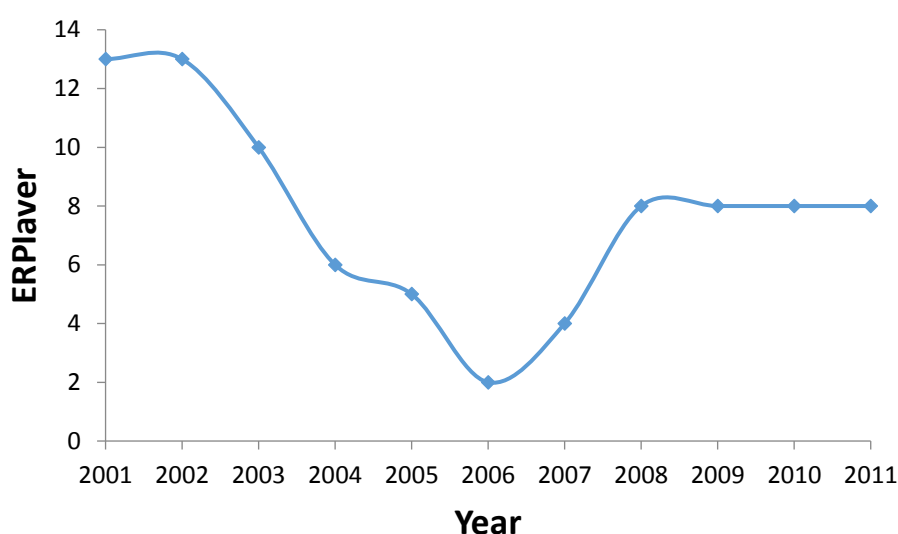
Σχήμα 4.3: Εποχικότητα του δείκτη ERPI συναρτήσει του μέσου όρου των τιμών του δείκτη

Από το παραπάνω **Σχήμα 4.3** παρατηρείται μια πτωτική τάση του δείκτη ERPI ξεκινώντας από τον Ιανουάριο, φθάνοντας στην ελάχιστη τιμή του, $ERPI = 4$

(Ιούλιος). Στη συνέχεια ο δείκτης παρουσιάζει ανοδική τάση μέχρι και το μήνα Νοέμβριο.

Συμπερασματικά από το Σχήμα 4.2 και Σχήμα 4.3 γίνεται εύκολα αντιληπτό πως ο δείκτης παρουσιάζει εποχικότητα, με τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις να εμφανίζονται κατά τους χειμερινούς μήνες σε αντίθεση με τους θερινούς, όπου οι τιμές είναι μικρότερες. Αυτό οφείλεται προφανώς στο γεγονός ότι το μονοξείδιο του άνθρακα συσχετίζεται άμεσα με τις εκπομπές που οφείλονται κυρίως στη χρήση θέρμανσης στη διάρκεια των ψυχρών μηνών του έτους.

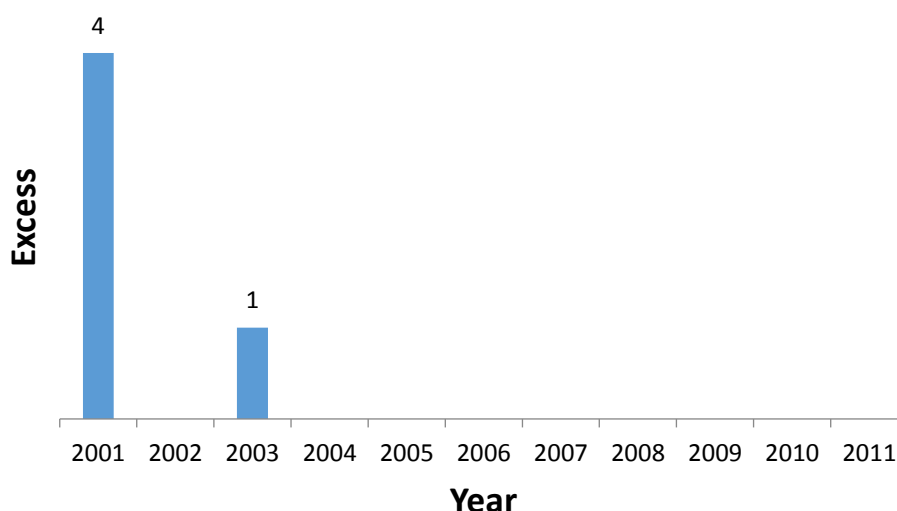
Στο ακόλουθο **Σχήμα 4.4** αποτυπώνονται οι μέσες ετήσιες τιμές του δείκτη ERPI για το μονοξείδιο του άνθρακα. Για το σκοπό αυτό υπολογίστηκε μια μέση τιμή του δείκτη ERPI για κάθε έτος καθ' όλη τη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001 – 2011.



Σχήμα 4.4: Ετήσια πορεία του δείκτη ERPI κατά την περίοδο 2001 – 2011

Όπως φαίνεται και από το **Σχήμα 4.4** ο δείκτης ERPI κατά τα έτη 2001 και 2002 εμφάνισε τις υψηλότερες τιμές ($ERPI = 13$). Στη συνέχεια ακολούθησε μια πτωτική τάση έως το 2006 ($ERPI = 2$) όπου ξεκίνησε και πάλι η ανοδική πορεία του δείκτη για να παραμείνει από το 2008 και έπειτα στο επίπεδο του $ERPI = 8$.

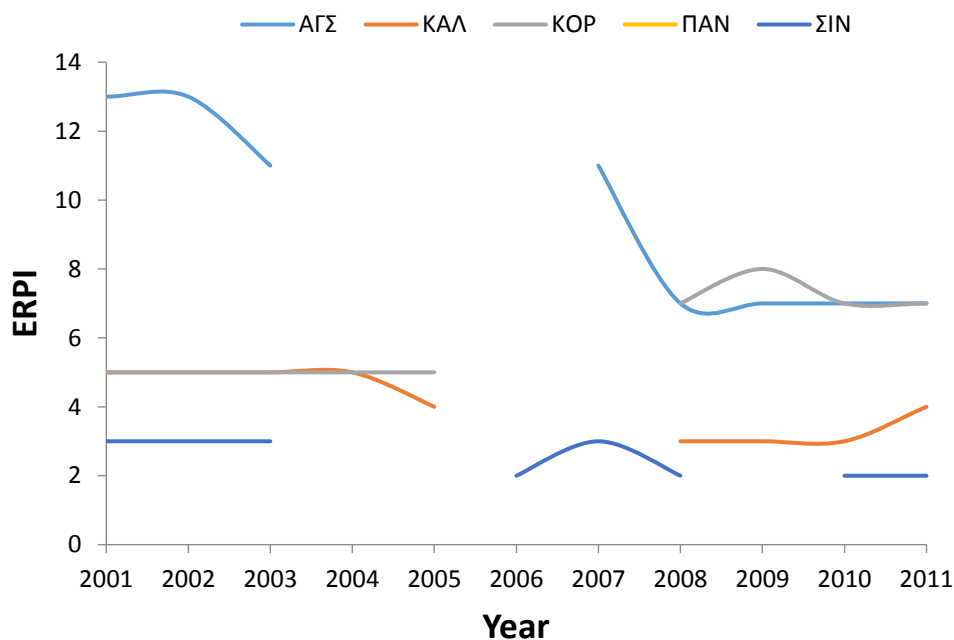
Στο ακόλουθο **Σχήμα 4.5** καταγράφονται οι ετήσιες υπερβάσεις που κατέγραψε ο δείκτης ERPI κατά την περίοδο 2001 – 2011. Οι περιπτώσεις όπου ο δείκτης υπερβαίνει τις 50 μονάδες καταγράφονται ως υπερβάσεις. Το ακόλουθο γράφημα προέκυψε από το άθροισμα των υπερβάσεων όλων των σταθμών καταγραφής για κάθε έτος της περιόδου που μελετάται.



Σχήμα 4.5: Αριθμός ετήσιων υπερβάσεων της επιτρεπόμενης τιμής του δείκτη ERPI κατά την περίοδο 2001 – 2011

Όπως παρατηρείται από το **Σχήμα 4.5** δεν υπάρχει σοβαρό πρόβλημα με τις υπερβάσεις της οριακής τιμής του CO. Ειδικότερα, παρατηρήθηκαν 4 υπερβάσεις το έτος 2001 και μόλις μια (1) το έτος 2003. Από το 2004 και μέχρι το 2011 δεν παρατηρήθηκε καμία άλλη υπέρβαση της οριακής τιμής του CO.

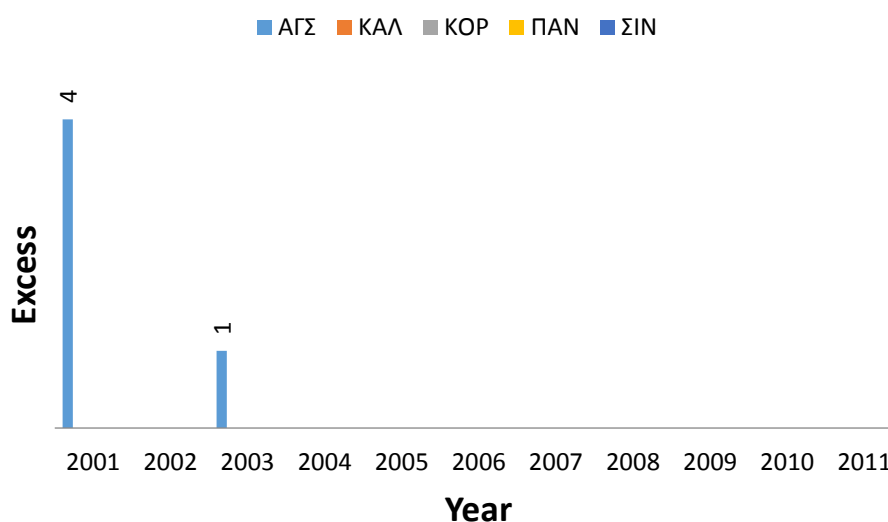
Στο ακόλουθο **Σχήμα 4.6** απεικονίζεται η πορεία του δείκτη ERPI σε κάθε έναν από τους πέντε σταθμούς του δικτύου παρακολούθησης της ατμοσφαίρας, κατά τη χρονική περίοδο 2001 – 2011.



Σχήμα 4.6: Ετήσια πορεία του δείκτη ERPI ανά σταθμό για την περίοδο 2001 - 2011

Το παραπάνω γράφημα δείχνει την πορεία του δείκτη ERPI σε όλους τους σταθμούς μετρήσεων για την περίοδο 2001 – 2011. Δε μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα καθώς το γράφημα παρουσιάζει αρκετά νεκρά διαστήματα. Θα μπορούσε να παρατηρηθεί πως η γραφική παράσταση του δείκτη ERPI για το σταθμό Αγία Σοφία κατέγραψε τις υψηλότερες τιμές για τα περισσότερα χρόνια της περιόδου 2001 – 2011 σε σύγκριση με τους άλλους σταθμούς. Στα μέσα περίπου τοποθετείται η γραφική του δείκτη για το σταθμό Κορδελιό, ενώ τις χαμηλότερες τιμές κατά πλειοψηφία παρουσιάζει η γραφική απεικόνιση του δείκτη για το σταθμό Σίνδος.

Στο ακόλουθο **Σχήμα 4.7** καταγράφονται οι υπερβάσεις του δείκτη ERPI ξεχωριστά για κάθε σταθμό του δικτύου μετρήσεων. Αναλυτικότερα έχουν καταγραφεί οι φορές όπου ο δείκτης ξεπέρασε τις 50 μονάδες σε κάθε σταθμό, κάθε χρόνο της περιόδου 2001 – 2011.



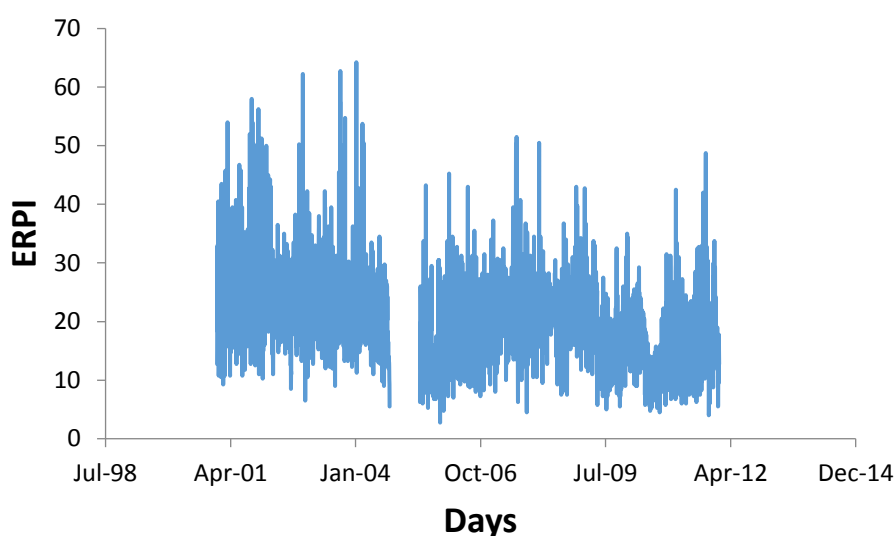
Σχήμα 4.7: Αριθμός ετήσιων υπερβάσεων της επιτρεπόμενης τιμής του δείκτη ERPI ανά σταθμό κατά την περίοδο 2001 – 2011

Εύκολα συμπεραίνεται ότι όλες οι υπερβάσεις έχουν καταγραφεί στον σταθμό Αγία Σοφία (κέντρο της πόλης). Το έτος 2001 καταγράφηκαν 4 υπερβάσεις και μόνο μία (1) το έτος 2003. Σε κάθε άλλη χρονιά και σε όλους τους υπόλοιπους εξεταζόμενους σταθμούς παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα εντός της ευρύτερης περιοχής της πόλης της Θεσσαλονίκης, δεν καταγράφηκε καμία απολύτως υπέρβαση του δείκτη για το CO.

Κεφάλαιο 5^ο

Διοξείδιο του Αζώτου(NO₂)

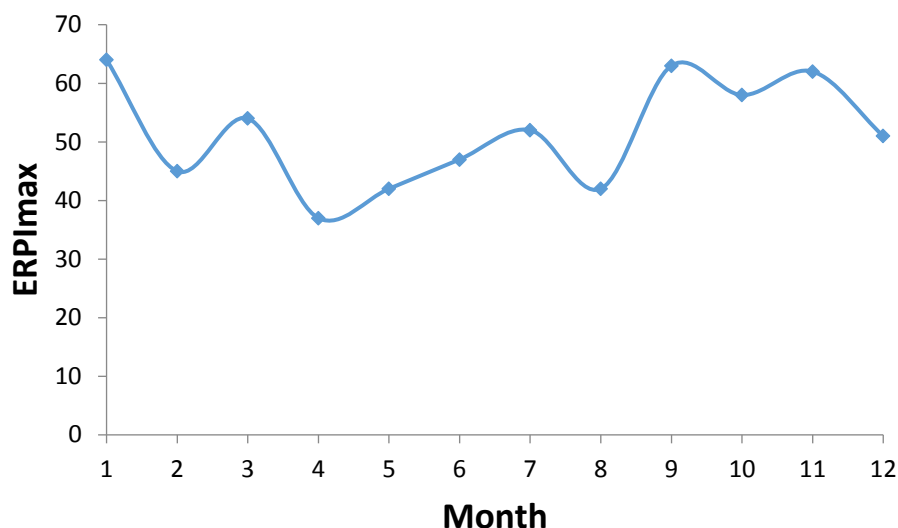
Στο ακόλουθο **Σχήμα 5.1** αποτυπώνεται η πορεία του δείκτη ERPI για το διοξείδιο του αζώτου σε καθημερινή βάση κατά την περίοδο 2001 – 2011. Ο υπολογισμός αυτός πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τη **Σχέση 5.1**. Όπου ως ημερήσια τιμή συγκέντρωσης για το μονοξείδιο, θεωρήθηκε η μέγιστη τιμή του ρύπου για κάθε ημέρα του διαστήματος που μελετάται.



Σχήμα 5.1: Ενδοετήσια πορεία του δείκτη ERPI κατά την περίοδο 2001 – 2011

Στο παραπάνω **Σχήμα 5.1**, παρατηρείται η πορεία του δείκτη στη χρονική περίοδο της μελέτης. Αξίζει να σημειωθεί πως καθ' όλα τα έτη, ο δείκτης παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση στις τιμές του. Αξίζει να σημειωθεί πως η μέγιστη τιμή παρουσιάζεται κατά τον Ιανουάριο του 2004 με $ERPI = 64$ και η ελάχιστη του το Νοέμβριο του 2005 με $ERPI = 3$.

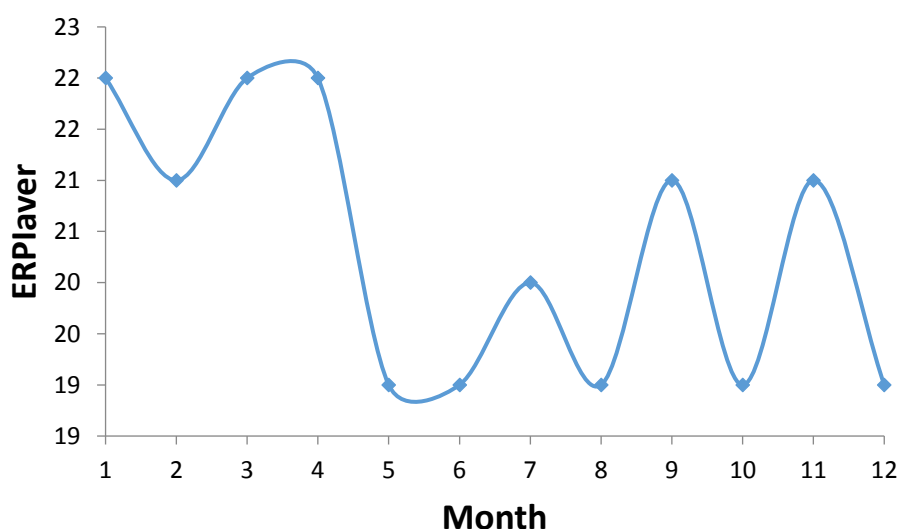
Στο ακόλουθο **Σχήμα 5.2** αποτυπώνεται η συμπεριφορά του δείκτη ERPI για το διοξείδιο του αζώτου, σε συνάρτηση με τους δώδεκα μήνες του έτους. Για το σκοπό αυτό συγκεντρώθηκαν δώδεκα μέγιστες τιμές του δείκτη ERPI (μία για κάθε μήνα) για την χρονική περίοδο 2001 – 2011. Για παράδειγμα, η μέγιστη τιμή του δείκτη για τον Ιανουάριο, όποιο έτος κι αν καταγράφηκε αυτή, κοκ.



Σχήμα 5.2: Εποχικότητα του δείκτη ERPI συναρτήσεως των μέγιστων τιμών του δείκτη

Στο παραπάνω **Σχήμα 5.2** παρατηρείται ότι οι μέγιστες τιμές του δείκτη εμφανίζονται κατά τους χειμερινούς μήνες και πιο συγκεκριμένα μήνες Ιανουάριο και Νοέμβριο, όπου ο δείκτης κατέγραψε τις τιμές 64 και 62 αντίστοιχα. Αντίθετα, κατά τους θερινούς μήνες οι τιμές του δείκτη είναι σαφώς μικρότερες, με χαρακτηριστικό παράδειγμα την τιμή του δείκτη για τον Αύγουστο ($ERPI = 42$).

Στο ακόλουθο **Σχήμα 5.3** αποτυπώνεται η συμπεριφορά του δείκτη ERPI για το μονοξείδιο του άνθρακα, συναρτήσεως του μέσου όρου των τιμών που παρουσιάζει ο δείκτης για κάθε μήνα στο διάστημα 2001 – 2011. Σκοπός του συγκεκριμένου γραφήματος είναι να αποδείξει την ύπαρξη ή μη εποχικότητας του δείκτη.



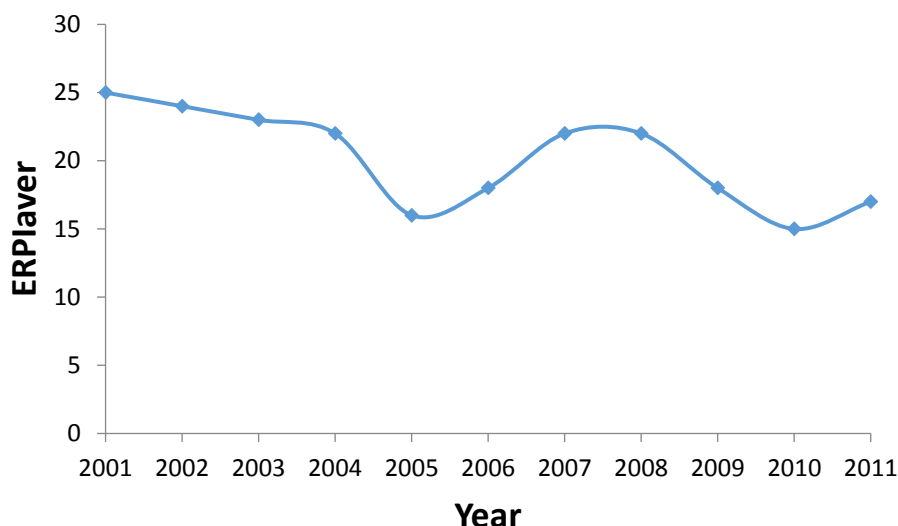
Σχήμα 5.3: Εποχικότητα του δείκτη ERPI συναρτήσεως του μέσου όρου των τιμών του δείκτη

Από το παραπάνω **Σχήμα 5.3** παρατηρούνται διακυμάνσεις στην τιμή του δείκτη ERPI ξεκινώντας από τον Ιανουάριο έως και τον Μάιο φθάνοντας στην

ελάχιστη τιμή του, $ERPI = 19$ για να παρουσιαστούν ξανά υψηλές διακυμάνσεις από τον Αύγουστο έως και το τέλος του έτους.

Συμπερασματικά από το Σχήμα 5.2 και Σχήμα 5.3 παρατηρείται γενικά πως ο δείκτης παρουσιάζει τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις κατά τους μήνες Ιανουάριο έως και Απρίλιο σε αντίθεση με τους θερινούς, όπου οι τιμές είναι μικρότερες.

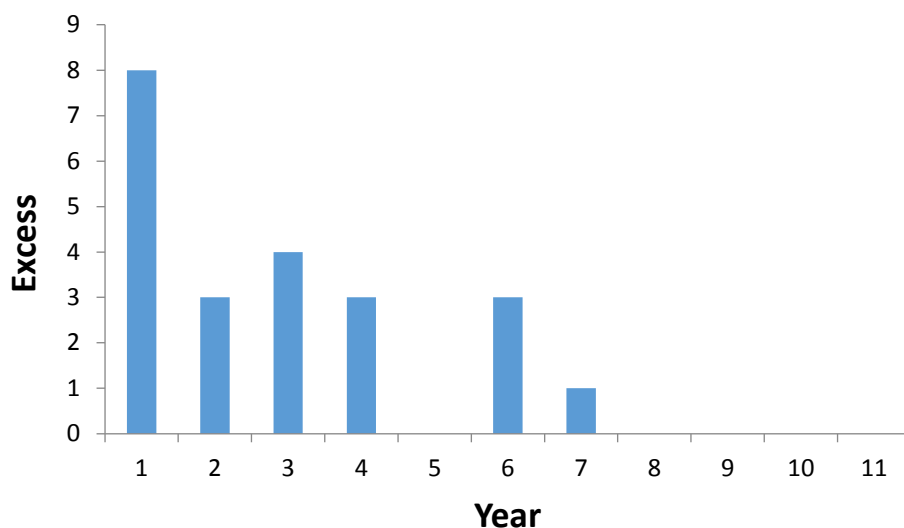
Στο ακόλουθο **Σχήμα 5.4** αποτυπώνονται οι μέσες ετήσιες τιμές του δείκτη $ERPI$. Για το σκοπό αυτό υπολογίστηκε μια μέση τιμή του δείκτη $ERPI$ για κάθε έτος καθ' όλη τη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001 – 2011.



Σχήμα 5.4: Ετήσια πορεία του δείκτη $ERPI$ κατά την περίοδο 2001 – 2011

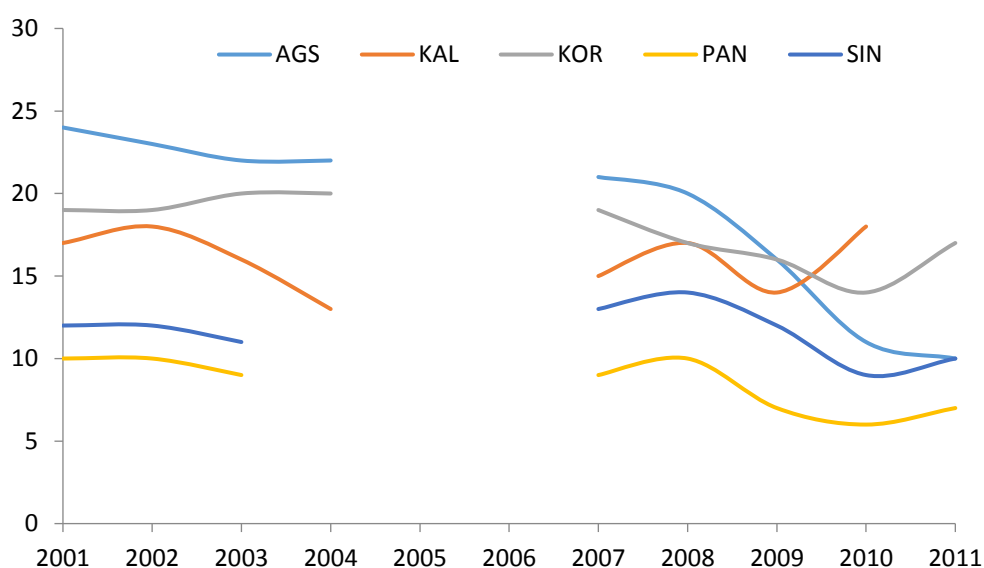
Όπως φαίνεται και από το **Σχήμα 5.4** ο δείκτης $ERPI$ το 2001 εμφάνισε την υψηλότερη τιμή ($ERPI = 25$). Στη συνέχεια ακολούθησε μια πτωτική τάση έως το 2005 ($ERPI = 16$) όπου ξεκίνησε και πάλι η ανοδική πορεία του δείκτη έως το 2008 μέχρι το επίπεδο του $ERPI = 22$.

Στο ακόλουθο **Σχήμα 5.5** καταγράφονται οι ετήσιες υπερβάσεις που κατέγραψε ο δείκτης $ERPI$ κατά την περίοδο 2001 – 2011. Οι περιπτώσεις όπου ο δείκτης υπερβαίνει τις 200 μονάδες καταγράφονται ως υπερβάσεις. Το ακόλουθο γράφημα προέκυψε από το άθροισμα των υπερβάσεων όλων των σταθμών καταγραφής για κάθε έτος της περιόδου που μελετάται.



Σχήμα 5.5: Αριθμός ετήσιων υπερβάσεων της επιτρεπόμενης τιμής του δείκτη ERPI κατά την περίοδο 2001 – 2011

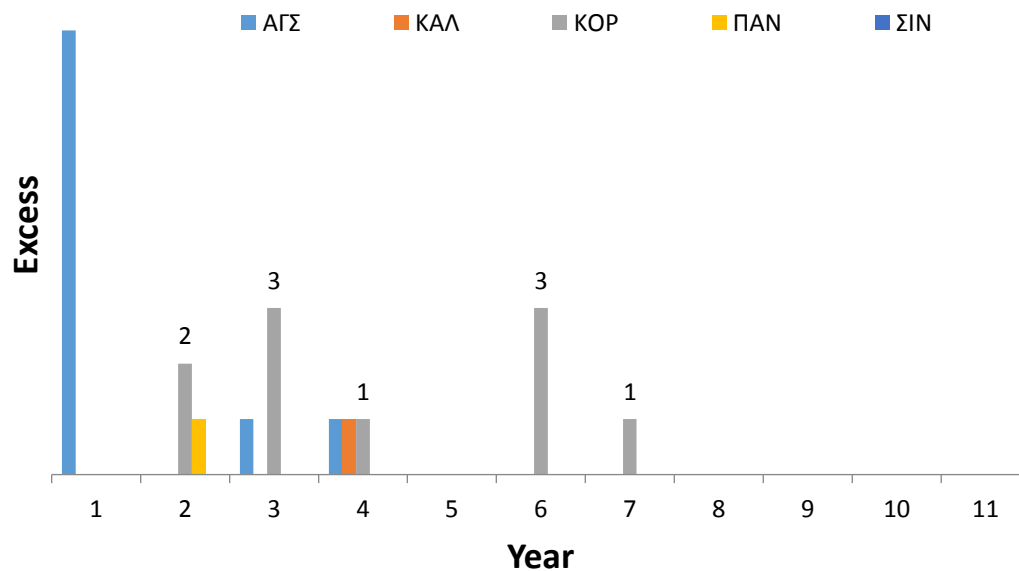
Στο ακόλουθο **Σχήμα 5.6** απεικονίζεται η πορεία του δείκτη ERPI σε κάθε έναν από τους πέντε σταθμούς του δικτύου παρακολούθησης της ατμοσφαίρας, κατά τη χρονική περίοδο 2001 – 2011.



Σχήμα 5.6: Ετήσια πορεία του δείκτη ERPI ανά σταθμό για την περίοδο 2001 - 2011

Το παραπάνω γράφημα δείχνει την πορεία του δείκτη ERPI σε όλους τους σταθμούς μετρήσεων για την περίοδο 2001 – 2011. Γίνεται εύκολα αντιληπτό πως ο σταθμός Αγία Σοφία παρουσιάζει τις υψηλότερες τιμές του δείκτη ERPI, έως και το έτος 2008 όπου οι σταθμοί Κορδελιό και Καλαμαριά παρουσιάζουν αυξητική τάση στις τιμές του δείκτη. Σταθερά χαμηλές τιμές παρουσιάζονται στους σταθμούς Πανόραμα και Σίνδος.

Στο ακόλουθο **Σχήμα 5.7** καταγράφονται οι υπερβάσεις του δείκτη ERPI ξεχωριστά για κάθε σταθμό του δικτύου μετρήσεων. Αναλυτικότερα έχουν καταγραφεί οι φορές όπου ο δείκτης ξεπέρασε τις 200 μονάδες σε κάθε σταθμό, κάθε χρόνο της περιόδου 2001 – 2011.

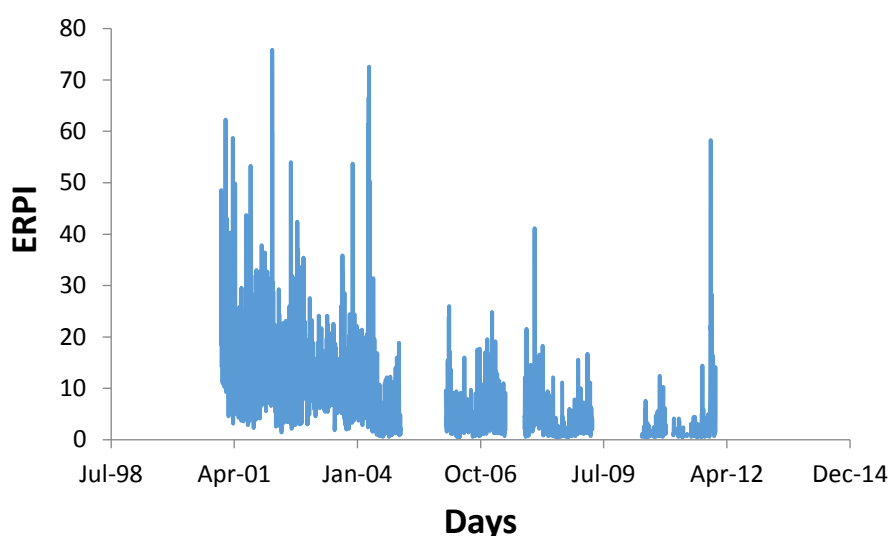


Σχήμα 5.7: Αριθμός ετήσιων υπερβάσεων της επιτρεπόμενης τιμής του δείκτη ERPI ανά σταθμό κατά την περίοδο 2001 – 2011

Κεφάλαιο 6^ο

Διοξείδιο του Θείου (SO₂)

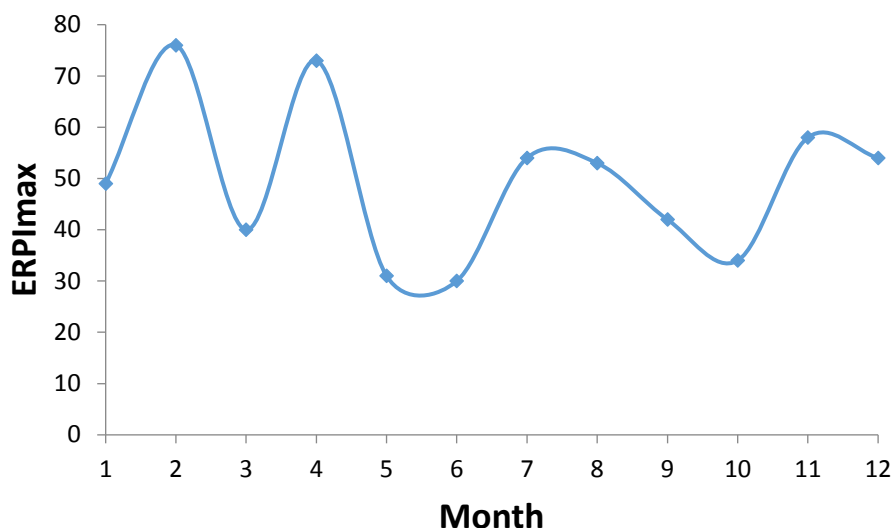
Στο ακόλουθο **Σχήμα 6.1** αποτυπώνεται η πορεία του δείκτη ERPI για το διοξείδιο του θείου σε καθημερινή βάση κατά την περίοδο 2001 – 2011. Ο υπολογισμός αυτός πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τη **Σχέση 2.1.**, όπου ως ημερήσια τιμή συγκέντρωσης, θεωρήθηκε η μέγιστη τιμή του ρύπου για κάθε ημέρα του διαστήματος που μελετάται.



Σχήμα 6.1: Ενδοετήσια πορεία του δείκτη ERPI κατά την περίοδο 2001 – 2011

Στο παραπάνω **Σχήμα 6.1**, παρατηρείται η πορεία του δείκτη στη χρονική περίοδο της μελέτης. Ο δείκτης παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση στις τιμές του έως και το 2004, με μέγιστη τιμή $ERPI = 76$ (2/2002) ενώ η ελάχιστη τιμή του καταγράφεται το Νοέμβριο 2004 με $ERPI = 1$. Στη συνέχεια ο δείκτης εμφανίζει χαμηλές τιμές με εξαίρεση ορισμένες ημέρες.

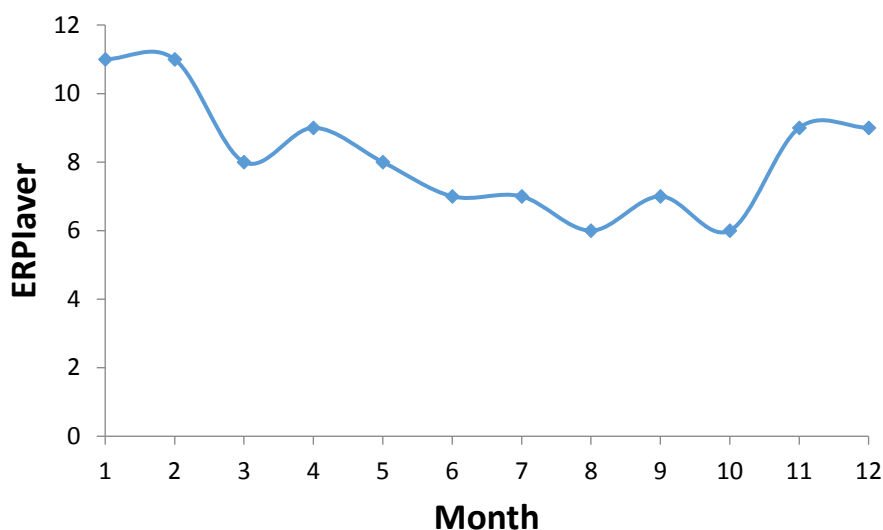
Στο ακόλουθο **Σχήμα 6.2** αποτυπώνεται η συμπεριφορά του δείκτη ERPI για το διοξείδιο του θείου, σε συνάρτηση με τους δώδεκα μήνες του έτους. Για το σκοπό αυτό συγκεντρώθηκαν δώδεκα μέγιστες τιμές του δείκτη ERPI (μία για κάθε μήνα) για την χρονική περίοδο 2001 – 2011. Για παράδειγμα, η μέγιστη τιμή του δείκτη για τον Ιανουάριο, όποιο έτος κι αν καταγράφηκε αυτή, κοκ.



Σχήμα 6.2: Εποχικότητα του δείκτη ERPI συναρτήσει των μέγιστων τιμών του δείκτη

Στο παραπάνω **Σχήμα 6.2** παρατηρείται ότι δεν εμφανίζεται σαφής εποχικότητα για το SO_2 σε σχέση με τις απόλυτες τιμές του ρύπου. Το μόνο που ίσως μπορούμε να πούμε είναι ότι οι τιμές στη διάρκεια της ψυχρής περιόδου του έτους (Οκτώβριος-Απρίλιος) είναι σαφώς υψηλότερες από τις αντίστοιχες της θερμής περιόδου του έτους (Μάιος-Σεπτέμβριος), πράγμα το οποίο οφείλεται στη χρήση θέρμανσης στη διάρκεια της ψυχρής περιόδου του έτους.

Στο ακόλουθο **Σχήμα 6.3** αποτυπώνεται η συμπεριφορά του δείκτη ERPI για το διοξείδιο του θείου, συναρτήσει του μέσου όρου των τιμών που παρουσιάζει ο δείκτης για κάθε μήνα στο διάστημα 2001 – 2011. Σκοπός του συγκεκριμένου γραφήματος είναι να αποδείξει την ύπαρξη ή μη εποχικότητας του δείκτη.

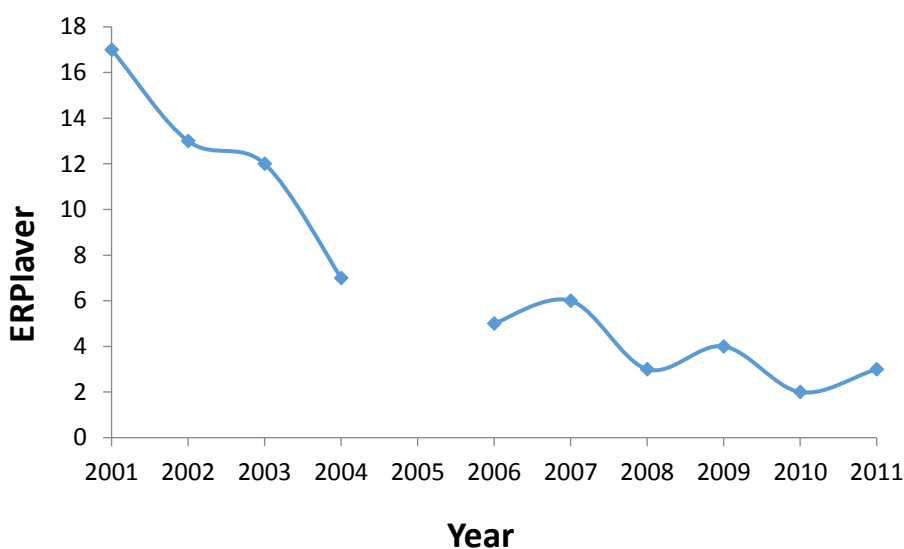


Σχήμα 6.3: Εποχικότητα του δείκτη ERPI συναρτήσει του μέσου όρου των τιμών του δείκτη

Από το παραπάνω Σχήμα 6.3 παρατηρείται πτωτική τάση του δείκτη καθώς προχωράει ο χρόνος με τις μέγιστες τιμές του να παρουσιάζονται κατά του χειμερινούς μήνες. Αντίθετα οι τιμές του δείκτη είναι οι ελάχιστες κατά τους μήνες Αύγουστο και Σεπτέμβριο.

Συμπερασματικά από το Σχήμα 5.2 και Σχήμα 5.3 παρατηρείται ότι εμφανίζεται για το διοξείδιο του θείου μια σαφής εποχικότητα σε ότι αφορά τις μέσες μηνιαίες τιμές, η οποία οφείλεται προφανώς στις αντίστοιχες εκπομπές από τη χρήση διατάξεων θέρμανσης κατά τη ψυχρή περίοδο του έτους.

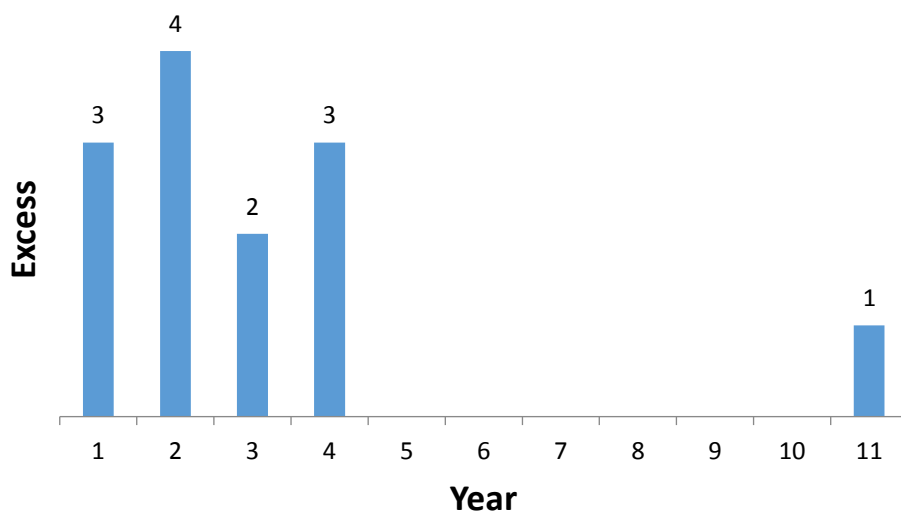
Στο ακόλουθο **Σχήμα 6.4** αποτυπώνονται οι μέσες ετήσιες τιμές του δείκτη ERPI. Για το σκοπό αυτό υπολογίστηκε μια μέση τιμή του δείκτη ERPI για κάθε έτος καθ' όλη τη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001 – 2011.



Σχήμα 6.4: Ετήσια πορεία του δείκτη ERPI κατά την περίοδο 2001 – 2011

Όπως φαίνεται και από το **Σχήμα 6.4** ο δείκτης ERPI το 2001 εμφάνισε την υψηλότερη τιμή ($ERPI = 17$). Στη συνέχεια ακολούθησε μια πτωτική τάση έως το 2006 ($ERPI = 5$) όπου στη συνέχεια παρουσιάζεται μια εναλλαγή στις τιμές.

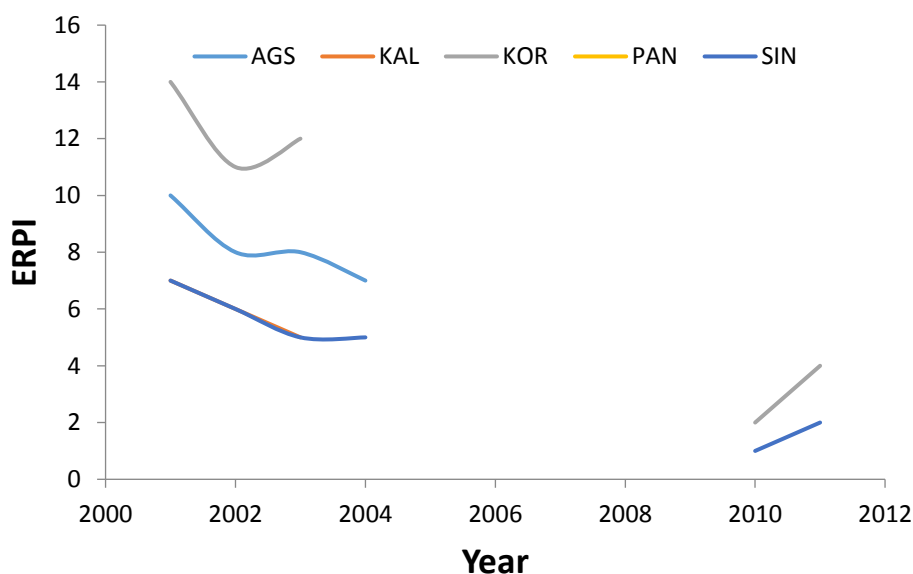
Στο ακόλουθο **Σχήμα 6.5** καταγράφονται οι ετήσιες υπερβάσεις που κατέγραψε ο δείκτης ERPI κατά την περίοδο 2001 – 2011. Οι περιπτώσεις όπου ο δείκτης υπερβαίνει τις 350 μονάδες καταγράφονται ως υπερβάσεις. Το ακόλουθο γράφημα προέκυψε από το άθροισμα των υπερβάσεων όλων των σταθμών καταγραφής για κάθε έτος της περιόδου που μελετάται.



Σχήμα 6.5: Αριθμός ετήσιων υπερβάσεων της επιτρεπόμενης τιμής του δείκτη ERPI κατά την περίοδο 2001 – 2011

Με βάση το παραπάνω σχήμα, φαίνεται ότι δεν υπάρχει σοβαρό πρόβλημα σε σχέση με τις υπερβάσεις του διοξειδίου του θείου.

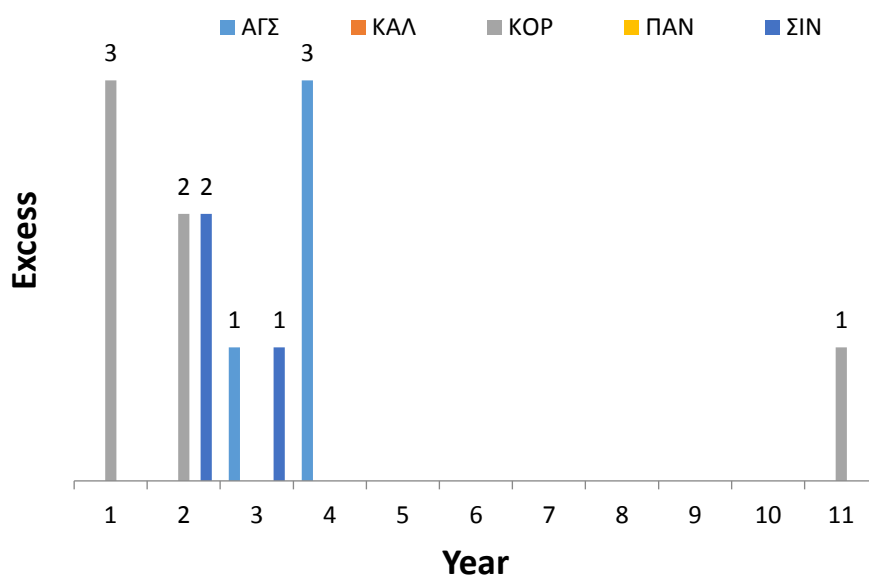
Στο ακόλουθο **Σχήμα 6.6** απεικονίζεται η πορεία του δείκτη ERPI σε κάθε έναν από τους πέντε σταθμούς του δικτύου παρακολούθησης της ατμοσφαίρας, κατά τη χρονική περίοδο 2001 – 2011.



Σχήμα 6.6: Ετήσια πορεία του δείκτη ERPI ανά σταθμό για την περίοδο 2001 - 2011

Στο ακόλουθο **Σχήμα 6.7** καταγράφονται οι υπερβάσεις του δείκτη ERPI ξεχωριστά για κάθε σταθμό του δικτύου μετρήσεων. Αναλυτικότερα έχουν

καταγραφεί οι φορές όπου ο δείκτης ξεπέρασε τις 350 μονάδες σε κάθε σταθμό, κάθε χρόνο της περιόδου 2001 – 2011.



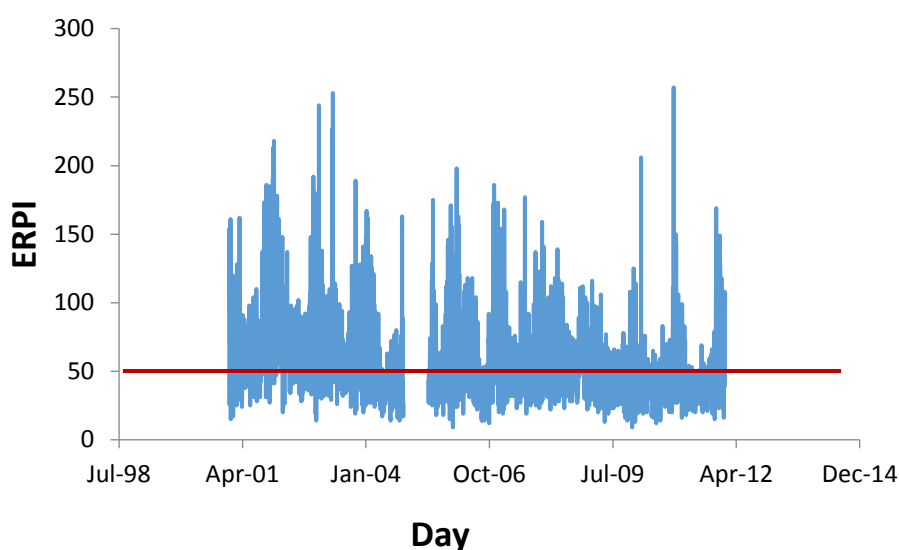
Σχήμα 6.7: Αριθμός ετήσιων υπερβάσεων της επιτρεπόμενης τιμής του δείκτη ERPI ανά σταθμό κατά την περίοδο 2001 – 2011

Με βάση το παραπάνω σχήμα, φαίνεται ότι δεν υπάρχει σοβαρό πρόβλημα σε σχέση με τις υπερβάσεις του διοξειδίου του θείου σε κανέναν από τους εξεταζόμενους σταθμούς-θέσεις στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης και κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου 2001 - 2011.

Κεφάλαιο 7°

Σωματίδια PM₁₀

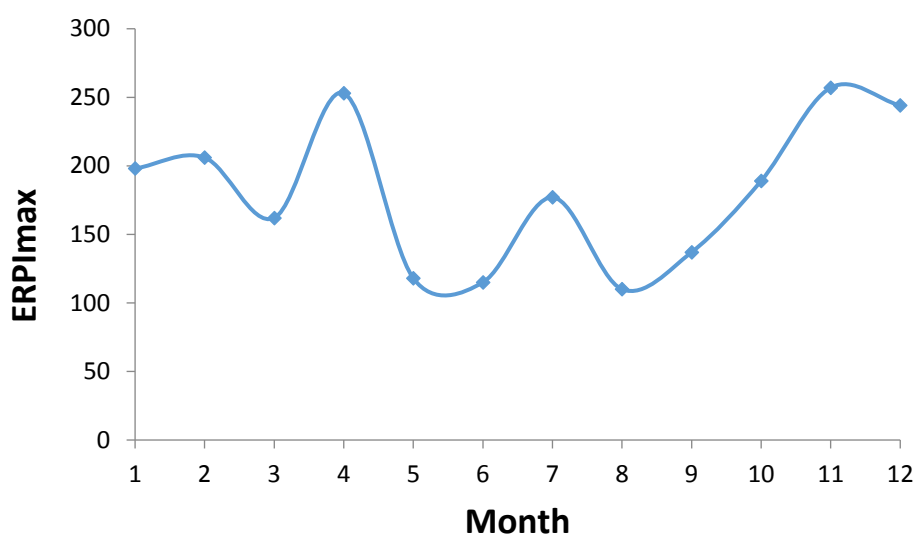
Στο ακόλουθο **Σχήμα 7.1** αποτυπώνεται η πορεία του δείκτη ERPI για τα σωματίδια PM₁₀ σε καθημερινή βάση κατά την περίοδο 2001 – 2011. Ο υπολογισμός αυτός πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τη **Σχέση 2.1**. Όπου ως ημερήσια τιμή συγκέντρωσης για το μονοξείδιο, θεωρήθηκε η μέγιστη τιμή του ρύπου για κάθε ημέρα του διαστήματος που μελετάται.



Σχήμα 7.1: Ενδοετήσια πορεία του δείκτη ERPI κατά την περίοδο 2001 – 2011

Στο παραπάνω **Σχήμα 7.1**, παρατηρείται η πορεία του δείκτη στη χρονική περίοδο της μελέτης. Ο δείκτης παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση στις τιμές του, καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης και ειδικότερα κατά τα έτη 2002, 2005, 2010 και 2012 με μέγιστη τιμή ERPI = 257 (11/2010) ενώ η ελάχιστη τιμή του είναι ERPI = 9 (12/2005). Σε κάθε όμως περίπτωση, φαίνεται ότι στις περισσότερες ημέρες του έτους, οι τιμές του δείκτη είναι μεγαλύτερες του 50 που σημαίνει κακή ποιότητα του αέρα σε ότι έχει να κάνει με τα αιωρούμενα σωματίδια.

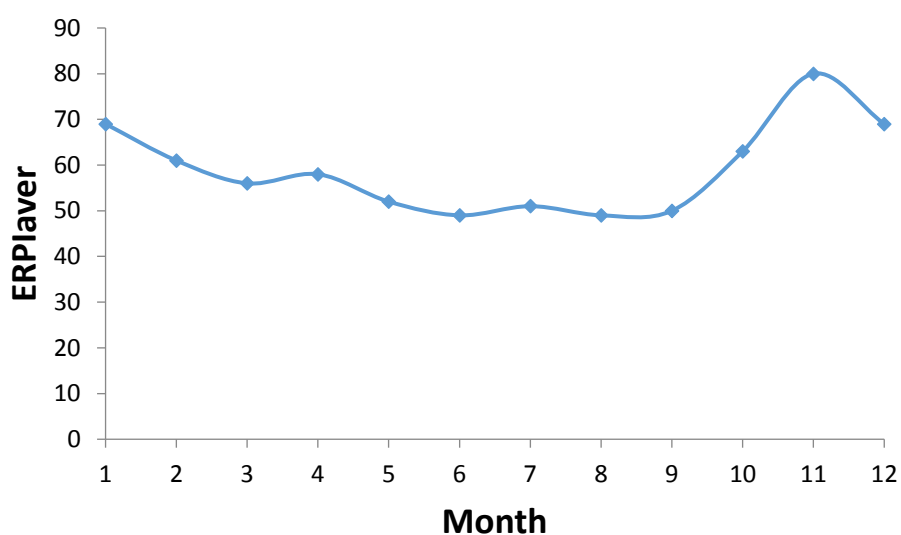
Στο ακόλουθο **Σχήμα 7.2** αποτυπώνεται η συμπεριφορά του δείκτη ERPI, σε συνάρτηση με τους δώδεκα μήνες του έτους. Για το σκοπό αυτό συγκεντρώθηκαν δώδεκα απολύτως μέγιστες τιμές του δείκτη ERPI (μία για κάθε μήνα) για την χρονική περίοδο 2001 – 2011. Για παράδειγμα, η μέγιστη τιμή του δείκτη για τον Ιανουάριο, όποιο έτος κι αν καταγράφηκε αυτή, κοκ.



Σχήμα 7.2: Εποχικότητα του δείκτη ERPI συναρτήσει των απολύτως μέγιστων τιμών του δείκτη

Στο παραπάνω **Σχήμα 7.2** παρατηρείται ότι οι υψηλότερες τιμές του δείκτη παρουσιάζονται τους μήνες Απρίλιο και Νοέμβριο ($ERPI = 250$). Αντίθετα οι χαμηλότερες τιμές εμφανίζονται κατά τους μήνες Μάιο, Ιούνιο και Αύγουστο.

Στο ακόλουθο **Σχήμα 7.3** αποτυπώνεται η συμπεριφορά του δείκτη ERPI για τα PM_{10} , συναρτήσει του μέσου όρου των τιμών που παρουσιάζει ο δείκτης για κάθε μήνα στο διάστημα 2001 – 2011. Σκοπός του συγκεκριμένου γραφήματος είναι να αποδείξει την ύπαρξη ή μη εποχικότητας του δείκτη για τα PM_{10} .

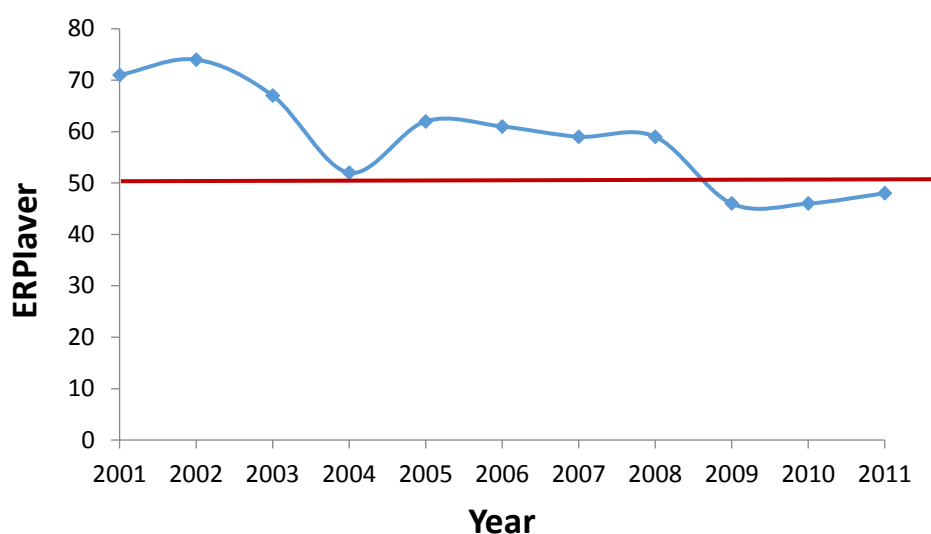


Σχήμα 7.3: Εποχικότητα του δείκτη ERPI συναρτήσει του μέσου όρου των τιμών του δείκτη

Από το παραπάνω Σχήμα 7.3 παρατηρείται μια σχετική σταθερότητα του δείκτη καθώς προχωράει ο χρόνος μέχρι και το μήνα Οκτώβριο όπου ξεκινάει μια ανοδική τάση του δείκτη με αποκορύφωμα τη μέγιστη τιμή του ERPI = 80 κατά το μήνα Νοέμβριο.

Συμπερασματικά από το Σχήμα 7.2 και Σχήμα 7.3 παρατηρείται ότι δεν υπάρχει σαφής εποχικότητα του δείκτη σε σχέση με τα αιωρούμενα σωματίδια. Απλά, θα μπορούσαμε να πούμε ότι κατά την ψυχρή περίοδο του έτους, οι τιμές του δείκτη είναι λίγο μεγαλύτερες σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές κατά τη θερμή περίοδο του έτους.

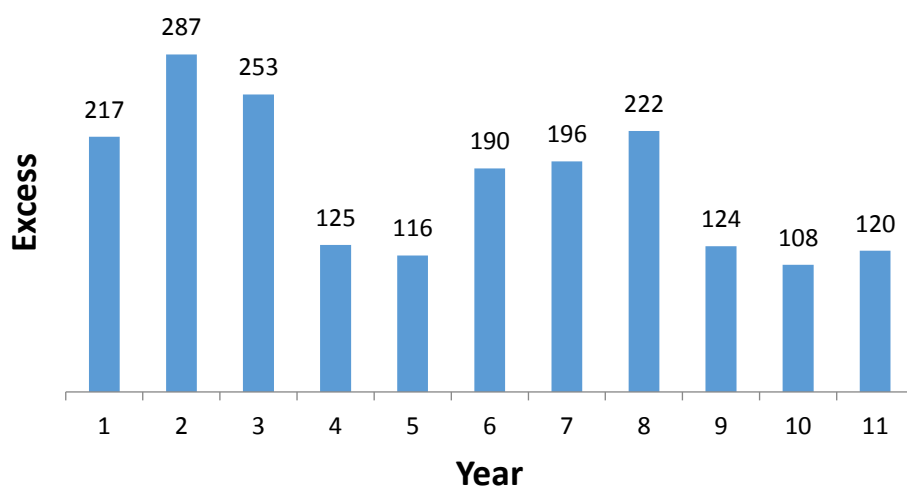
Στο ακόλουθο **Σχήμα 7.4** αποτυπώνονται οι μέσες ετήσιες τιμές του δείκτη ERPI. Για το σκοπό αυτό υπολογίστηκε μια μέση τιμή του δείκτη ERPI για κάθε έτος καθ' όλη τη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001 – 2011.



Σχήμα 7.4: Ετήσια πορεία του δείκτη ERPI κατά την περίοδο 2001 – 2011

Όπως φαίνεται και από το **Σχήμα 7.4** ο δείκτης ERPI το 2002 εμφάνισε την υψηλότερη τιμή (ERPI = 74). Στη συνέχεια ακολούθησε μια πτωτική τάση έως το 2004 (ERPI = 50) όπου στη συνέχεια παρουσιάζεται μια σχετική σταθερότητα στις τιμές μέχρι και το 2008. Σε κάθε όμως περίπτωση, οι μέσες ετήσιες τιμές του δείκτη είναι μεγαλύτερες του 50, πράγμα που δείχνει μια σχετικά κακή ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα, με εξαίρεση τα τελευταία έτη 2009 – 2011.

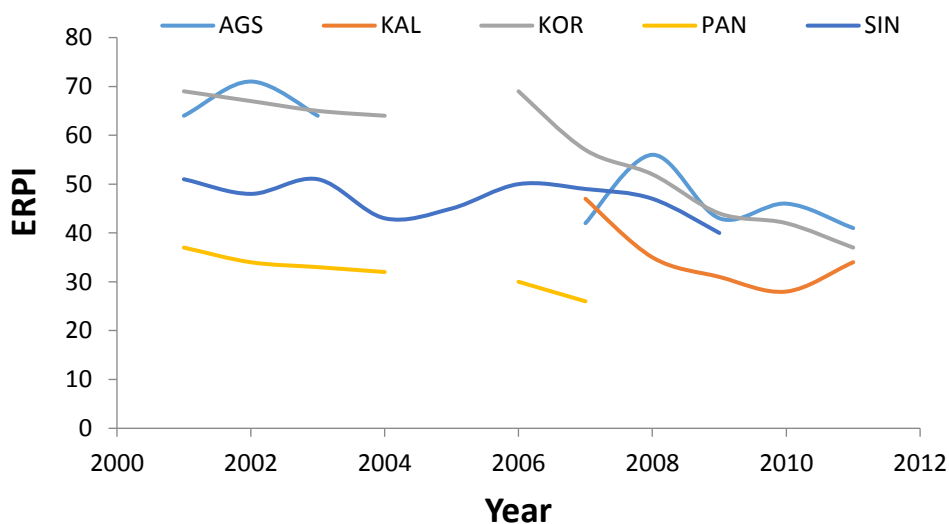
Στο ακόλουθο **Σχήμα 7.5** καταγράφονται οι ετήσιες υπερβάσεις που κατέγραψε ο δείκτης ERPI κατά την περίοδο 2001 – 2011. Οι περιπτώσεις όπου ο δείκτης υπερβαίνει τις 50 μονάδες καταγράφονται ως υπερβάσεις. Το ακόλουθο γράφημα προέκυψε από το άθροισμα των υπερβάσεων όλων των σταθμών καταγραφής για κάθε έτος της περιόδου που μελετάται.



Σχήμα 7.5: Αριθμός ετήσιων υπερβάσεων της επιτρεπόμενης τιμής του δείκτη ERPI κατά την περίοδο 2001 – 2011

Από το παραπάνω **Σχήμα 7.5** διαπιστώνεται πως η χρονιές με τις περισσότερες υπερβάσεις είναι τα έτη 2001, 2002 και 2003 με μέγιστη τιμή τις 700 υπερβάσεις (2002). Αντίθετα οι χρονιές με τις λιγότερες υπερβάσεις είναι το 2004 και 2005.

Στο ακόλουθο **Σχήμα 7.6** απεικονίζεται η πορεία του δείκτη ERPI σε κάθε έναν από τους πέντε σταθμούς του δικτύου παρακολούθησης της ατμοσφαίρας, κατά τη χρονική περίοδο 2001 – 2011.

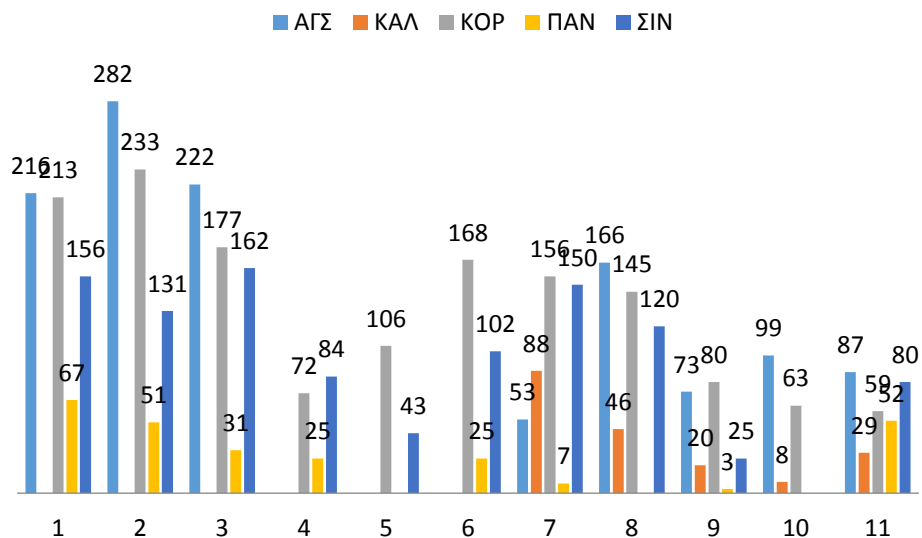


Σχήμα 7.6: Ετήσια πορεία του δείκτη ERPI ανά σταθμό για την περίοδο 2001 - 2011

Στο παραπάνω **Σχήμα 7.6** παρατηρείται πως οι σταθμοί με τις υψηλότερες τιμές του δείκτη ERPI είναι οι σταθμοί Κορδελιό και Αγία Σοφία, με τις γραφικές

τους παραστάσεις να τοποθετούνται ψηλά σε όλη τη διάρκεια της μελέτης. Αντίθετα ο σταθμός Πανόραμα κατέγραψε τις χαμηλότερες τιμές του δείκτη.

Στο ακόλουθο **Σχήμα 7.7** καταγράφονται οι υπερβάσεις του δείκτη ERPI ξεχωριστά για κάθε σταθμό του δικτύου μετρήσεων. Αναλυτικότερα έχουν καταγραφεί οι φορές όπου ο δείκτης ξεπέρασε τις 50 μονάδες σε κάθε σταθμό, κάθε χρόνο της περιόδου 2001 – 2011.



Σχήμα 7.7: Αριθμός ετήσιων υπερβάσεων της επιτρεπόμενης τιμής του δείκτη ERPI ανά σταθμό κατά την περίοδο 2001 – 2011

Από το παραπάνω **Σχήμα 7.7** γίνεται εύκολα αντιληπτό πως ο σταθμός με τις περισσότερες υπερβάσεις είναι αυτός της Αγίας Σοφίας και κατά το έτος 2002 κατέγραψε το μεγαλύτερο πλήθος από όλη τη διάρκεια της μελέτης. Αντίθετα οι λιγότερες υπερβάσεις καταγράφονται στο σταθμό Πανόραμα κατά το έτος 2009.

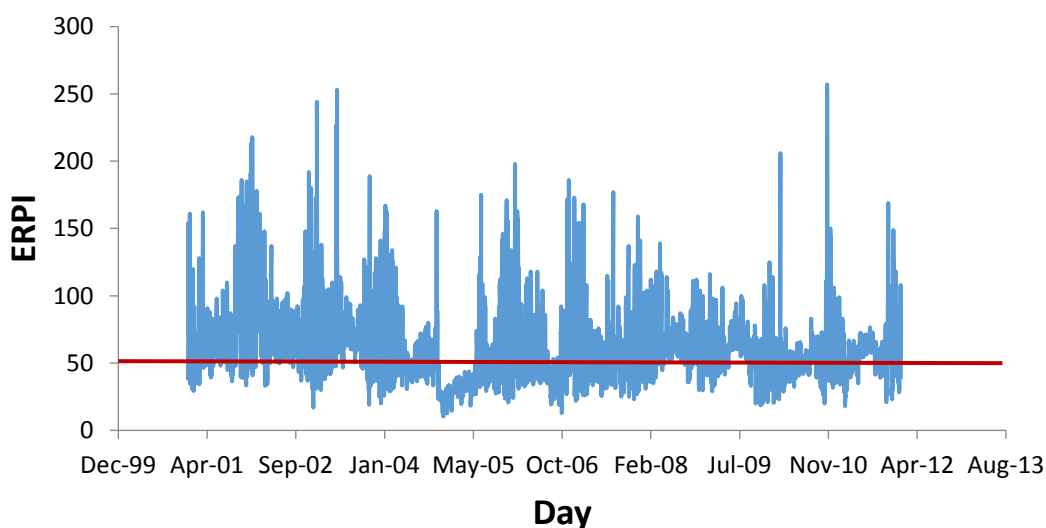
Κεφάλαιο 8°

Δείκτης ατμοσφαιρικής ρύπανσης ERPI συνολικά για την ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης κατά την περίοδο 2001 - 2011

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί παρουσιάζονται τα τελικά αποτελέσματα για την μελέτη κατά την περίοδο 2001-2011 όπως αυτά προέκυψαν από τους υπολογισμούς που πραγματοποιήθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια.

Αρχικά συγκεντρώθηκαν οι τελικές τιμές για τον Δείκτη ERPI, σε όλους τους σταθμούς από όπου αντλήθηκαν μετρήσεις για τους ατμοσφαιρικούς ρύπους, με αποτέλεσμα να προκύψουν πέντε ημερήσιες τιμές του δείκτη. Από αυτές τις τιμές, η μέγιστη τιμή του δείκτη, σε όποιο σταθμό κι αν συναντάται, αποτελεί την ημερήσια τιμή του δείκτη ERPI για ολόκληρη της περιοχή της Θεσσαλονίκης.

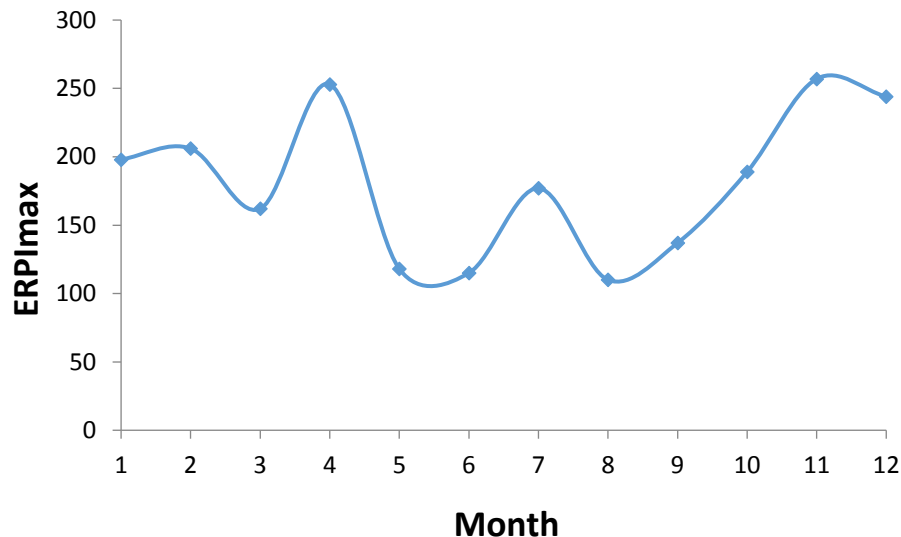
Στο ακόλουθο **Σχήμα 8.1** αποτυπώνεται η πορεία του δείκτη ERPI σε καθημερινή βάση κατά την περίοδο 2001 – 2011.



Σχήμα 8.1: Ενδοετήσια πορεία του δείκτη ERPI κατά την περίοδο 2001 – 2011

Στο παραπάνω **Σχήμα 8.1** αποτυπώνονται οι ημερήσιες τιμές του δείκτη για την ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης κατά την περίοδο της μελέτης. Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό και από το γράφημα, από τον Οκτώβριο 2001 έως και τον Απρίλιο 2002 ο δείκτης εμφανίζει υψηλές τιμές πάνω από $ERPI=167$. Κάτι ανάλογο παρουσιάζεται και κατά τον Δεκέμβριο του 2002 ($ERPI=173$), τον Φεβρουάριο του 2004 ($ERPI=162$). Επίσης ο δείκτης εμφανίζει υψηλές τιμές και κατά την περίοδο Νοεμβρίου 2005-Ιανουαρίου 2006 ($ERPI>133$) αλλά και στις αρχές του 2007 ($ERPI>124$). Σε κάθε όμως περίπτωση, φαίνεται ότι για πάρα πολλές ημέρες στη διάρκεια του έτους, η τιμή του δείκτη υπερβαίνει την τιμή 50 που δείχνει μια σχετικά κακή ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα.

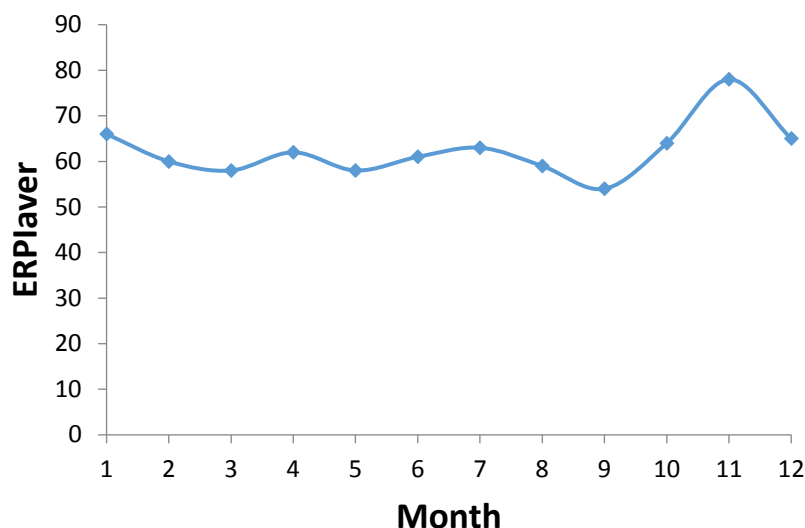
Στο ακόλουθο **Σχήμα 8.2** αποτυπώνεται η συμπεριφορά του δείκτη ERPI, σε συνάρτηση με τους δώδεκα μήνες του έτους. Για το σκοπό αυτό συγκεντρώθηκαν δώδεκα μέγιστες τιμές του δείκτη ERPI (μια για κάθε μήνα) για την χρονική περίοδο 2001 – 2011. Για παράδειγμα, η μέγιστη τιμή του δείκτη για τον Ιανουάριο, όποιο έτος κι αν καταγράφηκε αυτή, κοκ.



Σχήμα 8.2: Εποχικότητα του δείκτη ERPI συναρτήσει των απολύτως μέγιστων τιμών του δείκτη

Από το παραπάνω **Σχήμα 8.2** παρατηρείται πως ο δείκτης παρουσιάζει τις μέγιστες τιμές κατά τους μήνες Απρίλιο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο με τιμές 253, 257 και 244. Στον αντίποδα, οι ελάχιστες τιμές του δείκτη ERPI εμφανίζονται κατά τους μήνες Μάιο, Ιούνιο και Αύγουστο 118, 115 και 110 αντίστοιχα.

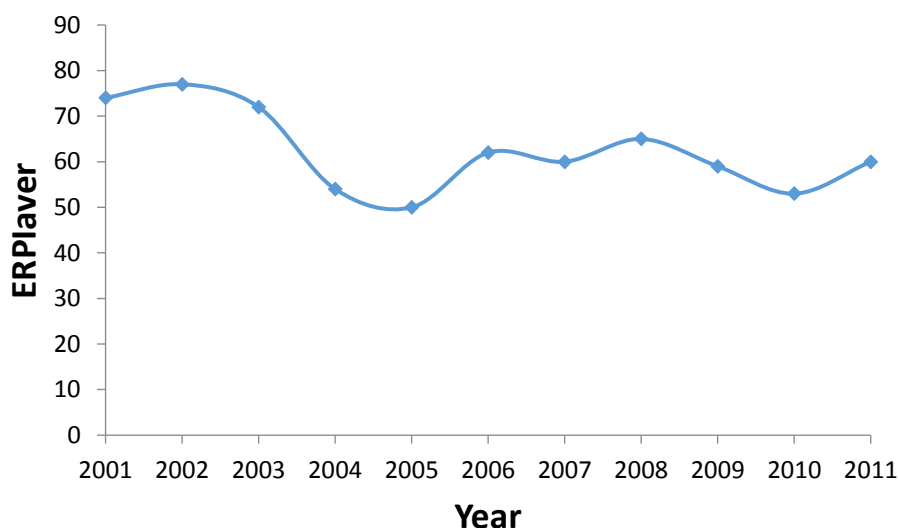
Στο ακόλουθο **Σχήμα 8.3** αποτυπώνεται η συμπεριφορά του δείκτη ERPI συναρτήσει του μέσου όρου των τιμών που παρουσιάζει ο δείκτης για κάθε μήνα στο διάστημα 2001 – 2011. Σκοπός του συγκεκριμένου γραφήματος είναι να αποδείξει την ύπαρξη ή μη εποχικότητας του δείκτη.



Σχήμα 8.3: Εποχικότητα του δείκτη ERPI συναρτήσει των μέσων μηνιαίων τιμών του δείκτη

Όπως παρατηρείται και από το παραπάνω **Σχήμα 8.3** ο δείκτης παρουσιάζει μια σταθερότητα με αποτέλεσμα οι τιμές του να κυμαίνονται από $ERPI=66$ έως 54. Η διαφοροποίηση του δείκτη από αυτές τις τιμές εμφανίζεται κατά τους χειμερινούς μήνες Νοέμβριο και Δεκέμβριο όπου καταγράφεται μια ανοδική πορεία. Αυτό αποδεικνύει και την εποχικότητα που παρουσιάζει ο δείκτης στην περιοχή της Θεσσαλονίκης κατά την περίοδο της μελέτης.

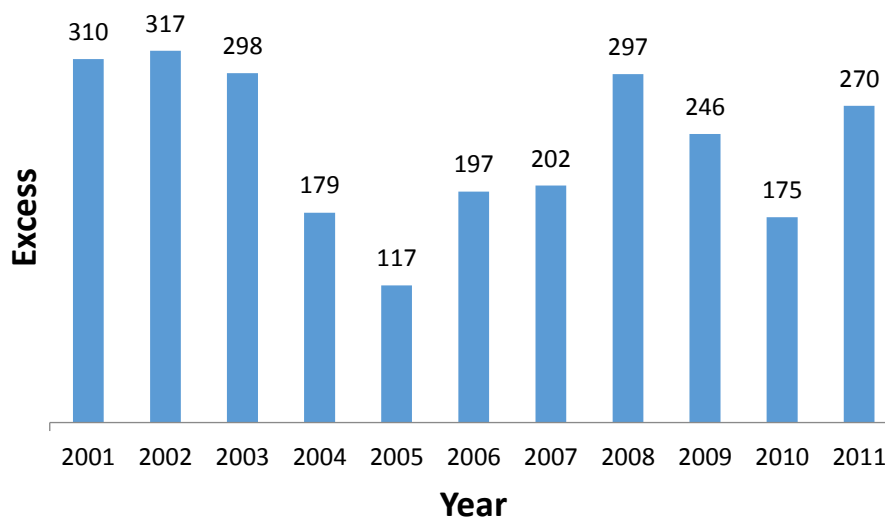
Στο ακόλουθο **Σχήμα 8.4** αποτυπώνονται οι μέσες ετήσιες τιμές του δείκτη ERPI. Για το σκοπό αυτό υπολογίστηκε μια μέση τιμή του δείκτη ERPI για κάθε έτος καθ' όλη τη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001 – 2011.



Σχήμα 8.4: Ετήσια πορεία του δείκτη ERPI κατά την περίοδο 2001 – 2011

Από το παραπάνω Σχήμα 8.4 παρατηρείται ότι οι χαμηλότερες τιμές του δείκτη ERPI καταγράφονται τα έτη 2004, 2005 και 2010 με τιμές 54, 50 και 53 αντίστοιχα. Αντίθετα υψηλές τιμές παρατηρούνται κατά την τριετία 2001-2003 με τιμές 74, 77 και 72. Μετά το έτος 2006 ο δείκτης παρουσιάζει μια σταθερότητα χωρίς μεγάλες αποκλίσεις στις τιμές του.

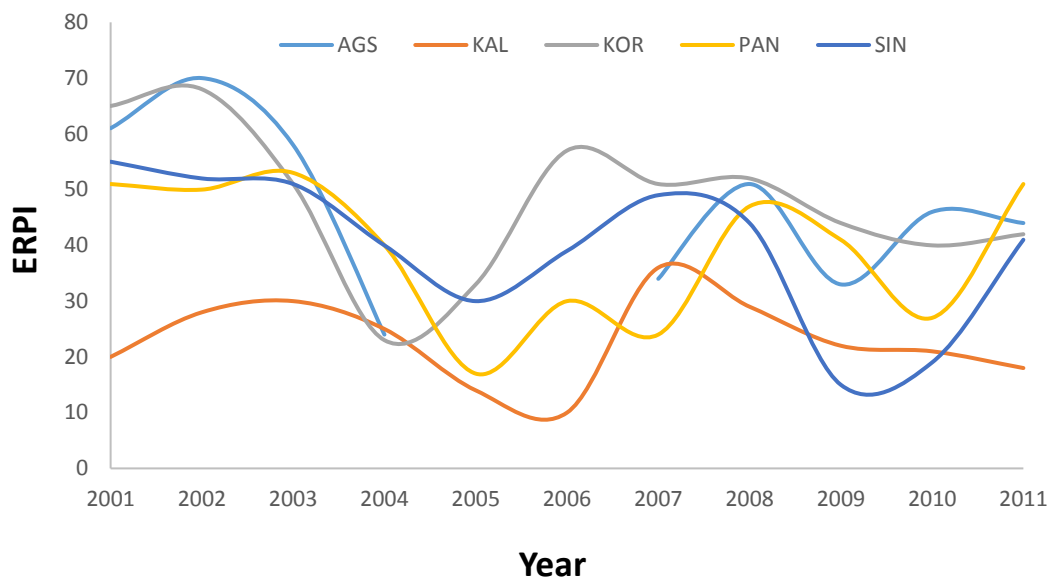
Στο ακόλουθο **Σχήμα 8.5** καταγράφονται οι ετήσιες υπερβάσεις που κατέγραψε ο δείκτης ERPI κατά την περίοδο 2001 – 2011. Οι περιπτώσεις όπου ο δείκτης υπερβαίνει τις 50 μονάδες καταγράφονται ως υπερβάσεις.



Σχήμα 8.5: Ετήσιες υπερβάσεις του δείκτη ERPI κατά την περίοδο 2001 – 2011

Όπως παρατηρείται και από το **Σχήμα 8.5** τα έτη 2001, 2002, 2003, 2008 και 2011, καταγράφονται οι περισσότερες υπερβάσεις κατά την περίοδο της μελέτης. Αυτό μεταφράζεται πως η ημερήσια τιμή του δείκτη ERPI υπερέβη τις 50 μονάδες, για περισσότερες από 270 φορές κατά τα έτη αυτά. Αντίθετα, οι λιγότερες υπερβάσεις έχουν καταγραφεί κατά τα έτη 2004, 2005 και 2010 με τιμές 179, 117 και 175 αντίστοιχα.

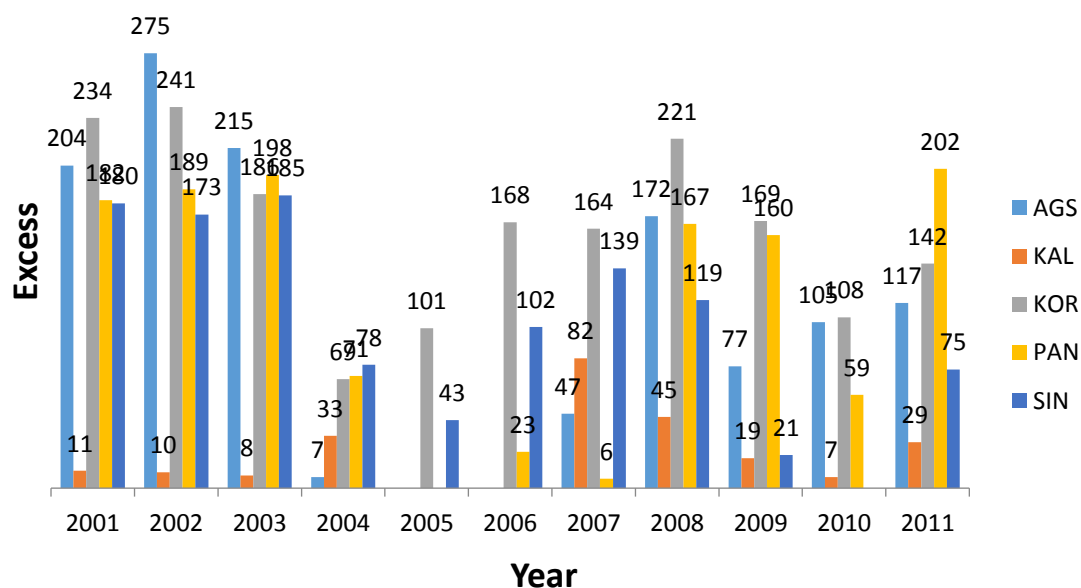
Στο ακόλουθο **Σχήμα 8.6** απεικονίζεται η πορεία του δείκτη ERPI σε κάθε έναν από τους πέντε σταθμούς του δικτύου παρακολούθησης της ατμοσφαιράς, κατά τη χρονική περίοδο 2001 – 2011.



Σχήμα 8.6 Η πορεία του δείκτη ERPI σε κάθε έναν από τους πέντε σταθμούς του δικτύου παρακολούθησης της ατμόσφαιρας, κατά τη χρονική περίοδο 2001 – 2011.

Από το παραπάνω **Σχήμα 8.6** παρατηρείται πως οι υψηλότερες τιμές του δείκτη ERPI καταγράφονται στους σταθμούς Κορδελιό και Αγία Σοφία ενώ και ο σταθμός της Σίνδου έχει καταγράψει υψηλές τιμές κατά την περίοδο μελέτης. Αντίθετα ο σταθμός καταμέτρησης στην Καλαμαριά παρουσιάζει τις χαμηλότερες τιμές του δείκτη.

Στο ακόλουθο **Σχήμα 8.7** καταγράφονται οι υπερβάσεις του δείκτη ERPI ξεχωριστά για κάθε σταθμό του δικτύου μετρήσεων. Αναλυτικότερα έχουν καταγραφεί οι φορές όπου ο δείκτης ξεπέρασε τις 50 μονάδες σε κάθε σταθμό, κάθε χρόνο της περιόδου 2001 – 2011.



Σχήμα 8.7: Αριθμός ετήσιων υπερβάσεων της επιτρεπόμενης τιμής του δείκτη ERPI ανά σταθμό κατά την περίοδο 2001 – 2011

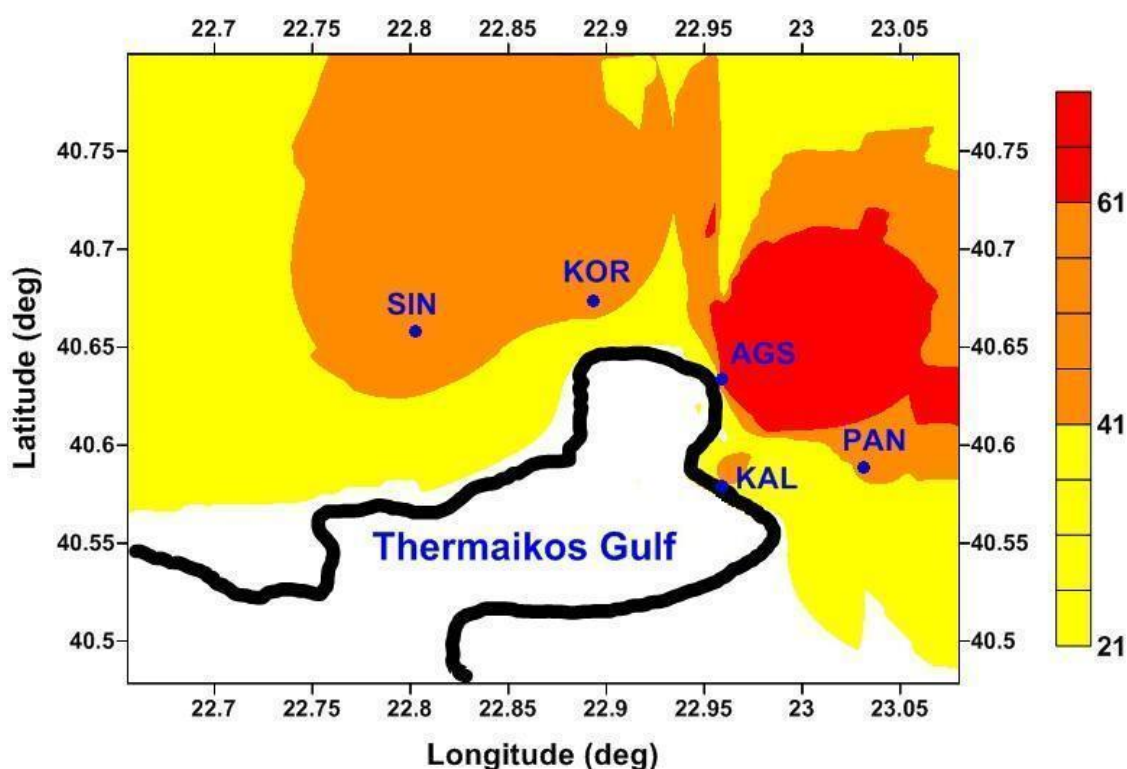
Στο παραπάνω **Σχήμα 8.7** φαίνεται πως οι περισσότερες υπερβάσεις κατά την περίοδο μελέτης καταγράφηκαν στους σταθμούς Αγίας Σοφίας, Κορδελιού, Πανεπιστημίου και Σίνδου για τα πρώτα τρία χρόνια της περιόδου 2001-2011. Στη συνέχεια, ο σταθμός Κορδελιού καταγράφει τις περισσότερες υπερβάσεις για την περίοδο 2005-2009. Επιπλέον ο σταθμός Πανεπιστημίου κατά τα έτη 2008-2011 συγκεντρώνει το μεγαλύτερο πλήθος υπερβάσεων.

Κεφάλαιο 9°

Χωρική κατανομή του δείκτη ERPI

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζεται η χωρική κατανομή του δείκτη ERPI για την ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης, με βάση τις τιμές του δείκτη όπως αυτές προέκυψαν από την παραπάνω ανάλυση για το σύνολο των εξεταζόμενων ρύπων, στο σύνολο των εξεταζόμενων θέσεων-σταθμών και στο σύνολο της εξεταζόμενης χρονικής περιόδου 2001 – 2011.

Στο Σχήμα 9.1 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των τιμών του δείκτη ERPI για την ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης τη χρονική περίοδο 2001-2011.



Σχήμα 9.1 Χωρική κατανομή των τιμών του δείκτη ERPI για την ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης τη χρονική περίοδο 2001 - 2011

Με βάση το παραπάνω Σχήμα 9.1, φαίνεται ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι έντονη, με σοβαρές πιθανά επιπτώσεις στη δημόσια υγεία, στην περιοχή γύρω από το κέντρο της πόλης της Θεσσαλονίκης. Αυτό προφανώς οφείλεται στην κυκλοφορία των οχημάτων σε συνδυασμό με τη χρήση συστημάτων θέρμανσης (κυρίως την ψυχρή περίοδο του έτους) και την αστικοποίηση γενικότερα. Επίσης, στην περιοχή της Σίνδου, δυτικά της πόλης της Θεσσαλονίκης, παρατηρείται έντονη βιομηχανική δραστηριότητα που οδηγεί σε μεγάλες εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων.

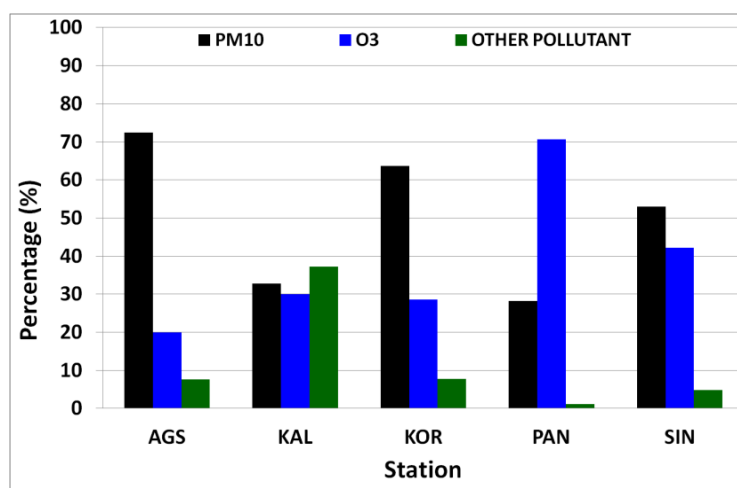
Στις υπόλοιπες περιοχές που μελετήθηκαν, φαίνεται οι τιμές του δείκτη να κυμαίνονται μεταξύ του 40 και του 60 που σημαίνει μια επαρκής ποιότητα αέρα. Όμως, αν ληφθεί υπόψη η παρατεταμένη έκθεση των κατοίκων σε μια επαρκή ποιότητα αέρα, τότε είναι προφανές ότι απαιτείται η λήψη μέτρων για την προστασία της δημόσιας υγείας.

Κεφάλαιο 10^ο

Συμπεράσματα - Παρατηρήσεις

Στα Κεφάλαια 3 έως 7 πραγματοποιήθηκε η ανάλυση του κάθε ρύπου ξεχωριστά. Υπολογίζοντας την ημερήσια τιμή του δείκτη ERPI για κάθε ρύπο σε κάθε σταθμό της περιοχής μελέτης, παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα του δείκτη με βάση τους ρύπους. Στο Κεφάλαιο 8, συγκεντρώθηκαν οι τιμές του δείκτη ERPI που προέκυψαν από τον κάθε σταθμό καταγραφής. Η μέγιστη τιμή του δείκτη αποτελεί και την ημερήσια τιμή του για όλη την περιοχή της μελέτης. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που εξήχθησαν αλλά και με βάση τα διαγράμματα που παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 8, συμπεραίνονται τα εξής:

1. Οι ημερήσιες τιμές του δείκτη ERPI που προέκυψαν κατά την περίοδο της μελέτης, προέκυψαν από τη μέγιστη τιμή του δείκτη για κάθε ρύπο. Γίνεται εύκολα αντιληπτό πως ο ρύπος που συνεισφέρει τα μέγιστα, σε σχέση με τους υπόλοιπους, για την εξαγωγή των ημερήσιων τιμών του δείκτη ERPI είναι τα σωματίδια PM₁₀. Κάτι τέτοιο γίνεται εύκολα αντιληπτό καθώς οι τιμές του δείκτη ERPI για τα σωματίδια PM₁₀ είναι στην πλειοψηφία τους οι μέγιστες σε κάθε σταθμό καταγραφής. Κατά δεύτερο λόγο, ο ρύπος που εμφανίζει υψηλές τιμές για το δείκτη είναι το όζον, κυρίως στη διάρκεια της θερμής περιόδου του έτους. Όλοι οι υπόλοιποι ρύποι, φαίνεται να μην εμφανίζουν ιδιαίτερα προβλήματα. Όλα τα παραπάνω εμφανίζονται αναλυτικά και στο Σχήμα 10.1



Σχήμα 10.1: Ποσοστό (%) συμμετοχής κάθε ρύπου στη διαμόρφωση της ημερήσιας τιμής του δείκτη ERPI στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης. Περίοδος 2001-2011.

2. Ο δείκτης παρουσιάζει εποχικότητα καθώς η τιμή του μεταβάλλεται μέσα στο έτος ανάλογα με την εποχή. Πιο συγκεκριμένα, οι τιμές του δείκτη εμφανίζονται αυξημένες κατά τους χειμερινούς μήνες. Αυτό οφείλεται στην κίνηση των οχημάτων στην πόλη αλλά και στην κατανάλωση καυσίμων για την θέρμανση του πληθυσμού. Αντίθετα κατά τους θερινούς μήνες οι τιμές του δείκτη παρουσιάζουν χαμηλότερες τιμές.

3. Η πορεία του δείκτη κατά την περίοδο της μελέτης εμφανίζεται πτωτική. Κατά τα έτη 2001, 2002 και 2003, ο δείκτης εμφανίζει τις μεγαλύτερες μέσες ετήσιες τιμές ERPI=74, 77, και 72 αντίστοιχα. Στη συνέχεια παρουσιάζει μια πτωτική πορεία με τιμές ERPI=54 το 2004 και ERPI=50 το 2005. Ακολουθώντας τα έτη 2006-2009 ο δείκτης παρουσιάζει μια σταθεροποίηση με τις τιμές του να κυμαίνονται από ERPI=59 έως και ERPI=65. Το έτος 2010 ο δείκτης καταγράφει μια πτώση με την μέση ετήσια τιμή του να είναι ERPI=53 για να επανέλθει στα επίπεδα των περισσότερων ετών της μελέτης με τιμή ERPI=60 το 2011.
4. Ένα φαινόμενο το οποίο ενισχύει και το συμπέρασμα 3 είναι ο αριθμός των ετήσιων υπερβάσεων του δείκτη ERPI. Κατά τα πρώτα έτη της μελέτης ο δείκτης παρουσιάζει 310, 317 και 298 υπερβάσεις τα έτη 2001, 2002 και 2003. Στη συνέχεια παρουσιάζεται μια πτώση του αριθμού των υπερβάσεων το 2004 με 179 και το 2005 με 117 όπου είναι και το έτος με τις λιγότερες υπερβάσεις. Ακολουθώντας το 2006 και 2007 καταγράφονται 197 και 202 υπερβάσεις αντίστοιχα. Το 2008 ήταν μια χρονιά με υψηλό αριθμό υπερβάσεων για να ακολουθήσει μια πτωτική πορεία το 2009 και 2010 με 246 και 175 υπερβάσεις κατά έτος. Τέλος το 2001 καταγράφηκαν 270 υπερβάσεις.
5. Ο σταθμός ο οποίος συνεισφέρει σε μεγαλύτερο ποσοστό στη διαμόρφωση των τιμών του δείκτη ERPI είναι ο σταθμός Κορδελιού. Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός πως καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης, οι μέσες ετήσιες τιμές του δείκτη για το συγκεκριμένο σταθμό είναι οι μέγιστες που καταγράφονται. Αντίθετα ο σταθμός με την μικρότερη συνεισφορά είναι ο σταθμός της Καλαμαριάς καθώς εμφανίζει τις μικρότερες ετήσιες τιμές του δείκτη σε όλη την περίοδο 2001 – 2011 με εξαίρεση το έτος 2007 όπου ο σταθμός Πανοράματος καταγράφει την ελάχιστη μέση ετήσια τιμή.
6. Με βάση τον **Πίνακα 2.30**, γίνεται η ταξινόμηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα με βάση τις τιμές του δείκτη ατμοσφαιρικής ρύπανσης ERPI. Στον ακόλουθο **Πίνακα 8.1** παρουσιάζεται το πλήθος των ημερών της περιόδου μελέτης και η ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα σε τάξη ERPI.

Τιμή ERPI	Τάξη ERPI	Πλήθος ημερών	Ταξινόμηση ποιότητας αέρα
0 – 2	1	0	Πολύ καλή
2 – 21	2	35	Καλή
21 – 40	3	691	Ικανοποιητική
40 – 60	4	1505	Επαρκής
60 – 79	5	1112	Κακή
≥79	6	769	Πολύ κακή

Όπως γίνεται αντιληπτό, μόλις 35 (0.9%) ημέρες η ποιότητα του αέρα στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης μπορεί να χαρακτηριστεί **Καλή**. Επιπλέον, 691 ημέρες (16.8%) καταγράφηκαν με τιμές του δείκτη από 21-40 χαρακτηρίζοντας την ποιότητα του αέρα ως **Ικανοποιητική**. Η πλειοψηφία των ημερών εμφανίζει την ποιότητα του αέρα ως **Επαρκή** με 1505 καταγεγραμμένες ημέρες (36.6%) όπου οι τιμές του δείκτη κυμάνθηκαν από 40-60. Μεγάλο πλήθος ημερών παρατηρείται με τιμές του δείκτη από 60-79. Αυτό αποτελεί ένα αρνητικό στοιχείο της μελέτης καθώς για 1112 ημέρες (27.0%) η ποιότητα του αέρα χαρακτηρίζεται **Κακή**. Επίσης αξιοσημείωτο είναι και το πλήθος των 769 ημερών (18.7%) όπου οι τιμές του δείκτη ξεπέρασαν τις 79 μονάδες με την ποιότητα του αέρα να χαρακτηρίζεται **Πολύ κακή**.

7. Με βάση την παραπάνω ανάλυση, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης είναι ένα σοβαρό πρόβλημα με επιπτώσεις στη δημόσια υγεία. Είναι εύκολα αντιληπτό ότι η πολιτεία σε συνεργασία με τους Δήμους της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης, αλλά και τους ίδιους τους πολίτες, πρέπει να λάβει όλα εκείνα τα κατάλληλα μέτρα ώστε να μειωθούν σημαντικά οι τιμές της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και να προστατευτεί έτσι η δημόσια υγεία. Μέτρα όπως η δημιουργία λεωφορειόδρομων αποκλειστικής χρήσης, ώστε τα λεωφορεία να κινούνται με μεγαλύτερες ταχύτητες και να διανύουν μεγαλύτερες αποστάσεις σε μικρότερο χρόνο. Έτσι, θα γίνουν πιο ελκυστικά για χρήση από το κοινό ώστε να μειωθεί η χρήση των ιδιωτικής χρήσης αυτοκινήτων. Επίσης, η ολοκλήρωση και η λειτουργία του μετρό που θα μειώσει σημαντικά την κυκλοφορία στην πόλη, θα αποσυμφορήσει οδικούς άξονες, μειώνοντας έτσι σημαντικά τα επίπεδα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης,

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Basis for Indian Air Quality Index (IND-AQI).** Available at: <http://home.iitk.ac.in>
- Boubel R.W., Fox D. L., Turner D.B. and Stern A.C., 1994.** Fundamentals of Air Pollution. Academic Press, San Diego.
- Bristol City Council Air Quality.** Local Air Quality and Emissions Available at: <http://www.bristol.airqualitydata.com>
- Council Directive 1999/30/EC, 1999.** Limit values of sulphur dioxide, nitrogen dioxide and oxides of nitrogen, particulate matter and lead in ambient air. Official Journal of the European Communities, L163, 29/6/1999, pp 41-60
- Council Directive 2000/69/EC of the European Parliament and the Council, 2000.** Limit values for benzene and carbon monoxide in ambient air. Official Journal of the European Communities, L313, 13/12/2000, pp 12-22.
- Council Directive 2002/3/EC of the European Parliament and the Council, 2002.** Ozone in ambient air. Official Journal of the European Communities, L67, 9/3/2002, pp 14-31.
- Council Directive 96/92/EC, 1996.** On ambient air quality assessment and management. Official Journal of the European Communities, L296, 21/11/1996, pp 55-63.
- Dominici F., McDermott A., Daniels M., Zeger S.L., Samet J.M., 2003.** Revised Analyses of the National Morbidity, Mortality and Air Pollution Study, Part II. Mortality Among Residents of 90 Cities. In Health Effects Institute 2003. Revised Analyses of Time-Series Studies of Air Pollution and Health. Special Report. Health Effects Institute, Boston MA.
- Franceschini F, Galeto M., Maisano D., 2005.** A Short Survey on Air Quality Indicators: Properties, Use and (Mis)use. Management of Environmental Quality: An International Journal, 16, pp 490-504.
- Hong-Kong Medical Association.** Department of Health and Environmental Protection. Guidance for Physicians on Roadside Air Pollution Index. Available at: <http://www.info.gov.hk>
- Mayer H., Kalberlah F. and Ahrens D., 2002a.** TLQ-Am impact related air quality index obtained on a daily basis. Proceedings of the fourth Symposium on the Urban Environment, Norfolk, VA (USA), pp 80-81.
- Mayer H., Kalberlah F., Ahrens D. and Reuter U., 2002b.** Analysis of indices for the assessment of the air (in German). Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft 62, pp 177-183.
- NSW Department of Environment and Conservation.** Air pollution economics. Health costs of air pollution in the Greater Sydney Metropolitan Region. Sydney: DEC, 2006. Available at: www.epa.nsw.gov.au/resources/airpollution05623.pdf
- NSW Environment Protection Authority.** Action for Air. Sydney: EPA, 1998, with action for Air, 2006 update. Sydney: EPA, 2006. Available at: www.environment.nsw.gov.au/air/actionforair/execsum.htm.
- NSW Environment Protection Authority.** Action for Air. Sydney: EPA, 1998, with action for Air, 2006 update. Sydney: EPA, 2006. Available at: www.environment.nsw.gov.au/air/actionforair/execsum.htm

- Ott, W.R.** and Hunt, W.F.Jr. (1976). A Quantitative Evaluation of the Pollutant Standards Index. J. Air Poll. Control Assoc. 26: 1050-1054.
- Ott, W.R.** and Thom, G.C. (1976). A Critical Review of Air Pollution Index Systems in the United States and Canada. J. Air Poll. Control Assoc. 26: 460-470
- Project APNEE-TU**, available at: www.anpnee.gr
- Thom, G.C** and Ott, W.R. (1976). Air Pollution Indices: A Compendium and Assessment of Indices used in the United States and Canada, Ann Arbor Science Publishers Inc., Michigan
- United States Environmental Protection Agency**, 1999. Guideline for reporting of daily air quality-Air Quality Index. EPA-454/R-99-010, EPA, North Carolina.
- Βαλκανάς Γ.**, 1992. Ρύπανση περιβάλλοντος: Επιστήμη & τεχνικές αντιμετώπισης. Εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα.
- Μουστρής Κ.** (2009). Πρόγνωση ποιότητας της ατμόσφαιρας στην ευρύτερη περιοχή Αθηνών με τη χρήση νευρωνικών δικτύων. Διδακτορική Διατριβή (Ph.D), Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.