



# Μάθημα 8<sup>ο</sup> : Δείκτες Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης

Εκτίμηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού  
αέρα μέσω μαθηματικών συναρτήσεων

# Δείκτες Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης

Με τον όρο Δείκτες Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης (ΔΑΡ) εννοούμε αριθμητικές τιμές που προκύπτουν με κάποιους αλγόριθμους, με βάση τους οποίους παρέχεται η δυνατότητα καλύτερης αποτίμησης της ποιότητας της ατμόσφαιρας και κατά συνέπεια των πιθανών επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία του πληθυσμού [1].

Χρησιμοποιούνται σε παγκόσμια κλίμακα γιατί μπορούν να αποδώσουν πιο πρακτικά και πιο ολοκληρωμένα την καθημερινή εικόνα της ποιότητας του αέρα σε μια περιοχή, σε αντίθεση με ενδεχόμενη χρησιμοποίηση των τιμών συγκέντρωσης αέριων ρύπων για τον προσδιορισμό της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα [1].

# Δείκτες Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης

Το πρόβλημα που παρατηρείται με τη χρήση των ΔΑΡ είναι η υποκειμενικότητά τους, δηλαδή το γεγονός ότι σε κάθε χώρα ή περιοχή έχουν δημιουργηθεί, κατά καιρούς, διαφορετικοί ΔΑΡ που έχουν προσαρμοστεί στις εκάστοτε ανάγκες της περιοχής. Συγκεκριμένα, υπάρχουν χώρες που έχουν δημιουργήσει δικούς τους ΔΑΡ με βάση τα εθνικά τους όρια ατμοσφαιρικής ρύπανσης [1].

Οι δείκτες αυτοί έχουν παραπλήσιους ή και διαφορετικούς αλγόριθμους υπολογισμού των τιμών τους. Έτσι, δημιουργείται ένα πρόβλημα όταν κάποιος θελήσει να συγκρίνει τις τιμές διαφορετικών ΔΑΡ για τη διαπίστωση των επιπέδων ποιότητας του αέρα που καθορίζονται, με βάση τις τιμές τους [1].

# Δείκτες Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης

Έστω ότι στη διάρκεια ενός 24ωρου και σε μια συγκεκριμένη γεωγραφικά περιοχή της Αθήνας, οι τιμές συγκέντρωσης των ρύπων έχουν καταγραφεί με την οριακή τους τιμή, όπως αυτή έχει καθοριστεί από την οδηγία πλαίσιο 96/62/EC της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ειδικότερα και για κάθε ρύπο χωριστά, έστω ότι καταγράφηκαν οι ακόλουθες τιμές συγκέντρωσης [1] :

- $[\text{NO}_2]=200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (μέγιστη ωριαία τιμή στη διάρκεια του 24ωρου),
- $[\text{SO}_2]=350 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (μέγιστη ωριαία τιμή στη διάρκεια του 24ωρου),
- $[\text{CO}]=10 \text{ mg}/\text{m}^3$  (μέγιστη μέση τιμή κυλιόμενου 8ωρου),
- $[\text{O}_3]=120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (μέγιστη μέση τιμή κυλιόμενου 8ωρου) και
- $[\text{PM}_{10}]=50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (μέση ημερήσια τιμή).

# Δείκτες Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης

Με βάση αυτές τις τιμές συγκέντρωσης υπολογίστηκαν οι τιμές επτά (7) διαφορετικών ΔΑΡ.

Οι τιμές των ΔΑΡ είναι:

Regional Pollution Index → RPI=50

Daily Air Quality Index → DAQx=5

Bristol Air Pollution Index → BAPI=4

Air Quality Index → AQI=90

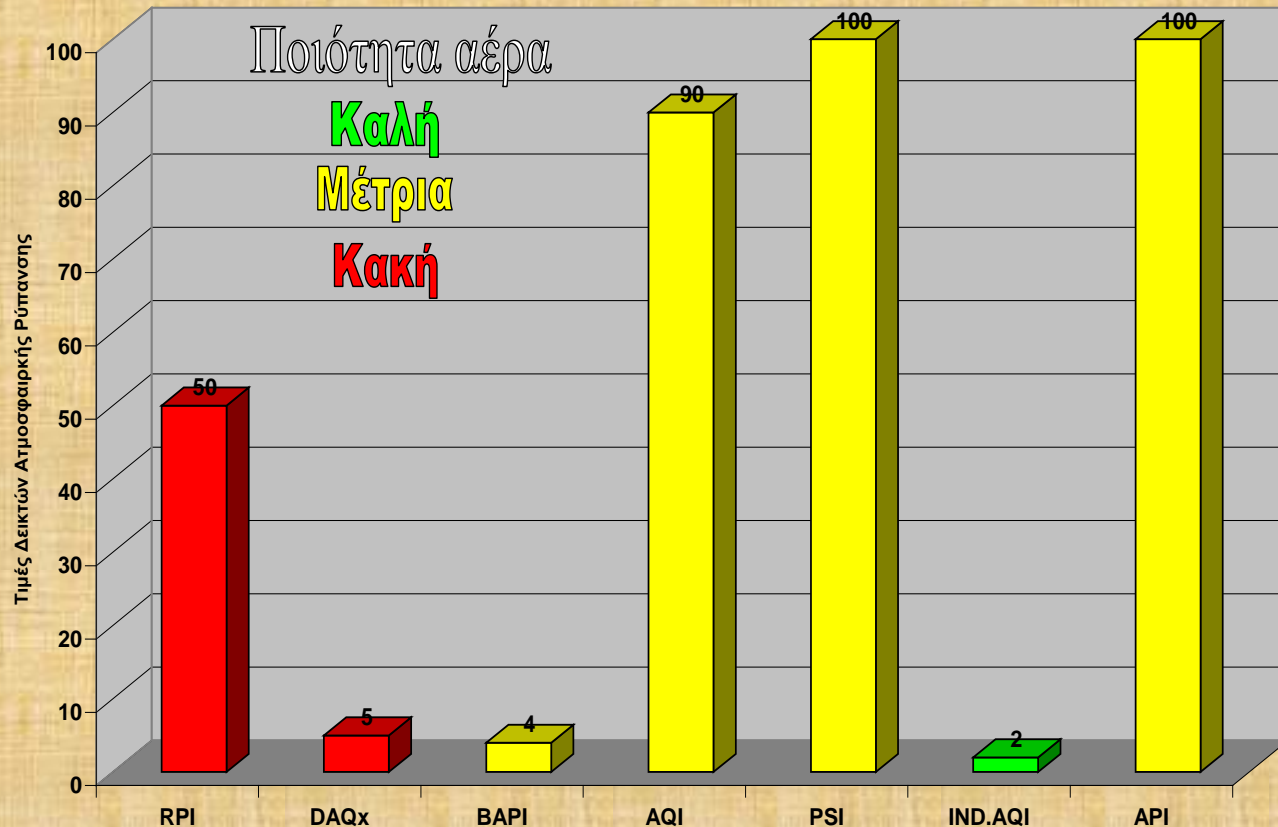
Pollution Standards Index → PSI=100

Indian Air Quality Index → IND-AQI=2

Air Pollution Index → API=100

# Δείκτες Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης

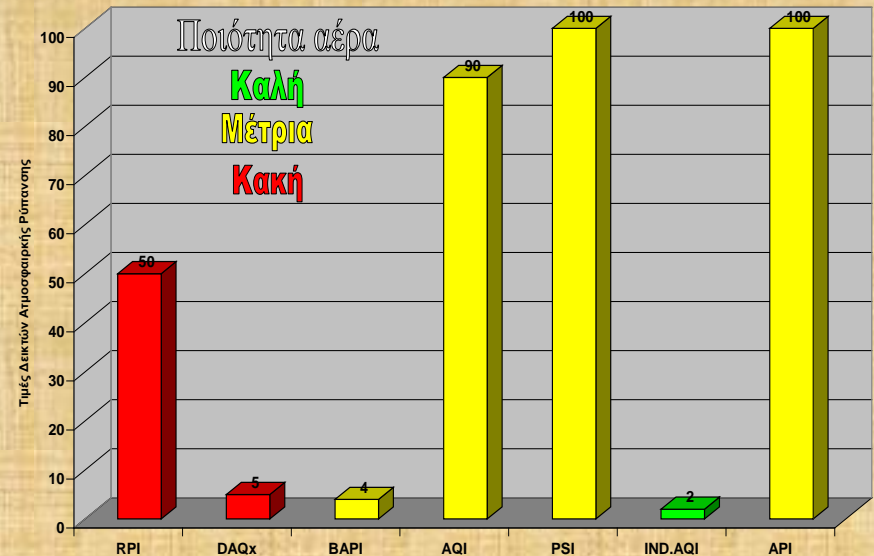
Στο Σχήμα 1, εμφανίζεται η ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα όπως αυτή καθορίζεται με βάση τις τιμές των επτά (7) διαφορετικών ΔΑΡ, για τη συγκεκριμένη γεωγραφικά περιοχή της Αθήνας και στη διάρκεια του συγκεκριμένου 24ωρου [1].



**Σχήμα 1.** Ποιότητα ατμόσφαιρας, για διαφορετικούς ΔΑΡ, σε μια συγκεκριμένη γεωγραφικά περιοχή, στη διάρκεια ενός 24ωρου, με βάση τις οριακές τιμές συγκέντρωσης της οδηγίας πλαίσιο 96/62/EC και 2008/50/EC της Ευρωπαϊκής Ένωσης, για τους ρύπους  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{CO}$  και  $\text{PM}_{10}$  [1]

# Δείκτες Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης

Μελετώντας το Σχήμα 1 μπορεί εύκολα κανείς να διαπιστώσει την υποκειμενικότητα της ερμηνείας της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα από διαφορετικούς ΔΑΡ. Για τους ΔΑΡ RPI και DAQx η ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα είναι κακή. Για τους ΔΑΡ BAPI, AQI, PSI και API η ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα είναι μέτρια, ενώ για το ΔΑΡ IND-AQI είναι καλή. Παρατηρείται δηλαδή ότι για τις ίδιες τιμές συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_3$  και  $\text{PM}_{10}$ , στη διάρκεια μιας ημέρας σε μια συγκεκριμένη περιοχή, υπάρχει μια σημαντικά διαφορετική ερμηνεία της ποιότητας του αέρα, των επιπτώσεών της στην υγεία των ανθρώπων που ζουν στην περιοχή αυτή και κατά συνέπεια των μέτρων που πιθανόν θα έπρεπε να παρθούν για την προστασία της δημόσιας υγείας [1]

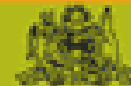


# Τοπικός Δείκτης Ρύπανσης (Regional Pollution Index-RPI)

Στο Sydney της Αυστραλίας η ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα παρακολουθείται από τη δεκαετία του 1960 (NSW Environment Protection Authority 1998, NSW Department of Health 2006, NSW Department of Environment and Conservation 2006). Από τις αρχές της δεκαετίας του 1980, καθημερινά εκδίδονται ημερήσια δελτία ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, με έμφαση κυρίως στους ρύπους όζον και στερεά αιωρούμενα μικροσωματίδια. Το 1993, ακολουθώντας μια γενικότερη αναθεώρηση των αναγκών παρακολούθησης της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, η κυβέρνηση της Νέας Νότιας Ουαλίας (New South Wales- NSW) αναβάθμισε το δίκτυό της καλύπτοντας τρεις νέες περιοχές (lower Hunter, Illawarra και western area of Sydney) της πόλης του Sydney [1].



Department of Environment & Climate Change NSW



# Τοπικός Δείκτης Ρύπανσης (Regional Pollution Index-RPI)

Ως άμεση συνέπεια της επέκτασης του δικτύου παρακολούθησης της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, ήταν η δυνατότητα καταγραφής αναλυτικότερων τιμών συγκεντρώσεων που κάλυπταν, χωρικά, μεγαλύτερη περιοχή της πόλης. Έτσι δόθηκε η δυνατότητα δημιουργίας του Τοπικού Δείκτη Ρύπανσης (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 τιμή του δείκτη καλύπτει χρονικά την περίοδο από τις 06:00 πμ, μέχρι τις 15:00 μμ της ίδιας ημέρας. Στην πόλη του Sydney της Αυστραλίας οι ημερήσιες αναφορές των τιμών του δείκτη RPI βασίζονται στις μετρήσεις των συγκεντρώσεων του όζοντος και του διοξειδίου του αζώτου. Ο δείκτης RPI, για κάθε ρύπο ξεχωριστά, υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση [1]:

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

# Τοπικός Δείκτης Ρύπανσης (Regional Pollution Index-RPI)

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 1) με βάση τις τιμές του ως χαμηλός, μέτριος και υψηλός, που σημαίνει αντίστοιχα καλή, μέτρια και κακή ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα [1].

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

**Πίνακας 1.** Κλίμακα εκτίμησης της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα με βάση τις τιμές του δείκτη RPI [1]

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.

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

Ένας σχετικά νέος δείκτης ατμοσφαιρικής ρύπανσης που αναφέρεται σε ημερήσια βάση, πρόσφατα αναπτύχθηκε και εξετάστηκε από το Ινστιτούτο Μετεωρολογίας του Πανεπιστημίου του Freiburg Γερμανίας, σε συνεργασία με το Ινστιτούτο Έρευνας και Πληροφόρησης Επικίνδυνων Ουσιών της ίδιας πόλης [2], [3]. Συνηθίζεται η αναφορά στον δείκτη αυτό με τα αρχικά DAQx (**D**aily **A**ir **Q**uality **i**ndex). Οι τιμές του δείκτη αυτού υπολογίζονται με βάση τους ρύπους  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_3$  και  $\text{PM}_{10}$ . Ο δείκτης DAQx υπολογίζεται με βάση τη σχέση [1]:

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

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

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

όπου :

$C_{\text{στιγ.}}$  : η μέγιστη ημερήσια ωριαία τιμή συγκέντρωσης του ατμοσφαιρικού ρύπου ( $NO_2$ ,  $SO_2$  και  $O_3$  σε  $\mu g/m^3$ ), η μεγαλύτερη ημερήσια μέση τιμή συγκέντρωσης κυλιόμενου 8ωρου για το  $CO$  σε  $mg/m^3$  και η μέση ημερήσια τιμή συγκέντρωσης των  $PM_{10}$  σε  $\mu g/m^3$ .

$C_{\text{άνω}}$  : το άνω όριο συγκέντρωσης κάθε ρύπου (Πίνακας 2)

$C_{\text{κάτω}}$  : το κάτω όριο συγκέντρωσης κάθε ρύπου (Πίνακας 2)

$DAQx_{\text{άνω}}$  : η τιμή του δείκτη σύμφωνα με την τιμή συγκέντρωσης  $C_{\text{άνω}}$  (Πίνακας 2)

$DAQx_{\text{κάτω}}$  : η τιμή του δείκτη σύμφωνα με την τιμή συγκέντρωσης  $C_{\text{κάτω}}$  (Πίνακας 2)

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

SO <sub>2</sub> (μg/m <sup>3</sup> ) (1 hr)	CO (mg/m <sup>3</sup> ) (8 hr)	NO <sub>2</sub> (μg/m <sup>3</sup> ) (1 hr)	O <sub>3</sub> (μg/m <sup>3</sup> ) (1 hr)	PM <sub>10</sub> (μg/m <sup>3</sup> ) (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

**Πίνακας 2.** Ταξινόμηση τιμών του δείκτη DAQx και της ποιότητας της ατμόσφαιρας με βάση τις τιμές συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> και PM<sub>10</sub> [2], [3]

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

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 3-7 εμφανίζονται, για κάθε ρύπο χωριστά, οι επιμέρους κατά τμήματα γραμμικές συναρτήσεις, με βάση τις οποίες υπολογίζονται οι τιμές του δείκτη DAQx.

SO <sub>2</sub> (μg/m <sup>3</sup> ) (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 3. Επιμέρους συναρτήσεις υπολογισμού τιμών του δείκτη DAQx για το διοξείδιο του θείου [1]

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

CO (mg/m <sup>3</sup> ) (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 4. Επιμέρους συναρτήσεις υπολογισμού τιμών του δείκτη DAQx για το μονοξείδιο του άνθρακα [1]

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

<b>NO<sub>2</sub> (μg/m<sup>3</sup>) (1 hr)</b>	<b>Επιμέρους συναρτήσεις πρώτου βαθμού</b>	<b>Τιμή DAQx</b>	<b>Τάξη DAQx</b>	<b>Κατηγορία ποιότητας αέρα</b>
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 5. Επιμέρους συναρτήσεις υπολογισμού τιμών του δείκτη DAQx για το διοξείδιο του αζώτου.

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

<b>O<sub>3</sub> (μg/m<sup>3</sup>) (1 hr)</b>	<b>Επιμέρους συναρτήσεις πρώτου βαθμού</b>	<b>Τιμή DAQx</b>	<b>Τάξη DAQx</b>	<b>Κατηγορία ποιότητας αέρα</b>
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 6. Επιμέρους συναρτήσεις υπολογισμού τιμών του δείκτη DAQx για το όζον [1]

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

PM <sub>10</sub> (μg/m <sup>3</sup> ) (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

Πίνακας 7. Επιμέρους συναρτήσεις υπολογισμού τιμών του δείκτη DAQx για τα αιωρούμενα σωματίδια (PM<sub>10</sub>) [1]

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

Ένας περιβαλλοντικός δείκτης, κατάλληλος για την εκτίμηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα μιας περιοχής, είναι ο δείκτης (PSI) ρύπανσης [4], [5], [6]. Ο δείκτης αυτός έχει προταθεί από την Αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος (U.S. Environmental Protection Agency, U.S.E.P.A.), περίπου στα μέσα της δεκαετίας του '70, εξαιτίας της δραματικής αύξησης του αριθμού των ανθρώπων που εκδήλωναν συμπτώματα αναπνευστικών προβλημάτων [8]. Αντικειμενικός σκοπός της εισαγωγής αυτού του δείκτη ήταν η τυποποίηση των εκθέσεων, οι οποίες αναφέρονταν στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Ο δείκτης PSI είναι ένας σύνθετος δείκτης ατμοσφαιρικής ρύπανση, που υπολογίζεται από τις τιμές συγκέντρωσης των ρύπων  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_3$  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.

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

Στον Πίνακα 8 δίνονται οι κατηγορίες ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα που έχουν δημιουργηθεί με βάση την τιμή του δείκτη [9].

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

**Πίνακας 8.** Κλίμακα εκτίμησης της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα βάση τις τιμές του δείκτη PSI [10]

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

Υπάρχουν πέντε επιμέρους υποδείκτες, ένας για κάθε ρύπο. Η ημερήσια τιμή του δείκτη PSI είναι η μέγιστη τιμή αυτών των πέντε υποδεικτών, με βάση τη σχέση [1]:

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

όπου:

$I_1$  είναι ο επιμέρους δείκτης με βάση τις μέσες 24ωρες τιμές συγκέντρωσης των αιωρούμενων μικροσωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των 10 $\mu$ m ( $PM_{10}$ ),

$I_2$  ο επιμέρους δείκτης με βάση τις μέσες 24ωρες τιμές συγκέντρωσης του διοξειδίου του θείου,

$I_3$  ο επιμέρους δείκτης με βάση τις μέσες 8ωρες τιμές συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα,

$I_4$  ο επιμέρους δείκτης με βάση τις ωριαίες τιμές συγκέντρωσης του όζοντος και

$I_5$  ο επιμέρους δείκτης με βάση τις τιμές συγκέντρωσης του διοξειδίου του αζώτου.

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

Οι τιμές των επιμέρους δεικτών και τα αντίστοιχα όρια τιμών συγκέντρωσης των ρύπων που τις διαμορφώνουν, δίνονται στον Πίνακα 9 [1].

$I_i$	PM <sub>10</sub> μg/m <sup>3</sup> (24 hr)	SO <sub>2</sub> μg/m <sup>3</sup> (24 hr)	CO mg/m <sup>3</sup> (8 hr)	O <sub>3</sub> μg/m <sup>3</sup> (1 hr)	NO <sub>2</sub> μg/m <sup>3</sup> (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

Πίνακας 9. Τιμές των επιμέρους δεικτών του δείκτη PSI [9]

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

Ο υπολογισμός των τιμών του επιμέρους δείκτη  $I_1$  γίνεται από τα επίπεδα των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων (Πίνακας 9) . Από τις τιμές της 2<sup>ης</sup> στήλης του Πίνακα 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 [1] :

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

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

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

όπου:

$I_i$  είναι οι τιμές του επιμέρους δείκτη  $I_1$  και

$C_i$  είναι οι αντίστοιχες 24ωρες τιμές της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων, που εμφανίζονται στον Πίνακα 9.

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

Η κλίμακα εκτίμησης της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα (Πίνακας 8) 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 10 εμφανίζονται, σε σχέση με την τιμή του δείκτη PSI, οι πιθανές επιπτώσεις στην υγεία του πληθυσμού της υπό μελέτη περιοχής [1].

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.

**Πίνακας 10.** Κλίμακα συσχέτισης της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα με πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία της υπό μελέτη περιοχής [9]

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

Από τις τιμές του Πίνακα 9 διαπιστώνεται ότι ο επιμέρους δείκτης  $I_i$  εκφράζεται από μια συνεχή και κατά τμήματα γραμμική συνάρτηση της συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων. Στους Πίνακες 11-15 δίνονται οι συναρτήσεις πρώτου βαθμού που ισχύουν τμηματικά μεταξύ των διαδοχικών ζευγών των σημείων του Πίνακα 9 για κάθε έναν από τους εξεταζόμενους ατμοσφαιρικούς ρύπους χωριστά [1].

$O_3$ (1h) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	PSI	Συναρτήσεις πρώτου βαθμού
0-118	0-50	$0.4166*[O_3]$
118-235	50-100	$0.4274*[O_3]-0.439$
235-400	100-200	$0.606*[O_3]-42.424$
400-800	200-300	$0.25*[O_3]+100$
800-1200	300-500	$0.5*[O_3]-100$

**Πίνακα 11.** Συναρτήσεις υπολογισμού τιμών επιμέρους δείκτη για το όζον.

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

<b>SO<sub>2</sub> (24h) μg/m<sup>3</sup></b>	<b>PSI</b>	<b>Συναρτήσεις πρώτου βαθμού</b>
0-80	0-50	$0.625 * [SO_2]$
80-365	50-100	$0.1754 * [SO_2] + 35.965$
365-800	100-200	$0.2298 * [SO_2] + 16.0919$
800-1600	200-300	$0.125 * [SO_2] + 100$
1600-2100	300-400	$0.2 * [SO_2] - 20$
2100-2620	400-500	$0.1923 * [SO_2] - 3.8461$

**Πίνακα 12.** Συναρτήσεις υπολογισμού τιμών επιμέρους δείκτη για το διοξείδιο του θείου

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

CO (8h) mg/m <sup>3</sup>	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]

**Πίνακα 13.** Συναρτήσεις υπολογισμού τιμών επιμέρους δείκτη για το μονοξείδιο του άνθρακα

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

$PM_{10}$ (24h) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	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	$0.8 * [PM_{10}]$

Πίνακα 14. Συναρτήσεις υπολογισμού τιμών επιμέρους δείκτη για τα αιωρούμενα σωματίδια  $PM_{10}$

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

<b>NO<sub>2</sub> (1h) μg/m<sup>3</sup></b>	<b>PSI</b>	<b>Συναρτήσεις πρώτου βαθμού</b>
***	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	$0.1333 * [NO_2]$

**Πίνακα 15.** Συναρτήσεις υπολογισμού τιμών επιμέρους δείκτη για το διοξείδιο του αζώτου

# Δείκτης Ποιότητας Αέρα (Air Quality Index-AQI)

Ο πρότυπος δείκτης ατμοσφαιρικής ρύπανσης PSI αναθεωρήθηκε και μετασχηματίστηκε από την Αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος [7] το 1999 και μετονομάστηκε σε Δείκτη Ποιότητας Αέρα (Air Quality Index-AQI). Ο δείκτης AQI υπολογίζεται για κάθε ρύπο χωριστά, με βάση την παρακάτω εξίσωση [7]:

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

# Δείκτης Ποιότητας Αέρα (Air Quality Index-AQI)

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

όπου:

$I_{\text{άνω}}$  : η τιμή του δείκτη AQI σύμφωνα με την τιμή συγκέντρωσης  $C_{\text{άνω}}$  (Πίνακας 16)

$I_{\text{κάτω}}$  : η τιμή του δείκτη AQI σύμφωνα με την τιμή συγκέντρωσης  $C_{\text{κάτω}}$  (Πίνακας 16)

$C_{\text{στιγ.}}$  : η τιμή συγκέντρωσης του ρύπου τη στιγμή που υπολογίζεται ο δείκτης και με βάση τα εθνικά όρια ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Πίνακας 16)

$C_{\text{άνω}}$  : η ανώτερη τιμή συγκέντρωσης κάθε ρύπου χωριστά (Πίνακας 16)

$C_{\text{κάτω}}$  : η μικρότερη τιμή συγκέντρωσης κάθε ρύπου χωριστά (Πίνακας 16)

# Δείκτης Ποιότητας Αέρα (Air Quality Index-AQI)

Στον Πίνακα 16 [10] 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.

Τιμή AQI	0-50	51-100	101-150	151-200	201-300	301-500
PM <sub>10</sub> μg/m <sup>3</sup> (24 hr)	0-54	55-154	155-254	255-354	355-424	>424
PM <sub>2.5</sub> μg/m <sup>3</sup> (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 <sub>2</sub> 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 <sub>3</sub> 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 <sub>3</sub> ppm (1 hr)	***	***	0.125-0.164	0.165-0.204	0.205-0.404	>0.404
NO <sub>2</sub> ppm (1hr)	***	***	***	***	0.65-1.24	>1.24

Πίνακας 16. Τιμές των επιμέρους δεικτών του δείκτη AQI [10]

# Δείκτης Ποιότητας Αέρα (Air Quality Index-AQI)

Ο σκοπός του δείκτη AQI είναι στο να βοηθήσει στην κατανόηση των πιθανών επιπτώσεων στη δημόσια υγεία της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, σε τοπικό επίπεδο. Για το σκοπό αυτό χωρίζεται σε έξι διαφορετικές κατηγορίες ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα που με τη σειρά τους αντιπροσωπεύονται από έξι διαφορετικά χρώματα, όπως εμφανίζονται και στον Πίνακα 17 που ακολουθεί. Σε κάθε κατηγορία τιμών του δείκτη AQI αντιστοιχούν και κάποιες πιθανές επιπτώσεις στην υγεία του πληθυσμού [7].

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

Πίνακας 17 Κατηγορίες τιμών του δείκτη AQI και πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία [7]

# Δείκτης Ποιότητας Αέρα (Air Quality Index-AQI)

Από τις τιμές του Πίνακα 16 διαπιστώνεται ότι ο επιμέρους δείκτης  $I_i$  εκφράζεται από μια συνεχή και κατά τμήματα γραμμική συνάρτηση της συγκέντρωσης του εκάστοτε ατμοσφαιρικού ρύπου. Στους Πίνακες 18-22 παρουσιάζονται οι συναρτήσεις πρώτου βαθμού που ισχύουν τμηματικά μεταξύ των διαδοχικών ζευγών των σημείων του Πίνακα 16 για κάθε έναν από τους εξεταζόμενους ατμοσφαιρικούς ρύπους χωριστά [1].

$O_3$ (8 hr) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	AQI	Συναρτήσεις πρώτου βαθμού
0-137	0-50	$0.3649*[O_3]$
138-180	51-100	$1.1666*[O_3]-110$
181-223	101-150	$1.1666*[O_3]-110$
224-266	151-200	$1.1666*[O_3]-110$
267-800	201-300	$0.1857*[O_3]+151$
>800	301-500	$0.3758[O_3]$

Πίνακας 18. Συναρτήσεις υπολογισμού τιμών επιμέρους δείκτη για το όζον [1]

# Δείκτης Ποιότητας Αέρα (Air Quality Index-AQI)

<b>SO<sub>2</sub> (24 hr) μg/m<sup>3</sup></b>	<b>AQI</b>	<b>Συναρτήσεις πρώτου βαθμού</b>
0-97	0-50	0.5154*[ SO <sub>2</sub> ]
98-412	51-100	0.156*[ SO <sub>2</sub> ]+35.7
413-640	101-150	0.2158*[ SO <sub>2</sub> ]+11.85
641-869	151-200	0.2149 *[ SO <sub>2</sub> ]+13.2
870-1727	201-300	0.1155*[ SO <sub>2</sub> ]+100.5
1728-2300	301-500	0.3479*[ SO <sub>2</sub> ]-300.2

Πίνακας 19. Συναρτήσεις υπολογισμού τιμών επιμέρους δείκτη για το διοξείδιο του θείου [1]

# Δείκτης Ποιότητας Αέρα (Air Quality Index-AQI)

CO (8 hr) mg/m <sup>3</sup>	AQI	Συναρτήσεις πρώτου βαθμού
0-5.5	0-50	9.0909*[ CO]
5.6-11.76	51-100	7.9545*[ CO]+6.4545
11.77-15.5	101-150	13.1367*[ CO]-53.62
15.6-19.25	151-200	13.4246*[ CO]-58.42
19.26-38.0	201-300	5.2828*[ CO]+99.253
38.1-50.5	301-500	16.0484*[ CO]-310.4

**Πίνακας 20.** Συναρτήσεις υπολογισμού τιμών επιμέρους δείκτη για το μονοξείδιο του άνθρακα [1]

# Δείκτης Ποιότητας Αέρα (Air Quality Index-AQI)

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

Πίνακας 21. Συναρτήσεις υπολογισμού τιμών επιμέρους δείκτη για τα αιωρούμενα σωματίδια (PM<sub>10</sub>) [1]

# Δείκτης Ποιότητας Αέρα (Air Quality Index-AQI)

<b>NO<sub>2</sub> (1 hr) μg/m<sup>3</sup></b>	<b>AQI</b>	<b>Συναρτήσεις πρώτου βαθμού</b>
***	0-50	***
***	51-100	***
***	101-150	***
***	151-200	***
1330-2542	201-300	$0.0817 * [NO_2] + 92.361$
2543-4182	301-500	$0.1214 * [NO_2] - 7.7596$

**Πίνακας 22.** Συναρτήσεις υπολογισμού τιμών επιμέρους δείκτη για το διοξείδιο του αζώτου [1]

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

Ο δήμος του Bristol στη Μεγάλη Βρετανία, χρησιμοποιεί ένα δείκτη ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα που βασίστηκε σε ένα πλήθος μελετών πάνω στις επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στη δημόσια υγεία [11]. Στον Πίνακα 23 δίνονται οι τιμές του δείκτη BAPI καθώς επίσης ο χαρακτηρισμός της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα με τις αντίστοιχες πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία.

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

**Πίνακας 23.** Τιμές του δείκτη BAPI και χαρακτηρισμός της ποιότητας του αέρα με τις πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία [11]

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

Ο δείκτης BAPI υπολογίζεται με βάση τη συγκέντρωση των ατμοσφαιρικών ρύπων NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> και PM<sub>10</sub>. 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 24 δίνονται τα επιμέρους όρια συγκέντρωσης κάθε ρύπου με την αντίστοιχη τιμή του δείκτη BAPI [1].

Τιμή δείκτη (BAPI)	Κατηγορία ποιότητας αέρα	PM <sub>10</sub> (24 hr) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	SO <sub>2</sub> Μέση τιμή (15 min) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	CO (8 hr) $\text{mg}/\text{m}^3$	O <sub>3</sub> (8 hr) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	NO <sub>2</sub> (1 hr) $\mu\text{g}/\text{m}^3$
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

Πίνακας 24. Ταξινόμηση τιμών του δείκτη BAPI με βάση τις τιμές συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> και PM<sub>10</sub> [1], [11]

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

Η κυβέρνηση της Ινδίας στο Νέο Δελχί, στην προσπάθειά της να αποτυπώσει την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα, χρηματοδότησε ένα πρόγραμμα που εκπονήθηκε από το Κέντρο Ελέγχου Ρύπανσης της πόλης. Έτσι δημιουργήθηκε ο Ινδικός δείκτης ποιότητας του αέρα (IND-AQI). Ο δείκτης αυτός βασίζεται στην ίδια περίπου λογική με τον Αμερικανικό δείκτη ποιότητας του αέρα AQI, που έχει ήδη αναφερθεί παραπάνω [12]. Οι τιμές συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων παρακολουθούνται και καταγράφονται από το Εθνικό Πρόγραμμα Παρακολούθησης της Ποιότητας του Ατμοσφαιρικού Αέρα της Ινδίας και αφορούν τους ρύπους  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_3$  και  $\text{PM}_{10}$ . 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 25). Ως ημερήσια τιμή του δείκτη IND-AQI θεωρείται η μεγαλύτερη τιμή από αυτές των υποδεικτών. Στη συνέχεια και στον Πίνακα 25 εμφανίζονται τόσο οι τιμές των επιμέρους δεικτών, όσο και τα αντίστοιχα όρια τιμών συγκέντρωσης των ρύπων που τις διαμορφώνουν.

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

Στη συνέχεια και στον Πίνακα 25 εμφανίζονται τόσο οι τιμές των επιμέρους δεικτών, όσο και τα αντίστοιχα όρια τιμών συγκέντρωσης των ρύπων που τις διαμορφώνουν [1].

Τιμή δείκτη IND-AQI	PM <sub>10</sub> (24 hr) µg/m <sup>3</sup>	SO <sub>2</sub> (24 hr) µg/m <sup>3</sup>	CO (8 hr) mg/m <sup>3</sup>	O <sub>3</sub> (8 hr) µg/m <sup>3</sup>	NO <sub>2</sub> (1 hr) µg/m <sup>3</sup>
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

**Πίνακα 25** Ταξινόμηση τιμών του δείκτη IND-AQI με βάση τις τιμές συγκεντρώσεων των λαμβανομένων υπόψη ατμοσφαιρικών ρύπων [1], [12]

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

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 επισκέπτης του διαδικτυακού αυτού τόπου, μπορεί να έχει πληροφορίες ταυτόχρονα για διαφορετικές περιοχές καθώς επίσης και για ιστορικά στοιχεία της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Το κοινό, μπορεί να έχει πρόσβαση στις πληροφορίες αυτές, εκτός του διαδικτύου, και από άλλες πηγές πληροφόρησης όπως η τηλεόραση, οι εφημερίδες και το ραδιόφωνο [1].



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

Ο δείκτης IND-AQI είναι, κατά βάση, δείκτης ατμοσφαιρικής ρύπανσης που σχετίζεται με τις πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία. Στον Πίνακα 26 εμφανίζονται κατά κατηγορία οι τιμές του δείκτη καθώς επίσης και η κατηγορία της ποιότητας του αέρα, με βάση τις τιμές αυτές [1], [12].

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

Πίνακα 26. Τιμές του δείκτη IND-AQI και χαρακτηρισμός της ποιότητας του αέρα [12]

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

Ξεκινώντας από τον Ιούνιο του 1995, το Τμήμα Προστασίας του Περιβάλλοντος στο Hong-Kong ανέπτυξε και χρησιμοποίησε ένα δείκτη ποιότητας του αέρα, γνωστό ως δείκτη ρύπανσης του αέρα (Air Pollution Index-API). Σκοπός της χρήσης αυτού του δείκτη ήταν η παρακολούθηση και καταγραφή της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα με την ταυτόχρονη ενημέρωση τόσο της πολιτείας για τη λήψη μέτρων, όσο και του πληθυσμού [13]. Ο δείκτης API παίρνει τιμές από 0 έως και 500 και ο υπολογισμός του βασίζεται στις τιμές συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_3$  και εισπνεόμενα αιωρούμενα σωματίδια.

to **safeguard**  
the health  
of the people



香港醫學會  
THE HONG KONG  
MEDICAL ASSOCIATION

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

Στον Πίνακα 27 που ακολουθεί δίνονται οι κατηγορίες ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα με βάση τις τιμές του δείκτη API καθώς επίσης και οι πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία.

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.

Πίνακας 27. Κατηγορίες τιμών του δείκτη API και πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία [13]

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

Στον Πίνακα 28 παρουσιάζονται οι επιμέρους τιμές του δείκτη API και τα αντίστοιχα όρια των τιμών συγκέντρωσης των ρύπων που τις διαμορφώνουν [1], [13].

Τιμές δείκτη API	RSP (24 hr) μg/m <sup>3</sup>	SO <sub>2</sub> (24 hr) μg/m <sup>3</sup>	SO <sub>2</sub> (1 hr) μg/m <sup>3</sup>	NO <sub>2</sub> (24 hr) μg/m <sup>3</sup>	NO <sub>2</sub> (1 hr) μg/m <sup>3</sup>	CO (8 hr) μg/m <sup>3</sup>	CO (1 hr) μg/m <sup>3</sup>	O <sub>3</sub> (1 hr) μg/m <sup>3</sup>
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

**Πίνακα 28.** Ταξινόμηση τιμών του δείκτη API με βάση τις τιμές συγκεντρώσεων των ατμοσφαιρικών ρύπων που τις διαμορφώνουν [1], [13]

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

Το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και των επιπτώσεών της στη δημόσια υγεία αλλά και στην οικονομία είναι ένα σοβαρό πρόβλημα τόσο για τις ανεπτυγμένες, όσο και για τις αναπτυσσόμενες χώρες του κόσμου. Στα πλαίσια των προσπαθειών για την παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και της λήψης μέτρων, όπου αυτό κριθεί αναγκαίο, έχουν προταθεί πολλοί δείκτες που περιγράφουν αφενός μεν την ποιότητα του αέρα, αφετέρου δε τις πιθανές επιπτώσεις στην υγεία των κατοίκων, όπως ήδη έχει πιο πάνω αναφερθεί. Στην παγκόσμια βιβλιογραφία αναφέρονται και άλλοι τέτοιοι δείκτες, όπως ο δείκτης Atmo (Atmo-Index) που δημιουργήθηκε και χρησιμοποιείται από το Υπουργείο Περιβάλλοντος στη Γαλλία [14], [15] ο δείκτης IQA που χρησιμοποιείται σε μερικές περιοχές της βόρειας Ιταλίας και έχει εμπνευστεί από τον Αμερικανικό δείκτη ποιότητας του αέρα γνωστό ως Air Quality Index-AQI [14], [16].

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

Ο Ευρωπαϊκός Τοπικός Δείκτης Ρύπανσης (European Regional Pollution Index-ERPI) είναι ουσιαστικά μια παραλλαγή και προσαρμογή του αυστραλιανού τοπικού δείκτη ρύπανσης (RPI) που είδαμε πιο πάνω, προσαρμοσμένο στα ευρωπαϊκά όρια της ατμοσφαιρικής ρύπανσης [1]. Παράλληλα, συγκρίθηκαν οι τιμές του με τις αντίστοιχες τιμές του ευρωπαϊκού δείκτη DAQx, ώστε να υπάρχει ένας πιο αναλυτικός χαρακτηρισμός της ποιότητας του αέρα με βάση την τιμή του δείκτη. Για τον υπολογισμό των τιμών του δείκτη ατμοσφαιρικής ρύπανσης ERPI, ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία [1]:

1. Κάθε ώρα της ημέρας υπολογίζεται για κάθε ατμοσφαιρικό ρύπο χωριστά η τιμή του δείκτη ERPI, σύμφωνα με τη σχέση:

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

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

Ο υπολογισμός αυτός γίνεται σε ωριαία βάση για τους ρύπους NO<sub>2</sub> και SO<sub>2</sub>. Για το CO και το O<sub>3</sub> 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. Τέλος, για τα σωματίδια (PM<sub>10</sub>) γίνεται μια φορά την ημέρα και με βάση την μέση ημερήσια τιμή συγκέντρωσής τους. Στον Πίνακα 29 δίνονται οι οριακές τιμές συγκέντρωσης που χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό των τιμών του δείκτη ERPI, όπως αυτές έχουν καθοριστεί από τις Οδηγίες Πλαίσιο 96/62/EC και 2008/50/EC της Ευρωπαϊκής Ένωσης και των θυγατρικών της οδηγιών που ακολούθησαν [1].

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

**Πίνακας 29.** Οριακές τιμές συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων που διαμορφώνουν τις τιμές του δείκτη ERPI [1]

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

2. Με το παραπάνω βήμα, έχουν υπολογισθεί και δημιουργηθεί σε κάθε ώρα τις ημέρας, για τους ρύπους  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$  και  $\text{O}_3$ , 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  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$  και  $\text{O}_3$ . Στο τέλος της ημέρας υπολογίζεται και η τιμή (υποδείκτης) του δείκτη ERPI με βάση τη μέση ημερήσια τιμή συγκέντρωσης των  $\text{PM}_{10}$ . Η τελική ημερήσια τιμή του δείκτη ERPI, για μια συγκεκριμένη γεωγραφικά περιοχή, είναι η μεγαλύτερη μεταξύ των δύο αυτών τιμών [1].

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

Για την καλύτερη ταξινόμηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, με βάση τις τιμές του δείκτη ERPI, υπολογίστηκαν και συγκρίθηκαν οι τιμές του με τις αντίστοιχες τιμές του ευρωπαϊκού δείκτη ατμοσφαιρικής ρύπανσης DAQx. Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης αυτής εμφανίζεται στον Πίνακα 30 [1].

Τιμή DAQx	Τάξη DAQx	Ταξινόμηση ποιότητας αέρα	Τιμή ERPI
0.5 - 1.5	1	Πολύ καλή	0 – 2
1.5 - 2.5	2	Καλή	2 – 21
2.5 - 3.5	3	Ικανοποιητική	21 – 40
3.5 - 4.5	4	Επαρκής	40 – 60
4.5 - 5.5	5	Κακή	60 – 79
≥5.5	6	Πολύ κακή	≥79

**Πίνακας 30.** Ταξινόμηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα με βάση τις τιμές των δεικτών ατμοσφαιρικής ρύπανσης ERPI και DAQx.

# Βιβλιογραφία

- [1] Μουστρής Κ., 2009. Πρόγνωση ποιότητας της ατμόσφαιρας στην ευρύτερη περιοχή Αθηνών με τη χρήση νευρωνικών δικτύων. Διδακτορική Διατριβή. Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] Ott W.R., Thom W.R., 1976. A critical review of air pollution index systems in the United States and Canada. J Air Pollut Control Assoc, 26, 460-70.
- [5] 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.
- [6] Thom, G.C. and Ott, W.R., 1976. A proposed uniform air pollution index. Atmos. Environ. 10, 261-264.
- [7] United States Environmental Protection Agency, 1999. Guideline for reporting of daily air quality-Air Quality Index. EPA-454/R-99-010, EPA, North Carolina.
- [8] Cheng Wan-Li, Chen Yu-Song, Zhang Junfeng, Lyons T.J., Pai Joy-Lynn and Chang Shiang-Hung, 2007. Comparison of the Revised Air Quality Index with the PSI and AQI indices. Science of The Total Environment 382, 2-3, pp191-198.
- [9] Boubel R.W., Fox D. L., Turner D.B. and Stern A.C., 1994. Fundamentals of Air Pollution. Academic Press, San Diego.
- [10] 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.

# Βιβλιογραφία

- [11] Bristol City Council Air Quality. Local Air Quality and Emissions. Available at: <http://www.bristol.airqualitydata.com>
- [12] Basis for Indian Air Quality Index (IND-AQI). Available at: <http://home.iitk.ac.in>
- [13] 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>
- [14] Cheng Wan-Li, Chen Yu-Song, Zhang Junfeng, Lyons T.J., Pai Joy-Lynn and Chang Shiang-Hung, 2007. Comparison of the Revised Air Quality Index with the PSI and AQI indices. Science of The Total Environment 382, 2-3, pp191-198.
- [15] Ministere de l'ecologie et du developpement durable, 2004. Arrete du 22 julliet 2004 relatif aux indices de la quslité de l'air. Journal Officiel de la Republique Francaise of 25 November 2004.
- [16] Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio, 2002. Decreto 2 aprile 2002, n. 60. Gazzetta Ufficiale, No 87, 13 April 2002.