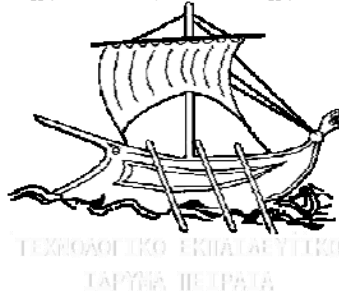


Ανώτατο Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά Τεχνολογικού Τομέα  
Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών  
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε.



## Πτυχιακή εργασία

«Μελέτη της ποιότητας του ατμοσφαιρικού  
περιβάλλοντος στην πόλη της Λάρισας την περίοδο  
2001-2013»



Υπεύθυνος Σπουδαστής: Ζουριδάκης Χαρίλαος (ΑΜ: 40078)  
Επιβλέπων Καθηγητής: Μουστρής Κωνσταντίνος

ΠΕΙΡΑΙΑΣ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2016

## Περιεχόμενα

|                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------|----|
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....                                               | 3  |
| Summary .....                                                | 4  |
| ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....                                               | 5  |
| ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ .....                                     | 6  |
| 1.1 Ατμοσφαιρική ρύπανση.....                                | 6  |
| 1.2 Παράγοντες και μηχανισμοί εξάπλωσης ρύπων.....           | 10 |
| 1.2.1 Κύκλος Ρύπανσης .....                                  | 14 |
| 1.2.2 Κατηγορίες Διασποράς Νέφους .....                      | 19 |
| 1.2.3 Όξινη βροχή – Αιθαλομίχλη – Φωτοχημικό νέφος.....      | 20 |
| 1.2.4 Φαινόμενο του Θερμοκηπίου .....                        | 23 |
| 1.2.5 Τρύπα του Όζοντος.....                                 | 27 |
| 1.2.6 Ερημοποίηση .....                                      | 30 |
| 1.2.7 Μεταβολή κλίματος και καταστροφή βιοποικιλότητας ..... | 34 |
| 1.3 Αέριοι Ρύποι .....                                       | 37 |
| 1.3.1 Μονοξείδιο του Άνθρακα (CO).....                       | 38 |
| 1.3.2 Διοξείδιο του Αζώτου (NO <sub>2</sub> ) .....          | 39 |
| 1.3.3 Όζον (O <sub>3</sub> ).....                            | 40 |
| 1.3.4 Διοξείδιο του Θείου (SO <sub>2</sub> ) .....           | 42 |
| 1.3.5 Αιωρούμενα Σωματίδια (PM <sub>10</sub> ).....          | 44 |
| 2.1 Δείκτες Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης .....                     | 45 |
| 3.1 Νομοθετικό Πλαίσιο.....                                  | 48 |
| ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ .....                                  | 57 |
| ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....                                    | 72 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....                                           | 73 |

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία γίνεται περιγραφή του φαινομένου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, που τις τελευταίες δεκαετίες έχει πάρει μεγάλες διαστάσεις. Περιγράφεται η φύση των ζητημάτων που προκύπτουν από την ρύπανση της ατμόσφαιρας και οι συνέπειες της. Διασαφηνίζονται οι επιστημονικές έννοιες που συνδέονται με το φαινόμενο και γίνεται επεξεργασία των συγκεντρώσεων των αέριων ρύπων για την περιοχή της Λάρισας την δεκαετία 2001-2013. Η επεξεργασία των δεδομένων για την πόλη της Λάρισας, μας βοηθάει να αντιληφθούμε καλύτερα το μέγεθος της ρύπανσης για μια περιοχή 140.000 κατοίκων και τα προβλήματα που αυτή μπορεί να δημιουργεί στην ποιότητα ζωής των ανθρώπων καθώς και στο οικοσύστημα της περιοχής. Επίσης, στην παρούσα εργασία υπολογίζονται δείκτες ατμοσφαιρικής ρύπανσης που αποτυπώνουν την ποιότητα του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος της πόλης της Λάρισας, στο σύνολο των ρύπων. Έτσι, είναι δυνατή η μελέτη της αυξητικής ή φθίνουσας τάσης εκπομπής αέριων ρύπων ανά μήνα και έτος, που μας βοηθάει να εξάγουμε συμπεράσματα σχετικά με τις δραστηριότητες που μπορεί να επηρεάζουν σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό το φαινόμενο.

## ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Ατμοσφαιρική Ρύπανση

Τρύπα του Όζοντος

Φαινόμενα του Θερμοκηπίου

Αιωρούμενα Σωματίδια

Ατμοσφαιρικοί Ρύποι

Δείκτες Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης

Λάρισα

## Summary

In this project a description of the phenomenon of atmospheric pollution is being made, which in the last decades has become a problem of considerable dimensions. The nature of the issues which are raised by the pollution of the atmosphere and their consequences are being described. In addition, the scientific concepts are being clarified which are connected to the phenomenon and processing of the concentration of gas pollutants is being made for the area of Larisa, in the decade 2001-2013. The processing of the data for the town of Larisa, enables us to perceive the actual extent of the pollution for an area with a population of 140.000 and the problems which it can cause to the quality of life of the population and to the ecosystem of the area. Furthermore, in this project air pollution indicators are being calculated which imprint the quality of the atmospheric environment of the town of Larisa for the pollutants in total. Therefore, the study of the increase or the descending trend of the gas emission pollutants per month and year is possible, which enables us to come to the conclusion in terms of the activities which may effect the phenomenon in a greater or smaller degree.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα των ανεπτυγμένων χωρών και αυτό που μαζί με την ρύπανση των υδάτων έχει τις εμφανέστερες και αμεσότερες επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων.

Η ρύπανση της ατμόσφαιρας αποτελεί ουσιαστικά προσθήκη ουσιών – ρύπων που δίχως την ανθρωπογενή παρέμβαση δεν θα υπήρχαν. Τα αποτελέσματα την ανθρώπινης δραστηριότητας σε μεγάλες πόλεις και στις βιομηχανικές περιοχές συχνά δημιουργεί την εντύπωση ότι αφορά ένα μέρος μόνο του πληθυσμού. Στην πραγματικότητα τα αέρια που ρυπαίνουν την ατμόσφαιρα είναι υπεύθυνα για φαινόμενα που προκαλούν μεταβολές και επηρεάζουν την ισορροπία του παγκόσμιου οικοσυστήματος.

Η αέρια ρύπανση από κινητές πηγές η μικρή αλλά συνεχής εκπομπή ρύπων από νοικοκυριά και όλων των κλιμάκων επιχειρήσεις και βιομηχανικές μονάδες διαχέεται μέσω των μηχανισμών μεταφοράς σε όλες τις γεωγραφικές περιοχές. Η τρύπα του όζοντος, το φαινόμενο του θερμοκηπίου, το συνοδευτικό φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής αποτελούν περίτρανο παράδειγμα της παγκόσμιας κλίμακας των επιπτώσεων αλλά και του γεγονότος ότι σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό μας αφορά όλους.

Η ανθρωπογενής δραστηριότητα όπως αυτή καταγράφεται από τις δραστηριότητες της βιομηχανίας των μεταφορών και της στέγασης (σπίτια) έχει η κάθε μια την δική της συμμετοχή και βαρύτητα στο μέγεθος της μόλυνσης. Σε παγκόσμια κλίμακα ο παράγοντας της βιομηχανίας κατέχει το μεγαλύτερο ποσοστό του ύψους 50%, σε δεύτερη θέση έρχονται τα μέσα μεταφοράς με 35% επί του συνόλου ενώ η ρύπανση που προέρχεται από τα νοικοκυριά και την στέγαση όπου αποτελεί το 15% της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Ειδικά για την Ελλάδα η οποία έχει μικρή βιομηχανική παραγωγή και μικρή συμμετοχή στην ευρωπαϊκή οικονομία της τάξης του 2%, υπάρχει η πεποίθηση ότι αφορά μονάχα του κατοίκους των πόλεων και σε ελάχιστες περιπτώσεις τους κατοίκους των χωριών και κωμοπόλεων. Η αντίληψη αυτή αντανακλά το επίπεδο της

περιβαλλοντικής συνείδησης που έχουν οι Έλληνες σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό καθώς και την έλλειψη εκ μέρους της πολιτείας στους τομείς της περιβαλλοντικής εκπαίδευσης. Η παρουσία της χώρας μας στην Ευρωπαϊκή Ένωση έχει ως αποτέλεσμα το μεγαλύτερο ποσοστό της εθνικής περιβαλλοντικής νομοθεσίας να προέρχεται από το ευρωπαϊκό δίκαιο, σε αντιδιαστολή με αυτό το πλεονέκτημα το πρόβλημα στην Ελλάδα εντοπίζεται στην ελλιπή ενσωμάτωση της περιβαλλοντικής νομοθεσία ελληνικό δίκαιο καθώς και στην κακή εφαρμογή της [1].

## **ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ**

### **1.1 Ατμοσφαιρική ρύπανση**

Η ατμόσφαιρα αποτελεί το προστατευτικό σώμα το οποίο συντηρεί τη ζωή στην γη. Είναι η πηγή του διοξειδίου του άνθρακα για την φωτοσύνθεση, και του οξυγόνου για την αναπνοή, και προμηθεύει με άζωτο τους οργανισμούς για την σύνθεση των δομικών τους μορίων. Η ατμόσφαιρα αποτελεί βασικό τμήμα του υδρολογικού κύκλου μεταφέροντας νερό από του ωκεανούς στα εδάφη και στους χερσαίους ταμιευτήρες νερού. Το νερό των ωκεανών εξατμίζεται από την επίδραση του ηλίου συμπυκνώνεται στα σύννεφα και τελικά εναποτίθεται στα χερσαία και υδάτινα οικοσυστήματα μέσω των βροχών και του χιονιού [2].

Η ατμόσφαιρα επιτελεί τις ακόλουθες λειτουργίες που συνδέονται με τις αρνητικές επιπτώσεις της ρύπανσής της (φαινόμενο του θερμοκηπίου - τρύπα του όζοντος):

- Απορροφά το μεγαλύτερο τμήμα των κοσμικών ακτινών και προστατεύει τους οργανισμούς από τις επιπτώσεις τους.
- Απορροφά μεγάλο τμήμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τον ήλιο, επιτρέποντας να φτάσουν στη γη σημαντικές ποσότητες ακτινοβολίας.
- Εμποδίζει στην γη να φτάσει η υπεριώδη ακτινοβολία η οποία είναι καταστρεπτική για στους οργανισμούς
- Επαναποροφά μεγάλο ποσοστό της υπέρυθρης ακτινοβολίας η οποία εκπέμπεται από την επιφάνεια της γης

- Κρατάει σταθερή την θερμοκρασία της γης,

Η υποδιαίρεσή της γίνεται σε τέσσερις στοιβάδες, οι στοιβάδες αυτές διακρίνονται με βάση την κατακόρυφη κατατομή της θερμοκρασίας σε:

- τροπόσφαιρα που είναι σε επαφή με την επιφάνεια της γης,
- στρατόσφαιρα (προστατευτικό στρώμα του όζοντος) που είναι το αμέσως επόμενο στρώμα,
- μεσόσφαιρα και τέλος θερμόσφαιρα.

Η τροπόσφαιρα προέρχεται από την ελληνική λέξη τροπή που σημαίνει αλλάζω, γυρίζω. Αποτελεί την περιοχή από την επιφάνεια της γης μέχρι το ύψος των 11 km και περιέχει τα καιρικά φαινόμενα. Αυτή η περιοχή περιλαμβάνει από την επιφάνεια της γης η οποία θερμαίνεται από τον ήλιο και θερμαίνει και τον αέρα πάνω από αυτήν μέχρι το ύψος όπου ο αέρας σταματά να ψύχεται σε συνάρτηση με το ύψος. Η περιοχή αυτή παράλληλα ονομάζεται και ισοθερμική ζώνη λόγω του γεγονότος ότι η θερμοκρασία αέρος παραμένει σταθερή μετά του ύψους [3].

Η στρατόσφαιρα ξεκινάει από την βάση της τροπόσφαιρας στα 11 km και μετά την περιοχή της τροποπαύσης, που είναι το όριο που διαχωρίζει το ένα από το άλλο στρώμα φτάνει τα 50 km. Η τροποπαύση διαφοροποιείται ανά περίοδο του χρόνου και είναι χαμηλότερη τον χειμώνα σε όλα τα γεωγραφικά πλάτη και ψηλότερη το καλοκαίρι, ενώ στις περιοχές της κυριαρχούν δαιδαλώδεις άνεμοι της τάξης των 190 km/h λόγω της ανάμειξης της με τον στρατοσφαιρικό αέρα. Στο ύψος των 20 km όπου παρατηρείται θερμοκρασιακή αναστροφή η στρατόσφαιρα μαζί με το κατώτερο ισοθερμικό στρώμα κρατά τα κάθετα ρεύματα της τροπόσφαιρας από την διάχυσή τους στην στρατόσφαιρα. Ο λόγος αυτής της αναστροφής είναι το O<sub>3</sub> Όζον που παίζει σημαντικό ρόλο στην θέρμανση του αέρα σε αυτό το ύψος.

Στην συνέχεια είναι το στρώμα της μεσόσφαιρας όπου ο αέρας είναι πολύ λεπτός και η ατμοσφαιρική πίεση πολύ χαμηλή. Ενώ τα μόρια αζώτου και οξυγόνου είναι τα ίδια σε σχέση με αυτά που βρίσκονται στην επιφάνεια της γης, ωστόσο η πυκνότητα λόγω της ατμοσφαιρικής πίεσης διαφέρει πολύ με αποτέλεσμα μια μεσοσφαιρική αναπνοή να περιέχει πολύ λιγότερα μόρια οξυγόνου από μια τροποσφαιρική. Η θερμοκρασία στο ύψος των 50-85 km είναι στους -90 °C αντιπροσωπεύοντας το ψυχρότερο τμήμα της ατμόσφαιρας.

Τέλος η θερμόσφαιρα (85-120 km) αποτελεί το θερμό στρώμα πάνω από την μεσόσφαιρα όπου τα μόρια του οξυγόνου απορροφούν τις ενεργητικές ηλιακές ακτίνες θερμαίνοντας τον αέρα. Στην θερμόσφαιρα υπάρχουν εξαιρετικά λίγα άτομα και μόρια και παρότι η θερμοκρασία είναι πολύ υψηλή ένας άνθρωπος δεν θα ένιωθε ζέστη λόγω των ελαχίστων μορίων που βρίσκονται τα οποία δεν διευκολύνουν την μετάδοση της θερμότητας.

Η μεταβολή της θερμοκρασίας συναρτήσσει του ύψους μέσα από τα διάφορα στρώματα της ατμόσφαιρας. Παρατηρούμε ότι στην ισοθερμική ζώνη των 10-20 km της τροπόπαυσης η θερμοκρασία παραμένει σταθερή όπως και στην στρατοπαύση, ενώ είναι πολύ έντονο το γράφημα της θερμοκρασιακής αναστροφής μετά το ύψος των 20 km με το τέλος της τροποπαύσης [4].

Αυτή η κατανομή είναι βασισμένη στην κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας και δεν είναι το μοναδικό κριτήριο ταξινόμησής της. Έτσι κάτω από την θερμόσφαιρα (85 km) ο αέρας παραμένει σχεδόν ενιαίος και ομοιογενής με 78% N<sub>2</sub> και 21% O<sub>2</sub>, αυτή η περιοχή ονομάζεται και ομόσφαιρα. Στην θερμόσφαιρα οι συγκρούσεις μεταξύ μορίων και ατόμων είναι πιο σπάνιες με αποτέλεσμα να επέρχεται διαχωρισμός λόγω του βάρους των από τα οποία τα βαρύτερα μόρια και άτομα κινούνται προς τα κάτω και (O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>) ενώ τα ελαφρύτερα κινούνται προς τα κατώτερα στρώματα (H<sub>2</sub>, He). Η περιοχή αυτή πάνω από την βάση της θερμόσφαιρας ονομάζεται ετερόσφαιρα.

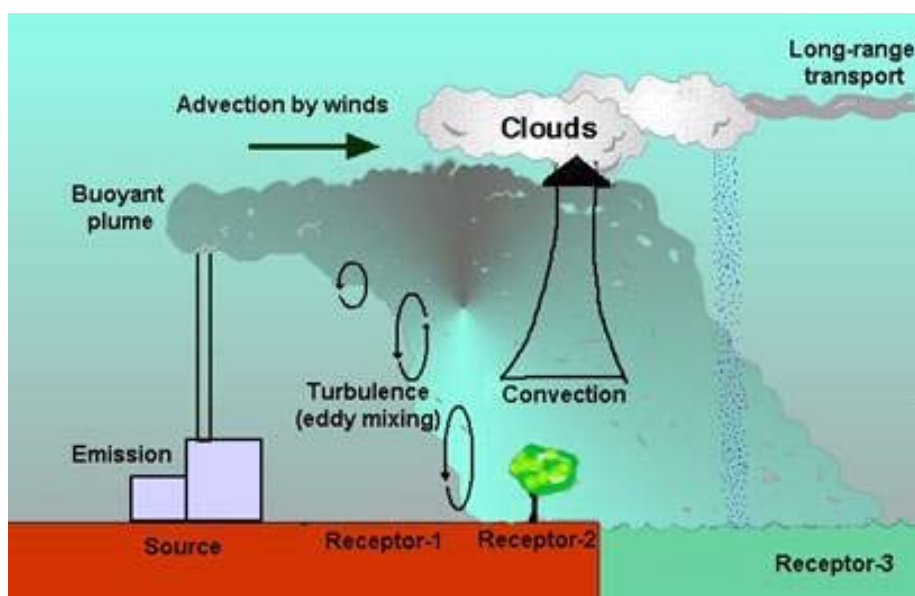
Όσον αφορά την κοινοτική και εθνική νομοθεσία ο «ατμοσφαιρικός αέρας είναι ο αέρας της τροπόσφαιρας στους εξωτερικούς χώρους, εξαιρουμένου του χώρου εργασίας»

Όσον αφορά την ατμοσφαιρική ρύπανση αυτή διακρίνεται σε δύο είδη, σε αυτή που προέρχεται από την καύση του άνθρακα (C) και άλλων καυσίμων με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο που συνδέεται με την όξινη βροχή, και σε αυτή που συνδέεται με την κυκλοφορία των αυτοκινήτων. Η πρώτη συνδέεται με την όξινη βροχή και η δεύτερη με την φωτοχημική αιθαλομίχλη που περιλαμβάνει τα αντιδρώντα μιας σειράς χημικών αντιδράσεων που συμβαίνουν σε ατμόσφαιρα



υψηλή σε επίπεδα ρύπων όπως οξείδια του αζώτου, υδρογονάνθρακες και διάφορες οργανικές ενώσεις.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση ως προς τις πηγές εκπομπών της διακρίνεται σε δύο κατηγορίες, στις φυσικές πηγές ρύπανσης και τις ανθρωπογενείς. Φυσικές πηγές ρύπανσης αποτελούν τα ηφαίστεια (διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, διοξείδιο του θείου), οι πυρκαγιές (μονοξείδιο του άνθρακα, αιωρούμενα σωματίδια), οι ωκεανοί (χλωριούχο νάτριο, θειικά άλατα), η αποσάθρωση του εδάφους (αιωρούμενα σωματίδια, πχ σκόνη από την Αφρική, ανεμοθύελλες), η βιολογική αποσύνθεση (αμμωνία, υδρόθειο). Οι φυσικές πηγές ρύπανσης παρότι έχουν μεγάλη συμμετοχή στο φαινόμενο της απόθεσης ρύπων στην ατμόσφαιρα εντούτοις η καλύτερη διασπορά τους επιτρέπει την καλύτερη ανάμιξη με τον ατμοσφαιρικό αέρα με αποτέλεσμα να μην επιβαρύνουν την ισορροπία του οικοσυστήματος. Στην άλλη πλευρά οι ανθρωπογενείς πηγές ρύπανσης λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης και πυκνότητάς τους αποτελούν προκαλούν την ένταση του φαινομένου με τις γνωστές συνέπειες στα αστικά κέντρα και βιομηχανικές περιοχές [3].



Εικόνα 1: Μηχανισμοί εξάπλωσης ρύπων

Αναλυτικότερα για τις ανθρωπογενείς πηγές ρύπανσης τα ντιζελοκίνητα αμάξια εκπέμπουν σχεδόν διπλάσιο αριθμό σωματιδίων από τα οχήματα που κινούνται με βενζίνη παράγοντας σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των 0,1  $\mu\text{m}$ . που είναι συνήθως υδρογονάνθρακες και σωματίδια ελεύθερου άνθρακα με

περιεκτικότητα σε θείο. Η ρύπανση που σχετίζεται με την κυκλοφορία των οχημάτων πρωτοπαρουσιάστηκε στο Λος Άντζελες το 1945 όπως αργότερα και σε άλλες πόλεις όπως Ρώμη, Αθήνα, Τόκυο. Αυτός ο τύπος ρύπανσης ονομάζεται φωτοχημική αιθαλομίχλη και στην πραγματικότητα είναι τα αντιδρώντα μιας σειράς σύνθετων χημικών αντιδράσεων που συμβαίνουν σε ατμόσφαιρα με υψηλά επίπεδα οξειδίων αζώτου και υδρογονανθράκων και στις οποίες κατασταλτικός παράγοντας αποτελεί η ηλιακή ακτινοβολία. Μεγάλη συνεισφορά αιωρούμενων σωματιδίων έχουν επίσης το ξύλο το κάρβουνο και το πετρέλαιο. Αυτές ήταν οι κύριες εκπομπές ρύπων στις οποίες οφείλεται το γνωστό επεισόδιο του Λονδίνου το 1952, που χαρακτηρίστηκε ως χειμερινή αιθαλομίχλη.

Πέρα από τα σωματίδια αυτά υπάρχει και μια άλλη κατηγορία σωματιδίων που διαφοροποιούνται ως προς τον τρόπο δημιουργίας τους, τα δευτερογενή σωματίδια. Τα σωματίδια αυτά έχουν μικρό μέγεθος (0.005 – 0.5  $\mu\text{m}$ ) και στην συνέχεια συσσωματώνονται σε μεγαλύτερα σωματίδια (0.1 – 2.5  $\mu\text{m}$ ) [3].

## 1.2 Παράγοντες και μηχανισμοί εξάπλωσης ρύπων

Οι εκπομπές των ρύπων εκφράζονται ως μονάδες παροχής δηλαδή τόνοι ανά ημέρα ή kg/h. Η συγκέντρωση ενός ρύπου αποδίδεται στο ποσό της ρύπανσης που δέχεται κάποιος αποδέκτης και εκφράζεται σε μονάδες πυκνότητας, δηλαδή μάζα ρυπαίνουσας ουσίας σε δεδομένο όγκο αέρα, είτε μονάδες αραιώσης δηλαδή όγκος ρυπαίνουσας ουσίας σε δεδομένο όγκο. Η συγκέντρωση ενός ρύπου εκφράζεται σε  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  το ppm (parts per million) και ppb (parts per billion), ισχύει επίσης  $1\text{ppm} = 10^3\text{ppb}$ . Δεν είναι πάντα απαραίτητο ότι υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ ισχυρών εκπομπών και μεγάλων συγκεντρώσεων.

Η θέση της πηγής εκπομπής αποτελεί και αυτή μια σοβαρή παράμετρο στη σχέση εκπομπής συγκέντρωσης. Η μεγάλη οριζόντια απόσταση από την πηγή σημαίνει μεγάλη διασπορά και αραιώση του ρύπου συνεπώς και μικρότερες συγκεντρώσεις ρύπου στους τελικούς αποδέκτες. Όταν μεταξύ πηγής και αποδέκτη υπάρχει μεγάλη υψομετρική διαφορά τότε είναι μεγαλύτερη η οριζόντια απόσταση που μπορεί να μεταφερθεί ο ρύπος από την πηγή. Η συγκέντρωση ενός ρύπου σε μια περιοχή είναι

αντιστρόφως ανάλογη της οριζόντιας ταχύτητας του ανέμου. Η βροχή συντελεί στην κατακρήμνιση και η υγρασία στην απορρόφηση πολλών αερίων και στερεών ρύπων.

Επιπρόσθετα η τοπογραφία μιας περιοχής το ανάγλυφο και κατά συνέπεια και το τοπικό κλίμα (μικροκλίμα) καθορίζουν τις ειδικές συνθήκες κίνησης του αέρα και παρεμβαίνουν στην φυσική διασπορά της ρύπανσης θετικά ή αρνητικά. Γενικά μιας περιοχή που αποτελείται από απότομο ανάγλυφο γύρω της και ψηλά βουνά και λόφους αποτελεί πεδίο συσσώρευσης των ρύπων λόγω της απουσίας ανέμων που βοηθάνε στην διαφυγή των ρύπων από μια περιοχή.

Τέλος η παράλληλη παραγωγή πολλών ρύπων και η ταυτόχρονη συνύπαρξη ρύπων με διαφορετική σύσταση δημιουργεί νέους ρύπους με ιδιότητες διασποράς και διαφοροποιήσεις ως προς τις αρχικές ιδιότητες των αρχικών συστατικών. Οι αέριοι ρύποι οδηγούν σε χημικές αντιδράσεις και προϊόντα αέρα καθώς και σωματίδια με μεγαλύτερο βάρος που παρουσιάζουν μικρότερη ακτίνα διασποράς. Η θέση του τελικού αποδέκτη αποτελεί συνισταμένη όλων αυτών των παραγόντων, πηγών ρύπανσης, τοπογραφίας, διεύθυνσης και ταχύτητας ανέμου και πρέπει να υπολογίζονται μαζί και όχι ξεχωριστά για την καλύτερη ερμηνεία του φαινομένου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης [5].

Ο καιρός και οι μετεωρολογικές συνθήκες ως παράγοντας με αυξημένη βαρύτητα και συμμετοχή στην εξάπλωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης θα αναλυθούν περισσότερο στην συνέχεια της εργασίας. Γενικά ισχύει ότι η διασπορά και αραίωση μιας ουσίας επηρεάζεται άμεσα από την φύση της ρυπαίνουσας ουσίας καθώς αυτή καθορίζει την ικανότητά της να διαχέεται να παραμένει χημικά σταθερή και να αντιδρά ή μη με άλλους αέριους ρύπους ή την ηλιακή ακτινοβολία και να αφομοιώνεται ή μη από την ατμόσφαιρα ή το έδαφος.

Με την λέξη καιρός εννοούμε την κατάσταση της ατμόσφαιρας σε οποιοδήποτε τόπο και χρόνο, μεταβάλλεται συνεχώς και είναι συνάρτηση των παραγόντων:

- Θερμοκρασία αέρα
- Πίεση αέρα
- Υγρασία

- Σύννεφα
- Καταιονισμοί
- Ορατότητα
- Άνεμος

Σχηματικά οι εκπομπές αέριων ρύπων μεταφέρονται από περιοχή σε περιοχή σε όλη την Γη και στους οργανισμούς ως εξής:

- Εκπομπές →
- Μεταφορά, Διάχυση, Μετατροπές στην Ατμόσφαιρα →
- Επιπτώσεις στους οργανισμούς, υλικά, οικοσυστήματα.

Οι μετεωρολογικές συνθήκες επηρεάζουν την ένταση του φαινομένου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης τοπικά αλλά κυρίως βοηθούν στην εξάπλωση των ρύπων λόγω της κίνησης του αέρα σε πλανητικό επίπεδο. Το σφαιρικό σχήμα της Γης που είναι υπεύθυνο για την ανισομερή απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας από την ατμόσφαιρα και την επιφάνειά της δημιουργεί θερμές και ψυχρότερες περιοχές. Έτσι ο θερμαινόμενος αέρας στον Ισημερινό ανυψώνεται και κατευθύνεται προς τους Πόλους, ενώ ψύχεται σταδιακά. Καθώς ψύχεται ο αέρας κατέρχεται λόγω της χαμηλότερης βαρομετρικής πίεσης και υποχωρεί ξανά προς τον Ισημερινό λόγω του ανοδικού ρεύματος εκεί. Η κυκλοφορία αυτή του αέρα έχει κυψελοειδή μορφή και υφίσταται και στα δύο ημισφαίρια. Οι κυψέλες της κυκλοφορίας του αέρα προς τιμήν του Hadley ονομάζονται κυψέλες Hadley και διακρίνονται με την σειρά ξεκινώντας από τους πόλους, στις πολικές κυψέλες Hadley και τις κυψέλες μεσαίου γεωγραφικού πλάτους μαζί με αυτές που βρίσκονται πάνω από τον Ισημερινό. Με τον τρόπο αυτό όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα μπορούμε να παρατηρήσουμε τις επιπτώσεις των φαινομένων της ρύπανσης να επηρεάζουν ακόμη και περιοχές ξένες ως προς την βιομηχανική δραστηριότητα και τον ανθρώπινο παράγοντα [6].

Η κατάσταση σταθερότητας της ατμόσφαιρας, η θερμοκρασιακή αναστροφή καθώς και η ταχύτητα του ανέμου επιταχύνουν την εξάπλωση των ρύπων μέσα από διαφορετικές φυσικές διαδικασίες.

Η κατάσταση της ατμόσφαιρας μπορεί να είναι:

- ασταθής
- ουδέτερη
- ευσταθής

Στην ουδέτερη κατάσταση η θερμοκρασία της αέριας μάζας είναι ίδια με αυτήν του περιβάλλοντός της τότε οι πυκνότητες είναι ίσες και η αέρια μάζα συνεχίζει με την αρχική της ταχύτητα και δεν της ασκείται καμία δύναμη από το περιβάλλον. Όταν η θερμοκρασία της αέριας μάζας είναι μεγαλύτερη από την θερμοκρασία περιβάλλοντος τότε θα κινηθεί προς τα πάνω στην ασταθή κατάσταση. Τέλος στην ευσταθή κατάσταση η σχέση των θερμοκρασιών αντιτίθεται σε οποιαδήποτε κίνηση της αέριας μάζας.

Με την σειρά τους οι ασταθείς συνθήκες χωρίζονται σε 3 κατηγορίες:

- Ισχυρά ασταθής κατάσταση
- Μέτρια ασταθής κατάσταση
- Ελαφρώς ασταθής κατάσταση

Παρομοίως οι ευσταθείς συνθήκες χωρίζονται σε:

- Ελαφρώς ευσταθείς συνθήκες
- Μέτρια ευσταθείς συνθήκες
- Ισχυρά ευσταθείς συνθήκες

Ως δεύτερη παράμετρος μετακίνησης των ρύπων η θερμοκρασιακή αναστροφή παίζει έναν πολύ σημαντικό ρόλο λαμβάνοντας χώρα μέσα στο στρώμα της τροπόσφαιρας, όπου η θερμοκρασία μειώνεται με το ύψος. Η θερμοκρασιακή αναστροφή που παρουσιάζεται σε ήρεμες ατμοσφαιρικές συνθήκες ακόμα και σε ύψος 100 μέτρα από το έδαφος εγκλωβίζει το νέφος αν αυτό δεν έχει ταχύτητα λόγω αρχικής ορμής κάτω από αυτήν.

Έτσι αυτό που παρατηρούμε πολλές φορές σε εργοστασιακές μονάδες είναι οι καμινάδες να έχουν μεγάλο ύψος ώστε οι ρύποι να μπορούν να διασπείρονται φυσιολογικά στην ατμόσφαιρα και να μην εγκλωβίζονται μεταξύ του εδάφους και της

θερμοκρασιακής αναστροφής. Το φαινόμενο εγκλωβισμού του ρύπου σε χαμηλότερα επίπεδα ονομάζεται “φαινόμενο καπνισμού” και είναι εξαιρετικά επικίνδυνη για τις περιοχές κοντά στην πηγή εκπομπής, ενώ όταν αυτό διαφεύγει την θερμοκρασιακή αναστροφή και δεν μπορεί να κατέλθει κάτω από το ύψος αυτής έχουμε το “φαινόμενο ανύψωσης”.

Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω η ταχύτητα του ανέμου επιταχύνει την μεταφορά και εξάπλωση των ρύπων σε μακρινές αποστάσεις και ακολουθεί συγκεκριμένες παραδοχές. Γενικά ο νόμος της ταχύτητας του ανέμου χρησιμοποιείται για να συσχετίσει την παρατηρούμενη ταχύτητα του ανέμου  $u_{ref}$  (m/s) σε ένα συγκεκριμένο ύψος αναφοράς  $z_{ref}$  (m), με την ταχύτητα  $u_s$  (m/s), σε ένα άλλο ύψος,  $h_s$  (m). Ο νόμος της ταχύτητας του ανέμου έχει την μορφή  $u_s = u_{ref}(h_s/z_{ref})^p$  και οι τιμές του εκθέτη εξαρτώνται από την σταθερότητα της ατμόσφαιρας που φαίνονται στον πίνακα 1 [5].

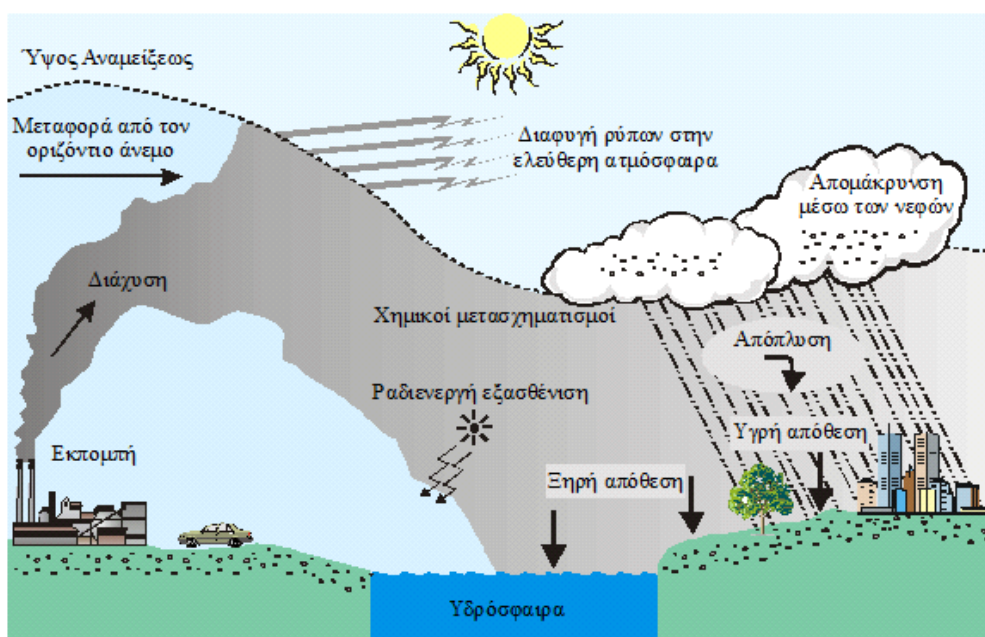
Πίνακας 1: Τιμές εκθέτη  $p$  συναρτήσει της κατάστασης σταθερότητας της ατμόσφαιρας

| Κατ. σταθερότητας | Αγροτική περιοχή | Αστική περιοχή |
|-------------------|------------------|----------------|
| A                 | 0.07             | 0.15           |
| B                 | 0.07             | 0.15           |
| C                 | 0.10             | 0.20           |
| D                 | 0.15             | 0.25           |
| E                 | 0.35             | 0.30           |
| F                 | 0.55             | 0.30           |

### 1.2.1 Κύκλος Ρύπανσης

Όταν ο άνεμος είναι μικρής έντασης τότε παρατηρείται το φαινόμενο οι συνθήκες διασποράς να είναι κακές και η πιθανότητα ρύπανσης είναι αυξημένη καθώς ο οριζόντιος άνεμος δεν είναι αρκετά ισχυρός προκειμένου να απομακρύνει το νέφος. Όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 1 οι τυρβώδεις άνεμοι είναι υπεύθυνοι για την ανύψωση του θυσάνου του νέφους την διάχυσή του και τελικά την αραιώση. Η

κλίμακα και η έντασή της είναι άμεσα εξαρτώμενες από τον βαθμό ανατάραξης της ατμόσφαιρας ή αλλιώς την κατάσταση ισορροπίας της. Όταν έχουμε συνθήκες ευστάθειας οι αναταρακτικές κινήσεις είναι σε μικρότερη κλίμακα και η κατακόρυφη ανάμειξη γίνεται αργά ενώ σε συνθήκες μεγάλης αστάθειας οι τυρβώδεις στρόβιλοι είναι μεγαλύτεροι και η ανάμειξη έντονη. Η δράση των αναταρακτικών κινήσεων περιορίζεται στο κατώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας (1 χλμ) το οποίο ονομάζεται στρώμα ανάμειξης [7].



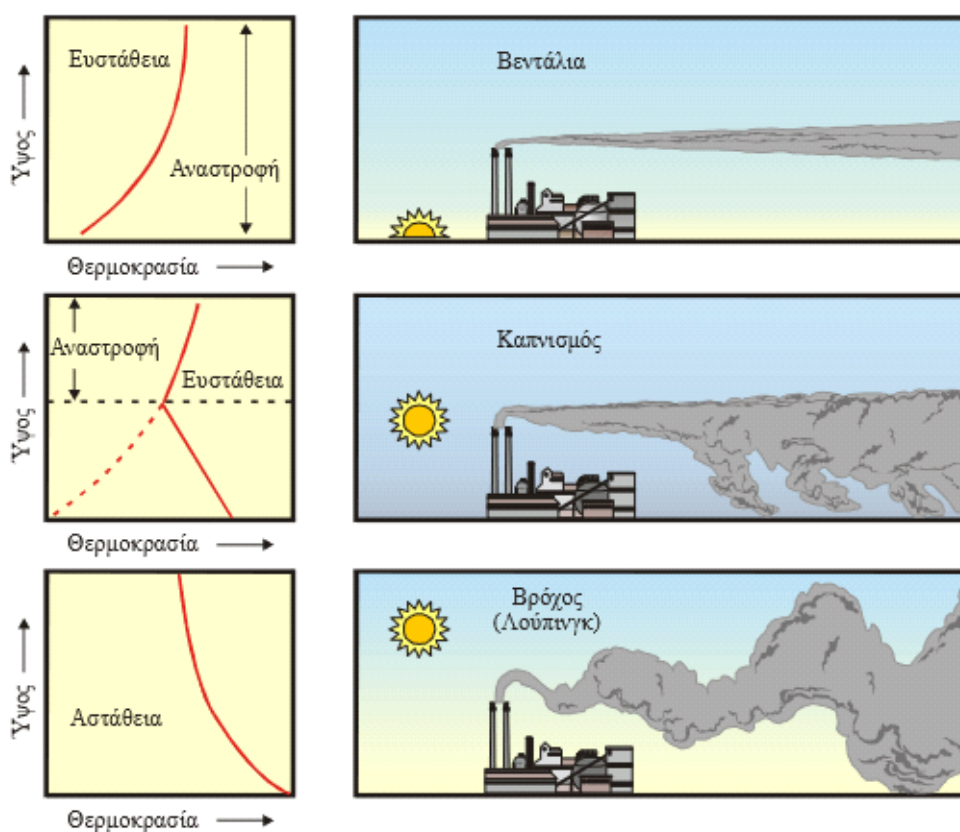
Εικόνα 2: κύκλος ρύπανσης

Η αρχική ανύψωση του θυσάνου έχει πολύ μεγάλη σημασία στην ποιότητα και τις συγκεντρώσεις του αέρα της περιοχής καθώς μπορεί ουσιαστικά να αυξήσει το ενεργό ύψος της καμινάδας από δύο έως 10 φορές το κατασκευαστικό ύψος της. Έτσι λαμβάνοντας υπόψη ότι η μέγιστη συγκέντρωση του εδάφους είναι αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου του ενεργού ύψους εκπομπής, η ανύψωση του θυσάνου μπορεί να μειώσει τις συγκεντρώσεις εδάφους με έναν συντελεστή της τάξης του 100.

Η διασπορά των αέριων ρύπων και τοξικών ουσιών λαμβάνει χώρα κυρίως στην τροπόσφαιρα λόγω της μείωσης της θερμοκρασίας με το ύψος. Όταν όμως η μεταβολή αυτή της θερμοκρασίας διακόπτεται από μικρές εναλλαγές (αύξηση της θερμοκρασίας με το ύψος) που συμβαίνει σε πάχος μερικών μέτρων (θερμοκρασιακή αναστροφή) το νέφος δεν μπορεί να ξεπεράσει την ζώνη αυτή αν δεν διαθέτει

ταχύτητα λόγω της αρχικής του ορμής με αποτέλεσμα να εγκλωβίζεται πάνω ή κάτω από αυτήν. Αυτό αποτελεί την φυσική σημασία που οι βιομηχανικές μονάδες έχουν μεγάλο ύψος, ώστε να αποφεύγεται ο κίνδυνος οι αέριοι ρύποι να μην μπορούν να διασπαρθούν φυσιολογικά στην ατμόσφαιρα και να παρατηρείται το φαινόμενο του ‘καπνισμού’

Στη παρακάτω εικόνα 1.3 αποτυπώνονται οι σχηματισμοί ή διαφορετικά οι κατακόρυφες αναπτύξεις του θυσάνου για τις διαφορετικές καταστάσεις της ατμόσφαιρας που αποτυπώθηκαν παραπάνω. Η κατακόρυφη μεταφορά και διαπλάτυνση του θυσάνου όπως απεικονίζεται στην δεύτερη εικόνα οφείλεται στους τυρβώδεις στρόβιλους και έχει ως τελικό αποτέλεσμα την αραίωση του θυσάνου, μια διαδικασία που ονομάζεται διάχυση. Από την άλλη όταν η κατάσταση της ατμόσφαιρας είναι ευσταθής (σταθερή) οι στρόβιλοι είναι μικρότερης κλίμακας και η κατακόρυφη διάχυση γίνεται αργά. Το ύψος μέχρι το οποίο αναπτύσσονται οι ρύποι ονομάζεται ύψος ανάμειξης, ενώ το στρώμα που μεσολαβεί ανάμεσα στην επιφάνεια της γης και το ύψος ανάμειξης ονομάζεται στρώμα ανάμειξης [8].



Εικόνα 3: σχηματισμοί νεφών



Η διαδικασία κατά την οποία τελικά ο ρύπος αποτίθεται στο έδαφος από την ατμόσφαιρα ονομάζεται απόθεση. Η απόθεση διακρίνεται σε 3 κατηγορίες:

1. Την καθίζηση
2. Την ξηρή απόθεση
3. Την υγρή απόθεση

Η καθίζηση ονομάζεται η απόθεση και η πτώση των σωματιδίων στο έδαφος λόγω βαρύτητας των βαρύτερων σωματιδίων.

Ξηρή απόθεση συμβαίνει στα μεσαία και μικρά σωματίδια και στις αέριες ενώσεις που ακολουθούν τις κινήσεις του αέρα και δεσμεύονται όταν έρθουν σε επαφή από την υποκείμενη επιφάνεια.

Τέλος η υγρή απόθεση αντιστοιχεί στην περίπτωση του υετού όπου οι ρύποι ενσωματώνονται λόγω βροχής ή χιονιού στα σταγονίδια του νέφους και πέφτουν στο έδαφος [7].

Η διαφορά μεταξύ της αέριας ρύπανσης και της αποτιθέμενης ρύπανσης είναι σημαντικός για τον λόγο ότι επιδρούν με διαφορετικό τρόπο στο οικοσύστημα και επηρεάζουν την ανθρώπινη υγεία. Έτσι οι απευθείας επιπτώσεις της αέριας ρύπανσης είναι περισσότερο τοπικό πρόβλημα και οι επιδράσεις της μεγαλύτερες στις περιοχές κοντά την πηγή της ρύπανσης, ενώ η επίδραση της απόθεσης εξαπλώνεται σε χιλιάδες χιλιόμετρα μακρύτερα από την πηγή. Τέτοιο παράδειγμα αποτελεί η αφρικανική σκόνη η οποία διανύει χιλιάδες χιλιόμετρα και αυξάνεται σε ετήσια βάση λόγω των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.

Οι επιστήμονες λόγω των αυξημένων επεισοδίων εμφάνισής της, στον ουρανό των χωρών της Μεσογείου, κάνοντας έρευνες μέτρησης των επικίνδυνων ουσιών της Αφρικανικής σκόνης στα Πανεπιστήμια Αθηνών, Καρλσρούης και του Εβραϊκού Πανεπιστημίου της Ιερουσαλήμ κατέληξαν ότι κύριος λόγος αποτελεί η ερημοποίηση του εδάφους λόγω των συνεπειών της κλιματικής αλλαγής.

Η ερημοποίηση στην Σαχάρα προχωρά με τόσο γρήγορο ρυθμό, με αποτέλεσμα οι έρημες περιοχές να επεκτείνονται εις βάρος των καλλιεργήσιμων εκτάσεων, αυξάνοντας τις ποσότητες της σκόνης που μπορεί να μεταφερθούν στην ατμόσφαιρα.

Τα αποτελέσματα ερευνών των πανεπιστημίων έδειξαν ότι κάθε χρόνο περίπου έκταση ίση με το 20% της Ελλάδας ερημοποιείται στην Σαχάρα, έκταση ίση με 2500 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Η τάση αυτή η οποία δεν πρόκειται να σταματήσει μέχρι να αντιστραφεί το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής και θα έχει ως συνέπεια την αυξημένη ποσότητα μεταφερόμενης σκόνης κάθε χρόνο.

Οι επιστήμονες του Πανεπιστημίου Αθηνών, του Πανεπιστημίου της Καρλσρούης και του Εβραϊκού Πανεπιστημίου της Ιερουσαλήμ, που συμμετέχουν στις έρευνες μέτρησης των επικίνδυνων ουσιών της αφρικανικής σκόνης, εκφράζουν τη βεβαιότητα ότι, λόγω της συνεχιζόμενης ερημοποίησης, η μεταφερόμενη σκόνη θα αυξάνεται σε ετήσια βάση. Όπως αναφέρει χαρακτηριστικά ο καθηγητής Αθανάσιος Γκοντελίτσας, του τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος στο Πανεπιστήμιο Αθηνών «Η ερημοποίηση των εδαφών είναι αδύνατον να μην έχει αποτέλεσμα την αύξηση της αφρικανικής σκόνης που μεταφέρεται στην περιοχή της Μεσογείου αλλά και αλλού»

Η τρομαχτική επιβάρυνση του φυσικού περιβάλλοντος και η εξάπλωση μολυσματικών παραγόντων οδηγούν αναπόφευκτα στο ερώτημα τα επόμενα χρόνια κατά πόσο θα μπορεί ένα ανθρώπινο γένος να καταφέρει να επιβιώσει όταν ακόμα και αυτό όπως όλα τα υπόλοιπα είδη στον πλανήτη έχουν ένα συγκεκριμένο θωκό (εύρος τιμών) στο οποίο μπορούν να αναπαράγονται και να αναπτύσσονται απρόσκοπτα. Οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και την ποιότητα περιβάλλοντος του πλανήτη λόγω της ατμοσφαιρικής ρύπανσης αριθμούν πλέον αρκετά σοβαρά νοσήματα κυρίως χρόνιων πνευμονικών νόσων και καρδιοαγγειακής θνησιμότητας. Η διεθνής ευαισθητοποίηση και οι διεθνείς συμβάσεις αλλά και οι κοινοτικές οδηγίες και νομοθεσία εντός της ευρωπαϊκής ένωσης έχουν οδηγήσει στην ενσωμάτωση πολιτικών υπέρ του περιβάλλοντος για τον περιορισμό του προβλήματος η οποία όπως φαίνεται και από τα γραφήματα έχουν οδηγήσει σε μείωση των εκπομπών των αερίων που είναι υπεύθυνων για τα συνεπακόλουθα φαινόμενα ωστόσο είναι ακόμη μεγάλος ο δρόμος μέχρι την οριστική αντιμετώπισή του [7].

## 1.2.2 Κατηγορίες Διασποράς Νέφους

Η κατάταξη των μοντέλων γίνεται ανάλογα με:

- α) τον τρόπο έκλυσης του ρύπου (στιγμιαίο ή συνεχή)
- β) την χωρική κατανομή της πηγής (σημειακή, επιφανειακή ή χωρική)
- γ) την πολυπλοκότητα του εδάφους και των ατμοσφαιρικών συνθηκών
- δ) την σύσταση των ρυπών (χημικοί, ραδιενεργοί)
- ε) την φύση τους (στερεοί, υγροί, αέριοι)
- στ) την έκταση των συνεπειών (τοπική, μέση, μεγάλη κλίμακα)
- η) την μαθηματική προσέγγιση.

Η μαθηματική προσέγγιση της διασποράς των νεφών έχει εμπειρικό χαρακτήρα και αποτελείται από τα α) εμπειρικά μοντέλα, β) τα μοντέλα Langrange, και γ) τα μοντέλα Euler.

### α) Εμπειρικά Μοντέλα

Τα εμπειρικά μοντέλα ξεκινάνε από την μαθηματική λύση του θεωρητικού προβλήματος σημειακής πηγής συνεχούς έκλυσης σε ένα άπειρο ιδεατό μέσο σταθερής διάχυσης. Παρά το γεγονός ότι η εμπειρία και τα δεδομένα που έχουν υπάρξει τα κάνουν αναντικατάστατα στην χρήση τους σε απλές ατμοσφαιρικές συνθήκες με επαρκή άνεμο, ομαλή τοπογραφία και ομοιόμορφη χρήση της γης, ωστόσο παρατηρείται η κατάχρησή τους ακόμη και σε περιπτώσεις που δεν ισχύουν. Τα εμπειρικά μοντέλα διακρίνονται στα μοντέλα Gauss και μοντέλα κουτιού (box models).

### β) Μοντέλα Langrange

Στα μοντέλα Langrange η επίλυση του ρύπου χωρίζεται σε σωματιδιακούς διαφορικούς όγκους με την συνολική έκλυση διαιρεμένη ομοιόμορφα-ανομοιόμορφα χρονικά ή/και χωρικά.

### γ) Μοντέλα Euler

Στην κατηγορία αυτή η μαθηματική προσέγγιση γίνεται με τις συνήθεις διαφορικές εξισώσεις μεταφοράς συνεχούς μέσου, ολοκληρωμένες στην κλίμακα χρόνου της τύρβης. Τα μοντέλα Euler χειρίζονται με ευχέρεια προβλήματα φαινομένων

ατμόσφαιρας και ρυπών με πολύπλοκη τοπογραφία και είναι αναντικατάστατα με για επιφανειακές ή χωρικές πηγές και για μεγάλες χωρικές κλίμακες υπολογισμού [9].

### 1.2.3 Όξινη βροχή – Αιθαλομίχλη – Φωτοχημικό νέφος

Όξινη βροχή θεωρείται ένα από τα σοβαρότερα περιβαλλοντικά προβλήματα παγκόσμιας κλίμακας. Είναι το φαινόμενο των πολύ όξινων μετεωρολογικών κατακρημνισμάτων από πάχνη και βροχή μέχρι χιόνι και ξηρή σκόνη. Παρά το γεγονός ότι η ίδια η βροχή έχει όξινο χαρακτήρα λόγω της διάλυσης σε αυτήν αερίων συστατικών με όξινη συμπεριφορά όπως το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), η παρουσία όξινων διαλυμένων ρυπών που δεν αποτελούν χαρακτηριστικά της καθαρής ατμόσφαιρας, όπως τα διάφορα καυσαέρια ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο, γαιάνθρακες), περιέχουν οξείδια του αζώτου και του θείου παράγοντας όξινη βροχή που επιφέρει καταστροφικά αποτελέσματα σε καλλιέργειες, πολιτιστικά μνημεία, επιφανειακά ύδατα, έδαφος κ.α.

Όπως τονίστηκε παραπάνω η φυσική διεργασία που προκαλεί την όξινη βροχή είναι η ίδια η διαδρομή του βρόχινου νερού που αν έρθει σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα διαλύει διοξείδιο του άνθρακα με αποτέλεσμα τον σχηματισμό ανθρακικού οξέος ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ). Το νερό της βροχής όπως και όλα τα μετεωρολογικά κατακρημνίσματα που αποτελούν φυσικά στοιχεία της ατμόσφαιρας απορροφούν  $\text{CO}_2$ , ωστόσο η οξύτητα αυτή σε τόσο μικρή συγκέντρωση είναι αρκετά ασθενής ώστε να έχει ορατές συνέπειες στο οικιστικό και φυσικό περιβάλλον.

Η όξινη βροχή αναφέρεται στο επίπεδο οξύτητας τιμών 4 - 4.6 pH. σε σχέση με το φυσικό επίπεδο οξύτητας των 5.2 pH που αποτελεί την χαμηλότερη τιμή οξύτητας της βροχής. Πέρα από την συμμετοχή όλων των αερίων ρυπών που προκαλούν το φαινόμενο τα πιο σημαντικά αέρια που οδηγούν στον σχηματισμό της είναι το διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ ) και τα οξείδια αζώτου ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2\text{O}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}_5$ ) από τα οποία το μονοξείδιο ( $\text{NO}_2$ ) και το διοξείδιο του αζώτου ( $\text{NO}_2$ ) συμβάλλουν στην δημιουργία του φωτοχημικού νέφους.

Τα οξείδια του αζώτου κύρια παράγονται από την καύση ορυκτών καυσίμων και οφείλονται σε δύο κύριους τρόπους σχηματισμού, τον θερμικό σχηματισμό και την οξειδωση.

Ο θερμικός σχηματισμός σχετίζεται με το οξυγόνο και το άζωτο του αέρα της καύσης λόγω υψηλής θερμοκρασίας (>1000 °K). Γενικά οτιδήποτε έχει χαρακτηριστικό την θέρμανση του ατμοσφαιρικού αέρα σε υψηλή θερμοκρασία συνδέεται με τον σχηματισμό οξειδίων του αζώτου.

Η οξειδωση ορυκτών καυσίμων έχει ως πηγή τα καύσιμα που είναι πλούσια σε αζωτούχες ενώσεις. Τα ορυκτά καύσιμα και τα ποσοστά αζωτούχων ενώσεων σε αυτά σχετίζονται κυρίως με την προέλευση και το είδος των ορυκτών καυσίμων. Έτσι τα κλάσματα πετρελαίου δεν περιέχουν καθόλου άζωτο κάνοντάς τα πιο φιλικά προς το περιβάλλον σε σχέση με ορισμένα καύσιμα όπως τους γαιάνθρακες. Οι μέσες τιμές που συναντάμε σε αστικές περιοχές είναι 20-90 mg/m<sup>3</sup> ενώ οριακές τιμές αποτελούν τα 200 mg/m<sup>3</sup> [10].

Από μια σύγκριση των φυσικών και ανθρωπογενών πηγών σκιαγραφείται καλύτερα η συμμετοχή του κάθε ρύπου στην δημιουργία του φαινομένου της όξινης βροχής. Υπολογίζεται ότι

Η καύση ορυκτών καυσίμων συνεισφέρει στην ατμόσφαιρα 70 kT με την μορφή SO<sub>2</sub>.

Η ηφαιστειακή δραστηριότητα επιβαρύνει κατά μέσο όρο με 7.5 kT με την μορφή SO<sub>2</sub>.

Οι πυρκαγιές επιβαρύνουν με μέσο όρο ετησίως 2.8 kT με την μορφή SO<sub>2</sub>.

Οι Βιολογικές δραστηριότητες (αποσύνθεση) έχουν μικρή συμμετοχή.

Τέλος η τήξη των πάγων που έχουν δεσμεύσει αέρια από την ηφαιστειακή δραστηριότητα της αντίστοιχης περιόδου έχουν και αυτά συμμετοχή στο φαινόμενο ανήκοντας στις φυσικές πηγές ρύπανσης που ωστόσο προκαλεί ο ανθρώπινος παράγοντας. Από τα στοιχεία αυτά αντιλαμβάνεται κανείς το μέγεθος των πιέσεων που ασκεί ο άνθρωπος στο περιβάλλον σε σχέση με τις φυσικές πηγές ρύπανσης.



Εικόνα 4: Πύργος Χέρτεν στην Γερμανία (1908-σήμερα)

Η φωτοχημική ρύπανση που συναντάται κυρίως στα αστικά κέντρα όπως η Αθήνα οφείλεται στην συγκέντρωση αυτών των ρυπών και κύρια συστατικά του είναι το μονοξειδίο του άνθρακα, οξείδια του αζώτου και το όζον. Το διοξείδιο του αζώτου αλληλοεπιδρά με την ηλιακή ακτινοβολία σε μήκη κύματος  $< 398\text{nm}$  και φωτοδιασπάται. Η φωτοδιάσπαση έχει σαν αποτέλεσμα το μονοξειδίο του αζώτου και το ατομικό οξυγόνο. Το ατομικό οξυγόνο αντιδρά με το μοριακό οξυγόνο και σχηματίζει το όζον. Το όζον ως δευτερογενής ρύπος είναι τόσο ισχυρά οξειδωτικός που κατά την διάρκεια της παρουσίας του στην ατμόσφαιρα δεν έχουμε αύξηση των μονοξειδίων του αζώτου. Επιπροσθέτως το όζον μαζί με τους υδρογονάνθρακες και άλλα σωματίδια συμμετέχουν σε διάφορους φωτοχημικούς κύκλους προκαλώντας πολλά προβλήματα στην υγεία των ανθρώπων στις μεγαλουπόλεις αλλά και σε βιομηχανικές περιοχές [11].

Εντύπωση προκαλεί και η παρουσία του σε άλλες αστικές περιοχές όπου μεταφέρεται μέσω του αέρα και των ρευμάτων.

Η αιθαλομίχλη από την άλλη είναι το νέφος που προκαλείται ειδικά τα τελευταία χρόνια λόγω της οικονομικής κρίσης με την αλλαγή στην μέθοδο θέρμανσης και την χρήση καυσόξυλων (ξύλα) και άνθρακα (κάρβουνο). Αξίζει να σημειωθεί ότι ένα παραδοσιακό τζάκι εκλύει στην ατμόσφαιρα 30 φορές περισσότερα σωματίδια απ' ότι ένας καλά συντηρημένος καυστήρας με 25 διαμερίσματα. Η αιθαλομίχλη αποτελεί ένα νέφος αιωρούμενων σωματιδίων αιθάλης συνδυασμένων με διοξείδια του θείου και άλλα στοιχεία που πρωτοεμφανίστηκε στην Αγγλία την περίοδο της βιομηχανικής επανάστασης. Είναι πολλά τα παραδείγματα μόλυνσης του αέρα στις μεγαλουπόλεις

παγκοσμίως με κύρια παραδείγματα από τις αρχές της δεκαετίας του '60 στο Λος Άντζελες (1952) που είχε προκαλέσει την ζωή σε 4000 ανθρώπους, αλλά και της Κίνας το 2013 όπου αναγκάστηκε στην πόλη Χάρμπιν να κλείσει δρόμους, σχολεία και το τοπικό αεροδρόμιο.

Οι επιπτώσεις των φαινομένων αυτών τόσο στο φυσικό περιβάλλον (νερά – έδαφος), με την πτώση του pH (όξινη βροχή) έχει δραματικές συνέπειες στην υδρόβια ζωή, καθώς οι αυξημένες συγκεντρώσεις καταστρέφουν το πλαγκτόν και τα αυγά ψαριών, αμφίβιων και ερπετών. Η μεταφορά τους σε περιοχές του πλανήτη ακόμη και σε κράτη που είναι ουραγοί στην περιβαλλοντική πολιτική και την προστασία του περιβάλλοντος είναι συχνή με απρόβλεπτες συνέπειες. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα των Σκανδιναβικών λιμνών το 1970 με μαζικούς θανάτους ψαριών λόγω μόλυνσης των νερών από την όξινη βροχή. Η όξινη βροχή όσο και το φωτοχημικό νέφος και η αιθαλομίχλη μπορούν να προκαλέσουν μη αναστρέψιμες καταστάσεις στα οικοσυστήματα διαρρηγνύοντας την ισορροπία τους και δημιουργώντας την κατάλληλες συνθήκες για την επικράτηση ξενικών ειδών.

Η ανθρώπινη υγεία βρίσκεται επίσης σε υψηλό ρίσκο ιδιαίτερα μέρες που τα φαινόμενα παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις στον ατμοσφαιρικό αέρα μιας περιοχής λόγω προβλημάτων με τα οποία σχετίζονται όπως το άσθμα, η βρογχίτιδα, εξασθένιση ανοσοποιητικού συστήματος και διαφόρων μορφών καρκίνου [11].

#### **1.2.4 Φαινόμενο του Θερμοκηπίου**

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου αποτελεί το χαρακτηριστικότερο φαινόμενο με πλανητικές διαστάσεις που δημιούργησε η μόλυνση του αέρα και η ανθρώπινη δραστηριότητα. Παρότι είναι μια φυσική διαδικασία η οποία χρησιμεύει στο να θερμαίνει την γη και να επιτυγχάνει την διατήρηση των θερμοκρασιών της εντούτοις οι συγκεντρώσεις των αερίων της κατώτερης ατμόσφαιρας οδήγησαν στην κατακράτηση της ακτινοβολίας που θα έπρεπε να εξέρχεται στο διάστημα και αύξησαν την απορροφούμενη από την Γη η οποία εισέρχεται. Αποτέλεσμα αυτής της μεταβολής είναι η υπερθέρμανση του πλανήτη με ότι συνεπάγεται για την κλιματική

αλλαγή το λιώσιμο των πάγων, την άνοδο της στάθμης της θάλασσας, την ραγδαία μείωση και απώλεια της βιοποικιλότητας κ.α.

Κατά το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου η ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται από το διάστημα ανακλάται κατά 30% από την ατμόσφαιρα, τα νέφη και την επιφάνεια της Γης, ενώ το υπόλοιπο 70% απορροφάται με ιδιαίτερα μεγάλο ποσοστό από τους ωκεανούς (50%) και από την ατμόσφαιρα (30%). Η Γη με την σειρά της εκπέμπει και ίδια θερμική ακτινοβολία σε μεγάλα μήκη κύματος τα οποία επανεκπέμπει η ατμόσφαιρα προς την επιφάνεια της Γης επιτρέποντάς της να θερμανθεί ακόμη περισσότερο κάνοντας την ουσιαστικά να συμπεριφερθεί σαν δεύτερος ήλιος. Χωρίς το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου η γη θα είχε θερμοκρασία  $-18^{\circ}\text{C}$ .

Τα αέρια που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου αναφέρονται ως αέρια του θερμοκηπίου και έχουν την ιδιότητα να απορροφούν την μεγάλη μήκους κύματος γήινη ακτινοβολία και να την επιστρέφουν στην Γη. Ορισμένα αέρια όπως το όζον έχοντας ημιδιαφάνεια στα μεγάλα μήκη κύματος επιτρέπουν την διαφυγή αυτών των αερίων με αποτέλεσμα να απορροφούν ένα μέρος της ακτινοβολίας αυτής, συμβάλλοντας στην ψύξη της Γης [12].

Η αύξηση των συγκεντρώσεων των αερίων αυτών λόγω της ανθρωπογενούς δραστηριότητας ενισχύεται και λειτουργεί προσθετικά στην παρουσία επιπλέον αερίων όπως οι χλωροφθοράνθρακες (CFC's). Η αύξηση 30% των αερίων του διοξειδίου του άνθρακα κυρίως, την περίοδο 1750-2000 οδήγησε σε τρομαχτική συνεισφορά στο φαινόμενο με τα απορροφητικά αέρια να αυξάνουν σε βαθμό που μετέβαλλαν το ενεργειακό ισοζύγιο της Γης.

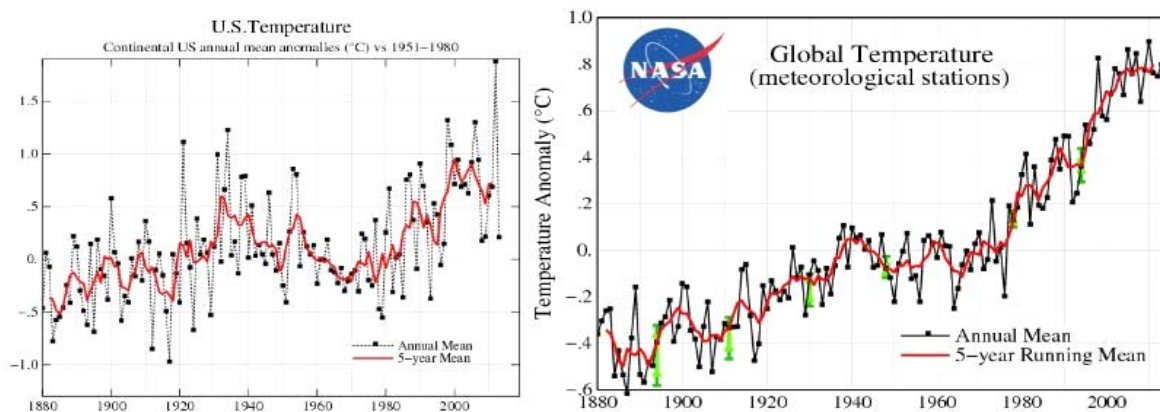
Τα αέρια του θερμοκηπίου είναι οι υδρατμοί ( $\text{H}_2\text{O}$ ), το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) και το μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ). Ωστόσο αέρια όπως το μονοξείδιο του αζώτου ( $\text{N}_2\text{O}$ ) και του χλωροφθοράνθρακα (CFC's) μοιάζουν με την συμπεριφορά του διοξειδίου του άνθρακα και σε συνδυασμό με τον ρόλο των συννέφων η δράση τους αυξάνει. Έχουν επίσης την ικανότητα να μεταβάλλουν τις ιδιότητες της ακτινοβολίας όσον αφορά την έκταση και το μέγεθός της επηρεάζοντας την κυκλοφορία του αέρα και ενδυναμώνοντας το φαινόμενο αναλόγως της αύξησης του  $\text{CO}_2$ .



Ενδεικτικό των επιδράσεων της ανθρώπινης παρέμβασης είναι τα ακόλουθα νούμερα που δείχνουν την συνεισφορά στην συγκέντρωση των αερίων από το 1750 μέχρι σήμερα. Γενικά το διοξείδιο του άνθρακα αυξήθηκε κατά 29% και προέρχεται από πυρκαγιές δασών που αυξήθηκαν λόγω της κλιματικής αλλαγής, ηφαίστεια, καύσιμα, αποδασώσεις. Το μεθάνιο μεταβλήθηκε κατά 143% και οφείλεται κύρια στις πετρελαιοπηγές, την καύση βιομάζας τους σκουπιδότοπους αλλά και την οργανική αποσύνθεση κ.α. Οι χλωροφθοράνθρακες που και αυτά συμμετέχουν στο φαινόμενο όπως περιεγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο αποτελούν προϊόντα των τελευταίων δεκαετιών και σήμερα βρίσκονται σε συγκέντρωση 900ppb προερχόμενα από ψεκασμούς, ψυγεία, αεριοθούμενα και απορρυπαντικά. Το όζον ανήκει και αυτό στην ίδια κατηγορία η συγκέντρωσή του μεταβάλλεται ανά γεωγραφική περιοχή και παράγεται μέσω της φωτοχημικής αιθαλομίχλης με την συνδυαστική δράση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Πέραν αυτών οι βιομηχανικές διεργασίες φαίνεται ότι επιδρούν και εδώ με τον ίδιο τρόπο συνεισφέροντας επιπλέον με τους φθοριωμένους υδρογονάνθρακες (HFCs) τους υπερφθοράνθρακες (PFCs) και το εξαφθοριούχο θείο (SF6). Το πρωτόκολλο του Κιότο στόχο έχει τον έλεγχο αυτών των 6 αερίων (σ.σ. Μεθάνιο, Υποξείδιο του Αζώτου, Διοξείδιο του Άνθρακα).

Παρά την υπογραφή του πρωτοκόλλου για λόγους μείωσης ανταγωνιστικότητας πολλά ήταν τα κράτη που δεν προσπάθησαν να το εντάξουν στην παραγωγική διαδικασία με αποτέλεσμα το 2004 να παρατηρηθεί απόλυτη αύξηση 28,000,000 τόνων διοξειδίου του άνθρακα ενώ τα τελευταία 200 χρόνια 2.3 τρις τόνοι έχουν εκλυθεί συνολικά στην ατμόσφαιρα [12].



Εικόνα 5: Μεταβολή παγκόσμιας θερμοκρασίας (NASA)

Σύμφωνα με τα συγκεντρωτικά στοιχεία της WWF κατά την διάρκεια του 20<sup>ου</sup> αιώνα η παγκόσμια θερμοκρασία αυξήθηκε κατά 0.7 °C, ενώ υπολογίζεται ότι θα αυξηθεί κατά 1.4 έως 5.8 °C μέχρι το 2100. Δεδομένου του θωκού (θερμοκρασιακό εύρος, διατροφή, κ.α.) που έχει κάθε είδος προκειμένου να συντηρηθεί με πολύ στενό για ορισμένα είδη που είναι αρκετά ευαίσθητα στις μεταβολές του περιβάλλοντός τους κάτι τέτοιο θα έχει αλυσιδωτές και ανυπολόγιστες συνέπειες για την επιβίωσή τους., ιδιαίτερα αν δεν μπορέσουν να προσαρμοστούν στις νέες θερμοκρασιακές συνθήκες.

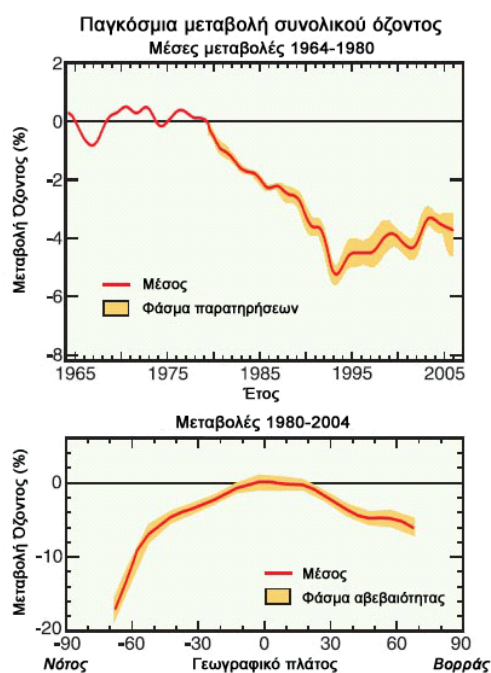
Σημαντικό είναι το γεγονός ότι παρότι το φαινόμενο του θερμοκηπίου αφορά όλη την γήινη ατμόσφαιρα, η αύξηση της θερμοκρασίας του δεν θα είναι ομοιόμορφη. Έτσι στους πόλους η θερμοκρασία θα αυξηθεί από 4 °C μέχρι 7 °C ενώ στην τροπική ζώνη θα είναι μηδαμινή. Η στάθμη της θάλασσας θα μεταβληθεί από 0.5 μέχρι 1.5 μέτρα στους 4 °C ενώ η κατάρρευση της αγροτικής παραγωγής λόγω μεταβολής των βροχοπτώσεων θα είναι ανυπολόγιστη. Η καταστολή του φαινομένου με αλλαγή του τρόπου που λειτουργούν οι επιχειρήσεις καθώς και οι αλλαγές που χρειάζεται το σύγχρονο μοντέλο ανάπτυξης ναρκοθετούν συχνά αυτήν την διαδικασία λόγω των συνεπειών που συνεπάγονται για τους ρυθμούς ανάπτυξης των ανεπτυγμένων και υπό ανάπτυξη χωρών καθώς και των ισορροπιών που επικρατούν [1].

Σύμφωνα με τον Έριχ Φίσερ ερευνητή στο Institute for Atmospheric & Climate Change, όπως δήλωσε με αφορμή την μελέτη του που δημοσιεύτηκε στο Nature Climate Change «ότι συνέβαινε παλιά μία φορά στα 3 χρόνια, πλέον συμβαίνει 3 φορές στον έναν». Οι Ε. Φίσερ και Ρ. Κνούτι εξετάζοντας στοιχεία σε βάθος ενός αιώνα και χρησιμοποιώντας 24 κλιματικά μοντέλα και προχωρώντας σε προσομοιώσεις για την αύξηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα έως το 2100, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι, τα κύματα καύσωνα και οι ισχυρές καταιγίδες είναι συνεπακόλουθα της ανόδου της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας κατά 0.85 οC. Στην ίδια μελέτη επισημαίνεται ότι οι προοπτικές είναι αρκετά δυσόιωνες καθώς η αλλαγή του κλίματος με την συνεχή άνοδο της θερμοκρασίας δεν θα είναι ομαλή ούτε σταδιακή. Δηλώνοντας στην συνέχεια ότι «Με κάθε βαθμό ανόδου της θερμοκρασίας τα πιο σπάνια και πιο ακραία στοιχεία σε βάθος ενός αιώνα τα οποία κατά συνέπεια έχουν τις πιο μεγάλες κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις είναι αυτά τα οποία, στο μεγαλύτερο ποσοστό οφείλονται στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που δημιουργούν οι άνθρωποι» [12].

## 1.2.5 Τρύπα του Όζοντος

Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω το αέριο του όζοντος βρίσκεται στην ανώτερη ατμόσφαιρα της Γης και στο επίπεδο του εδάφους. Το όζον που βρίσκεται στο επίπεδο της Γης είναι αέριος ρύπος και είναι επιβλαβής για την ανθρώπινη υγεία και την αγροτική παραγωγή, αντίθετα το όζον που βρίσκεται στην περιοχή της στρατόσφαιρας σχηματίζοντας ένα λεπτό στρώμα μεταξύ 19 km και 30km, προστατεύοντας την Γη από την υπεριώδη ακτινοβολία του Ηλίου (UV).

Ο σχηματισμός του όζοντος έχοντας περιγραφεί από μεγάλο αριθμό επιστημόνων, περιλαμβάνει την κρούση των μορίων του  $O_2$  από υψηλής ενέργειας ακτινοβολία που τα διασπά σε 2 ελεύθερα άτομα οξυγόνου, τα οποία με την σειρά τους συγκρούονται με τα  $O_2$  και σχηματίζουν μόρια όζοντος. Το στρώμα του όζοντος είναι λεπτότερο στις τροπικές περιοχές και πιο παχύ πάνω από τους πόλους και καλείται οζονόσφαιρα ή στρώμα Charman. Το πάχος της οζονόσφαιρας διαφοροποιείται και κατά ύψος λόγω της δράσης των υπεριώδων ακτινών που είναι περισσότερες στα ψηλότερα σημεία συγκριτικά με τα χαμηλότερα που ανακόπτονται λόγω απορρόφησής τους από τα χαμηλότερα στρώματα. Οι ίδιες ακτίνες που δημιουργούν το όζον είναι και οι ίδιες που το καταστρέφουν με αποτέλεσμα να διατηρείται ένα ισοζύγιο όζοντος με σταθερή περιεκτικότητα στον αέρα περίπου 10ppm [13].



Εικόνα 6: Μεταβολή συνολικού όζοντος

Οι μονάδες στις οποίες μετράμε το όζον είναι οι μονάδες Dobson ή DU. Μία τυπική τιμή του όζοντος πάνω από τον Ισημερινό είναι 260 DU. Συγκεντρωτικά μπορεί κανείς να πει ότι αν η συνολική ποσότητα του όζοντος συγκεντρωνόταν στην ατμόσφαιρα τότε σε 273 K (Κέλβιν) και 1 ατμόσφαιρα θα μπορούσε να σχηματίσει στρώμα πάχους 3 χιλιοστών του μέτρου.

Το όζον απορροφώντας τις υπεριώδεις ακτίνες προστατεύουν όλα αυτά που αντίστροφα καταστρέφονται και επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από την τρύπα του όζοντος δηλαδή την θαλάσσια χλωρίδα και τους γόνους των ψαριών (αλλοίωση DNA), την άμυνα του οργανισμού απέναντι σε παθογόνους μικροοργανισμούς κ.α.

Η τρύπα του όζοντος από την άλλη αποτελεί ουσιαστικά μείωση της περιεκτικότητας του όζοντος σε συγκεκριμένες περιοχές της στρατόσφαιρας λόγω των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων. Το 1974 οι χημικοί M.J. Molina και F.S. Rowland είχαν προειδοποιήσει ότι τα αυξανόμενα επίπεδα CFCs θα μειώσουν το στρατοσφαιρικό όζον, όπως είχαν ήδη αρχίσει να παρατηρούν Βρετανοί συνάδελφοί τους πάνω από την Ανταρκτική. Τα επόμενα χρόνια οι προβλέψεις αυτές επιβεβαιώθηκαν με την αισθητή μείωση του όζοντος πάνω από την Ανταρκτική. Τα φαινόμενο πήρε τέτοιες διαστάσεις που το 1984 οι συγκεντρώσεις είχαν μειωθεί έως και 40% ενώ στα τέλη του '80 και '90 μέχρι και μηδενίστηκαν στην συγκεκριμένη περιοχή. Η περιοχή της Ανταρκτικής είναι η πλουσιότερη σε όζον περιοχή της Γης λόγω των στρατοσφαιρικών ανέμων που συγκεντρώνουν το όζον προς αυτή αλλά και των πολικών στρατοσφαιρικών συννέφων που σχηματίζονται λόγω του παγωμένου αέρα, οι οποίοι είναι ορόσημοι για τις χημικές αντιδράσεις μεταξύ αζώτου, υδρογόνου και χλωρίνης. Ωστόσο αντίθετα με την Ανταρκτική (40-60% μείωση) δεν είναι το ίδιο εύκολο να δημιουργηθεί τρύπα στην Αρκτική (10-20% μείωση στο Βόρειο Πόλο) λόγω των ανέμων αλλά και της στρατόσφαιρας στην περιοχή αυτή που είναι αρκετά ζεστή επιτρέποντας την δημιουργία συννέφων και τον σχηματισμό μορίων χλωρίνης.

Η διάσπαση του στρατοσφαιρικού όζοντος οφείλεται σε παράγωγα ενώσεων που κατά την φωτολυτική τους διάσπαση έχουν την ικανότητα να προμηθεύουν την ατμόσφαιρα με ελεύθερες ρίζες. Ο κυριότερος εκπρόσωπος των ελεύθερων ριζών είναι το ατομικό χλώριο (CL) το οποίο προέρχεται φυσικά από την διάσπαση του μορίου του χλωρομεθανίου που διαφεύγει από την επιφάνεια των ωκεανών. Ωστόσο

αυτή η φυσική διαδικασία έχει πλέον διαταραχτεί με αποτέλεσμα η σημερινή συγκέντρωση του να είναι (3.5 ppb) 6 φορές μεγαλύτερη από την φυσιολογική (0.6ppb). Η αύξηση αυτή προήλθε από συνθετικά βιομηχανικά αέρια τους χλωροφθοράνθρακες (CFCs) οι οποίοι ξεκίνησαν να παράγονται το 1928, σε βαθμό που μόνο το 1980 απελευθερώθηκαν στην ατμόσφαιρα τουλάχιστον 1,000,000 τόνοι. Τα CFCs που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή μονωτικών και πλαστικών σωλήνων, ψυκτικά υγρά, προωθητικά αέρια διακρίνονται σε 3 κύριες κατηγορίες: α) τετραχλωράνθρακας με χρόνο ημιζωής 76 χρόνια β) μεθυλοβρωμίδιο με χρόνο ζωής 139 χρόνια και γ) βρωμοφθοράνθρακας με χρόνο ημιζωής 92 χρόνια [14].

Έχει υπολογιστεί ότι η μείωση της περιεκτικότητας του όζοντος ισοδυναμεί με 10% αύξηση των συμπτωμάτων καρκίνου (μελάνωμα) κατά 300,000 διεθνώς. Αντιλαμβάνεται κανείς έτσι το μέγεθος των επιπτώσεων συνολικά, τόσο για την ανθρώπινη υγεία όσο και για το περιβάλλον. Οι ενώσεις αυτές που καταστρέφουν το όζον μειώνοντας την περιεκτικότητά του πάνω από την Ανταρκτική κυρίως, έχουν την ιδιότητα οι ίδιες να μην καταστρέφονται αλλά να παραμένουν στο ύψος αυτό με μεγάλη διάρκεια ζωής. Έτσι ενώ οι κυβερνήσεις έχουν θεσπίσει μέτρα για την απαγόρευση και χρήση αυτών των ουσιών οι επιστήμονες παρατηρούν ότι από την ανακάλυψη της τρύπας του όζοντος μέχρι και σήμερα το μέγεθός της δεν έχει αλλάξει καθόλου. Μάλιστα τον χειμώνα του 2000 κατέληξε να είναι σε έκταση τριπλάσια από τις Η.Π.Α. φτάνοντας μέχρι την νότια Χιλή και Αργεντινή. Η ειρωνία που διέπει το φαινόμενο αυτό όπως και γενικά των περιβαλλοντικών επιπτώσεων είναι ότι ενώ οι κύριοι ρυπαντές βρίσκονται στο βόρειο ημισφαίριο, τις επιπτώσεις τις δέχονται κράτη και περιοχές του Νότιου ημισφαιρίου.

Παρότι το φαινόμενο έχει περιγραφεί σε ένα βαθμό υπάρχουν ακόμη γεγονότα όπως η κλιματική αλλαγή που οι επιστήμονες δεν γνωρίζουν πώς μπορεί να επηρεάσει συνολικά το φαινόμενο της τρύπας του όζοντος. Ενώ όπως εκτιμούν ακόμη και αν η παραγωγή χλωροφθορανθράκων έχει σταματήσει δεν αναμένεται κάποια σημαντική μείωση στην τρύπα για τουλάχιστον μια δεκαετία. Το ερευνητικό κέντρο του Juelich και 40 ερευνητικά ιδρύματα και πανεπιστήμια μελετώντας την διαδικασία σχηματισμού του όζοντος για 4 χρόνια, με νέα δεδομένα για την βελτίωση των μοντέλων πρόβλεψης των κλιματικών αλλαγών κατέληξαν ότι ακόμα και αν το στρώμα του όζοντος επανέλθει η κλιματική αλλαγή που βρίσκεται σε εξέλιξη μπορεί

να επηρεάσει την θερμοκρασία και την χημική σύσταση της ατμόσφαιρας κάνοντας αδύνατη την πρόβλεψη των επιπτώσεων για την περιστολή των άλλων φαινομένων παρά των προσπάθειών που καταβάλλονται για να περιοριστούν [13].

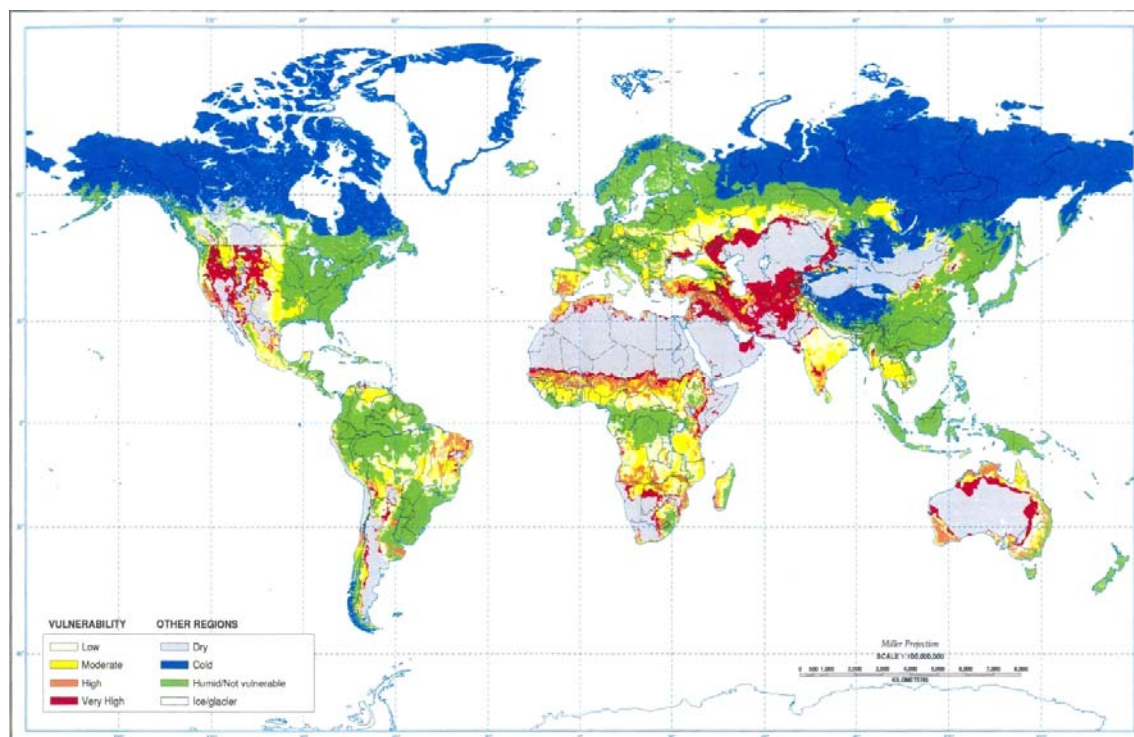
Έτσι με τα δεδομένα αυτά διεθνής ερευνητική ομάδα από το περιοδικό NATURA και η NASA δήλωσαν ότι ενώ η Αρκτική λόγω διαφορετικών θερμοκρασιών δεν είχε πρόβλημα μέχρι πρότινος πλέον παρατηρείται σχηματισμός τρύπας του όζοντος εντός της Αρκτικής πολικής δίνης. Μάλιστα η απώλεια του όζοντος είναι συγκρίσιμη με αυτήν της Ανταρκτικής, ενώ αν οι θερμοκρασίες συνεχίσουν να μειώνονται λόγω της κλιματικής αλλαγής τότε το φαινόμενο σε αυτό το γεωγραφικό μήκος θα εμφανίζεται συχνότερα απ' ότι μέχρι τώρα [14].

### 1.2.6 Ερημοποίηση

Η ερημοποίηση αποτελεί συνέπεια των κλιματικών αλλαγών και των φαινομένων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης καθώς και της ρύπανσης υδάτων και εδαφών από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Επιταχύνεται μέσω των αποψιλώσεων γης και των πυρκαγιών και συνοδεύεται από μεγέθυνση της μείωσης της γονιμότητας και της παραγωγικότητας. Η ερημοποίηση αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα για την οικονομία των κρατών προκαλώντας την καταστροφή της αγροτικοκτηνοτροφικής απασχόλησης χωρίς να υπάρχει καμία δυνατότητα επανάκαμψης.

Ένας κύριος παράγοντας που επηρεάζει την ποιότητα και παραγωγικότητα του εδάφους είναι το κλίμα μιας περιοχής (καιρός, βροχοπτώσεις) που σε συνδυασμό με το τοπογραφικό ανάγλυφο μιας περιοχής επιδρά θετικά ή αρνητικά στην παραγωγικότητα του εδάφους. Ιδιαίτερα για τα ευαίσθητα οικοσυστήματα που διαθέτει η Ελλάδα μαζί με την κλίση των εδαφών της που είναι πάνω από 10% για τις περισσότερες περιοχές, η παρέμβαση του ανθρώπου είναι κρίσιμη τόσο για την διαιώνισή τους όσο και τις καταστρεπτικές συνέπειες που αυτή έχει. Όπως τονίστηκε παραπάνω εξαιρώντας τους παράγοντες της μόλυνσης εδαφών και υδάτων, το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής και του θερμοκηπίου με την χωρική κλίμακα που εξελίσσεται δεν απαιτεί η μόλυνση του αέρα να λαμβάνει χώρα στην συγκεκριμένη

περιοχή για να εμφανιστεί με μεγαλύτερη ένταση αλλά επηρεάζει όλη την λεκάνη της Μεσογείου με την αντίστοιχα βλάστηση ανεξαιρέτως.



Εικόνα 7: Η ερημοποίηση σε παγκόσμια κλίμακα

Παρά τις αναγεννητικές ικανότητες της βλάστησης της Μεσογειακής βλάστησης άνω το 34% του ελληνικού εδάφους βρίσκεται στην ζώνη υψηλού κινδύνου, ενώ η ερημοποίηση απειλεί παγκοσμίως 1.5 δισεκατομμύριο ανθρώπους. Το φαινόμενο ξεκίνησε να καταγράφεται και εισάγεται ο όρος ερημοποίηση το 1962 (*Le Houerou*), και άρχισε να γίνεται παγκοσμίως γνωστό το 1977 με την διάσκεψη που διοργάνωσαν τα Ηνωμένα Έθνη στο Ναιρόμπι της Κένυας, λόγω της εκτεταμένης ξηρασίας που είχε συνέπειες στις ανθρώπινες ζωές στην περιοχή Sahel της Δ. Αφρικής [15].

Οι μεγάλες περίοδοι ξηρασίας, η μείωση των βροχοπτώσεων και οι μεγάλες ταχύτητες του ανέμου επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την βιοποικιλότητα και αυξάνουν την ερημοποίηση μεγαλώνοντας τις περιόδους ξηρασίας ενώ απειλή αποτελεί τόσο το φαινόμενο των έντονων βροχοπτώσεων που απομακρύνει το έδαφος όσο και η έλλειψη των βροχοπτώσεων γενικά. Σε περιοχές που η χλωρίδα είναι ήδη αποδυναμωμένη λόγω της υποβάθμισης του περιβάλλοντος οι έντονες βροχοπτώσεις αποψιλώνουν το έδαφος λόγω της ορμητικής ροής του νερού κάτι που παρατηρείται

και στις περιπτώσεις που η ταχύτητα του ανέμου είναι μεγάλη. Η σχέση ερημοποίηση και κλιματικής αλλαγής λειτουργεί και αντίστροφα καθώς όπως φαίνεται η αποψίλωση των δασών και η μείωση της φυτικής βλάστησης μειώνει την κατακράτηση του διοξειδίου του άνθρακα και αυξάνει την ανακλαστικότητα της επιφάνειας της γης. Μάλιστα είναι τέτοιο το μέγεθος των συνεπειών που αν αναλογιστεί κανείς ότι τα ξηρά εδάφη περιέχουν το ¼ του οργανικού άνθρακα και το μεγαλύτερο ποσοστό του οργανικού, η εκτράχυνση του φαινομένου μπορεί να απελευθερώσει σημαντικότερες ποσότητες άνθρακα με ανυπολόγιστες αλυσιδωτές αντιδράσεις για το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής. Μόνο κάθε χρόνο υπολογίζεται ότι πάνω από 300 τόνοι διοξειδίου του άνθρακα απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα από την ερημοποίηση, ποσοστό που αναλογεί περίπου στο 4% της συνολικών εκπομπών. Με την σειρά του μια τέτοια εξέλιξη επηρεάζει εκ νέου το φαινόμενο της ερημοποίησης καταλήγοντας σε έναν αέναο κύκλο καταστροφής του οικοσυστήματος μέσω της ερημοποίησης και παράλληλα ολοένα και μεγαλύτερη ανάπτυξη του φαινομένου των κλιματικών αλλαγών που θα το επιταχύνει

Στην Ελλάδα οι απειλούμενες περιοχές ανέρχονται περίπου στο 30 % της συνολικής έκτασης της, ενώ το 49% βρίσκεται στην κατηγορία μεσαίας ερημοποίησης. Οι περιοχές με την μεγαλύτερη πιθανότητα ξηρασίας είναι το Αιγαίο από την Λέσβο και τα Δωδεκάνησα μέχρι την Κρήτη και έπειτα την Ανατολική Στερεά Ελλάδα καθώς και την Πελοπόννησο, ενώ μεγάλο πρόβλημα αντιμετωπίζουν και οι περιοχές της Θεσσαλίας και της Θράκης. Σε μια μεγαλύτερη κλίμακα οι ξηρές περιοχές αποτελούν το 40% της επιφάνειας του πλανήτη στις οποίες κατοικούν περίπου 2 δισεκατομμύρια άνθρωποι. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ερημοποίησης αποτελεί η Κίνα όπου οι ξηρές εκτάσεις καταλαμβάνουν όλο και μεγαλύτερο ποσοστό της μέχρι πρότινος καλλιεργήσιμης Γης, δημιουργώντας ασφυκτικές συνθήκες διαβίωσης για τους κατοίκους των περιοχών. Πιο συγκεκριμένα το 2006 18 εκατομμύρια άνθρωποι στις νοτιοδυτικές περιοχές έμειναν χωρίς νερό ενώ η θερμοκρασία σε κάποιες από αυτές καταγράφηκε στους 44.5 °C [15].

Άλλος παράγοντας υποβάθμισης των εδαφών αποτελεί η οξίνισή τους όπως προκαλείται από την χρήση όξινων λιπασμάτων αλλά και της βροχής (όξινη βροχή). Τα καλλιεργούμενα εδάφη στην Ελλάδα έχουν σχηματιστεί σε μεγάλο βαθμό πάνω σε όξινα μητρικά υλικά γεγονός που μπορεί να υποβαθμίσει την ποιότητα του



εδάφους και να προκαλέσει ερημοποίηση. Περισσότερα από 4,500,000 στρέμματα γης αντιμετωπίζουν τέτοια προβλήματα οξίνισης, τα οποία σε συνδυασμό με την μόλυνση του υδροφόρου και την εντατικοποίηση των καλλιεργειών αλλά και των μεθόδων καλλιέργειας γης που επιλέγονται (μονοκαλλιέργειες) φτάνουν την γη στα όρια των δυνατοτήτων παραγωγικότητάς της.



Εικόνα 8: Βουνό Γκιώνα

Συνέπειες του φαινομένου της ερημοποίησης είναι η εσωτερική μετανάστευση και η συγκέντρωση του πληθυσμού στα μεγάλα αστικά κέντρα με αποτέλεσμα την ανεξέλεγκτη ανάπτυξη των πόλεων. Επιπροσθέτως η διακοπή της γεωργίας και η μείωση της παραγωγής και της αγοραστικής ικανότητας του πληθυσμού έχει ως αποτέλεσμα την φτώχεια και την ανεργία και εντέλει την πολιτική αστάθεια σε μια χώρα. Από την άποψη του περιβάλλοντος η απώλεια της βιοποικιλότητας λόγω της απώλειας του εδάφους είναι το πρώτο ζήτημα που προκύπτει. Τα αποθεματικά των ποσοτήτων βροχής μειώνονται λόγω της υποβαθμισμένης ικανότητας κατακράτησής τους από το έδαφος με αποτέλεσμα τα υπόγεια ύδατα και οι πηγές να στερεύουν.

Είναι πολύ σημαντικές οι πολιτικές που ασκούνται στα πλαίσια της απερημοποίησης καθώς μέχρι ορισμένα στάδια είναι μια διαδικασία που μπορεί να αντιστραφεί αν αρθούν οι παράγοντες που την προκαλούν πέρα από τα φαινόμενα παγκόσμιας κλίμακας και μικρότερη χωρική κλίμακα. Συνήθως τέτοιοι παράγοντες αποτελούν η

υπερβόσκηση, η διαθεσιμότητα του νερού, η αλάτωση, οι οποίοι με τις κατάλληλες διαχειριστικές παρεμβάσεις μπορούν να μειωθούν . Αντίθετα με τα διαχειριστικά μέτρα που κατάφεραν να αποδώσουν και στην Κίνα και πλέον παρατηρείται ανάκαμψη των εδαφών που ήταν στα πρόθυρα της κατάρρευσης, η μεταβολή του κλίματος σε μια περιοχή αποτελεί κατάσταση η οποία δεν έχει καταφέρει να ανασταλεί με κάποιο συγκεκριμένο μέτρο σε καμία ήπειρο [15].

### 1.2.7 Μεταβολή κλίματος και καταστροφή βιοποικιλότητας

Ο μέσος καιρός και το κλίμα μιας περιοχής είναι το αποτέλεσμα των συνεπειών της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε παγκόσμια κλίμακα. Λαμβάνοντας κανείς υπόψη το γεγονός ότι το κλίμα μιας περιοχής καθορίζει τον τύπο βλάστησης και συνεπακόλουθα την πανίδα μιας γεωγραφικής περιοχής αντιλαμβάνεται, το μέγεθος των αλυσιδωτών αντιδράσεων σε μια μεταβολή των παραμέτρων που επιτρέπουν σε ένα φυτικό ή ζωικό είδος να αναπαραχθεί και να επιβιώσει ή εξαπλωθεί σε μια περιοχή. Ο όρος βιολογική εισβολή αναφέρεται στις περιπτώσεις καταγραφών φυτικών και ζωικών ειδών, θαλάσσιων και χερσαίων που καταφέρνουν να εισβάλλουν και να προσαρμόζονται στο κλίμα μιας περιοχής καταφέροντας να ξεπεράσουν γεωγραφικούς και περιβαλλοντικούς περιορισμούς. Το κλίμα της Ελλάδας και της ευρύτερης Μεσογείου που έχει γίνει θερμότερο σε σχέση με παλαιότερες εποχές καθώς και η υποβάθμιση του περιβάλλοντος σε αυτήν έχει προκαλέσει ήδη στην ευρύτερη περιοχή αλλά και συγκεκριμένα στην χώρα μας εισβολή ξενικών ειδών που απειλούν την επιβίωση των γηγενών είτε συμβάλλουν στον περιορισμό ακόμη και την εξαφάνισή τους [16].

Σύμφωνα με την σύμβαση για την Βιολογική Ποικιλότητα, ως βιολογική ποικιλότητα ορίζεται «Η ποικιλία των ζώντων οργανισμών πάσης προελεύσεως περιλαμβανομένων, μεταξύ άλλων, χερσαίων, θαλάσσιων και άλλων υδατικών οικοσυστημάτων και οικολογικών συμπλεγμάτων, των οποίων αποτελούν μέρος. Επίσης περιλαμβάνεται εδώ η ποικιλότητα εντός των ειδών, μεταξύ ειδών και οικοσυστημάτων».

Η βιοποικιλότητα που διακρίνεται στην γενετική , την ποικιλότητα των ειδών και την ποικιλότητα του οικοσυστήματος αντιστοιχούν στα ισάριθμα επίπεδα οργάνωσης της ζωής. Πέρα από την εγγενή της αξία οι διεθνείς συμβάσεις και πρωτόκολλα στόχο έχουν να προστατέψουν το κεντρικό στοιχείο που αυτή συγκροτεί το οποίο δεν είναι άλλο από όλες τις διεργασίες και λειτουργίες που παρέχονται στον άνθρωπο από το φυσικό περιβάλλον. Στις υπηρεσίες αυτές ανήκουν η παραγωγή τροφίμων καυσίμων ινών, τα ύδατα, ο αέρας και το κλίμα και η διατήρηση της γονιμότητας του εδάφους και του κύκλου των θρεπτικών ουσιών [17].

Κεντρικό ζήτημα της προστασίας των οικοσυστημάτων και της βιοποικιλότητας είναι η σχέση που έχει με την κλιματική αλλαγή καθώς τόσο σε περιφερειακό όσο και σε τοπικό επίπεδο τα φυσικά συστήματα επηρεάζονται από τις αλλαγές στην θερμοκρασία και το κλίμα μιας περιοχής. Γενικά κάθε είδος προκειμένου να μπορέσει να προσαρμοστεί σε μια περιοχή ή χωρική κλίμακα πρέπει να τηρείται ένας αριθμός παραγόντων που το επηρεάζουν [18].

- Αυτοί δεν είναι άλλοι από τους: κλιματικούς παράγοντες: περιλαμβάνουν τις κύριες κλιματικές παραμέτρους (π.χ. θερμοκρασία, διαθεσιμότητα, ύδατος, άνεμος , ηλιακή ακτινοβολία κλπ.)
- Εδαφικούς παράγοντες: περιλαμβάνουν κύρια χαρακτηριστικά εδάφους όπως οξύτητα, υγρασία, διαθεσιμότητα θρεπτικών κλπ.
- Τοπογραφικούς παράγοντες: περιλαμβάνουν τα χαρακτηριστικά του αναγλύφου του εδάφους, τον προσανατολισμό της επιφάνειάς του, το υψόμετρο την γωνία κλίσης κλπ
- Βιοτικούς παράγοντες: Που αφορά τις αλληλεπιδράσεις που λαμβάνουν χώρα ανάμεσα στους ζώντες οργανισμούς όπως θήρευση, ανταγωνισμός κλπ

Στους περιβαλλοντικούς παράγοντες περιλαμβάνονται τόσο οι αβιοτικοί όσο και οι βιοτικοί παράγοντες καθώς επηρεάζουν την κατανομή των ειδών.

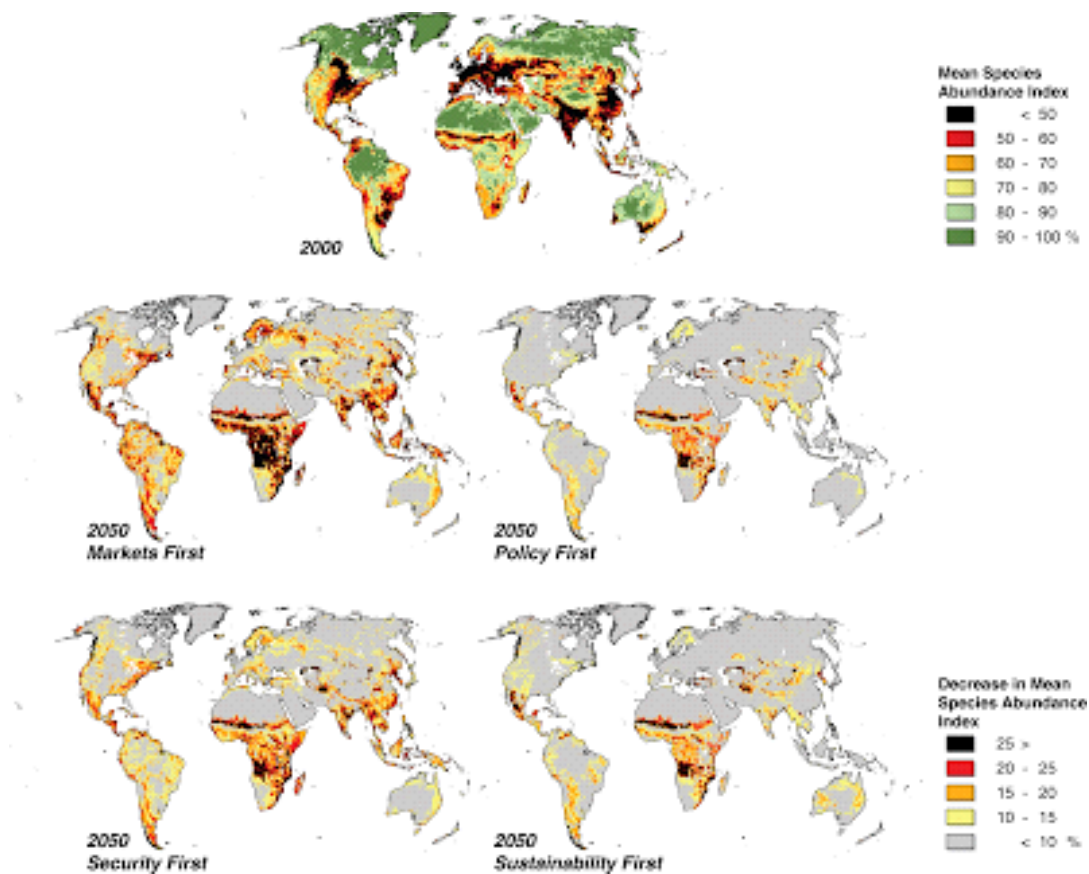
Η κλιματική αλλαγή επηρεάζει δυστυχώς μέσω των καιρικών φαινομένων που προκαλεί αύξηση αριθμού δασικών πυρκαγιών ,τυφώνες κλπ την βιοποικιλότητα στα οικοσυστήματα, την γενετική ποικιλότητα και τις οικολογικές αλληλεπιδράσεις πολυπλεύρως.

Η άνοδος της θερμοκρασίας σε συγκεκριμένες περιοχές του πλανήτη επηρεάζει την επιβίωση και προσαρμογή των ειδών στις νέες κλιματολογικές συνθήκες καθώς κάθε είδος έχει ένα συγκεκριμένο οικολογικό θωκό στο οποίο αναπτύσσεται καθώς και ένα συγκεκριμένο εύρος θερμοκρασιών, συμπεριλαμβανομένων και του ανθρώπου. Η θερμοκρασία επίσης είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τα πρότυπα διασποράς και συμπεριφοράς τα ποσοστά επιβίωσης και την αναπαραγωγική επιτυχία τους. Οι μεταβολές των αβιοτικών παραγόντων από τις αλλαγές στην ταχύτητα του ανέμου μέχρι τις αλλαγές στα ωκεάνια ρεύματα επηρεάζουν και αυτές με διαφορετικό τρόπο τις βιοτικές αλληλεπιδράσεις και τις αλληλεπιδράσεις με άλλες πιέσεις στα οικοσυστήματα (αλιεία, γεωργία, μόλυνση).

Το διακυβερνητικό σώμα για την κλιματική αλλαγή (IPCC) το 2007 τόνισε περαιτέρω ορισμένες πτυχές των επιπτώσεών της. Έτσι στοιχεία από όλες τις ηπείρους δείχνουν ότι υπάρχει πολύ μεγάλη πιστότητα με βάση στοιχεία από μεγάλο εύρος ειδών, ότι η θερμοκρασία επηρεάζει τα βιολογικά συστήματα με τους εξής τρόπους:

- πρόωμη έναρξη διεργασιών που σχετίζονται με την Άνοιξη, όπως η έκπτυξη φύλλων, και η μετανάστευση
- μετατοπίσεις εξάπλωσης των ειδών προς τους πόλους και τα μεγαλύτερα υψόμετρα
- μετατοπίσεις στην εξάπλωση και μεταβολές στην αφθονία των φυκιών, του ζωοπλαγκτού και των ψαριών σε μεγάλο γεωγραφικού πλάτους ωκεανούς [14].

Σχετικά με τα είδη φυτών και ψαριών η κλιματική αλλαγή έχει ήδη προκαλέσει μετατοπίσεις σε πολλά μέρη του κόσμου αλλά και συγκεκριμένα της Μεσογείου αλλά και της Ελλάδας. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελέτη του Thuiller το 2005 στην οποία με βάση επτά διαφορετικά σενάρια κλιματικής αλλαγής προβλέφθηκε η εξάπλωση 1350 ειδών φυτών στην Ευρώπη. Ανησυχητικό είναι το γεγονός ότι το κόκκινο βιβλίο του IUCN αναφέρει σχετικά με τις προβλέψεις ότι τα περισσότερα φυτικά είδη θα καταστούν απειλούμενα, από άλλα ξενικά με μεγαλύτερη προσαρμοστικότητα με ευρύτερο οικολογικό θωκό. Παρότι στην συγκεκριμένη έρευνα υπάρχουν μεγάλες διαφοροποιήσεις σχετικά με τα διαφορετικά σενάρια, οι κίνδυνοι είναι μεγάλοι ακόμη και στα πιο μετριοπαθή.



Εικόνα 9: Εξέλιξη απώλειας βιοποικιλότητας

Αντίστοιχα ενδιαφέροντα είναι και τα στοιχεία για τα ζώα καθώς ως απόκριση στην κλιματική αλλαγή τα πουλιά, τα έντομα και άλλες ομάδες ζώων στην Ευρώπη μετακινούνται προς τα βόρεια και σε μεγαλύτερα υψόμετρα. Παράλληλα με την μετανάστευση των ειδών υπάρχει ειδικά για τα ενδημικά φυτά και τα σπονδυλωτά η μείωση του εύρους εξάπλωσης ιδιαίτερα για την νοτιοδυτική Ευρώπη και την Ιβηρική χερσόνησο. Ειδικά για τα είδη αυτά με περιορισμένο εύρος εξάπλωσης κλιματικές και οικολογικές απαιτήσεις η κλιματική αλλαγή αποτελεί τροχοπέδη στην επιβίωσή τους και θα συνδράμει στην οριστική απώλειά τους [19].

Ενδεικτικά αναφέρονται τρία φαινόμενα μεταβολών της βιοποικιλότητας των δασών στην αλλαγή του κλίματος αυτά είναι: η νέκρωση της ελάτης στην Πελοπόννησο και Στερεά Ελλάδα, η εισβολή κωνοφόρων (υβριδογενής ελάτη, μαύρη πεύκη, ευθύφλοιη βελανιδιά) και η νέκρωση ατόμων της δασικής πεύκης σε μεγάλο βαθμό στα Πιέρια Όρη.

### 1.3 Αέριοι Ρύποι

### 1.3.1 Μονοξείδιο του Άνθρακα (CO)

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι ανόργανη χημική ένωση ενός μορίου άνθρακα και οξυγόνου και εκφράζεται με τον χημικό τύπο CO. Είναι άχρωμο άγευστο και άοσμο και παράγεται από οξείδωση ανθρακούχων ενώσεων και στοιχειακού άνθρακα, όταν δεν υπάρχει αρκετό οξυγόνο για να παραχθεί CO<sub>2</sub>. Το μονοξείδιο του άνθρακα παράγεται από τις μηχανές εσωτερικής καύσης και από φωτοχημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν στην τροπόσφαιρα. Όπως τονίστηκε και προηγουμένως φυσικές πηγές διοξειδίου του άνθρακα μπορεί να είναι τα ηφαίστεια, οι δασικές πυρκαγιές και άλλες διεργασίες που λαμβάνουν χώρα από φυσικά αίτια.

Οι τοξικές ιδιότητες του μονοξειδίου του άνθρακα είναι γνωστές από την αρχαιότητα λόγω της καύσης ξύλων σε εσωτερικό χώρο με τα γνωστά αποτελέσματα της λιποθυμίας και του θανάτου μέσω ασφυξίας. Το μονοξείδιο του άνθρακα ονομάζεται και σιωπηλός δολοφόνος λόγω ότι είναι άοσμο αέριο και τα αρχικά συμπτώματα της δηλητηρίασης μοιάζουν με αυτά της εξάντλησης ή κούρασης.

Η ετήσια ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα παράγεται 70-80% από τα καυσαέρια των αυτοκινήτων και συνολικά από βιομηχανίες και αυτοκίνητα υπολογίζεται ότι εκπέμπονται περίπου 200 εκατομμύρια τόνοι. Το μονοξείδιο του άνθρακα έχει μεγάλη συμμετοχή στο φαινόμενο του θερμοκηπίου με την παραγωγή του να έχει διπλασιαστεί από το 1971 μέχρι το 2000 από τους 14,5 εκατομμύρια τόνους στους 30,000,000. Για την εκτίμηση των επιπτώσεων του διοξειδίου του άνθρακα στην δημόσια υγεία έχει καθιερωθεί να λαμβάνεται υπόψη η οκτάωρη συγκέντρωσή του στην ατμόσφαιρα ενώ ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας έχει προτείνει σαν ανεκτό για την ανθρώπινη υγεία τα 10mg/m<sub>3</sub>, ποσοστό που αντιστοιχεί σε καρβοξυαιμογλίνη στο αίμα ίση με 1,60%. Αντίθετα το όριο για την πόλη της Αθήνας είναι 15mg/m<sub>3</sub> που αντιστοιχεί σε συγκέντρωση 2,25% στο αίμα, μην αφήνοντας πρακτικά κανένα περιθώριο ασφάλειας. Έτσι ενώ η Ευρωπαϊκή Ένωση δεν έχει θεσμοθετήσει πρακτικά κάποιο συγκεκριμένο περιθώριο ασφαλείας για τα κράτη-μέλη τα περισσότερα από αυτά έχουν δεχτεί το όριο του Παγκοσμίου Οργανισμού Υγείας στα 10mg/m<sub>3</sub>.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση που αντιστοιχεί σε εκπομπές αερίων όπως είναι το μονοξείδιο του άνθρακα έχει μεγάλες επιπτώσεις τόσο στην ανθρώπινη υγεία όσο και στις υποδομές και μνημεία. Στην ανθρώπινη υγεία το μονοξείδιο του άνθρακα μπορεί να εμφανιστεί με πολλούς τρόπους καθώς αντιδρά με την αιμογλομίνη του αίματος σε υψηλές συγκεντρώσεις και οδηγεί σε ανωμαλίες της όρασης κακή εκτίμηση του χώρου και του χρόνου και πιθανόν σε ευαισθησία [20].

### 1.3.2 Διοξείδιο του Αζώτου (NO<sub>2</sub>)

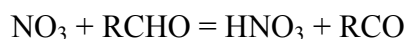
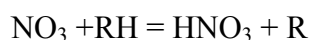
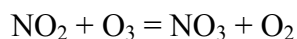
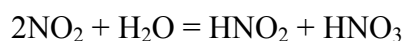
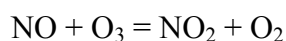
Το διοξείδιο του αζώτου αποτελεί έναν περιβαλλοντικό ρύπο που είναι υπεύθυνος τόσο για το φωτοχημικό νέφος και την όξινη βροχή όσο και για το σχηματισμό του όζοντος στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Το NO<sub>2</sub> απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα από τα καυσαέρια των αυτοκινήτων είτε καίνε βενζίνη είτε πετρέλαιο.

Το Εργαστήριο Υγιεινής και Επιδημιολογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών μελετώντας 32 πόλεις σε όλη την Ευρώπη παρατήρησε μέσα από μετρήσεις ότι μια αύξηση του NO<sub>2</sub> κατά 10μg/m<sub>3</sub> προκαλεί αύξηση 0.3% θνησιμότητας βραχυπρόθεσμα δηλαδή την επόμενη ακριβώς μέρα. Η επίδρασή του είναι ακόμη πιο έντονη όταν σχετίζεται με καρδιαγγειακές παθήσεις και αναπνευστικά προβλήματα όπου παρατηρείται αύξηση 0.40% και 0.38% αντίστοιχα. Στην ίδια μελέτη τονίζεται ότι παρά τα μικρά ποσοστά όταν έχουμε μεγάλες εκθέσεις στις συγκεντρώσεις αυτές για εκατομμύρια κατοίκους τότε σε έκθεση έξι ημερών μπορούν να προκαλέσουν 22% περισσότερους καρδιαγγειακούς και 45% περισσότερους αναπνευστικούς θανάτους σε σχέση με την έκθεση των δύο ημερών [3].

Το NO<sub>2</sub> αποτελεί δευτερογενή ρύπο και προέρχεται από το NO, οι φωτοχημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα είναι υπεύθυνες για την μετατροπή πρωτογενών και δευτερογενών αέριων ρύπων σε δευτερογενή σωματίδια. Οι πηγές του προέρχονται ιδιαίτερα σε αραιοκατοικημένες περιοχές από φυσικά αίτια όπως κεραυνοί ή από το έδαφος και το θαλασσινό νερό. Στα αστικά κέντρα λόγω του μεγάλου αριθμού οχημάτων μπορούν να φτάσουν μέχρι και 500ppb σε σχέση με το 1ppb που αντιστοιχεί στις αγροτικές περιοχές.

Τα οξείδια του αζώτου εμφανίζουν πλέον τιμές αρκετά κάτω από τα θεσμοθετημένα όρια ρύπανσης κυρίως ως αποτέλεσμα της κυκλοφορίας καταλυτικών οχημάτων, ενώ υπερβάσεις παρατηρούνται μόνο τοπικά. Παράλληλα μειώθηκε και η παραγωγή οξειδίων του αζώτου από τις βιομηχανικές μονάδες ενώ αντίθετα ο τομέας των μεταφορών και των ηλεκτρικών κινητήρων αύξησε την παραγωγή του από τα 9 δις kg που ήταν το 1950 στα 25 δις kg το 1990. [6] Το NO<sub>2</sub> με την συνδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω του τύπου  $\text{NO}_2 + h\nu = \text{NO} + \text{O}\cdot$  παράγει μονοξείδιο του αζώτου και οξυγόνο στην ζώνη της τροπόσφαιρας μέσω της φωτοαναγωγής, και έτσι με τον τρόπο αυτό απελευθερώνει ελεύθερες ρίζες οξυγόνου οι οποίες ενώνονται με το O<sub>2</sub> για τον σχηματισμό του O<sub>3</sub> [21].

Οι σημαντικότερες οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις για τα οξείδια του αζώτου είναι:



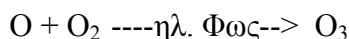
### 1.3.3 Όζον (O<sub>3</sub>)

Ο αέρας αποτελείται κυρίως από 78% όζον (O<sub>3</sub>), 21% οξυγόνο (O<sub>2</sub>) και 0.03% (CO<sub>2</sub>). Το όζον αποτελεί δευτερογενή ρύπο ο οποίος δημιουργείται από τους πρωτογενείς ρυπαντές (μονοξείδιο του αζώτου, διοξείδιο του θείου, μονοξείδιο του άνθρακα, άκαυστους υδρογονάνθρακες κλπ) με την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας. Στους δευτερογενείς ρύπους ανήκουν ακόμη οι αλδεΐδες, τα πολύπλοκα PAN's κλπ.

Το όζον είναι υπεύθυνο για τους λεγόμενους φωτοχημικούς ρύπους όπως αυτοί περιγράφηκαν σε προηγούμενη ενότητα καθώς και για το λεγόμενο «κακό όζον»



(τροποσφαιρικό όζον). Τα άτομα του οξυγόνου αντιδρούν με την ηλιακή ακτινοβολία με το αέριο οξυγόνο της ατμόσφαιρας και σχηματίζουν το όζον,



Στην πραγματικότητα αυτή η εξίσωση δεν είναι πραγματικά τι συμβαίνει σε μια περιοχή για τον σχηματισμό του όζοντος καθώς μόνο με την συμμετοχή του ατομικού και μοριακού οξυγόνου απελευθερώνεται ενέργεια την οποία την χρησιμοποιεί το όζον για να διασπασθεί εκ νέου. Έτσι στην πραγματικότητα η διαδικασία σχηματισμού του όζοντος είναι δυνατή μόνο όταν συμμετέχει και μια τρίτη ένωση 'x' σαν καταλύτης, όπως φαίνεται στην συνέχεια



Οι χλωροφθοράνθρακες απελευθερώνουν το χλώριο σε διάφορες μορφές το οποίο αντιδρώντας με διάφορα άλλα στοιχεία αέριο οξυγόνο, υδροχλώριο, διοξείδιο του οξυγόνου, νερό παράγει μονοατομικό οξυγόνο δημιουργώντας όλες τις απαραίτητες προϋποθέσεις για την καταστροφή του όζοντος. Όπως τονίζουν οι επιστήμονες η παρουσία χλωροφθορανθράκων δεν είναι ο μοναδικός τρόπος με τον οποίο καταστρέφεται το όζον αλλά και ο καιρός επίσης διαδραματίζει σημαντικό ρόλο. Επιπροσθέτως η αντικατάστασή τους από τους υδρογονάνθρακες έχει το αρνητικό ισοζύγιο ότι 1 kg CHF<sub>3</sub> ισοδυναμεί με 12 τόνους CO<sub>2</sub>. Έτσι κάθε χρόνο η τρύπα του όζοντος διαφοροποιείται σε σχήμα και μέγεθος με την επιστημονική κοινότητα να συγκρίνει στοιχεία περασμένων ετών για να προσπαθήσει να κάνει προβλέψεις είτε για την ανάπτυξη του φαινομένου είτε για άλλους πιθανούς παράγοντες που μπορούν να επηρεάζουν το φαινόμενο.

Το όζον παρότι στην ζώνη της τροπόσφαιρας αποτελεί το κυριότερο συστατικό της φωτοχημικής ρύπανσης, προκαλώντας ισχυρούς ερεθισμούς σε ζωτικά όργανα του ανθρώπινου σώματος όπως το αναπνευστικό σύστημα εντούτοις μπορεί να παίξει και άλλο ρόλο. Η έντονη οξειδωτική δράση του το καθιστούν εξαιρετικά αποσμητικό μέσο μικροβιοκτόνο και μυκητιοκτόνο. Έτσι το όζον χρησιμοποιείται ακόμη και για αποστείρωση ύδατος και άλλων συσκευών για ιατρική χρήση, εξυγίανση εδαφών , επεξεργασία αποβλήτων, ιδιαίτερα σε σωρούς με καπνιστές ως αποσμητικό πολυσύχναστων χώρων κλπ. Πέρα από την ανθρώπινη χρήση του η προστασία που

παρέχει στην γη από την επικίνδυνη υπεριώδη ακτινοβολία είναι ο λόγος που επέτρεψε την εμφάνιση ζωής στην επιφάνεια της γης από τα βάθη των ωκεανών που κατέφευγαν για να προστατευθούν. Σε αντίθεση έρχεται το γεγονός του ανθρωπογενή σχηματισμού του σε συνθήκες υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας με τα γνωστά συνεπακόλουθα φαινόμενα της φωτοχημικής καπνομίχλης (smog) και της τρύπας του όζοντος πάνω από την Ανταρκτική τους μήνες Οκτώβριο-Νοέμβριο [22].

### 1.3.4 Διοξείδιο του Θείου (SO<sub>2</sub>)

Το διοξείδιο του Θείου είναι ανόργανη χημική ένωση, αέρια, με οσμή «καιόμενου θείου». Το διοξείδιο του θείου απελευθερώνεται από φυσικές πηγές όπως είναι οι εκρήξεις ηφαιστείου αλλά και από ανθρωπογενείς όπως βιομηχανίες, καύση ορυκτών καυσίμων κ.α. Οι γαιάνθρακες και το κάρβουνο περιλαμβάνουν ενώσεις του θείου και η καύση τους εκλύει διοξείδιο του θείου. Παρουσία H<sub>2</sub>O (υδρατμών) το διοξείδιο του θείου οξειδώνεται ακόμη περισσότερο σε τριοξείδιο του θείου που δημιουργεί το φαινόμενο της όξινης βροχής.

Τα διοξείδιο του θείου και οξείδια του αζώτου όταν αντιδρούν μαζί με τους υδρογονάνθρακες στα σύννεφα δημιουργούν θειικό οξύ και νιτρικό οξύ σχηματίζοντας την όξινη βροχή. Το διοξείδιο που εκλύεται από εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής και τα οχήματα πέφτει στο έδαφος με το νερό της βροχής κάνοντας πιο όξινα τα νερά και το υπέδαφος με αρνητικές συνέπειες στην ανάπτυξη και επιβίωση των οργανισμών φυτών και ψαριών. Το pH γίνεται πιο όξινο σε σημείο που στην Δυτική Βιρτζίνια η οξύτητα της βροχής έφτασε στο 1.5 δηλαδή περίπου 10,000 φορές μεγαλύτερη από την φυσική οξύτητα της βροχής [23].

Οι επιπτώσεις του διοξειδίου του θείου στο περιβάλλον είναι παγκοσμίως πολύ δυσμενείς με ακραία παραδείγματα. Ενώ το pH της βροχής υπό κανονικές συνθήκες είναι λίγο όξινο κοντά στο 5.6 το pH της όξινης βροχής κυμαίνεται από 1.5 μέχρι 5.6. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα 14 λίμνες του Οντάριο να είναι χωρίς ψάρια, ενώ από τις 1500 λίμνες που μελετήθηκαν στην Νορβηγία και την Σουηδία, κράτη ουραγούς στην περιβαλλοντική πολιτική το 70% αυτών είχαν pH < 4.3 και μερικές πλήρη απουσία

ψαριών. Συγκεκριμένα ενώ το 1970 ο ποταμός Τοντβαλ της Νορβηγίας διέθετε 15 διαφορετικά είδη σολομού το 1990 δεν υπήρχε ούτε ένα είδος πλέον.

Επιπλέον το θειικό οξύ που σχηματίζεται με την παρουσία της υγρασίας είναι επικίνδυνο όταν πέφτει στο δέρμα του ανθρώπου προκαλώντας κνησμό, και την ευαισθησία του δέρματος σε ποικίλους οργανισμούς. Γενικά από τις χώρες του ΟΟΣΑ υπολογίζεται ότι στην δεκαετία του '80 μόνο 100 εκατομμύρια τόνοι εκλύθηκαν από το 40% αυτών. Οι βλάβες που προκαλούνται σε μνημεία και επιφάνειες όπως και τα μέταλλα που μεταφέρει από το έδαφος σε ποτάμια και λίμνες το κάνουν έναν από τους πιο επικίνδυνους αέριους ρύπους με μεγάλο κόστος για την οικονομία και το περιβάλλον κάθε χώρας λόγω της γεωγραφικής εξάπλωσης της όξινης βροχής σε πολύ μακρύτερες περιοχές από την πηγή ρύπανσης.

Τα συμπτώματα του διοξειδίου του θείου γίνονται αμέσως αντιληπτά από τον άνθρωπο και μάλιστα οι περισσότεροι άνθρωποι μπορούν να νιώσουν τα χειρότερα συμπτώματα από το αέριο μέσα σε 10-15 λεπτά. Με την θέσπιση νομοθεσίας τα κράτη έχουν καταφέρει να κρατήσουν μικρότερες τις συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα, εισάγοντας τεχνολογίες αντιρύπανσης στα εργοστάσια και προωθώντας εναλλακτικά καύσιμα. Συγκεκριμένα μπορεί να αναφερθεί ότι το 1999 η συγκέντρωση του διοξειδίου του θείου στο καύσιμο diesel στην Αυστραλία, ήταν 1300 ppm ενώ τον Δεκέμβρη του 2002 μειώθηκε κοντά στα 500 ppm. Αξίζει να αναφερθεί ότι η κυβέρνηση της Αυστραλίας είχε στόχο για την συγκέντρωση του διοξειδίου του θείου στον αέρα να φτάσει τα όρια του 0.20 ppm/ ώρα, μέσο όρο 0.08 ppm / 24ωρο και τέλος 0.02 ppm / ανά χρόνο [24].

### 1.3.5 Αιωρούμενα Σωματίδια (PM<sub>10</sub>)

Μια σημαντική κατηγορία ρύπων της ατμόσφαιρας αποτελούν και τα αιωρούμενα σωματίδια (fine particulates). Ουσιαστικά είναι σωματίδια στερεά ή υγρά τα οποία αιωρούνται στον αέρα. Η προέλευσή τους μπορεί να είναι σκόνη (αφρικανική σκόνη), ο καπνός, διάφορα μέταλλα κ.α. Σημαντικό ρόλο στην διασπορά, αραιώση ή διάχυσή τους παίζει η διάμετρος των σωματιδίων, ενώ ιδιαίτερα σημαντικά είναι αυτά με διάμετρο μέχρι 10μm. Σωματίδια τέτοιου μεγέθους μπορούν και εισέρχονται στον οργανισμό μας και προκαλούν προβλήματα στον αναπνευστικό μας σύστημα [5].

Τα αιωρούμενα σωματίδια διακρίνονται σε σωματίδια από 50μm μέχρι 0,1μm. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα σωματίδια που η αεροδυναμική τους διάμετρο είναι μεγαλύτερη από 10μm, τα οποία δεν μπορούν να εισέλθουν στον οργανισμό μας. Τα σωματίδια αυτά συνήθως μένουν στην ρινική ή την στοματική κοιλότητα από τους αμυντικούς μηχανισμούς του οργανισμού μας. Σωματίδια τέτοιας διαμέτρου ονομάζονται (coarse particulates). Στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν αυτά που η διάμετρός τους είναι μικρότερη από 10 μm και στην βιβλιογραφία αναφέρονται ως PM<sub>10</sub> (fine particulates). Στην κατηγορία αυτή ανήκουν και τα PM<sub>2,5</sub> που είναι σωματίδια που με διάμετρο μικρότερη των 2.5 μm. Αυτά διακρίνονται σε αυτά με διάμετρο μικρότερη από 0.1μm και αυτά με διάμετρο μεγαλύτερη από 0.1μm. Τα ultrafine particulates είναι τα ιδιαίτερα λεπτά σωματίδια που η διάμετρός τους είναι μικρότερη από 0.1 μm.



Εικόνα 10: Φαινόμενο αιθαλομίχλης

Η κίνηση των σωματιδίων στον αέρα ακολουθούν συγκεκριμένους νόμους κίνησης που εξαρτώνται από την διάμετρό τους και την κατανομή μεγέθους τους. Ο νόμος του Stokes δίνει την ταχύτητα καθίζησης των αιωρούμενων σωματιδίων. Όπου  $d$  είναι η διάμετρος του σωματιδίου,  $\rho$  είναι η πυκνότητα του ρευστού και  $\mu$  το ιξώδες του αέρα, έτσι ο τύπος είναι:

$$V = gd^2 (\rho_{\text{σωμ}} - \rho_{\text{αέρα}}) / 18\mu$$

Το σύνολο των εκπομπών σωματιδίων υπολογίζεται σε 60 εκατομμύρια τόνους των οποίων το 23% οφείλονται στις χώρες που ανήκουν στον ΟΟΣΑ. Η πορώδης επιφάνεια των σωματιδίων έχει την ικανότητα προσρόφησης και άλλων βαρέων μετάλλων τα οποία συσσωματώνονται μαζί τους, όπως επίσης και άλλες καρκινογόνες ουσίες και αρωματικοί υδρογονάνθρακες με αποτέλεσμα την πρόκληση ασθενειών και κακοήθων νεοπλασιών του αναπνευστικού. Όπως δείχνουν τα αποτελέσματα επιδημιολογικών ερευνών των τελευταίων ετών ιδιαίτερα σε αστικές περιοχές υπάρχει αυξημένη νοσηρότητα και θνησιμότητα λόγω υψηλών συγκεντρώσεων αιωρούμενων εισπνεόμενων σωματιδίων, σκιαγραφώντας σωματίδια διαμέτρου μικρότερης των 10 $\mu$ m [5].

Η Ελλάδα βρίσκεται σταθερά στις πρώτες θέσεις των χωρών με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Ανάμεσα στις 10 ευρωπαϊκές πόλεις με τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σωματιδίων βρίσκονται 4 ελληνικές με πρώτη θέση την Θεσσαλονίκη, 3<sup>η</sup> την Αθήνα, 5<sup>η</sup> την Λάρισα και 7<sup>η</sup> την Πάτρα. Ενώ από τον κατάλογο των 20 πρώτων πόλεων 6 από αυτές είναι Ελληνικές, με 13<sup>ο</sup> τον Βόλο και 20<sup>ο</sup> το Ηράκλειο της Κρήτης [3].

## 2.1 Δείκτες Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης

Με τον όρο Δείκτες Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης (ΔΑΡ) εννοούμε τις τιμές που προκύπτουν από τους αλγόριθμους, που αποτιμούν την ποιότητα της ατμόσφαιρας και κατά συνέπεια των πιθανών επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία του πληθυσμού. Οι Δείκτες Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης (ΔΑΡ) χρησιμοποιούνται σε

παγκόσμια κλίμακα γιατί μπορούν να αποδώσουν πιο πρακτικά και πιο ολοκληρωμένα την καθημερινή εικόνα της ποιότητας του αέρα σε μια περιοχή.

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. 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. Ενδεικτικά αποτυπώνονται οι ΔΑΡ όπως χρησιμοποιούν τους αντίστοιχους αλγόριθμους [25].

### **Τοπικός Δείκτης Ρύπανσης (Regional Pollution Index-RPI)**

Ο δείκτης RPI, υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση:

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

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

Ο δείκτης DAQx υπολογίζεται με βάση τη σχέση:

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

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

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

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

### **Δείκτης Ποιότητας Αέρα (Air Quality Index-AQI)**

Ο δείκτης AQI υπολογίζεται για κάθε ρύπο χωριστά, με βάση την παρακάτω εξίσωση

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

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

Ο δείκτης BAPI 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 (NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> και PM<sub>10</sub>).

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

### **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.

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

Ο δείκτης API παίρνει τιμές από 0 έως και 500 και ο υπολογισμός του βασίζεται στις τιμές συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> και εισπνεόμενα αιωρούμενα σωματίδια γνωστά ως RSP (Respirable Suspended Particulates) .

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

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

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

### 3.1 Νομοθετικό Πλαίσιο

Η παρέμβαση του κράτους σύμφωνα με την κλασική οικονομική θεωρία εμφανίζεται όταν έχουμε περιπτώσεις που σημαίνουν αποτυχία της αγοράς είτε όταν στο συγκεκριμένο πεδίο πολιτικής η αγορά αποτυχαίνει να οδηγήσει στην πιο αποδοτική λύση, τέτοιες περιπτώσεις είναι:

1. Η ύπαρξη εξωτερικών οικονομιών, όταν δηλαδή παράγεται όφελος ή κόστος από μια οικονομική δραστηριότητα το οποίο δεν επωμίζεται (κόστος ή όφελος) η ίδια, πχ ρύπανση.
2. Οι οικονομίες κλίμακος (φάσματος), αναφέρονται σε καταστάσεις μονοπωλιακού ανταγωνισμού όπου το κόστος ανά μονάδα παραγωγής φθίνει καθώς αυξάνεται ο αριθμός των προϊόντων που παράγεται σε μια εταιρία με αποτέλεσμα άλλες με μικρότερη παραγωγή να μην μπορούν να την ανταγωνιστούν.
3. Διακίνηση πληροφορίας, αναφέρεται σε περιπτώσεις που έχουμε ανεπαρκής διακίνηση πληροφορίας σχετικά με την διαθεσιμότητα ενός προϊόντος στον καταναλωτή
4. Δημόσια αγαθά, όταν οι δυνάμεις της αγοράς δεν είναι σε θέση να κατανείμουν το σχετικό βάρος χρήσης τους, πχ περιβάλλον, κόστος ρύπανσης, κόστος προστασίας.

Η δημόσια παρέμβαση στα πλαίσια της καπιταλιστικής οικονομίας ασκείται μέσα από 3 ομάδες μέτρων:

1. τα ρυθμιστικά κανονιστικά μέτρα
2. τα δημοσιονομικά μέτρα
3. τα συμβολικά – διακηρυχτικά μέτρα

Όσον αφορά το περιβαλλοντικό δίκαιο στην ελληνική νομοθεσία υπάρχουν 2 τρόποι παρέμβασης, η άμεση και η έμμεση. Η άμεση παρέμβαση είναι το Δίκαιο Περιβαλλοντικής Δημόσιας Τάξης που περιλαμβάνει διατάξεις που επιβάλλουν και απαγορεύουν και η έμμεση είναι το Δίκαιο Περιβαλλοντικού Σχεδιασμού όπου δεν επιβάλλεται κάτι αλλά υποδύκνεται η επιθυμητή συμπεριφορά [26].

Σταθμοί Περιβαλλοντικής Πολιτικής

Οι βασικοί σταθμοί της περιβαλλοντικής πολιτικής στην Ευρωπαϊκή Ένωση είναι:



1. Η Συνθήκη της Ρώμης
2. Η Ενιαία Ευρωπαϊκή Πράξη
3. Η Συνθήκη του Μαστριχτ
4. Η Συνθήκη του Άμστερνταμ
5. Η Συνθήκη της Λισαβόνας

Η αρχική συνθήκη της Ρώμης το 1957 έθετε την κοινοτική περιβαλλοντική πολιτική περισσότερο ως μοχλό ανάπτυξης του ανταγωνισμού παρά ως αυτοτελή περιβαλλοντικό στόχο. Ο κύριος στόχος ήταν η καταπολέμηση κάποιων μορφών ρύπανσης που σε κάθε χώρα είχε διαφορετική προσέγγιση και εμπόδιζε την κυκλοφορία των εμπορευμάτων. Το 1987 πραγματοποιήθηκε η Ενιαία Πράξη του 1987 και ενσωματώθηκε το περιβάλλον και η προστασία του ως αυτοτελής στόχος στην συνθήκη της Ρώμης, δίνοντάς της μεγαλύτερο βαθμό αυτονομίας από απλό εργαλείο πολιτικής του ανταγωνισμού και αναβαθμίζοντας περισσότερο την περιβαλλοντική ατζέντα [27].

#### Πολυετή Προγράμματα Δράσης

Το θεσμικό πλαίσιο στο οποίο αναπτύχθηκε η περιβαλλοντική πολιτική ήταν τα 7 πολυετή προγράμματα δράσης με αρχή το 1973 και τελευταίο το έβδομο πρόγραμμα – πλαίσιο έρευνας που καλύπτει την περίοδο 2007-2013. Τα προγράμματα δράσης στόχο έχουν και από την ίδια την διακήρυξή τους να τονώσουν τους δεσμούς μεταξύ της βιομηχανίας και της έρευνας σε διακρατικό πλαίσιο ώστε να αναγάγουν την Ευρώπη στην πιο ανταγωνιστική και δυναμική οικονομία της γνώσης στον κόσμο, στην βάση της ανάπτυξης και της απασχόλησης (site: europa.eu). Ο σχεδιασμός και η κατάρτιση σύμφωνα με την υπουργείο Περιβάλλοντος (ΥΠΕΚΑ) του αναπτυξιακού προγράμματος της περιόδου 2014-2020 για την χώρα βρίσκεται σε εξέλιξη ενώ για αυτό έχουν συσταθεί και στελεχωθεί 8 Θεματικές Ομάδες Εργασίας. Στα πλαίσια του ελέγχου των στόχων του 7<sup>ου</sup> προγράμματος δράσης είναι στις αρμοδιότητες του ΕΥΣΠΕΔ (Ειδική Υπηρεσία Συντονισμού Περιβαλλοντικών Δράσεων) να αξιολογήσει τις Εκθέσεις Περιβαλλοντικής Παρακολούθησης, που προβλέπονται στις Κοινές Υπουργικές Αποφάσεις έγκρισης των στρατηγικών Μελετών Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων και να δημοσιοποιήσει αυτά τα αποτελέσματα [28].

Από τα παραπάνω διαφαίνεται ότι τα πολυετή προγράμματα δράσης στα οποία εντάσσεται και το περιβάλλον καθορίζονται στα πλαίσια του ανταγωνισμού της Ευρωπαϊκής οικονομίας και εξελίσσονται σε κάθε φάση της ιστορίας τους ανάλογα με τις αναπτυξιακές ανάγκες της Ευρωπαϊκής Ένωσης και όχι ανεξάρτητα αυτής.

Παρά τις αντιθέσεις που πηγάζουν στο θέμα της προστασίας του περιβάλλοντος καθότι γίνεται στην βάση του ανταγωνισμού και όχι της εγγενούς του αξίας, η εξέλιξη των νομοθετημάτων σχετικά με τους περιβαλλοντικούς περιορισμούς των οικονομικών δραστηριοτήτων (εξελίσσεται παράλληλα με την εκχώρηση των εξουσιών αυτών από τα κράτη-μέλη στο επίπεδο του ευρωπαϊκού κοινοβουλίου) είχε ως αποτέλεσμα τις τελευταίες 4 δεκαετίες περισσότερες από 300 οδηγίες για το περιβάλλον να έχουν εκδοθεί ως κοινοτικά περιβαλλοντικά νομοθετήματα αναδεικνύοντας την κοινότητα ως καθοριστικό παράγοντα ανάπτυξης περιβαλλοντικής πολιτικής. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Περιβάλλοντος το 80% της περιβαλλοντικής νομοθεσίας σε κάθε χώρα αποτελεί ενσωμάτωση της κοινοτικής νομοθεσίας [27].

Σύμφωνα με την εργασία των Δ. Τσαντίλης, Κ. Χατζημίρος το 1<sup>ο</sup> πρόγραμμα δράσης (1973-1977) για το περιβάλλον εγκαινίασε την κοινή περιβαλλοντική πολιτική δίνοντας μεγάλη βαρύτητα στην πρόληψη των επιπτώσεων της οικονομικής δραστηριότητας κατά τον σχεδιασμό ενός έργου, οι βασικές του αρχές ήταν ίδιες με αυτές που διατυπώθηκαν στην συνδιάσκεψη της Στοκχόλμης.

Το 2<sup>ο</sup> πρόγραμμα δράσης (1977-1982) για το περιβάλλον μαζί με το πρώτο αφορούσαν επί το πλείστον την καταπολέμηση της ρύπανσης και την επανόρθωση των περιβαλλοντικών ζημιών. Προϊόν του δεύτερου προγράμματος ήταν οι οδηγίες για τα όρια εκπομπών ρύπων στο περιβάλλον και τα όρια ποιότητας στους αποδέκτες της ρύπανσης. Ενσωματώθηκε επιπροσθέτως η προσέγγιση της Διεθνούς Σύμβασης Ramsar (1971) για τα ενδιαιτήματα [27].

Στο 3<sup>ο</sup> πρόγραμμα δράσης (1982-1986) εκπονήθηκε η οδηγία για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, που στόχο έχει τον εντοπισμό και την καταγραφή των περιβαλλοντικών επιπτώσεων πριν την κατασκευή ενός έργου, στην βάση της πρόληψης και όχι της θεραπείας. Η οδηγία αυτή επίσης προέβλεπε την συμμετοχή του κοινού σε διαβουλεύσεις σχετικά με τις αναμενόμενες επιπτώσεις του έργου. Το 1987 καθιερώνεται ο όρος «αειφόρος ανάπτυξη» με την έκθεση Brundtland που εκπονήθηκε από την Διεθνή Σύσκεψη για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη το 1987. Το περιβάλλον αποκτά την δική του νομοθετική βάση ξεχωριστά μέσα στην

Συνθήκη της ΕΟΚ του 1957 (Συνθήκη της Ρώμης) με την Ενιαία Ευρωπαϊκή Πράξη. Στην τροποποίηση της Συνθήκης της Ρώμης τονίστηκε η προσαρμογή όλων των πολιτικών στην αρχή της πρόληψης (2<sup>ο</sup> Πρόγραμμα) και στην αρχή ο ρυπαίνων πληρώνει που εισήχθη πρώτη φορά [27].

Το 4<sup>ο</sup> πρόγραμμα (1987-1992) έθεσε σε μεγαλύτερη ισορροπία την σχέση μεταξύ ανταγωνισμού και προστασίας του περιβάλλοντος, τονίζοντας ότι το ένα είναι προϋπόθεση του άλλου. Ενώ το 5<sup>ο</sup> πρόγραμμα (1992-2001) δράσης που προέκυψε μετά την Συνδιάσκεψη του Ρίο το 1992 για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη ενσωμάτωσε την Σύμβαση για την Βιοποικιλότητα και την Κλιματική Αλλαγή. Η Συνθήκη του Μάαστριχτ το 1992 με την οποία ιδρύθηκε η Ευρωπαϊκή Ένωση εισήγαγε για πρώτη φορά την έννοια της αειφόρου ανάπτυξης [27].

Το 5<sup>ο</sup> πρόγραμμα επίσης υιοθέτησε ορισμένα μέτρα σχετικά με την διάδοση της περιβαλλοντικής πληροφορίας, την εφαρμογή της αρχής «ο ρυπαίνων πληρώνει» και την διεύρυνση του φάσματος των χρηματοδοτικών, φορολογικών και οικονομικών εργαλείων. Τόνισε περισσότερο το πεπερασμένο των φυσικών πόρων και ότι θα έπρεπε να ληφθούν μέτρα για την ανακύκλωση των υλικών και την μείωση των απορριμμάτων. Την περίοδο αυτή έχουμε την Οδηγία 79/409 για τα πουλιά, η οποία επεκτείνεται στην προστασία όλων των ευρωπαϊκών ειδών και ενδιαιτημάτων. Δημιουργείται για πρώτη φορά το δίκτυο προστατευόμενων περιοχών Natura 2000. Παράλληλα με την οδηγία αυτή έχουμε και την οδηγία για τα νερά 2000/60 που έχει στόχο το αργότερο μέχρι το 2021 να αποκτήσουν όλα τα νερά στην Ευρωπαϊκή Ένωση καλή ποιότητα που θα ανταποκρίνεται στα όρια που έχουν τεθεί [27].

Το 6<sup>ο</sup> πρόγραμμα δράσης για το περιβάλλον κάλυψε την περίοδο από τον Ιούλιο του 2002 μέχρι τον Ιούλιο του 2012. Οι καταβολές του προγράμματος αυτού όπως αναφέρονται και στην σελίδα της Europa.eu βρίσκονται στο 5<sup>ο</sup> πρόγραμμα δράσης για το περιβάλλον και έθεσε 5 πρωταρχικούς άξονες στρατηγικής δράσης:

1. την βελτίωση της εφαρμογής της ισχύουσας νομοθεσίας
2. την ενσωμάτωση του περιβάλλοντος στις άλλες πολιτικές
3. την συνεργασία με την αγορά
4. την ενεργό συμμετοχή των πολιτών και την αλλαγή της συμπεριφοράς τους
5. την συνεκτίμηση του περιβάλλοντος στις αποφάσεις που αφορούν την χωροταξία και χωροταξική διαχείριση.

Το 6<sup>ο</sup> πρόγραμμα δράσης για το περιβάλλον έδωσε βαρύτητα σε 4 τομείς: την αντιμετώπιση των κλιματικών μεταβολών, την φύση και την βιοποικιλότητα, το περιβάλλον και την υγεία, την διαχείριση φυσικών πόρων κα αποβλήτων [27].

Τέλος το 7<sup>ο</sup> πρόγραμμα δράσης επιδιώκει μέσω της χρηματοδότησης να εδραιώσει τον ευρωπαϊκό χώρο έρευνας (EXE), στοχεύοντας ρητά «να προσφέρει στους ερευνητές αποδοτικά και αποτελεσματικά μέσα προκειμένου να ενισχυθεί η ποιότητα και η ανταγωνιστικότητα της ευρωπαϊκής έρευνας. Επιπλέον, το 7ο πρόγραμμα-πλαίσιο θα χρηματοδοτήσει τις άμεσες δράσεις του Κοινού Κέντρου Ερευνών (ΚΚΕρ) και τις δράσεις που υπάγονται στο πρόγραμμα-πλαίσιο Ευρατόμ και αφορούν τους εξής τομείς:

- την έρευνα στο πεδίο της ενέργειας σύντηξης
- την πυρηνική σχάση και την ακτινοπροστασία.»

Οι 9 βασικοί στόχοι του 7<sup>ου</sup> προγράμματος δράσης αφορούν κύρια:

- υγεία
- τρόφιμα, γεωργία και βιοτεχνολογία·
- τεχνολογίες της πληροφορίας και της επικοινωνίας·
- νανοεπιστήμες, νανοτεχνολογίες, υλικά και νέες τεχνολογίες παραγωγής·
- ενέργεια·
- περιβάλλον (συμπεριλαμβανομένης της αλλαγής του κλίματος)·
- μεταφορές (συμπεριλαμβανομένης της αεροναυτικής)·
- κοινωνικοοικονομικές και ανθρωπιστικές επιστήμες·
- ασφάλεια και διάστημα [27].

Η Οδηγία 2003/4/ΕΚ για την πρόσβαση στην περιβαλλοντική πληροφορία

Η Σύμβαση του Aarhus για την πρόσβαση του κοινού στην περιβαλλοντική πληροφορία, την δικαιοσύνη για περιβαλλοντικά θέματα και την συμμετοχή του στην λήψη αποφάσεων, υπογράφηκε από την Ελλάδα στις 25 Ιουνίου 1998 και επικυρώθηκε από την χώρα μας με τον νόμο 3422/12-12-2005 με το ΦΕΚ Α 303/13.12.2005 [28].

## Η κατάσταση στην Ελλάδα

Όπως καταγγέλλουν περιβαλλοντικές οργανώσεις μαζί και η WWF σε έκθεσή της αναφέρει ότι ακόμη και η παροχή της ελάχιστης πληροφορίας πραγματοποιήθηκε μόνο κατόπιν σχετικών έγγραφων ερωτημάτων από το WWF Ελλάς<sup>12</sup>. Τονίζοντας ότι «σημαντική επίσης παράλειψη είναι η ελλιπέστατη ενημέρωση της ιστοσελίδας του ΥΠΕΧΩΔΕ για την εναρμόνιση της Ελληνικής νομοθεσίας με το Κοινοτικό δίκαιο». Από την Εθνική Έκθεση (2013) που προέκυψε για την Ελλάδα σχετικά με την εφαρμογή της Οδηγίας (Σύμβαση Άαρχους) τα εμπόδια που προσδιορίστηκαν από τις εμπλεκόμενες δημόσιες αρχές ήταν:

-«Επιφυλακτικότητα των αρχών: σύμφωνα με τον Συνήγορο του Πολίτη οι δημόσιες αρχές είναι ακόμα επιφυλακτικές στο να επιτρέψουν πρόσβαση σε όλη την περιβαλλοντική πληροφορία, παρόλο που η εθνική νομοθεσία έχει συγκεκριμένες ρυθμίσεις επ' αυτού, και σύμφωνα με την άποψη του Συνηγόρου υπάρχει ακόμη περιθώριο βελτίωσης στην κουλτούρα των δημοσίων υπαλλήλων σχετικά με αυτό το θέμα».

-«Καθυστερήσεις στις διοικητικές διαδικασίες, οι οποίες οφείλονται στην υποστελέχωση κάποιων υπηρεσιών της κεντρικής και αποκεντρωμένης διοίκησης, είτε/και τη μειωμένη εξειδίκευση των δημοσίων υπαλλήλων, ειδικά όταν απαιτείται συνεργασία μεταξύ διαφορετικών υπηρεσιών» [9].

## Η κατάσταση στην Ευρώπη

Όπως αναφέρει στην εργασία της η Χ. Μπαϊρακτάρη (Όρια στην πρόσβαση σε περιβαλλοντικές πληροφορίες του δημόσιου τομέα, 2007) η εφαρμογή της Οδηγίας στην Γαλλία και την Αγγλία ήταν άριστη καθώς το νομοθετικό πλαίσιο ήταν επαρκές για την ενσωμάτωσή της, χωρίς να χρειαστεί να γίνει κάποια μεγάλη νομική ή πρακτική αλλαγή. Η εφαρμογή της ωστόσο στην Γερμανία έδειξε ότι η προυπάρχουσα παράδοση της περιορισμένης πρόσβασης στα διοικητικά δεδομένα της κυβέρνησης καταδίκασαν την Οδηγία σε αποτυχία. Το παράδειγμα της Βρετανίας μιας χώρας με μεγάλο βαθμό μυστικότητας εκείνη την εποχή ενώ όλοι θα περίμεναν ότι η Οδηγία θα αποτύγχανε εντούτοις οι ισχυρές διοικητικές μεταρρυθμίσεις που έγιναν προς μια «ανοιχτή» κυβέρνηση έκαναν την εφαρμογή της ανέλπιστα επιτυχή. Από την σύνοψη της έρευνας που πραγματοποιήθηκε για την Ελλάδα, την Γαλλία,

την Βρετανία και την Γερμανία αλλά και από άλλες φάνηκε ότι λόγω της ανομοιογένειας στα διοικητικά και νομοθετικά πλαίσια των χωρών της Ε.Ε. η αποτελεσματική εφαρμογή των Ευρωπαϊκών οδηγιών εξαρτάται από την διοικητική ευελιξία και το θεσμοθετικό φάσμα των αλλαγών που πρέπει να υιοθετήσει το κάθε κράτος [29].

#### Η Οδηγία 2001/80/ΕΚ για την ατμοσφαιρική ρύπανση

Η Οδηγία 2001/80/ΕΚ που στόχο τον έλεγχο των εκπομπών διοξειδίου του θείου, οξειδίων του αζώτου και σωματιδίων που προέρχονται από τις λεγόμενες εγκαταστάσεις καύσεις, όφειλε να έχει ενσωματωθεί στο κοινοτικό Δίκαιο μέχρι τις 27.11.2002 ωστόσο η υπογραφή για την ενσωμάτωση της Οδηγίας έγινε τον Μάιο του 2005 μετά από αλληπάλληλες καταγγελίες στο Δικαστήριο των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων λόγω καθυστέρησης ενσωμάτωσης των παραπάνω οδηγιών. Παράλληλα «αιτιολογημένη γνώμη» που ισοδυναμεί με τελευταία προειδοποίηση είχαν δεχτεί επίσης η Δανία, η Ιρλανδία, η Ισπανία, Πορτογαλία ενώ η Γαλλία και η Βρετανία είχαν ήδη παραπέμφθει στο Ευρωπαϊκό Δικαστήριο. Οι οδηγίες για τον έλεγχο ατμοσφαιρικής ρύπανσης διαμορφώθηκαν σύμφωνα με τη γερμανική εκπομπή και την βασισμένη στην τεχνολογία προσέγγιση στην καταπολέμηση της περιβαλλοντικής ρύπανσης και για το λόγο αυτό δεν παρήγαγαν οποιοδήποτε είδος πίεσης για τη Γερμανία. Ωστόσο ενώ η Γερμανία δεν είχε οποιαδήποτε προβλήματα να εφαρμόσει τις οδηγίες ατμοσφαιρικής ρύπανσης αποτελεσματικά, η συμμόρφωσή της με την αξιολόγηση της περιβαλλοντικής επίδρασης και με την πρόσβαση στις πληροφορίες ήταν τόσο φτωχές όπως της Ισπανίας.

Τα ευρωπαϊκά όρια ποιότητας ατμόσφαιρας όπως ισχύουν σήμερα παρατίθενται στην συνέχεια και αφορούν: Α) την περίοδο αν αφοράς για τον υπολογισμό του μέσου όρου, β) την οριακή τιμή, γ) το περιθώριο ανοχής, δ) την προθεσμία συμμόρφωσης προς την οριακή τιμή.

Για το διοξείδιο του αζώτου  $\text{NO}_2$ , το διοξείδιο του θείου  $\text{SO}_2$  και τα σωματίδια, η οδηγία 99/30/ΕΚ καθορίζει τις τιμές αυτές οι οποίες εκφράζονται σε  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , όπου η μέτρηση του όγκου ανάγεται σε θερμοκρασία 293 ο Κ και 589 σε πίεση 101,3 kPa, όπως φαίνονται στον πίνακα 1.1. Τα όρια που παρατίθενται βρίσκονται σε ισχύ από 1/1/2005 [3].

### Αιωρούμενα σωματίδια (PM<sub>10</sub>)

Τιμές σύμφωνα με την οδηγία 1999/30/EK , τα όρια ισχύουν από 1/1/2005 [30].

|                                                                                | Ενδεικτική οριακή τιμή μέχρι<br>το 2004 | Οριακή τιμή          |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------|
| Μέση ημερήσια τιμή να μην<br>υπερβαίνεται περισσότερο<br>από 35 φορές το χρόνο | 55 μg/m <sup>3</sup>                    | 50 μg/m <sup>3</sup> |
| Μέση ετήσια τιμή                                                               | 41,6 μg/m <sup>3</sup>                  | 40 μg/m <sup>3</sup> |

### Διοξείδια του Αζώτου (NO<sub>2</sub>)

Τιμές ορίων διοξειδίων του αζώτου σύμφωνα με την 1999/30/EK με τα όρια που ισχύουν από 1/1/2010 [30].

| Ρύπος                                   | Περίοδος αναφοράς | Οριακή τιμή για το διοξείδιο<br>του αζώτου                                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Διοξείδιο του αζώτου (NO <sub>2</sub> ) | Έτος              | 200 μg/m <sup>3</sup><br>Υπολογιζόμενο ως 98ο<br>εκατοστημόριο βάσει των<br>μέσων τιμών<br>ανά ώρα ή για μικρότερα<br>χρονικά διαστήματα οι οποίες<br>λαμβάνονται καθ' όλη τη<br>διάρκεια του έτους (1) |

### Διοξείδιο του Θείου (SO<sub>2</sub>)

Τιμές σύμφωνα με την οδηγία 1999/30/EK, τα όρια αυτά ισχύουν από 1/1/2005 [30].

|                                                                          | Ενδεικτική τιμή για το 2004  | Οριακή τιμή                  |
|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Μέση ωριαία τιμή να μην υπερβαίνεται περισσότερο από 24 φορές το χρόνο   | 380 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |
| Μέση ημερήσια τιμή, να μην υπερβαίνεται περισσότερο από 3 φορές το χρόνο | 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |

### Όζον (O<sub>3</sub>)

Τιμές σύμφωνα με την οδηγία 2002/3/EK [30].

|                 |                                                                                                                                  | Οριακή τιμή                  |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| Όριο ενημέρωσης | Μέση ωριαία τιμή                                                                                                                 | 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |
| Όριο συναγερμού | Μέση ωριαία τιμή για 3 ώρες                                                                                                      | 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |
| Τιμή στόχος     | Μέγιστη ημερήσια δωρη τιμή, της οποίας δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση περισσότερες από 25 φορές ανά έτος για διάστημα 3 ετών | 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |

### Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Οι τιμές είναι σύμφωνες με την οδηγία 2000/69/EK και ισχύουν από 1/1/2005 [30].

|                            | Ενδεικτική τιμή για το 2004 | Οριακή τιμή               |
|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Μέγιστη ημερήσια δωρη τιμή | 12 $\text{mg}/\text{m}^3$   | 10 $\text{mg}/\text{m}^3$ |



## ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

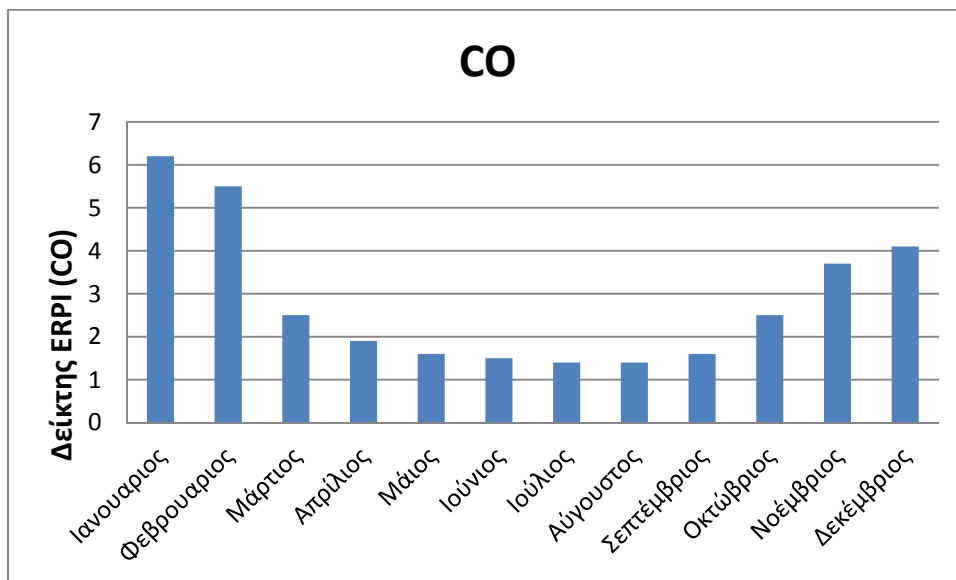
Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης ERPI για την μελέτη της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στην ευρύτερη περιοχή της πόλης της Λάρισας. Η μελέτη αυτή έγινε με τον υπολογισμό των ημερήσιων τιμών του δείκτη ατμοσφαιρικής ρύπανσης (ERPI) για την πόλη. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκαν οι ημερήσιες τιμές συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων O<sub>3</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, και PM<sub>10</sub> για τη χρονική περίοδο 2001 – 2013.

Τα δεδομένα αυτά έχουν καταγραφεί από το δίκτυο σταθμών παρακολούθησης της ποιότητας της ατμοσφαιράς του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ).

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

### Μονοξείδιο του Άνθρακα (CO)

Στο ακόλουθο σχήμα αποτυπώνεται η συμπεριφορά του δείκτη ERPI για το μονοξείδιο του άνθρακα, σε συναρτήσε του μέσου όρου των τιμών που παρουσιάζει ο δείκτης για κάθε μήνα στο διάστημα 2001 – 2013. Σκοπός του συγκεκριμένου γραφήματος είναι να αποδείξει την ύπαρξη εποχικότητας ή μη εποχικότητας του δείκτη.



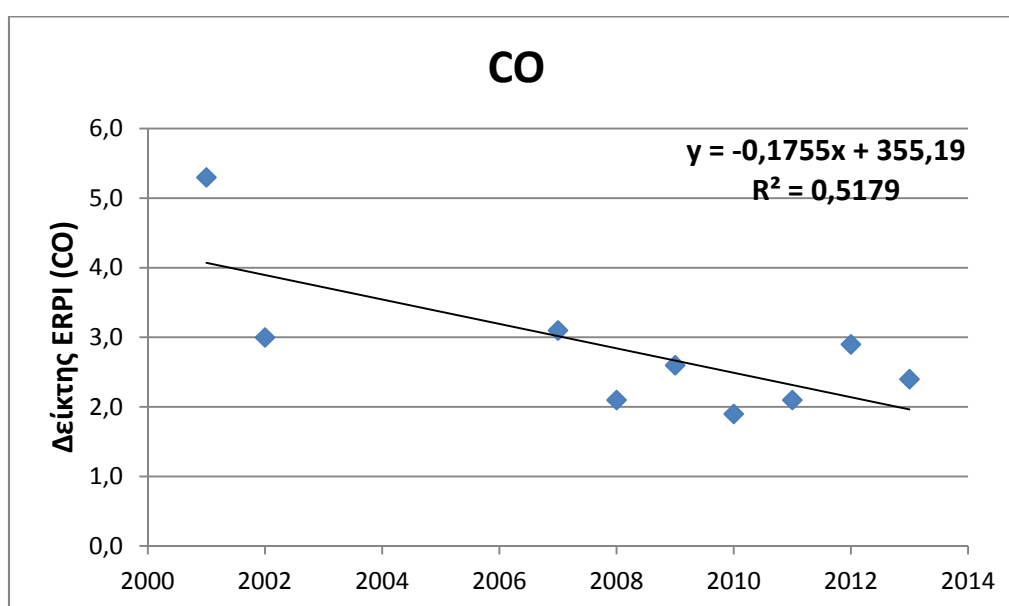
**Σχήμα 1.** Μέσες μηνιαίες τιμές δείκτη ERPI για το CO. Λάρισα, 2001-2013.

Από το παραπάνω **Σχήμα 1**, παρατηρείται μια πτωτική τάση του δείκτη ERPI ξεκινώντας από τον μήνα Ιανουάριο όπου η μέγιστη τιμή είναι: ERPI = 6,2

(Ιανουάριος), μέχρι και τον Αύγουστο όπου η ελάχιστη τιμή είναι:  $ERPI = 1,4$  και μετά έχει ανοδική πορεία μέχρι τέλος του έτους.

Συμπερασματικά 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.

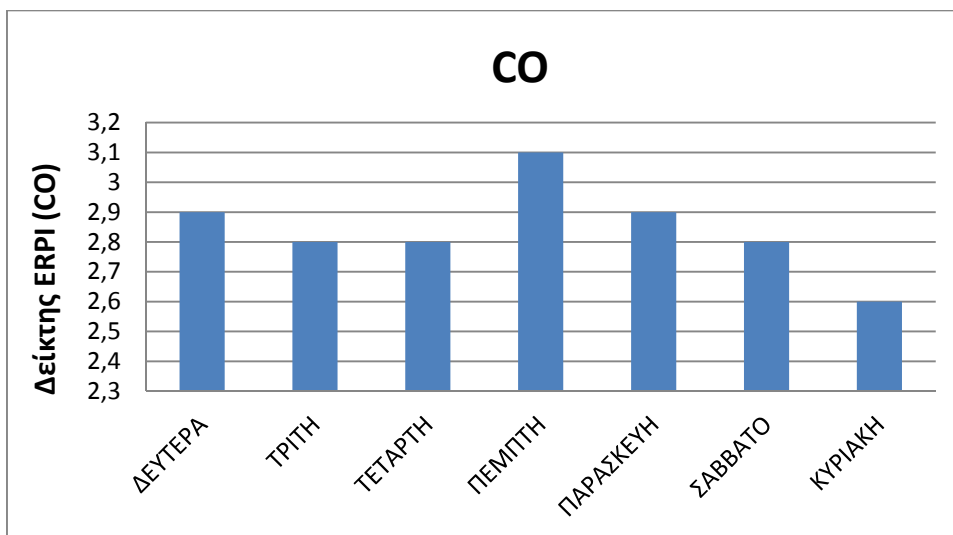
Στο ακόλουθο σχήμα αποτυπώνονται οι μέσες ετήσιες τιμές του δείκτη ERPI για το μονοξείδιο του άνθρακα. Για το σκοπό αυτό υπολογίστηκε μια μέση τιμή του δείκτη ERPI για κάθε έτος καθ' όλη τη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001 – 2013.



**Σχήμα 1.1** Μέσες ετήσιες τιμές δείκτη ERPI για το CO. Λάρισα, 2001-2013.

Όπως φαίνεται και από το **Σχήμα 1.1** ο δείκτης ERPI κατά το έτος 2001 εμφάνισε την υψηλότερη τιμή  $ERPI=5,3$ . Στη συνέχεια ακολούθησε μια πτωτική τάση έως το 2010 ( $ERPI = 1,9$ ) όπου ξεκίνησε και πάλι μια μικρή ανοδική πορεία του δείκτη για να ξανά ακολούθησε μια πτωτική τάση από το 2012 έως το 2013. Γενικά φαίνεται ότι στο σύνολο της εξεταζόμενης χρονικής περιόδου οι τιμές του δείκτη ERPI για το CO εμφανίζουν μια πτωτική τάση. Συγκεκριμένα φαίνεται να μειώνεται κατά 0,1755 ανά έτος.

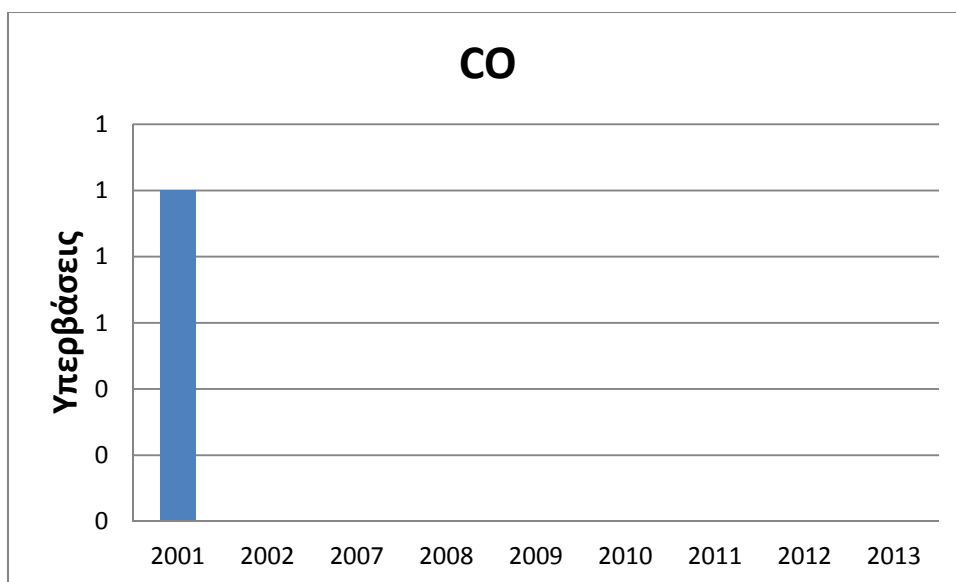
Στο ακόλουθο σχήμα αποτυπώνεται η συμπεριφορά του δείκτη ERPI για το μονοξείδιο του άνθρακα, συναρτήσει του μέσου όρου των τιμών που παρουσιάζει ο δείκτης για κάθε ημέρα στο διάστημα 2001 – 2013. Σκοπός του συγκεκριμένου γραφήματος είναι να αποδείξει την ύπαρξη ή μη εποχικότητας του δείκτη.



**Σχήμα 1.2** Μέσες ημερήσιες τιμές δείκτη ERPI για το CO. Λάρισα, 2001-2013.

Από το σχήμα γίνεται εύκολα αντιληπτό πως ο δείκτης δεν παρουσιάζει σημαντική μεταβλητότητα στη διάρκεια της εβδομάδας, παρατηρώντας μόνο μια ανοδική τάση του δείκτη ERPI την Πέμπτη όπου μετρήθηκε ίσως με 3,1.

Στο ακόλουθο σχήμα καταγράφονται οι ετήσιες υπερβάσεις που κατέγραψε ο δείκτης ERPI κατά την περίοδο 2001 – 2013. Οι περιπτώσεις όπου ο δείκτης υπερβαίνει τις 50 μονάδες καταγράφονται ως υπέρβαση.

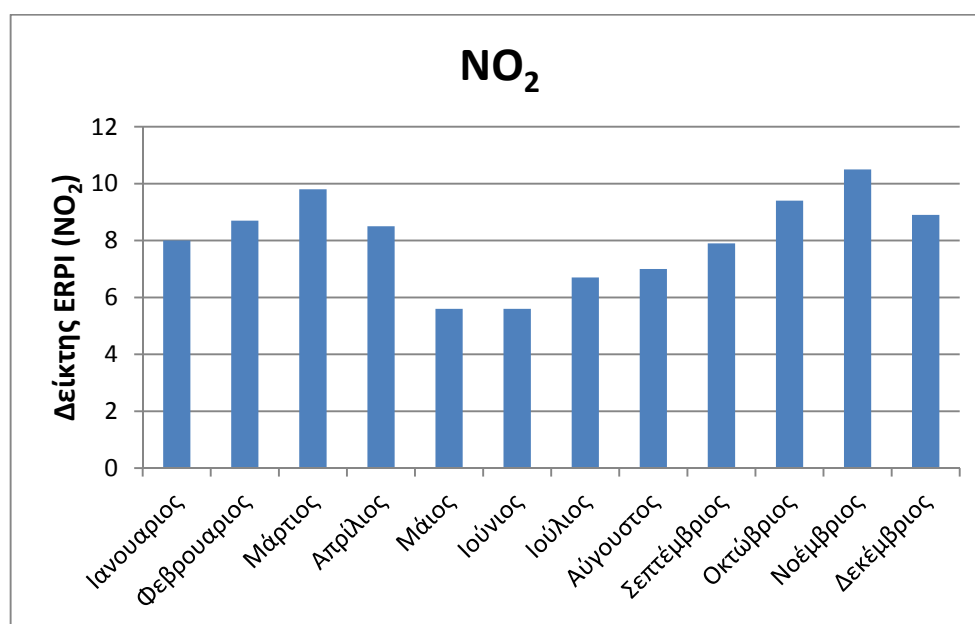


**Σχήμα 1.3** Υπερβάσεις του δείκτη ERPI για το CO. Λάρισα, 2001-2013.

Όπως παρατηρείται στο **Σχήμα 1.3** έχουμε μόνο μια υπέρβαση του δείκτη το 2001 ενώ τα υπόλοιπα χρόνια δεν έχουμε.

## Διοξείδιο του Αζώτου(NO<sub>2</sub>)

Στο ακόλουθο σχήμα αποτυπώνεται η συμπεριφορά του δείκτη ERPI για το διοξείδιο του Αζώτου, συναρτήσει του μέσου όρου των τιμών που παρουσιάζει ο δείκτης για κάθε μήνα στο διάστημα 2001 – 2013. Σκοπός του συγκεκριμένου γραφήματος είναι να αποδείξει την ύπαρξη ή μη εποχικότητας του δείκτη.

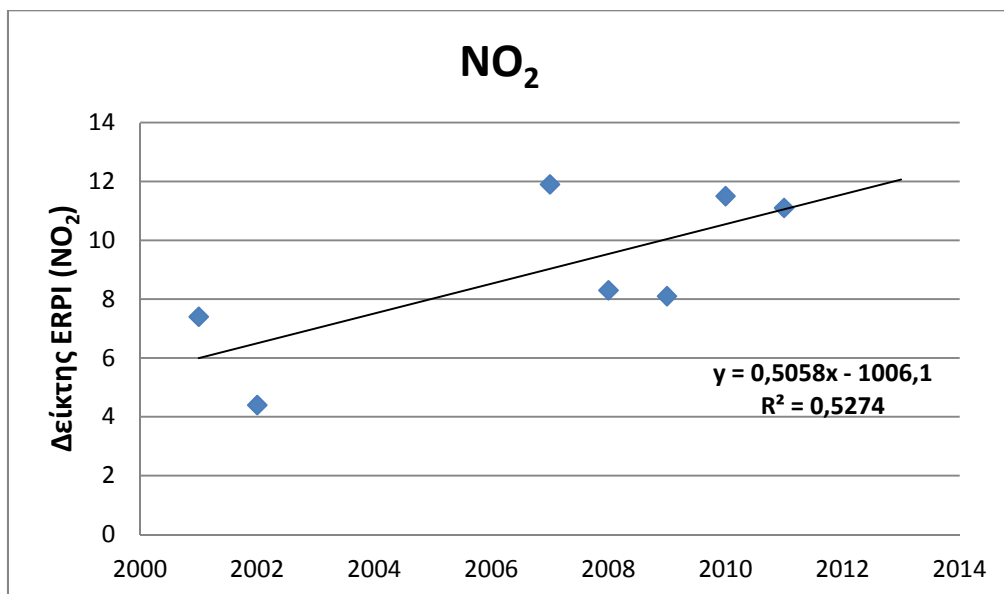


Σχήμα 2. Μέσες μηνιαίες τιμές δείκτη ERPI για το NO<sub>2</sub>. Λάρισα, 2001-2013.

Από το παραπάνω σχήμα παρατηρούνται διακυμάνσεις στην τιμή του δείκτη ERPI ξεκινώντας από τον Ιανουάριο έως και τον Ιούνιο φθάνοντας στην ελάχιστη τιμή του, ERPI = 5,6 για να παρουσιαστούν ξανά υψηλές διακυμάνσεις από τον Ιούλιο έως και το τέλος του έτους.

Συμπερασματικά παρατηρείται γενικά πως ο δείκτης παρουσιάζει τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις κατά τους μήνες Οκτώβριο έως και Απρίλιο σε αντίθεση με τους θερινούς μήνες όπου οι τιμές είναι μικρότερες.

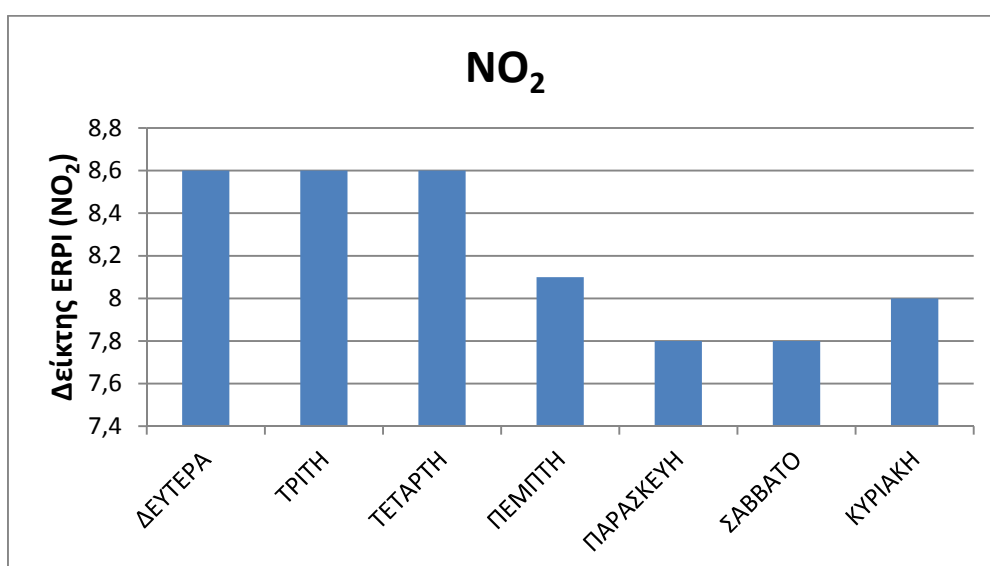
Στο ακόλουθο σχήμα αποτυπώνονται οι μέσες ετήσιες τιμές του δείκτη ERPI. Για το σκοπό αυτό υπολογίστηκε μια μέση τιμή του δείκτη ERPI για κάθε έτος καθ' όλη τη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001 – 2013.



Σχήμα 2.1 Μέσες ετήσιες τιμές δείκτη ERPI για το NO<sub>2</sub>. Λάρισα, 2001-2013.

Όπως φαίνεται πιο πάνω ο δείκτης ERPI έχει ανοδική τάση όπου το 2007 εμφάνισε την υψηλότερη τιμή (ERPI = 11,9). Γενικά φαίνεται ότι στο σύνολο της εξεταζόμενης χρονικής περιόδου οι τιμές του δείκτη ERPI για το NO<sub>2</sub> εμφανίζουν μια ανοδική τάση. Συγκεκριμένα φαίνεται να αυξάνεται κατά 0,5058 ανά έτος.

Στο ακόλουθο σχήμα αποτυπώνεται η συμπεριφορά του δείκτη ERPI για το διοξείδιο του Αζώτου, συναρτηθεί του μέσου όρου των τιμών που παρουσιάζει ο δείκτης για κάθε ημέρα στο διάστημα 2001 – 2013. Σκοπός του συγκεκριμένου γραφήματος είναι να αποδείξει την ύπαρξη ή μη εποχικότητας του δείκτη.



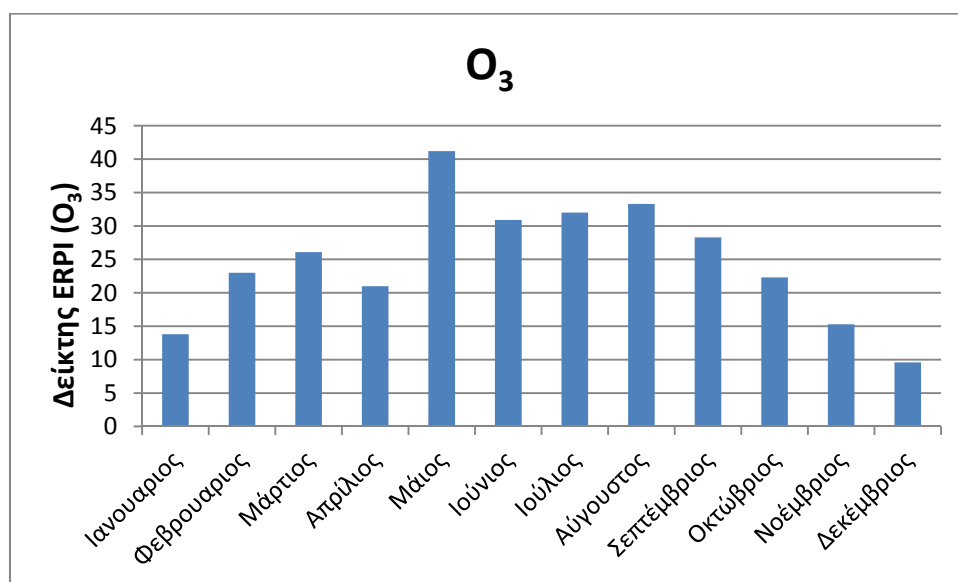
Σχήμα 2.2 Μέσες ημερήσιες τιμές δείκτη ERPI για το NO<sub>2</sub>. Λάρισα, 2001-2013.

Συμπερασματικά από το **Σχήμα 2.2** γίνεται εύκολα αντιληπτό πως ο δείκτης παρουσιάζει εποχικότητα, με τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις να εμφανίζονται κατά τις πρώτες ημέρες της εβδομάδος σε αντίθεση με τις τελευταίες, όπου οι τιμές είναι μικρότερες.

Για το διοξείδιο του Αζώτου δεν έχουμε υπερβάσεις του δείκτη ERPI κατά την περίοδο 2001 – 2013.

## Όζον (O<sub>3</sub>)

Στο ακόλουθο σχήμα 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 – 2013. Σκοπός του συγκεκριμένου γραφήματος είναι να αποδείξει την ύπαρξη ή μη εποχικότητας του δείκτη.

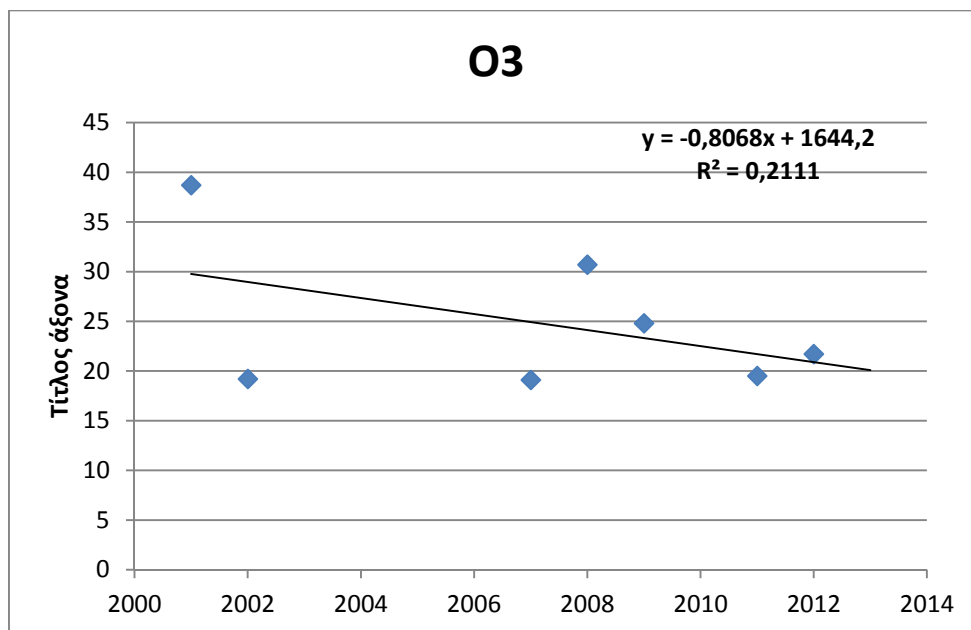


**Σχήμα 3.** Μέσες μηνιαίες τιμές δείκτη ERPI για το O<sub>3</sub>. Λάρισα, 2001-2013.

Από το **Σχήμα 3** παρατηρείται μια ανοδική πορεία του δείκτη ERPI ξεκινώντας από τον Ιανουάριο με αποκορύφωμα την μέγιστη τιμή του, ERPI = 57 (Μάιο). Στη συνέχεια ο δείκτης παρουσιάζει πτωτική τάση μέχρι και το τέλος του έτους.

Συμπερασματικά 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.

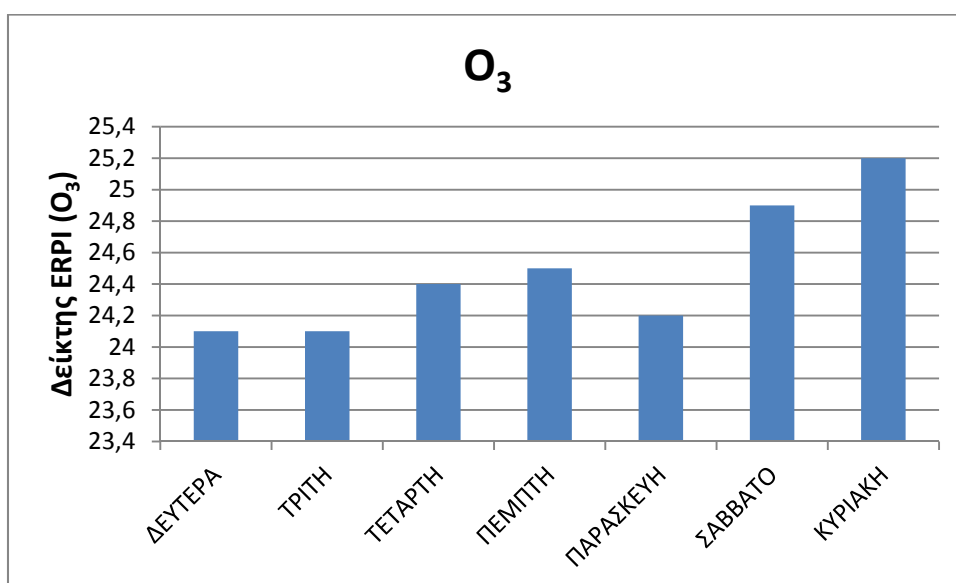
Στο ακόλουθο σχήμα αποτυπώνονται οι μέσες ετήσιες τιμές του δείκτη ERPI για το όζον. Για το σκοπό αυτό υπολογίστηκε μια μέση τιμή του δείκτη ERPI για κάθε έτος καθ' όλη τη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001 – 2013.



**Σχήμα 3.1** Μέσες ετήσιες τιμές δείκτη ERPI για το O<sub>3</sub>. Λάρισα, 2001-2013.

Όπως φαίνεται στο **Σχήμα 3.1** ο δείκτης ERPI έχει καθοδική πορεία με τα έτη 2001 και 2008 να εμφανίζει τις υψηλότερες τιμές (38,7 και 30,7). Συγκεκριμένα φαίνεται να μειώνεται κατά 0,8068 ανά έτος.

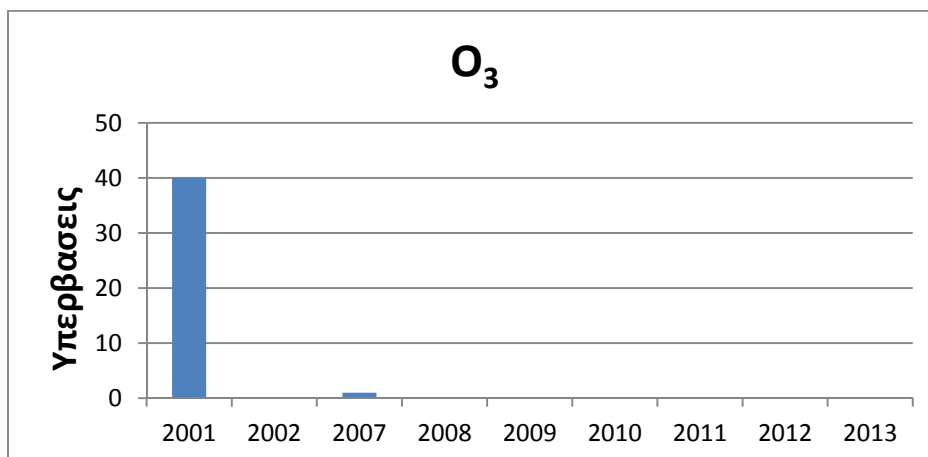
Στο ακόλουθο σχήμα αποτυπώνεται η συμπεριφορά του δείκτη ERPI για το Όζον, συναρτήσεως του μέσου όρου των τιμών που παρουσιάζει ο δείκτης για κάθε ημέρα στο διάστημα 2001 – 2013. Σκοπός του συγκεκριμένου γραφήματος είναι να αποδείξει την ύπαρξη ή μη εποχικότητας του δείκτη.



**Σχήμα 3.2** Μέσες ημερήσιες τιμές δείκτη ERPI για το O<sub>3</sub>. Λάρισα, 2001-2013.

Συμπερασματικά από το **Σχήμα 3.2** γίνεται εύκολα αντιληπτό πως ο δείκτης παρουσιάζει εποχικότητα, έχει ανοδική πορεία από την Δευτέρα μέχρι την Κυριακή εκτός την Παρασκευή που έχει μια μικρή πτώση.

Στο ακόλουθο σχήμα καταγράφονται οι ετήσιες υπερβάσεις που κατέγραψε ο δείκτης ERPI κατά την περίοδο 2001 – 2013. Οι περιπτώσεις όπου ο δείκτης υπερβαίνει τις 50 μονάδες καταγράφονται ως υπερβάσεις.



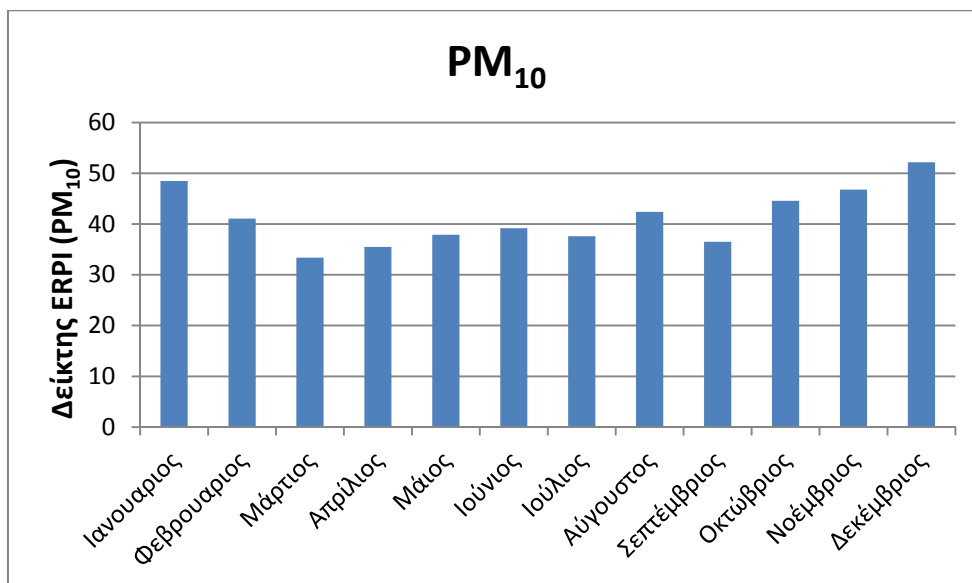
**Σχήμα 3.3** Υπερβάσεις του δείκτη ERPI για το O<sub>3</sub>. Λάρισα, 2001-2013.

Όπως παρατηρείται από το **Σχήμα 3.3** είχαμε υπερβάσεις κατά τα έτη 2001 (40) και 2007(1).

### **Σωματίδια PM<sub>10</sub>**

Στο ακόλουθο σχήμα αποτυπώνεται η συμπεριφορά του δείκτη ERPI για τα σωματίδια PM<sub>10</sub>, συναρτήσει του μέσου όρου των τιμών που παρουσιάζει ο δείκτης για κάθε μήνα στο διάστημα 2001 – 2013. Σκοπός του συγκεκριμένου γραφήματος είναι να αποδείξει την ύπαρξη ή μη εποχικότητας του δείκτη.

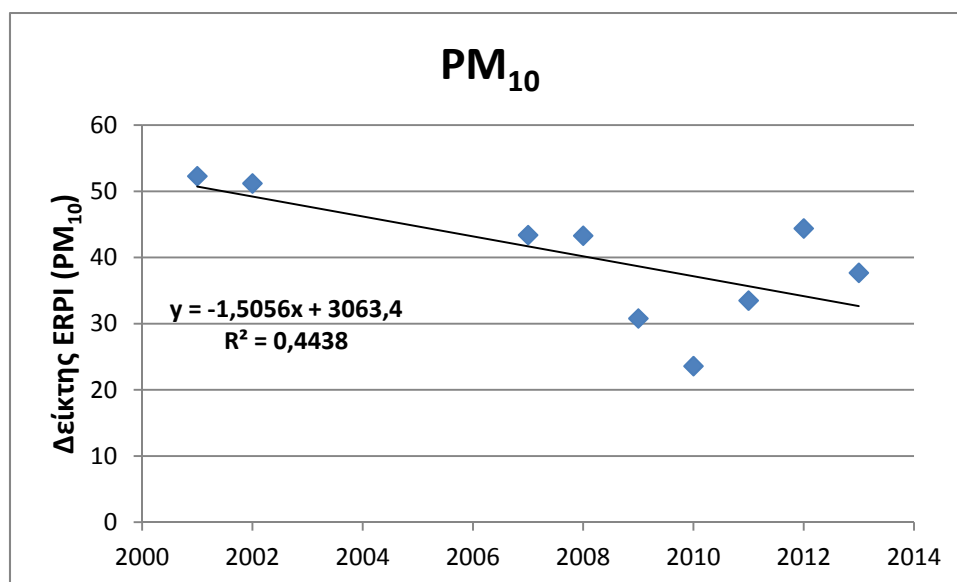




**Σχήμα 4.** Μέσες μηνιαίες τιμές δείκτη ERPI για το PM<sub>10</sub>. Λάρισα, 2001-2013.

Παρατηρείται από το **Σχήμα 4** μια σχετική σταθερότητα του δείκτη από τον Μάρτιο μέχρι και το μήνα Οκτώβριο όπου ξεκινάει μια ανοδική τάση του δείκτη με αποκορύφωμα τη μέγιστη τιμή του ERPI = 52,2 κατά το μήνα Δεκέμβριο.

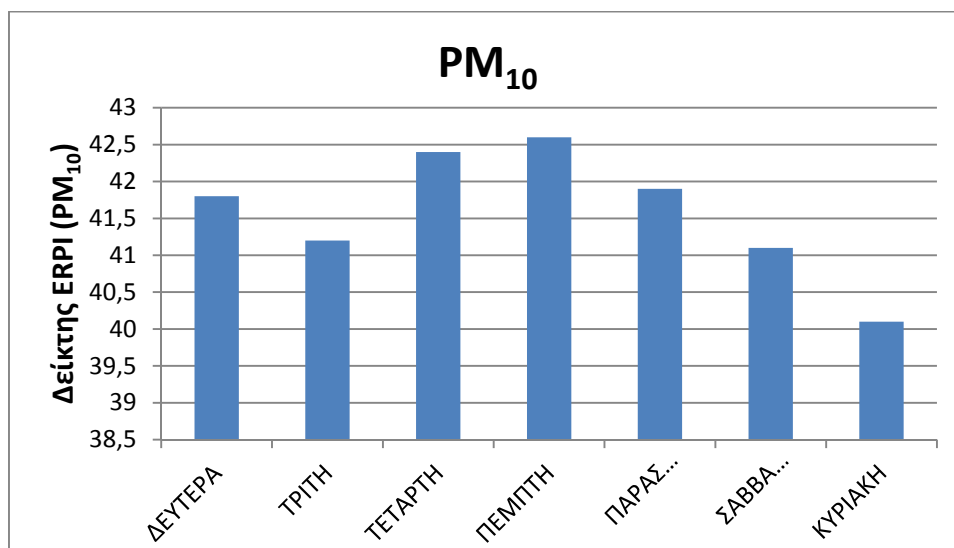
Στο ακόλουθο σχήμα αποτυπώνονται οι μέσες ετήσιες τιμές του δείκτη ERPI για κάθε έτος καθ' όλη τη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001 – 2013.



**Σχήμα 4.1** Μέσες ετήσιες τιμές δείκτη ERPI για το PM<sub>10</sub>. Λάρισα, 2001-2013.

Όπως φαίνεται από το **Σχήμα 4.1** ο δείκτης ERPI το 2001 εμφάνισε την υψηλότερη τιμή (ERPI = 52,3). Γενικά φαίνεται ότι στο σύνολο της εξεταζόμενης χρονικής περιόδου οι τιμές του δείκτη ERPI για το PM<sub>10</sub> εμφανίζουν μια καθοδική τάση. Συγκεκριμένα φαίνεται να μειώνεται κατά 1,5056 ανά έτος.

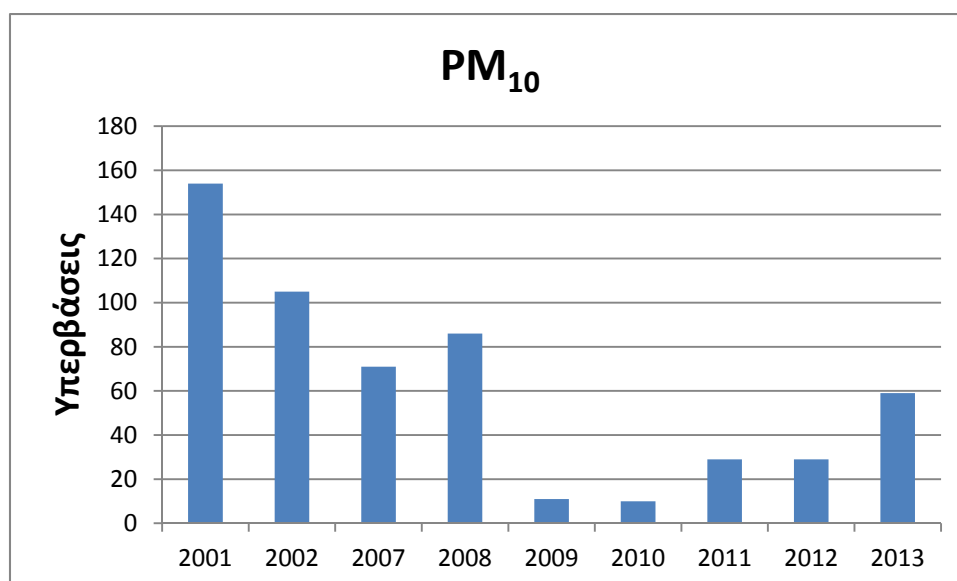
Στο ακόλουθο σχήμα αποτυπώνεται η συμπεριφορά του δείκτη ERPI για τα σωματίδια PM<sub>10</sub>, συναρτήσει του μέσου όρου των τιμών που παρουσιάζει ο δείκτης για κάθε ημέρα στο διάστημα 2001 – 2013. Σκοπός του συγκεκριμένου γραφήματος είναι να αποδείξει την ύπαρξη ή μη εποχικότητας του δείκτη.



Σχήμα 4.2 Μέσες ημερήσιες τιμές δείκτη ERPI για το PM<sub>10</sub>. Λάρισα, 2001-2013.

Συμπερασματικά από το Σχήμα 4.2 γίνεται εύκολα αντιληπτό πως ο δείκτης παρουσιάζει εποχικότητα, έχουμε υψηλές τιμές του ERPI από την Δευτέρα μέχρι την Παρασκευή ενώ το Σάββατο και Κυριακή οι τιμές μειώνονται.

Στο ακόλουθο σχήμα καταγράφονται οι ετήσιες υπερβάσεις που κατέγραψε ο δείκτης ERPI κατά την περίοδο 2001 – 2013. Οι περιπτώσεις όπου ο δείκτης υπερβαίνει τις 50 μονάδες καταγράφονται ως υπερβάσεις.

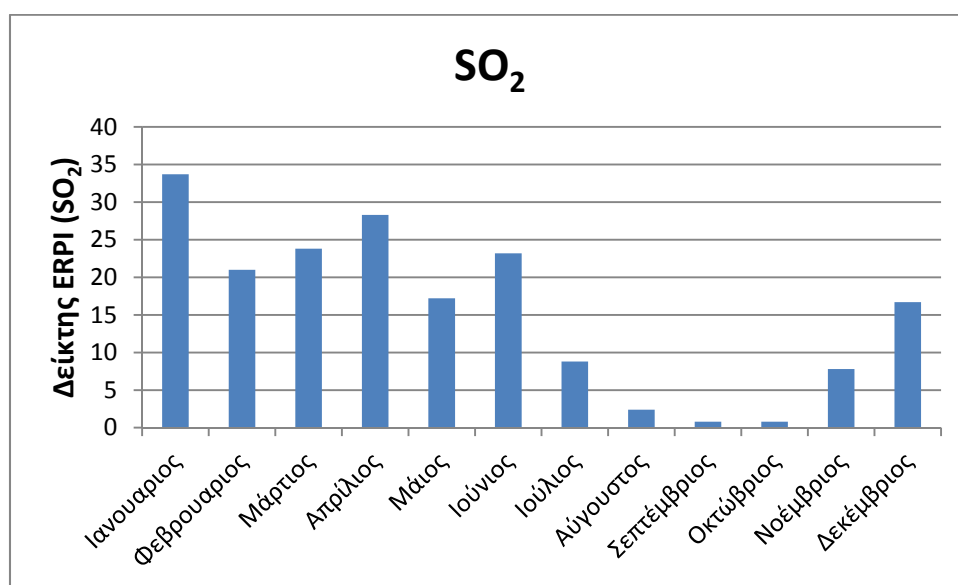


Σχήμα 4.3 Υπερβάσεις του δείκτη ERPI για το PM<sub>10</sub>. Λάρισα, 2001-2013.

Από το **Σχήμα 4.3** διαπιστώνεται πως η χρονιές με τις περισσότερες υπερβάσεις είναι τα έτη 2001, 2002 και 2008 με μέγιστη τιμή τις 154 υπερβάσεις (2001). Αντίθετα οι χρονιές με τις λιγότερες υπερβάσεις είναι το 2009 και 2010.

## Διοξείδιο του Θείου (SO<sub>2</sub>)

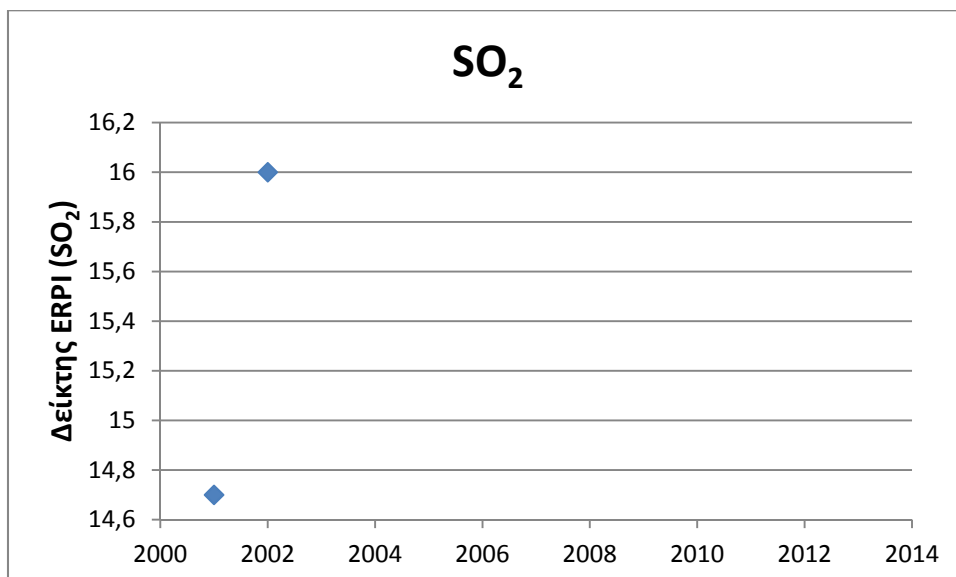
Στο ακόλουθο σχήμα αποτυπώνεται η συμπεριφορά του δείκτη ERPI για το διοξείδιο του Θείου, συναρτήσεως του μέσου όρου των τιμών που παρουσιάζει ο δείκτης για κάθε μήνα στο διάστημα 2001 – 2013. Σκοπός του συγκεκριμένου γραφήματος είναι να αποδείξει την ύπαρξη ή μη εποχικότητας του δείκτη.



**Σχήμα 5.** Μέσες μηνιαίες τιμές δείκτη ERPI για το SO<sub>2</sub>. Λάρισα, 2001-2013.

Παρατηρείται από το **Σχήμα 5** πτωτική τάση του δείκτη καθώς προχωράει ο χρόνος με τις μέγιστες τιμές του να παρουσιάζονται κατά τους πρώτους μήνες του χρόνου (ERPI=33,7 Ιανουάριο). Αντίθετα έχουμε πτώση στις τιμές του δείκτη κατά τους μήνες Αύγουστο, Σεπτέμβριο και Οκτώβριο.

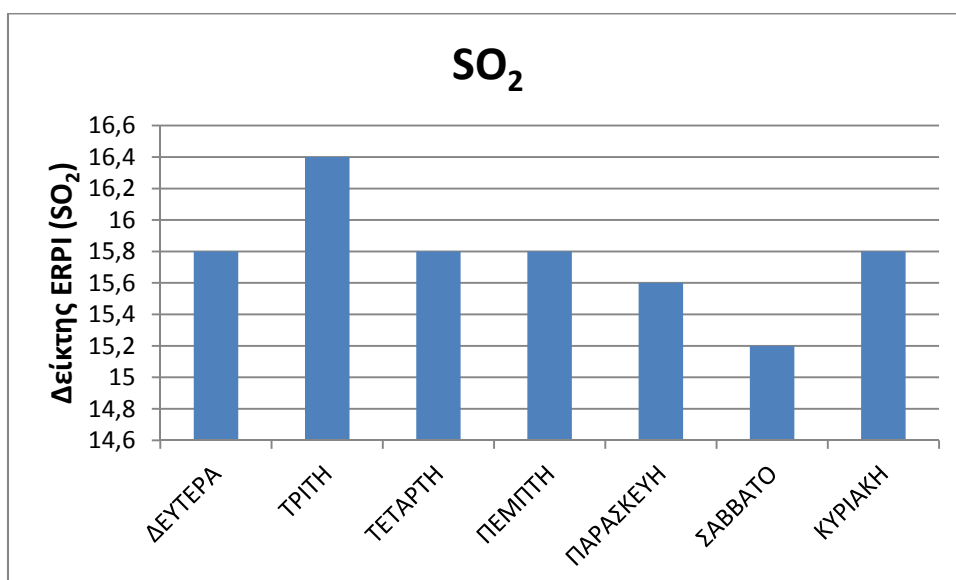
Στο ακόλουθο σχήμα αποτυπώνονται οι μέσες ετήσιες τιμές του δείκτη ERPI για κάθε έτος καθ' όλη τη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001 – 2013.



**Σχήμα 5.1** Μέσες ετήσιες τιμές δείκτη ERPI για το SO<sub>2</sub>. Λάρισα, 2001-2013.

Όπως φαίνεται και από το σχήμα ο δείκτης ERPI το 2002 εμφάνισε την υψηλότερη τιμή (ERPI = 16). Στη συνέχεια οι τιμές είναι μηδέν διότι από το 2003 και μέχρι το 2013 δεν είχαμε μετρήσεις για το διοξείδιο του Θείου.

Στο ακόλουθο σχήμα αποτυπώνεται η συμπεριφορά του δείκτη ERPI για το διοξείδιο του Θείου, συναρτήσει του μέσου όρου των τιμών που παρουσιάζει ο δείκτης για κάθε ημέρα στο διάστημα 2001 – 2013. Σκοπός του συγκεκριμένου γραφήματος είναι να αποδείξει την ύπαρξη ή μη εποχικότητας του δείκτη.

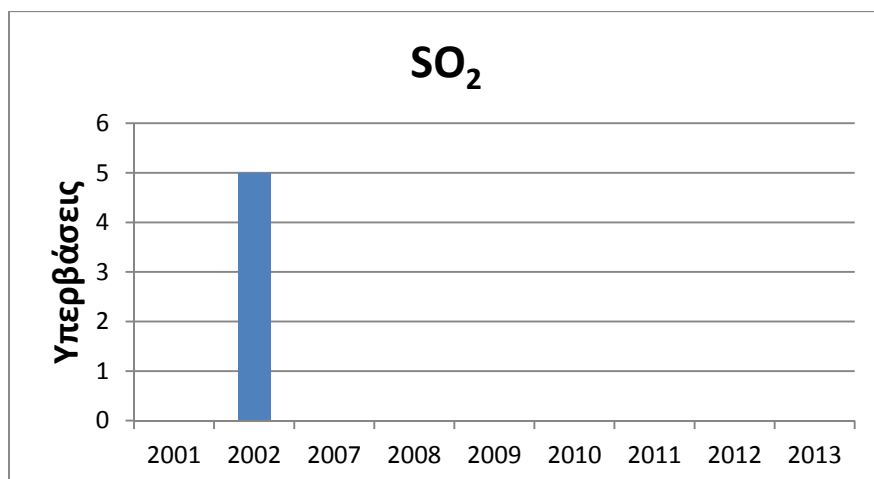


**Σχήμα 5.2** Μέσες ημερήσιες τιμές δείκτη ERPI για το SO<sub>2</sub>. Λάρισα, 2001-2013.

Από το **Σχήμα 5.2** γίνεται εύκολα αντιληπτό πως ο δείκτης δεν παρουσιάζει εποχικότητα, παρατηρώντας μόνο μια αύξηση του δείκτη ERPI την Τρίτη όπου

μετρήθηκε 16,4, όπως και μείωση το Σάββατο με τον δείκτη ERPI να μετρήθηκε 15,2.

Στο ακόλουθο σχήμα καταγράφονται οι ετήσιες υπερβάσεις που κατέγραψε ο δείκτης ERPI κατά την περίοδο 2001 – 2013. Οι περιπτώσεις όπου ο δείκτης υπερβαίνει τις 50 μονάδες καταγράφονται ως υπερβάσεις.

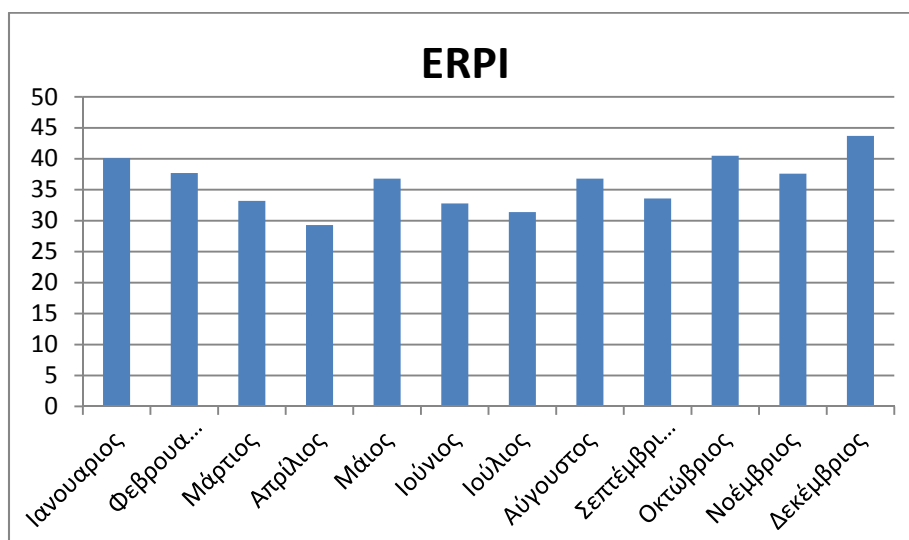


**Σχήμα 5.3** Υπερβάσεις του δείκτη ERPI για το SO<sub>2</sub>. Λάρισα, 2001-2013.

Όπως παρατηρείται από το **Σχήμα 5.3** είχαμε υπερβάσεις μόνο κατά το έτος 2002 (5).

## ERPI

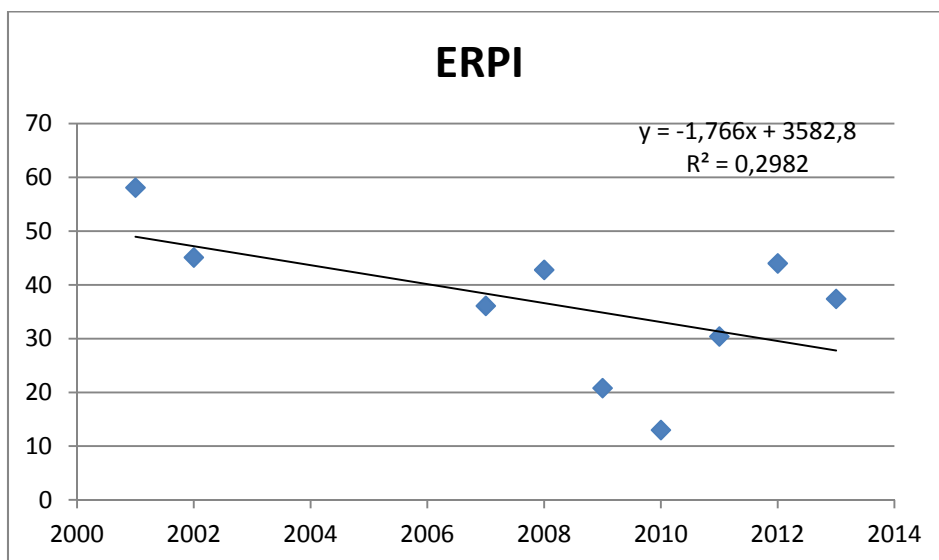
Παίρνοντας την μεγαλύτερη τιμή των ρύπων (CO,NO<sub>2</sub>,O<sub>3</sub>,PM10,SO<sub>2</sub>) κάθε μέρα αποτυπώνεται η συμπεριφορά του δείκτη ERPI, συναρτήσει του μέσου όρου των τιμών που παρουσιάζει ο δείκτης για κάθε μήνα στο διάστημα 2001 – 2013. Σκοπός του συγκεκριμένου γραφήματος είναι να αποδείξει την ύπαρξη ή μη εποχικότητας του δείκτη.



**Σχήμα 6.** Μέσες μηνιαίες τιμές δείκτη ERPI. Λάρισα, 2001-2013.

Παρατηρείται από το **Σχήμα 6** μια σχετική σταθερότητα του δείκτη από τον Μάρτιο μέχρι και το μήνα Σεπτέμβριο όπου ξεκινάει μια ανοδική τάση του δείκτη με αποκορύφωμα τη μέγιστη τιμή του ERPI = 43,7 κατά το μήνα Δεκέμβριο.

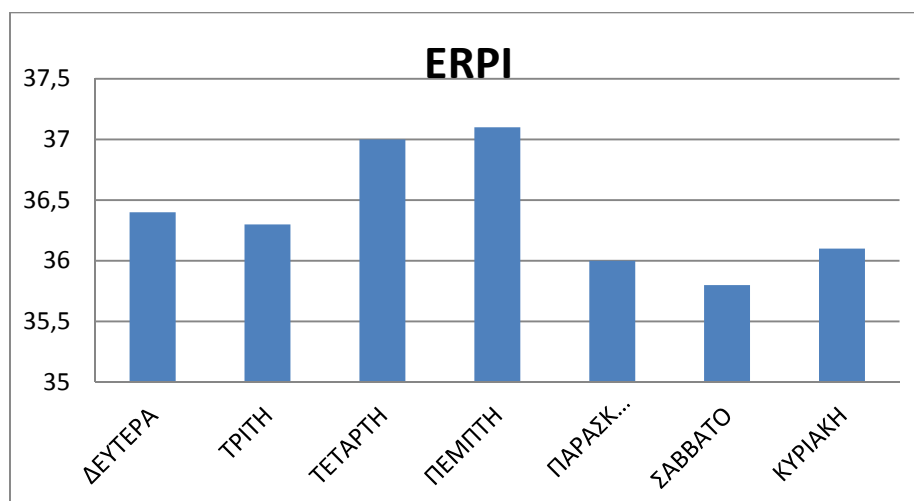
Στο ακόλουθο σχήμα αποτυπώνονται οι μέσες ετήσιες τιμές του δείκτη ERPI για κάθε έτος καθ' όλη τη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001 – 2013.



**Σχήμα 6.1** Μέσες ετήσιες τιμές δείκτη ERPI. Λάρισα, 2001-2013.

Όπως φαίνεται από το **Σχήμα 6.1** ο δείκτης ERPI το 2001 εμφάνισε την υψηλότερη τιμή (ERPI = 58,1). Γενικά φαίνεται ότι στο σύνολο της εξεταζόμενης χρονικής περιόδου οι τιμές του δείκτη ERPI εμφανίζουν μια καθοδική τάση. Συγκεκριμένα φαίνεται να μειώνεται κατά 1,766 ανά έτος.

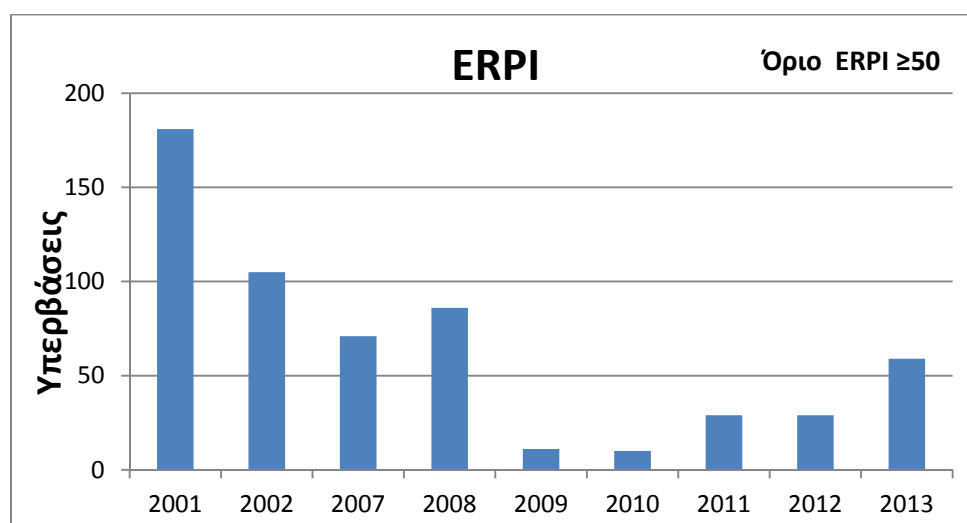
Στο ακόλουθο σχήμα αποτυπώνεται η συμπεριφορά του δείκτη ERPI, συναρτήσεως του μέσου όρου των τιμών που παρουσιάζει ο δείκτης για κάθε ημέρα στο διάστημα 2001 – 2013. Σκοπός του συγκεκριμένου γραφήματος είναι να αποδείξει την ύπαρξη ή μη εποχικότητας του δείκτη.



**Σχήμα 6.2** Μέσες ημερήσιες τιμές δείκτη ERPI για το PM<sub>10</sub>. Λάρισα, 2001-2013.

Από το **Σχήμα 6.2** γίνεται εύκολα αντιληπτό πως ο δείκτης δεν παρουσιάζει εποχικότητα, παρατηρώντας μόνο μια αύξηση του δείκτη ERPI την Τετάρτη και Πέμπτη όπου μετρήθηκε 37 και 37,1.

Στο ακόλουθο σχήμα καταγράφονται οι ετήσιες υπερβάσεις που κατέγραψε ο δείκτης ERPI κατά την περίοδο 2001 – 2013. Οι περιπτώσεις όπου ο δείκτης υπερβαίνει τις 50 μονάδες καταγράφονται ως υπερβάσεις.



**Σχήμα 6.3** Υπερβάσεις του δείκτη ERPI για το PM<sub>10</sub>. Λάρισα, 2001-2013.

Από το **Σχήμα 6.3** διαπιστώνεται πως η χρονιές με τις περισσότερες υπερβάσεις είναι τα έτη 2001, 2002 και 2008 με μέγιστη τιμή τις 181 υπερβάσεις (2001). Αντίθετα οι χρονιές με τις λιγότερες υπερβάσεις είναι το 2009 και 2010. Παρατηρούμε επίσης ότι οι υπερβάσεις του δείκτη ERPI διαμορφώνονται από τα σωματίδια PM<sub>10</sub>.

## ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα πλαίσια της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας αναλύθηκαν περιπτώσεις επεισοδίων μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα στη διάρκεια της περιόδου 2001-2013. Ειδικότερα, μελετάται η επίδρασή τους στη διαμόρφωση των επιπέδων συγκέντρωσης των  $PM_{10}$  στο σταθμό της Λάρισας.

Διαπιστώνεται ότι τα αιωρούμενα σωματίδια  $PM_{10}$  καθορίζουν τις τιμές του δείκτη ERPI. Επομένως μελετήθηκε η επίδραση των επεισοδίων μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα στην διαμόρφωση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων τη χρονική περίοδο 2001-2013. Τις ημέρες που καταγράφηκαν περιπτώσεις «εισβολής» σκόνης από τη Σαχάρα στον ελλαδικό χώρο, παρατηρήθηκε μεγάλη υπέρβαση του ορίου της ημερήσιας οριακής συγκέντρωσης των  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  που έχει καθοριστεί από την αντίστοιχη Ευρωπαϊκή οδηγία (1999/30/ΕΚ).

Επίσης η περιαστική περιοχή της Λάρισας αποτελεί βιομηχανική και αγροτική ζώνη στην οποία δραστηριοποιούνται δεκάδες εργοστασιακές και κτηνοτροφικές μονάδες. Μη πληρώντας, σε πολλές περιπτώσεις, τις κατάλληλες προϋποθέσεις λειτουργίας, επιβαρύνουν το ατμοσφαιρικό περιβάλλον της περιοχής, αυξάνοντας κυρίως τα επίπεδα του  $CO$ ,  $NO_2$  και των αιωρούμενων σωματιδίων, όπως διαπιστώθηκε και από την επεξεργασία των διαθέσιμων τιμών συγκέντρωσης του  $SO_2$ , του  $O_3$ , του  $NO_2$ , του  $CO$  και των αιωρούμενων σωματιδίων  $PM_{10}$ .

Παρόλα αυτά παρατηρώντας τα διαγράμματα για κάθε έτος καθ' όλη τη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001–2013 διαπιστώνουμε ότι οι ρύποι έχουν μια φθίνουσα πορεία. Αυτό οφείλεται στον εκσυγχρονισμό των αυτοκινήτων, των αγροτικών μηχανημάτων και των εργοστασιακών και βιομηχανικών μονάδων. Έτσι, παρατηρείται μια τάση ώστε οι τιμές των ατμοσφαιρικών ρύπων στην περιοχή της Λάρισας να βρίσκονται μέσα στα όρια που έχουν θεσπιστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Όλα τα παραπάνω οδηγούν στο γενικό συμπέρασμα ότι στη διάρκεια της περιόδου 2001- 2013, προοδευτικά παρατηρείται βελτίωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στην περιοχή της Λάρισας.

Τέλος να επισημάνουμε ότι για όλους τους ρύπους καθ' όλη την περίοδο που εξετάσαμε είχαμε κάποια διαστήματα που δεν είχαμε μετρήσεις από τον σταθμό, όπως για το Διοξείδιο του Θείου ( $SO_2$ ) που είχαμε μετρήσεις μόνο για τα έτη 2001 και 2002. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να έχουμε κάποια απόκλιση στα διαγράμματα αλλά τόσο μικρή ώστε να μην αλλάζει την γενική εικόνα.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] WWF Ελλάς, Αθήνα 2010 Αέρας και Ατμοσφαιρική Ρύπανση
- [2] Ormrod DP. Impact of trace element pollution on plants. In: Treshow M, ed. Air Pollution and Plant Life. Wiley, Chichester, 1984: 291-319.
- [3] ΥΠΕΧΩΔΕ, ΓΕΝ. Δ/ΝΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, Δ/ΝΣΗ ΕΑΡΘ, ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ, ΕΚΘΕΣΗ 2004 ΤΜΗΜΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΜΑΙΟΣ 2005
- [4] Ποσοτική Ανάλυση Οικοσυστημάτων, Παναγιώτης Δημητρακόπουλος, 2005
- [5] State of European Cities Report», 2007/EU, Regional Policy
- [6] Βασικές Αρχές Μετεωρολογίας Μια πρόσκληση στην ατμόσφαιρα G. Donald Ahrens, Εκδόσεις ΙΩΝ, 1999
- [7] Κακόσιμος Ε. & Ασσαέλ Μ. (εκδόσεις Τζιόλα 2008), Ανάλυση Επικινδυνότητας
- [8] Shaw IC, Chadwick J. Principles of Environmental Toxicology. Taylor & Francis, London, 1998
- [9] ΥΠΕΧΩΔΕ ΓΕΝ. Δ/ΝΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ Δ/ΝΣΗ ΕΑΡΘ
- [10] National Acid Precipitation Assessment Program. Interim Assessment. The Causes and Effects of Acid Deposition. Washington DC, 1987; Reuss JO, Johnson DW, eds. Acid Deposition and the Acidification of Soils and Waters. Springer-Verlag, New York, 1986; Steinberg CEW, Wright RF, eds. Acidification of Freshwater Ecosystems. Implications for the Future. Wiley & Sons Ltd. Chichester, 1994
- [11] Worldwatch Institute. Vital Signs. Worldwatch Institute Publications, New York, 2000.
- [12] Root TL, Price JT, Hall KR, et al. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. Nature, 2003, 424: 57-60.
- [13] Lippmann M. Health Effects of Ozone. In: Lippmann M, ed. Environmental Toxicants: Human Exposures and Their Health Effects. Van Nostrand Reinhold, New York, 1992: 465-519.
- [14] Rowland FS. Climate change and its consequences. Environment, 2001, 43: 29-34
- [15] ΙΩΑΝΝΗΣ Κ. ΚΑΛΑΒΡΟΥΖΙΩΤΗΣ (<http://www.kean.gr/member-stories/-/blogs/114372.jsessionid=98FD43E5AB068D77EAC346330A0B6141>)

[16] Myers N, ed. Deforestation Rates in Tropical Forests and Their Climatic Implications. Friends of the Earth, London, 1989; Kirschbaum MU. Forest growth and species distribution in a changing climate. *Tree Physiol*, 2000, 20: 309-322.

[17] Jarvis PG, ed. The Likely Impact if Rising CO<sub>2</sub> and Temperature on European Forests. Cambridge University Press, Cambridge, 1998; Pereira JS, Chaves MM. Impacts of climate change and elevated CO<sub>2</sub> on trees in regions with a Mediterranean type climate. In: Mohren GMJ, Kramer K,

[18] Hughes L. Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? *Trends Ecol Evol*, 2000, 15: 56-61; McCarty JP. Ecological consequences of recent climate change. *Conserv Biol*, 2001, 15: 320-331; Grabherr G, Gotfried M, Pauli H. Climate effects on mountain plants. *Nature*, 1994, 369: 448-450

[19] Sabate S, eds. Impact of Global Climate on Tree Physiology and Forest ecosystems. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1997: 213-223; Moreno JM, Oechel WC, eds. Global Change and Mediterranean-Type Ecosystems. Ecological Studies Vol. 117. Springer-Verlag, Berlin, 1995

[20] Newell RE, Reichle HG, Seiler W. Carbon monoxide and the burning earth. *Scientific American*, 1989, 262: 82-88

[21] Houghton RA. The future role of tropical forests in affecting the carbon dioxide concentration of the atmosphere. *Ambio*, 1990, 19: 204-209; Sedjo RA. Forests: A tool to moderate global warming? 1989, 31: 14-20

[22] ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΩΝ ΥΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΝΟΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΑΙΣΘΗΤΙΚΗΣ – ΚΟΣΜΗΤΟΛΟΓΙΑΣ, Η ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ  
ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΔΕΡΜΑ, ΚΥΡΙΑΚΗ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ ΜΗΤΣΟΠΟΥΛΟΥ  
ΛΟΥΛΟΥΔΗ

[23] Energy Information Administration. Department of Environment. Impacts of the Kyoto Protocol on U.S energy markets and economic activity. DOE/EIA 1998 ([www.eia.doe.gov/oiaf/kyoto/kyotorpt.html](http://www.eia.doe.gov/oiaf/kyoto/kyotorpt.html))

[24] Root TL, Price JT, Hall KR, Schneider SH, Rosenzweig C, Pounds JA. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 2003, 421:57-60; Schneider SH, Root TL, eds. Wildlife Responses to Climate Change: North American Case Studies. Island Press, Washington DC, 2002.

[25] Μουστρής Κ., 2008. Πρόγνωση ποιότητας της ατμόσφαιρας στην ευρύτερη περιοχή Αθηνών, με τη χρήση νευρωνικών δικτύων. Διδακτορική Διατριβή. Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ.

[26] Ι. Μποτετζάγιας, Περιβαλλοντικό Δίκαιο

[27] Η Περιβαλλοντική Πολιτική/ Δήμος Τσαντίλης και Κίμων Χατζημπίρος

[28] <http://www.ypeka.gr/Default.aspx>

[29] Siedentopf, H. and Hauschild, C. 1990. Europäische Integration und die öffentlichenVerwaltungen der Mitgliedstaaten. Die öffentliche Verwaltung 43, 11: 445-455

[30] ΕΘΝΙΚΟ ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΕΡΕΥΝΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΒΙΩΣΙΜΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ, ΡΥΠΑΝΣΗ ΚΑΙ ΘΟΡΥΒΟΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΧΑΙΔΑΡΙΟΥ ΜΙΑ ΠΡΩΤΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ, Μαρτιος 2010