



**ΑΝΟΙΚΤΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΚΥΠΡΟΥ**

## **ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

**Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα**

**ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

### **Μεταπτυχιακή Διατριβή**

**Διερεύνηση της Επίδρασης της Κλιματικής Αλλαγής στην Αέρια Ρύπανση και η Συμβολή του Αστικού Πρασίνου. Διερεύνηση για την Αττική με Επικέντρωση στον Δυτικό Τομέα**

**Κωνσταντόπουλος Ιωάννης**

**Επιβλέπων Καθηγητής  
Δρ. Μπιλάλης Δημήτριος**

**Σεπτέμβριος 2017**



# **Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου**

**Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών**

**Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών :  
Διαχείριση και Προστασία Περιβάλλοντος**

## **Μεταπτυχιακή Διατριβή**

**Διερεύνηση της Επίδρασης της Κλιματικής Αλλαγής στην Αέρια  
Ρύπανση και η Συμβολή του Αστικού Πρασίνου. Διερεύνηση για  
την Αττική με Επικέντρωση στον Δυτικό Τομέα**

**Κωνσταντόπουλος Ιωάννης**  
ΑΦΤ : 113000123

**Επιβλέπων Καθηγητής**  
**Δρ. Μπιλάλης Δημήτριος**

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για απόκτηση μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών στην Διαχείριση και Προστασία Περιβάλλοντος από τη Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου.

**Σεπτέμβριος 2017**



## Περίληψη

Σε αυτή την Μεταπτυχιακή Διατριβή, εξετάζεται η αμφίδρομη σχέση Κλιματικής Αλλαγής και Αέριας Ρύπανσης και οι συνέργιες μεταξύ ρυπαντών, μετεωρολογικών παραγόντων και καιρικών φαινομένων, στην υγεία του ανθρώπου, στα υλικά και την βλάστηση. Στο πειραματικό μέρος, χρησιμοποιούνται χρονοσειρές μετρήσεων ρυπαντών από το επίγειο δίκτυο παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην Αττική του Υπουργείου Περιβάλλοντος (ΥΠΕΝ / ΕΔΠΑΡ) για τον έλεγχο στατιστικής συσχέτισης μεταξύ διαφορετικών σταθμών, που καταγράφουν αέριους ρύπους στην περιοχή της Δυτικής Αττικής και σε όμορες περιοχές του κέντρου της Αθήνας και των δυτικών προαστίων.

Η διεθνής επιστημονική κοινότητα, έχει αποδεχθεί ότι οι κλιματικές εξάρσεις που παρατηρούνται μετά το δεύτερο μισό του 20ου αιώνα σε διάφορα σημεία του πλανήτη οφείλονται σχεδόν αποκλειστικά στην ανθρώπινη παρέμβαση. Η κύρια αιτία είναι οι εκλύσεις τεράστιων ποσοτήτων άνθρακα που μεταφέρθηκε από το υπέδαφος στην ατμόσφαιρα υπό την μορφή διοξειδίου του άνθρακα κυρίως, διαταράσσοντας φυσικές διαδικασίες που διατηρούν την ζωή στον πλανήτη. Πολλά φαινόμενα διάβρωσης, οξίνισης του νερού, τοξικότητας σε φυτικούς οργανισμούς και διαύρωσης υλικών, που καταγράφονται σε αστικές και περιαστικές περιοχές και σε φυσικά οικοσυστήματα, οφείλονται στην συσσώρευση ρυπαντών όπως το διοξείδιο του άνθρακα, τα οξείδια του αζώτου, η αμμωνία, και το όζον. Μετά το τέλος και του 19ου αιώνα, άρχισε σταδιακά να δημιουργείται το πλαίσιο για την αντιμετώπιση των παγκόσμιων προβλημάτων αέριας ρύπανσης. Η αιθαλομίχλη του Λονδίνου και το φωτοχημικό νέφος του Λος Άντζελες, ήταν αρκετά για να προβληματίσουν την ανθρωπότητα για την πορεία που είχε ακολουθήσει μέχρι εκείνη την στιγμή και το μέλλον που επιφυλάσσονταν.

Η Αθήνα είναι μία πόλη επιβαρυσμένη με αέρια ρύπανση. Από το 1984 και μετά, δημιουργήθηκε επίγειο δίκτυο για την παρακολούθηση των αέριων ρύπων, το οποίο σταδιακά αύξησε τους σταθμούς του και επεκτάθηκε και σε άλλες πόλεις. Μέσω της ιστοσελίδας του ΥΠΕΝ, είναι άμεσα προσβάσιμες και ανακτίσιμες όλες οι χρονοσειρές μετρήσεων αέριων ρύπων για τους σταθμούς που λειτουργούν έως σήμερα, μέσα στο πλαίσιο της πρόβλεψης από την ευρωπαϊκή νομοθεσία για δωρεάν και ελεύθερη διακίνηση της περιβαλλοντικής πληροφορίας. Ομοίως μέσω του ιστοτόπου είναι διαθέσιμες οι ετήσιες εκθέσεις αξιολόγησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην Αθήνα από το 2001 και μετά, στις οποίες γίνεται παρουσίαση αποτελεσμάτων κυρίως σε επίπεδο μέσων ετησίων τιμών και μέσων μηνιαίων σε επιλεγμένους σταθμούς.

Η μεθοδολογία του πειραματικού μέρους της Μεταπτυχιακής Διατριβής, περιλαμβάνει την επιλογή δώδεκα σταθμών από το δίκτυο του ΥΠΕΝ με επικέντρωση στην περιοχή του δυτικού τμήματος του Λεκανοπεδίου Αττικής. Οι μετρήσεις λήφθηκαν σε πρωτογενή μορφή, εξάχθηκαν και επεξεργάστηκαν σε επίπεδο μέσων ημερήσιων τιμών και μέσων μηνιαίων τιμών, για την περίοδο 1984 - 2010 (26 έτη). Έγινε στατιστική επεξεργασία και έλεγχος συσχέτισης μεταξύ παραμέτρων διαφορετικών σταθμών, με επίκεντρο τον σταθμό που λειτουργεί στην περιοχή Περιστερί της Δυτικής Αττικής, ο οποίος εκλήφθηκε και ως κεντρικό σημείο για την αξιολόγηση των διαθέσιμων δεδομένων.

Από την στατιστική επεξεργασία προέκυψαν μοντέλα που περιγράφουν σε ικανοποιητικό βαθμό συσχέτιση μεταξύ των σταθμών ( $R^2 > 0,700$ ). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα μοντέλα περιγράφουν λογικά την παρουσία των αέριων ρύπων στην περιοχή. Η ικανότητα περιγραφής και πρόβλεψης των τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής, αυξάνεται όσο πιο λεπτομερής είναι χρονοσειρά.

**Λέξεις κλειδιά :** Κλιματική Αλλαγή, Αέρια Ρύπανση, Δημόσια Υγεία, Αστικό Πράσινο, Πολυσυγγραμμικότητα, Μοντελοποίηση.

## Summary

In this postgraduate dissertation, the two-way relationship between Climate Change and Air Pollution is explored and synergies between pollutants, meteorological factors and weather phenomena, human health, materials and vegetation. In the experimental part, pollutant measurement time series are used by the Attica Environmental Monitoring Network of the Ministry of the Environment to test the statistical correlation between different stations that record air pollutants in the western Attica region and in adjacent areas of the center Athens and the western suburbs.

The international scientific community has accepted that the climatic eruptions observed since the second half of the 20th century on various parts of the globe are due almost exclusively to human intervention. The main cause is the releases of huge quantities of carbon transferred from the subsoil to the atmosphere in the form of carbon dioxide mainly, disrupting natural processes that keep life on the planet. Many corrosive, water-borne, plant-toxic and material-degradation effects occurring in urban and peri-urban areas and natural ecosystems are due to the accumulation of pollutants such as carbon dioxide, nitrogen oxides, ammonia, and ozone. After the end of the 19th century, the framework for tackling global gaseous pollution problems began gradually to be established. The smog of London and the photochemical cloud of Los Angeles were enough to trouble mankind for the course that had been going on until that moment and the future they were reserved for.

Athens is a city contaminated with gaseous pollution. Since 1984, a ground-based network for the monitoring of air pollutants has been created, which has gradually increased its stations and has been extended to other cities. Through the RIS website, all time series for measuring gaseous pollutants for stations currently operating within the framework of the provision of European law for free and free movement of environmental information is readily accessible and retrieved. Similarly, through the website, the annual air pollution assessment reports in Athens are available from 2001 onwards, in which results are presented mainly at the level of annual averages and monthly averages at selected stations.

The methodology of the experimental part of the Postgraduate Thesis includes the selection of twelve stations from the RIS network with a focus on the western part of the Attica Basin. The measurements were taken in primary form, extracted and processed at average daily and monthly average values for the period 1984-2010 (26 years). Statistical analysis and correlation control between different station parameters was carried out, focusing on the station operating in the Peristeri area of Western Attica, which was also considered as the focal point for evaluating the available data.

The statistical processing resulted in models that adequately describe the correlation between the stations ( $R^2 > 0,700$ ). The results showed that the models logically describe the presence of gaseous pollutants in the area. The capability of describing and predicting the values of the dependent variable increases as lean as the time series.

**Keywords :** Climate Change, Air Pollution, Public Health, Urban green, Multi-Collinearity Modeling.

## Ευχαριστίες

Η εκπόνηση αυτής της μεταπτυχιακής Διατριβής δεν θα ήταν δυνατή χωρίς την καθοδήγηση του επιβλέποντά μου Δρ. Μπιλάλη Δημήτρη.

Από την θέση του ως Καθηγητή στο Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών και ως Ακαδημαϊκού Συμβούλου της Σχολής Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου, μου παραχώρησε όλον τον απαραίτητο εξοπλισμό για την λήψη συμπληρωματικών μετρήσεων στο πεδίο και με καθοδήγησε στην μεθοδολογία προσέγγισης του θέματος και επεξεργασίας των αποτελεσμάτων.

Γι' αυτό και τον ευχαριστώ ιδιαίτερα για τη πολύτιμη βοήθεια και συμπαράσταση του.

Πάντα, κάθε επιπλέον βήμα που κάνουμε στη ζωή μας, οφείλεται και σε όσους μας βοήθησαν να κάνουμε τα πρώτα μας βήματα.

Αυτό το πόνημα αφιερώνεται στον εκλιπόντα αλλά πάντα παρόντα αγαπητό Δάσκαλο και Φίλο, Χαράλαμπο Κωστόπουλο, που σε εξαιρετικά δύσκολες στιγμές, μπορούσε να μεταδίδει Αγάπη και να Φωτίζει Θετικά κάθε σκοτεινή γωνιά της ψυχής μας.

Επίσης, την αφιερώνω σε εκείνον τον Δάσκαλο που, πριν από αρκετά χρόνια, στα ελάχιστα λεπτά ενός περίπατου, έδωσε μία παρότρυνση που κράτησε για πάντα.

Τέλος, αφιερώνεται στους Γονείς μου, στους ανθρώπους που πάντα θα αγαπάμε και θα μας αγαπούν, ακόμα και όταν δεν είναι μαζί μας.

Κωνσταντόπουλος Γιάννης

*«ἐὰν μὴ ἔλπηται ἀνέλπιστον οὐκ ἐξευρήσει, ἀνεξερεύνητον ἔὸν καὶ ἄπορον»*

(Αν δεν ελπίζεις, δεν θα βρεις το ανέλπιστο, που είναι....)

***Ηράκλειτος ο Εφέσιος***

544 – 484 π.Χ.

ο «σκοτεινός» προσωκρατικός φιλόσοφος

# Περιεχόμενα

<b>ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ : Περιγραφή του Θέματος</b>	
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Εισαγωγή</b>	
1.1. Γενικά	σελ. 1
1.2. Καταγραφή του Προβλήματος	σελ. 2
1.3. Σημασία και Αναγκαιότητα της Μελέτης	σελ. 6
1.4. Σκοποί και Στόχοι	σελ. 7
1.5. Διασαφηνίσεις - Προσδιορισμός και Διατύπωση Κεντρικών Εννοιών	σελ. 8
<b>ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ : Βιβλιογραφική Ανασκόπηση</b>	
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Το Κλίμα ως Παράγοντας για την Ζωή</b>	
2.1. Διαμόρφωση και Χαρακτηριστικά του Κλίματος	σελ. 9
2.1.1. Η Ηλιακή Ακτινοβολία	σελ. 9
2.1.2. Η Ατμόσφαιρα	σελ. 14
2.1.3. Τα Συστατικά Στοιχεία της Ατμόσφαιρας	σελ. 20
2.1.3.1. Το Διοξείδιο του Άνθρακα (CO <sub>2</sub> )	σελ. 20
2.1.3.2. Το Όζον (O <sub>3</sub> )	σελ. 21
2.1.3.3. Το Οξυγόνο (O <sub>2</sub> )	σελ. 22
2.1.3.4. Το Άζωτο (N <sub>2</sub> )	σελ. 22
2.1.3.5. Το Νερό / Υδρατμοί	σελ. 23
2.2. Το Κλίμα	σελ. 23
2.2.1. Βασικοί Ορισμοί	σελ. 23
α. Μετεωρολογικά Φαινόμενα	
β. Κλίμα	
γ. Καιρός	
2.2.2. Η Διαμόρφωση του Κλίματος	σελ. 23
2.2.3. Γενικά Στοιχεία για τα Συστήματα Κλιματικών και Βιοκλιματικών Κατατάξεων	σελ. 25
2.2.3.1. Κλιματική κατάταξη κατά Korppen	σελ. 25
2.2.3.2. Κλιματική κατάταξη κατά Thornthwaite	σελ. 26
2.2.3.3. Συστήματα Βιοκλιματικής Κατάταξης	σελ. 26
2.4. Το Κλίμα της Ελλάδας	σελ. 28
2.5. Το Κλίμα της Αττικής	σελ. 30
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Η Ατμοσφαιρική Ρύπανση</b>	
3.1. Γενικά Στοιχεία για την Ατμοσφαιρική Ρύπανση	σελ. 32
3.1.1. Η Έννοια της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης	σελ. 32
3.1.2. Προέλευση των Ατμοσφαιρικών Ρύπων	σελ. 33
3.1.3. Οι Σημαντικότεροι Ατμοσφαιρικοί Ρύποι	σελ. 34
3.1.3.1. Η περίπτωση του Διοξειδίου του Άνθρακα (CO <sub>2</sub> )	σελ. 36
3.1.3.2. Το Μονοξείδιο του Άνθρακα (CO)	σελ. 40

3.1.3.3.	Το Διοξείδιο του Θείου (SO <sub>2</sub> ) και άλλες Ενώσεις του	σελ. 40
3.1.3.4.	Τα Οξείδια και οι Ενώσεις του Αζώτου (NO, N <sub>2</sub> O, NO <sub>2</sub> )	σελ. 41
3.1.3.5.	Το Όζον (O <sub>3</sub> ) της Τροπόσφαιρας	σελ. 41
3.1.3.6.	Τα Αιωρούμενα Σωματίδια (PM <sub>10</sub> και PM <sub>2,5</sub> )	σελ. 42
3.1.3.7.	Διάφορες Οργανικές και Ανόργανες Χημικές Ενώσεις και Στοιχεία	σελ. 45
3.1.3.8.	Ο Μόλυβδος (Pb)	σελ. 46
3.1.3.9.	Το Υδροφθόριο (HF)	σελ. 46
3.1.3.10.	Το Αιθυλένιο (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	σελ. 46
3.1.3.11.	Το Νιτρικό-περόξυ-ακετύλιο [CH <sub>3</sub> C(O)OONO <sub>2</sub> ]	σελ. 46
3.1.3.12.	Το Βενζόλιο (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	σελ. 47
3.1.3.13.	Άλλα Μέταλλα [Αρσενικό (As), Κάδμιο (Cd) και Νικέλιο (Ni) ]	σελ. 47
3.2.	Σύγχρονα Περιβαλλοντικά Προβλήματα με Τοπικό και Ευρύτερο ενδιαφέρον που οφείλονται στην Ατμοσφαιρική Ρύπανση	σελ. 47
3.2.1.	Η Όξινη Βροχή	σελ. 48
3.2.2.	Η Μείωση του Όζοντος της Στρατόσφαιρας	σελ. 49
3.2.3.	Το Φωτοχημικό Νέφος	σελ. 50
3.2.4.	Το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου	σελ. 51
3.3.	Η Συμπεριφορά των Αέριων Ρύπων	σελ. 53
3.4.	Η Παρακολούθηση Αέριας Ρύπανσης στην Ελλάδα	σελ. 56
3.5.	Η Αέρια Ρύπανση στην Αττική	σελ. 57
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Κλιματική Αλλαγή και Ατμοσφαιρική Ρύπανση</b>		
4.1.	Η Συζήτηση για την Κλιματική Αλλαγή	σελ. 61
4.2.	Εκτιμώμενες Επιπτώσεις και Στόχοι	σελ. 64
4.3.	Συνέργεια Κλιματικής Αλλαγής και Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης	σελ. 67
4.3.1.	Επιδράσεις σε Βιοτικούς Παράγοντες	σελ. 68
4.3.2.	Επιδράσεις σε Αβιοτικούς Παράγοντες	σελ. 71
4.3.3.	Επιδράσεις στη Δημόσια Υγεία και Ασφάλεια	σελ. 73
4.4.	Περιβαλλοντική Μοντελοποίηση	σελ. 77
<b>ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ : Πειραματική Προσέγγιση</b>		
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : Μεθοδολογία</b>		
5.1.	Εισαγωγή	σελ. 79
5.1.1.	Περιοχή Μελέτης	σελ. 81
5.1.2.	Ερευνητικά Ερωτήματα	σελ. 82
5.2.	Υλικά και Μέθοδοι	σελ. 83
5.2.1.	Δειγματοληψία και Μεθοδολογία Επεξεργασίας	σελ. 83
5.2.2.	Στατιστικά Εργαλεία	σελ. 86
5.2.3.	Το Πρόβλημα της Συγγραμμικότητας	σελ. 87
5.2.4.	Ερμηνεία των Residuals και ο ρόλος του N	σελ. 89
5.3.	Αποτελέσματα	σελ. 91
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : Ανάλυση Αποτελεσμάτων</b>		
6.1.	Ανάλυση	σελ. 119
6.2.	Αξιολόγηση -Συμπεράσματα	σελ. 120
6.3.	Προτάσεις	σελ. 121

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

Ξενόγλωσση

σελ. 123

Ελληνόγλωσση

σελ. 133

Ιστότοποι

σελ. 137

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ**

1. Σύνοψη Νομοθεσίας για την Αέρια Ρύπανση στην Ελλάδα

σελ. 138

2. Ευρετήριο Εικόνων

σελ. 142

3. Ευρετήριο Πινάκων

σελ. 144

4. Ευρετήριο Διαγραμμάτων

σελ. 146

5. Ακρωνύμια

σελ. 148

7. Όρια Τιμών Ατμοσφαιρικών Ρύπων

σελ. 149



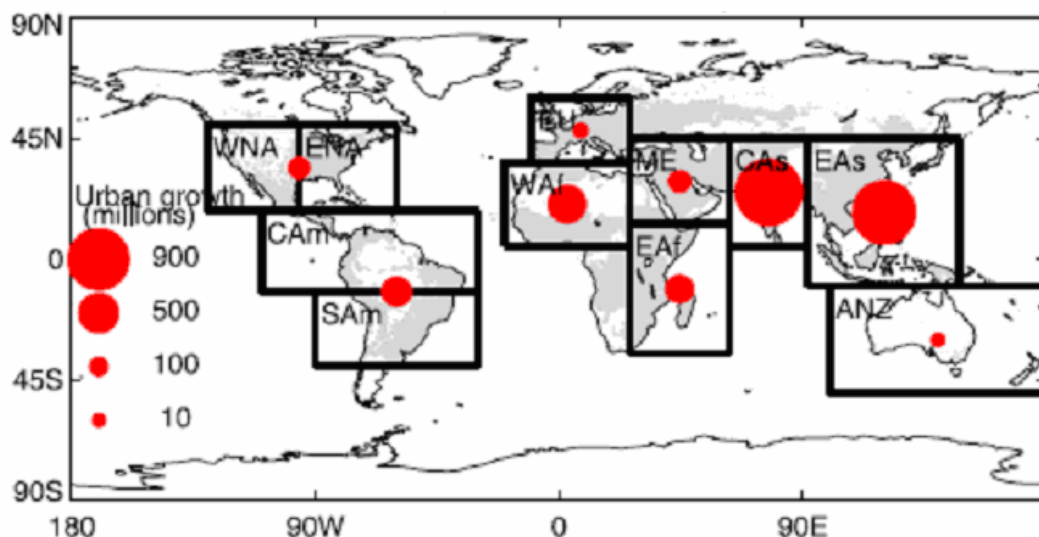
# Κεφάλαιο 1

## Εισαγωγή

### 1.1 Γενικά

Ο άνθρωπος (*Homo sapiens sapiens*) ανέπτυξε διαχρονικά επιστήμες και τεχνολογία που του επέτρεψαν να παρεμβαίνει και να προκαλεί αλλαγές στο περιβάλλον του, σε τέτοιο βαθμό ώστε να το μεταβάλει πλήρως. Όμως, η δημιουργικότητα και η επιθυμία για γνώση και οικονομική ανάπτυξη, δεν του επέτρεψαν και να προβλέπει έγκαιρα τις επιπτώσεις τις οποίες ο ίδιος μετά θα κληθεί να αντιμετωπίσει.

Το σημαντικότερο και πιο εμφανές ίσως επίτευγμα, που συνοψίζει όλη την εφευρετικότητα του ανθρώπινου είδους, είναι τα σύγχρονα τεράστια αστικά κέντρα όπου οι παρεμβάσεις επηρεάζουν ποιοτικά το έδαφος, το νερό και τον αέρα (Beltman et al., 2013). Εκτιμάται ότι το 6000 π.Χ. ο ανθρώπινος πληθυσμός ήταν μόλις  $20 \times 10^6$  άτομα, το 1850 ήταν περίπου  $1 \times 10^9$  άτομα, μόλις 70 χρόνια μετά είχε διπλασιασθεί, ενώ στις αρχές της δεκαετίας του 1980' έφτανε τα  $4,5 \times 10^9$  άτομα. Σήμερα, ο ανθρώπινος πληθυσμός ξεπερνάει τα 7 δις και το 50% κατοικεί σε μεγαλουπόλεις με πληθυσμούς από  $500 \times 10^3$  έως  $25 \times 10^6$  κατοίκους. Οι προβλέψεις, εφ' όσον διατηρηθούν οι ίδιοι ρυθμοί αστικοποίησης, είναι ότι μέχρι το 2050 το 70% των ανθρώπων θα κατοικεί σε μεγάλες πόλεις (Mc Carthy et al., 2010 : Καραμπουρνιώτης, 2003 : Δούση, 2017).



**Εικόνα 1.** Η Εκτιμώμενη εξέλιξη των αστικών πληθυσμών έως το 2050 (Πηγή : Mc Carthy et al., 2010)

Έχει υπολογιστεί ότι καθημερινά, κάθε δύο ώρες, ο πληθυσμός του πλανήτη αυξάνεται κατά  $20 \times 10^3$  ανθρώπους, ενώ ετησίως εκλύονται στην ατμόσφαιρα  $5 \times 10^6$  τόνοι  $\text{CO}_2$ , κυρίως προερχόμενοι από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Σε σύγκριση με τα δεδομένα από την προβιομηχανική εποχή, η ποσότητα του  $\text{CO}_2$  στην ατμόσφαιρα αυξήθηκε κατά 70% μόνο στην περίοδο 1970 - 2004. Η ανθρωπογενής αύξηση του  $\text{CO}_2$  στην ατμόσφαιρα θεωρείται βέβαια ότι ευθύνεται για τα περισσότερα περιβαλλοντικά προβλήματα της εποχής μας (Καραμπουρνιώτης, 2003 : Mc Carthy et al., 2010 :Αριανούτσου Γιαννίτσας και Κουμπλή, 2003 : I.P.C.C., 2007<sup>a</sup>, 2007<sup>b</sup>).

Η αστικοποίηση (urbanization) είναι ένα παλιό φαινόμενο και ήδη βρισκόμαστε στην εποχή ωρίμανσής του. Ο παράγοντας τεχνολογία και ιδιαίτερα οι μηχανές εσωτερικής καύσης για την παραγωγή θερμικής και κινητικής ενέργειας με την χρήση ορυκτών καυσίμων κυρίως, είναι το στοιχείο που οδήγησε τον τεχνολογικό μας πολιτισμό στο σημείο να επιδρά αρνητικά στο φυσικό και στο αστικό περιβάλλον.

Ιδιαίτερα, κατά την πρώτη βιομηχανική επανάσταση, τον 18<sup>ο</sup> - 19<sup>ο</sup> αιώνα, άρχισαν να εμφανίζονται έντονα στις πόλεις τα σημάδια της χρήσης του υπεδάφιου και επιφανειακού άνθρακα. Αργότερα, χαρακτηριστικές έμειναν οι εικόνες της αιθαλομίχλης του Λονδίνου και του φωτοχημικού νέφους του Λος Άντζελες, που έχουν σημαδέψει την ιστορία της ανθρωπότητας. Το σημείο έναρξης για την εμφάνιση της ρύπανσης στον σύγχρονο τεχνολογικό πολιτισμό, θεωρείται το έτος 1880 που έχει περάσει στην ιστορία της ανθρωπότητας ως το χρονικό σημείο που άρχισε η καταγραφή της εντατικής χρήσης των γαιανθράκων (Μελάς, 2007: Ζάνης, 2014 : Δούση, 2017).

Η Αέρια Ρύπανση που προκλήθηκε από την αλόγιστη χρήση των ορυκτών καυσίμων, θεωρείται ότι είναι και η αιτία εμφάνισης της Κλιματικής Αλλαγής, με την έννοια των ανθρωπογενών επιδράσεων στην ατμόσφαιρα. Και φαίνεται ότι αυτά τα δύο προβλήματα, δηλαδή η Αέρια Ρύπανση και η Κλιματική Αλλαγή, θα πορεύονται μαζί, όσο οι ανθρώπινες κοινωνίες δεν αποφασίζουν να αναπροσαρμόσουν οριστικά τον τρόπο και τις στρατηγικές διαχείρισης και χρήσης των ορυκτών πόρων και της ενέργειας, με μία λογική αειφορίας.

Επομένως, είμαστε τραγικοί πρωταγωνιστές σε έναν φαύλο κύκλο φαινομένων, που το ένα τροφοδοτεί το άλλο, με επιπτώσεις στην ποιότητα και τα χαρακτηριστικά της βιόσφαιρας, της ατμόσφαιρας, της υδρόσφαιρας και της λιθόσφαιρας. Και φυσικά, το ζητούμενο είναι πως θα σπάσει αυτός ο κύκλος και πως θα μεταμορφωθεί σε πολιτικές βιώσιμης ανάπτυξης, φιλικές για την ομαλή συνέχιση της ζωής στον Πλανήτη μας.

## **1.2. Καταγραφή του Προβλήματος**

Η Κλιματική Αλλαγή (Climate Change) είναι ένα παγκόσμιο πρόβλημα που έχει κινητοποιήσει πληθώρα επιστημονικών φορέων και κυβερνήσεων. Η αιτία είναι η αέρια ρύπανση (Air Pollution) που έχει τοπικό και υπερτοπικό χαρακτήρα. Στα μεγάλα αστικά και βιομηχανικά κέντρα, η αέρια ρύπανση επηρεάζει δραματικά την ποιότητα ζωής των κατοίκων. Επιπρόσθετα, είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει κάθε είδος

βλάστησης, σε τεχνητό ή φυσικό περιβάλλον (Bernard et al., 2001 : Moriarty and Honnery, 2008).

Η σχέση μετεωρολογικών φαινομένων - κλίματος - αέριων ρύπων βασίζεται σε διαδοχικές καταστάσεις. Η πηγή ενέργειας για τον πλανήτη μας είναι η ηλιακή ακτινοβολία και τα αποτελέσματα κατά σειρά είναι, τα μετεωρολογικά φαινόμενα, το κλίμα, ο καιρός και η συνέργεια με τους ρύπους, με τελικό αποδέκτη τα βιοτικά και αβιοτικά συστήματα.

Η εισερχόμενη στην ατμόσφαιρα ηλιακή ακτινοβολία, δημιουργεί θερμοκρασιακές διαφορές που κινητοποιούν τις αέριες μάζες και το νερό σε όλες τις μορφές του και προκαλεί φυσικοχημικές μεταβολές στην ανώτερη και κατώτερη ατμόσφαιρα. Αυτές οι συνθήκες ανατροφοδοτούν μία συνεχή κίνηση που παρασύρει και επηρεάζει ποιοτικά και ποσοτικά τους αέριους ρύπους (Odum, 1971 : Μελάς, 2007 : Κατσαφάδος και Μαυροματίδης, 2010).

Οι αέριοι ρύποι με την σειρά τους, λειτουργώντας στον αντιδραστήριο χώρο της ατμόσφαιρας, επηρεάζουν αναδραστικά τα ποιοτικά και λειτουργικά της χαρακτηριστικά. Η αμφίδρομη σχέση της κλιματικής αλλαγής και της ποιότητας του αέρα είναι ένα από τα μεγάλα σημερινά επιστημονικά ζητούμενα (Bernard et al., 2001 : Μελάς, 2007 : Ζάνης, 2014).

Είναι γνωστό ότι οι αέριοι ρύποι, υποκείμενοι στις ατμοσφαιρικές διαταραχές, μεταφέρονται και διασπείρονται πέρα από το σημείο όπου δημιουργούνται και εκλύονται. Η κλιματική αλλαγή επίσης, δηλαδή οι διαταραχές στις μέχρι σήμερα στατιστικά επαληθευμένες για μεγάλα χρονικά διαστήματα κλιματικές συνθήκες για τον πλανήτη, έχει προσδιορισθεί ως ο υπ' αριθμόν ένα κίνδυνος για τα επόμενα 100 χρόνια, καθώς εκτιμάται ότι θα επηρεάσει σχεδόν όλες τις παραμέτρους των ανθρώπινων δραστηριοτήτων και περιβαλλοντικών φαινομένων. Το κλίμα είναι βασικός παράγοντας, μαζί με την γεωμορφολογία, για την εξάπλωση των ζωντανών οργανισμών και την διατήρηση και εξέλιξη της ζωής (Αριανούτσου, Γιαννίτσαρος και Κουμπλή, 2003 : Ζάνης, 2014 : Bernard et al., 2001 : Henneman et al., 2016).

Ο συνδυασμός των φαινομένων που προκαλούν την κλιματική αλλαγή και την αέρια ρύπανση λειτουργούν αθροιστικά, επηρεάζοντας το φυσικό περιβάλλον και τον άνθρωπο, που αρνείται να παραδεχτεί ότι είναι αναπόσπαστο μέρος του. Μεταβολές σε σημαντικές κλιματικές παραμέτρους (μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες, αριθμός των θερμών, ψυχρών και τροπικών ημερών μέσα στο έτος, ύψος, ένταση η περιοδικότητα των βροχοπτώσεων και γενικά το πρότυπο υετού για μία περιοχή, επικρατούντες άνεμοι, νέφωση) μπορεί να μεταβληθούν σε μέσο-βραχυπρόθεσμη βάση, για πολλές περιοχές του πλανήτη μας με δυσμενείς επιπτώσεις (WHO, 1999 : Greenpeace, 2006 : I.P.C.C., 2014).

Εκτιμάται ότι οι τάσεις μεταβολών στα μετεωρολογικά φαινόμενα και τις κλιματικές συνθήκες, θα επηρεάσουν τα πρότυπα διασποράς και τους μετασχηματισμούς των ρύπων ποιοτικά και ποσοτικά (Bernard et al., 2001).

Σήμερα, η επιστημονική κοινότητα, έχει κατά ένα μεγάλο μέρος της αποδεχτεί την άποψη ότι η κλιματική αλλαγή ως σύγχρονο φαινόμενο, είναι αποτέλεσμα κυρίως ανθρωπογενούς αιτιολογίας. Οι αμφισβητίες της κλιματικής αλλαγής υποστηρίζουν το αντίθετο και ότι όλα όσα παρατηρούνται εντάσσονται στην φυσική εξελικτική συνέχειας του κλίματος υπό την αλλαγή της δραστηριότητας του ηλίου. Όμως, η έκθεση της I.P.C.C. που δημοσιεύθηκε το 2014, κατηγορηματικά σχεδόν, απορρίπτει κάθε άλλο ενδεχόμενο και καταδεικνύει ως αποκλειστικά υπεύθυνο για την υπερθέρμανση του πλανήτη και τα επακόλουθα φαινόμενα, τον άνθρωπο (Capstick and Pidgeon, 2013 : I.P.C.C., 2014 : Δούση, 2017).

Θεωρείται πλέον σχεδόν βέβαιο, ότι τα αέρια και τα σωματίδια που προέρχονται από βιομηχανική, βιοτεχνική και οικιακή δραστηριότητα, από τον στόλο των αυτοκινήτων, από περιβαλλοντικές καταστροφές και από καταναλωτικά είδη, είναι υπεύθυνα για τα φαινόμενα που εξελίσσονται στην ατμόσφαιρα και προκαλούν μία συνθήκη μεταβολών στο κλίμα, συνολική για τον πλανήτη (Odum, 1971 : Ζάνης, 2014 : I.P.C.C., 2007<sup>a</sup>, 2014 : Δούση, 2017).

Οι αέριοι ρύποι, είτε στην πρωτογενή είτε στην δευτερογενή μορφή τους, προκαλούν μία ποικιλία προβλημάτων στην ατμόσφαιρα και στην έκφραση των κλιματικών φαινομένων και του καιρού στον έμβιο κόσμο (Καψανάκη και άλλοι, 1997 : Μελάς, 2007 : Ζάνης, 2014).

Παρ' ότι υπάρχει μία μεγάλη γκάμα ανθρωπογενούς προέλευσης ρύπων στην ατμόσφαιρα, η επιστημονική κοινότητα επικεντρώνεται κυρίως στο διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), στο όζον (O<sub>3</sub>), στο υποξείδιο του αζώτου (N<sub>2</sub>O), στο μονοξείδιο και το διοξείδιο του αζώτου (NO, NO<sub>2</sub>) στα αιωρούμενα σωματίδια (PM<sub>10</sub> και PM<sub>2.5</sub>) και στα οξείδια του θείου (SO<sub>x</sub>), γιατί ευθύνονται για έναν μεγάλο αριθμό πρωτογενών και δευτερογενών προβλημάτων (Odum, 1971 : Μελάς, 2007 : Καραμπουρνιώτης, 2003 : Ζανής, 2014 : Δούση, 2017).

Η τάσεις κλιματικής αλλαγής που οφείλονται στην ρύπανση της ατμόσφαιρας, εντοπίστηκαν σταδιακά από την αρχή του προηγούμενου αιώνα, και από την δεκαετία του 1960' και μετά, άρχισαν να ωριμάζουν οι συνθήκες για την σοβαρή αντιμετώπιση των φαινομένων, καθώς, καταγράφονταν ήδη οι ποσότητες του τεχνητά εκλυόμενου διοξειδίου του άνθρακα. Ομοίως, μετά το 1970, άρχισε να γίνεται κοινώς παραδεκτή η μείωση του πάχους του στρώματος όζοντος της στρατόσφαιρας και να καταγράφονται συστηματικά, τα προβλήματα από διάφορες μορφές ρύπων, στο έδαφος, στο νερό και στα οικοσυστήματα (Lovelock, 1971).

Μετά την υιοθέτηση του όρου "Αειφορία" μέσα από την Έκθεση Brundtland του ΟΗΕ, το 1987, άρχισε και ουσιαστικά η προσπάθεια για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής μέσω της μείωσης των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Λίγο μετά, το 1988, ιδρύθηκε η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (I.P.C.C.), προκειμένου να παρακολουθεί την μεταβολή του CO<sub>2</sub> και των άλλων αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα και ακολούθησαν νέες διεθνείς συμβάσεις και στοχοθέτηση για την μείωση των εκλυόμενων ρύπων (Δούση, 2017).

Σήμερα, είναι αποδεκτό από το μεγαλύτερο μέρος των κρατών του κόσμου, με εξαίρεση, ίσως εν μέρει, των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής όπου καταναλώνεται το 30% της παγκοσμίως διαθέσιμης ενέργειας από ορυκτούς πόρους, ότι η κλιματική αλλαγή είναι ένα εξελισσόμενο γεγονός, ανθρωπογενούς αιτιολογίας, που ευθύνεται για την αύξηση της συχνότητας και της έντασης, καιρικών φαινομένων και φυσικών μεταβολών και καταστροφών όπως είναι η ερημοποίηση των εδαφών, και η άνοδος της στάθμης της θάλασσας ως αποτέλεσμα της μείωσης του πάχους και της επιφάνειας των παγετώνων της Ανταρκτικής μέσω της ανόδου της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη. Αυτά τα φαινόμενα, ενεργοποίησαν την διεθνή κοινότητα προς την κατεύθυνση λήψης μέτρων για την μείωση της ταχύτητας εξέλιξής τους και προσαρμογής στις ενδεχόμενες αλλαγές, με ιδιαίτερη μέριμνα για τις φτωχότερες χώρες του κόσμου, ιδιαίτερες της Αφρικής και της Ασίας (Καψανάκη και άλλοι, 1997 : I.P.C.C., 2007 <sup>a,b</sup>, 2014 : Moriarty and Honnery, 2008 : Ζανής, 2014 : Δούση, 2017).

Το φαινόμενο της αέριας ρύπανσης και της συνδεδεμένης κλιματικής αλλαγής, υπάρχει, καταγράφεται και παρακολουθείται σε όλα τα ευρωπαϊκά κράτη. Έχει όμως γίνει ιδιαίτερα γνωστό το πρόβλημα των μεγάλων βιομηχανικών πόλεων της Κίνας, όπου συχνά δημιουργούνται αποπνικτικές συνθήκες αέρα, εξαιτίας των υψηλών ρυθμών οικονομικής ανάπτυξης. Ιδιαίτερα, καταγράφεται μία πληθώρα άλλων προβλημάτων, που συνδέονται με το φυσικό περιβάλλον και την ποιότητα της υγείας των κατοίκων (Wang et al., 2012 : Han et al., 2013 : Renjie et al., 2013 : Wang, Huang and Yan, 2013).

Στην Ελλάδα υπάρχει πρόβλημα με τους αέριους ρύπους που προέρχονται από την βιομηχανία και τα μέσα μεταφοράς, ιδιαίτερα στα μεγάλα αστικά κέντρα (Αθήνα, Θεσσαλονίκη, Πάτρα) και σε περιαστικές περιοχές (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2002 : ΥΠΕΚΑ, 2011 : ΥΠΕΝ, 2016, 2017). Παρά το γεγονός, ότι μετά την οικονομική ύφεση που επήλθε το 2009, μειώθηκε η κατανάλωση καυσίμων και ενέργειας (ΕΛ.ΣΤ.ΑΤ, 2015), υπάρχουν προβλήματα που αποδίδονται στην εξελισσόμενη κλιματική αλλαγή. Για την Ελλάδα, ένας σημαντικός ρυπαντής είναι το όζον της τροπόσφαιρας και τα αιωρούμενα σωματίδια (Κασσωμένος, 2001 : ΥΠΕΧΩΔΕ, 2002 : ΥΠΕΝ, 2017). Είναι έντονο το πρόβλημα με τα λιγνιτικά εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος (ΥΠΕΝ, 2017), που εκτός από διοξείδιο του άνθρακα, εκλύουν χιλιάδες τόνους αιθάλης. Τα σωματίδια γενικά ενοχοποιούνται για καρκινογένεσις, αναπνευστικά προβλήματα και αλλεργίες (Bernard et al., 2001 : Cape, 2008<sup>a</sup>, 2008<sup>b</sup> : D' Amato et al., 2010 : Ζανής, 2014).

Η έξαρση της αέριας ρύπανσης στις μεγάλες βιομηχανικές πόλεις και τα αστικά κέντρα, από την δεκαετία του 1970' και μετά, άρχισε να αντιμετωπίζεται με την ανάπτυξη συστημάτων καταγραφής και παρακολούθησης των εκλυόμενων ρύπων. Από το 1984, στην Αθήνα, και αργότερα και σε άλλες μεγαλουπόλεις, όπως η Θεσσαλονίκη και η Πάτρα, καταγράφονται οι συγκεντρώσεις αέριων ρύπων, οι οποίες ακολούθησαν την αύξηση του στόλου των ΙΧ αυτοκινήτων, της βιομηχανικής δραστηριότητας και των εμπορικών μεταφορών (ΕΛΣΤΑΤ, 2015 : ΥΠΕΧΩΔΕ, 2002 : ΥΠΕΝ, 2017).

Το αστικό και περιαστικό πράσινο αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα άμβλυνσης των επιδράσεων της αέριας ρύπανσης, χωρίς όμως να σημαίνει ότι δεν επηρεάζεται. Στα μεγάλα αστικά κέντρα, τα φυτά επιδρούν στο μικροκλίμα βελτιώνοντας τον δείκτη θερμικής άνεσης για τους κατοίκους και λειτουργούν ως φυσικά φίλτρα για την κατακράτηση και απομάκρυνση ρύπων από τον αέρα. Όμως αρκετά φυτικά είδη, υφίστανται αλλοιώσεις στο φύλλωμα και την φωτοσυνθετική τους ικανότητα σε βαθμό

που να μην είναι κατάλληλα για μεγάλα και έντονα ρυπασμένα αστικά κέντρα (Harmens et al., 2007 : Καραμπουρνιώτης, 2003).

Επομένως, μέσα σε ένα δίκτυο αστικού δομημένου περιβάλλοντος, για τις συνθήκες μικροκυκλοφορίας ρυπασμένου αέρα που διαμορφώνονται, η ποσότητα και η ποιότητα της φυτοκάλυψης, παίζουν σημαντικό ρόλο στην δημιουργία των βέλτιστων δυνατών συνθηκών για την άμβλυση των επιδράσεων της ρύπανσης και της κλιματικής αλλαγής (Charalampopoulos et al., : 2006 : Matzarakis and Endler, 2009 : Gaitani et al., 2011).

Εν κατακλείδι, η κλιματική αλλαγή, όπως σήμερα καταγράφεται από την I.P.C.C., το NOAA, την NASA, τον FAO και τους εθνικούς ερευνητικούς φορείς παγκοσμίως, είναι σίγουρο ότι σύντομα θα αναδείξει νέα δεδομένα, τόσο στο πρότυπο μεταφοράς των αέριων ρύπων, όσο και στις ποιοτικές μεταβολές αυτών. Τα πιο έντονα μετεωρολογικά και κλιματικά φαινόμενα και οι καιρικές διαταραχές που παρατηρούνται, δημιουργούν πιέσεις για τον σχεδιασμό νέων στρατηγικών παραγωγής, χρήσης και διαχείρισης της ενέργειας, των υλικών και των κατασκευών (I.P.C.C., 2014 : Δούση, 2017).

Σε αυτή την Μεταπτυχιακή Διατριβή, εξετάζεται η σχέση Κλιματικής Αλλαγής - Αέριας Ρύπανσης και η σημασία του αστικού και περιαστικού πρασίνου ως παράγοντα άμβλυσης των επιπτώσεων. Παράλληλα, εξετάζονται οι επιδράσεις του ρυπασμένου αέριου περιβάλλοντος στην ανθρώπινη υγεία.

Στο πειραματικό μέρος, αναλύονται δεδομένα αέριας ρύπανσης που προέρχονται από το δίκτυο παρακολούθησης του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας (Υπηρεσία ΕΔΠΑΡ, πρώην ΠΕΡΠΑ) για την περίοδο 1984 - 2010, και εξετάζεται ειδικά η επίδραση της ρύπανσης στον Δυτικό Τομέα της Αττικής. Τέλος, επιχειρείται να γίνει μία εκτίμηση προβλέψεων για την εξέλιξη του πρότυπου ρύπανσης της περιοχής υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής.

### **1.3. Σημασία και Αναγκαιότητα της Μελέτης**

Μέχρι σήμερα έχει υπάρξει σημαντικός αριθμός μελετών για την εκτίμηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και της ρύπανσης σε διάφορες πόλεις και περιοχές του πλανήτη. Όσον αφορά την Ελλάδα, διάφοροι φορείς και ερευνητές έχουν κάνει εκτιμήσεις για την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στα επόμενα χρόνια (Founda and Giannakopoulos, 2009 : Diakakis et al., 2011 : Giannakopoulos et al., 2011 : Amiridis et al., 2012 : Asimakopoulos et al., 2012 : Dimitrakopoulos et al., 2013 : Kapsomenakis et al., 2011, 2012, 2013)

Η κλιματική αλλαγή, έχει ήδη επηρεάσει την κατανάλωση ενέργειας στα μεγάλα αστικά κέντρα, καθώς οι υψηλές θερινές θερμοκρασίες δημιουργούν συνθήκες δυσφορίας για τους κατοίκους, σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους ( Santamouris, Paraponiaris and Mihalakakou, 2007 : Santamouris and Colokotsa, 2015).

Δημιουργούνται νέες ανάγκες για την διαχείριση των εποχικών καιρικών φαινομένων, που εμφανίζονται με μεγαλύτερη ένταση και πιθανών μεταβαλλόμενη περιοδικότητα. Οι ανάγκες αυτές μεταφράζονται σε αλλαγές στο δομημένο περιβάλλον των πόλεων και την ποιοτική και ποσοτική χρήση του αστικού και περιαστικού πρασίνου (Bradley, 2011 : Charalampopoulos et al., 2006 : Dimoulia et al., 2013 : Gaitani et al., 2011)

Ομοίως, για τον παράγοντα ρύπανση, υπάρχει πλούσια βιβλιογραφία για τις επιπτώσεις σε βιοτικούς και αβιοτικούς παράγοντες και την δημόσια υγεία. Οι μεταβολές στις κλιματικές συνθήκες, υπό την παρουσία των αέριων ρύπων, επηρεάζουν την δημόσια υγεία, οδηγώντας σε εποχικές εξάρσεις συγκεκριμένων παθήσεων (καρδιαγγειακών, πνευμονολογικών και του ΚΝΣ), τον επιπολασμό αυτών στον αστικό πληθυσμό και την θνησιμότητα (Burkart et al., 2011 : Breitner et al., 2014 : Tsangari et al., 2016).

Η αντιμετώπιση αυτών των εξελισσόμενων προβλημάτων, προϋποθέτει δαπανηρές και χρονοβόρες διαδικασίες για τον προσδιορισμό νέων στρατηγικών ανάπλασης των αστικών κέντρων, αλλαγές στα πρότυπα παραγωγής και χρήσης της ενέργειας, αλλαγές στον σχεδιασμό αντιμετώπισης των έντονων καιρικών φαινομένων, των φυσικών καταστροφών και της μεθοδολογίας αντιμετώπισης των προβλημάτων υγείας του πληθυσμού (Tsangari et al., 2016: ΕΚΠΑ και ΑΣΔΑ, 2010)

#### **1.4. Σκοποί και Στόχοι**

Επιχειρείται να αξιοποιηθεί η διαθέσιμη βιβλιογραφία προκειμένου να εκτιμηθούν ποιοτικά οι μελλοντικές συνεργικές επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής και της αέριας ρύπανσης, στο αττικό περιβάλλον, στην υγεία και τα υλικά. Για τον ελληνικό χώρο, υπάρχει μεγάλος αριθμός δημοσιεύσεων και μελετών, που δεν επικεντρώνονται στην Δυτική Αττική, αλλά αγγίζουν κυρίως τον κίνδυνο από φυσικές καταστροφές και έντονα καιρικά φαινόμενα σε μεσαία και μεγάλη κλίμακα. Εξαίρεση αποτελούν δύο δημοσιεύσεις του ΑΣΔΑ (Αναπτυξιακός Σύνδεσμος Δυτικής Αθήνας).

Εξετάσθηκε η διεθνής βιβλιογραφία και αναλύθηκαν χρονοσειρές μετρήσεων είκοσιέξη ετών για επιλεγμένους αέριους ρύπους, από 12 σταθμούς μέτρησης, του ΕΔΠΑΡ. στην Αττική.

Ο τελικός στόχος είναι η δημιουργία μαθηματικών μοντέλων που θα περιγράφουν την αλληλεπίδραση των μετρήσεων των ρύπων στην περιοχή της Δυτικής Αθήνας.

Η προσπάθεια αυτή είναι αναγκαία, προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα για την υπάρχουσα κατάσταση και διαμόρφωση πολιτικών προσαρμογής των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και της αέριας ρύπανσης στην περιοχή της Δυτικής Αθήνας.

Τα βασικά ερευνητικά ερωτήματα, συνοψίζονται στα εξής :

- Ποια είναι τα χαρακτηριστικά της Αέριας Ρύπανσης στην Αττική με επικέντρωση στον Δυτικό Τομέα ;

- Πως η Κλιματική Αλλαγή ενδέχεται να επηρεάσει τα σημερινά χαρακτηριστικά της Αέριας Ρύπανσης στην Αττική και ιδιαίτερα στην Δυτική Αθήνα ;
- Ποιες μπορεί να είναι οι επιπτώσεις των μεταβολών των χαρακτηριστικών της Αέριας Ρύπανσης στην Ποιότητα Ζωής μέσα στην πόλη ;
- Ποια θα μπορούσε να είναι η αλλαγή στρατηγικής στην χρήση του Αστικού Πρασίνου προκειμένου για την μετρίαση των προβλημάτων από την Κλιματική Αλλαγή στην Δυτική Αθήνα ;

### **1.5. Διασαφηνίσεις - Προσδιορισμός και Διατύπωση Κεντρικών Έννοιών**

Το θεωρητικό υπόβαθρο στηρίζεται στην έννοιες του Κλίματος, της Κλιματικής Αλλαγής και του Καιρού, της Αέριας Ρύπανσης και των Αέριων Ρυπαντών, των Μετεωρολογικών φαινομένων της Ατμόσφαιρας και της σχέσης μεταξύ Κλίματος και Αέριας Ρύπανσης.

Ο παράγοντας της Υγείας του Πληθυσμού, εξετάζεται μόνο υπό το πρίσμα της ποιοτικής επίδρασης του Κλίματος και της Αέριας Ρύπανσης, με βιβλιογραφικά ευρήματα από διάφορες περιοχές του Πλανήτη.

Οι παραπάνω έννοιες και φαινόμενα, εξετάζονται στα Κεφάλαια 2 - 4, στα οποία γίνεται επαρκής περιγραφή όλων των σχετικών φαινομένων και βιοτικών και αβιοτικών παραγόντων, με παρουσίαση και ανάλυση διεθνούς και ελληνικής επιστημονικής βιβλιογραφίας.

Παρατίθεται βιβλιογραφία που καλύπτει την ιστορική ανασκόπηση της μελέτης της Κλιματικής Αλλαγής και της Αέριας Ρύπανσης σε μεγάλα αστικά κέντρα και περιαστικές περιοχές, της Ελλάδας, της Ευρώπης, της Ασίας και της Αφρικής. Εξετάζεται ο ρόλος της επίδρασης του συνδυασμού κλιματικής αλλαγής και αέριας ρύπανσης, σε δομικά υλικά και σε φυτικά είδη με αναφορά στα Μεσογειακά Οικοσυστήματα και στο πράσινο αστικών περιοχών.

Στα κεφάλαια 5 - 6 παρουσιάζεται η πειραματική μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, ως προς την συλλογή και ανάλυση των δεδομένων, τα αποτελέσματα, τα συμπεράσματα και οι προτάσεις.

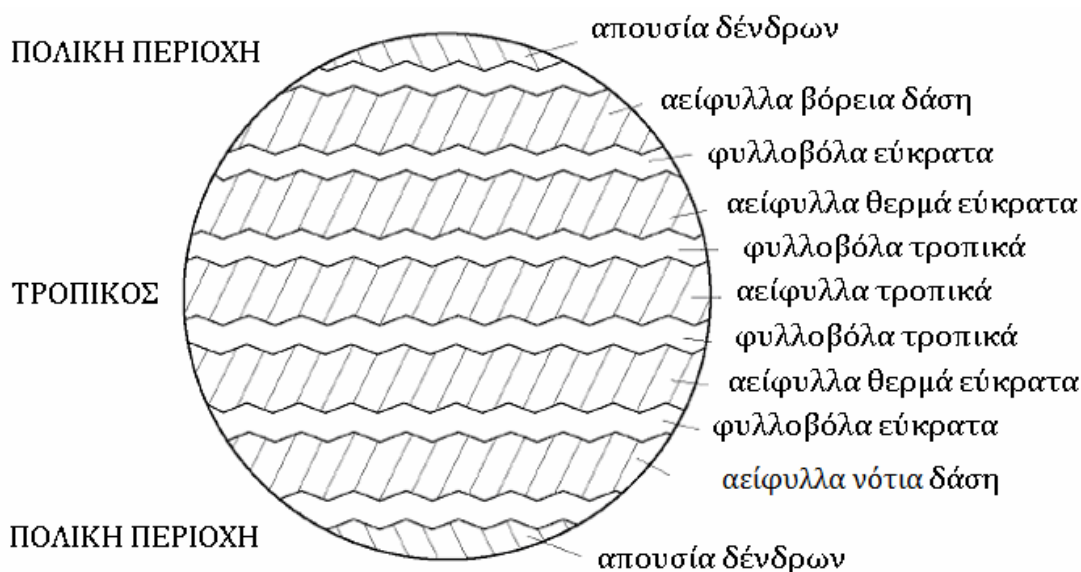
Αυτή η Μεταπτυχιακή Διατριβή, επιχειρεί να συμβάλει στην προσπάθεια ανάλυσης και διαχείρισης της αέριας ρύπανσης της Δυτικής Αττικής και της μελλοντικής σχέσης αυτής με την εξέλιξη της Κλιματικής Αλλαγής.

# Κεφάλαιο 2

## Το Κλίμα ως Παράγοντας για την Ζωή

### 2.1. Διαμόρφωση και Χαρακτηριστικά του Κλίματος

Το Κλίμα είναι εξαιρετικά σημαντικός παράγοντας για όλον τον έμβιο κόσμο. Η εξάπλωση των φυτικών και ζωικών ειδών στον πλανήτη μας, εξαρτάται από το κλίμα που επικρατεί σε κάθε περιοχή και την γεωμορφολογία (Αριανούτσου, Γιαννίτσaros και Κουμπλή, 2003).

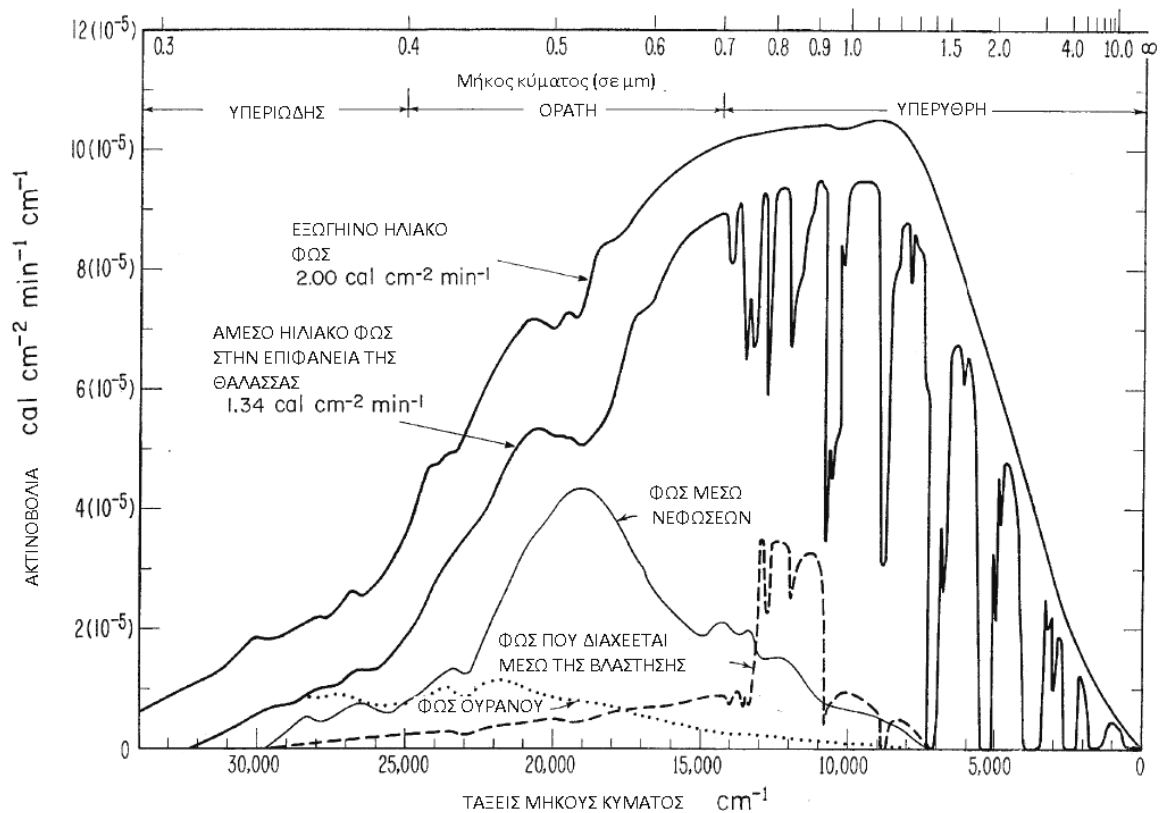


**Εικόνα 2 :** Η κατανομή των δασών σε κλιματικές ζώνες με βάση το γεωγραφικό πλάτος (Πηγή : διαμορφωμένο από Adams, 2007)

Επίσης, πρέπει να αποσαφηνισθεί η σχέση των μετεωρολογικών φαινομένων, του κλίματος και του καιρού και η σύνδεσή τους με την ηλιακή ακτινοβολία και την αέρια ρύπανση.

#### 2.1.1. Η Ηλιακή Ακτινοβολία

Η εισερχόμενη στην ατμόσφαιρα ηλιακή ακτινοβολία διαμορφώνει τις ενεργειακές συνθήκες στον πλανήτη. Η ατμοσφαιρική κυκλοφορία και παράγοντες όπως το κλίμα, ο καιρός και τα θερμοκρασιακά όρια, διαμορφώνονται από την ενέργεια που στέλνει ο ήλιος στη Γη (Odum, 1971 : Shu, 2003).

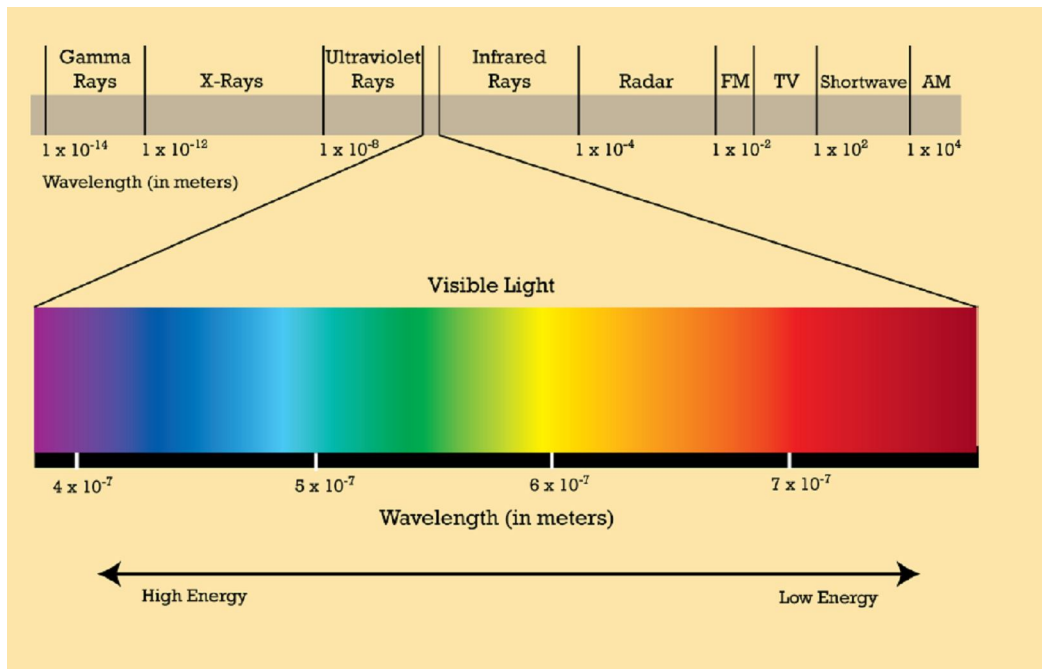


**Διάγραμμα 1** : Το πρότυπο κατανομής του φάσματος της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της Γης (από Odum, 1971).

Ο Ήλιος απέχει από την Γη  $150,5 \times 10^6$  χιλιόμετρα και το ηλιακό φως χρειάζεται οκτώ λεπτά για να φτάσει στην ατμόσφαιρα. Η ενεργειακή αυτή εισροή γίνεται με την μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και κυριολεκτικά δίνει ζωή στον πλανήτη, καθώς η Γη βρίσκεται ακριβώς στην κατάλληλη απόσταση από τον Ήλιο, για να μπορεί να αναπτυχθεί η ζωή (Shu, 2003 : Ζιώμας και Ραμουντάκη, 2003 : Ridge 2005).

Η ηλιακή δραστηριότητα έχει συνήθως κύκλο της τάξης των 9 - 13 ετών. Ανά περιόδους 22 ετών μεταβάλλεται η πολικότητα του Ηλίου. Σε αυτές τις περιόδους, καταγράφονται μεταβολές στα μεγέθη της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας και εκπομπή τεράστιας μάζας πλάσματος, δηλαδή φορτισμένων μιγμάτων αερίου Υδρογόνου ( $H_2$ ) και Ηλίου (He).

Αυτές οι μεταβολές καθορίζονται από το μαγνητικό πεδίο του Ήλιου, επηρεάζοντας όλο το γειτονικό αστρικό περιβάλλον. Η εισερχόμενη ενέργεια στην γήινη ατμόσφαιρα, θερμαίνει αέριες μάζες και νερό, τροφοδοτεί φυσικοχημικές διεργασίες και διαμορφώνει μεταξύ τους ισορροπίες. Τελικά επιδρά στην κλιματική κατανομή στον πλανήτη ανάλογα με την γεωμορφολογία, την ποιοτική και ποσοτική κάλυψη της επιφάνειας και την θέση κάθε περιοχής (Shu, 2003 : Ridge, 2005 : Gizani et al., 2011).

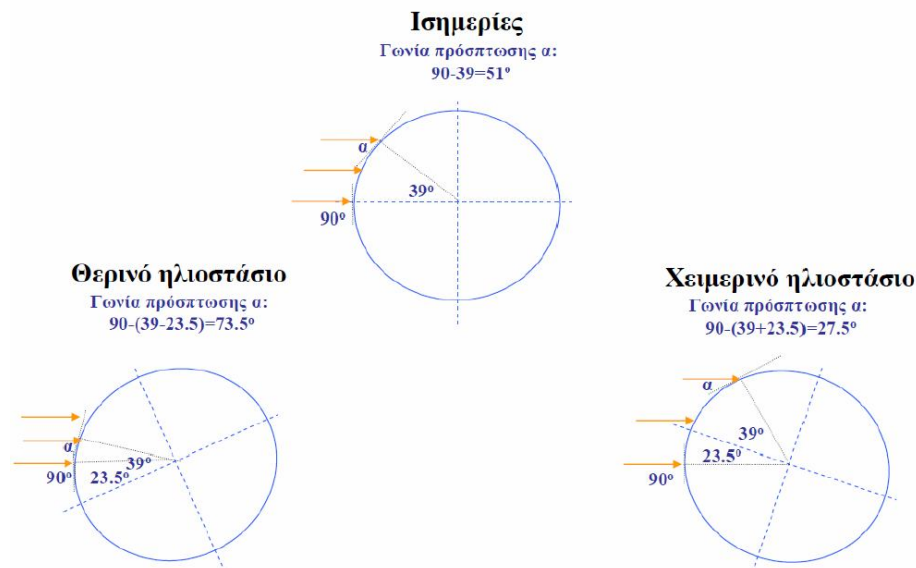


**Εικόνα 3 :** Η ανάλυση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας του Ηλίου. (Πηγή Κασσωμένος και Μπάκας : διαθέσιμο στη διεύθυνση [http://ecourse.uoi.gr/pluginfile.php/95549/mod\\_resource/content/2/2%CE%B7%20%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CE%BB%CE%B5%CE%BE%CE%B7.pdf](http://ecourse.uoi.gr/pluginfile.php/95549/mod_resource/content/2/2%CE%B7%20%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CE%BB%CE%B5%CE%BE%CE%B7.pdf))

Η ενέργεια που φτάνει στην γήινη ατμόσφαιρα είναι της τάξης των  $1,39 \text{ kW/m}^2$  και χαρακτηρίζεται ως Ηλιακή Σταθερά. Μόλις το 47% αυτής της ενέργειας φτάνει, είτε άμεσα είτε έμμεσα, στην επιφάνεια και μόλις το 1% απορροφάται από τα φυτά για την παραγωγή βιομάζας (Ridge, 2005 : Καραμάνος, 2012). Η υπόλοιπη ενέργεια χρησιμοποιείται για την ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ των βιοτικών και αβιοτικών παραμέτρων, ανακλάται ή εκπέμπεται με την μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας. Οποιαδήποτε μεταβολή συμβαίνει στην ηλιακή δραστηριότητα επηρεάζει ανάλογα και το ποσό της ακτινοβολίας που φτάνει στην Γη (Odum, 1971 : Shu, 2003 : Ζιώμας και Ραμουντάκη, 2003 :Μελάς, 2007).

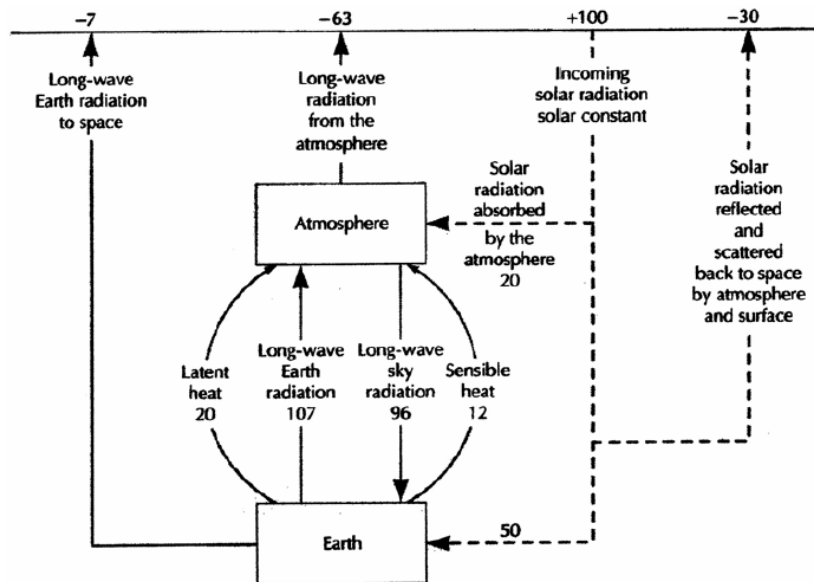
Η συνάρτηση  $Sh = S \sin Z$  περιγράφει την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μία οριζόντια επιφάνεια, όπου,

- $S$  : η ηλιακή ακτινοβολία που πέφτει σε μία επιφάνεια κάθετα ως προς την ακτίνα διάδοσης της,
- $\sin Z$  : η ζενίθια γωνία, δηλαδή η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του ζενίθ της περιοχής, του ηλίου και της οριζόντιας επιφάνειας.



**Εικόνα 4 :** Το πρότυπο πρόσπτωσης του ηλιακού φωτός στα δύο ημισφαίρια του πλανήτη . (διαθέσιμο στη διεύθυνση [http://eclass.uth.gr/eclass/modules/document/file.php/MHXC160/%CE%98%CE%B5%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE\\_%CE%95%CE%BD%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1\\_5.pdf](http://eclass.uth.gr/eclass/modules/document/file.php/MHXC160/%CE%98%CE%B5%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%95%CE%BD%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1_5.pdf)).

Ένα μεγάλο μέρος της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας, χάνεται στο διάστημα ή απορροφάται από την ατμόσφαιρα ή ανακλάται από τα ανώτερα και κατώτερα νέφη πάλι προς το διάστημα, διαμορφώνοντας τελικά το ισοζύγιο ενέργειας του πλανήτη.



**Εικόνα 5 :** Σχηματική παράσταση του ισοζυγίου ενέργειας και του τρόπου διάδοσης της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα και την επιφάνεια του πλανήτη (Πηγή : Oliver, 2005).

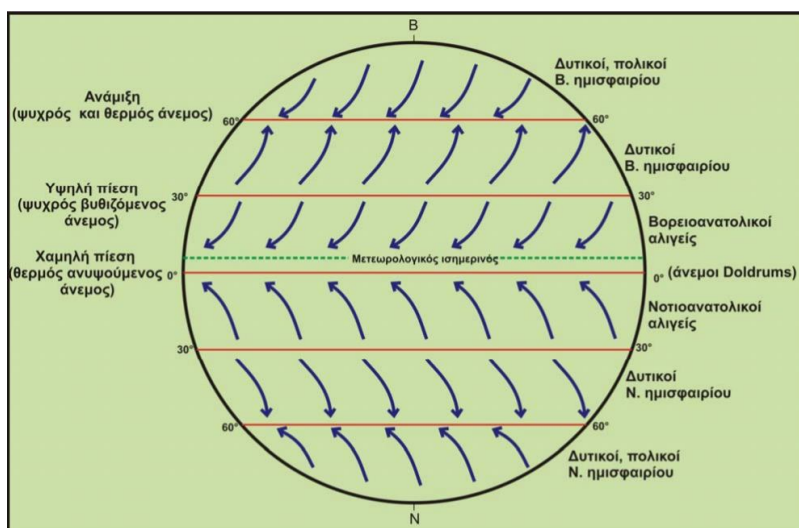
Το γεωγραφικό μήκος και πλάτος, το υψόμετρο μίας περιοχής, η παρουσία, η πυκνότητα και η σύσταση των νεφών, καθορίζουν την απόσταση που θα διανύσουν οι

ακτίνες του ήλιου και τελικά το κλάσμα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας (Odum, 1971 : Shu, 2003 : Καραμάνος, 2012).

Η ελλειπτική περιστροφή της Γης γύρω από τον ήλιο, δημιουργεί μία απόκλιση της τάξης των  $23,5^\circ$  (ζενίθια γωνία) ως προς τον άξονα Β.Π. - Ν.Π, γι' αυτόν τον λόγο κάθε χρόνο στις 22 Ιουνίου ο Βόρειος Πόλος στρέφεται προς τον ήλιο. Η ζενίθια γωνία υπολογίζεται από την σχέση  $\text{συν}Z = \eta\mu\varphi \eta\mu\delta + \text{συν}\varphi \text{συν}\delta \text{συν}H$ , όπου,

- $\delta$  : η απόκλιση του Ηλίου
- $H$  : το τόξο επί της ημερήσιας τροχιάς του Ηλίου που σχηματίζεται μεταξύ της εκάστοτε θέσης του Ηλίου στον ουρανό και της τοπικής μεσημβρίας (ωριαία γωνία)
- $\varphi$  : το γεωγραφικό πλάτος για μία περιοχή.

Όσο μεγαλώνει η ζενίθια γωνία, τόσο μεγαλύτερη διαδρομή πρέπει να διανύσει η ηλιακή ακτινοβολία, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η σκέδαση και η απορρόφηση στην ατμόσφαιρα και να μεταβάλλεται η διαθέσιμη θερμότητα (Ζιώμας και Ραμουντάκη, 2003 : Shu, 2003). Στον ισημερινό, φτάνει το μεγαλύτερο ποσό ηλιακής ακτινοβολίας γιατί οι ηλιακές ακτίνες προσπίπτουν σχεδόν κάθετα (η ζενίθια γωνία  $\sim 0$ ) με αποτέλεσμα αυτή η ζώνη να θερμαίνεται περισσότερο. Αντιστάθμισμα σε αυτόν τον κορεσμό είναι εν μέρη η υπέρυθη ακτινοβολία που εκπέμπεται από την Γη, διατηρώντας το ισοζύγιο θερμότητας (Odum, 1971 : Ζιώμας και Ραμουντάκη, 2003 : Shu, 2003).



**Εικόνα 6** : Το πρότυπο κυκλοφορίας των ανέμων στον πλανήτη. (Πηγή : [http://www.geo.auth.gr/courses/gge/gge768e/E\\_OCEAN\\_ALBANAKIS/PDF\\_/KEF\\_6\\_PEY\\_MATA.pdf](http://www.geo.auth.gr/courses/gge/gge768e/E_OCEAN_ALBANAKIS/PDF_/KEF_6_PEY_MATA.pdf))

Η θερμοκρασία στον ισημερινό παραμένει φυσιολογικά σχεδόν σταθερή, γιατί ένα μέρος της θερμότητας μεταφέρεται κυρίως με τις αέριες μάζες και τα θαλάσσια ρεύματα προς τους πόλους. Δηλαδή τα θαλάσσια ρεύματα θερμαινόμενα, μετακινούνται

προς τους πόλους, ενώ αντίστροφα καθώς ψύχονται μετακινούνται πάλι προς τον ισημερινό. Αυτή η κίνηση διαμορφώνει τις συνθήκες και τα φαινόμενα που σχετίζονται με το κλίμα παγκοσμίως (Odum, 1971 : Ζιώμας και Ραμουντάκη, 2003 : Shu, 2003).

**Πίνακας 1 :** Η ροή θερμότητας σε διαφορετικά γεωγραφικά πλάτη της Γης (από Ζιώμας και Ραμουντάκη, 2003)

Γεωγραφικό Πλάτος (σε μοίρες)	Ροή Θερμότητας (σε $10^{19}$ kcal/έτος)	Γεωγραφικό Πλάτος (σε μοίρες)	Ροή Θερμότητας (σε $10^{19}$ kcal/έτος)
10	1,21	50	3,40
20	2,54	60	2,40
30	3,56	70	1,25
40	3,91	80	0,35

### 2.1.2. Η Ατμόσφαιρα

Η ατμόσφαιρα είναι χαρακτηριστικό πολλών πλανητών και ουρανίων σωμάτων. Για την Γη, η ατμόσφαιρα εκτείνεται πρακτικά έως το ύψος που η βαρυτική έλξη υπερσχύει της φυγόκεντρου ώστε να μην διαφεύγουν μόρια και άτομα αερίων προς το διάστημα. Αυτό δεν ισχύει απόλυτα για το υδρογόνο της εξώσφαιρας (Shu, 2003).

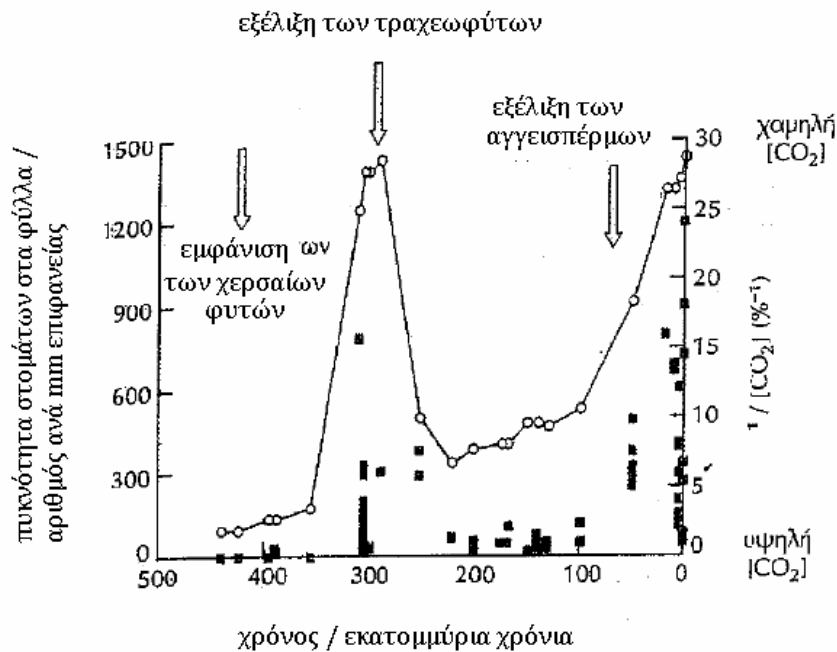
Χονδρικά, το πάχος της ατμόσφαιρας, είναι μεγαλύτερο στον ισημερινό ( $48 \times 10^3$  χλμ) και μικρότερο στους πόλους ( $28 \times 10^3$  χλμ), ενώ το σχήμα της ακολουθεί το ελαφρώς συμπίεσμένο σχήμα του πλανήτη. Η μάζα της ατμόσφαιρας αντιστοιχεί στο  $1/10^6$  της μάζας της Γης. Είναι ένα στρώμα αερίων που περιβάλλει τον πλανήτη, τον προστατεύει ως φίλτρο και επενεργεί για την διαμόρφωση του εύρους θερμοκρασιών που κατά μέσο όρο είναι απαραίτητες για την διατήρηση της ζωής, αφού υποχρεώνει τα εισερχόμενα φωτόνια να ακολουθούν καθορισμένη πορεία (Shu, 2003).

Η ατμόσφαιρα είναι βασικό στοιχείο του υδρολογικού κύκλου, που είναι εξαιρετικά σημαντικός για το κλίμα και την ζωή (Odum, 1971 : Κατσαφάδος και Μαυροματίδης, 2010).

Εκτιμάται ότι η ατμόσφαιρα δημιουργήθηκε πριν από  $12.5 \times 10^9$  χρόνια, από αέρια και υδρατμούς που εκτοξεύθηκαν από ηφαίστεια ("το μεγάλο βήξιμο"). Η ψύξη των υδρατμών και των άλλων υλικών, δημιούργησε σταδιακά το αέριο στρώμα και τις υδάτινες μάζες της επιφάνειας (Odum, 1971 : Shu, 2003).

**Πίνακας 2 :** Τα συστατικά στοιχεία του ξηρού αέρα της ατμόσφαιρας της Γης έως το ύψος των 20 χλμ (από Κατσαφάδος Μαυροματίδης, 2010 : ΕΜΥ 2011 : Κατσούλης).

Αέρια με αργή μεταβολή στο % ποσοστό ανά όγκο στην σύσταση της ατμόσφαιρας			Αέρια με συνεχή μεταβολή στο % ποσοστό ανά όγκο στην σύσταση της ατμόσφαιρας		
Άζωτο	N <sub>2</sub>	70,08 %	Υδρατμοί	H <sub>2</sub> O	0 - 4 %
Οξυγόνο	O <sub>2</sub>	20,95 %	Διοξείδιο του Άνθρακα	CO <sub>2</sub>	0,034 %
Αργόν	Ar	0,93 %	Όζον	O <sub>3</sub>	0,000004 %
Νέο	Ne	0,0018 %	Μονοξείδιο του Άνθρακα	CO	0,00002 %
Ήλιο	He	0,0005 %	Διοξείδιο του Θείου	SO <sub>2</sub>	0,000001 %
Μεθάνιο	CH <sub>4</sub>	0,0001 %	Διοξείδιο του Αζώτου	NO <sub>2</sub>	0,000001 %
Υδρογόνο	H <sub>2</sub>	0,00005 %	Σωματίδια ποικίλης σύστασης	PM <sub>2.5</sub> PM <sub>10</sub>	0,00001 %
Ξένον	Xe	0,000009 %			

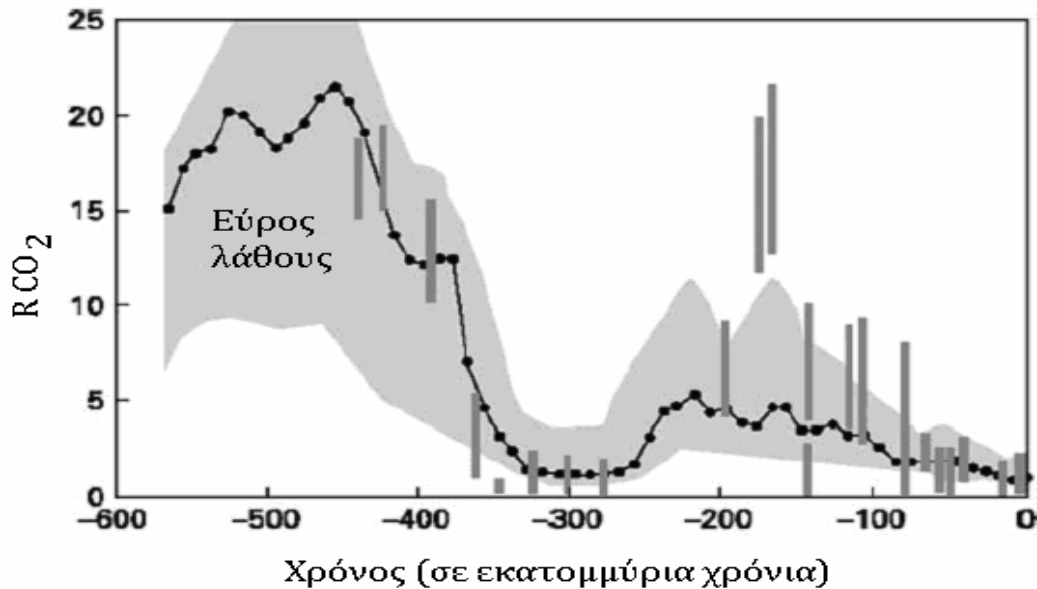


**Διάγραμμα 2 :** Η εξελικτική μεταβολή του αριθμού των στομάτων των φύλλων των φυτών με την μεταβολή του ποσοστού του CO<sub>2</sub> της ατμόσφαιρας (από Ridge, 2005).

Η σύσταση της ατμόσφαιρας έχει ακολουθήσει μία μακρά εξέλιξη σε γεωλογικό χρόνο και ποτέ δεν ήταν απολύτως σταθερή, τουλάχιστον ως προς το υδρογόνο (H<sub>2</sub>), το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και το οξυγόνο (O<sub>2</sub>). Η σημερινή ατμόσφαιρα αποτελείται κυρίως από αέριο άζωτο και οξυγόνο (99%) και χαρακτηρίζεται ως οξειδωτική γιατί ο κύριος οξειδωτικός παράγοντας είναι το οξυγόνο (Odum, 1971 : Shu, 2003 : Ridge, 2005).

Τα βασικά χαρακτηριστικά της τυπικής ατμόσφαιρας στο επίπεδο της θάλασσας είναι :

- Θερμοκρασία 15 °C η 288.15 Kelvin
- Πίεση 760 mm Hg
- Πυκνότητα 1.225kg<sup>3</sup> / m<sup>3</sup>
- Μέση τιμή Μοριακής Μάζας 26.964 / mole (Μελάς, 2007 : Κατσούλης, 1993)



**Διάγραμμα 3.** Οι εκτιμούμενες μεταβολές της ποσότητας του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα σε γεωλογικό χρόνο (Πηγή : τροποποιημένο από Adams, 2005. -Αρχική δημοσίευση από Schwartzman, μετά Berner - με άδεια από Columbia University Press)

Σε γεωλογικό χρόνο, η αύξηση του ποσοστού το οξυγόνου της ατμόσφαιρας, υποστηρίζεται ότι προήλθε από ένα εξελικτικό λάθος που οδήγησε στην δημιουργία των αερόβιων φυτικών οργανισμών. Διαχρονικά, το CO<sub>2</sub> παρουσιάζει μία διακύμανση από χαμηλές σε υψηλές τιμές και αντίστροφα, επηρεάζοντας την εξέλιξη των φυτικών οργανισμών και ιδιαίτερα των ανώτερων (ανθόφυτα / σπερματόφυτα / γυμνόσπερμα / αγγειόσπερμα). Πριν από 400 X 10<sup>6</sup> χρόνια, το CO<sub>2</sub> έφτανε τα 700 ppm. Αναλόγως, η ποσότητα του οξυγόνου ήταν μικρή και έφτασε σταδιακά στο 21%. (Ridge, 2005)

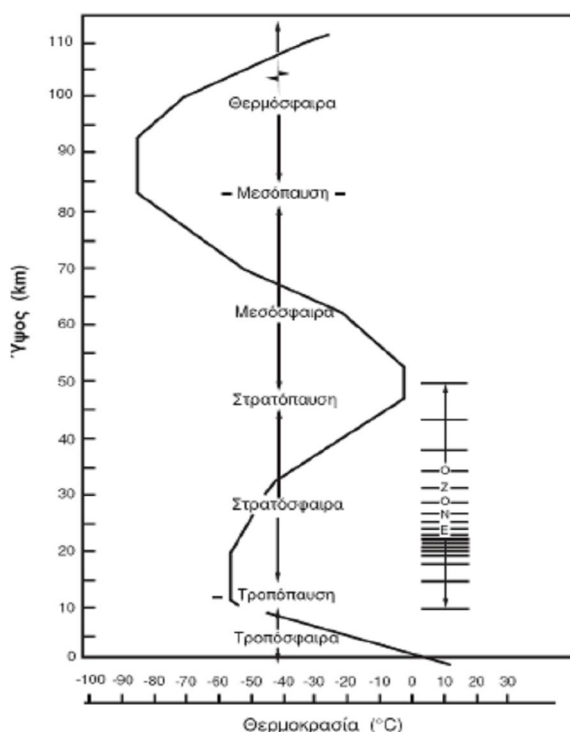
Η ατμόσφαιρα, με βάση την πυκνότητα και την σχετική κατανομή της σύστασης των αερίων και σωματιδίων που την αποτελούν, διαχωρίζεται σε στρώματα, ως εξής :

**α. Τροπόσφαιρα.** Είναι το κατώτερο στρώμα που φιλοξενεί όλους τους ζωντανούς οργανισμούς. Διακρίνεται σε κατώτερη, μέση και ανώτερη και αποτελεί τα 4/5 της μάζας της ατμόσφαιρας. Έχει πάχος από 8 - 17 χλμ ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και την εποχή του έτους. Το μεγαλύτερο πάχος μετράται στον ισημερινό (17 χλμ.) Η θερμοκρασία στην τροπόσφαιρα μειώνεται με το ύψος κατά 0,65 °C / 100 m, κατά μέσο

όρο. Το ύψος όπου μετράται η χαμηλότερη θερμοκρασία ορίζει το επίπεδο της τροπόπαυσης.

Μέχρι το ύψος των 1500 μέτρων, εξελίσσονται τα κύρια ατμοσφαιρικά φαινόμενα που καθορίζουν τον κατά τόπους καιρό. Αυτό το υπόστρωμα αποτελεί το στρώμα τριβής. Η τροπόσφαιρα έχει και άλλα σημαντικά χαρακτηριστικά που σχετίζονται με την αέρια ρύπανση. Η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται με το ύψος μέχρι ενός ορισμένου σημείου, έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε υδρατμούς, ιδιαίτερα στο κατώτερο στρώμα της και στα όριά της συμβαίνουν συνεχείς κατακόρυφες κινήσεις αερίων μαζών. Γι' αυτό και θεωρείται το πιο σημαντικό ατμοσφαιρικό στρώμα από μετεωρολογικής άποψης. Η τροπόσφαιρα δέχεται την κύρια επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας, από τα κατώτερα μέχρι τα ανώτερα στρωματά της, γι' αυτό και είναι ασταθής και υπάρχει συνεχώς κατακόρυφη κίνηση θερμών και ψυχρών αερίων μαζών.

**β. Τροπόπαυση.** Είναι το ανώτερο όριο της τροπόσφαιρας και ουσιαστικά αποτελεί μία ζώνη μετάβασης προς την στρατόσφαιρα. Χαρακτηρίζεται από θερμοκρασιακή ομοιομορφία αλλά και ασυνέχεια, καθώς δεν έχει συνέχεια γύρω από όλον τον πλανήτη. Συνήθως διακόπτεται σε ένα εύρος γεωγραφικού πλάτους  $30^{\circ} - 40^{\circ}$  και εμφανίζει κλίση προς τον Ισημερινό και τους πόλους. Γι' αυτό και διακρίνεται σε τροπική για τα μικρά γεωγραφικά πλάτη και πολική για τα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη. Σε γενικές γραμμές η τροπόπαυση εκτείνεται στα 16 - 17 χλμ πάνω από την ζώνη του Ισημερινού, 11 - 12 χλμ στις τροπικές περιοχές και 7 - 8 χλμ πάνω από τις πολικές περιοχές, ενώ σε ορισμένα σημεία συγχωνεύεται με την τροπόσφαιρα. Το θερμοκρασιακό εύρος κυμαίνεται από  $-70^{\circ}\text{C}$  έως  $-80^{\circ}\text{C}$ , πάνω από τον ισημερινό και από  $-55^{\circ}\text{C}$  έως  $-60^{\circ}\text{C}$  πάνω από τις περιοχές μέσου γεωγραφικού πλάτους.



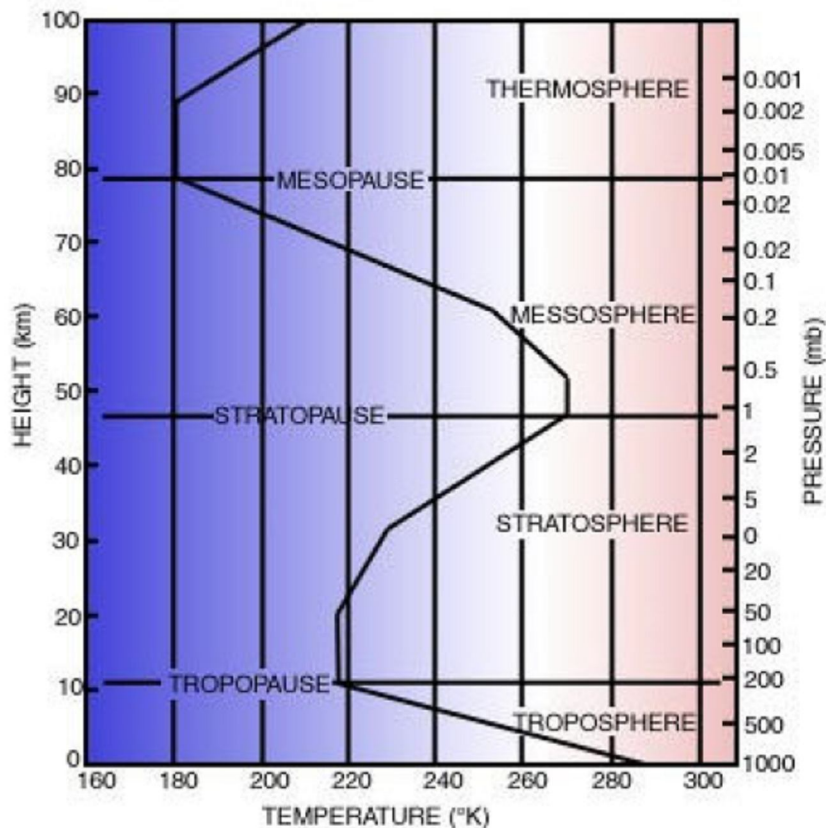
**Διάγραμμα 4 :** Κάθετη στρωμάτωση της ατμόσφαιρας και μεταβολή της θερμοκρασίας καθ' ύψος (Πηγή : Ζανής, 2014)

**γ. Στρατόσφαιρα.** Διακρίνεται σε κατώτερη και ανώτερη και φτάνει σε ύψος μέχρι τα 50 χλμ από την επιφάνεια της Γης. Το σημαντικότερο στοιχείο της είναι ότι φιλοξενεί την στιβάδα του όζοντος. Το όζον, απορροφά το μεγαλύτερο μέρος της εισερχόμενης ηλιακής υπεριώδους ακτινοβολίας, γι' αυτό και στο ύψος των 50 χλμ η θερμοκρασία του στρώματος αυξάνεται έως τους 0 °C.. Το γεγονός αυτό προσδίδει μία σταθερότητα στην στρατόσφαιρα γι' αυτό και δεν παρατηρούνται κατακόρυφες κινήσεις αερίων μαζών.

**δ. Στρατόπαυση.** Είναι το τελικό στρώμα της στρατόσφαιρας. Σε αυτό το σημείο η θερμοβαθμίδα λαμβάνει την μέγιστη τιμή της. Η στρατόπαυση έχει σχεδόν ισοθερμική συμπεριφορά γι' αυτό και θεωρείται το ανώτερο οριακό στρώμα της ατμόσφαιρας που φιλοξενεί την ζωή.

**ε. Μεσόσφαιρα και Θερμόσφαιρα.** Η μεσόσφαιρα χαρακτηρίζεται από συνεχή και απότομη πτώση της θερμοκρασίας της (έως -90 °C ) καθώς δεν περιέχει καθόλου όζον, και εκτείνεται έως τα 85 χλμ από την επιφάνεια της Γης. Διακόπτεται στο όριο της **Μεσόπαυσης** από το οποίο και ξεκινάει η Θερμόσφαιρα.

**στ. Η Θερμόσφαιρα** Εκτείνεται έως τα 400 χλμ από την επιφάνεια της Γης και σταματά στην Θερμόπαυση. Στο κατώτερο τμήμα της επικρατεί σχεδόν σταθερή θερμοκρασία, ενώ στο ανώτερο η θερμοκρασία φτάνει τους 700 °C. Η Θερμόσφαιρα χαρακτηρίζεται από την δράση του μοριακού οξυγόνου ( $O_2$  ) που απορροφά το μεγαλύτερο μέρος της εισερχόμενης υπεριώδους ακτινοβολίας και διασπάται σε δύο άτομα οξυγόνου. Η θερμοκρασία της Θερμόσφαιρας επηρεάζεται πολύ από την ηλιακή δραστηριότητα, και μπορεί να φτάνει έως τους 1700 °C.



**Διάγραμμα 5 :** Κάθετη κατανομή καθ' ύψος στην ατμόσφαιρα, της πίεσης και της θερμοκρασίας κατά μέση τιμή (Πηγή : Μελάς, 2007).

**ζ. Η Εξώσφαιρα.** Μετά την θερμόπαυση ξεκινάει η Εξώσφαιρα που χαρακτηρίζεται από σταθερή θερμοκρασία (ισοθερμικότητα). Η Εξώσφαιρα εκτείνεται σε ύψος 400 - 500 χλμ από την επιφάνεια της Γης. Αυτό το μεγάλο εύρος οφείλεται στις μεταβολές της ηλιακής δραστηριότητας που την θερμαίνουν διαφορετικά.

**η. Η Ιονόσφαιρα.** Είναι το απώτερο όριο της γήινης ατμόσφαιρας και είναι εξαιρετικής σημασίας για την τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία (δορυφόροι). Εκτείνεται από 70 έως 1000 χλμ από την επιφάνεια της Γης. Η Ιονόσφαιρα περιέχει μεγάλη ποσότητα ιονισμένων σωματιδίων (ηλεκτρόνια) τα οποία σε διαφορετικά ύψη και ανάλογα με τις ηλιακές συνθήκες, εμφανίζουν διαφορετικές πυκνότητες, σχηματίζοντας, ενίοτε, ιονοσφαιρικά στρώματα. Στην Ιονόσφαιρα επίσης ιονίζονται μερικώς, άλλα συστατικά της ατμόσφαιρας, από την ηλιακή ακτινοβολία (ΕΜΥ, 2011).

Το αέριο στρώμα έως και την στρατόπαυση, αποτελεί το 99% της συνολικής μάζας της ατμόσφαιρας και είναι το κυρίως φίλτρο για την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία (Shu, 2003 : Κατσαφάδος και Μαυροματίδης, 2010).

Πρέπει να επισημανθεί, ότι τα νούμερα που δίνονται για την στρωμάτωση της ατμόσφαιρας, είναι ενδεικτικά και εμπειρικά. Στην πραγματικότητα, δεν είναι απολύτως σαφή τα όρια μεταξύ των στρωμάτων εξαιτίας της συνεχούς κίνησης και των

αερίων. Επίσης, η κατ' όγκο σύσταση της ατμόσφαιρας, είναι σταθερή μέχρι τα 80 χλμ. περίπου (Κατσούλης, 1993 : Κατσαφάδος και Μαυροματίδης, 2010).

### 2.1.3. Τα Συστατικά Στοιχεία της Ατμόσφαιρας

Τα κυριότερα συστατικά στοιχεία της ατμόσφαιρας αναφέρονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 3 :** Τα συστατικά αέρια της ατμόσφαιρας της Γης (Πηγή : Μαυροματίδης και Κατσαφάδος, 2010).

ΜΟΝΙΜΑ ΑΕΡΙΑ			ΜΕΤΑΒΛΗΤΑ ΑΕΡΙΑ		
Αέριο	Σύμβολο	Ποσοστό (ανά όγκο)	Αέριο	Σύμβολο	Ποσοστό (ανά όγκο)
Αζωτο	N <sub>2</sub>	78.08	Υδρατμοί	H <sub>2</sub> O	0 έως 4
Οξυγόνο	O <sub>2</sub>	20.95	Διοξείδιο του άνθρακα	CO <sub>2</sub>	0.034
Αργόν	Ar	0.93	Όζον	O <sub>3</sub>	0.000004
Νέον	Ne	0.0018	Μονοξείδιο του άνθρακα	CO	0.00002
Ήλιο	He	0.0005	Διοξείδιο του θείου	SO <sub>2</sub>	0.000001
Μεθάνιο	CH <sub>4</sub>	0.0001	Διοξείδιο του αζώτου	NO <sub>2</sub>	0.000001
Υδρογόνο	H <sub>2</sub>	0.00005	Σωματίδια σκόνης, άλατος κτλ	PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>10</sub>	0.00001
Ξένο	Xe	0.000009			

#### 2.1.3.1. Το Διοξείδιο του Άνθρακα (CO<sub>2</sub>)

Το διοξείδιο του άνθρακα, στην φυσική του κατάσταση, είναι ένα άχρωμο και άοσμο αέριο. Δεν αναφλέγεται εύκολα, αλλά μπορεί να απορροφά θερμότητα. Μία επίσης σημαντική ιδιότητα που έχει είναι ότι η διαλυτότητά του αυξάνεται όσο αυξάνεται η πίεση (Κατσαφάδος και Μαυροματίδης, 2010)

Τυπικά, αποτελεί το 0,03% της ατμόσφαιρας (~ 370 ppm) ενώ το θαλάσσιο περιβάλλον, συγκριτικά με την ατμόσφαιρα, αποτελεί μία τεράστια δεξαμενή διοξειδίου του άνθρακα υπό την μορφή ανθρακικού ασβεστίου. Είναι ένα αέριο χαμηλής ενεργειακής στάθμης και ακολουθεί έναν κύκλο έκλυσης - δέσμευσης, που αποτελεί μέρος του φυσικού κύκλου του άνθρακα. Φυσιολογικά, εκλύεται από την αναπνευστική δράση των αερόβιων οργανισμών, από την αποσύνθεση της οργανικής ύλης, από τις καύσεις υλικών, τα ηφαίστεια και τις θερμοπηγές. Αποτελεί ένα σημαντικό στοιχείο για την διατήρηση της ζωής, γιατί ανακλά την υπέρυθη θερμική ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος που εκπέμπεται από την επιφάνεια της Γης, και το στρώμα του λειτουργεί ως ένα φυσικό κάλυμα θερμοκηπίου (Φυσικό Φαινόμενο του Θερμοκηπίου). Είναι απαραίτητο για την δημιουργία της φυτικής βιομάζας, για την λειτουργία της κατώτερης ατμόσφαιρας και για την πρόκληση των φαινομένων του καιρού (Ridge , 2005).

**Πίνακας 4. :** Τα σημαντικά χαρακτηριστικά της τυπικής ατμόσφαιρας της Γης, όπως έγιναν αποδεκτά από τις ΗΠΑ το 1976 (πηγή Μελάς, 2007)

Γεωδυναμικό ύψος (H) (km)	Θερμοκρασία (T) (°C)	Πίεση (p) (kPa)	Ποκνότητα (ρ) (kg/m <sup>3</sup> )
-1	21.5	113.920	1.3470
<b>0</b>	15.0	101.325	1.2250
1	8.5	89.874	1.1116
2	2.0	79.495	1.0065
3	-4.5	70.108	0.9091
4	-11.0	61.640	0.8191
5	-17.5	54.019	0.7361
6	-24.0	47.181	0.6597
7	-30.5	41.060	0.5895
8	-37.0	35.599	0.5252
9	-43.5	30.742	0.4664
10	-50.0	26.436	0.4127
<b>11</b>	-56.5	22.632	0.3639
13	-56.5	16.510	0.2655
15	-56.5	12.044	0.1937
17	-56.5	8.787	0.1423
<b>20</b>	-56.5	5.474	0.0880
25	-51.5	2.511	0.0395
30	-46.5	1.172	0.0180
<b>32</b>	-44.5	0.868	0.0132
35	-36.1	0.559	0.0082
40	-22.1	0.278	0.0039
45	-8.1	0.143	0.0019
<b>47</b>	-2.5	0.111	0.0014
50	-2.5	0.076	0.0010
<b>51</b>	-2.5	0.067	0.00086
60	-27.7	0.02031	0.000288
70	-55.7	0.00463	0.000074
<b>71</b>	-58.5	0.00396	0.000064
80	-76.5	0.00089	0.000015
<b>84.9</b>	-86.3	0.00037	0.000007
89.7	-86.3	0.00015	0.000003
100.4	-73.6	0.00002	0.000000
105	-55.5	0.00001	0.000000
110	-9.2	0.00001	0.000000

### 2.1.3.2. Το Όζον (O<sub>3</sub>)

Είναι βασικό στοιχείο της Τροπόσφαιρας ( $4 \times 10^{-6}$  % της ατμόσφαιρας). Αποτελεί μία αλλοτροπική μορφή του οξυγόνου που έχει την ιδιότητα να απορροφά την ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος (UV radiation,  $\lambda > 40 - 400$  nm). Σχηματίζεται στην Τροπόσφαιρα με την ενέργεια των ηλεκτρικών εκκενώσεων και στην Στρατόσφαιρα με ενέργεια που προέρχεται από την UV ακτινοβολία. Το στρατοσφαιρικό όζον, αποτελεί φυσική ασπίδα για την εισερχόμενη επικίνδυνη για την ζωή, ηλιακή υπεριώδη ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος (Shu, 2003).

Το όζον της τροπόσφαιρας είναι ένας σημαντικός αντιρρυπαντικός παράγοντας για την ατμόσφαιρα συνολικά, καθώς είναι πηγή σχηματισμού της ρίζας υδροξυλίου (OH<sup>-</sup>). Το

υδροξύλιο ως δραστική ομάδα, συμβάλει καταλυτικά στην εξουδετέρωση πολλών βλαπτικών ανόργανων και οργανικών ενώσεων, που προέρχονται από ανθρώπινες δραστηριότητες ή τον άνθρωπο, και φτάνουν στα ανώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας και της στρατόσφαιρας. Πολλές από αυτές τις ενώσεις θα μπορούσαν με την αύξηση της συγκέντρωσής τους στην ατμόσφαιρα, να συμβάλλουν αθροιστικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Επομένως, η δράση του όζοντος είναι υπό φυσιολογικές συνθήκες και εξισορροπιστική

(Shu, 2003 : <https://www.esrl.noaa.gov/csd/assessments/ozone/2014/report.html>)

### **2.1.3.3. Το Οξυγόνο (O<sub>2</sub>)**

Αποτελεί το 20,95% περίπου της ατμόσφαιρας και είναι απαραίτητο για την λειτουργία του οξειδωτικού μεταβολισμού των αερόβιων οργανισμών και την καύση της οργανικής ύλης. Σχηματίζεται είτε φωτοκαταλυτικά με την διάσπαση των υδρατμών της ατμόσφαιρας με την παρεμβολή της UV, είτε προκύπτει ως παραπροϊόν της φωτοσυνθετικής λειτουργίας των φωτοαυτότροφων οργανισμών (κυρίως κατώτερα και ανώτερα φυτά) (Καραμπουρνιώτης, 2003).

### **2.1.3.4. Το Άζωτο (N<sub>2</sub>)**

Αποτελεί το 70,08% της ατμόσφαιρας και είναι ένα αδρανές αέριο καθώς δεν απορροφά φάσμα της ηλιακής ηλεκτομαγνητικής ακτινοβολίας. Αποτελεί όμως σημαντικό στοιχείο για τους ζωντανούς οργανισμούς. Ιδιαίτερα το τροποσφαιρικό άζωτο διατηρεί σχέση ισορροπίας με τους μικροοργανισμούς του εδάφους (συμβιωτικά βακτήρια και μύκητες) συμβάλλοντας στην θρέψη των φυτικών οργανισμών. Υπό την μορφή νιτρικών ιόντων απορροφάται από τα φυτά για τον σχηματισμό βιομάζας και ως στοιχείο είναι απαραίτητο για την σύνθεση του DNA και των πρωτεϊνών. Το ατμοσφαιρικό άζωτο, έχει συνεργική δράση με το αέριο Αργό (Ar) που συντελεί στην διάλυση του μοριακού οξυγόνου κατά φυσικό τρόπο (Καψανάκη και άλλοι, 1997).

Αξίζει να σημειωθεί ότι το άζωτο και το οξυγόνο, αποτελούν το 99 % της ατμόσφαιρας, όμως δεν συμμετέχουν στην πρόκληση των μετεωρολογικών φαινομένων. Σε αυτά συμμετέχουν κυρίως, το διοξείδιο του άνθρακα, το νερό και το όζον (Adams, 2007 : Oliver, 2005).

### **2.1.3.5. Νερό / Υδρατμοί (H<sub>2</sub>O)**

Το νερό υπό την αέρια μορφή του είναι εξαιρετικά σημαντικό για την λειτουργία της κατώτερης ατμόσφαιρας και την διαμόρφωση των φαινομένων του Καιρού και του Κλίματος. Ο φυσικός κύκλος του νερού, είναι ουσιώδους σημασίας για την διατήρηση της ζωής, καθώς το 70% της σύστασης των ζωντανών οργανισμών είναι νερό. Οι υδρατμοί της ατμόσφαιρας παίζουν σημαντικό ρόλο στην απορρόφηση, σκέδαση και ανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ συντελούν στην μεταφορά της λαυθάνουσας ενέργειας του γήινου συστήματος μέσω των κατακρημνισμάτων (Odum, 1971 : Ζάνης, 2014).

Η θερμοδυναμική συμπεριφορά του νερού στην κατώτερη και ανώτερη ατμόσφαιρα, είναι αίτιο των μετεωρολογικών φαινομένων (βροχόπτωση, νέφη, χιονόπτωση). Η σχετική περιεκτικότητα του αέρα της κατώτερης τροπόσφαιρας σε νερό, επηρεάζει τις λειτουργίες της διαπνοής, της αναπνοής της εξάτμισης καθώς και της ευεξίας (Κατσούλης, 1993 : Καραμπουρνιώτης, 2003: Κατσαφάδος και Μαυροματίδης, 2010)

## **2.2. Το Κλίμα**

### **2.2.1. Βασικοί Ορισμοί**

#### **α. Μετεωρολογικά Φαινόμενα**

Είναι τα φυσικά φαινόμενα που συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα. Ο όρος "μετεωρολογία" αποδίδεται στον Αριστοτέλη και προέρχεται από το βιβλίο που έγραψε το 340 π.χ. με τον τίτλο "Μετεωρολογικά".

#### **β. Καιρός**

Τα μετεωρολογικά φαινόμενα, διαμορφώνουν σε ένα καθορισμένο και περιορισμένο χρονικό διάστημα (π.χ. για μία ημέρα) και σε ένα καθορισμένο σημείο της επιφάνειας της Γης, συγκεκριμένες συνθήκες. Αυτές οι συνθήκες συνιστούν τον "καιρό". Στοιχεία του καιρού είναι η θερμοκρασία, η ατμοσφαιρική πίεση, η υγρασία του αέρα, η νέφωση, η βροχόπτωση, οι συνθήκες ανέμου, και η διαύγεια της κατώτερης ατμόσφαιρας (ορατότητα).

#### **γ. Κλίμα**

Η συνεχής καταγραφή των στοιχείων του καιρού, δίνουν την εικόνα του μέσου καιρού, δηλαδή τις κατά μέσο όρο τιμές των καιρικών συνθηκών σε μία περιοχή. Αυτές οι τιμές αποτελούν το κλίμα μίας περιοχής. Για τον καθορισμό των ορίων του κλίματος, λαμβάνονται υπ' όψιν και τα ακραία καιρικά φαινόμενα (Κατσούλης, 1993 : Κατσαφάδος και Μαυροματίδης, 2010).

### **2.2.2. Η Διαμόρφωση του Κλίματος**

Για την μελέτη του κλίματος μίας περιοχής συγκεκριμένης θέσης επάνω στην επιφάνεια του πλανήτη, χρειάζονται δεδομένα μετρήσεων για τα χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας στην περιοχή. Τα στοιχεία αυτά αποτελούν τα μετεωρολογικά δεδομένα για την περιοχή και οι μέσες τιμές τους για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα αποτελούν τα κλιματικά στοιχεία της περιοχής ( Κατσαφάδος και Μαυροματίδης, 2010 :ΕΜΥ, 2011).

Η μέτρηση των κλιματικών στοιχείων πρέπει να γίνεται για ένα ικανό χρονικό διάστημα που έχει προκύψει στατιστικά. Ειδικότερα, διεθνείς οργανισμοί που ασχολούνται με το κλίμα (WMO, UNESCO, FAO, I.P.C.C. ), έχουν προσδιορίσει ότι .

- για την βροχόπτωση χρειάζονται δεδομένα 25 ετών, με ελάχιστο όριο τα 10 έτη,
- για την σχετική υγρασία χρειάζονται δεδομένα τουλάχιστον 3 - 4 ετών,

- για την θερμοκρασία χρειάζονται δεδομένα 10 ετών με ελάχιστο όριο τα 5 έτη.

Σήμερα, είναι γενικά αποδεκτό ότι για τον ασφαλή περιγραφή του κλίματος μίας περιοχής, χρειάζεται ένα διάστημα καταγραφών της τάξης των 30 ετών, που αποτελούν και μία επαρκή κλιματική περίοδο (WMO, 1999).

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τον καιρό και το κλίμα μίας περιοχής είναι :

- Η 24ωρη περιστροφή της Γης περί τον άξονα ΒΠ - ΝΠ.
- Η ετήσια περιστροφή της γύρω από τον Ήλιο (διάρκειας 364 + 1/4 ημερών).
- Γεωγραφικοί παράγοντες όπως το γεωγραφικό πλάτος, το ανάγλυφο, το υψόμετρο.
- Το ισοζύγιο του νερού και ενέργειας (εισερχόμενη-εξερχόμενη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία) μεταξύ Γης - Ατμόσφαιρας.
- Οι κίνηση και τα χαρακτηριστικά των αερίων μαζών της ατμόσφαιρας.
- Η φύση της επιφάνειας της περιοχής (π.χ. ξηρά, λίμνη κ.λπ).
- Το ποσοστό και το είδος της φυτοκάλυψης.
- Τα χαρακτηριστικά των θαλασσίων ρευμάτων (π.χ. El Ninio).
- Η γενική κυκλοφορία των αερίων μαζών στην ατμόσφαιρα.
- Οι διαταραχές της ατμόσφαιρας.
- Ο επικρατής άνεμος.
- Οι ανθρωπίνες δραστηριότητες.

Όταν συνδυάζονται οι παράγοντες του κλίματος με την θερμοκρασία, το νερό και την βλάστηση, τότε προσδιορίζεται η βιοκλιματική κατάταξη μίας περιοχής (Κατσούλης, 1993 : Κατσαφάδος και Μαυροματίδης, 2010).

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί, ότι ο πρώτος μετεωρολογικός σταθμός στην ανθρώπινη ιστορία, βρίσκεται στην Αθήνα, στους βόρειους πρόποδες της Ακρόπολης, και είναι ο γνωστός "Πύργος των Ανέμων", που χτίστηκε τον 1<sup>ο</sup> αιώνα π.χ.



**Εικόνα 7 :** Ο Πύργος των Ανέμων, όπως σώζεται μέχρι τις μέρες μας στην συνοικία της Πλάκας κάτω από την Ακρόπολη.

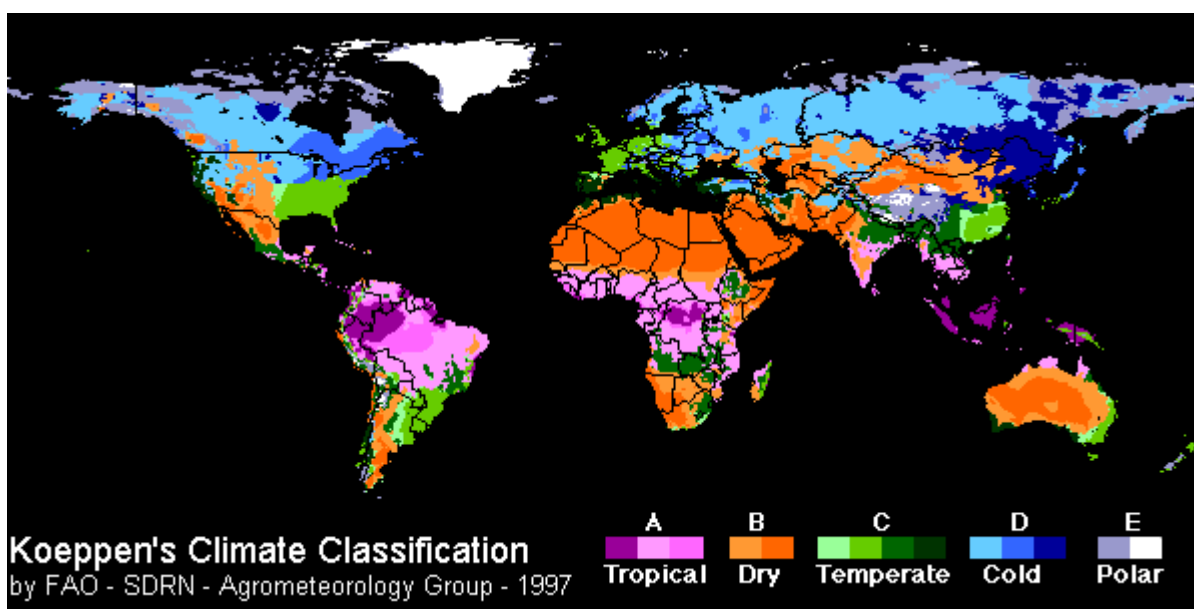
### 2.2.3. Γενικά στοιχεία για τα Συστήματα Κλιματικών και Βιοκλιματικών Κατατάξεων

Η κατάταξη των κλιματικών τύπων διαφόρων περιοχών γίνεται κυρίως με δύο μεθοδολογίες. Η πρώτη χρησιμοποιεί την κυκλοφορία των αερίων μαζών στην ατμόσφαιρα (κατάταξη κατά Alisson, Flohn). η δεύτερη χρησιμοποιεί τις κλιματικές παραμέτρους (κατάταξη κατά Thornthwaite, de Martonne, Korpen κ.λπ). Από το σύνολο των μεθοδολογιών κλιματικής κατάταξης, οι επικρατέστερες είναι αυτές κατά Korpen και Thornthwaite.

#### 2.2.3.1. Κλιματική κατάταξη κατά Korpen

Η κατάταξη αυτή χρησιμοποιεί τις θερμοκρασιακές και βροχομετρικές διαβαθμίσεις. Κατατάσσει τα κλίματα σε πέντε κύριες κατηγορίες, ως :

- Τροπικά (A). Έχουν θερμές όλες τις εποχές του έτους και η μέση τιμή θερμοκρασίας του ψυχρότερου μήνα είναι  $T_{\psi} > 18^{\circ}\text{C}$ .
- Ξηρά (B). Χωρίς θερμοκρασιακά όρια.
- Θερμά εύκρατα ή Μεσόθερμα (C). Βροχερά κλίματα με ήπιους χειμώνες και μέση θερμοκρασία θερμότερου μήνα  $T_{\theta} > 10^{\circ}\text{C}$  και ψυχρότερου  $-3 < T_{\psi} < 18^{\circ}\text{C}$ .
- Κλίματα ψυχρού βροχερού δάσους ή Μικρόθερμα (D). Χαρακτηρίζονται από βαρείς χειμώνες και η μέση τιμή θερμοκρασίας του ψυχρότερου μήνα είναι  $T_{\psi} < -3^{\circ}\text{C}$  και μέση θερμοκρασία θερμότερου μήνα  $T_{\theta} > 10^{\circ}\text{C}$ .
- Πολικά ή Αρκτικά (E). Χαρακτηρίζονται από μέση θερμοκρασία θερμότερου μήνα  $T_{\theta} < 10^{\circ}\text{C}$ .
- Μεγάλο υψόμετρο (H, για  $>1000$  μέτρων). Χαρακτηρίζονται από μέση θερμοκρασία θερμότερου μήνα  $T_{\theta} < 10^{\circ}\text{C}$ .



**Εικόνα 8 :** Παγκόσμιος χάρτης κατάταξης κλιμάτων κατά Korpen  
(Πηγή : <http://www.fao.org/nr/climpag/climate/img/4climate.GIF>)

Οι βροχομετρικές διαβαθμίσεις που χρησιμοποιούνται είναι για,

- μέσο ύψος βροχόπτωσης  $r_{\xi} \geq 60$  mm,
- ετήσιο ύψος βροχόπτωσης  $r < 60$  mm,
- δείκτης  $100 - r/25$ .

Με κριτήριο τις βροχομετρικές διαβαθμίσεις, προστίθενται οι υποκατηγορίες F, f, m, s, T, w και τα κλίματα τύπου B, C, D, χωρίζονται σε υποομάδες a, b, c, d, h, k. Υπάρχουν επιπλέον υποκατηγορίες και συνδυασμοί μεταξύ των κύριων κατηγοριών (Αριανούτσου, Γιαννίτσαρος και Κουμπλή, 2003)

### 2.2.3.2. Κλιματική κατάταξη κατά Thornthwaite

Με αυτό το σύστημα, λαμβάνεται υπ' όψιν ο παράγοντας της εξάτμισης (E) και της Δυνητικής Εξατμισιοδιαπνοής (PE). Το σύστημα αυτό δέχεται ότι μπορεί να καθορισθεί το κλίμα μίας περιοχής αν ληφθεί υπ' όψιν η βροχόπτωση (εισροή νερού) και οι συνολικές υδατικές ανάγκες που δημιουργούνται από την εξάτμιση και την διαπνοή (εκροή νερού). Όπως είναι κατανοητό, στο σύστημα αυτό υπεισέρχεται ο παράγοντας θερμοκρασία ως αίτιο της εξάτμισης και της διαπνοής (ισοζύγιο θερμότητας - νερού). Το σύστημα χρησιμοποιεί τους εξής δείκτες ταξινόμησης :

- Δείκτη Υγρασίας  $I_m = \sum I_v$  για όλο το έτος

$I_v$  : ο δείκτης υγρασίας για κάθε μήνα

$$I_v = 100 \times (S - D) / P E$$

**S** : το πλεόνασμα νερού

**D** : το έλλειμμα νερού

**PE** : δυνητική εξατμισιοδιαπνοή

$I_a$  = δείκτης ξηρότητας (το ετήσιο έλλειμμα νερού ως ποσοστό της ετήσιας PE)

$I_h$  = δείκτης υγρότητας (το ετήσιο πλεόνασμα νερού ως ποσοστό της ετήσιας PE)

$I_{\theta}$  = δείκτης θερμικής αποτελεσματικότητας (η PE σε cm H<sub>2</sub>O)

$C_{\theta}$  = δείκτης θερινής συγκέντρωσης (η μέση ετήσια PE στους τρεις θερινούς μήνες)

**Πίνακας 5:** Οι κλιματικές κατατάξεις σύμφωνα με το σύστημα Thornthwaite (Πηγή : Αριανούτσου, Γιαννίτσaros και Κουμπλή, 2003)

Κατάταξη Κλιμάτων ως προς τον δείκτη $I_m$		
A	Διάβροχο	$I_m \geq 100$
B <sub>4</sub>	Υγρό	$80 \leq I_m < 100$
B <sub>3</sub>	Υγρό	$60 \leq I_m < 80$
B <sub>2</sub>	Υγρό	$40 \leq I_m < 60$
B <sub>1</sub>	Υγρό	$20 \leq I_m < 40$
C <sub>2</sub>	Ημίυγρο προς υγρό	$0 \leq I_m < 20$
C <sub>1</sub>	Ημίυγρο προς ξηρό	$-33,3 \leq I_m < 0$
D	Ημιξηρο	$-66,7 \leq I_m < -33,3$
E	Ξηρό	$-100 \leq I_m < -66,7$

Κατάταξη Κλιμάτων ως προς τον δείκτη $I_a$		
<b>Υγρά Κλίματα (A, B, C<sub>2</sub>)</b>		<b><math>I_a</math></b>
ως r	με καθόλου ή μηδαμινό έλλειμμα νερού	0 - 10 %
ως s	με μέτριο έλλειμμα νερού το καλοκαίρι	10 - 20 %
ως w	με μέτριο έλλειμμα νερού τον χειμώνα	10 - 20 %
ως s <sub>2</sub>	με μεγάλο έλλειμμα νερού το καλοκαίρι	> 20 %
ως w <sub>2</sub>	με μεγάλο έλλειμμα νερού τον χειμώνα	> 20 %

Κατάταξη Κλιμάτων ως προς τον δείκτη $I_h$		
<b>Ξηρά Κλίματα (C<sub>1</sub>, D, E)</b>		<b><math>I_h</math></b>
ως d	με καθόλου ή μηδαμινό πλεόνασμα νερού	0 - 16,7 %
ως s	με μέτριο πλεόνασμα νερού τον χειμώνα	16,7 - 33,3 %
ως w	με μέτριο πλεόνασμα νερού το καλοκαίρι	16,7 - 33,3 %
ως s <sub>2</sub>	με μεγάλο πλεόνασμα νερού το καλοκαίρι	> 33,3 %
ως w <sub>2</sub>	με μεγάλο πλεόνασμα νερού το καλοκαίρι	> 33,3 %

Κατάταξη Κλιμάτων ως προς τον δείκτη $I_o$		
A'	Μεγάθερμα	> 114,0
B'4	Μεγάθερμα	99,7 - 114,0
B'3	Μεγάθερμα	85,5 - 99,7
B'2	Μεγάθερμα	71,2 - 85,5
B'1	Μεγάθερμα	57,0 - 71,2
C'2	Μικρόθερμα	42,7 - 57,0
C'1	Μικρόθερμα	28,5 - 42,7
D'	Τούνδρα	14,2 - 28,5
E'	Παγωμένα	< 14,2

Κατάταξη Κλιμάτων ως προς τον δείκτη $C_o$		
d'		< 48,0
b'		48,0 - 51,9
b' <sub>3</sub>		51,9 - 56,3
b' <sub>2</sub>		56,3 - 61,6
b' <sub>1</sub>		61,6 - 68,0
c' <sub>2</sub>		68,0 - 76,3
c' <sub>1</sub>		76,3 - 88,0
d'		> 88,0

Με βάση τα στοιχεία του πίνακα, τα κλίματα κατατάσσονται με συνδυασμό των δεικτών.

### 2.2.3.3. Συστήματα Βιοκλιματικής Κατάταξης

Η βιοκλιματική ταξινόμηση χρησιμοποιεί τους δείκτες των γνωστών και πιο συχνά χρησιμοποιούμενων συστημάτων κλιματικής κατάταξης, λαμβάνοντας υπ' όψιν την σχέση βροχόπτωσης και θερμοκρασίας.

Τα πιο γνωστά συστήματα βιοκλιματικής ταξινόμησης, είναι των Gausсен και Emberger που χρησιμοποιεί η UNESCO και ο FAO.

Σύμφωνα με το σύστημα του Gausсен, ένας μήνας θεωρείται ξηρός,

- αν  $P < 2 T$ , όπου  $P$  είναι η μέση μηνιαία βροχόπτωση σε mm και  $T$  η μέση μηνιαία θερμοκρασία σε °C,
- αν  $P < 10$  mm και  $T < 10$  °C,
- αν  $P < 25$  και  $10 < T < 20$  °C,
- αν  $P < 50$  mm και  $20 < T < 30$  °C,
- αν  $P < 75$  mm  $30 < T$  °C

Το σύστημα χρησιμοποιεί και τον δείκτη ξηροθερμίας που περιγράφει τον μέσο όρο του αριθμού των ξηρών ημερών για τους ξηρούς μήνες του έτους. Σύμφωνα με τον Gausсен, ξηρές ημέρες είναι οι ημέρες χωρίς βροχή που η σχετική υγρασία είναι μικρότερη του 40% κατά μέση τιμή (Αριανούτσου, Γιαννίτσαρος και Κουμπλή, 2003).

## 2.4. Το κλίμα της Ελλάδας

Σύμφωνα με την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, το κλίμα της Ελλάδας είναι Μεσογειακό και χαρακτηρίζεται από σχετικά ζεστά και ξηρά καλοκαίρια και ήπιους βροχερούς χειμώνες, ενώ υπάρχει ηλιοφάνεια τις περισσότερες ημέρες του έτους. Σχεδόν όλοι οι κλιματικοί τύποι που εμφανίζονται σε όλη την χώρα εμπίπτουν σε αυτά τα πλαίσια (<http://www.hnms.gr/hnms/greek/climatology/climatology.html>).

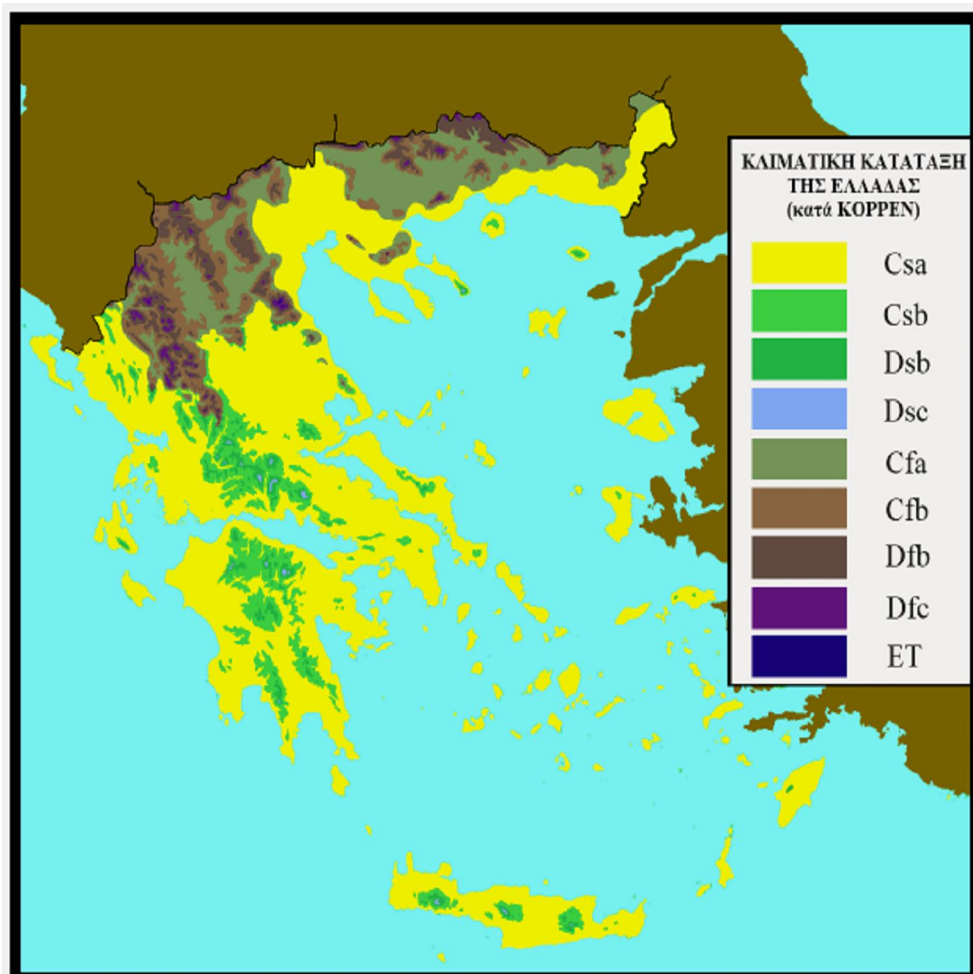
Ειδικότερα, η Ελλάδα βρίσκεται στο Βόρειο Ημισφαίριο, στην ανατολική πλευρά της Μεσογειακής Λεκάνης, ανάμεσα στον 32° και 42° παράλληλους βορείου γεωγραφικού πλάτους και 19° – 29° παραλλήλους ανατολικού γεωγραφικού μήκους. (Katsoulis, 1987 : Αριανούτσου, Γιαννίτσαρος και Κουμπλή, 2003 : ΕΜΥ, 2017 ).

**Πίνακας 6 :** Οι Κλιματικές Ζώνες στην Ελλάδα με υψομετρική διαβάθμιση (Πηγή : με τροποποίηση από Αριανούτσου, Γιαννίτσαρους και Κουμπλή, 2003)

Υψόμετρο	Περιοχές	Ποσοστό επί της χέρσου
0 – 200 μ	Πεδινές	32.8%
201 – 500 μ	Ημιπεδινές /	26%
501 – 1000 μ	Ημιορεινές	27.8 %
1001 – 1500 μ	Ορεινές	9.9%
1501 – 2000 μ	Υποαλπικές	3.5 %
> 2000 μ	Αλπικές	

Με βάση το σύστημα κατάταξης Korppen, στην Ελλάδα επικρατεί ο κλιματικός τύπος Csa, που περιγράφεται ως κλίμα μεσογειακού τύπου ή "μεσόθερμος τύπος με ξηρό και θερμό καλοκαίρι", για υψόμετρο έως 1000 μέτρα. Για υψόμετρο άνω των 1000 μέτρων το κλίμα περιγράφεται ως Csb (Αριανούτσου, Γιαννίτσαρους και Κουμπλή, 2003).

Σύμφωνα με το σύστημα Thornthwaite, η Ελλάδα χωρίζεται σε 29 κλιματικές περιοχές (Αριανούτσου, Γιαννίτσαρους και Κουμπλή 2003).



**Εικόνα 9 :** Η ταξινόμηση των κλιματικών ζωνών στην Ελλάδα σύμφωνα με το σύστημα Korppen (Πηγή <http://www.meteoclub.gr/themata/egkyklopedia/2618-klimatiki-katataksi-elladas>, από Γιαλαμάς Ιωάννης)

## 2.5. Το κλίμα της Αττικής

Η επιφάνεια της Αττικής είναι μόλις 400 τετρ. χλμ. αλλά φιλοξενεί το 1/2 του πληθυσμού της χώρας και το μεγαλύτερο μέρος των οικονομικών δραστηριοτήτων (ΦΕΚ Β, 3465 : ΕΛΣΤΑΤ, 2011 : 2015).

Ιδιαίτερα για την Αττική, το κλίμα χαρακτηρίζεται γενικά ξηρό έως ημίξηρο (Dimitrakopoulos et al., 2010 : ΕΜΥ, 2017).

Ειδικότερα, χαρακτηρίζεται ως Μεσογειακού τύπου με μέση ετήσια θερμοκρασία 18 °C, σχετική υγρασία 62% και μέση ηλιοφάνεια 66%. Ο μέσος αριθμός ημερών βροχής στην διάρκεια του έτους είναι 72, με ολικό μέσο ετήσιο ύψος 402 mm και η κύρια περίοδος βροχόπτωσης είναι από τέλος Σεπτεμβρίου έως τέλος Νοεμβρίου. Δυνητικά, ο ρυθμός εξάτμισης είναι τριπλάσιος της βροχόπτωσης. Η μέση διάρκεια των ξηρών διαστημάτων είναι 7,7 ημέρες και εκτείνονται σε 25 ημέρες για τους μήνες Ιούλιο έως Σεπτέμβριο (Koutsoyannis and Baloutsos, 2000). Η μέση μέγιστη χειμερινή θερμοκρασία είναι 9.4 °C και η μέση μέγιστη καλοκαιρινή είναι 25.8 °C, με μέγιστες ημερήσιες τιμές που έχουν φτάσει και τους 44 °C .

Βασικά χαρακτηριστικά για την διαμόρφωση του κλίματος στην Αττική, καθώς και μικροκλιματικών συνθηκών σε επιμέρους περιοχές, είναι η διαμόρφωση του εδάφους και η σημερινή κατάσταση των δομημένων επιφανειών, υπό την επίδραση των ορεινών όγκων που περικλείουν το Λεκανοπέδιο (Όρος Αιγάλεω, Ποικίλο Όρος, Πάρνηθα, Πεντέλη, Υμηττός) κατά τον άξονα ΒΝ, και του Σαρωνικού κόλπου που βρίσκεται νότια.

Οι χειμερινοί άνεμοι, διασχίζουν από βόρεια την πόλη δημιουργώντας ψυχρά και θερμά μέτωπα. Οι επικρατείς άνεμοι είναι κατά τον Β-ΒΑ / Ν-ΝΔ άξονα. Η θαλάσσια αύρα δημιουργείται κυρίως το καλοκαίρι κατά την ΝΔ - ΒΑ διεύθυνση, ενώ το καλοκαίρι δεν είναι συχνό φαινόμενο οι βροχές ή τα έντονα καιρικά φαινόμενα.

Στην ανάλυση χρονοσειρών βροχόπτωσης από τα δεδομένα του ΕΑΑ, για την περίοδο 1860 - 1995, διαπιστώθηκε ότι δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές ενδείξεις για μεταβολή του κλίματος έως τις ημέρες μας, παρότι κατά το παρελθόν, παρατηρήθηκαν περίοδοι ξηρασίας άνω των 100 ημερών (καλοκαίρι του 1961). Όμως ταυτόχρονα καταγράφεται μείωση κατά 3 - 5 φορές της ετήσιας βροχόπτωσης (Koutsoyannis and Baloutsos, 2000).

Οι Katsoulis and Kambetzidis (1989), επίσης, ανέλυσαν τις βροχοπτώσεις για την περίοδο 1859 - 1985. Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτά τα δεδομένα αποτελούν την πιο μεγάλη χρονοσειρά δεδομένων που υπάρχει για την Βόρεια Ευρώπη (αρχείο Αιγινίτη). Τα αποτελέσματα της ανάλυσης, έδειξαν ότι το μέγιστο ύψος βροχοπτώσεων, διαχρονικά παρατηρείται το φθινόπωρο και τον χειμώνα και το ελάχιστο το καλοκαίρι. Για όλη την περίοδο, σε γενικές γραμμές, εμφανίζεται μία ομαλότητα στα χαρακτηριστικά των βροχοπτώσεων, με μεσοδιαστήματα εξάρσεων και ελλείψεων, που εμφανίζουν σχετική περιοδικότητα. Όλα τα στοιχεία δείχνουν τυπικό μεσογειακό κλίμα και οι βροχές καλύπτουν μόλις το 4% του έτους.

Οι Bartzokas and Metaxas (1994) αναλύοντας στατιστικά βροχομετρικά δεδομένα από το ΕΑΑ με πολυπαραγοντική μεθοδολογία, για την περίοδο 1931 - 1992, διαπίστωσαν ότι υπάρχουν τέσσερις παράγοντες που επηρεάζουν εποχιακά το κλίμα της Αττικής. Οι δύο κύριοι παράγοντες είναι η θερμοκρασία και οι κατακρημνίσεις που συμμετέχουν σε όλες τις εποχές. Τον χειμώνα προστίθεται ένα σύνολο παραμέτρων όπως οι ημέρες με ηλιοφάνεια, τα ημερήσια όρια θερμοκρασίας, η νέφωση η σχετική υγρασία και η ταχύτητα του ανέμου. Το καλοκαίρι προστίθεται η εξάτμιση και η υγρασία.

Καθώς η κλιματική αλλαγή, έχει σχέση με την ποιότητα της γήινης ατμόσφαιρας σε συνδυασμό με την ηλιακή δραστηριότητα και τα τοπικά χαρακτηριστικά, οι Gizani et al (2011), χρησιμοποίησαν δείκτες όπως τιμές TSI, UV ακτινοβολίας, το ηλιακό μαγνητικό πεδίο και ο αριθμός των ηλιακών κηλίδων, σε συνδυασμό με κλιματικές παραμέτρους (θερμοκρασία αέρα, ατμοσφαιρική πίεση, διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου σχετική υγρασία και συνολικός υετός) προκειμένου να διερευνήσουν την πιθανή επίδραση της ηλιακής δραστηριότητας σε μετεωρολογικές και κλιματικές παραμέτρους στην περιοχή της Αττικής. Τα πρώτα αποτελέσματα από την χρήση των δεικτών ηλιακής δραστηριότητας σε σχέση με μετεωρολογικές παραμέτρους, έδειξαν ότι δεν υπάρχει μεταξύ τους συσχέτιση και επίδραση στο κλίμα της Αττικής. Αυτό θεώρησαν ότι οφείλεται πιθανόν στο αστικό περιβάλλον που αλλοιώνει τις δευτερογενείς επιδράσεις των παραμέτρων στο μεσόκλιμα της περιοχής.

Οι Παπαδοπούλου και άλλοι (2009), εφαρμόζοντας πειραματικά το δίκτυο METEONET, για δέκα σημεία που κάλυπταν όλη την Αττική, διαπίστωσαν ότι τόσο οι κλιματικοί όσο και οι βιοκλιματικοί δείκτες που αναλύθηκαν, κινούνται μέσα σε πολύ καλά αποδεκτά όρια, και επομένως οι κλιματικές συνθήκες της Αττικής, ακόμη μπορεί να θεωρηθούν πολύ καλές.

Επομένως, όποιες εκτιμήσεις μπορούν να εξαχθούν για την αλληλεπίδραση κλίματος και αέριας ρύπανσης, πρέπει να γίνουν υπό το πρίσμα ότι ακόμη οι συνθήκες στην Αττική δεν έχουν μεταβληθεί και ακολουθούν τα στατιστικά επιβεβαιωμένα κλιματικά χαρακτηριστικά που αντικατοπτρίζουν και αναλόγως την συμπεριφορά της ατμόσφαιρας.

Σύμφωνα με τον Mavromatis (2011), η σύγκριση στη συχνότητα βροχοπτώσεων ως προς την διάρκεια και ένταση, για τις περιόδους 1960 – 1990 και 1997 - 2006, δείχνει ότι δεν υπάρχει μεγάλη μεταβολή ως προς τις ξηρές και υγρές περιόδους, αλλά υπάρχει τάση αύξησης των ξηρών περιόδων στο μέλλον, κάτι που αφορά και την Αττική.

Ο Katsoulis (1987), αναλύοντας τα θερμοκρασιακά δεδομένα για την Αττική (σταθμός Θησείου), για την περίοδο 1859 - 1982, διαπιστώνει ότι η περίοδος 1920 - 1950 ήταν θερμότερη συγκριτικά με τις προηγούμενες και επόμενες δεκαετίες. Την αύξηση την απέδωσε κυρίως στην επέκταση της πόλης παρά σε κλιματικούς παράγοντες, καθώς η επίδραση της παραθαλάσσιας περιοχής με την ημερήσια αύρα δεν δημιουργούν ξεκάθαρες συνθήκες για διάκριση ως προς την κλιματική αλλαγή.

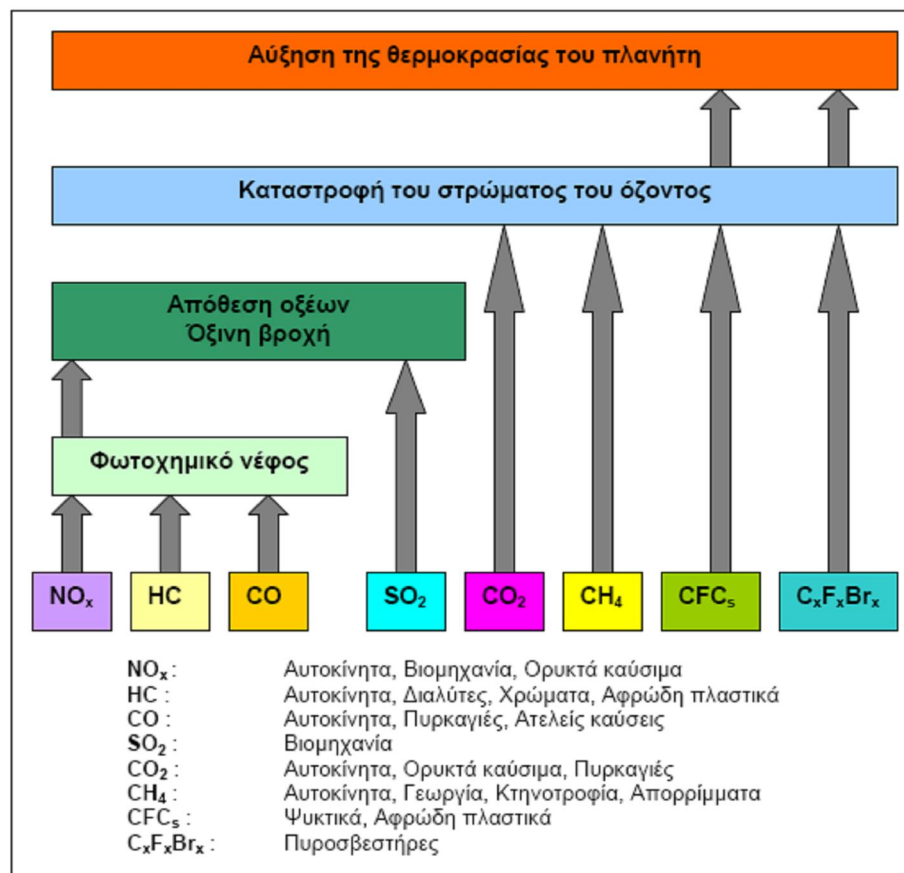
# Κεφάλαιο 3

## Η Ατμοσφαιρική Ρύπανση

### 3.1. Γενικά Στοιχεία για την Ατμοσφαιρική Ρύπανση

#### 3.1.1 Η έννοια της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης

Ως ατμοσφαιρική ρύπανση νοείται η ύπαρξη στην ατμόσφαιρα χημικών ουσιών (ρύπων) κάθε είδους, ακτινοβολιών και κάθε μορφής ενέργειας ή θορύβων, πέραν των φυσιολογικά καθορισμένων και γενικά αποδεκτών ορίων ή καταστάσεων. Η ποσότητα, η συγκέντρωση, η διάρκεια παραμονής στην ατμόσφαιρα και οι χημικές ή φυσικές ιδιότητες τους, είναι δείκτες της επικινδυνότητας των ρύπων για τους ζωντανούς οργανισμούς και τα οικοσυστήματα (Μελάς, 2007 : Ζανής, 2014)



Εικόνα 10 : Η προέλευση και οι επιδράσεις των σημαντικότερων αέριων ρύπων.

### 3.1.2. Προέλευση των Ατμοσφαιρικών Ρύπων

Στον ορισμό της αέριας ρύπανσης, εννοείται ότι η ποσότητα στην ατμόσφαιρα μίας χημικής ένωσης, είναι εκείνο το στοιχείο που μπορεί να την καταστήσει "ρύπο", ανεξάρτητα αν είναι φυσικό συστατικό της. Για παράδειγμα, το πιο γνωστό πρόβλημα σήμερα που αφορά την ατμόσφαιρα είναι το *Φαινόμενο του Επαυξημένου Θερμοκηπίου*, και οφείλεται στην υπερβολική παρουσία διοξειδίου του άνθρακα, το οποίο κατά τα άλλα, είναι φυσικό συστατικό της ατμόσφαιρας. Το φαινόμενο του Θερμοκηπίου όμως (greenhouse effect) είναι ένα απολύτως φυσικό φαινόμενο απαραίτητο για την διατήρηση της ζωής (I.P.C.C., 2005).

Οι πηγές των αέριων ρύπων είναι φυσικές και ανθρωπογενείς (Ζανής, 2014).

Φυσικές πηγές είναι :

- Οι ζωντανοί οργανισμοί. Οι ζωικοί και οι φυτικοί οργανισμοί, απελευθερώνουν διοξείδιο του άνθρακα μέσα από την διαδικασία της αναπνοής, μεθάνιο και οξείδια του θείου και υδρόθειο μέσα από την διαδικασία της αποσύνθεσης και αμμωνία μέσα από μεταβολικές διαδικασίες απαραίτητες για την ζωή.
- Οι επιφανειακές υδάτινες μάζες (κυρίως οι ωκεανοί και οι θάλασσες), απελευθερώνουν θειικά άλατα και χλωριούχο νάτριο.
- Οι διεργασίες που γίνονται στο εσωτερικό της γης και αφορούν την ηφαιστειακή δραστηριότητα, απελευθερώνουν τελικά τέφρα, διοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του θείου, μεθάνιο και υδρόθειο, όπως επίσης και κλάσματα στοιχείων που φυσιολογικά βρίσκονται μόνο μέσα στον φλοιό της γης.
- Φυσικές καταστροφές που προκαλούνται από τους φυσικούς κύκλους της ύλης, όπως είναι οι δασικές πυρκαγιές, απελευθερώνουν μεγάλες ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα, διοξειδίου του άνθρακα και αιωρούμενων σωματιδίων.

Αυτές οι φυσικής προέλευσης, ποσότητες εκλυόμενων οργανικών και ανόργανων ενώσεων, προστιθέμενες στην ατμόσφαιρα, λαμβάνοντας μέρος στους φυσικούς κύκλους των στοιχείων, εμπλουτίζονται από τις ανθρωπίνες δραστηριότητες ως εξής :

- Οι τεχνητά προκαλούμενες πυρκαγιές, εκτός του ότι προσθέτουν επιπλέον ποσότητες οξειδίων του άνθρακα και αιωρούμενων σωματιδίων στην ανώτερη και κατώτερη τροπόσφαιρα, μειώνουν την δυνατότητα φιλτραρίσματος της κατώτερης ατμόσφαιρας από τα δέντρα και αυξάνουν τον χρόνο παραμονής των ρύπων σε αυτή.
- Η λειτουργία βιομηχανικών μονάδων που χρησιμοποιούν ως καύσιμη ύλη υδρογονάνθρακες (λιγνίτη, κάρβουνο, πετρέλαιο), εκλύει τεράστιες ποσότητες οξειδίων του άνθρακα, οξειδίων του θείου και αιωρούμενων σωματιδίων, όπως και μία ποικιλία άλλων ρύπων, πιο σύνθετων.
- Οι οικιακές θερμάνσεις που χρησιμοποιούν ως καύσιμο πετρέλαιο και άλλα σύγχρονα εναλλακτικά καύσιμα (π.χ. πέλετς), εκλύουν οξείδια του άνθρακα, του θείου και αιωρούμενα σωματίδια.

- Οι μεταφορές (οδικές και ναυσιπλοΐας και λιγότερο της αεροπλοΐας), επίσης είναι υπεύθυνες για την έκλυση οξειδίων του άνθρακα, του αζώτου, αιωρούμενων σωματιδίων, και άλλων ρύπων, σε μικρότερες ποσότητες.
- Τεχνολογικά ατυχήματα, μικρής και μεγάλης έκτασης, όπως ατυχήματα σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από πυρηνικά καύσιμα, φωτιές σε χώρους διαχείρισης απορριμμάτων, χημικές καύσεις κ.λπ, εκλύουν μία γκάμα αέριων ρύπων, με μεγάλο χρόνο παραμονής στην ατμόσφαιρα ορισμένες φορές, και δυνατότητα μεταφοράς σε μεγάλες αποστάσεις. Για παράδειγμα, η έκρηξη στο πυρηνικό εργοστάσιο του Τσερνόμπιλ το 1987, διαπιστώθηκε από τις αρχές της Σουηδίας, εξαιτίας της ανίχνευσης του ραδιενεργού νέφους (Ζάνης, 2014).
- Πολεμικές συρράξεις. Δημιουργούν συνθήκες ανατάραξης του εδάφους και του αέρα, διασπορά αερίων, μικροσωματιδίων και βαρέων μετάλλων από την χρήση πυρομαχικών, πολλές φορές με ραδιενεργές ιδιότητες.
- Οι ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές στην κατασκευή και λειτουργία των οποίων χρησιμοποιούνται αέρια όπως το νέον, το ήλιον κ.λπ.
- Η βιομηχανία τροφίμων, η οποία χρησιμοποιεί πρόσθετα που απελευθερώνονται στο περιβάλλον με την χρήση (π.χ. το άζωτο χρησιμοποιείται ως συντηρητικό σε λυοφιλωμένα τρόφιμα).
- Έργα και κατασκευές κάθε κλίμακας, επιφανειακές και υπόγειες εκσκαφές (π.χ. λατομεία, ορυχεία). Κατά κύριο λόγο εμπλουτίζουν την ατμόσφαιρα με σωματίδια πετρωμάτων και ορυκτών.

Οι αέριοι ρύποι, υπάρχουν σε ένα περιβάλλον που είναι πλούσιο σε ενέργεια με την μορφή ακτινοβολιών διαφορετικού μήκους κύματος. Επίσης υπάρχει το νερό, υπό την μορφή υδρατμών ή σταγονιδίων όπως και μικρά σωματίδια που λειτουργούν ως προσροφητικές επιφάνειες. Σε ένα τέτοιο περιβάλλον δημιουργούνται συνθήκες για χημικές αντιδράσεις με τις οποίες, πρωτογενείς ρύποι μετατρέπονται σε δευτερογενείς, όπως και συμβαίνουν παράπλευρες αντιδράσεις μεταξύ αερίων ρύπων καθαρά ανθρωπογενούς προέλευσης και φυσικών συστατικών της ατμόσφαιρας. Επίσης, ουσίες που χρησιμοποιούμε καθημερινά στο σπίτι μας, όπως η ναφθαλίνη, προσθέτουν ένα ελάχιστο κλάσμα αέριων ρύπων, εξαιτίας της πτητικότητάς τους (Ζιώμας Ι. και Ρεμουντάκη Ε., 2003 : Μελάς, 2007 : Ζανής, 2014)

### **3.1.3. Οι κυριότεροι Ατμοσφαιρικοί Ρύποι**

Οι αέριοι ρύποι διακρίνονται σε πρωτογενείς και δευτερογενείς. Οι πρωτογενείς ρύποι, ανιχνεύονται στην κατώτερη και μέση τροπόσφαιρα ή και σε ανώτερα στρώματα, ανάλογα με τις συνθήκες, με την ίδια μορφή με την οποία αρχικά εκλύθηκαν από την πηγή.

Οι πρωτογενείς ρύποι είναι :

- Τα οξείδια του άνθρακα (CO<sub>2</sub>, CO).
- Τα οξείδια του αζώτου (NO<sub>2</sub>, NO).

- Διάφοροι υδρογονάνθρακες, κυκλικής ή πολυκυκλικής ανθρακικής αλυσίδας, (HCs) για παράδειγμα οι CFCs, το αιθυλένιο (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), το βενζόλιο (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>), κ.λπ.
- Το ιδιαίτερα τοξικό υδροφθόριο (HF).
- Διάφορες πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs).
- Διαφορετικού μεγέθους και σύστασης μικροσκοπικά σωματίδια (PMs).
- Ο μόλυβδος (Pb).
- Ο αμίαντος.
- Τα αλογόνα (F, Cl, Br, I), υπό διάφορες μορφές και ενώσεις (Ζιώμας και Ρεμουντάκη, 2003).

Σε αυτές τις κατηγορίες, συμπεριλαμβάνονται ρύποι που καθημερινά παράγονται από άμεσες ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως είναι σωματίδια από την φθορά των ελαστικών κατά την χρήση των αυτοκινήτων, προωθητικά αέρια και συστατικά που χρησιμοποιούνται στην κοσμετολογία (αρώματα, καλλυντικά, προϊόντα ψεκασμού που περιέχουν προωθητικά αέρια), ρύποι που προέρχονται από την εξάτμιση πτητικών ουσιών όπως η βενζίνη και η ακετόνη, ρύποι που προέρχονται από καθημερινές συνήθειες όπως το κάπνισμα. Σε αυτές τις περιπτώσεις, το εξεταζόμενο δεν είναι η ποσότητα ανά άτομο αλλά η έκταση της χρήσης. Για παράδειγμα, εκατομμύρια άνθρωποι καθημερινά (>50% το ανθρώπινου πληθυσμού) καπνίζουν. Για να συνειδητοποιήσουμε την κλίμακα, όσο αμελητέα και αν είναι σε επίπεδο οικοσυστήματος, αρκεί να σκεφτούμε τι συμβαίνει μέσα σε έναν κλειστό χώρο που καπνίζει ένα και μόνο άτομο συνεχώς (Ζιώμας Ι. και Ρεμουντάκη Ε., (2003) : Μελάς, 2007 : Ζανής, 2014).

**Πίνακας 7 :** Ποσότητες έκλυσης αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα από φυσικές και ανθρωπογενείς πηγές (σε 10<sup>6</sup> τόνους / έτος) και απαιτούμενος χρόνος καθίζησης λόγω βαρυτικής έλξης για κάθε ένα χιλιόμετρο ατμοσφαιρικού ύψους (Πηγή : Μελάς, 2007)

ΦΥΣΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ		ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΠΗΓΕΣ	
Σκόνη	100 - 500	Εκπομπές	10 - 90
Πορκαίες δασών	3 - 150	Μετατροπή αερίων	160 - 240
Ηφαίστεια	25 - 150	σε σωματίδια	
Θάλασσες	4 - 300	Φωτοχημική μετατροπή	15 - 90
Μετατροπή αερίων	270 - 900	αερίων σε σωματίδια	
σε σωματίδια			
Φωτοχημική μετατροπή	75 - 200		
Αερίων σε σωματίδια			
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>480 - 2200</b>		<b>185 - 420</b>
Διάμετρος σωματιδίου		Χρόνος καθόδου 1 χιλιομέτρου	
0.02		228 χρόνια	
0.1		36 χρόνια	
1.0		328 ημέρες	
10.0		3.6 ημέρες	
100.0		1.1 ώρες	
1000.0		4 λεπτά	

Οι δευτερογενείς ρύποι, είναι το αποτέλεσμα σύνθετων χημικών φαινομένων που εξελίσσονται στην ατμόσφαιρα, υπό συνθήκες πίεσης, θερμοκρασίας και υγρασίας και την επίδρασης της ηλιακής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, συνήθως με πρώτη ύλη πρωτογενείς ρύπους. Οι δευτερογενείς αέριοι ρύποι είναι κυρίως το όζον και το διοξείδιο του αζώτου, ενώ παράγωγα φαινόμενα ρύπανσης είναι το φωτοχημικό νέφος, η όξινη βροχή και το επαυξημένο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Η παρουσία δευτερογενών ρύπων εντείνεται τις ημέρες με έντονη και διαρκή ηλιοφάνεια, ατμοσφαιρική υγρασία και ανέμους χαμηλής έντασης, ώστε να ευνοείται η παραμονή και φωτοχημική δράση σε περιορισμένη περιοχή.

**Πίνακας 8 :** Χρόνος παραμονής στην ατμόσφαιρα των σημαντικότερων αέριων ρύπων (Πηγή : Μελάς, 2007)

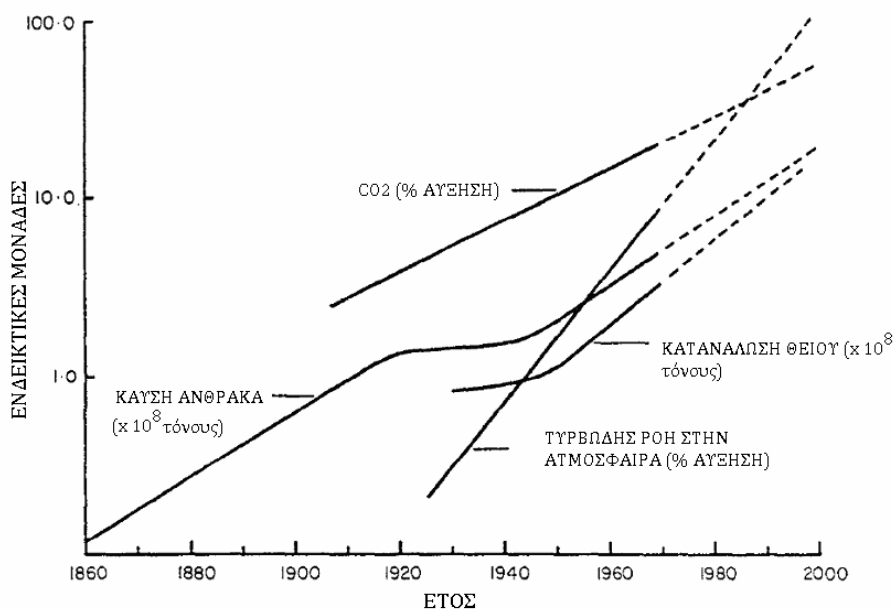
<b>Ρύπος</b>	<b>Διάρκεια</b>
O <sub>3</sub>	0.4-90 ημέρες
NO	4-5 ημέρες
NO <sub>2</sub>	2-8 ημέρες
NO <sub>3</sub>	4-20 ημέρες
NH <sub>4</sub>	7-19 ημέρες
H <sub>2</sub> S	0.08-2 ημέρες
SO <sub>2</sub>	0.01-7 ημέρες
SO <sub>4</sub>	3-5 ημέρες
Hg	11-2080 ημέρες
CO	0.9-2.7 έτη
CCl <sub>4</sub>	1 έτος
CH <sub>4</sub>	1.5-2 έτη
Freon	16 έτη
CO <sub>2</sub>	2-10 έτη

### 3.1.3.1. Η περίπτωση του Διοξειδίου του Άνθρακα (CO<sub>2</sub>)

Σύμφωνα με το I.P.C.C., η ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα της ατμόσφαιρας άρχισε να αυξάνεται μετά το 1800, περίοδος που συμπίπτει χρονικά με την αύξηση του πληθυσμού της γης και την γενίκευση της χρήσης των ορυκτών καυσίμων. Υπολογίζεται ότι τον 19<sup>ο</sup> αιώνα (1870), η ποσότητα του CO<sub>2</sub> της ατμόσφαιρας ήταν 280 ppm, ενώ στο τέλος του αιώνα είχε αγγίξει τα 367 ppm. παράλληλα. Σήμερα η τιμή του CO<sub>2</sub> είναι 406,36 ppm, ενώ ο μέσος ετήσιος ρυθμός αύξησης είναι 1,550517 ppm, από το 1959 έως σήμερα.

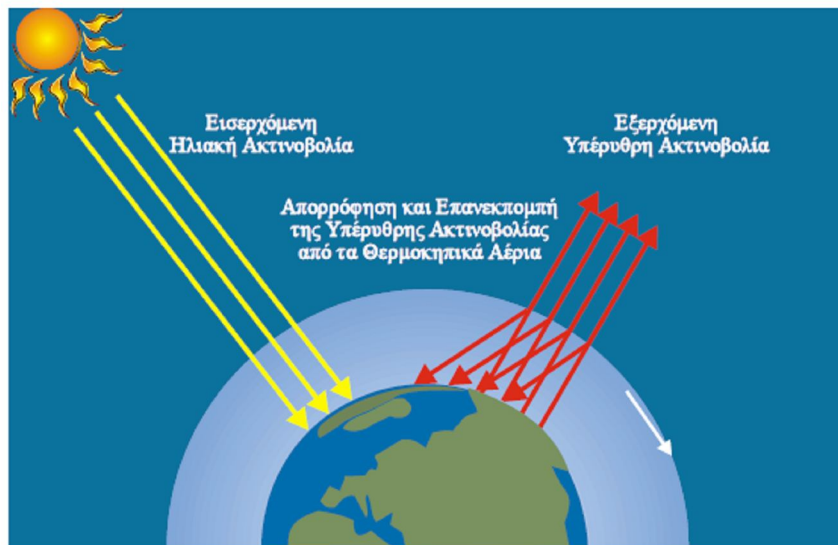
(<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html#global>).

Η σπουδαιότητα του διοξειδίου του άνθρακα ως συστατικού της ατμόσφαιρας, έγκειται στο ότι βοηθά στην διατήρηση των θερμοκρασιακών ορίων του πλανήτη, μέσα στα οποία αναπτύσσεται και εξελίσσεται η ζωή. Αυτό είναι το φυσικό φαινόμενο που περιγράφεται ως Φαινόμενο του Θερμοκηπίου.

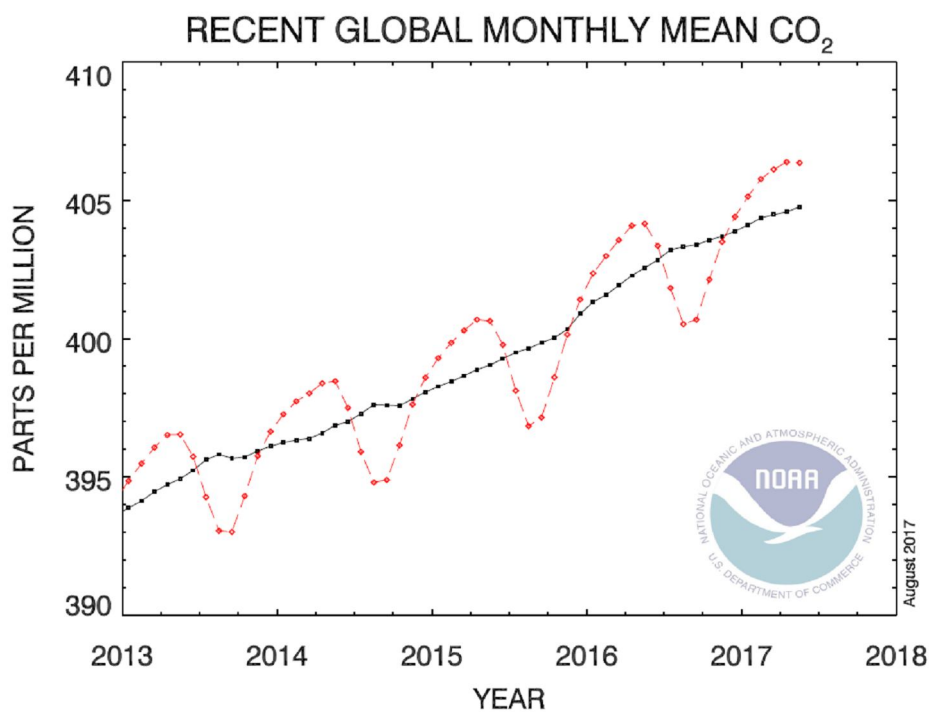


**Διάγραμμα. 6.:** Το CO<sub>2</sub> μετά το 1950. Από την δεκαετία του 50' και μετά, άρχισαν πολλοί επιστήμονες να παρακολουθούν την εξέλιξη της ποσότητας του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα παράλληλα με την τάση αύξησης της χρήσης των ορυκτών καυσίμων. Σε αυτό το διάγραμμα φαίνονται οι τάσεις που υπολογίζονταν στα τέλη της δεκαετίας του 60' στην είσοδο στην ατμόσφαιρα άνθρακα και θείου που προέρχονται από την καύση ορυκτών καυσίμων. (Πηγή : διαμορφωμένο από Lovelack, 1971).

Από τα τέλη της δεκαετίας του 60' είχαν αρχίσει να εμφανίζονται αναφορές για την πιθανή επίδραση των αυξημένων εκλύσεων προς την ατμόσφαιρα, ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα που προέρχονταν από την χρήση των ορυκτών καυσίμων. Ο Lovelock (1971), είχε επισημάνει την αλληλένδετη σχέση βιόσφαιρας / ατμόσφαιρας, και ότι οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα προς την ατμόσφαιρα θα αυξηθούν τα επόμενα χρόνια με πιθανές δυσμενείς επιπτώσεις για το κλίμα (Lovelack, 1971).

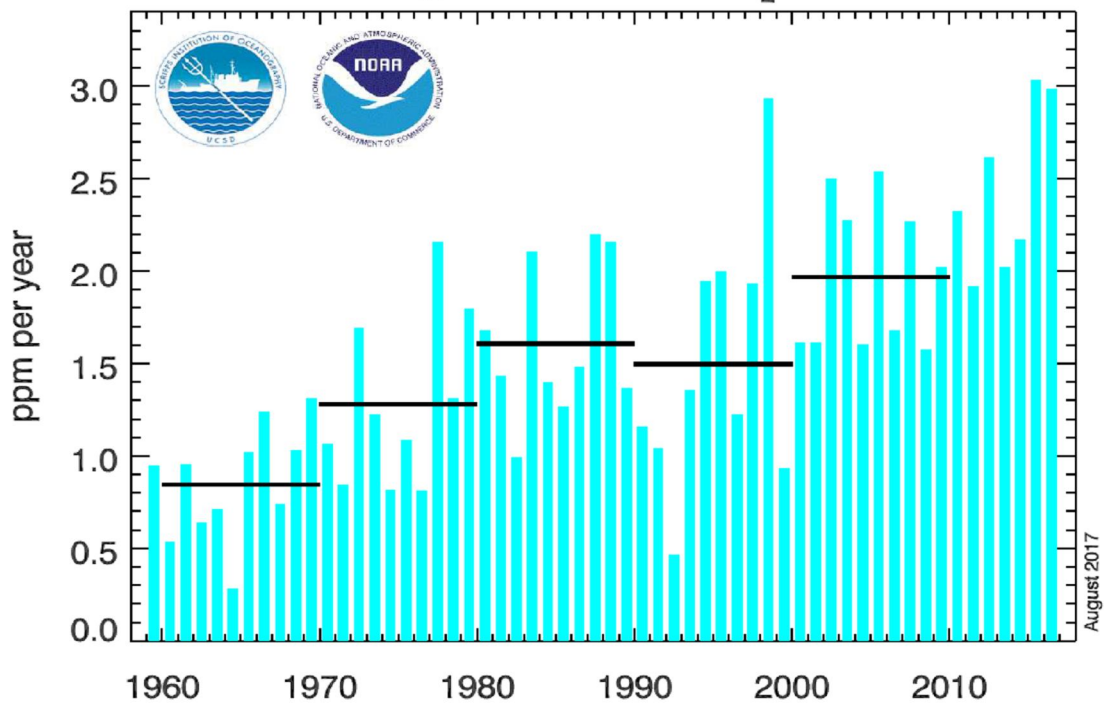


**Εικόνα .11.** Η λειτουργία του φυσικού φαινομένου του Θερμοκηπίου (Πηγή : Μελάς, 2007)



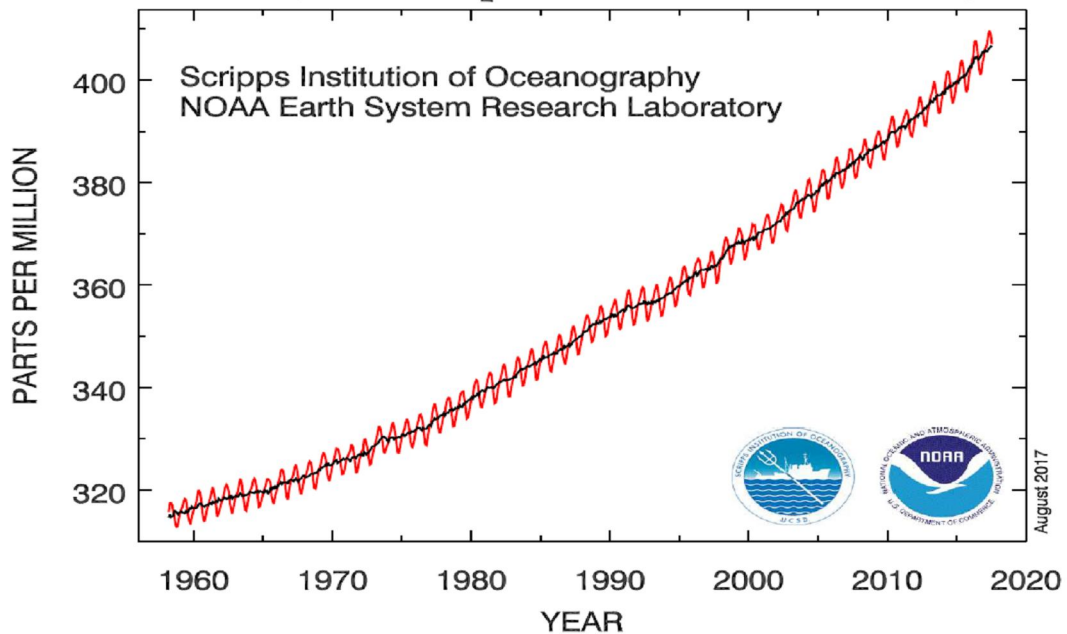
**Διάγραμμα. 7 :** Η μεταβολή του CO<sub>2</sub> τα τελευταία πέντε χρόνια στον σταθμό μέτρησης Mauna Loa της Χαβάης. Το διάγραμμα έχει ανανεωθεί τελευταία φορά στις 7/8/2017 και δείχνει μέση τιμή 406,36 ppm τον Μάιο του 2017. Ένα μόλις έτος πριν, η τιμή ήταν 404,16 ppm. (Πηγή NOAA :<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html#global>)

### annual mean growth rate of CO<sub>2</sub> at Mauna Loa



**Διάγραμμα 8:** Ο μέσος ετήσιος ρυθμός αύξησης του CO<sub>2</sub> της ατμόσφαιρας, όπως καταγράφεται στο σταθμό Mauna Loa της Χαβάης, για την περίοδο 1960 - 2010. (Πηγή NOAA : <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/gr.html>)

### Atmospheric CO<sub>2</sub> at Mauna Loa Observatory



**Διάγραμμα 9 :** Μέσες μηνιαίες τιμές CO<sub>2</sub>, στον σταθμό Mauna Loa της Χαβάης. Οι τιμές μετρώνται στον ξηρό αέρα και προσδιορίζονται ως μόρια αερίου διαιρούμενα με τον αριθμό μορίων ξηρού αέρα επί 10<sup>6</sup> ώστε η τελική τιμή να είναι σε ppm. Η πρόβλεψη για το 2020, όπως φαίνεται είναι αυξητική (Πηγή : <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/full.html>)

### 3.1.3.2. Το Μονοξειδίο του Άνθρακα (CO)

Ανθρωπογενώς προέρχεται κυρίως από την ατελή καύση ορυκτών καυσίμων που χρησιμοποιούνται σε μηχανές εσωτερικής καύσης. Η συνήθης φυσική του κατάσταση είναι η αέρια. Είναι άχρωμο, άγευστο και άοσμο και διαλύεται ελάχιστα στο νερό. Θεωρείται σημαντικό για τον κύκλο του όζοντος της τροπόσφαιρας, γιατί οξειδώνεται από το OH<sup>-</sup> του νερού δίνοντας διοξείδιο του άνθρακα.

Η επίδραση των εκλύσεων των οχημάτων μέσα στις πόλεις στην ποιότητα του αέρα έχει μελετηθεί και παλαιότερα, όταν το πρόβλημα είχε αρχίσει να διαφαίνεται τι διαστάσεις θα λάβει, λαμβάνοντας υπ' όψιν την αύξηση των ποσοτήτων μονοξειδίου του άνθρακα, τους αρωματικούς πολυκυκλικούς υδρογονάνθρακες και τα οξείδια του αζώτου (Menichini, 1992 : Angelino et al., 1993).

Οι κύριες ανθρωπογενείς πηγές μονοξειδίου του άνθρακα είναι τα αυτοκίνητα (κατά 75%) και η βιομηχανία (κατά 25%), ενώ η σημαντικότερη φυσική πηγή του είναι το CH<sub>4</sub> από το οποίο παράγεται κατά την οξείδωσή του (Ζιώμας και Ραμουντάκη, 2003 : Ζανής, 2014)

### 3.1.3.3. Το Διοξείδιο του Θείου (SO<sub>2</sub>) και άλλες Ενώσεις του

Είναι αέριο, άχρωμο και άοσμο αλλά με πολύ ερεθιστική οσμή. Το διοξείδιο του θείου εκλύεται από την καύση ορυκτών καυσίμων (γαιάνθρακες) και κυρίως του πετρελαίου. Ανθρωπογενώς εκλύεται από μονάδες παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, την χημική βιομηχανία, την χαρτοβιομηχανία, τα διυλιστήρια, τις κεντρικές θερμάνσεις κτηρίων, τα οχήματα και τα πλοία, που χρησιμοποιούν ως καύσιμο κίνησης το πετρέλαιο ή λιγότερο επεξεργασμένες μορφές του, καθώς το θείο είναι συστατικό των οργανικών του μορίων σε ποσοστό 0,6 %.

Το εξευγενισμένο πετρέλαιο που χρησιμοποιείται ως καύσιμο αυτοκινήτων και η βενζίνη, περιέχουν μικρές ποσότητες θείου, οι οποίες όμως γίνονται υπολογίσιμες εξαιτίας του μεγέθους του στόλου των αυτοκινήτων.

Το θείο, επίσης, βρίσκεται στην ατμόσφαιρα υπό την μορφή καρβόνυλο-σουλφιδίων (OCS), υδροθείου (H<sub>2</sub>S), διθειάνθρακα (CS<sub>2</sub>), θεικών αλάτων (S<sub>y</sub>X<sub>x</sub>) και διμέθυλο-σουλφιδίου [(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>S].

Συνήθως, οι υψηλότερες συγκεντρώσεις, ανιχνεύονται στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Είναι αρκετά φυτοτοξικό καθώς καταστρέφει τις φωτοσυνθετικές διατάξεις των φύλλων, και γενικότερα επικίνδυνο για την υγεία, εξαιτίας της δραστηρικής ρίζας που περιέχει. Το θείο είναι υπεύθυνο για την πρόκληση του φαινομένου της όξινης βροχής, καθώς, συνδυαζόμενο με την ατμοσφαιρική υγρασία, σχηματίζει θειικό οξύ (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), (Ζιώμας και Ραμουντάκη, 2003 : Ζανής, 2014).

### 3.1.3.4. Τα Οξείδια και οι Ενώσεις του Αζώτου (NO, N<sub>2</sub>O, NO<sub>2</sub>)

Τα οξειδία του αζώτου είναι από τους σημαντικούς ρύπους που διαταράσσουν και την φυσική ισορροπία του αζώτου. Το μονοξείδιο του αζώτου είναι πρωτογενής ρύπος ενώ το διοξείδιο του αζώτου προκύπτει συνήθως δευτερογενώς από την χημική αντίδραση μεταξύ μονοξειδίου του αζώτου και όζοντος, ενώ συνήθως στα αιωρήματα των αστικών κέντρων, υπάρχει αλληλομετατροπή μεταξύ των δύο μορφών, γι' αυτό και μετρώνται συνολικά και ως ολικά οξειδία αζώτου (NO<sub>x</sub>).

Και τα δύο είναι αέρια στις συνήθεις θερμοκρασίες. Το διοξείδιο του αζώτου είναι πολύ διαλυτό στο νερό και έχει ισχυρές οξειδωτικές ιδιότητες. Έχει χαρακτηριστική ερεθιστική οσμή. Το χρώμα του είναι καφέ και σε αυτό οφείλεται η καφέ απόχρωση του αέρα στις πόλεις με υψηλά επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Κύριες ανθρωπογενείς πηγές των οξειδίων του αζώτου είναι τα αυτοκίνητα, οι κεντρικές θερμάνσεις κτηρίων και οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Ζιώμας και Ραμουντάκη, 2003 : Μελάς, 2007 : Ζανής, 2014)

### **3.1.3.5. Το Όζον (O<sub>3</sub>) της Τροπόσφαιρας**

Το τροποσφαιρικό όζον αποτελεί φυσιολογικά μόλις το 10% του συνολικού όζοντος της ατμόσφαιρας. Η κύρια ποσότητα όζοντος βρίσκεται στην στρατόσφαιρα (90%) όπου παράγεται μέσα από φυσικές διαδικασίες, και αποτελεί την ασπίδα του πλανήτη κατά της υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας. Στην τροπόσφαιρα αυξάνεται κυρίως ανθρωπογενώς. Θεωρείται από τα πιο σημαντικά θερμοκηπιακά αέρια, μαζί με το διοξείδιο του άνθρακα και το μεθάνιο.

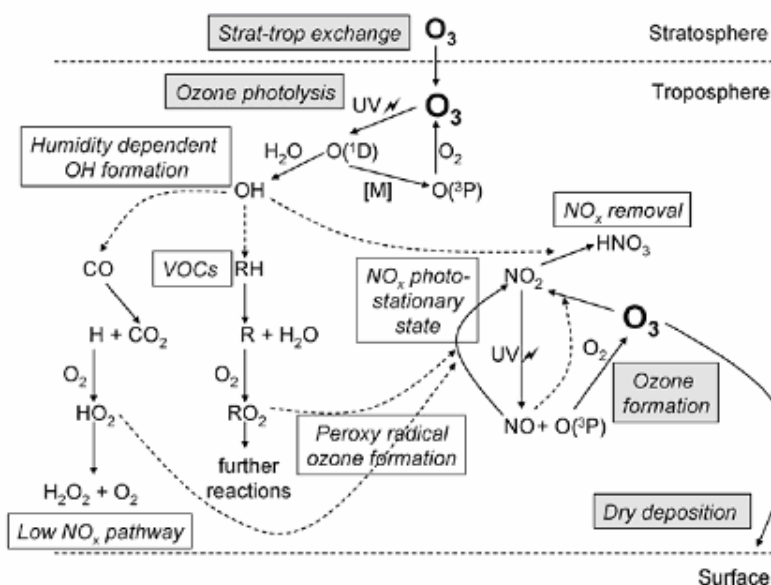
Έχει κυανό χρώμα και είναι εξαιρετικά δύσοσμο. Το όνομά του προέρχεται από το αρχαιοελληνικό ρήμα "Οζώ = μυρίζω πολύ άσχημα" γιατί έχει πολύ δυσάρεστη και ερεθιστική οσμή.

Το όζον είναι μία αλλοτροπική μορφή του οξυγόνου και στην φυσική του κατάσταση είναι αέριο. Αποτελείται από τρία άτομα οξυγόνου, γι' αυτό και είναι εξαιρετικά διαβρωτικό συμμετέχοντας στον σχηματισμό ελευθέρων ριζών (ROS) (Καραμπουρνιώτης, 2003).

Το όζον και τα αέρια σωματίδια, αλληλεπιδρούν με την ηλιακή και την εδαφική ακτινοβολία γι' αυτό και είναι παράγοντες που επηρεάζουν το κλίμα. Το όζον θεωρείται ένας σημαντικός παράγοντας για την κλιματική αλλαγή. Γι αυτό τον λόγο, η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην ποιότητα του επιφανειακού στρώματος αέρα, οριοθετείται και από τις χημικές αλληλεπιδράσεις που συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα (Jakob. et al., 2009).

Ο Cape (2008<sup>a</sup>), επίσης εκτιμά ότι στα επόμενα χρόνια, το όζον στην κατώτερη ατμόσφαιρα θα είναι ο υπ' αριθμόν ένα παράγοντας κινδύνου εξαιτίας της τοξικότητάς του. Επισημαίνει όμως, ότι στο σύνολο των φωτοκαταλυτικών αντιδράσεων που εμπλέκονται, ενδέχεται η συνέργεια με τα NO, NO<sub>2</sub> και VOCs να λειτουργήσει ως

παράγοντας αντίστροφων αντιδράσεων που θα οδηγήσουν σε αντιδράσεις αποσύνθεσης του.



**Εικόνα 12 :** Σχηματική απεικόνιση των αντιδράσεων που συμμετέχει το O<sub>3</sub> στην ατμόσφαιρα (Πηγή : Oliver, 2008)

Το επιπλέον όζον της τροπόσφαιρας προέρχεται δευτερογενώς από την αντίδραση του οξυγόνου με πτητικές οργανικές ενώσεις και τα οξείδια του αζώτου με την βοήθεια της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι αντιδρώσες ενώσεις προέρχονται από τις μηχανές εσωτερικής καύσης και την βιομηχανία (εργοστάσια, διυλιστήρια, χημικά, κ.λπ). Η τοξικότητα του όζοντος, επηρεάζει τόσο τον άνθρωπο όσο και την βλάστηση γιατί είναι εξαιρετικά ερεθιστικό και φυτοτοξικό (Percy and Karnosky, 2007) (<https://www.esrl.noaa.gov/csd/assessments/ozone/2014/report.html>)

### 3.1.3.6. Τα Αιωρούμενα Σωματίδια (PM<sub>10</sub> και PM<sub>2.5</sub>)

Είναι ίσως η πιο πολυσυζητημένη και άμεσα επικίνδυνη μορφή αέριων ρύπων, εξαιτίας των έντονων και άμεσων επιδράσεων που έχουν.

Πρόκειται για μικροσκοπικά σωματίδια ανομοιογενούς συνήθως σύστασης ύλης, που βρίσκονται σε στερεή ή υγρή φυσική κατάσταση.

**Πίνακας 9 :** Κατάταξη αιωρούμενων σωματιδίων βάση του μεγέθους τους (Πηγή : Ζάνης, 2014)

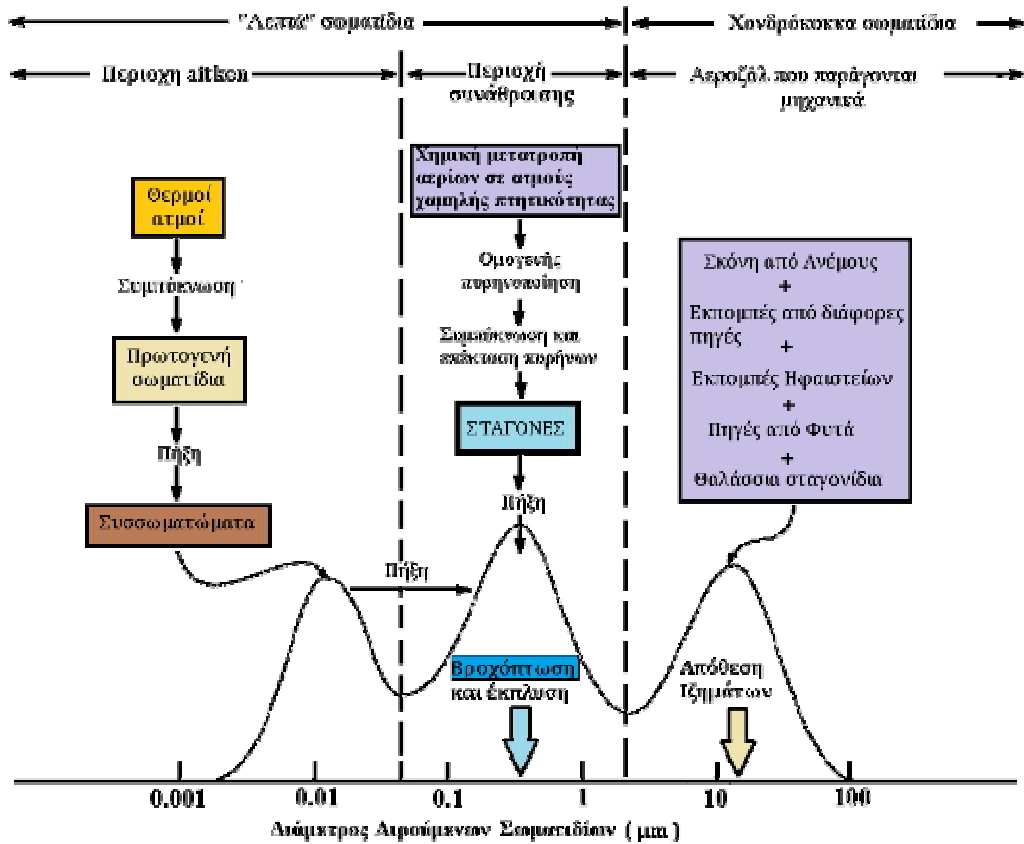
Υγρή φάση	Στερεά φάση
>100 μm βροχοσταγονίδια 1 - 100 μm νεφοσταγονίδια	> 100 μm μεγάλα σωματίδια σκόνης < 100 μm μικρά σωματίδια σκόνης 10 - 10 <sup>3</sup> μm σωματίδια αιθάλης > 1μm χονδρόκοκκα σωματίδια 10 <sup>-1</sup> - 1 μm λεπτά σωματίδια 1 - 10 <sup>-3</sup> μm πυρήνες aitken και ιόντα

Τα αέρια σωματίδια (PMs) διακρίνονται σε μεγέθη 2.5 και 10 μm, με βάση την διάμετρό τους. Συνίστανται κυρίως από θειϊκά ιόντα (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), νιτρικά (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) οργανικό άνθρακα, στοιχειακό άνθρακα, εδαφικά σωματίδια και χλωριούχο νάτριο.

Τα πρώτα τέσσερα συνιστούν κυρίως τα PM<sub>2.5</sub> και δεν επηρεάζουν ιδιαίτερα την ανθρώπινη υγεία. Η μεταφορά νιτρικών και οργανικού άνθρακα από την σωματιδιακή στην αέρια φάση, επηρεάζεται κυρίως από την θερμοκρασία. Η παρουσία των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα εξαρτάται από την περιοχή και τα χαρακτηριστικά του κλίματος που επικρατεί και των διαφόρων πηγών ρύπανσης. Η παρουσία τους στην κατώτερη ατμόσφαιρα, εμφανίζει εποχική περιοδικότητα και επηρεάζεται κυρίως από τις κατακρημνίσεις, επεισόδια πυρκαγιών, κυκλοφορίας οχημάτων, έργα μεγάλης και μικρής κλίμακας, όπως και από μετεωρολογικά φαινόμενα μεταφοράς σκόνης από μία περιοχή σε άλλη και ηφαιστιακή δραστηριότητα (Ζιώμας και Ραμουντάκη, 2003 : Ζανής, 2014).

Οι κλιματικές αλλαγές θα διαταράξουν όλα εκείνα τα χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας (ταχύτητα ανέμου, βάθος μίξης στο αέριο στρώμα, μεταφορά, κ.λπ) που επηρεάζουν την ποιότητα και την διασπορά των ρύπων (κατακρημνίσεις, φυσικοχημικά χαρακτηριστικά) συνολικά, και τα μικροσωματίδια θεωρούνται ήδη υψηλός παράγοντας κινδύνου για πολλές εποχικές ή περιστασιακές εξάρσεις προβλημάτων υγείας στον πληθυσμό (Jakob et al., 2009 : Tsangari et al., 2016) .

Τα αιωρούμενα σωματίδια ανθρωπογενώς προέρχονται από την καύση ορυκτών καυσίμων και κυρίως του πετρελαίου, από την βιομηχανία, από πυρκαγιές, από γεωργικές δραστηριότητες, από δραστηριότητες κατασκευής έργων, από την φθορά υλικών και από τεχνολογικά ατυχήματα, κ.λπ.



**Εικόνα.13:** Το πρότυπο σχηματισμού, κατανομής και κατακρίμνησης των αιωρούμενων σωματιδίων στην κατώτερη ατμόσφαιρα (Πηγή : διαμορφωμένο από Ζανής, 2014)

Τα  $PM_{10}$  και  $PM_{2.5}$  συνήθως μετρώνται ως τιμές βάρους/όγκο αέρα αλλά χρησιμοποιούνται και μετρήσεις ολικού αριθμού σωματιδίων/όγκο αέρα. Επίσης, μετράται η μάζα, η επιφάνεια, η ακτίνα και το πρότυπο διασποράς των σωματιδίων, ειδικά όταν πρόκειται για σημειακές πηγές αέριας ρύπανσης, όπως είναι οι καπνοδόχοι πολυκατοικιών και οι βιομηχανικοί υψικάμινοι.

Τα στερεά σωματίδια μπορούν να λειτουργούν κατά περίπτωση ως προσροφητικές επιφάνειες για μία ποικιλία χημικών αντιδράσεων που γίνονται δευτερογενώς στην ατμόσφαιρα. Εξαιτίας του μικρού μεγέθους, μπορούν να μεταφέρονται ως σύννεφο σκόνης, σε μεγάλες αποστάσεις από ισχυρές και πυκνές αέριας μάζες.

Τα σωματίδια, είτε εκλύονται απευθείας στην ατμόσφαιρα είτε σχηματίζονται δευτερογενώς, υπό μορφή συσσωματωμάτων υπό διάφορες συνθήκες. Για παράδειγμα, σωματίδια με μέγεθος έως 0.2  $\mu m$  σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα μέσα από μηχανισμούς πήξης και συμπύκνωσης με την συμμετοχή νερού, θερμότητας και πίεσης. Συνήθως περιέχουν ενώσεις του μολύβδου και θειικά, αμμωνιακά, οργανικά και νιτρικά άλατα.

Τα λεπτά σωματίδια προέρχονται από την συμπύκνωση ατμών, την καύση υλικών, και σωματίδια της ατμόσφαιρας. Σωματίδια έως διάμετρο 10 μm προέρχονται κυρίως από την αποσάθρωση εδαφικών στοιχείων και από την θαλάσσια επιφάνεια. Πρόκειται για οξείδιο του πυριτίου (άμμο), χλωριούχο νάτριο (αλάτι), ανθρακικό ασβέστιο σε μικρές ποσότητες και κυτταρινούχα υλικά φυτικής προέλευσης.

Τα αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας, ακολουθούν μία συνεχή διαδικασία κίνησης - μεταφοράς, συσσωμάτωσης και κατακρήμνισης και συμμετέχουν σε διάφορα φαινόμενα. Τα σωματίδια έως <0,1 μm που περιέχουν πυρήνες αιτκεν και ιόντα δεν συμμετέχουν στον σχηματισμό νεφών ως πυρήνες συμπύκνωσης. Πηγές αυτών των σωματιδίων όμως θεωρείται ότι είναι οι δασικές πυρκαγιές, φωτοοξειδωτικές αντιδράσεις, η βιομηχανία και τα αυτοκίνητα.

Σε πολλές πόλεις της Κίνας, το φαινόμενο της χαμηλής ορατότητας εξαιτίας της παρουσίας αιωρούμενων σωματιδίων, είναι καθημερινό πρόβλημα με δυσμενείς επιδράσεις στην υγεία των κατοίκων (Ζιώμας και Ραμουντάκη, 2003 : Ζανής, 2014)

### **3.1.3.7. Διάφορες Οργανικές και Ανόργανες Χημικές Ενώσεις και Στοιχεία**

Συνήθως πρόκειται για ενώσεις με λίγα άτομα άνθρακα που είναι κυρίως ανθρωπογενούς προέλευσης. Η πιο γνωστή οργανική ένωση φυσικής προέλευσης είναι το μεθάνιο (CH<sub>4</sub>).

Συναντώνται ενώσεις σε αέρια, υγρή και στερεή κατάσταση. Οι αέριες ενώσεις έχουν 1 - 4 άτομα άνθρακα, οι υγρές 5 - 6 άτομα άνθρακα και οι στερεές >7 άτομα άνθρακα. Οι στερεές ενώσεις συναντώνται ως ανεξάρτητα σωματίδια είτε ως συστατικά σωματιδιακών ρύπων μαζί με άλλες ενώσεις.

Η σημασία των ενώσεων αυτών, είναι ανάλογη της σύστασης και της χημικής δραστηριότητας των στοιχείων και των δραστικών χημικών ομάδων που περιέχουν. Στοιχεία όπως το αλουμίνιο, το θείο, το χλώριο το ιώδιο, το νικέλιο, ο σίδηρος, ο μόλυβδος, το βρώμιο, το άζωτο, ο χαλκός, η αλδεϋδομάδα και η κετονομάδα απαντώνται στην ατμόσφαιρα ως υπολειμματικά προϊόντα από βιομηχανικά παράγωγα ή κατάλοιπα προϊόντων καταναλωτικής χρήσης ή ως εκλύσεις χημικών βιομηχανιών ή ατυχημάτων.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα CFCs που προέρχονται από την χημική βιομηχανία. Επίσης, ιδιαίτερα σημαντικός οργανικός αέριος ρύπος είναι το βενζόλιο. Επομένως συνολικά, όταν αναφερόμαστε σε οργανικούς αέριους ρύπους, αναφερόμαστε σε οργανικές ενώσεις όπως οι αλδεϋδες, οι κετόνες, οι αλκοόλες, οι αλογονούχες ενώσεις, οι αρωματικές ενώσεις, και οι ενώσεις με απλούς, διπλούς και τριπλούς δεσμούς (αλκάνια, αλκένια, αλκίνια).

Ιδιαίτερα για τις αστικές περιοχές, όπου κινείται μεγάλος στόλος αυτοκινήτων, το βενζόλιο είναι ένας σημαντικός ρύπος που προέρχεται από τα καύσιμα εξαιτίας της πτητικότητας που εμφανίζουν. Οι τιμές του αυξάνονται ιδιαίτερα τις ημέρες με υψηλές θερμοκρασίες. Είναι εξαιρετικά ερεθιστική χημική ένωση γι' αυτό και τα τελευταία

χρόνια καταγράφεται συστηματικά η παρουσία της σε πολλές χώρες της Ευρώπης (Ζανής, 2014 : ΥΠΕΝ, 2017)

### **3.1.3.8. Ο μόλυβδος (Pb)**

Ο μόλυβδος είναι ένα μέταλλο με αργυρόχρωμο χρωματισμό. Κατατάσσεται στα βαρέα μέταλλα και έχει "εισαχθεί στην ζωή μας κυρίως από τότε που άρχισαν να εφαρμόζονται οι καταλυτικοί μετατροπείς στις μηχανές εσωτερικής καύσης των αυτοκινήτων εξαιτίας της περιεκτικότητας της βενζίνης κίνησης σε μόλυβδο και της χρήσης του μολύβδου ως πρόσθετου στα καύσιμα ως αντικροτικού, ειδικά για τα αυτοκίνητα παλαιάς τεχνολογίας. Παλαιότερα, η κύρια πηγή του μολύβδου ήταν η χημική και μεταλλουργική βιομηχανία. Επίσης, μόλυβδος απελευθερώνεται σε ατυχήματα βιομηχανικών μονάδων και πυρκαγιές σε ΧΥΤΑ, ΧΑΔΑ και χώρους ανακύκλωσης απορριμμάτων. Στην ατμόσφαιρα συναντάται ως συστατικό αιωρούμενων σωματιδίων (ΥΠΕΝ, 2016).

### **3.1.3.9. Το Υδροφθόριο (HF)**

Το υδροφθόριο (HF) προέρχεται κυρίως από την χημική βιομηχανία, την βιομηχανία επεξεργασίας του πυριτίου για την παραγωγή γυαλιού και από την βιομηχανία χημικών λιπασμάτων. Σαν χημική ένωση είναι εξαιρετικά τοξική γιατί περιέχει το στοιχείο φθόριο (F) που είναι πολύ οξειδωτικό (Καραμπουρνιώτης, 2003).

Το φθόριο υπάρχει στους ζωντανούς οργανισμούς σε ελάχιστες ποσότητες καθώς συμμετέχει κυρίως σε σκελετικές δομές. Στα φυτά υπάρχει σε ποσότητα < 10 ppm, στα φύλλα.

Εξαιτίας της μικρής αναγκαίας ποσότητας του και της υψηλής χημικής δραστηριότητας του φθορίου, οι ενώσεις του που εκλύονται στην ατμόσφαιρα, ακόμη και σε μικρές ποσότητες, είναι εξαιρετικά φυτοτοξικές, καθώς προκαλούν τοπικές νεκρώσεις στα φύλλα σε πολλές κατηγορίες φυτών (Καραμπουρνιώτης, 2003 : Ridge, 2005 : Ζανής, 2014 : Ζιώμας και Ρεμουντάκη 2017).

### **3.1.3.10. Το Αιθυλένιο (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)**

Το αιθυλένιο είναι ένας οργανικός ρύπος που προέρχεται από την χρήση των ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο, λιγνίτης, φυσικό αέριο) και την χημική βιομηχανία. Εκλύεται από τα αυτοκίνητα, τις κεντρικές θερμάνσεις κλπ, αλλά γενικότερα θεωρείται μικρότερης σημασίας ρύπος και κυρίως τοπικός ρύπος.

Είναι μία φυτοτοξική οργανική ένωση (>0.1 ppm) που προκαλεί φυλλόπτωση, μείωση του ρυθμού αύξησης της βιομάζας, αναστολή άνθισης, νεκρωτικές κηλίδες στα φύλλα και σε καρπούς και επιναστία (Καραμπουρνιώτης, 2003).

### **3.1.3.11. Το Νιτρικό-περόξυ-ακετύλιο [CH<sub>3</sub>C(O)OONO<sub>2</sub>]**

Αναφέρεται συντομογραφικά και ως PAN. Είναι δευτερογενής ρύπος που προέρχεται από την αντίδραση του διοξειδίου του αζώτου με περοξυακετυλικές ρίζες. Οι περοξυακετυλικές ρίζες παράγονται φωτοχημικά από το άκαυστο κλάσμα υδρογονανθράκων των καυσαερίων των αυτοκινήτων.

Οι τιμές του PAN αυξάνονται τις ημέρες με μεγάλο κυκλοφοριακό φόρτο στις αστικές περιοχές κυρίως και κοντά σε δρόμους πυκνής κυκλοφορίας στην επαρχία, παράλληλα με φαινόμενα αιθαλομίχλης, φωτοχημικού νέφους και αυξημένων τιμών όζοντος σε συνθήκες θερμοκρασιακών αναστροφών (Καραμπουρνιώτης, 2003).

Είναι ένωση με μεγάλο χρόνο παραμονής στην ατμόσφαιρα και γι' αυτό μπορεί να διασπείρεται σε μεγάλες αποστάσεις από το σημείο έκλυσης. (Καραμπουρνιώτης, 2003 : Ζανής, 2014).

### **3.1.3.12. Το Βενζόλιο (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)**

Το βενζόλιο είναι μία ένωση με κυκλική ανθρακική αλυσίδα. Είναι βασικό συστατικό της βενζίνης, στην οποία προσδίδει μεγαλύτερη ισχύ σε οκτάνια. Το καθαρό χημικά βενζόλιο αντιστοιχεί σε 150 βαθμούς οκτανίων. Περιέχεται σε πολύ μικρό ποσοστό στην βενζίνη (EN 228 : 1%) που χρησιμοποιείται ως καύσιμο στα ΙΧ και τις μηχανές εσωτερικής καύσης. Είναι γνωστό ότι αποτελεί δυνητικά καρκινογόνο χημική ένωση εξαιτίας της δραστηριότητας του αρωματικού δακτύλιου. Επίσης είναι και φυτοτοξικό. (Καραμπουρνιώτης, 2003: ΥΠΕΝ, 2017).

### **3.1.3.13. Άλλα Μέταλλα [Αρσενικό(As), Κάδμιο (Cd) και Νικέλιο (Ni) ]**

Τα τελευταία χρόνια παρακολουθούνται από το δίκτυο του ΥΠΕΝ και άλλα μέταλλα όπως το Αρσενικό, το Κάδμιο και το Νικέλιο. Βρίσκονται στην ατμόσφαιρα συνήθως ενωμένα με οξείδια του θείου. Όλα τα μέταλλα, μπορεί να προέρχονται από φυσικές πηγές, αλλά σε μικρές ποσότητες. Η ποσότητα τους έχει αυξηθεί στην ατμόσφαιρα των πόλεων κυρίως, ανθρωπογενώς. Στις αστικές περιοχές προέρχονται κυρίως από την βιομηχανία μετάλλων, την χημική βιομηχανία και τα καύσιμα. Το Αρσενικό είναι εξαιρετικά τοξικό δηλητήριο και τα άλλα μέταλλα επίσης μέσω της διαδρομής της βιοσυσσώρευσης, προκαλούν τοξικότητα και διάφορες παθολογικές καταστάσεις στο αναπνευστικό σύστημα, στο κυκλοφορικό σύστημα και στο ανοσοποιητικό σύστημα. Επίσης, ενοχοποιούνται για δερματοπάθειες (κυρίως το νικέλιο) και καρκινογενέσεις (ΥΠΕΝ, 2017).

## **3.2. Σύγχρονα Περιβαλλοντικά Προβλήματα με Τοπικό και Ευρύτερο ενδιαφέρον που οφείλονται στην Ατμοσφαιρική Ρύπανση**

Οι σύγχρονες πόλεις, πέραν των ενεργειακών προβλημάτων που αντιμετωπίζουν, με πρωταρχικό αυτό της θερμικής ρύπανσης, αντιμετωπίζουν και προβλήματα που είναι αποτέλεσμα του συνδυασμού καιρικών και χημικών επιδράσεων εξαιτίας της παρουσίας των ρύπων στα κατώτερα και μεσαία στρώματα της ατμόσφαιρας.

Τέτοια προβλήματα εντείνονται κυρίως τους θερινούς μήνες, αλλά εμφανίζονται και όλο τον χρόνο, τις ημέρες με έντονη ηλιοφάνεια, υψηλότερες θερμοκρασίες και υψηλή υγρασία. Βασικό φαινόμενο της ατμόσφαιρας των πόλεων με ατμοσφαιρική ρύπανση είναι το φωτοχημικό νέφος, που τα καθιστούν πιο έντονο και ενοχλητικό οι θερμοκρασιακές αναστροφές στο οριακό στρώμα.

Άλλα προβλήματα με ευρύτερο και παγκόσμιο ενδιαφέρον που είναι αποτέλεσμα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι η όξινη βροχή, η μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος και η αύξηση της έντασης του φαινομένου του θερμοκηπίου (υπερθέρμανση του πλανήτη) (Μελάς, 2007).

### **3.2.1. Η Όξινη Βροχή**

Η όξινη βροχή είναι ένα πρόβλημα ρύπανσης με δυσμενέστατη επίδραση στα οικοσυστήματα και τα ασβεστολιθικά πετρώματα. Δημιουργείται στην κατώτερη τροπόσφαιρα και επιδρά τόσο στο έδαφος, όσο και στο νερό, στα επιφανειακά πετρώματα, τις κατασκευές και τα βιοτικά στοιχεία των οικοσυστημάτων (φυτά, μικροοργανισμοί κ.λπ) (Καψανάκη, 2007).

Ο χαρακτηρισμός "όξινη βροχή" δόθηκε για πρώτη φορά την εποχή της βιομηχανικής επανάστασης στην Αγγλία προκειμένου να περιγράψει το πρόβλημα με την διάβρωση υλικών που προκαλούσε η βροχή.

Η όξινη βροχή δημιουργείται στην ατμόσφαιρα από την αντίδραση του διοξειδίου του θείου με τα οξείδια του αζώτου, παρουσία υγρασίας. Αποτέλεσμα είναι να σχηματισθεί θειικό οξύ και νιτρικό οξύ, τα οποία τελικά, διαλελυμένα στις βροχοσταγόνες, κατακρημνίζονται ή διασπείρονται με την ομίχλη (Μελάς, 2007 : Ζάνης, 2014).

Το πρόβλημα με την όξινη βροχή συνίσταται στο ότι προκαλεί διαταραχή στην οξεοβασική ισορροπία του εδάφους και του νερού, καθώς μειώνει το pH, από την ελαφρά όξινη περιοχή (5.6 - 6.5) σε πιο όξινες τιμές (4 - 4.6) με επακόλουθη επίδραση στο βιοτικό και αβιοτικό περιβάλλον.

Η όξινη βροχή, μπορεί να σχηματισθεί σε μεγάλες αποστάσεις από τις πηγές έκλυσης των οξειδίων του αζώτου και του θείου, γι' αυτό και είναι ένα μεγάλο πρόβλημα διασυννοριακής ρύπανσης, που έχει προκαλέσει βλάβες σε απομακρυσμένα δασικά οικοσυστήματα και ρέοντα ύδατα χαμηλών υψομέτρων. Η Νορβηγία για παράδειγμα, αντιμετωπίζει το πρόβλημα της όξινης ρύπανσης, από αερομεταφερόμενους ρύπους που προέρχονται από την Γερμανία και την Μ. Βρετανία (Odum, 1971 : Paoletti, 2006 : Paoletti et al., 2010).

Η μείωση του pH των επιφανειακών υδάτων, είναι υπεύθυνη για μαζικούς θανάτους υδρόβιων οργανισμών σε λιμναία οικοσυστήματα των χωρών της Σκανδιναβίας την δεκαετία του '70. Αργότερα, το φαινόμενο παρατηρήθηκε σε πολλές χώρες της Ευρώπης, ειδικά κοντά σε βιομηχανικές ζώνες (Odum, 1971).

Η όξινη βροχή, προκαλεί γυψοποίηση σε ασβεστολιθικής σύστασης ( $\text{CaCO}_3$ ) υλικά και πετρώματα, όπως είναι το μάρμαρο, με αποτέλεσμα να διαβρώνονται μνημεία, αγάλματα και δομικά στοιχεία.

Παγκοσμίως, η όξινη βροχή, αντιμετωπίζεται μέσω της μείωσης των εκλύσεων των οξειδίων του αζώτου και του θείου από τις μηχανές εσωτερικής καύσης, με την χρήση χημικών καταλυτών και αποθειωμένων καυσίμων (Ζιώμας και Ρεμουντάκη, 2003: Ζανής, 2014)

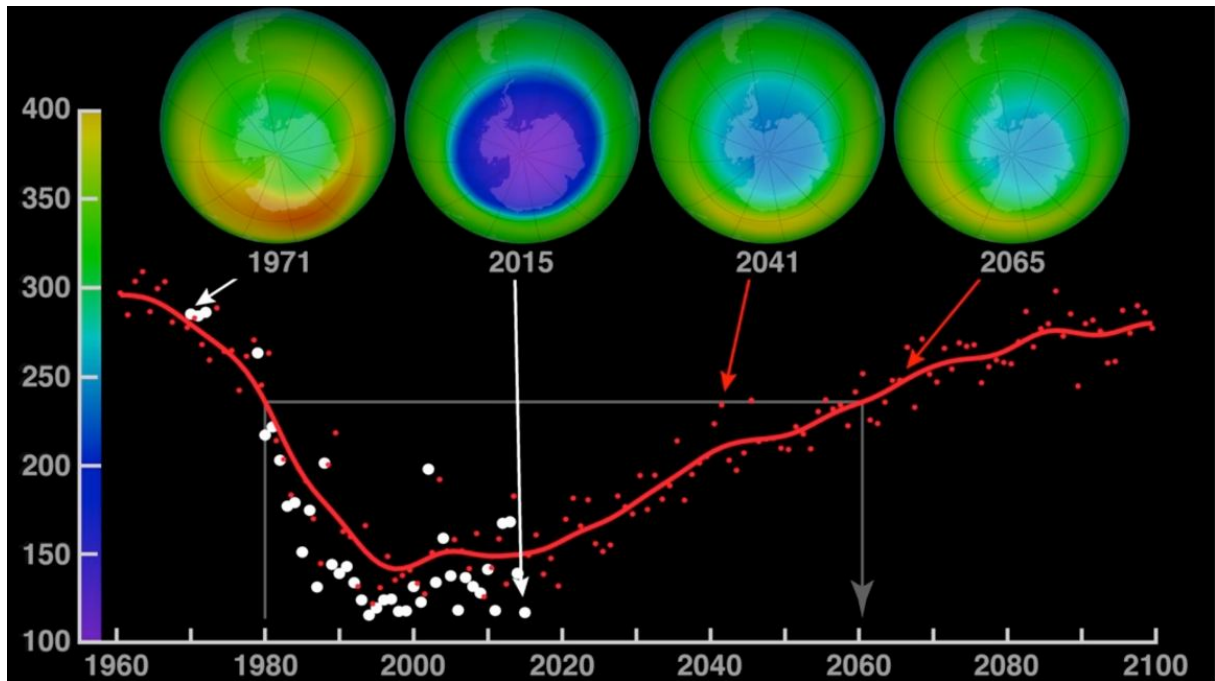
### **3.2.2. Η μείωση του Όζοντος της Στρατόσφαιρας**

Το πρόβλημα με το στρατοσφαιρικό όζον, εντοπίστηκε για πρώτη φορά στην δεκαετία του 70'. Στα επόμενα χρόνια, και ιδιαίτερα την δεκαετία του 80', έγιναν διεθνείς συμφωνίες για τον περιορισμό των αερίων ρύπων που κατέστρεφαν το όζον, με αποκορύφωμα την Συνθήκη του Μόντρεαλ (1987) (Δούση, 2017).

Χημικές ενώσεις που δημιουργούν το πρόβλημα είναι οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs) που περιέχονταν ως προωθητικά αέρια σε καλλυντικά και ως συστατικά ψυκτικών υγρών σε ψυγεία και ο τετραχλωράνθρακας  $\text{CCl}_4$  (Ζιώμας και Ρεμουντάκη, 2003 : Μελάς, 2007). Άλλες ενώσεις είναι τα χαλοαλκάνια (halons :  $\text{C}_x\text{F}_y\text{Cl}_z\text{Br}_t$ ), το μεθυλιωμένο χλωροφόρμιο (MC) και οι αλογονομένοι υδρογονάνθρακες γενικότερα.

Μέχρι και τέλος της δεκαετίας του 1990' το πρόβλημα με το όζον της στρατόσφαιρας, αποτελούσε θέμα συζήτησης πρώτης γραμμής για την επιστημονική κοινότητα. Η αιτία είναι ότι το όζον συμμετέχει στην διαμόρφωση της θερμοκρασίας της γης και θεωρείται ένα από τα σημαντικά θερμοκηπιακά αέρια, που δρουν μαζί με το διοξείδιο του άνθρακα.

Η μείωση του πάχους του στρατοσφαιρικού όζοντος και ιδιαίτερα πάνω από την Ανταρκτική, παρακολουθείται στενά από πολλούς διεθνείς και εθνικούς ερευνητικούς φορείς, καθώς το όζον, είναι η φυσική ασπίδα της γης έναντι της UV ηλιακής ακτινοβολίας (Odum, 1971 : Μελάς, 2007 : Ζιώμας και Ραμουντάκη, 2003 : Ζανής, 2014)



**Εικόνα 14 :** Η εξέλιξη του προβλήματος του στρατοσφαιρικού όζοντος. Οι εικόνες δείχνουν το μέσο πάχος του στρώματος όζοντος, πάνω από την Ανταρκτική, με πρόβλεψη έως το 2100. Οι τέσσερις σφαίρες παρουσιάζουν την εικόνα του στρώματος κατά τον μήνα Οκτώβριο. Οι σφαίρες του 1971 και του 2006 δημιουργήθηκαν με στοιχεία από τον δορυφόρο Nimbus-4 και την συσκευή Aura, αντίστοιχα, που καταγράφει συνεχώς την διακύμανση της οζονόσφαιρας. Οι απεικονίσεις των ετών 2041 και 2076, έγιναν με το λογισμικό μοντελοποίησης Chemistry - Climate του συστήματος NASA Goddard Earth Observation System (GEOS - CCM). Η NASA, προβλέπει ότι στα επόμενα 100 χρόνια, το όζον της στρατόσφαιρας, σταδιακά θα βελτιώνεται. (Πηγή NASA, 2017 : <https://svs.gsfc.nasa.gov/30602>)

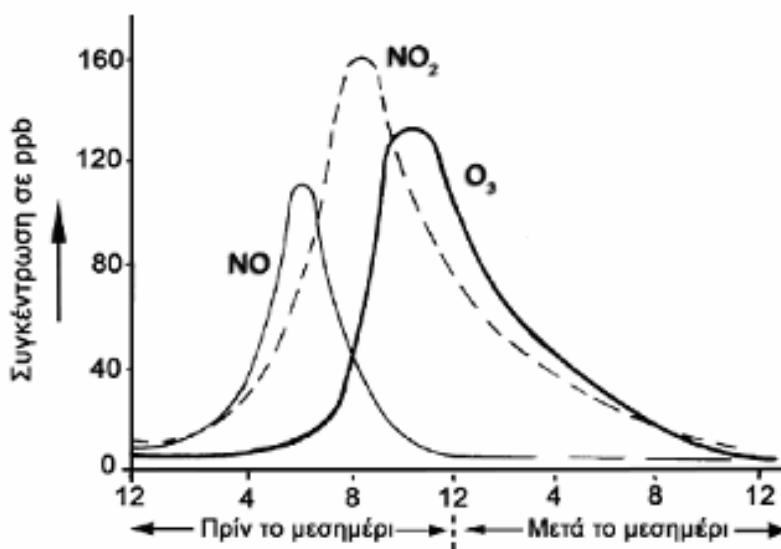
Τα τελευταία χρόνια παρατηρήσεις της NASA, δείχνουν ότι τα επίπεδα του όζοντος της στρατόσφαιρας έχουν αρχίσει να επανέρχονται, σταδιακά από τα μέσα περίπου της δεκαετίας του 90' και έκτοτε έχουν αρχίσει να σταθεροποιούνται. Με την χρήση μοντέλων προσομοίωσης, εκτιμάται ότι μέχρι το 2075 το στρατοσφαιρικό όζον θα επιστρέψει στα επίπεδα πριν το 1980 (Πηγή : <https://svs.gsfc.nasa.gov/30602>)

### 3.2.3. Το φωτοχημικό Νέφος

Το φωτοχημικό νέφος ονομάζεται και φωτοχημική καπνομίχλη και οφείλεται στην δευτερογενή παραγωγή όζοντος στα κατώτερα επίπεδα της τροπόσφαιρας. Αυτό σημαίνει, ότι η φυσιολογικά χαμηλή ποσότητα όζοντος της τροπόσφαιρας (< 10%), αυξάνεται εξαιτίας της αυξημένης παρουσίας πρωτογενών ρύπων που γίνονται το υπόστρωμα για την de novo σχηματισμό του.

Το πρόβλημα του φωτοχημικού νέφους εντοπίστηκε για πρώτη φορά στο Λος Άντζελες των ΗΠΑ την δεκαετία του 60' και μελετήθηκε ως φαινόμενο που συνδέθηκε με τον κυκλοφοριακό φόρτο και την θερμοκρασία. Σύντομα, διαπιστώθηκε ότι οξείδια του αζώτου και διάφοροι πτητικοί υδρογονάνθρακες που προέρχονται από εκλύσεις των αυτοκινήτων και των βιομηχανιών, υπό συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και ηλιοφάνειας, αντιδρούν προς τον σχηματισμό όζοντος και άλλων δευτερογενών ρύπων όπως το διοξείδιο του αζώτου, το νιτρικό οξύ και το νιτρικό-περοξυ-ακετύλιο

(Καραμπουρνιώτης, 2003 : Μελάς, 2007 : Ζανής, 2014). Αυτές οι κατηγορίες ενώσεων, χαρακτηρίζονται ως φωτοχημικοί ρύποι, γιατί παράγονται υπό την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας.



**Εικόνα.15 :** Σχηματική διαγραμματική παρουσίαση του μοτίβου της ημερήσιας διακύμανσης της φωτοχημικής ρύπανσης σε μία αστική περιοχή (Πηγή , Μελάς, 2007).

Το φωτοχημικό νέφος γίνεται πιο έντονο τις ημέρες με υψηλές θερμοκρασίες και έντονο ήλιο. Υπό συνθήκες θερμοκρασιακής αναστροφής, το νέφος εγκλωβίζεται σε μία περιοχή δημιουργώντας μία ευδιάκριτη διαχωριστική στρωμή. Στην κατώτερη τροπόσφαιρα, οι υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος συνεισφέρουν στον σχηματισμό φωτοχημικού νέφους. Χρόνια έκθεση σε αυξημένες συγκεντρώσεις όζοντος προκαλούν προβλήματα υγείας στον άνθρωπο, στα φυτά και σοβαρή διάβρωση στα υλικά (Tidblad, 2012 : Christodoulakis et al., 2017 : Tsangari et al., 2016).

Το τροποσφαιρικό όζον συμβάλλει στην επαύξηση του φαινομένου του θερμοκηπίου, κατά το 1/3 της συνολικής δράσης του διοξειδίου του άνθρακα και στην δημιουργία της όξινης βροχής (Μελάς, 2007 : Ζανής, 2014 )

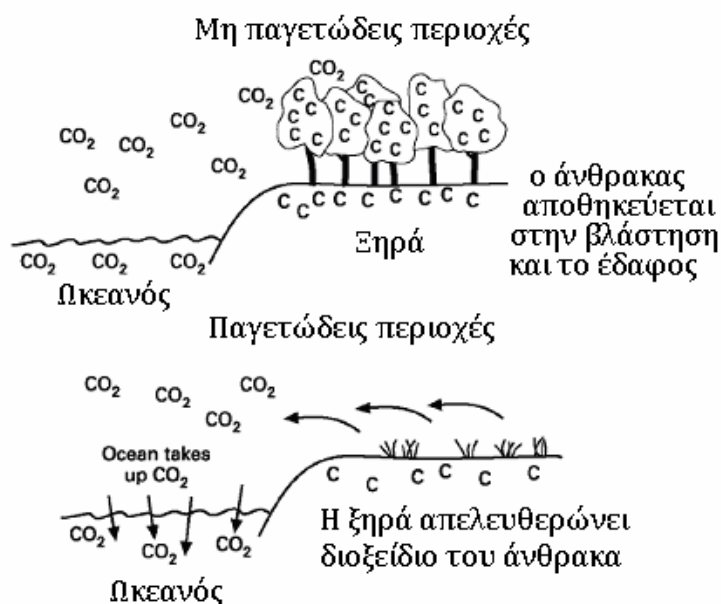
### 3.2.4. Το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου

Η θερμοκρασία του πλανήτη, στηρίζεται στο ενεργειακό ισοζύγιο, μεταξύ εισερχόμενης και εξερχόμενης ενέργειας. Δηλαδή το σύστημα της γης είναι ένα ανοικτό σύστημα. Ο ήλιος έχει θερμοκρασία γύρω στους  $6 \times 10^3$  °C ενώ η Γη έχει κατά μέσο όρο 15 °C. Ο ήλιος εκπέμπει ενέργεια προς την Γη στο ορατό φάσμα του φωτός κυρίως (400 - 800 nm) ενώ η Γη εκπέμπει ακτινοβολία στο υπέρυθρο φάσμα ( $> 16000$  nm).

Μέρος της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από την επιφάνεια της Γης, εγκλωβίζεται στην ατμόσφαιρα και εκπέμπεται πάλι προς την επιφάνεια. Αυτό είναι το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου, όπως το ονόμασε ο Fourier (1822). Εάν δεν υπήρχε το φαινόμενο αυτό, η μέση θερμοκρασία του πλανήτη θα ήταν στους - 18 °C με ανάλογα αποτελέσματα σε όλες της βιοχημικές διαδικασίες της ύλης.

**Πίνακας 10:** Τα θερμοκηπιακά αέρια και η σχετική συνεισφορά τους στο πρόβλημα της υπερθέρμανσης (Πηγή : Μελάς, 2007)

Διοξείδιο του άνθρακα (CO <sub>2</sub> )	50 - 60 %
Χλωροφθοράνθρακες (CFCs)	15 - 25 %
Μεθάνιο (CH <sub>4</sub> )	12 - 20 %
Όζον μαζί με άλλα αέρια (O <sub>3</sub> )	11 %
Υποξείδιο του Αώτου (N <sub>2</sub> O)	5 %



**Εικόνα 16 :** Πως η ξηρά και η βλάστηση μπορούν να λειτουργήσουν ως αποθήκες άνθρακα, όταν κορεστεί η δυνατότητα των ωκεανών. (Πηγή : Adams, 2007)

Το πρόβλημα του θερμοκηπίου, όπως εκφράζεται και συζητιέται με επίκεντρο την Κλιματική Αλλαγή, αναφέρεται στην επαύξηση του φυσικού φαινομένου, γι' αυτό και η σωστότερη ορολογία για την απόδοση του είναι το "Φαινόμενο του Επαυξημένου Θερμοκηπίου" (Odum, 1971 : Oliver, 2005 : Adams, 2007).

Τα θερμοκηπιακά αέρια (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, O<sub>3</sub>), αποτελούν το 1/100 του όγκου της ατμόσφαιρας, και είναι ένα σύνολο είκοσι περίπου αερίων, εκ των οποίων τα σημαντικότερο θεωρείται το διοξείδιο του άνθρακα (I.P.C.C., 2005 : Kumar and Boulent, 2013 : WMO, 2016).

Τις δεκαετίες μετά το 1950, παρατηρήθηκε, από την μία, η αύξηση της αναλογίας του διοξειδίου του άνθρακα της ατμόσφαιρας εξαιτίας της χρήσης των ορυκτών καυσίμων και κυρίως των γαιανθράκων, και από την άλλη, η σταδιακή μείωση του όζοντος στην στρατόσφαιρα και η αύξηση του στην τροπόσφαιρα, με αποτέλεσμα να διαταραχθεί το ενεργειακό ισοζύγιο του πλανήτη, δηλαδή, να εισέρχεται μεγαλύτερη ποσότητα αφιλτράριστης ηλιακής ακτινοβολίας και να κατακρατείται μεγαλύτερη επίσης

ποσότητα υπέρυθρης ακτινοβολίας η οποία και εγκλωβίζεται στην ατμόσφαιρα (ΤτΕ, 2011, IPCC, 2014).

Τα αέρια που πρωτοστατούν στην επαύξηση του φαινομένου, εμφανίζουν ένα φάσμα απορρόφησης που περιγράφεται με τον όρο "ατμοσφαιρικό παράθυρο", δηλαδή απορροφούν στα 7000 - 13000 nm , δηλαδή στο υπέρυθρο θερμικό φάσμα. Έτσι, μεγαλύτερη ποσότητα θερμότητας παραμένει στην κατώτερη ατμόσφαιρα και αυξάνει τον μέσο όρο θερμοκρασίας (Odum, 1971 : Καψανάκη και άλλοι, 1997 : Μελάς, 2007)

Παρότι οι υδρατμοί είναι ένα μικρό κλάσμα της ατμόσφαιρας και απορροφούν το 65% της εκπεμπόμενης θερμότητας από την επιφάνεια της γης, εξαιτίας της μεγάλης θερμοχωρητικότητας του νερού, δεν είναι το άμεσο πρόβλημα για την υπερθέρμανση, καθώς η ατμόσφαιρα συμμετέχει στον υδρολογικό κύκλο. Η θέρμανση του νερού κινητοποιεί τα ατμοσφαιρικά φαινόμενα (Κατσούλης, 1993 : Καψανάκη και άλλοι, 1997).

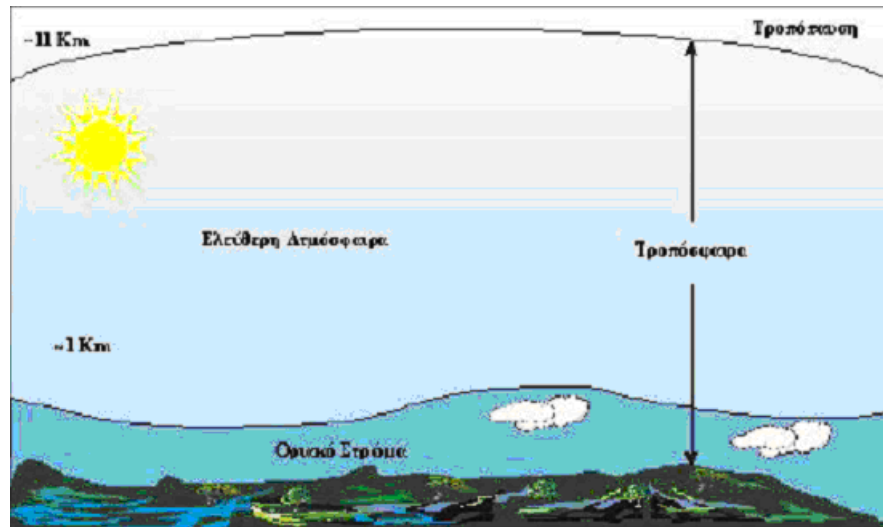
Από την άλλη, η αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα, από τα 270 ppm το 1800 περίπου στα 406 ppm θεωρείται η κυριότερη αιτία για την επαύξηση του φαινομένου, καθώς οι ποσότητες που εκλύονται κάθε χρόνο προς την ατμόσφαιρα, ξεπερνούν τους 5 Gt. και αυτό είναι ένα το πρόβλημα, διότι εγκλωβίζεται άνθρακας στην ατμόσφαιρα που φυσιολογικά θα έπρεπε να βρίσκεται στο υπέδαφος ή στην επιφάνεια της γης σε αδρανή ή έμβια κατάσταση (Καψανάκη και άλλοι, 1997 : I.P.C.C., 2014 : WMO, 2016)

Αυτές οι ποσότητες του διοξειδίου του άνθρακα, προέρχονται κυρίως από την χρήση των ορυκτών καυσίμων (γαιανθράκων) αλλά και φυσικές καταστροφές που εντάθηκαν μετά το 1900 και παρεμβάσεων του ανθρώπου στα οικοσυστήματα (πυρκαγιές, γεωργικές τεχνικές, βιομηχανική παραγωγή κ.λπ) (Bytnerowicz et al., 2008 : IPCC, 2005).

Μέσω διεθνών Συνθηκών, έχουν τεθεί στόχοι για την μείωση των εκλύσεων του διοξειδίου του άνθρακα προς την ατμόσφαιρα, ώστε να επιβραδυνθούν οι ρυθμοί υπερθέρμανσης του πλανήτη. Αυτοί οι στόχοι, προφανώς συνδέονται άμεσα με την αέρια ρύπανση στα μεγάλα αστικά κέντρα και την ανάπτυξη εναλλακτικών πηγών ενέργειας και τεχνολογίας που θα αποδεσμεύσει την ανθρωπότητα από την χρήση των γαιανθράκων και άλλων αερίων που καταστρέφουν ή επαυξάνουν τα υπόλοιπα ατμοσφαιρικά αέρια, που συνεισφέρουν, έστω και λιγότερο, στην διαμόρφωση των θερμοκρασιακών συνθηκών στον πλανήτη (ΤτΕ, 2011<sup>a</sup> , 2011<sup>b</sup> : IPCC, 2014 : WMO, 2016).

### **3.3. Η Συμπεριφορά των Αέριων Ρύπων**

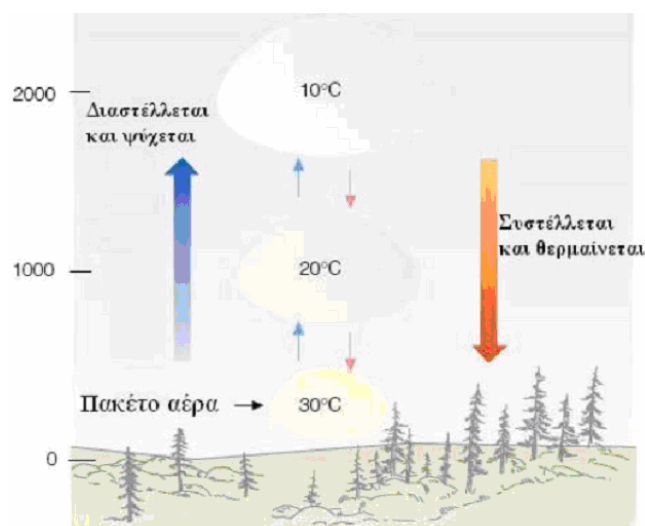
Το κατώτερο στρώμα της Τροπόσφαιρας, το οριακό στρώμα, επηρεάζεται κυρίως από την επιφάνεια της γης. Οι θερμοκρασιακές μεταβολές, ψύχουν ή θερμαίνουν τις αέριες μάζες και δημιουργείται κίνηση που παρασύρει τους αέριους ρύπους με χαρακτηριστικό μοτίβο. Σημαντικό ρόλο στα σχετικά φαινόμενα παίζει και η διαμόρφωση του εδάφους, όπως και οι δομημένες επιφάνειες (Adams, 2007 : Μελάς, 2007 : Oliver, 2008).



**Εικόνα .17:** Το οριακό στρώμα αέρα της κατώτερης ατμόσφαιρας, επηρεάζεται ιδιαίτερα από την επιφάνεια του εδάφους (Πηγή : Μελάς, 2007).

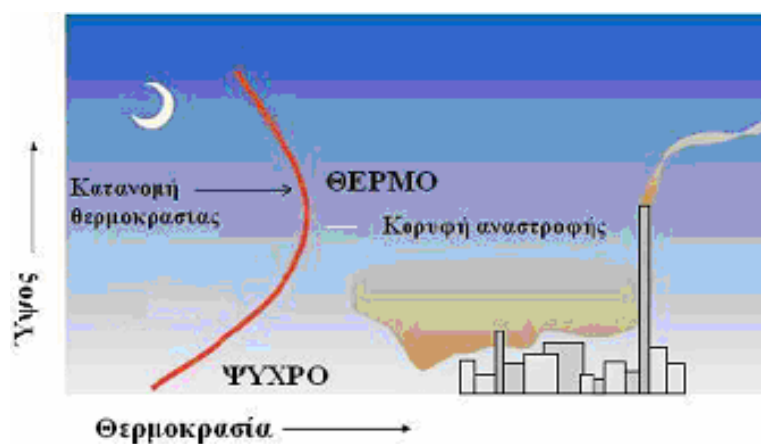
Φυσιολογικά στην ατμόσφαιρα, όσο αυξάνεται το ύψος η θερμοκρασία μειώνεται. Αρκετές φορές όμως, μπορεί ένα ψυχρό στρώμα αέρα, ψυχθεί και να εγκλωβισθεί κάτω από ένα θερμό στρώμα αέρα. Αυτό το φαινόμενο είναι η θερμοκρασιακή αναστροφή που συνδέεται με αδιαβατικές μεταβολές που συμβαίνουν στο οριακό στρώμα (Oliver, 2008).

Πολλές φορές όμως, ιδιαίτερα τις πρωινές ώρες, τυχαίνει οι ρύποι από σημειακές ή διάχυτες πηγές αέριας ρύπανσης (αυτοκίνητα, καμινάδες από βιομηχανίες κ.λπ) να παγιδευτούν σε ένα ψυχρό στρώμα αναστροφή. Τότε δημιουργείται το γνωστό φαινόμενο της στρωμάτωσης ρύπων στην κατώτερη ατμόσφαιρα. Αυτή είναι και η εικόνα του φωτοχημικού νέφους (Μελάς, 2007 : Oliver, 2008).



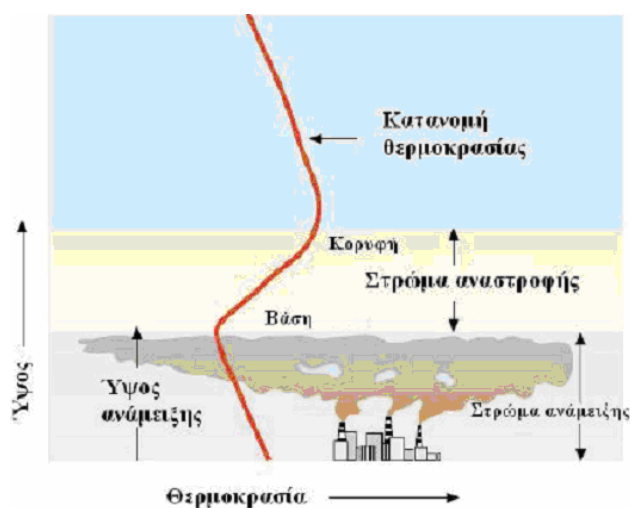
**Εικόνα ..18.:** Αδιαβατική μεταβολή στρώματος αέρα (Πηγή : Μελάς, 2007)

Στην πιο απλή συνθήκη, όπου οι ρύποι παγιδεύονται μέσα στο στρώμα αναστροφής κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, οι ρύποι που εκλύονται από υπερυψωμένες πηγές (π.χ. καμινάδες) δεν εγκλωβίζονται και διαλύονται γρήγορα.

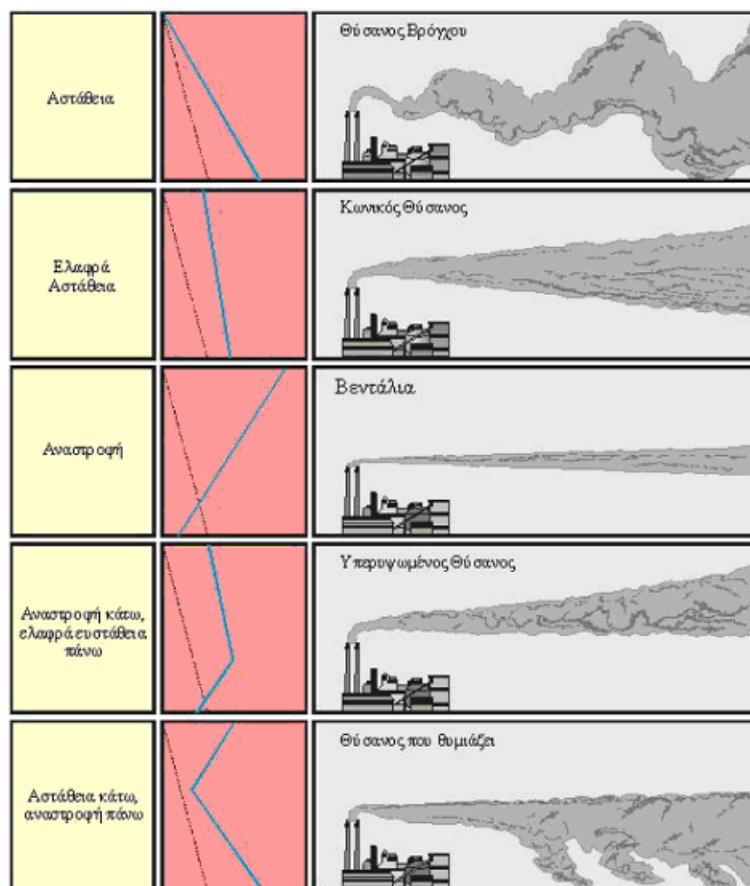


**Εικόνα.19..:** Οι ρύποι παγιδεύονται σε ένα ψυχρό στρώμα αναστροφής (Πηγή : Μελάς, 2007)

Αν όμως, το στρώμα αναστροφής, επικαλύψει το στρώμα ανάμειξης που περιέχονται οι ρύποι, τότε μόλις αρχίσει το στρώμα αναστροφής να κατεβαίνει προς την επιφάνεια της γης, συμπιέζει το στρώμα ανάμειξης και αυξάνεται η πυκνότητα του νέφους των ρύπων (Μελάς, 2007).



**Εικόνα 20 :** Επίδραση του στρώματος αναστροφής στο στρώμα ανάμειξης (Μελάς, 2007)



**Εικόνα.21.:** Τυπικό μοτίβο διασποράς θυσάνου από καμινάδα. Στην κόκκινη ζώνη απεικονίζεται η θερμοβαθμίδα. Η μπλε γραμμή είναι η φυσική περιβαλλοντική θερμοβαθμίδα και η διακεκομμένη γραμμή είναι η ξηρή αδιαβατική θερμοβαθμίδα (Πηγή : Μελάς, 2007)

### 3.4. Η Παρακολούθηση Αέριας Ρύπανσης στην Ελλάδα

Από το 1984 και μετά, ξεκίνησε η λειτουργία και ανάπτυξη ενός δικτύου επίγειων σταθμών παρακολούθησης και καταγραφής της αέριας ρύπανσης υπό την τότε ευθύνη του Υπουργείου Ενέργειας Χωροταξίας και Περιβάλλοντος (ΥΠΕΧΩΔΕ, νυν ΥΠΑΠΕΝ ). Σήμερα το δίκτυο λειτουργεί υπό την εποπτεία του ΕΔΠΑΡ. Μέρος του δικτύου λειτουργεί και υπό την ευθύνη των Περιφερειών Τα δεδομένα των μετρήσεων είναι διαθέσιμα στην ιστοσελίδα του ΥΠΕΝ στην διεύθυνση <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=495&language=el-GR>.

Παράλληλα, υπάρχουν σταθερά δίκτυα και κινητές μονάδες που λειτουργούν υπό την ευθύνη ερευνητικών κέντρων, αλλά είναι αρκετά μικρότερη η έκτασή τους και πιο εξειδικευμένα σε πολλές περιπτώσεις (ΙΕΠΒΑ - ΕΕΑ).

Μέχρι σήμερα, έχουν γίνει πολλές ερευνητικές προσπάθειες για την συνεχή καταγραφή και εκτίμηση της αέριας ρύπανσης στην Αττική και την ανάπτυξη πιο αποτελεσματικών δικτύων και μεθοδολογιών εκτίμησης και πρόγνωσης. Στόχος είναι να δημιουργηθεί υποδομή για παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο (real time monitoring) (Milionis

and Davis, 1994 : Mc Gregor, 1996 : Κασσωμένος, 2001 : Bozon, Sinfort and Mohammadi, 2010 : Δημοπούλου, 2007 : Vienneau and Brigs, 2013)

Οι Mihalakakou, Floka and Santamouris (2002), χρησιμοποιώντας ένα εκτεταμένο δίκτυο μοντελοποιημένων σταθμών μέτρησης θερμότητας και ρύπων (neural network), διαπίστωσαν ότι οι **κεντρικές και δυτικές περιοχές της Αττικής**, επιβαρύνονται περισσότερο, τόσο θερμικά όσο και από αέριους ρύπους.

### 3.5. Η Αέρια Ρύπανση στην Αττική.

Η αέρια ρύπανση στην Αττική, επίσης εμφανίζει κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Κατ' αρχήν διαχρονικά οι τιμές των περισσότερων ρύπων εμφανίζουν τάση μείωσης, κυρίως πρωτογενών ρύπων όπως το μονοξείδιο του άνθρακα και το διοξείδιο του θείου. Τα αιρούμενα σωματίδια εμφάνισαν μεγάλη μείωση μέχρι το 2013, όπου παρατηρήθηκε έξαρση εξαιτίας της οικονομικής κρίσης. Την χειμερινή περίοδο, εξαιτίας της υψηλής τιμής του πετρελαίου, οι κάτοικοι της Αθήνας και ιδιαίτερα του κέντρου και των δυτικών συνοικιών, στράφηκαν στην χρήση κάθε διαθέσιμης καύσιμης ύλης (ΥΠΕΝ, 2017).

Το όζον φαίνεται ότι είναι ένας ρύπος που επιμένει να παραμένει σε σχετικά υψηλές τιμές, αν και οι υπερβάσεις των μέγιστων επιτρεπόμενων ορίων, δεν είναι συχνές. Θεωρείται ο επικρατέστερος ρύπος για την Αττική, ιδιαίτερα εξαιτίας της ηλιοφάνειας και των υψηλών θερμοκρασιών που ευνοούν την φωτοχημική παραγωγή του με υπόστρωμα τις εκλύσεις από τα αυτοκίνητα (Ζανής, 2014 : ΥΠΕΝ, 2016)

Οι επικρατείς άνεμοι στο λεκανοπέδιο της Αττικής είναι οι βορειοανατολικοί. Ονομάζονται και Ετήσιοι (μελτέμια) δημιουργούνται ειδικά τις θερμές εποχές του έτους. Η κατεύθυνση που έχουν αυτοί οι άνεμοι είναι ΒΒΑ έως ΒΑ και έχουν μέτριες έως ισχυρές ταχύτητες (>5 μποφόρ). Οι Ετήσιοι, εξαιτίας της διεύθυνσης και της έντασής που εμφανίζουν, συνήθως δρουν αποσυμφορητικά για το νέφος της Αθήνας, αφού διασκορπίζουν τους αέριους ρύπους και σπάνε τα μέτωπα που σχηματίζονται στην κατώτερη ατμόσφαιρα (οριακό στρώμα). Τις ημέρες που επικρατούν τα μελτέμια, τα επίπεδα των ρύπων είναι τα χαμηλότερα, δηλαδή > 150 mgr / m<sup>3</sup>.

Αντίθετα, οι υψηλότερες τιμές ρύπων στην Αττική συνδέονται με την θαλάσσια αύρα που έρχεται από τον Σαρωνικό με διεύθυνση κυρίως ΝΔ (Κασσωμένος, 2001). Η αύρα εμφανίζεται τις καλοκαιρινές περιόδους. Η διεύθυνση αυτών των ανέμων είναι κυρίως νοτιοδυτική, δηλαδή εισέρχονται στο λεκανοπέδιο και κατευθύνονται προς τις κλυτίες των ορεινών όγκων και εγκλωβίζουν τους ρύπους. Επιπλέον, η θαλάσσια αύρα, καθώς εισέρχεται στο λεκανοπέδιο και ανέρχεται, ανυψώνει τους ρύπους στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, όπου πάλι με την επίδραση καθοδικών ανέμων (ρεύμα επαναφοράς) επανέρχονται στην κυκλοφορία χαμηλότερα. Η θαλάσσια αύρα, επηρεάζει θετικά τις παραθαλάσσιες περιοχές, μειώνοντας την θερμοκρασία, αλλά λειτουργεί θετικά για την φωτοχημική αύξηση των δευτερογενών ρύπων στο εσωτερικό της Αθήνας (Κασσωμένος, 2001 : Ζανής, 2014).

Τις βραδυνές ώρες κυριαρχεί η απόγεια αύρα που μεταφέρει πάλι τους ρύπους προς την θάλασσα μέχρι την επόμενη ημέρα να δράσει πάλι η θαλάσσια αύρα αντίστροφα. Είναι

προφανές, ότι η γεωμορφολογία του λεκανοπεδίου λειτουργεί ως παγίδα για τους αέριους ρύπους. Καθώς οι ΒΔ άνεμοι είναι ισχυρότερης έντασης, μπορούν να εκτονώνουν γρήγορα τους ρύπους. Η διαμόρφωση της Πεντέλης και της Πάρνηθας επίσης, συνεισφέρουν στο φαινόμενο. Ένα άλλο ιδιαίτερο στοιχείο της αέριας ρύπανσης στην Αττική, είναι το "φαινόμενο της Κυριακής" που οφείλεται στην χρήση ΙΧ στον ίδιο βαθμό με τις εργάσιμες ημέρες (ΥΠΕΝ, Κασσωμένος, 2001). Συνήθως τις Κυριακές τα επίπεδα του όζοντος είναι αρκετά υψηλά (Κασσωμένος, 2001 : Μελάς, 2007).

Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι η τοποθέτηση της Πάρνηθας και της Πεντέλης, δημιουργούν ένα φυσικό πέρασμα που επιτρέπει σε ΒΑ ανέμους να διασκορπίζουν τους ρύπους προς την θάλασσα. (Κασσωμένος, 2001 : ΥΠΑΠΕΝ, 2015)



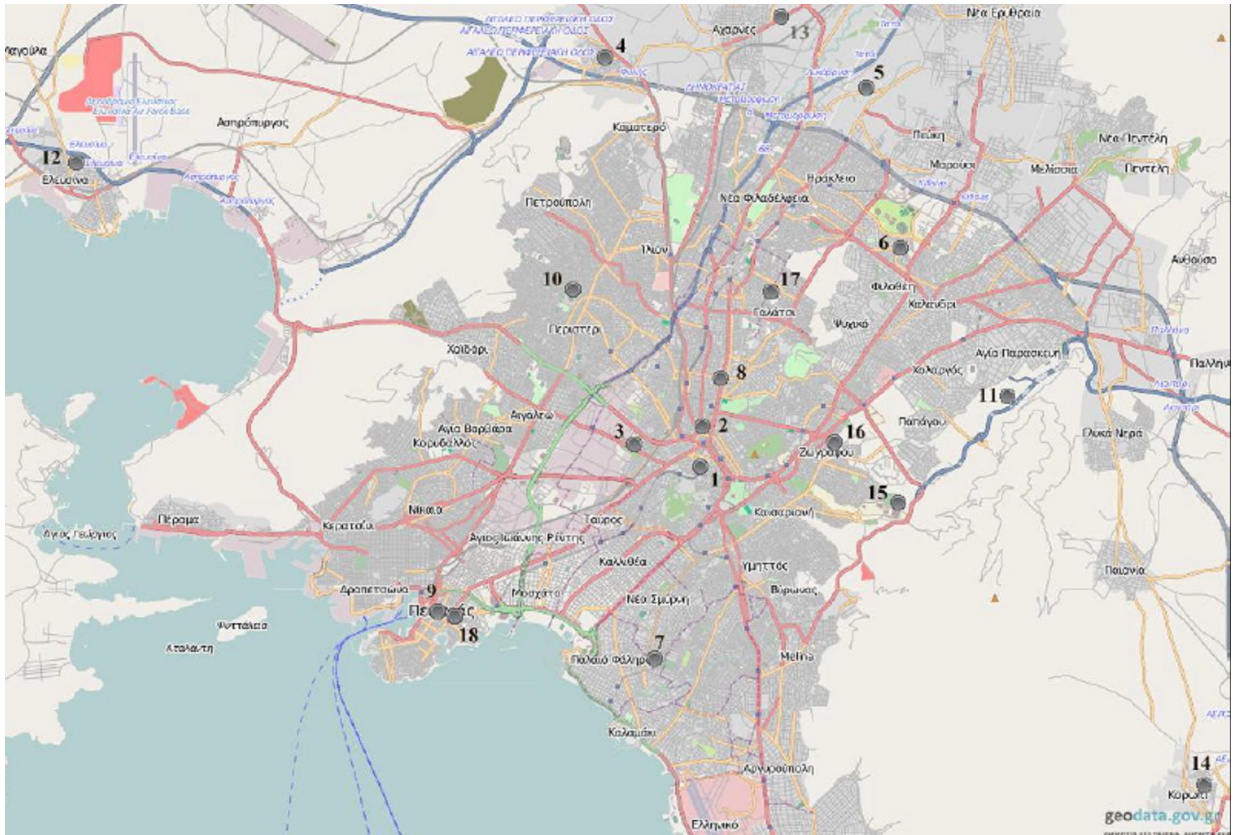
**Εικόνα .22.** : Το φωτοχημικό νέφος πάνω από την Δυτική Αθήνα ένα πρωί καλοκαιρινής ημέρας (17/7/2016). Με δυσκολία διακρίνεται η Ακρόπολη και ο Υμηττός (μπροστά στον φόντο) ενώ δεξιά (νότια στην διεύθυνση) βρίσκεται το Φάληρο και ο Πειραιάς. Ο σκοτεινός φόντος στο βάθος είναι ο Υμηττός. Η λήψη έγινε από το Ποικίλο Όρος.



**Εικόνα.23.** : Η μεσημεριανή εικόνα του λεκανοπεδίου της Αττικής μία καλοκαιρινή ημέρα (20/7/2017), όπως φαίνεται από την Πεντέλη (σημείο Σηπλιά Νταβέλη). Στο βάθος φαίνεται το Φάληρο και ο κόλπος του Σαρωνικού.

**Πίνακας .11.:** Το Δίκτυο παρακολούθησης ατμοσφαιρικών ρύπων του ΕΔΠΑΡ στην Αττική με τα χαρακτηριστικά των σταθμών (Πηγή : ΥΠΕΝ, 2017)

Σταθμός				Χαρακτηρισμός	Μετρούμενοι ρύποι						
Θέση			Υψόμετρο (a.m.s.l.)		SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	O <sub>3</sub>	AΣ <sub>10</sub>	AΣ <sub>2,5</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>
Όνομα	Γεωγρ. μήκος	Γεωγρ. πλάτος									
Αθηνάς [1]	23° 43' 36",63	37° 58' 41",53	100	Αστικός-Κυκλοφορίας	v	v	v	v			
Αριστοτέλους [2]	23° 43' 39",46	37° 59' 16",90	95	Αστικός-Κυκλοφορίας		v			v		
Γεωπονική [3]	23° 42' 24",44	37° 59' 01",05	40	Περιστικός-Βιομηχανικός		v	v	v			
Λύσια [4]	23° 41' 52",23	38° 04' 36",53	165	Περιστικός-Υποβάθρου		v		v			
Λυκόβρυση* [5]	23° 47' 19",71	38° 04' 04",35	234	Περιστικός		v	v	v	v	v	
Μαρούσι [6]	23° 47' 14",49	38° 01' 51",02	170	Αστικός-Κυκλοφορίας		v	v	v	v		
Νέα Σμύρνη [7]	23° 42' 46",83	37° 55' 55",18	50	Αστικός-Υποβάθρου		v	v	v			
Πατησίων [8]	23° 43' 58",97	37° 59' 58",05	105	Αστικός-Κυκλοφορίας	v	v	v	v			v
Πειραιάς I** [9]	23° 38' 42",81	37° 56' 40",75	4	Αστικός-Κυκλοφορίας	v	v	v	v	v	v	
Περιστερί [10]	23° 41' 18",08	38° 01' 14",91	80	Αστικός-Υποβάθρου	v	v	v	v			
Αγ. Παρασκευή [11]	23° 49' 09",90	37° 59' 42",39	290	Περιστικός-Υποβάθρου		v		v	v	v	
Ελευσίνα [12]	23° 32' 18",41	38° 03' 04",86	20	Περιστικός-Βιομηχανικός	v	v		v	v		
Θρακομακεδόνες [13]	23° 45' 29",46	38° 08' 36",68	550	Περιστικός-Υποβάθρου		v		v	v		
Κορωπί [14]	23° 52' 44",48	37° 54' 04",70	140	Περιστικός-Υποβάθρου		v		v	v		
Οινόφυτα	23° 38' 20",09	38° 18' 22",39	100	Περιστικός-Βιομηχανικός	v	v		v	v		
Αλιάρτος	23° 06' 36",96	38° 22' 30",89	110	Υποβάθρου	v	v		v	v		
<b>Παλαιότεροι σταθμοί</b>											
Ζωγράφου [15]	23° 47' 12",22	37° 58' 10",57	245	Περιστικός-Υποβάθρου		v		v	v		
Γουδή [16]	23° 46' 02",75	37° 59' 02",92	155	Αστικός-Κυκλοφορίας		v			v	v	
Γαλάτσι [17]	23° 44' 53",54	38° 01' 13",03	154	Περιστικός-Υποβάθρου	v	v		v			
Πειραιάς II [18]	23° 39' 09",67	37° 56' 31",09	25	Αστικός-Υποβάθρου	v	v		v			



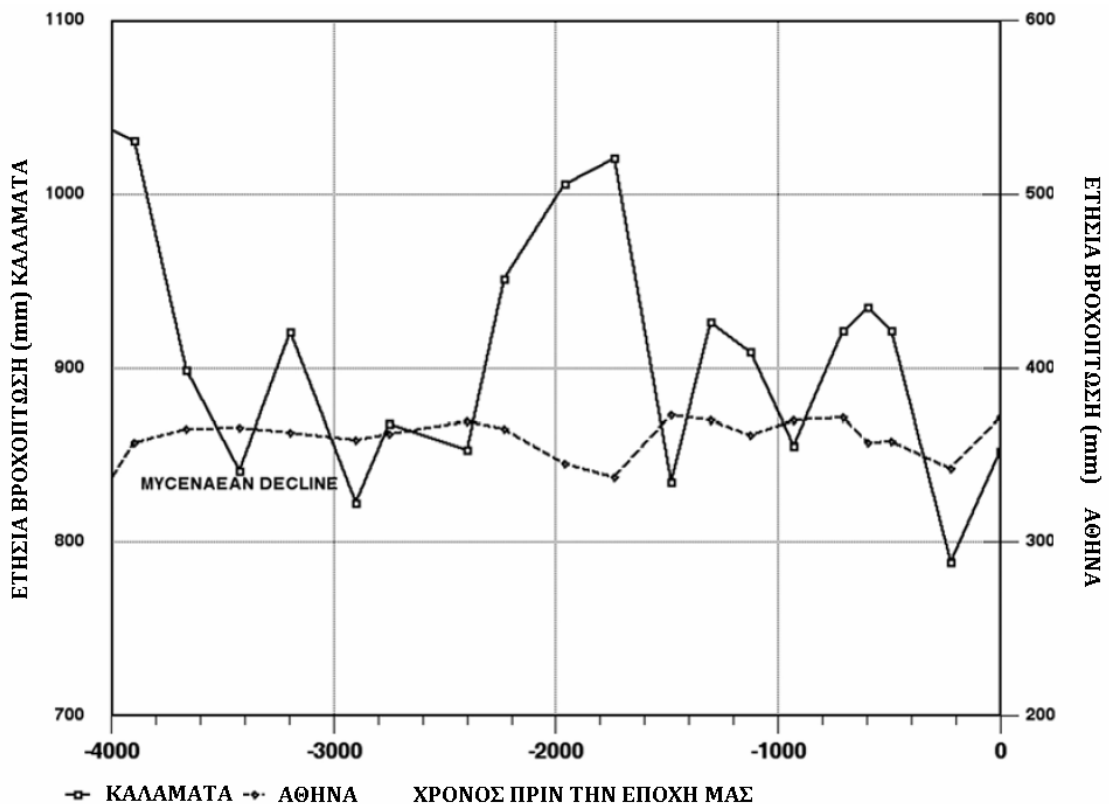
**Εικόνα 24 :** Τα σημεία που είναι εγκατεστημένοι στην Αττική οι σταθμοί μέτρησης του δικτύου του ΕΔΠΑΡ (Πηγή : ΥΠΕΝ, 2017. Ο χάρτης είναι διαθέσιμος στην διεύθυνση [www.geodata.gov.gr](http://www.geodata.gov.gr))

# Κεφάλαιο 4

## Κλιματική Αλλαγή και Ατμοσφαιρική Ρύπανση

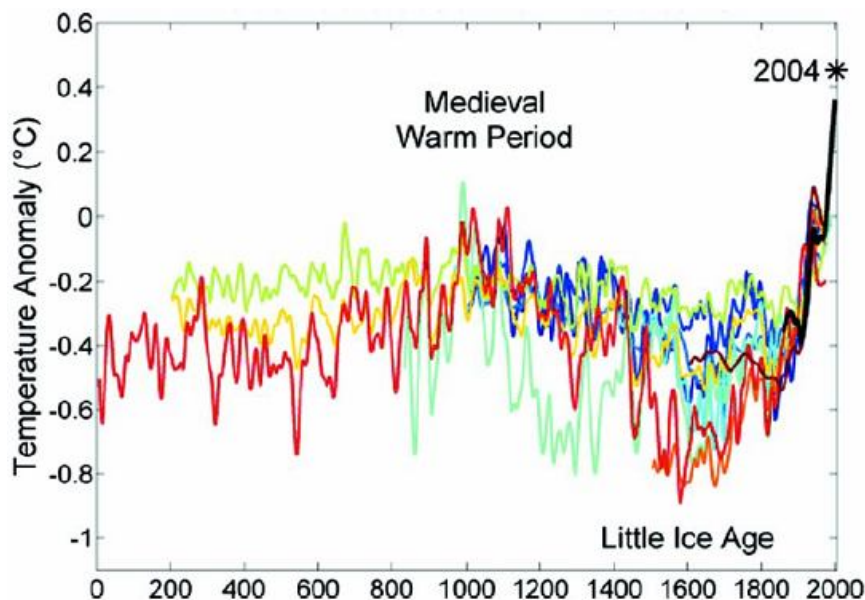
### 4.1. Η Συζήτηση για την Κλιματική Αλλαγή

Πολλοί αρχαίοι συγγραφείς έχουν αναφερθεί σε κλιματικές εξάρσεις της εποχής τους. Ο Θεόφραστος και ο Πλάτωνας, έχουν καταγράψει στα κείμενά τους μία μεγάλη περίοδο έντονης ανομβρίας που έπληξε περιοχές της Πελοποννήσου και των Κυκλάδων το 1200 π.Χ.. Ο Carpendor έχει συνδέσει αυτό το γεγονός με την πτώση των Μυκηνών (Adams, 2007). Ο Αριστοτέλης επίσης αναφέρεται στο συμβάν αυτό, στο γνωστό έργο του "Μετεωρολογικά" (Βιβλίο I / Κεφάλαιο 14) και επίσης κάνει μνεία σε μία πολυετή ξηρασία που συνέβη την ίδια περίοδο στην Αίγυπτο και στην Λέσβο και εξανάγκασε μεγάλο αριθμό πληθυσμού να μετακινηθεί σε άλλες περιοχές προκειμένου να επιβιώσει (Zerefos and Zerefos, 1978 : Neumann, 1985 ).



**Εικόνα ..25. :** Η "υπόθεση του Carpendor" για την πτώση των Μυκηνών. Σύμφωνα με τον αρχαιοκλιματολόγο Carpendor, η πτώση του Βασιλείου των Μυκηνών οφείλεται σε μία μεγάλη περίοδο ξηρασίας που έπληξε ιδιαίτερα την περιοχή των Μυκηνών και όχι της Αττικής (Πηγή : Adams, 2007)

Αντίστοιχα, δεδομένου ότι για την ζωή στο Λεκανοπέδιο της Αττικής και στις γύρω περιοχές, υπάρχουν ευρήματα που καλύπτουν μία περίοδο 5000 ετών, οι όποιες μεταβολές στο τοπίο (σύσταση και πυκνότητα βλάστησης, χρήση γης για καλλιέργειες και κατοικίες) συνδέονται περισσότερο με την διαχρονική μεταβολή του πληθυσμού παρά με κλιματικές εξάρσεις (Kouli, 2012).



**Εικόνα 26:** Η εξέλιξη των τιμών του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα της γης για τα τελευταία δύο χιλιάδες χρόνια (Πηγή : [https://en.wikipedia.org/wiki/Temperature\\_record](https://en.wikipedia.org/wiki/Temperature_record) : Adams, 2007)

Όπως αναφέρθηκε και στο Κεφ 3, η ποσοστιαία σύσταση της ατμόσφαιρας σε CO<sub>2</sub> δεν ήταν ποτέ σταθερή. Τα παλαιοκλιματικά δεδομένα δείχνουν ότι πριν από 40 X 10<sup>3</sup> χρόνια (παγετώδης περίοδος) το κλάσμα του CO<sub>2</sub> ήταν 180 ppm και έφτασε τα 270 ppm λίγο πριν την έναρξη της βιομηχανικής επανάστασης τον 18ο αιώνα. Από αυτό το σημείο και μετά η συγκέντρωσή του άρχισε να αυξάνεται με ταχύτερο ρυθμό. Η αύξηση προκάλεσε αναλόγως και αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη κατά + 0,3 °C και μέσω της κλιματικής μοντελοποίησης που σήμερα εφαρμόζεται, εκτιμάται ότι η μέση θερμοκρασία θα αγγίξει τους +18 °C μέχρι το 2100 (I.P.C.C., 2014 : WMO, 2016)

Η I.P.C.C. (2005 : 2007, 2014), εκτιμά ότι η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας θα είναι εντονότερη στα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη και τις ηπειρωτικές περιοχές και μικρότερη σε παραθαλάσσιες περιοχές (>0.7 °C) και θα συνεχιστεί εφ' όσον δεν υπάρχει ανάλογη μείωση της χρήσης των ορυκτών καυσίμων. Η εκτιμώμενη άνοδος έχει εξακριβωθεί στατιστικά μετά το 1995. Παράλληλα, οι προβλέψεις και του WMO είναι ομοίως επιφυλακτικές για την πιθανότητα μείωσης των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου για τα επόμενα χρόνια (WMO, 2016).

	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Περιεκτικότητα στην ατμόσφαιρα για το έτος 2015	400.0±0.1 ppm	1845±2 ppb	328.0±0.1 ppb
Σχετική ποσότητα το 2015 συγκριτικά με το 1750	144%	256%	121%
Απόλυτη αύξηση για τα έτη 2014 - 2015	2.3 ppm	11 ppb	1.0 ppb
Σχετική αύξηση για τα έτη 2014 - 2015	0.58%	0.60%	0.31%
Μέση ετήσια απόλυτη αύξηση για τα τελευταία 10 χρόνια	2.08 ppm yr <sup>-1</sup>	6.0 ppb yr <sup>-1</sup>	0.89 ppb yr <sup>-1</sup>

Εικόνα.27.: Οι εκτιμήσεις του Παγκόσμιου Οργανισμού Μετεωρολογίας για τις συγκεντρώσεις του αερίων του θερμοκηπίου έως το 2015 (Πηγή : [https://library.wmo.int/opac/doc\\_num.php?explnum\\_id=3084](https://library.wmo.int/opac/doc_num.php?explnum_id=3084)).

Οι εκτιμήσεις της IPCC και του WMO επαληθεύονται συνεχώς και από ανεξάρτητους ερευνητές και ερευνητικές ομάδες που διαπιστώνουν ότι τουλάχιστον αθροιστικά για τα τελευταία 40 χρόνια (> 1984) παρατηρείται τάση μείωσης των ετήσιων βροχοπτώσεων και αύξηση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας για την περιοχή της Μεσογείου συνολικά και την Ελλάδα κατά περίπτωση. (Kapsomenakis et al., 2011 : Megalovasiliou et al., 2011 : Marougianni et al., 2012 )

Επίσης, εξελίσσεται μία μεγάλη συζήτηση για τις μεταβολές που θα υπάρξουν σε επίπεδο αγροτικής πολιτικής για πολλές χώρες, ιδιαίτερα τις φτωχότερες. Οι αλλαγές στις κλιματικές ζώνες θεωρείται ότι θα υποχρεώσει σε αναδιαρθρώσεις καλλιεργειών για τα C<sub>3</sub> και C<sub>4</sub> φυτά. Αυτό θα μπορούσε να είναι μία ευκαιρία για εισαγωγή νέων καλλιεργειών αγροστωδών (C<sub>4</sub>) που δίνουν μεγαλύτερες αποδόσεις και είναι λιγότερο υδροβόρες (Satterthwaite et al., 2007 : Καραμάνος, 2012).

Το μεγάλο πρόβλημα που παραμένει είναι η επιδείνωση των συνθηκών του περιβάλλοντος και η προσαρμογή των πόλεων στα έντονα καιρικά φαινόμενα. Οι Madaniyazi et al., (2015) υποστηρίζουν ότι, όποιες αποφάσεις ληφθούν πρέπει να συνυπολογίσουν πρώτα τις επιπτώσεις στην υγεία του πληθυσμού και τις ανάγκες σε υποδομές, γιατί μόνο έτσι θα μετριαστεί το οικονομικό κόστος. Κάτι ανάλογο υποστηρίζεται και από αρκετούς άλλους ερευνητές, οι οποίοι προσθέτουν την παράμετρο της διατήρησης και βελτίωσης της ποιότητας ζωής σε ένα νέο πιο θερμό και πιο ξηρό αστικό περιβάλλον (Charalampopoulos et. al., 2006 : Adams, 2007 : Matzarakis and Endler, 2009 : ΤτΕ, 2011<sup>b</sup>).

Ένα μέτρο του κόστους συνεισφοράς για την συμμετοχή στην λύση μπορεί να είναι και το ποσοστό της ευθύνης ως προς την εμφάνιση του. Σε αυτή την περίπτωση, αν για παράδειγμα αναλογιστούμε ότι ο μέσος πολίτης των ΗΠΑ συνεισφέρει 80 φορές περισσότερο στην πρόκληση της υπερθέρμανσης συγκριτικά με τον μέσο ευρωπαίο,

τότε πρέπει να είναι μεγαλύτερη η συμμετοχή του για την άμβλυνση του φαινομένου. Αντίθετα όμως, ακόμη και σήμερα η κατανάλωση ενέργειας στις ΗΠΑ είναι 30 % μεγαλύτερη / άτομο απ' ότι σε άλλες τις χώρες του κόσμου. Δηλαδή, οι ΗΠΑ ανήκουν σε εκείνες τις χώρες που, κατ' αρχήν, δεν δείχνουν να συµμερίζονται την ύπαρξη της κλιματικής αλλαγής. Αυτό φυσικά συµβαίνει κυρίως σε βάρος των φτωχότερων χωρών, οι οποίες χάνουν πόρους που θα μπορούσαν να τις βοηθήσουν να αυξήσουν γρηγορότερο τον μέσο όρο ποιότητας ζωής. Δυστυχώς όμως αυτό δεν συµβαίνει γιατί απ' ότι φαίνεται, το κόστος της ανάσχεσης του προβλήματος το έχουν επωμισθεί κυρίως οι χώρες που επικρατούν τα μεσαία εισοδήματα. Αναλόγως οι φτωχές χώρες της Αφρικής και της Ασίας, βλέπουν τα προβλήματα να πολλαπλασιάζονται, γιατί για αυτές το κόστος της λύσης, προϋποθέτει και τεράστιες δαπάνες για την βελτίωση των υποδομών τους (Satterthwaite et al., 2007 : Han et. al., 2009 : Δούση, 2017).

Στην Αφρική, υπάρχει ο κίνδυνος, ο φτωχός πληθυσμός, να απομακρυνθεί πλήρως από τις τεχνολογικές λύσεις της εποχής μας (συστήματα ηλεκτροδότησης, υδροδότησης, υποδομές) αναζητώντας κλασικές λύσεις για θέρμανση και διατροφή, γι' αυτό και πρέπει να ληφθεί επιπλέον μέριμνα ώστε η λήψη των αποφάσεων να υπολογίσει το κόστος ενσωμάτωσης του φτωχού και άπορου πληθυσμού μαζί με το κόστος αντικατάστασης των ρυπογόνων πηγών ενέργειας (Kumar and Boulent, 2013 : Kumar et al., 2015: Henneman et. al., 2016 : Morna, Detlef and Vuuren, 2009)

Και από την σκέψη της οικονομικής δυσπραγίας, δυνητικά δεν πρέπει να αφαιρέσουμε την χώρα μας ή τις άλλες φτωχές χώρες τις Ε.Ε. Το πρόσφατο παράδειγμα οικονομικής κρίσης στην Ελλάδα που οδήγησε σε αύξηση των μικροσωματιδιακών ρύπων στην Αττική από την χρήση ακατάλληλων υλικών για θέρμανση, είναι μία απόδειξη (ΥΠΑΠΕΝ, 2015 : ΥΠΕΝ, 2016, 2017).

## **4.2. Εκτιμώμενες Επιπτώσεις και Στόχοι**

Για τις περιοχές της Μεσογείου και ιδιαίτερα για την Ελλάδα υπάρχει συμφωνία ότι οι αλλαγές κινούνται με ταχύτερους ρυθμούς. Συνολικά στην Ελλάδα έχει παρατηρηθεί τάση μείωσης των βροχών κατά 15 % και για τα επόμενα χρόνια υπολογίζεται συνολικά να φτάσει το 19% (I.P.C.C., 2007). Η μέση ημερήσια θερμοκρασία εκτιμάται ότι θα ανέβει κατά 3,0 – 3,5 °C. Δηλαδή την ίδια στιγμή που η άνοδος σε παγκόσμια κλίματα εκτιμάται ότι θα είναι 3 – 5 °C εκτιμάται ότι στην Μεσόγειο θα είναι 1 – 2 °C. παραπάνω Παράλληλα υπολογίζεται ότι θα υπάρξει και αύξησης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας κατά 2.3 – 4.5 W / m<sup>2</sup> όπως και της έντασης των ανέμων κατά 10% σε ετήσια βάση (ΤτΕ, 2011<sup>a</sup> : Καραμάνος, 2015).

	No of heatwave days	No of tropical nights	Max 3 day rainfall (%)	High cooling demand (days)	Spell with humidex above 38°C (days)	High heating demand (days)
Athens	(+)15	(+)30	(+)10	(+)10	(+)10	(-)15
Thessaloniki	(+)20	(+)30	(+)10	(+)15	(+)12	(-)15
Patras	(+)20	(+)30	-	(+)10	(+)10	(-)15
Iraklio	(+)10	(+)30	-	(+)10	(+)13	(-)15
Larissa	(+)20	(+)30	(+)15	(+)15	(+)12	(-)15
Volos	(+)15	(+)30	(+)15	(+)10	(+)10	(-)15
Ioannina	(+)15	(+)15	-	(+)5	(+)10	(-)15
Kavala	(+)15	(+)30	-	(+)10	(+)10	(-)15
Lamia	(+)20	(+)30	(+)20	(+)10	(+)10	(-)15
Kalamata	(+)20	(+)30	-	(+)10	(+)16	(-)15

**Εικόνα 28.** : Εκτιμούμενες μεταβολές διαφόρων κλιματικών χαρακτηριστικών για πόλεις της Ελλάδας, για την περίοδο έως το 2100 (Πηγή : Giannkopoulos et al., 2011).

Ειδικότερα, όσον αφορά τις επιπτώσεις για την Ελλάδα, συνολικά καταγράφονται τα εξής :

- **Ανάγκες σε ενέργεια :** Η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας κατά τους θερινούς μήνες, θα αυξήσει τις ανάγκες, σε ενεργειακή δαπάνη για ψύξη και κλιματισμό, σε νερό για άρδευση και θα εντείνει το πρόβλημα της αστικής θερμικής νησίδας. Αντίστροφα, στους θερμότερους χειμερινούς μήνες, θα μειωθούν οι ανάγκες για θέρμανση (Livada, Sandamouris and Assimakopoulos, 2007 : Mamara and Anandranistakis, 2016).
- **Διαθεσιμότητα του νερού :** Υπολογίζεται ότι για πολλά ποτάμια της Ευρώπης, θα μειωθούν οι ροές κατά τις θερμές περιόδους, εντείνοντας το πρόβλημα ύδρευσης των πόλεων. Οποιαδήποτε μείωση στις χειμερινές βροχοπτώσεις, θα έχει και ανάλογα αποτελέσματα στην ύδρευση. Όμως, υπάρχει πιθανότητα να προκληθούν και προβλήματα διαθεσιμότητας σε ενέργεια, τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά, καθώς μείωση των ροών σε ποτάμια συστήματα, μπορεί να προκαλέσουν και μείωση της απόδοσης παραγωγής ενέργειας υδροηλεκτρικών και πυρηνικών σταθμών που χρησιμοποιούν νερό για ψύξη. Ειδικά για την Ελλάδα, εκτιμάται ότι το πρόβλημα της διαθεσιμότητας νερού στα επόμενα 50 χρόνια θα ενταθεί, εξαιτίας των θερμότερων θερινών μηνών (ΤτΕ, 2011<sup>a</sup>, 2011<sup>b</sup> : IPCC, 2014).
- **Ανάγκες σε νερό :** Η αύξηση των μέσων θερμοκρασιών, θα αυξήσουν τις ανάγκες για άρδευση καλλιεργειών και ύδρευση σε οικίες και την βιομηχανία, άρδευση αστικού πρασίνου και διατήρηση των φυσικών οικοσυστημάτων (Ortiz, et al., 2008 : Καραμάνος, 2012)
- **Αέρια ρύπανση :** Η αύξηση της θερμοκρασίας και η μείωση της υγρασίας του αέρα, θα δημιουργήσουν πιο σταθερές αντικυκλωνικές συνθήκες, ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες. Ως αποτέλεσμα αναμένεται η αύξηση του τροποσφαιρικού όζοντος τοπικά. Για την περιοχή της Αττικής, και άλλες πόλεις της Μεσογειακής

Λεκάνης, οι ξηρότερες συνθήκες θα ευνοήσουν την αύξηση του όζοντος. Τα τελικά αποτελέσματα θα εξαρτηθούν από τις πολιτικές αποφάσεις που θα λάβουν οι εθνικές κυβερνήσεις (ΤτΕ 2011 : I.P.C.C. , 2007, 2014 : Χατζηγιαννάκου, 2013 : UNEP, 2016)

Οι Asimakopoulos et al. (2012), εκτιμούν ότι οι ενεργειακές ανάγκες για θέρμανση τους ψυχρούς μήνες θα μειωθούν κατά 30% ενώ για ψύξη τους θερμούς μήνες θα αυξηθούν έως και κατά 1000 % μέχρι το 2100, καθώς κατά το χειρότερο σενάριο, η μέση αύξηση θερμοκρασίας στα αστικά κέντρα θα είναι 5.3 °C.

Οι Giannakopoulos et al., (2011), εκτιμούν ότι μέχρι το 2050, ειδικά για την περιοχή της Αττικής, οι θερμές ημέρες θα αυξηθούν σε 15 και οι τροπικές κατά 30. Στην περιοχή της Πάρνηθας θα αυξηθεί η μέση θερμοκρασία τον χειμώνα κατά 1 °C και το καλοκαίρι κατά 1.5 °C , αυξάνοντας τις επικίνδυνες ημέρες για εκδήλωση πυρκαγιάς κατά 15.

	Winter min temps (°C)	Summer max temps (°C)	Winter precip (%)	Autumn precip (%)	Fire risk (days)	Max dry spell length (days)
Ainos	(+)1	(+)1.5	(-)15	-	(+)5	(+)15
Vikos-Aoos	(+)1.3	(+)2	-	(-)10	(+)10	(+)7
Pindos	(+)1.3	(+)2	-	(-)10	(+)10	(+)7
Olympos	(+)1.3	(+)2	(-)15	(+)15	(+)10	(+)7
Ili	(+)1	(+)2	(-)10	(+)15	(+)15	(+)7
Parnassos	(+)1.3	(+)1.5	(-)10	(+)15	(+)10	(+)15
Parnitha	(+)1	(+)1.5	(-)10	(+) 15	(+)15	(+)15
Sounio	(+)1	(+)1	(-)10	(+)15	(+)10	(+)7
Prespes	(+)1.3	(+)2	(-)15	(+)15	(+)10	(+)15
White Mountains	(+)1	(+)1.5	(-)15	(+)10	(+)10	(+)15

**Εικόνα.29.** : Δυνητικός κίνδυνος αύξησης των δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα, λαμβάνοντας υπ' όψιν τις πιθανές επιπτώσεις από την κλιματική αλλαγή (Πηγή : Giannakopoulos et. al., 2011)

Έχει εκτιμηθεί επίσης, ότι ο ρυθμός αύξησης της μέσης θερμοκρασίας στην Ελλάδα, ιδιαίτερα για τις ηπειρωτικές περιοχές και την Αττική, είναι από τους υψηλότερους, αν όχι ο υψηλότερος στην Μεσόγειο (Mamara, Argyriou and Anandranistakis 2016 : Livada, Santamouris and Assimakopoulos, 2007)

Η Πελοπόννησος, η Κρήτη και η Ανατολική Ελλάδα θα δεχτούν έως 40 επιπλέον θερμές ημέρες, γεγονός που θα επιφέρει και προβλήματα πολιτικής προστασίας σε δασώδεις ή θαμνώδεις περιοχές (αυταναφλέξεις). Η άνοδος της θερμοκρασίας αφορά και την διάρκεια της νύχτας. Οι εκτιμήσεις αναφέρουν ότι θα αυξηθούν οι νύχτες με θερμοκρασίες > 20 °C, γεγονός που θα επιτείνει τις ανάγκες για ενέργεια για ψύξη, ενώ στην Δυτική Ελλάδα αναμένεται και μείωση βροχοπτώσεων κατά 20%, (Giannakopoulos et al., (2011) : ΤτΕ, 2011<sup>a</sup>)

Αύξηση της μέσης θερμοκρασίας, θα επιφέρει και άνοδο του επιπέδου της θάλασσας και αλλαγή της ζώνης του αιγιαλού (Regato, 2008 : ΤτΕ, 2011<sup>a</sup> : I.P.C.C., 2014). Σύμφωνα με

την I.P.C.C. (2007) έχει ήδη σημειωθεί άνοδος της στάθμης της θάλασσας κατά μέσο όρο 0,5 – 2 μέτρα και αύξηση των θερμών και τροπικών ημερών στα μέσα γεωγραφικά πλάτη.

Εκτιμάται επίσης ότι θα υπάρχουν μεσοπρόθεσμες επιπτώσεις στην γεωργία, οφελώντας περιοχές που σήμερα έχουν χαμηλότερες μέσες θερμοκρασίες και βλάπτοντας περιοχές με ήδη παραδοσιακή γεωργική δραστηριότητα. Θα μεταβληθεί η διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου και η σύνθεση της φυσικής χλωρίδας που σχετίζεται με την πρωτογενή παραγωγή. Αυτό βέβαια μπορεί να είναι και μία ευκαιρία για εισαγωγή νέων ειδών για καλλιέργειες από ίδιες ή κατάλληλες κλιματικές ζώνες του πλανήτη (ΤτΕ, 2011 : UNEP, 2010).

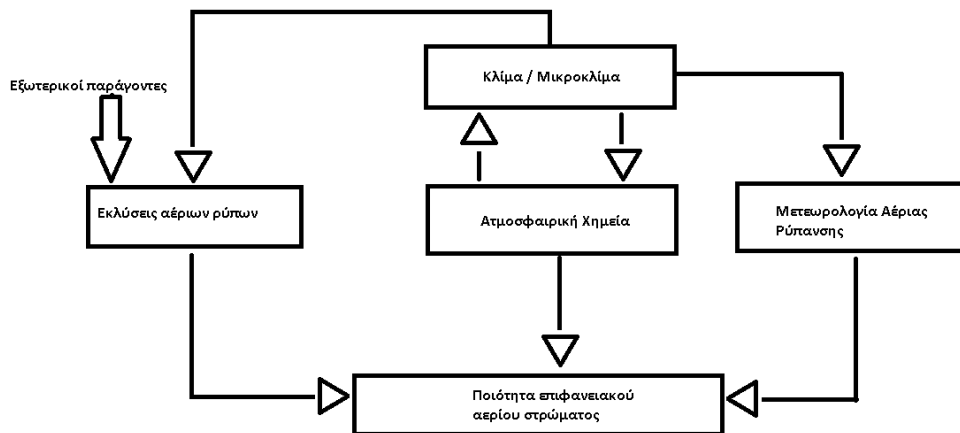
Κάποιοι ερευνητές υποστηρίζουν ότι τα μέχρι σήμερα δεδομένα δεν είναι επαρκή για την πλήρη εκτίμηση των επιπτώσεων του φαινομένου και των επιμέρους παραμέτρων του. Γι' αυτό και χρειάζεται επιπλέον διερεύνηση (Cornell, 2011).

Η στόχευση για την άμβλυνση και μετρίαση των επιπτώσεων ή της ταχύτητας έλευσης τους, διαφέρει μεταξύ ΗΠΑ και ΕΕ. Το κοινό σημείο είναι η συμφωνία για καθορισμό ορίων και χρονοδιαγραμμάτων για την μείωση των ενεργειακών δαπανών και την έκλυση ρύπων στην ατμόσφαιρα. Όμως, οι ΗΠΑ, η ΕΕ και η Κίνα, που είναι οι άμεσα ενδιαφερόμενοι για το πρόβλημα, γιατί συμμετέχουν και περισσότερο στη δημιουργία του, δεν έχουν κοινούς στόχους (ΤτΕ, 2011 : IPCC, 2014).

Φαίνεται ότι πλέον επιδιώκεται πιο έντονα, η δημιουργία ενός κοινού πλαισίου, που θα στοχεύει στην δραστική μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κατά 70% έως το 2050, ως προς τα επίπεδα του 2010, ενώ μέχρι το 2100 πρέπει να έχει ολοκληρωθεί η μετάβαση στις ΑΠΕ και να έχει σταματήσει πλήρως η χρήση των καυσίμων του άνθρακα. Η IPCC έχει διαμορφώσει σενάρια προσαρμογής της μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας και έκλυσης διοξειδίου του άνθρακα για τα επόμενα 20 χρόνια ώστε να μειωθεί η μέση θερμοκρασία το πολύ έως 2 °C. Για την Ελλάδα, οι στόχοι, υπολογίζοντας τις επιδράσεις στην οικονομία, τον τουρισμό και το περιβάλλον, επικεντρώνονται κυρίως σε πολιτικές προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή και ανακατεύθυνση προς τις ΑΠΕ (ΤτΕ, 2011 : IPCC, 2005, 2014).

#### **4.3. Συνέργεια Κλιματικής Αλλαγής και Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης**

Η κλιματική αλλαγή αναμένεται να δημιουργήσει πιο στατικά καιρικά φαινόμενα, με μικρότερη κυκλοφορία αερίων μαζών και μείωση της συχνότητας κυκλώνων μέσου γεωγραφικού πλάτους. Οι συγκεντρώσεις επιφανειακού όζοντος θα αυξηθούν την θερινή περίοδο κατά 1 - 10 ppb σε περιοχές με υψηλότερη αέρια ρύπανση (Jakob and Winner., 2009).



**Εικ.30.:** .Επίδραση του κλίματος στην ποιότητα του επιφανειακού αέρα, με βάση το ευρύτερο πλαίσιο χημικών αλληλεπιδράσεων. Οι αλλαγές επάγονται από την διαταραχή των ανθρωπογενών εκλύσεων εξαιτίας κοινωνικοοικονομικών παραγόντων που επιδρούν στους χημικούς και κλιματικούς παράγοντες. Αυτό με την σειρά του επάγει αλλαγές στο σύστημα χημικοί παράγοντες - κλίμα που με την σειρά του επιδρά στην διατάραξη της ποιότητας του επιφανειακού αερίου στρώματος (Από . Jakob J. et al., 2009)

Για τις βόρειες χώρες οι κλιματικές επιδράσεις θα είναι πιο σημαντικές όταν συνδυαστούν με την αέρια ρύπανση, εξαιτίας κυρίως των δευτερογενών συνθηκών που θα δημιουργούνται. Για τις χώρες αυτές ο βασικός παράγοντας αλλαγής θα είναι η θερμοκρασία ( Zlatev and Moseholm, 2008)

Οι αέριοι ρύποι SO<sub>2</sub> και NO<sub>2</sub>, διαχέονται προς τις υδάτινες επιφάνειες και αντίστροφα εξατμίζονται πιο εύκολα από το γλυκό και θαλασσινό νερό όσο αυξάνεται η θερμοκρασία. Επομένως, η κλιματική αλλαγή, λαμβάνοντας υπ' όψιν την παράμετρο της υπερθέρμανσης, θα μπορούσε να δράσει και επιταχύνοντας την ρύπανση των επιφανειακών υδάτων, διευκολύνοντας την διάχυση αέριων ρύπων σε αυτά, με όλα τα επακόλουθα (Σεβαστός, 2015).

#### 4.3.1. Επίδρασεις σε Βιοτικούς Παράγοντες

Υπάρχει συνδυασμένη επίδραση των αέριων ρυπαντών στα περιαστικά και απομακρυσμένη δάση της Μεσογείου και της Βορείου Ευρώπης (Bytnerowic, Omasa and Paoletti, 2007 : Bytnerowic et al., 2008 : Koo et al., 2014).

Η αύξηση του τροποσφαιρικού όζοντος θεωρείται η αιτία για την πρόκληση ορατών βλαβών (νεκρωτικές κηλίδες) στο φύλλωμα πολλών τύπων βλάστησης δασικών οικοσυστημάτων γιατί το όζον είναι ένας ιδιαίτερα φυτοτοξικός παράγοντας (Paoletti, 2006 : Paoletti, 2009 : Regato, 2013).

Στα δάση της Κεντρικής Ευρώπης και της Μεσογείου, το φαινόμενο μελετάται συστηματικά από την δεκαετία του 70'. Τα πρώτα σημάδια έδειχναν ότι εξελίσσεται μία διαταραχή στο ισοζύγιο οξειδίων (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) και βαρέων μετάλλων που μπορούσαν τα

μεγάλα δασικά οικοσυστήματα να αφομοιώσουν. Οι αέριοι ρυπαντές, προέρχονταν κυρίως από βιομηχανικές περιοχές που βρίσκονταν σε μεγάλη απόσταση και η δράση τους εξαρτώνταν από τις συνθήκες υγρασίας της ατμόσφαιρας που καθόριζαν την κατακρήμνιση και εναπόθεση στο έδαφος και τα φύλλα (Ulrich, 1984).

Η κλιματική αλλαγή εκτιμάται ότι ήδη επιδρά στον κύκλο σημαντικών ιχνοστοιχείων για τα χερσαία οικοσυστήματα. Η άνοδος της θερμοκρασίας και των βροχοπτώσεων, επιταχύνει τους ρυθμούς έκπλυσης και μεταβάλλει την μικροβιακή δραστηριότητα του εδάφους. Ιδιαίτερα όσον αφορά τα εδαφικά συμβιωτικά βακτήρια που σχηματίζουν μυκορριζικά συστήματα, η διατάραξη της ισορροπίας του αζώτου και άλλων σημαντικών θρεπτικών, μπορεί να αυξήσει την διαθεσιμότητα των ιχνοστοιχείων για την αύξηση της φυτικής βιομάζας. Η αυξημένη παρουσία αζώτου υπολογίζεται ότι θα είναι ένα αποτέλεσμα της αέριας ρύπανσης. Επομένως, εκτιμάται ότι οι ρυθμοί αύξησης ή μείωσης της φυτικής βιομάζας σε εδαφικά οικοσυστήματα, ίσως μπορεί να αποτελέσει και έναν δείκτη ποσοτικοποίησης των επιδράσεων της κλιματικής αλλαγής στο μέλλον (Bergknut et al., 2010 : Belyazid S. , al, 2011).

Μία αντίθετη άποψη υποστηρίζει ότι η αύξηση των επιπέδων του CO<sub>2</sub> και των κατακρημνίσεων αζώτου σε δασικά οικοσυστήματα αυξάνουν την ευαισθησία σε προσβολές από μύκητες και μειώνουν τα ποσοστά γονιμότητας των σπερμάτων των δένδρων. Οι Fleischmann, Raidl and Oswald (2010) διαπίστωσαν τέτοιες επιδράσεις στο είδος *Fagus sylvatica*, όσον αφορά προσβολή από τον εδαφικό μύκητα *Phytophthora citricola*, για την περίοδο 1998 - 2001, σε δάση της Βαυαρίας.

Η απόθεση αζωτούχων ενώσεων μέσω του νερού της βροχής είναι ένα πρόβλημα που ήδη αντιμετωπίζει η Κίνα (Cornell, 2011). Οι Yan-Ju and Hui (2008), διερευνώντας την ανθεκτικότητα φυτικών ειδών μέσα σε βιομηχανικές ζώνη με εργοστάσια χάλυβα στο Πεκίνο, διαπίστωσαν ότι το ασκορβικό οξύ (A), η ολική χλωροφύλλη των φύλλων (T), το pH του φυλλικού περιεχομένου και η σχετική περιεκτικότητα του φύλλου σε νερό (R), συνιστούν τον δείκτη APTI που δείχνει την ανθεκτικότητα στην μικροσωματιδιακή ρύπανση. Φυτικά είδη όπως τα, *Metaplexis japonica*, *Ampelopsis aconitifolia* var. *glabra*, *Rhamnus parvifolia*, *Ziziphus jujuba* var. *spinosa*, *Pharbitis purpurea*, *Vitex negundo*, *Broussonetia papyrifera*, *Robinia pseudoacacia* και *Ailanthus altissima* θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με χαμηλή βλάστηση για την απομάκρυνση αέριων ρύπων σε τέτοιες περιοχές. Επιπλέον αυτά τα φυτά, εμφανίζουν ανθεκτικότητα σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών και υγρασίας, και ένας συνδυασμός με είδη χαμηλής βλάστησης, μπορεί να δημιουργήσει φυσικές παγίδες για βαρέα μέταλλα και άλλους ρυπαντές μέσα στις πόλεις (Freeman, Lock and Reynolds, 1993 :: Dmuchowski and Bytnerowicz, 2009)

Το διαμορφωμένο φυτικό περιβάλλον, επηρεάζει καταλυτικά τις συνθήκες μέσα στην πόλη. Οποιοσδήποτε τύπος βλάστησης και διαμορφώσεις της (αλσύλια, πάρκα, δενδροστοιχίες, πράσινα δώματα ) δρα προσθέτωντας υγρασία στην ατμόσφαιρα, μειώνει την επίδραση της θερμότητας και απορροφά σημαντικές ποσότητες αέριων ρύπων. Τα φυτά των πόλεων ή των περιαστικών περιοχών, θα μπορούσαν να γίνουν αποθήκες άνθρακα και μικροσωματιδίων (Horbert and Kirchgeorg, 1982 : Bradley, 2011 : Καραμάνος, 2012).

Έχει διαπιστωθεί ότι μέσα σε αστικά περιβάλλοντα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορα βιοχημικά χαρακτηριστικά των φυτικών οργανισμών (ελεύθερα αμινοξέα, πρωτεΐνες, ασκορβικό οξύ, σάκχαρα στο υδρόλυμα, νιτρική ρεδμουτάση, υπεροξειδική δυσμουτάση) ως βιοδείκτες για την επίδραση των αέριων ρύπων (Tripathi and Gautam, 2007 : Purvis, 2007 : Dmuchowski and Bytnerowicz, 2009).

Η αέρια ρύπανση, ακόμη και για ρύπους που προέρχονται από αυτοκινητόδρομους, μπορεί να μειώσει τον ρυθμό της φωτοσύνθεσης και την αφομοίωση του άνθρακα της ατμόσφαιρας από τα φυτά (Leonelli et. al., 2012).

Η φυτοτοξικότητα του όζοντος έχει ενοχοποιηθεί για την μείωση του πληθυσμού του *Pinus ponderosa* και *Pinus strobus* σε κάποιες περιοχές των ΗΠΑ. Αντίθετα βρέθηκε ότι έχουν αρχίσει να αυξάνονται πληθυσμοί δέντρων που εμφανίζονται να έχουν πλεονέκτημα ανθεκτικότητας, όπως το είδος λεύκας *Populus tremuloides* (Percy and Karnosky, 2007 : Augustaitis, Bytnerowicz and Paoletti, 2014). Ανάλογα προβλήματα έχουν παρατηρηθεί και στον Ελληνικό χώρο και γενικά στο μεσογειακό περιβάλλον, καθώς η παρουσία του όζοντος συνεχώς καταγράφεται αυξανόμενη σε συνδυασμό με ρυπαντές που επικάθονται στην επιφάνεια των φύλλων (Καραμπουρνιώτης, 2003).

Ως προς το διοξείδιο του άνθρακα, αναμένεται ότι η μεγαλύτερη διαθεσιμότητά του, θα αυξήσει την πρόσληψη του άρα και την παραγωγή βιομάζας. Αυτό όμως χρειάζεται περισσότερη διερεύνηση, καθώς η πρόσληψη του άνθρακα από τα στόματα, εμπλέκει και πολλές άλλες διαδικασίες του κυττάρου και άλλα θρεπτικά συστατικά, τα οποία μπορεί να βρεθούν σε έλλειψη. Σε αυτή την σκέψη, επικεντρώνεται η αξιολόγηση της μεγαλύτερης παρουσίας του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_y$ ) είτε μέσω αέριων ρυπαντών, είτε μέσω μεγαλύτερων ρυθμών ανοργανοποίησης στο έδαφος εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής. Το άζωτο, μπορεί να λειτουργήσει και ως θρεπτικό αλλά και να αυξήσει την οξύτητα του εδάφους, να επάγει ευτροφισμό για ορισμένες κατηγορίες μικροοργανισμών, να επηρεάσει θετικά τις προσβολές από παθογόνα και τις βλάβες από όζον του φυλλώματος. Επιπλέον, εκτιμάται ότι μπορεί να μειώσει τον ρυθμό δράσης των μυκορριζικών συστημάτων, και την διαθεσιμότητα σε φωσφόρο και κάλιο, που είναι σημαντικά θρεπτικά για την αναπαραγωγή των φυτικών ειδών. (Paoletti et al, 2010 : Augustaitis, Bytnerowicz and Paoletti, 2014). Και επίσης είναι σημαντικό να διερευνάται συστηματικά η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην γονιδιακή λειτουργία και την βιοποικιλότητα (Paoletti et al, 2010).

Στο 23<sup>ο</sup> Διεθνές Συνέδριο για την Αέρια Ρύπανση και την Κλιματική Αλλαγή, που έγινε το 2008 στην Ελβετία, έγινε κοινά αποδεκτό, ότι η κλιματική αλλαγή και η επίδρασή της στα δασικά οικοσυστήματα, πρέπει να μελετηθεί συνολικά, λαμβάνοντας υπ' όψιν την θέση (γεωγραφικό μήκος / πλάτος), την μεταβολή στην διαθεσιμότητα θρεπτικών παραγόντων, την αυξημένη παρουσία  $\text{CO}_2$  και την εποχική διακύμανση και επίδραση των αέριων ρυπαντών (Paoletti et al, 2010 : Augustaitis, Bytnerowicz, Paoletti, 2014).

Ως προς την επίδραση της κλιματικής αλλαγής σε εδαφικούς βιοτικούς και αβιοτικούς παράγοντες, δεν είναι ακόμη πολλά πράγματα γνωστά, παρ' αυτά, εκτιμάται ότι θα υπάρξουν μεταβολές στον ανταγωνισμό μεταξύ των πρωτοπόρων και των κύριων δενδροδών ειδών, όπως και επίδραση σε μηχανισμούς άμυνας και πρόσληψης θρεπτικών από το έδαφος (Cape, 2008<sup>a</sup> : Paoletti et al, 2010 : Augustaitis, Bytnerowicz, Paoletti, 2014).

### 4.3.2. Επίδρασεις σε Αβιοτικούς Παράγοντες

Οι δομημένες επιφάνειες και οι ρυπαντές, έχουν άμεση σχέση με το δομημένο περιβάλλον των πόλεων. Οι Charalampopoulos et. al., (2006) αναφέρουν ότι το μεγαλύτερο πρόβλημα για την θερμική άνεση μέσα στις αστικές περιοχές είναι τα κτήρια και οι εξωτερικές κατασκευές. Στα σημεία που κυκλοφορεί πιο εύκολα ο αέρας, εκτονώνεται πιο γρήγορα η συσσωρευμένη θερμότητα ενώ η ποσότητα και η ποιότητα της φυτοκάλυψης δρα επίσης θετικά (Matzarakis and Endler, 2009).

Ο Tidblad (2012), διερεύνησε την σχέση της επίδρασης των μεταβολών σε θερμοκρασία και υγρασία σε διάφορα υλικά για χώρες της Ευρώπης για την περίοδο 2010 -2039 και 2070 - 2099 και θεωρεί ότι οι μεγαλύτερες αρνητικές επιδράσεις θα υπάρχουν σε χώρες που σήμερα επικρατούν χαμηλές θερμοκρασίες. Σε αυτές τις χώρες εκτιμάται ότι η μέση άνοδος της θερμοκρασίας θα είναι από -8 σε +1 °C.

Ο ίδιος ερευνητής, δεν προβλέπει σημαντικές μεταβολές στο φαινόμενο της όξινης βροχής, καθώς δεν αναμένεται ιδιαίτερη αύξηση στους παράγοντες που την προκαλούν. Αναλόγως, αναμένεται χαμηλή συνδυαστική επίδραση του HNO<sub>3</sub> υπό την επίδραση της σχετικής υγρασίας και της θερμοκρασίας.

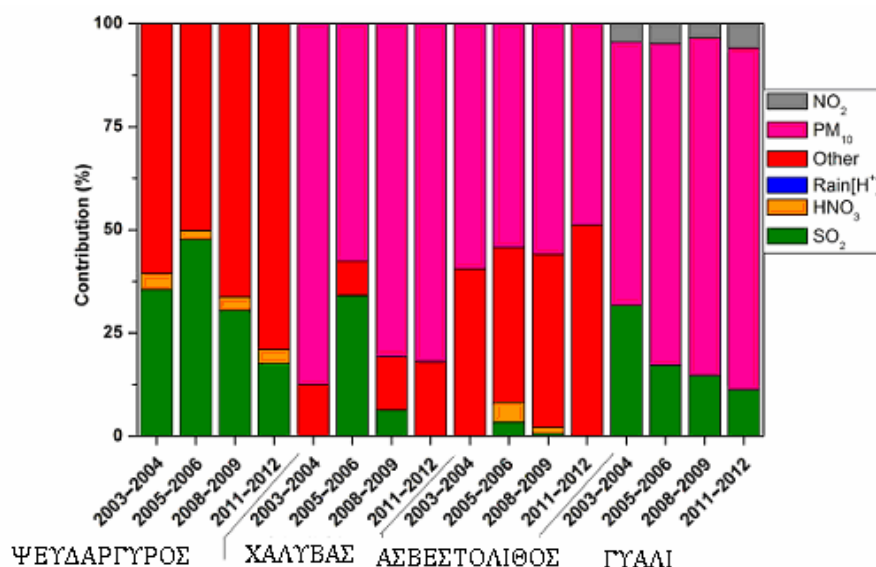
Όσον αφορά την μελλοντική δραστικότητα του SO<sub>2</sub> και των χλωριόντων (Cl<sup>-</sup>), συνιστά ότι χρειάζεται επιπλέον μελέτη, καθώς οι συνθήκες σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας δεν είναι ίδιες σε όλες τις περιοχές, αλλά και ακόμη δεν έχουν καθορισθεί πλήρως οι μελλοντικές τους μεταβολές. Όσον αφορά τον χάλυβα όμως εκτιμά ότι θα αυξηθεί ο ρυθμός διάβρωσης, ιδιαίτερα στις παράκτιες περιοχές, εξαιτίας της αύξησης των συνδυασμένων επιδράσεων υγρασίας, θερμοκρασίας, SO<sub>2</sub> και Cl<sup>-</sup>.

Το SO<sub>2</sub> είναι σημαντικός αέριος ρύπος στις μεγάλες πόλεις. Θεωρείται ότι μπορεί να επιταχύνει τον ρυθμό διάβρωσης μεταλλικών υλικών. Το χλώριο επίσης (Cl<sup>-</sup>) θεωρείται ότι θα είναι ο κύριος διαβρωτικός παράγοντας στο μέλλον, τόσο για ηπειρωτικές όσο και για παράκτιες περιοχές. Η δραστικότητα και των δύο αυτών ρύπων, αυξάνεται όσο αυξάνεται η θερμοκρασία και η υγρασία (Tidblad, 2012).

Οι Christodoulakis et. al, (2017) διερεύνησαν για την περίοδο 2003 - 2012, την επίδραση αέριων ρυπαντών σε ευρέως χρησιμοποιούμενα υλικά σε συνδυασμό με κλιματικά και καιρικά χαρακτηριστικά. Ελέγχθηκαν ο χαλκός, ο χάλυβας, το γυαλί, ο ψευδάργυρος, ο ασβεστόλιθος, Για την περίοδο 2011 - 2012 διαπιστώθηκε ότι υπήρχε μείωση στον ρυθμό διάβρωσης για τον χάλυβα πιθανώς εξαιτίας της μείωσης των ρύπων SO<sub>2</sub> και PM<sub>10</sub>. Συνολικά, διαπιστώθηκε ότι οι βασικοί διαβρωτικοί ρύποι είναι τα PM<sub>10</sub> και το SO<sub>2</sub>. Η δράση τους αυξάνει αθροιστικά με την παρουσία O<sub>3</sub>, HNO<sub>3</sub>, HF, NO<sub>x</sub>, CH<sub>3</sub>COOH, HCL και NO<sub>2</sub>.

Αν ληφθεί υπ' όψιν ότι μεταξύ 2009 - 2012, μειώθηκαν οι εκπομπές ρύπων από την χρήση ορυκτών καυσίμων στην Αττική, διαπιστώνεται ότι οι ρυθμοί διάβρωσης των υλικών αναμένεται να επηρεαστούν θετικά αν αυξηθεί πάλι η κατανάλωση, σε συνδυασμό με την θερμοκρασία και την υγρασία. Επομένως η ατμοσφαιρική ρύπανση

σε συνδυασμό με την ατμοσφαιρική υγρασία και την θερμοκρασία, μπορούν να επιταχύνουν την διάβρωση των υλικών (Christodoulakis et. al, 2017).



**Εικόνα .31. :** Η ποσοστιαία συνεισφορά για κάθε διαβρωτικό παράγοντα που δοκιμάστηκε στις συνθήκες στις Αθήνας, για την περίοδο 2003 - 2012. Μεγαλύτερη ευαισθησία σε συνθήκες υψηλότερης θερμοκρασίας και υγρασίας, εμφανίζει ο χάλυβας, ενώ πιο ισχυρός διαβρωτικός παράγοντας φαίνεται ότι είναι το SO<sub>2</sub> και τα PM<sub>10</sub>.

Η στενή δόμηση των σύγχρονων πόλεμων δημιουργεί διαμορφώσεις που δεν επιτρέπουν στον αέρα να κινηθεί εύκολα και να άγει το θερμικό φορτίο που συσσωρεύουν τα κτίσματα. Αυτή η θερμική ρύπανση επιτρέπει την αύξηση των συγκεντρώσεων αέριων ρύπων σε μικροπεριβάλλοντα μέσα στην πόλη, κάνοντας τις εξωτερικές συνθήκες πιο δύσκολες για τους κατοίκους (Georgakis and Santamouris, 2006).

Οι Kapsomenakis et al (2013) αναφέρουν ότι για τα τελευταία 40 χρόνια (1970 - 2010) διαπιστώνεται στατιστικά μικρή αύξηση της μέσης θερμοκρασίας και αντίστοιχα μείωση της σχετικής υγρασίας στην Ελλάδα, με αποτέλεσμα την μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης για θέρμανση κατά 1 Kwh/m<sup>2</sup> / δεκαετία και παράλληλα την αύξηση για ψύξη κατά 5 Kwh/m<sup>2</sup> / δεκαετία.

Γενικά, προτείνεται ότι η μείωση της δράσης του θερμικού και αέριου ρυπαντικού φορτίου υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής, μπορεί να επιτευχθεί με παρεμβάσεις στο δομημένο περιβάλλον των πόλεων που συνίστανται σε καλύτερη θερμομόνωση, χρήση φυτεμένων δωματίων, αντικατάσταση των θερμών υλικών με ψυχρά και αύξηση των χώρων πρασίνου (Fariborz et al., 2011 : Santamouris, Cartalis and Synnefa, 2015 : Santamouris and Kolokotsa, 2015).

Υπάρχουν πολλά αποτελέσματα τέτοιων παρεμβάσεων και μετρήσεων. Ειδικά όσον αφορά τους χώρους πρασίνου, η επίδραση ενός μέσης έκτασης πάρκου με χαμηλή και

ψηλή βλάστηση μπορεί να επηρεάσει μία περιοχή ακτίνας 300 μέτρων γύρω του, περιορίζοντας ακόμη και το φορτίο σε αέριους ρύπους (Skoulika et al., 2014 : Cohen, Oded and Izhak)

Οι Gaitani et al (2011) αναφέρουν ότι μπορεί να επιτευχθεί βελτίωση των μικροκλιματικών συνθηκών σε δομημένο περιβάλλον, κατά 2%, αμβλύνοντας την επίδραση των αέριων ρύπων και θερμοκρασίας, εφαρμόζοντας τεχνικές δόμησης με ψυχρά υλικά, αύξηση της χαμηλής και μεσαίας βλάστησης, διαμόρφωση των κοινόχρηστων χώρων έτσι ώστε να διευκολύνεται η κυκλοφορία του αέρα και ο έλεγχος των επιφανειών που ανακλούν το ηλιακό φως, όπως και έλεγχος της διέλευσης του φωτός εποχιακά.

### **4.3.3. Επιδράσεις στη Δημόσια Υγεία και Ασφάλεια**

Τα αέρια που προέρχονται από εργασίες εκσκαφής και μηχανές εσωτερικής καύσης, σε συνδυασμό με άλλους ρύπους, ευθύνονται για την αυξημένη εμφάνιση πνευμονικών ασθενειών αλλεργικής φύσεως και βρογχικού άσματος. Η συστηματική έκθεση σε αέριους ρυπαντές, προκαλεί βλάβες στην λειτουργία των πνευμόνων (μειωμένο βλεννολυτικό καθαρισμό, ισχυρότερες κρίσεις άσματος, πιο έντονα αλλεργικά επεισόδια εξαιτίας της μεγαλύτερης ευαισθητοποίησης των αεραγωγών και της έκκρισης ανοσοσφαιρίνης IgE (G.D. Amato et al, 2010 : Colome et al., 1992).

Το όζον ( $O_3$ ), τα οξειδία του αζώτου ( $NO$ ,  $NO_2$ ), τα μικροσωματίδια ( $PM_{10}$  και  $PM_{2.5}$ ), τα οξειδία του θείου ( $SO_2$ ,  $SO_4$ ) και τα οξειδία του άνθρακα ( $CO$ ,  $CO_2$ ), ενοχοποιούνται για αυξημένα επεισόδια και ασθένειες του αναπνευστικού, του κυκλοφορικού, του Κ.Ν.Σ. και καρκινογενέσεις. Η επίδραση κλιματικών παραγόντων στην δημόσια υγεία είναι ένα δεδομένο για την ιατρική κοινότητα παγκοσμίως. Το ερώτημα είναι τι θα συμβεί αν στα επόμενα χρόνια βιώσουμε την πλήρη πραγματοποίηση των προβλέψεων για το κλίμα και την αέρια ρύπανση (G. D' Amato et al, 2010 : S. Haharuddin, 1990 : Stathopoulou, 2008 : Λεοντιάδης, 2015).

Ο δείκτης θερμικής άνεσης, είναι μία ένδειξη για την πιθανή επίδραση της αύξησης της θερμοκρασίας. Έχει διαπιστωθεί ότι οι κάτοικοι των αστικών περιοχών έχουν μεγαλύτερη ευαισθησία στην αίσθηση ζεστού - κρύου. Σε μελέτη που έγινε στην Κίνα, βρέθηκε ότι οι κάτοικοι των πόλεων ήταν πιο επιρρεπείς σε ασθένειες του αναπνευστικού και εποχικές λοιμώξεις και εμφάνιζαν μικρότερη αντοχή στο κρύο και στις υψηλές θερμοκρασίες. Αντίστοιχα, οι κάτοικοι αγροτικών περιοχών εμφανίζονται πιο ανθεκτικοί σε αυτούς τους παράγοντες. Πιθανόν αυτό να οφείλεται στο ότι οι υψηλές θερμοκρασίες στις πόλεις αφαιρούν από τους κατοίκους το πλεονέκτημα της σκληραγώγησης του οργανισμού τους και επιπλέον ευαισθητοποιούνται περισσότερο εξαιτίας της αέριας ρύπανσης (Han et al., 2009).

Από το 1992, οι Colome et al είχαν διαπιστώσει ότι ασθματικοί ασθενείς, όταν παρέμεναν για μεγάλο χρονικό διάστημα μέσα στο σπίτι και δεν εκτίθονταν σε περιβαλλοντικούς παράγοντες και εμφάνιζαν σε μικρότερη συχνότητα και ένταση επεισόδια άσματος. Το εύρημα αυτό το απέδωσαν στο ότι μέσα σε κλειστούς χώρους η κυκλοφορία του αέρα είναι πιο ήπια και δεν ευνοεί την είσοδο των μεγαλύτερων και πιο

ερεθιστικών σωματιδίων (  $PM_{10}$  και  $PM_{2.5}$  ). Η θερμοκρασία επίσης είναι ομοιογενής και σταθερή.

Η σωματιδιακή ρύπανση, επιδρά επιπλέον στο κυκλοφορικό και στο ανοσοποιητικό σύστημα, καθώς οι ρυπαντές λειτουργούν ως μόνιμα αντιγόνα και εξασθενούν τους μηχανισμούς άμυνας του οργανισμού, οδηγώντας σε καρκινογενέσεις και κάποιες φορές, ακόμη και σε αιφνίδιο θάνατο (Bernard et al., 2001 : G.D. Amato et al, 2010).

Το μονοξείδιο του άνθρακα, το διοξείδιο του θείου και το διοξείδιο του αζώτου επιδρούν στην μείωση της πνευματικής συγκέντρωσης, της σωματικής απόδοσης, του ανοσοποιητικού και της λειτουργίας των πνευμόνων και της καρδιάς γιατί μειώνουν την οξυγόνωση των ιστών (Bernard et al., 2001).

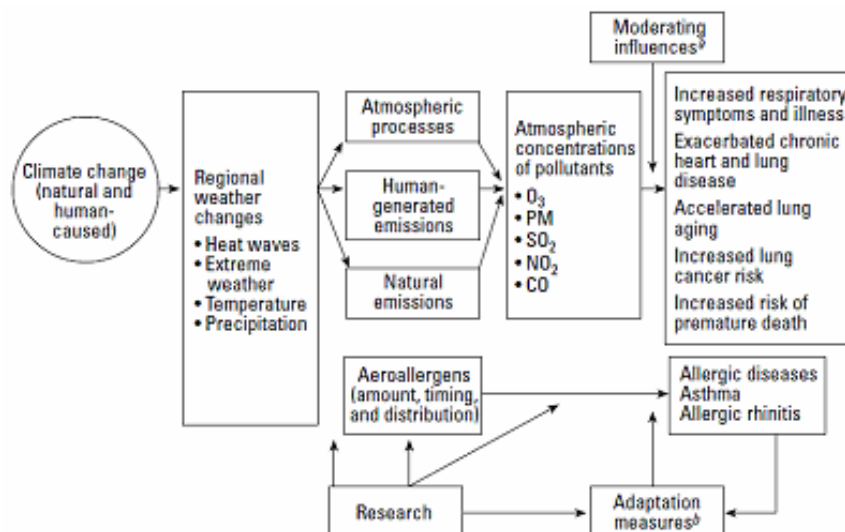
Η μακροχρόνια έκθεση σε αυτούς τους ρυπαντές, σε ζεστά και υγρά περιβάλλοντα, οδηγούν σε αύξηση του επιπολασμού καρδιαγγειακών παθήσεων και σε ασθένειες του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος (G. D' Amato et al, 2010), γιατί δηλητηριάζουν τους ιστούς και προκαλούν μείωση της μικροκυκλοφορίας του αίματος. Σε αυτούς τους μηχανισμούς, οι πιο ευαίσθητες ομάδες του πληθυσμού (παιδιά και ηλικιωμένοι) είναι πιο ευπαθείς, με την επιπρόσθετη επίδραση των υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ειδών οικιακής χρήσης ( Ashmore and Dimitroulopoulou, 2009 : D.'Amato et al, 2010)

Σε έρευνες που έγιναν στην Κύπρο την περίοδο 2004 - 2008, διαπιστώθηκε ότι υπάρχει σύνδεση στην αύξηση της μέσης χωρικής θερμοκρασίας, των θερμών βροχερών ημερών, της σχετικής υγρασίας, των κρύων ημερών με νέφωση και της αεροσωματιδιακής ρύπανσης ( $PM_{10}$ ), με την αύξηση της θνησιμότητας και της νοσηρότητας, όσον αφορά καρδιαγγειακές και αναπνευστικές παθήσεις. Η ευαισθησία φάνηκε ότι αφορά όλες τις ηλικιακές ομάδες (Tsangari et al., 2016).

Η αεροσωματιδιακή ρύπανση συνδέθηκε περισσότερο με περιστατικά καρδιαγγειακών και λιγότερο αναπνευστικών παθήσεων, χωρίς αυτό όμως να αναιρεί την μεγάλη επίδραση στο αναπνευστικό σύστημα. Στην έρευνα εντοπίστηκε ότι αυξήθηκαν οι εισαγωγές στα νοσοκομεία για καρδιαγγειακά και πνευμονολογικά προβλήματα, ειδικά κατά την κρύων ημερών με νέφωση, κρύων ημερών με νέφωση και βροχή και ζεστών βροχερών ημερών με αυξημένη σχετική υγρασία αέρα. Το επιπλέον σημαντικό συμπέρασμα ήταν ότι στατιστικά στοιχεία για τον καιρό και περιστατικά υγείας, μπορούν να μοντελοποιηθούν και να υπάρχει δυνατότητα πρόβλεψης για τον σχεδιασμό και την εφαρμογή κατάλληλων πολιτικών άμβλυσης των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και την αποτελεσματικότερη διαχείριση κρίσεων (Tsangari et al., 2016).

Ο WMO, δημοσίευσε το 1999 μελέτη για την επίδραση του φαινομένου του επαυξημένου θερμοκηπίου και  $O_3$  στην υγεία των πληθυσμών, υποστηρίζοντας ότι οι κύριες επιπτώσεις από την κλιματική αλλαγή θα έρθουν από τις αλλαγές στην ποιότητα και την ποσότητα του νερού και της τροφής, δηλαδή στα στοιχεία που χρειάζεται ο πληθυσμός για να επιβιώσει. Αυτόν τον μηχανισμό τον ταύτισε με τις επιδράσεις φυτοτοξικότητας που έχει το αυξημένο τροποσφαιρικό όζον στα φυτά. Επίσης, ο WMO, υποστηρίζει ότι υπάρχει σύνδεση της αύξησης της συχνότητας έντονων καιρικών

φαινομένων και πνευμονολογικών και αλλεργικών παθήσεων, διότι οι συχνότεροι και εντονότεροι άνεμοι, ευνοούν την μεταφορά μεγαλύτερης ποσότητας αλλεργιογόνων παραγόντων (γύρη, μικροσωματίδια κ.λπ) σε μεγαλύτερη συχνότητα.



**Εικόνα .32.:** Εκτιμώμενες αλληλεπιδράσεις αέριων ρύπων και κλιματικής αλλαγής στις παραμέτρους υγείας του πληθυσμού. Συμμετέχουν και μη κλιματικοί παράγοντες όπως ο ρυθμός αύξησης του πληθυσμού, η ποιότητα ζωής και η οικονομία (Πηγή : Bernard et al., 2001).

Η παρουσία βιομηχανικών μονάδων σε μία περιοχή, μπορεί διαχρονικά να αυξήσει τοπικά την μέση θερμοκρασία και να μειώσει ανάλογα την σχετική υγρασία του αέρα Σε ένα τέτοιο συμπέρασμα κατέληξε παλαιότερα μελέτη που έγινε στο Θριάσιο Πεδίο στην Αττική, χρησιμοποιώντας δεδομένα της περιόδου 1958 - 2006 ( Mavrakis, 2012).

Οι θερμότερες συνθήκες, η αλλαγή της εποχικότητας των καιρικών φαινομένων, οι αέριοι ρύποι και κυρίως τα μικροσωματίδια, θα επηρεάσουν την μικροβιακή δραστηριότητα στον αέρα και στους οργανισμούς, επιτείνοντας προβλήματα από μολυσματικές ασθένειες και παθήσεις που σχετίζονται με τον αέρα και το θερμικό στρες. Αναμένεται ότι και στο θαλάσσιο περιβάλλον θα υπάρξουν συχνότερα επεισόδια άνθισης αλγών που έχουν πρόσκαιρα δυσμενείς επιπτώσεις στους άλλους οργανισμούς (Sarbeen and Dr. Gheena, 2017)

Ένα επίσης ενδιαφέρον στοιχείο που αφορά την Ελλάδα σε σχέση με την κλιματική αλλαγή και την αύξηση της συχνότητας επικίνδυνων καιρικών φαινομένων είναι ότι τα επεισόδια πλημμυρών στην Αττική, από το 1887 έως το 2005 (28 επεισόδια) έχουν προκαλέσει 182 θανάτους και κόστισαν πάνω από 720 εκατομμύρια δολάρια (Lasda, Dikou and Papapanagiotou, 2010). Τέτοια στοιχεία, συνηγορούν ότι πρέπει να επιταχυνθούν οι διαδικασίες για την προσαρμογή των πόλεων στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, καθώς υπάρχουν μελέτες που επισημαίνουν τον κίνδυνο πλημμυρικών φαινομένων στην Αττική (ΕΚΠΑ και ΑΣΔΑ, 2010)

Όσον αφορά την Κίνα με τα τεραστίου μεγέθους αστικά και βιομηχανικά κέντρα, εκτιμάται ότι, ενώ οι κίνδυνοι για την υγεία από αέριους ρυπαντές, είναι ελάχιστα μικρότεροι στατιστικά, συγκριτικά με ό,τι ισχύει για τις ΗΠΑ και την Ευρώπη, η σημασία της επίδρασης των ρύπων σε αυτή τη χώρα είναι πιο σημαντική για τον λόγο ότι ο πληθυσμός της Κίνας, αντιστοιχεί σχεδόν στο 1/4 του παγκόσμιου πληθυσμού. Δηλαδή το πρόβλημα υγείας γίνεται περισσότερο ποσοτικό και λιγότερο ποιοτικό (Haidong, Chen and Tong, 2012).

Αυτή η υπερσυγκέντρωση πληθυσμού, έχει βοηθήσει να διακριθούν πιο εύκολα οι επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής στην υγεία των κατοίκων των αστικών κέντρων. Στις πόλεις της Κίνας, παρατηρείται αύξηση της θνησιμότητας εξαιτίας της αυξημένης εμφάνισης έντονων καιρικών φαινομένων, της συντομότερης παραμονής σε επίμονη αέρια ρύπανση και της συχνότερης μετάδοσης ξεχασμένων ή μειωμένου επιπολασμού, λοιμοδών και άλλων επικίνδυνων ασθενειών (Haidong, Chen and Tong, 2012).

Χαρακτηριστικό είναι ότι ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας, αναφέρει ότι σε μεγάλες πόλεις της Κίνας, όπως είναι το Πεκίνο, τα επίπεδα των  $PM_{2.5}$  κυμαίνονταν από 56 - 122  $\mu\text{gr}/\text{m}^3$  αέρα το 2000. Ειδικά για την πόλη του Πεκίνου, την περίοδο 2001 - 2004 οι συγκεντρώσεις ήταν 96,5 - 106.7  $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ , ξεπερνώντας ταυτόχρονα τα όρια που θέτει και η EPA ( 15  $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ ) και ο WMO-AQG (10  $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ ). Σε αυτές τις συνθήκες, αναφέρεται ότι η μέση ορατότητα μειώνονταν κατά 10 χλμ όταν η συγκέντρωση των  $PM_{2.5}$  αυξάνονταν τα 75  $\mu\text{gr}/\text{m}^3$  σε 85  $\mu\text{gr}/\text{m}^3$  (Haidong, Chen and Tong, 2012 : Han et al., 2013).

Το Πεκίνο και η Σαγκάη έχουν γίνει γνωστές παγκοσμίως για την άμεση επίδραση της αέριας ρύπανσης στην θνησιμότητα και την νοσηρότητα του πληθυσμού. Έχει υπολογισθεί ότι αύξηση κατά 10 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$  του  $SO_2$ , προκαλείται αύξηση κατά 0,4% της θνησιμότητας από αναπνευστικά και καρδιαγγειακά προβλήματα (στεφανιαία νόσος κ.λπ). Για τα ολικά αιωρούμενα σωματίδια (TSP), αύξηση κατά 10 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$  στον εισπνεόμενο αέρα, προκαλεί αντίστοιχα αύξηση θνησιμότητας κατά 0,3% 0,1 % (Haidong, Chen and Tong, 2012).

Οι Zhao et al., (2008) μέτρησαν PBBs, PCBs και PBDEs στα μαλλιά κατοίκων της πόλης Zhejiang όπου υπάρχουν πολλές μονάδες αποσυναρμολόγησης και ανακύκλωσης ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών, και διαπίστωσαν πολύ υψηλές συγκεντρώσεις.

Τέλος, όσον αφορά την Ελλάδα, ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι ανακοινώσεις που συνδέουν τις μεγάλης έκτασης φυσικές καταστροφές με εξάρσεις σε προβλήματα υγείας στον πληθυσμό. Οι Amiridis et al., (2012) διερευνώντας την επίδραση των δασικών πυρκαγιών στους κατοίκους της Αττικής, διαπίστωσαν ότι η απότομη αύξηση της συγκέντρωσης των μικροσωματιδίων και των  $NO_x$  κατά 800 % σε μία μόνο ημέρα (23 /8/ 2009), συνδέεται με ανάλογη αύξηση των επιπέδων του τροποσφαιρικού  $O_3$  . Και μάλιστα, η σύνθεση του  $O_3$  πρέπει να ήταν μη φωτοχημική, γιατί εκείνη την ημέρα, το νέφος από την πυρκαγιά προκάλεσε πρόσκαιρη μείωση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας κατά 70%. Αυτό το εύρημα, σημαίνει ότι πιθανών, υπάρχουν συνέργειες μεταξύ των αέριων ρύπων στην Αττική όπου ακόμη δεν έχουν διερευνηθεί !

Τέλος, οι Dimitrakopoulos et al. (2010) αναφέρουν ότι η αύξηση της συχνότητας των δασικών πυρκαγιών την περίοδο 1961 - 1997, και ιδιαίτερα στην Αττική μετά το 1977, συνδέονται εν μέρη με την περίοδο ανομβρίας και τις αυξημένες θερμοκρασίες.

#### 4.4. Περιβαλλοντική Μοντελοποίηση

Παρ' ότι υπάρχουν διαφωνίες για την ακρίβεια των προβλέψεων που κάνουν τα διαφόρων τύπων μοντέλα (Erismann et al., 2005), αυτός ο κλάδος συνεχίζει να αναπτύσσεται με γρήγορους ρυθμούς.

Για την ανάλυση των αερίων ρύπων, έχουν αναπτυχθεί κατηγορίες εμπειρικών και προηγμένων μοντέλων που χρησιμοποιούν διαφορετικές τεχνολογικές προσεγγίσεις προκειμένου να περιγράψουν την διασπορά, την στρωμάτωση και την συμπεριφορά των ρύπων ανάλογα με τον καιρό. Τα πιο διαδεδομένα είναι τα Lagrangian και Gaussian μοντέλα με υποκατηγορίες, ανάλογα με τα επιμέρους χαρακτηριστικά τους. Επίσης, έχουν αναπτυχθεί και μέθοδοι που χρησιμοποιούν δορυφόρους και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Κασσωμένος, 2001 : Λυμπεροπούλου 2006 : Μεντζελόπουλος, 2010 : Markiewicz, 2012 : Μουσιόπουλος Ν., 1999 : Σούφλα, 2013 :).

Οι Kapsomenakis et al., (2011), χρησιμοποιώντας δεδομένα από τις 12 κλιματικές ζώνες της Ελλάδας, εφάρμοσαν μέθοδο RCM προκειμένου να εκτιμήσουν την μεταβολή του ύψους των βροχοπτώσεων σε διάφορες περιοχές. Το μοντέλο έδειξε ότι για την περίοδο 2021 - 2050 και 2071 - 2100, αναμένεται μείωση κατά 5 % και 20%. Οι περιοχές που θα εμφανίσουν την μεγαλύτερη μείωση των ετήσιων βροχοπτώσεων θα είναι η δυτική Πελοπόννησος, οι Κυκλάδες, τα Δωδεκάνησα και η Κρήτη.

Το μαθηματικό μοντέλο REMOTE, χρησιμοποιείται για να προβλέψει τις φωτοχημικές επιδράσεις σε συνδυασμό με την θερμοκρασία, τις εκλύσεις ρύπων και την παρουσία άλλων αερολυμάτων και να υπολογίσει τελικά την αύξηση του τροποσφαιρικού όζοντος για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Οι Coleman et. al., (2013) εφάρμοσαν το μοντέλο για την Ευρώπη, για μία περίοδο έως το 2100 και διαπίστωσαν ότι ο ρυθμός μείωσης του όζοντος μπορεί να επιβραδυνθεί έως τα 8 ppd/έτος μετά το 2050.

Ένα εργαλείο μοντελοποίησης για την διασπορά των μικροσωματιδιακών ρύπων, που χρησιμοποιείται πλέον όλο και πιο συχνά, είναι το λογισμικό AERMOD που έχει αναπτυχθεί από την Αμερικανική Υπηρεσία Περιβάλλοντος (US - EPA). Έχει εφαρμοστεί για την μελέτη της διασποράς σωματιδιακών ρύπων από σημειακές πηγές, στην πόλη της Πάτρα (Τσιμπούκης, 2013) και το λιμάνι της Μυτιλήνης (Kotrikla et al, 2017).

Επίσης, η χρήση μοντέλου προσομοίωσης της διασποράς ρύπων, για το λιμάνι του Πειραιά και της Θεσσαλονίκης, έδειξε ότι ο τύπος του καυσίμου, ο τρόπος χειρισμού των κινήσεων των πλοίων μέσα στο λιμάνι και η αύξηση της κυκλοφορίας οχημάτων, είναι η κύρια αιτία αέριας ρύπανσης.(Δημοπούλου, 2007 : Δουβρή, 2009 : Βάγια, 2010 : Κασσωμένος, 2010 : Τσιμπούκης, 2013).

Η μεγάλη οικονομική ανάπτυξη των χωρών της Ασίας, έχει δώσει ώθηση στην εξέλιξη συστημάτων μοντελοποίησης (Carmichael et al, 2012) που βοηθούν στην διαχείριση της ρύπανσης και την γρήγορη λήψη αποφάσεων.

Οι Bozon, Sinfort and Mohammadi (2010), χρησιμοποιώντας ως βάση την γλώσσα προγραμματισμού python, δημιούργησαν ένα συνδυαστικό εργαλείο ανοικτού κώδικα στην πλατφόρμα του λογισμικού Quantum GIS και ενός DEM μοντέλου (Digital Elevation Model) και αποτύπωσαν τον τρόπο διάδοσης του νέφους ενός ζιζανιοκτόνου, για μία συγκεκριμένη περιοχή και ύψος. Τέτοιες εφαρμογές, μπορούν να επιτρέψουν χωρίς κόστος, την αναπαραγωγή αρχείων shp, για την μόνιμη παρακολούθηση της διασποράς ρυπαντών σε αγροτικές περιοχές.

Τα προγνωστικά και υπολογιστικά μοντέλα, δίνουν και την δυνατότητα να προβλεφθούν οι επιπτώσεις στην υγεία ενός πληθυσμού, από την επίδραση συγκεκριμένων ρυπαντών, που αναμένεται ότι το ποσοστό τους στην ατμόσφαιρα θα μεταβληθεί. Ένα τέτοιου τύπου μοντέλο, χρησιμοποιήθηκε στις ΗΠΑ στην περιοχή της Ατλάντα. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε ένα RCM (Regional Climate Model) μοντέλο, για να υπολογιστεί η σύσταση του όζοντος στην κατώτερη ατμόσφαιρα, για την περίοδο 2041 - 2070. Η δοκιμή τεσσάρων διαφορετικών σεναρίων, έδειξε ότι μία αύξηση του όζοντος στην κατώτερη ατμόσφαιρα κατά 7 - 12% μπορεί να αυξήσει την προσέλευση ασθματικών ασθενών στα επείγοντα περιστατικά κατά 500 άτομα/έτος. (Chang, Hao and Sarnat, 2014).

Οι Syrakon et al (2010, 2011) εφαρμόζοντας το λογισμικό AERMOD, διαπίστωσαν ότι οι επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής στην Βουλγαρία, θα είναι πιο έντονες σε τοπικό επίπεδο υπό την παρουσία αέριων ρύπων, προβλέποντας ότι ο συνδυασμός αλλαγών στο κλίμα και πρωτογενών ρύπων, θα οδηγήσει σε αύξηση του όζοντος.

Η επέκταση της χρήσης των δορυφορικών δεδομένων και ο εμπλουτισμός τους, επίσης θα διευρύνει τις δυνατότητες παρακολούθησης των αέριων ρύπων ακόμη και σε πραγματικό χρόνο (Baldridge, Grove and Rivera, 2009 : Μεντζελόπουλος, 2010).

Η εφαρμογή μοντέλων για πολεοδομική χρήση έχει δείξει ότι η μη γραμμική δόμηση, βοηθάει στην καλύτερη κυκλοφορία αέρα ανάμεσα στα κτήρια και την μείωση της συσσώρευσης θερμότητας (Haghighat and Mirzaei , 2011 : Pataccini, 2012)

# Κεφάλαιο 5

## Μεθοδολογία

### 5.1. Εισαγωγή

Στην περιοχή της Δυτικής Αττικής λειτουργούν σταθμοί μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης υπό την ευθύνη του ΥΠΕΝ (ΕΔΠΑΡ). Από το 1984 που ξεκίνησε η ανάπτυξη του δικτύου, εγκαταστάθηκαν πρώτα σταθμοί σε σημεία του κέντρου της πόλης (Αθηνάς, Αριστοτέλους, Γεωπονική, Λιόσια, Νέα Σμύρνη, Πατησίων) και στον Πειραιά, μετρώντας κυρίως αιωρούμενα σωματίδια (smoke), διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>), οξείδια αζώτου (NO, NO<sub>2</sub>) και μονοξείδιο του άνθρακα (CO).

Η Δυτική Αττική απέκτησε σταθμό μέτρησης ρύπων το 1990 (σταθμός Περιστερίου). Ο σταθμός καταγράφει CO, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, αιθάλη (>2003) και PM<sub>10</sub> (>2015).

Ο σταθμός του Περιστερίου είναι σταθμός υποβάθρου, δηλαδή δεν βρίσκεται κοντά σε δρόμους πυκνής ή ταχείας κυκλοφορίας, αλλά βρίσκεται εντός του αστικού ιστού. Επομένως οι μετρήσεις του δίνουν μία εικόνα της κατάστασης που διαμορφώνεται στο εσωτερικό μίας πόλης.

Σήμερα, στην περιοχή της Δυτικής Αθήνας και της ευρύτερης περιοχής έως την Ελευσίνα, λειτουργούν πέντε σταθμοί μέτρησης (Γεωπονική, Λιόσια, Πειραιάς, Περιστέρη, Ελευσίνα). Οι σταθμοί του κέντρου βρίσκονται σε πολύ κοντινές αποστάσεις ως προς τον σταθμό του Περιστερίου (< 6 χλμ, σταθμοί Πατησίων, Αριστοτέλους, Λιοσίων και Αθηνάς) και μεταξύ τους παρεμβάλλονται κυρίως κτήρια. Οι πιο απομακρυσμένοι σταθμοί (δηλαδή της Ελευσίνας συμπεριλαμβανομένου και των σταθμών Λυκόβρυσσης και Αλιάρτου) που χρησιμοποιήθηκαν στο πειραματικό μέρος βρίσκονται σε μεγαλύτερες αποστάσεις (>15 - 30 χλμ).

Ο σταθμός της Ελευσίνας βρίσκεται δυτικά, δίπλα στην θάλασσα, στην έξοδο από την Αττική, αρκετά μακριά από τον φυσικό φραγμό του Όρους Αιγάλεω, και είναι εκτεθειμένος στις εκλύσεις αέριων ρύπων της βιομηχανικής ζώνης. Οι σταθμοί του κέντρου της Αθήνας, μετράνε κυρίως την ρύπανση από οχήματα και εγκαταστάσεις οικιακής θέρμανσης.

Το σύνολο των σταθμών μέτρησης εντός της Αττικής (Περιστερίου, κέντρου Αθήνας, Λιοσίων και Νέας Σμύρνης) παρέχουν μία καλή εικόνα για την αέρια ρύπανση στην Δυτική Αθήνα.

Σε ένα αστικό τοπίο με την διαμόρφωση του Λεκανοπεδίου της Αττικής συμβαίνει συχνά μεταφορά αέριων ρύπων από την μία περιοχή στην άλλη, ανάλογα με τα εποχικά

χαρακτηριστικά των ανέμων. Η αερομεταφερόμενη ρύπανση έχει μεγάλη σημασία για τις περιοχές που χρησιμοποιούνται κυρίως ως ζώνες κατοικίας αφού η ποιότητα ζωής επηρεάζεται άμεσα από την ποιότητα του αέρα. Γι' αυτόν τον λόγο έχει μεγάλη σημασία η παρακολούθηση και διαχείριση του προβλήματος.

Η περιοχή της Δυτικής Αθήνας είναι αρκετά επιβαρυνμένη με τροποσφαιρικό όζον, το οποίο παράγεται φωτοχημικά από οξείδια που προέρχονται από την βιομηχανία, την οδική κυκλοφορία και τις κεντρικές θερμάνσεις. Η θερμοκρασία αποτελεί ένα βασικό παράγοντα, και στην περιοχή, διαχρονικά οι μέσες θερμοκρασίες που καταγράφονται είναι αρκετά υψηλές (Stathoroulou et al, 2008 : Mamara, Argyriou and Anandranistakis 2016).

Η παρακολούθηση της αέριας ρύπανσης μπορεί να γίνει και με επίγεια ή δορυφορικά συστήματα και εφαρμογές γεωπληροφορικής. Τα δορυφορικά συστήματα είναι πολυδάπανα και χρειάζονται μεγαλύτερη εξειδίκευση για την χρήση τους (φασματικές υπογραφές), είναι όμως πολύ αξιόπιστα και υπόσχονται πολλά για το μέλλον (Μεντζελόπουλος, 2010). Επομένως, πιο άμεση είναι πάντα η λύση του επίγειου δικτύου (Κασσωμένος, 2001 : Μεντζελόπουλος, 2010).

Στην βιβλιογραφία, υπάρχουν αναφορές για προσπάθειες καταγραφής της αέριας ρύπανσης με επεξεργασία δεδομένων επίγειων σταθμών με διαφορετικές μεθοδολογικές προσεγγίσεις. (Milionis and Davis, 1994 : Mc Gregor, 1996 : Λυμπεροπούλου, 2006 : Vienneau and Briggs 2013).

Ομάδα ερευνητών παλαιότερα προχώρησε σε μία στατιστική προσέγγιση που στηρίχθηκε σε λογική οριοθετημένων περιοχών (ζώνες συγγενείας), με βάση συγκεκριμένα κριτήρια (clusters) (Lee, 1990 : Vienneau and Briggs 2013)

Η μεθοδολογία στηρίχθηκε σε προηγούμενες ερευνητικές αναφορές και προσπάθειες διεθνών οργανισμών που αναζητούν τρόπους για την καταγραφή των αέριων ρυπαντών και την προστασία της δημόσιας υγείας (WHO, 1999).

Οι ζώνες συγγενείας είναι αστικές ή περιαστικές περιοχές που εμφανίζουν μία σταθερότητα ως προς τα χαρακτηριστικά και την συμπεριφορά του αέρα και των ρύπων. Ο ρύπος που χρησιμοποιήθηκε παλαιότερα ήταν το NO<sub>2</sub> (Vienneau and Briggs 2013) εξαιτίας της φυσικοχημικής συμπεριφοράς του. Έχει διάρκεια παραμονής στην ατμόσφαιρα 2 - 5 ημέρες και μετατρέπεται γρήγορα σε NO. Έχει μεγάλη σημασία η επιλογή των κατάλληλων ρύπων για την οριοθέτηση των ζωνών, και αυτό σχετίζεται με τον τρόπο που καταγράφουν την ρύπανση οι επίγειοι σταθμοί.

Ένας επίγειος σταθμός δεν σημαίνει ότι καλύπτει ομοιογενώς έναν όγκο αέρα γύρω από την θέση του. Μία μέτρηση δηλαδή δεν σημαίνει ότι αναφέρεται σε ομογενοποιημένο στρώμα αέρα για μία μεγάλη περιοχή. Ακόμα και ένα επιφανειακό ή οριακό στρώμα αέρα, δεν είναι απολύτως ομοιογενές. Μπορεί μία μέτρηση να οφείλεται σε μία μικρή χρονικά έξαρση η οποία με τη σειρά της μπορεί να οφείλεται και σε μεταφερόμενο ρύπο. Γι' αυτό τα επίγεια δίκτυα, θεωρούνται πιο αντιπροσωπευτικά όσο πιο πυκνά είναι (Mc Gregor, 1996).

Αφού καθορισθούν οι ζώνες, συλλέγονται τα δεδομένα και επεξεργάζονται στατιστικά, και κατόπιν επαληθεύονται με χρήση άλλων μεθόδων (Mc Gregor, 1996 : Vienneau and Briggs, 2013).

Βασική προϋπόθεση για την υψηλή αξιοπιστία των αποτελεσμάτων είναι η κατάλληλη επιλογή των ζωνών λαμβάνοντας υπ'όψιν την διαμόρφωση του εδάφους και τα κλιματικά δεδομένα (διεύθυνση άνεμου, θερμοκρασία, υγρασία κ.λπ). (Vienneau and Briggs, 2013).

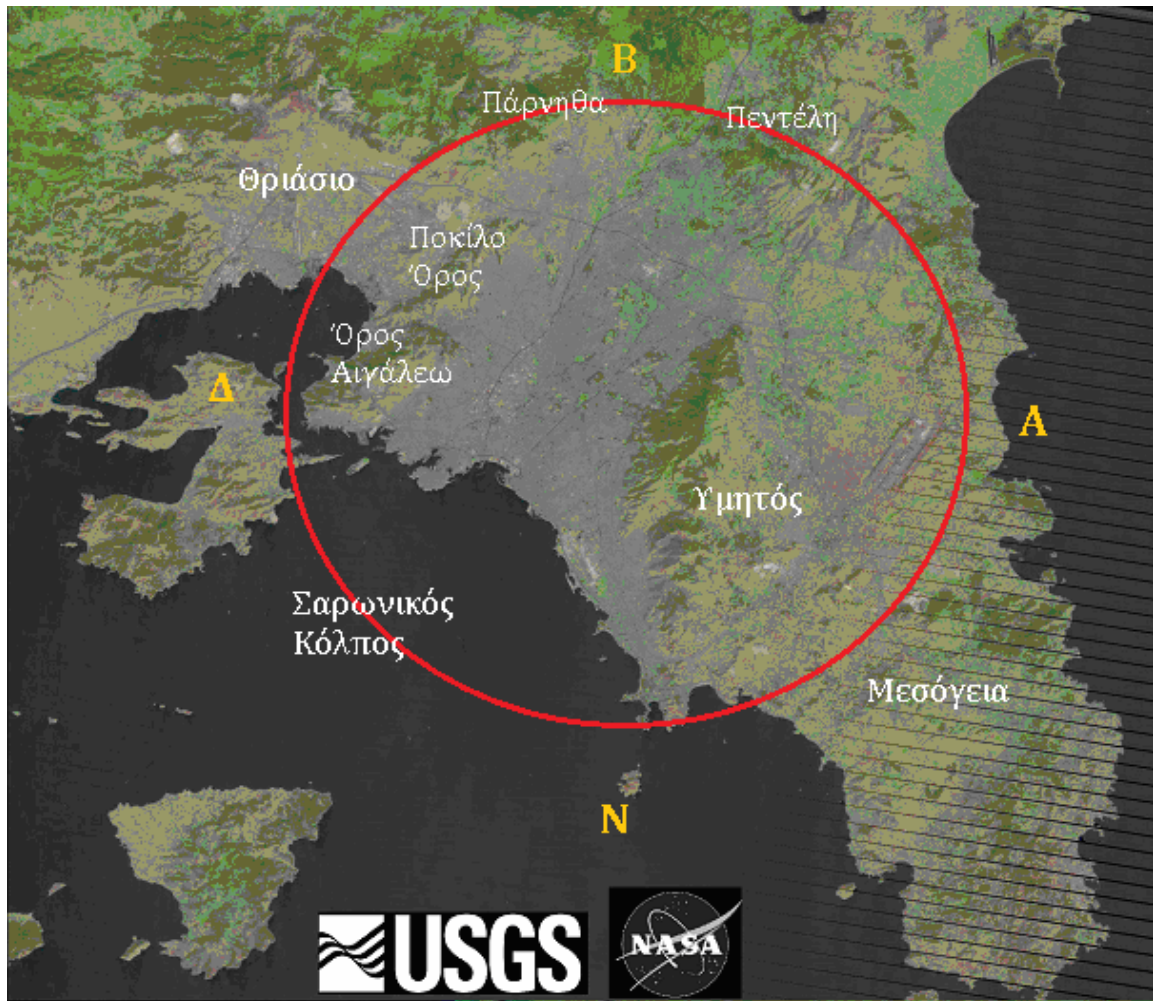
Στο πειραματικό μέρος της Διατριβής, χρησιμοποιείται αυτή η λογική προσέγγιση και επιχειρείται να εκτιμηθεί η αέρια ρύπανση στην περιοχή της Δυτικής Αττικής, χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις ρύπων που είναι διαθέσιμες από το δίκτυο του ΕΔΠΑΡ. Με εφαρμογή στατιστικής ανάλυσης πολλαπλής παλινδρόμησης, επιχειρείται να δημιουργηθεί μοντέλο πρόβλεψης για επιλεγμένους ρύπους λαμβάνοντας ως ανεξάρτητες μεταβλητές ρύπους που καταγράφουν σταθμοί μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε όμορες περιοχές. Μετρήσεις από πιο απομακρυσμένες περιοχές (Λυκόβρυση και Αλιάρτος) με διαφορετικά γεωγραφικά χαρακτηριστικά (μεγάλη απόσταση, φαινομενικά μικρή επικοινωνία με την υπό εξέταση περιοχή, πεδινή ή ημιορεινή διαμόρφωση), χρησιμοποιούνται στις δοκιμές των μοντέλων ως δείκτες, για πιθανή μεταφορά ρύπων.

### **5.1.1. Περιοχή Μελέτης**

Το Λεκανοπέδιο της Αττικής, φιλοξενεί περίπου 5.5 εκατομμύρια κατοίκους. Το 1/4 αυτού του πληθυσμού κατοικεί στην δυτική πλευρά, που περιλαμβάνει τους Δήμους Πετρούπολης, Περιστερίου, Αιγάλεω, Χαϊδαρίου, Αγίας Βαρβάρας, Αγίων Αναργύρων - Καματερού και Ιλίου. Στην ευρύτερη περιοχή του Δυτικού Τομέα, πίσω από το Ποικίλο Όρος, εντάσσονται η Ελευσίνα και ο Ασπρόπυργος, περιοχές καθαρά βιομηχανικές, που λειτουργούν μεγάλες μονάδες διύλισης καυσίμων, υλικών ανακύκλωσης, και ναυπηγία (ΦΕΚ Β, 3465 : ΕΛΣΤΑΤ, 2015)..

Ο Δυτικός Τομέας, από ανατολικά συνορεύει με τον κεντρικό τομέα των Αθηνών, που έχει κυρίως ζώνες κατοικίας και τριτογενούς τομέα και καθημερινά εμφανίζει υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο. Νότια βρίσκεται ο Πειραιάς, όπου το σημαντικό του στοιχείο είναι το κεντρικό λιμάνι και υπηρεσίες τριτογενούς και δευτερογενούς τομέα. Ανατολικά, το σημαντικότερο στοιχείο είναι το όρος Υμηττός που χωρίζει το Λεκανοπέδιο της Αττικής από τα Μεσόγεια, μία από τις πιο παλαιά κατοικημένες περιοχές. Η βόρεια πλευρά, χαρακτηρίζεται από τα όρη Πάρνηθα και Πεντέλη, που δημιουργούν ένα χαρακτηριστικό άνοιγμα για τον αερισμό του Λεκανοπεδίου (ΕΛΣΤΑΤ, 2015)

Αξίζει να σημειωθεί, ότι συνήθως, οι υπερβάσεις όζοντος στην Αττική, καταγράφονται στις πιο βόρειες περιοχές (Λυκόβρυση, Θρακομακεδόνες) ενώ υπερβάσεις ορισμένων ρύπων (βενζόλιο ) εμφανίζονται για μικρή ομάδα ημερήσιων τιμών και όχι μηνιαίων ή ετήσιων στις ίδιες περιοχές. Αυτό το στοιχείο πιθανών είναι ένδειξη διάχυσης των ρύπων σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα εξαιτίας στιγμιαίας επικράτησης διαλυτικού ανέμου (Κασσωμένος, 2001 : Μελάς, 2007)



**Εικόνα .33.** : Δορυφορική εικόνα της ευρύτερης περιοχής της Αττικής.. Διακρίνονται οι ορεινοί όγκοι που οριοθετούν το Λεκανοπέδιο : Υμητός (δεξιά), Ποικίλο Όρος και όρος Αιγάλεω (αριστερά), Πάρνηθα και Πεντέλη (επάνω). Διέξοδος του αττικού λεκανοπεδίου (attica basin) είναι η θαλάσσια περιοχή του Σαρωνικού Κόλπου (κάτω). (Πηγή : USGS (ASTER), <https://earthexplorer.usgs.gov/>).

Στην ΒΔ πλευρά του Λεκανοπεδίου, βρίσκεται η περιοχή των Άνω Λιοσίων και Φυλής, πίσω από το Ποικίλο Όρος, και πολύ κοντά στην παραθαλάσσια περιοχή του Σκαραμαγκά. Στην Φυλή βρίσκεται ο ΧΥΤΑ και εργοστάσιο διαλογής ανακυκλώσιμων υλικών (Λεοντιάδης, 2015).

Οι κύριες πηγές βιομηχανικής ρύπανσης για την Δυτική Αθήνα, είναι οι περιοχές του Σκαραμαγκά, του Ασπροπύργου, της Ελευσίνας και του Πειραιά. Η μεταφορά ρύπων από τους τρεις πρώτους προς την Αθήνα αντιμετωπίζει τον φυσικό φραγμό του Ποικίλου όρους και την χαμηλή συχνότητα βόρειο δυτικών ανέμων στην περιοχή (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2001 : ΥΠΕΝ, 2017).

### 5.1.2. Ερευνητικά Ερωτήματα

Αξιοποιώντας τα δεδομένα των σταθμών μέτρησης του ΕΔΠΑΡ στην Δυτική Αθήνα, και σύμφωνα με την αναφερόμενη βιβλιογραφία, μπαίνει το ερώτημα για το αν υπάρχει στατιστική σχέση μεταξύ των τιμών επιλεγμένων ρύπων που καταγράφουν τους και αν είναι εφικτή η δημιουργία μοντέλων πρόβλεψης για αυτούς τους ρύπους.

Εφ' όσον απαντηθεί το ερώτημα αυτό, το επόμενο ερώτημα που προκύπτει, είναι αν το μοντέλο επαληθεύεται από τα υπάρχοντα δεδομένα και σε τι βαθμό.

## 5.2. Υλικά και Μέθοδοι

### 5.2.1. Δειγματοληψία και Μεθοδολογία Επεξεργασίας

Συλλέχθηκαν δεδομένα από 12 σταθμούς του ΕΔΠΑΡ, λαμβάνοντας υπ' όψιν τα εξής κριτήρια :

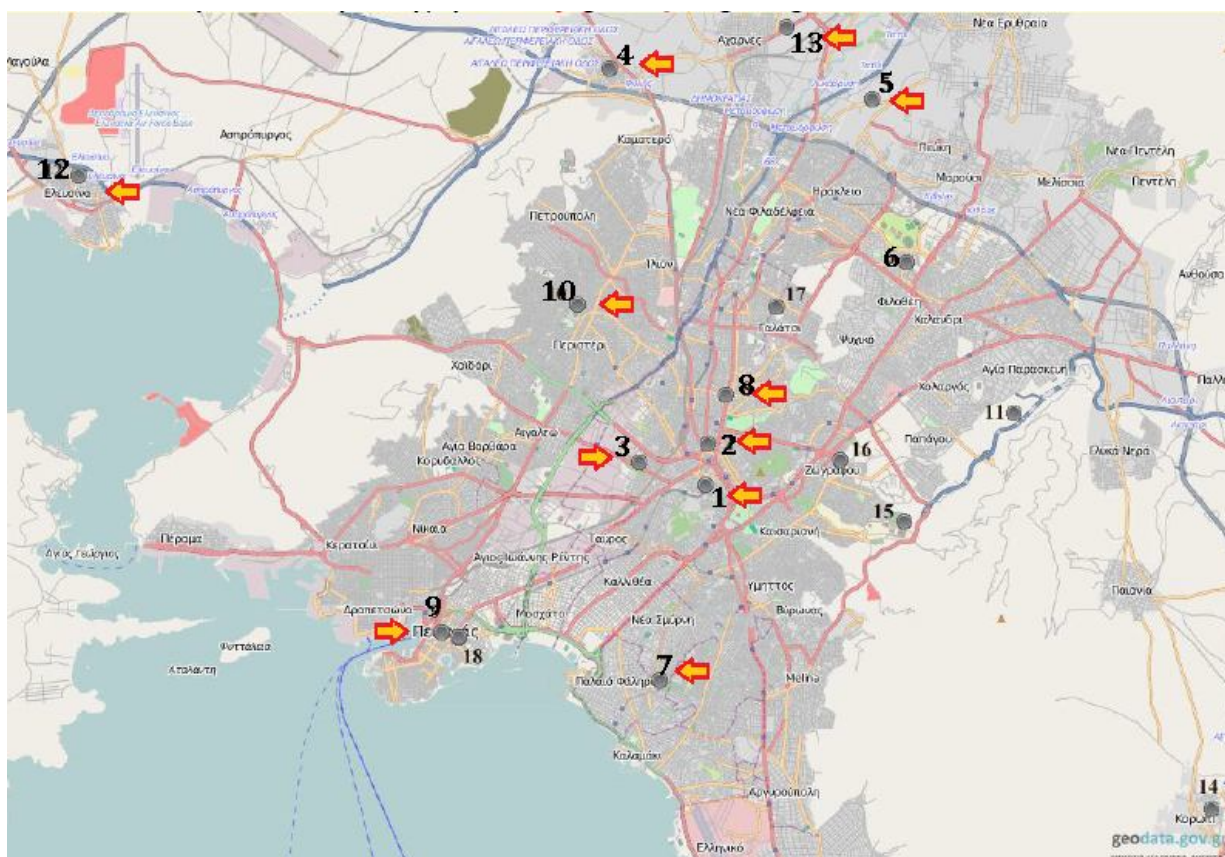
1. Να καλύπτεται αντιπροσωπευτικά η Δυτική Αθήνα.
2. Οι σταθμοί να βρίσκονται σε διαφορετικά υψόμετρα.
3. Οι σταθμοί να βρίσκονται σε σημεία που αντιστοιχούν στο πρότυπο των επικρατούντων ανέμων ως προς όλες τις διευθύνσεις.
4. Να υπάρχει η δυνατότητα εναλλακτικών επιλογών ανεξάρτητων μεταβλητών κατά την μοντελοποίηση, λαμβάνοντας υπ' όψιν λογική clusters.
5. Οι σταθμοί να μετράνε τους πιο αντιπροσωπευτικούς ρύπους ως προς την καταγεγραμμένη αέρια ρύπανση της περιοχής με τις μεγαλύτερες χρονοσειρές δεδομένων.
6. Οι θέσεις που λειτουργούν να καλύπτουν τις σημαντικές πηγές αέριας ρύπανσης για την περιοχή.
7. Να υπάρχουν επαρκή και αντιπροσωπευτικά δεδομένα για όσο γίνεται μεγαλύτερο χρονικό διάστημα για όλες τις θέσεις.
8. Να υπάρχει δυνατότητα ομαδοποίησης των σταθμών λαμβάνοντας υπ' όψιν την θέση και τις μετρούμενες παραμέτρους.

Τελικά, οι σταθμοί μέτρησης που επιλέχθηκαν αναφέρονται συνοπτικά παρακάτω και σημειώνονται στον χάρτη που ακολουθεί.

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΥ
ΑΘΗΝΑΣ	ATH (1)
ΑΛΙΑΡΤΟΣ	ALI (X)
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΟΥΣ	ARIST (2)
ΓΕΩΠΟΝΙΚΗ	GEOP (3)
ΕΛΕΥΣΙΝΑ	ELEYS (12)
ΘΡΑΚΟΜΑΚΕΔΟΝΕΣ	THRAK (13)
ΛΙΟΣΙΑ	LIOS (4)
ΛΥΚΟΡΥΣΗ	LYK (5)
ΝΕΑ ΣΜΥΡΝΗ	N.SMY(7)
ΠΑΤΗΣΙΩΝ	PAT (8)
ΠΕΡΑΙΑΣ Ι	PEIRI (9)
ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ	PER (10)

Σημειώνονται τα εξής :

- Ο σταθμός του Περιστερίου βρίσκεται σε κεντρικό σημείο στην Δυτική Αττική, εντός του αστικού ιστού, στους πρόποδες του Ποικίλου Όρους.
- Οι σταθμοί Πατησίων, Αθηνάς, Γεωπονικής, Αριστοτέλους και Λιοσίων, καλύπτουν την κεντρική περιοχή της Αθήνας (κοντά σε οδικό δίκτυο), με τον υψηλότερο κυκλοφοριακό φόρτο και αέρια ρύπανση και βρίσκονται ανατολικά σε ακτίνα 5 χλμ από τον σταθμό Περιστερίου. Ο σταθμός Νέας Σμύρνης είναι σε θέση ανωφερή ως προς την παραθαλάσσια ζώνη.
- Οι σταθμοί Πειραιά, και Ελευσίνας βρίσκονται νότια και δυτικά αντίστοιχα, στην ζώνη άνω των 15 χλμ. ως προς τον σταθμό Περιστερίου, είναι παραθαλάσσιοι και καλύπτουν σημαντικές πηγές ρύπανσης της περιοχής τους (βιομηχανική ζώνη, λιμάνι).
- Οι σταθμοί Λυκόβρυσης, Θρακομακεδόνων βρίσκονται στην βόρεια πλευρά προς την έξοδο του λεκανοπεδίου, σε ανοικτό χώρο στους πρόποδες της Πάρνηθας.
- Ο σταθμός Αλιάρτου, βρίσκεται έξω από το Λεκανοπέδιο, βόρεια πίσω από την Πάρνηθα, καλύπτοντας την ευρύτερη ζώνη, άνω των 30 χλμ από την Δυτική Αθήνα.



**Εικόνα .34.** : Οι σταθμοί μέτρησης που επιλέχθηκαν για την λήψη των μετρήσεων και τον στατιστικό έλεγχο

Τα δεδομένα αρχικά συλλέχθηκαν για την περίοδο 1984 - 2010, αλλά κατά την εξαγωγή και ταξινόμηση διαπιστώθηκε ότι :

- Για την περίοδο μέχρι το 1990 δεν υπήρχαν μετρήσεις για σημαντικούς ρύπους (οξείδια αζώτου, διοξείδιο του θείου, όζον).
- Για τους περισσότερους σταθμούς, η κύρια παράμετρος μέτρησης από το 1984 και μετά είναι τα αιωρούμενα σωματίδια.
- Υπήρχαν πολλά κενά στις ημερήσιες μετρήσεις, πιθανών επειδή ήταν η πρώτη περίοδος λειτουργίας του δικτύου και ακόμη δεν είχαν αποκατασταθεί όλα τα πιθανά αρχικά προβλήματα λειτουργίας.

Έτσι, αποφασίσθηκαν στην πορεία τα εξής :

- Η κύρια περίοδος ελέγχου να είναι για το διάστημα 1990 - 2010 (είκοσι έτη) για όλους τους επιλεγμένους σταθμούς (υπάρχει η καλύτερη δυνατή συλλογή δεδομένων με επαρκή ημερήσια πυκνότητα μετρήσεων (σχεδόν πλήρεις 24ωρες μετρήσεις).
- Να δημιουργηθούν αρχεία με μέσες μηνιαίες τιμές και μέσες ημερήσιες τιμές για τους δώδεκα σταθμούς, λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι οι ετήσιες εκθέσεις του ΥΠΕΝ (τέως ΥΠΕΚΑ, αρμόδια Υπηρεσία ΠΕΡΠΑ), παρουσιάζουν επεξεργασία των δεδομένων κυρίως σε ετήσια βάση. Μηνιαία παρουσιάζονται στοιχεία μεμονωμένα για κάθε σταθμό και μόνο για ένα έτος της φορά. Δεν παρουσιάζονται επίσης επεξεργασμένα αποτελέσματα μετρήσεων σε βάση μέσων ημερήσιων τιμών. Η χρήση τιμών με μεγαλύτερη χρονική πυκνότητα θα έδινε άμεσα την δυνατότητα διάκρισης μεγαλύτερων λεπτομερειών για τις εξεταζόμενες περιοχές. Αυτό βέβαια δεν σημαίνει ότι δεν είναι επαρκής η εικόνα ανάλυσης που λαμβάνεται.
- Η περίοδος μετρήσεων 1984 - 2010 να ελεγχθεί εναλλακτικά, ανάλογα με τα πρώτα αποτελέσματα από την περίοδο 1990 - 2010, για όσους σταθμούς υπάρχει επαρκής αντιπροσωπευτικότητα. Για παράδειγμα για τους σταθμούς Περιστερίου, Αριστοτέλους, Ελευσίνας και Αθηνάς, δεν υπάρχουν μετρήσεις πριν το 1988. Ο σταθμός όμως Γεωπονικής έχει μετρήσεις από το 1984 για CO και SO<sub>2</sub>.

Το ιδανικό θα ήταν να υπάρχουν και μετεωρολογικά δεδομένα (θερμοκρασία αέρα στο επίπεδο των σταθμών, σχετική υγρασία, διεύθυνση ανέμων, ύψος βροχόπτωσης, κ.λπ). Όμως :

- οι σταθμοί δεν μετράνε τέτοιες παραμέτρους με εξαίρεση την θερμοκρασία, που όμως από τους διαχειριστές του δικτύου μάθαμε (τηλεφωνική επικοινωνία με την αρμόδια υπηρεσία) ότι δεν θεωρούνται αξιόπιστες οι μετρήσεις.
- Το εναλλακτικό δίκτυο μέτρησης για αυτές τις παραμέτρους θα ήταν αυτό του δικτύου ΜΕΤΕΟ ([www.meteo.gr](http://www.meteo.gr)) που αναπτύσσεται από το ΕΑΑ. Όμως για τις περιοχές που βρίσκονται οι σταθμοί, οι μετρήσεις ξεκινούν από το 2008 μόνο για μία περιοχή. Για τους άλλους σταθμούς δεν υπάρχουν δεδομένα πριν το 2011. Ειδικά για τον σταθμό Περιστερίου τα δεδομένα ξεκινούν τον Αύγουστο 2012 ( [http://www.meteo.noa.gr/GR/services3\\_gr.html](http://www.meteo.noa.gr/GR/services3_gr.html) : <http://meteosearch.meteo.gr/> ).
- Εξετάσθηκε η δυνατότητα αξιοποίησης των θερμοκρασιακών και βροχομετρικών δεδομένων που διαθέτει το ΕΑΑ (Αρχείο Αιγινήτη), τα οποία

ξεκινούν από το 1859 ! Όμως η θέση μέτρησης (Λόφος Νυμφών, Θησείου) καλύπτει μόνο την κεντρική περιοχή της Αθήνας και όχι την δυτική νότια και βόρεια πλευρά της Αττικής. Επιπλέον, λαμβάνοντας υπ' όψιν παρατηρήσεις από την βιβλιογραφία (Κατσούλης, 1989), οι μετρήσεις είναι απολύτως αξιόπιστες και επαληθευμένες, αλλά πιθανών έχουν επηρεαστεί από την πορεία ανάπτυξης του δομημένου περιβάλλοντος της περιοχής για το κέντρο της Αθήνας. Ομοίως όμως η περιοχή της Αττικής αναπτύχθηκε προς όλες τις διευθύνσεις του λεκανοπεδίου.

- Άλλες πιθανές πηγές για λήψη μετεωρολογικών δεδομένων (ΕΜΥ, άλλοι φορείς), είτε τις παρέχουν επί πληρωμή, είτε δε διαθέτουν μεγάλες χονοσειρές.

Οπότε, η ιδανική συνθήκη να υπάρχουν μετρήσεις μετεωρολογικών παραμέτρων *in situ* για κάθε σταθμό, δεν ήταν δυνατόν να επιτευχθεί.

### 5.2.2. Στατιστικά Εργαλεία

Για την ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν τα στατιστικά πακέτα Excel και SPSS.

Αυτό έγινε γιατί ο όγκος των δεδομένων ήταν αρκετά μεγάλος (26 έτη X 365 ημέρες X 24 μέσες ωριαίες μετρήσεις X 12 σταθμοί μέτρησης = 2.733.120 τιμές για εξαγωγή και ταξινόμηση) και κάθε στατιστικό πακέτο έχει πλεονεκτήματα για ορισμένα στάδια της επεξεργασίας. Τα δεδομένα παρέχονται σε μορφή αρχείων *dat* (σχετική εφαρμογή *notepad*) και έπρεπε να μεταφερθούν εκ του μηδενός στο Excel και να δημιουργηθούν οι απαραίτητες στήλες χρονοσειρών για κάθε σταθμό, σε εύχρηστη και επεξεργάσιμη μορφή.

- **Excel**

Η εξαγωγή, διαχωρισμός και υπολογισμός των μέσων ημερήσιων και μέσων μηνιαίων τιμών, έγινε με το στατιστικό πακέτο Excel για τις περιόδους 1984 - 2010 και 1990 - 2010. Δημιουργήθηκαν δύο σειρές δεδομένων για κάθε σταθμό μέτρησης που επιλέχθηκε.

Η μία σειρά αφορούσε επεξεργασία για μέσες ημερήσιες τιμές σε RAW DATA και η άλλη για μέσες μηνιαίες τιμές.

Οι Εκθέσεις Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης για την Αθήνα του ΥΠΕΚΑ, δίνουν όλα τα δεδομένα σε ετήσια βάση.

- **SPSS**

Οι δύο ομάδες χρονοσειρών μεταφέρθηκαν, δηλαδή οι μέσες ημερήσιες και μηνιαίες 1984 - 2010 και μέσες ημερήσιες και μηνιαίες 1984 - 2010 και καταχωρήθηκαν στο στατιστικό πακέτο SPSS. Το πακέτο παρέχει περισσότερες επιλογές για στατιστική επεξεργασία με τις μεθόδους της συσχέτισης μεταβλητών (*correlation*) και παλινδρόμησης (*regression*) (σειρά εντολών *Analyse - Regression - Linear*). Ειδικά για την επεξεργασία χρονοσειρών με παλινδρόμηση, παρέχονται εναλλακτικές επιλογές

ελέγχου μοντέλων πρόβλεψης με άμεσο έλεγχο correlation και ανάλυσης διακύμανσης (ANOVA).

Υπάρχει δυνατότητα εναλλακτικού endry των ανεξάρτητων μεταβλητών και εξέταση των συσχετίσεων με διαφορετική μεθοδολογία. Η μία μεθοδολογία είναι η επεξεργασία ENDER, όπου οι μεταβλητές εξετάζονται για την απόδοσή τους στο μοντέλο συνολικά με την σειρά που ο χρήστης της βάζει στο μοντέλο. Σε αυτή την περίπτωση, η πρώτη μεταβλητή αποκτά και μεγαλύτερο βάρος για το μοντέλο, κάτι που μπορεί να μην είναι χρήσιμο κάποιες φορές.

Η δεύτερη μεθοδολογία είναι η stepwise η οποία δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να εξετάσει πολυεπίπεδα, αρκετές μεταβλητές. Με αυτή την μεθοδολογία, το SPSS, εξετάζει διαφορετικά σενάρια μοντέλων εξετάζοντας τις μεταβλητές που εισάγονται, μεμονωμένα και κατά ομάδες, δίνοντας στο τέλος τα επικρατέστερα σενάρια.

Κατά την αξιολόγηση των μεταβλητών χρησιμοποιήθηκε κυρίως η μεθοδολογία ENDER ενώ η μεθοδολογία STEWISE χρησιμοποιήθηκε στις περιπτώσεις που θέλαμε να εξετάσουμε πολλές μεταβλητές μαζί και να επιλέξουμε γρήγορα την πιο σημαντική.

Επειδή, όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, αυτό το στατιστικό πακέτο, εκτελεί αυτόματα με κάθε endry μεταβλητών, και έλεγχο συσχέτισης, ήταν εύκολο να ελεγχθεί η σημαντικότητα (p-value) της μηδενικής υπόθεσης (null -  $H_0$ ) για κάθε ζεύγος μεταβλητών, οπότε και να αξιολογηθεί το επίπεδο σημαντικότητας  $R_{square}$  ( $R^2$ ) που έδινε ο τελικός πίνακας αξιολόγησης για κάθε σενάριο μοντέλου.

Στους πίνακες ανάλυσης για κάθε συνδυασμό ανεξάρτητων μεταβλητών δίνονται πληροφορίες για το κριτήριο F της ANOVA και το επίπεδο σημαντικότητας, δηλαδή αν οι ανεξάρτητες μεταβλητές ως προς την εξαρτημένη μεταβλητή, που κάθε φορά χρησιμοποιούνται, καλύπτουν το κριτήριο της ανεξαρτησίας μεταξύ τους ή όχι (φαινόμενο πολυσυγγραμμικότητας). Αυτό το στοιχείο εξετάζεται και αναλύεται γενικά στην επόμενη ενότητα του κεφαλαίου. Η ανεξαρτησία μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών, δίνει μεγαλύτερη ισχύ προβλεψιμότητας στο τελικό μοντέλο.

Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο που παρέχει η ανάλυση στο SPSS για κάθε εξεταζόμενο συνδυασμό ανεξάρτητων μεταβλητών, είναι η κανονικότητα της κατανομής των τιμών του μοντέλου και ο έλεγχος των υπολειπόμενων τιμών (Residuals) σε ιστόγραμμα και διάγραμμα διασποράς (scatter plot).

Τέλος, ως προς τον συντελεστή σημαντικότητας του μοντέλου ( $R$  και  $R^2$  ή  $R$  square ) δίνεται και ο διορθωμένος συντελεστής  $R$  sq adj, που εμφανίζει την συγκριτική αύξηση του μοντέλου με εναλλακτική εισαγωγή ανεξάρτητων μεταβλητών.

### **5.2.3. Το Πρόβλημα της Πολυσυγγραμμικότητας**

Στην δημιουργία στατιστικών μοντέλων πρόβλεψης για μία εξαρτημένη μεταβλητή (ποσοτική μεταβλητή), μπορεί να χρησιμοποιηθούν μία ή περισσότερες ανεξάρτητες μεταβλητές (ερμηνευτικές μεταβλητές). Οι μεταβλητές σε κάθε περίπτωση πρέπει να

ελεγχθούν αν τηρούν κάποια γενικά κριτήρια ώστε να δημιουργηθούν προϋποθέσεις για την μεγαλύτερη δυνατή απόδοση του μοντέλου :

- Γίνεται έλεγχος κανονικότητας ή μη των τιμών. Σε αυτή την περίπτωση ακολουθείται μεθοδολογία Kolmogorov - Smirnov ή γίνεται οπτικός έλεγχος με ιστόγραμμα. Η μηδενική υπόθεση ( $H_0$  : null hypothesis) είναι ότι το δείγμα ακολουθεί την κανονική κατανομή της καμπύλης Gauss, και ισχύει αν το κριτήριο σημαντικότητας  $p$  είναι  $p > 0.05$ . (Zar, 1984)
- Η περίπτωση της κανονικότητας καθορίζει για το αν θα ακολουθήσουμε μεθοδολογία παραμετρικών ή μη παραμετρικών test, επομένως και αν θα εξετάζεται κάθε φορά ο συντελεστής Pearson ( $r$ ) ή Spearman ( $\rho$ ) (Zar, 1984)
- Για δύο άγνωστες μεταβλητές, ελέγχουμε αν υπάρχει μεταξύ τους κάποια θετική ή αρνητική σχέση. Αυτό γίνεται με τον στατιστικό έλεγχο συσχέτισης (correlation), λαμβάνοντας υπ' όψιν το τελικό κριτήριο  $-1 < r < 1$ , που δίνει εικόνα θετικής ή αρνητικής συσχέτισης (Zar, 1984).
- Ο καθορισμός του τύπου της συσχέτισης, με ποσοτικό τρόπο γίνεται με την μέθοδο της παλινδρόμησης (regression). Σε αυτή την περίπτωση καθορίζεται η μαθηματική σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών, ποια είναι η εξαρτημένη (dependend value) και ποια η ανεξάρτητη (independent value). Το τελικό κριτήριο  $R^2 \leq 1$  δίνει την εικόνα της διακύμανσης της σχέσης των δύο μεταβλητών, δηλαδή σε ποιο ποσοστό η συνάρτηση που προκύπτει, εξηγεί τις τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής ως προς τις τιμές της ανεξάρτητης (Zar, 1984).
- Όταν πρόκειται για περισσότερα από μία μεταβλητές, τότε μπορεί να γίνει και ο έλεγχος διακύμανσης (ANOVA) ώστε να καθορισθεί αν υπάρχει στατιστική διαφορά μεταξύ των μέσων τιμών των μεταβλητών. Η  $H_0$  σε αυτή την περίπτωση πάλι προβλέπει ότι δεν υπάρχει στατιστική διαφορά αν  $p > 0.05$ . Αν δεν υπάρχει στατιστική διαφορά ( $p < 0.05$ ) τότε γίνεται έλεγχος Post Hoc, ώστε να διακριθεί μεταξύ ποιών μεταβλητών υπάρχει η στατιστική διαφορά και πόση είναι. Η ANOVA παρέχει το κριτήριο  $F$  που μπορεί να ορισθεί ως η τυχαία διακύμανση με όρια 1 ή 10. Αν η τιμή της  $F$  είναι μεγαλύτερη του ορίου που τίθεται, τότε σημαίνει ότι οι μέσοι όροι των ανεξάρτητων μεταβλητών σχετίζονται σε κάποιο ποσοστό, δηλαδή δεν είναι ανεξάρτητες. Όσο μεγαλύτερες είναι οι τιμές της  $F$ , τόσο μικρότερη προβλεψιμότητα θα έχει το μοντέλο. (Zar, 1984)
- Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσει ελέγχουν, η περίπτωση της στατιστικής σημαντικότητας ( $p < 0.05$ ) σημαίνει ότι δε υπάρχει ανεξαρτησία μεταξύ τους κι αυτό προκαλεί μείωση του  $R^2$  δηλαδή μείωση της ισχύος του μοντέλου.

Όταν πρόκειται για πολυπαραγοντικά στατιστικά μοντέλα, δηλαδή μια εξαρτημένη μεταβλητή να προβλέπεται από τον συνδυασμό πολλών ανεξάρτητων μεταβλητών, τότε έχει μεγάλη σημασία η ανεξαρτησία μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών.

Η θετική ή αρνητική συσχέτιση μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών μειώνει την αποτελεσματικότητα του μοντέλου γιατί εκτός από τις συσχετίσεις μεταξύ των

ανεξάρτητων μεταβλητών και της εξαρτημένης λειτουργούν παράλληλα και εσωτερικές συσχέτισης μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών. Αυτό είναι ένα πρόβλημα πολυσυγγραμμικότητας (multicollinearity) που πρέπει να ξεπεραστεί με την δοκιμή άλλων συνδυασμών, είτε με αφαίρεση από το μοντέλο των μεταβλητών που δημιουργούν το μεγαλύτερο πρόβλημα συγγραμμικότητας, είτε με την προσθήκη άλλων μεταβλητών ή την δημιουργία νέου συνδυασμού (Zar, 1984).

Σε κάθε νέο συνδυασμό, το ζητούμενο είναι η αύξηση του  $R^2$  δηλαδή της αποτελεσματικότητας του μοντέλου.

Εδώ πρέπει να σημειώσουμε ότι μια σχέση πολυπαραγοντική δεν είναι απαραίτητο ότι θα είναι γραμμική.

Η απόφαση για την αλλαγή ανεξάρτητων μεταβλητών στο μοντέλο, λαμβάνεται με τον έλεγχο της συσχέτισης μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών και αξιολογείται και με πραγματικά κριτήρια, δηλαδή αν στον πραγματικό κόσμο είναι δυνατόν να συμβεί ή να μην συμβεί αυτό που τεκμαίρεται (Zar, 1984)

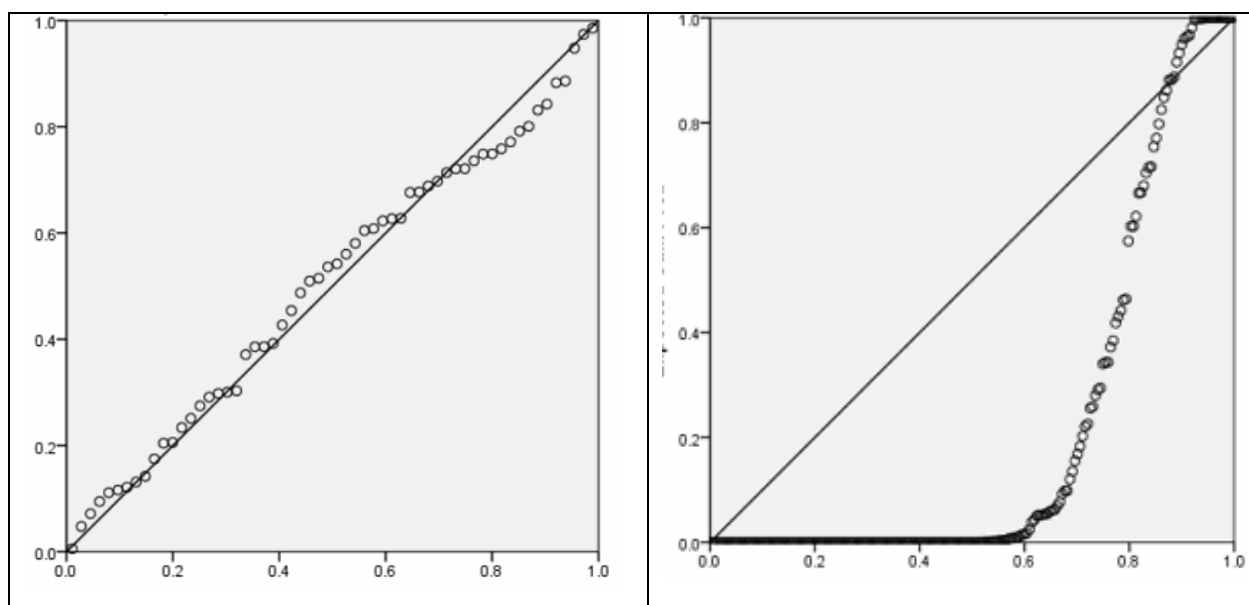
Δηλαδή,

- Το πρόβλημα που εξετάζεται, πολλές φορές ορίζει από μόνο του, την λογική σειρά των σχέσεων μεταξύ των τυχαίων μεταβλητών (π.χ. μεμονωμένα οξειδία αζώτου και οξειδία αζώτου συνολικά). Σε αυτή την περίπτωση, ελέγχονται τα πρόσημα των μεταβλητών παλινδρόμησης μεταξύ των μεταβλητών. Αν τα πρόσημα είναι αντίθετα από τα λογικά αναμενόμενα, τότε υπάρχει ερωτηματικό για την ύπαρξη πολυσυγγραμμικότητας.
- Αν οι τιμές των τυπικών αποκλίσεων είναι πολύ μεγάλες, για συντελεστές παλινδρόμησης σημαντικών μεταβλητών, τότε πάλι υπάρχει θέμα ελέγχου ύπαρξης πολυσυγγραμμικότητας.
- Εναλλακτικά, ακολουθείται ανάλυση κύριων συνιστωσών για να εντοπισθεί η συγγραμμικότητα και σε μία τέτοια περίπτωση πρέπει πρώτα να γίνει μετασχηματισμός των τυχαίων μεταβλητών σε σύνολα που δεν έχουν συσχέτιση.
- Ελέγχονται οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών και αυτές που δείχνουν τις μεγαλύτερες τιμές, είτε εξαιρούνται πλήρως από το μοντέλο είτε ελέγχονται νέοι συνδυασμοί με άλλη σειρά στο μοντέλο. (Zar, 1984)

#### 5.2.4. Ερμηνεία των Residuals και ο ρόλος του N

Η δημιουργία του μοντέλου βασίζεται σε έναν ορισμένο αριθμό από το σύνολο των μετρήσεων για την ανεξάρτητη και εξαρτημένες μεταβλητές. Δηλαδή, η εφαρμογή του μοντέλου δίνει τιμές που επαληθεύουν πλήρως τις τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής ή τιμές μεγαλύτερες (θετική απόκλιση) ή μικρότερες (αρνητική απόκλιση). Οι τιμές αυτές έχουν μία απόσταση προς τα πάνω ή προς τα κάτω από την διαγώνια γραφική παράσταση για την διακύμανση του μοντέλου και δίνουν μια εικόνα διασποράς τιμών.

Αυτές οι απομακρυσμένες τιμές (residuals) δείχνουν ότι το δείγμα ακολουθεί την κανονικότητα. (Zar, 1984)



**Εικόνα 35:** Συγκριτική εικόνα δύο διαγραμμάτων κατανομής υπολειμμάτων γύρω από την διαγώνιο που δείχνει την διακύμανση των αποκλίσεων. Στην αριστερή εικόνα, τα σημεία συγκεντρώνονται και πάνω και κάτω από την διαγώνιο, με σχετική ομοιομορφία, υποδηλώνοντας ότι ακολουθείται η κανονική κατανομή. Στην δεξιά εικόνα, τα σημεία συγκεντρώνονται σχεδόν όλα κάτω από την διαγώνιο, υποδηλώνοντας ότι επικρατεί αρνητική απόκλιση. Στην πρώτη περίπτωση, το μοντέλο έχει καλή προσαρμογή ενώ στην δεύτερη όχι.

Όσο πιο κοντά συγκεντρωμένες είναι οι τιμές στην διαγώνιο, τόσο καλύτερη είναι η κατανομή των τιμών που χρησιμοποιήθηκαν για να κατασκευασθεί το μοντέλο. Στην αντίθετη περίπτωση πρέπει να γίνει έλεγχος.

Ο αριθμός των υπολειπόμενων τιμών είναι σημαντικός για την δυναμικότητα ενός στατιστικού μοντέλου, δεδομένου ότι το μοντέλο βασίζεται σε έναν αριθμό τιμών από την χρονοσειρά. Αυτές οι τιμές παρουσιάζουν πλήρη σύμπτωση με την προβλεπτική ικανότητα του μοντέλου. Αυτές είναι οι τιμές  $N$ . (Zar, 1984)

Τα residuals δεν παρουσιάζουν σύμπτωση αλλά απόκλιση, θετική ή αρνητική ως προς την προβλεπτική ικανότητα του μοντέλου ( $R^2$ ). Οπότε η αξιολόγηση του μοντέλου πρέπει να γίνεται και ως προς την σχέση μεταξύ residuals και τιμών  $N$  που χρησιμοποιήθηκαν για τον καθορισμό της μαθηματικής σχέσης. Ένα μοντέλο που στηρίζεται σε μικρό αριθμό επαληθευόμενων τιμών και έχει μεγάλο αριθμό υπολειπόμενων τιμών, χρειάζεται περισσότερο έλεγχο και επαναξιολόγηση με νέα δεδομένα και με την σύγκριση των επιμέρους δεικτών από στατιστικούς ελέγχους (Zar, 1984).

### 5.3. Αποτελέσματα

## Δοκιμή Α.

Δημιουργήθηκαν διαγράμματα μεταβολής των μέσων ημερήσιων και μηνιαίων τιμών των αέριων ρύπων για κάθε σταθμό, για τις περιόδους 1984 - 2010 και 1990 - 2010.

Στο Διάγραμμα 10 για το CO (1990 - 2010 για μέσες ημερήσιες τιμές) φαίνεται ότι υπάρχει τάση μείωσης του ρύπου διαχρονικά από το 2001 και μετά. Η πυκνότητα των κορυφών παρέχει την δυνατότητα να συμπεράνουμε ότι οι μέγιστες τιμές μειώθηκαν σχεδόν στο μισό μέσα σε μία δεκαετία, αλλά μετά διαμορφώθηκε ένα χαμηλότερο αλλά σταθερό μοτίβο τιμών. Δεδομένου ότι το CO προέρχεται κυρίως από τις μηχανές εσωτερικής καύσης, η διατήρηση της πυκνότητας των κορυφών δείχνει ότι δεν μειώθηκαν οι πηγές αλλά οι εκπομπές, πιθανών λόγω ανανέωσης μέρους του στόλου των αυτοκινήτων. Το μοτίβο κάτω από τις κορυφές, δίνει μία εικόνα εβδομαδιαίων διακυμάνσεων του ρύπου, γιατί η πυκνότητα δεν επιτρέπει να βγουν συμπεράσματα για ημερήσια διακύμανση, δίνει όμως μία πολύ εικόνα της μέσης ημερήσια διακύμανσης.

Ανάλογη εικόνα εμφανίζει και το διάγραμμα NO (1990 - 2010 για μέσες ημερήσιες τιμές) με ένα μεσοδιάστημα μεγαλύτερης μείωσης μεταξύ 1999 - 2003. Για την περίοδο μετά το 2004 η εικόνα του διαγράμματος εμφανίζει μειωμένη πυκνότητα ως προς την περίοδο πριν το 1999, αλλά συγκριτικά με την περίοδο 1999 - 2003 η πυκνότητα είναι μεγαλύτερη.

Τα διαγράμματα για NO<sub>2</sub> και O<sub>3</sub> εμφανίζουν υψηλή πυκνότητα για όλη την περίοδο. Ειδικά το όζον δεν δείχνει τάση μείωσης της πυκνότητας, που σημαίνει ότι για όλη την περίοδο οι τιμές είναι υψηλές. Οι κορυφές δείχνουν μέρες υψηλότερων συγκεντρώσεων που συγκεντρώνονται στις θερινές περιόδους.

Για τα NO<sub>x</sub> και SO<sub>2</sub> επίσης υπάρχει εμφανής τάση μείωσης μετά το 1997 η οποία και σταθεροποιείται.

Τα διαγράμματα με τις μέσες μηνιαίες τιμές, παρουσιάζουν το ίδιο μοτίβο κορυφών, όμως η μικρότερη πυκνότητα σημείων που έχουν δεν δίνει την δυνατότητα να εκτιμηθεί λεπτομερέστερα η εικόνα για μικρότερες περιόδους.

Επομένως, η παρουσίαση μέσων ημερήσιων τιμών, δίνει μία πολύ καλή και πυκνότερη εικόνα για μία μεγάλη χρονική περίοδο, με την δυνατότητα να προκύπτουν και συμπεράσματα για ενδιάμεσες χρονικές περιόδους.

## Δοκιμή Β.

Έγιναν δοκιμαστικές κατασκευές προγνωστικών μοντέλων με την μεθοδολογία ENDER του SPSS, για κάθε παράμετρο του σταθμού Περιστερίου ως προς την ίδια παράμετρο όλων των άλλων σταθμών, για την χρονοσειρά μέσων μηνιαίων τιμών 1990 - 2010 .

- Για τις δοκιμές CO, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> και SO<sub>2</sub> προέκυψαν πλήρη μοντέλα με την μέθοδο ENDER, με διαφορετικό αριθμό ανεξάρτητων μεταβλητών.
- Επαναλήφθηκε η δοκιμή PER SO<sub>2</sub> / SO<sub>2</sub> ALL με την μέθοδο ENDER για χρονοσειρά μέσω ημερήσιων τιμών 1984 - 2010 και προέκυψε μοντέλο μικρότερου R<sup>2</sup> = 0.700.
- Έγινε δοκιμή PER O<sub>3</sub> / O<sub>3</sub> ALL με την μέθοδο ENDER για χρονοσειρά μέσω ημερήσιων τιμών 1984 - 2010 και προέκυψε μοντέλο με R<sup>2</sup> = 0.887.

## Δοκιμή Γ.

Ανάπτυξη μοντέλου με διαδοχικές δοκιμές ανεξάρτητων μεταβλητών ώστε να βρεθεί ποιές μεταβλητές βελτιώνουν το R<sup>2</sup>.

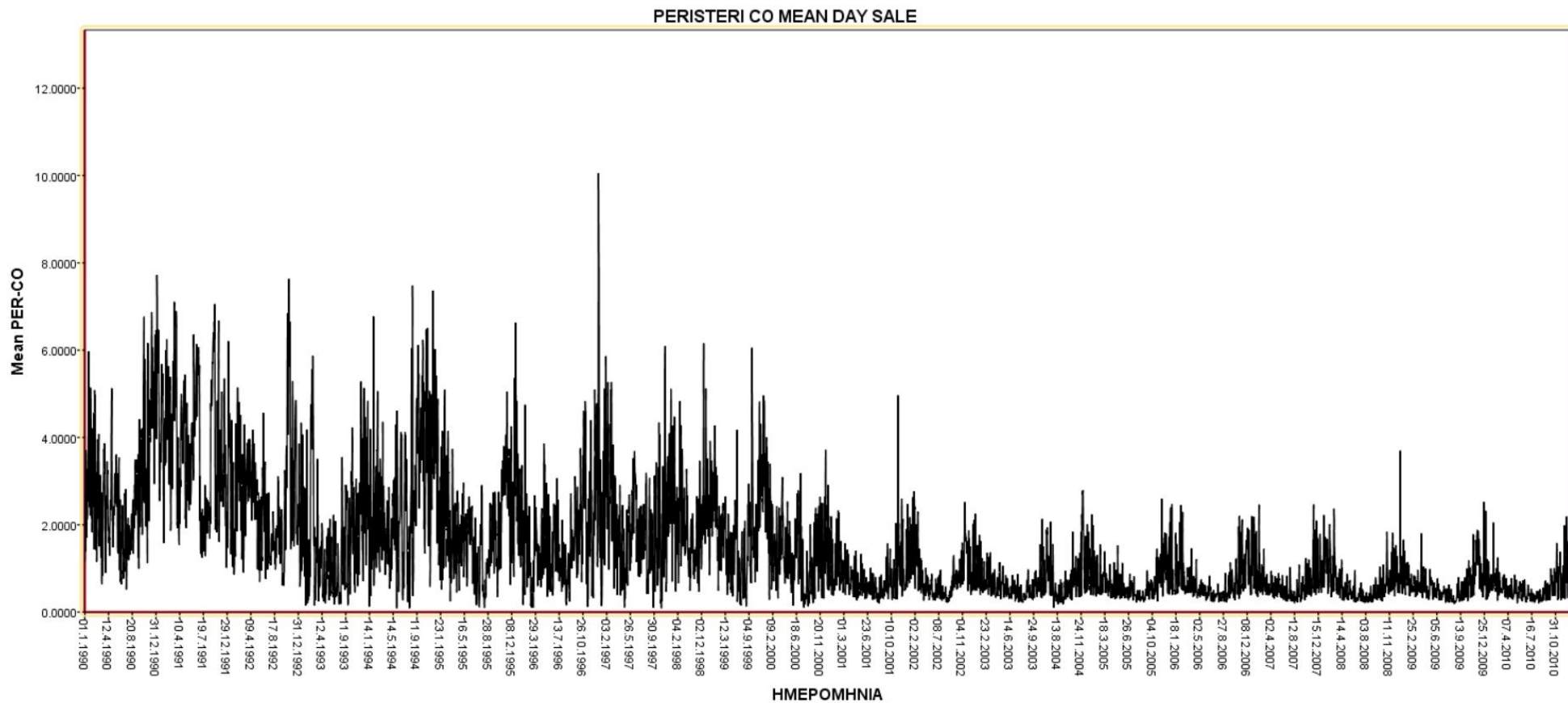
## Δοκιμή Δ

Δοκιμή PER O<sub>3</sub> / O<sub>3</sub> ALL επαναλήφθηκε με την μεθοδολογία STEPWISE χρησιμοποιώντας την χρονοσειρά **μέσω ημερήσιων τιμών** για την **περίοδο 1984 - 2010**. Σημειώνεται ότι ο σταθμός Περιστερίου άρχισε να λειτουργεί από 1/1/1990. Η δοκιμή έδωσε μοντέλο **με εννέα ανεξάρτητες μεταβλητές**.

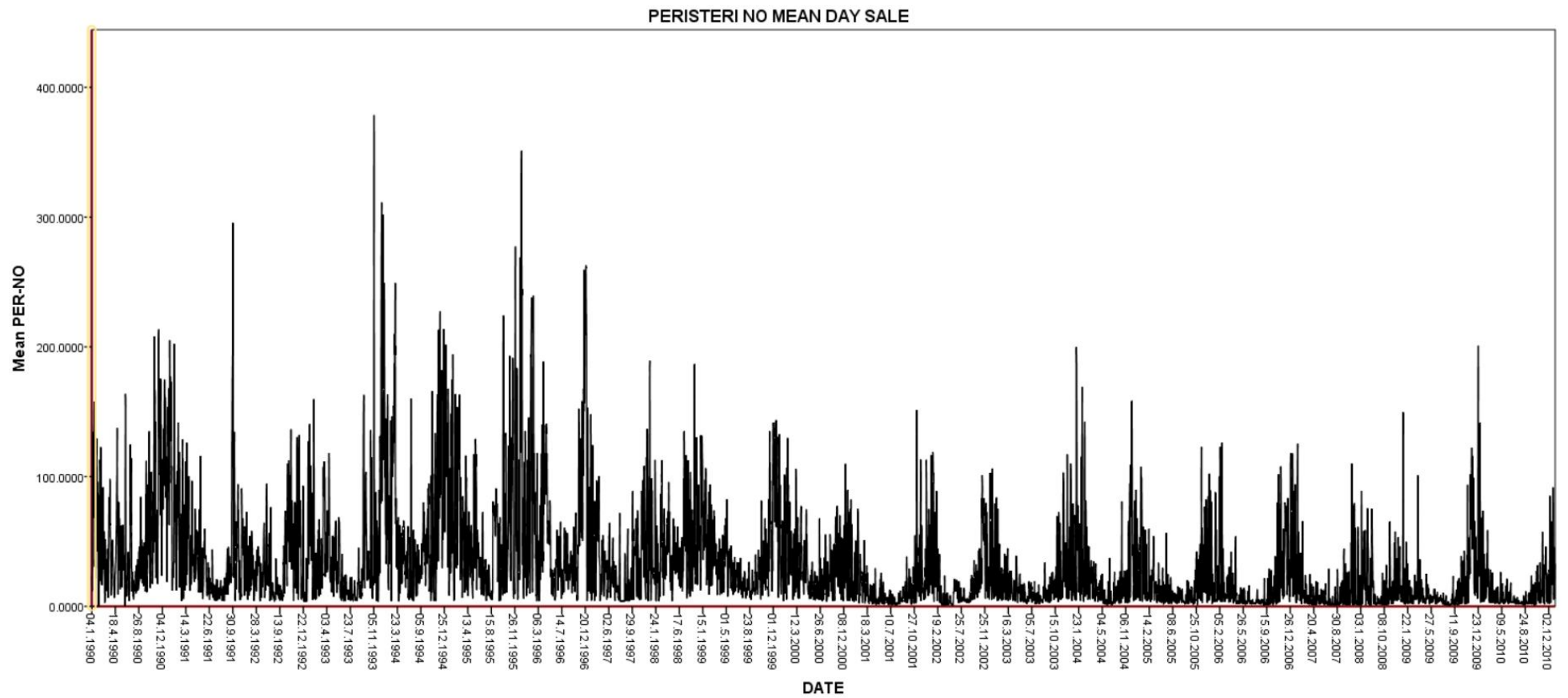
- Στους πίνακες των σελίδων 110 - 117...και...118 φαίνονται τα αναλυτικά στοιχεία για κάθε δοκιμή πολλαπλής παλινδρόμησης.
- Η μεγαλύτερη προσαρμογή μοντέλου (R<sup>2</sup> = 0.977) προκύπτει για το O<sub>3</sub> με την μέθοδο επεξεργασίας STEPWISE με λογισμικό SPSS.

**Πίνακας .12. :** Συνοπτική παρουσίαση των δοκιμών που έγιναν για την δημιουργία μοντέλων για τις παραμέτρους που μετράει ο σταθμός αέριας ρύπανσης Περιστερίου.

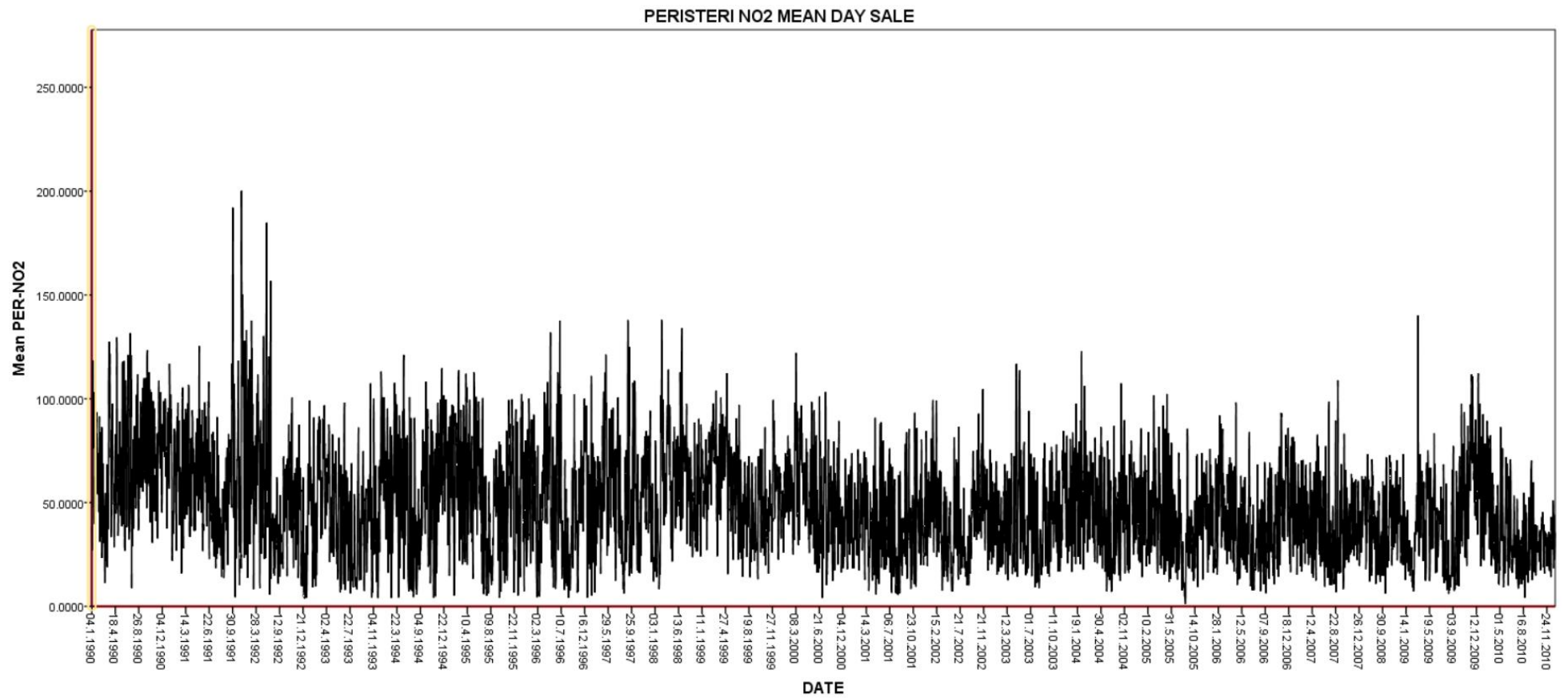
ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ	ΜΕΘΟΔΟΣ	ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ
PER CO / CO ALL	ENDER	1990 - 2010 / MEAN MONTH	ΕΠΙΤΥΧΙΑ
PER NO / NO ALL	ENDER	1990 - 2010 / MEAN MONTH	ΕΠΙΤΥΧΙΑ
PER NO <sub>2</sub> / NO <sub>2</sub> ALL	ENDER	1990 - 2010 / MEAN MONTH	ΕΠΙΤΥΧΙΑ
PER NOX / NOX ALL	ENDER	1990 - 2010 / MEAN MONTH	ΕΠΙΤΥΧΙΑ
PER SO <sub>2</sub> / SO <sub>2</sub> ALL	ENDER	1990 - 2010 / MEAN MONTH	ΕΠΙΤΥΧΙΑ
PER SO <sub>2</sub> / SO <sub>2</sub> ALL	ENDER	1984 - 2010 MEAN DAY	ΕΠΙΤΥΧΙΑ
PER O <sub>3</sub> / O <sub>3</sub> ALL	ENDER	1984 - 2010 MEAN DAY	ΕΠΙΤΥΧΙΑ



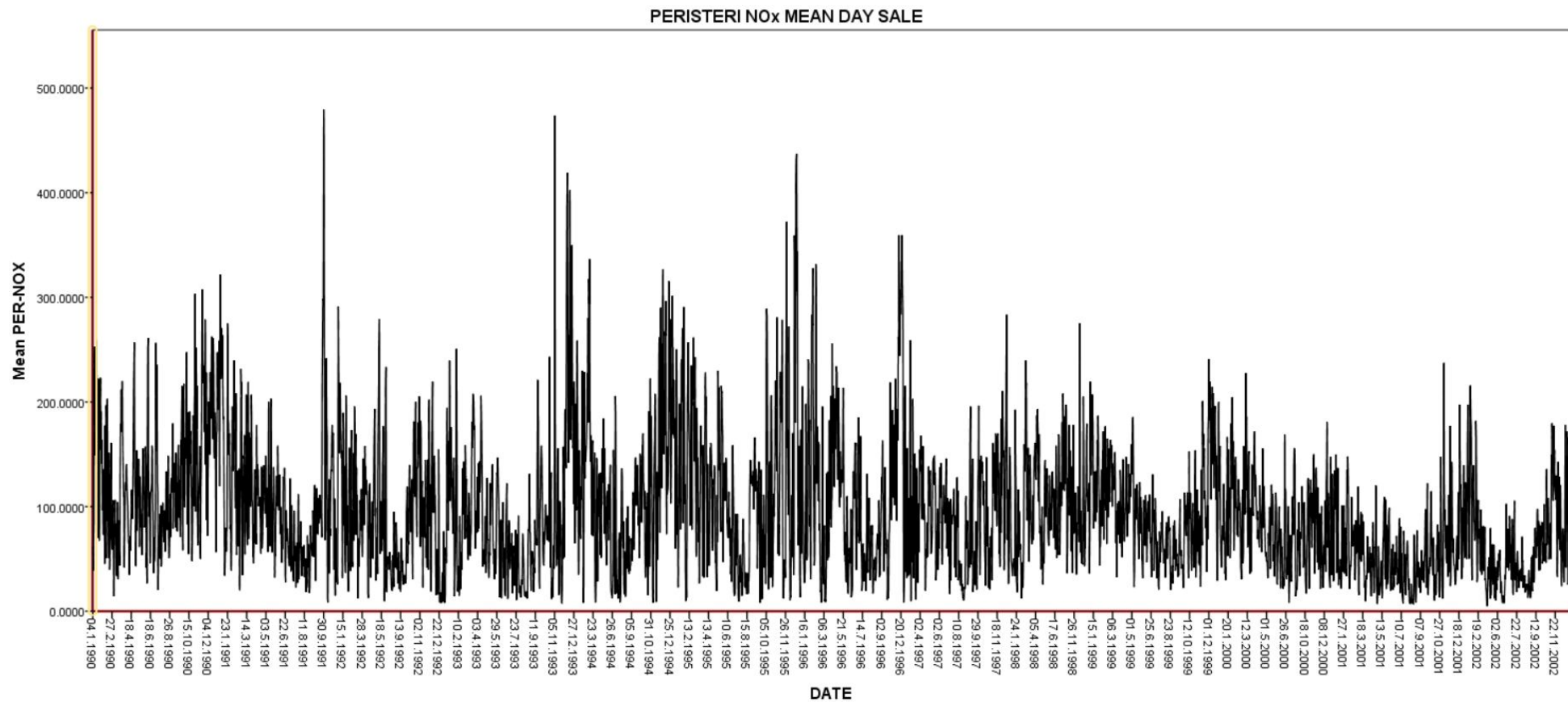
**Διάγραμμα 10 : Μέσες ημερήσιες τιμές CO για τον σταθμό Περιστερίου, για την περίοδο 1/1/1990 - 31/12/2010**



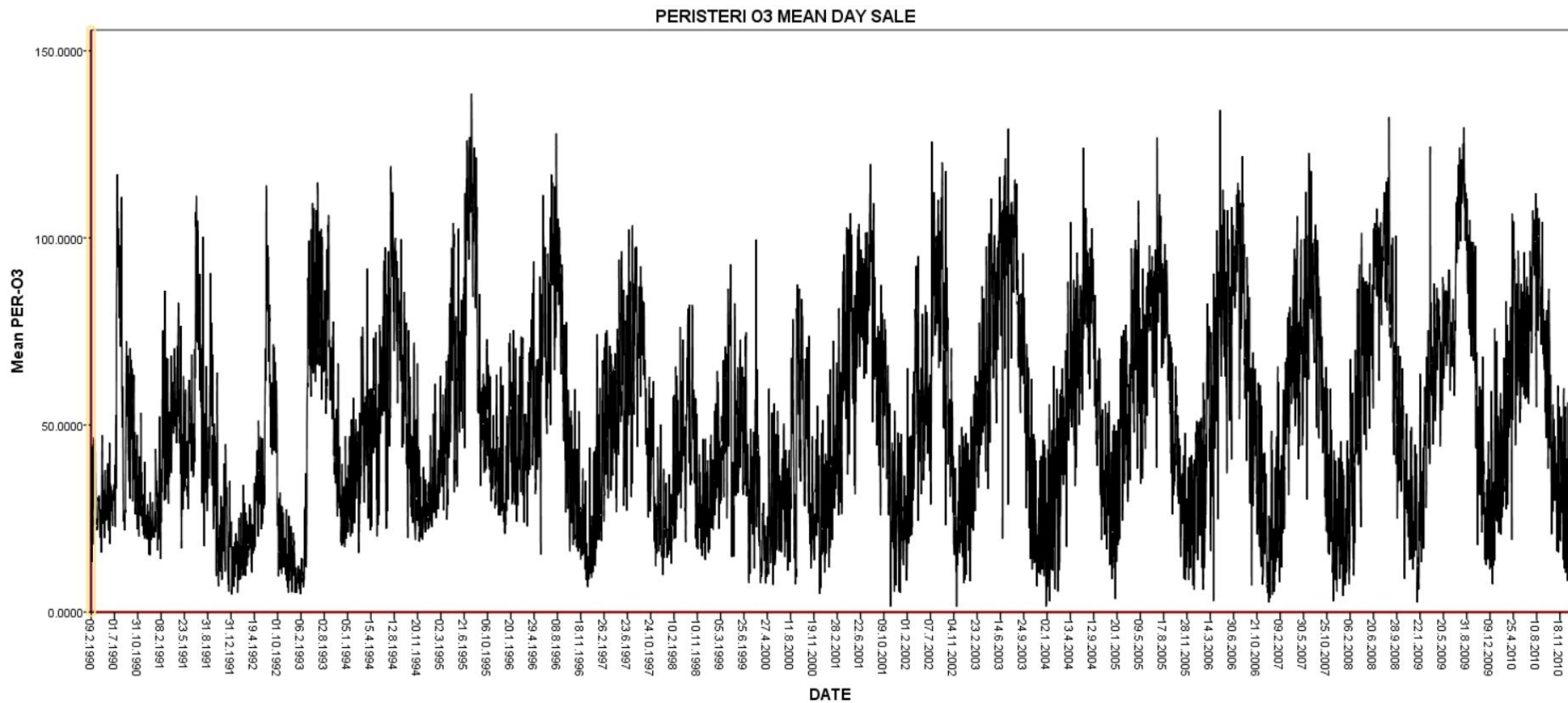
**Διάγραμμα 11 : Μέσες ημερήσιες τιμές NO για τον σταθμό Περιστερίου, για την περίοδο 1/1/1990 - 31/12/2010**



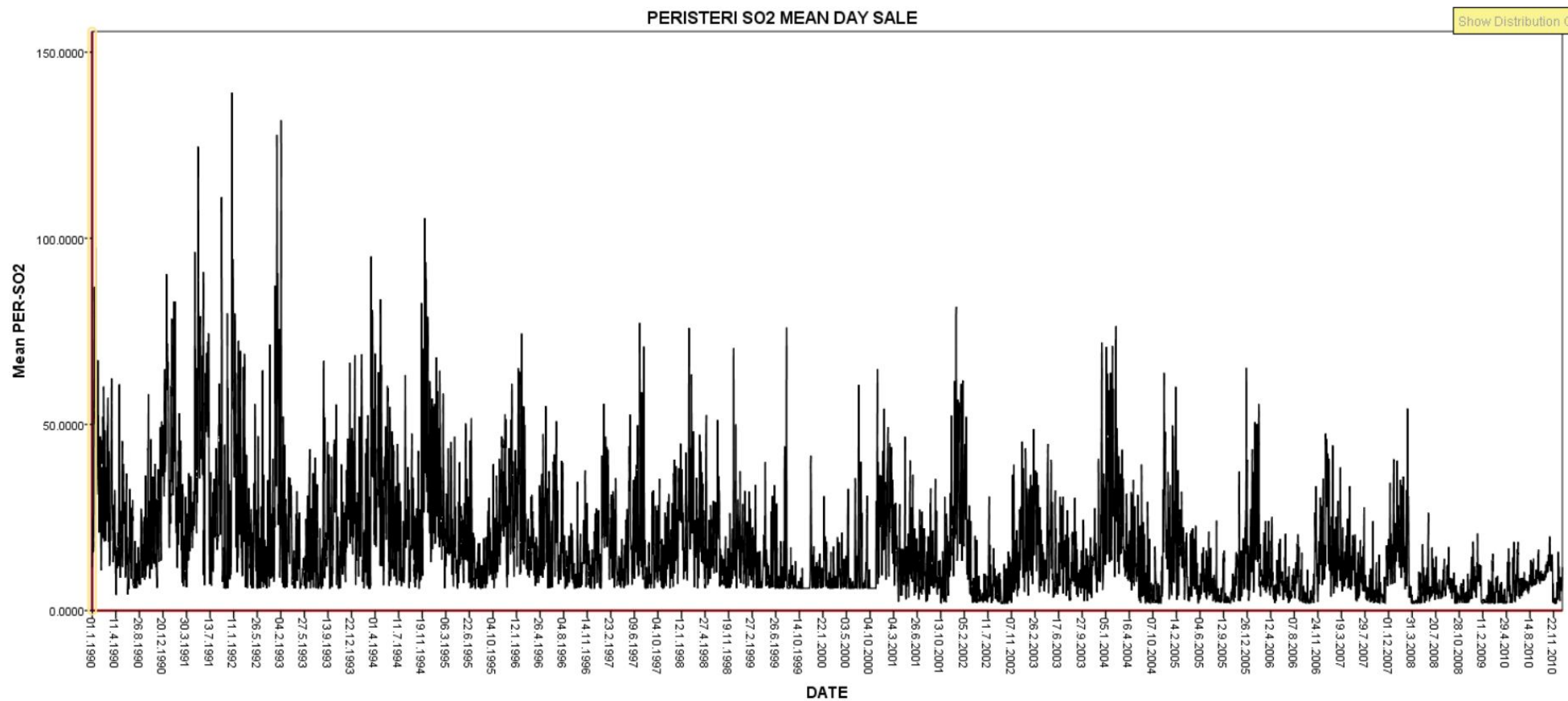
**Διάγραμμα 12 : Μέσες ημερήσιες τιμές NO<sub>2</sub> για τον σταθμό Περιστερίου, για την περίοδο 1/1/1990 - 31/12/2010**



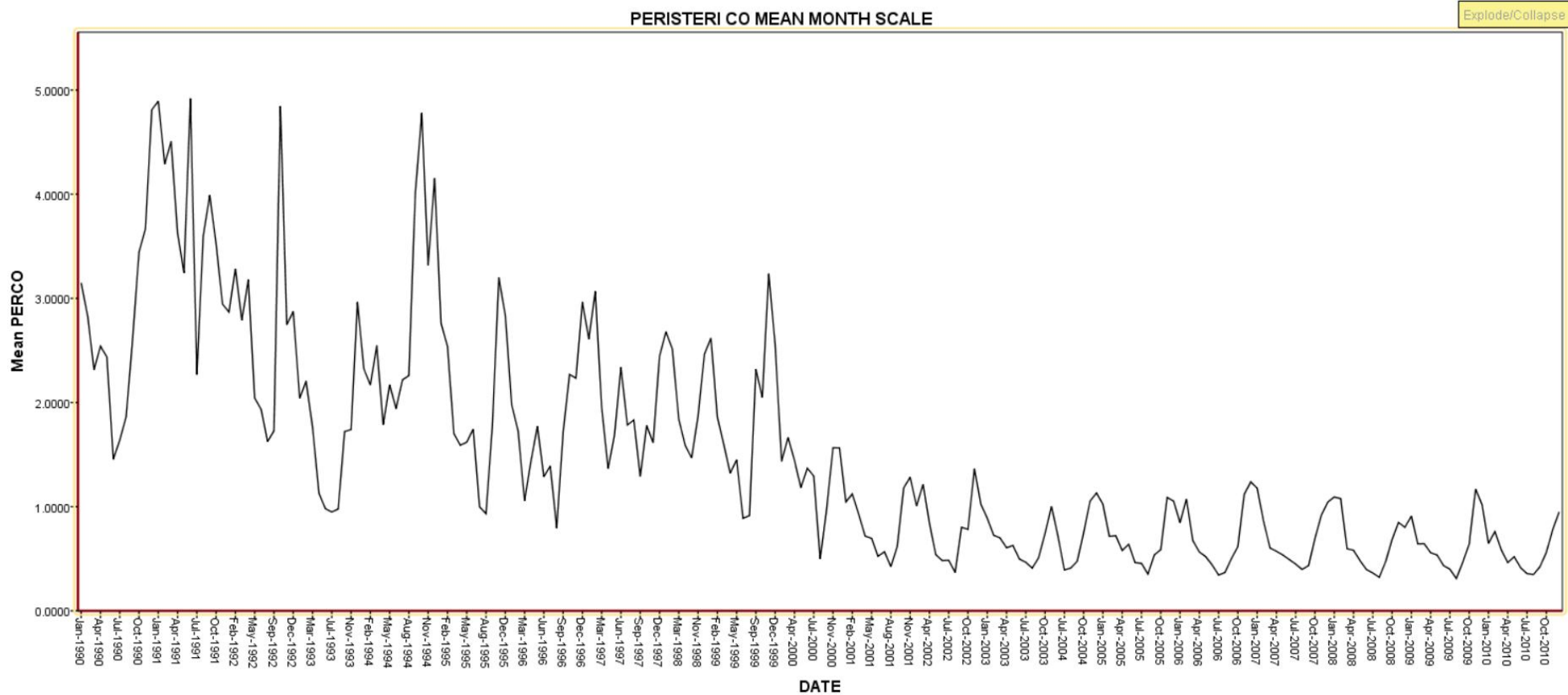
**Διάγραμμα 13 : Μέσες ημερήσιες τιμές NO<sub>x</sub> για τον σταθμό Περιστερίου, για την περίοδο 1/1/1990 - 31/12/2010**



**Διάγραμμα 14 : Μέσες ημερήσιες τιμές O<sub>3</sub> για τον σταθμό Περιστερίου, για την περίοδο 1/1/1990 - 31/12/2010**

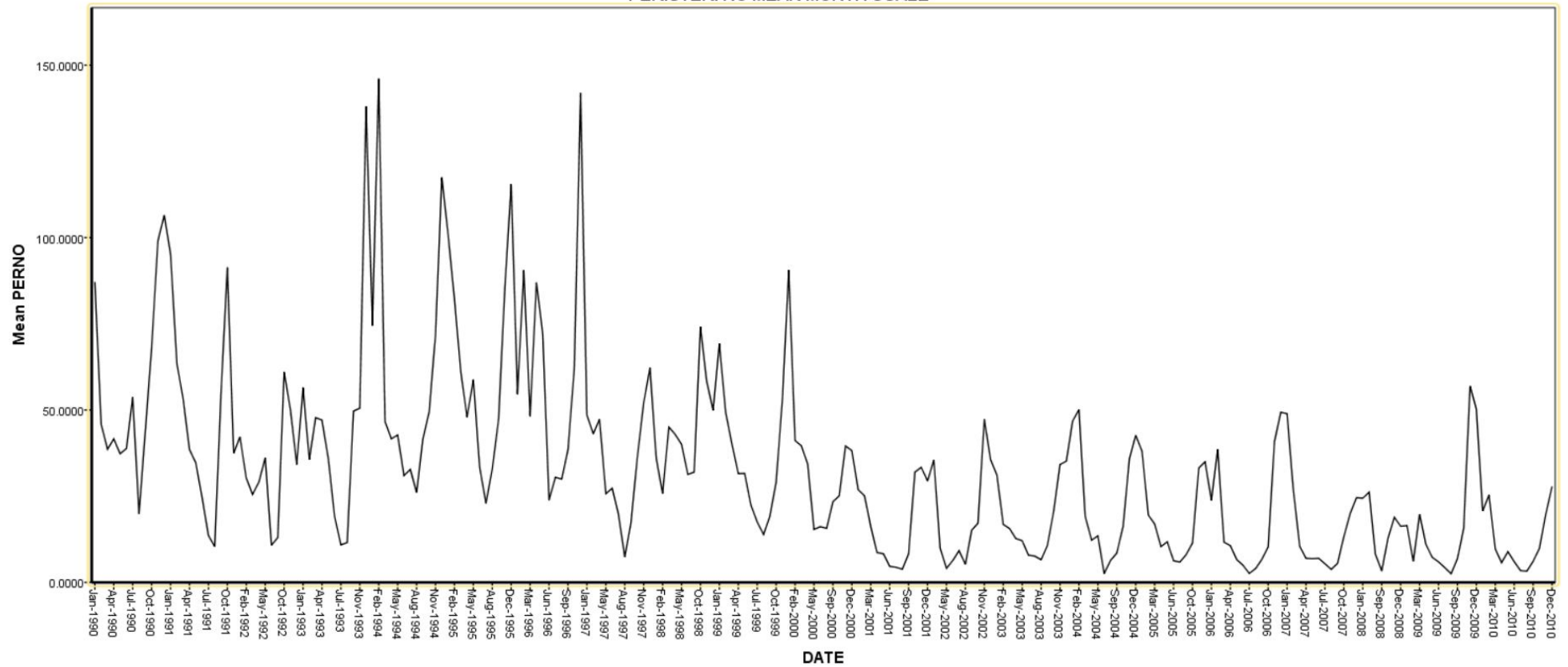


**Διάγραμμα 15 : Μέσες ημερήσιες τιμές SO<sub>2</sub> για τον σταθμό Περιστερίου, για την περίοδο 1/1/1990 - 31/12/2010**

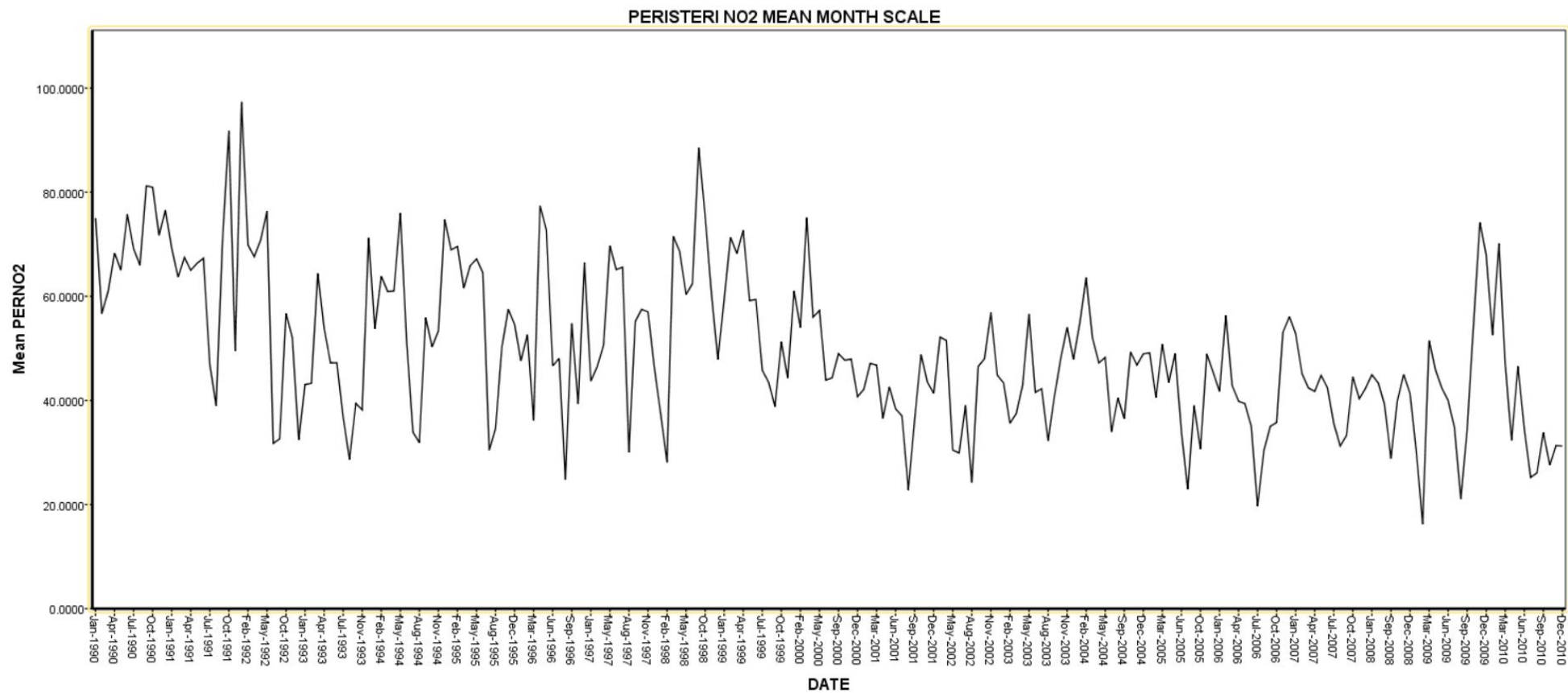


**Διάγραμμα 16 : Μέσες μηνιαίες τιμές CO για τον σταθμό Περιστερίου, για την περίοδο 1/1/1990 - 31/12/2010**

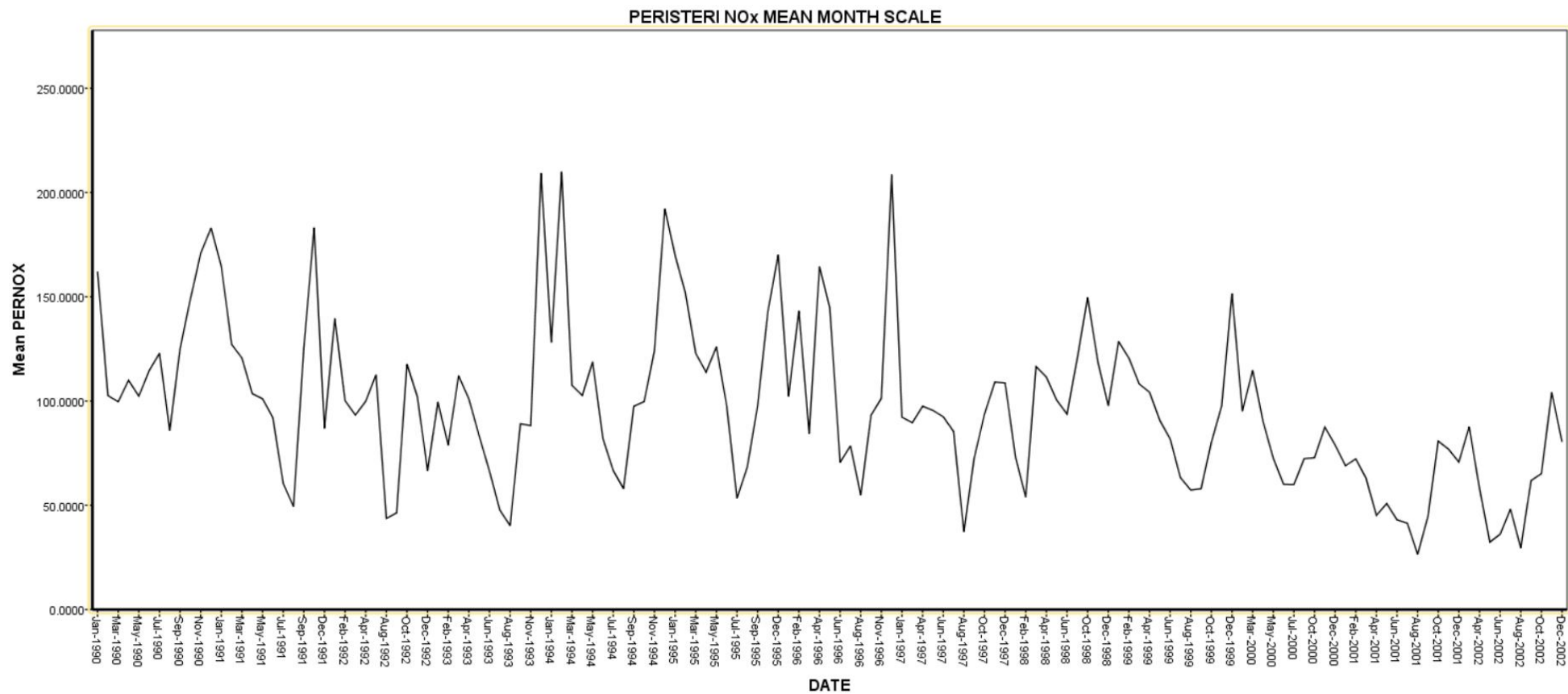
PERISTERI NO MEAN MONTH SCALE



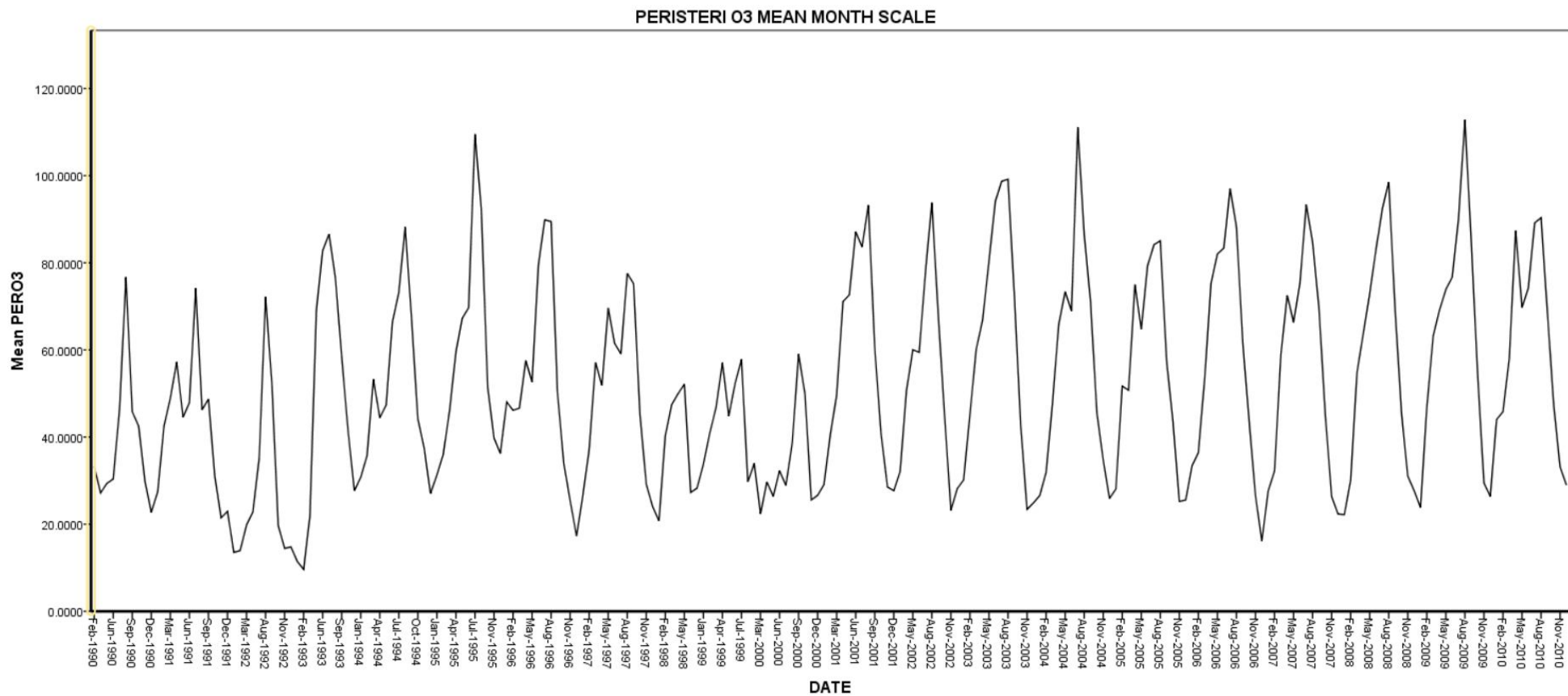
Διάγραμμα 17 : Μέσες μηνιαίες τιμές NO για τον σταθμό Περιστερίου, για την περίοδο 1/1/1990 - 31/12/2010



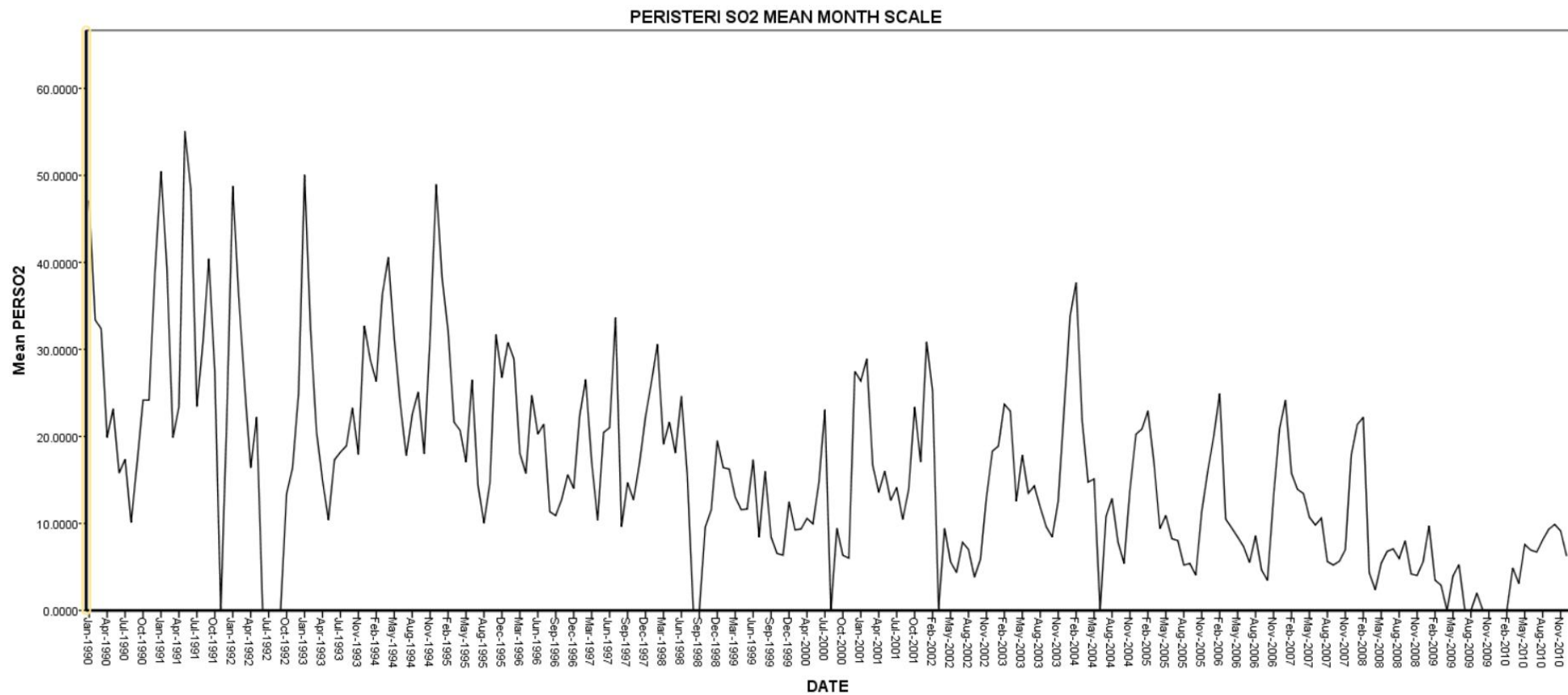
**Διάγραμμα 18: Μέσες μηνιαίες τιμές NO<sub>2</sub> για τον σταθμό Περιστερίου, για την περίοδο 1/1/1990 - 31/12/2010**



**Διάγραμμα 19 : Μέσες μηνιαίες τιμές NOx για τον σταθμό Περιστερίου, για την περίοδο 1/1/1990 - 31/12/2010**



**Διάγραμμα 20 : Μέσες μηνιαίες τιμές O<sub>3</sub> για τον σταθμό Περιστερίου, για την περίοδο 1/1/1990 - 31/12/2010**



**Διάγραμμα 21: Μέσες μηνιαίες τιμές SO<sub>2</sub> για τον σταθμό Περιστερίου, για την περίοδο 1/1/1990 - 31/12/2010**

**Πίνακας.13. : Δοκιμή Β : Μοντέλο για PERISTERI CO προς CO όλων των σταθμών (ΜΕΣΕΣ ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ 1990 - 2010 - μέθοδος εισαγωγής ENDER)**

$$PER_{CO} = - 0.643 + 0.326 N.SMY_{CO} + 0.331 PAT_{CO} + 0.337 PEIR1_{CO} - 0.031 ATH_{CO} - 0.217 GEOP_{CO} - 0.115 LYK_{CO}$$

**Model Summary<sup>b</sup>**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.874 <sup>a</sup>	.764	.751	.4125321	.764	56.185	6	104	.000

a. Predictors: (Constant), LYKCO, PEIR1CO, PATCO, ATHCO, GEOPCO, N.SMYCO

b. Dependent Variable: PERCO

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics		
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF	
1	(Constant)	-.643	.146		-4.393	.000						
	N.SMYCO	.326	.125	.278	2.599	.011	.787	.247	.124	.198	5.045	
	PATCO	.331	.057	.547	5.824	.000	.821	.496	.277	.257	3.898	
	PEIR1CO	.337	.081	.377	4.155	.000	.771	.377	.198	.276	3.623	
	ATHCO	-.031	.074	-.039	-.419	.676	.706	-.041	-.020	.260	3.851	
	GEOPCO	-.217	.143	-.158	-1.517	.132	.702	-.147	-.072	.210	4.763	
	LYKCO	-.115	.117	-.087	-.981	.329	.643	-.096	-.047	.290	3.450	

a. Dependent Variable: PERCO

**ANOVA<sup>a</sup>**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	57.370	6	9.562	56.185	.000 <sup>b</sup>
	Residual	17.699	104	.170		
	Total	75.069	110			

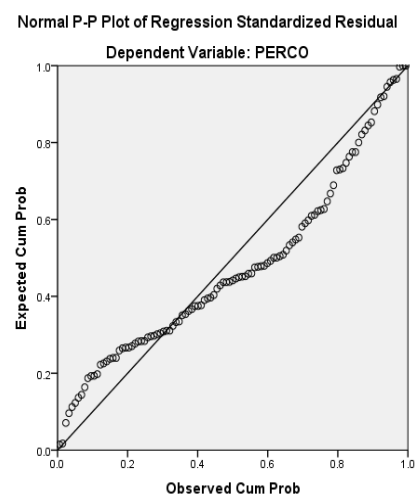
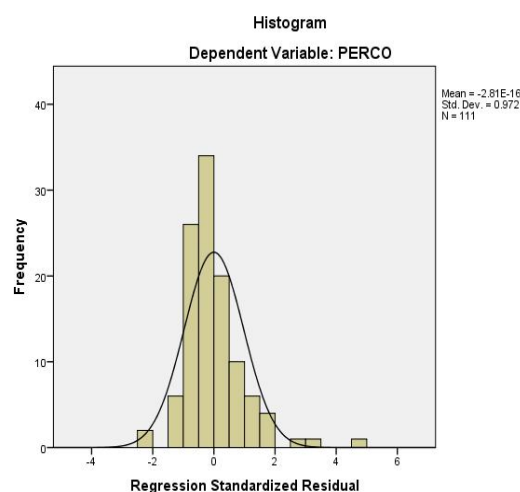
a. Dependent Variable: PERCO

b. Predictors: (Constant), LYKCO, PEIR1CO, PATCO, ATHCO, GEOPCO, N.SMYCO

**Residuals Statistics<sup>a</sup>**

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	.190149	2.958967	1.493273	.7221833	111
Residual	-.8986395	2.0246127	.0000000	.4011234	111
Std. Predicted Value	-1.804	2.030	.000	1.000	111
Std. Residual	-2.178	4.908	.000	.972	111

a. Dependent Variable: PERCO



**Πίνακας.14. : Δοκιμή Β : Μοντέλο για PERISTERI NO προς NO όλων των σταθμών (ΜΕΣΕΣ ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ 1990 - 2010 - μέθοδος εισαγωγής ENDER)**

$$PER_{NO} = - 0.5943 + 0.186 N.SMY_{NO} - 0.011 PAT_{NO} - 0.107 PEIR1_{NO} + 0.227 ATH_{NO} + 0.183 ALI_{NO} - 0.288 ARIST_{NO} + 0.206 GEOP_{NO} + 0.231 ELEYS_{NO} + 1.338 THRAK_{NO} - 0.281 LIOS_{NO} + 0.914 LYK_{NO}$$

**Model Summary<sup>b</sup>**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.971 <sup>a</sup>	.942	.922	4.2156317	.942	48.612	11	33	.000

a. Predictors: (Constant), LYKNO, ALINO, THRAKNO, PEIR1NO, ELEYSNO, N.SMYNO, PATNO, ATHNO, LIOSNO, GEOPNO, ARSTNO

b. Dependent Variable: PERNO

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	-5.943	8.185		-.726	.473					
	N.SMYNO	.186	.092	.259	2.026	.051	.865	.333	.085	.108	9.289
	PATNO	-.011	.045	-.030	-.245	.808	.865	-.043	-.010	.119	8.384
	PEIR1NO	-.107	.103	-.141	-1.031	.310	.757	-.177	-.043	.095	10.576
	ATHNO	.227	.082	.495	2.758	.009	.882	.433	.116	.055	18.269
	ALINO	.183	.234	.041	.783	.439	.513	.135	.033	.655	1.528
	ARSTNO	-.288	.155	-.570	-1.857	.072	.882	-.308	-.078	.019	53.528
	GEOPNO	.206	.165	.310	1.252	.219	.933	.213	.053	.029	34.738
	ELEYSNO	.231	.184	.141	1.261	.216	.890	.214	.053	.142	7.061
	THRAKNO	1.338	1.688	.083	.793	.434	.819	.137	.033	.161	6.230
	LIOSNO	-.281	.203	-.294	-1.383	.176	.883	-.234	-.058	.039	25.631
	LYKNO	.914	.259	.728	3.530	.001	.925	.524	.148	.041	24.126

a. Dependent Variable: PERNO

**ANOVA<sup>a</sup>**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	9502.964	11	863.906	48.612	.000 <sup>b</sup>
	Residual	586.461	33	17.772		
	Total	10089.426	44			

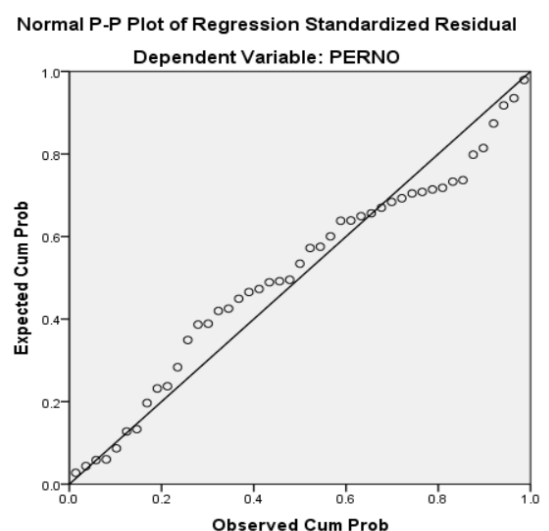
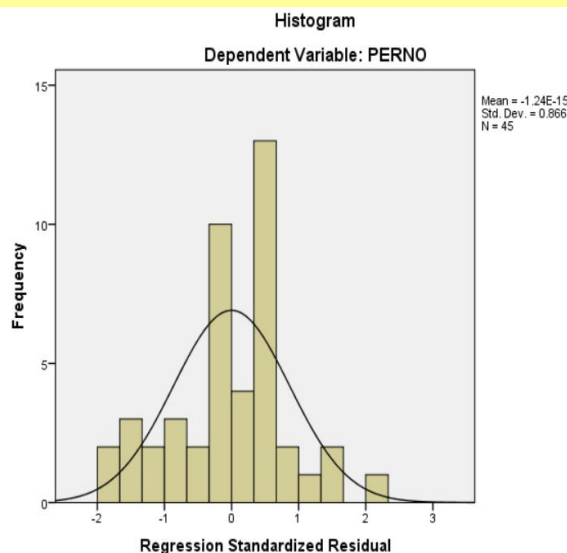
a. Dependent Variable: PERNO

b. Predictors: (Constant), LYKNO, ALINO, THRAKNO, PEIR1NO, ELEYSNO, N.SMYNO, PATNO, ATHNO, LIOSNO, GEOPNO, ARSTNO

**Residuals Statistics<sup>a</sup>**

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	.495290	50.553291	15.786691	14.6961377	45
Residual	-8.0892267	8.5981426	.0000000	3.6508442	45
Std. Predicted Value	-1.041	2.366	.000	1.000	45
Std. Residual	-1.919	2.040	.000	.866	45

a. Dependent Variable: PERNO



**Πίνακας.15 : Δοκιμή Β : Μοντέλο για PERISTERI NO<sub>2</sub> προς NO<sub>2</sub> όλων των σταθμών(ΜΕΣΕΣ ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ 1990 - 2010 - μέθοδος εισαγωγής ENDER)**

$$PER_{NO_2} = 6.113 - 0.21 N.SMY_{NO_2} - 0.85 PAT_{NO_2} + 0.076 PEIR_{NO_2} + 0.087 ATH_{NO_2} + 0.253 ALI_{NO_2} - 0.268 ARIST_{NO_2} + 0.365 GEOP_{NO_2} + 0.061 ELEYS_{NO_2} + 1.186 THRAK_{NO_2} + 0.386 LYK_{NO_2}$$

**Model Summary<sup>b</sup>**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.827 <sup>a</sup>	.684	.616	6.4914895	.684	10.163	10	47	.000

a. Predictors: (Constant), LYKNO<sub>2</sub>, ALINO<sub>2</sub>, PEIR1NO<sub>2</sub>, N.SMYNO<sub>2</sub>, ARSTNO<sub>2</sub>, PATNO<sub>2</sub>, ELEYSNO<sub>2</sub>, GEOPNO<sub>2</sub>, ATHNO<sub>2</sub>, THRAKNO<sub>2</sub>

b. Dependent Variable: PERNO<sub>2</sub>

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	6.113	11.739		.521	.605					
	N.SMYNO <sub>2</sub>	-.021	.068	-.030	-.308	.759	.316	-.045	-.025	.711	1.407
	PATNO <sub>2</sub>	-.085	.079	-.109	-1.083	.284	.190	-.156	-.089	.663	1.509
	PEIR1NO <sub>2</sub>	.076	.105	.086	.723	.473	.019	.105	.059	.474	2.108
	ATHNO <sub>2</sub>	.087	.109	.104	.802	.427	.259	.116	.066	.397	2.521
	ALINO <sub>2</sub>	.253	.254	.089	.998	.323	.000	.144	.082	.854	1.171
	ARSTNO <sub>2</sub>	-.268	.074	-.360	-3.599	.001	.039	-.465	-.295	.673	1.485
	GEOPNO <sub>2</sub>	.365	.169	.268	2.159	.036	.605	.300	.177	.435	2.296
	ELEYSNO <sub>2</sub>	.061	.184	.038	.332	.741	.474	.048	.027	.514	1.946
	THRAKNO <sub>2</sub>	1.186	.387	.430	3.069	.004	.653	.409	.252	.343	2.915
	LYKNO <sub>2</sub>	.386	.180	.360	2.144	.037	.662	.298	.176	.239	4.191

a. Dependent Variable: PERNO<sub>2</sub>

**ANOVA<sup>a</sup>**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	4282.585	10	428.258	10.163	.000 <sup>b</sup>
	Residual	1980.554	47	42.139		
	Total	6263.138	57			

a. Dependent Variable: PERNO<sub>2</sub>

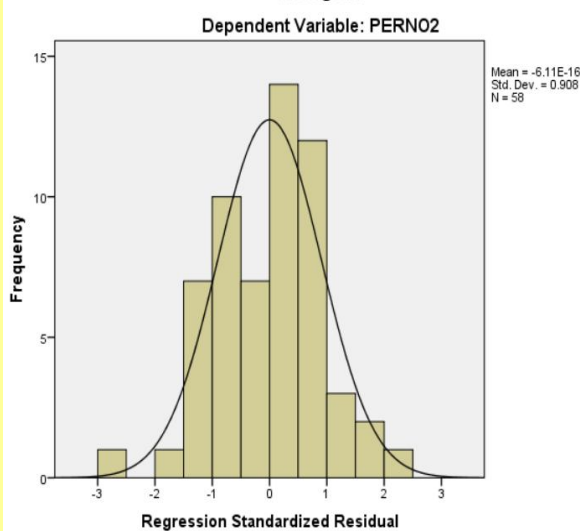
b. Predictors: (Constant), LYKNO<sub>2</sub>, ALINO<sub>2</sub>, PEIR1NO<sub>2</sub>, N.SMYNO<sub>2</sub>, ARSTNO<sub>2</sub>, PATNO<sub>2</sub>, ELEYSNO<sub>2</sub>, GEOPNO<sub>2</sub>, ATHNO<sub>2</sub>, THRAKNO<sub>2</sub>

**Residuals Statistics<sup>a</sup>**

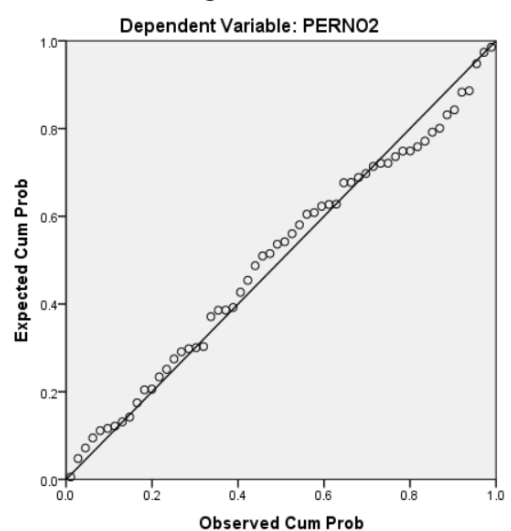
	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	19.878658	60.017769	40.086795	8.6679332	58
Residual	-16.4517326	14.1909313	.0000000	5.8946207	58
Std. Predicted Value	-2.331	2.299	.000	1.000	58
Std. Residual	-2.534	2.186	.000	.908	58

a. Dependent Variable: PERNO<sub>2</sub>

**Histogram**



**Normal P-P Plot of Regression Standardized Residual**



**Πίνακας.16. : Δοκιμή Β : Μοντέλο για PERISTERI NO<sub>x</sub> προς NO<sub>x</sub> όλων των σταθμών(ΜΕΣΕΣ ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ 1990 - 2010 - μέθοδος εισαγωγής ENDER)**

$$\text{PERNO}_x = -46.499 + 0.145 \text{ N.SMYNO}_x + 0.173 \text{ PATNO}_x + 0.295 \text{ PEIR1NO}_x + 0.059 \text{ ATHNO}_x + 0.137 \text{ GEOPNO}_x + 0.195 \text{ ELEYSNO}_x - 0.285 \text{ THRAKNO}_x - 0.104 \text{ LIOSNO}_x + 0.057 \text{ LYKNO}_x$$

**Model Summary<sup>b</sup>**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.975 <sup>a</sup>	.951	.919	6.2657526	.951	30.168	9	14	.000

a. Predictors: (Constant), LYKNOX, GEOPNOX, PEIR1NOX, THRAKNOX, PATNOX, ATHNOX, ELEYSNOX, N.SMYNOX, LIOSNOX

b. Dependent Variable: PERNOX

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	-46.499	22.196		-2.095	.055					
	N.SMYNOX	.145	.258	.174	.562	.583	.939	.149	.033	.036	27.425
	PATNOX	.173	.114	.260	1.516	.152	.744	.376	.090	.120	8.366
	PEIR1NOX	.295	.166	.315	1.780	.097	.831	.430	.105	.112	8.930
	ATHNOX	.059	.084	.126	.701	.495	.887	.184	.042	.109	9.213
	GEOPNOX	.137	.088	.221	1.553	.143	.797	.383	.092	.173	5.788
	ELEYSNOX	.195	.212	.164	.918	.374	.889	.238	.054	.110	9.122
	THRAKNOX	-.285	.734	-.065	-.388	.704	.687	-.103	-.023	.125	8.027
	LIOSNOX	-.104	.293	-.110	-.354	.728	.900	-.094	-.021	.036	27.640
	LYKNOX	.057	.324	.047	.176	.862	.895	.047	.010	.049	20.555

a. Dependent Variable: PERNOX

**ANOVA<sup>a</sup>**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	10659.370	9	1184.374	30.168	.000 <sup>b</sup>
	Residual	549.635	14	39.260		
	Total	11209.006	23			

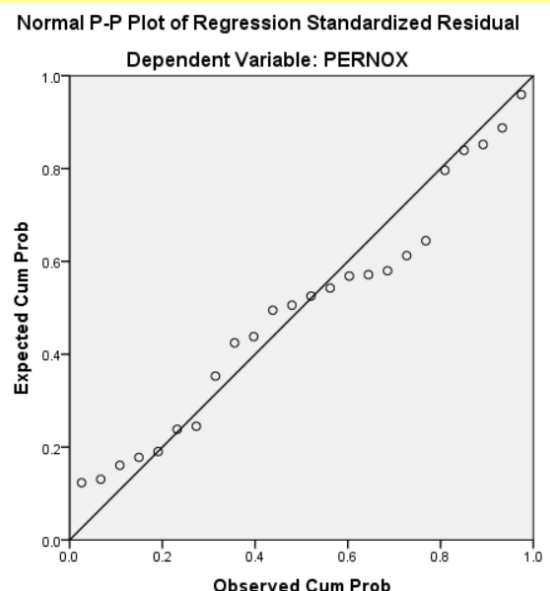
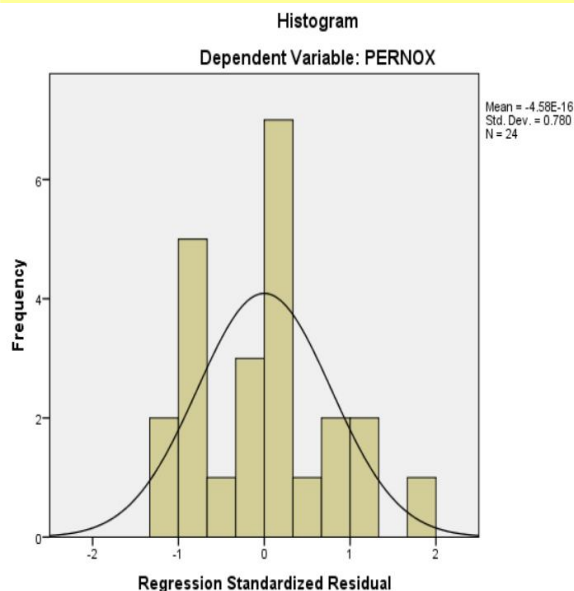
a. Dependent Variable: PERNOX

b. Predictors: (Constant), LYKNOX, GEOPNOX, PEIR1NOX, THRAKNOX, PATNOX, ATHNOX, ELEYSNOX, N.SMYNOX, LIOSNOX

**Residuals Statistics<sup>a</sup>**

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	24.247023	106.751060	60.298667	21.5279095	24
Residual	-7.2576385	10.9155521	.0000000	4.8884744	24
Std. Predicted Value	-1.675	2.158	.000	1.000	24
Std. Residual	-1.158	1.742	.000	.780	24

a. Dependent Variable: PERNOX



**Πίνακας.17. : Δοκιμή Β : Μοντέλο για PERISTERI SO<sub>2</sub> προς SO<sub>2</sub> όλων των σταθμών(ΜΕΣΕΣ ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ 1990 - 2010 - μέθοδος εισαγωγής ENDER)**

$$PER_{SO_2} = -3.641 + 0.310 N.SMY_{SO_2} + 0.272 PAT_{SO_2} + 0.157 PEIR1_{SO_2} - 0.001 ATH_{SO_2} + 0.056 ARIST_{SO_2} + 1.083 GEOP_{SO_2} - 0.300 ELEY_{SO_2} - 0.130 LIO_{SO_2}$$

**Model Summary<sup>b</sup>**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.850 <sup>a</sup>	.722	.640	4.7781194	.722	8.771	8	27	.000

a. Predictors: (Constant), LIOSSO2, ARISTSO2, N.SMYSO2, GEOPSO2, ATHSO2, ELEYSSO2, PEIR1SO2, PATSO2

b. Dependent Variable: PERSO2

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	-3.641	3.015		-1.207	.238					
	N.SMYSO2	.310	.185	.305	1.680	.105	.678	.308	.170	.312	3.202
	PATSO2	.272	.136	.485	2.003	.055	.697	.360	.203	.175	5.701
	PEIR1SO2	.157	.150	.217	1.048	.304	.594	.198	.106	.241	4.156
	ATHSO2	-.001	.264	-.001	-.003	.997	.594	-.001	.000	.384	2.604
	ARISTSO2	.056	.191	.033	.293	.772	.183	.056	.030	.799	1.252
	GEOPSO2	1.083	.303	.528	3.570	.001	.330	.566	.362	.471	2.124
	ELEYSSO2	-.300	.253	-.211	-1.187	.246	.375	-.223	-.120	.325	3.076
	LIOSSO2	-.130	.259	-.104	-.502	.619	.501	-.096	-.051	.239	4.178

a. Dependent Variable: PERSO2

**ANOVA<sup>a</sup>**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1601.977	8	200.247	8.771	.000 <sup>b</sup>
	Residual	616.421	27	22.830		
	Total	2218.399	35			

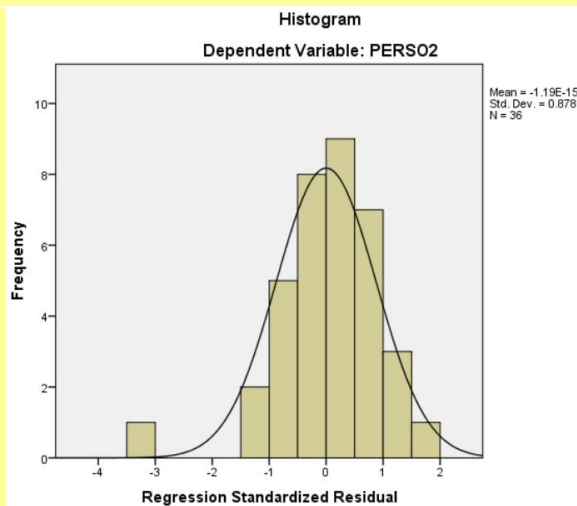
a. Dependent Variable: PERSO2

b. Predictors: (Constant), LIOSSO2, ARISTSO2, N.SMYSO2, GEOPSO2, ATHSO2, ELEYSSO2, PEIR1SO2, PATSO2

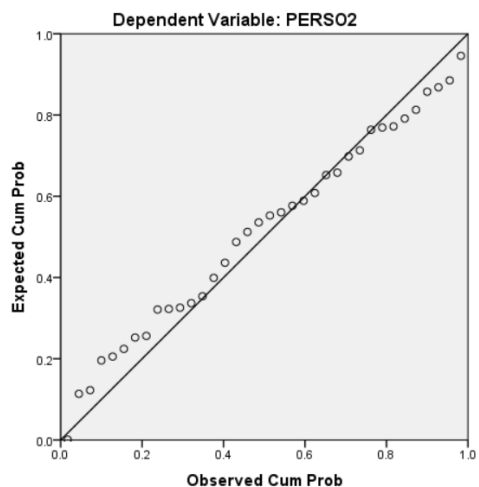
**Residuals Statistics<sup>a</sup>**

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	.479932	30.119154	13.645878	6.7654105	36
Residual	-14.8888798	7.6605878	.0000000	4.1966703	36
Std. Predicted Value	-1.946	2.435	.000	1.000	36
Std. Residual	-3.116	1.603	.000	.878	36

a. Dependent Variable: PERSO2



**Normal P-P Plot of Regression Standardized Residual**



**Πίνακας.18. : Δοκιμή Β : Μοντέλο για PERISTERI O<sub>3</sub> προς O<sub>3</sub> (ΜΕΞΕΣ ΗΜΕΡΗΣΙΕΣ ΤΙΜΕΣ 1984 - 2010 - μέθοδος εισαγωγής ENDER)**

$$PER_{O_3} = -10.059 + 0.233 NSMY_{O_3} + 0.150 PAT_{O_3} - 0.084 PEIRI_{O_3} + 0.32 ATH_{O_3} + 0.172 ALI_{O_3} + 0.94 GEOP_{O_3} + 0.144 ELEY_{SO_3} + 0.241 THRAK_{O_3} + 0.640 LIOS_{O_3} + 0.155 LYKOB_{O_3}$$

Model Summary <sup>b</sup>									
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.942 <sup>a</sup>	.887	.886	9.6577290	.887	519.496	10	660	.000

a. Predictors: (Constant), LYKOB-O3, PEIR I-O3, PAT-O3, ALI-O3, ATH-O3, THRAK-O3, ELEYS-O3, LIOS-O3, GEOP-O3, N.SMY-O3  
b. Dependent Variable: PER-O3

Coefficients <sup>a</sup>												
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics		
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF	
1	(Constant)	-10.059	1.617		-6.220	.000						
	N.SMY-O3	.223	.043	.219	5.176	.000	.890	.198	.068	.095	10.526	
	PAT-O3	.150	.033	.091	4.550	.000	.698	.174	.059	.423	2.366	
	PEIR I-O3	-.084	.036	-.055	-2.358	.019	.626	-.091	-.031	.316	3.165	
	ATH-O3	.032	.051	.017	.637	.524	.720	.025	.008	.227	4.413	
	ALI-O3	.172	.030	.129	5.725	.000	.775	.218	.075	.338	2.960	
	GEOP-O3	.094	.046	.079	2.020	.044	.876	.078	.026	.111	8.983	
	ELEYS-O3	.144	.028	.135	5.171	.000	.835	.197	.068	.249	4.015	
	THRAK-O3	.241	.029	.201	8.186	.000	.830	.304	.107	.282	3.542	
	LIOS-O3	.064	.027	.066	2.369	.018	.798	.092	.031	.217	4.603	
	LYKOB-O3	.155	.040	.165	3.843	.000	.894	.148	.050	.092	10.812	

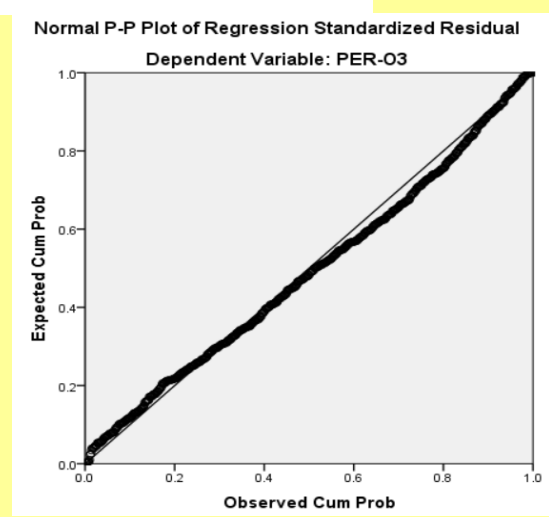
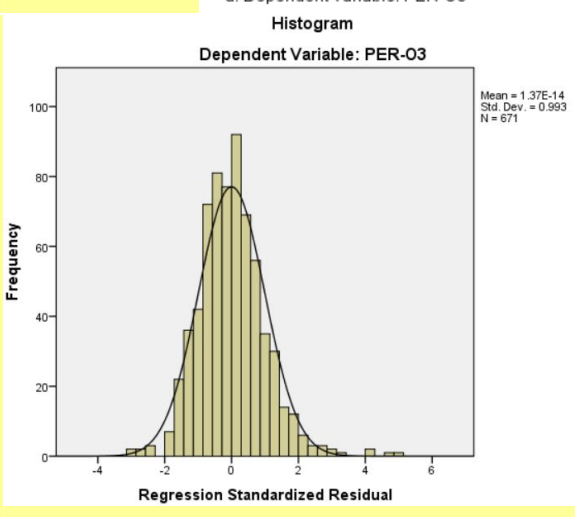
a. Dependent Variable: PER-O3

ANOVA <sup>a</sup>						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	484543.093	10	48454.309	519.496	.000 <sup>b</sup>
	Residual	61559.342	660	93.272		
	Total	546102.434	670			

a. Dependent Variable: PER-O3  
b. Predictors: (Constant), LYKOB-O3, PEIR I-O3, PAT-O3, ALI-O3, ATH-O3, THRAK-O3, ELEYS-O3, LIOS-O3, GEOP-O3, N.SMY-O3

Residuals Statistics <sup>a</sup>					
	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	5.207801	128.412552	63.695373	26.8923529	671
Residual	-29.3930264	48.4640350	.0000000	9.5853855	671
Std. Predicted Value	-2.175	2.407	.000	1.000	671
Std. Residual	-3.043	5.018	.000	.993	671

a. Dependent Variable: PER-O3



**Πίνακας.19. : Δοκιμή Γ. : Τυχαίοι συνδυασμοί. Δημιουργία μοντέλου σε διαδοχικά βήματα ελέγχου του  $R^2$ ,**

**με αρχικό ελεγχόμενο μοντέλο**

$$PER_{NO2} / ATH_{NO} + N.SMY_{NO2} + GEOP_{NO2} + LIOS_{NO2} + PAT_{NO2}$$

**με χρονοσειρά**

1984 - 2010 μέσω ημερήσιων τιμών

**με διαδοχικά βήματα, λαμβάνοντας υπ' όψιν τις συσχετίσεις μεταξύ ανεξάρτητων μεταβλητών**

**με φυσική σημασία για την εξαρτημένη μεταβλητή**

**έναρξη**

**Model Summary<sup>b</sup>**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.799 <sup>a</sup>	.639	.638	14.7412820	.639	1072.065	5	3029	.000

a. Predictors: (Constant), PAT-NO2, ATH-NO, N.SMY-NO2, LIOS-NO2, GEOP-NO2

b. Dependent Variable: PER-NO2

**βήμα 1 (- LIOS<sub>NO2</sub>)**

**Model Summary<sup>b</sup>**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.770 <sup>a</sup>	.593	.592	16.0210148	.593	1489.923	4	4094	.000

a. Predictors: (Constant), PAT-NO2, ATH-NO, N.SMY-NO2, GEOP-NO2

b. Dependent Variable: PER-NO2

**βήμα 2 (+ LIOS<sub>NO2</sub>, - GEOP<sub>NO2</sub>)**

**Model Summary<sup>b</sup>**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.768 <sup>a</sup>	.590	.589	15.6978360	.590	1256.626	4	3494	.000

a. Predictors: (Constant), LIOS-NO2, N.SMY-NO2, PAT-NO2, ATH-NO

b. Dependent Variable: PER-NO2

**βήμα 3 (+ GEOP<sub>NO2</sub>, - N.SMY<sub>NO2</sub>, + PEIR<sub>I</sub><sub>NO</sub>)**

**Model Summary<sup>b</sup>**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.808 <sup>a</sup>	.652	.652	14.2932997	.652	1517.637	4	3237	.000

a. Predictors: (Constant), PEIR I-NO, PAT-NO2, LIOS-NO2, GEOP-NO2

b. Dependent Variable: PER-NO2

**βήμα 4 (- ATH<sub>NO</sub>)**

**Model Summary<sup>b</sup>**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.810 <sup>a</sup>	.656	.656	14.2145997	.656	1234.979	5	3236	.000

a. Predictors: (Constant), PEIR I NO2, LIOS-NO2, PEIR I-NO, PAT-NO2, GEOP-NO2

b. Dependent Variable: PER-NO2

**βήμα 5 (+ PEIR<sub>NO2</sub>, + LYK<sub>NO2</sub>)**

**Model Summary<sup>b</sup>**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.824 <sup>a</sup>	.679	.679	12.8858974	.679	917.842	6	2598	.000

a. Predictors: (Constant), LYKOB-NO2, PEIR I NO2, PEIR I-NO, PAT-NO2, LIOS-NO2, GEOP-NO2

b. Dependent Variable: PER-NO2

## βήμα 6 (+ ELEYSONO2)

**Model Summary<sup>b</sup>**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.907 <sup>a</sup>	.823	.822	8.5233473	.823	1196.124	7	1804	.000

a. Predictors: (Constant), LYKOB-NO2, PEIR I NO2, PEIR I-NO, ELEYSONO2, PAT-NO2, GEOP-NO2, LIOS-NO2

b. Dependent Variable: PER-NO2

## βήμα 7 (- PATNO2)

**Model Summary<sup>b</sup>**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.905 <sup>a</sup>	.819	.818	8.6111192	.819	1370.885	6	1822	.000

a. Predictors: (Constant), ELEYSONO2, PEIR I NO2, PEIR I-NO, LYKOB-NO2, GEOP-NO2, LIOS-NO2

b. Dependent Variable: PER-NO2

## Πίνακας συντελεστών του μοντέλου (στήλη Β)

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics		
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF	
1	(Constant)	-2.041	.913		-2.235	.026						
	PAT-NO2	.061	.012	.083	5.088	.000	.623	.119	.050	.370	2.705	
	LIOS-NO2	.371	.025	.358	14.918	.000	.874	.331	.148	.171	5.851	
	GEOP-NO2	.234	.026	.208	9.030	.000	.842	.208	.090	.186	5.376	
	PEIR I-NO	.084	.009	.143	9.548	.000	.568	.219	.095	.438	2.284	
	PEIR I NO2	-.067	.014	-.062	-4.959	.000	.300	-.116	-.049	.633	1.579	
	LYKOB-NO2	.169	.024	.146	7.174	.000	.809	.167	.071	.238	4.194	
	ELEYSONO2	.189	.025	.133	7.578	.000	.779	.176	.075	.321	3.117	

a. Dependent Variable: PER-NO2

## πίνακας συσχετίσεων (εξαρτημένη μεταβλητή PERNO2)

	PERNO	N.SMYNO	PATNO	PEIR1NO	ATHNO	ALINO	ARSTNO	GEOPNO	ELEYSONO	THRAKNO	LIOSNO	LYKNO
Pearson Correlation	PERNO	1.000	.865	.865	.757	.882	.513	.882	.933	.819	.883	.925
	N.SMYNO	.865	1.000	.850	.835	.878	.524	.916	.916	.832	.776	.887
	PATNO	.865	.850	1.000	.799	.867	.539	.910	.920	.804	.795	.873
	PEIR1NO	.757	.835	.799	1.000	.860	.493	.907	.859	.773	.557	.877
	ATHNO	.882	.878	.867	.860	1.000	.503	.960	.924	.829	.804	.889
	ALINO	.513	.524	.539	.493	.503	1.000	.542	.535	.417	.395	.525
	ARSTNO	.882	.916	.910	.907	.960	.542	1.000	.962	.853	.793	.954
	GEOPNO	.933	.916	.920	.859	.924	.535	.962	1.000	.877	.812	.956
	ELEYSONO	.890	.832	.804	.773	.829	.417	.853	.877	1.000	.758	.888
	THRAKNO	.819	.776	.795	.557	.804	.395	.793	.812	.758	1.000	.764
	LIOSNO	.883	.887	.873	.877	.889	.525	.954	.956	.888	.764	1.000
	LYKNO	.925	.840	.891	.844	.860	.521	.920	.955	.896	.744	.955

**Πίνακας 20 : Δοκιμή Γ : Κατασκευή μοντέλου με διαδοχικά βήματα ( κατά σειρά προσθήκη και αφαίρεση ανεξάρτητων μεταβλητών)**

ΒΗΜΑ	PEIRI NO <sub>2</sub>	PEIRI NO	PAT NO <sub>2</sub>	ATH NO	NSMY NO <sub>2</sub>	LIOS NO <sub>2</sub>	GEOP NO <sub>2</sub>	LYK NO <sub>2</sub>	ELEY NO <sub>2</sub>	μεταβολή του R <sup>2</sup>
έναρξη										0.639
1										0.593
2										0.590
3										0.652
4										0.656
5										0.679
6										0,823
7										0.819

- ΤΕΛΙΚΟΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ με το μεγαλύτερο R<sup>2</sup>

PAT NO<sub>2</sub>, PEIR NO<sub>2</sub>, LIOS NO<sub>2</sub>, GEOP NO<sub>2</sub>, LYK NO<sub>2</sub>, ELEYS NO<sub>2</sub>

	αφαίρεση ανεξάρτητης μεταβλητής
	προσθήκη ή διατήρηση ανεξάρτητης μεταβλητής
	δεν έχει προστεθεί ακόμη η ανεξάρτητη μεταβλητή στο μοντέλο

**Πίνακας ..21 : Δοκιμή Δ :** Σύνοψη του μοντέλου που προέκυψε με την μέθοδο STEPWISE. Το λογισμικό εμφανίζει διαδοχικά μοντέλα με αυξανόμενη τιμή  $R^2$  λαμβάνοντας υπ' όψιν διαδοχικούς συνδυασμούς ανεξάρτητων μεταβλητών

### Regression

[DataSet5] C:\Users\ioannis\Desktop\SPSS\_OK\Monday1984-2010.sav

#### Model Summary<sup>j</sup>

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.894 <sup>a</sup>	.799	.799	12.7985197	.799	2664.916	1	669	.000
2	.925 <sup>b</sup>	.855	.855	10.8698418	.056	259.468	1	668	.000
3	.930 <sup>c</sup>	.864	.864	10.5457300	.009	42.692	1	667	.000
4	.934 <sup>d</sup>	.873	.872	10.2139852	.009	45.031	1	666	.000
5	.938 <sup>e</sup>	.880	.879	9.9431851	.007	37.771	1	665	.000
6	.940 <sup>f</sup>	.884	.883	9.7501805	.005	27.588	1	664	.000
7	.941 <sup>g</sup>	.885	.884	9.7122762	.001	6.193	1	663	.013
8	.941 <sup>h</sup>	.886	.885	9.6840443	.001	4.871	1	662	.028
9	.942 <sup>i</sup>	.887	.886	9.6533889	.001	5.211	1	661	.023

a. Predictors: (Constant), LYKOB-03

b. Predictors: (Constant), LYKOB-03, N.SMY-03

c. Predictors: (Constant), LYKOB-03, N.SMY-03, THRAK-03

d. Predictors: (Constant), LYKOB-03, N.SMY-03, THRAK-03, ALI-03

e. Predictors: (Constant), LYKOB-03, N.SMY-03, THRAK-03, ALI-03, PAT-03

f. Predictors: (Constant), LYKOB-03, N.SMY-03, THRAK-03, ALI-03, PAT-03, ELEYS-03

g. Predictors: (Constant), LYKOB-03, N.SMY-03, THRAK-03, ALI-03, PAT-03, ELEYS-03, PEIR I-03

h. Predictors: (Constant), LYKOB-03, N.SMY-03, THRAK-03, ALI-03, PAT-03, ELEYS-03, PEIR I-03, GEOP-03

i. Predictors: (Constant), LYKOB-03, N.SMY-03, THRAK-03, ALI-03, PAT-03, ELEYS-03, PEIR I-03, GEOP-03, LIOS-03

j. Dependent Variable: PER-03

**Πίνακας.22.. : Δοκιμή Δ : Συντελεστές συσχέτισης για τις ανεξάρτητες μεταβλητές**

Coefficients <sup>a</sup>											
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	8.490	1.178		7.207	.000					
	LYKOB-O3	.839	.016	.894	51.623	.000	.894	.894	.894	1.000	1.000
2	(Constant)	.216	1.125		.192	.848					
	LYKOB-O3	.463	.027	.493	17.065	.000	.894	.551	.251	.259	3.862
	N.SMY-O3	.473	.029	.466	16.108	.000	.890	.529	.237	.259	3.862
3	(Constant)	-8.169	1.684		-4.850	.000					
	LYKOB-O3	.375	.030	.399	12.682	.000	.894	.441	.181	.205	4.873
	N.SMY-O3	.414	.030	.407	13.850	.000	.890	.473	.198	.235	4.250
	THRAK-O3	.208	.032	.174	6.534	.000	.830	.245	.093	.287	3.479
4	(Constant)	-10.098	1.657		-6.095	.000					
	LYKOB-O3	.365	.029	.389	12.740	.000	.894	.443	.176	.205	4.885
	N.SMY-O3	.293	.034	.288	8.585	.000	.890	.316	.119	.169	5.902
	THRAK-O3	.213	.031	.178	6.899	.000	.830	.258	.095	.287	3.481
	ALI-O3	.208	.031	.156	6.711	.000	.775	.252	.093	.355	2.815
5	(Constant)	-9.667	1.614		-5.989	.000					
	LYKOB-O3	.307	.029	.327	10.418	.000	.894	.375	.140	.184	5.448
	N.SMY-O3	.267	.033	.263	7.989	.000	.890	.296	.107	.167	5.994
	THRAK-O3	.229	.030	.192	7.607	.000	.830	.283	.102	.285	3.509
	ALI-O3	.195	.030	.146	6.442	.000	.775	.242	.087	.353	2.830
	PAT-O3	.190	.031	.116	6.146	.000	.698	.232	.083	.511	1.958
6	(Constant)	-10.882	1.600		-6.802	.000					
	LYKOB-O3	.244	.031	.260	7.816	.000	.894	.290	.103	.157	6.376
	N.SMY-O3	.218	.034	.214	6.376	.000	.890	.240	.084	.154	6.491
	THRAK-O3	.234	.030	.195	7.901	.000	.830	.293	.104	.285	3.512
	ALI-O3	.190	.030	.142	6.413	.000	.775	.242	.085	.353	2.832
	PAT-O3	.174	.030	.106	5.713	.000	.698	.216	.075	.506	1.977
	ELEYS-O3	.146	.028	.137	5.252	.000	.835	.200	.069	.256	3.910

7	(Constant)	-10.504	1.601		-6.562	.000					
	LYKOB-O3	.234	.031	.250	7.462	.000	.894	.278	.098	.154	6.483
	N.SMY-O3	.272	.040	.267	6.735	.000	.890	.253	.089	.110	9.126
	THRAK-O3	.235	.029	.196	7.968	.000	.830	.296	.105	.285	3.513
	ALI-O3	.188	.030	.141	6.349	.000	.775	.239	.083	.353	2.835
	PAT-O3	.157	.031	.096	5.063	.000	.698	.193	.067	.482	2.074
	ELEYS-O3	.151	.028	.143	5.466	.000	.835	.208	.072	.254	3.938
	PEIR I-O3	-.082	.033	-.053	-2.489	.013	.626	-.096	-.033	.375	2.667
8	(Constant)	-9.892	1.620		-6.107	.000					
	LYKOB-O3	.206	.034	.220	6.096	.000	.894	.231	.080	.132	7.562
	N.SMY-O3	.242	.042	.238	5.718	.000	.890	.217	.075	.099	10.128
	THRAK-O3	.238	.029	.199	8.077	.000	.830	.300	.106	.284	3.519
	ALI-O3	.183	.030	.137	6.204	.000	.775	.234	.081	.351	2.848
	PAT-O3	.138	.032	.084	4.289	.000	.698	.164	.056	.447	2.239
	ELEYS-O3	.145	.028	.136	5.200	.000	.835	.198	.068	.251	3.988
	PEIR I-O3	-.086	.033	-.056	-2.624	.009	.626	-.101	-.034	.374	2.676
GEOP-O3	.094	.043	.079	2.207	.028	.876	.085	.029	.133	7.529	
9	(Constant)	-10.068	1.617		-6.228	.000					
	LYKOB-O3	.156	.040	.166	3.867	.000	.894	.149	.051	.093	10.801
	N.SMY-O3	.226	.043	.222	5.262	.000	.890	.201	.069	.096	10.432
	THRAK-O3	.242	.029	.202	8.231	.000	.830	.305	.108	.283	3.533
	ALI-O3	.175	.030	.131	5.891	.000	.775	.223	.077	.346	2.893
	PAT-O3	.146	.032	.089	4.519	.000	.698	.173	.059	.442	2.264
	ELEYS-O3	.145	.028	.137	5.242	.000	.835	.200	.068	.251	3.989
	PEIR I-O3	-.076	.033	-.049	-2.286	.023	.626	-.089	-.030	.366	2.730
GEOP-O3	.105	.043	.089	2.462	.014	.876	.095	.032	.131	7.630	
LIOS-O3	.060	.026	.061	2.283	.023	.798	.088	.030	.236	4.238	

a. Dependent Variable: PER-O3

**Πίνακας 23 :** Αναλυτική παρουσίαση των **επιτυχημένων δοκιμασιών** για την δημιουργία των Μοντέλων για τις παραμέτρους του σταθμού αέριας ρύπανσης στο Περιστερί

ΔΟΚΙΜΗ	ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΤΙΜΩΝ	ΜΕΘΟΔΟΣ	R <sup>2</sup>	PERISTERI MODEL
PERNO <sub>x</sub> / NO <sub>x</sub> ALL	1990 - 2010	ΜΕΣΕΣ ΜΗΝΑΙΕΣ	ENDER	0.951	<b>-46.499 + 0.145 N.SMY<sub>NOX</sub> + 0.173 PAT<sub>NOX</sub> + 0.295 PEIRI<sub>NOX</sub> + 0.059 ATH<sub>NOX</sub> + 0.137 GEOP<sub>NOX</sub> + 0.195 ELEYS<sub>NOX</sub> - 0.285 THRAK<sub>NOX</sub> - 0.104 LIOS<sub>NOX</sub> + 0.057 LYK<sub>NOX</sub></b>
PERNO / NO ALL	1990 - 2010	ΜΕΣΕΣ ΜΗΝΑΙΕΣ	ENDER	0.942	<b>- 0.5.943 + 0.186 N.SMY<sub>NO</sub> - 0.011 PAT<sub>NO</sub> - 0.107 PEIRI<sub>NO</sub> + 0.227 ATH<sub>NO</sub> + 0.183 ALI<sub>NO</sub> - 0.288 ARIST<sub>NO</sub> + 0.206 GEOP<sub>NO</sub> + 0.231 ELEYS<sub>NO</sub> + 1.338 THRAK<sub>NO</sub> - 0.281 LIOS<sub>NO</sub> + 0.914 LYK<sub>NO</sub></b>
PERO <sub>3</sub> / O <sub>3</sub> ALL	1984 - 2010	ΜΕΣΕΣ ΗΜΕΡΗΣΙΕΣ	ENDER	0.887	<b>-10.059 + 0.233 NSMY<sub>O3</sub> + 0.150 PAT<sub>O3</sub> - 0.084 PEIRI<sub>O3</sub> + 0.32 ATH<sub>O3</sub> + 0.172 ALI<sub>O3</sub> + 0.94 GEOP<sub>O3</sub> + 0.144 ELEY<sub>S03</sub> + 0.241 THRAK<sub>O3</sub> + 0.640 LIOS<sub>O3</sub> + 0.155 LYKOB<sub>O3</sub></b>
PERCO / CO ALL	1990 - 2010	ΜΗΝΑΙΕΣ	ENDER	0.764	<b>- 0.643 + 0.326 N.SMY<sub>CO</sub> + 0.331 PAT<sub>CO</sub> + 0.337 PEIR1<sub>CO</sub> - 0.031 ATH<sub>CO</sub> - 0.217 GEOP<sub>CO</sub> - 0.115 LYK<sub>CO</sub></b>
PERSO <sub>2</sub> / SO <sub>2</sub> ALL	1984 - 2010	ΜΕΣΕΣ ΗΜΕΡΗΣΙΕΣ	ENDER	0.700	<b>- 0.325 + 0.307 NSMY<sub>SO2</sub> + 0.168 PAT<sub>SO2</sub> + 0.118 PEIR1<sub>SO2</sub> + 0.052 ATH<sub>SO2</sub> - 0.201 ALI<sub>SO2</sub> - 0.810 ARIST<sub>SO2</sub> + 0.669 GEOP<sub>SO2</sub> - 0.011 ELEYS<sub>SO2</sub> + 0.046 LIOS<sub>SO2</sub></b>
PERSO <sub>2</sub> . SO <sub>2</sub> ALL	1990 - 2010	ΜΕΣΕΣ ΜΗΝΑΙΕΣ	ENDER	0.640	<b>-3.641 + 0.310 N.SMY<sub>SO2</sub> + 0.272 PAT<sub>SO2</sub> + 0.157 PEIR1<sub>SO2</sub> - 0.001 ATH<sub>SO2</sub> + 0.056 ARIST<sub>SO2</sub> + 1.083 GEOP<sub>SO2</sub> - 0.300 ELEYS<sub>SO2</sub> - 0.130 LIOS<sub>SO2</sub></b>
PERNO <sub>2</sub> / NO <sub>2</sub> ALL	1990 - 2010	ΜΕΣΕΣ ΜΗΝΑΙΕΣ	ENDER	0.616	<b>6.113 - 0.21 N.SMY<sub>NO2</sub> - 0.85 PAT<sub>NO2</sub> + 0.076 PEIR<sub>NO2</sub> + 0.087 ATH<sub>NO2</sub> + 0.253 ALI<sub>NO2</sub> - 0.268 ARIST<sub>NO2</sub> + 0.365 GEOP<sub>NO2</sub> + 0.061 ELEYS<sub>NO2</sub> + 1.186 THRAK<sub>NO2</sub> + 0.386 LYK<sub>NO2</sub></b>

# Κεφάλαιο 6

## Ανάλυση Αποτελεσμάτων

### 6.1. Ανάλυση

Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι η δημιουργία μοντέλων για την στατιστική επεξεργασία είναι εφικτή για την περιοχή της Δυτικής Αθήνας, καθώς το δίκτυο είναι επαρκές.

Τα  $R^2$  και ο αριθμός των ανεξάρτητων μεταβλητών που μπαίνουν στο μοντέλο εμφανίζουν διαφορές ανάλογα με την έκταση και την διαμερισματοποίηση της χρονοσειράς που χρησιμοποιείται.

Η διεθνής βιβλιογραφία τεκμηριώνει την χρήση των επίγειων δικτύων. Οπότε το επιπλέον εργαλείο της χρήσης των μαθηματικών μοντέλων, προκειμένου να εφαρμοστεί στην Δυτική Αθήνα, θα πρέπει να βασιστεί στην επιλογή των κατάλληλων κριτηρίων, σύμφωνα με τις βιβλιογραφικές αναφορές. Για την περίπτωση της Δυτικής Αττικής, σημαντικότεροι ρύποι εμφανίζεται να είναι τα  $NO_x$ , το  $SO_2$  και το  $O_3$  (Lee, 1990 : Milionis, 1994 : Mc Gregor, 1996 : Vienneau and Briggs, 2013).

Τα δεδομένα των εκθέσεων του ΥΠΕΝ δείχνουν ότι το  $O_3$  είναι επικρατής ρύπος στην Δυτική Αθήνα. Αυτό φαίνεται στο μοντέλο καθώς δίνει υψηλό  $R^2$  για όλες τις δοκιμασίες ως προς όλους του ρύπους που εξετάστηκαν, με εξαρτημένες μεταβλητές αυτές του σταθμού Περιστερίου (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2002 : ΥΠΕΚΑ, 2011 : ΥΠΑΠΕΝ, 2015 : ΥΠΕΝ, 2016: ΥΠΕΝ, 2017).

Η περιοχή της Δυτικής Αττικής, είναι επιβαρυνόμενη από αέριους ρύπους και από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι ένα βασικό χαρακτηριστικό της τοπικής αέριας ρύπανσης είναι η αερομεταφορά, αφού για 6 από τις 9 περιπτώσεις δοκιμών πολλαπλής παλινδρόμησης, προέκυψαν μοντέλα με ισχυρή συσχέτιση για 9 εξαρτημένες μεταβλητές από 11 σταθμούς.

Η Δυτική Αθήνα, καλύπτει μία περιοχή με σχεδόν ανωφερή ομοιόμορφη διαμόρφωση. Από τον νότο όπου βρίσκεται η "πέραν του Φαλήρου γης" (Πειραιάς) έως και το υψηλότερο σημείο του Ποικίλου Όρους στην περιοχή μεταξύ Περιστερίου Πετρούπολεως, το ύψος έχει μία διακύμανση από 0 - 208 μέτρα (ΕΚΠΑ και ΑΣΔΑ, 2010)

Οι άνεμοι που επικρατούν στην Δυτική Αθήνα, με επίκεντρο το Περιστερί, είναι ΒΒΑ, γεγονός που ευνοεί την μεταφορά ρύπων, κυρίως όζοντος από το βόρειο τμήμα του Λεκανοπεδίου (Λυκόβρυση, Θρακομακεδόνες) και από το κέντρο της Αθήνας, που

συχνά εμφανίζει πολύ υψηλές τιμές την θερμή περίοδο (Κασσωμένος, 2001 : ΕΚΠΑ και ΑΣΔΑ, 2010).

Η νότια αττική και ιδιαίτερα η παραθαλάσσια ζώνη του κεντρικού λιμανιού του Πειραιά, συμβάλει στην προσφορά ρύπων κυρίως διοξειδίου του θείου, οξειδίων του αζώτου και αιωρούμενων σωματιδίων, που προέρχονται κυρίως από τα πλοία και λιγότερο από την κίνηση των αυτοκινήτων. Για την μεταφορά των ρύπων προς την Δυτική Αθήνα ευθύνεται κυρίως η θαλάσσια αύρα που πνέει με κατεύθυνση ΝΝΔ (Μεντζελόπουλος, 2010: Ζανής, 2014).

Η ανωφέρεια που συναντά στην πορεία της, επαυξάνεται από τις κλυτίες του Ποικίλου Όρους και του Όρους Αιγάλεω, την ψύχει και δημιουργούνται συνθήκες θερμοκρασιακής αναστροφής, πολύ συχνά στην περιοχή (Κασσωμένος, 2001).

Λαμβάνοντας υπ' όψιν τις προβλέψεις για την κλιματική αλλαγή στην Ελλάδα (Greenpeace, 2006Q ΤτΕ, 2011 : Giannakopoulos et al., 2011 : IPCC, 2007), τα σημεία που πρέπει να επισημανθούν ως προς τα ζητούμενα ερωτήματα της Μεταπτυχιακής Διατριβής, είναι τα εξής :

- Η μείωση της ατμοσφαιρικής υγρασίας. Επειδή η υγρασία παίζει ρόλο στον σχηματισμό, διάλυση, μεταφορά και κατακρήμνιση ρύπων, πιθανών η άνοδος της μέσης θερμοκρασίας να επιδράσει στην διαμόρφωση ακόμη πιο ξηρών νότιων ανέμων, που θα ευνοούν την αυξημένη μεταφορά σωματιδίων από την περιοχή του Πειραιά. Αυτή η υπόθεση θα μπορούσε να ελεγχθεί με κατάλληλο λογισμικό μοντελοποίησης (αριθμητικό ή gausse ή lagranian).
- Η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας κατά την ημέρα και την νύχτα, πιθανών θα επηρεάσει και τα χαρακτηριστικά των άλλων ανέμων (ΝΝΔ, ΒΒΑ) που επικρατούν στην περιοχή την θερμή περίοδο του έτους, με πιθανή μεταβολή του προτύπου μεταφοράς, παραμονής και διάλυσης των αέριων ρύπων.
- Η αύξηση της τιμής και της διάρκειας διατήρησης των υψηλών θερμοκρασιών, πιθανών θα επιδράσουν στην ανάλογη αύξηση του τροποσφαιρικού όζοντος στην περιοχή και η γεωδιαμόρφωση να ευνοήσει την παραμονή του για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, καθώς το όζον έχει μεγάλο χρόνο παραμονής ( 0 - 90 ημέρες).
- Το φαινόμενο αυτό, πιθανών θα ενισχύεται και από την μεταφορά ρύπων από το κέντρο της Αθήνας και τις άλλες περιοχές.

## 6.2. Αξιολόγηση - Συμπεράσματα

Η κλιματική αλλαγή με ότι συνεπάγεται για την Ελλάδα, αναμένεται να επηρεάσει όλες τις δραστηριότητες που ευνοούν την παραγωγή αέριων ρύπων, μεταβάλλοντας τις σχετικές εκλυόμενες ποσότητες τους, καθώς θα αλλάξει και η ένταση χρήσης των ενεργειακών πηγών (για υδρογονάνθρακες) (ΤτΕ, 2011<sup>ab</sup>: Giannakopoulos et al. 2011).

Αν προχωρήσουν οι διαδικασίες προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή, συμπεριλαμβάνοντας και το κομμάτι της ενεργειακής προσαρμογής προς πιο φιλικές

για το περιβάλλον μορφές ενέργειας (ΑΠΕ), τότε είναι σίγουρο ότι ο χαρακτήρας της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή θα αλλάξει προς την θετική κατεύθυνση (ΤτΕ, 2011<sup>ab</sup>).

Η στατιστική μοντελοποίηση των αέριων ρύπων για την Δυτική Αθήνα, θα μπορούσε να βοηθήσει στο σχεδιασμό πολιτικών άμεσης μείωσης της σε τοπικό επίπεδο, με την λογική της μείωσης των εκλύσεων και της διαχείρισης πιθανών εξάρσεων (Κασσωμένος, 2001 : ΥΠΕΝ, 2017 : Mc Gregor, 1996 : Vienneau and Briggs, 2013)

Καθώς ήδη εξελίσσονται σε ευρωπαϊκό επίπεδο, προγράμματα μείωσης των ρυπογόνων πηγών ενέργειας, το ερώτημα που παραμένει είναι αν τα αποτελέσματα που θα εξαχθούν, θα ενταχθούν στον πολιτικό σχεδιασμό, γεγονός απαραίτητο για να γίνει οποιοδήποτε βήμα για την άμβλυνση των επιπτώσεων (IPCC, 2014).

Για την Δυτική Αθήνα, το μεγάλο πρόβλημα παραμένει η γεωγραφική της θέση. Επομένως, προκειμένου να βελτιωθεί η ποιότητα του αέρα στην περιοχή, είναι μονόδρομος η αναβάθμιση το περιβάλλοντος χώρου με αύξηση του ποσοστού φυτοκάλυψης τουλάχιστον στο διπλάσιο του σημερινού ποσοστού (4% - 8%) (Bradley, 2011 : Gaitani et al., 2011).

Η περίπτωση ενεργειακής αναβάθμισης του δομημένου περιβάλλοντος, μπορεί να αποδώσει πλήρως στην μείωση των αέριων ρύπων, ειδικά όσον αφορά άμεσα το SO<sub>2</sub>, CO και NO<sub>x</sub>. Όμως οικονομικά είναι δύσκολα εφαρμόσιμη μία τέτοια προσέγγιση και σίγουρα δεν μπορεί να επιτευχθεί σε βραχυπρόθεσμη βάση (Santamouris, Pararoniaris and Mihalakakou, 2007 : Santamouris and Kolokotsa, 2015 Santamouris, Cartalis and Synnefa, 2015).

### 6.3. Προτάσεις

Οι προτάσεις για την διαχείριση μεταβολών της αέριας ρύπανσης για την Δυτική Αθήνα, πρέπει να επικεντρώνονται κατ' αρχήν στους τομείς της μετρίασης των επιπτώσεων στον πληθυσμό και την βελτίωση της ποιότητας ζωής.

Η παράμετρος της υγείας είναι η σημαντικότερη ακόμη και με τα σημερινά δεδομένα, λαμβάνοντας υπ' όψιν το προσδόκιμο επιβίωσης μεταξύ κατοίκων σε αστικές και αγροτικές περιοχές.

Η Δυτική Αττική, θα μπορούσε να αντιμετωπίσει άμεσα το πρόβλημα της τοπικής αέριας ρύπανσης, εφαρμόζοντας ένα πρόγραμμα πεζοδρομήσεων και φυτεύσεων (κυρίως υψηλής φύτευσης) με ανθεκτικά μεσογειακά είδη (αείφυλλα σκληρόφυλλα με ξηροφυτικά χαρακτηριστικά - μακκί, ) θαμνώδη και δενδρώδη που έχει διαπιστωθεί ότι έχουν υψηλότερη αντοχή στους αέριους ρύπους με ελάχιστες εξαιρέσεις ευαισθησίας στην φυτοτοξικότητα του όζοντος (π.χ. *Laurus nobilis*).

Η έρευνα για την μεθοδολογία μοντελοποίησης των αέριων ρύπων με στατιστική προσέγγιση, μπορεί να αποδώσει πολύ πιο γρήγορα αποτελέσματα και πρέπει να συνεχιστεί γιατί οι παράμετροι μεταξύ των μεταβλητών είναι πάρα πολλές. (Mc Gregor, 1996 : Vienneau and Briggs, 2013).

Όπως επίσης, η έρευνα για την καλύτερη δυνατή μεθοδολογία προσαρμογής στις επιπτώσεις από την κλιματική αλλαγή, πρέπει να μείνει στο επίκεντρο του επιστημονικού ενδιαφέροντος, καθώς δεν υπάρχει άλλος τρόπος να αποφευχθούν μελλοντικά προβλήματα στην υγεία των ανθρώπινων πληθυσμών, στο φυσικό και τεχνητό αστικό περιβάλλον (Tsangari et al., 2016).

#### **6.4. Επίλογος**

Το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής είναι μία πραγματικότητα. Τα δεδομένα δεν αμφισβητούνται εύκολα. Μόνο η άρνηση είναι τρόπος να μην αντικρίζεται η πραγματικότητα.

Στην περίπτωση αυτή όμως, όσα έχουν συμβεί, όσα συμβαίνουν και όσα εκτιμάται ότι θα συμβούν, είναι μία πραγματικότητα και ο στουρθοκαμηλισμός δεν βοηθάει στην μείωση της έντασης των αποτελεσμάτων.

Καθώς διεθνώς υπάρχει κινητοποίηση για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, η λογική υποβάλλει ότι πρέπει παράλληλα να υπάρξει και η μέριμνα για τις συνέργιες που θα προκύψουν με το πρόβλημα της αέριας ρύπανσης.

Εφ' όσον προχωρήσει αυτή η προσεγγιστική σκέψη, τότε είναι πιθανών να αποφευχθούν και πολλές άλλες επιπτώσεις που δεν είναι εύκολο να προβλεφθούν, καθώς τα φαινόμενα λειτουργούν και αθροιστικά.

Ας το ευχηθούμε για το καλό των επόμενων γενεών από τις οποίες έχουμε δανειστεί το περιβάλλον που ζούμε σήμερα.

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

## Ξενόγλωσση

- Adams Jonathan, 2007.** *Vegetation-Climature Interaction. How Vegetation Makes the Global Environment.* Springer and Praxis Books in Environmental Sciences, ISBN 978-3-540-32491-1.
- Amiridis V., Zerefos C., Kazadzis S., Gerasopoulos E., Eleftheratos K., Vrekoussis M., Stohl A., Mamouri E. R., Kokkalis P., Papayannis A., Eleftheriadis K., Diapouli E., Keramitsoglou I., Kontoes C., Kotroni V., Lagouvardos K., Marinou E., Giannakaki E., Kostopoulou E., Giannakopoulos C., Richter A., Burrows P. J., Mihalopoulos N., (2012).** *Impact of the 2009 Attica wild fires on the air quality in urban Athens.* Atmospheric Environment, vol 46, pp. 536 - 544.
- Angelino E., Bardeschi A., Colucci A., Gnagnetti M., Gualdi R., Meda M., Tamponi M. 'j and Tebaldi G., (1993).** *Planning model for the assessment of air pollution caused by urban traffic.* The Science of the Total Environment, vol. 134, pp. 9 - 19.
- Ashmore R. M., and Dimitroulopoulou C., (2009).** *Personal exposure of children to air pollution.* Atmospheric Environment, vol. 43, pp. 128 - 141.
- Asimakopoulos D. A., Santamouris M., Farrou I., Laskari M., Saliari M., Zanis G., Giannakidis G., Tigas K., Kapsomenakis J, Douvis C., Zerefos S.C., Antonakakie T., Giannakopoulos C, (2012).** *Modelling the energy demand projection of the building sector in Greece in the 21st century.* Energy and Buildings, vol 49, pp.488 - 498.
- Augustaitis Algirdas, Bytnerowicz Andrzej, Paoletti Elena, (2014).** *Biological reactions of forests to climate change and air pollution.* Environmental Pollution, vol 184, 657 - 658.
- Baldrige A.M., S.J. Hook, C.I. Grove, G. Rivera, (2009).** *The ASTER spectral library version 2.0.* Remote Sensing of Environment, vol 113, pp. 711 - 715.
- Bartzokas A. and D. A. Metaxas, (1995).** *Factor Analysis of Some Climatological Elements in Athens, 1931--1992: Covariability and Climatic Change.* Laboratory of Meteorology, Department of Physics, University of Ioannina, Greece. Theor. Appt. Climatology, vol 52, pp. 195-205.
- Beltman B. Joost, Hendriks Carlijn, Tumb Markus, Schaap Martijn, (2013).** *The impact of large scale biomass production on ozone air pollution in Europe.* Atmospheric Environment, vol 71, pp. 352 - 363.
- Belyazid S, Kurz D, Braun S, Sverdrup H, Rihm B, Hettelingh J-P, (2011).** *A dynamic modelling approach for estimating critical loads of nitrogen based on plant community changes under a changing climate.* Journal of Environmental Pollution, vol 15, pp. 789 - 801.

- Bergknut Magnus, Meijer Sandra, Halsall Crispin, Ågren Anneli, Laudon Hjalmar, Köhler Stephan, C. Jones C. Kevin, Tysklind Mats, Wiberg Karin, (2010).** *Modelling the fate of hydrophobic organic contaminants in a boreal forest catchment: A cross disciplinary approach to assessing diffuse pollution to surface waters.* Environmental Pollution, vol 158, pp. 2964 - 2969.
- Bernard M. Susan, Samet M. Jonathan, Grambsch Anne, Ebi L. Kristie and Romieu Isabelle, (2001).** *The Potential Impacts of Climate Variability and Change on Air Pollution-Related Health Effects in the United States.* Environmental Health Perspectives, vol. 109. sup. 2, May 2001.
- Bozon N, C. Sinfort C, Mohammadi B, (2010).** *A GIS-based atmospheric dispersion model.* STIC & Environnement, Jun 2009, Calais, France. 17 p., 2009. <hal-00468863>.
- Bradley D. Rowe, (2011).** *Green roofs as a means of pollution abatement.* Environmental Pollution, vol 159, pp. 2100 - 2110.
- Breitner Breither, Wolf Kathrin, Devlin B. Robert, Diaz-Sanchez David, Peters Annette, Schneider Alexandra, (2014).** *Short-term effects of air temperature on mortality and effect modification by air pollution in three cities of Bavaria, Germany: A time-series analysis.* Science of the Total Environment, pp. 485 - 486 and 49 - 61.
- Burkart Katrin, Schneider Alexandra, Breitner Susanne, Hossain Khan Mobarak, Krämer Alexander, Endlicher Wilfried, (2011).** *The effect of atmospheric thermal conditions and urban thermal pollution on all-cause and cardiovascular mortality in Bangladesh.* Environmental Pollution, vol 159, pp. 2035 - 2043.
- Bytnerowicz Andrzej, Arbaugh Michael, Fenn Mark, Gimeno Benjamin Sanchez, Paoletti Elena, (2008).** *Introduction: Forests under anthropogenic pressure - Effects of air, pollution, climate change and urban development.* Environmental Pollution, vol 155, pp. 389 - 390.
- Bytnerowicz Andrzej, Omasa Kenji, Paoletti Elena, (2007).** *Integrated effects of air pollution and climate change on forests: A northern hemisphere perspective.* Environmental Pollution, vol 147, pp. 438 - 445.
- Cape J. N., (2008).** *Surface ozone concentrations and ecosystem health: Past trends and a guide to future projections.* Science of The Total Environment, vol 400, pp. 257 - 269.
- Cape J.N. , (2008).** *Interactions of forests with secondary air pollutants: Some challenges for future research.* Environmental Pollution, vol. 155, pp. 1 - 397.
- Capstick and Pidgeon, 2013.** *What is climate change scepticism? Examination of the concept using a mixed methods study of the UK public.* Global Environmental Change, vol 24 (2014).
- Carmichael G.R., Song C.H., Sunwoo Y., Ohara T., Lau A., Koo Y.S, (2012).** *Air Quality Modeling in Asia 2011.* Atmospheric Environment, vol 58, pp. 2 - 4.

- Chang H.H., Hao H, Sarnat S.E., (2014).** *A statistical modeling framework for projecting future ambient ozone and its health impact due to climate change.* Atmospheric Environment, vol 89, pp. 290 - 297.
- Charalampopoulos Ioannis, Kiokakis Lazaros, Chronopoulou – Sereli, Kannavou Aikaterini, (2006).** *Bioclimatic performance of several sites which differ on their green coverage in Athens, Greece.* Lab. of General and Agricultural Meteorology, Agricultural University of Athens. Sixth International conference on Urban Climate.
- Christodoulakis John, Tzanis G. Chris, Varotsos A. Costas, Martin, Tidblad Johan, (2017).** *Impacts of air pollution and climate on materials in Athens, Greece.* Atmosphere. Chemistry Physics, vol. 17, pp. 439 - 448.
- Cohen Pninit, Potchter Oded, Schnell Izhak, (2014).** *The impact of an urban park on air pollution and noise levels in the Mediterranean city of Tel-Aviv, Israel.* Environmental Pollution, vol. 195, pp. 73 - 83.
- Coleman L., Martin D., Varghese S, Jennings S. G., O’Dowd C.D., (2013).** *Assessment of changing meteorology and emissions on air quality using a regional climate model: Impact on ozone.* Atmospheric Environment, vol 69, 198 - 210.
- Colome D. Steve, Kado Y. Norman, Jaques Peter and Kleinman Michael, (1992).** *Indoor -Outdoor air pollution relations particulate matter less than 10 µm in aerodynamic diameter (PM10) in homes of asthmatics.* Atmosphere Environment, vol 26A, No 12, pp. 2173 - 2178.
- Cornell E. Sarah, (2011).** *Atmospheric nitrogen deposition: Revisiting the question of the importance of the organic component.* Environmental Pollution, vol 159, 2214 - 2222.
- D’Amato G., Cecchi I., D’Amato M., Liccardi G., (2010).** *Urban Air Pollution and Climate Change as Environmental Risk Factors of Respiratory Allergy: An Update.* J Investig Allergol Clin Immunol, vol. 20(2), pp. 95 - 102.
- Diakakis M., Foumelis M., Gouliotis L., Lekkas E., (2011).** *Preliminary flood hazard and risk assessment in Western Athens metropolitan area.* Advances in the Research of Aquatic Environment, vol. 1, DOI 10.1007/978-3-642-19902-8.
- Dimitrakopoulos P. Alexandros, Vlahou M., Anagnostopoulou Gh. C., Mitsopoulos D. I., (2013).** *Impact of drought on wildland fires in Greece: implications of climatic change?.* Climatic Change, vol 109: pp.331 - 347.
- Dimoudia A., Kantzioura A., Zorasa S., Pallas C., Kosmopoulos P., (2013).** *Investigation of urban microclimate parameters in an urban center.* Energy and Buildings, vol. 64, pp. 1 - 9.
- Dmuchowski Wocjciech, Bytnerowicz Andrzej, (2009).** *Long-term (1992–2004) record of lead, cadmium, and zinc air contamination in Warsaw, Poland: Determination by chemical analysis of moss bags and leaves of Crimean linden.* Environmental Pollution, vol 157, pp. 3413 - 3421.
- Erisman Jan Willem, Vermeulen Alex, Hensena Arjan, Flechandra Chris, Damngen**

- Ulrich, Fowler David, Sutton Mark, Grunhage Ludger, Tuovinen Juha-Pekka, (2005).** *Monitoring and modelling of biosphere/atmosphere exchange of gases and aerosols in Europe.* Environmental Pollution, vol 133, pp. 403 - 413.
- Fariborz Haghghat, Parham A. Mirzaei, (2011).** *Impact of non-uniform urban surface temperature on pollution dispersion in urban areas.* Buildings Simulation, vol 4, pp. 227 - 244. DOI 10.1007/s12273-011-0035-6.
- Feidas H., Nouloupoulou Ch., Makrogiannis T., and Bora-Senta E., (2007).** *Trend analysis of precipitation time series in Greece and their relationship with circulation using surface and satellite data: 1955–2001.* Theor. Appl. Climatol., vol. 87, pp. 155 - 177.
- Fleischmann F., Raidl S., Oíwald W.F., (2010).** *Changes in susceptibility of beech (Fagus sylvatica) seedlings towards Phytophthora citricola under the influence of elevated atmospheric CO2 and nitrogen fertilization.* Environmental Pollution, vol 158, pp. 1051 - 1060.
- Founda D. and Giannakopoulos C., (2009).** *The exceptionally hot summer of 2007 in Athens, Greece - A typical summer in the future climate ?.* IERSD, National Observatory of Athens Global and Planetary Change, vol, 67.
- Freeman C., Lock M.A. and Reynolds B., (1993).** *Climatic change and the release of immobilized nutrients from Welsh riparian wetland soils.* Ecological Engineering, vol. 2, pp. 367 - 373.
- Gaitani N., Spanou A., Saliari M., Synnef A., Vassilakopoulou K., Papadopoulou K., Pavlou K., Santamouris M., Papaioannou M. and Lagoudaki A., (2011).** *Improving the microclimate in urban areas : a casestudy in the centre of Athens.* Building Serving Engineering. Residence. Technology, vol 32 (1), pp. 53 - 71.
- Georgakis Ch., Santamouris M., (2006).** *Experimental investigation of air flow and temperature distribution in deep urban canyons for natural ventilation purposes.* Energy and Buildings, vol 38, pp. 367–376.
- Giannakopoulos Christos, Kostopoulou Effie, Varotsos V. Konstantinos, Tziotziou Kostas, Plitharas Achilleas, (2011).** *An integrated assessment of climate change impacts for Greece in the near future.* Regional Environment Change, vol 11, pp. 829 - 843.
- Giannopoulou K., Livada I., Santamouris M., Saliari M., Assimakopoulos M., Caouris Y., (2014).** *The influence of air temperature and humidity on human thermal comfort over the greater Athens area.* Sustainable Cities and Society, vol 10, pp. 184 - 194.
- Gizani A.B. N, Papathanasopoulos Kimon, Vatikiotis Leonidas, Zervas Efthimios (2011).** *Impact of solar activity on climate changes in Athens region, Greece.* Hellenic Open University, School of Sciences and Technology, Patra, Greece. Reserchegate.net.
- Greenpeace, 2006.** *Climate change and the Mediterranean region.* Report 2006, by Jacqueline Karas.

- H. Feidas, A.F. Karagiannidis, S. Keppas, G. Marougianni, M. Vaitis, Th. Kontos, I. Kioutsioukis, D. Melas, P. Zanis, and E. Anadranistakis, (2012). *Relating Climatic Variables to Geographic Features in Greece*. Advances in Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics, Springer Atmospheric Sciences, DOI 10.1007/978-3-642-29172-2\_61
- Haidong Kan, Renjie Chen and Shilu Tong, (2012).** *Ambient air pollution, climate change, and population health in China*. Environment International vol 42, pp.10 - 19.
- Han Jie, Yang W., Zhou J., Zhang G., Zhang Q. and Moschandreas J. D, (2009).** *A comparative analysis of urban and rural residential thermal comfort under natural ventilation environment*. Energy and Buildings, vol 41, pp. 139 - 145.
- Han Xiao, Zhang Meigen, Tao Jinhua, Wang Lili, Gao Jian, Wang Shulan, Chai Fahe, (2013).** *Modeling aerosol impacts on atmospheric visibility in Beijing with RAMS-CMAQ*. Atmospheric Environment, vol 72, pp. 177 - 191.
- Harmens Harry, Mills Gina, Emberson D. Lisa, Ashmore R. Mike, (2007).** *Implications of climate change for the stomatal flux of ozone: A case study for winter wheat*. Environmental Pollution, vol. 146, pp. 763 - 770.
- Henneman R.F. Lucas, Rafaj Peter, Annegarn J. Harold, Klausbruckner Carmen, (2016).** *Assessing emissions levels and costs associated with climate and air pollution policies in South Africa*. Energy Policy vol 89, pp. 160 - 170.
- Horbert M. and Kirchgeorg A., (1982).** *Climatic and Air-hygienic Aspects in the Planning of Inner-city Open Spaces: Berlin Grosser Tiergarten*. Energy and Buildings, vol 5, pp. 11 - 22.
- I.P.C.C., (2005).** *Carbon Dioxide Capture and Storage. A Special Report of Working Group III. of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Montreal, Canada, 22-24 September 2005.
- I.P.C.C., (2007<sup>a</sup>).** *Fourth Assessment Report Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change. Summary for Policymakers*. Working Group III contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change. Approved at the 9th Session of Working Group III of the I.P.C.C., Bangkok, Thailand, 30 April - 4 May 2007.
- I.P.C.C., (2007<sup>b</sup>).** Climate Change Work Groups I – III, Synthesis Reports [4<sup>η</sup> Έκθεση (AR4)]
- I.P.C.C., (2014.).** *Climate Change. Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. I.P.C.C., Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Jakob J. D. and Winner A. D., (2009).** *Effect of climate change on air quality*. Harvard University, U.S. Environmental Protection Agency. Journal of Atmospheric Environment vol 43, pp. 51 – 63.

- Kapsomenakis J., Kolokotsa D., Nikolaou T, Santamouris M., Zerefos S.C., (2013).** *Forty years increase of the air ambient temperature in Greece: The impact on buildings.* Energy Conversion and Management, vol 74, pp. 353–365.
- Kapsomenakis J., Nastos P.T., Douvis C., Eleftheratos K., Zerefos C. C., (2011).** *Estimation of precipitation change over Greece during the 21st century, using RCM simulations.* Advances in the Research of Aquatic Environment, vol. 1, DOI 10.1007/978-3-642-19902-8.
- Kapsomenakis J., Nastos T. P., Douvis K., Philandras M. C., Tselioudis G., and Zerefos S. C., (2012).** *Regional Climate Models. Future Simulations of Mean Air Temperature in Greece.* Advances in Meteorology Climatology and Atmospheric Physics. Springer Atmospheric Sciences, DOI 10.1007/978-3-642-29172-2\_70.
- Katsoulis D. Bas., (1987).** Indications of the Change of Climate from the Analysis of Air Temperature Time Series in Athens, Greece. Climatic Change, vol 10, pp. 67-79.
- Katsoulis D. Basilis and Kambetzidis D. Harry, (1989).** *Analysis of the long-term precipitation series at Athens, Greece.* Climatic Change, vol 14, Issue 3, pp. 263 - 290.
- Koo Ah Kyung, Pattena C. Bernard, Teskey O Robert, Creed F. Irena, (2014).** *Climate change effects on red spruce decline mitigated by reduction in air pollution within its shrinking habitat range.* Ecological Modelling, vol 293, pp. 81 - 90.
- Kotrikla A. M., Korras-Carraca M. B., Dimou K., Triantafyllou E., Fameli K. M., Psanis C., Floutsi A. A., Biskos G., (2017).** *Air pollution modeling in a North Aegean city: effects of the transportation system on local air quality.* ResearchGate. Perspectives on Atmospheric Sciences, p.p. 1093 - 1098. DOI : 10.1007/978-3-319-35095-00\_156.
- Kouli Katerina, (2012).** *Vegetation development and human activities in Attiki (SE Greece) during the last 5,000 years.* Veget. Histor. Archaeol., vol 21, pp. 267 - 278.
- Koutsoyiannis Demetris and Baloutsos George, (2000).** *Analysis of a long record of annual maximum rainfall in Athens, Greece, and design rainfall inferences.* Natural Hazards vol, 29, pp. 29 - 48.
- Kumar Prashant, Imam Boulent, (2013).** *Footprints of air pollution and changing environment on the sustainability of built infrastructure.* Science of the Total Environment, vol 444, pp. 85 - 101.
- Kumar Prashant, Khare Mukesh, Harrison M. Roy, Bloss J. William, Lewis C. Alastair, Coe Hugh, (2015).** *New directions: Air pollution challenges for developing megacities like Delhi.* Atmospheric Environment, vol. 122, pp. 657 - 661.
- Lasda Ourania, Dikou Angela, Papapanagiotou Evangelos, (2010).** *Flash Flooding in Attika, Greece: Climatic Change or Urbanization?* Royal Swedish Academy of Sciences, 2010. AMBIO (2010), vol 39, pp. 608 - 611. DOI 10.1007/s13280-010-0050-3.
- Lee O. Derek, (1990).** *The Influence of Wind Direction, Circulation Type and Air Pollution Emissions on Summer Visibility Trends in Southern England.* Atmospheric

Environment, vol. 24A, No, 1, pp. 195 - 201.

**Leonelli Giovanni, Battipaglia Giovanna, Siegwolf T.W. Rolf, Saurer Matthias, U Morra di Cella Umberto, Cherubini Paolo, Pelfini Manuela, (2012).** *Climatic isotope signals in tree rings masked by air pollution: A case study conducted along the Mont Blanc Tunnel access road (Western Alps, Italy).* Atmospheric Environment, vol 61, pp. 169 - 179.

**Livada I., Santamouris M., and Assimakopoulos N. M., (2007).** On the variability of summer air temperature during the last 28 years in Athens. Journal of Geophysical Research, vol. 112. D12103.

**Lovelock J. E., (1971).** *Air pollution and climatic change.* Atmospheric Environment~ Pergamon Press 1971, vol. 5, pp. 403 -411.

**Madaniyazi Lisa, Guo Yuming, Yu Weiwei, Tong Shilu, (2015).** *Projecting future air pollution-related mortality under a changing climate: progress, uncertainties and research needs.* Environment International, vol. 75, pp. 21 - 32.

**Mamara A. & Argiriou A. A. & Anadranistakis M., (2016).** *Recent trend analysis of mean air temperature in Greece based on homogenized data.* Theor. Appl. Climatol. vol. 126, pp. 543 - 573.

**Markiewicz M. T., (2012).** *A review of mathematical models for the atmospheric dispersion of heavy gases. Part I. A classification of models.* Faculty of Environmental Engineering, Warsaw University of Technology . Ecol Chem Eng S., 2012; vol. 19(3): pp 297-314.

**Marougianni G., Melas D., Kioutsioukis I., Feidas H., Zanis P., and Anadranistakis E., (2012).** *Trend Analysis for Climatic Time Series for Greece.* Advances in Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics, Springer Atmospheric Sciences.

**Matzarakis A and Christina Endler, (2009).** *Climate change and urban bioclimate: Adaptation possibilities.* The seventh International Conference on Urban Climate, 29 June - 3 July 2009, Yokohama, Japan.

**Mavrakis A., (2012).** *Climatic Classification of an Industrial Area of Eastern Mediterranean (Thriassio Plain: Greece).* Climatology and Atmospheric Physics, Springer Atmospheric Sciences, DOI 10.1007/978-3-642-29172-2\_85, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

**Mavromatis T, (2011).** *Changes in exceptional hydrological and meteorological weekly event frequencies in Greece.* Climatic Change vol 110, pp. 249 - 267.

**Mc Carthy P. Mark., Best j. Martin and Betts A. Richard A, (2010).** *Climate change in cities due to global warming and, pp. 1 urban effects.* Geophysical Research letters, vol. 37, L09705, doi:10.1029/2010GL042845, 2010- 5.

**Mc Gregor, (1996).** *Identification of air quality affinity areas in Birmingham, UK.* Applied Geography, vol. 16 (2), pp. 109–22.

- Megalovasilis P., Kalimeris A., Founda D., Giannakopoulos C., (2011).** *Climatic modelling and groundwater recharge affecting future water demands in Zakynthos Island, Ionian Sea, Greece.* Advances in the Research of Aquatic Environment, vol. 1, DOI 10.1007/978-3-642-19902-8.
- Menichini Eduardo, (1992).** *Urban air pollution by polycyclic aromatic hydrocarbons: levels and sources of variability.* The Science of the Total Environment, vol. 116, pp. 109 - 135.
- Mihalakakou Giouli, Floca A. Helena, Santamouris Mathaios, (2002).** *Application of Neural Networks to the Simulation of the Heat Island over Athens, Greece, Using Synoptic Types as a Predictor.* Journal of Applied Meteorology, vol. 41, pp. 519 - 527.
- Milionis E. and Davies D. T., (1994).** *Regression and Stochastic Models for Air Pollution - I. Review, Comments and Suggestions.* Atmospheric Environment, vol. 28, pp. 2801 - 2810.
- Moriarty Patrick and Honnery Damon, (2008).** *Mitigating greenhouse: Limited time, limited options.* Energy Policy, vol 36, pp. 1251 - 1256.
- Morna Isaac, Detlef P.van Vuuren, (2009).** *Modeling global residential sector energy demand for heating and air conditioning in the context of climate change.* Energy Policy, vol 37, pp. 507 - 521.
- Nastos T. P., Matzarakis P.A., (2008).** *Variability of tropical days over Greece within the second half of the twentieth century.* Theor. Appl. Climatol., vol 93, 75 - 89.
- Neumann J., (1985).** *Climatic change as a topic in the classical Greek and Roman literature.* Climatic Change, vol 7, pp. 441 - 454. 0165-0009/85.15.
- Odum E., (1971).** *Fundamentals of Ecology.* Thrid Edition. Saunders College Publishing, Philadelphia. ISBN 0-7216-6941-7.
- Oliver E. John, (2005).** *Encyclopaedia of World Climatology.* Springer, 2005, ISBN-13 978-1-4020-3266-0 (e-book) Springer Dordrecht, Berlin, Heidelberg, New York.
- Ortiz Rodomiro, Sayre D. Kenneth, Govaerts Bram, Gupta Raj, Subbarao G. V., Ban Tomohiro, Hodson David, Dixon M. John, J. Ortiz-Monasterio Ivan, Reynolds Matthew, (2008).** *Climate change: Can wheat beat the heat?.* Agriculture, Ecosystems and Environment, vol 126, pp. 46 - 58.
- Paoletti E, Schaub M, Matyssek R, Wieser G, Augustaitis A, Bastrup-Birk A. M, Bytnerowicz A, Gunthardt-Goerg, Muller-Starck G.M.S., Serengil Y, (2010).** *Advances of air pollution science: From forest decline to multiple-stress effects on forest ecosystem services.* Environmental Pollution, vol 158, p.p 1986 - 1989.
- Paoletti E., (2006).** *Impact of ozone on Mediterranean forests: A review.* Environmental Pollution, vol. 144, 463 - 474.
- Paoletti Elena, (2009).** *Ozone and urban forests in Italy.* Environmental Pollution, vol 157, pp. 1506 - 1512.

- Pattacini Laurence, (2012).** *Climate and urban form.* Urban design International, vol 17, p.p 106 - 114. doi:10.1057/udi.2012.2.
- Percy K. E. and Karnosky D.F., (2007).** *Air quality in natural areas: Interface between the public, science and regulation.* Environmental Pollution, vol 149, pp.256 - 267.
- Purvis O. W., (2007).** *Lichens in a changing pollution environment: An introduction.* Environmental Pollution, vol 146, pp. 291 - 292.
- Renjie Chen, Roger D. Peng, Xia Meng, Zhijun Zhou, Bingheng Chen, Haidong Kan, (2013).** *Seasonal variation in the acute effect of particulate air pollution on mortality in the China Air Pollution and Health Effects Study (CAPES).* Science of the Total Environment, vol. 450-451, pp. 259 - 265.
- Santamouris M., Paraponiaris K., Mihalakakou G., (2007).** *Estimating the ecological footprint of the heat island effect over Athens, Greece.* Climatic Change, vol 80, pp. 265 - 276. DOI 10.1007/s10584-006-9128-0.
- Santamouris Matheos, Cartalis Constantinos, Synnefa A., (2015).** *Local urban warming, possible impacts and a resilience plan to climate change for the historical center of Athens, Greece.* Sustainable Cities and Society, vol. 19, pp. 281–291.
- Santamouris Mattheos, Kolokotsa Dionysia, (2015).** *On the impact of urban overheating and extreme climatic conditions on housing, energy, comfort and environmental quality of vulnerable population in Europe.* Energy and Buildings, vol 98, 125 - 133.
- Sarbeen J. Insira and Dr. Gheena S, (2017).** *Microbial Variation in Climatic Change and its Effect on Human Health.* Research J. Pharm. and Tech., vol 9.
- Satterthwaite D., Huq S, Pelling M, Reid H, Romero Lankao P.R., (2007).** *Adapting to Climate Change in Urban Areas The possibilities and constraints in low- and middle-income nation.* IIED's Human Settlements Discussion Paper Series. Climate Change and Cities - 1. Working paper. ISBN: 978-1-84369-669-8.
- Shaharuddin Ahmad, (1990).** *Urban Air Pollution and the Occurrence of Bronchitis in Kuala Lumpur, Malaysia.* Energy and Buildings, vol. 15 - 16, pp. 775 - 790.
- Sicard Pierre, Augustaitis Algirdas, Belyazid Salim, Calfapietra Carlo, De Marco Alessandra, Fenn Mark, Bytnerowicz Andrzej, Grulke Nancy, He Shang, Matyssek Rainer, Serengil Yusuf, Wieser Gerhard, Paoletti Elena, (2016).** *Global topics and novel approaches in the study of air pollution, climate change and forest ecosystems.* Environmental Pollution, vol 213, pp. 977 - 987.
- Skoulika Fotini, Mattheos Santamouris Matahaios, Kolokotsa Dionisia, Boemi Natlia, (2014).** *On the thermal characteristics and the mitigation potential of a medium size urban park in Athens, Greece.* Landscape and Urban Planning, vol 123, pp. 73– 86.

- Stathopoulou E., Mihalakakou G., Santamouris M. and Bagiorgas S. H., (2008).** *On the impact of temperature on tropospheric ozone concentration levels in urban environments.* *J. Earth Syst. Sci.*, vol 117, No. 3, June 2008, pp. 227 - 236.
- Syrakov D., Spiridonov V., Ganev K., Prodanova M., Bogatchev A., Miloshev N., Slavov K., Katragkou E., Melas D., Poupkou A. and Markakis K., (2010).** *Exploiting GRID for Model Estimates of Regional Climate Changes and Its Impact on the Air Quality of Bulgaria.* AIP Conference Proceedings 1301, 669 (2010); doi: <http://dx.doi.org/10.1063/1.3526669>.
- Syrakov Dimitrier, Spiridonov Valery, Prodanova Maria, Bogatchev Andrey, Miloshev Nikolai, Ganev Kostadin, Katragkou Eleni, Melas Dimitrios, Poupkou Anastasia, Markakis Kostas, San Jose Roberto, Pérez Juan Luiz, (2011).** *A system for assessment of climatic air pollution levels in Bulgaria: description and first steps towards validation.* *International of Journal. Environment and Pollution*, vol. 46, Nos. 1/2, 2011, DOI: 10.1504/IJEP.2011.042606, Research Gate.
- Tidblad Johan, (2012).** *Atmospheric corrosion of metals in 2010 - 2039 and 2070 - 2099.* *Atmospheric Environment*, vol 55, pp. 1 - 6.
- Tripathi A. K. and Gautam Mukesh (2007).** *Biochemical parameters of plants as indicators of air pollution.* *Journal of Environmental Biology*, vol 28(1), pp. 127 - 132. Research Gate, Jan 2007.
- Tsangari H., A.K. Paschalidou, A.P. Kassomenos, S. Vardoulakis, C. Heaviside, K.E. Georgiou, E.N. Yamasaki, (2016).** *Extreme weather and air pollution effects on cardiovascular and respiratory hospital admissions in Cyprus.* *Science of the Total Environment*, vol 542, 247–253.
- U.N.E.P., 2010.** *Impact of climate change on marine and coastal biodiversity in the Mediterranean Sea Current state of knowledge.* United Nations Environment Programm, Mediterranean Action Plan. RAC/SPA, MAP.
- Ulrich B., (1984).** *Effects of Air Pollution on Forests Ecosystems and Waters - The Principles Demonstrated at a case Study in Central Europe.* *Atmospheric Environment*, vol. 18. (3), pp. 621 - 628.
- Vienneau Danielle, Briggs J. David (2013).** *Delimiting affinity zones as a basis for air pollution mapping in Europe.* *Environment International*, vol. 51. pp. 106–115.
- Wang Jin-xia, Huang Ji-kun and Yan Ting-ting, (2013).** *Impacts of Climate Change on Water and Agricultural Production in Ten Large River Basins in China.* *Journal of Integrative Agriculture*, vol 12, pp. 1267-1278.
- Wang Xiao-ping, Jiu-jiang Sheng, Ping Gong, Yong-gang Xue, Tan-dong Yao, Kevin C. Jones, (2012).** *Persistent organic pollutants in the Tibetan surface soil: Spatial distribution, air-soil exchange and implications for global cycling.* *Environmental Pollution* 170, vol, pp. 145 - 151.
- WHO, (1999).** *Monitoring ambient air quality for health impact assessment.* Copenhagen, Regional Office for Europe.

**WMO, (2016).** *GreenHouse Gas Bulletin. The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2015.* No. 12 / 24 October, ISSN 2078 - 0796.

**Zar H. Jerrold, 1984.** *Biostatistical Analysis. Second Edition.* Prentice - Hall, Inc., A Simon & Schuster Company, Englewood Cliffs, New Jersey 07632. ISBN 0-13-077925-3

**Zerefos Ch. S. and Zerefos E. C., (1978).** *Climatic Change in Mycenaean Greece: A Citation to Aristotle.* Research Center for Atmospheric Physics and Climatology Academy of Athens. Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B, vol 26, p.p. 297-303.

**Zhao Gaofeng, Zijian Wang, Michael H. Dong, Kaifeng Rao, Jianping Luo, Donghong Wang, Jinmia Zha, Shengbia Huang, Yiping Xu, Mei Ma, (2008).** *PBBs, PBDEs, and PCBs levels in hair of residents around e-waste disassembly sites in Zhejiang Province, China, and their potential sources.* Science of the Total Environment, vol. 397, , pp. 46 - 57.

**Zlatev Zahari, Moseholm Lars, (2008).** *Impact of climate changes on pollution levels in Denmark.* Ecological Modelling, vol 217, pp. 305–319.

## Ελληνόγλωσση

**Αριανούτσου - Φαραγγιτάκη Μ., Γιαννίτσaros Α., και Κουμπλή - Σοβαντζή, Λ. (2003).** *Τα Χερσαία Οικοσυστήματα της Ελλάδας.* Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Βιολογίας, Τομέας Οικολογίας και Ταξινόμησης.

**Βάγια Αικατερίνη, (2010).** *Αποτίμηση της επιβάρυνσης σε αιωρούμενα σωματίδια από διεργασίες μεταφόρτωσης στερεών στον ΟΛΘ.* Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών. ΠΜΣ "Προστασία Περιβάλλοντος και Βιώσιμη Ανάπτυξη. Διπλωματική Εργασία. Θεσσαλονίκη, 2010.

**Δημοπούλου Μαρία, (2007).** *Προσδιορισμός εκπομπών αέριων ρύπων στα αστικά κέντρα της Ελλάδας.* Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών στις Περιβαλλοντικές Επιστήμες. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πάτρα 2007.

**Δουβρή Ειρήνη, (2009).** *Ατμοσφαιρική ρύπανση και επίδρασή της στην κλιματική αλλαγή.* Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών, ΠΜΣ στην Ναυτιλία. Διπλωματική Εργασία.

**Δούση Εμμανουέλλα, 2017.** *Κλιματική Αλλαγή. Μικρές Εισαγωγές.* Εκδόσεις Κυριάκος Παπαδόπουλος Α.Ε., Ιανουάριος 2017, ISBN 978-960-569-626-9.

**Ε.Κ.Π.Α. και Α.Σ.Δ.Α., (2010).** *Επιχειρησιακή οργάνωση των Δήμων του ΑΣΔΑ για την Πολιτική Προστασία και την αντιμετώπιση Φυσικών και Περιβαλλοντικών κινδύνων : Α' Φάση, Δράσεις μείωσης πλημμυρικού κινδύνου.* Εφαρμοσμένο Ερευνητικό Πρόγραμμα, Επιστημονικός Υπεύθυνος : Ευθύμιος Λέκκας, Καθηγητής Δυναμικής Τεκτονικής Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος.

- Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (EMY), (2011).** *Στοιχεία Μετεωρολογίας.* Εσωτερική Έκδοση, Αναστασίου Υ.
- ΕΛ.ΣΤΑΤ, (2015).** *Η Ελλάδα με Αριθμούς.* Έκδοση Ελληνικής Στατιστικής Αρχής, Ιούλιος - Σεπτέμβριος, 2015.
- Ζανής Πρόδρομος, (2014).** *Σημειώσεις για την Ρύπανση και την Χημεία της Ατμόσφαιρας.* Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Κλιματολογίας και Μετεωρολογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Έκδοση Πανεπιστημίου, Θεσσαλονίκη 2014.
- Ζιώμας Ι. και Ρεμουντάκη Ε., (2003).** *Φυσικό Περιβάλλον και Ρύπανση. Η Ατμόσφαιρα ως Αποδέκτης Αποβλήτων.* Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας. ΠΜΣ Διαχείριση Αποβλήτων. Τόμος Γ. Εκδόσεις ΕΑΠ. Πάτρα, 2003.
- Καραμπουρνιώτης Γ., (2003).** *Φυσιολογία Καταπονήσεως των Φυτών.* Εκδόσεις Έμβρυο. ISBN 9608002141
- Καραμάνος Α, (2012).** *Γενική Γεωργία.* Εκδόσεις Παπαζήση, δεύτερη έκδοση, ISBN 978-960-02-2623-2.
- Κασσωμένος Α. Π., (2001).** *Χαρτογραφική Απεικόνιση της Διασποράς Ατμοσφαιρικών Ρύπων στη ν Αθήνα με την Βοήθεια Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (ΓΣΠ).* Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Τμήμα Φυσικής, Εργαστήριο Μετεωρολογίας. Ε3Κ015
- Κατσαφάδος Πέτρος και Μαυροματίδης Ηλίας, (2010).** *Αρχές Μετεωρολογίας - Κλιματολογίας.* Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας. Ακαδημαϊκές Εκδόσεις.
- Κατσούλης Δ. Β., (1993).** *Μαθήματα Γενικής Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας.* Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Τμήμα Φυσικής. Πανεπιστημιακές Παραδόσεις
- Καψανάκη - Γκότση Ε., Ρουσομουστακάκη Μ., Τάφας Π., Νταλής Δ., Μπιτις Ι., (1997).** *Εφαρμοσμένη Οικολογία.* Πανεπιστήμιο Αθηνών, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Βιολογίας. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις.
- Λεοντιάδης Λεόντιος, (2015).** *Έκθεση Αξιολόγησης των Μετρήσεων Συγκεντρώσεων Διοξινών (PCDDs) Φουρανίων (PCDFs), Πουχλωτιωμένων Διφαινυλίων (PCBs) και Αιωρούμενων Σωματιδίων PM-10, και PM-2,5 σε δείγματα ατμοσφαιρικού αέρα στην περιοχή πέριξ του καιόμενου Κέντρου Διαλογής Ανακυκλώσιμων Υλικών (ΚΔΑΥ) στην θέση Πεύκο Μαυράκη στον Ασπρόπυργο.* Εθνικό Κέντρο Έρευνας Φυσικών Επιστημών "ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ", Εργαστήριο Φασματομετρίας Μάζας και Ανάλυσης Διοξινών, Έκθεση προς Περιφέρεια Αττικής, Δ/ση Περιβάλλοντος.
- Λυμπεροπούλου Κυριακή, (2006).** *Χρήση νευρωνικών δικτύων, για την πρόγνωση της συγκέντρωσης τροποσφαιρικού όζοντος σε αστικό περιβάλλον.* Πανεπιστήμιο Πατρών, Σχολή Θετικών Επιστημών, Διατμηματικό ΠΜΣ στις Περιβαλλοντικές Επιστήμες. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πάτρα, Ιούνιος 2006,

- Μελάς Δημήτρης, 2007.** *Φυσική Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος.* Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Φυσικής, Εργαστήριο Φυσικής της Ατμόσφαιρας. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις.
- Μεντζελόπουλος Ελευθέριος, (2010).** *Μελέτη της Αέριας Ρύπανσης στην Ελλάδα με την χρήση Δορυφορικών Εκτιμήσεων.* Πανεπιστήμιο Πατρών, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Φυσικής, Εργαστήριο Φυσικής της Ατμόσφαιρας. Διατμηματικό ΠΜΣ στις Περιβαλλοντικές Επιστήμες. Διπλωματική Εργασία.
- Μουσιόπουλος Ν., (1999).** *Μαθηματικά Μοντέλα Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης.* Β΄ Έκδοση Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών
- Παπαδοπούλου Γ., Γεωργίου Ε., Μαμάσης Ν. Μιμίκου Μ, (2009)** *Εκτίμηση χωρικής κατανομής κλιματικών και βιοκλιματικών δεικτών στην περιοχή της Αττικής με χρήση δεδομένων του Δικτύου METEONET.* Τεχνικά Χρονικά, Ι, Αθήνα, Ιανουάριος 2009.
- Regato Pedro, 2010.** *Τα Μεσογειακά Δάση απέναντι στην Παγκόσμια Κλιματική Αλλαγή.* Αρχική έκδοση IUCN, Gland, , Switzerland and Malaga, Spain. Για την ελληνική έκδοση Κορακάκη Ευαγγελία WWF Ελλάς (2008), ISBN 978-960-7506-13-9.
- Ridge Irene., (2005).** *Φυσιολογία Φυτών.* Εκδόσεις ΙΩΝ. Μετάφραση στα ελληνικά από τον αρχικό τίτλο "Plants" by Oxford University Press / The Open University. ISBN 960-411-522-7, σελ. 145 - 147.
- Σεβαστός Δημήτριος, (2015).** *Φυσικοχημική Μελέτη της Δράσης Επιφανειοδραστικών Ουσιών στην Ανταλλαγή Αέριων Ρύπων μεταξύ Υδάτινου και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος.* Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Χημείας, Τομέας Φυσικοχημείας, Ανόργανης και Πυρηνικής Χημείας. Διδακτορική Διατριβή.
- Σούφλα Ευαγγελία, (2013).** *Μελέτη Ατμοσφαιρικών Ρύπων στην Πόλη της Πάτρας με τη Μέθοδο της Ανάλυσης σε Κύριες Συνιστώσες.* Πανεπιστήμιο Πατρών, Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών στις Περιβαλλοντικές Επιστήμες. Μεταπτυχιακή Διατριβή.
- Shu H. Frank, (2003).** *Αστροφυσική. Δομή και εξέλιξη του Σύμπαντος. Τόμος II : Γαλαξίες - Ηλιακό Σύστημα.* Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, ISBN 960-7309-17-0, σελ. 194 - 265.
- Τράπεζα της Ελλάδος, Επιτροπή Μελέτης της Κλιματικής Αλλαγής (2011<sup>a</sup>).** *Οι Περιβαλλοντικές, Οικονομικές και Κοινωνικές Επιπτώσεις της Κλιματικής Αλλαγής στην Ελλάδα.* Επιμέλεια έκδοσης, σελιδοποίηση, εκτύπωση και βιβλιοδεσία: Ίδρυμα Εκτύπωσης Τραπεζογραμματίων και Αξιών. ISBN 978-960-7032-49-2. Ιούνιος 2011.
- Τράπεζα της Ελλάδος, Επιτροπή Μελέτης της Κλιματικής Αλλαγής (2011<sup>b</sup>).** *Κλιματική Αλλαγή και Υγεία.* Ιούνιος 2011.
- Τσιμπούκης Β., (2013).** *Προσομοίωση ατμοσφαιρικής ρύπανσης Πατρών με μοντέλο τύπου Gauss και εκτίμηση πηγών ρύπανσης.* Πολυτεχνική Σχολή Πανεπιστημίου Πατρών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών (ΜΔΕ).

- Υ.Π.Α.Π.Ε.Ν, (2015).** Ετήσια Έκθεση Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης 2014. Γενική Διεύθυνση Περιβαλλοντικής Πολιτικής, Δ/νση Κλιματικής Αλλαγής & Ποιότητας Ατμόσφαιρας, Τμήμα Ποιότητας της Ατμόσφαιρας.
- Υ.Π.Ε.ΧΩ.Δ.Ε., (2002).** Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην Αθήνα. Γενική Διεύθυνση Περιβάλλοντος, Διεύθυνση ΕΑΡΘ, Τμήμα Ποιότητας Ατμόσφαιρας. Αθήνα, Ιούνιος 2002.
- Υ.Π.Ε.Κ.Α., (2011).** Ετήσια Έκθεση Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης. Γενική Διεύθυνση Περιβάλλοντος, Διεύθυνση ΕΑΡΘ, Τμήμα Ποιότητας Ατμόσφαιρας, Απρίλιος 2011.
- Υ.Π.Ε.Ν., (2016).** Ετήσια Έκθεση Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης 2015. Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Γεν. Δ/νση Περιβαλλοντικής Πολιτικής, Δ/νση Κλιματικής Αλλαγής & Ποιότητας Ατμόσφαιρας, Τμήμα Ποιότητας της Ατμόσφαιρας, Σεπτέμβριος 2016.
- Υ.Π.Ε.Ν., (2017).** Ετήσια Έκθεση Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης 2016. Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Γεν. Δ/νση Περιβαλλοντικής Πολιτικής, Δ/νση Κλιματικής Αλλαγής & Ποιότητας Ατμόσφαιρας, Τμήμα Ποιότητας της Ατμόσφαιρας.
- ΦΕΚ Β, 3465 / 8-12-2012.** Αποτελέσματα απογραφής πληθυσμού – κατοικιών 2011, για τον μόνιμο πληθυσμό της χώρας. Απόφαση 11247 / 28 - 12 - 2012. ΕΛΣΤΑΤ, 2012.

## Διαδικτυακές διευθύνσεις

<http://hnms.gr> [πρόσβαση 21/10/2016]  
<http://www.elinyae.gr/el/keywords.jsp?keyword=85> [πρόσβαση 21/10/2016]  
<http://www.fao.org/nr/climpag/climate/img/4climate.GIF> [πρόσβαση 23/10/2016]  
[http://www.fao.org/nr/climpag/cli\\_cha\\_1\\_en.asp](http://www.fao.org/nr/climpag/cli_cha_1_en.asp) [πρόσβαση 17/5/2017]  
[http://www.fao.org/nr/climpag/cropfor/sadc\\_en.asp](http://www.fao.org/nr/climpag/cropfor/sadc_en.asp) [πρόσβαση 17/5/2017]  
[http://www.hnms.gr/hnms/greek/meteorology/full\\_story\\_html?dr\\_url=%2Fhnms%2Fdocrep%2Fdocs%2Fmisc%2FClimateOfGreece/](http://www.hnms.gr/hnms/greek/meteorology/full_story_html?dr_url=%2Fhnms%2Fdocrep%2Fdocs%2Fmisc%2FClimateOfGreece/) [πρόσβαση 17/5/2017]  
<http://www.I.P.C.C..ch/> [πρόσβαση 17/1/2017]  
<http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/regional/index.php?idp=91> [πρόσβαση 17/5/2017]  
<https://ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-en.pdf> [πρόσβαση 16/10/2016]  
<http://www.meteothes.gr/index.php> [πρόσβαση 1/4/2017]  
<http://www.physics.uoi.gr/seci/weather.html> [πρόσβαση 2/2/2017]  
[http://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT\\_util.php](http://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT_util.php) [ 6/6/2017]  
<http://www.meteoclub.gr/themata/egkyklopedia/2618-klimatiki-katataksi-elladas> [18/6/2017]  
<https://svs.gsfc.nasa.gov/30602> [πρόσβαση 06/3/2017]  
<https://users.auth.gr/gmenexes/26112010/I1.pdf> [πρόσβαση 06/3/2017]  
[https://www.arl.noaa.gov/documents/reports/hysplit\\_user\\_guide.pdf](https://www.arl.noaa.gov/documents/reports/hysplit_user_guide.pdf) [πρόσβαση 9/5/2017]  
<https://www.esrl.noaa.gov/csd/assessments/ozone/2014/report.html> [πρόσβαση 17/5/2017]  
<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/full.html> [πρόσβαση 2/3/2017]  
<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html#global> [πρόσβαση 2/3/2017]  
<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/gr.html> [πρόσβαση 2/3/2017]  
[https://library.wmo.int/opac/doc\\_num.php?explnum\\_id=3084](https://library.wmo.int/opac/doc_num.php?explnum_id=3084) [πρόσβαση 2/3/2017]  
<http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ghg/GHGbulletin.html> [πρόσβαση 2/3/2017]  
<http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=492&language=el-GR> [ πρόσβαση 24/10/2016]  
<http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=495&language=el-GR> [ πρόσβαση 24/10/2016]  
<http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=491&language=el-GR> [ πρόσβαση 24/10/2016]  
[http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5\\_ALL\\_FINAL.pdf](http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_ALL_FINAL.pdf) [πρόσβαση 5/1/2017]  
<http://ecourse.uoi.gr/course/view.php?id=1280> [ πρόσβαση 2/12/2016]  
<http://eclass.uth.gr/eclass/modules/document/file.php> [ πρόσβαση 3/12/2016]  
<http://www.statistics.gr/el/interactive-map> [ πρόσβαση 14/5/2017]  
[https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf) [ πρόσβαση 2/12/2016]  
<http://www.geo.auth.gr/courses/gge/gge768e> [ πρόσβαση 12/4/2017]  
[http://www.meteo.noa.gr/GR/services3\\_gr.html](http://www.meteo.noa.gr/GR/services3_gr.html) [[πρόσβαση 13/4/2017]  
<http://meteosearch.meteo.gr/> [ πρόσβαση 6/1/2017]  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Temperature\\_record](https://en.wikipedia.org/wiki/Temperature_record)

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

## 1. Σύνοψη Νομοθεσίας για την Αέρια Ρύπανση στην Ελλάδα

### Εθνική Νομοθεσία

**Υ.Α. 174505/607/2017** (ΦΕΚ 1311/Β`/13.4.2017) Τροποποίηση των παραρτημάτων IV και V του άρθρου 8 της υπ' αριθμ. 22306/1075/2007 κοινής υπουργικής απόφασης (Β'920) και των παραρτημάτων I, III, VI και IX του άρθρου 30 της υπ' αριθμ. 14122/549/2011 κοινής υπουργικής απόφασης (Β'488), σε συμμόρφωση με την οδηγία 2015/1480/ΕΕ «για την τροποποίηση ορισμένων παραρτημάτων των οδηγιών του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου 2004/107/ΕΚ και 2008/50/ΕΚ, οι οποίες ορίζουν τους κανόνες σχετικά με τις μεθόδους αναφοράς, την επικύρωση των δεδομένων και την τοποθεσία των σημείων δειγματοληψίας για την εκτίμηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα» της Ευρωπαϊκής Επιτροπής.

**Υ.Α. 174111/525/2017** (ΦΕΚ 1039/Β`/31.3.2017) Τροποποίηση της υπ' αριθ. 29459/1510/2005 κοινής υπουργικής απόφασης (Β'992), όπως διορθώθηκε με το ΦΕΚ 1131 Β`/2005 και ισχύει, σε συμμόρφωση με τα άρθρα 5 (παρ.1), 8, 10 (παρ. 2) και 21 της οδηγίας 2016/2284/ΕΕ «σχετικά με τη μείωση των εθνικών εκπομπών ορισμένων ατμοσφαιρικών ρύπων, την τροποποίηση της οδηγίας 2003/35/ΕΚ και την κατάργηση της οδηγίας 2001/81/ΕΚ» του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 14ης Δεκεμβρίου 2016.

**Υ.Α. 112/2015/2016** (ΦΕΚ 2300/Β`/25.7.2016) Τροποποίηση απόφασης ΑΧΣ 96/2014, ΦΕΚ 2136/Β/2014 - «Εναρμόνιση της Ελληνικής Νομοθεσίας προς την Οδηγία 2012/33/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 21ης Νοεμβρίου 2012 «για την τροποποίηση της οδηγίας 1999/32/ΕΚ του Συμβουλίου σχετικά με την περιεκτικότητα των καυσίμων πλοίων σε θείο»

**Υ.Α. 96/2014** (ΦΕΚ 2136/Β`/5.8.2014) Εναρμόνιση της Ελληνικής Νομοθεσίας προς την Οδηγία 2012/33/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 21ης Νοεμβρίου 2012 «για την τροποποίηση της οδηγίας 1999/32/ΕΚ του Συμβουλίου σχετικά με την περιεκτικότητα των καυσίμων πλοίων σε θείο»

**Υ.Α. Δ13/ο/1096/2014** (ΦΕΚ 218/Β`/4.2.2014) Τροποποίηση της υπ' αριθμ. Δ13/Ο/121/4.1.2007 κοινής υπουργικής απόφασης (ΦΕΚ 53/Β/2007) «Μέτρα κατά της εκπομπής αερίων και σωματιδιακών ρύπων προερχόμενων από κινητήρες εσωτερικής καύσης που τοποθετούνται σε μη οδικά κινητά μηχανήματα σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 97/68/ΕΚ όπως τροποποιήθηκε από τις οδηγίες 2001/63/ΕΚ, 2002/88/ΕΚ και 2004/26/ΕΚ του Συμβουλίου της 17ης Αυγούστου 2001, της 9ης Δεκεμβρίου 2002 και της 21ης Απριλίου 2004 αντίστοιχα», όπως αυτή τροποποιήθηκε.

**Υ.Α. οικ. 70601/2013** (ΦΕΚ 3272/Β`/23.12.2013) Βραχυπρόθεσμα σχέδια δράσης για την αντιμετώπιση ατμοσφαιρικής ρύπανσης από αιωρούμενα σωματίδια

**Υ.Α. 36060/1155/Ε.103/2013** (ΦΕΚ 1450/Β`/14.6.2013) Καθορισμός πλαισίου κανόνων, μέτρων και διαδικασιών για την ολοκληρωμένη πρόληψη και τον έλεγχο της ρύπανσης του περιβάλλοντος από βιομηχανικές δραστηριότητες, σε συμμόρφωση προς τις διατάξεις της οδηγίας 2010/75/ΕΕ «περί βιομηχανικών εκπομπών (ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχος της ρύπανσης)» του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 24ης Νοεμβρίου 2010.

**Υ.Α. Οικ. 21523/763/Ε-103/2012** (ΦΕΚ 1439/Β`/2.5.2012) Μέτρα για τη μείωση της ποσότητας των ατμών βενζίνης, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2009/126/ΕΚ «σχετικά με τη φάση ΙΙ της ανάκτησης ατμών βενζίνης κατά τη διάρκεια του ανεφοδιασμού μηχανοκίνητων οχημάτων σε πρατήρια καυσίμων» του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 21ης Οκτωβρίου 2009

**Υ.Α. οικ. 20232/2010** (ΦΕΚ 745/Β`/31.5.2010) Ρύθμιση θεμάτων τεχνικού ή λεπτομερειακού χαρακτήρα για την ίδρυση και λειτουργία κέντρων αποτέφρωσης νεκρών.

**Εγκ. οικ. 106341/2010** (ΦΕΚ --/21/12.2010) Περιεχόμενο φακέλου για την εφαρμογή του άρθρου 7 της Κ.Υ.Α. 20488/10 (ΦΕΚ 749Β) και λοιπές σχετικές διατάξεις

**Υ.Α. 38030/2127/Ε103/2008** (ΦΕΚ 1901/Β`/17.9.2008) Έγκριση Εθνικού Προγράμματος Μείωσης των Εκπομπών στην ατμόσφαιρα, ορισμένων ρύπων, σύμφωνα με το άρθρο 7 της υπ αριθμ. 29459/1510/2005 κοινής υπουργικής απόφασης «Καθορισμός εθνικών ανώτατων ορίων εκπομπών για ορισμένους ατμοσφαιρικούς ρύπους σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2001/81/ΕΚ «σχετικά με εθνικά ανώτατα όρια εκπομπών για ορισμένους ατμοσφαιρικούς ρύπους» του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2001» (992/Β), όπως ισχύει.

**Υ.Α. Η.Π. 33437/1904/Ε103/2008** (ΦΕΚ 1634/Β`/14.8.2008) Έγκριση Εθνικού Προγράμματος Μείωσης των Εκπομπών στην ατμόσφαιρα, ορισμένων ρύπων, από υφιστάμενες μεγάλες εγκαταστάσεις καύσης, σύμφωνα με το άρθρο 4 (παραγ. Γ εδ. 8) της υπ. αριθ. Η.Π. 29457/1511/2005 - Καθορισμός μέτρων και όρων για τον περιορισμό των εκπομπών στην ατμόσφαιρα ορισμένων ρύπων που προέρχονται από μεγάλες εγκαταστάσεις καύσης, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2001/80/ΕΚ «για τον περιορισμό των εκπομπών στην ατμόσφαιρα ορισμένων ρύπων από μεγάλες εγκαταστάσεις», του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2001 (992/Β).

**Εγκ. 158568/2008** (ΦΕΚ --/28/8.2008) Μέτρα περιορισμού των κινδύνων για το περιβάλλον από την παραγωγή και χρήση της χημικής ουσίας 2,4-δινιτροτολουόλιο.

**Υ.Α. Η.Π. 22306/1075/E103/2007** (ΦΕΚ 920/Β`/8.6.2007) Καθορισμός τιμών – στόχων και ορίων εκτίμησης των συγκεντρώσεων του αρσενικού, του καδμίου, του υδραργύρου, του νικελίου και των πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων στον ατμοσφαιρικό αέρα, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2004/107/ΕΚ «Σχετικά με το αρσενικό, το κάδμιο, τον υδράργυρο, το νικέλιο και τους πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες στον ατμοσφαιρικό αέρα» του Συμβουλίου της 15ης Δεκεμβρίου 2004 των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων».

**Υ.Α. Δ13/0/121/2007** (ΦΕΚ 53/Β`/24.1.2007) Μέτρα κατά της εκπομπής αερίων και σωματιδιακών ρύπων προερχόμενων από κινητήρες εσωτερικής καύσης που τοποθετούνται σε μη οδικά κινητά μηχανήματα σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 97/68/ΕΚ όπως τροποποιήθηκε από τις οδηγίες 2001/63/ΕΚ, 2002/88/ΕΚ και 2004/26/ΕΚ του Συμβουλίου της 17ης Αυγούστου 2001, της 9ης Δεκεμβρίου 2002 και της 21ης Απριλίου 2004 αντίστοιχα.

**Υ.Α. Η.Π. 24944/1159/2006** (ΦΕΚ 791/Β`/30.6.2006) Έγκριση Γενικών Τεχνικών Προδιαγραφών για τη διαχείριση επικίνδυνων αποβλήτων σύμφωνα με το άρθρο 5 (παρ. Β) της υπ αριθμ. 13588/725 κοινή υπουργική απόφαση «Μέτρα όροι και περιορισμοί για τη διαχείριση επικίνδυνων αποβλήτων κλπ» (383 Β) και σε συμμόρφωση με τις διατάξεις του άρθρου 7 (παρ. 1) της οδηγίας 91/156/ΕΚ του Συμβουλίου της 18ης Μαρτίου 1991».

**Υ.Α. Η.Π. 29459/1510/2005** (ΦΕΚ 992/Β`/14.7.2005) Καθορισμός εθνικών ανώτατων ορίων εκπομπών για ορισμένους ατμοσφαιρικούς ρύπους σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2001/81/ΕΚ «σχετικά με εθνικά ανώτατα όρια εκπομπών για ορισμένους ατμοσφαιρικούς ρύπους» του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2001.

**N. 2543/1997** (ΦΕΚ 252/Α`/15.12.1997) Κύρωση του Πρωτοκόλλου της Σύμβασης 1979 περί της διασυνοριακής ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε μεγάλη απόσταση σχετικά με τον έλεγχο των εκπομπών οξειδίων του αζώτου ή των διασυνοριακών ροών τους.

**N. 2542/1997** (ΦΕΚ 251/Α`/15.12.1997) Κύρωση του Πρωτοκόλλου της Σύμβασης 1979 περί της διασυνοριακής ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε μεγάλη απόσταση σχετικά με την περαιτέρω μείωση εκπομπών θείου.

## **Ευρωπαϊκή Νομοθεσία**

**2001/63/ΕΚ** της Επιτροπής, της 17ης Αυγούστου 2001, για την προσαρμογή στην τεχνική πρόοδο της οδηγίας 97/68/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για την προσέγγιση των νομοθεσιών των κρατών μελών σχετικά με τα ληπτέα μέτρα κατά της εκπομπής αερίων και σωματιδιακών ρύπων προερχόμενων

από κινητήρες εσωτερικής καύσης που τοποθετούνται σε μη οδικά κινητά μηχανήματα (L227 23.8.2001)

**2000/69/EK** του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 16ης Νοεμβρίου 2000, για οριακές τιμές βενζολίου και μονοξειδίου του άνθρακα στον αέρα του περιβάλλοντος (L313 13.12.2000)

**1997/68/EK** του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 16ης Δεκεμβρίου 1997 για την προσέγγιση των νομοθεσιών των κρατών μελών σχετικά με τα ληπτέα μέτρα κατά της εκπομπής αερίων και σωματιδιακών ρύπων προερχόμενων από κινητήρες εσωτερικής καύσης που τοποθετούνται σε μη οδικά κινητά μηχανήματα (L59 27.2.1998)

**1996/62/EK** του Συμβουλίου της 27ης Σεπτεμβρίου 1996 για την εκτίμηση και τη διαχείριση της ποιότητας του αέρα του περιβάλλοντος (L296 21.11.1996)

(Πηγή : ΕΛΙΝΥΑΕ <http://www.elinyae.gr/el/keywords.jsp?keyword=85>)

<b>Ευρετήριο Εικόνων</b>		
Εικόνα	Περιγραφή	σελίδα
1	Η Εκτιμώμενη εξέλιξη των αστικών πληθυσμών έως το 2050	1
2	Η κατανομή των δασών σε κλιματικές ζώνες με βάση το γεωγραφικό πλάτος	9
3	Η ανάλυση σε φάσματα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας του Ηλίου	11
4	Το πρότυπο πρόσπτωσης του ηλιακού φωτός στα δύο ημισφαίρια του πλανήτη	12
5	Σχηματική παράσταση του ισοζυγίου ενέργειας και του τρόπου διάδοσης της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα και την επιφάνεια του πλανήτη	12
6	Το πρότυπο κυκλοφορίας των ανέμων στον πλανήτη	13
7	Ο Πύργος των Ανέμων, όπως σώζεται μέχρι τις μέρες μας στην συνοικία της Πλάκας κάτω από την Ακρόπολη	24
8	Παγκόσμιος χάρτης κατάταξης κλιμάτων κατά Koppen	25
9	Η ταξινόμηση των κλιματικών ζωνών στην Ελλάδα σύμφωνα με το σύστημα Koppen	29
10	Η προέλευση και οι επιδράσεις των σημαντικότερων αέριων ρύπων	32
11	Η λειτουργία του φυσικού φαινομένου του Θερμοκηπίου	38
12	Σχηματική απεικόνιση των αντιδράσεων που συμμετέχει το O <sub>3</sub> στην ατμόσφαιρα	42
13	Το πρότυπο σχηματισμού, κατανομής και κατακρυσμάνσεων των αιωρούμενων σωματιδίων στην κατώτερη ατμόσφαιρα	44
14	Η εξέλιξη του προβλήματος του στρατοσφαιρικού όζοντος	50
15	Σχηματική διαγραμματική παρουσίαση του μοτίβου της ημερήσιας διακύμανσης της φωτοχημικής ρύπανσης σε μία αστική περιοχή	51
16	Πως η ξηρά και η βλάστηση μπορούν να λειτουργήσουν ως αποθήκες άνθρακα, όταν κορεστεί η δυνατότητα των ωκεανών	52
17	οριακό στρώμα αέρα της κατώτερης ατμόσφαιρας, επηρεάζεται ιδιαίτερα από την επιφάνεια του εδάφους	54
18	Αδιαβατική μεταβολή στρώματος αέρα	55
19	Οι ρύποι παγιδεύονται σε ένα ψυχρό στρώμα αναστροφής	55
20	Επίδραση του στρώματος αναστροφής στο στρώμα ανάμειξης	56
21	Τυπικό μοτίβο διασποράς θυσάνου από καμινάδα	56
22	Το φωτοχημικό νέφος πάνω από την Δυτική Αθήνα ένα πρωί καλοκαιρινής ημέρας	58
23	Η μεσημεριανή εικόνα του λεκανοπεδίου της Αττικής μία καλοκαιρινή ημέρα	59
24	Τα σημεία που είναι εγκατεστημένοι στην Αττική οι σταθμοί μέτρησης του δικτύου του ΕΔΠΑΡ	60
25	Η "υπόθεση του Carpende" για την πτώση των Μυκηνών	61
26	Η εξέλιξη των τιμών του CO <sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα της γης για τα τελευταία δύο χιλιάδες χρόνια	62
27	Οι εκτιμήσεις του Παγκόσμιου Οργανισμού Μετεωρολογίας για τις συγκεντρώσεις του αερίων του θερμοκηπίου έως το 2015	63

28	Εκτιμούμενες μεταβολές διαφόρων κλιματικών χαρακτηριστικών για πόλεις της Ελλάδας, για την περίοδο έως το 2100	65
29	Δυνητικός κίνδυνος αύξησης των δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα, λαμβάνοντας υπ' όψιν τις πιθανές επιπτώσεις από την κλιματική αλλαγή	66
30	Επίδραση του κλίματος στην ποιότητα του επιφανειακού αέρα, με βάση το ευρύτερο πλαίσιο χημικών αλληλεπιδράσεων	68
31	Η ποσοστιαία συνεισφορά για κάθε διαβρωτικό παράγοντα που δοκιμάστηκε στις συνθήκες της Αθήνας, για την περίοδο 2003 - 2012	72
32	Εκτιμούμενες αλληλεπιδράσεις αέριων ρύπων και κλιματικής αλλαγής στις παραμέτρους υγείας του πληθυσμού	75
33	Δορυφορική εικόνα της ευρύτερης περιοχής της Αττικής	82
34	Οι σταθμοί μέτρησης που επιλέχθηκαν για την λήψη των μετρήσεων και τον στατιστικό έλεγχο	84
35	Συγκριτική εικόνα δύο διαγραμμάτων κατανομής υπολειμμάτων γύρω από την διαγώνιο	90

## Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας	Περιγραφή	σελίδα
1	Η ροή θερμότητας σε διαφορετικά γεωγραφικά πλάτη της Γης	14
2	Τα συστατικά στοιχεία του ξηρού αέρα της ατμόσφαιρας της Γης έως το ύψος των 20 χλμ	15
3	Τα συστατικά αέρια της ατμόσφαιρας της Γης	20
4	Τα σημαντικά χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας της Γης, όπως έγιναν αποδεκτά από τις ΗΠΑ το 1976	21
5	Οι κλιματικές κατατάξεις σύμφωνα με το σύστημα Thornthwaite	26
6	Οι Κλιματικές Ζώνες στην Ελλάδα με Υψομετρική Διαβάθμιση	29
7	Ποσότητες έκλυσης αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα από φυσικές και ανθρωπογενείς πηγές (σε $10^6$ τόνους / έτος) και απαιτούμενο χρόνος καθίζησης λόγω βαρυτικής έλξης για κάθε ένα χιλιόμετρο ατμοσφαιρικού ύψους	35
8	Χρόνος παραμονής στην ατμόσφαιρα των σημαντικότερων αέριων ρύπων	36
9	Κατάταξη αιωρούμενων σωματιδίων βάση του μεγέθους τους	43
10	Τα θερμοκηπιακά αέρια και η σχετική συνεισφορά τους στο πρόβλημα της υπερθέρμανσης	52
11	Το Δίκτυο παρακολούθησης ατμοσφαιρικών ρύπων του ΕΔΠΑΡ στην Αττική με τα χαρακτηριστικά των σταθμών	59
12	Συνοπτική παρουσίαση των δοκιμών που έγιναν για την δημιουργία μοντέλων για τις παραμέτρους που μετράει ο σταθμός αέριας ρύπανσης Περιστερίου	93
13	Δοκιμή Β : Μοντέλο για PERISTERI CO προς CO όλων των σταθμών (ΜΕΣΕΣ ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ 1990 - 2010 - μέθοδος εισαγωγής ENDER)	106
14	Δοκιμή Β : Μοντέλο για PERISTERI NO προς NO όλων των σταθμών (ΜΕΣΕΣ ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ 1990 - 2010 - μέθοδος εισαγωγής ENDER)	107
15	Δοκιμή Β : Μοντέλο για PERISTERI NO <sub>2</sub> προς NO <sub>2</sub> όλων των σταθμών(ΜΕΣΕΣ ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ 1990 - 2010 - μέθοδος εισαγωγής ENDER)	108
16	Δοκιμή Β : Μοντέλο για PERISTERI NO <sub>x</sub> προς NO <sub>x</sub> όλων των σταθμών(ΜΕΣΕΣ ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ 1990 - 2010 - μέθοδος εισαγωγής ENDER)	109
17	Δοκιμή Β : Μοντέλο για PERISTERI SO <sub>2</sub> προς SO <sub>2</sub> όλων των σταθμών(ΜΕΣΕΣ ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ 1990 - 2010 - μέθοδος εισαγωγής ENDER)	110
18	Δοκιμή Β : Μοντέλο για PERISTERI O <sub>3</sub> προς O <sub>3</sub> (ΜΕΣΕΣ ΗΜΕΡΗΣΙΕΣ ΤΙΜΕΣ 1984 - 2010 - μέθοδος εισαγωγής ENDER)	111
19	Δοκιμή Γ. : Τυχαίοι συνδυασμοί. Δημιουργία μοντέλου σε διαδοχικά βήματα ελέγχου του R <sup>2</sup>	112
20	Δοκιμή Γ : Κατασκευή μοντέλου με διαδοχικά βήματα ( κατά σειρά προσθήκη και αφαίρεση ανεξάρτητων μεταβλητών)	114
21	Δοκιμή Δ : Σύνοψη του μοντέλου που προέκυψε με την μέθοδο STEPWISE. Το λογισμικό εμφανίζει διαδοχικά μοντέλα με	115

	αυξανόμενη τιμή $R^2$ λαμβάνοντας υπ' όψιν διαδοχικούς συνδυασμούς ανεξάρτητων μεταβλητών	
22	Δοκιμή Δ : Συντελεστές συσχέτισης για τις ανεξάρτητες μεταβλητές	116
23	Αναλυτική παρουσίαση των επιτυχημένων δοκιμασιών για την δημιουργία των Μοντέλων για τις παραμέτρους του σταθμού αέριας ρύπανσης στο Περιστερί	118

## Ευρετήριο Διαγραμμάτων

Διάγραμμα	Περιγραφή	σελίδα
1	Το πρότυπο κατανομής του φάσματος της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της Γης	10
2	Η εξελικτική μεταβολή του αριθμού των στομάτων των φύλλων των φυτών με την μεταβολή του ποσοστού του CO <sub>2</sub> της ατμόσφαιρας	15
3	Οι εκτιμούμενες μεταβολές της ποσότητας του CO <sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα σε γεωλογικό χρόνο	16
4	Κάθετη στρωμάτωση της ατμόσφαιρας και μεταβολή της θερμοκρασίας καθ' ύψος	17
5	Κάθετη κατανομή στην ατμόσφαιρα πίεσης και θερμοκρασίας κατά μέση τιμή	19
6	Το CO <sub>2</sub> μετά το 1950	37
7	Η μεταβολή του CO <sub>2</sub> τα τελευταία πέντε χρόνια στον σταθμό μέτρησης Mauna Loa της Χαβάης	38
8	Ο μέσος ετήσιος ρυθμός αύξησης του CO <sub>2</sub> της ατμόσφαιρας, όπως καταγράφεται στο σταθμό Mauna Loa της Χαβάης, για την περίοδο 1960 - 2010	39
9	Μέσες μηνιαίες τιμές CO <sub>2</sub> , στον σταθμό Mauna Moa της Χαβάης. Οι τιμές μετρώνται στον ξηρό αέρα και προσδιορίζονται ως μόρια αερίου διαιρούμενα με τον αριθμό μορίων ξηρού αέρα επί 10 <sup>6</sup> ώστε η τελική τιμή να είναι σε ppm	39
10	Μέσες ημερήσιες τιμές CO για τον σταθμό Περιστερίου, για την περίοδο 1/1/1990 - 31/12/2010	94
11	Μέσες ημερήσιες τιμές NO για τον σταθμό Περιστερίου, για την περίοδο 1/1/1990 - 31/12/2010	95
12	Μέσες ημερήσιες τιμές NO <sub>2</sub> για τον σταθμό Περιστερίου, για την περίοδο 1/1/1990 - 31/12/2010	96
13	Μέσες ημερήσιες τιμές NO <sub>x</sub> για τον σταθμό Περιστερίου, για την περίοδο 1/1/1990 - 31/12/2010	97
14	Μέσες ημερήσιες τιμές O <sub>3</sub> για τον σταθμό Περιστερίου, για την περίοδο 1/1/1990 - 31/12/2010	98
15	Μέσες ημερήσιες τιμές SO <sub>2</sub> για τον σταθμό Περιστερίου, για την περίοδο 1/1/1990 - 31/12/2010	99
16	Μέσες μηνιαίες τιμές CO για τον σταθμό Περιστερίου, για την περίοδο 1/1/1990 - 31/12/2010	100
17	Μέσες μηνιαίες τιμές NO για τον σταθμό Περιστερίου, για την περίοδο 1/1/1990 - 31/12/2010 Μέσες μηνιαίες τιμές NO <sub>2</sub> για τον σταθμό Περιστερίου, για την περίοδο 1/1/1990 - 31/12/2010	101
18	Μέσες μηνιαίες τιμές NO <sub>2</sub> για τον σταθμό Περιστερίου, για την περίοδο 1/1/1990 - 31/12/2010	102
19	Μέσες μηνιαίες τιμές NO <sub>x</sub> για τον σταθμό Περιστερίου, για την περίοδο 1/1/1990 - 31/12/2010	103
20	Μέσες μηνιαίες τιμές O <sub>3</sub> για τον σταθμό Περιστερίου, για	104

	την περίοδο 1/1/1990 - 31/12/2010	
21	Μέσες μηνιαίες τιμές SO <sub>2</sub> για τον σταθμό Περιστερίου, για την περίοδο 1/1/1990 - 31/12/201	105

<b>Ακρωνύμια</b>	
<b>AMS</b>	American Meteorological Society / Αμερικανική Εταιρία Μετεωρολογίας.
<b>CFCs</b>	Chloro - Fthoro - Carbons / Χλώροφθοράνθρακες
<b>CTM</b>	Chemical Transport Model / Μοντέλο Μεταφοράς Χημικών Ουσιών
<b>DES.</b>	Digital Elevation Model / Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο
<b>GCM</b>	General Circulation Model / Γενικό Μοντέλο Κυκλοφορίας
<b>FAO</b>	Food and Agruculture Organization
<b>HAP</b>	Hazardous Air Pollutants
<b>HFO</b>	Heavy Fuel Oil / τύπος πετρελαίου, καυσίμου για πλοία
<b>I.P.C.C.</b>	Intergovernmental Panel on Climate Change / Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή
<b>IUFRO</b>	International Union of Forest Research Organization / Διεθνής Οργανισμός για την Έρευνα των Δασικών Οικοσυστημάτων
<b>MC</b>	Methyl - Chloroform
<b>MDO</b>	Marine Diesel Oil // τύπος πετρελαίου καυσίμου για πλοία
<b>MGO</b>	Marine Gas Oil / τύπος αερίου καυσίμου για πλοία
<b>NASA</b>	National Aeronautics and Space Administration
<b>NMVOCs</b>	Non Methane Volatile Organic Compounds / πτητικές οργανικές ενώσεις χωρίς μεθάνιο
<b>NOA</b>	National Observatory of Athens / Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών
<b>PAH</b>	Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες / Polycyclic Aromatic Hydrocarbons
<b>PBBs</b>	Bolybrominated Biphenyls / Πολυβρωμιωμένα Διφαινύλια
<b>PBDEs</b>	Polybrominated Diphenyl Ethers / Πολυβρωμιωμένοι Διφαινυλικοί Αιθέρες
<b>PCBs</b>	Polychlorinated Biphenyl / Πολυχλωριωμένα Διφαινύλια
<b>PhH</b>	Benzene / Βενζόλιο (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> ). Αρωματικός υδρογονάνθρακας
<b>PMs</b>	Particulate Matter / Μικροσωματίδια
<b>RCM</b>	Regional Climate Model
<b>TSI</b>	Total Solar Irradiance / Ολική Ηλιακή Ακτινοβολία
<b>TSPs</b>	Total Suspended Partics / Ολικά αιωρούμενα σωματίδια
<b>UNEP</b>	United Nations Environment Programm
<b>US - EPA</b>	United Stage Environmental Protection Agency / Αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος
<b>UV</b>	Ultra Violet / Υπεριώδης Ακτινοβολία
<b>VOCs</b>	Volatile Organic Compounds / Πτητικές Οργανικές Ενώσεις.
<b>W.H.O.</b>	World Heatlh Organization / Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας
<b>W.M.O.</b>	World Meteorological Organization / Παγκόσμιος Οργανισμός Μετεωρολογίας
<b>WMO-AQG</b>	WMO-Air Quality Gudeline / Οδηγίες για την Ποιότητα του Αέρα καθορισμένες απο τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας.
<b>ΑΣΔΑ</b>	Αναπτυξιακός Σύνδεσμος Δυτικής Αθήνας
<b>E.M.E.K.A.</b>	Επιτροπή Μελέτης των Επιπτώσεων της Κλιματικής Αλλαγής
<b>E.Σ.Π.Κ.Α.</b>	Εθνική Στρατηγική για την Προσαρμογή στην Κλιματική Αλλαγή
<b>ΕΔΠΑΡ</b>	Εθνικό Δίκτυο Παρακολούθησης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης
<b>NOAA</b>	National Oceanic and Atmospheric Administration

## Όρια τιμών Ατμοσφαιρικών Ρύπων (Πηγή : ΥΠΕΝ / ΕΔΠΑΡ, 2016, 2017)

ΡΥΠΟΣ	ΧΡΟΝΙΚΗ ΒΑΣΗ	ΟΡΙΟ
Διοξείδιο του αζώτου (NO <sub>2</sub> )	1 ώρα	Όριο συναγερμού: <b>400 µg/m<sup>3</sup></b> υπέρβαση της τιμής αυτής για 3 συνεχόμενες ώρες
Διοξείδιο του θείου (SO <sub>2</sub> )	1 ώρα	Όριο συναγερμού: <b>500 µg/m<sup>3</sup></b> υπέρβαση της τιμής αυτής για 3 συνεχόμενες ώρες
Όζον (O <sub>3</sub> )	1 ώρα	Όριο συναγερμού: <b>240 µg/m<sup>3</sup></b> υπέρβαση της τιμής αυτής για 3 συνεχόμενες ώρες για εφαρμογή σχεδίων δράσης

ΡΥΠΟΣ	ΧΡΟΝΙΚΗ ΒΑΣΗ	ΟΡΙΟ
Αιωρούμενα Σωματίδια ΑΣ <sub>10</sub>	24 ώρες	<b>51-75 µg/m<sup>3</sup></b> συστάσεις για ευπαθείς ομάδες πληθυσμού
		<b>76-100 µg/m<sup>3</sup></b> συστάσεις για ευπαθείς ομάδες πληθυσμού και το γενικό πληθυσμό
		<b>101-150 µg/m<sup>3</sup></b> συστάσεις για ευπαθείς ομάδες πληθυσμού και το γενικό πληθυσμό, μέτρα μείωσης των εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από εστίες καύσης, βιομηχανικές-βιοτεχνικές δραστηριότητες και την κυκλοφορία
		<b>&gt;150 µg/m<sup>3</sup></b> συστάσεις για ευπαθείς ομάδες πληθυσμού και το γενικό πληθυσμό, μέτρα μείωσης των εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από εστίες καύσης, βιομηχανικές-βιοτεχνικές δραστηριότητες και την κυκλοφορία

Τιμές ορίων για το διοξείδιο του θείου

	Οριακή τιμή
Μέση ωριαία τιμή, να μην υπερβαίνεται περισσότερο από 24 φορές το χρόνο	<b>350µg/m<sup>3</sup></b>
Μέση ημερήσια τιμή, να μην υπερβαίνεται περισσότερο από 3 φορές το χρόνο	<b>125µg/m<sup>3</sup></b>
Όριο συναγερμού	Ωριαία τιμή μεγαλύτερη από <b>500µg/m<sup>3</sup></b> για τρεις συνεχόμενες ώρες

Τιμές ορίων για αιωρούμενα σωματίδια ΑΣ<sub>10</sub>

	Οριακή τιμή
Μέση ημερήσια τιμή, να μην υπερβαίνεται περισσότερο από 35 φορές το χρόνο	<b>50µg/m<sup>3</sup></b>
Μέση ετήσια τιμή	<b>40µg/m<sup>3</sup></b>
Επίπεδα συγκεντρώσεων	<b>51-75, 76-100, 101-150, &gt;150µg/m<sup>3</sup></b> μέση 24-ωρη τιμή

Τιμές ορίων για αιωρούμενα σωματίδια ΑΣ<sub>2,5</sub>

	Οριακή τιμή
Μέση ετήσια τιμή	<b>25µg/m<sup>3</sup></b>

Τιμές ορίων για το διοξείδιο του αζώτου

	Οριακή τιμή
Μέση ωριαία τιμή, να μην υπερβαίνεται περισσότερο από 18 φορές το χρόνο	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Μέση ετήσια τιμή	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Όριο συναγερμού	Ωριαία τιμή μεγαλύτερη από 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για τρεις συνεχόμενες ώρες
-----------------	--

Τιμές ορίων για μόλυβδο

	Οριακή τιμή
Μέση ετήσια τιμή	0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Τιμές ορίων για το όζον

		Οριακή τιμή
Όριο ενημέρωσης	Μέση ωριαία τιμή	180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Όριο συναγερμού	Μέση ωριαία τιμή	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Τιμή – στόχος για την προστασία της ανθρώπινης υγείας	Μέγιστη ημερήσια μέση 8ωρη τιμή, της οποίας δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση περισσότερες από 25 φορές ανά έτος κατά μέση τιμή για διάστημα 3 ετών	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Τιμές ορίων για το μονοξείδιο του άνθρακα

	Οριακή τιμή
Μέγιστη ημερήσια οκτάωρη τιμή	10 $\text{mg}/\text{m}^3$

Τιμές ορίων για το βενζόλιο

	Οριακή τιμή
Μέση ετήσια τιμή	5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Τιμές στόχοι για το αρσενικό, κάδμιο, νικέλιο και βενζο(α)πυρένιο

	Οριακή τιμή για			
	αρσενικό	κάδμιο	νικέλιο	βενζο(α)πυρένιο
Μέση ετήσια τιμή	6 ng/m <sup>3</sup>	5 ng/m <sup>3</sup>	20 ng/m <sup>3</sup>	1 ng/m <sup>3</sup>