



**Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών,
Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας και
Γεωπεριβάλλοντος**

**Χωρική και Χρονική Μεταβλητότητα της αέριας ρύπανσης και
επιπτώσεις στην υγεία στην ευρύτερη περιοχή του Βόλου.
Μεθοδολογική και Εμπειρική διερεύνηση.**

Διδακτορική Διατριβή

Γεώργιος Πρώιας

Επιβλέπων Καθηγητής

Παναγιώτης Νάστος

Αθήνα, 2023

3μελής Επιτροπή

1. Παναγιώτης Νάστος, Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Σχολή Γεωγραφίας και Κλιματολογίας, Πανεπιστήμιο Αθηνών.
2. Κωνσταντίνος Μουστρής, Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής.
3. Κωνσταντίνος Ελευθεράτος, Αναπλ. Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Τομέας Γεωγραφίας και Κλιματολογίας, Σχολή Θετικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Ευχαριστίες

Φτάνοντας στο τέλος αυτού του πολύχρονου ταξιδιού, μέσα από πολλές δυσκολίες και απογοητεύσεις, βρέθηκαν στο διάβα μου κάποιοι άνθρωποι που φώτισαν το δρόμο μου ώστε να πραγματοποιηθεί αυτό το όνειρο ζωής, η ολοκλήρωση της διδακτορικής μου διατριβής που είναι το επιστέγασμα του κόπου που κατέβαλα όλα αυτά τα χρόνια.

Καταρχήν θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, τον πατέρα μου Θεόδωρο και την μητέρα μου Πασχαλιά που αν και αγράμματοι, καταλάβαιναν την αξία της μόρφωσης και της παιδείας και με παρότρυναν να σπουδάσω παρότι υπήρχαν μεγάλες οικονομικές δυσκολίες. Στην συνέχεια και ολοκληρώνοντας τις σπουδές μου γνώρισα ένα άνθρωπο που αφήσε ανεξίτηλο το σημάδι του στη μετέπειτα πορεία μου αλλά δυστυχώς έφυγε πολύ νωρίς από τη ζωή. Ο καθηγητής αλλά πάνω από όλα ο Άνθρωπος Θανάσης Παλιατσός, από εκεί ψηλά που βρίσκεται, εύχομαι να καμαρώνει και να είναι περήφανος για την ολοκλήρωση της συγκεκριμένης διατριβής. Δε θα μπορούσα να παραλείψω τον Καθηγητή Παναγιώτη Νάστο και τον Αναπληρωτή Καθηγητή Κωνσταντίνο Μουστρή που με αγκάλιασαν από την πρώτη στιγμή και πίστεψαν σε μένα και έδειξαν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την ολοκλήρωση της συγκεκριμένης διατριβής. Τους ευχαριστώ ιδιαίτερος και τους δύο για την στήριξή τους και είναι ιδιαίτερη τιμή για μένα που τους είχα στην τριμελή επιτροπή αξιολόγησης.

Αφήνω για το τέλος την αναφορά μου για την οικογένεια μου, που με στήριξε στις μεγάλες δυσκολίες, στις απογοητεύσεις και στην πολύχρονη ερευνητική μου δουλειά. Ένα τεράστιο ευχαριστώ και η αγάπη μου δεν είναι αρκετά να εκφράσουν την ευγνωμοσύνη μου και την γυναίκα μου Ελένη και τα παιδιά μου Θοδωρή, Δημήτρη και Ευαγγελία που στάθηκαν δίπλα μου και με βοηθούσαν με τον τρόπο τους να ολοκληρώσω τη διδακτορική μου διατριβή. Ιδιαίτερη μνεία στην αγαπημένη μου Ελένη που με στήριξε σε όλη την προσπάθεια και την ευχαριστώ ιδιαίτερος από τα βάθη της ψυχής μου.

Αφιερώνω τη διδακτορική μου διατριβή

σε όλους όσους πίστεψαν σε μένα

Περιεχόμενα

| | |
|---|-----|
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ | 5 |
| ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ | 9 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 | 14 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ (PM10 ΚΑΙ PM2.5). ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΙΔΗΜΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ ΓΙΑ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ | 15 |
| 1.1 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΒΡΑΧΥΧΡΟΝΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ - ΕΠΙΔΗΜΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ | 15 |
| 1.2 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΜΑΚΡΟΧΡΟΝΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ - ΕΠΙΔΗΜΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ | 19 |
| 1.3 ΚΟΙΝΟΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΠΙΣΩ ΑΠΟ ΤΙΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ | 23 |
| 1.4 ΤΟΞΙΚΟΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ | 24 |
| 1.5 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ | 25 |
| 1.6 ΟΙ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ ΣΤΙΣ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΚΟΙΝΩΝΙΕΣ | 27 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 | 29 |
| 2. ΝΕΥΡΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΚΑΙ ΕΚΤΕΤΑΜΕΝΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΝΕΥΡΩΝΙΚΩΝ, ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ 20ΕΤΙΑ ΣΕ ΔΙΕΘΝΕΣ ΕΠΙΠΕΔΟ. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΓΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ | 30 |
| 2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ | 30 |
| 2.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΝΕΥΡΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ | 31 |
| 2.3 ΤΕΧΝΗΤΑ ΝΕΥΡΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΠΟΛΥΣΤΡΩΜΑΤΙΚΗΣ ΑΝΤΙΛΗΨΗΣ (MULTI-LAYER PERCEPTRON - MLP)..... | 39 |
| 2.4 Η ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΤΩΝ ΤΝΔ ΤΗΣ ΜΟΡΦΗΣ MLP | 41 |
| 2.5 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΝΕΥΡΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ | 41 |
| 2.6 ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ | 44 |
| 2.6.1 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ | 44 |
| 2.6.2 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΤΗΣ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΥΠΕΡΒΑΣΕΩΝ | 46 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 | 48 |
| 3. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΚΑΙ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ | 49 |
| 3.1 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΑΕΡΑ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ | 49 |
| 3.2 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ | 57 |
| 3.3 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ PEARSON | 63 |
| 3.4 ΟΛΙΚΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗ (2001-2018) | 68 |
| 3.5 ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗ ΑΝΑ ΕΤΟΣ | 70 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 | 82 |
| 4. ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ. Ο ΔΕΙΚΤΗΣ AQI ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ. | 83 |
| 4.1 ΠΡΟΤΥΠΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ | 83 |
| 4.2 ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ | 90 |
| 4.3 ΤΟΠΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ | 96 |
| 4.4 ΗΜΕΡΗΣΙΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ | 98 |
| 4.5 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ | 99 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 | 122 |
| 5. ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΝΕΥΡΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ..... | 123 |
| 5.1 ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΝΔ | 123 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 | 137 |
| 6. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΙΘΑΝΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ AIRQ+ MODEL | 138 |
| 6.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟ AIRQ+ MODEL | 138 |
| 6.2 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΕ ΤΟ AIRQ+ MODEL ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ | 141 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 | 148 |
| ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ | 149 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α | 157 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 288 |
| ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 288 |
| ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 288 |

Περίληψη

Κατά την συγγραφή της διδακτορικής μου διατριβής, ο αρχικός στόχος ήταν μια λεπτομερής μελέτη της ποιότητας της ατμόσφαιρας της αστικής περιοχής του Βόλου, μίας μεσαίου μεγέθους μεσογειακής πόλης, που έχει σύνθετη τοπογραφία αλλά και δίκτυο καταγραφής της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που αποτελείται από έναν σταθμό μέτρησης αερίων ρύπων. Τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί δίκτυο για τη μέτρηση της αέριας ρύπανσης, μέσω ερευνητικών προγραμμάτων, ώστε να υπάρχει μία καλύτερη και πιο αξιόπιστη καταγραφή των ατμοσφαιρικών ρύπων. Η μελέτη των επιπτώσεων στη δημόσια υγεία ήταν ένας ακόμη βασικός στόχος της παρούσας διατριβής. Για τον σκοπό αυτό, έχουν επιλεγεί τα αιωρούμενα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο 10 μ m (PM₁₀), ως ο ρύπος αναφοράς. Πλήθος επιστημονικών μελετών δείχνουν ότι τα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούν το βασικότερο ατμοσφαιρικό ρύπο σε ένα αστικό περιβάλλον, όχι μόνο για την Ελλάδα αλλά και για όλες σχεδόν τις αστικές περιοχές, όχι μόνο των ανεπτυγμένων αλλά και των υπό ανάπτυξη χωρών. Για τη χρονική περίοδο 2001-2018, έγινε ανάλυση των μέσων ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης των PM₁₀, των μέσων ετήσιων τιμών, των μέγιστων και ελάχιστων τιμών και η συσχέτισή τους με μετεωρολογικά δεδομένα με την κατάλληλη μεθοδολογία και ανάλυση.

Επίσης, έγινε προσπάθεια της πρόγνωσης των επιπέδων συγκέντρωσης των PM₁₀ στην αστική περιοχή του Βόλου με τη χρήση Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων (ΤΝΔ) για τη χρονική περίοδο 2001-2009. Δημιουργήθηκαν και εκπαιδεύτηκαν Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα, ώστε να μπορούμε να πούμε πως η Διατριβή αυτή δίνει τη δυνατότητα μιας έγκαιρης και αρκετά έγκυρης πρόγνωσης της ποιότητας της ατμόσφαιρας στην αστική περιοχή του Βόλου, όσον αφορά τα επίπεδα συγκέντρωσης των PM₁₀.

Επιπλέον, έγινε προσπάθεια να αποτυπωθεί ο δείκτης Air Quality Index, (AQI). Ο δείκτης αυτός, αφορά την καταγραφή σε καθημερινή βάση της ποιότητας του αέρα σε σχέση με τα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀ και έχει ως σκοπό την ενημέρωση των πολιτών, των ερευνητών και των αρμόδιων φορέων για την ποιότητα της ατμόσφαιρας.

Στην συνέχεια έγινε εφαρμογή του λογισμικού AirQ+, που είναι ένα εξειδικευμένο λογισμικό που έχει αναπτυχθεί από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (ΠΟΥ), και το οποίο επιτρέπει στον ερευνητή να εκτιμήσει τις πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία από την έκθεση του ανθρώπου σε συγκεκριμένο ατμοσφαιρικό ρύπο, σε συγκεκριμένη αστική περιοχή, κατά τη διάρκεια συγκεκριμένης χρονικής περιόδου, έγινε εκτίμηση της νοσηρότητας και της θνησιμότητας στην πόλη του Βόλου εξαιτίας των αιωρούμενων σωματιδίων (PM₁₀).

Σε ότι αφορά την δομή της παρούσης Διδακτορικής Διατριβής, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά σε κάποια εισαγωγικά στοιχεία για την ατμοσφαιρική ρύπανση και τα αιωρούμενα σωματίδια. Επιπλέον, στο κεφάλαιο 1 έχει γίνει βιβλιογραφική ανασκόπηση του προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης κυρίως στον αστικό ιστό. Εν συνεχεία, στο κεφάλαιο 2 έχει αναπτυχθεί η χρησιμότητα των ΤΝΔ και οι εφαρμογές τους την τελευταία 20ετία. Στο κεφάλαιο 3 έχει γίνει ανάλυση της ποιότητας του αέρα και της μετεωρολογίας. Παρουσιάζεται η επεξεργασία των χρονοσειρών των αιωρούμενων σωματιδίων στην πόλη του Βόλου από το 2001 έως το 2018 χρησιμοποιώντας στατιστικές μεθόδους ανάλυσης (παλινδρόμηση), μελέτη θερμής (Απρίλιος – Σεπτέμβριος) και ψυχρής (Οκτώβριος – Μάρτιος) περιόδου του έτους, κλπ. Επίσης, παρουσιάζεται και η ανάπτυξη των ΤΝΔ για την πρόγνωση της αέριας ρύπανσης στην πόλη του Βόλου. Στο κεφάλαιο 4 έχει γίνει ανάλυση των δεικτών ατμοσφαιρικής ρύπανσης και συγκεκριμένα στο δείκτη AQI για την πόλη του Βόλου. Στο κεφάλαιο 5 έχει γίνει αναφορά σε συγκεκριμένες περιπτώσεις μελέτης της αέριας ρύπανσης στην περιοχή του Βόλου. Στο κεφάλαιο 6 έχει γίνει εκτίμηση των πιθανών επιπτώσεων στην υγεία με τη χρήση του λογισμικού AIRQ+. Στο κεφάλαιο 7 υπάρχουν τα συμπεράσματα της διατριβής και συνεχίζεται ακολουθεί το παράρτημα με πίνακες και διαγράμματα από την στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε.

Abstract

Writing my PhD thesis, the initial objective was a detailed air quality study of the urban area of Volos, a medium-sized Mediterranean city, which has a complex topography but also an air pollution recording network consisting of one measurement station. In recent years, a network has been developed to measure air pollution, through research programs, so that there is a better and more reliable recording of atmospheric pollutants. The study of public health impacts was another key objective of this thesis. For this purpose, suspended particles with an aerodynamic diameter of less than $10\mu\text{m}$ (PM_{10}) have been chosen as the reference pollutant. A lot of scientific studies show that suspended particles are the main atmospheric pollutant in an urban environment, not only for Greece but also for almost all urban areas, not only in developed but also in developing countries. For the time period 2001-2018, an analysis was made of the PM_{10} average daily concentration values, the average annual values, the maximum and minimum values and their correlation with meteorological data with the appropriate methodology and analysis.

Also, an attempt was made to predict the concentration levels of PM_{10} in the urban area of Volos using Artificial Neural Networks (ANNs) from 2001 to 2009. Artificial Neural Networks were created and trained, so that we can say that this thesis enables a timely and quite valid forecast of the air quality in the urban area of Volos, regarding the PM_{10} concentration levels.

In addition, an attempt was made to create the Air Quality Index, (AQI). This index concerns the recording on a daily basis of the quality of the atmosphere and aims to inform citizens, researchers and authorities about the quality of the atmosphere.

Afterwards, the AirQ+ software was applied, which is a specialized software developed by the World Health Organization (WHO), and allows the researcher to estimate the possible public health effects of human exposure to a specific air pollutant, in specific urban area, during a specific time period, morbidity and mortality in the city of Volos due to suspended particles (PM_{10}) were estimated.

Regarding the structure of this thesis, the first chapter refers to some introductory data on air pollution and suspended particles. Moreover, in chapter 1 a bibliographic review has been made referring to the problem of atmospheric pollution mainly in the urban area. Then, in chapter 2 the use of Artificial Neural Networks and their applications in the last 20 years has been developed. In chapter 3 an analysis of air quality and meteorology has been made. The processing of the time series of suspended particles in the city of Volos from 2001 to 2018 using statistical methods of analysis (regression), study of warm (April – September) and cold (October – March) period of the year, etc. is also presented. The development of TNDs for air pollution forecasting in the city of Volos also studied in this chapter. In chapter 4, the air pollution indicators have been analyzed, specifically the AQI index for the city of Volos. In

chapter 5 reference has been made to specific cases of studying air pollution in the Volos urban area. In chapter 6 an assessment of the potential health effects has been made using the AIRQ+ software. In chapter 7 there are the conclusions of the thesis and then follows the appendix with tables and diagrams from the statistical analysis carried out.

Εισαγωγή και Σκοπός της Διδακτορικής Διατριβής

Για την εκπόνηση της διδακτορικής μου διατριβής ήταν απαραίτητη η συλλογή αναλυτικών μακροχρόνιων δεδομένων από τον σταθμό καταγραφής της ρύπανσης της ατμόσφαιρας, στην πόλη του Βόλου. Είναι γνωστό ότι η χωρική κατανομή των επιπέδων συγκέντρωσης ατμοσφαιρικών ρύπων εμφανίζει έντονη διακύμανση σε μια αστική περιοχή. Η διακύμανση αυτή οφείλεται κυρίως στην τοπογραφία, στο είδος της αστικής ανάπτυξης της περιοχής αλλά και στο είδος των πηγών που συμβάλλουν άμεσα ή έμμεσα στην ατμοσφαιρική ρύπανση της συγκεκριμένης περιοχής. Επίσης, η δομή των θέσεων δειγματοληψίας σε αστικές περιοχές είναι συνήθως ανομοιογενής, με αποτέλεσμα να εισάγονται ιδιαίτερες δυσκολίες τόσο στην χωρική απεικόνιση των συγκεντρώσεων των ατμοσφαιρικών ρύπων, όσο και στην αξιολόγηση των επιπτώσεων της αέριας ρύπανσης στα έμβια όντα, στη βλάστηση και γενικά στα οικοσυστήματα, αλλά και στις κατασκευές.

Στο πλαίσιο εκπόνησης της διδακτορικής μου διατριβής, η αρχική στόχευση ήταν μια λεπτομερής μελέτη της ποιότητας της ατμόσφαιρας της αστικής περιοχής του Βόλου, μίας μεσαίου μεγέθους μεσογειακής πόλης, που εμφανίζει θεμελιώδεις διαφοροποιήσεις, όχι μόνο στην τοπογραφία αλλά και στο δίκτυο καταγραφής της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Ταυτόχρονα η μελέτη των επιπτώσεων στη δημόσια υγεία. Για τον σκοπό αυτό, έχουν επιλεγεί τα αιωρούμενα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο 10 μm (PM₁₀), ως ο ρύπος αναφοράς, μιας και από πολλές επιστημονικές μελέτες φαίνεται πλέον ότι τα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούν το βασικότερο ατμοσφαιρικό ρύπο σε ένα αστικό περιβάλλον, τόσο για την Ελλάδα αλλά και για όλες σχεδόν τις αστικές περιοχές της Ευρώπης και γενικότερα των ανεπτυγμένων αλλά και των υπό ανάπτυξη χωρών. Έγινε ανάλυση των καταγεγραμμένων συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων από το σταθμό μέτρησης του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ) στην ευρύτερη περιοχή, που διατηρεί η Περιφέρεια Θεσσαλίας στην πόλη του Βόλου, για τη χρονική περίοδο 2001-2018. Επίσης, επιχειρήθηκε η ανάλυση των μέσων ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης των PM₁₀ με σκοπό τον εντοπισμό σημαντικών επεισοδίων ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προέρχονται είτε από ανθρωπογενείς πηγές της ευρύτερης περιοχής του Βόλου, είτε από τη μεταφορά σκόνης από την έρημο Σαχάρα, σε εξαιρετικές περιπτώσεις κατά τη διάρκεια του έτους. Η συσχέτιση με αντίστοιχα μετεωρολογικά δεδομένα και χάρτες

βοήθησε στην τελική επιλογή των κατάλληλων μετεωρολογικών δεδομένων, που σε συνδυασμό με επίγειες μετρήσεις, αποτέλεσαν τον πυρήνα της μεθοδολογίας και της βάσης δεδομένων.

Επιπλέον, στη Διατριβή αυτή, έγινε μία επιπλέον προσπάθεια της πρόγνωσης των επιπέδων συγκέντρωσης των PM_{10} στην αστική περιοχή του Βόλου με τη χρήση Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων (ΤΝΔ). Ειδικότερα, με βάση τα ΤΝΔ, που δημιουργήθηκαν και κατάλληλα εκπαιδεύτηκαν, μπορούμε να πούμε πως η Διατριβή αυτή δίνει τη δυνατότητα μιας έγκαιρης και αρκετά έγκυρης πρόγνωσης της ποιότητας της ατμόσφαιρας στην αστική περιοχή του Βόλου, όσον αφορά τα επίπεδα συγκέντρωσης των PM_{10} . Τα αποτελέσματα των προγνώσεων θα πρέπει να είναι προσαρμοσμένα στις απαιτήσεις των αντίστοιχων Κοινοτικών Οδηγιών, αποσκοπώντας έτσι στη λήψη των κατάλληλων και αναγκαίων, κάθε φορά, μέτρων για την προστασία της δημόσιας υγείας στην υπό μελέτη περιοχή.

Επιπρόσθετα, έγινε εκτίμηση του δείκτη αποτύπωσης της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος, Air Quality Index, (AQI). Ο δείκτης αυτός, αφορά την καταγραφή σε καθημερινή βάση της ποιότητας της ατμόσφαιρας και έχει ως σκοπό την ενημέρωση των πολιτών αλλά και των επιστημόνων και των αρμόδιων φορέων για την ποιότητα της ατμόσφαιρας, λόγω επιβάρυνσης από τους ατμοσφαιρικούς ρύπους. Ο ημερήσιος δείκτης AQI υπολογίζεται με βάση τις μέσες 24ωρες τιμές των αιωρούμενων σωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο $10\mu m$ (PM_{10}).

Τέλος, με εφαρμογή του λογισμικού AirQ+, το οποίο είναι ένα εξειδικευμένο λογισμικό που έχει αναπτυχθεί από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (ΠΟΥ), και το οποίο επιτρέπει στον ερευνητή να εκτιμήσει τις πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία από την έκθεση του ανθρώπου σε συγκεκριμένο ατμοσφαιρικό ρύπο, σε συγκεκριμένη αστική περιοχή, κατά τη διάρκεια συγκεκριμένης χρονικής περιόδου, έγινε εκτίμηση της νοσηρότητας και της θνησιμότητας στην πόλη του Βόλου εξαιτίας των αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{10}).

Σε ότι αφορά την δομή της παρούσης Διδακτορικής Διατριβής, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά σε κάποια εισαγωγικά στοιχεία για την ατμοσφαιρική ρύπανση και τα αιωρούμενα σωματίδια. Επιπλέον, στο κεφ. 1, έχει γίνει βιβλιογραφική ανασκόπηση του προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης κυρίως στον αστικό ιστό. Εν συνεχεία, στο κεφάλαιο 2 έχει αναπτυχθεί η χρήση των ΤΝΔ και οι εφαρμογές τους

την τελευταία 20ετία. Στο κεφάλαιο 3 έχει γίνει ανάλυση της ποιότητας του αέρα και της μετεωρολογίας. Παρουσιάζεται η επεξεργασία των χρονοσειρών των αιωρούμενων σωματιδίων στην πόλη του Βόλου από το 2001 έως το 2018 χρησιμοποιώντας στατιστικές μεθόδους ανάλυσης (παλινδρόμηση), μελέτη θερμής (Απρίλιος – Σεπτέμβριος) και ψυχρής (Οκτώβριος – Μάρτιος) περιόδου του έτους, κλπ. Επίσης, παρουσιάζεται και η ανάπτυξη των ΤΝΔ για την πρόγνωση της αέριας ρύπανσης στην πόλη του Βόλου. Στο κεφάλαιο 4 έχει γίνει ανάλυση των δεικτών ατμοσφαιρικής ρύπανσης και συγκεκριμένα στο δείκτη AQI για την πόλη του Βόλου. Στο κεφάλαιο 5 έχει γίνει αναφορά σε συγκεκριμένες περιπτώσεις μελέτης της αέριας ρύπανσης στην περιοχή του Βόλου. Η πρώτη περίπτωση μελέτης αφορά τα αποτελέσματα του ερευνητικού προγράμματος LIFE + Environment Policy and Governance 2009 στο οποίο είχα ενεργή συμμετοχή. Ο σκοπός αυτού του προγράμματος ήταν να αναδείξει στις Δημόσιες Αρχές, σε κεντρικό και περιφερειακό επίπεδο, την σημασία του ελέγχου και περιορισμού των συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM_{2.5} και PM₁₀ στην ατμόσφαιρα. Στη δεύτερη περίπτωση μελέτης, έχει γίνει καταγραφή των αποτελεσμάτων σε επίπεδο χωρικής κατανομής της αέριας ρύπανσης στην πόλη του Βόλου. Τα αποτελέσματα και των δύο αυτών περιπτώσεων μελέτης αναδεικνύουν το διαχρονικό πρόβλημα της αέριας ρύπανσης στην αστική περιοχή του Βόλου. Επιπλέον, τα παραπάνω ερευνητικά αποτελέσματα έχουν καταδειχθεί και μέσω πρόσφατης παρουσίασης ερευνητικής εργασίας, που έγινε στο πλαίσιο του διδακτορικού μου, στο 14th International Conference on Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics (COMECAP 2018), Alexandroupolis, Greece, October 15-17, 2018. Τέλος, έχει γίνει και μια περίπτωση μελέτης, για συγκεκριμένη χρονοσειρά συγκεντρώσεων PM₁₀, με Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα. Σύμφωνα με τα παραπάνω, μου δόθηκε η δυνατότητα να κάνω σύγκριση παλαιότερων χρονοσειρών και μελετών διαφορετικής προέλευσης, έχοντας έτσι πλέον μία ολοκληρωμένη εικόνα της διαχρονικής εξέλιξης της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στην περιοχή της πόλης του Βόλου, με βάση την επεξεργασία όλων αυτών των δεδομένων. Επιπλέον, μέρος των παραπάνω ερευνητικών αποτελεσμάτων της Διατριβής μου, παρουσιάστηκαν στο 15th International Conference on Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics (COMECAP 2021), Ioannina, Greece, September 26-29, 2021.

Στο κεφάλαιο 6 έχει γίνει εκτίμηση των πιθανών επιπτώσεων στην υγεία με τη χρήση του λογισμικού AIRQ+. Στο κεφάλαιο 7 υπάρχουν τα συμπεράσματα της

διατριβής και συνεχεία ακολουθεί το παράρτημα με πίνακες και διαγράμματα από την στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε.

Τέλος, στα πλαίσια της Διατριβής μου έχω συμμετάσχει στις παρακάτω εργασίες που έχουν ανακοινωθεί σε διεθνή συνέδρια:

Δημοσιεύσεις σε Πρακτικά Διεθνών Συνεδρίων με Σύστημα Κριτών

1. Proias G., Moustiris K.P., Nastos P.T., 2018. “Temporal evolution of PM₁₀ concentrations in the city of Volos”. Proceedings of the 14th International Conference on Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics (COMECAP 2018), Alexandroupolis, Greece, October 15-17, 2018.
2. Στη μνήμη του εκλιπόντα διακεκριμένου Καθηγητή του ΕΜΠ στο Τμήμα Χημικών Μηχανικών Ιωάννη Ζιώμα, το Διοικητικό Συμβούλιο του Μαριολοπουλείου – Καναγκινείου Ιδρύματος Επιστημών Περιβάλλοντος και το Εργαστήριο Φυσικής της Ατμοσφαιρας του ΑΠΘ αποφάσισαν να απονεύμουν βραβείο σε νέο επιστήμονα ο οποίος επελέγει μεταξύ αυτών που συμμετείχαν ως πρώτοι συγγραφείς στο συνέδριο COMECAP 2018. Για το λόγο αυτό συστάθηκε επιτροπή επιλογής από τους Χρήστο Ζερεφό Ακαδημαϊκό, Παναγιώτη Νάστο Καθηγητή ΕΚΠΑ και Πρόεδρο της ΕΜΤΕ και τους Καθηγητές του ΑΠΘ Αλκιβιάδη Μπάη, Δημήτριο Μελά και Δημήτριο Μπαλή. Η επιτροπή επιλογής αποφάσισε να απονεύμει το βραβείο εξ ημισείας στους παρακάτω νέους επιστήμονες:
Γεώργιο Πρώια, για την εργασία “Temporal evolution of PM₁₀ concentrations in the city of Volos” και,
Νικόλαο Σιώμο, για την εργασία “Aerosol classification based on the synergy of Brewer spectrophotometer and sunphotometer measurements”.
3. Proias G., Moustiris K.P., Nastos P.T., 2020. “Spatial temporal variation of particulate matter and adverse health effects in the greater Volos area, Greece”. Accepted abstract of the 15th International Conference on

Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics (COMECAP 2021), Ioannina, Greece, September 26-29, 2021.

4. Proias G., Moustris K.P., Nastos P.T., 2023. "PM10 concentration data analysis monitoring in Volos during the period 2001-2018". Accepted abstract of the EGU 2023 International Conference, in the Session ESS11.7 – Novel methods and applications of satellite and aerial imagery, Austria, April 23-28 April 2023.
5. Proias G., Moustris K.P., Nastos P.T., 2023. "Temporal evolution of particulate matter and adverse health effects in a medium sized Mediterranean city, Greece". Accepted abstract of the 16th International Conference on Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics (COMECAP 2023), Athens, Greece, September 25-29, 2023. All papers that will be presented at the conference having at least one registration, will be published in an open access journal by MDPI.
6. Proias G., Moustris K.P., Nastos P.T., 2023. "Particulate matter and adverse health effects in a medium sized Mediterranean city, Greece. An eighteen-year investigation". Abstract to the Special Issue "Advances in Integrated Air Quality Management: Emissions, Monitoring, Modelling (2nd Volume)". A special issue of *Atmosphere* (ISSN 2073-4433). This special issue belongs to the section "Air Quality".

Κεφάλαιο 1ο

Βιβλιογραφική ανασκόπηση ατμοσφαιρικής ρύπανσης (PM10 και PM2.5). Αποτελέσματα επιδημιολογικών μελετών για ατμοσφαιρική ρύπανση

1.1 Επιπτώσεις της βραχύχρονης έκθεσης - επιδημιολογικές μελέτες

Η παρουσία της ρύπανσης της ατμόσφαιρας επιδρά στην υγεία των ανθρώπων και παρατηρήθηκε αρχικά πριν από αρκετά χρόνια (Firket 1936, Schrenk 1949, Logan 1953). Οι αρχικές και απλές μεθοδολογικές μελέτες στο φαινόμενο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης προσδιόριζαν την αναλογία των θανάτων ως προς το σύνολο του πληθυσμού πριν, κατά τη διάρκεια και μετά από έντονα επεισόδια ρύπανσης. Στην σημερινή εποχή, η θνησιμότητα και η νοσηρότητα μελετώνται καθημερινά με βάση ακόμη και τις ελάχιστες μεταβολές της ρύπανσης. Κατά κύριο λόγο, οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται περιλαμβάνουν τη χρήση χρονοσειρών και τον συνδυασμό των περιπτώσεων (*case-crossover*). Από την έναρξη της δεκαετίας του '90, έχουν δημοσιευθεί πάνω από 500 επιστημονικά άρθρα, για τη νοσηρότητα και τη θνησιμότητα σχετικά με τη βραχύχρονη έκθεση στα αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας. Αρκετά από τα άρθρα κατέδειξαν την συσχέτιση μεταξύ των αιωρούμενων σωματιδίων και της θνησιμότητας ή της νοσηρότητας. Εκτενείς αναλύσεις των ανωτέρω παρείχαν πιο ολοκληρωμένες εκτιμήσεις της επίδρασης των αιωρούμενων σωματιδίων (Anderson 2009). Τα παραπάνω έχουν αποδειχθεί και σε συνδυαστικές μελέτες αρκετών πόλεων από πολλούς ερευνητές (Schwartz 2004, Katsouyanni et al. 2011, Nakayama et al. 2011). Τέλος, έχουν δημοσιευθεί αρκετές μελέτες που συγκρίνουν και παρουσιάζουν συνολικά τα συμπεράσματα από πλήθος επιδημιολογικών μελετών αναφέροντας τα αποτελέσματα (Karpos et al. 2004).

Αύξηση της καθημερινής θνησιμότητας δείχνουν πολλές επιδημιολογικές μελέτες. Συνήθως αυτό γίνεται σε ένα μικρό διάστημα μετά από τις ημέρες με αρκετά υψηλές συγκεντρώσεις σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Ο κίνδυνος είναι μεγαλύτερος και εντοπίζεται στους θανάτους που οφείλονται σε αναπνευστικά προβλήματα. Σύμφωνα με τους Samet et al., το 2000, βρέθηκαν ισχυρές ενδείξεις ότι τα αυξημένα επίπεδα των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα σχετίζονται με τον κίνδυνο θανάτου από όλες τις αιτίες αλλά και από καρδιαγγειακές και αναπνευστικές ασθένειες. Η εκτιμώμενη αύξηση του ρυθμού των θανάτων από όλες τις αιτίες ήταν 0.51% για κάθε αύξηση των επιπέδου αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ κατά 10μg/m³ ενώ, η εκτιμώμενη αύξηση του ρυθμού των θανάτων από καρδιαγγειακές και αναπνευστικές ασθένειες ήταν 0.68% για κάθε αύξηση των επιπέδου αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀

κατά $10\mu\text{g}/\text{m}^3$. Επίσης, άμεση σχέση εντοπίζεται μεταξύ της βραχύχρονης έκθεσης στα αιωρούμενα σωματίδια και στις εισαγωγές στα νοσοκομεία ή ακόμη και των επισκέψεων στα επείγοντα των νοσοκομείων. Τα προβλήματα στην υγεία αφορούν κυρίως το άσθμα, τη χρόνια πνευμονοπάθεια, την πνευμονία, τη μείωση της πνευμονικής λειτουργίας, το βήχα, την αδυναμία αναπνοής και άλλες αναπνευστικές, αλλά και καρδιαγγειακές παθήσεις (Καρολεμέα 2012).

Σε έρευνα που διεξήχθη σε δέκα (10) μεγάλες πόλεις της Αμερικής βρέθηκε άμεση σχέση μεταξύ των αιωρούμενων σωματιδίων και της αύξησης των θανάτων ανά ημέρα (Schwartz 2004). Παρατηρήθηκε αύξηση των θανάτων κατά 0.67% για κάθε $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ αύξηση της συγκέντρωσης των σωματιδίων, ενώ άλλοι παράγοντες, όπως η σκόνη και το κάπνισμα, δεν επηρέασαν τα αποτελέσματα της έρευνας. Τα αιωρούμενα σωματίδια (PM_{10}) ήταν μία ένδειξη για την πρόβλεψη των θανάτων και το συμπέρασμα ήταν ότι τα αίτια των θανάτων συσχετίστηκαν περισσότερο με θανάτους εκτός νοσοκομείου (0.89%), παρά εντός νοσοκομείου (0.49%). Τα παραπάνω αναφέρθηκαν σε ημέρες με μέση ημερήσια συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} μικρότερη των $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Καρολεμέα 2012).

Το 1999, οι Pope and Dockery ερεύνησαν πως επιδρά η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων στην περιοχή της Γιούτα των Η.Π.Α., κατά τη διάρκεια 10 ετών, από το 1985 έως το 1995. Τα αιωρούμενα σωματίδια PM_{10} βρέθηκαν να έχουν συσχέτιση με τη θνησιμότητα, καθώς παρατηρήθηκε πως μία αύξηση της συγκέντρωσής τους κατά $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ προκάλεσε αντίστοιχη αύξηση των θανάτων κατά 1.13%. Τα αιωρούμενα σωματίδια που προέρχονται από πρωτογενή και δευτερογενή καύση βρέθηκαν να είναι η πλέον κύρια αιτία αύξησης της θνησιμότητας, όπως επίσης και στις καρδιοπνευμονικές παθήσεις. Σε έρευνα που διεξήχθη στην Αυστρία το 2004, από τους Neuberger et al., τα αιωρούμενα σωματίδια $\text{PM}_{2.5}$ συσχετίστηκαν με παθήσεις του αναπνευστικού συστήματος για άντρες και για γυναίκες, ενώ τα αιωρούμενα σωματίδια PM_{10} μόνο για τους άνδρες, όταν η συγκέντρωσή τους ήταν πολύ υψηλή, όπως στη Βιέννη με $105\mu\text{g}/\text{m}^3$. Σημαντικές αυξήσεις υπήρξαν στις εισαγωγές στα νοσοκομεία για ανθρώπους άνω των 65 ετών. Τα αποτελέσματα αυτά δεν μπόρεσαν να συσχετίσουν τα αιωρούμενα σωματίδια (PM) με τη θνησιμότητα, αλλά μόνον με τη νοσηρότητα. Τα σωματίδια που αποδείχθηκαν ως περισσότερο υπεύθυνα ήταν τα κλάσματα σωματιδίων, που προέρχονται κυρίως από την κυκλοφορία των οχημάτων. Επιπλέον, οι παραπάνω έρευνες, επιβεβαιώθηκαν και το 2006 και από τους Bayer-Oglesby et al., που εντόπισαν δυνατή συσχέτιση των αναπνευστικών προβλημάτων από

τα καυσαέρια των οχημάτων όταν βρίσκονται σε δρόμους με κυκλοφοριακή συμφόρηση. Έρευνες έχουν δείξει ότι τα παιδιά είναι μία ιδιαίτερα ευπαθής ομάδα από τις επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων. Οι διακυμάνσεις στη συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ έχουν συσχετισθεί με εισαγωγές παιδιών στα νοσοκομεία, λόγω έντονων αναπνευστικών προβλημάτων. Αυτό πρακτικά σημαίνει, απουσία των μαθητών από το σχολείο, τα νηπιαγωγεία και τους παιδικούς σταθμούς, αλλά και αύξηση της κατανάλωσης φαρμάκων για το άσθμα (Kulkarni and Grigg 2008). Οι ασθενείς που πάσχουν από άσθμα, είτε έχουν μικρά προβλήματα στην αναπνευστική τους λειτουργία, είτε μεγαλύτερα συμπτώματα που παρουσιάζονται ως βήχας, φλεγμονώδεις εκκρίσεις, δυσκολία στην αναπνοή, λόγω της έκθεσης στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Στους ενήλικες περισσότερο, και όχι στα παιδιά, οι έρευνες δείχνουν ότι συχνά οδηγούνται σε καρδιακά προβλήματα (Karpos et al. 2004). Η συσχέτιση αυτή είναι ισχυρότερη για τα αιωρούμενα σωματίδια PM_{2.5}, παρά για τα σωματίδια PM₁₀ ή τα ολικά αιωρούμενα σωματίδια.

Άλλες έρευνες έχουν δείξει ισχυρή συσχέτιση των αιωρούμενων σωματιδίων με την ελάττωση της λειτουργίας των πνευμόνων σε ασθενείς με άσθμα (Peters et al. 1997). Επίσης, οι ασθενείς που έχουν καρδιαγγειακά προβλήματα, φαίνεται να επηρεάζονται από την έκθεση στα αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας (Zanobetti et al. 2011, Hampel et al. 2012). Αρκετές μελέτες έχουν δείξει ότι οι βραχύχρονες μεταβολές στην συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων συχνά προκαλούν καρδιοπάθεια και συγκεκριμένα έμφραγμα του μυοκαρδίου (Von Klot et al. 2011). Επιπλέον, άτομα με προϋπάρχουσες ασθένειες, έχουν χρησιμοποιηθεί σε ιατρικές έρευνες καθώς και ιατρικά δεδομένα για τη νοσηλεία τους σε νοσοκομεία, με σκοπό την εύρεση ατόμων που ανήκουν στις ευπαθείς ομάδες. Αυτές οι μελέτες δείχνουν ότι ασθενείς με χρόνια πνευμονοπάθεια (Sunyer et al. 2000), με καρδιακή ανεπάρκεια (Goldberg et al. 2001) και προηγούμενο έμφραγμα του μυοκαρδίου (Bateson and Schwartz 2004) ή διαβήτη (Bateson and Schwartz 2004) έχουν αρκετά υψηλό κίνδυνο και ενδεχομένως να έχουν επιδείνωση της υγείας τους, κατά τις ημέρες με υψηλή ατμοσφαιρική ρύπανση. Αντίστοιχα, ασθενείς με στεφανιαία νόσο, εκδηλώνουν ισχαιμία κατά τη διάρκεια μέτριας άσκησης, σε συνδυασμό με αυξημένες συγκεντρώσεις λεπτών και υπέρλεπτων σωματιδίων, μια με δύο ημέρες πριν την εκδήλωση των συμπτωμάτων (Pekkanen et al. 2002). Ασθενείς με εμφυτευμένο καρδιακό βηματοδότη μπορούν να δεχθούν παρεμβολές, εξαιτίας πιθανής ταχυκαρδίας

ή μαρμαρυγής, σε συνδυασμό με έντονη ατμοσφαιρική ρύπανση μια με δύο ημέρες πριν την εκδήλωση των συμπτωμάτων (Peters et al. 1999).

Στους ηλικιωμένους ανθρώπους έχουν παρατηρηθεί αλλαγές στον καρδιακό ρυθμό, είτε αύξηση είτε μείωση, ως επίπτωση της έντονης ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Jacobs et al., Liao et al. 1999), τόσο σε τυχαίο δείγμα πληθυσμού, όσο και σε συγκεκριμένες ομάδες ανθρώπων. Άλλες έρευνες, που είχαν ως αντικείμενο τη διακύμανση του καρδιακού ρυθμού, έδειξαν άμεση απόκριση σε διάστημα μερικών ωρών (Gold et al. 2000, Magari et al. 2001), ή μέσα στην ίδια ημέρα (Pope Arden Iii and Dockery 1999, Liao et al. 1999), ενώ η παρατεταμένη έντονη ατμοσφαιρική ρύπανση φάνηκε να λειτουργεί συσσωρευτικά, όσον αφορά τις συνέπειες στην καρδιακή λειτουργία (Pope Arden Iii and Dockery 1999, Peters et al. 1999). Άλλες μελέτες παρέχουν λιγότερα στοιχεία, αλλά αρκετά ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις, όπου φαίνεται ότι η επίδραση των αιωρούμενων σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα (Ghio et al. 2000, Saldiva et al. 2002), στην επιδείνωση της αθηροσκλήρωσης και στην αλλαγή της καρδιακής λειτουργίας, ενδέχεται να αποτελεί τμήμα του μηχανισμού, που συνδέει την σωματιδιακή ρύπανση με την καρδιαγγειακή θνησιμότητα (Peters and Pope 2002).

Έχει αποδειχθεί, ότι τα αιωρούμενα σωματίδια που επικάθονται στις κυψελίδες των πνευμόνων, ενεργοποιούν την παραγωγή κυτοκινών από τα κυψελιδικά μακροφάγα (Miyata and Van Eeden 2011) και τα επιθηλιακά κύτταρα (Hetland et al. 2001 and Okeson et al. 2003), επιτίθενται στα φλεγμονώδη κύτταρα (Driscoll et al. 1997) και διεγείρουν το μυελό των οστών (Terashima et al. 1997, Tan et al. 2000 and Goto et al. 2004). Όταν υπάρχουν συνθήκες ελεγχόμενης σωματιδιακής έκθεσης, έχει παρατηρηθεί ενδοθηλιακή δυσλειτουργία (Brook 2008), ενώ αυξημένα επίπεδα των αιωρούμενων σωματιδίων του περιβάλλοντος μπορεί να προκαλέσουν μικρή αύξηση της αρτηριακής πίεσης (Ibald-Mulli et al. 2003, Brook and Rajagopalan 2009). Τα παραπάνω έχουν παρατηρηθεί σε ηλικιωμένα άτομα, σε άτομα με υποκείμενη καρδιαγγειακή νόσο αλλά ακόμα και σε υγιή άτομα. Μεταξύ των ηλικιωμένων ατόμων, μεγαλύτερη ευπάθεια έχουν όσοι πάσχουν από καρδιαγγειακή νόσο (Goldberg et al. 2001 and Liao et al. 2004). Ωστόσο, αν οι ασθενείς με στεφανιαία νόσο λάμβαναν κατάλληλη φαρμακευτική αγωγή θα μπορούσαν να μειωθούν σημαντικά τα προβλήματά τους (Ibald-Mulli et al. 2003).

Ανακεφαλαιώνοντας, οι βραχυπρόθεσμες μελέτες δείχνουν μια σημαντική συσχέτιση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων με την ανθρώπινη υγεία,

ακόμα και για πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις των σωματιδίων, για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Από τα επιστημονικά δεδομένα των ερευνών, σύμφωνα με τον Schwartz το 2004, δε μπορεί να υπάρξει κατώτατο όριο συγκέντρωσης που να μην έχει επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Φαίνεται όμως από τις έρευνες ότι, επηρεάζονται περισσότερο από την ατμοσφαιρική ρύπανση, άτομα με χρόνιες παθήσεις όπως άσθμα, χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια, πνευμονία, και άλλες αναπνευστικές παθήσεις, αλλά και ασθενείς με καρδιαγγειακή νόσο και διαβήτη.

1.2 Επιπτώσεις της μακρόχρονης έκθεσης - επιδημιολογικές μελέτες

Σύμφωνα με τους Firket το 1936 και Logan το 1953, με αφορμή διάφορα σοβαρά συμβάντα ατμοσφαιρικής ρύπανσης, είχε ερευνηθεί ο χρόνος έκθεσης στην ρύπανση με τις υψηλές συγκεντρώσεις σωματιδίων και την αύξηση της θνησιμότητας. Δημοσιευμένες επιδημιολογικές μελέτες, από το 1989 μέχρι το 1996, μελέτησαν στις επιπτώσεις στην υγεία, σε χαμηλά επίπεδα σωματιδιακής ρύπανσης και αρκετές φορές μη αναμενόμενα χαμηλά όρια (Pope Arden Iii 1999). Τα αποτελέσματα των ερευνών ήταν παρεμφερή, οπότε οι επιστήμονες κλήθηκαν να επανεξετάσουν τα πρότυπα και τα όρια για την ανθρώπινη υγεία. Ξεκίνησε ένα μακροπρόθεσμο ερευνητικό πρόγραμμα, με στόχο την ανάλυση της επίδρασης, που δημιουργεί στην ανθρώπινη υγεία η ατμοσφαιρική ρύπανση (Samet et al. 2000). Το μεγαλύτερο μέρος των επιδημιολογικών ερευνών είχε ασχοληθεί με τις επιπτώσεις της βραχύχρονης έκθεσης, αρκετές όμως μελέτες δείχνουν, ότι και η μακροχρόνια έκθεση μπορεί να είναι αρκετά σημαντική για τη δημόσια υγεία (Pope Arden Iii 1999). Η έκθεση του ανθρώπινου οργανισμού σε αιωρούμενα σωματίδια επί σειρά ετών μπορεί να οδηγήσει σε χρόνια προβλήματα υγείας, όπως, μεταξύ άλλων, καρδιαγγειακές και καρδιοπνευμονικές νόσους καθώς και καρκίνο του πνεύμονα (Nerriere et al. 2005 and Beelen et al. 2007). Η αλληλεπίδραση των αιωρούμενων σωματιδίων και της αυξημένης θνησιμότητας έχει αποδειχθεί σε πολλές έρευνες του πληθυσμού, που έχουν διεξαχθεί, τόσο στις Ηνωμένες Πολιτείες (Dockery et al. 1993, Pope et al. 1995, Jerrett et al. 2005), όσο και στην Ευρώπη (Hoek et al. 2008). Δεν θα μπορούσαν όμως να μην υπάρχουν και αντιφάσεις στα αποτελέσματα τέτοιου είδους μελετών. Από τις τέσσερις μεγαλύτερες μελέτες πληθυσμού που πραγματοποιήθηκαν στην Αμερική οι τρεις από αυτές και συγκεκριμένα, η Harvard Six Cities Study (Dockery et al. 1993), η American Cancer Society Study (Pope et al. 1995) και η Adventist Health Study of SMOG (Nishino,

Abbey et al. 1996) έχουν δείξει αύξηση του κινδύνου για καρδιακή, πνευμονική θνησιμότητα και θνησιμότητα από καρκίνο.

Οι Dockery et al. το 1993, διεξήγαγαν μελέτη 16 ετών σε έξι μεγάλες πόλεις των Η.Π.Α. και ανακοίνωσαν πολύ ενδιαφέροντα συμπεράσματα. Αρχικά, όταν έγινε προσαρμογή των αποτελεσμάτων μεταξύ του καπνίσματος και άλλων επικίνδυνων παραγόντων, βρέθηκε ισχυρή συσχέτιση μεταξύ της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και της θνησιμότητας. Πιο συγκεκριμένα, τα σωματίδια $PM_{2.5}$ και τα θειικά άλατα είχαν θετική συσχέτιση με τους θανάτους από καρκίνο των πνευμόνων και από καρδιοπνευμονικές νόσους, αλλά δεν είχαν με άλλες αιτίες που εξετάστηκαν κατά τη διάρκεια της έρευνας.

Σε μελέτη των Pope et al. το 2002 στις Ηνωμένες Πολιτείες έδειξε, ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση λόγω των λεπτών σωματιδίων και του διοξειδίου του θείου ήταν άμεσα συναρτώμενη με τη θνησιμότητα από καρκίνο των πνευμόνων, καρδιοπνευμονικές νόσους, αλλά και με τη θνησιμότητα από όλες τις αιτίες. Η αυξητική τάση της συγκέντρωσης των $PM_{2.5}$ κατά $10\mu g/m^3$ σχετίστηκε με αυξημένο κίνδυνο για θανάτους από όλες τις αιτίες, καρδιοπνευμονικούς θανάτους και θανάτους από καρκίνο του πνεύμονα κατά 4%, 6% και 8%, αντίστοιχα. Τα χονδρόκοκκα κλάσματα, καθώς και τα ολικά αιωρούμενα σωματίδια συσχετίστηκαν σε πολύ χαμηλό ποσοστό με τη θνησιμότητα. Οι μελέτες των Dockery et al. (1993) και Pope et al. (1995) μελετήθηκαν και αναλύθηκαν εκ νέου από τους Krewski et al. το 2000.

Η μελέτη πληθυσμών των Abbey et al. (1999), που πραγματοποιήθηκε σε μη καπνιστές από το 1973 έως το 1992 στην Καλιφόρνια, έδειξε θετική συσχέτιση των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} με θανάτους από οποιαδήποτε αναπνευστική νόσο τόσο για τους άντρες όσο και για τις γυναίκες. Επίσης, θετική συσχέτιση των PM_{10} με θανάτους από καρκίνο των πνευμόνων και θανάτους από όλες τις αιτίες φάνηκε στα αποτελέσματα της μελέτης αλλά μόνο για τους άντρες. Αντίθετα, τα αποτελέσματα για την επίδραση του όζοντος έδειξαν ισχυρότερη συσχέτιση από τα PM_{10} με τους θανάτους από καρκίνο των πνευμόνων κυρίως στους άνδρες. Από τους υπόλοιπους ρύπους ουδείς άλλος είχε ισχυρή συσχέτιση με καρδιοπνευμονικούς θανάτους είτε αναπνευστικής νόσου θανάτους και για τους άντρες και για τις γυναίκες.

Οι McDonnell et al. (2000) επιβεβαίωσαν με την έρευνά τους την συσχέτιση της μακρόχρονης έκθεσης στα PM_{10} με τη θνησιμότητα κυρίως στο ανδρικό φύλο, ενώ βρέθηκε πολύ μικρή έως μηδενική συσχέτιση για τις γυναίκες. Επιπλέον, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η σύνδεση των χονδρόκοκκων κλασμάτων (*coarse fractions*) ήταν αμελητέα, σε συνάρτηση με αυτή των λεπτόκοκκων (*fine fractions*). Τα

παραπάνω, επιβεβαίωσε η μελέτη των (Abbey et al. 1999). Επιπλέον, υπήρξε η ένδειξη ότι το όζον είναι πιο παθογόνος παράγοντας από τα PM_{2.5} για υποκείμενες αιτίες θανάτου. Όμως, μελέτη που δημοσιεύθηκε στη Veteran's Administration Cohort Mortality Study (Lipfert et al. 2000), έδειξε ότι δεν υπάρχει συσχέτιση ανάμεσα στη θνησιμότητα και τα PM_{2.5}.

Αρκετά πρόσφατα, έχουν δημοσιευθεί δύο ευρωπαϊκές μελέτες, μετά από έρευνα αρκετών ετών, που έγιναν σε τυχαίο δείγμα πληθυσμού, από την πληθυσμιακή μελέτη Διατροφής και Καρκίνου στην Ολλανδία (*Netherlands Cohort Study on Diet and Cancer*) (ηλικίας μεταξύ 55 και 69 χρονών), που πραγματοποιήθηκε από το 1986 έως το 1994. Σε αυτή την μελέτη, παρατηρήθηκε αυξητική τάση της καρδιοπνευμονικής θνησιμότητας που συσχετίστηκε με την απόσταση της κατοικίας από το βασικό οδικό δίκτυο (Beelen et al. 2007). Σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε στο Δουβλίνο, (*Dublin Interventional Study*) διερευνήθηκε κατά πόσο η μείωση της χρήσης του άνθρακα επηρεάζει τα ποσοστά θανάτων στο Δουβλίνο. Βρέθηκε ότι μείωση του καπνού (*black smoke*) κατά 70% είχε άμεση σχέση με τη μείωση της πνευμονικής θνησιμότητας κατά 15% και των καρδιαγγειακών θανάτων κατά 10.3% (Clancy et al. 2002). Επιπλέον, σε άλλες μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί για την σχέση των μεταγεννητικών θανάτων στα βρέφη με τη σωματιδιακή ρύπανση έχει βρεθεί ισχυρή επίδραση (Romieu et al. 2004 and Kim et al. 2007).

Αρκετές έρευνες που πραγματοποιήθηκαν στις Η.Π.Α. και στην Ευρώπη βρήκαν ότι υπάρχει ισχυρή σχέση μεταξύ της σωματιδιακής ρύπανσης της ατμόσφαιρας και της νοσηρότητας όπως για παράδειγμα του βήχα, του άσθματος και της βρογχίτιδας (McConnell et al. 1999, Saldiva et al. 2002), καθώς και μειωμένη λειτουργία των πνευμόνων (Ackermann-Lieblich et al. 1997, Forbes et al. 2009), αυξητική τάση των λεμφοκυττάρων και των αλλεργιογόνων αντισωμάτων IgE στο αίμα (Leonardi et al. 2000) καθώς και ελάττωση της σωστής ανάπτυξης των πνευμόνων των παιδιών (Avol et al. 2001, Kulkarni and Grigg 2008).

Σε περιοχές με υψηλές συγκεντρώσεις της σωματιδιακής ρύπανσης έχει βρεθεί ότι τα παιδιά εμφανίζουν έντονα αναπνευστικά προβλήματα, χωρίς όμως ισχυρή σχέση μεταξύ της σωματιδιακής ρύπανσης και της ασθένειας, (Langkulsen et al. 2006). Η μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ των πνευμόνων ενός ενήλικου ανθρώπου κι ενός παιδιού σημειώνεται στον αυξημένο ρυθμό μεταβολισμού του ενήλικου. Επομένως, ένας ενήλικας έχει πιο πολλές αναπνοές ανά λεπτό οπότε υπάρχει αυξητική τάση στην έκθεση του ενήλικου στην ατμοσφαιρική σωματιδιακή ρύπανση με το χρόνο. Τα

παιδιά, που βρίσκονται στο στάδιο της ανάπτυξης δεν έχουν αναπτύξει τους πνεύμονές τους με αποτέλεσμα οι ατμοσφαιρικοί σωματιδιακοί ρύποι δυνητικά να μεταβάλλουν την σωστή και φυσιολογική ανάπτυξη τους. (Kulkarni and Grigg 2008).

Κατά την προγεννητική περίοδο, υπάρχουν πολλές μελέτες έχουν σημειώνουν ότι η έκθεση σε σωματιδιακή ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να δημιουργήσει συνθήκες πρόωρου τοκετού και μικρότερο του φυσιολογικού βάρους του μωρού (Romieu et al. 2004, Kim et al. 2007). Το 2007 οι Jalaludin et al. και το 2011 οι Parker et al. βρήκαν ότι υπάρχει σχέση μεταξύ της έκθεσης σε διοξείδιο του αζώτου κατά το δεύτερο και τρίτο τρίμηνο της κύησης με το μικρότερο βάρους γέννησης. Τα αποτελέσματα όμως αυτά δεν έδιναν ισχυρή συσχέτιση για τους πρόωρους τοκετούς. Επίσης, δεν υπάρχουν ακόμη ασφαλή συμπεράσματα για το πως η σωματιδιακή ρύπανση επηρεάζει τους πνεύμονες του εμβρύου, αλλά υπάρχει όμως ισχυρή συσχέτιση για την επίδραση των σωματιδιακών ρύπων στην ανάπτυξη της καρδιάς αλλά και άλλων οργάνων του ανθρώπου (Mills et al., 2009).

Οι καρδιαγγειακές παθήσεις φαίνεται να κατέχουν την υψηλότερη θέση ανάμεσα στις υπόλοιπες, διότι τα αποτελέσματα ερευνών που έχουν γίνει δείχνουν υψηλό σχετικό κίνδυνο (*RR*) τέτοιων περιστατικών κατά την έκθεση για μεγάλο χρονικό διάστημα στην σωματιδιακή ρύπανση και ιδιαίτερα στα λεπτά σωματίδια (Miller et al., 2007). Μερικές άλλες μελέτες δείχνουν ότι οι συνέπειες των αιωρούμενων σωματιδίων είναι περισσότερες και εντονότερες στο γυναικείο φύλο από ότι στο αντρικό (Künzli et al. 2000). Στη μελέτη των Chen and Kan το 2008 βρέθηκε ότι ο σχετικός κίνδυνος για στεφανιαία νόσο ήταν 1.42 για τις γυναίκες κατά την αύξηση $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ των αιωρούμενων σωματιδίων $\text{PM}_{2.5}$, ενώ δε βρέθηκε κάτι αντίστοιχο για τους άντρες.

Τα συμπεράσματα των ερευνών δηλώνουν, ότι τα επίπεδα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης έχουν χρόνιες και αρνητικές επιδράσεις στην ανάπτυξη των πνευμόνων τόσο των παιδιών όσο και των ενηλίκων (Sandström and Brunekreef 2007). Επίσης, σύμφωνα με άλλες μελέτες, επηρεάζεται και η λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος (Karpos et al. 2004). Ο κίνδυνος για τη δημόσια υγεία είναι πολύ μεγάλος, καθώς οι επιπτώσεις φαίνονται ακόμα και σε χαμηλά επίπεδα αιωρούμενων σωματιδίων.

1.3 Κοινοί μηχανισμοί πίσω από τις επιπτώσεις στην υγεία

Η σύσταση και οι υποδιαίρεσεις ως προς το μέγεθος των αιωρούμενων σωματιδίων δεν είναι πλήρως κατανοητά καθώς και η συσχέτιση που υπάρχει με την ανθρώπινη υγεία. Μολαταύτα, είναι πολλές οι επιστημονικές μελέτες που δείχνουν ότι όσο πιο λεπτόκοκκα είναι τα σωματίδια τόσο αυξάνεται η τοξικότητα μέσω του οξειδωτικού στρες και των φλεγμονών (Valavanidis et al. 2006). Επιπλέον, τα αποτελέσματα των επιδημιολογικών μελετών βρίσκονται σε ταύτιση με τα τοξικολογικά δεδομένα (Karpos et al. 2004).

Σύμφωνα με επιστημονικές μελέτες, οι επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στην υγεία σχετίζονται κυρίως με χρόνιες καρδιοπνευμονικές νόσους (Schwarze et al. 2006). Η χημική σύσταση των σωματιδίων (π.χ. PAHs, VOC) μπορεί να προκαλέσει αντιδράσεις με φλεγμονές και να ενεργοποιήσουν το λεγόμενο οξειδωτικό στρες (Li et al. 2008, Nakayama et al. 2011). Η συνεχής αύξηση δραστικών ριζών οξυγόνου και οι χημικές διεργασίες των υπεροξειδίων μπορεί να προκαλέσουν μεταβολικά και λειτουργικά προβλήματα στα επιθηλιακά κύτταρα των πνευμόνων. Τα σωματίδια, οι οξειδωμένες ουσίες και οι κυτοκίνες αλληλεπιδρούν, κάτι που ενδεχομένως να οδηγήσει σε φλεγμονή (Driscoll et al. 1997, Hetland et al. 2001). Λόγω της χρόνιας αναπνευστικής φλεγμονής των πνευμόνων, μπορεί να αναπτυχθεί ίνωση, χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια, αλλεργικό άσθμα, ακόμα και καρκίνος (Schwarze et al. 2006).

Τα μικρά και ιδιαίτερα τα λεπτόκοκκα σωματίδια (*fine and ultrafine particles*) επειδή έχουν πολύ μικρό μέγεθος, μπορούν εύκολα να εισχωρήσουν στα κυψελιδικά τοιχώματα (*alveolar walls*), δημιουργώντας δραστικές ρίζες οξυγόνου και φλεγμονές, με αποτέλεσμα να μειώνεται ο χώρος του οξυγόνου στις κυψελίδες. Επίσης, μπορεί να προκαλέσουν καρδιαγγειακά προβλήματα, που σχετίζονται με την πήξη του αίματος, με άμεση συνέπεια την καρδιακή υπερτροφία και έμφραγμα του μυοκαρδίου (Nawrot et al. 2011 and Von Klot et al. 2011). Οι επικίνδυνες αυτές συνέπειες εμφανίζονται και στο νευρικό σύστημα, που επηρεάζει τον καρδιακό ρυθμό δημιουργώντας αρρυθμία (Hampel et al. 2012). Οι Lucchini et al., το 2012 βρήκαν ότι τα λεπτόκοκκα σωματίδια μεταφέρονται στο κεντρικό νευρικό σύστημα μέσω των νευρώνων όσφρησης, που μπορεί να προκαλέσει φλεγμονές και αλλοιώσεις.

Τα αποτελέσματα των ερευνών για τον ανθρώπινο οργανισμό δείχνουν ότι οι βραχύχρονες αντιδράσεις των φλεγμονών δεν μπορούν να βρεθούν σε όλες τις περιπτώσεις (κυρίως σε χαμηλές συγκεντρώσεις), λόγω των ήπιων αντιδράσεων και

δεν φαίνεται να έχουν σοβαρές λειτουργικές αλλοιώσεις. Οι Scapellato, Lotti et al., το 2007 ερευνήσαν κατά πόσο μία φλεγμονή μπορεί να ενεργοποιεί το μηχανισμό οξείας καρδιοπνευμονικής τοξικότητας των σωματιδίων σε ευπαθή άτομα, ή αν μπορεί να συνδέεται με άλλους σχετικούς μηχανισμούς

Όλα τα παραπάνω δημιουργούν ακόμη περισσότερο την ανάγκη περαιτέρω διερεύνησης των επιπτώσεων στην υγεία.

1.4 Τοξικολογικές μελέτες

Ο βασικός σκοπός των τοξικολογικών ερευνών είναι να τεκμηριωθεί η αξιοπιστία των στατιστικών δεδομένων έχοντας υπόψη τα επιδημιολογικά στοιχεία, για τις επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στην ανθρώπινη υγεία. Ένας ακόμη παράγοντας είναι η εξαγωγή στοιχείων για τα χημικά συστατικά των αιωρούμενων σωματιδίων που δημιουργούν τις επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία και να αναλυθεί ο τρόπος δράσης τους καθώς και η σχέση αιτίου - αποτελέσματος. Τα αποτελέσματα των ερευνών κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών έχουν καταγραφεί σε βάσεις δεδομένων (US-EPA 2003). Τα αποτελέσματα των πειραμάτων στο εργαστήριο, δίνουν στους ερευνητές στοιχεία για τους μηχανισμούς. Όμως, αρκετές φορές τα πειραματικά αποτελέσματα έχουν απόκλιση από τις πραγματικές τιμές. Παρόλα αυτά, δίνουν όμως στους επιστήμονες μία βάση ερευνών.

Η σύσταση των σωματιδίων είναι μερικές φορές πιο τοξική. Τα μέταλλα (Fe, Ni, V, Zn) που ανιχνεύονται στην τέφρα του πετρελαίου έχουν επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία (Nazir et al. 2011). Σε μελέτη που έγινε στη Γιούτα των ΗΠΑ, (Pope et al. 1999), έγιναν πειράματα σε ποντίκια μέσω σταγονιδίων του αέρα και σε ανθρώπους (βρόγχους), με αποτέλεσμα να προκαλέσουν τοπικές φλεγμονές.

Τα πειράματα στα ποντίκια που έγιναν σε συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM_{2.5}) για τρεις ημέρες και πέντε ώρες κάθε ημέρα, είχαν ως συνέπεια να δημιουργηθούν φλεγμονές σε νεαρούς αρουραίους (ηλικίας τεσσάρων μηνών) αρκετά μεγαλύτερες σε σχέση με μεγαλύτερους ηλικίας είκοσι μηνών. Αρκετές έρευνες δείχνουν να συμφωνούν με την τοξικότητα στην καρδιακή λειτουργία των σωματιδίων και μας παρέχουν δεδομένα σε σχέση με τους μηχανισμούς πρόκλησης (Nelin et al. 2012). Με βάση τις μελέτες, τα σωματίδια μπορούν να προκαλέσουν αύξηση της πήξης του αίματος και φλεγμονώδη αντίδραση που μπορεί να μην είναι μόνιμη. Ακόμη, έχει παρατηρηθεί οξειδωτική βλάβη και έκκριση κυτοκινών κατά την έκθεση σε PM_{2.5} καθώς μέταλλα και οργανικές ουσίες. Δείγματα συγκεντρώσεων

PM_{2.5} έχουν συνδεθεί άμεσα με την τοξικότητα (Li et al. 2008, Dieme et al. 2012). Η στοιχειακή σύσταση των σωματιδίων φαίνεται να είναι ένας σημαντικός παράγοντας επηρεασμού των αποτελεσμάτων (Cavanagh et al. 2009). Οι επιδράσεις που φαίνονται στα πειράματα, επηρεάζουν κυρίως μεγάλης ηλικίας ζώα, αλλά και ζώα με χαμηλό ανοσοποιητικό σύστημα.

Οι συνέπειες, ιδιαίτερα των λεπτόκοκκων σωματιδίων παρουσιάζουν ενδιαφέρον, κυρίως λόγω της μεγάλης τους επιφάνειας, σε σύγκριση με αυτή των μικρών σωματιδίων. Οι Kim et al. το 2001, σε μελέτη που πραγματοποίησαν, σύγκριναν τα αποτελέσματα των μικρών και των λεπτόκοκκων σωματιδίων. Τα αποτελέσματα που περιγράφονται παρακάτω έδειξαν ότι σε ίση μάζα, τα λεπτόκοκκα σωματίδια ήταν πιο τοξικά, προκαλώντας τύπου οξειδωτικού στρες αντιδράσεις. Οι συνέπειες έχουν άμεση εξάρτηση από τη χημική σύσταση των σωματιδίων, όπως τα ZnO σωματίδια είναι πιο τοξικά από τα MgO (Kuschner et al. 1997). Οι Gunasekar and Stanek το 2011, σε παρουσίαση που έκαναν σε συνέδριο τοξικολογίας σημείωσαν την τοξικότητα των λεπτόκοκκων σωματιδίων και ιδιαίτερα αυτών που παράγονται από βαρέα κράματα βολφραμίου. Τα πειραματικά όμως δεδομένα είναι ακόμη λίγα για να βγουν ασφαλή συμπεράσματα για το ρόλο των πολύ μικρών σωματιδίων στην ανθρώπινη υγεία.

1.5 Εκτίμηση του κινδύνου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Η χρήση ενός εργαλείου εκτίμησης των συνεπειών στην ανθρώπινη υγεία από την έκθεση σε αέρια ρύπανση θα λειτουργήσει θετικά στην επιστημονική κοινότητα. Ένα τέτοιο εργαλείο θα πρέπει να συνδυάζει τα αποτελέσματα της έκθεσης του πληθυσμού, τις τιμές θνησιμότητας και νοσηρότητας του πληθυσμού, και συναρτήσεις έκθεσης - απόκρισης από επιδημιολογικές μελέτες. Η εκτίμηση των συνεπειών για την ανθρώπινη υγεία είναι ένα εργαλείο ανάλυσης του κινδύνου, ώστε οι πολιτικές που εφαρμόζονται να μπορούν να αξιολογούν τις επιπτώσεις στην υγεία των πολιτών (Wisnar et al. 2007). Επομένως, οι επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στην υγεία συνδράμουν ενεργά στη βελτιστοποίηση των προτύπων, στην μείωση της ανθρώπινης έκθεσης σε τοξικούς ρύπους, αλλά και στην ελάττωση του κινδύνου σε προβλήματα υγείας.

Σύμφωνα με τον Οργανισμό Παγκόσμιας Υγείας (WHO 2002), η ρύπανση της ατμόσφαιρας είναι υπεύθυνη για το 1.4% των συνολικών πρόωρων θανάτων και για το 0.8% των ετών ζωής με αναπηρία σε όλο τον κόσμο. Η έκθεση των ανθρώπων στην

ατμοσφαιρική ρύπανση, κυρίως σε εξωτερικούς χώρους ευθύνεται για το 2% αναπνευστικών προβλημάτων (Cohen et al. 2004). Οι επιπτώσεις της έκθεσης σε αιωρούμενα σωματίδια είναι μεγάλες, λαμβάνοντας υπ' όψιν το συνολικό πληθυσμό που εκτίθεται (Chen and Kan 2008). Επιπλέον, έκθεση σε χαμηλά επίπεδα ρύπανσης για μεγάλα χρονικά διαστήματα, είναι δυνατό σε ορισμένες περιοχές να δημιουργήσει σοβαρές και δύσκολες καταστάσεις στην δημόσια υγεία (Furberg et al. 2005).

Γενικότερα, έχουν δημοσιευθεί αρκετές έρευνες για τις επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στη δημόσια υγεία. Ειδικότερα στην Ευρώπη πολλοί ερευνητές έχουν προσπαθήσει να μελετήσουν την επίδραση και τις συνέπειες των αιωρούμενων σωματιδίων στην ανθρώπινη υγεία. Οι Künzli et al. το 2000, σε μελέτη τους, προσπάθησαν να εκτιμήσουν τις επιπτώσεις των αέριων ρύπων σε χώρες της Κεντρικής Ευρώπης, (Αυστρία, Γαλλία και Ελβετία). Από την έρευνα βρέθηκε ότι τα αιωρούμενα σωματίδια είναι υπεύθυνα για 40,000 πρόωρους θανάτους, 25,000 περιστατικά χρόνιας βρογχίτιδας και χιλιάδες κρίσεις άσθματος και βρογχίτιδας κάθε χρόνο. Επίσης, άλλες έρευνες έδειξαν ότι υπήρχε μείωση στον προσδόκιμο χρόνο ζωής των ανδρών στην Ολλανδία κατά 1.5 έτος (Brunekreef 1997). Στο πλαίσιο του προγράμματος *Apheis*, λαμβάνοντας υπόψη τις εκτιμήσεις από 23 ευρωπαϊκές χώρες (Boldo et al. 2006), η έρευνα κατέδειξε ότι αν μειωθεί η μέση ετήσια συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων $PM_{2.5}$ στα $15\mu g/m^3$, θα μπορούσαν να έχουν αποφευχθεί τουλάχιστον 17,000 πρόωροι θάνατοι. Ακόμη, θα είχαμε αύξηση της μέσης διάρκειας ζωής έως και 2 χρόνια ιδιαίτερα σε πόλεις με αυξημένα επίπεδα ρύπανσης (Boldo et al. 2006). Πρόσφατη μελέτη στις Η.Π.Α. κατέδειξε, ότι η ετήσια μείωση της μέσης συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων $PM_{2.5}$ κατά $10\mu g/m^3$ αντιστοιχεί με αύξηση της διάρκειας ζωής κατά 0.61 έτη (Pope et al. 2009).

Σύμφωνα με τους Ballester et al. το 2008, αν η μέση ετήσια συγκέντρωση των $PM_{2.5}$ είναι μικρότερη από $10\mu g/m^3$ (Οδηγία του WHO), οι πρόωροι θάνατοι θα μειωνόταν κατά 41 άτομα στα 100,000, στις πόλεις που μελετά το πρόγραμμα *Apheis*. Επιπλέον, η διάρκεια ζωής των ανθρώπων στην Ευρώπη θα είχε αύξηση τουλάχιστον 2.3 μήνες ως το 2020 (WHO 2005) αν τα κράτη εφαρμόζαν τις οδηγίες για τα όρια των αιωρούμενων σωματιδίων. Κατά τη διάρκεια του 2000, τα μικρά σωματίδια προκάλεσαν μείωση της διάρκειας ζωής των Ευρωπαίων κατά 8.6 μήνες και ως συνέπεια ήταν ο πρόωρος θάνατος 348,000 ανθρώπων (COMM 2005). Σε παγκόσμια κλίμακα, ο αριθμός αυτός φαίνεται ότι ξεπερνάει τους 800,000 (Cohen et al. 2004).

Η ατμοσφαιρική ρύπανση στη Ρωσία έχει ως συνέπεια περί τους 87,000 θανάτους σε ετήσια βάση και διαμορφώνει το 4% των συνολικών θανάτων στη χώρα (Golub et al. 2008). Σύμφωνα με μελέτη στην Ιαπωνία, αν στο Τόκιο τα ετήσια επίπεδα σωματιδίων PM_{2.5} μειώνονταν στα 12μg/m³, τότε το ποσοστό της συνολικής θνησιμότητας θα ελαττωνόταν κατά 8% οπότε και θα υπήρχαν 6,700 πρόωροι θάνατοι λιγότεροι (Yorifuji et al. 2005). Οι Forsberg et al. το 2005, μελετώντας τα αστικά κέντρα και την ύπαιθρο στη Σουηδία βρήκαν ότι τα αιωρούμενα σωματίδια ευθύνονταν για 4,700 πρόωρους θανάτους στα αστικά κέντρα και 600 θανάτους στην ύπαιθρο.

Δεν είναι όμως μόνο η ανθρώπινη απώλεια αλλά και το κόστος στον κρατικό προϋπολογισμό. Το κόστος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε ετήσια βάση αποτιμάται περί τα 50-60 δισεκατομμύρια ευρώ κυρίως λόγω της πρόωρης θνησιμότητας και 29 δισεκατομμύρια ευρώ, από την μεγάλη νοσηρότητα στις χώρες της Ευρώπης. Αν κάποιος θέλει να μιλήσει με οικονομικούς όρους αυτά αντιστοιχούν με το 1% του Α.Ε.Π. (Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν) της Ευρωπαϊκής Ένωσης (WHO 2005). Σε παγκόσμιο επίπεδο και σε χώρες όπως η Κίνα, που η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι σε μεγαλύτερη κλίμακα, τα ποσοστά είναι στο 3.3 % του Α.Ε.Π. (World Bank 2007) ενώ στη Ρωσία οι τιμές αυτές είναι ακόμα υψηλότερες (Golub et al. 2008).

Σύμφωνα λοιπόν με την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, η ατμοσφαιρική ρύπανση εξαιτίας των αιωρούμενων σωματιδίων αποτελεί πλέον παγκόσμιο πρόβλημα, καθώς οι δυσμενείς συνέπειες εμφανίζονται ολοένα και σε μικρότερες συγκεντρώσεις των ρύπων. Τα διαθέσιμα ως τώρα δεδομένα δεν έχουν αξιοποιηθεί σε τέτοιο βαθμό, ώστε να καθιερωθούν συγκεκριμένες και ασφαλείς κατώτατες επιτρεπόμενες τιμές της ρύπανσης (Chen and Kan 2008, Anderson 2009). Η μείωση των τοπικών επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης θα σηματοδοτούσε τη μείωση της διασυνοριακής ρύπανσης. Επιπροσθέτως, περιορισμός των δυσμενών συνεπειών στην δημόσια υγεία θα αποτελούσε και οικονομικό όφελος.

1.6 Οι μεταφορές στις σύγχρονες κοινωνίες

Στην σημερινή εποχή ο άνθρωπος έχει να επιλέξει ανάμεσα σε αρκετά μέσα μεταφοράς. Σύμφωνα με μελέτες, ο χρόνος που χρειάζεται να δαπανήσει ο σύγχρονος άνθρωπος για τις μετακινήσεις αποτελεί περίπου το 5-10% του 24ωρου (Klepeis et al. 2001). Όμως, πολύ σημαντικό ρόλο παίζει και το μέρος. Η διάρκεια των μετακινήσεων έχει αρκετές διακύμανσεις αλλά και εξάρτηση από πολλούς παράγοντες όπως η ανάγκη μετακίνησης, ο σκοπός μετακίνησης αλλά και το μέσο μετακίνησης. Επίσης, στην

επιλογή του μέσου μετακίνησης επενεργούν και άλλοι παράγοντες όπως για παράδειγμα η βροχόπτωση, η θερμοκρασία, κ.λπ.

Αρκετές μελέτες έχουν γίνει για τις μετακινήσεις των πολιτών κατά την διάρκεια του 24ωρου. Οι Saxena et al. το 2009 βρήκαν ότι ο χρόνος που δαπανήθηκε σε μετακινήσεις, ανάμεσα σε 4,311 κατοίκους στο Δελχί, κυμάνθηκε μεταξύ 0.8% και 10% της ημέρας και υπήρχαν διάφορες εναλλαγές ανάλογα με την ηλικία, το φύλο και το επάγγελμα. Η κατάσταση και η συμπεριφορά στις αγροτικές περιοχές είναι τελείως διαφορετική από των ανθρώπων στα αστικά κέντρα.

Σημαντικό ρόλο παίζει και η ηλικία στη χρήση των μεταφορών. Παιδιά και ενήλικες εμφανίζουν διαφορετική συμπεριφορά στη χρήση του χρόνου κατά τη διάρκεια του 24ωρου αλλά και για τις μετακινήσεις τους. Σύμφωνα με έρευνες, τα παιδιά, είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στις συνέπειες που προκαλούν στην υγεία τους οι αέριοι ρύποι (Avol et al. 2001, Ashmore and Dimitroulopoulou 2009) ενώ κύριο μέρος των μετακινήσεων τους αφορά στο σχολείο. Στο θέμα όμως της χρήσης συγκεκριμένου μέσου μεταφοράς αποφασίζουν οι γονείς. Από τις μελέτες είναι σαφές ότι τα παιδιά αλλά και οι νέοι έχουν συγκεκριμένη άποψη για το μεταφορικό μέσο που χρησιμοποιούν και κυρίως το ποδήλατο και το περπάτημα, ενώ οι γονείς κατά κύριο λόγο το αυτοκίνητο ή τη μηχανή (Lorenc et al. 2008).

Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε στην Αυστραλία και συγκεκριμένα στο Queensland, με 745 εργαζόμενους ενήλικες, σε ποσοστό 50% περίπου των συμμετεχόντων θεωρούν ότι η έκθεση τους σε σωματιδιακούς ρύπους κατά τη διάρκεια των μετακινήσεων τους, επηρεάζει δυσμενώς την υγεία και εμπεριέχει κινδύνους για καρδιαγγειακές νόσους. Ωστόσο, μόνο το 13% των συμμετεχόντων θεώρησε ότι αποτελεί τροχοπέδη για τη χρήση του αυτοκινήτου και δήλωσαν ότι θα το χρησιμοποιούν σε ποσοστό 82% ανεξαρτήτως επιπτώσεων (Badland et al. 2009). Επιπλέον, οι Badland et al., το 2009, διαπίστωσαν ότι οι άνθρωποι που ζουν στα αστικά κέντρα, έχουν πιο υψηλό μορφωτικό επίπεδο από τους ανθρώπους στην επαρχία και είναι καλύτερα ενημερωμένοι για τις επιδράσεις της έκθεσης στην αέρια ρύπανση. Σύμφωνα με τους Marshall et al., το 2009, στο Βανκούβερ του Καναδά, έδειξαν ότι σε περιοχές με υψηλά εισοδήματα και χαμηλό επίπεδο αέριας ρύπανσης υπήρχε μεγάλο ποσοστό ανθρώπων που επέλεγαν την πεζοπορία. Φαίνεται πράγματι ότι υπάρχει μία κοινωνική και οικονομική σύνδεση μεταξύ των μετακινήσεων και έκθεσης στην αέρια ρύπανση, γεγονός που αναδεικνύει και τις ανισότητες που υπάρχουν στις διάφορες περιοχές των πολέων (Marshall 2008, Tonne et al. 2008).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2. Νευρωνικά δίκτυα και εκτεταμένη ανάλυση χρησιμότητας νευρωνικών, εφαρμογές την τελευταία 20ετία σε διεθνές επίπεδο. Στατιστική ανάλυση των χρησιμοποιούμενων δεικτών για αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των μοντέλων

2.1 Ιστορική αναδρομή

Περί τα τέλη της δεκαετίας του 1940, ο Donald Hebb, (Heeb 1942, 1949) έκανε μια εικασία που ήταν από τις πρώτες σε παγκόσμιο επίπεδο, για τον τρόπο λειτουργίας αλλά και την δυνατότητα των νευρώνων να μαθαίνουν.. Ο τομέας των Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων (ΤΝΔ) αρχίζει δειλά να εξελίσσεται όταν το 1943 οι McCulloch και Pitts δημιούργησαν το πρώτο μοντέλο τεχνητών νευρώνων. Ο Frank Rosenblatt το 1962, δημιούργησε το μοντέλο τεχνητής αντίληψης-νόησης (perceptron model) με το οποίο έδειξε στον επιστημονικό κόσμο τις ικανότητες των ΤΝΔ να λύνουν αρχικά, απλά προβλήματα.

Κατά την έλευση του 1950, ο Friedrich Hayek (1995) ήταν ο πρώτος που εισήγαγε την ιδέα της χωρίς περιορισμούς εντολής στον εγκέφαλο του ανθρώπου, που είναι αποτέλεσμα ενός συνολικού δικτύου απλών μονάδων που ονομάζονται νευρώνες. Ένα από τα πρώτα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ΤΝΔ) πολυστρωματικής αντίληψης – νόησης (multilayer artificial neural network) στον κόσμο ήταν το Cognitron του Fukushima (1975). Τα αρχικά ΤΝΔ μπορούσαν να προωθήσουν πληροφορίες μόνο προς μια κατεύθυνση. Ο Hopfield το 1982 κατάφερε να δημιουργήσει ένα ΤΝΔ που είχε επικοινωνία μεταξύ των νευρώνων αμφίδρομα, δηλαδή και από τις δύο πλευρές. Καθ' όλη τη δεκαετία του 1980, τα ΤΝΔ εξελίσσονται και γίνονται περισσότερο γνωστά για τις δυνατότητες που έχουν, κάτι που φαινόταν μακρινό κατά την προηγούμενη δεκαετία του 1970. Ο βασικός λόγος της μη χρησιμοποίησης των ΤΝΔ ήταν όταν οι Minsky and Papert το 1969 έδειξαν με μαθηματικό μοντέλο ότι τα ΤΝΔ είχαν πολύ μικρά περιθώρια ανάπτυξης και μικρή δυνατότητα στο να επιλύουν προβλήματα.

Οι εργασίες των Rumelhart et al το 1986 και 1988 αντίστοιχα, ήταν ίσως ο σημαντικότερος παράγοντας επαναφοράς τους στην επιστημονική κοινότητα. Η έρευνα αυτή αφορούσε την επαναφορά του αλγόριθμου οπισθοδρομικής διάδοσης λάθους (back-propagation learning algorithm) κάτι που τον έκανε ιδιαίτερος γνωστό ανά τον κόσμο. Ουσιαστικά, ο αλγόριθμος αυτός είχε μελετηθεί αρκετές φορές παλαιότερα. Ο Paul Werbos το 1974, σε ανάλυση μοντέλων οικονομικής και πολιτικής πρόβλεψης πρότεινε να χρησιμοποιηθεί ο συγκεκριμένος αλγόριθμος. Αλλά μόλις τη

δεκαετία του 1980 απογειώθηκε. Η τεχνολογική εξέλιξη των υπολογιστών κατά τη δεκαετία του 1980 βοήθησε στην πρόοδο των αλγορίθμων καθώς η αύξηση της ταχύτητας στους υπολογιστές έδωσε τη δυνατότητα της εκπαίδευσης των ΤΝΔ σε πιο σύνθετα προβλήματα.

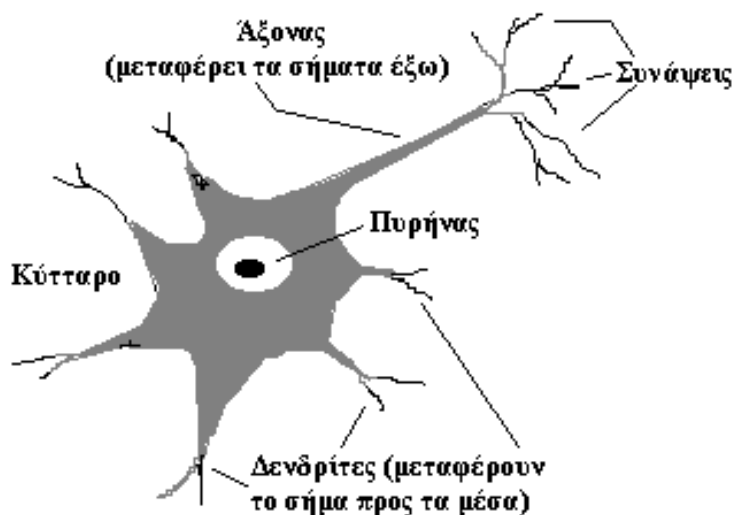
Τα τελευταία χρόνια έχει ενεργοποιηθεί εκ νέου το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας για τα ΤΝΔ, για την εξέλιξη και χρησιμότητά τους. Η αυξανόμενη τεχνολογική εξέλιξη των υπολογιστών δημιούργησε όλο και πιο ισχυρά ΤΝΔ, όλο και τελειότερους αλγορίθμους εκπαίδευσης και μάθησης, επομένως τπήρξε αναθέρμανση του ενδιαφέροντος για τα ΤΝΔ. Παραδείγματα των ΤΝΔ είναι π.χ η μηχανή του Boltzmann, το μοντέλο Fukushima, το δίκτυο του Kohonen, το μοντέλο μάθησης του Rumelhart, το δίκτυο του Hopfield και το μοντέλο θεωρίας συντονισμού των Carpenter και Grossberg (Ackley et al. 1985, Hopfield and Tank 1986, Carpenter and Grossberg 1988, Kohonen, 1988). Με αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκε πολύ μεγάλο ενδιαφέρον στους ερευνητές σε τομείς όπως η Μηχανική, η Επιστήμη των Ηλεκτρονικών Υπολογιστών, η Φυσική, τα Μαθηματικά, κ.λπ.

2.2 Χαρακτηριστικά των Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων

Η λειτουργία του εγκεφάλου του ανθρώπου παραμένει μέχρι και σήμερα σχετικά άγνωστη και οι ερευνητές αναζητούν απαντήσεις για τη λειτουργία του ανθρώπινου οργανισμού. Στο εσωτερικό του ανθρώπινου εγκεφάλου υπάρχει ένα είδος κυττάρου που δε φαίνεται να αναπαράγεται όπως άλλα κύτταρα του ανθρώπινου οργανισμού. Αυτό το είδος των κυττάρων που δεν αναπαράγεται και δεν αλλάζει με το χρόνο παρά ελάχιστα δίνει τη δυνατότητα στους ανθρώπους να σκέφτονται, να θυμούνται, να αποθηκεύουν πληροφορίες που θα ανακαλέσουν όταν χρειαστεί. Τα κύτταρα αυτά που αγγίζουν το ένα δισεκατομμύριο, ονομάζονται νευρώνες (Σχήμα 2.1). Στους ανθρώπινους νευρώνες, η πληροφορία μεταφέρεται ως ηλεκτρικός παλμός που ταξιδεύουν στον άξονα κάθε νευρώνα και μεταδίδονται στους δενδρίτες των νευρώνων που προσλαμβάνουν την πληροφορία. Ο κάθε νευρώνας έχει τη ικανότητα να συνδέεται και να αλλάζει πληροφορίες με άλλους 200.000 περίπου νευρώνες. Ο ανθρώπινος εγκέφαλος έχει πολύ μεγάλο αριθμό νευρώνων με πολλαπλές συνδέσεις μεταξύ τους που του δίνει ιδιαίτερη δυναμική και ικανότητα για μάθηση αλλά και προγραμματισμό.

Ο κάθε νευρώνας έχει πολύπλοκη δομή και αποτελείται από πάρα πολλά τμήματα και υποσυστήματα αλλά και μηχανισμούς ελέγχου. Οι πληροφορίες

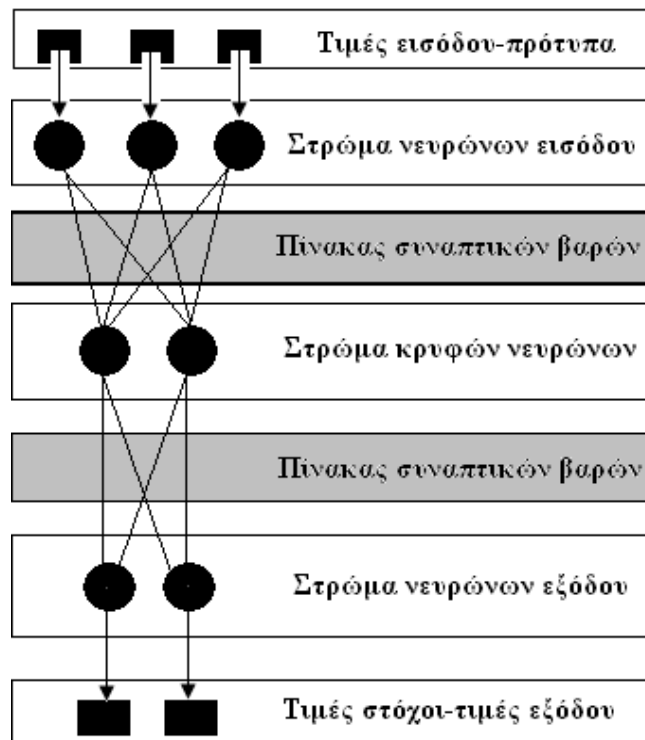
μεταφέρονται μέσω ενός συστήματος διαδρόμων και έχει βρεθεί ότι υπάρχουν πάνω από 100 διαφορετικοί τύποι νευρώνων. Οι συνδέσεις μεταξύ των νευρώνων δεν είναι σταθερές ούτε συγχρονισμένες και δεν μοιάζουν με τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, ή ακόμα και με τα ΤΝΔ.



Σχήμα 2.1: Νευρώνας ανθρώπινου εγκεφάλου.

Το ηλεκτρονικό μοντέλο που βασίζεται στον τρόπο λειτουργίας των νευρώνων του ανθρώπινου εγκεφάλου ονομάζεται Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο (ΤΝΔ). Τα ΤΝΔ είναι συστήματα που αποτελούνται από αλγόριθμους που διαμορφώνονται αόριστα κι έχουν δομή παρόμοια με των νευρώνων του ανθρώπινου εγκεφάλου αλλά σε διαφορετική και πιο μικρή κλίμακα. Οι τεχνητοί νευρώνες, στα περισσότερα λογισμικά χρήσης ΤΝΔ ονομάζονται στοιχεία επεξεργασίας (processing elements) και αποτελούν το βασικό τους πυλώνα (Μουστρής 2009).

Τα ΤΝΔ είναι οργανωμένα με την μορφή στρωμάτων – επιπέδων (layers). Τα στρώματα αυτά απαρτίζονται από διάφορους κόμβους συνδεδεμένους μεταξύ τους που περιέχουν μια λειτουργία ενεργοποίησης. Τα ΤΝΔ, στο αρχικό στάδιο υπάρχει συγκέντρωση των τεχνητών νευρώνων μέσα σε ένα στρώμα – επίπεδο. Εν συνεχεία, τα στρώματα αυτά έχουν την ικανότητα να ενώνονται μεταξύ τους. Ο τρόπος που ενώνονται τα στρώματα αυτά είναι και η δυνατότητα που έχουν τα ΤΝΔ να βρίσκουν λύσεις σε προβλήματα. Τα ΤΝΔ έχουν την ίδια δομή, όπως αυτή παρουσιάζεται στο σχήμα 2.2 που παρουσιάζει την δομή ΤΝΔ με ένα κρυφό στρώμα.



Σχήμα 2.2: Αρχιτεκτονική δομή ΤΝΔ.

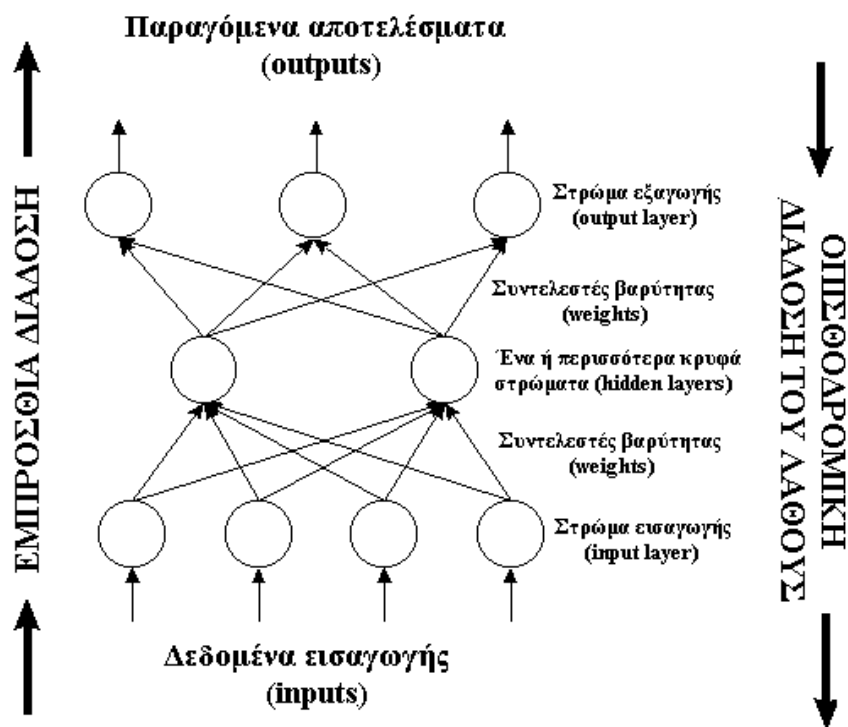
Στην παραπάνω δομή, ορισμένοι από τους νευρώνες είναι μία συνεχή επικοινωνία με το εξωτερικό περιβάλλον, παίρνοντας δεδομένα εισόδου (inputs). Οι παραπάνω νευρώνες αποτελούν το στρώμα εισαγωγής (input layer) των τιμών. Υπάρχουν όμως και νευρώνες που παρουσιάζουν την εικόνα του εξωτερικού περιβάλλοντος, με βάση τα αποτελέσματα που δημιουργούνται από το εκπαιδευμένο σύστημα ΤΝΔ. Οι νευρώνες αυτοί αποτελούν το στρώμα εξαγωγής αποτελεσμάτων (output layer). Αυτό το στρώμα εξαγωγής είναι το αποτέλεσμα ουσιαστικά που δείχνει ότι το σύστημα ΤΝΔ έχει αρχίσει να «σκέφτεται», ότι έχει ταυτοποιήσει το πρόβλημα και αναζητά τη λύση του. Αρκετοί ακόμη νευρώνες δεν είναι εμφανείς αλλά βρίσκονται αθέατοι δουλεύοντας τη λύση του προβλήματος, Το στρώμα αυτό αποτελεί το σύνολο των κρυφών στρωμάτων (hidden layers).

Στα πιο πολλά ΤΝΔ, ο κάθε νευρώνας σε ένα κρυφό στρώμα, παίρνει σήματα και έχει επαφή με όλους τους υπόλοιπους νευρώνες στο στρώμα που βρίσκεται πάνω από το δικό του, δηλαδή το στρώμα εισαγωγής δεδομένων. Όταν ο νευρώνας επεξεργαστεί την πληροφορία και εφαρμόσει τη λειτουργία που πρέπει να κάνει, το αποτέλεσμα που παράγεται το μεταβιβάζει στους άλλους νευρώνες του επόμενου στρώματος από το δικό του στρώμα. Δημιουργεί με αυτόν τον τρόπο προώθηση της

πληροφορίας και των αποτελεσμάτων προς τα μπροστά. Η επικοινωνία μεταξύ των στρωμάτων και των νευρώνων τους είναι το πιο σημαντικό κομμάτι των ΤΝΔ (Μουστρής 2009).

Δύο είναι οι βασικοί τρόποι επικοινωνίας μεταξύ των νευρώνων και των στρωμάτων τους. Ο πρώτος τύπος ουσιαστικά ωθεί έναν νευρώνα να εμποδίσει τη λειτουργία ενός άλλου νευρώνα που βρίσκεται στο ίδιο στρώμα με αυτόν (lateral inhibition). Αυτό συναντάται κυρίως μεταξύ των νευρώνων στο στρώμα εξαγωγής αποτελεσμάτων. Σε ένα πρόβλημα αναγνώρισης κειμένου, αν η πιθανότητα ένας χαρακτήρας του κειμένου να είναι το γράμμα «N» είναι 75% και η πιθανότητα να είναι το γράμμα «O» είναι 55%, το ΤΝΔ πρέπει να αποφασίσει. Με αυτόν το τρόπο, επιλέγει τη μεγαλύτερη από τις πιθανότητες, εμποδίζοντας όλες τις άλλες.

Ο δεύτερος τύπος επικοινωνίας μεταξύ των νευρώνων είναι η ανατροφοδότηση στην επικοινωνία (feedback). Το αποτέλεσμα από ένα στρώμα εξαγωγής γυρίζει πίσω σε ένα προηγούμενο από αυτό στρώμα. Στο προηγούμενο στρώμα που γυρίζει η πληροφορία, γίνεται κατάλληλη επεξεργασία των αποτελεσμάτων που υπάρχουν μέχρι εκείνη την στιγμή, γίνονται οι απαραίτητες διορθώσεις και το νέο αποτέλεσμα μεταφέρεται στο επόμενο στρώμα. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται δημιουργώντας τους λεγόμενους κύκλους εκμάθησης του ΤΝΔ. Ο τρόπος σύνδεσης και επικοινωνίας των νευρώνων έχει άμεση και σημαντική επίδραση στην ορθή ανάπτυξη και λειτουργία του ΤΝΔ και επομένως άμεσο αντίκτυπο στην αξιοπιστία των αποτελεσμάτων του. Στα λογισμικά πακέτα που αφορούν ΤΝΔ, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να προσθέτει ή να αφαιρεί και γενικότερα να ελέγχει αυτούς τους τρόπους επικοινωνίας μεταξύ των νευρώνων και των στρωμάτων. Ένα παράδειγμα αυτού του είδους επικοινωνίας εμφανίζεται στο Σχήμα 2.3.



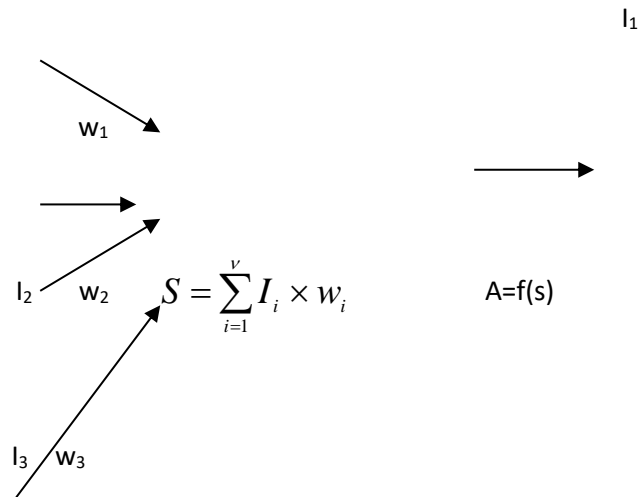
Σχήμα 2.3: Επικοινωνία με ανατροφοδότηση.

Επτά (7) είναι τα βασικά χαρακτηριστικά κάθε τεχνητού νευρώνα. Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι απαραίτητα για τους νευρώνες του συστήματος σε οποιοδήποτε σημείο και να βρίσκονται (στρώμα εισαγωγής, στρώμα εξαγωγής, ενδιάμεσα κρυφά στρώματα). Παρακάτω παρουσιάζονται τα επτά αυτά χαρακτηριστικά:

1) Συντελεστής βαρύτητας-στάθμισης (weighting factors). Ο κάθε νευρώνας παίρνει ταυτόχρονα ένα μεγάλο πλήθος πληροφοριών. Κάθε πληροφορία έχει στον νευρώνα το δικό της συντελεστή βαρύτητας, κι επομένως έχει την δυναμική που θα βοηθήσει στη διαδικασία επεξεργασίας. Κάθε συντελεστής βαρύτητας μπορεί κατά τη διαδικασία επεξεργασίας να αλλάξει και κάποια δεδομένα εισαγωγής να γίνονται πιο σημαντικά ενώ κάποια άλλα λιγότερο γεγονός που δίνει τη δυνατότητα στο ΤΝΔ να πραγματοποιήσει πιο ολοκληρωμένα την επεξεργασία των δεδομένων.

2) Συνάρτηση αθροίσματος (summation function). Κατά την επεξεργασία των δεδομένων βασική παράμετρος είναι ο υπολογισμός του αθροίσματος των γινομένων των δεδομένων εισαγωγής επί των αντίστοιχων συντελεστών βαρύτητας (συναπτικά βάρη), όλων των δεδομένων εισαγωγής. Τα δεδομένα εισαγωγής και οι αντίστοιχοι συντελεστές βαρύτητάς τους, μπορούν να σημειωθούν σαν $(I_1, I_2, I_3, \dots, I_v)$

και $(w_1, w_2, w_3, \dots, w_v)$ αντίστοιχα. Επομένως, δημιουργούνται έτσι δεδομένα εισαγωγής (ΔE) με έναν απλό πολλαπλασιασμό των I_i



Σχήμα 2.4: Τεχνητός Νευρώνας

διανυσμάτων με το αντίστοιχο w_i διάνυσμά τους ($\Delta E_1=I_1*w_1, \Delta E_2=I_2*w_2, \Delta E_3=I_3*w_3$ κ.ο.κ.). Το άθροισμα όλων των γινομένων των I_i διανυσμάτων με το αντίστοιχο w_i διάνυσμά τους ($\Delta E_1+\Delta E_2+\Delta E_3+ \dots +\Delta E_v$) δημιουργεί μία αθροιστική συνάρτηση. Η απλή αθροιστική συνάρτηση, μπορεί να είναι και πιο πολύπλοκη, ανάλογα με το πρόβλημα που πρέπει να επιλύσει το ΤΝΔ.

3) Συνάρτηση μεταφοράς ή ενεργοποίησης (transfer or activation function). Το συνολικό άθροισμα συγκρίνεται με κάποιο κατώτατο όριο, καθορίζοντας με αυτόν τον τρόπο το αποτέλεσμα εξαγωγής αποτελεσμάτων από τον νευρώνα. Η συνάρτηση μεταφοράς είναι μια μη γραμμική συνάρτηση. Εδώ θα πρέπει να αναφέρουμε ότι οι γραμμικές συναρτήσεις μεταφοράς έχουν συνήθως μικρές δυνατότητες εξαγωγής αποτελεσμάτων διότι πρέπει τα δεδομένα εισαγωγής να είναι ανάλογα με τα ζητούμενα από το ΤΝΔ αποτελέσματα (Διαμαντάρας 2007).

4) Κλίμακα και περιορισμοί (scaling and limiting). Αφού ολοκληρωθεί η επεξεργασία με τη συνάρτηση μεταφοράς, μπορεί να υπάρχει και μια πρόσθετη διαδικασία του αποτελέσματος που είναι η κλίμακα και οι περιορισμοί. Η κλίμακα είναι ένας απλός πολλαπλασιασμός με έναν παράγοντα κλίμακας της τιμής της συνάρτησης

μεταφοράς. Ο μόνος περιορισμός που υπάρχει είναι ότι το αποτέλεσμα δεν υπερβαίνει ένα ανώτερο ή ένα κατώτερο όριο.

5) Συνάρτηση παραγωγής – ανταγωνισμού (output function-competition). Ένα σήμα παραγωγής δημιουργείται από κάθε στοιχείο επεξεργασίας και αλληλεπιδρά με πολλούς άλλους νευρώνες. Αυτό ακριβώς συμβαίνει και με τους ανθρώπινους νευρώνες, όπου πλήθος πληροφορίας οδηγεί σε ένα μόνο αποτέλεσμα. Υπάρχει έντονος ανταγωνισμός μεταξύ των νευρώνων, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται εμπόδια και τελικά να επικρατεί ο νευρώνας με την μεγαλύτερη δυναμική και μπορεί να υπάρχει σε παραπάνω από ένα επίπεδο. Ο ανταγωνισμός αυτός καθορίζει ποιος τεχνητός νευρώνας θα παρέχει ένα αποτέλεσμα. Εν συνεχεία, τα παραγόμενα προϊόντα βοηθούν στον καθορισμό του ποια διαδικασία επεξεργασίας ή προσαρμογής θα πάρει μέρος στην εκμάθηση των νευρώνων.

6) Συνάρτηση λάθους και οπισθοδρομική διάδοση τιμής (error function and back-propagated value). Στα πιο πολλά ΤΝΔ, όταν εκπαιδεύονται υπολογίζεται η τυχόν διαφορά μεταξύ του παραγόμενου από το ΤΝΔ αποτελέσματος και του πραγματικού ή επιθυμητού αποτελέσματος. Αυτό το αρχικό ανεπεξέργαστο λάθος, μετατρέπεται με τη βοήθεια της συνάρτησης λάθους, δημιουργώντας έτσι μια ξεχωριστή αρχιτεκτονική στο ΤΝΔ. Στη συνέχεια, με την οπισθοδρομική διάδοση, το λάθος μετακινείται προς τα πίσω σε προηγούμενο στρώμα. Εν συνεχεία, επαναλαμβάνεται η διαδικασία εκμάθησης με τη βοήθεια της συνάρτησης εκμάθησης και παραγωγής αποτελέσματος από το ΤΝΔ και υπολογίζεται το νέο λάθος, κλείνοντας έτσι ένας νέος κύκλος εκμάθησης.

7) Συνάρτηση εκμάθησης (learning function). Η συνάρτηση εκμάθησης έχει ως σκοπό να αλλάξει τους μεταβλητούς συντελεστές βαρύτητας στην εισαγωγή των δεδομένων σε κάθε στοιχείο επεξεργασίας, σύμφωνα με νευρωνικούς αλγόριθμους. Υπάρχουν δύο τύποι εκμάθησης. Ο πρώτος τύπος εκμάθησης είναι η ελεγχόμενη ή εποπτευόμενη (supervised learning) εκμάθηση και ο δεύτερος τύπος είναι η μη ελεγχόμενη ή μη εποπτευόμενη (unsupervised learning) εκμάθηση (Hopfield 1987).

Το ΤΝΔ στη διαδικασία της ελεγχόμενης εκμάθησης πρέπει πρώτα να εκπαιδευτεί για να δίνει σωστά και χρήσιμα αποτελέσματα. Η εκπαίδευσή του ΤΝΔ για να είναι ολοκληρωμένη θα πρέπει να υπάρχει αλληλεπίδραση στην παρουσίαση τόσο των δεδομένων εισαγωγής όσο και των επιθυμητών – πραγματικών αποτελεσμάτων σε

αυτό. Το σύνολο αυτών των δεδομένων ονομάζεται σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης (training set). Δηλαδή, για κάθε σύνολο δεδομένων εισαγωγής στο ΤΝΔ, την ίδια στιγμή του δίνεται και το αντίστοιχο σύνολο δεδομένων με τα πραγματικά – επιθυμητά αποτελέσματα. Με αυτόν τον τρόπο, το ΤΝΔ έχει τη δυνατότητα μέσω της λειτουργίας της οπισθοδρομικής διάδοσης του λάθους, να αλλάζει τις τιμές των συντελεστών βαρύτητας των νευρώνων και να επαναλάβει τον κύκλο μάθησης, λόγω της σύγκρισης με το δικό του αποτέλεσμα, σε κάθε κύκλο εκπαίδευσης, με το πραγματικό – επιθυμητό αποτέλεσμα. Η διαδικασία αυτή εκμάθησης παίρνει αρκετή ώρα και εξαρτάται από το βαθμό δυσκολίας του προβλήματος που πρέπει να λύσει το ΤΝΔ, αλλά και από τα δεδομένα.

Για να εκπαιδευτεί σωστά το ΤΝΔ θα πρέπει ο ερευνητής να γνωρίζει το πρόβλημα καθώς και τα στοιχεία που διαθέτει. Θα πρέπει τα δεδομένα εκπαίδευσης να είναι πολλά ή τουλάχιστον αρκετά για να εκπαιδευτεί το ΤΝΔ στη λύση του προβλήματος. Υπάρχουν βέβαια και περιπτώσεις που κάποια δεδομένα λείπουν ή υπάρχουν δεδομένα που δεν έχουν σχέση με το πρόβλημα. Τότε το ΤΝΔ έχει δυσκολία στο να δώσει λύση στο πρόβλημα και δημιουργείται «θόρυβος» με αποτέλεσμα το ΤΝΔ να μην μπορεί να εκπαιδευτεί σωστά και να δώσει σωστά αποτελέσματα και ολοκληρωμένη λύση. Υπάρχει όμως και μία άλλη παράμετρος που πρέπει ο χρήστης να λάβει υπ’ όψη. Είναι ο μικρός αριθμός δεδομένων εκπαίδευσης του ΤΝΔ που μπορεί να οδηγήσει σε λάθος αποτελέσματα και ελλιπή λύση του προβλήματος. Αν θελήσουμε να μάθουμε τον πολλαπλασιασμό σε ένα μαθητή της Γ Δημοτικού θα πρέπει να του δείξουμε μερικές πράξεις πολλαπλασιασμού και στην συνέχεια να ζητήσουμε από τον μαθητή να κάνει μόνος του την πράξη του πολλαπλασιασμού. Τι σημαίνει αυτό; Ο μαθητής εκπαιδύεται στην λύση του προβλήματος, αποκτά εμπειρία και ως αποτέλεσμα δίνει αξιόπιστες και σωστές λύσεις αφού έχει κάνει πολλές φορές την πράξη.

Επομένως, με την σωστή εκπαίδευση του ΤΝΔ αποκτά εμπειρία και με τη βοήθεια της ελεγχόμενης εκμάθησης στα δεδομένα εισαγωγής και εκπαίδευσης, είναι σημαντικό για τον ερευνητή να καταλάβει αν από τα δεδομένα που έχει λάβει για πρώτη φορά μπορεί να τα επεξεργαστεί και να δώσει σωστά αποτελέσματα. Αν το σύστημα δεν μπορεί να δώσει λογικά αποτελέσματα σημαίνει ότι χρειάζεται περισσότερη εκπαίδευση και ο χρόνος μάθησης του ΤΝΔ δεν έχει ολοκληρωθεί. Το κριτήριο αυτό είναι πολύ σημαντικό γιατί έτσι ο ερευνητής – χρήστης μπορεί να

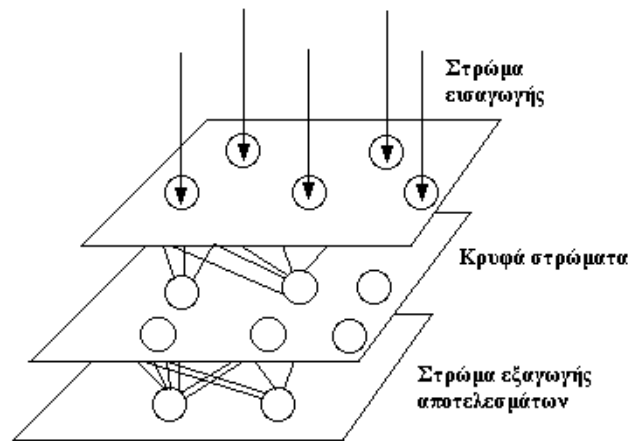
καταλάβει αν το ΤΝΔ που εκπαιδεύσαμε είναι αξιόπιστο ή απλά έχει παραγαλίσει τα δεδομένα εισαγωγής και εκπαίδευσής του.

Στην περίπτωση της μη ελεγχόμενης εκμάθησης, το ΤΝΔ θα πρέπει να δημιουργήσει ή να αποφασίσει με βάση τα δεδομένα εκπαίδευσης, για το αποτέλεσμα που όμως δεν εμπεριέχεται στα δεδομένα εισαγωγής. Η εξέλιξη των ΤΝΔ είναι ουσιαστικά η μηχανική μάθηση όπου οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές αποκτούν την ικανότητα να μαθαίνουν, χωρίς να έχουν προγραμματιστεί και εν συνεχεία η τεχνητή νοημοσύνη όπου οι υπολογιστές μιμούνται την ανθρώπινη συμπεριφορά και αποκτούν ευφυΐα, προσαρμοστικότητα, εξαγωγή συμπερασμάτων, κατανόηση από συμφραζόμενα (Μουστρής, 2009).

2.3 Τεχνητά νευρωνικά δίκτυα πολυστρωματικής αντίληψης (Multi-Layer Perceptron - MLP)

Το μοντέλο τύπου Perceptron, δηλαδή μοντέλο ενός τεχνητού νευρώνα έχει πολύ περιορισμένες δυνατότητες. Το μοντέλο ενός τεχνητού νευρώνα μπορεί να αναπαριστά επιφάνειες σε ένα μόνο επίπεδο. Η χρήση παραπάνω τεχνητών νευρώνων λύνει το συγκεκριμένο πρόβλημα και η αναπαράσταση γίνεται σε πολλαπλά επίπεδα.

Όπως είδαμε παραπάνω, υπάρχουν ένα και πολλές φορές περισσότερα κρυφά στρώματα ανάμεσα στο στρώμα εισαγωγής δεδομένων και στο στρώμα εξαγωγής δεδομένων όπου υπάρχουν τεχνητοί νευρώνες. Ένα ΤΝΔ με ένα ή και περισσότερα κρυφά στρώματα ονομάζεται ΤΝΔ πολυστρωματικής αντίληψης-νόησης (Multi-Layer-Perceptron) ή πιο απλά MLP. Η διαδικασία μάθησης γίνεται ως εξής: τα δεδομένα εισαγωγής μεταφέρουν τις τιμές τους στο πρώτο κρυφό στρώμα όπου πραγματοποιείται η κατάλληλη επεξεργασία. Στην συνέχεια τα αποτελέσματα μεταφέρονται στο δεύτερο κρυφό στρώμα όπου πραγματοποιείται μια επιπλέον επεξεργασία τους. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται για όλα τα διαδοχικά κρυφά στρώματα μέχρι το τελικό αποτέλεσμα να φτάσει και να περάσει στο στρώμα εξαγωγής των αποτελεσμάτων (Σχήμα 2.5).



Σχήμα 2.5: ΤΝΔ πολυστρωματικής αντίληψης.

Το ΤΝΔ πολυστρωματικής αντίληψης-νόησης περιέχει ένα στρώμα στρώμα εισαγωγής δεδομένων, ένα κρυφό στρώμα και ένα στρώμα εξαγωγής αποτελεσμάτων. Αυτό το ΤΝΔ με τα παραπάνω χαρακτηριστικά ονομάζεται ΤΝΔ ενός στρώματος. Το ΤΝΔ που περιλαμβάνει δύο κρυφά στρώματα, ονομάζεται ΤΝΔ δύο στρωμάτων κλπ. Ο Minsky το 1969 και ο Papert το 1987 πρότειναν ΤΝΔ με την παραπάνω δομή. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος τεχνητής σκέψης (perceptron) περιέχει το στρώμα εισαγωγής δεδομένων, το στρώμα εξαγωγής αποτελεσμάτων και ένα ή περισσότερα κρυφά στρώματα τεχνητών νευρώνων. Τα συγκεκριμένα ΤΝΔ, έχοντας πολύπλοκη δομή, είναι σε θέση να μάθουν να επεξεργάζονται και να δίνουν λύσεις σε κάθε λογικό πρόβλημα είτε είναι γραμμικό είτε μη γραμμικό. Ένα παράδειγμα ΤΝΔ πολυστρωματικής αντίληψης μπορεί να δώσει λύσεις σε θέματα που αφορούν μετεωρολογικές παραμέτρους, την συσχέτιση μεταξύ τους και πρόγνωση καιρικών συνθηκών. Τα δεδομένα στο στρώμα εισαγωγής αλληλεπιδρούν με όλους τους κόμβους στο πρώτο κρυφό στρώμα. Κάθε κομμάτι του πρώτου κρυφού στρώματος αλληλεπιδρά με όλους τους κόμβους του επόμενου στρώματος κλπ.

Τα δεδομένα εισαγωγής στην αρχή μεταδίδονται από το στρώμα εισαγωγής του ΤΝΔ, με κατεύθυνση προς τα εμπρός από στρώμα σε στρώμα (feed-forward multilayer networks). Υπάρχουν δύο είδη δεδομένων που μεταφέρονται σε τέτοιου είδους ΤΝΔ (Hornik et al. 1989).

Τα δίκτυα τεχνητής σκέψης (perceptron) με πολλά στρώματα που χρησιμοποιούν την συνάρτηση υπερβολικής εφαπτομένης, έχει αποδειχθεί ότι

διαθέτουν πολύ μεγάλες δυνατότητες αναπαράστασης συναρτήσεων. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι τα ΤΝΔ της μορφής MLP, μπορούν να πλησιάσουν οποιαδήποτε ομαλή συνάρτηση, αρκετά καλά και στο βαθμό που θέλει ο χρήστης. (Cybenko 1989, Hornik et al. 1989, Barron 1991, Barron 1993, Funahashi 1989). Τα δίκτυα αυτής της μορφής ονομάζονται «Καθολικοί Προσεγγιστές» (Universal Approximators).

2.4 Η εκπαίδευση των ΤΝΔ της μορφής MLP

Ο τρόπος εκπαίδευσης ενός ΤΝΔ πολυστρωματικής αντίληψης, είναι η ρύθμιση των συντελεστών βαρύτητας ή συναπτικών βαρών του, ώστε να ικανοποιείται κάποιο κριτήριο καταλληλότητας ή σύγκλισης (Διαμαντάρας 2007). Η ιδιαιτερότητα ενός ΤΝΔ της δομής των MLP είναι η ιδιότητα του καθολικού προσεγγιστή όπως είδαμε νωρίτερα. Ένα ΤΝΔ με το κατάλληλο μέγεθος, μπορούμε να το εκπαιδεύσουμε και να μάθει» όποια συνάρτηση του ζητηθεί και με όποιο τρόπο προσέγγισης θέλει ο χρήστης. Αντιθέτως, ένα απλό ΤΝΔ Perceptron, με ένα μόνο τεχνητό νευρώνα, μπορεί να δώσει αποτελέσματα μόνο σε ένα επίπεδο. Αυτός είναι και ο λόγος της αύξησης χρήσης των αλγόριθμων εκπαίδευσης των ΤΝΔ της αρχιτεκτονικής δομής των MLP όπου κυριαρχεί ο αλγόριθμος οπισθοδρομικής διάδοσης του λάθους (Back-Propagation Algorithm) (Rumelhart et al. 1988a, 1988b).

2.5 Εφαρμογές των Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων

Υπάρχουν πέντε διαφορετικές εφαρμογές των ΤΝΔ (Zurada 1992).

- 1. Ταξινόμηση (Classification).** Το ΤΝΔ που θα χρησιμοποιηθεί για την ταξινόμηση τοποθετεί σε σειρά τα στοιχεία ενός συνόλου σε ομάδες. Κάθε ομάδα αποτελείται από στοιχεία που έχουν κοινές ιδιότητες.
- 2. Πρόβλεψη (Prediction).** Το ΤΝΔ εκπαιδεύεται από τα δεδομένα εισαγωγής για να προβλέπει τις τιμές εξόδου ή αλλιώς το αποτέλεσμα. Στην συγκεκριμένη διατριβή εισάγουμε μετεωρολογικά δεδομένα και δεδομένα ρύπανσης αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ στο ΤΝΔ και περιμένουμε την πρόβλεψη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από το μοντέλο για να το συγκρίνουμε με τις πραγματικές τιμές.
- 3. Συγκέντρωση ή φιλτράρισμα (Clustering or filtering).** Πολλές φορές πρέπει να αναλύσουμε δεδομένα τα οποία είναι πολύ περίπλοκα και δεν

είναι προφανής η διαδικασία ανάλυσης για να μπορέσουμε να τα εντάξουμε σε διαφορετικές μεταξύ τους κατηγορίες. Τα ΤΝΔ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να «δουν» κάποια χαρακτηριστικά των δεδομένων και να τα τοποθετήσουν στις ανάλογες κατηγορίες. Φιλτράρουν δηλαδή τα δεδομένα για να γίνει η ταξινόμηση ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του σε κατηγορίες.

4. Ένωση (Data Association). Το ΤΝΔ εκπαιδεύεται για να «θυμάται» ένα μεγάλο αριθμό δεδομένων αλλά και διαφόρων προτύπων. Όταν εμφανιστεί ένα πρότυπο που δεν ταιριάζει με όσα «θυμάται» το ΤΝΔ, προσπαθεί να το συσχετίσει με κάποιο πρότυπο που είναι πολύ κοντά σε αυτό που «θυμάται» και να το φέρει στην αρχική του μορφή. Η παραπάνω διαδικασία είναι αρκετά βοηθητική διότι το ΤΝΔ συσχετίζει στοιχεία που δημιουργούν θόρυβο.

5. Σύλληψη Δεδομένων (Data Conceptualization). Το ΤΝΔ μπορεί να αναλύει και να επιλέγει από ένα πλήθος δεδομένων ορισμένα κοινά στοιχεία που υπάρχουν μεταξύ των δεδομένων. Εν συνεχεία δημιουργεί ομάδες που έχουν ως γνώμονα τα κοινά αυτά χαρακτηριστικά.

Στον Πίνακα 2.1, παρουσιάζονται διαφορετικοί τύποι ΤΝΔ ανάλογα με την εφαρμογή τους, αλγόριθμοι εκπαίδευσης ΤΝΔ και πόσο χρήσιμοι είναι (Mechra and Wah 1992).

Πίνακας 2.1: Τύποι και Εφαρμογές Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων

| Τύπος ΤΝΔ | Δίκτυα | Χρήση των ΤΝΔ |
|------------------------------|---|--|
| Πρόβλεψη (Prediction) | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Back-propagation ▪ Delta Bar Delta ▪ Extended Delta Bar Delta ▪ Directed Random Search ▪ Higher Order Neural Networks | Δεδομένα εισαγωγής για την πρόβλεψη (π.χ. πρόβλεψη καιρού ή μετεωρολογικών δεδομένων ή επιλογή των καλύτερων αποθεμάτων ενός προϊόντος στην αγορά κλπ) |

| | | |
|--|--|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Self-organizing map into Back-propagation | |
| <p>Ταξινόμηση (Classification)</p> | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Learning Vector Quantization ▪ Counter-propagation ▪ Probabilistic Neural Networks | <p>Δεδομένα εισαγωγής για τον καθορισμό της διαδικασίας τάσης τους (π.χ. η αναγνώριση αριθμών σε κείμενο, η αναγνώριση εικόνων σε φωτογραφίες κλπ)</p> |
| <p>Ένωση (Data Association)</p> | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Hopfield ▪ Boltzmann Machine ▪ Hamming Network ▪ Bidirectional associative Memory ▪ Spation-temporal Pattern Recognition | <p>Παρόμοια με αυτή της ταξινόμησης έχοντας όμως τη δυνατότητα αναγνώρισης λαθών που υπάρχουν στα δεδομένα (π.χ. αναγνωρίζει τα γράμματα που έχουν εισαχθεί από σαρωτή και μπορεί να αντιληφθεί αν ο σαρωτής δε δουλεύει ή δεν «βλέπει» σωστά γράμματα)</p> |
| <p>Σύλληψη Δεδομένων (Data Conceptualization)</p> | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Adaptive Resonance Network ▪ Self Organizing Map | <p>Ανάλυση και επιλογή δεδομένων που έχουν κοινά χαρακτηριστικά μεταξύ τους (π.χ. βρίσκει από μια βάση δεδομένων με ονόματα εκείνα που έχουν την τάση να αγοράζουν κάποιο προϊόν τακτικά).</p> |
| <p>Φιλτράρισμα (Clustering or filtering)</p> | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Recirculation | <p>Αναγνώριση και απομάκρυνση του θορύβου από τα δεδομένα</p> |

2.6 Δείκτες αξιοπιστίας

2.6.1 Στατιστικοί δείκτες αξιοπιστίας

Η ποιότητα και η αξιοπιστία ενός προγνωστικού μοντέλου, ανεξαρτήτου είδους, μπορεί να ελεγχθεί μέσω ενός πλήθους στατιστικών δεικτών. Στη συνέχεια περιγράφονται μερικοί στατιστικοί δείκτες αξιολόγησης-αξιοπιστίας. Η επιλογή των δεικτών έγινε με βάση τη συχνότητα χρησιμοποίησης σε έρευνες αλλά και προγνωστικά μοντέλα ανά τον κόσμο σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία.

Στο σημείο αυτό της διατριβής, θα συμβολίζουμε με P_i την προβλεπόμενη (Predicted) τιμή του μεγέθους που γίνεται η πρόγνωση από το προγνωστικό μοντέλο (ΤΝΔ), ενώ συμβολίζουμε με O_i την πραγματική (Observed) του τιμή. Επίσης, συμβολίζουμε με n το πλήθος των προγνώσεων, δηλαδή των πλήθους των ζευγών (O_i, P_i).

$$A_1) \text{ Mean Bias Error: } MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)$$

Το MBE (μέσο λάθος προκατάληψης-εμμονής) χρησιμοποιείται για να περιγράψουμε κατά πόσο το μοντέλο πρόγνωσης υπερεκτιμά ή υποεκτιμά την κατάσταση. Αν το $MBE > 0$, δηλαδή αν οι τιμές είναι πιο μεγάλες από το μηδέν σημαίνει ότι το μοντέλο πρόγνωσης υπερεκτιμά την κατάσταση με την πρόγνωση του, ενώ αν το $MBE < 0$, δηλαδή αν οι τιμές είναι αρνητικές σημαίνει ότι το μοντέλο πρόγνωσης υποεκτιμά την κατάσταση με την πρόγνωση του. Αν οι τιμές του MBE πλησιάζουν το μηδέν δείχνει την καλή προσέγγιση της πρόγνωσης του μοντέλου μεταξύ των πραγματικών και των προβλεπόμενων τιμών

$$A_2) \text{ Root Mean Square Error: } RMSE = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

Το $RMSE$ (απόκλιση μέσης τετραγωνικής τιμής ή λάθος μέσης τετραγωνικής τιμής) χρησιμοποιείται ως το μέτρο των διαφορών μεταξύ των προβλεπόμενων τιμών από το μοντέλο πρόγνωσης και των τιμών που παρατηρούνται στην πραγματικότητα για το μέγεθος που υπολογίζεται. Αυτές οι διαφορές ονομάζονται υπόλοιπα (residuals) και το $RMSE$ προσθέτει αυτές τις διαφορές και χρησιμεύει σαν ένα μέτρο ικανότητας της πρόγνωσης. Επιπλέον, το $RMSE$ έχει τις ίδιες μονάδες μέτρησης με το μέγεθος

που αφορά η πρόγνωση από το μοντέλο. Όσο πιο μικρό είναι το *RMSE*, τόσο οι προβλεπόμενες από το μοντέλο πρόγνωσης τιμές είναι πιο κοντά στις πραγματικές τιμές

A₃) Συντελεστής προσδιορισμού-*R*²:

Ένας ακόμη συντελεστής, ο συντελεστής προσδιορισμού (coefficient of determination) είναι αδιάστατο μέγεθος και μας δίνει πληροφορίες για το πόσο υπολογίζεται από το μοντέλο πρόγνωσης η παρατηρούμενη μεταβλητότητα των τιμών για τις οποίες γίνεται η πρόγνωση (Kolehmainen et al. 2001). Το *R*² υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση (Comrie 1997):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - O_{i_{ave}})^2}$$

Όπου:

O_{i ave} είναι ο μέσος όρος των πραγματικών τιμών του μεγέθους που γίνεται η πρόγνωση. Οι τιμές του είναι μεταξύ του μηδενός και της μονάδας ($0 \leq R^2 \leq 1$). Η πρόγνωση του μοντέλου είναι ακριβέστερη όσο πιο κοντά βρίσκεται στη μονάδα ενώ όσο απομακρυνόμαστε από τη μονάδα και πλησιάζουμε το μηδέν δεν έχουμε ακρίβεια στην πρόγνωση. Ο συντελεστής προσδιορισμού *R*² δεν δίνει πληροφορίες για το αν είναι ίδιες οι πραγματικές τιμές με τις τιμές πρόβλεψης του μοντέλου. Δείχνει πόσο καλά το μοντέλο πετυχαίνει τη μεταβλητότητα των πραγματικών τιμών.

A₄) Δείκτης Συμφωνίας (Index of Agreement):

Ένας ακόμη δείκτης προσδιορισμού του λάθους σε μια πρόγνωση είναι και ο δείκτης συμφωνίας (Index of Agreement-IA). Ο δείκτης συμφωνίας υπολογίζεται από τον μαθηματικό τύπο (Willmott et al. 1985):

$$IA = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - O_{i\text{ave}}| + |O_i - O_{i\text{ave}}|)^2}$$

Όπου:

$O_{i\text{ave}}$ είναι ο μέσος όρος των πραγματικών τιμών του μεγέθους που γίνεται η πρόγνωση.

Ο συγκεκριμένος δείκτης είναι ένα αδιάστατο μέγεθος και παίρνει τιμές μεταξύ του μηδενός και της μονάδας ($0 \leq IA \leq 1$). Αν $IA=0$ τότε δεν έχουμε συμφωνία μεταξύ της πρόβλεψης και της παρατήρησης. Αν $IA=1$, τότε έχουμε συμφωνία και εξαιρετική ακρίβεια μεταξύ της πρόβλεψης και της παρατήρησης (Willmot 1982, Willmot et al. 1985, Walker et al. 1999). Αυτό που μας δείχνει ο δείκτης είναι πόσο κοντά είναι οι προβλεπόμενες από το μοντέλο τιμές σε σχέση με τις πραγματικές τιμές.

Γενικά ένα προγνωστικό μοντέλο με δείκτες IA και R^2 να τείνουν στη μονάδα και μικρό σχετικά MBE , είναι ένα πολύ αξιόπιστο προγνωστικό μοντέλο.

2.6.2 Στατιστικοί δείκτες αξιοπιστίας της πρόγνωσης υπερβάσεων

Στη δεύτερη ομάδα στατιστικών δεικτών, που χρησιμοποιήθηκαν στη διατριβή αυτή, όλες οι πραγματικές και οι προβλεπόμενες από τα ΤΝΔ υπερβάσεις είναι ταξινομημένες σε έναν πίνακα πιθανοτήτων. Συμβολίζοντας με X τον αριθμό των πραγματικών-παρατηρούμενων υπερβάσεων που προβλέπει σωστά το προγνωστικό μοντέλο (ΤΝΔ), με Y τον αριθμό των υπερβάσεων που παρατηρήθηκαν αλλά δεν προβλέφθηκαν από το μοντέλο, με Z τον αριθμό των υπερβάσεων που προβλέφθηκαν από το μοντέλο αλλά δεν παρατηρήθηκαν και τέλος με W τον αριθμό των μη-υπερβάσεων που παρατηρήθηκαν και ταυτόχρονα προβλέφθηκαν σωστά από το μοντέλο, μπορούμε να υπολογίσουμε τους ακόλουθους στατιστικούς δείκτες αξιοπιστίας της πρόγνωσης των υπερβάσεων, σύμφωνα με τις παρακάτω σχέσεις (Schlink et al. 2003, Papanastasiou et al. 2007):

$$\text{True Predicted Rate: } TRP = \frac{X}{X + Y}$$

$$\text{False Positive Rate: } FRP = \frac{Z}{Z+W}$$

$$\text{False Alarm Rate: } FAR = \frac{Z}{Z+X}$$

$$\text{Success Index: } SI = \frac{X+W}{X+Y+Z+W}$$

Το ποσοστό αληθών προγνώσεων υπέρβασης (*TPR*) αντιπροσωπεύει το κλάσμα των σωστών προβλέψεων υπέρβασης επί του συνόλου των πραγματικών υπερβάσεων. Οι τιμές κυμαίνονται από 0% έως και 100%. Αν *TPR*=0% σημαίνει 0% επιτυχία στην πρόγνωση των υπερβάσεων, ενώ *TPR*=100% σημαίνει αντίστοιχα 100% επιτυχία στην πρόγνωση των υπερβάσεων επί του συνόλου των πραγματικών-παρατηρούμενων υπερβάσεων. Το ψευδοθετικό ποσοστό πρόγνωσης υπερβάσεων (*FPR*) αντιπροσωπεύει το κλάσμα των λάθος προβλέψεων υπέρβασης επί του συνόλου των μη-υπερβάσεων που παρατηρήθηκαν. Παίρνει τιμές από 0% έως και 100%. Αν *FPR*=0% σημαίνει 100% επιτυχία, δηλαδή το προγνωστικό μοντέλο δεν προβλέπει λάθος υπερβάσεις ενώ στην πραγματικότητα δεν υπήρχε υπέρβαση.

Το ποσοστό ψευδών συναγεμίων (*FAR*) αντιπροσωπεύει το κλάσμα των λάθος προβλέψεων υπέρβασης επί του συνόλου των πραγματικών-παρατηρούμενων υπερβάσεων. Παίρνει τιμές από 0% έως και 100%. Αν *FAR*=0% σημαίνει 100% επιτυχία, δηλαδή το προγνωστικό μοντέλο δεν προβλέπει λάθος υπερβάσεις ενώ στην πραγματικότητα υπήρχε και προγνώστηκε σωστά η υπέρβαση.

Ο δείκτης επιτυχίας (*SI*) αντιπροσωπεύει το ποσοστό των σωστών προβλέψεων υπέρβασης επί του συνόλου των περιπτώσεων πρόγνωσης, ανεξάρτητα αν ήταν ή όχι στην πραγματικότητα περιπτώσεις υπέρβασης. Ουσιαστικά δίνει την συνολική ικανότητα του μοντέλου να προβλέπει σωστά αν μια περίπτωση είναι ή όχι περίπτωση υπέρβασης. Παίρνει τιμές από 0% έως και 100%. Αν *SI*=100% σημαίνει 100% επιτυχία, δηλαδή το μοντέλο προβλέπει σωστά όλες τις περιπτώσεις υπέρβασης καθώς επίσης και όλες τις περιπτώσεις μη-υπερβάσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3. Ποιότητα αέρα και μετεωρολογία

3.1 Ποιότητα ατμοσφαιρικού αέρα στην πόλη του Βόλου

Η εγκατάσταση νέων βιομηχανικών μονάδων και η ταυτόχρονη ανάπτυξη των αστικών κέντρων δημιούργησαν πολλά περιβαλλοντικά προβλήματα (Botkin and Keller 1995). Από το 1980 και μάλιστα από τις αρχές, έχει γίνει κατανοητό ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση επηρεάζει την υγεία των ανθρώπων και των ζώων, τη βλάστηση, τα εδάφη και τα χρησιμοποιούμενα υλικά. Γενικά, τα μεγάλα αστικά κέντρα επηρεάζονται αρκετά, αλλά και οι μεσαίου μεγέθους περιοχές. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, αρκετοί είναι οι ερευνητές που έχουν μελετήσει τα προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης που αντιμετωπίζουν οι αστικές περιοχές που είναι πυκνοκατοικημένες και έχουν εγκατεστημένες μονάδες βιομηχανίας (Ziomas et al. 1989, Grosjean et al. 1998, Kelessis 2001, Papamanolis 2001, Triantafyllou et al. 2001, Ferreira et al. 2002, Karandinos-Riga and Saitanis 2005, Papanastasiou and Melas 2009, Papaioannou et al. 2010).

Η πόλη του Βόλου βρίσκεται σε μια περιοχή με αρκετά σύνθετη τοπογραφία. Το βουνό Πήλιο με 1550 μέτρα υψόμετρο βρίσκεται σε απόσταση περίπου 3 km, βορειοανατολικά της πόλης και εκτείνεται κατά μήκος της ανατολικής ακτής. Διάφοροι λόφοι μέχρι 500 μέτρα βρίσκονται στα όρια της πόλης του Βόλου. Το κλίμα της πόλης του Βόλου είναι μεσογειακό. Αυτό σημαίνει ότι έχει υγρούς και ήπιους χειμώνες ενώ τα καλοκαίρια είναι ζεστά και ξηρά. Η έλλειψη βροχοπτώσεων κατά τη θερμή περίοδο του έτους χαρακτηρίζει το μεσογειακό κλίμα ενώ, από τον Οκτώβριο και μετά κατά τους χειμερινούς μήνες κάνουν την εμφάνισή τους οι βροχοπτώσεις. Κατά τη διάρκεια της ημέρας η ηλιοφάνεια εμφανίζει ελάχιστο τον Ιανουάριο και μέγιστο τον Ιούλιο. Η έντονη ηλιοφάνεια και η υψηλή θερμοκρασία, δημιουργούν τις ιδανικές συνθήκες για την παραγωγή φωτοχημικών ρύπων. Η παρουσία του βουνού αλλά και των διαφόρων λόφων σε συνδυασμό με τη θάλασσα, έχουν ως αποτέλεσμα την δημιουργία τοπικών συστημάτων κυκλοφορίας του αέρα, κάτι που είναι συνηθισμένα στα περισσότερα μεγάλα αστικά κέντρα και με αυτόν τον τρόπο κωλύεται η δυνατότητα καθαρισμού της ατμόσφαιρας, με τους μηχανισμούς διάχυσης και μεταφοράς. Πολύ μεγάλο ρόλο στην διαμόρφωση των επιπέδων ρύπανσης έχει η ένταση του ανέμου καθώς και η εμφάνιση θερμοκρασιακών αναστροφών. Αρκετές ερευνητικές εργασίες έχουν περιγράψει αναλυτικά τις κλιματολογικές παραμέτρους της περιοχής (Papamanolis 2001, Papanastasiou and Melas 2009, Proias et al. 2009a, Papaioannou et al. 2010).

Το ζήτημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή του Βόλου έχει άμεση σχέση με την τοπογραφία της περιοχής, τον πολεοδομικό σχεδιασμό καθώς και με τις πηγές ρύπανσης. Η λειτουργία βιομηχανικών μονάδων και συστημάτων θέρμανσης ανήκουν στις σταθερές πηγές ρύπανσης ενώ η κυκλοφορία των αυτοκινήτων, φορτηγών και η λειτουργία λιμανιού ανήκουν στις κινητές πηγές ρύπανσης. Στα όρια της πόλης του Βόλου βρίσκονται δύο βιομηχανικές περιοχές. Η μία περιοχή βρίσκεται στα δυτικά της πόλης και η άλλη περιοχή σε απόσταση λίγων χιλιομέτρων στα βορειοδυτικά της πόλης. Το 15% των βιομηχανιών είναι εγκατεστημένο στις δύο αυτές βιομηχανικές περιοχές και ανέρχονται σε μερικές εκατοντάδες. Υπάρχουν μονάδες όλων των κλάδων της βιομηχανίας με συνέπεια να συμβάλλουν στη ρύπανση του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος της περιοχής. Επίσης, υπάρχει μια μεγάλη βιομηχανική μονάδα παραγωγής τσιμέντου στα όρια της ακτής, σε μικρή απόσταση από την ανατολική πλευρά της πόλης. Το λιμάνι βρίσκεται δίπλα στο δυτικό άκρο της πόλης, που έχει ως αποτέλεσμα την συνεχή παρουσία και κίνηση αυτοκινήτων τόσο προς το λιμάνι, όσο και προς το Πήλιο. Τα παραπάνω δείχνουν ότι αυξάνεται ο κυκλοφοριακός φόρτος της πόλης και αποτελεί μία σημαντική παράμετρο αέριας ρύπανσης (Proias *et al.* 2009).

Τα αιωρούμενα σωματίδια στην πόλη του Βόλου αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα που αποδεικνύεται από τα πειραματικά και στατιστικά αποτελέσματα πολλών ερευνητών όπως οι Καλαμπόκας κ.ά. το 2005, οι Σαμαρά κ.ά. το 2008, οι Papanastasiou and Melas το 2009, οι Proias *et al.* το 2009 και το 2012. Υπάρχουν ακόμη και ορισμένες άλλες μελέτες όπως το «Επιχειρησιακό σχέδιο για την καταπολέμηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο Βόλο» του ΥΠΕΚΑ, η «Απογραφή αερίων ρύπων, υγρών και στερεών αποβλήτων από τη βιομηχανία και εκπομπών από τη κεντρική θέρμανση» επίσης του ΥΠΕΚΑ, η «Μελέτη των συγκεντρώσεων των αερομεταφερόμενων σωματιδιακών ρύπων στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον της περιοχής του Βόλου γύρω από το εργοστάσιο Όλυμπος της ΑΓΕΤ Ηρακλής» του ΕΚΕΦΕ ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ και η «Γενική Κυκλοφοριακή Μελέτη του Βόλου», που σχετίζονται τόσο με τα αιωρούμενα σωματίδια όσο και με την ατμοσφαιρική ρύπανση στο Βόλο γενικότερα (Σαμαρά κ.ά., 2008).

Οι Καλαμπόκας κ.ά. μελετώντας τα έτη 2001 και 2002 βρήκαν ότι οι τιμές των αιωρούμενων σωματιδίων ήταν κοντινές με τις τιμές των αιωρούμενων σωματιδίων για την πόλη της Αθήνας. Αυτό σημαίνει ότι οι κακές μετεωρολογικές συνθήκες διασποράς και η παρουσία βιομηχανικών και αστικών εκπομπών επιδεινώνουν την ατμόσφαιρα.

Οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων όταν η κατεύθυνση του ανέμου είναι νοτιοανατολική είναι μεγαλύτερες από την περίπτωση που η κατεύθυνση του ανέμου είναι βοριοδυτική. Τα παραπάνω, αποδίδονται στις δραστηριότητες που υπάρχουν στο νότιο τμήμα της πόλης (παράλια), στην ανάπτυξη θαλάσσιας αύρας, όπου σε συνδυασμό με την αυξημένη υγρασία ευνοεί τον σχηματισμό σωματιδίων, καθώς και στην επίδραση από βιομηχανικές πηγές.

Οι Σαμαρά κ.ά. το 2008, ερεύνησαν τη χημική σύσταση των αιωρούμενων σωματιδίων στη πόλη του Βόλου για το έτος 2006. Εξέτασαν τη χημική σύσταση των αιωρούμενων σωματιδίων σε τρεις θέσεις στη πόλη του Βόλου: στο Κέντρο (εμπορικό κέντρο) της πόλης, στη Ν. Ιωνία και στη Ν. Δημητριάδα. Από τα αποτελέσματα της έρευνας βρέθηκε ότι σημαντικό ρόλο έχει η κυκλοφορία οχημάτων (κυρίως τα πετρελαιοκίνητα) στις συγκεντρώσεις των PM_{10} με ποσοστό 57.7% στο εμπορικό κέντρο της πόλης, με ποσοστό 49.4% στη Ν. Ιωνία και με ποσοστό 39.5% στη Ν. Δημητριάδα. Από την ίδια μελέτη βρέθηκε ότι σημαντικές πηγές ρύπανσης είναι και η τσιμεντοβιομηχανία ΑΓΕΤ κυρίως στην περιοχή της Ν. Δημητριάδας με ποσοστό 22.2%, η καύση των απορριμμάτων στην περιοχή της Ν. Ιωνίας με ποσοστό 17.1% και η καύση πετρελαίου (κυρίως για θέρμανση) σε ποσοστό 16.4% στη Ν. Ιωνία. Επίσης αξίζει να αναφερθεί ότι κατά το έτος 2006 σημειώθηκαν συνολικά 163 ημέρες με υπέρβαση του ορίου της ημερήσιας τιμής των $50\mu\text{g}/\text{m}^3$. Σύμφωνα όμως με την Ευρωπαϊκή Οδηγία δεν θα πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση της συγκεκριμένης οριακής τιμής για περισσότερες από 35 συνολικά ημέρες το χρόνο.

Επίσης, οι Papanastasiou and Melas το 2009, στη έρευνα που είχαν κάνει για τη χρονική περίοδο 2001-2003, μετά από στατιστική επεξεργασία των επιπέδων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή του Βόλου, βρήκαν ότι η ρύπανση που προκαλείται από τα PM_{10} είναι αρκετά σημαντική και θα μπορούσε να έχει μέτρο σύγκρισης με τα επίπεδα συγκέντρωσης των PM_{10} που καταγράφονται σε μεγαλύτερες αστικές περιοχές. Οι ημερήσιες τιμές συγκέντρωσης των PM_{10} υπερέβησαν την οριακή τιμή των $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ σε ποσοστό 38% των ημερών που ερευνήθηκαν και η μέση ετήσια τιμή τους ξεπέρασε την οριακή τιμή των $40\mu\text{g}/\text{m}^3$. Οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} παρουσίασαν εποχική διακύμανση όπου εμφάνισαν ελάχιστο κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου του έτους ενώ κατά την ψυχρή περίοδο του έτους, εμφάνισαν μέγιστο. Η μέση ημερήσια διακύμανση εμφανίζει δύο μέγιστα. Τις πρωινές ώρες, μεταξύ 07:00-11:00 και τις βραδινές ώρες μεταξύ 19:00-24:00. Η ημερήσια διακύμανση των συγκεντρώσεων PM_{10} φαίνεται να οφείλεται στις κεντρικές

δραστηριότητες της πόλης καθώς και στη λειτουργία των συστημάτων θέρμανσης, αντιστοίχως αναλόγως την εποχική περίοδο αναφοράς. Οι υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης των σωματιδίων PM_{10} εμφανίζονταν κατά κύριο λόγο όταν η κατεύθυνση του ανέμου είναι από βόρεια προς βορειοδυτικά, δηλαδή κατά την κατεύθυνση της βιομηχανικής περιοχής στα όρια της πόλης του Βόλου. Επίσης είναι αξιοσημείωτο ότι οι μέσες ημερήσιες τιμές συγκέντρωσης των PM_{10} κατά το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, υπερέβαιναν, κατά την ψυχρή περίοδο του έτους, την οριακή τιμή των $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ από την Τρίτη έως και Σάββατο.

Στην εργασία των Proias et al. (2009) ερευνήθηκαν οι σχέσεις μεταξύ των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} και μετεωρολογικών παραμέτρων, όπως η ταχύτητα του ανέμου, η σχετική υγρασία και η θερμοκρασία του αέρα, κατά τη χρονική περίοδο 2005-2007, στην πόλη του Βόλου. Από την έρευνα προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα: α) οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} βρίσκονται πάνω από τις οριακές τιμές της Ε.Ε. σχεδόν σε όλη την εξεταζόμενη περίοδο από το 2005 έως το 2007 και μπορεί να θεωρηθεί ότι οφείλεται σε ανθρωπογενείς παράγοντες (βιομηχανία και κυκλοφορία αυτοκινήτων) αλλά και σε φυσικές πηγές (επεισόδια μεταφοράς από τη Σαχάρα), β) το ποσοστό της μεταβολής των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} που φαίνεται να επηρεάζεται από την ταχύτητα του ανέμου, τη θερμοκρασία του αέρα και τη σχετική υγρασία ήταν 17.7% (για την ψυχρή περίοδο), 13.3% (για το σύνολο της χρονικής περιόδου 2005-2007) και 4.9% (για τη θερμή περίοδο), γ) η ανάλυση των μέσων ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} κατά τη διάρκεια επεισοδίων μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα, έδειξε αύξηση 2 έως 4 φορές, σε σχέση με το μέσο όρο συγκέντρωσης των PM_{10} πέντε ημέρες πριν ή μετά την ημέρα του επεισοδίου.

Τον Σεπτέμβριο του 2009, ξεκίνησε το πρόγραμμα Life+ACEPT-AIR, που είναι ένα πρόγραμμα Περιβαλλοντικής Πολιτικής και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μετρήσεων που διενεργήθηκαν. Οι στόχοι του έργου είναι: η ανάδειξη της συμβολής των πολλαπλών ανθρωπογενών και άλλων πηγών στις παρατηρούμενες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα, η καταγραφή της συμβολής των δευτερογενώς παραγόμενων σωματιδίων σε σχέση με εκείνα που παράγονται από πρωτογενείς πηγές, λαμβάνοντας υπόψη τις ατμοσφαιρικές συνθήκες που συμβάλλουν στην δημιουργία αιωρούμενων σωματιδίων, ανάλογα με την τοποθεσία.

Στην παρούσα μελέτη διερευνήθηκαν οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ και PM_{2.5} από τέσσερις διατάξεις δειγματοληψίας αερολύματος (Sequential Medium Volume Samplers, MCZ GmbH and PM10/2.5 SEQ 47/50, Sven Leckel GmbH) με κατάλληλα φίλτρα για την εξαγωγή αποτελεσμάτων χημικών αναλύσεων ιόντων, ιχνοστοιχείων, μετάλλων, οργανικού και στοιχειακού άνθρακα καθώς και του κλάσματος των αιωρούμενων σωματιδίων σε φίλτρα teflon και quartz. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα μετρήσεων από τον σταθμό μέτρησης της Περιφερειακής Ενότητας Μαγνησίας και Σποράδων εγκατεστημένο στο κέντρο της πόλης του Βόλου. Οι μετρήσεις και οι αναλύσεις των δειγμάτων πραγματοποιήθηκαν τον Αύγουστο του 2011 και τον Φεβρουάριο του 2012. Οι αναλύσεις έγιναν στο Ερευνητικό Κέντρο Δημόκριτος. Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων παρατηρήσαμε τα επίπεδα των μέσων εποχικών τιμών αλλά και της χημικής σύστασης των αιωρούμενων σωματιδίων καθώς και σύγκριση τους με μελέτες άλλων ερευνητών.

Στόχος του έργου είναι να παρέχει στις Εθνικές αρχές σε κεντρικό, περιφερειακό και τοπικό επίπεδο τα μέσα από ένα εργαλείο πρόβλεψης. Το συγκεκριμένο εργαλείο δημιουργήθηκε από σύγχρονα υπολογιστικά μοντέλα με χρήση στοιχείων από παλαιότερες και νέες βάσεις στοιχείων. Τα αποτελέσματα ενσωματώθηκαν σε αυτό το εργαλείο, που συνδυάζει συγκριτική ανάλυση της συνεισφοράς των διαφορετικών πηγών, όπως υπολογίζεται από τις συγκεντρώσεις PM στον αέρα, και των απογραφών των εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων.

Το τελικό αποτέλεσμα είναι ένα σύγχρονο εργαλείο άσκησης πολιτικής, το οποίο δημιουργεί ένα ιστορικό αρχείο που περιλαμβάνει μέτρα ελέγχου και αλλαγές στις εκπομπές, στοχευμένες και υπολογίζει τις αντίστοιχες μειώσεις των ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεων PM, κατανεμημένες σε κάθε πηγή εκπομπής. Με αυτόν τον τρόπο, μπορεί να επιτρέψει στους φορείς λήψης αποφάσεων να αξιολογήσουν τα αποτελέσματα των μέτρων ελέγχου που εφαρμόζονται για συγκεκριμένες πηγές εκπομπών, καθώς και να σχεδιάσουν νέα μέτρα ελέγχου. Εξάλλου, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή κινείται προς την κατεύθυνση της εφαρμογής της Θεματικής Στρατηγικής για την Ατμοσφαιρική Ρύπανση, μέσω της θεσμοθέτησης της οδηγίας 2008/50/EK, και τις αυστηρότερες απαιτήσεις στις οριακές τιμές για τα αιωρούμενα σωματίδια.

Επιπρόσθετα, είναι απαραίτητο να αυξηθεί η ευαισθητοποίηση του κοινού ώστε οι νέες αυστηρότερες πολιτικές να γίνουν αποδεκτές στους πολίτες. Τα αποτελέσματα από τις νέες στρατηγικές ελέγχου των εκπομπών καθώς και η εφαρμογή των πράσινων μέτρων και νέων προϊόντων, μπορούν να αξιολογηθούν από το προτεινόμενο εργαλείο

άσκησης πολιτικής, όσον αφορά την μείωση της συγκέντρωσης PM, για κάθε μία από τις πηγές. Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα, καθώς επίσης και οι προβλέψεις – εκτιμήσεις κοινοποιούνται στους πολίτες, μέσω ενός καλά σχεδιασμένου προγράμματος διάχυσης, και προωθείται η ενεργός συμμετοχή τους.

Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζονται βασικοί στατιστικοί δείκτες της συγκέντρωσης των PM₁₀ και PM_{2.5}. Ο λόγος συγκέντρωσης PM_{2.5}/PM₁₀ υπολογίστηκε ίσος με 0.61 ± 0.21 κατά την θερμή περίοδο και 0.45 ± 0.10 κατά την ψυχρή περίοδο. Οι συγκεντρώσεις PM₁₀ ήταν πολύ υψηλές την ψυχρή περίοδο, με την πλειοψηφία των ημερών να παρουσιάζουν υπέρβαση της οριακής μέσης ημερήσιας συγκέντρωσης, όπως αυτή έχει καθοριστεί από την Ε.Ε. ($[PM_{10}] < 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Επιπλέον και οι συγκεντρώσεις των PM_{2.5} ήταν αυξημένες την ψυχρή περίοδο. Η ετήσια τιμή-στόχος που έχει θέσει η Ε.Ε. για το συγκεκριμένο σωματιδιακό κλάσμα ($[PM_{2.5}] < 25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ξεπεράστηκε κατά το 13% των ημερών την θερμή περίοδο και κατά το 65% των ημερών κατά την ψυχρή περίοδο.

Πίνακας 3.1: Βασικοί στατιστικοί δείκτες της συγκέντρωσης των PM_{2.5} και PM₁₀ στο Βόλο, κατά τη θερμή και ψυχρή περίοδο ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

| Περίοδος | PM ₁₀ | | | PM _{2.5} | | |
|----------|------------------|-----------------|-------------|-------------------|-----------------|-------------|
| | Μέση τιμή | Τυπική Απόκλιση | Εύρος τιμών | Μέση τιμή | Τυπική Απόκλιση | Εύρος τιμών |
| Ψυχρή | 76 | 35 | 27 – 153 | 35 | 17 | 7 – 67 |
| Θερμή | 28 | 5 | 22 – 39 | 18 | 7 | 8 – 41 |

Στον Πίνακα 3.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τον οργανικό και στοιχειακό άνθρακα. Οι μέσες εποχικές τιμές για τον οργανικό και τον στοιχειακό άνθρακα είναι συγκρίσιμες με τις τιμές που καταγράφονται στη διεθνή βιβλιογραφία (Ruellan and Cachier 2001, Salma et al. 2004, Hueglin et al. 2005, Viana et al. 2006) από μετρήσεις που έχουν γίνει σε ευρωπαϊκές πόλεις. Σύμφωνα με τους υπολογισμούς, συνολικά ο οργανικός και στοιχειακός άνθρακας αποτελούν το 15% της συνολικής μάζας PM₁₀ κατά την ψυχρή περίοδο του έτους και το 25% της συνολικής μάζας PM₁₀ για τη θερμή περίοδο. Τα ποσοστά για τα PM_{2.5} ήταν 30% για την ψυχρή περίοδο του έτους και 25% και θερμή περίοδο του έτους. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι ο στοιχειακός αλλά και ο οργανικός άνθρακας βρίσκονταν κυρίως στο λεπτόκοκκο κλάσμα.

Πίνακας 3.2: Μέσες τιμές συγκέντρωσης ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) οργανικού άνθρακα (OC) και στοιχειακού άνθρακα (EC) και των λόγων OC/EC για τα $\text{PM}_{2.5}$ και PM_{10} στην περιοχή του Βόλου (μέση τιμή \pm τυπική απόκλιση).

| | PM₁₀ | | PM_{2.5} | |
|--------------|------------------------|---------------|-------------------------|---------------|
| | Ψυχρή | Θερμή | Ψυχρή | Θερμή |
| OC | 9.4 \pm 3.9 | 4.7 \pm 2.7 | 8.7 \pm 3.6 | 3.8 \pm 1.8 |
| EC | 1.3 \pm 0.9 | 0.8 \pm 0.6 | 1.0 \pm 0.6 | 0.6 \pm 0.4 |
| OC/EC | 8.9 \pm 3.8 | 6.8 \pm 2.6 | 9.6 \pm 2.7 | 6.6 \pm 1.9 |

Οι εποχικές τιμές του λόγου OC/EC και για τα δύο σωματιδιακά κλάσματα επιδεικνύουν υπεροχή του οργανικού άνθρακα έναντι του στοιχειακού, που δείχνει πιθανό δευτερογενή σχηματισμό οργανικών αερολυμάτων. Για αστικές περιοχές από τη διεθνή βιβλιογραφία, έχουν σημειωθεί τυπικές τιμές του λόγου OC/EC να κυμαίνονται μεταξύ 1 και 4 για τα PM_{10} σύμφωνα με τους Wang et al. 2005. Αντίστοιχα για τα $\text{PM}_{2.5}$, για αστικές περιοχές υποβάθρου και περιοχές κυρίως αγροτικές έχουν σημειωθεί υψηλές τιμές του λόγου OC/EC να κυμαίνονται μεταξύ 8 και 9 για το χειμώνα και 12 για την άνοιξη σύμφωνα με τους Lonati et al. 2005, Salma et al. 2004, Decesari et al. 2001. Η μεταβολή των τιμών του λόγου OC/EC μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης των εποχικών αλλαγών στις πηγές εκπομπών ή στις διεργασίες στην ατμόσφαιρα, δεδομένου ότι ο στοιχειακός άνθρακας θεωρείται δείκτης πρωτογενούς εκπομπής σωματιδίων (ατελείς καύσεις), ενώ ο οργανικός άνθρακας μπορεί να προέλθει και από δευτερογενή σχηματισμό. Υψηλότερες τιμές του λόγου OC/EC καταγράφηκαν κατά την ψυχρή περίοδο. Αντίστοιχα αποτελέσματα παρουσιάζονται και σε έρευνα που έχει γίνει για την πόλη της Θεσσαλονίκης (Terzi et al. 2010). Οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} που καταγράφηκαν βρίσκονται σε ταύτιση με προηγούμενες μελέτες στην περιοχή οι οποίες αναδεικνύουν μια σοβαρή επιβάρυνση της ατμόσφαιρας από αιωρούμενα σωματίδια. Επιπλέον, η συστηματική καταγραφή των $\text{PM}_{2.5}$ για πρώτη φορά στην περιοχή καταδεικνύει τα υψηλά επίπεδα συγκεντρώσεων. Η μέση τιμή του οργανικού όσο και του στοιχειακού άνθρακα είναι πολύ κοντά με τις μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί σε άλλες ευρωπαϊκές πόλεις σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία.

Στη διπλωματική μελέτη του Νάσιου (2011), που αφορά στη διερεύνηση της συμπεριφοράς σε συνάρτηση με το χρόνο, των μετεωρολογικών παραμέτρων και της πρόβλεψης των συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{10}) στην αστική περιοχή του Βόλου για το χρονικό διάστημα 2007-2010, βρέθηκε ότι η μέγιστη ωριαία

συγκέντρωση PM_{10} ήταν πολύ υψηλή, της τάξης των $512\mu\text{g}/\text{m}^3$. Σε επίπεδο ημέρας προέκυψε ότι η μέγιστη ημερήσια συγκέντρωση των PM_{10} που σημειώθηκε για αυτό το χρονικό διάστημα ήταν επίσης πολύ υψηλή της τάξης των $325\mu\text{g}/\text{m}^3$, με τη Δευτέρα να είναι η ημέρα της εβδομάδας με την μικρότερη επιβάρυνση στην συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων ενδεχομένως λόγω της μείωσης των δραστηριοτήτων κατά το Σαββατοκύριακο. Για την επίδραση των μετεωρολογικών παραμέτρων στις συγκεντρώσεις PM_{10} στο Βόλο βρέθηκε ότι η ημερήσια θερμοκρασία έχει σημαντική θετική σχέση με την ημερήσια συγκέντρωση PM_{10} και συγκεκριμένα υψηλή θερμοκρασία ημέρας συνδυάζεται με υψηλή συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων της επόμενης ημέρας. Επιπλέον, υψηλή συγκέντρωση αιωρούμενων ημέρας συνδυάζεται με υψηλή θερμοκρασία της επόμενης ημέρας. Επίσης η ημερήσια ταχύτητα του ανέμου φαίνεται να μπορεί να μειώσει την ημερήσια συγκέντρωση PM_{10} στη πόλη του Βόλου ενώ η ημερήσια βροχόπτωση έχει αρνητική συσχέτιση με την ημερήσια συγκέντρωση PM_{10} . Κατά τη διάρκεια της περιόδου από το 2007 έως το 2010 υπήρχαν αρκετές υπερβάσεις των ορίων της ποιότητας της ατμόσφαιρας.

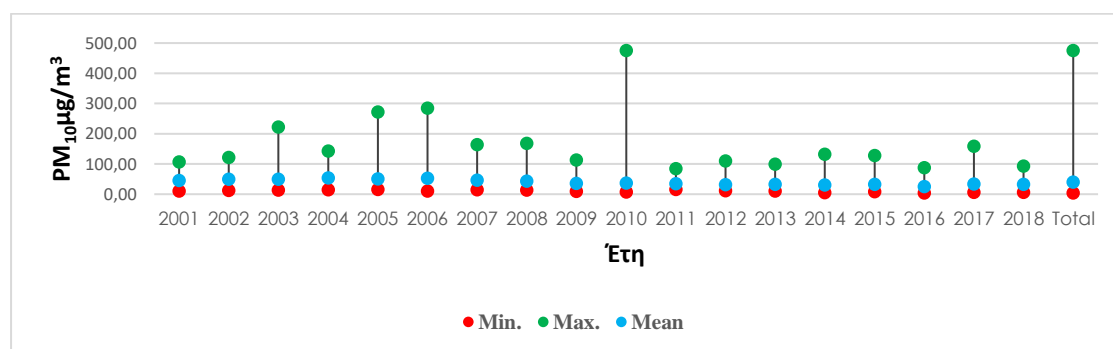
Σε πρόσφατη μελέτη των Proias et al. (2012) για την ανάλυση των ωριαίων τιμών συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων στην πόλη του Βόλου για τη χρονική περίοδο από το 2001 έως το 2007, βρέθηκε ότι παρουσιάζονται αυξημένες τιμές συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων κατά τη ψυχρή περίοδο του έτους ενώ κατά τη θερμή περίοδο του έτους παρουσιάζονται οι μικρότερες τιμές. Η μέση ημερήσια διακύμανση του εξεταζόμενου ρύπου τόσο κατά τη ψυχρή περίοδο του έτους, όσο και κατά τη θερμή περίοδο του έτους, εμφανίζει διπλό μέγιστο, κατά τις πρωινές και κατά τις βραδινές ώρες. Επιπλέον, η ενδοετήσια διακύμανση των συγκεντρώσεων των PM_{10} εμφάνισε επίσης διπλό μέγιστο, όπου το πρώτο παρατηρήθηκε το Φεβρουάριο και το δεύτερο το Μάιο και τον Ιούνιο. Επίσης, σύμφωνα με την ίδια μελέτη, βρέθηκε ότι εκείνη την περίοδο τα επίπεδα συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} στην πόλη του Βόλου παρέμειναν υψηλότερα από τα αντίστοιχα όρια για την προστασία της ανθρώπινης υγείας που έχει θέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση.

3.2 Στατιστική ανάλυση αιωρούμενων σωματιδίων και μετεωρολογικών παραμέτρων για την πόλη του Βόλου

Στο πλαίσιο της διδακτορικής διατριβής έγινε στατιστική ανάλυση των δεδομένων και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω. Τα μετεωρολογικά δεδομένα ελήφθησαν από τον μετεωρολογικό σταθμό που βρίσκεται στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας στο κέντρο του Βόλου και οι μέση τιμή των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} από τον σταθμό μέτρησης της Περιφερειακής Ενότητας Μαγνησίας και Β. Σποράδων στο κέντρο της πόλης.

3.2.1 Ετήσια & συνολική εξέλιξη απόλυτων ελαχίστων, απόλυτων μεγίστων και μέσων τιμών PM_{10}

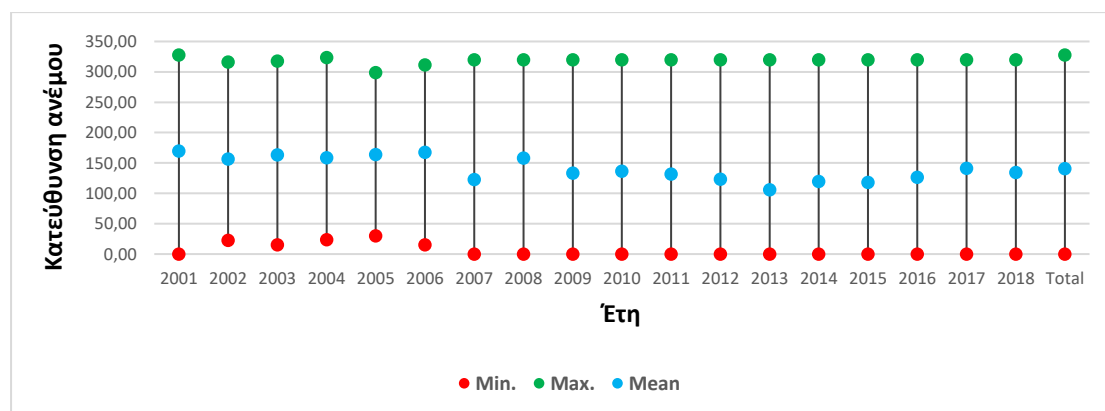
Συνολικά στην περίοδο μεταξύ των ετών 2001 και 2018 η απόλυτη ελάχιστη και η απόλυτη μέγιστη τιμή των PM_{10} κυμαίνεται μεταξύ των τιμών $4\mu\text{g}/\text{m}^3$ (το έτος 2016) και $475\mu\text{g}/\text{m}^3$ (το έτος 2010). Ο συνολικός μέσος όρος των ημερήσιων συγκεντρώσεων PM_{10} για τα 18 έτη που έχει καταγράψει ο σταθμός μέτρησης είναι $39.51\mu\text{g}/\text{m}^3$, ενώ από το 2001 έως το 2018 ο ετήσιος μέσος όρος των αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{10}) είναι υψηλότερος από τον συνολικό (στο 44% των ετών καταγραφής). Στο παρακάτω σχήμα 3.1 απεικονίζεται η ετήσια εξέλιξη των ελαχίστων, μεγίστων και μέσων τιμών για την μεταβλητή PM_{10} . Επιπλέον, η υψηλότερη ετήσια διασπορά των PM_{10} καταγράφεται τα έτη 2010 ($sd=31.42$) και 2006 ($sd=28.28$), ενώ η χαμηλότερη διασπορά παρατηρείται τα έτη 2011 ($sd=12.03$) και 2012 ($sd=13.53$)



Σχήμα 3.1: Ετήσια & συνολική εξέλιξη ελαχίστων, μεγίστων και μέσων τιμών PM_{10}

3.2.2 Κατεύθυνση του ανέμου (WD).

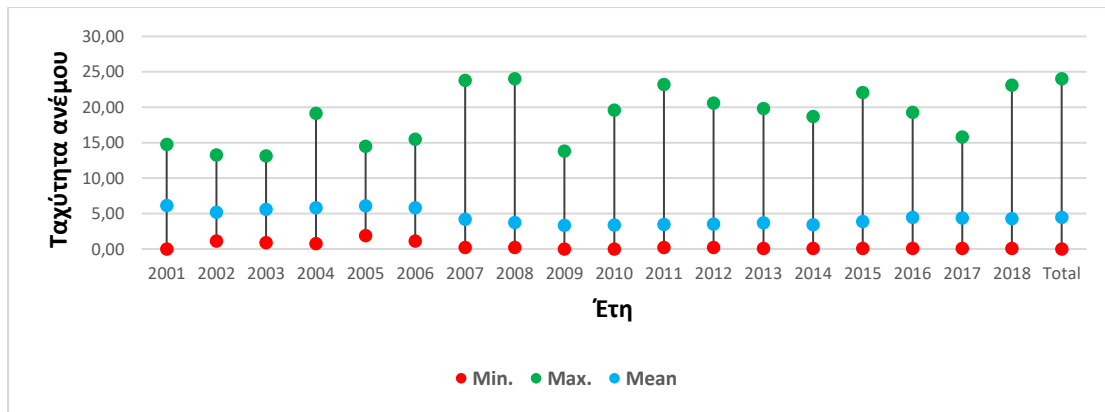
Μεταξύ του 2001 και του 2018 οι τιμές σχετικά με την διεύθυνση του ανέμου WD κυμαίνονται μεταξύ 0 και 328, ενώ η μέση τιμή είναι 141. Εντούτοις, μεταξύ 2001-2006, αλλά και στα έτη 2008 και 2017 η μέση τιμή WD είναι υψηλότερη από την συνολική (συνολικά στο 44% των ετών καταγραφής). Στο παρακάτω σχήμα 3.2 απεικονίζεται η ετήσια εξέλιξη των ελάχιστων, μέγιστων και μέσων τιμών για την μεταβλητή WD. Υψηλότερη ετήσια διασπορά εμφανίζεται τα έτη 2018 (sd=112.62), 2007 (sd=111.85), 2017 (sd=111), ενώ η χαμηλότερη είναι το 2005 (sd=61.91).



Σχήμα 3.2: Ετήσια & συνολική εξέλιξη ελαχίστων, μεγίστων και μέσων τιμών της κατεύθυνσης του ανέμου

3.2.3 Ταχύτητα ανέμου (WS).

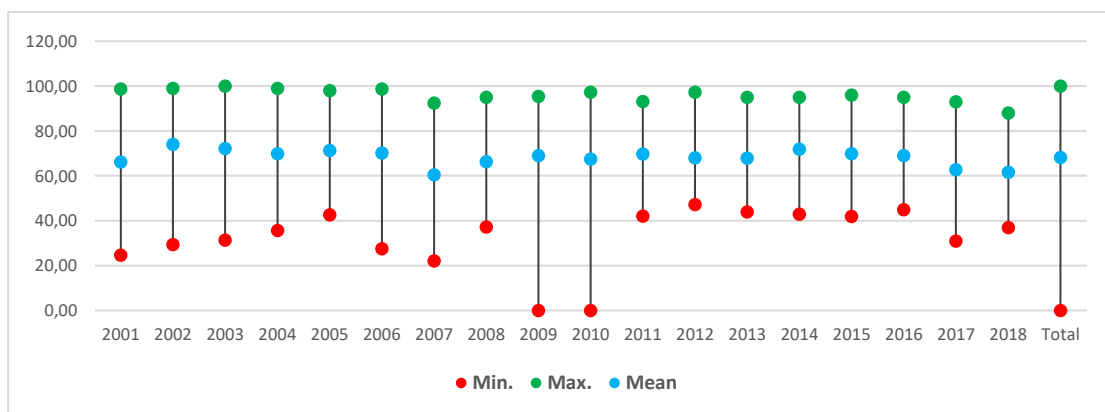
Η ταχύτητα του ανέμου μεταξύ των ετών 2001 και 2018 κυμαίνεται από 0 έως 24 και η μέση τιμή σε αυτή την χρονική περίοδο είναι 4.46. Από το 2001 έως το 2006 αλλά και το 2016 ο ετήσιος μέσος όρος WS είναι υψηλότερος από τον συνολικό (συνολικά στο 33% των ετών καταγραφής). Στο παρακάτω σχήμα 3.3 απεικονίζεται η ετήσια εξέλιξη των ελάχιστων, μέγιστων και μέσων τιμών για την μεταβλητή WS. Υψηλότερη ετήσια διασπορά εμφανίζεται τα έτη 2008 (sd=3.20), 2011 (sd=3.10), ενώ η χαμηλότερη είναι το 2003 (sd=1.90).



Σχήμα 3.3: Ετήσια & συνολική εξέλιξη ελαχίστων, μεγίστων και μέσων τιμών της ταχύτητας του ανέμου

3.2.4 Σχετική υγρασία RH

Η σχετική υγρασία μεταξύ των ετών 2001 και 2018 κυμαίνεται από 0 έως 100 και η μέση τιμή σε αυτή την χρονική περίοδο είναι 68.19. Από το 2002 έως το 2006, το 2009, το 2011 και από το 2014 έως το 2016 ο ετήσιος μέσος όρος RH είναι υψηλότερος από τον ολικό (συνολικά στο 55% των ετών καταγραφής). Στο παρακάτω σχήμα 3.7 απεικονίζεται η ετήσια εξέλιξη ελαχίστων, μεγίστων και μέσων τιμών για την μεταβλητή RH. Υψηλότερη ετήσια διασπορά εμφανίζεται τα έτη 2001 (sd=15.52), 2006 (sd=15.13), ενώ η χαμηλότερη είναι το 2016 (sd=9.68).

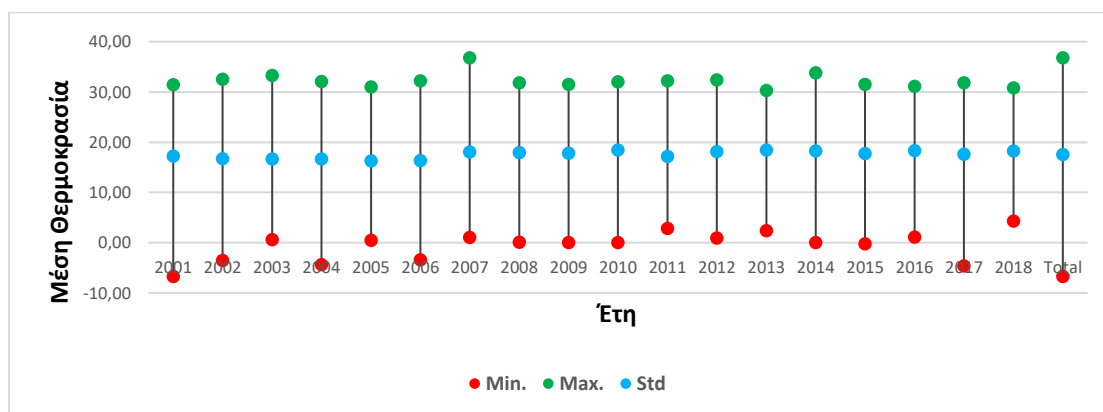


Σχήμα 3.4: Ετήσια & συνολική εξέλιξη ελαχίστων, μεγίστων και μέσων τιμών σχετικής υγρασίας

3.3.5 Μέση θερμοκρασία (T)

Η μέση ετήσια θερμοκρασία μεταξύ των ετών 2001 και 2018 κυμαίνεται από -6.7 έως 36.8 και η μέση τιμή σε αυτή την χρονική περίοδο είναι 17.57. Από το 2007 έως το

2018, εκτός από το 2011, ο ετήσιος μέσος όρος MEAN_T είναι υψηλότερος από τον ολικό (συνολικά στο 61% των ετών καταγραφής). Στο παρακάτω σχήμα 3.8 απεικονίζεται η ετήσια εξέλιξη των ελαχίστων, μεγίστων και μέσων τιμών για την μεταβλητή MEAN_T. Υψηλότερη ετήσια διασπορά εμφανίζεται τα έτη 2001 (sd=8.51), 2012 (sd=8.42), ενώ η χαμηλότερη είναι το 2014 (sd=6.87).



Σχήμα 3.5: Ετήσια & συνολική εξέλιξη ελαχίστων, μεγίστων και μέσων τιμών της μέσης θερμοκρασίας

Πίνακας 3.4: Αποτελέσματα ετήσιας ελάχιστης, μέγιστης, μέσης τιμής και τυπικής απόκλισης για τις πέντε μεταβλητές

| Year | PM ₁₀ | | | | WD | | | | WS | | | | RH | | | | MEAN_T | | | |
|-------|------------------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|------|-------|------|------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|------|
| | min | max | mean | sd | min | max | mean | sd | min | max | mean | sd | min | max | mean | sd | min | max | mean | sd |
| 2001 | 10,00 | 107,00 | 45,12 | 17,13 | 0,00 | 327,50 | 169,54 | 66,15 | 0,00 | 14,75 | 6,12 | 2,43 | 24,67 | 98,67 | 66,19 | 15,52 | -6,70 | 31,45 | 17,25 | 8,51 |
| 2002 | 12,00 | 121,00 | 49,20 | 19,06 | 22,50 | 316,25 | 156,32 | 63,72 | 1,13 | 13,25 | 5,20 | 2,02 | 29,33 | 99,00 | 74,11 | 14,51 | -3,55 | 32,50 | 16,73 | 7,64 |
| 2003 | 13,00 | 222,00 | 49,04 | 22,34 | 15,00 | 317,50 | 163,45 | 63,81 | 0,88 | 13,13 | 5,61 | 1,90 | 31,33 | 100,00 | 72,20 | 14,51 | 0,60 | 33,30 | 16,67 | 8,37 |
| 2004 | 14,00 | 143,00 | 53,63 | 24,92 | 23,75 | 323,75 | 158,75 | 63,05 | 0,75 | 19,13 | 5,82 | 2,35 | 35,67 | 99,00 | 69,94 | 13,56 | -4,35 | 32,10 | 16,65 | 7,86 |
| 2005 | 15,00 | 272,00 | 50,21 | 26,70 | 30,00 | 298,75 | 163,72 | 61,91 | 1,88 | 14,50 | 6,09 | 2,05 | 42,66 | 97,98 | 71,35 | 12,11 | 0,50 | 31,00 | 16,26 | 7,45 |
| 2006 | 10,00 | 284,00 | 52,38 | 28,29 | 15,00 | 311,25 | 167,45 | 66,12 | 1,13 | 15,50 | 5,80 | 2,01 | 27,50 | 98,74 | 70,20 | 15,14 | -3,40 | 32,20 | 16,35 | 8,42 |
| 2007 | 14,00 | 164,00 | 46,40 | 21,62 | 0,00 | 320,00 | 122,86 | 111,85 | 0,20 | 23,80 | 4,20 | 2,96 | 22,05 | 92,46 | 60,46 | 14,48 | 1,02 | 36,80 | 18,08 | 7,77 |
| 2008 | 13,00 | 168,00 | 42,61 | 19,85 | 0,00 | 320,00 | 157,96 | 104,85 | 0,20 | 24,00 | 3,73 | 3,20 | 37,22 | 95,03 | 66,35 | 13,23 | 0,10 | 31,80 | 17,95 | 7,52 |
| 2009 | 9,00 | 113,00 | 35,69 | 15,68 | 0,00 | 320,00 | 133,47 | 103,42 | 0,00 | 13,80 | 3,33 | 2,48 | 0,00 | 95,50 | 69,02 | 11,27 | 0,00 | 31,50 | 17,83 | 7,09 |
| 2010 | 7,00 | 475,00 | 36,52 | 31,42 | 0,00 | 320,00 | 136,45 | 102,03 | 0,00 | 19,60 | 3,39 | 2,67 | 0,00 | 97,34 | 67,51 | 12,68 | 0,00 | 32,00 | 18,41 | 7,56 |
| 2011 | 16,00 | 84,00 | 34,54 | 12,03 | 0,00 | 320,00 | 131,93 | 105,66 | 0,20 | 23,20 | 3,45 | 3,10 | 42,08 | 93,15 | 69,71 | 11,34 | 2,80 | 32,20 | 17,14 | 7,71 |
| 2012 | 11,00 | 110,00 | 30,91 | 13,54 | 0,00 | 320,00 | 123,47 | 99,07 | 0,20 | 20,60 | 3,53 | 2,97 | 47,22 | 97,34 | 68,04 | 11,11 | 0,90 | 32,40 | 18,11 | 8,43 |
| 2013 | 10,00 | 99,00 | 32,70 | 15,64 | 0,00 | 320,00 | 105,69 | 94,25 | 0,10 | 19,80 | 3,71 | 2,69 | 44,00 | 95,00 | 67,92 | 10,43 | 2,40 | 30,30 | 18,41 | 7,16 |
| 2014 | 5,00 | 132,00 | 30,77 | 16,81 | 0,00 | 320,00 | 119,71 | 102,88 | 0,10 | 18,70 | 3,42 | 2,50 | 43,00 | 95,00 | 71,85 | 10,81 | 0,00 | 33,80 | 18,25 | 6,87 |
| 2015 | 8,00 | 128,00 | 32,21 | 16,90 | 0,00 | 320,00 | 117,75 | 104,34 | 0,10 | 22,10 | 3,87 | 2,95 | 42,00 | 96,00 | 69,84 | 10,02 | -0,20 | 31,50 | 17,77 | 7,63 |
| 2016 | 4,00 | 88,00 | 24,54 | 18,87 | 0,00 | 320,00 | 126,64 | 107,73 | 0,10 | 19,30 | 4,47 | 3,05 | 45,00 | 95,00 | 68,99 | 9,69 | 1,10 | 31,10 | 18,29 | 7,46 |
| 2017 | 5,79 | 158,08 | 33,21 | 17,68 | 0,00 | 320,00 | 141,23 | 111,01 | 0,10 | 15,80 | 4,38 | 2,69 | 31,00 | 93,00 | 62,75 | 13,83 | -4,60 | 31,80 | 17,59 | 7,89 |
| 2018 | 6,00 | 92,46 | 31,91 | 14,72 | 0,00 | 320,00 | 134,47 | 112,63 | 0,10 | 23,10 | 4,29 | 3,03 | 37,00 | 88,00 | 61,60 | 11,60 | 4,30 | 30,80 | 18,23 | 7,06 |
| Total | 4,00 | 475,00 | 39,51 | 22,00 | 0,00 | 327,50 | 140,59 | 95,40 | 0,00 | 24,00 | 4,46 | 2,82 | 0,00 | 100,00 | 68,19 | 13,15 | -6,70 | 36,80 | 17,57 | 7,73 |

Στον πίνακα 3.4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ετήσιας ελάχιστης, μέγιστης και μέσης τιμής της τυπικής απόκλισης για τα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀, διεύθυνση ανέμου, ταχύτητα ανέμου, σχετική υγρασία και θερμοκρασία.

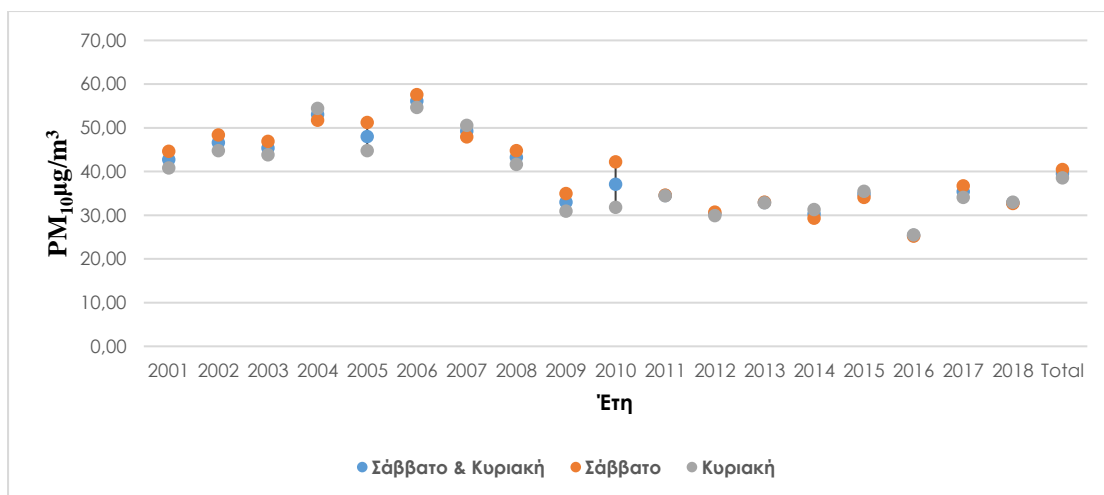
δ. Μέση ετήσια συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀

Η μέση ετήσια συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ από το 2001 έως το 2018 τα σαββατοκύριακα είναι 39.51μg/m³. Πιο συγκεκριμένα, η μέση τιμή τις ημέρες Σάββατο είναι 40.47 και υψηλότερη συγκριτικά με τις Κυριακές που είναι 38.54μg/m³. Τα αποτελέσματα για τα Σαββατοκύριακα παρουσιάζονται αναλυτικά και ανά έτος στον πίνακα 3.5

Επιπλέον, η υψηλότερη διασπορά των PM₁₀ τα σαββατοκύριακα καταγράφεται κατά το έτος 2010 (sd=47.03) και αντίστοιχα η χαμηλότερη διασπορά σημειώνεται το 2012 (sd=12.2).

Πίνακας 3.5: Ετήσια μέση τιμή PM₁₀ κατά τις ημέρες Σάββατο και Κυριακή

| Year | PM ₁₀ | | |
|-------|-------------------|---------|---------|
| | Σάββατο & Κυριακή | Σάββατο | Κυριακή |
| 2001 | 42,74 | 44,60 | 40,79 |
| 2002 | 46,58 | 48,34 | 44,78 |
| 2003 | 45,37 | 46,91 | 43,79 |
| 2004 | 53,06 | 51,75 | 54,42 |
| 2005 | 48,01 | 51,21 | 44,81 |
| 2006 | 56,10 | 57,63 | 54,67 |
| 2007 | 49,22 | 47,92 | 50,55 |
| 2008 | 43,21 | 44,80 | 41,61 |
| 2009 | 32,96 | 34,98 | 30,90 |
| 2010 | 37,07 | 42,23 | 31,81 |
| 2011 | 34,51 | 34,60 | 34,42 |
| 2012 | 30,32 | 30,74 | 29,92 |
| 2013 | 32,89 | 32,96 | 32,81 |
| 2014 | 30,30 | 29,34 | 31,29 |
| 2015 | 34,78 | 34,07 | 35,47 |
| 2016 | 25,35 | 25,18 | 25,53 |
| 2017 | 35,40 | 36,71 | 34,11 |
| 2018 | 32,82 | 32,65 | 32,99 |
| Total | 39,51 | 40,47 | 38,54 |



Σχήμα 3.6: Εξέλιξη μέσης τιμής PM₁₀ ανά έτος κατά τις ημέρες Σάββατο και Κυριακή

3.3 Συσχέτιση Pearson

α. Αιωρούμενα Σωματίδια PM₁₀

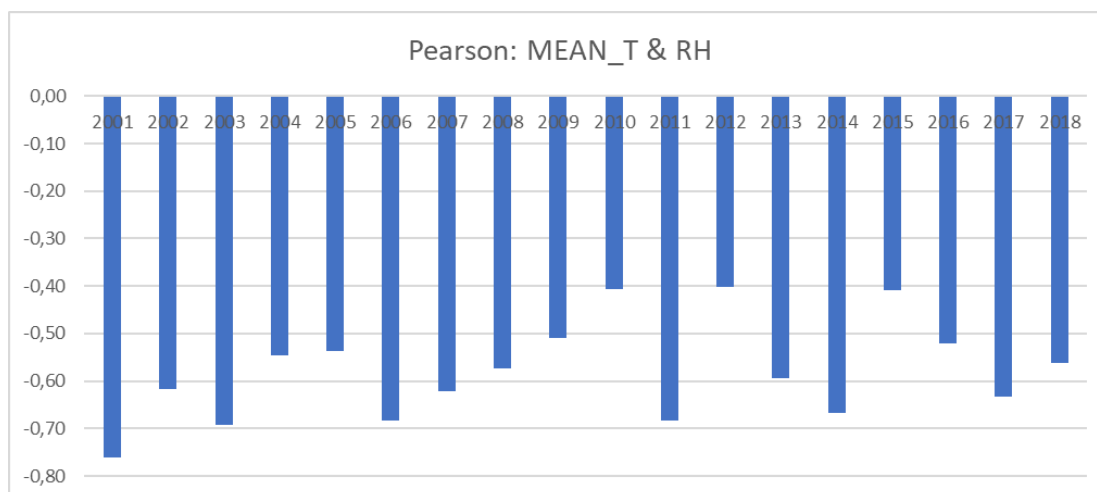
Κατά την περίοδο μεταξύ 2001 και 2018 έγινε προσπάθεια συσχέτισης της μεταβλητής PM₁₀ με τις υπόλοιπες μεταβλητές, μέσης θερμοκρασίας, υγρασίας, ταχύτητας ανέμου και κατεύθυνσης ανέμου. Συγκεκριμένα, η συσχέτιση με την μέση θερμοκρασία MEAN_T είναι αρνητική και στατιστικά σημαντική ($r=-0.187$), θετική και στατιστικά σημαντική με την σχετική υγρασία RH ($r=0.154$), αρνητική και στατιστικά σημαντική με την ταχύτητα του ανέμου WS ($r=-0.088$), και στατιστικά μη σημαντική με την διεύθυνση του ανέμου WD ($r=0.010$, $p>0.05$).

Στις επιμέρους χρονολογίες μεταξύ των ετών 2001 και 2018 τα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀ εμφανίζουν την υψηλότερη τιμή του συντελεστή Pearson, αν και ασθενής προς μέτρια, το 2001 με την μεταβλητή WS ($r=-0.475$, $p<0.01$), το 2017 με την μεταβλητή MEAN_T ($r=-0.453$, $p<0.01$), το 2014 με την μεταβλητή RH ($r=0.418$, $p<0.01$), το 2014 με την μεταβλητή WS ($r=-0.415$, $p<0.01$), το 2004 με την μεταβλητή WS ($r=-0.411$, $p<0.01$), το 2018 με την μεταβλητή WS ($r=-0.411$, $p<0.01$), το 2002 με την μεταβλητή WS ($r=0.410$, $p<0.01$).

β. Μέση θερμοκρασία MEAN_T

Συνολικά μεταξύ 2001 και 2018 η συσχέτιση της μεταβλητής MEAN_T με τις υπόλοιπες είναι μέτρια προς ασθενής. Η συσχέτιση με την σχετική υγρασία RH είναι μέτρια, αρνητική και στατιστικά σημαντική ($r=-0.573$, $p<0.01$), ενώ με τα αιωρούμενα σωματίδια η συσχέτιση είναι ασθενής, αρνητική και στατιστικά σημαντική ($r=-0.187$, $p<0.01$). Η συσχέτιση με την διεύθυνση του ανέμου WD είναι επίσης ασθενής, αρνητική και στατιστικά σημαντική ($r=-0.25$, $p<0.01$) και η σχέση με την ταχύτητα του ανέμου WS δεν είναι στατιστικά σημαντική.

Στις επιμέρους συσχετίσεις ανά έτος εντοπίζονται μέτριες και ικανοποιητικές συσχετίσεις μόνο με την σχετική υγρασία RH. Ενδεικτικά η εξέλιξη αυτών των συσχετίσεων απεικονίζεται στο σχήμα 3.7. Επιπλέον, το 2017 η συσχέτιση με τα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀ είναι ασθενέστερη, αρνητική και στατιστικά σημαντική ($r=-0.453$, $p<0.01$).



Σχήμα 3.7: Ετήσιες συσχετίσεις Pearson μεταξύ MEAN_T & RH

γ. Σχετική υγρασία RH

Στο σύνολο των δεδομένων για την περίοδο μεταξύ 2001-2018 η σχετική υγρασία RH εμφανίζει μέτρια, αρνητική και στατιστικά σημαντική συσχέτιση μόνο με την μέση θερμοκρασία MEAN_T ($r=-0.573$, $p<0.01$). Σχετικά με την ταχύτητα του ανέμου WS η συσχέτιση είναι ασθενής, αρνητική και στατιστικά σημαντική ($r=-0.256$, $p<0.01$), ενώ με τα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀ ($r=0.154$, $p<0.01$) και με την διεύθυνση του ανέμου WD ($r=0.250$, $p<0.01$) η συσχέτιση είναι ασθενής, θετική και στατιστικά σημαντική.

Στις ετήσιες συσχετίσεις καταγράφονται μέτριες και ικανοποιητικές τιμές του συντελεστή Pearson μόνο με την μέση θερμοκρασία MEAN_T και οι οποίες έχουν αναλυθεί στην προηγούμενη ενότητα. Επιπλέον, σημειώνονται αρνητικές και στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις το έτος 2013 και 2007 με την μεταβλητή WS και συγκεκριμένα $r=-0.474$ και $r=-0.446$ αντίστοιχα.

δ. Ταχύτητα ανέμου WS

Συνολικά στην περίοδο μεταξύ 2001 και 2018 η συσχέτιση της ταχύτητας του ανέμου WS με τις υπόλοιπες μεταβλητές είναι ασθενής. Συγκεκριμένα, η σχέση με την σχετική υγρασία RH είναι ασθενής, αρνητική και στατιστικά σημαντική ($r=-0.256$, $r<0.01$), με την διεύθυνση του ανέμου WD είναι ασθενής, θετική και στατιστικά σημαντική ($r=0.164$, $r<0.01$), με τα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀ είναι ασθενής, αρνητική και στατιστικά σημαντική ($r=-0.088$, $r<0.01$), ενώ δε φαίνεται να υπάρχει συσχέτιση με τη μέση θερμοκρασία.

Επιπλέον, το 2001 η συσχέτιση με τα αιωρούμενα σωματίδια PM10 είναι $r=-0.475$ ($p<0.01$), το 2013 η σχέση με την σχετική υγρασία RH είναι $r=-0.475$ ($p<0.01$) και το 2003 η συσχέτιση με την διεύθυνση του ανέμου WD είναι $r=0.467$ ($p<0.01$).

δ. Διεύθυνση ανέμου WD

Στο σύνολο των δεδομένων της περιόδου μεταξύ 2001 και 2018 η συσχέτιση της μεταβλητής αναφορικά με την διεύθυνση του ανέμου WD και τις υπόλοιπες παραμέτρους είναι ασθενής. Ειδικότερα, η σχέση με την μέση θερμοκρασία MEAN_T είναι ασθενής, αρνητική και στατιστικά σημαντική ($r=-0.250$, $p<0.01$). Η συσχέτιση με την ταχύτητα του ανέμου WS ($r=0.164$, $p<0.01$) και την σχετική υγρασία RH ($r=0.109$, $p<0.01$) είναι ασθενής, θετική και στατιστικά σημαντική. Τέλος, η σχέση μεταξύ της διεύθυνσης του ανέμου WD και των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ δεν είναι στατιστικά σημαντική.

Στις επιμέρους ετήσιες συσχετίσεις και όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η διεύθυνση του ανέμου εμφανίζει θετική, μέτρια και στατιστικά σημαντική συσχέτιση με την ταχύτητα του ανέμου WS κατά τα έτη 2001 ($r=0.582$), 2002 ($r=0.521$) και 2004 ($r=0.521$). Επίσης, το 2003 η σχέση με την ταχύτητα του ανέμου είναι πιο ασθενής σε σχέση με την προηγούμενη και την επόμενη χρονιά και συγκεκριμένα $r=0.467$ ($p<0.01$).

Πίνακας 3.6: Συντελεστές συσχέτισης Pearson (μπλε=ικανοποιητική συσχέτιση, κίτρινο=μέτρια συσχέτιση, πράσινο=ασθενής συσχέτιση)

| Μεταβλητή | Χρονολογία | PM10 | MEAN T | RH | WS | WD |
|-----------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| MEAN T | 2001 - 2018 | -,187** | - | -,573** | ,004 | -,250** |
| WS | 2001 - 2018 | -,088** | ,004 | -,256** | - | ,164** |
| RH | 2001 - 2018 | ,154** | -,573** | - | -,256** | ,109** |
| WD | 2001 - 2018 | ,010 | -,250** | ,109** | ,164** | - |
| PM10 | 2001 - 2018 | - | -,187** | ,154** | -,088** | ,010 |
| MEAN T | 2018 | -,392** | - | -,563** | ,115* | -,257** |
| RH | 2018 | ,279** | -,563** | - | -,353** | ,150** |
| WD | 2018 | ,066 | -,257** | ,150** | ,043 | - |
| PM10 | 2018 | - | -,392** | ,279** | -,411** | ,066 |
| WS | 2018 | -,411** | ,115* | -,353** | - | ,043 |
| WS | 2017 | -,333** | ,030 | -,217** | - | ,196** |
| MEAN T | 2017 | -,453** | - | -,633** | ,030 | -,191** |
| WD | 2017 | -,027 | -,191** | ,089 | ,196** | - |
| RH | 2017 | ,299** | -,633** | - | -,217** | ,089 |
| PM10 | 2017 | - | -,453** | ,299** | -,333** | -,027 |
| MEAN T | 2016 | -,356** | - | -,520** | ,092 | -,213** |
| WD | 2016 | ,026 | -,213** | -,052 | ,096 | - |
| WS | 2016 | -,199** | ,092 | -,392** | - | ,096 |
| PM10 | 2016 | - | -,356** | ,235** | -,199** | ,026 |
| RH | 2016 | ,235** | -,520** | - | -,392** | -,052 |
| WS | 2015 | -,218** | -,034 | -,308** | - | ,224** |

| | | | | | | |
|--------|------|---------|---------|---------|---------|---------|
| MEAN T | 2015 | -,116 | - | -,409** | -,034 | -,196** |
| PM10 | 2015 | - | -,116 | ,107 | -,218** | -,143* |
| WD | 2015 | -,143* | -,196** | -,011 | ,224** | - |
| RH | 2015 | ,107 | -,409** | - | -,308** | -,011 |
| MEAN T | 2014 | -,390** | - | -,667** | ,259** | -,165** |
| WD | 2014 | -,059 | -,165** | ,071 | ,057 | - |
| RH | 2014 | ,418** | -,667** | - | -,433** | ,071 |
| WS | 2014 | -,415** | ,259** | -,433** | - | ,057 |
| PM10 | 2014 | - | -,390** | ,418** | -,415** | -,059 |
| WS | 2013 | -,388** | ,188** | -,474** | - | ,107* |
| WD | 2013 | -,043 | ,042 | -,009 | ,107* | - |
| MEAN T | 2013 | -,382** | - | -,595** | ,188** | ,042 |
| RH | 2013 | ,352** | -,595** | - | -,474** | -,009 |
| PM10 | 2013 | - | -,382** | ,352** | -,388** | -,043 |
| MEAN T | 2012 | -,052 | - | -,401** | -,121* | -,390** |
| WS | 2012 | -,230** | -,121* | -,073 | - | ,110* |
| WD | 2012 | ,028 | -,390** | ,054 | ,110* | - |
| RH | 2012 | ,153* | -,401** | - | -,073 | ,054 |
| PM10 | 2012 | - | -,052 | ,153* | -,230** | ,028 |
| MEAN T | 2011 | -,158 | - | -,683** | ,087 | -,267** |
| RH | 2011 | -,028 | -,683** | - | -,318** | ,253** |
| WD | 2011 | -,045 | -,267** | ,253** | ,090 | - |
| WS | 2011 | -,255** | ,087 | -,318** | - | ,090 |
| PM10 | 2011 | - | -,158 | -,028 | -,255** | -,045 |
| MEAN T | 2010 | ,055 | - | -,407** | ,044 | -,257** |
| RH | 2010 | -,004 | -,407** | - | -,306** | ,198** |
| WD | 2010 | -,044 | -,257** | ,198** | ,020 | - |
| WS | 2010 | -,109* | ,044 | -,306** | - | ,020 |
| PM10 | 2010 | - | ,055 | -,004 | -,109* | -,044 |
| MEAN T | 2009 | -,224** | - | -,510** | ,072 | -,269** |
| RH | 2009 | ,254** | -,510** | - | -,301** | ,172** |
| WD | 2009 | -,005 | -,269** | ,172** | ,088 | - |
| WS | 2009 | -,358** | ,072 | -,301** | - | ,088 |
| PM10 | 2009 | - | -,224** | ,254** | -,358** | -,005 |
| MEAN T | 2008 | -,213** | - | -,574** | -,019 | -,179** |
| RH | 2008 | ,045 | -,574** | - | -,411** | ,172** |
| WD | 2008 | ,036 | -,179** | ,172** | -,080 | - |
| PM10 | 2008 | - | -,213** | ,045 | ,018 | ,036 |
| WS | 2008 | ,018 | -,019 | -,411** | - | -,080 |
| MEAN T | 2007 | -,195** | - | -,621** | ,065 | -,282** |
| RH | 2007 | ,009 | -,621** | - | -,446** | ,270** |
| WS | 2007 | -,025 | ,065 | -,446** | - | -,106* |
| WD | 2007 | -,001 | -,282** | ,270** | -,106* | - |
| PM10 | 2007 | - | -,195** | ,009 | -,025 | -,001 |

| | | | | | | |
|--|------|---------|---------|---------|---------|---------|
| RH | 2006 | ,176** | -,684** | - | -,358** | ,305** |
| MEAN T | 2006 | -,241** | - | -,684** | ,046 | -,273** |
| WD | 2006 | -,102 | -,273** | ,305** | -,072 | - |
| WS | 2006 | -,089 | ,046 | -,358** | - | -,072 |
| PM10 | 2006 | - | -,241** | ,176** | -,089 | -,102 |
| MEAN T | 2005 | -,251** | - | -,536** | -,023 | -,341** |
| WD | 2005 | ,045 | -,341** | ,103 | -,051 | - |
| RH | 2005 | ,209** | -,536** | - | -,238** | ,103 |
| PM10 | 2005 | - | -,251** | ,209** | ,004 | ,045 |
| WS | 2005 | ,004 | -,023 | -,238** | - | -,051 |
| WS | 2004 | -,411** | -,060 | -,313** | - | ,521** |
| MEAN T | 2004 | ,008 | - | -,545** | -,060 | -,369** |
| PM10 | 2004 | - | ,008 | ,234** | -,411** | -,220** |
| RH | 2004 | ,234** | -,545** | - | -,313** | -,109* |
| WD | 2004 | -,220** | -,369** | -,109* | ,521** | - |
| WS | 2003 | -,362** | -,149** | -,156** | - | ,467** |
| MEAN T | 2003 | -,064 | - | -,693** | -,149** | -,381** |
| PM10 | 2003 | - | -,064 | ,024 | -,362** | -,333** |
| RH | 2003 | ,024 | -,693** | - | -,156** | ,107* |
| WD | 2003 | -,333** | -,381** | ,107* | ,467** | - |
| WS | 2002 | -,410** | ,032 | -,338** | - | ,521** |
| MEAN T | 2002 | -,223** | - | -,616** | ,032 | -,208** |
| RH | 2002 | ,177** | -,616** | - | -,338** | -,154** |
| PM10 | 2002 | - | -,223** | ,177** | -,410** | -,152** |
| WD | 2002 | -,152** | -,208** | -,154** | ,521** | - |
| WS | 2001 | -,475** | -,025 | -,220** | - | ,582** |
| MEAN T | 2001 | ,033 | - | -,760** | -,025 | -,376** |
| PM10 | 2001 | - | ,033 | ,127* | -,475** | -,285** |
| WD | 2001 | -,285** | -,376** | ,084 | ,582** | - |
| RH | 2001 | ,127* | -,760** | - | -,220** | ,084 |
| *. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed). | | | | | | |
| **. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed). | | | | | | |

3.4 Ολική γραμμική παλινδρόμηση (2001-2018)

Συνολικά οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ σε σχέση με την διεύθυνση του ανέμου WD, την ταχύτητα του ανέμου WS την σχετική υγρασία RH και την μέση θερμοκρασία MEAN_T περιγράφεται σύμφωνα με την εξής γραμμική παλινδρόμησης:

$$PM_{10} = 47,458 + 0.058 * RH - 0.499 * MEAN_T - 0.58 * WS - 0.005 * WD$$

Η γραμμική παλινδρόμησης που έχει εκτιμηθεί θεωρείται ότι είναι στατιστικά σημαντική (F=59,569, sig.=0,000).

Επιπλέον, μόνο το 4.3% (Adj. R²) της διακύμανσης των PM₁₀ ερμηνεύεται από τη διακύμανση των υπολοίπων τεσσάρων μεταβλητών. Έτσι, καθώς η τιμή του Adj. R² είναι ιδιαίτερα χαμηλή δεν συνίσταται η χρήση της γραμμικής παλινδρόμησης για πρόβλεψη της επόμενης ημέρας.

Model Summary

| Model | R | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate | Change Statistics | | | | | Durbin-Watson |
|-------|-------|----------|-------------------|----------------------------|-------------------|----------|-----|------|---------------|---------------|
| | | | | | R Square Change | F Change | df1 | df2 | Sig. F Change | |
| 1 | ,210a | ,044 | ,043 | 21,626 | ,044 | 59,569 | 4 | 5175 | ,000 | ,788 |

a. Predictors: (Constant), WD, RH, WS, MEAN T

b. Dependent Variable: PM₁₀

ANOVA

| Model | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|-------|------------|----------------|------|-------------|--------|------|
| 1 | Regression | 111438,214 | 4 | 27859,554 | 59,569 | ,000 |
| | Residual | 2420267,147 | 5175 | 467,684 | | ,000 |
| | Total | 2531705,361 | 5179 | | | ,000 |

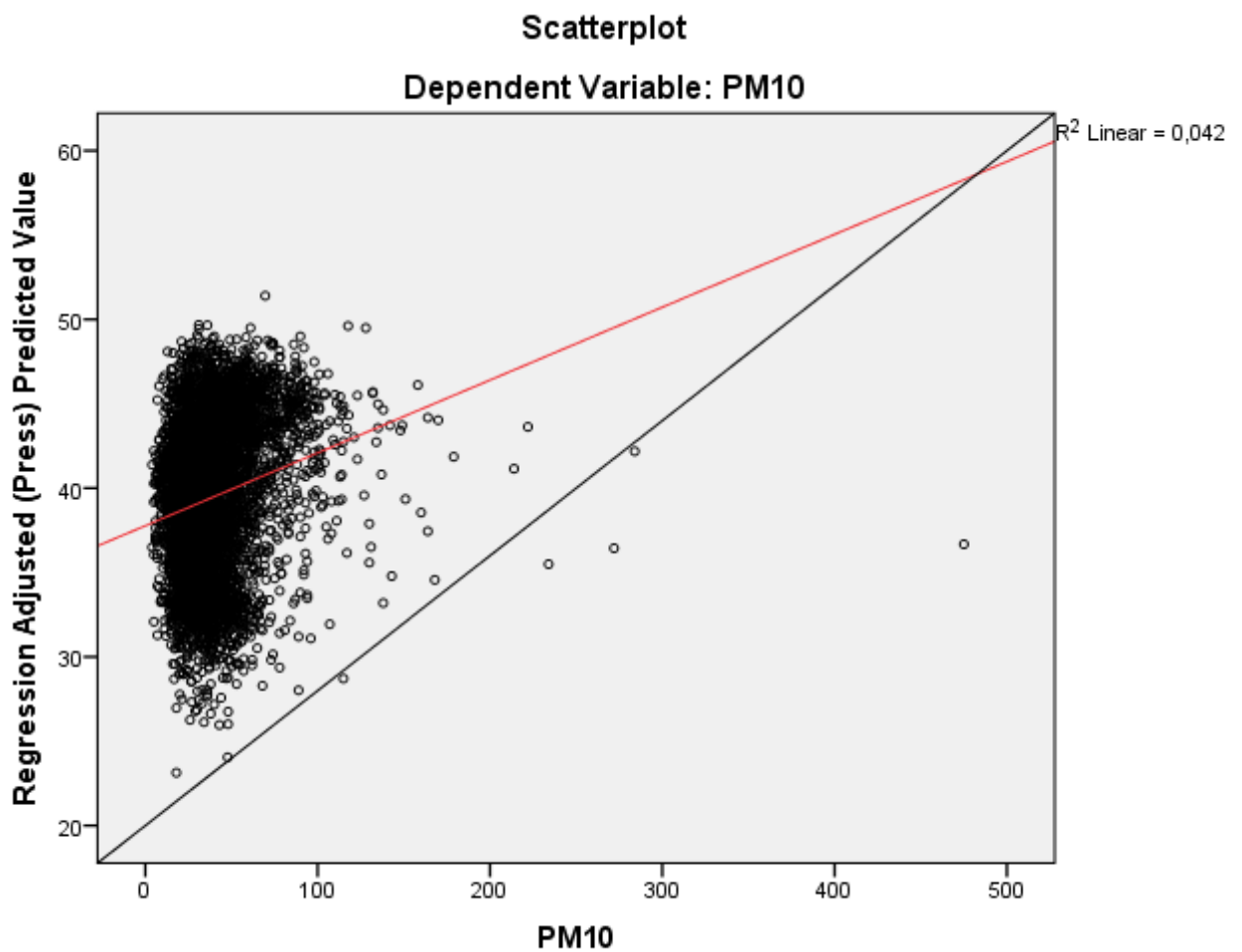
a. Dependent Variable: PM₁₀

b. Predictors: (Constant), WD, RH, WS, MEAN T

Coefficients^a

| Model | Unstandardized Coefficients | | Standardized Coefficients | t | Sig. | 95.0% Confidence Interval for B | | Collinearity Statistics | |
|--------------|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|------|---------------------------------|-------------|-------------------------|-------|
| | B | Std. Error | Beta | | | Lower Bound | Upper Bound | Tolerance | VIF |
| 1 (Constant) | 47,458 | 2,851 | | 16,648 | ,000 | 41,869 | 53,046 | | |
| MEAN T | -,499 | ,050 | -,172 | -9,966 | ,000 | -,598 | -,401 | ,622 | 1,609 |
| RH | ,058 | ,029 | ,035 | 1,975 | ,048 | ,000 | ,115 | ,592 | 1,688 |
| WS | -,580 | ,113 | -,075 | -5,123 | ,000 | -,802 | -,358 | ,866 | 1,154 |
| WD | -,005 | ,003 | -,021 | -1,500 | ,134 | -,011 | ,001 | ,925 | 1,081 |

a. Dependent Variable: PM₁₀



3.5 Γραμμική παλινδρόμηση ανά έτος

Η διακύμανση των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ στις ετήσιες γραμμές παλινδρόμησης που ερμηνεύεται από τις τέσσερις μεταβλητές κυμαίνεται σε πολύ χαμηλά επίπεδα και μεταξύ Adj.R²=0.5% το 2010 και Adj.R²=30.6% το 2017.

Επίσης σε όλες τις χρονιές υπάρχει το πρόβλημα της αυτοσυσχέτισης καθώς ο συντελεστής Durbin-Watson είναι πάντα μικρότερος από 1.5.

Όλες οι γραμμές παλινδρόμησης που έχουν εκτιμηθεί είναι στατιστικά σημαντικές (sig < 0,05), εκτός από εκείνη που αφορά το έτος 2010.

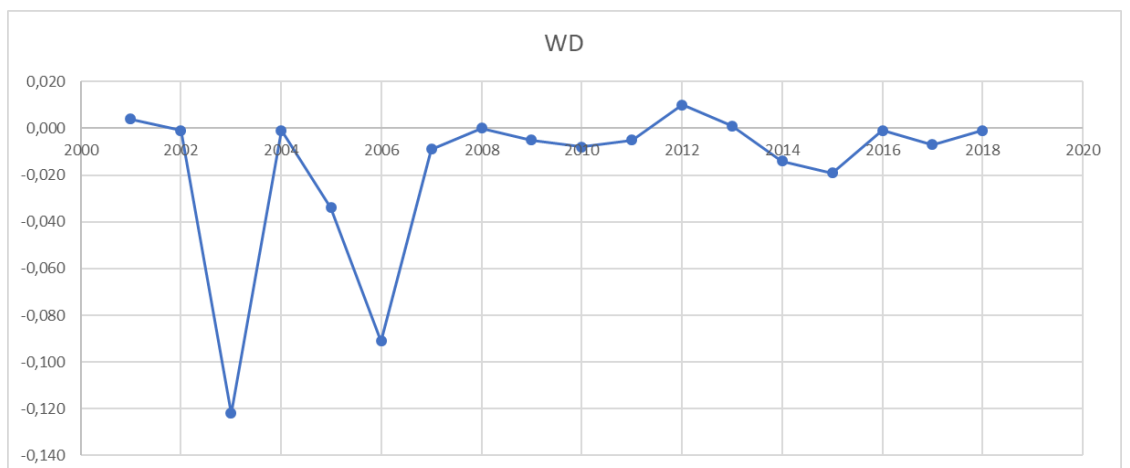
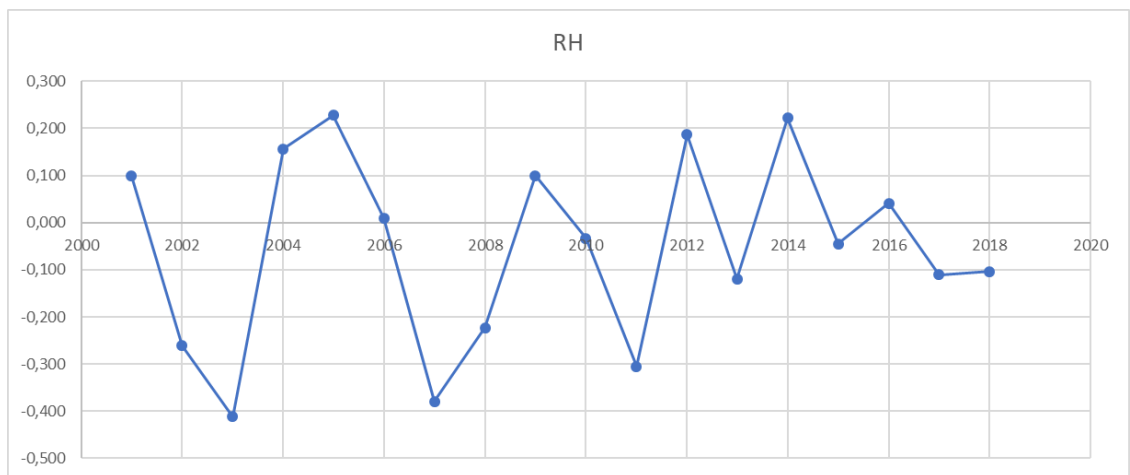
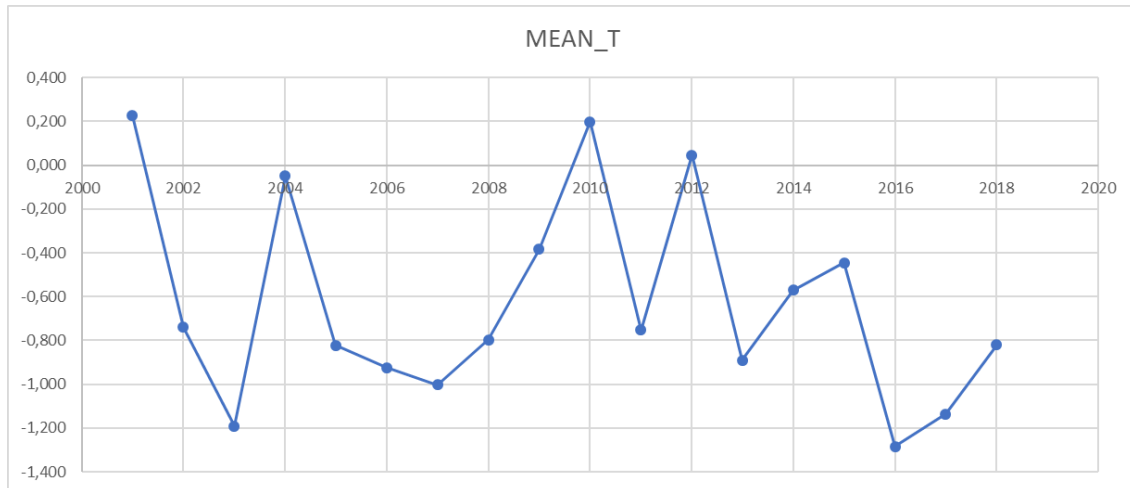
Πίνακας 3.7: Αποτελέσματα γραμμών παλινδρόμησης

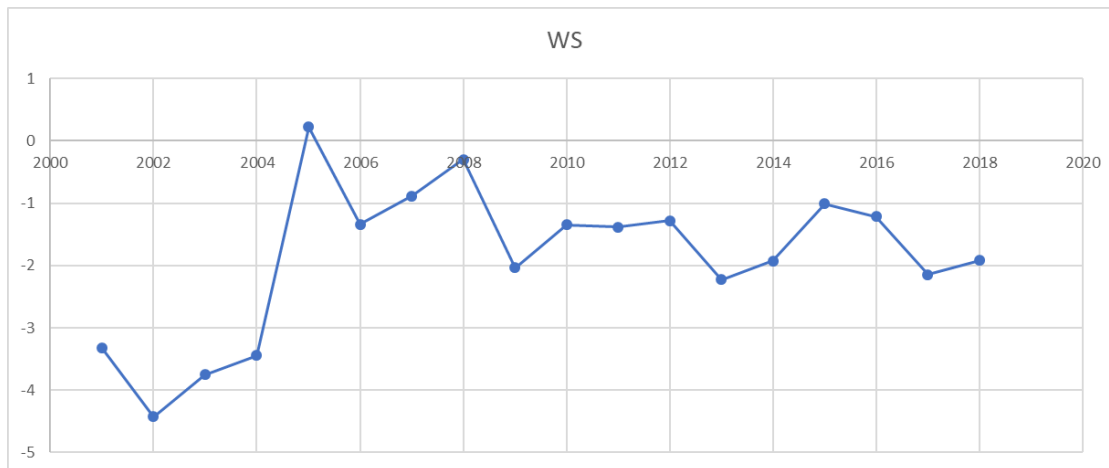
| Year | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate | Durbin-Watson | F | Sig. |
|------|-------------------|----------------------------|---------------|--------|-------|
| 2001 | 0,218 | 15,181 | 1,124 | 22,367 | 0 |
| 2002 | 0,201 | 17,029 | 0,899 | 21,309 | 0 |
| 2003 | 0,239 | 19,478 | 1,024 | 19,186 | 0 |
| 2004 | 0,159 | 22,848 | 0,947 | 11,273 | 0 |
| 2005 | 0,059 | 27,637 | 1,21 | 4,546 | 0,002 |
| 2006 | 0,091 | 27,069 | 1,055 | 7,956 | 0 |
| 2007 | 0,06 | 20,959 | 0,636 | 6,584 | 0 |
| 2008 | 0,045 | 19,399 | 0,802 | 5,206 | 0 |
| 2009 | 0,163 | 14,342 | 1,092 | 17,815 | 0 |
| 2010 | 0,005 | 31,346 | 1,404 | 1,405 | 0,232 |
| 2011 | 0,114 | 11,327 | 0,864 | 5,249 | 0,001 |
| 2012 | 0,06 | 13,123 | 0,701 | 4,844 | 0,001 |
| 2013 | 0,265 | 13,553 | 1,073 | 30,19 | 0 |
| 2014 | 0,268 | 14,376 | 0,739 | 33,107 | 0 |
| 2015 | 0,061 | 16,382 | 1,016 | 4,339 | 0,002 |
| 2016 | 0,163 | 17,366 | 0,549 | 11,829 | 0 |
| 2017 | 0,306 | 14,769 | 0,973 | 40,061 | 0 |
| 2018 | 0,286 | 12,443 | 0,907 | 37,289 | 0 |

Στον Πίνακα 3.7 παρουσιάζονται οι συντελεστές β των γραμμών παλινδρόμησης ανά έτος και μεταβλητή. Εκτός από το έτος¹ 2003, σε κανένα μοντέλο άλλης χρονιάς δεν ήταν ταυτόχρονα όλοι οι συντελεστές β των ανεξάρτητων μεταβλητών στατιστικά σημαντικοί (sig.<0.05). Η

¹ το εκτιμώμενο μοντέλο υποδεικνύει ότι, όταν η μέση θερμοκρασία (MEAN_T) είναι μειωμένη κατά μία μονάδα (μονάδα μέτρησης) και οι υπόλοιπες μεταβλητές είναι σταθερές, τότε τα αιωρούμενα σωματίδια αναμένεται να είναι, κατά μέσο όρο, αυξημένα. Αντίστοιχα,, όταν η σχετική υγρασία μειώνεται κατά μία μονάδα (μονάδα μέτρησης) και οι άλλες μεταβλητές είναι σταθερές, τότε τα αιωρούμενα σωματίδια αναμένεται να είναι, κατά μέσο όρο, αυξημένα κατά 0.412 μονάδες (μονάδα μέτρησης). Όταν η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται κατά μία μονάδα (μονάδα μέτρησης) και οι άλλες μεταβλητές είναι σταθερές, τότε τα αιωρούμενα σωματίδια αναμένεται να είναι, κατά μέσο όρο, μειωμένα κατά 3.749 μονάδες (μονάδα μέτρησης). Τέλος, όταν η διεύθυνση του ανέμου αυξάνεται κατά μία μονάδα (μονάδα μέτρησης) και οι άλλες μεταβλητές είναι σταθερές, τότε τα αιωρούμενα σωματίδια αναμένεται να είναι, κατά μέσο όρο, μειωμένα κατά 0.122 μονάδες (μονάδα μέτρησης).

σταθερά ήταν πάντα θετική και στατιστικά σημαντική σε όλα τα έτη. Οι συντελεστές β της μεταβλητής MEAN_T ήταν στατιστικά σημαντικοί σε 14 χρονιές από τις συνολικά 18 και σε αυτές ήταν πάντα αρνητικοί. Οι τιμές β για την μεταβλητή RH ήταν στατιστικά σημαντικοί σε 6 από τις 18 χρονιές, ενώ στις τέσσερις από αυτές το πρόσημο ήταν αρνητικό. Οι συντελεστές β για την μεταβλητή ήταν στατιστικά σημαντικοί σε 13 χρονιές από τις 18 και σε όλες τα πρόσημα τους ήταν αρνητικά. Τέλος, οι τιμές β για την μεταβλητή WD ήταν στατιστικά σημαντικές μόνο σε 3 χρονιές και σε όλες το πρόσημο ήταν αρνητικό. Στο παρακάτω σχήμα 3.11 φαίνεται επίσης και η εξέλιξη των συντελεστών β ανά έτος και μεταβλητή.





Σχήμα 3.11: Εξέλιξη συντελεστών β ανά μεταβλητή και έτος

Πίνακας 3.7: Σύνοψη αποτελεσμάτων συντελεστών β γραμμών παλινδρόμησης

| Μεταβλητή | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
|-----------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| (σταθερά) | 54,419 | 104,362 | 138,941 | 63,281 | 53,812 | 90,149 | 92,205 | 72,848 | 42,974 | 40,758 | 71,727 | 20,874 | 66,33 | 33,315 | 47,993 | 44,611 | 70,543 | 61,68 |
| MEAN T | 0,226 | -0,74 | -1,19 | -0,049 | -0,823 | -0,924 | -1,003 | -0,796 | -0,383 | 0,199 | -0,753 | 0,046 | -0,89 | -0,57 | -0,445 | -1,285 | -1,135 | -0,821 |
| RH | 0,099 | -0,261 | -0,412 | 0,156 | 0,228 | 0,010 | -0,379 | -0,223 | 0,100 | -0,033 | -0,305 | 0,187 | -0,119 | 0,222 | -0,045 | 0,041 | -0,111 | -0,104 |
| WS | -3,318 | -4,423 | -3,749 | -3,443 | 0,221 | -1,338 | -0,885 | -0,294 | -2,037 | -1,347 | -1,384 | -1,28 | -2,224 | -1,925 | -1,01 | -1,217 | -2,144 | -1,92 |
| WD | 0,004 | -0,001 | -0,122 | -0,001 | -0,034 | -0,091 | -0,009 | 0,000 | -0,005 | -0,008 | -0,005 | 0,010 | 0,001 | -0,014 | -0,019 | -0,001 | -0,007 | -0,001 |

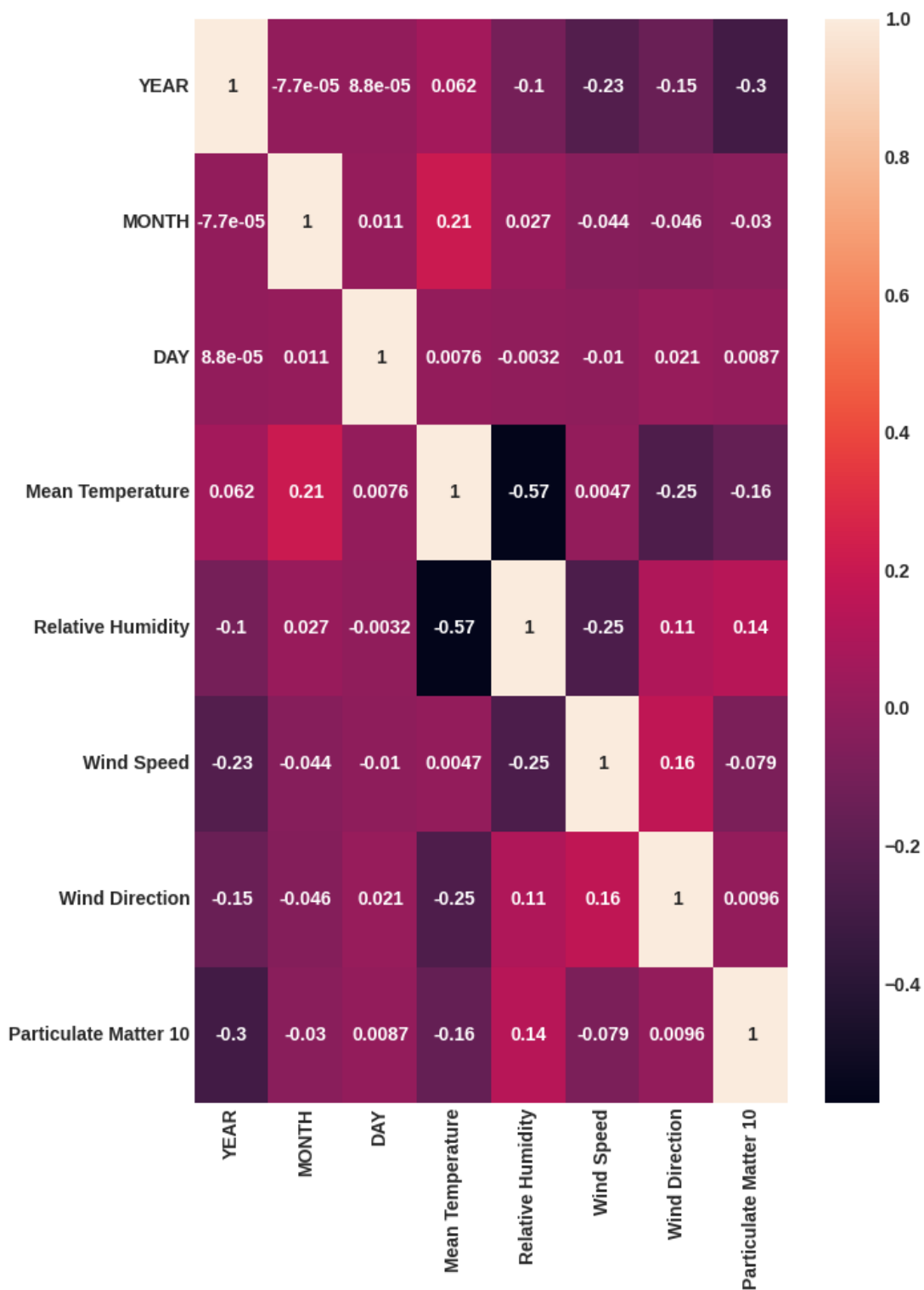
| Variable | Year | Unstandardized Coefficients | | Standardized Coefficients | | | 95.0% Confidence Interval for B | | Collinearity Statistics | |
|------------|------|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|-------|---------------------------------|-------------|-------------------------|-------|
| | | B | Std. Error | Beta | t | Sig. | Lower Bound | Upper Bound | Tolerance | VIF |
| (Constant) | 2001 | 54,419 | 10,3 | | 5,284 | 0 | 34,151 | 74,688 | | |
| MEAN T | 2001 | 0,226 | 0,178 | 0,108 | 1,269 | 0,205 | -0,125 | 0,578 | 0,350 | 2,861 |
| RH | 2001 | 0,099 | 0,092 | 0,089 | 1,071 | 0,285 | -0,083 | 0,280 | 0,368 | 2,718 |
| WS | 2001 | -3,318 | 0,478 | -0,459 | -6,94 | 0 | -4,259 | -2,377 | 0,583 | 1,716 |
| WD | 2001 | 0,004 | 0,018 | 0,014 | 0,204 | 0,838 | -0,032 | 0,040 | 0,544 | 1,838 |
| (Constant) | 2002 | 104,362 | 11,511 | | 9,066 | 0 | 81,714 | 127,011 | | |
| MEAN T | 2002 | -0,74 | 0,183 | -0,276 | -4,032 | 0 | -1,101 | -0,379 | 0,529 | 1,892 |
| RH | 2002 | -0,261 | 0,097 | -0,198 | -2,675 | 0,008 | -0,452 | -0,069 | 0,45 | 2,22 |
| WS | 2002 | -4,423 | 0,603 | -0,45 | -7,331 | 0 | -5,609 | -3,236 | 0,658 | 1,519 |
| WD | 2002 | -0,001 | 0,019 | -0,002 | -0,037 | 0,971 | -0,038 | 0,036 | 0,706 | 1,416 |
| (Constant) | 2003 | 138,941 | 15,231 | | 9,123 | 0 | 108,93 | 168,953 | | |
| MEAN T | 2003 | -1,19 | 0,234 | -0,466 | -5,076 | 0 | -1,652 | -0,728 | 0,391 | 2,56 |
| RH | 2003 | -0,412 | 0,138 | -0,25 | -2,987 | 0,003 | -0,684 | -0,14 | 0,47 | 2,126 |
| WS | 2003 | -3,749 | 0,809 | -0,305 | -4,635 | 0 | -5,343 | -2,155 | 0,76 | 1,317 |
| WD | 2003 | -0,122 | 0,024 | -0,356 | -4,999 | 0 | -0,17 | -0,074 | 0,65 | 1,54 |
| (Constant) | 2004 | 63,281 | 15,921 | | 3,975 | 0 | 31,898 | 94,663 | | |
| MEAN T | 2004 | -0,049 | 0,320 | -0,011 | -0,155 | 0,877 | -0,679 | 0,581 | 0,720 | 1,389 |
| RH | 2004 | 0,156 | 0,143 | 0,081 | 1,093 | 0,276 | -0,126 | 0,438 | 0,714 | 1,401 |
| WS | 2004 | -3,443 | 0,707 | -0,378 | -4,867 | 0 | -4,838 | -2,049 | 0,642 | 1,558 |
| WD | 2004 | -0,001 | 0,030 | -0,003 | -0,039 | 0,969 | -0,061 | 0,058 | 0,590 | 1,695 |
| (Constant) | 2005 | 53,812 | 20,579 | | 2,615 | 0,01 | 13,258 | 94,366 | | |
| MEAN T | 2005 | -0,823 | 0,308 | -0,226 | -2,669 | 0,008 | -1,431 | -0,215 | 0,573 | 1,744 |
| RH | 2005 | 0,228 | 0,190 | 0,096 | 1,200 | 0,231 | -0,147 | 0,603 | 0,643 | 1,555 |
| WS | 2005 | 0,221 | 0,920 | 0,016 | 0,240 | 0,810 | -1,592 | 2,033 | 0,939 | 1,065 |
| WD | 2005 | -0,034 | 0,031 | -0,077 | -1,091 | 0,277 | -0,096 | 0,028 | 0,837 | 1,195 |

| | | | | | | | | | | |
|------------|------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|---------|-------|-------|
| (Constant) | 2006 | 90,149 | 17,729 | | 5,085 | 0 | 55,246 | 125,052 | | |
| MEAN T | 2006 | -0,924 | 0,26 | -0,298 | -3,549 | 0 | -1,436 | -0,411 | 0,466 | 2,147 |
| RH | 2006 | 0,010 | 0,161 | 0,006 | 0,062 | 0,950 | -0,307 | 0,327 | 0,401 | 2,493 |
| WS | 2006 | -1,338 | 0,873 | -0,099 | -1,533 | 0,126 | -3,057 | 0,380 | 0,794 | 1,259 |
| WD | 2006 | -0,091 | 0,026 | -0,211 | -3,443 | 0,001 | -0,143 | -0,039 | 0,873 | 1,146 |
| (Constant) | 2007 | 92,205 | 10,818 | | 8,523 | 0 | 70,928 | 113,483 | | |
| MEAN T | 2007 | -1,003 | 0,196 | -0,36 | -5,109 | 0 | -1,389 | -0,617 | 0,543 | 1,843 |
| RH | 2007 | -0,379 | 0,116 | -0,256 | -3,275 | 0,001 | -0,607 | -0,152 | 0,442 | 2,264 |
| WS | 2007 | -0,885 | 0,44 | -0,123 | -2,011 | 0,045 | -1,751 | -0,019 | 0,721 | 1,386 |
| WD | 2007 | -0,009 | 0,011 | -0,048 | -0,868 | 0,386 | -0,030 | 0,012 | 0,898 | 1,113 |
| (Constant) | 2008 | 72,848 | 11,065 | | 6,584 | 0 | 51,085 | 94,61 | | |
| MEAN T | 2008 | -0,796 | 0,182 | -0,298 | -4,362 | 0 | -1,154 | -0,437 | 0,576 | 1,735 |
| RH | 2008 | -0,223 | 0,114 | -0,149 | -1,949 | 0,052 | -0,447 | 0,002 | 0,463 | 2,159 |
| WS | 2008 | -0,294 | 0,396 | -0,046 | -0,743 | 0,458 | -1,072 | 0,484 | 0,691 | 1,448 |
| WD | 2008 | 0,000 | 0,010 | 0,002 | 0,033 | 0,974 | -0,020 | 0,020 | 0,956 | 1,046 |
| (Constant) | 2009 | 42,974 | 7,599 | | 5,655 | 0 | 28,028 | 57,921 | | |
| MEAN T | 2009 | -0,383 | 0,13 | -0,174 | -2,954 | 0,003 | -0,639 | -0,128 | 0,703 | 1,423 |
| RH | 2009 | 0,100 | 0,083 | 0,073 | 1,202 | 0,230 | -0,063 | 0,263 | 0,659 | 1,518 |
| WS | 2009 | -2,037 | 0,332 | -0,322 | -6,129 | 0 | -2,691 | -1,383 | 0,88 | 1,137 |
| WD | 2009 | -0,005 | 0,008 | -0,033 | -0,643 | 0,520 | -0,020 | 0,010 | 0,914 | 1,094 |
| (Constant) | 2010 | 40,758 | 13,841 | | 2,945 | 0,003 | 13,533 | 67,984 | | |
| MEAN T | 2010 | 0,199 | 0,250 | 0,048 | 0,796 | 0,427 | -0,292 | 0,689 | 0,793 | 1,260 |
| RH | 2010 | -0,033 | 0,153 | -0,014 | -0,215 | 0,830 | -0,335 | 0,269 | 0,738 | 1,354 |
| WS | 2010 | -1,347 | 0,667 | -0,116 | -2,020 | 0,044 | -2,659 | -0,035 | 0,897 | 1,114 |
| WD | 2010 | -0,008 | 0,017 | -0,026 | -0,457 | 0,648 | -0,042 | 0,026 | 0,913 | 1,095 |
| (Constant) | 2011 | 71,727 | 10,661 | | 6,728 | 0 | 50,633 | 92,821 | | |
| MEAN T | 2011 | -0,753 | 0,265 | -0,263 | -2,844 | 0,005 | -1,276 | -0,229 | 0,782 | 1,279 |
| RH | 2011 | -0,305 | 0,112 | -0,275 | -2,735 | 0,007 | -0,526 | -0,084 | 0,664 | 1,505 |
| WS | 2011 | -1,384 | 0,361 | -0,35 | -3,836 | 0 | -2,098 | -0,67 | 0,807 | 1,239 |
| WD | 2011 | -0,005 | 0,009 | -0,048 | -0,561 | 0,575 | -0,023 | 0,013 | 0,922 | 1,084 |

| | | | | | | | | | | |
|------------|------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|
| (Constant) | 2012 | 20,874 | 8,825 | | 2,365 | 0,019 | 3,489 | 38,259 | | |
| MEAN T | 2012 | 0,046 | 0,158 | 0,022 | 0,290 | 0,772 | -0,266 | 0,358 | 0,708 | 1,412 |
| RH | 2012 | 0,187 | 0,09 | 0,148 | 2,071 | 0,039 | 0,009 | 0,365 | 0,76 | 1,316 |
| WS | 2012 | -1,28 | 0,356 | -0,227 | -3,595 | 0 | -1,981 | -0,579 | 0,976 | 1,024 |
| WD | 2012 | 0,010 | 0,010 | 0,062 | 0,943 | 0,347 | -0,011 | 0,030 | 0,899 | 1,112 |
| (Constant) | 2013 | 66,33 | 9,828 | | 6,749 | 0 | 46,995 | 85,666 | | |
| MEAN T | 2013 | -0,89 | 0,144 | -0,392 | -6,18 | 0 | -1,173 | -0,607 | 0,564 | 1,773 |
| RH | 2013 | -0,119 | 0,106 | -0,079 | -1,123 | 0,262 | -0,327 | 0,089 | 0,455 | 2,199 |
| WS | 2013 | -2,224 | 0,333 | -0,368 | -6,671 | 0 | -2,88 | -1,568 | 0,744 | 1,344 |
| WD | 2013 | 0,001 | 0,008 | 0,006 | 0,133 | 0,894 | -0,015 | 0,017 | 0,985 | 1,015 |
| (Constant) | 2014 | 33,315 | 9,779 | | 3,407 | 0,001 | 14,08 | 52,549 | | |
| MEAN T | 2014 | -0,57 | 0,151 | -0,235 | -3,787 | 0 | -0,866 | -0,274 | 0,544 | 1,837 |
| RH | 2014 | 0,222 | 0,101 | 0,144 | 2,19 | 0,029 | 0,023 | 0,422 | 0,483 | 2,069 |
| WS | 2014 | -1,925 | 0,34 | -0,288 | -5,654 | 0 | -2,595 | -1,255 | 0,804 | 1,243 |
| WD | 2014 | -0,014 | 0,008 | -0,088 | -1,898 | 0,059 | -0,029 | 0,001 | 0,965 | 1,036 |
| (Constant) | 2015 | 47,993 | 12,124 | | 3,959 | 0 | 24,089 | 71,898 | | |
| MEAN T | 2015 | -0,445 | 0,21 | -0,154 | -2,117 | 0,035 | -0,859 | -0,031 | 0,86 | 1,163 |
| RH | 2015 | -0,045 | 0,140 | -0,025 | -0,323 | 0,747 | -0,321 | 0,231 | 0,761 | 1,314 |
| WS | 2015 | -1,01 | 0,361 | -0,209 | -2,8 | 0,006 | -1,722 | -0,299 | 0,812 | 1,231 |
| WD | 2015 | -0,019 | 0,011 | -0,126 | -1,813 | 0,071 | -0,040 | 0,002 | 0,936 | 1,068 |
| (Constant) | 2016 | 44,611 | 13,403 | | 3,328 | 0,001 | 18,195 | 71,027 | | |
| MEAN T | 2016 | -1,285 | 0,243 | -0,362 | -5,278 | 0 | -1,765 | -0,805 | 0,801 | 1,248 |
| RH | 2016 | 0,041 | 0,145 | 0,021 | 0,283 | 0,777 | -0,244 | 0,326 | 0,677 | 1,476 |
| WS | 2016 | -1,217 | 0,386 | -0,218 | -3,15 | 0,002 | -1,979 | -0,456 | 0,784 | 1,275 |
| WD | 2016 | -0,001 | 0,010 | -0,008 | -0,124 | 0,902 | -0,022 | 0,019 | 0,926 | 1,080 |
| (Constant) | 2017 | 70,543 | 6,973 | | 10,117 | 0 | 56,828 | 84,257 | | |
| MEAN T | 2017 | -1,135 | 0,13 | -0,506 | -8,7 | 0 | -1,392 | -0,879 | 0,578 | 1,729 |
| RH | 2017 | -0,111 | 0,075 | -0,087 | -1,474 | 0,141 | -0,260 | 0,037 | 0,563 | 1,777 |
| WS | 2017 | -2,144 | 0,306 | -0,328 | -7,015 | 0,000 | -2,745 | -1,543 | 0,895 | 1,117 |
| WD | 2017 | -0,007 | 0,007 | -0,046 | -0,997 | 0,319 | -0,022 | 0,007 | 0,925 | 1,081 |

| | | | | | | | | | | |
|------------|------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|
| (Constant) | 2018 | 61,68 | 6,381 | | 9,666 | 0 | 49,131 | 74,23 | | |
| MEAN T | 2018 | -0,821 | 0,115 | -0,394 | -7,146 | 0 | -1,047 | -0,595 | 0,646 | 1,547 |
| RH | 2018 | -0,104 | 0,073 | -0,082 | -1,435 | 0,152 | -0,248 | 0,039 | 0,597 | 1,676 |
| WS | 2018 | -1,92 | 0,233 | -0,395 | -8,249 | 0 | -2,378 | -1,462 | 0,858 | 1,166 |
| WD | 2018 | -0,001 | 0,006 | -0,007 | -0,143 | 0,886 | -0,013 | 0,011 | 0,927 | 1,078 |

Στο παρακάτω σχήμα 3.12 φαίνεται η συσχέτιση που υπάρχει μεταξύ των μεταβλητών με βάση τα δεδομένα που έχουμε συλλέξει.



Σχήμα 3.12: Συσχέτιση όλων των μεταβλητών

Όπως έχει ήδη αναφερθεί υπάρχει συσχέτιση ή και αλληλεξάρτηση σε πολλές περιπτώσεις μεταξύ των τιμών των ρύπων. Ο συντελεστής συσχέτισης χρησιμοποιείται ως ένα μέτρο για τη διερεύνηση της συσχέτισης μεταξύ δύο μεταβλητών. Παραπάνω παρουσιάζονται οι τιμές του συντελεστή συσχέτισης μεταξύ των ρύπων και των μετεωρολογικών δεδομένων (οι υπολογισμοί έγιναν με τη χρήση του στατιστικού πακέτου SPSS). Στη συνέχεια γίνονται παρατηρήσεις για τη συσχέτιση των ατμοσφαιρικών ρύπων μεταξύ τους καθώς και με τα μετεωρολογικά δεδομένα για την ανίχνευση των πιθανών αιτίων αυτής της συσχέτισης, - όπως αυτή προκύπτει με κριτήριο το συντελεστή συσχέτισης.

Ο θετικός συντελεστής συσχέτισης υποδηλώνει ότι οι μεταβλητές συμμεταβάλλονται. Έτσι παρατηρείται ότι τα αιωρούμενα σωματίδια να έχουν αρκετά υψηλούς συντελεστές συσχέτισης σε σχέση με τα μετεωρολογικά δεδομένα που εκφράζουν την θερμοκρασία και τις συνθήκες υγρασίας στην ατμόσφαιρα. Στις περιπτώσεις ύπαρξης αρνητικού συντελεστή συσχέτισης οι τιμές των μεταβλητών αντιμεταβάλλονται. Για την επίτευξη προβλέψεων των τιμών των ρύπων έχουν δημιουργηθεί στατιστικά μοντέλα που βασίζονται και στις ιδιαίτερες συνθήκες – τοπογραφικές και κλιματολογικές – της κάθε περιοχής, λαμβάνοντας υπόψη βιοχημικές παραμέτρους καθώς και τις υπάρχουσες πηγές ρύπανσης κλπ. Τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιούν κυρίως real time μετρήσεις και επιτυγχάνουν βραχυχρόνιες προβλέψεις που είναι απαραίτητες για την αποφυγή επεισοδίων υπερβολικής αύξησης των τιμών των ρύπων. Έτσι με τη λήψη, εκ των προτέρων, κατάλληλων έκτακτων μέτρων είναι δυνατή η αποφυγή τους. Από το παραπάνω γράφημα παρατηρούμε την συσχέτιση που υπάρχει μεταξύ των μεταβλητών η οποία και συμφωνεί με αρκετές έρευνες που έχουν γίνει στην ευρύτερη περιοχή του Βόλου.

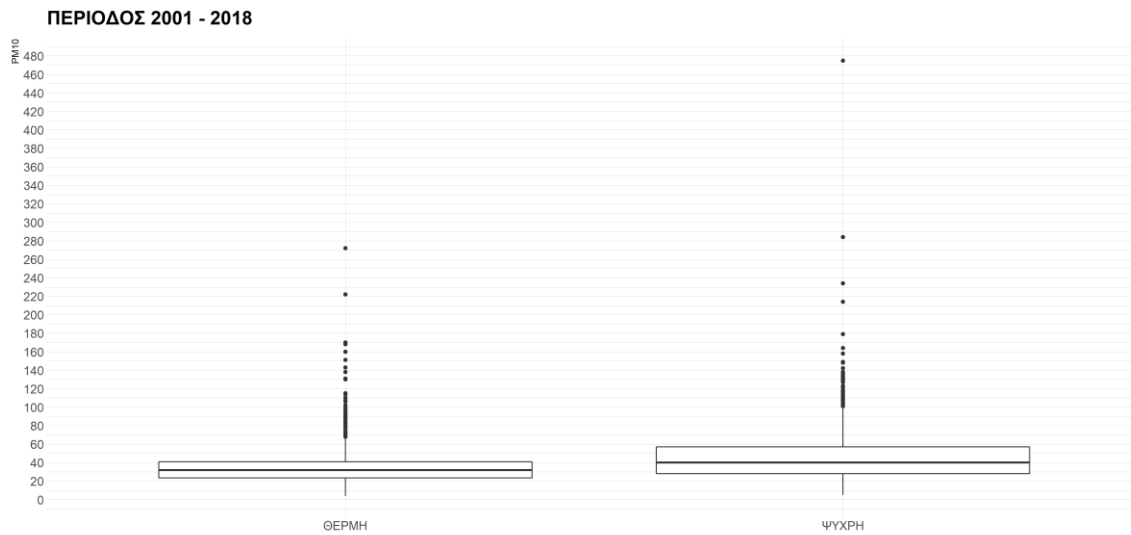
Τα αποτελέσματα σχετικά με τον αριθμό των ετήσιων υπερβάσεων PM_{10} παρουσιάζεται στον πίνακα 3.8. Ο υψηλότερος αριθμός στις υπερβάσεις καταγράφεται τα έτη 2002, με $258\mu\text{g}/\text{m}^3$, και το 2007, με $256\mu\text{g}/\text{m}^3$. Μεταξύ 2004 και 2007 ο αριθμός αυτός παρουσιάζει σταδιακή αύξηση της τάξης του 148%. Αντίθετα οι υπερβάσεις μετά το 2007 μειώνονται έως και το 2011 κατά -178%. Στην συνέχεια μεταξύ 2011 και 2014 ο συνολικός αριθμός των υπερβάσεων αυξάνεται κατά 148%. Από το 2014 έως και το 2016 καταγράφεται μείωση στις υπερβάσεις κατά -134%, ενώ από το 2016 και έως το 2017 σημειώνεται αύξηση κατά 161%. Τα τελευταία δύο έτη και μεταξύ 2017 και 2018 υπάρχει μικρή μείωση στις υπερβάσεις που δεν ξεπερνά το 5%.

Πίνακας 3.8. Συνολικός ετήσιος αριθμός υπερβάσεων PM_{10} μεταξύ των ετών 2001 και 2018

| Year | PM_{10} Αριθμός Υπερβάσεων Ετήσιου Ορίου (40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) |
|------|--|
| 2001 | 224 |
| 2002 | 258 |
| 2003 | 179 |
| 2004 | 173 |
| 2005 | 212 |
| 2006 | 218 |
| 2007 | 256 |
| 2008 | 214 |
| 2009 | 145 |
| 2010 | 136 |
| 2011 | 57 |
| 2012 | 71 |
| 2013 | 107 |
| 2014 | 110 |
| 2015 | 71 |
| 2016 | 47 |
| 2017 | 120 |
| 2018 | 114 |

Στο πλαίσιο της ανάλυσης σε επίπεδο εποχικών περιόδων, επιλέχθηκε η χρονολογική σειρά των συγκεντρώσεων PM_{10} , να ενταχθεί σε δυο εξαμηνιαία τμήματα: αυτό της ψυχρής περιόδου (Οκτώβριος-Μάρτιος) και αυτό της θερμής περιόδου (Απρίλιος-Σεπτέμβριος). Όλα τα ετήσια θηκογράμματα των ημερήσιων συγκεντρώσεων PM_{10} σε επίπεδο εποχικής περιόδου ανά έτος έχουν επισυναφθεί στον φάκελο cold_hot_boxplots.

Στο σχήμα 3.13 παρουσιάζεται το θηκόγραμμα για τις ημερήσιες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} για όλη την περίοδο 2001-2018 και σε επίπεδο εποχικών περιόδων. Όπως ήταν αναμενόμενο η διάμεση τιμή της ψυχρής περιόδου είναι υψηλότερη συγκριτικά απ' εκείνη της θερμής περιόδου, αν και ακραίες τιμές στις συγκεντρώσεις των PM_{10} παρατηρούνται και στις δύο εποχές.



Σχήμα 3.13. Θηκόγραμμα ημερήσιων συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10 για την περίοδο 2001-2018 και σε επίπεδο εποχικών περιόδων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4. Δείκτες Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης. Ο δείκτης AQI για την πόλη του Βόλου.

Για την εκτίμηση της ποιότητας της ατμόσφαιρας χρησιμοποιούνται διάφοροι δείκτες. Ένας τέτοιος δείκτης εκτίμησης της ποιότητας της ατμόσφαιρας μπορεί να είναι αριθμητικός ή περιγραφικός. Κύριο μέλημα είναι η παροχή δεδομένων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατάλληλα από τις διάφορες υπηρεσίες του κράτους για την αξιολόγηση της ποιότητας της ατμόσφαιρας ώστε να ληφθούν οι κατάλληλες αποφάσεις. Χρησιμοποιούνται δε, σε παγκόσμια κλίμακα διότι μπορούν να δείξουν πιο ολοκληρωμένα και κατανοητά την καθημερινή εικόνα της ποιότητας του αέρα σε μια περιοχή, σε αντίθεση με τη χρησιμοποίηση των τιμών συγκέντρωσης αέριων ρύπων. Επίσης, οι δείκτες αυτοί μας δίνουν τη δυνατότητα καλύτερης αποτίμησης της ποιότητας της ατμόσφαιρας, δημιουργώντας ένα δίκτυο ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης πληροφοριών και ανάλυσης (Canter 1996, Thom and Ott 1976, Tunstall 1979, Washington 1984).

4.1 Πρότυπος Δείκτης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης

Ένας περιβαλλοντικός δείκτης, που είναι κατάλληλος για την εκτίμηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα μιας περιοχής, είναι ο πρότυπος δείκτης ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Pollution Standards Index - PSI) (Ott and Thom 1976, Ott and Hunt 1976, Thom and Ott 1976). Η Αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος (U.S. Environmental Protection Agency, U.S.E.P.A.), στα μέσα της δεκαετίας του '70, είχε προτείνει τον συγκεκριμένο δείκτη λόγω της πολύ μεγάλης αύξησης των ανθρώπων με αναπνευστικά προβλήματα (Cheng et al. 2007). Η χρησιμοποίηση αυτού του δείκτη ουσιαστικά τυποποίησε τις εκθέσεις που αναφέρονταν στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Ο δείκτης PSI είναι ένας σύνθετος δείκτης, και η τιμή του υπολογίζεται από τις τιμές συγκέντρωσης των ρύπων NO₂, SO₂, CO, O₃ και ολικών αιωρούμενων σωματιδίων (TSP). Ο δείκτης PSI μετατρέπει τις τιμές συγκέντρωσης των ρύπων σε αριθμητικές τιμές μεταξύ του 0 και του 500. Στον Πίνακα 4.1 περιγράφονται οι κατηγορίες που έχουν δημιουργηθεί για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα με βάση την τιμή του δείκτη (Boudel et al. 1994).

Πίνακας 4.1: Κλίμακα εκτίμησης της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα με βάση τις τιμές του δείκτη PSI (Boudel et al. 1994).

| Ποιότητα Ατμοσφαιρικού αέρα | PSI |
|-----------------------------|--------|
| Καλή | 0 - 50 |

| | |
|---------------------------------|-----------|
| Μέτρια | 51 – 100 |
| Ανθυγιεινή | 101 – 200 |
| Πολύ ανθυγιεινή | 200 - 300 |
| Επικίνδυνη για τη δημόσια υγεία | ➤ 300 |

Υπάρχουν έξι επιμέρους δείκτες που καθορίζουν την τιμή του δείκτη PSI, με βάση τη σχέση

$$PSI = \max(I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6) \quad (1)$$

Όπου:

I₁: δείκτης που καθορίζεται από τις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων,

I₂: δείκτης που καθορίζεται από τις συγκεντρώσεις του διοξειδίου του θείου,

I₃: δείκτης που καθορίζεται από τις συγκεντρώσεις του διοξειδίου του αζώτου,

I₄: δείκτης που καθορίζεται από τις συγκεντρώσεις του μονοξειδίου του άνθρακα,

I₅: δείκτης που καθορίζεται από τις συγκεντρώσεις του όζοντος και

I₆: από το γινόμενο των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων και του διοξειδίου του θείου.

Οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 0 και 500, όπου η τιμή 500 αντιστοιχεί σε καταστάσεις πολύ βλαβερές για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα. Οι τιμές των επιμέρους δεικτών και οι αντίστοιχες συγκεντρώσεις των ρύπων, εμφανίζονται στον Πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2: Τιμές των επιμέρους δεικτών του δείκτη PSI (Boubel et al., 1994).

| I | TSP | SO ₂ | TSP* SO ₂ | CO | O ₃ | NO ₂ |
|---|--------------------|--------------------|------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | 24 hr | 24 hr | | 8 hr | 1 hr | 1 hr |
| | μgr/m ³ | μgr/m ³ | (μgr/m ³) ² | mgr/m ³ | μgr/m ³ | μgr/m ³ |

| | | | | | | |
|-----|-------|-------|---------|------|-------|-------|
| 0 | 0 | 0 | - | 0 | 0 | - |
| 50 | 75 | 80 | - | 5 | 118 | - |
| 100 | 260 | 365 | - | 10 | 235 | - |
| 200 | 375 | 800 | 65,000 | 17 | 400 | 1,130 |
| 300 | 625 | 1,600 | 261,000 | 34 | 800 | 2,260 |
| 400 | 875 | 2,100 | 393,000 | 46 | 1,000 | 3,000 |
| 500 | 1,000 | 2,620 | 490,000 | 57.5 | 1,200 | 3,750 |

Τα αιωρούμενα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο 10μm (PM₁₀) έχουν πολύ μικρή ταχύτητα πτώσης. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι μπορούν να παραμένουν στην ατμόσφαιρα για πολύ μεγάλο χρόνο. Οι συνεπειες στην ανθρώπινη υγεία των αιωρούμενων σωματιδίων είναι αρκετές και επηρεάζονται από το μέγεθος, αλλά και από τη χημική τους σύσταση. Τα αιωρούμενα σωματίδια εισέρχονται στο αναπνευστικό σύστημα με την αναπνοή. Κατά κύριο λόγο, εισέρχονται σωματίδια με διάμετρο μικρότερη των 10μm και αποτελούν το εισπνεύσιμο κλάσμα των σωματιδίων. Η εισπνοή αυτών των σωματιδίων για μεγάλο χρονικό διάστημα προκαλεί διάφορες μορφές προεμφραγματικής στηθάγχης, άσθμα και σε ορισμένες περιπτώσεις καρκίνο, όπως είδαμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο σύμφωνα με τους ερευνητές.

Η Αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος (EPA) λαμβάνοντας υπόψη τις επιπτώσεις που προκαλούνται στην υγεία από τον συγκεκριμένο ρύπο για τη διαμόρφωση των τιμών του δείκτη PSI, δημιούργησε έναν επιμέρους δείκτη, οι τιμές του οποίου διαμορφώνονται από τις τιμές του PM₁₀, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.3.

Υπάρχουν πέντε επιμέρους δείκτες, ένας για κάθε ρύπο. Η ημερήσια τιμή του δείκτη PSI είναι η μέγιστη τιμή αυτών των πέντε δεικτών και δίνονται από την σχέση:

$$PSI = \max(I_1, I_2, I_3, I_4, I_5) \quad (2)$$

Όπου:

I₁: επιμέρους δείκτης που δημιουργείται από τις μέσες 24ωρες τιμές συγκέντρωσης των αιωρούμενων μικροσωματιδίων (PM₁₀),

I₂: επιμέρους δείκτης που δημιουργείται από τις μέσες 24ωρες τιμές συγκέντρωσης του διοξειδίου του θείου,

I₃: επιμέρους δείκτης που δημιουργείται από τις μέσες 8ωρες τιμές συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα,

I₄: επιμέρους δείκτης που δημιουργείται από τις ωριαίες τιμές συγκέντρωσης του όζοντος και

I₅: επιμέρους δείκτης που δημιουργείται από τις τιμές συγκέντρωσης του διοξειδίου του αζώτου.

Οι τιμές των επιμέρους δεικτών και τα αντίστοιχα όρια τιμών συγκέντρωσης των ρύπων που τις διαμορφώνουν, φαίνονται στον Πίνακα 4.3.

Πίνακας 4.3: Τιμές των επιμέρους δεικτών του δείκτη PSI (Boudel et al. 1994).

| PM ₁₀ μg/m ³ (24 hr) | O ₃ μg/m ³ (1 hr) | NO ₂ μg/m ³ (1 hr) | SO ₂ μg/m ³ (24 hr) | CO mg/m ³ (8 hr) | I _i |
|--|---|--|---|-----------------------------------|----------------|
| 0 | 0 | *** | 0 | 0 | 0 |
| 50 | 118 | *** | 80 | 5 | 50 |
| 150 | 235 | *** | 365 | 10 | 100 |
| 380 | 400 | 1,130 | 800 | 17 | 200 |
| 420 | 800 | 2,260 | 1,600 | 34 | 300 |
| 500 | 1,000 | 3,000 | 2,100 | 46 | 400 |
| >500 | >1,000 | >3,000 | >2,100 | >46 | 500 |

Ο υπολογισμός του επιμέρους δείκτη I_i γίνεται από τα επίπεδα συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων (Πίνακας 4.5).

Η εκτίμηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα (Πίνακας 4.4) γίνεται βάσει κλίμακας που είναι άμεσα συνδεδεμένη με άμεσες και έμμεσες συνέπειες στη δημόσια υγεία και βέβαια σε άτομα του γενικού πληθυσμού με ευπάθειες, όπως παιδιά νηπιακής ηλικίας, μεγάλης ηλικίας άνθρωποι με αναπνευστικά και καρδιολογικά προβλήματα κλπ. Στον Πίνακα 4.4 παρουσιάζονται, και οι πιθανές επιπτώσεις στην υγεία του πληθυσμού της υπό εξέταση περιοχής.

Πίνακας 4.4: Κλίμακα συσχέτισης της ποιότητας του αέρα με πιθανές επιπτώσεις στην υγεία του πληθυσμού της υπό μελέτη περιοχής (Boubel et al., 1994).

| Πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία | Κατηγορία ποιότητας ατμοσφαιρικού αέρα | PSI |
|---|---|------------|
| Καμία επίπτωση για τον πληθυσμό | Καλή | 0-50 |
| Ελάχιστες ή μηδενικές επιπτώσεις για τον πληθυσμό | Μέτρια | 51-100 |
| Μικρή επιδείνωση των συμπτωμάτων για τις ευάλωτες κατηγορίες του πληθυσμού | Ανθυγιεινή | 101-200 |
| Ισχυρή επιδείνωση των συμπτωμάτων και ελαττωμένη αντοχή σε άτομα με καρδιακά ή αναπνευστικά προβλήματα υγείας. | Πολύ ανθυγιεινή | 201-300 |
| Πρώιμη εμφάνιση ορισμένων ασθενειών με μεγάλη αύξηση της επιδείνωσης των συμπτωμάτων και μείωση της αντοχής στην υγεία του ανθρώπου. Σε περιπτώσεις όπου $PSI > 400$, μπορεί να προκληθούν πρόωροι θάνατοι | Επικίνδυνη | >300 |

Από τις τιμές του Πίνακα 4.5 φαίνεται ότι ο επιμέρους δείκτης I_i είναι μία συνάρτηση της συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων. Στους Πίνακες 4.5-4.9 δίνονται οι συναρτήσεις υπολογισμού που ισχύουν για τα διαδοχικά ζεύγη του Πίνακα 4.3 για κάθε έναν από τους εξεταζόμενους ατμοσφαιρικούς ρύπους χωριστά.

Πίνακας 4.5: Συναρτήσεις υπολογισμού τιμών επιμέρους δείκτη για τα αιωρούμενα σωματίδια PM_{10} .

| Συναρτήσεις υπολογισμού | PM_{10} (24h) ($\mu g/m^3$) | I_i |
|--------------------------------|--|-------------------------|
| $[PM_{10}]$ | 0-50 | 0-50 |
| $0.495*[PM_{10}]+25.758$ | 51-150 | 51-100 |

| | | |
|--|---------|---------|
| $0.432 \cdot [\text{PM}_{10}] + 35.720$ | 151-380 | 101-200 |
| $2.538 \cdot [\text{PM}_{10}] - 750$ | 381-420 | 201-300 |
| $1.253 \cdot [\text{PM}_{10}] - 226.582$ | 421-500 | 301-400 |
| $[\text{PM}_{10}] - 100$ | 501-625 | 401-500 |

Πίνακας 4.6: Συναρτήσεις υπολογισμού τιμών επιμέρους δείκτη για το διοξείδιο του θείου.

| Συναρτήσεις υπολογισμού | SO ₂ (24h) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | I ₂ |
|---------------------------------------|---|----------------|
| $0.625 \cdot [\text{SO}_2]$ | 0-80 | 0-50 |
| $0.173 \cdot [\text{SO}_2] + 37.025$ | 81-365 | 51-100 |
| $0.228 \cdot [\text{SO}_2] + 17.512$ | 366-800 | 101-200 |
| $0.124 \cdot [\text{SO}_2] + 101.752$ | 801-1,600 | 201-300 |
| $0.198 \cdot [\text{SO}_2] - 16.333$ | 1,601-2,100 | 301-400 |
| $0.191 \cdot [\text{SO}_2] - 16.633$ | 2,101-2,620 | 401-500 |

Πίνακας 4.7: Συναρτήσεις υπολογισμού τιμών επιμέρους δείκτη για το μονοξείδιο του άνθρακα.

| Συναρτήσεις υπολογισμού | CO (8h) (mg/m^3) | I ₃ |
|-------------------------------------|------------------------------------|----------------|
| $10 \cdot [\text{CO}]$ | 0-5 | 0-50 |
| $10 \cdot [\text{CO}]$ | 5.1-10 | 51-100 |
| $14.348 \cdot [\text{CO}] - 43.913$ | 10.1-17 | 101-200 |
| $5.858 \cdot [\text{CO}] + 100.828$ | 17.1-34 | 201-300 |

| | | |
|----------------------------|-----------|---------|
| $8.319*[\text{CO}]+17.311$ | 34.1-46 | 301-400 |
| $8.684*[\text{CO}]+0.658$ | 46.1-57.5 | 401-500 |

Πίνακας 4.8: Συναρτήσεις υπολογισμού τιμών επιμέρους δείκτη για το επιφανειακό όζον.

| Συναρτήσεις υπολογισμού | O ₃ (1h) (μg/m ³) | I ₄ |
|------------------------------|--|----------------|
| $0.424*[\text{O}_3]$ | 0-118 | 0-50 |
| $0.422*[\text{O}_3]+0.733$ | 119-235 | 51-100 |
| $0.604*[\text{O}_3]-41.463$ | 236-400 | 101-200 |
| $0.248*[\text{O}_3]+101.504$ | 401-800 | 201-300 |
| $0.497*[\text{O}_3]-97.487$ | 801-1,000 | 301-400 |
| $0.497*[\text{O}_3]-96.983$ | 1,001-1,200 | 401-500 |

Πίνακας 4.9: Συναρτήσεις υπολογισμού τιμών επιμέρους δείκτη για το διοξείδιο του αζώτου.

| Συναρτήσεις υπολογισμού | NO ₂ (1h) (μg/m ³) | I ₆ |
|-------------------------|---|----------------|
| - | - | 0-50 |
| - | - | 51-100 |
| - | - | 101-200 |

| | | |
|-----------------------------|-------------|---------|
| $0.088*[\text{NO}_2]+101$ | 1,130-2,260 | 201-300 |
| $0.134*[\text{NO}_2]-1,849$ | 2,261-3,000 | 301-400 |
| $0.132*[\text{NO}_2]+4,339$ | 3,001-3,750 | 401-500 |

4.2 Δείκτης Ποιότητας Αέρα

Το 1999 έγινε αναθεώρηση του πρότυπου δείκτη ατμοσφαιρικής ρύπανσης PSI που μετονομάστηκε σε Δείκτη Ποιότητας Αέρα (Air Quality Index-AQI). Ο δείκτης AQI υπολογίζεται για κάθε ρύπο χωριστά, με βάση την παρακάτω εξίσωση (U.S. EPA 1999):

$$I_i = \frac{I_{\text{άνω}} - I_{\text{κάτω}}}{C_{\text{άνω}} - C_{\text{κάτω}}} * (C_{\text{στιγ.}} - C_{\text{κάτω}}) + I_{\text{κάτω}} \quad (3)$$

όπου:

I_{άνω}: τιμή του δείκτη AQI ως προς την συγκέντρωση $C_{\text{άνω}}$ (Πίνακας 4.10),

I_{κάτω}: τιμή του δείκτη AQI ως προς την συγκέντρωση $C_{\text{κάτω}}$ (Πίνακας 4.10),

C_{στιγ.}: τιμή συγκέντρωσης του ρύπου με βάση τα όρια ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Πίνακας 4.10),

C_{άνω}: ανώτερη τιμή συγκέντρωσης εκάστοτε ρύπου (Πίνακας 4.10),

C_{κάτω}: μικρότερη τιμή συγκέντρωσης εκάστοτε ρύπου (Πίνακας 4.10),

Στον Πίνακα 4.10 (Franceschini et al. 2005) καταγράφονται οι τιμές συγκέντρωσης ως προς τα άνω και κάτω όριά τους, για κάθε ρύπο χωριστά. Επίσης σημειώνονται οι αντίστοιχες ανώτερες και κατώτερες τιμές του δείκτη ατμοσφαιρικής ρύπανσης AQI. Μετά τους υπολογισμούς των δεικτών, για κάθε ρύπο χωριστά, η μεγαλύτερη από τις επιμέρους τιμές λαμβάνεται ως η ημερήσια τιμή του δείκτη AQI.

Πίνακας 4.10: Τιμές των επιμέρους δεικτών του δείκτη AQI (Franceschini et al. 2005).

| 301-500 | 201-300 | 151-200 | 101-150 | 51-100 | 0-50 | Τιμή AQI |
|----------------|-----------------|----------------|----------------|---------------|-------------|---|
| 425-604 | 355-424 | 255-354 | 155-254 | 55-154 | 0-54 | PM₁₀ μg/m³ (24 hr) |
| 250.5-500.4 | 150.5- 250.4 | 65.5- 150.4 | 40.5- 65.4 | 15.5- 40.4 | 0- 15.4 | PM_{2.5} μg/m³ |

| | | | | | | |
|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------|---|
| | | | | | | (24 hr) |
| 0.605-1.004 | 0.305- 0.604 | 0.225- 0.304 | 0.145- 0.225 | 0.035- 0.144 | 0- 0.034 | SO₂ ppm (24 hr) |
| 30.5-50.4 | 15.5- 30.4 | 12.5- 15.4 | 9.5-12.4 | 4.5-9.4 | 0-4.4 | CO mg/m³ (8 hr) |
| (*) | 0.125- 0.374 | 0.105- 0.124 | 0.085- 0.104 | 0.065- 0.084 | 0- 0.064 | O₃ ppm (8 hr) |
| 0.405-0.604 | 0.205- 0.404 | 0.165- 0.204 | 0.125- 0.164 | - | - | O₃ ppm (1 hr) |
| 1.25-2.04 | 0.65- 1.24 | - | - | - | - | NO₂ ppm (1 hr) |

(*): όταν οι μέσες 8ωρες τιμές συγκέντρωσης του όζοντος είναι μεγαλύτερες των 0.374 ppm, τότε ο AQI υπολογίζεται από τις ωριαίες τιμές συγκέντρωσης του όζοντος.

Υπάρχουν επτά επιμέρους δείκτες. Η ημερήσια τιμή του δείκτη AQI είναι η μέγιστη τιμή αυτών των πέντε επιμέρους δεικτών, με βάση τη σχέση:

$$AQI = \max(I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6, I_7) \quad (4)$$

Όπου:

I₁: δείκτης που σχετίζεται με τις μέσες 24ωρες τιμές συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀,

I₂: δείκτης που σχετίζεται με τις μέσες 24ωρες τιμές συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{2.5},

I₃: δείκτης που σχετίζεται με τις μέσες 24ωρες τιμές συγκέντρωσης του διοξειδίου του θείου,

I₄: δείκτης που σχετίζεται με τις μέσες 8ωρες τιμές συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα,

I₅: δείκτης που σχετίζεται με τις μέσες 8ωρες τιμές συγκέντρωσης του όζοντος,

I₆: δείκτης που σχετίζεται με τις ωριαίες τιμές συγκέντρωσης του όζοντος και

I₇: δείκτης που σχετίζεται με τις ωριαίες τιμές συγκέντρωσης του διοξειδίου του αζώτου.

Οι τιμές των δεικτών και τα όρια τιμών συγκέντρωσης των ρύπων που τις διαμορφώνουν, δίνονται στον Πίνακα 4.10.

Σκοπός του δείκτη AQI είναι να αντιληφθούμε καλύτερα τις επιδήμιες επιπτώσεις στη δημόσια υγεία λόγω της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, σε τοπικό επίπεδο. Χωρίζεται σε έξι διαφορετικές κατηγορίες ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα που με τη σειρά τους ξεχωρίζονται από έξι διαφορετικά χρώματα, όπως φαίνονται στον Πίνακα 4.11. Σε κάθε περιοχή τιμών του δείκτη AQI αντιστοιχούν και κάποιες πιθανές συνέπειες στην υγεία του πληθυσμού (U.S. EPA 1999).

Πίνακας 4.11: Κατηγορίες τιμών του δείκτη AQI και πιθανές συνέπειες στη δημόσια υγεία (U.S. EPA 1999).

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

| | | |
|---|-----------------------|---------|
| Σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία του συνόλου του πληθυσμού με ανάγκη λήψης άμεσων μέτρων | Επικίνδυνα ανθυγιεινή | 301-500 |
|---|-----------------------|---------|

Από τις τιμές του Πίνακα 4.11 παρατηρείται ότι ο δείκτης I_i εκφράζεται από μια συνεχή και κατά γραμμική συνάρτηση της συγκέντρωσης του κάθε ατμοσφαιρικού ρύπου. Στους Πίνακες 4.12-4.18 παρουσιάζονται οι συναρτήσεις που ισχύουν μεταξύ των ζευγών των σημείων του Πίνακα 4.11 για κάθε έναν από τους εξεταζόμενους ατμοσφαιρικούς ρύπους χωριστά. Ειδικότερα:

Πίνακας 4.12: Συναρτήσεις υπολογισμού των τιμών του επιμέρους δείκτη για τα αιωρούμενα σωματίδια PM_{10} .

| Συναρτήσεις υπολογισμού | PM_{10} (24 hr) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | I_1 |
|---------------------------|---|---------|
| $0.926*[PM_{10}]$ | 0-54 | 0-50 |
| $0.495*[PM_{10}]+23.778$ | 55-154 | 51-100 |
| $0.495*[PM_{10}]+24.283$ | 155-254 | 101-150 |
| $0.495*[PM_{10}]+24.788$ | 255-354 | 151-200 |
| $1.435*[PM_{10}]-308.348$ | 355-424 | 201-300 |
| $1.112*[PM_{10}]-171.486$ | 425-604 | 301-500 |

Πίνακας 4.13: Συναρτήσεις υπολογισμού των τιμών του επιμέρους δείκτη για τα αιωρούμενα σωματίδια $PM_{2.5}$.

| Συναρτήσεις υπολογισμού | $PM_{2.5}$ (24 hr) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | I_2 |
|-------------------------|--|-------|
|-------------------------|--|-------|

| | | |
|----------------------------|-------------|---------|
| $3.247*[PM_{2.5}]$ | 0-15.4 | 0-50 |
| $1.969*[PM_{2.5}]+20.498$ | 15.5-40.4 | 51-100 |
| $1.968*[PM_{2.5}]+21.301$ | 40.5-65.4 | 101-150 |
| $0.577*[PM_{2.5}]+113.197$ | 65.5-150.4 | 151-200 |
| $0.991*[PM_{2.5}]+51.856$ | 150.5-250.4 | 201-300 |
| $0.796*[PM_{2.5}]+101.522$ | 250.5-500.4 | 301-500 |

Πίνακας 4.14: Συναρτήσεις υπολογισμού των τιμών του επιμέρους δείκτη για το διοξείδιο του θείου.

| Συναρτήσεις υπολογισμού | SO ₂ (24 hr) (ppm) | I ₃ |
|--------------------------|-------------------------------|----------------|
| $1470.588*[SO_2]$ | 0-0.034 | 0-50 |
| $449.541*[SO_2]+35.266$ | 0.035-0.144 | 51-100 |
| $620.253*[SO_2]+11.063$ | 0.145-0.224 | 101-150 |
| $620.253*[SO_2]+11.443$ | 0.225-0.304 | 151-200 |
| $331.104*[SO_2]+100.013$ | 0.305-0.604 | 201-300 |
| $498.747*[SO_2]-0.742$ | 0.605-1.004 | 301-500 |

Πίνακας 4.15: Συναρτήσεις υπολογισμού των τιμών του επιμέρους δείκτη για το μονοξείδιο του άνθρακα.

| Συναρτήσεις υπολογισμού | CO (8 hr) (mg/m ³) | I ₄ |
|-------------------------|--------------------------------|----------------|
| $11.346*[CO]$ | 0-4.4 | 0-50 |
| $10*[CO]+6$ | 4.5-9.4 | 51-100 |
| $16.897*[CO]-59.517$ | 9.5-12.4 | 101-150 |
| $16.897*[CO]-60.207$ | 12.5-15.4 | 151-200 |

| | | |
|----------------------------|-----------|---------|
| $6.644*[\text{CO}]+98.013$ | 15.5-30.4 | 201-300 |
| $10*[\text{CO}]-4$ | 30.5-50.4 | 301-500 |

Πίνακας 4.16: Συναρτήσεις υπολογισμού των τιμών του επιμέρους δείκτη για μέσες 8ωρες τιμές συγκέντρωσης του όζοντος.

| Συναρτήσεις υπολογισμού | O ₃ (8 hr) (ppm) | I ₅ |
|---------------------------------|-----------------------------|----------------|
| $781.250*[\text{O}_3]$ | 0-0.064 | 0-50 |
| $2578.947*[\text{O}_3]-116.632$ | 0.065-0.084 | 51-100 |
| $2578.947*[\text{O}_3]-118.211$ | 0.085-0.104 | 101-150 |
| $2578.947*[\text{O}_3]-119.789$ | 0.105-0.124 | 151-200 |
| $397.590*[\text{O}_3]+151.301$ | 0.125-0.374 | 201-300 |
| - | (*) | 301-500 |

Πίνακας 4.17: Συναρτήσεις υπολογισμού των τιμών του επιμέρους δείκτη για ωριαίες τιμές συγκέντρωσης του όζοντος.

| Συναρτήσεις υπολογισμού | O ₃ (1 hr) (ppm) | I ₆ |
|--------------------------------|-----------------------------|----------------|
| - | - | - |
| - | - | - |
| $1256.410*[\text{O}_3]-56.051$ | 0.125-0.164 | 101-150 |
| $1256.410*[\text{O}_3]-56.308$ | 0.165-0.204 | 151-200 |
| $497.487*[\text{O}_3]+99.015$ | 0.205-0.404 | 201-300 |
| $1000*[\text{O}_3]-104$ | 0.405-0.604 | 301-500 |

Πίνακας 4.18: Συναρτήσεις υπολογισμού των τιμών του επιμέρους δείκτη για το διοξείδιο του αζώτου.

| Συναρτήσεις υπολογισμού | NO ₂ (1 hr) (ppm) | I ₇ |
|-------------------------|------------------------------|----------------|
| - | - | - |
| - | - | - |
| - | - | - |
| - | - | - |
| $167.797*[NO_2]+91.932$ | 0.65-1.24 | 201-300 |
| $251.899*[NO_2]-16.456$ | 1.25-2.04 | 301-500 |

4.3 Τοπικός Δείκτης Ρύπανσης

Από τις αρχές του 1960, έχει ξεκινήσει η παρατήρηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα στο Sydney της Αυστραλίας (NSW Environment Protection Authority 1998, NSW Department of Health 2006, NSW Department of Environment and Conservation 2006). Εν συνεχεία, από τις αρχές του 1980, αναρτώνται καθημερινά δελτία ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, που αφορούν κυρίως το όζον και τα στερεά αιωρούμενα σωματίδια. Το 1993, η κυβέρνηση της Νέας Νότιας Ουαλίας θεωρώντας ότι οι ανάγκες παρακολούθησης της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα ήταν αυξημένες, πρόσθεσε στο δίκτυό της τρεις νέες περιοχές (lower Hunter, Illawarra και Western area of Sydney) της πόλης του Sydney. Η επέκταση του δικτύου παρακολούθησης της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα καθώς και η συστηματική παρακολούθηση των καταγεγραμμένων τιμών των συγκεντρώσεων έδωσε τη δυνατότητα για καλύτερη εποπτεία σε μεγαλύτερη περιοχή της πόλης. Έτσι δημιουργήθηκε ο Τοπικός Δείκτης Ρύπανσης (Regional Pollution Index - RPI). Ο δείκτης RPI υπολογίζεται δύο φορές την ημέρα. Ο πρώτος υπολογισμός αφορά την χρονική περίοδο από τις 15:00 το απόγευμα της προηγούμενης ημέρας μέχρι τις 06:00 το πρωί της ημέρας. Η δεύτερος υπολογισμός αφορά την χρονική περίοδο από τις 06:00, μέχρι τις 15:00 της ίδιας ημέρας. Στο Sydney της Αυστραλίας οι ημερήσιοι υπολογισμοί των τιμών του δείκτη RPI έχουν ως βάση μετρήσεων τις συγκεντρώσεις του όζοντος και του διοξειδίου του αζώτου. Ο δείκτης RPI, για κάθε ρύπο ξεχωριστά, υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση:

$$RPI = \frac{\text{ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΡΥΠΟΥ}}{\text{ΟΡΙΑΚΗ ΤΙΜΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΡΥΠΟΥ}} \times 50 \quad (5)$$

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

Ο δείκτης RPI μπορεί να χωριστεί σε κατηγορίες (Πίνακας 4.19) ως προς τις τιμές του και συγκεκριμένα χαμηλός, μέτριος και υψηλός, που σημαίνει αντίστοιχα καλή, μέτρια και κακή ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα.

Πίνακας 4.19: Κλίμακα εκτίμησης της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα με βάση τις τιμές του δείκτη RPI (NSW Department of Environment and Conservation, Sydney 2006).

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

Όταν ο δείκτης έχει τιμές μικρότερες του 25, σημαίνει ότι κανένας από τους ρύπους που μετράμε δεν παίρνει τιμές συγκέντρωσης μεγαλύτερες από το 50% της οριακής του τιμής. Όταν ο δείκτης έχει τιμές μεταξύ του 25 και του 50, σημαίνει ότι ένας τουλάχιστον από τους ρύπους που μετράμε έχει συγκέντρωση μεταξύ του 50% με 100% της οριακής του τιμής. Τέλος, όταν ο δείκτης έχει τιμή μεγαλύτερη ή ίση του 50, αυτό σημαίνει πως ένας τουλάχιστον από τους ατμοσφαιρικούς ρύπους, παίρνει τιμές συγκέντρωσης μεγαλύτερες του 100% της οριακής του τιμής, επομένως θα υπάρχει αυξημένη ατμοσφαιρική ρύπανση.

4.4 Ημερήσιος Δείκτης Ποιότητας Αέρα

Ένας ακόμη δείκτης ατμοσφαιρικής ρύπανσης που δημιουργήθηκε πρόσφατα και δίνει αναφορά σε ημερήσια βάση, αναπτύχθηκε από το Ινστιτούτο Μετεωρολογίας του Πανεπιστημίου του Freiburg Γερμανίας, σε συνεργασία με το Ινστιτούτο Έρευνας και Πληροφόρησης Επικίνδυνων Ουσιών της ίδιας πόλης (Mayer et al. 2002a, 2002b). Ο δείκτης αυτός ονομάζεται DAQx (Daily Air Quality index). Οι τιμές του δείκτη αυτού υπολογίζονται με βάση τους ρύπους NO₂, SO₂, CO, O₃ και PM₁₀. Ο δείκτης DAQx υπολογίζεται με βάση τη σχέση:

$$DAQx = \left[\left(\frac{DAQx_{\text{άνω}} - DAQx_{\text{κάτω}}}{C_{\text{άνω}} - C_{\text{κάτω}}} \right) \times (C_{\text{στιγ.}} - C_{\text{κάτω}}) \right] + DAQx_{\text{κάτω}} \quad (6)$$

όπου :

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

C_{άνω}: άνω όριο συγκέντρωσης κάθε ρύπου (Πίνακας 4.20)

C_{κάτω}: κάτω όριο συγκέντρωσης κάθε ρύπου (Πίνακας 4.20)

DAQx_{άνω}: τιμή του δείκτη σύμφωνα με την τιμή συγκέντρωσης C_{άνω} (Πίνακας 4.20)

DAQx_{κάτω}: τιμή του δείκτη σύμφωνα με την τιμή συγκέντρωσης C_{κάτω} (Πίνακας 4.20)

Πίνακας 4.20: Ταξινόμηση τιμών του δείκτη DAQx και της ποιότητας της ατμόσφαιρας με βάση τις τιμές συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων NO₂, SO₂, CO, O₃ και PM₁₀ (Mayer et al. 2002a, 2002b).

| Κατηγορία ποιότητας αέρα | Τιμή DAQx | Τάξη DAQx | PM ₁₀ (μg/m ³) (24 hr) | O ₃ (μg/m ³) (1 hr) | SO ₂ (μg/m ³) (1 hr) | NO ₂ (μg/m ³) (1 hr) | CO (mg/m ³) (8 hr) |
|--------------------------|-----------|-----------|---|--|---|---|--------------------------------------|
| Πολύ καλή | 0.5-1.4 | 1 | 0.0-9.9 | 0-32 | 0-24 | 0-24 | 0.0-0.9 |
| Καλή | 1.5-2.4 | 2 | 10.0-19.9 | 33-64 | 25-49 | 25-49 | 1.0-1.9 |
| Ικανοποιητική | 2.5-3.4 | 3 | 20.0-34.9 | 65-119 | 50-119 | 50-99 | 2.0-3.9 |

| | | | | | | | |
|-----------|------------|---|------------|------------|--------------|------------|-------------|
| Επαρκής | 3.5-4.4 | 4 | 35.0-49.9 | 120-179 | 120-349 | 100-199 | 4.0-9.9 |
| Κακή | 4.5-5.4 | 5 | 50.0-99.9 | 180-239 | 350-999 | 200-499 | 10.0-29.9 |
| Πολύ κακή | ≥ 5.5 | 6 | ≥ 100 | ≥ 240 | $\geq 1,000$ | ≥ 500 | ≥ 30.0 |

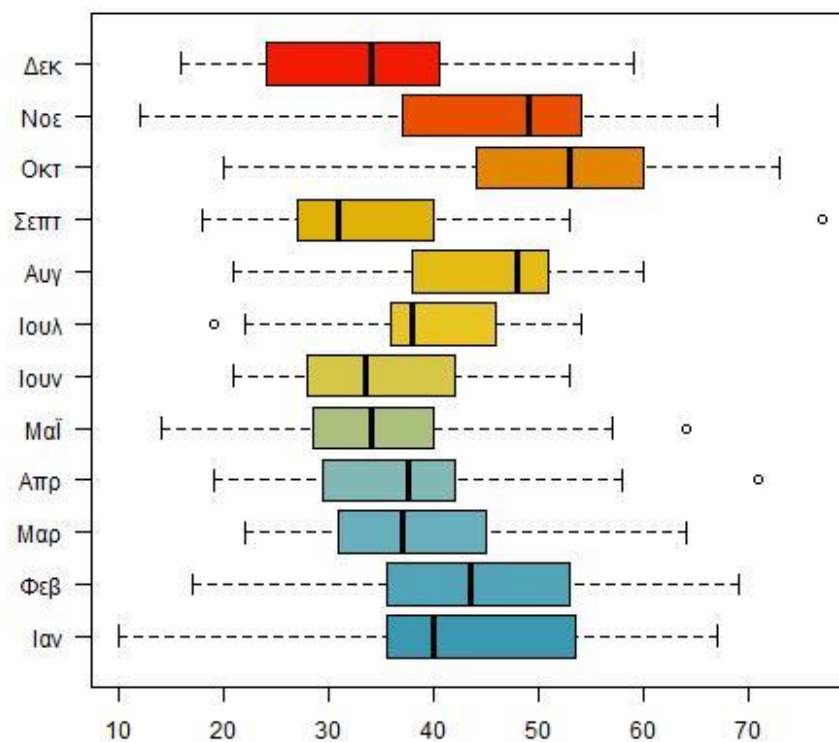
Για κάθε ρύπο, υπολογίζεται η ημερήσια τιμή του δείκτη. Τέλος, ως ημερήσια τιμή του δείκτη DAQx αναφέρεται η μεγαλύτερη από τις επιμέρους τιμές που έχουν προκύψει για κάθε ρύπο χωριστά.

4.5 Πειραματικά αποτελέσματα και γραφική παρουσίαση τους για την πόλη του Βόλου

Στο πλαίσιο της διδακτορικής διατριβής έχει πραγματοποιηθεί έρευνα για το δείκτη ποιότητας αέρα (AQI). Ο δείκτης ποιότητας αέρα υπολογίστηκε για τις ημερήσιες συγκεντρώσεις αιωρούμενων μικροσωματιδίων PM₁₀ με τη γλώσσα προγραμματισμού R και σε περιβάλλον R-Studio. Ειδικότερα, χρησιμοποιήθηκε το πακέτο και η συνάρτηση ‘con2aqi’ (Zhicheng Du et al. 2018) και εφαρμόστηκε η μέθοδος του Environmental Protection Agency (EPA, 2016) των ΗΠΑ. Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα του δείκτη AQI κατά τη διάρκεια των ετών 2001 – 2018 και επίσης και ο πίνακας των μετρήσεων.

Το θηκόγραμμα (boxplot) στην περιγραφική στατιστική είναι ένας τρόπος γραφικής απεικόνισης πέντε αριθμητικών δεδομένων μιας σειράς παρατηρήσεων: της μικρότερης παρατήρησης του πρώτου τεταρτημρίου (Q1), της διαμέσου (δ) του τρίτου τεταρτημρίου (Q3), και της μεγαλύτερης παρατήρησης. Οι αποστάσεις μεταξύ των διαφόρων τμημάτων του θηκογράμματος βοηθούν να φανεί το μέγεθος της διασποράς και η ασυμμετρία των δεδομένων. Για τη κατασκευή του δημιουργείται ένα ορθογώνιο πλαίσιο με βάσεις το πρώτο και το τρίτο τεταρτημόριο. Ενδιάμεσα τοποθετείται η διάμεσος (το 2ο τεταρτημόριο). Από τα μέσα των βάσεων αναπτύσσονται γραμμές οι οποίες συνδέουν τις οριακές τιμές της μεταβλητής. Αν υπάρχουν και άλλες τιμές εκτός των οριακών τιμών, αυτές δηλώνονται επιπλέον, συνήθως με αστερίσκους ή κουκκίδες.

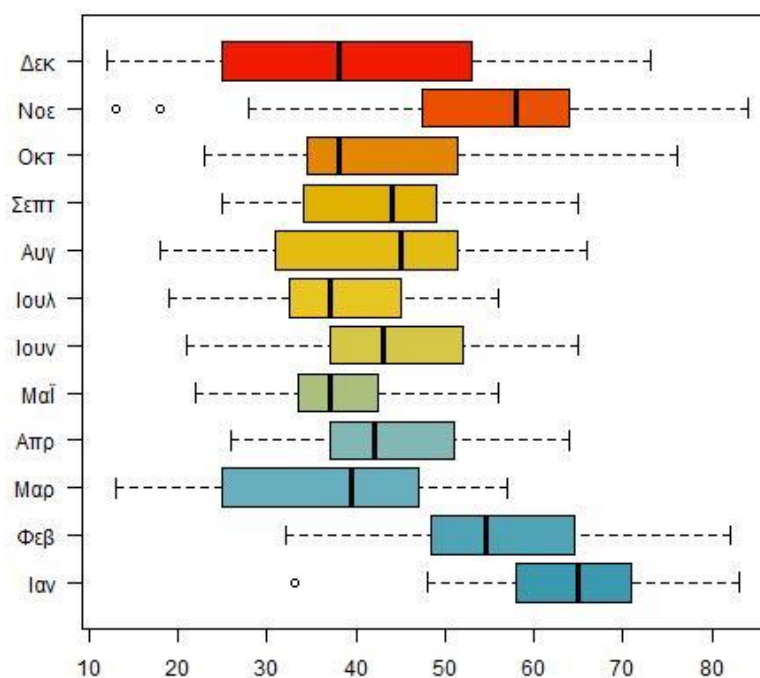
Θηκογράμματα δείκτη AQI ανά Μήνα - Έτος 2001



Σχήμα 4.1: Θηκογράμματα δείκτη AQI ανά μήνα, έτος 2001 (ιδία επεξεργασία).

Από το θηκόγραμμα για κάθε μήνα του έτους 2001 παρατηρούμε ότι κατά τη χειμερινή περίοδο Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου - Μαρτίου ο δείκτης AQI βρίσκεται μεταξύ του 30 και 55, που σημαίνει ότι το πρώτο τρίμηνο του έτους η ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι καλή έως μέτρια. Η διάμεσος βρίσκεται κοντά στο 40 αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 10 έως 70 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή. Κατά το τρίμηνο Οκτωβρίου – Νοεμβρίου - Δεκεμβρίου ο δείκτης AQI βρίσκεται ανάμεσα στο 25 και το 60 που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας τους συγκεκριμένους μήνες είναι καλή έως μέτρια. Η διάμεσος βρίσκεται ανάμεσα στο 35 και στο 55 αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 10 έως 70 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή. Κατά τη θερινή περίοδο Απριλίου – Μαΐου – Ιουνίου – Ιουλίου – Αυγούστου – Σεπτεμβρίου ο δείκτης AQI βρίσκεται μεταξύ του 30 και 45, που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι καλή. Η διάμεσος βρίσκεται ανάμεσα στο 35 και το 45 που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας τους συγκεκριμένους μήνες είναι καλή, αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 15 έως 50 που δείχνει ότι δεν υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή.

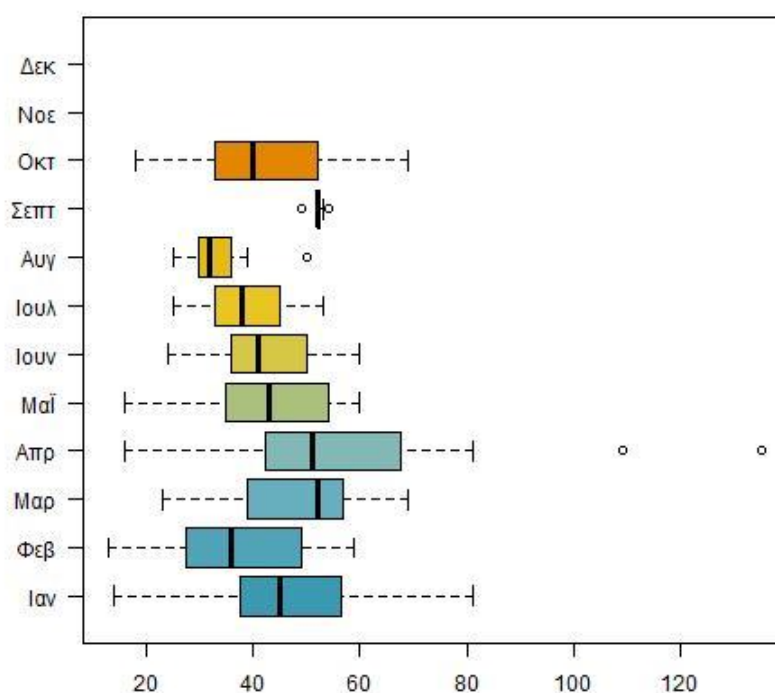
Θηκογράμματα δείκτη AQI ανά Μήνα - Έτος 2002



Σχήμα 4.2: Θηκογράμματα δείκτη AQI ανά μήνα, έτος 2002 (ιδία επεξεργασία).

Από το θηκόγραμμα για κάθε μήνα του έτους 2002 παρατηρούμε ότι κατά τη χειμερινή περίοδο Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου - Μαρτίου ο δείκτης AQI βρίσκεται μεταξύ του 25 και 70, που σημαίνει ότι το πρώτο τρίμηνο του έτους η ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι καλή έως μέτρια. Η διάμεσος βρίσκεται ανάμεσα στο 40 και το 65 αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 15 έως 85 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή. Κατά το τρίμηνο Οκτωβρίου – Νοεμβρίου - Δεκεμβρίου ο δείκτης AQI βρίσκεται ανάμεσα στο 25 και το 65 που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας τους συγκεκριμένους μήνες είναι καλή έως μέτρια. Η διάμεσος βρίσκεται ανάμεσα στο 40 και στο 65 αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 15 έως 85 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή. Κατά τη θερινή περίοδο Απριλίου – Μαΐου – Ιουνίου – Ιουλίου – Αυγούστου – Σεπτεμβρίου ο δείκτης AQI βρίσκεται μεταξύ του 35 και 45, που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι καλή. Η διάμεσος βρίσκεται ανάμεσα στο 35 και το 45 που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας τους συγκεκριμένους μήνες είναι καλή, αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 20 έως 65 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή.

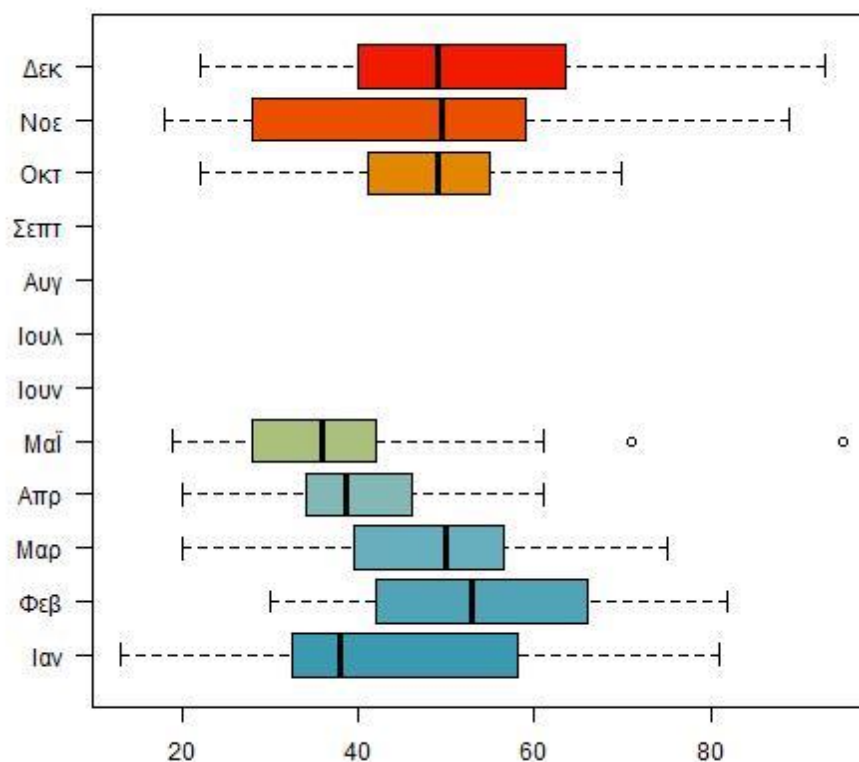
Θηκογράμματα δείκτη AQI ανά Μήνα - Έτος 2003



Σχήμα 4.3: Θηκογράμματα δείκτη AQI ανά μήνα, έτος 2003 (ιδία επεξεργασία).

Από το θηκόγραμμα για κάθε μήνα του έτους 2003 παρατηρούμε ότι κατά τη χειμερινή περίοδο Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου - Μαρτίου ο δείκτης AQI βρίσκεται μεταξύ του 25 και 60, που σημαίνει ότι το πρώτο τρίμηνο του έτους η ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι καλή έως μέτρια. Η διάμεσος βρίσκεται ανάμεσα στο 30 και το 50 αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 10 έως 80 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή. Κατά το τρίμηνο Οκτωβρίου – Νοεμβρίου - Δεκεμβρίου ο δείκτης AQI βρίσκεται ανάμεσα στο 25 και το 60 που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας τους συγκεκριμένους μήνες είναι καλή έως μέτρια. Η διάμεσος βρίσκεται κοντά στο 45 αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 20 έως 70 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή. Κατά τη θερινή περίοδο Απριλίου – Μαΐου – Ιουνίου – Ιουλίου – Αυγούστου – Σεπτεμβρίου ο δείκτης AQI βρίσκεται μεταξύ του 30 και 70, που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι καλή έως μέτρια. Η διάμεσος βρίσκεται ανάμεσα στο 30 και το 50 που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας τους συγκεκριμένους μήνες είναι καλή αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 20 έως 70 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή.

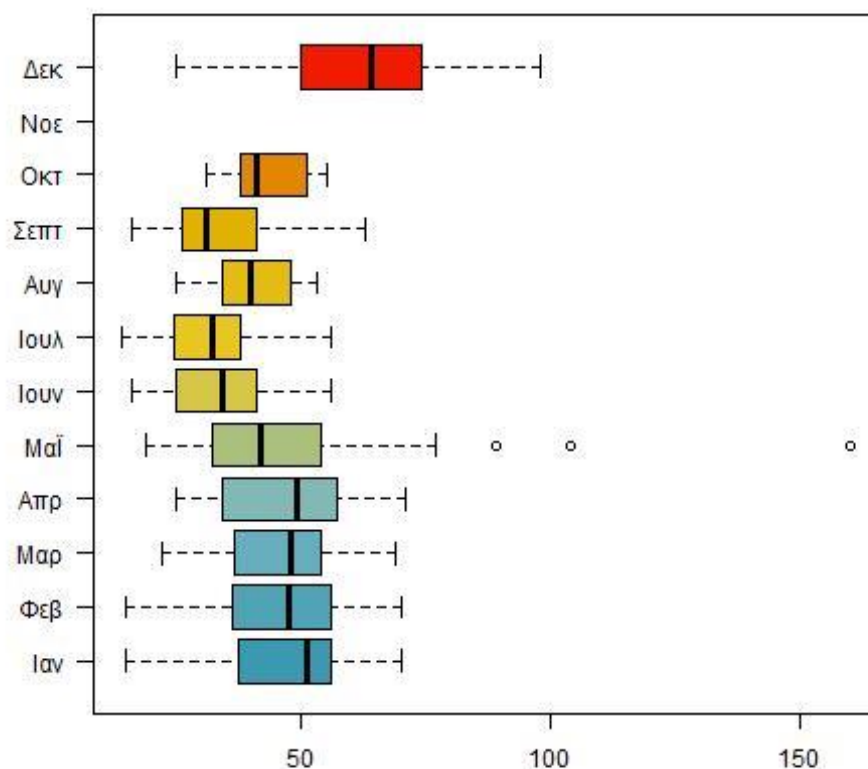
Θηκογράμματα δείκτη AQI ανά Μήνα - Έτος 2004



Σχήμα 4.4: Θηκογράμματα δείκτη AQI ανά μήνα, έτος 2004 (ίδια επεξεργασία).

Από το θηκογράμμα για κάθε μήνα του έτους 2004 παρατηρούμε ότι κατά τη χειμερινή περίοδο Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου - Μαρτίου ο δείκτης AQI βρίσκεται μεταξύ του 30 και 70, που σημαίνει ότι το πρώτο τρίμηνο του έτους η ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι καλή έως μέτρια. Η διάμεσος βρίσκεται ανάμεσα στο 35 και το 50 αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 10 έως 85 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή. Κατά το τρίμηνο Οκτωβρίου – Νοεμβρίου - Δεκεμβρίου ο δείκτης AQI βρίσκεται ανάμεσα στο 30 και το 60 που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας τους συγκεκριμένους μήνες είναι καλή έως μέτρια. Η διάμεσος βρίσκεται κοντά στο 50 αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 20 έως 90 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή. Κατά τη θερινή περίοδο Απριλίου – Μαΐου – Ιουνίου – Ιουλίου – Αυγούστου – Σεπτεμβρίου ο δείκτης AQI βρίσκεται μεταξύ του 30 και 50, που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι καλή. Η διάμεσος βρίσκεται ανάμεσα στο 35 και το 40 που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας τους συγκεκριμένους μήνες είναι καλή αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 20 έως 60 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή.

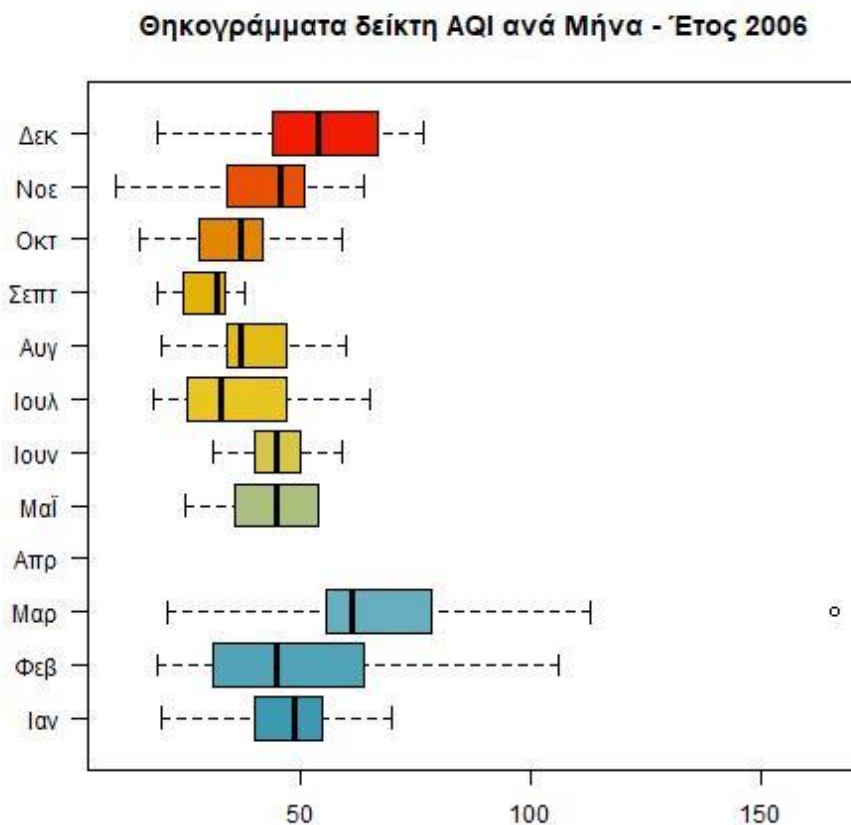
Θηκογράμματα δείκτη AQI ανά Μήνα - Έτος 2005



Σχήμα 4.5: Θηκογράμματα δείκτη AQI ανά μήνα, έτος 2005 (ίδια επεξεργασία).

Από το θηκόγραμμα για κάθε μήνα του έτους 2005 παρατηρούμε ότι κατά τη χειμερινή περίοδο Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου - Μαρτίου ο δείκτης AQI βρίσκεται μεταξύ του 40 και 60, που σημαίνει ότι το πρώτο τρίμηνο του έτους η ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι καλή έως μέτρια. Η διάμεσος βρίσκεται κοντά στο 50 αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 10 έως 80 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή. Κατά το τρίμηνο Οκτωβρίου – Νοεμβρίου - Δεκεμβρίου ο δείκτης AQI βρίσκεται ανάμεσα στο 40 και το 70 που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας τους συγκεκριμένους μήνες είναι καλή έως μέτρια. Η διάμεσος βρίσκεται ανάμεσα στο 45 και το 60 αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 20 έως 100 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή. Κατά τη θερινή περίοδο Απριλίου – Μαΐου – Ιουνίου – Ιουλίου – Αυγούστου – Σεπτεμβρίου ο δείκτης AQI βρίσκεται μεταξύ του 20 και 60, που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι καλή έως μέτρια. Η διάμεσος βρίσκεται ανάμεσα στο 40 και το 50 που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας τους συγκεκριμένους μήνες

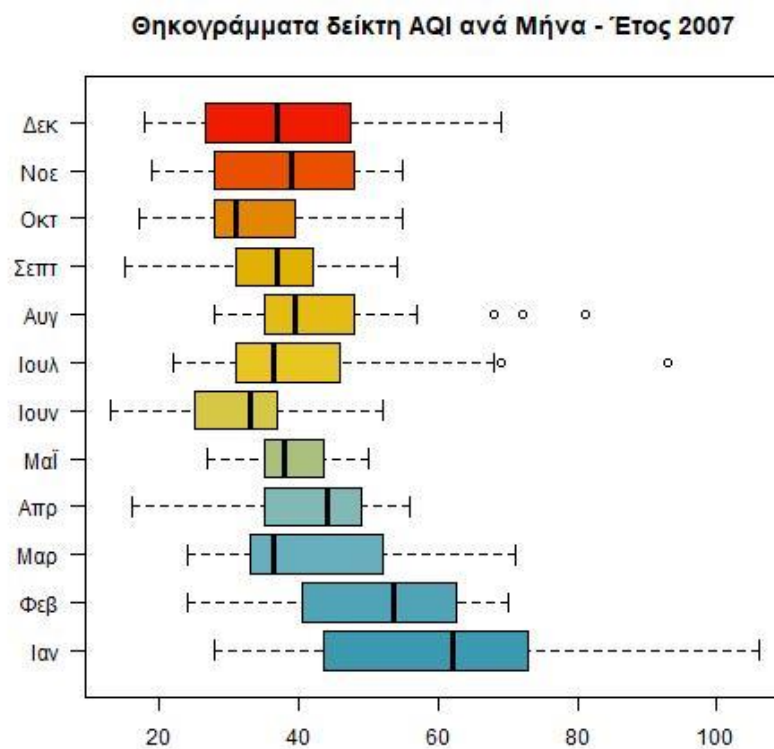
είναι καλή αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 10 έως 70 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή.



Σχήμα 4.6: Θηκογράμματα δείκτη AQI ανά μήνα, έτος 2006 (ιδία επεξεργασία).

Από το θηκόγραμμα για κάθε μήνα του έτους 2006 παρατηρούμε ότι κατά τη χειμερινή περίοδο Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου - Μαρτίου ο δείκτης AQI βρίσκεται μεταξύ του 30 και 80, που σημαίνει ότι το πρώτο τρίμηνο του έτους η ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι καλή έως μέτρια. Η διάμεσος βρίσκεται ανάμεσα στο 40 και το 60 αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 10 έως 120 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή. Κατά το τρίμηνο Οκτωβρίου – Νοεμβρίου - Δεκεμβρίου ο δείκτης AQI βρίσκεται ανάμεσα στο 30 και το 60 που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας τους συγκεκριμένους μήνες είναι καλή έως μέτρια. Η διάμεσος βρίσκεται ανάμεσα στο 40 και το 50 αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 20 έως 80 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή. Κατά τη θερινή περίοδο Απριλίου – Μαΐου – Ιουνίου – Ιουλίου – Αυγούστου – Σεπτεμβρίου ο δείκτης AQI βρίσκεται μεταξύ του 30 και 50, που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι καλή. Η διάμεσος

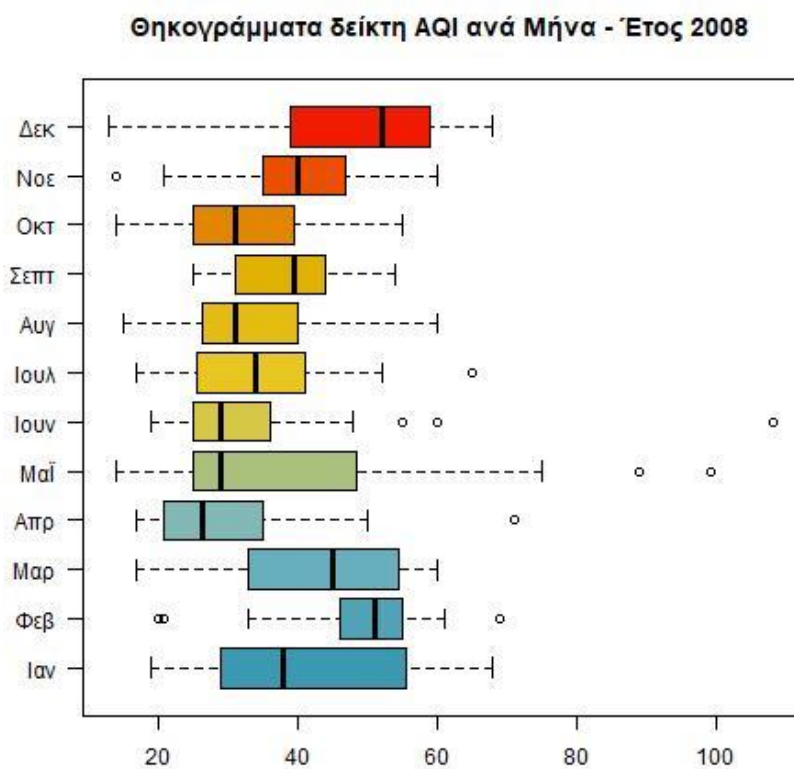
βρίσκεται ανάμεσα στο 30 και το 50 που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας τους συγκεκριμένους μήνες είναι καλή αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 20 έως 60 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή.



Σχήμα 4.7: Θηκογράμματα δείκτη AQI ανά μήνα, έτος 2007 (ιδία επεξεργασία).

Από το θηκόγραμμα για κάθε μήνα του έτους 2007 παρατηρούμε ότι κατά τη χειμερινή περίοδο Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου - Μαρτίου ο δείκτης AQI βρίσκεται μεταξύ του 30 και 70, που σημαίνει ότι το πρώτο τρίμηνο του έτους η ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι καλή έως μέτρια. Η διάμεσος βρίσκεται ανάμεσα στο 35 και το 65 αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 25 έως 120 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή. Κατά το τρίμηνο Οκτωβρίου – Νοεμβρίου - Δεκεμβρίου ο δείκτης AQI βρίσκεται ανάμεσα στο 30 και το 55 που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας τους συγκεκριμένους μήνες είναι καλή έως μέτρια. Η διάμεσος βρίσκεται ανάμεσα στο 35 και το 50 αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 10 έως 80 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή. Κατά τη θερινή περίοδο Απριλίου – Μαΐου – Ιουνίου – Ιουλίου – Αυγούστου – Σεπτεμβρίου ο δείκτης AQI βρίσκεται μεταξύ του 30 και 50, που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι καλή. Η διάμεσος

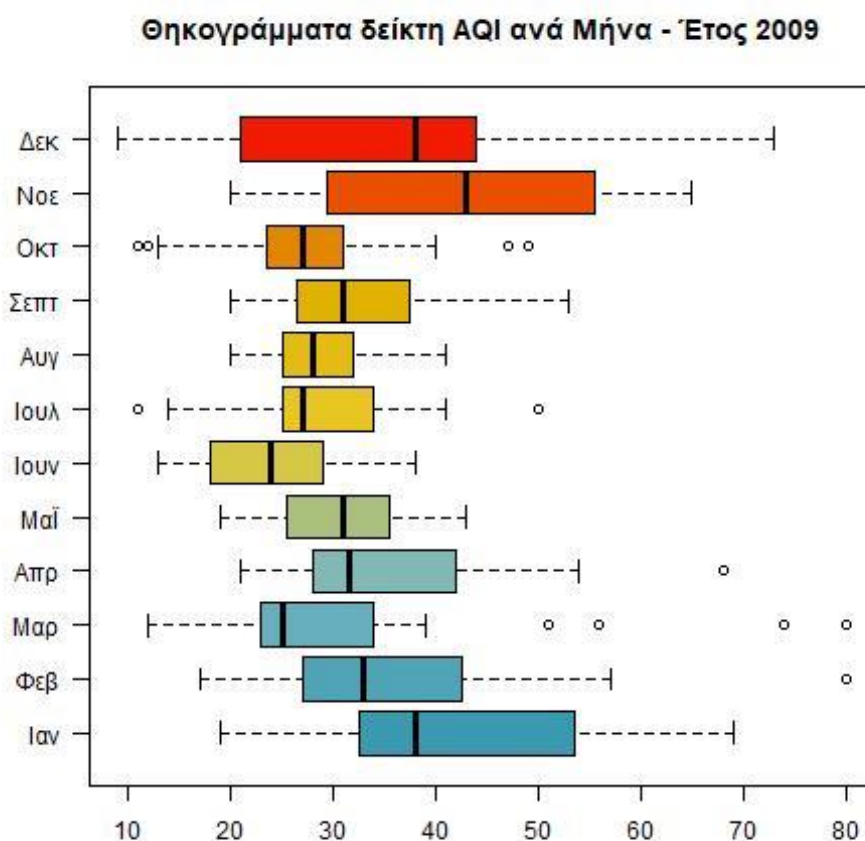
βρίσκεται ανάμεσα στο 35 και το 45 που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας τους συγκεκριμένους μήνες είναι καλή αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 10 έως 70 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή.



Σχήμα 4.8: Θηκογράμματα δείκτη AQI ανά μήνα, έτος 2008 (ιδία επεξεργασία).

Από το θηκόγραμμα για κάθε μήνα του έτους 2008 παρατηρούμε ότι κατά τη χειμερινή περίοδο Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου - Μαρτίου ο δείκτης AQI βρίσκεται μεταξύ του 20 και 55, που σημαίνει ότι το πρώτο τρίμηνο του έτους η ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι καλή έως μέτρια. Η διάμεσος βρίσκεται ανάμεσα στο 40 και το 50 αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 20 έως 70 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή. Κατά το τρίμηνο Οκτωβρίου – Νοεμβρίου - Δεκεμβρίου ο δείκτης AQI βρίσκεται ανάμεσα στο 30 και το 60 που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας τους συγκεκριμένους μήνες είναι καλή έως μέτρια. Η διάμεσος βρίσκεται ανάμεσα στο 30 και το 50 αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 10 έως 70 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή. Κατά τη θερινή περίοδο Απριλίου – Μαΐου – Ιουνίου – Ιουλίου – Αυγούστου – Σεπτεμβρίου ο δείκτης AQI βρίσκεται μεταξύ του 20 και 50, που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι καλή. Η διάμεσος

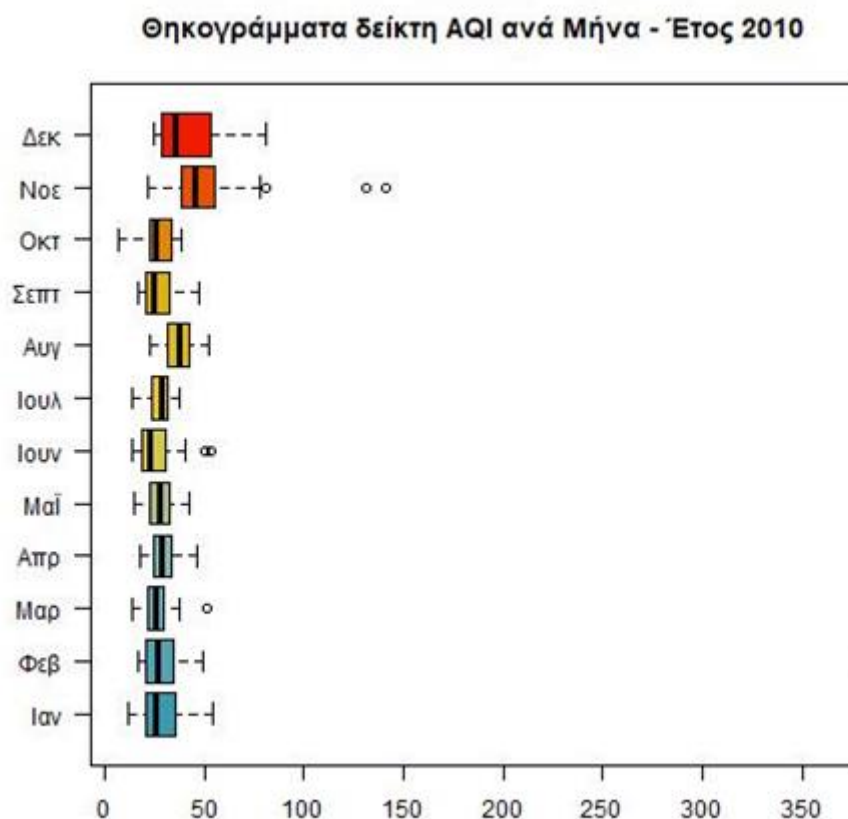
βρίσκεται ανάμεσα στο 30 και το 44 που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας τους συγκεκριμένους μήνες είναι καλή αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 10 έως 70 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή.



Σχήμα 4.9: Θηκογράμματα δείκτη AQI ανά μήνα, έτος 2009 (ιδία επεξεργασία).

Από το θηκόγραμμα για κάθε μήνα του έτους 2009 παρατηρούμε ότι κατά τη χειμερινή περίοδο Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου - Μαρτίου ο δείκτης AQI βρίσκεται μεταξύ του 30 και 55, που σημαίνει ότι το πρώτο τρίμηνο του έτους η ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι καλή έως μέτρια. Η διάμεσος βρίσκεται ανάμεσα στο 25 και το 55 αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 10 έως 70 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή. Κατά το τρίμηνο Οκτωβρίου – Νοεμβρίου - Δεκεμβρίου ο δείκτης AQI βρίσκεται ανάμεσα στο 20 και το 60 που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας τους συγκεκριμένους μήνες είναι καλή έως μέτρια. Η διάμεσος βρίσκεται ανάμεσα στο 25 και το 40 αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 10 έως 70

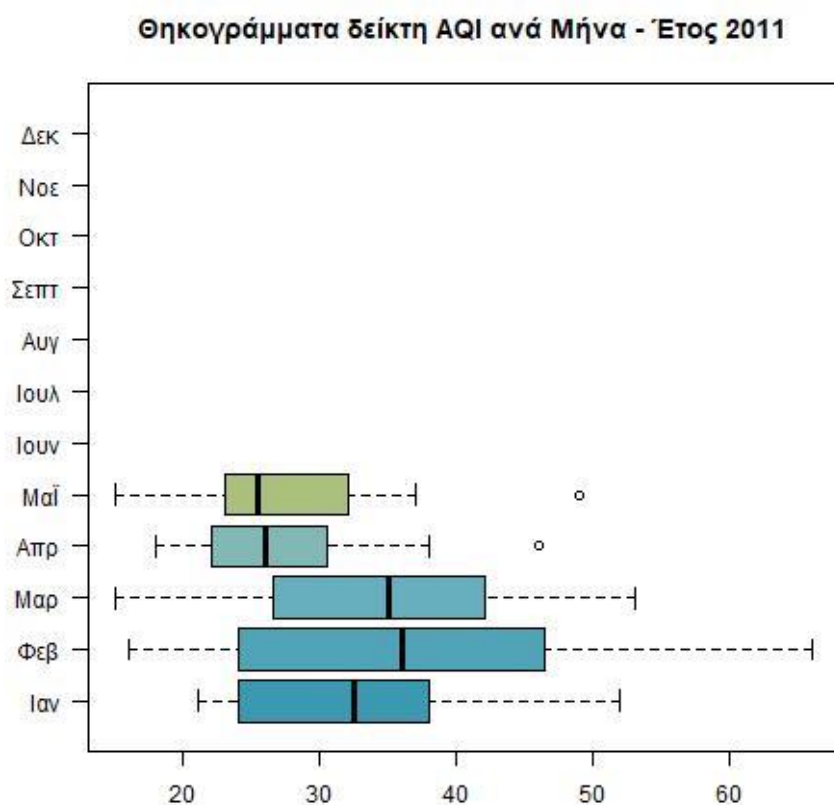
που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή. Κατά τη θερινή περίοδο Απριλίου – Μαΐου – Ιουνίου – Ιουλίου – Αυγούστου – Σεπτεμβρίου ο δείκτης AQI βρίσκεται μεταξύ του 20 και 40, που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι καλή. Η διάμεσος βρίσκεται ανάμεσα στο 25 και το 40 που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας τους συγκεκριμένους μήνες είναι καλή αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 10 έως 60 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή.



Σχήμα 4.10: Θηκογράμματα δείκτη AQI ανά μήνα, έτος 2010 (ιδία επεξεργασία).

Από το θηκόγραμμα για κάθε μήνα του έτους 2010 παρατηρούμε ότι κατά τη χειμερινή περίοδο Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου - Μαρτίου ο δείκτης AQI βρίσκεται μεταξύ του 20 και 40, που σημαίνει ότι το πρώτο τρίμηνο του έτους η ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι καλή έως μέτρια. Η διάμεσος βρίσκεται κοντά στο 30 αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 10 έως 60 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή. Κατά το τρίμηνο Οκτωβρίου – Νοεμβρίου - Δεκεμβρίου ο δείκτης AQI βρίσκεται ανάμεσα στο 20 και το 60 που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας τους συγκεκριμένους μήνες είναι καλή έως μέτρια. Η διάμεσος βρίσκεται

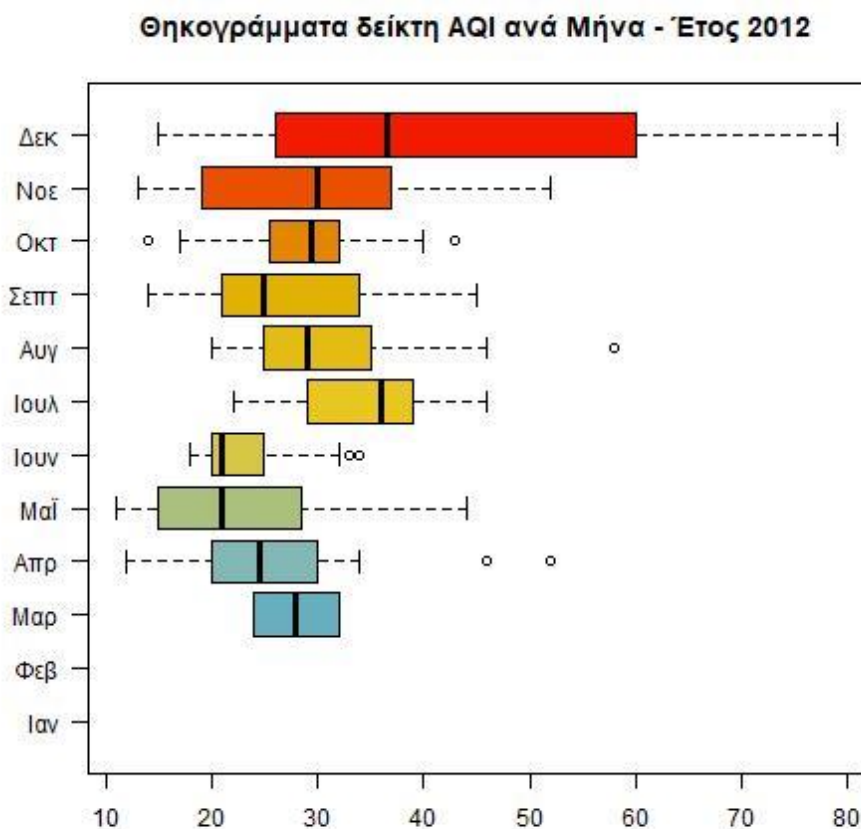
ανάμεσα στο 30 και το 40 αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 10 έως 80 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή. Κατά τη θερινή περίοδο Απριλίου – Μαΐου – Ιουνίου – Ιουλίου – Αυγούστου – Σεπτεμβρίου ο δείκτης AQI βρίσκεται μεταξύ του 20 και 40, που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι καλή. Η διάμεσος βρίσκεται ανάμεσα στο 25 και το 40 που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας τους συγκεκριμένους μήνες είναι καλή αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 10 έως 55 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή.



Σχήμα 4.11: Θηκογράμματα δείκτη AQI ανά μήνα, έτος 2011 (ιδία επεξεργασία).

Από το θηκόγραμμα για κάθε μήνα του έτους 2011 παρατηρούμε ότι κατά τη χειμερινή περίοδο Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου - Μαρτίου ο δείκτης AQI βρίσκεται μεταξύ του 30 και 55, που σημαίνει ότι το πρώτο τρίμηνο του έτους η ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι καλή έως μέτρια. Η διάμεσος βρίσκεται κοντά στο 35 αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 10 έως 80 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή. Κατά το τρίμηνο Οκτωβρίου – Νοεμβρίου - Δεκεμβρίου δεν υπάρχουν δεδομένα αέριας ρύπανσης. Κατά τη θερινή περίοδο Απριλίου

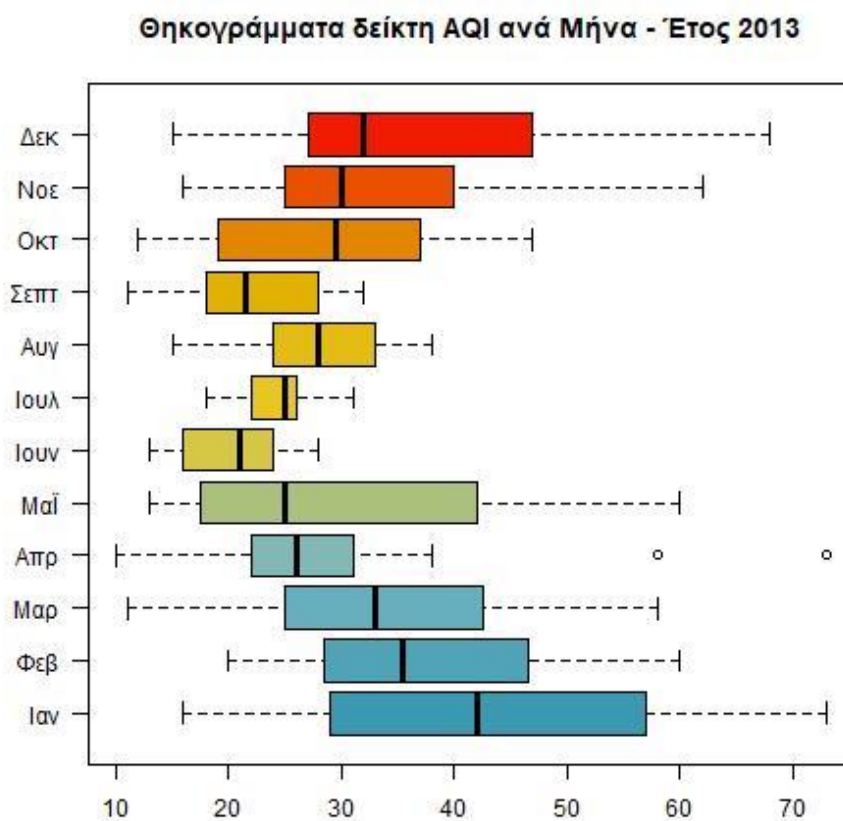
– Μαΐου – Ιουνίου – Ιουλίου – Αυγούστου – Σεπτεμβρίου ο δείκτης AQI βρίσκεται μεταξύ του 20 και 35, που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι καλή. Η διάμεσος βρίσκεται κοντά στο 25 που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας τους συγκεκριμένους μήνες είναι καλή αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 10 έως 40 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή.



Σχήμα 4.12: Θηκογράμματα δείκτη AQI ανά μήνα, έτος 2012 (ιδία επεξεργασία).

Από το θηκόγραμμα για κάθε μήνα του έτους 2012 παρατηρούμε ότι κατά τη χειμερινή περίοδο Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου - Μαρτίου ο δείκτης AQI βρίσκεται κοντά στο 30, που σημαίνει ότι το πρώτο τρίμηνο του έτους η ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι καλή. Η διάμεσος βρίσκεται κοντά στο 25 αλλά το εύρος των τιμών δείχνει ότι δεν υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή. Κατά το τρίμηνο Οκτωβρίου – Νοεμβρίου - Δεκεμβρίου ο δείκτης AQI βρίσκεται ανάμεσα στο 20 και το 60 που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας τους συγκεκριμένους μήνες είναι καλή έως μέτρια. Η διάμεσος βρίσκεται ανάμεσα στο 30 και το 40 αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 10 έως 80 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή. Κατά τη θερινή περίοδο Απριλίου – Μαΐου – Ιουνίου – Ιουλίου – Αυγούστου – Σεπτεμβρίου ο

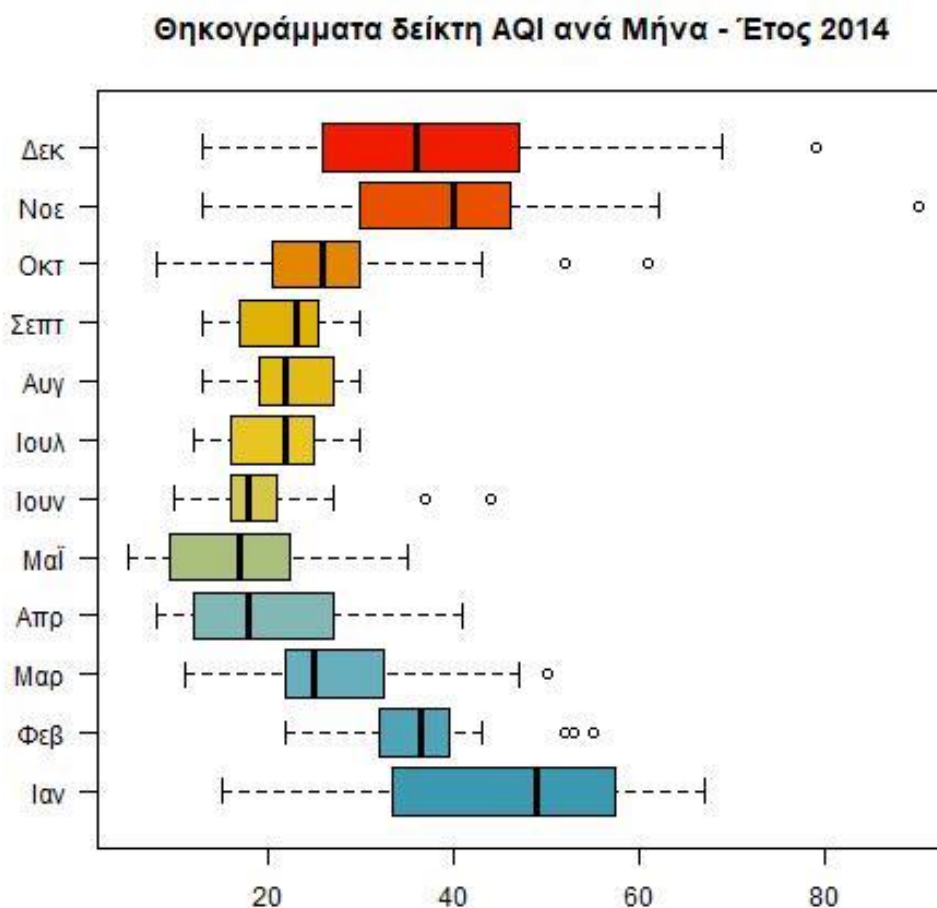
δείκτης AQI βρίσκεται μεταξύ του 20 και 40, που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι καλή. Η διάμεσος βρίσκεται ανάμεσα στο 25 και το 35 που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας τους συγκεκριμένους μήνες είναι καλή αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 10 έως 55 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή.



Σχήμα 4.13: Θηκογράμματα δείκτη AQI ανά μήνα, έτος 2013 (ιδία επεξεργασία).

Από το θηκόγραμμα για κάθε μήνα του έτους 2013 παρατηρούμε ότι κατά τη χειμερινή περίοδο Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου - Μαρτίου ο δείκτης AQI βρίσκεται μεταξύ του 30 και 55, που σημαίνει ότι το πρώτο τρίμηνο του έτους η ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι καλή έως μέτρια. Η διάμεσος βρίσκεται κοντά στο 30 αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 10 έως 80 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή. Κατά το τρίμηνο Οκτωβρίου – Νοεμβρίου - Δεκεμβρίου ο δείκτης AQI βρίσκεται ανάμεσα στο 20 και το 50 που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας τους συγκεκριμένους μήνες είναι καλή έως μέτρια. Η διάμεσος βρίσκεται ανάμεσα στο 25 και το 35 αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 10 έως 70 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή. Κατά τη θερινή περίοδο Απριλίου –

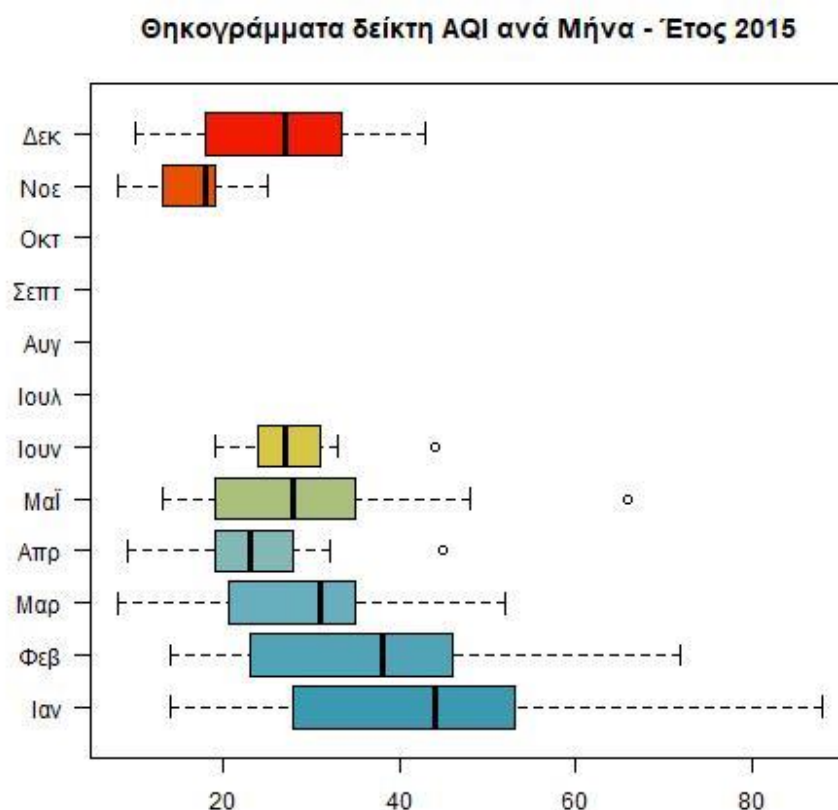
Μαΐου – Ιουνίου – Ιουλίου – Αυγούστου – Σεπτεμβρίου ο δείκτης AQI βρίσκεται μεταξύ του 15 και 45, που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι καλή. Η διάμεσος βρίσκεται ανάμεσα στο 25 και το 30 που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας τους συγκεκριμένους μήνες είναι καλή αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 10 έως 60 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή.



Σχήμα 4.14: Θηκογράμματα δείκτη AQI ανά μήνα, έτος 2014 (ιδία επεξεργασία).

Από το θηκόγραμμα για κάθε μήνα του έτους 2014 παρατηρούμε ότι κατά τη χειμερινή περίοδο Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου - Μαρτίου ο δείκτης AQI βρίσκεται μεταξύ του 20 και 60, που σημαίνει ότι το πρώτο τρίμηνο του έτους η ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι καλή έως μέτρια. Η διάμεσος βρίσκεται ανάμεσα στο 25 και το 50, αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 10 έως 70 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή. Κατά το τρίμηνο Οκτωβρίου – Νοεμβρίου - Δεκεμβρίου ο δείκτης AQI βρίσκεται ανάμεσα στο 20 και το 55 που

σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας τους συγκεκριμένους μήνες είναι καλή έως μέτρια. Η διάμεσος βρίσκεται ανάμεσα στο 30 και το 40 αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 10 έως 70 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή. Κατά τη θερινή περίοδο Απριλίου – Μαΐου – Ιουνίου – Ιουλίου – Αυγούστου – Σεπτεμβρίου ο δείκτης AQI βρίσκεται μεταξύ του 10 και 40, που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι καλή. Η διάμεσος βρίσκεται ανάμεσα στο 20 και το 30 που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας τους συγκεκριμένους μήνες είναι καλή αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 10 έως 55 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή.

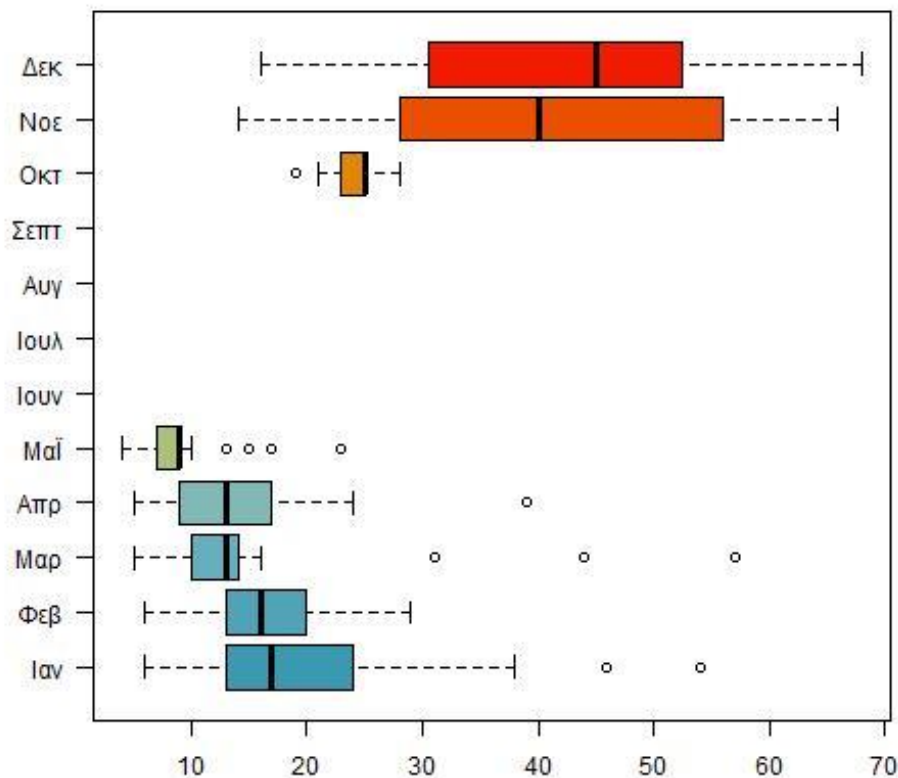


Σχήμα 4.15: Θηκογράμματα δείκτη AQI ανά μήνα, έτος 2015 (ιδία επεξεργασία).

Από το θηκόγραμμα για κάθε μήνα του έτους 2015 παρατηρούμε ότι κατά τη χειμερινή περίοδο Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου - Μαρτίου ο δείκτης AQI βρίσκεται μεταξύ του 20 και 50, που σημαίνει ότι το πρώτο τρίμηνο του έτους η ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι καλή έως μέτρια. Η διάμεσος βρίσκεται ανάμεσα στο 30 και στο 45 αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 10 έως 90 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή. Κατά το τρίμηνο

Οκτωβρίου – Νοεμβρίου - Δεκεμβρίου ο δείκτης AQI βρίσκεται ανάμεσα στο 10 και το 40 που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας τους συγκεκριμένους μήνες είναι καλή. Η διάμεσος βρίσκεται ανάμεσα στο 30 και το 40 αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 10 έως 90 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή. Κατά τη θερινή περίοδο Απριλίου – Μαΐου – Ιουνίου – Ιουλίου – Αυγούστου – Σεπτεμβρίου ο δείκτης AQI βρίσκεται μεταξύ του 20 και 40, που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι καλή. Η διάμεσος βρίσκεται ανάμεσα στο 25 και το 30 που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας τους συγκεκριμένους μήνες είναι καλή αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 10 έως 55 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή.

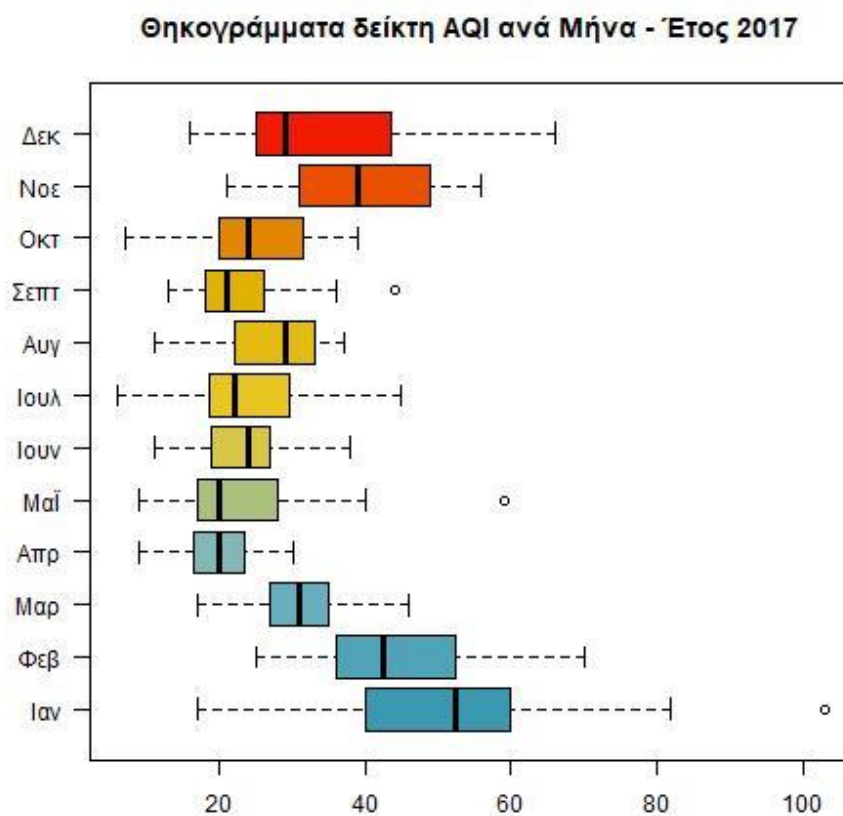
Θηκογράμματα δείκτη AQI ανά Μήνα - Έτος 2016



Σχήμα 4.16: Θηκογράμματα δείκτη AQI ανά μήνα, έτος 2016 (ιδία επεξεργασία).

Από το θηκόγραμμα για κάθε μήνα του έτους 2016 παρατηρούμε ότι κατά τη χειμερινή περίοδο Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου - Μαρτίου ο δείκτης AQI βρίσκεται μεταξύ του 10 και 25, που σημαίνει ότι το πρώτο τρίμηνο του έτους η ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι καλή. Η διάμεσος

βρίσκεται κοντά στο 15 αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 5 έως 55 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή. Κατά το τρίμηνο Οκτωβρίου – Νοεμβρίου - Δεκεμβρίου ο δείκτης AQI βρίσκεται ανάμεσα στο 20 και το 60 που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας τους συγκεκριμένους μήνες είναι καλή έως μέτρια. Η διάμεσος βρίσκεται ανάμεσα στο 25 και το 45 αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 10 έως 70 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή. Κατά τη θερινή περίοδο Απριλίου – Μαΐου – Ιουνίου – Ιουλίου – Αυγούστου – Σεπτεμβρίου ο δείκτης AQI βρίσκεται μεταξύ του 5 και 20, που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι καλή. Η διάμεσος βρίσκεται ανάμεσα στο 10 και το 15 που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας τους συγκεκριμένους μήνες είναι καλή αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 5 έως 40 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή.

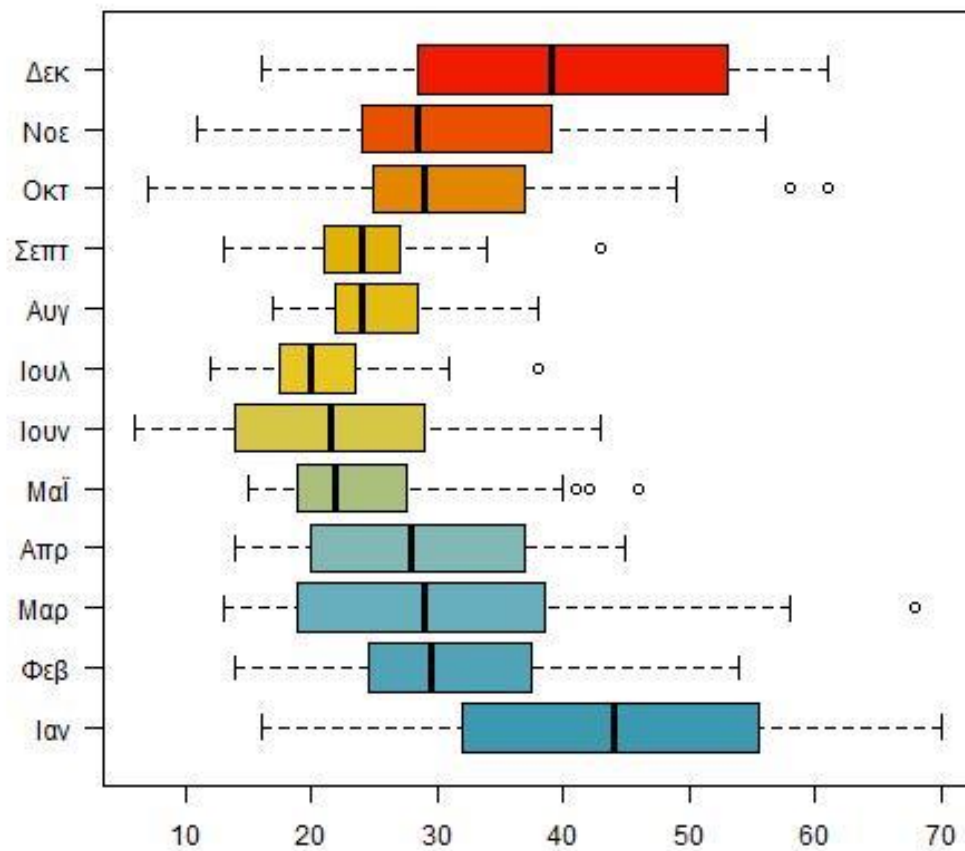


Σχήμα 4.17: Θηκογράμματα δείκτη AQI ανά μήνα, έτος 2017 (ιδία επεξεργασία).

Από το θηκόγραμμα για κάθε μήνα του έτους 2017 παρατηρούμε ότι κατά τη χειμερινή περίοδο Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου - Μαρτίου ο δείκτης AQI βρίσκεται μεταξύ του 25 και 60, που

σημαίνει ότι το πρώτο τρίμηνο του έτους η ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι καλή έως μέτρια. Η διάμεσος βρίσκεται ανάμεσα στο 30 και το 45, αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 10 έως 90 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή. Κατά το τρίμηνο Οκτωβρίου – Νοεμβρίου - Δεκεμβρίου ο δείκτης AQI βρίσκεται ανάμεσα στο 20 και το 50 που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας τους συγκεκριμένους μήνες είναι καλή έως μέτρια. Η διάμεσος βρίσκεται ανάμεσα στο 30 και το 40 αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 10 έως 70 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή. Κατά τη θερινή περίοδο Απριλίου – Μαΐου – Ιουνίου – Ιουλίου – Αυγούστου – Σεπτεμβρίου ο δείκτης AQI βρίσκεται μεταξύ του 15 και 35, που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι καλή. Η διάμεσος βρίσκεται ανάμεσα στο 20 και το 25 που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας τους συγκεκριμένους μήνες είναι καλή αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 10 έως 55 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή.

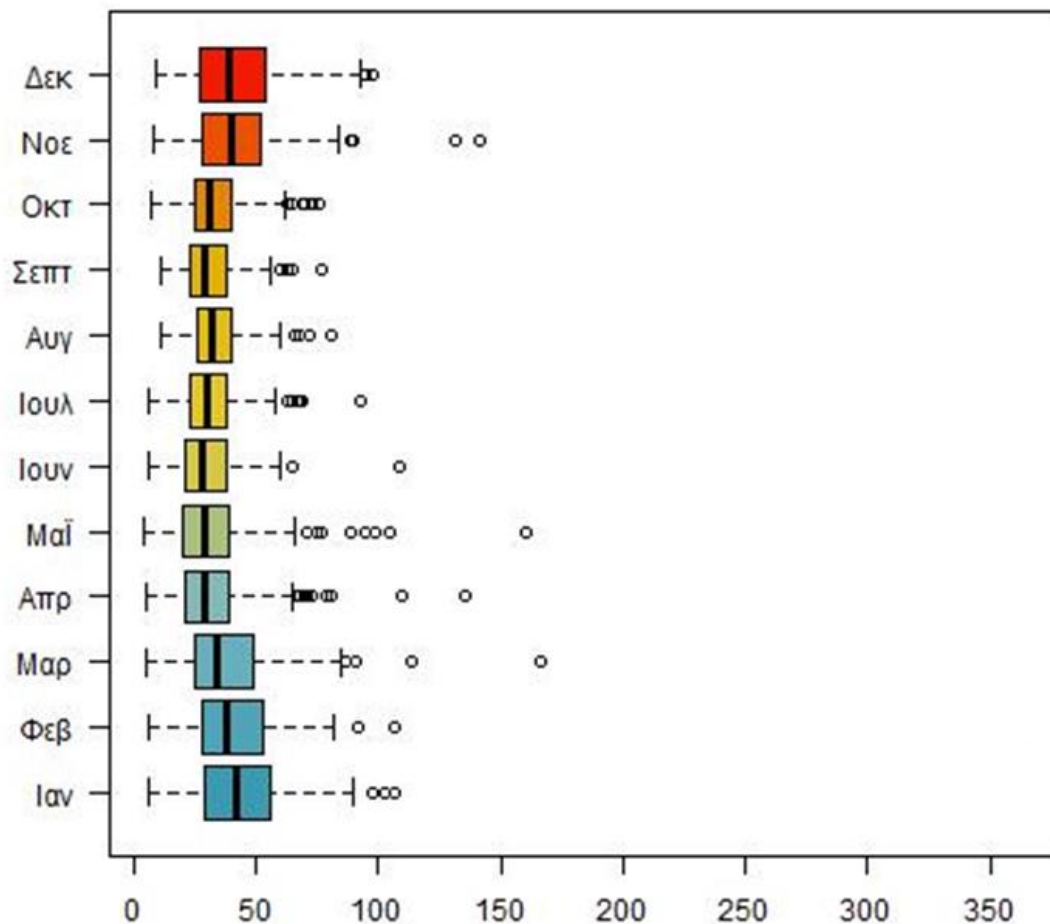
Θηκογράμματα δείκτη AQI ανά Μήνα - Έτος 2018



Σχήμα 4.18: Θηκογράμματα δείκτη AQI ανά μήνα, έτος 2018 (ιδία επεξεργασία).

Από το θηκόγραμμα για κάθε μήνα του έτους 2018 παρατηρούμε ότι κατά τη χειμερινή περίοδο Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου - Μαρτίου ο δείκτης AQI βρίσκεται μεταξύ του 20 και 55, που σημαίνει ότι το πρώτο τρίμηνο του έτους η ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι καλή έως μέτρια. Η διάμεσος βρίσκεται ανάμεσα στο 30 και στο 45, αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 10 έως 70 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή. Κατά το τρίμηνο Οκτωβρίου – Νοεμβρίου - Δεκεμβρίου ο δείκτης AQI βρίσκεται ανάμεσα στο 25 και το 55 που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας τους συγκεκριμένους μήνες είναι καλή έως μέτρια. Η διάμεσος βρίσκεται ανάμεσα στο 30 και το 40 αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 10 έως 70 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή. Κατά τη θερινή περίοδο Απριλίου – Μαΐου – Ιουνίου – Ιουλίου – Αυγούστου – Σεπτεμβρίου ο δείκτης AQI βρίσκεται μεταξύ του 15 και 40, που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι καλή. Η διάμεσος βρίσκεται ανάμεσα στο 20 και το 30 που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας τους συγκεκριμένους μήνες είναι καλή αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 10 έως 55 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή.

Θηκογράμματα δείκτη AQI ανά Μήνα - ΕΤΗ: 2001 έως 2018



Σχήμα 4.19: Θηκογράμματα δείκτη AQI ανά μήνα, ανά έτος (2001-2018) (ιδία επεξεργασία).

Από το θηκόγραμμα για κάθε μήνα για τα έτη από το 2001 έως το 2018 παρατηρούμε ότι κατά τη χειμερινή περίοδο Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου - Μαρτίου ο δείκτης AQI βρίσκεται μεταξύ του 30 και 60, που σημαίνει ότι το πρώτο τρίμηνο του έτους η ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι καλή έως μέτρια. Η διάμεσος βρίσκεται κοντά στο 40 αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 10 έως 120 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή. Κατά το τρίμηνο Οκτωβρίου – Νοεμβρίου - Δεκεμβρίου ο δείκτης AQI βρίσκεται ανάμεσα στο 20 και το 60 που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας τους συγκεκριμένους μήνες είναι καλή έως μέτρια. Η διάμεσος βρίσκεται ανάμεσα στο 30 και το 40 αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 10 έως 120 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή. Κατά τη θερινή περίοδο Απριλίου – Μαΐου – Ιουνίου – Ιουλίου – Αυγούστου – Σεπτεμβρίου ο δείκτης AQI βρίσκεται μεταξύ του 20 και 40, που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι καλή. Η διάμεσος βρίσκεται ανάμεσα στο 25 και το 40 που σημαίνει ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας τους

συγκεκριμένους μήνες είναι καλή αλλά το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 10 έως 55 που δείχνει ότι υπάρχουν μέρες με χειρότερη ποιότητα αέρα από τη μέση τιμή.

Στον παρακάτω πίνακα 4.21, παρουσιάζεται η ταξινόμηση τιμών του δείκτη AQI και της ποιότητας της ατμόσφαιρας ανά έτος, με βάση τις τιμές των δεικτών AQI σε σύνολο ημερών. Στο παράρτημα Α φαίνεται αναλυτικά ανά ημέρα η ποιότητα της ατμόσφαιρας για τα έτη 2001 – 2018.

Πίνακας 4.21: Ταξινόμηση τιμών του δείκτη AQI και της ποιότητας της ατμόσφαιρας ανά έτος, με βάση τις τιμές του δείκτη AQI σε σύνολο διαθέσιμων ημερών του έτους.

| ΕΤΟΣ | ΗΜΕΡΕΣ | AQI | | | | |
|------|--------|------|--------|---|---|-------------------------|
| | | ΚΑΛΗ | ΜΕΤΡΙΑ | ΑΝΘΥΓΕΙΝΗ ΓΙΑ ΕΥΑΙΣΘΗΤΕΣ ΟΜΑΔΕΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ | ΑΝΘΥΓΕΙΝΗ ΓΙΑ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΕΣ ΟΜΑΔΕΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ | ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΑ ΑΝΘΥΓΕΙΝΗ |
| 2001 | 309 | 230 | 79 | | | |
| 2002 | 322 | 223 | 99 | | | |
| 2003 | 231 | 155 | 74 | 2 | | |
| 2004 | 217 | 139 | 78 | | | |
| 2005 | 279 | 188 | 89 | 1 | 1 | |
| 2006 | 273 | 175 | 95 | 1 | 2 | |
| 2007 | 348 | 270 | 77 | | 1 | |
| 2008 | 355 | 275 | 79 | | 1 | |
| 2009 | 345 | 308 | 37 | | | |
| 2010 | 339 | 310 | 26 | | 2 | 1 |
| 2011 | 132 | 123 | 9 | | | |
| 2012 | 241 | 233 | 8 | | | |
| 2013 | 340 | 307 | 33 | | | |
| 2014 | 350 | 319 | 31 | | | |
| 2015 | 217 | 201 | 16 | | | |
| 2016 | 225 | 202 | 23 | | | |
| 2017 | 358 | 321 | 36 | 1 | | |
| 2018 | 363 | 332 | 31 | | | |

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι ο δείκτης AQI παρουσιάζει μεταβλητότητα κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου και της θερμής περιόδου, όπως αναφέρεται και στη βιβλιογραφία. Κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου σημειώνεται αύξηση του δείκτη AQI ενώ

μείωση παρατηρείται κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου του έτους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της ποιότητας του αέρα στην πόλη του Βόλου. Κατά τη διάρκεια των ετών παρατηρούμε ότι κατά τα 2/3 των ημερών ανά έτος που γίνονται μετρήσεις η ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι καλή ενώ στο υπόλοιπο 1/3 η ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι μέτρια και σε κάποιες περιπτώσεις ανθυγιεινή για ευαίσθητες ομάδες πληθυσμού ως και για συγκεκριμένες ομάδες πληθυσμού. Κατά έτη 2012 και μετά παρατηρήθηκε μία μείωση των ημερών που η ποιότητα της ατμόσφαιρας ήταν μέτρια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5. Πρόγνωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας στην ευρύτερη περιοχή του Βόλου με εφαρμογή τεχνητών νευρωνικών δικτύων

5.1 Πρόγνωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας με χρήση ΤΝΔ

Στο πλαίσιο της έρευνας μου για τη διδακτορική διατριβή πραγματοποιήθηκε έρευνα για την 24ωρη πρόγνωση της μέσης ημερήσιας συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ στην περιοχή του Βόλου, με τη χρήση Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων.

Η πρόγνωση αφορά τη μέση ημερήσια συγκέντρωση ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ για το επόμενο 24ωρο. Για το σκοπό αυτό, δημιουργήθηκε κατάλληλο προγνωστικό μοντέλο με τη χρήση της τεχνολογίας των τεχνητών νευρωνικών δικτύων (ΤΝΔ). Τα διαθέσιμα δεδομένα αφορούν μέσες ημερήσιες τιμές συγκέντρωσης ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀, και μέσες ημερήσιες τιμές θερμοκρασίας του αέρα, σχετικής υγρασίας και ταχύτητας ανέμου, καθώς επίσης και η επικρατούσα ημερήσια διεύθυνση του ανέμου. Τα δεδομένα αυτά καλύπτουν τη χρονική περίοδο 2001-2010. Για τη δημιουργία του προγνωστικού μοντέλου ακολουθήθηκαν τα παρακάτω βήματα.

ΒΗΜΑ 1^ο

Αρχικά, πρέπει να επιλέξουμε από τα διαθέσιμα δεδομένα ποια από αυτά είναι σημαντικά και ποια όχι για την εκπαίδευση του ΤΝΔ. Για το σκοπό αυτό εφαρμόζουμε την Σταδιακή Ανάλυση Πολλαπλής Γραμμικής Συσχέτισης (Stepwise Multi-linear Regression Analysis-SMLRA). Στους Πίνακες 5.1, 5.2 και 5.3, φαίνονται τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης, όπου MEANPM10 είναι η μέση ημερήσια τιμή συγκέντρωσης ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀, MEANRH η μέση ημερήσια σχετική υγρασία (%), MEANT η μέση ημερήσια θερμοκρασία του αέρα (°C), MEANWS η μέση ημερήσια ταχύτητα αέρα και MODEWD η επικρατούσα ημερήσια διεύθυνση του ανέμου.

Πίνακας 5.1: Έλεγχος μονοπαραγοντικής σημαντικότητας. Βόλος, 2001-2009.

| Univariate Tests of Significance for MEAN PM10 | | | | | |
|---|-----------|---------------------------|-----------|----------|----------|
| Forward stepwise solution Effective hypothesis decomposition | | | | | |
| | SS | Degr. of - Freedom | MS | F | p |
| Intercept | 717225 | 1 | 717225.3 | 1752.744 | 0.000000 |
| MEANRH | | 0 | | | |
| MEANT | 46137 | 1 | 46136.7 | 112.748 | 0.000000 |
| MEANWS | 144246 | 1 | 144245.9 | 352.506 | 0.000000 |

| | | | | | |
|---------------|---------|------|--------|--------|----------|
| MODEWD | 7327 | 1 | 7326.9 | 17.905 | 0.000024 |
| Error | 1025459 | 2506 | 409.2 | | |

Πίνακας 5.2 Εκτίμηση παραμέτρων. Βόλος, 2001-2009.

| Parameter Estimates | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|
| Sigma-restricted parameterization | | | | | | | | | | | |
| | Comment - (B/Z/P) | MEAN PM10 Param. | MEAN PM10 Std.Err | MEAN PM10 t | MEAN PM10 P | -95.00% Cnf.Lmt | +95.00% Cnf.Lmt | MEAN PM10 Beta | MEAN PM10 St.Err. | -95.00% Cnf.Lmt | +95.00% Cnf.Lmt |
| Intercept | | 77.3516 | 1.847608 | 41.8658 | 0.000000 | 73.7286 | 80.9745 | | | | |
| MEANRH | Pooled | | | | | | | | | | |
| MEANT | | -0.5911 | 0.055667 | -10.6183 | 0.000000 | -0.7002 | -0.4819 | -0.204633 | 0.019272 | -0.242423 | -0.166843 |
| MEANWS | | -12.6182 | 0.672068 | -18.7751 | 0.000000 | -13.9360 | -11.3003 | -0.354117 | 0.018861 | -0.391102 | -0.317133 |
| MODEWD | | -0.0153 | 0.003626 | -4.2315 | 0.000024 | -0.0225 | -0.0082 | -0.080859 | 0.019109 | -0.118329 | -0.043388 |

Πίνακας 5.3: Έλεγχος αξιοπιστίας μοντέλου-SMLRA. Βόλος, 2001-2009.

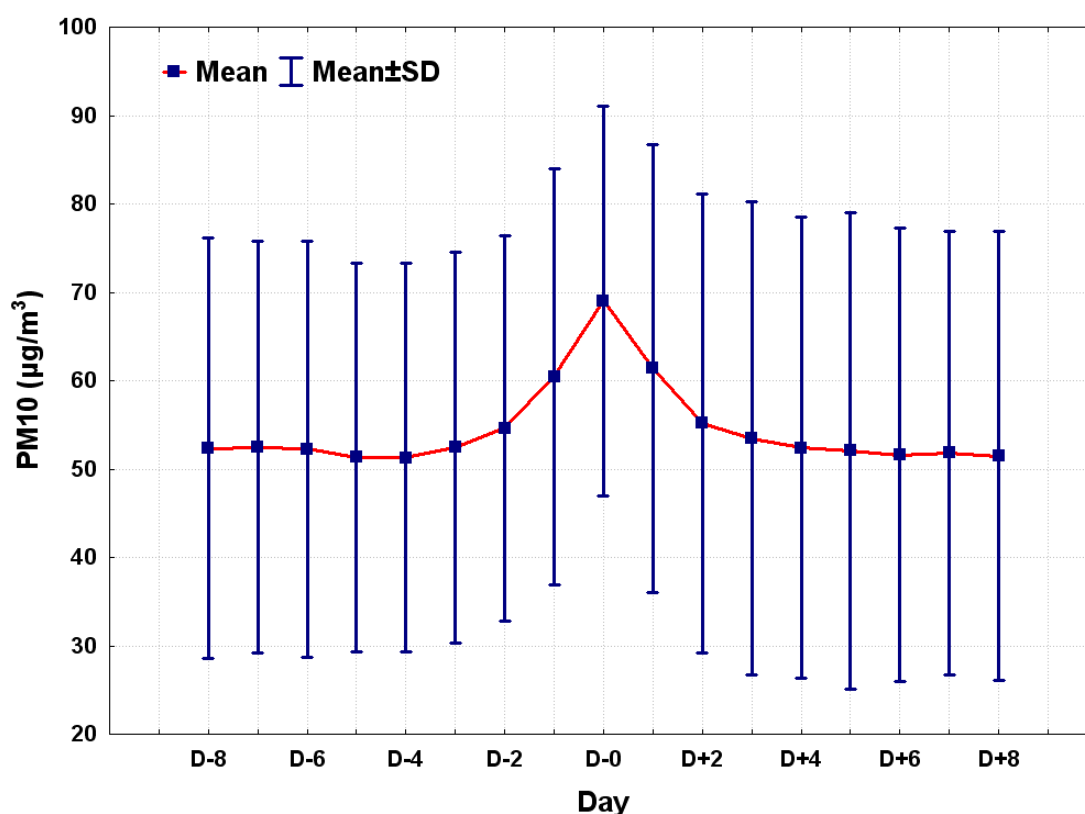
| Test of SS Whole Model vs. SS Residual | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------|----------|
| | Multiple R | Multiple R² | Adjusted R² | SS Model | df Model | MS Model | SS Residual | Df Residual | MS Residual | F | p |
| MEAN PM10 | 0.374517 | 0.140263 | 0.139233 | 167299.4 | 3 | 55766.46 | 1025459 | 2506 | 409.2014 | 136.2812 | 0.00 |

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, φαίνεται ότι η παράμετρος μέση ημερήσια σχετική υγρασία, (κόκκινη γραμμή Πίνακα 5.2) είναι **μη σημαντική** για την πρόγνωση των PM_{10} και ως εκ τούτου δεν θα ληφθεί υπόψη στα δεδομένα εκπαίδευσης του ΤΝΔ. Επίσης (πορτοκαλί στήλη Πίνακα 5.2), φαίνεται ότι η πιο σημαντική παράμετρος στην πρόγνωση των PM_{10} είναι πρώτα η μέση ημερήσια ταχύτητα του αέρα, στη συνέχεια και κατά δεύτερο λόγο η μέση ημερήσια θερμοκρασία του αέρα και τέλος η επικρατούσα ημερήσια διεύθυνση του ανέμου. Οι δύο πρώτες παράμετροι δεν έχουν σημαντικά αρνητική επίδραση στη συγκέντρωση των PM_{10} (αρνητικό πρόσημο).

ΒΗΜΑ 2^ο

Στη συνέχεια και ως δεύτερο βήμα, πρέπει να ερευνήσουμε τον αριθμό των ημερών που θα πάμε πίσω στο χρόνο ώστε να εκπαιδύσουμε κατάλληλα το ΤΝΔ. Με άλλα λόγια, για πόσες ημέρες πριν την ημέρα πρόγνωσης θα τροφοδοτήσουμε με δεδομένα, στη φάση της εκπαίδευσης, το ΤΝΔ, ώστε η εκπαίδευσή του να είναι η καλύτερη δυνατή.

Για το σκοπό αυτό, εφαρμόζουμε Υπέρθετη Εποχική Ανάλυση (Superposed Epoch Analysis-SEA). Τα αποτελέσματα της SEA παρουσιάζονται στο Γράφημα 5.1.



Σχήμα 5.1: Υπέρθετη Εποχική Ανάλυση (Superposed Epoch Analysis-SEA). Βόλος, 2001-2009.

Στο Σχήμα 5.1 φαίνονται οι μέσες τιμές συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀, των οκτώ (8) προηγούμενων και των οκτώ (8) επόμενων ημερών από την μέση ημερήσια συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ κατά τη διάρκεια ημερών (D-0) επεισοδίου υπέρβασης της μέσης ημερήσιας οριακής τιμής ($[PM_{10}] \leq 50 \mu g/m^3$) σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.).

Σύμφωνα με το Σχήμα 5.1, παρατηρούμε ότι δυο ημέρες πριν την εμφάνιση επεισοδίου υπέρβασης, η συγκέντρωση των PM₁₀ αρχίζει να αυξάνει σε σχέση με την ή τις προηγούμενες

ημέρες. Συνεπώς, καταλήξαμε να λάβουμε στη φάση εκπαίδευσης των ΤΝΔ υπόψη τα δεδομένα των δύο προηγούμενων ημερών από την ημέρα για την οποία θα γίνεται η πρόγνωση.

ΒΗΜΑ 3^ο

Στη φάση αυτή, επιλέγουμε τη δομή του ΤΝΔ. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία τα ΤΝΔ πολυστρωματικής νόησης-αντίληψης (MultiLayer Perceptron-MLP) θεωρούνται καθολικοί προγνώστες.

Έτσι,, για τη δημιουργία του προγνωστικού μοντέλου ΤΝΔ, χρησιμοποιήθηκαν ΤΝΔ αρχιτεκτονικής δομής MLP και τα οποία εκπαιδεύτηκαν μες τον αλγόριθμο της οπισθοδρομικής διάδοσης του λάθους (Back-propagation training algorithm).

Στον Πίνακα 5.6 παρουσιάζονται τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπαίδευση του ΤΝΔ (inputs) και τα δεδομένα που αυτό παράγει (target-output).

Πίνακας 5.6: Δεδομένα εκπαίδευσης δεδομένο πρόγνωσης του ΤΝΔ.

| Δεδομένα εισαγωγής-εκπαίδευσης | Δεδομένα πρόγνωσης |
|---|---|
| Ο αριθμός της ημέρας της εβδομάδας (1- Δευτέρα έως 7-Κυριακή) | Η μέση ημερήσια συγκέντρωση των PM ₁₀ για το επόμενο 24ωρο |
| Ο αριθμός του μήνα του έτους (1 έως 12) | |
| Η μέση ημερήσια συγκέντρωση των PM ₁₀ των δύο προηγούμενων ημερών | |
| Η μέση ημερήσια τιμή θερμοκρασίας του αέρα των δύο προηγούμενων ημερών | |
| Η μέση ημερήσια τιμή ταχύτητας του αέρα των δύο προηγούμενων ημερών | |
| Η επικρατούσα ημερήσια διεύθυνση του ανέμου των δύο προηγούμενων ημερών | |
| Η μέση ημερήσια τιμή θερμοκρασίας του αέρα της επόμενης ημέρας (ημέρα πρόγνωσης) | |
| Η μέση ημερήσια τιμή ταχύτητας του αέρα της επόμενης ημέρας (ημέρα πρόγνωσης) | |
| Η επικρατούσα ημερήσια διεύθυνση του ανέμου της επόμενης ημέρας (ημέρα πρόγνωσης) | |

Το ΤΝΔ που δημιουργήσαμε αποτελείται από τρία στρώματα. Το στρώμα εισαγωγής με 13 τεχνητούς νευρώνες, ένα κρυφό στρώμα με 10 τεχνητούς νευρώνες και ένα στρώμα εξαγωγής αποτελεσμάτων με ένα τεχνητό νευρώνα που αντιστοιχεί στη μέση ημερήσια συγκέντρωση των PM₁₀ για το επόμενο 24ωρο. Η συνάρτηση μεταφοράς – ενεργοποίησης είναι η συνάρτηση υπερβολικής εφαπτομένης.

Κατά τη φάση της εκπαίδευσης, δοκιμάστηκαν διάφοροι συνδυασμοί επιλογής δεδομένων εκπαίδευσης (μέθοδος δοκιμής και λάθους). Τα αποτελέσματα επιβεβαίωσαν τα αρχικά

συμπεράσματα της SMLRA (Πίνακας 2) και έτσι δεν λάβαμε υπόψη ως δεδομένο εισαγωγής-εκπαίδευσης τη σχετική υγρασία του αέρα στο τελικό μοντέλο-TNΔ. Πράγματι το TNΔ χωρίς τη σχετική υγρασία δίνει καλύτερη πρόγνωση ($R^2=0.511$) σε σχέση με το TNΔ που εκπαιδεύεται και με τη σχετική υγρασία ($R^2=0.469$).

Το σύνολο των διαθέσιμων δεδομένων της περιόδου 2001-2009 χωρίστηκε σε δύο υποσύνολα. Το πρώτο υποσύνολο αποτελεί το σύνολο των δεδομένων εκπαίδευσης (training set) και περιλαμβάνει τα έτη 2001-2007. Το δεύτερο υποσύνολο (testing set) περιλαμβάνει τα έτη 2008 και 2009 και χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της προγνωστικής ικανότητας του δημιουργούμενου μοντέλου-TNΔ. Τα δεδομένα του testing set είναι εντελώς άγνωστα στο μοντέλο-TNΔ. Επίσης, κατά τη φάση εκπαίδευσης, για την αποφυγή της υπερεκπαίδευσης (παπαγαλία) του TNΔ, από το σύνολο των δεδομένων εκπαίδευσης (training set), ένα ποσοστό της τάξης του 20% κρατείται ως άγνωστο στο TNΔ. Στην διάρκεια εκπαίδευσης και μετά από κάθε κύκλο εκπαίδευσής του (epoch), το TNΔ εφαρμόζει στο 20% αυτό που έχει μάθει, υπολογίζει το λάθος, διορθώνει τους συντελεστές βαρύτητας ή συναπτικά βάρη, και επιστρέφει πίσω κάνοντας ακόμα ένα νέο κύκλο εκπαίδευσης κοκ, μέχρι το λάθος να λάβει τη μικρότερη δυνατή τιμή. Η διαδικασία εκπαίδευσης σταματάει όταν το λάθος για πρώτη φορά σταματήσει να μειώνεται και αρχίζει να μεγαλώνει. Τότε, το TNΔ «παγώνει» τις τιμές των συναπτικών βαρών και είναι έτοιμο προς χρήση.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Δημιουργήθηκε ένα TNΔ που προβλέπει, με βάση τα χαρακτηριστικά των δυο προηγούμενων ημερών, τη μέση ημερήσια συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} για την επόμενη ημέρα, στο Βόλο.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά για κάθε ένα έτος πρόγνωσης, δηλαδή για τα έτη 2008 και 2009 αντίστοιχα.

Η ποιότητα και η αξιοπιστία ενός προγνωστικού μοντέλου, ανεξαρτήτου είδους, μπορεί να ελεγχθεί μέσω ενός πλήθους στατιστικών δεικτών. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η ποιότητα και η αξιοπιστία της πρόγνωσης του TNΔ που δημιουργήθηκε, καθώς επίσης η ικανότητά του να προβλέπει σωστά τις ημέρες με υπέρβαση της ημερήσιας οριακής τιμής συγκέντρωσης των PM_{10} εξετάστηκε και πιστοποιήθηκε με τη χρήση διαφόρων στατιστικών δεικτών.

Στον Πίνακα 5.7, παρουσιάζονται οι τιμές των στατιστικών δεικτών αξιολόγησης της προγνωστικής ικανότητας του ΤΝΔ που δημιουργήθηκε.

Πίνακας 5.7: Τιμές των στατιστικών δεικτών αξιολόγησης της προγνωστικής ικανότητας.

| Έτος | MBE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | RMSE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | R ² | IA |
|------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------|-------|
| 2008 | 3.8 | 14.2 | 0.522 | 0.820 |
| 2009 | 7.5 | 13.8 | 0.494 | 0.777 |

Ο δείκτης MBE (μέσο λάθος προκατάληψης εμμονής) δείχνει κατά πόσο το προγνωστικό μοντέλο υπερεκτιμά ή υποεκτιμά την κατάσταση. Οι τιμές για το 2008 και 2009 είναι >0 που σημαίνει ότι μοντέλο υπερεκτιμά την κατάσταση αλλά όχι πολύ. Ο δείκτης RMSE (απόκλιση μέσης τετραγωνικής τιμής) δείχνει το μέτρο των διαφορών μεταξύ των τιμών που προβλέπονται από το προγνωστικό μοντέλο και τις πραγματικές τιμές. Οι τιμές του 2008 και 2009 είναι μικρές επομένως μπορούμε να πούμε ότι οι μετρούμενες τιμές είναι σχετικά κοντά με τις τιμές του προγνωστικού μοντέλου. Ο δείκτης R² (συντελεστής προσδιορισμού) δείχνει κατά πόσο υπολογίζεται από το μοντέλο η παρατηρούμενη μεταβλητότητα στις τιμές. Οι τιμές για το 2008 και 2009 είναι ανάμεσα στο 0 και 1 και μας δείχνει ότι υπάρχει σχετική σχέση μεταξύ των τιμών. Ο δείκτης IA (δείκτης συμφωνίας) δείχνει πόσο κοντά είναι οι προβλεπόμενες τιμές από το μοντέλο με τις πραγματικές. Οι τιμές του 2008 και 2009 είναι πιο κοντά στο 1 που σημαίνει ότι υπάρχει σχετικά καλή συσχέτιση μεταξύ των παρατηρούμενων και προβλεπόμενων τιμών από το μοντέλο.

Στον Πίνακα 5.8, παρουσιάζονται οι τιμές των στατιστικών δεικτών αξιολόγησης της προγνωστικής ικανότητας των ημερών υπέρβασης της οριακής τιμής συγκέντρωσης, του ΤΝΔ που δημιουργήθηκε.

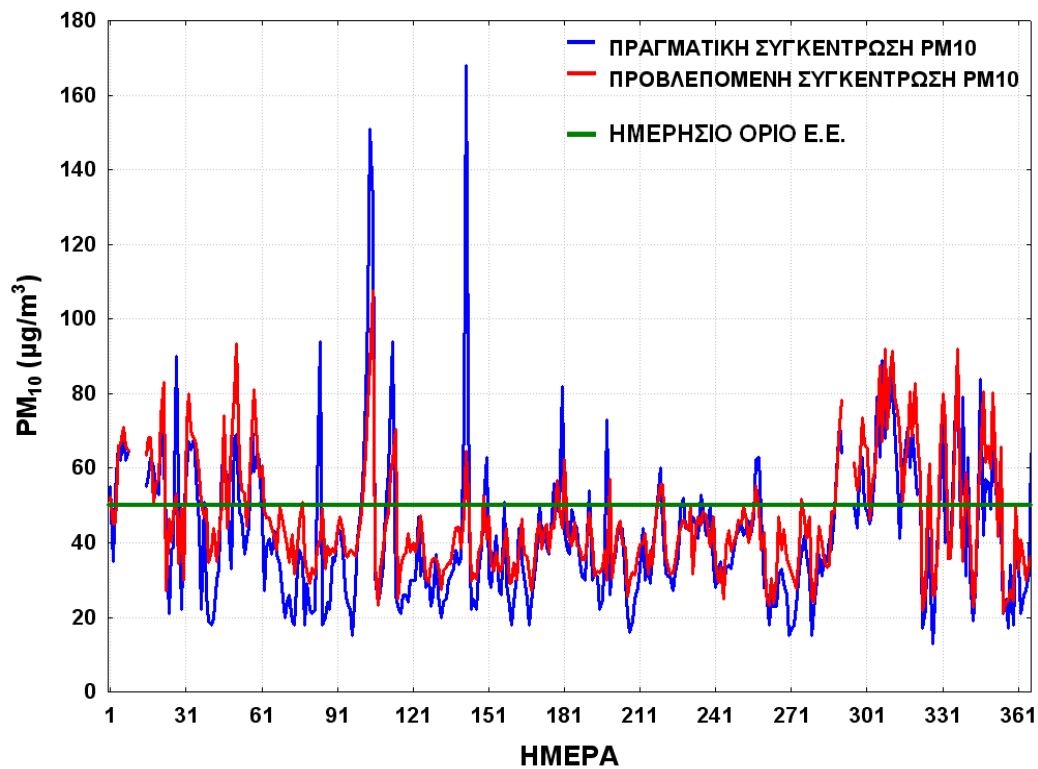
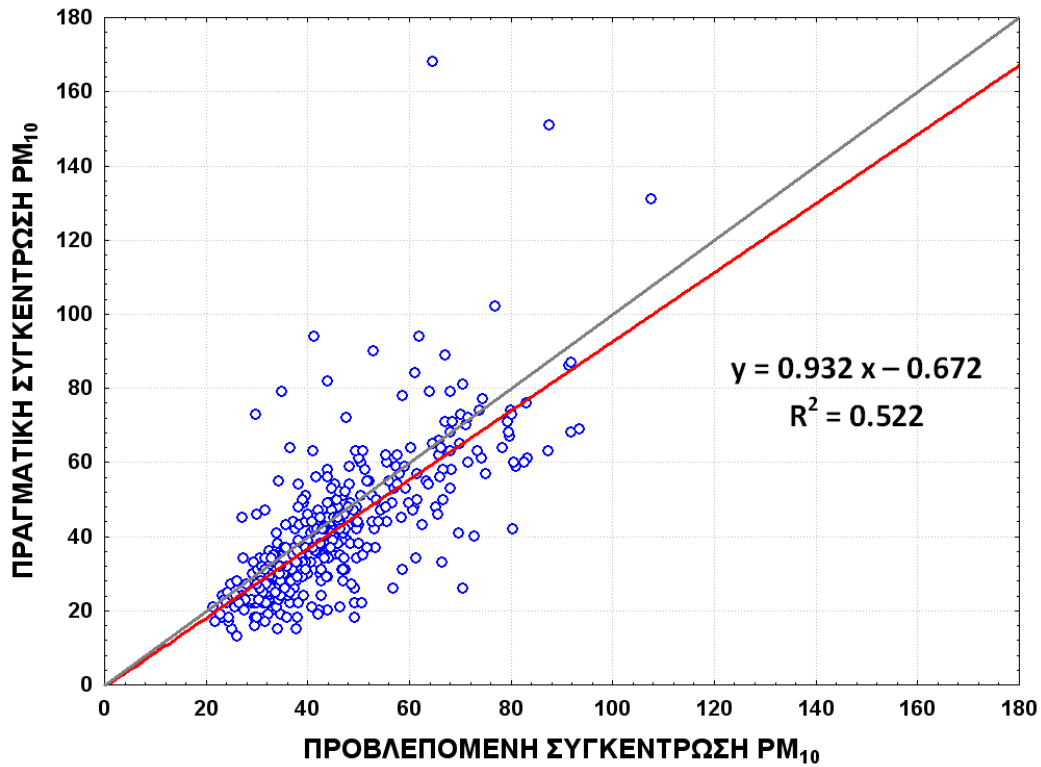
Πίνακας 5.8: Τιμές των στατιστικών δεικτών αξιολόγησης της προγνωστικής ικανότητας των ημερών υπέρβασης της οριακής τιμής συγκέντρωσης.

| Έτος | TPR(%) | FPR(%) | FAR(%) | SI(%) |
|------|--------|--------|--------|-------|
| 2008 | 76.8 | 10.9 | 26.9 | 85.7 |
| 2009 | 71.1 | 12.3 | 53.6 | 85.5 |

Ο δείκτης TPR (ποσοστό αληθών προγνώσεων υπέρβασης) δείχνει το κλάσμα των σωστών προβλέψεων υπέρβασης στο σύνολο των πραγματικών υπερβάσεων. Για τα έτη 2008 και 2009 ο δείκτης παίρνει τιμές κοντά στα 100% που σημαίνει ότι υπάρχει ένα μεγάλο

ποσοστό επιτυχίας στην πρόγνωση των υπερβάσεων. Ο δείκτης FPR (ψευδοθετικό ποσοστό πρόγνωσης υπερβάσεων) δείχνει το κλάσμα των λάθος προβλέψεων υπέρβασης στο σύνολο των μη υπερβάσεων που παρατηρήθηκαν. Για τα έτη 2008 και 2009 οι τιμές είναι κοντά στο 0% οπότε το προγνωστικό μοντέλο δεν προβλέπει λάθος υπερβάσεις. Ο δείκτης FAR (ποσοστό ψευδών συναγερμών) δείχνει το κλάσμα των λάθος προβλέψεων στο σύνολο των πραγματικών υπερβάσεων. Για τα έτη 2008 ο δείκτης παίρνει τιμές σχετικά κοντά στο 0% που σημαίνει ότι υπάρχει πολύ καλό ποσοστό επιτυχίας στην πρόγνωση των υπερβάσεων, δηλαδή δεν δίνει λάθος υπερβάσεις ενώ κατά το 2009 ο δείκτης παίρνει μεγαλύτερη τιμή κι επομένως δεν δίνει καλό ποσοστό επιτυχίας.. Ο δείκτης SI (δείκτης επιτυχίας) δείχνει το ποσοστό των σωστών προβλέψεων υπέρβασης στο σύνολο των περιπτώσεων πρόγνωσης. Για τα έτη 2008 και 2009 ο δείκτης παίρνει τιμές κοντά στο 100% οπότε και το μοντέλο προβλέπει πολύ καλά τις περιπτώσεις υπέρβασης και τις περιπτώσεις μη υπέρβασης.

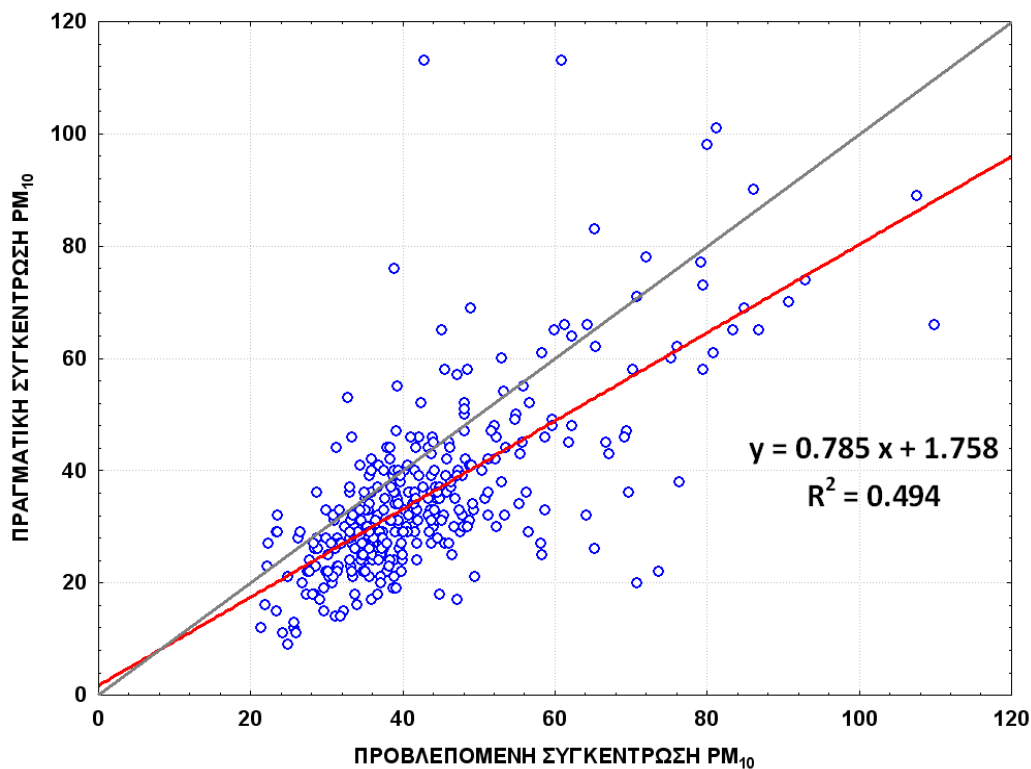
Το Σχήμα 5.2 παρουσιάζει το διάγραμμα διασποράς με την ευθεία ελαχίστων τετραγώνων, μεταξύ των παρατηρούμενων και των προβλεπόμενων συγκεντρώσεων (άνω τμήμα), καθώς επίσης και τη χρονοσειρά των παρατηρηθέντων και των προβλεπόμενων συγκεντρώσεων (κάτω τμήμα) για το έτος δοκιμής, 2008.

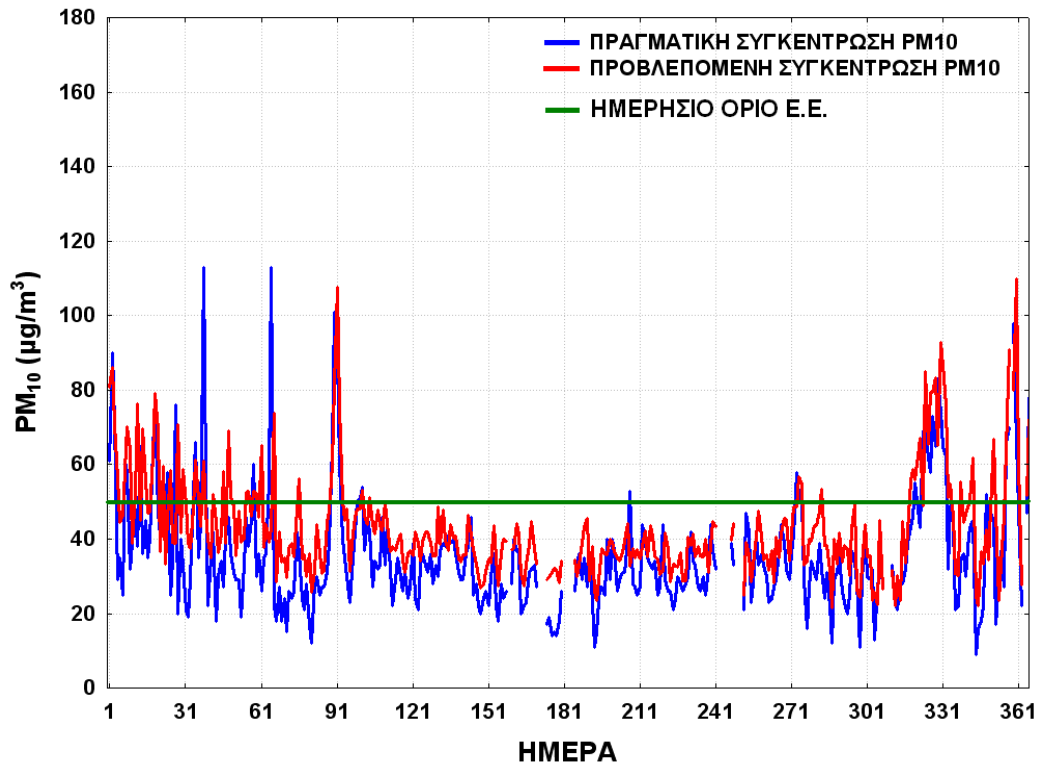


Σχήμα 5.2: Διάγραμμα διασποράς με την ευθεία ελαχίστων τετραγώνων, μεταξύ των παρατηρούμενων και των προβλεπόμενων συγκεντρώσεων (άνω τμήμα), και η χρονοσειρά των παρατηρηθέντων και των προβλεπόμενων συγκεντρώσεων (κάτω τμήμα) για το έτος δοκιμής, 2008.

Από το παραπάνω σχήμα παρατηρούμε ότι τη διασπορά των συγκεντρώσεων μεταξύ των προβλεπόμενων και των παρατηρούμενων συγκεντρώσεων έχει δείκτη R^2 (συντελεστής προσδιορισμού) που δείχνει κατά πόσο υπολογίζεται από το μοντέλο η παρατηρούμενη μεταβλητότητα ανάμεσα στις τιμές 0 και 1. Επίσης παρατηρούμε ότι η χρονοσειρά των παρατηρηθέντων τιμών και των προβλεπόμενων συγκεντρώσεων από το μοντέλο έχει αρκετά καλή συσχέτιση και μόνο κάποιες ακραίες τιμές δεν κατάφερε να προβλέψει το μοντέλο .

Το Σχήμα 5.3 παρουσιάζει το διάγραμμα διασποράς με την ευθεία ελαχίστων τετραγώνων, μεταξύ των παρατηρούμενων και των προβλεπόμενων συγκεντρώσεων (άνω τμήμα), καθώς επίσης και τη χρονοσειρά των παρατηρηθέντων και των προβλεπόμενων συγκεντρώσεων (κάτω τμήμα) για το έτος δοκιμής, 2009.

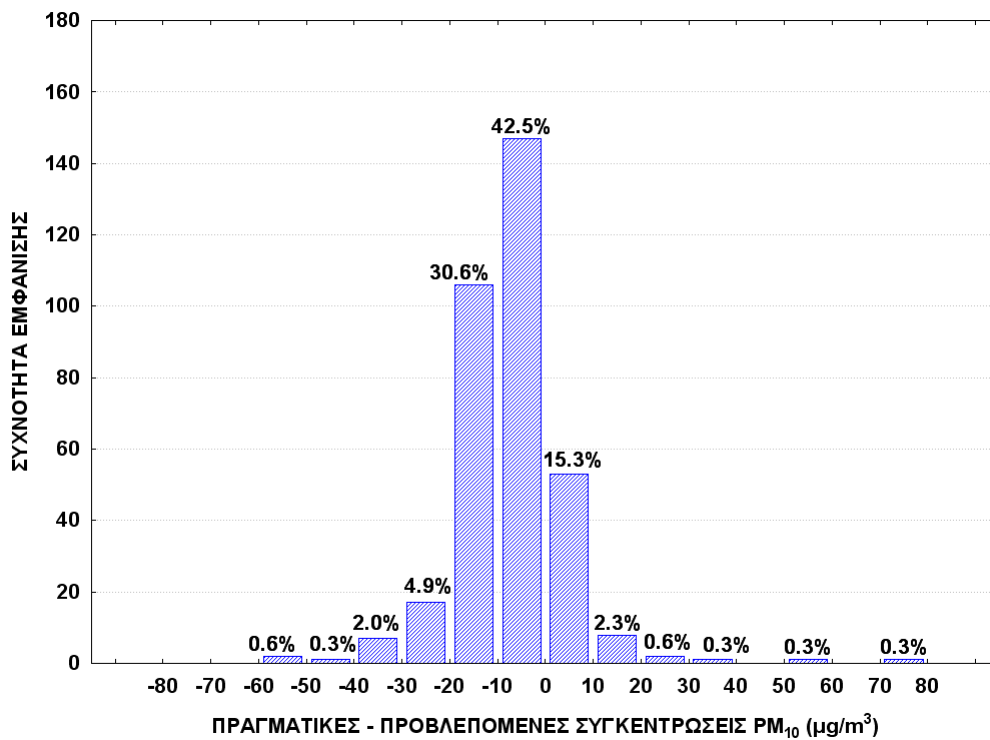
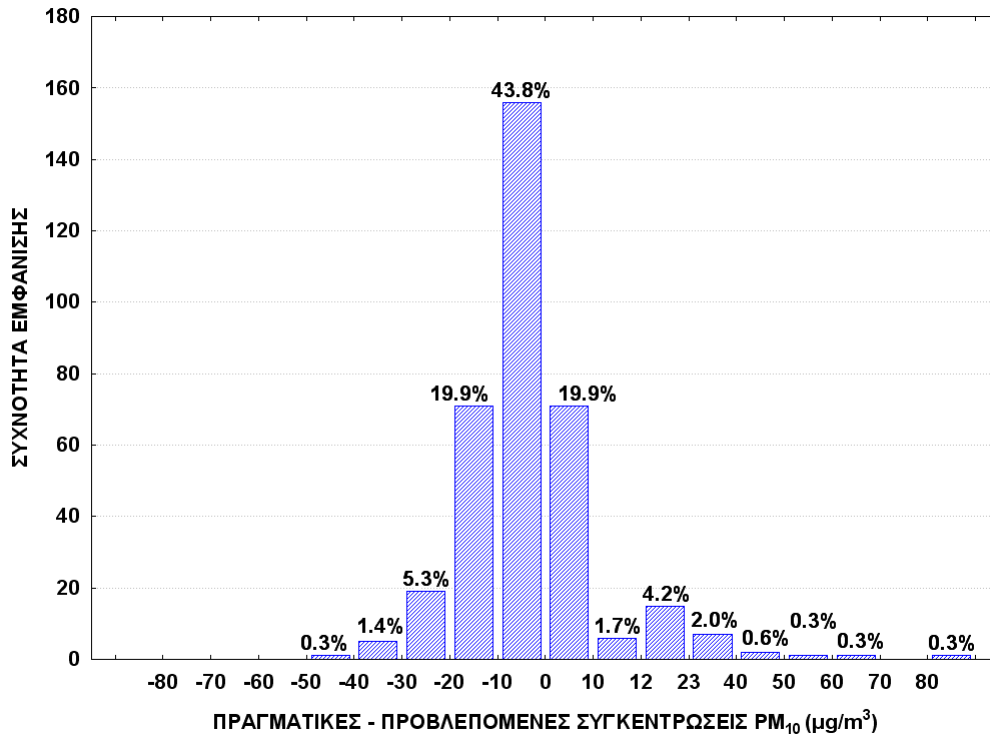




Σχήμα 5.3: Διάγραμμα διασποράς με την ευθεία ελαχίστων τετραγώνων, μεταξύ των παρατηρούμενων και των προβλεπόμενων συγκεντρώσεων (άνω τμήμα), και η χρονοσειρά των παρατηρηθέντων και των προβλεπόμενων συγκεντρώσεων (κάτω τμήμα) για το έτος δοκιμής, 2009.

Το Σχήμα 5.4, παρουσιάζει την κατανομή συχνοτήτων των υπολοίπων, δηλαδή των διαφορών μεταξύ των παρατηρούμενων και των προβλεπόμενων από το μοντέλο, τιμών συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων για τα έτη πρόγνωσης, 2008 (άνω τμήμα) και 2009 (κάτω τμήμα) αντίστοιχα.

Από το παραπάνω σχήμα παρατηρούμε ότι η διασπορά των συγκεντρώσεων μεταξύ των προβλεπόμενων και των παρατηρούμενων συγκεντρώσεων έχει δείκτη R^2 (συντελεστής προσδιορισμού) που δείχνει κατά πόσο υπολογίζεται από το μοντέλο η παρατηρούμενη μεταβλητότητα ανάμεσα στις τιμές 0 και 1. Επίσης παρατηρούμε ότι η χρονοσειρά των παρατηρηθέντων τιμών και των προβλεπόμενων συγκεντρώσεων από το μοντέλο έχει σχετικά καλή συσχέτιση και μόνο κάποιες ακραίες τιμές δεν κατάφερε να προβλέψει το μοντέλο .



Σχήμα 5.4: Κατανομή συχνοτήτων των διαφορών μεταξύ των παρατηρούμενων και των προβλεπόμενων από το μοντέλο, τιμών συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων για τα έτη πρόγνωσης 2008 (άνω τμήμα) και 2009 (κάτω τμήμα) αντίστοιχα.

Στα παραπάνω διαγράμματα συχνοτήτων μπορούμε να παρατηρήσουμε την συχνότητα εμφάνισης των συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων μεταξύ των παρατηρούμενων και των προβλεπόμενων από το μοντέλο. Το πάνω διάγραμμα αφορά το έτος 2008 και το κάτω διάγραμμα το έτος 2009. Η κατανομή συχνοτήτων κατά το έτος 2008 έχει καλύτερα αποτελέσματα στο ποσοστά κατανομής μεταξύ των πραγματικών και των προβλεπόμενων τιμών ενώ η κατανομή συχνοτήτων κατά το έτος 2009 δεν υπάρχει τόσο καλή συσχέτιση ανάμεσα σε πραγματικές και προβλεπόμενες από το μοντέλο τιμές. Στην κατανομή συχνοτήτων του έτους 2008 παρατηρούμε και κάποιες ακραίες τιμές αιωρούμενων σωματιδίων που δεν μπορεί να προβλέψει το μοντέλο. Τα παραπάνω αποτελέσματα δείχνουν ότι τα ΤΝΔ είναι πολύ χρήσιμα εργαλεία για την πρόγνωση της αέριας ρύπανσης και η εκπαίδευση τους σε χρονοσειρές αρκετών ετών ώστε να υπάρχουν δεδομένα έχουν καλύτερα αποτελέσματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6. Εκτίμηση πιθανών επιπτώσεων στην υγεία με τη χρήση του AirQ+ model

6.1 Γενικά για το AirQ+ model

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας έχει αναπτύξει ένα λογισμικό με την ονομασία AirQ+ στο πλαίσιο των ερευνητικών δραστηριοτήτων του για την ποιότητα της ατμόσφαιρας του αέρα και τις επιπτώσεις της στην υγεία των ανθρώπων (WHO 2018). Το AirQ+ έχει σχεδιαστεί για να υπολογίζει το μέγεθος συγκεκριμένων επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία σε συγκεκριμένο αριθμό πληθυσμού. Χρησιμοποιείται για την πρόγνωση σε μακροπρόθεσμη και βραχυπρόθεσμη έκθεση στην ατμοσφαιρική ρύπανση από αρκετούς ρύπους και μακροχρόνια έκθεση στην οικιακή ατμοσφαιρική ρύπανση από τη χρήση στερεών καυσίμων (Shakour et al. 2011, Habeebullah 2013, Jeong 2013). Το AirQ+ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οποιαδήποτε πόλη, χώρα ή περιοχή και μπορεί να εκτιμήσει:

- 1) τις επιπτώσεις από τις βραχυπρόθεσμες αλλαγές στην ατμοσφαιρική ρύπανση και
- 2) τις επιπτώσεις από τη μακροπρόθεσμη έκθεση στην ατμοσφαιρική ρύπανση.

Όλοι οι υπολογισμοί που εκτελούνται από το AirQ+ βασίζονται σε μεθοδολογίες και συναρτήσεις απόκρισης - συγκέντρωσης που έχουν καθοριστεί από επιδημιολογικές μελέτες. Οι λειτουργίες που χρησιμοποιούνται στο λογισμικό βασίζονται στη συστηματική ανασκόπηση όλων των διαθέσιμων μελετών και στην ανάλυσή τους (Sacks et al. 2020). Για την ατμοσφαιρική ρύπανση (PM, NO₂ και BC), ο χρήστης πρέπει να εισάγει τα ακόλουθα στοιχεία:

- Δεδομένα για την ποιότητα του αέρα:
- Μέση συγκέντρωση, για μακροχρόνιες επιπτώσεις έκθεσης
- Συχνότητα ημερών με ιδιαίτερη συγκέντρωση ρύπων, (τιμές), για βραχυπρόθεσμες επιπτώσεις έκθεσης·
- Δεδομένα για πληθυσμό σε κίνδυνο (για παράδειγμα: συνολικός αριθμός ενηλίκων ηλικίας ≥ 30 ετών).
- Δεδομένα υγείας, όπως τα ποσοστά αποτελεσμάτων υγείας στον πληθυσμό που μελετήθηκε.
- Τιμές σχετικού κινδύνου (RR) εάν διαφέρουν από τις προεπιλεγμένες τιμές που παρέχονται από τον ΠΟΥ. Ο δείκτης RR περιγράφει την πιθανότητα εμφάνισης αρνητικών επιπτώσεων στην υγεία σε υψηλά επίπεδα σωματιδιακής ρύπανσης σε πληθυσμούς που είναι εκτεθειμένοι σε σύγκριση με πληθυσμούς που έχουν χαμηλή έκθεση στην σωματιδιακή ρύπανση. Οι τιμές δίνονται από την εξίσωση:

$$RR = \exp^{[B(X-X_0)]}$$

όπου B είναι μία σταθερά, X είναι η μέση ετήσια συγκέντρωση και X_0 είναι η ελάχιστη ετήσια συγκέντρωση

- Δεδομένα πληθυσμού και δεδομένα θνησιμότητας, και τα δύο κατηγοριοποιημένα ανά ηλικία, όταν χρησιμοποιείται η ανάλυση του πίνακα ζωής.

Θα πρέπει να ληφθούν υπόψη ορισμένες επιφυλάξεις σχετικά με το AirQ+, καθώς υπάρχουν σκόπιμες απλουστεύσεις τη μεθοδολογία, όπως:

- Οι υπολογισμοί δεν λαμβάνουν υπόψη περιπτώσεις πολλαπλής έκθεσης ή σενάρια πολλαπλών ρύπων
- οι εκτιμήσεις νοσηρότητας παρουσιάζουν χαμηλή αξιοπιστία λόγω της δύσκολης συμμόρφωσης στην αξιολόγηση αποτελέσματος υγείας που σχετίζονται με τις εισαγωγές στο νοσοκομείο
- Τα RR για την ατμοσφαιρική ρύπανση των νοικοκυριών βασίζονται σε μελέτες που πραγματοποιήθηκαν σε καταστάσεις πολύ υψηλών επιπέδων ρύπανσης.
- Οι εκτιμήσεις που δημιουργούνται από το AirQ+ φέρουν ορισμένες αβεβαιότητες, καθώς βασίζονται σε πληροφορίες από συναρτήσεις συγκέντρωσης-απόκρισης, οι οποίες βασίζονται σε έναν αριθμό υποθέσεων.

Το AirQ+ υπολογίζει τις ακόλουθες εκτιμήσεις:

- 1) αναλογία περιπτώσεων
- 2) αριθμός περιπτώσεων
- 3) αριθμός κρουσμάτων ανά 100.000 πληθυσμού σε κίνδυνο
- 4) αναλογία περιπτώσεων σε κάθε κατηγορία συγκέντρωσης ατμοσφαιρικών ρύπων.
- 5) σφαιρική κατανομή ανά συγκέντρωση ατμοσφαιρικών ρύπων.
- 6) Χαμένα χρόνια ζωής.

Αρκετοί ερευνητές έχουν δείξει με επιδημιολογικές μελέτες τις διάφορες επιπτώσεις που σχετίζονται τόσο με τη βραχυπρόθεσμη όσο και με τη μακροπρόθεσμη έκθεση στη σωματιδιακή ρύπανση (Seaton et al. 1995, Schwartz et al. 1996, Harrison et al. 2000, Pope III 2000, Bartzokas et al. 2004, Nastos et al. 2010, Samoli et al. 2011). Τα αιωρούμενα σωματίδια (PM) είναι ένας σημαντικός ατμοσφαιρικός ρύπος και είναι ένα πολύπλοκο μείγμα φυσικών και ανθρωπογενών σωματιδίων. Τα αιωρούμενα σωματίδια, θεωρούνται ως μία από τις πιο επιβλαβείς μορφές ατμοσφαιρικής ρύπανσης, ειδικά τα εισπνεόμενα σωματίδια (PM₁₀), τα

οποία φαίνεται ότι προκαλούν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου και κυρίως στο αναπνευστικό σύστημα και καρδιακές παθήσεις (Dockery et al. 1994, Pope III et al. 2004). Σύμφωνα με έρευνες η ατμοσφαιρική ρύπανση ευθύνεται για 0,8 εκατομμύρια θανάτους ετησίως σε παγκόσμια κλίμακα (1,2% των συνολικών θανάτων), συμπεριλαμβανομένων 5% των θανάτων από καρκίνο του αναπνευστικού, 3% από καρδιαγγειακές παθήσεις και 1% από οξείες αναπνευστικές λοιμώξεις (Cohen et al. 2005).

Η ατμοσφαιρική ρύπανση χαρακτηρίζεται από έναν αριθμό πρωτογενών (οξείδια του θείου, οξείδια του αζώτου, CO, πτητικές οργανικές ενώσεις) και δευτερογενείς ρύπους (όζον, θειικό μη θαλάσσιο αλάτι και δευτερογενή οργανικά αερολύματα) που συμβάλλουν ο καθένας στην παρατηρούμενη ατμοσφαιρική ποιότητα (Karadinos-Rida et al. 2005, Papanastasiou et al. 2009, Papaioannou et al. 2010, Pateraki et al. 2013). Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι γνωστή ως ο πιο σημαντικός κίνδυνος για τη δημόσια υγεία και το περιβάλλον στον κόσμο (Bruce et al. 2000). Όσο αφορά το κομμάτι της οικονομίας, η ατμοσφαιρική ρύπανση προκαλεί πολλές πρόσθετες δαπάνες για τις κυβερνήσεις. Οι δαπάνες που καταβάλλονται κάθε χρόνο για την ασφάλιση ιατρικών υπηρεσιών (Grineski et al. 2011), τη θεραπεία ασθενειών (Lim et al. 2012), την καρδιακή αποκατάσταση (Rich et al. 2012) θεωρούνται μόνο ένα μέρος των αρνητικών οικονομικών επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Πολλές μελέτες έχουν προσπαθήσει να δείξουν την συσχέτιση μεταξύ βραχυπρόθεσμης και μακροχρόνιας έκθεσης στην ατμοσφαιρική ρύπανση, κυρίως των σωματιδίων με διάμετρο μικρότερη από 2.5μm, ότι σχετίζεται με αυξημένη θνησιμότητα και νοσηρότητα στον άνθρωπο (Bloemsma et al. 2019, Hu et al. 2019, Klepac et al. 2018, Luyten et al. 2018). Η ολοκληρωμένη αξιολόγηση των ανωτέρω, έδειξε την σχέση μεταξύ θνησιμότητας και σωματιδίων μικρότερων από 2.5μm (PM_{2.5}). Η συσχέτιση αυτή προέκυψε λόγω ορισμένων χαρακτηριστικών του PM_{2.5} όπως για παράδειγμα η βαθιά εισπνοή στους πνεύμονες και στο αναπνευστικό σύστημα καθώς και το μικρό μέγεθος των σωματιδίων (Brunekreef et al. 2009, Xing et al. 2016). Η εκτίμηση των επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία πρέπει να ερευνηθεί περισσότερο και από άλλους ερευνητές, χρησιμοποιώντας την τεχνολογία, ώστε να βοηθούν τους υπεύθυνους χάραξης περιβαλλοντικής πολιτικής και τις αρχές στη διαδικασία σχεδιασμού τους (Anenberg et al. 2016). Επίσης, είναι σημαντικό να ποσοτικοποιηθεί η επιβάρυνση στην υγεία και οι επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα εργαλεία αξιολόγησης των επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία. Αν και πολλές μελέτες αξιολόγησης των επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι στιγμής με βάση το εργαλείο AirQ του ΠΟΥ (Bahrami Asl et al. 2018, Oliveri Conti et al. 2017), ήταν λίγες οι μελέτες που πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας το λογισμικό AirQ+ (Faridi et al.

2018, Yarahmadi et al. 2018). Οι Faridi et al. το 2018 υπολόγισαν τις επιδράσεις στην υγεία των $PM_{2.5}$ και O_3 τριών ετών, συμπεριλαμβανομένης της θνησιμότητας για όλες τις αιτίες και για κάθε αιτία στην Τεχεράνη χρησιμοποιώντας το AirQ+ (Faridi et al. 2018). Σε μια άλλη μελέτη, οι Yarahmadi et al. το 2018 αξιολόγησαν τη συνολική και άλλου είδους θνησιμότητα που αποδίδεται στην έκθεση σε $PM_{2.5}$ στην Τεχεράνη (Yarahmadi et al., 2018). Δύο κύριες διαφορές μεταξύ του λογισμικού AirQ και AirQ+ είναι οι συναρτήσεις δόσης-απόκρισης και οι τιμές σχετικών κινδύνων (RR) που έχουν ενημερωθεί με βάση νέες επιδημιολογικές μελέτες στο AirQ+ (Oliveri Conti et al., 2017).

Μελέτες σε ενήλικες πληθυσμούς αποκάλυψαν προηγουμένως ότι τα αυξημένα επίπεδα PM_{10} , NO_2 και CO μπορεί να σχετίζονται θετικά με την έξαρση της χρόνιας αποφρακτικής πνευμονοπάθειας (ΧΑΠ) (Peel et al., 2005) και με καρδιαγγειακά επεισόδια όπως οξεία στεφανιαία επεισόδια (Peters et al. 2001, Yang et al. 2004). Μια μελέτη 29 ερευνητών που αφορούσε τις ευρωπαϊκές πόλεις, έδειξε ότι στην περίπτωση της Αθήνας, μια αύξηση των ημερήσιων επιπέδων PM_{10} κατά $10\mu g/m^3$ οδήγησε σε αύξηση του ποσοστού θνησιμότητας κατά περίπου 1,5% (Katsouyanni et al. 2001). Σύμφωνα με άλλες έρευνες, όπου χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό AirQ, τα PM_{10} βρέθηκαν να δημιουργούν κρούσματα HARD στην περιοχή της Αθήνας, Ελλάδα (Moustris et al. 2018), καθώς και στην πόλη Hamadan, Ιράν (Kamarehie et al. 2018).

Ένας από τους στόχους της Διδακτορικής Διατριβής είναι να διερευνήσει τις πιθανές επιπτώσεις των PM_{10} στην δημόσια υγεία στην ευρύτερη περιοχή του Βόλου, χρησιμοποιώντας το μοντέλο AirQ+, που αναπτύχθηκε από τον ΠΟΥ (Shakour et al. 2011, Habeebullah 2013, Jeong 2013). Η Ευρωπαϊκή Ένωση έλαβε υπόψη αυτά τα αποτελέσματα στην Οδηγία 2008/50/EK «για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και τον καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη». Σύμφωνα με την Οδηγία αυτή, ορίστηκε μια μέση ημερήσια τιμή κατωφλίου για τα PM_{10} ($[PM_{10}] < 50\mu g/m^3$) και μια μέση ετήσια οριακή τιμή για τα PM_{10} ($[PM_{10}] < 40\mu g/m^3$).

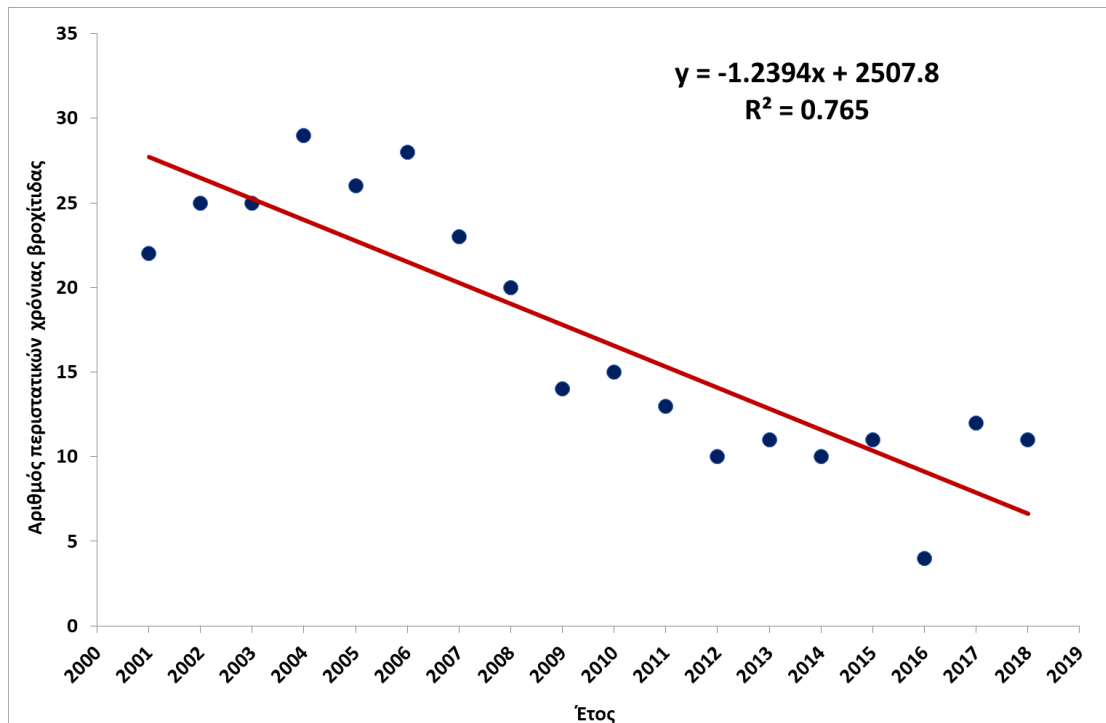
6.2 Εκτίμηση με το AirQ+ model για την περιοχή του Βόλου

Στο πλαίσιο της διδακτορικής διατριβής έχει γίνει έρευνα και ως αποτέλεσμα τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση των πιθανών επιπτώσεων στην υγεία από τα σωματίδια είναι η μέση ημερήσια συγκέντρωση των PM_{10} που καταγράφεται από σταθμό παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα στο αστικό συγκρότημα της πόλης του Βόλου, και που καλύπτει τη δεκαετία 2001-2018. Ο πλήρως αυτοματοποιημένος σταθμός παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα εγκαταστάθηκε από το Υπουργείο Περιβάλλοντος

και Ενέργειας. Έχει γεωγραφικό μήκος: 22ο 57'Α, γεωγραφικό πλάτος: 39ο 22'Β και υψόμετρο: 2,6 m π.μ.

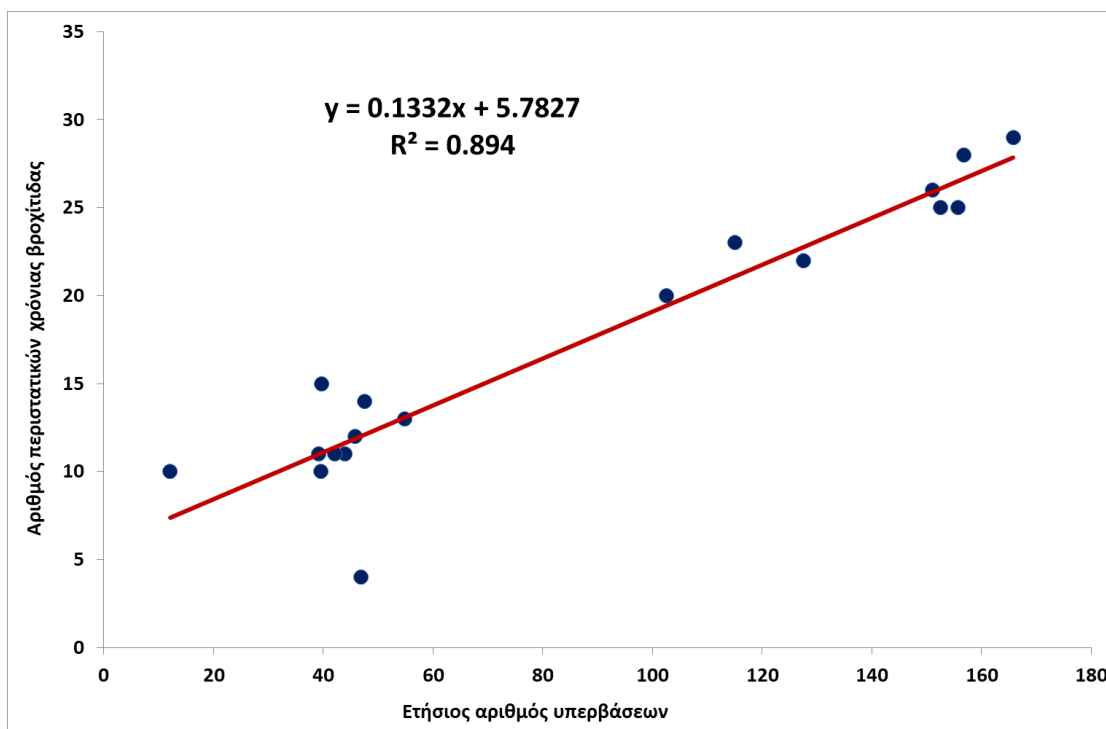
Προκειμένου να εκτιμηθεί η συχνότητα εμφάνισης χρόνιας βρογχίτιδας, Chronic Bronchitis Incidence (CBI) σε ενήλικες λόγω σωματιδίων, είναι απαραίτητη η χρήση δεδομένων που σχετίζονται με τη συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων. Η πληρότητα των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν ήταν μεγαλύτερη από 80%.

Το Σχήμα 6.1 απεικονίζει τον αθροιστικό ετήσιο αριθμό CBI σε ενήλικες ανά 100.000 κατοίκους που αποδίδονται στα PM₁₀ του εξεταζόμενου σταθμού παρακολούθησης στην πόλη του Βόλου κατά την περίοδο 2001-2018. Παρατηρείται σημαντική πτωτική τάση του ετήσιου αριθμού CBI. Η εφαρμογή της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων δείχνει μια πολύ ισχυρή γραμμική συσχέτιση με συντελεστή προσδιορισμού περιόδου $R^2=0,765$, που σημαίνει ότι η συγκεκριμένη γραμμική συσχέτιση μπορεί να ερμηνεύσει το 76,5% της διακύμανσης των δεδομένων. Επιπλέον, εμφανίζεται μια ετήσια μείωση του αριθμού των ετήσιων περιπτώσεων CBI περίπου κατά 1,2 περιπτώσεις ανά έτος.

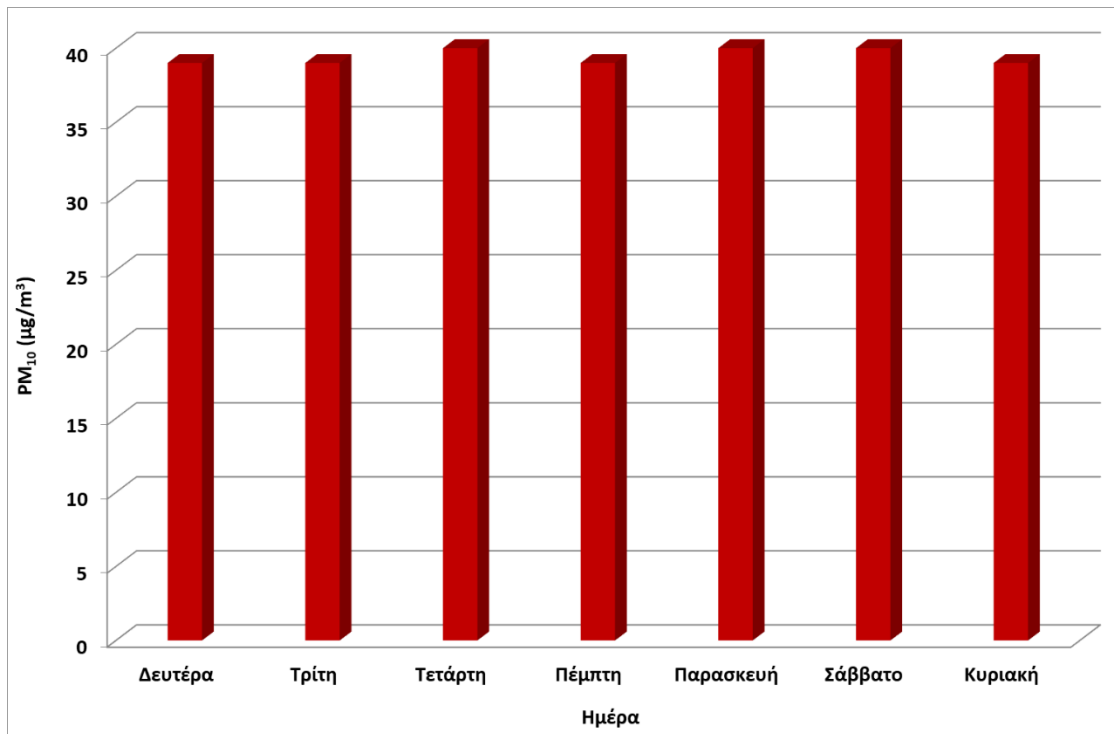


Σχήμα 6.1: Ετήσια διακύμανση του αριθμού περιστατικών χρόνιας βρογχίτιδας σε συνάρτηση με την έκθεση σε PM₁₀ στην περιοχή του Βόλου κατά την περίοδο 2001-2018.

Στην συνέχεια, υπολογίστηκε ο ετήσιος αριθμός ημερών όπου η μέση ημερήσια συγκέντρωση PM₁₀ υπερβαίνει το μέσο ημερήσιο όριο σύμφωνα με την οδηγία της ΕΕ (μέσο όριο ημερήσιας συγκέντρωσης: [PM₁₀] <50 μg/m³) για τον εξεταζόμενο σταθμό παρακολούθησης στο Βόλο. Το Σχήμα 6.2 απεικονίζει τον ετήσιο αριθμό περιπτώσεων CBI έναντι του ετήσιου αριθμού υπερβάσεων των PM₁₀. Είναι προφανές ότι υπάρχει ισχυρή γραμμική συσχέτιση μεταξύ του ετήσιου αριθμού περιπτώσεων CBI και των υπερβάσεων των PM₁₀. Αυτή η γραμμική συσχέτιση μπορεί να εξηγήσει το 89,4% (R²=0,894) της διακύμανσης των δεδομένων. Φαίνεται λοιπόν ότι για κάθε αύξηση 10 ημερών υπερβάσεων ετησίως υπάρχει αύξηση της CBI κατά 1,3 περιπτώσεις.



Σχήμα 6.2: Ετήσιος αριθμός περιστατικών χρόνιας βρογχίτιδας σε συνάρτηση με τον ετήσιο αριθμό υπερβάσεων στην περιοχή του Βόλου για την περίοδο 2001-2018.

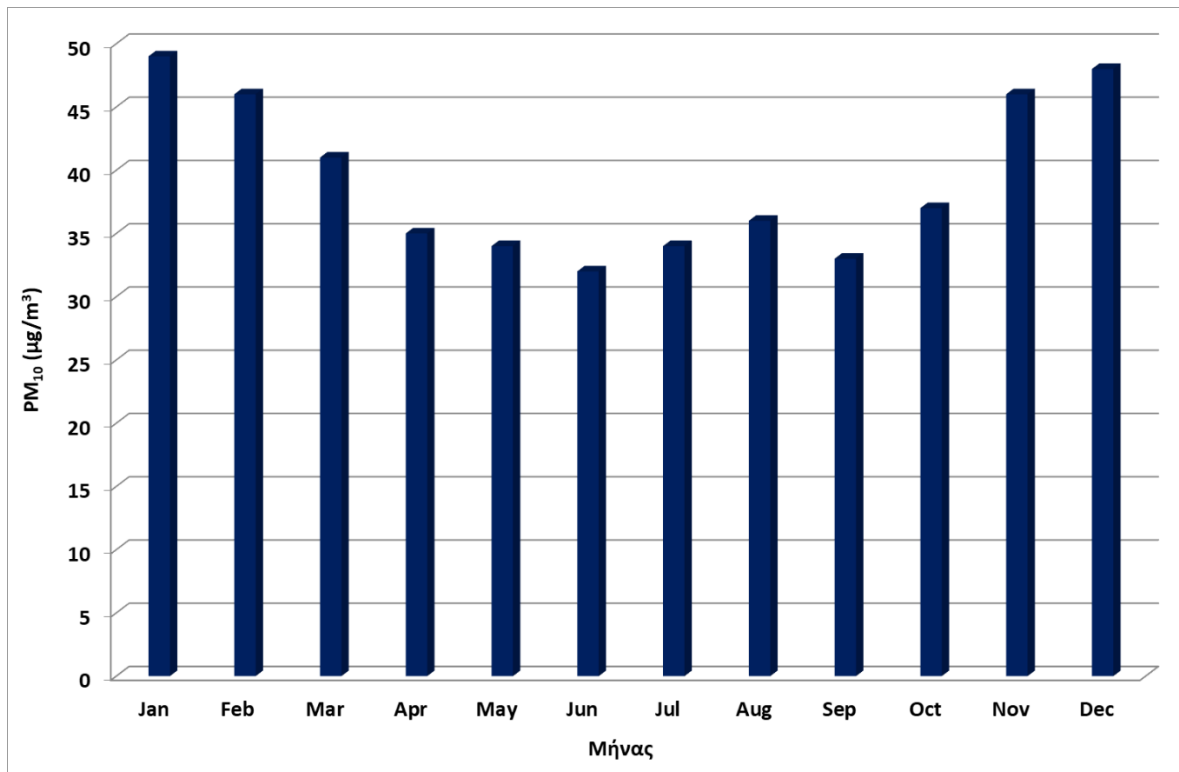


Σχήμα 6.3: Αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀ σε συνάρτηση με τις ημέρες στην περιοχή του Βόλου για την περίοδο 2001-2018.

Το Σχήμα 6.3 δείχνει την εβδομαδιαία διακύμανση των ημερήσιων μέσων τιμών των συγκεντρώσεων PM₁₀ κατά την εξεταζόμενη περίοδο. Στο σχήμα αυτό φαίνεται ότι η διακύμανση των συγκεντρώσεων των PM₁₀ απεικονίζει ελαφρώς υψηλότερες τιμές τα Σαββατοκύριακα του έτους και τις Τετάρτες.

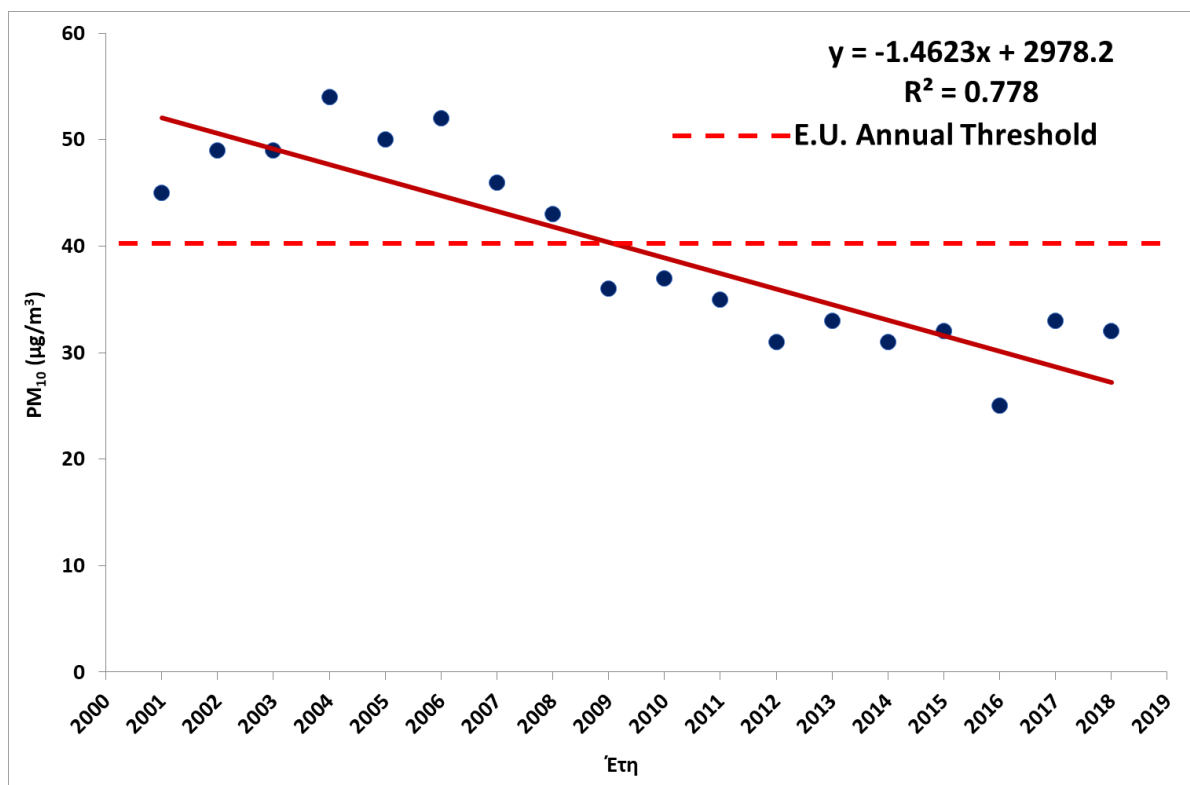
Το Σχήμα 6.4 δείχνει την εξέλιξη των μηνιαίων μέσων τιμών των συγκεντρώσεων PM₁₀ κατά την εξεταζόμενη περίοδο. Σε αυτό το σχήμα φαίνεται ότι η διακύμανση των συγκεντρώσεων PM₁₀ απεικονίζει ένα ελάχιστο κατά την θερμή περίοδο του έτους και ένα μέγιστο κατά την ψυχρή περίοδο.

Οι υψηλότεροι ρυθμοί χρήσης των συστημάτων κεντρικής θέρμανσης κατά τη διάρκεια του χειμώνα σε συνδυασμό με το ατμοσφαιρικό στρώμα ανάμειξης που παρατηρείται κατά την ίδια περίοδο ευθύνονται για μια τέτοια διακύμανση. Για την περιοχή μελέτης, η κεντρική θέρμανση και η χρήση ξύλου, πέλλετ, κλπ. αποτελεί σημαντική πηγή ατμοσφαιρικής ρύπανσης για τα αιωρούμενα σωματίδια, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται προβλήματα και να αυξάνεται η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων κατά τη χειμερινή περίοδο.

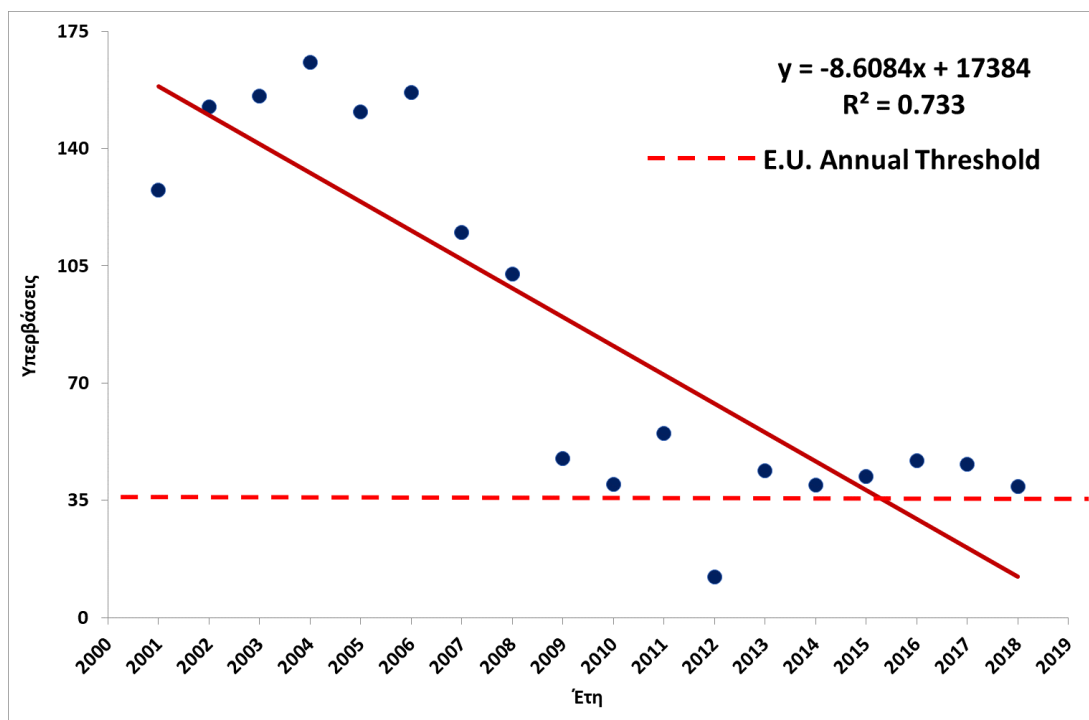


Σχήμα 6.4: Αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀ σε συνάρτηση με τους μήνες στην περιοχή του Βόλου για την περίοδο 2001-2018.

Το Σχήμα 6.5 δείχνει την διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων μέσων τιμών των συγκεντρώσεων PM₁₀ κατά την εξεταζόμενη περίοδο. Σε αυτό το σχήμα φαίνεται ότι οι μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις των PM₁₀ δεν υπερβαίνουν την ετήσια οριακή τιμή των 40 µg/m³ που ορίζεται από την Οδηγία της ΕΕ, κατά τα τελευταία δέκα (10) χρόνια.



Σχήμα 6.5: Αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀ σε συνάρτηση με τα χρόνια στην περιοχή του Βόλου για την περίοδο 2001-2018.



Σχήμα 6.6: Αιωρούμενα σωματίδια PM_{10} σε συνάρτηση με τις υπερβάσεις στην περιοχή του Βόλου για την περίοδο 2001-2018.

Το Σχήμα 6.6 δείχνει την διαχρονική εξέλιξη του αριθμού των υπερβάσεων της μέσης ημερήσιας συγκεντρώσης PM_{10} κατά την εξεταζόμενη περίοδο, ανά έτος. Αποδεικνύεται ότι τα τελευταία χρόνια ο αριθμός των ημερήσιων υπερβάσεων των PM_{10} είναι κοντά στο όριο που ορίζει η Οδηγία της Ε.Ε. (όχι περισσότερες από 35 υπερβάσεις το έτος).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η τοπική γεωμορφολογία και μετεωρολογία στην ευρύτερη περιοχή της πόλης του Βόλου, ευνοούν ιδιαίτερα τη συσσώρευση των ρύπων και τη δημιουργία επεισοδίων ρύπανσης, με μεγάλη συχνότητα εμφάνισης. Οι συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ είναι σε υψηλά επίπεδα και πάνω από τα νομοθετημένα όρια ποιότητας της ατμόσφαιρας. Η παρουσία τους συνδέεται με τις αστικές και βιομηχανικές δραστηριότητες της περιοχής αλλά ενδεχομένως και με διάχυτη περιφερειακή ρύπανση (είτε φυσικής, είτε ανθρωπογενούς προέλευσης). Για την ακριβή εκτίμηση της επίδρασης των διαφόρων πηγών στις συγκεντρώσεις PM₁₀, θα πρέπει να γίνει χημικός προσδιορισμός της σύστασης των σωματιδίων.

Συνολικά στην περίοδο μεταξύ των ετών 2001 και 2018 η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή των PM₁₀ κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 4μg/m³ (το έτος 2016) και 475 μg/m³ (το έτος 2010). Ο συνολικός μέσος όρος των ημερήσιων συγκεντρώσεων PM₁₀ για τα 18 έτη που έχει καταγράψει ο σταθμός μέτρησης είναι 39.51μg/m³, ενώ από το 2001 έως το 2008 ο ετήσιος μέσος όρος των αιωρούμενων σωματιδίων (PM₁₀) είναι υψηλότερος από τον συνολικό (στο 44% των ετών καταγραφής). Επιπλέον, η υψηλότερη ετήσια διασπορά των PM₁₀ καταγράφεται τα έτη 2010 (sd=±31.42μg/m³) και 2006 (sd=±28.28 μg/m³), ενώ η χαμηλότερη διασπορά παρατηρείται τα έτη 2011 (sd=12.03) και 2012 (sd=13.53)

Μεταξύ του 2001 και του 2018 οι τιμές σχετικά με την διεύθυνση του ανέμου (WD) κυμαίνονται μεταξύ 0° και 328°, ενώ η μέση τιμή είναι 141°. Εντούτοις, μεταξύ 2001-2006, αλλά και στα έτη 2008 και 2017 η μέση τιμή της WD είναι υψηλότερη από την συνολική (συνολικά στο 44% των ετών καταγραφής). Υψηλότερη ετήσια διασπορά εμφανίζεται τα έτη 2018 (sd=±112.62°), 2007 (sd=111.85), 2017 (sd=111), ενώ η χαμηλότερη είναι το 2005 (sd=61.91).

Η ταχύτητα του ανέμου (WS) μεταξύ των ετών 2001 και 2018 κυμαίνεται από 0m/s έως 24m/s και η μέση τιμή σε αυτή την χρονική περίοδο είναι 4.46m/s. Από το 2001 έως το 2006 αλλά και το 2016 ο ετήσιος μέσος όρος της WS είναι υψηλότερος από τον συνολικό (συνολικά στο 33% των ετών καταγραφής). Υψηλότερη ετήσια διασπορά εμφανίζεται τα έτη 2008 (sd=±3.20m/s), 2011 (sd=3.10), ενώ η χαμηλότερη είναι το 2003 (sd=1.90).

Η σχετική υγρασία (RH) μεταξύ των ετών 2001 και 2018 κυμαίνεται από 42% έως 100% και η μέση τιμή σε αυτή την χρονική περίοδο είναι 68.19%. Από το 2002 έως το 2006, το 2009, το 2011 και από το 2014 έως το 2016 ο ετήσιος μέσος όρος της RH είναι υψηλότερος από τον ολικό (συνολικά στο 55% των ετών καταγραφής). Υψηλότερη ετήσια διασπορά εμφανίζεται τα έτη 2001 (sd=±15.52%), 2006 (sd=15.13), ενώ η χαμηλότερη είναι το 2016 (sd=9.68).

Η μέση ετήσια θερμοκρασία (MEAN_T) μεταξύ των ετών 2001 και 2018 κυμαίνεται από -6.7°C έως 36.8°C και η μέση τιμή σε αυτή την χρονική περίοδο είναι 17.57°C. Από το 2007 έως το 2018, εκτός από το 2011, ο ετήσιος μέσος όρος της MEAN_T είναι υψηλότερος από τον ολικό (συνολικά στο 61% των ετών καταγραφής). Υψηλότερη ετήσια διασπορά εμφανίζεται τα έτη 2001 (sd=±8.51°C), 2012 (sd=8.42), ενώ η χαμηλότερη είναι το 2014 (sd=6.87).

Η μέση ετήσια τιμή των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ από το 2001 έως το 2018 τα σαββατοκύριακα είναι 39.51 μg/m³. Πιο συγκεκριμένα, η μέση τιμή τις ημέρες Σάββατο είναι 40.47 μg/m³ και υψηλότερη συγκριτικά με τις Κυριακές που είναι 38.54 μg/m³. Κατά την περίοδο μεταξύ 2001 και 2018 η συσχέτιση της μεταβλητής PM₁₀ με τις υπόλοιπες είναι ασθενής. Συγκεκριμένα, η συσχέτιση με την μέση θερμοκρασία είναι αρνητική και στατιστικά σημαντική (r=-0.187), θετική και στατιστικά σημαντική με την σχετική υγρασία (r=0.154), αρνητική και στατιστικά σημαντική με την ταχύτητα του ανέμου (r=-0.088), και στατιστικά μη σημαντική με την διεύθυνση του ανέμου (r=0.010, p>0.05).

Συνολικά μεταξύ 2001 και 2018 η συσχέτιση της μεταβλητής MEAN_T με τις υπόλοιπες είναι μέτρια προς ασθενής. Η συσχέτιση με την σχετική υγρασία είναι μέτρια, αρνητική και στατιστικά σημαντική (r=-0.573, p<0.01), ενώ με τα αιωρούμενα σωματίδια η συσχέτιση είναι ασθενής, αρνητική και στατιστικά σημαντική (r=-0.187, p<0.01). Η συσχέτιση με την διεύθυνση του ανέμου είναι επίσης ασθενής, αρνητική και στατιστικά σημαντική (r=-0.25, p<0.01) και η σχέση με την ταχύτητα του ανέμου δεν είναι στατιστικά σημαντική.

Στο σύνολο των δεδομένων για την περίοδο μεταξύ 2001-2018 η σχετική υγρασία εμφανίζει μέτρια, αρνητική και στατιστικά σημαντική συσχέτιση μόνο με την μέση θερμοκρασία (r=-0.573, p<0.01). Σχετικά με την ταχύτητα του ανέμου η συσχέτιση είναι ασθενής, αρνητική και στατιστικά σημαντική (r=-0.256, p<0.01), ενώ με τα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀ (r=0.154, p<0.01) και με την διεύθυνση του ανέμου (r=0.250, p<0.01) η συσχέτιση είναι ασθενής, θετική και στατιστικά σημαντική.

Συνολικά στην περίοδο μεταξύ 2001 και 2018 η συσχέτιση της ταχύτητας του ανέμου με τις υπόλοιπες μεταβλητές είναι ασθενής. Συγκεκριμένα, η σχέση με την σχετική υγρασία είναι ασθενής, αρνητική και στατιστικά σημαντική (r=-0.256, r<0.01), με την διεύθυνση του ανέμου είναι ασθενής, θετική και στατιστικά σημαντική (r=0.164, r<0.01), με τα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀ είναι ασθενής, αρνητική και στατιστικά σημαντική (r=-0.088, r<0.01), ενώ η συσχέτιση με την μέση θερμοκρασία δεν είναι στατιστικά σημαντική.

Στο σύνολο των δεδομένων της περιόδου μεταξύ 2001 και 2018 η συσχέτιση της μεταβλητής αναφορικά με την διεύθυνση του ανέμου και τις υπόλοιπες παραμέτρους είναι

ασθενής. Ειδικότερα, η σχέση με την μέση θερμοκρασία είναι ασθενής, αρνητική και στατιστικά σημαντική ($r=-0.250$, $p<0.01$). Η συσχέτιση με την ταχύτητα του ανέμου ($r=0.164$, $p<0.01$) και την σχετική υγρασία ($r=0.109$, $p<0.01$) είναι ασθενής, θετική και στατιστικά σημαντική. Τέλος, η σχέση μεταξύ της διεύθυνσης του ανέμου και των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} δεν είναι στατιστικά σημαντική.

Ο υψηλότερος αριθμός στις υπερβάσεις καταγράφεται τα έτη 2002, με $258\mu\text{g}/\text{m}^3$, και το 2007, με $256\mu\text{g}/\text{m}^3$. Μεταξύ 2004 και 2007 ο αριθμός αυτός παρουσιάζει σταδιακή αύξηση της τάξης του 148%. Αντίθετα οι υπερβάσεις μετά το 2007 μειώνονται έως και το 2011 κατά -178%. Στην συνέχεια μεταξύ 2011 και 2014 ο συνολικός αριθμός των υπερβάσεων αυξάνεται κατά 148%. Από το 2014 έως και το 2016 καταγράφεται μείωση στις υπερβάσεις κατά -134%, ενώ από το 2016 και έως το 2017 σημειώνεται αύξηση κατά 161%. Τα τελευταία δύο έτη και μεταξύ 2017 και 2018 υπάρχει μικρή μείωση στις υπερβάσεις που δεν ξεπερνά το 5%.

Τα επίπεδα των συγκεντρώσεων των PM_{10} παραμένουν υψηλά πάνω από τις οριακές τιμές της Ε.Ε., τόσο σε ημερήσια, όσο και σε ετήσια βάση, στο σύνολο της εξεταζόμενης χρονικής περιόδου. Αυτό μπορεί να αποδοθεί σε ανθρωπογενείς (λειτουργία βιομηχανίας και κυκλοφορία αυτοκινήτων) και σε φυσικές πηγές (επεισόδια μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα) ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Οι συγκεντρώσεις PM_{10} που καταγράφηκαν υποστηρίζουν τα ευρήματα προηγούμενων μελετών στην περιοχή οι οποίες αναδεικνύουν μια σοβαρή επιβάρυνση της ατμόσφαιρας από αιωρούμενα σωματίδια. Οι μέσες εποχικές τιμές τόσο του οργανικού όσο και του στοιχειακού άνθρακα είναι συγκρίσιμες με τα επίπεδα τιμών που αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία από μετρήσεις σε άλλες ευρωπαϊκές πόλεις.

Οι εποχικές τιμές του λόγου OC/EC (οργανικού άνθρακα προς ανόργανο άνθρακα) τόσο για τα PM_{10} , όσο και τα $PM_{2.5}$ δείχνουν μια σαφή υπεροχή του οργανικού έναντι του στοιχειακού άνθρακα, γεγονός που αναδεικνύει πιθανό δευτερογενή σχηματισμό οργανικών αερολυμάτων. Οι τιμές του λόγου είναι υψηλότερες κατά τη διάρκεια του χειμώνα, και στα δύο κλάσματα, γεγονός που αποτελεί ένδειξη πιθανών αλλαγών στις πηγές εκπομπής και χρήζει περαιτέρω διερεύνηση.

Ασβέστιο, κάλιο, σίδηρος και πυρίτιο φαίνεται να είναι βασικά στοιχεία που ανιχνεύονται στην ευρύτερη περιοχή. Ψευδάργυρος και μόλυβδος παρουσίασαν σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις σε σύγκριση με άλλα αστικά περιβάλλοντα και πιθανώς να σχετίζονται με μεταλλουργικές δραστηριότητες όπως η φορτοεκφόρτωση σκραπ. Μαγνήσιο, άργιλος, πυρίτιο, τιτάνιο, μαγγάνιο, σίδηρος και στρόντιο παρουσίασαν υψηλότερες συγκεντρώσεις κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου και μπορεί να αποδοθούν σε αυξημένη επαναιώρηση σκόνης.

Βανάδιο, νικέλιο, χαλκός, ψευδάργυρος, σελήνιο, αντιμόνιο, βάριο και μόλυβδος παρουσίασαν υψηλότερες συγκεντρώσεις κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου που υποδηλώνει αυξημένη ανθρωπογενή δραστηριότητα, όπως κυκλοφορία αυτοκινήτων και κεντρικές θερμάνσεις. Θειικά, νιτρικά ιόντα, ιόντα αμμωνίου και ασβεστίου ήταν σε σημαντικές ποσότητες κατά τη χημική ανάλυση των συγκεντρώσεων PM_{10} . Θειικά, νιτρικά ιόντα, ιόντα αμμωνίου ήταν σε σημαντικές ποσότητες κατά τη χημική ανάλυση των συγκεντρώσεων $PM_{2.5}$. Παρατηρήθηκαν επίσης ιόντα νατρίου και χλωρίου και στα δύο κλάσματα

Τις απογευματινές ώρες, οι συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων ήταν υψηλότερες από τις πρωινές, σε όλες τις θέσεις μέτρησης. Το γεγονός αυτό συνδέεται κυρίως με τη λειτουργία των συστημάτων οικιακής θέρμανσης και δευτερευόντως στην κυκλοφορία. Τα Σαββατοκύριακα οι τιμές των μετρήσεων είναι υψηλότερες, κυρίως τις απογευματινές ώρες, σε σχέση με τις υπόλοιπες ημέρες της εβδομάδας. Το γεγονός αυτό ενδεχομένως να οφείλεται κυρίως στην οικιακή θέρμανση καθώς τα σαββατοκύριακα δεν υπάρχει εμπορική δραστηριότητα και η κυκλοφορία οχημάτων είναι μειωμένη.

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε σημεία που βρίσκονται μέσα στο κέντρο της πόλης του Βόλου κατέγραψαν υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων, σε αντίθεση με τα σημεία που βρίσκονται περιφερειακά από αυτό. Από τα αποτελέσματα επιβεβαιώνεται ότι πολύ καθοριστικό παράγοντα στη διαμόρφωση των επιπέδων συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων έχει τόσο η τιμή της ταχύτητας του πνέοντος ανέμου, όσο και η διεύθυνση πνοής του. Πιο συγκεκριμένα, όταν η επικρατούσα διεύθυνση είναι προς το βορειοανατολικό τομέα, η ποιότητα του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος της πόλης του Βόλου, όσον αφορά τη σωματιδιακή ρύπανση, είναι άριστη. Αντίθετα, τις ημέρες που επικρατούν βορειοδυτικοί άνεμοι ή άπνοια, οι τιμές συγκέντρωσης των σωματιδίων είναι υψηλότερες. Επίσης εμφανίζεται ανά διαστήματα και το φαινόμενο της αιθαλομίχλης στην ατμόσφαιρα της πόλης, με αποτέλεσμα τον πλήρη υποβιβασμό της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος της πόλης. Το γεγονός αυτό συνδέεται με την άπνοια που επικρατεί, σε συνδυασμό βέβαια με την ενδεχομένως αυξημένη λειτουργία της οικιακής θέρμανσης, λόγω χαμηλών θερμοκρασιών.

Η χρήση του μοντέλου AirQ+ έδωσε μία εκτίμηση των περιστατικών χρόνιας βρογχίτιδας σε ενήλικες που αποδίδονται στην έκθεση στα PM_{10} στην πόλη του Βόλου κατά τη 18ετία 2001-2018. Τα αποτελέσματα έδειξαν ισχυρή συσχέτιση μεταξύ του CBI με τις υπερβάσεις του

ορίου συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} . Ο ετήσιος αριθμός υπερβάσεων του ορίου συγκέντρωσης των PM_{10} (μέση ημερήσια συγκέντρωση: $[PM_{10}] \geq 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) που υπολογίστηκε για τον εξεταζόμενο σταθμό παρακολούθησης στο Βόλο παρουσίασε πτωτική τάση. Το 73.3% της διακύμανσης ($R^2=0.733$) των υπερβάσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} ανά έτος μπορεί να περιγραφεί με γραμμική συσχέτιση με έντονη ετήσια πτωτική τάση. Επιπλέον, ο συνολικός ετήσιος αριθμός CBI σε ενήλικες έναντι του συνολικού αριθμού ημερών που υπερβαίνουν το όριο συγκέντρωσης των PM_{10} ($[PM_{10}] \geq 50\mu\text{g}/\text{m}^3$) για κάθε έτος (2001-2018) από τον εξεταζόμενο σταθμό παρακολούθησης παρουσιάζει ισχυρή γραμμική συσχέτιση μεταξύ του ετήσιου αριθμού CBI και των υπερβάσεων των PM_{10} . Αυτή η γραμμική συσχέτιση μπορεί να εξηγήσει το 89.4 % ($R^2=0.894$) της διακύμανσης των δεδομένων.

Σε προηγούμενη μελέτη (Moustris et al. 2016), σχετικά με τις επιπτώσεις στην υγεία των PM_{10} στην πόλη του Βόλου κατά την πενταετία 2007-2011 βρέθηκε ότι το 90% του αριθμού των περιπτώσεων εισαγωγής στο νοσοκομείο από αναπνευστικά προβλήματα (HARD) παρουσιάζεται κατά τις ημέρες όπου η μέση ημερήσια συγκέντρωση PM_{10} είναι έως και $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Τέλος, παρατηρήθηκε αύξηση του αριθμού των περιπτώσεων εισαγωγής στο νοσοκομείο λόγω αναπνευστικών προβλημάτων. Αυτή η υπέρβαση ήταν περίπου 40 άτομα κατά μέσο όρο, σε σύγκριση με τον ετήσιο αριθμό των κρουσμάτων HARD, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (ΠΟΥ) που είναι 1.575 άτομα συνολικά για τους 125.000 κατοίκους του Βόλου. Αυτό αντιστοιχεί σε αύξηση 2.5% σε σχέση με τον γενικό ετήσιο αριθμό των κρουσμάτων HARD στο Βόλο.

Η μέση εποχιακή διακύμανση της εξεταζόμενης συγκέντρωσης ατμοσφαιρικών ρύπων παρουσιάζει ελάχιστο κατά τη θερμή περίοδο του έτους και μέγιστο κατά την ψυχρή περίοδο. Παρατηρείται ένα έντονο ημερήσιο μοτίβο στην πόλη του Βόλου, ενώ τοπικές πηγές ρύπανσης παίζουν ρόλο στις διαφορές στο εύρος της ημερήσιας διακύμανσης που παρατηρείται κατά την ψυχρή και θερμή περίοδο του έτους. Οι μέγιστες μέσες ημερήσιες τιμές συγκέντρωσης PM_{10} συνδέονται έντονα με τις κυρίαρχες κατευθύνσεις ανέμου που είναι ο βορειοδυτικός κατά την ψυχρή και η νότια κατεύθυνση κατά τη θερμή περίοδο του έτους.

Σε αυτό το σημείο θα γίνει μια παράθεση ενδεικτικών δράσεων για την αντιμετώπιση του προβλήματος των αιωρούμενων σωματιδίων στο Βόλο και στη γενικότερη βελτίωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας της πόλης. Οι γεωγραφικές και μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν στη πόλη του Βόλου επιβαρύνουν το πρόβλημα της ρύπανσης από τα αιωρούμενα σωματίδια.

Η αυξημένη κίνηση των οχημάτων αποτελεί μία από τις πηγές εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων στο Βόλο και γενικότερα στα μεγάλα αστικά κέντρα. Θα πρέπει λοιπόν, οι αρμόδιες αρχές να λάβουν μέτρα για τη μείωση των εκπομπών από τα οχήματα. Αυτό θα πρέπει να πραγματοποιηθεί με μείωση της κυκλοφορίας, ιδιαίτερα στο κέντρο της πόλης και απαγόρευσης διέλευσης από αυτό φορτηγών και προώθησή τους προς την περιφερειακή οδό στα όρια της πόλης. Επίσης θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη βαρύτητα στην ολοκλήρωση της περιφερειακής οδού ώστε να αποσυμφορηθεί ο κεντρικός ιστός της πόλης από μεγάλα οχήματα. Πρέπει να γίνει προσπάθεια βελτίωσης των μέσων μαζικής μεταφοράς όπως για παράδειγμα με την κατασκευή και πιστή τήρηση λεωφορειολωρίδων καθώς και τη σωστή σχεδίαση των δρομολογίων του αστικού ΚΤΕΛ Βόλου για να υπάρχει ευρεία γεωγραφική κάλυψη. Ένας άλλος τρόπος μείωσης των εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων είναι η βελτίωση των καυσίμων και των συνθηκών καύσης στις μηχανές των οχημάτων. Αυτό αφορά κυρίως στα επαγγελματικά αυτοκίνητα, δηλαδή φορτηγά, ταξί, λεωφορεία τα οποία χρησιμοποιούν ντίζελ ως καύσιμο καθώς οι εκπομπές σωματιδίων από κινητήρες ντίζελ είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τους βενζινοκινητήρες. Επίσης θα πρέπει να υπάρχει καλύτερη επιθεώρηση και έλεγχος των αυτοκινήτων καθώς σωματίδια εκπέμπονται ως αποτέλεσμα της φθοράς των ελαστικών και των φρένων.

Οι κακοτεχνίες και η κακή κατάσταση του οδικού δικτύου και κυρίως βασικών κεντρικών δρόμων, όπου καθημερινά διέρχονται πολυάριθμα οχήματα, δημιουργούν σοβαρό πρόβλημα καθώς επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα με σωματίδια που προέρχονται από επαναιώρηση στο έδαφος. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί με τη βελτίωση των ασφαλτοστρώσεων των δρόμων και την όσο το δυνατόν καλύτερη συντήρηση τόσο αυτών όσο και των πεζοδρομίων που βρίσκονται εκατέρωθεν ώστε να απομακρύνεται η σκόνη και να μην τίθεται θέμα επαναιώρησής της από τα διερχόμενα οχήματα.

Η βιομηχανία θα πρέπει να βρίσκεται κάτω από το διαρκή έλεγχο της πολιτείας κυρίως μέσω των τήρησης των Περιβαλλοντικών Όρων. Η Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ) είναι υποχρέωση της πολιτείας και με βάση την κείμενη νομοθεσία κάθε φορά που λήγει η ΕΠΟ θα πρέπει να συντάσσεται νέα Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ) η οποία θα ελέγχεται διεξοδικά από την πολιτεία έτσι ώστε να αποκαλύπτεται κατά πόσο αυτή βασίζεται σε ενέργειες και τεχνολογίες φιλικές προς το περιβάλλον.

Μια άλλη σημαντική πηγή αιωρούμενων σωματιδίων στο Βόλο είναι και η καύση πετρελαίου για κεντρική θέρμανση. Η λειτουργία των εγκαταστάσεων αυτών είναι συνήθως πολύ κακή καθώς λειτουργούν με χαμηλό βαθμό απόδοσης και παράγουν μεγάλες ποσότητες καπνού και αιωρούμενων σωματιδίων. Για αυτό το λόγο προτείνεται η συστηματική ρύθμιση

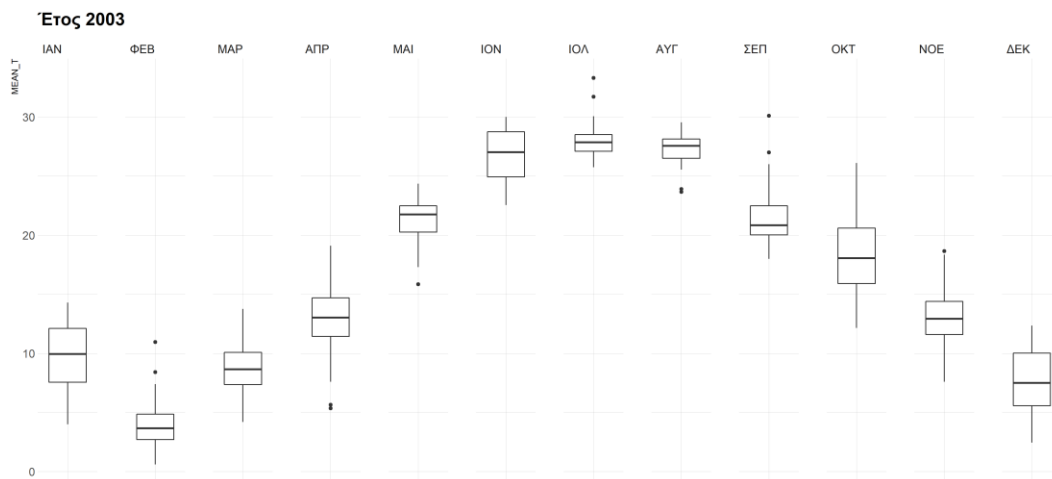
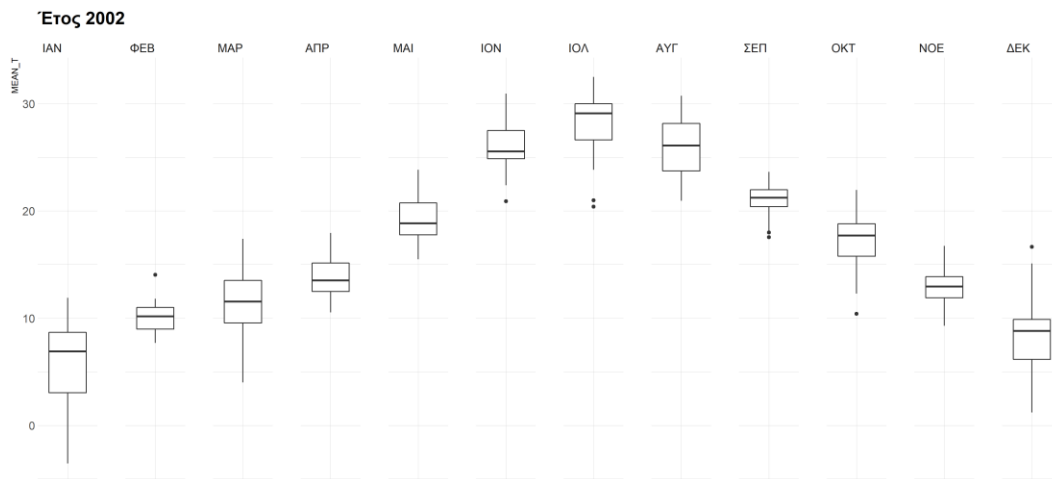
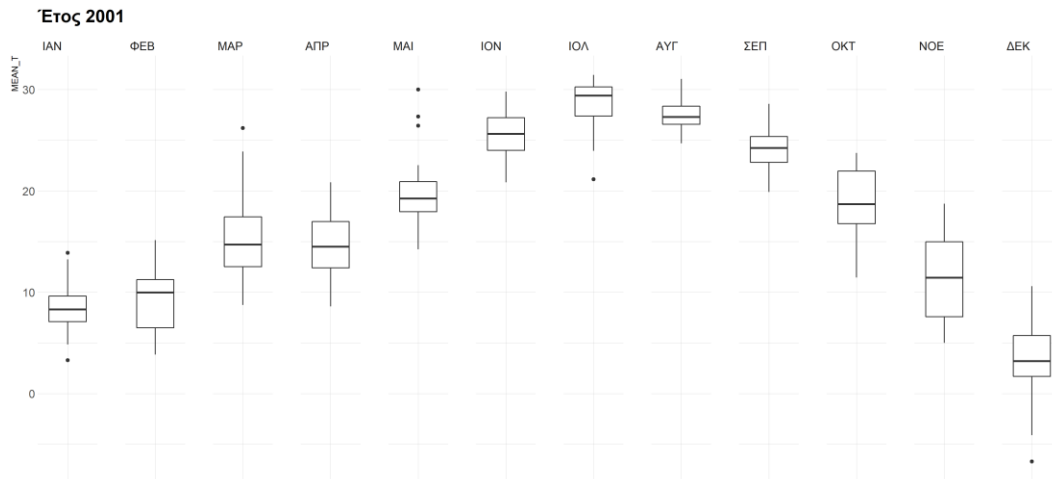
και συντήρηση των καυστήρων κεντρικής θέρμανσης. Επίσης, λόγω της οικονομικής συγκυρίας που επικρατεί στη χώρα μας τα τελευταία χρόνια και λόγω της υψηλής τιμής του πετρελαίου, έχει γίνει στροφή στα τζάκια και στις σόμπες με καυσόξυλα για οικονομικότερη θέρμανση. Η καύση όμως κακής ποιότητας καυσόξυλων, προϊόντων βιομάζας και διάφορων παλαιών ξύλινων ή πλαστικών υλικών, δημιουργεί προβλήματα ρύπανσης από αιωρούμενα σωματίδια και άλλους ρύπους, με αρκετά επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Έτσι λοιπόν προτείνεται η χρήση φυσικού αερίου για θέρμανση το οποίο είναι πιο φιλικό προς το περιβάλλον.

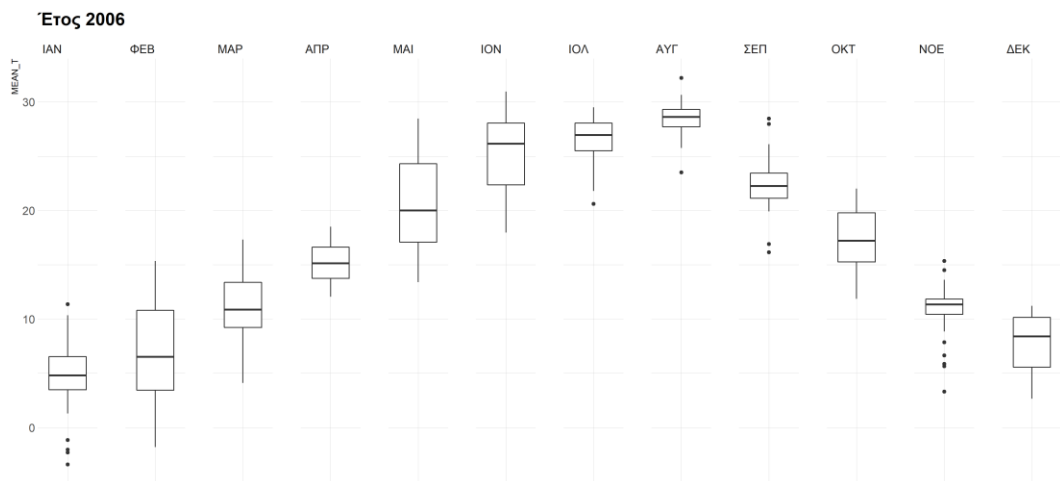
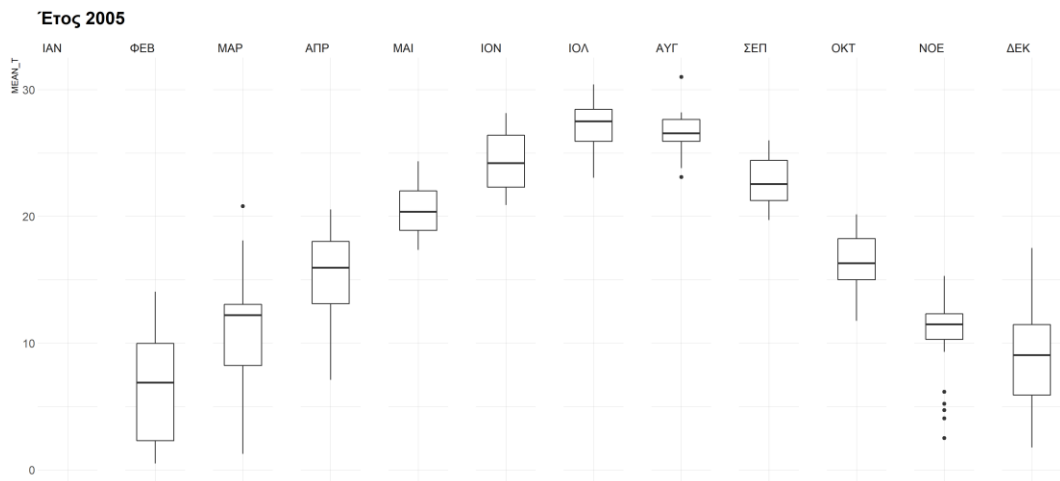
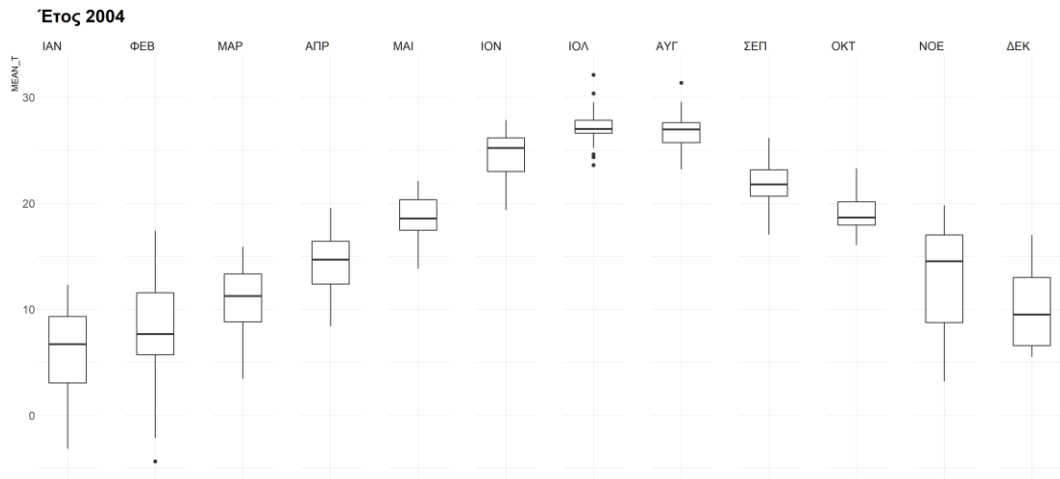
Τέλος, κάποιες άλλες συμπληρωματικές δράσεις για την μείωση των εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων είναι: α) ενημέρωση των πολιτών για αποτροπή ανεξέλεγκτης καύσης απορριμμάτων και γενικότερα σε θέματα ρύπανσης, β) παρότρυνση των πολιτών για τη χρήση των μέσων μαζικής μεταφοράς, γ) συστηματικός έλεγχος των εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων και των ρύπων, δ) εκσυγχρονισμός των σταθμών παρακολούθησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης, ε) σχεδιασμός έκτακτων μέτρων για επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης, στ) κυρώσεις σε περιπτώσεις μη συμμόρφωσης με τους κανόνες.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

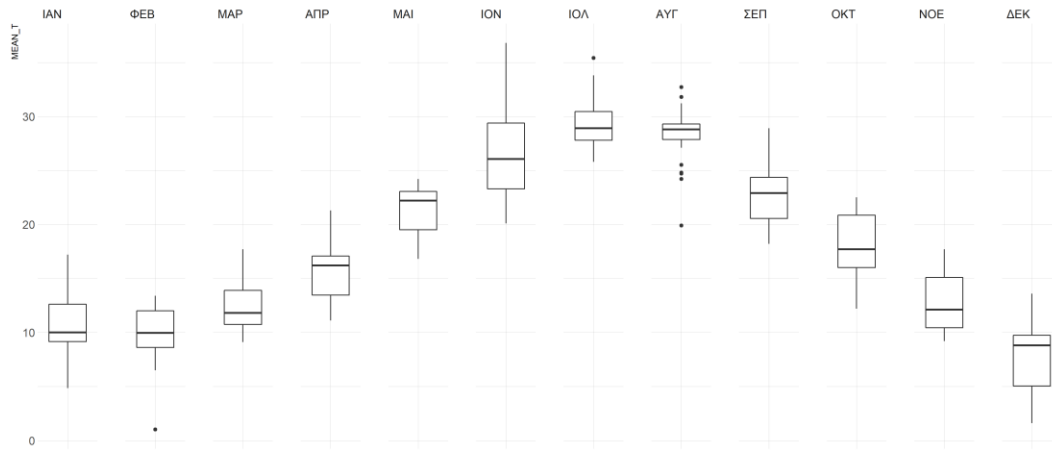
Τα παρακάτω σχήματα αποτελούν ουσιαστικά μια σειρά από θηκογράμματα (boxplots), κάθε ένα από τα οποία εμφανίζει την κατανομή των ημερήσιων συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{10}), της σχετικής υγρασίας (RH), της μέσης θερμοκρασίας (MEAN_T), της διεύθυνσης (WD) και της ταχύτητας (WS) του ανέμου κάθε μήνα και για κάθε έτος καταγραφής.

Κάθε θηκόγραμμα έχει τα δικά του χαρακτηριστικά όπως είναι η διάμεσος (μαύρη γραμμή μεγαλύτερου πάχους), το ενδοτεταρτομοριακό πλάτος και οι ακραίες τιμές της κατανομής (μαύρες κουκίδες). Ουσιαστικά αποκαλύπτει την χρονική διακύμανση των ημερήσιων τιμών για την κάθε μεταβλητή κατά τη διάρκεια ενός μήνα, αλλά πέρα από αυτό αποκαλύπτει και τις ακραίες τιμές που τυχόν υπάρχουν.

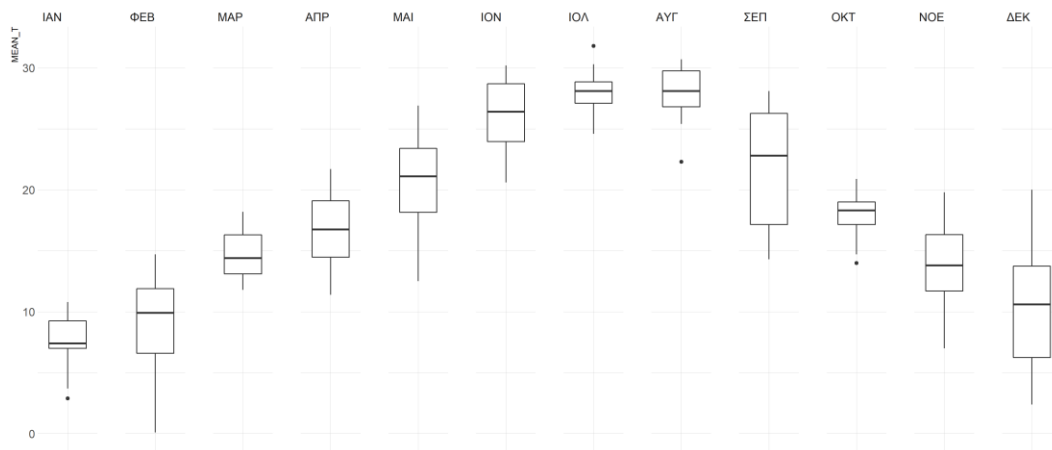




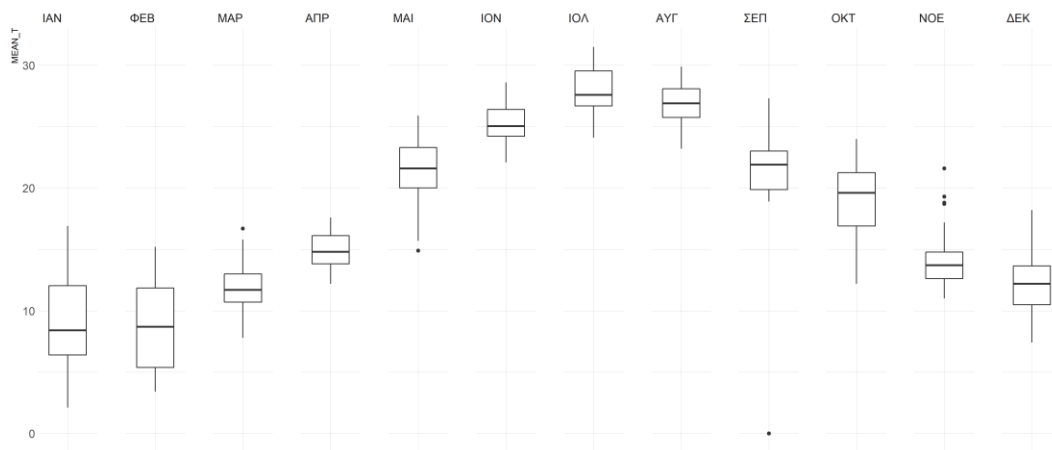
Έτος 2007

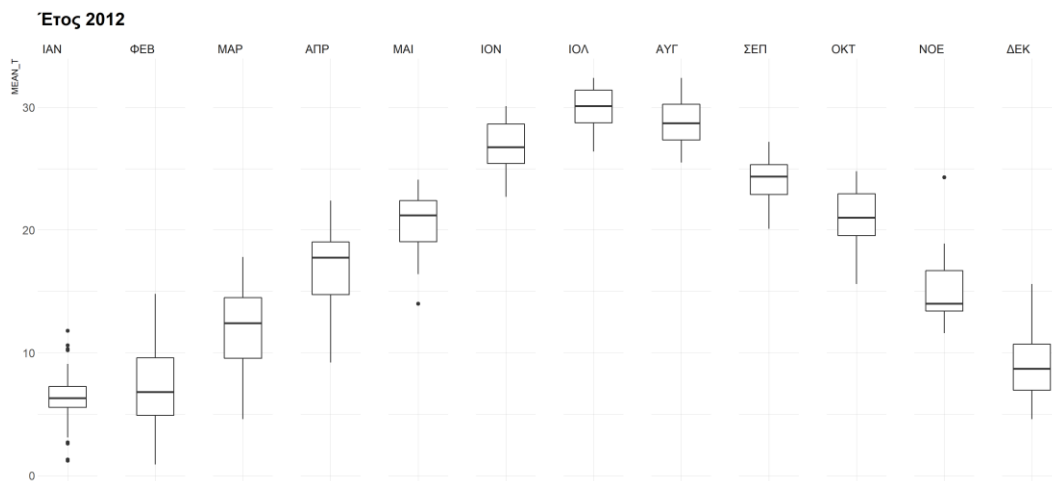
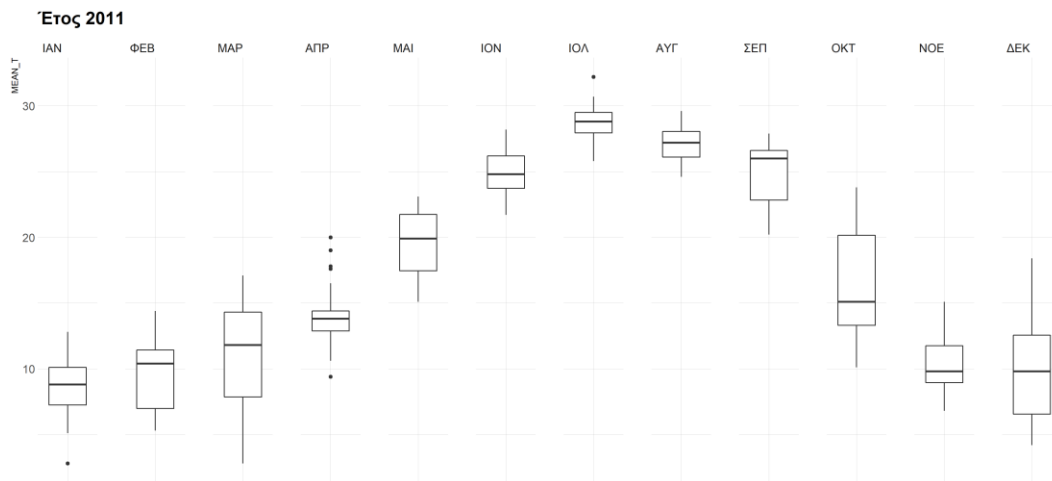
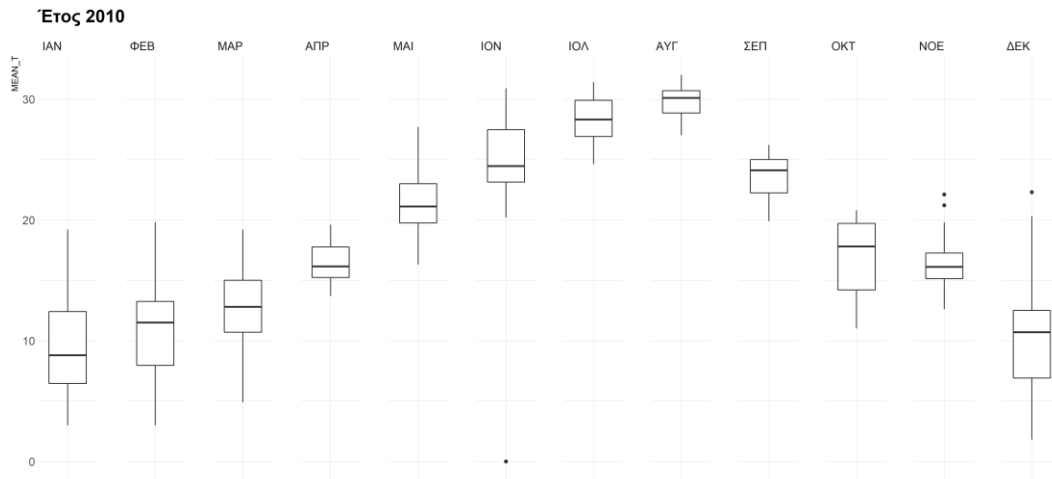


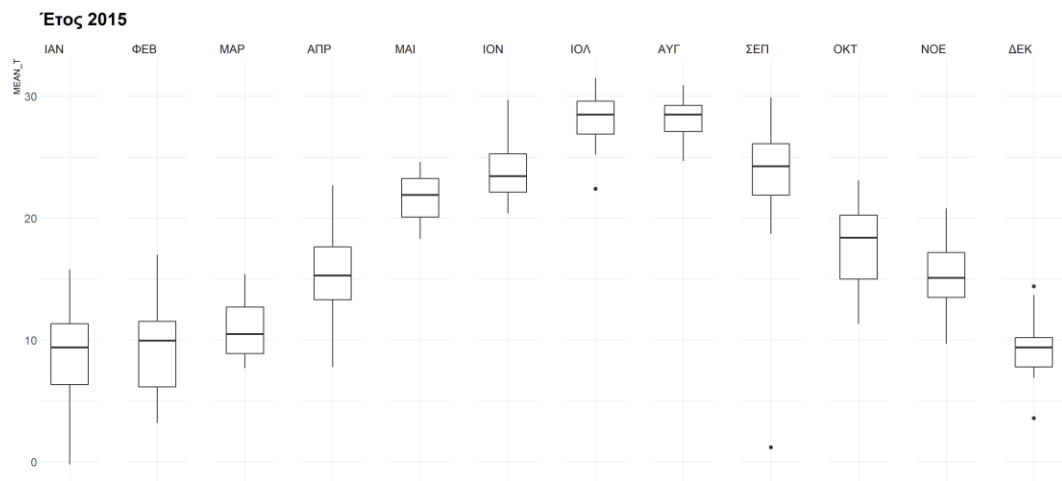
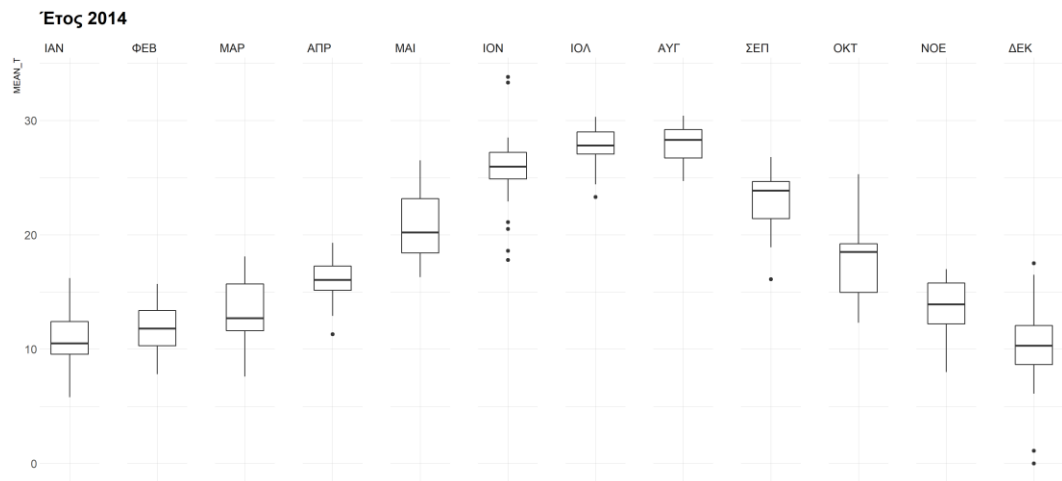
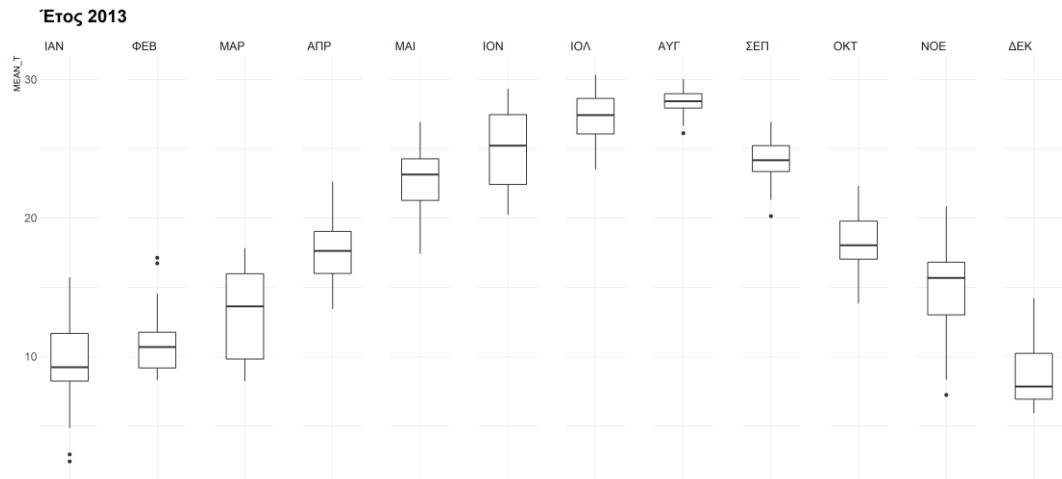
Έτος 2008

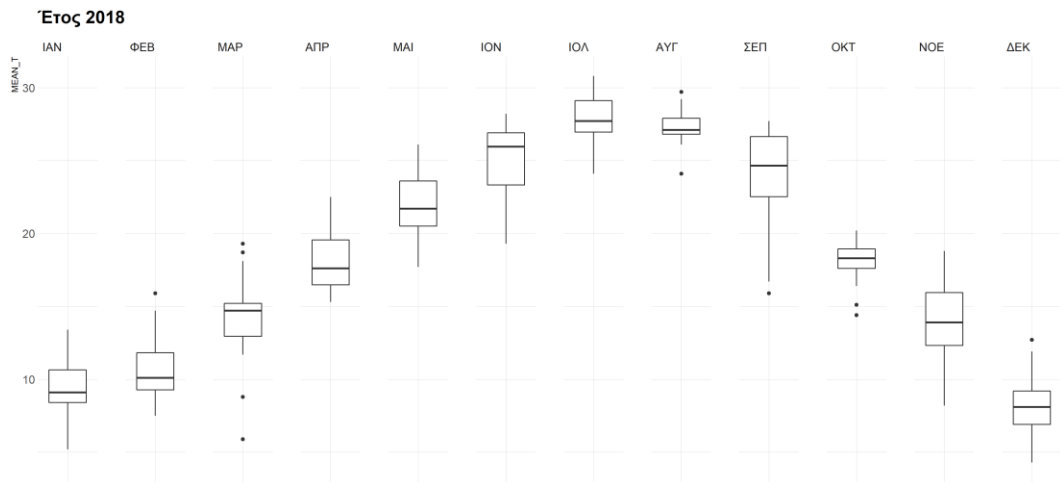
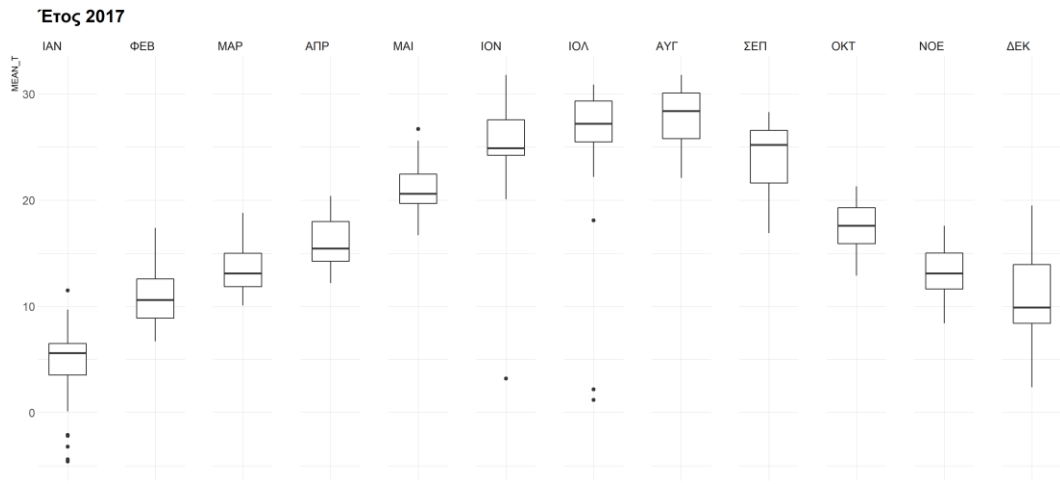
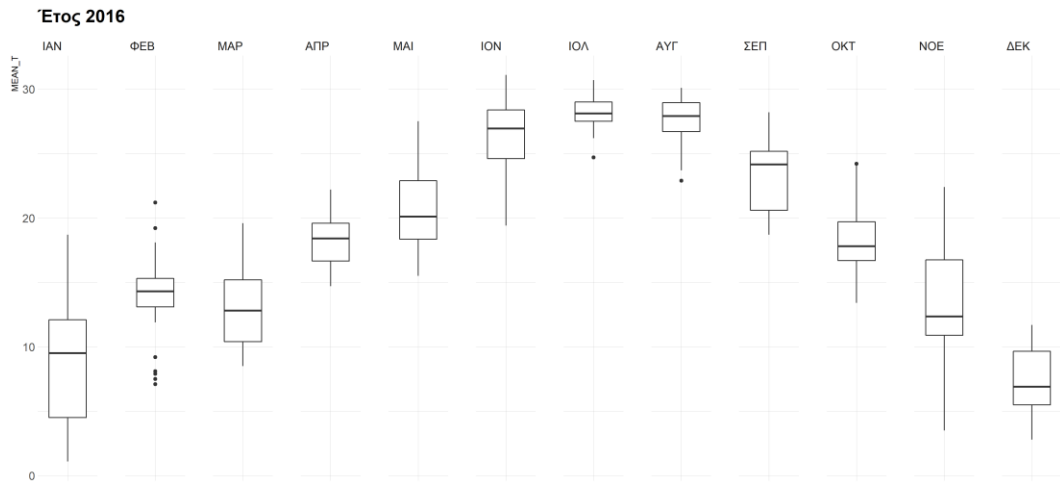


Έτος 2009

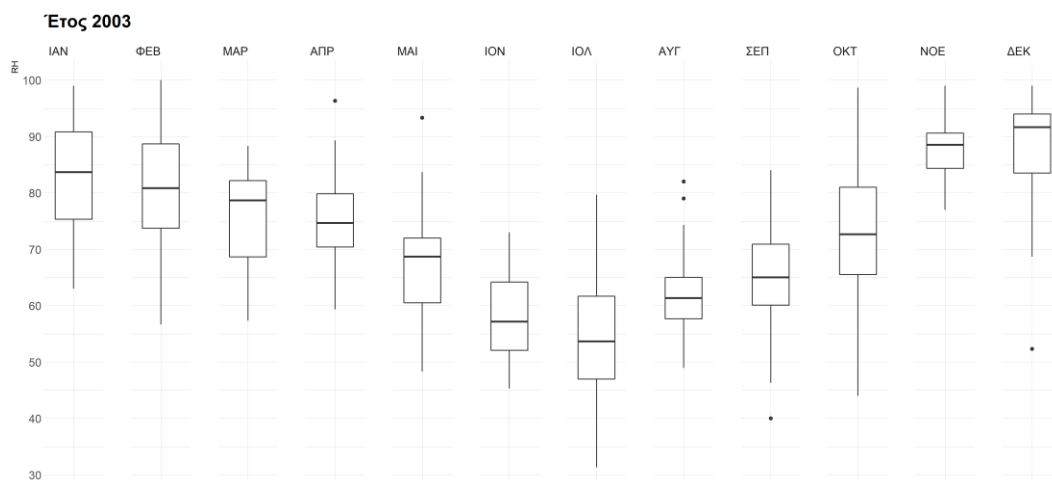
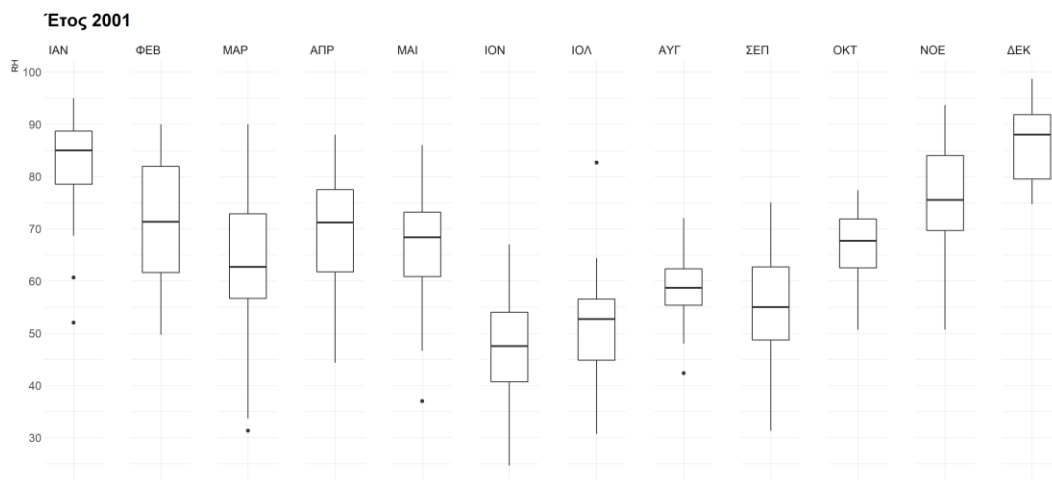




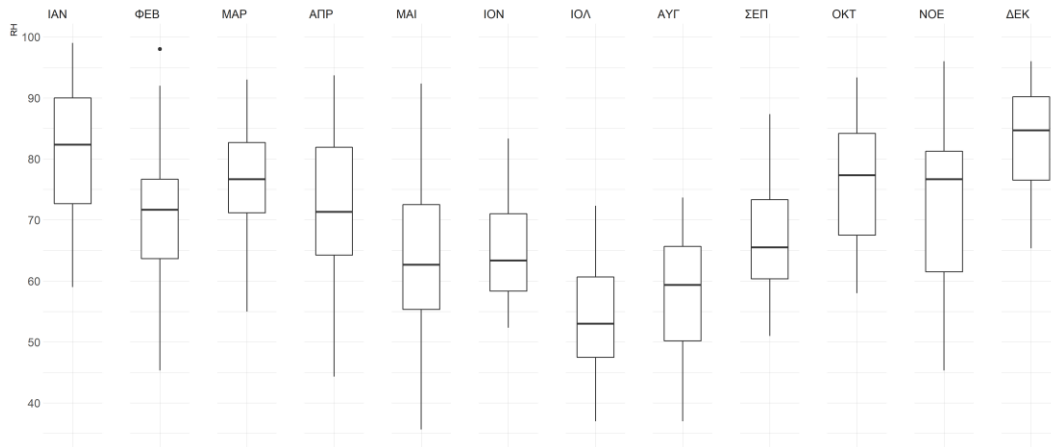




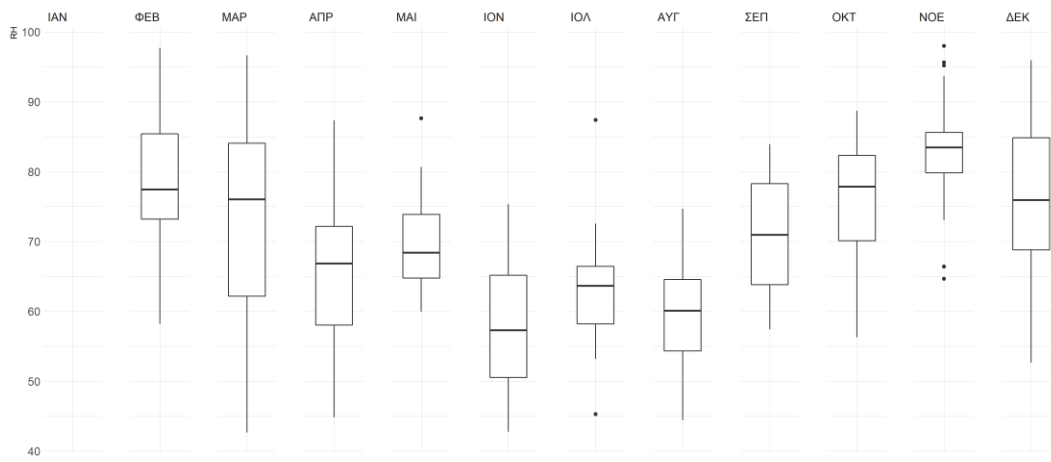
Στα παρακάτω σχήματα φαίνονται τα boxplots της μέσης ημερήσιας τιμής της σχετικής υγρασίας για τα έτη 2001 – 2018.



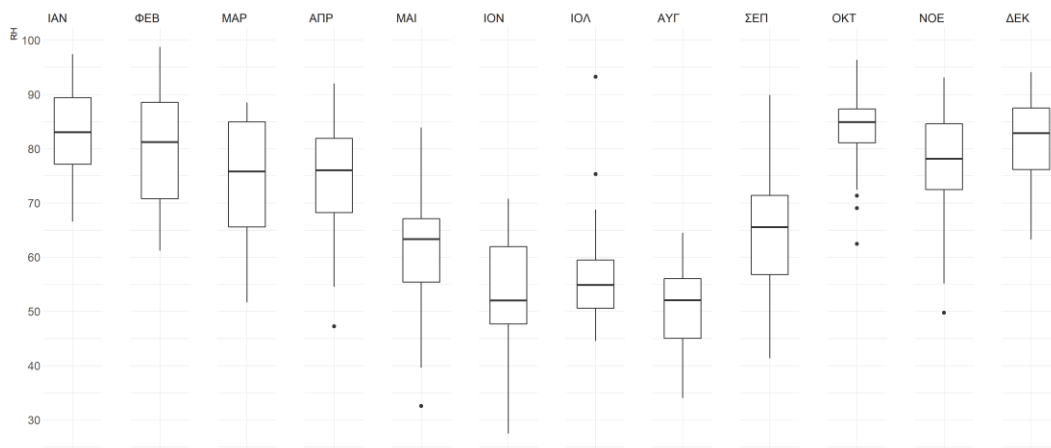
Έτος 2004

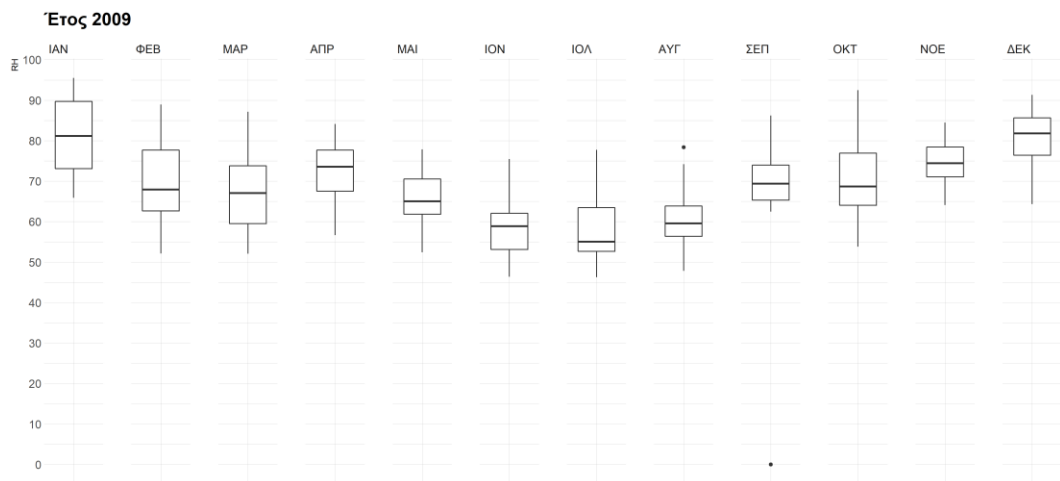
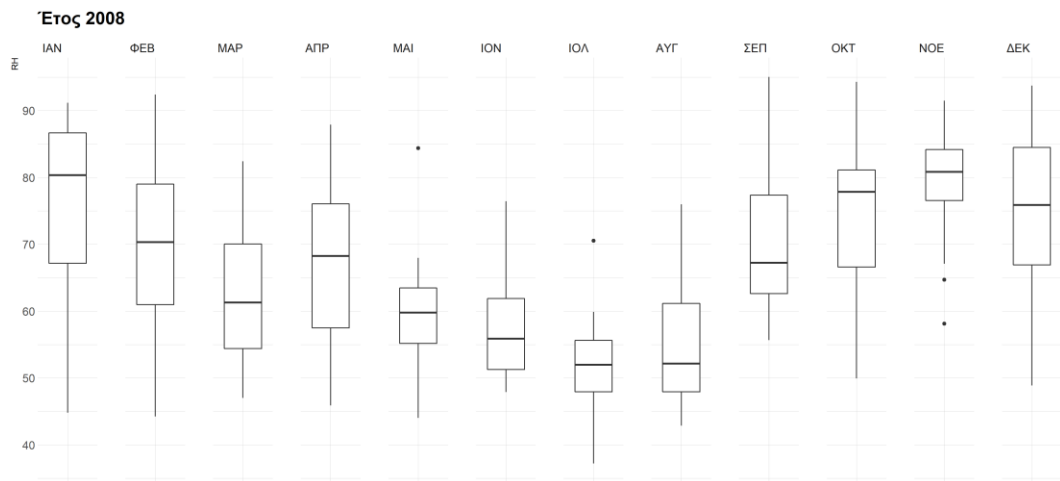
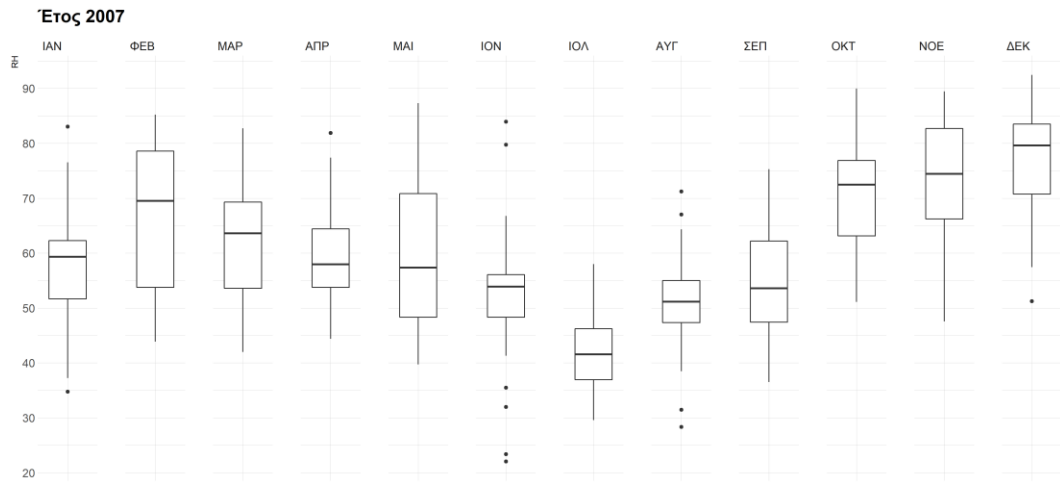


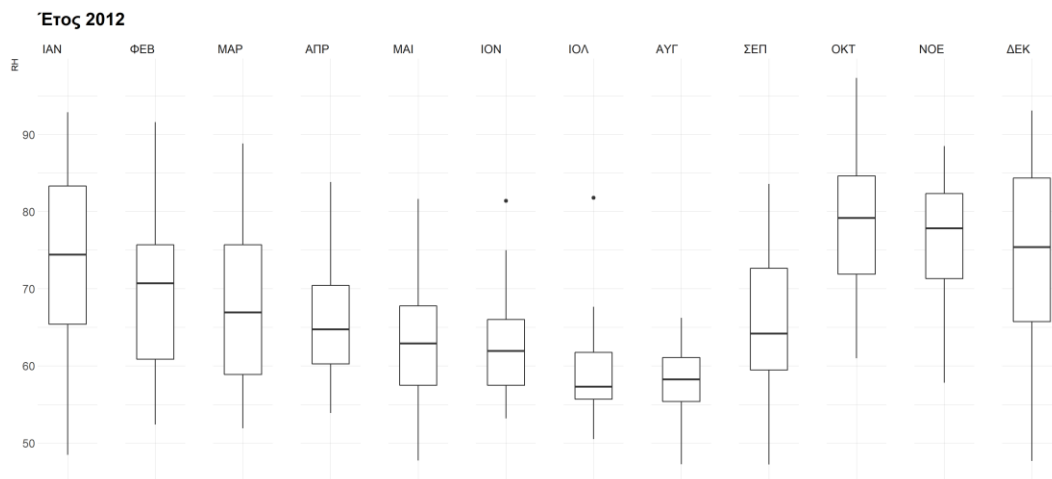
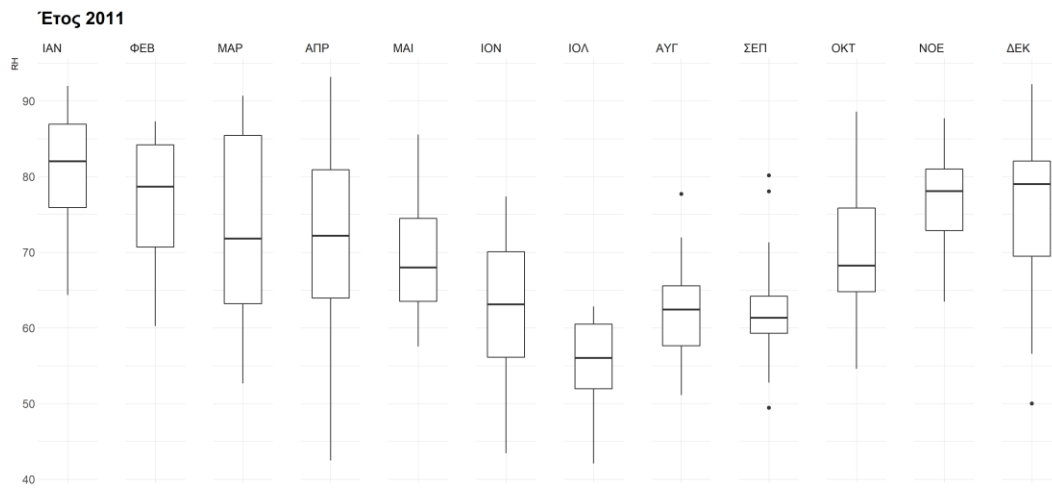
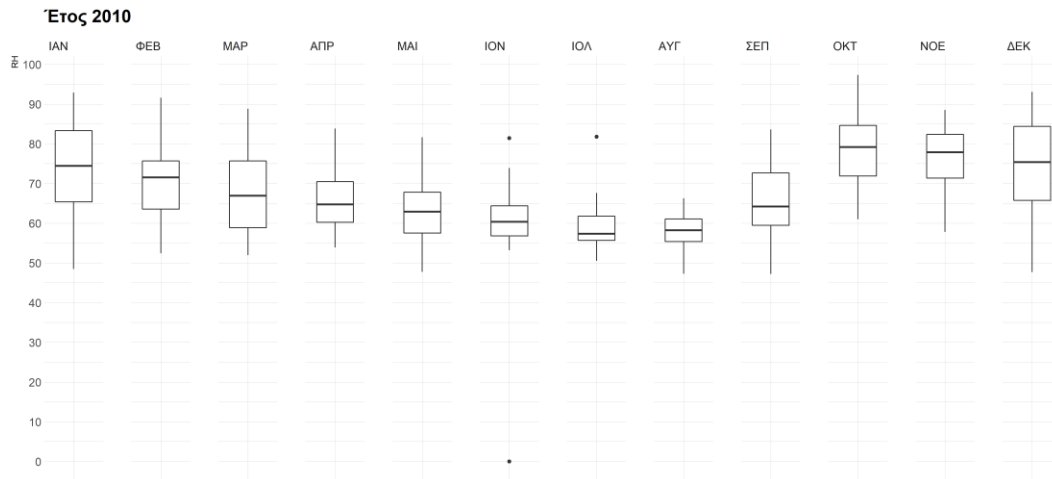
Έτος 2005



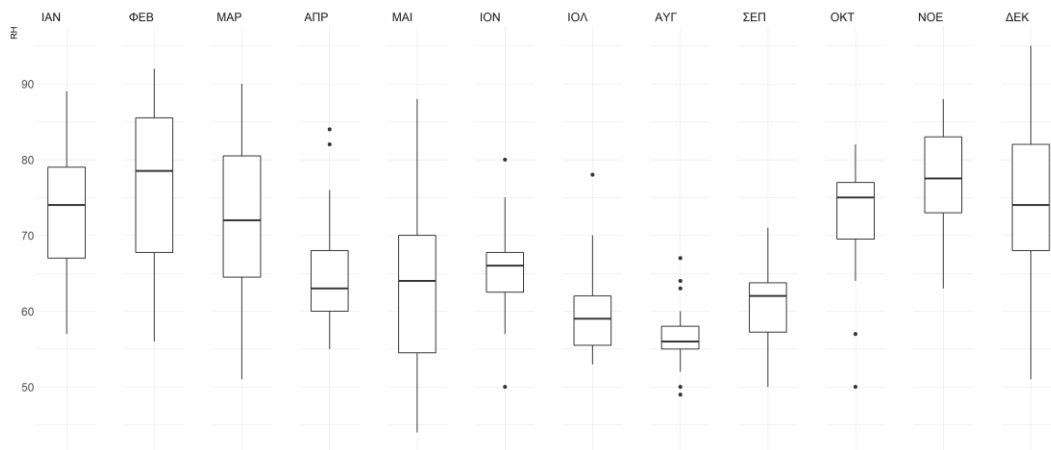
Έτος 2006



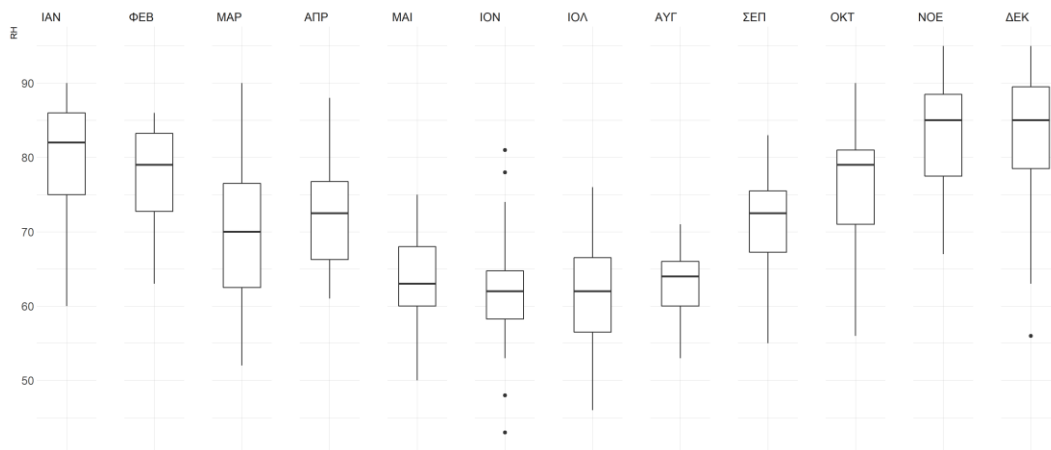




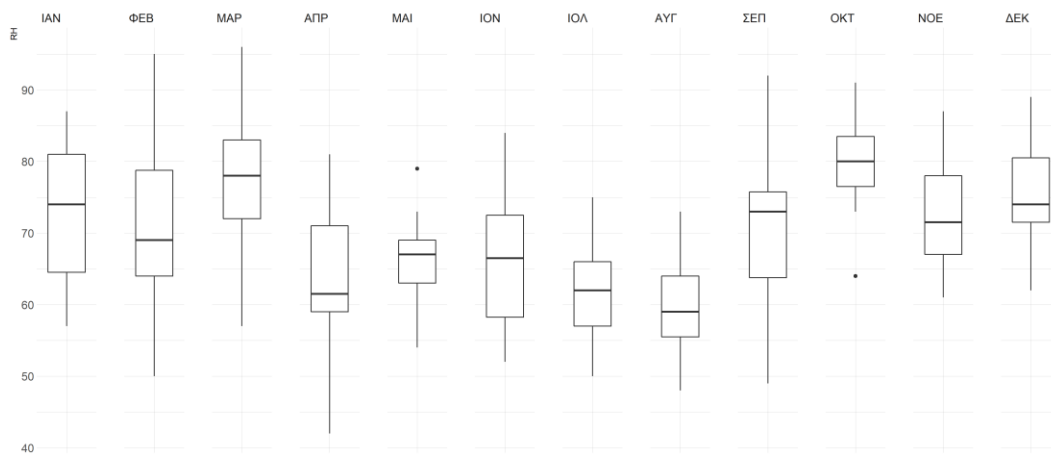
Έτος 2013



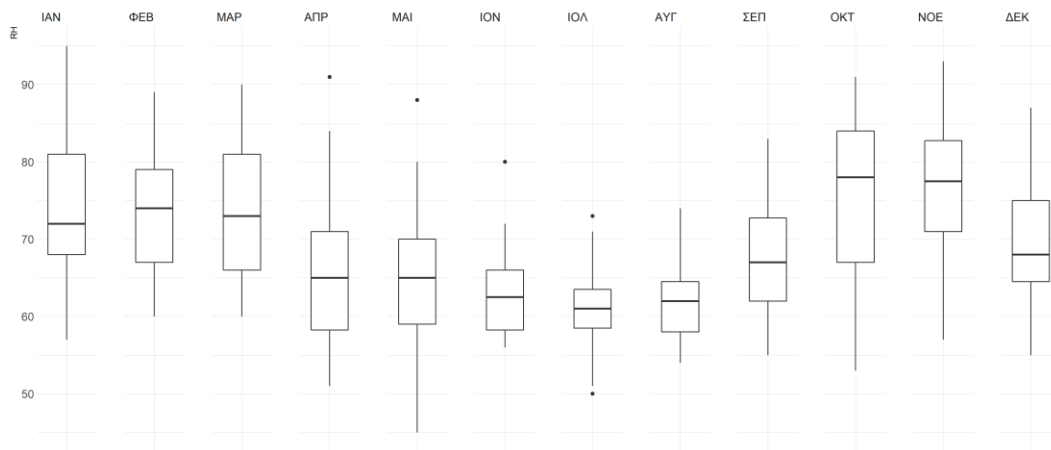
Έτος 2014



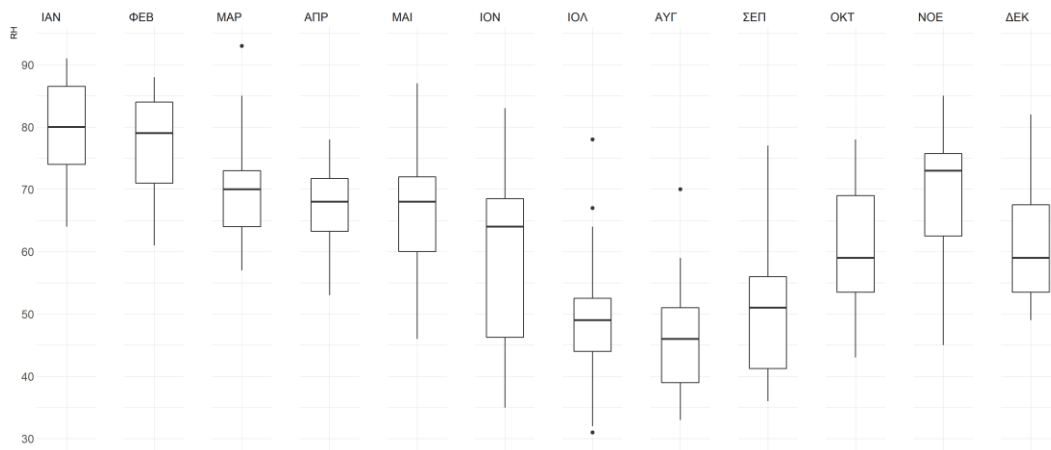
Έτος 2015



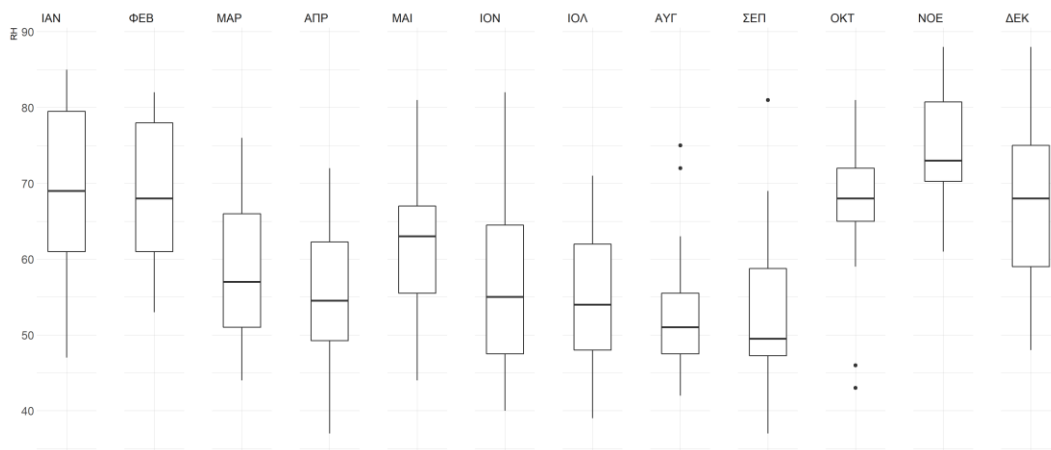
Έτος 2016



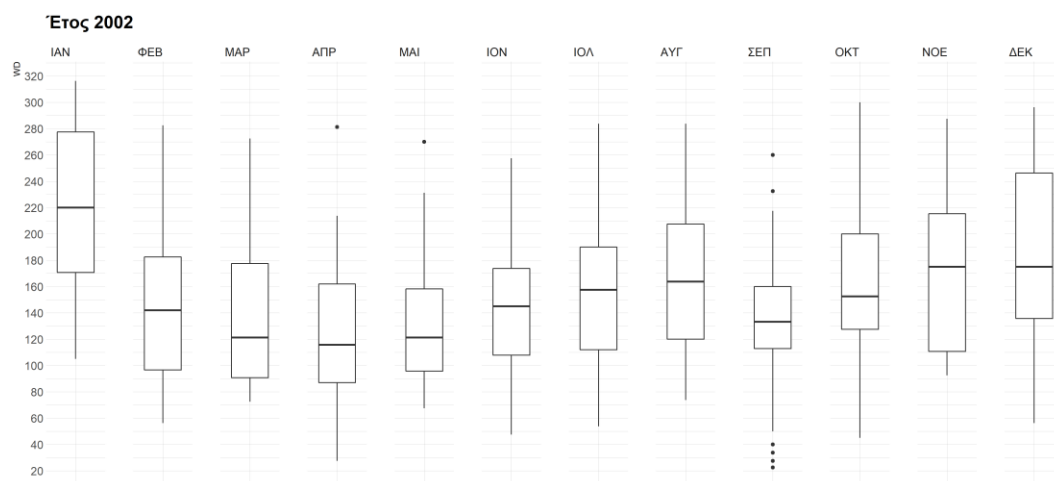
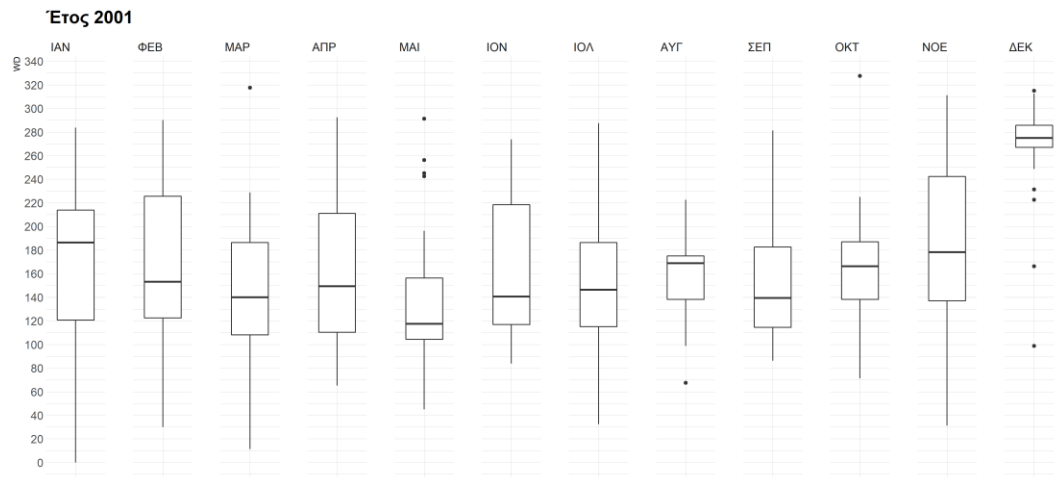
Έτος 2017



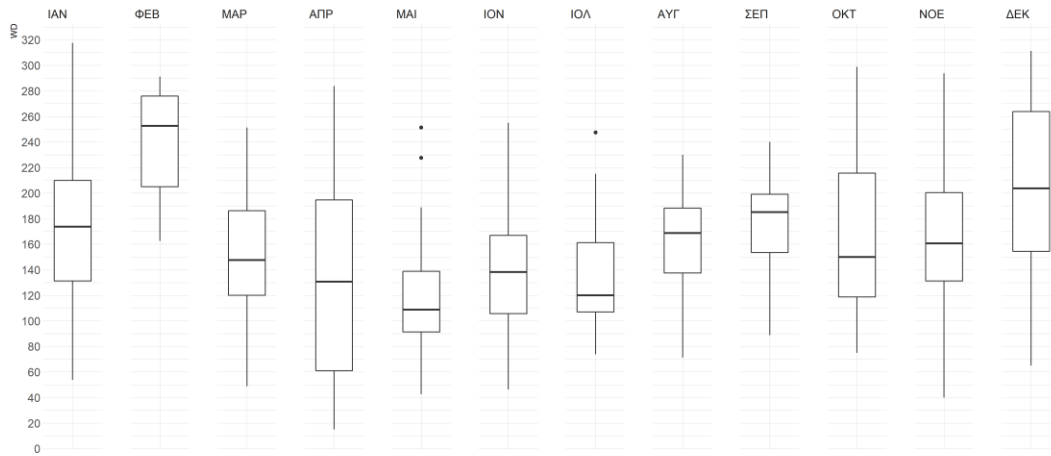
Έτος 2018



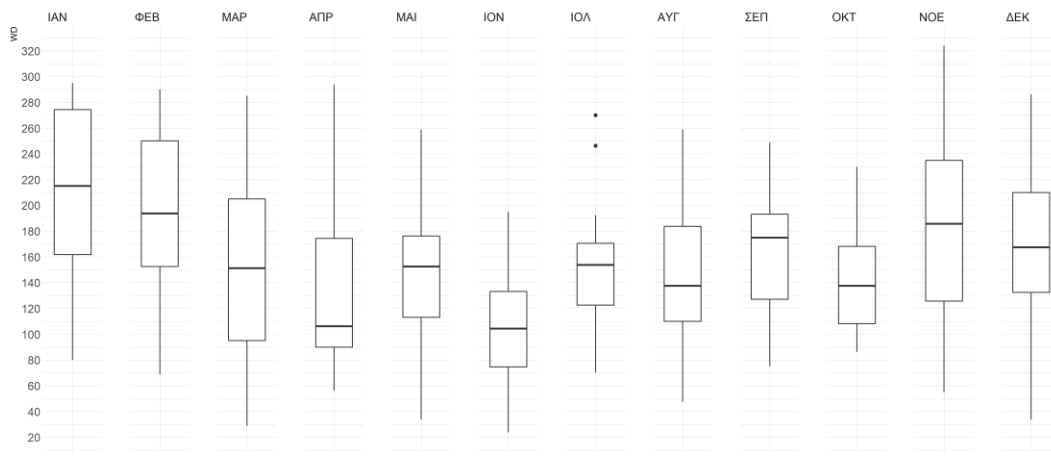
Στα παρακάτω σχήματα φαίνονται τα boxplots της μέσης ημερήσιας τιμής της κατεύθυνσης του ανέμου για τα έτη 2001 – 2018.



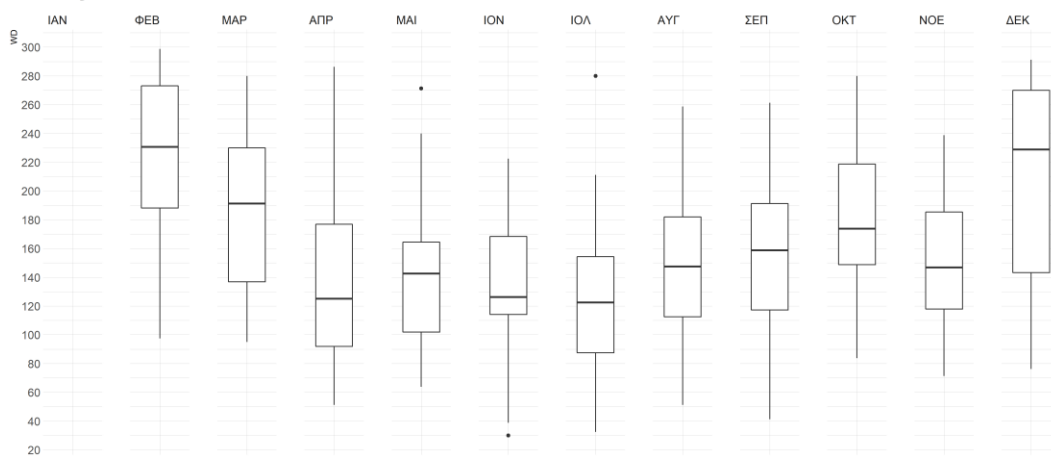
Έτος 2003



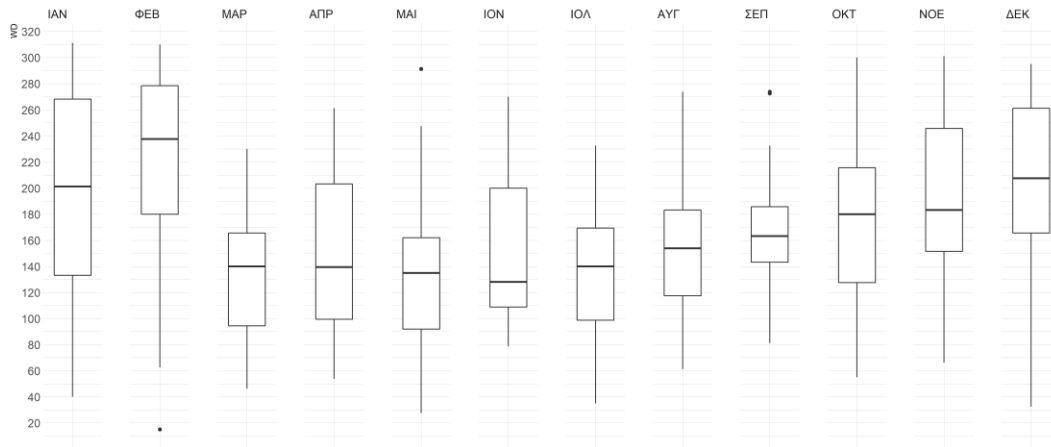
Έτος 2004



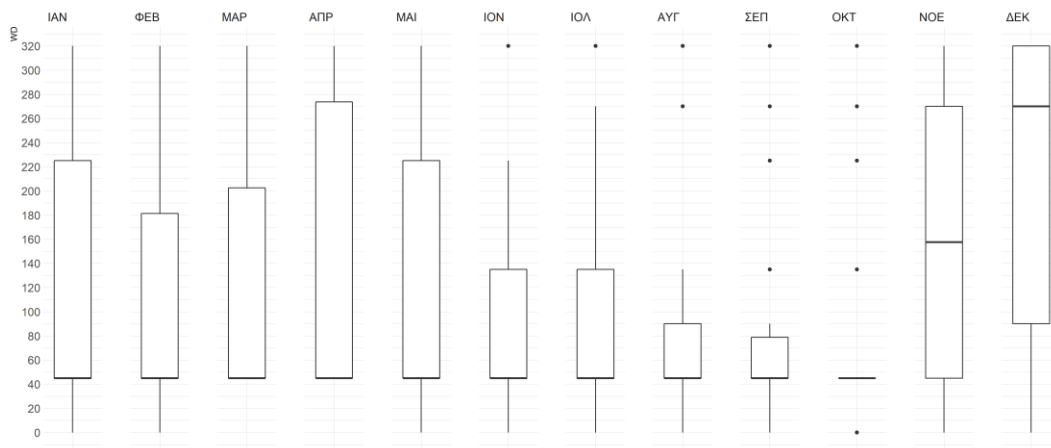
Έτος 2005



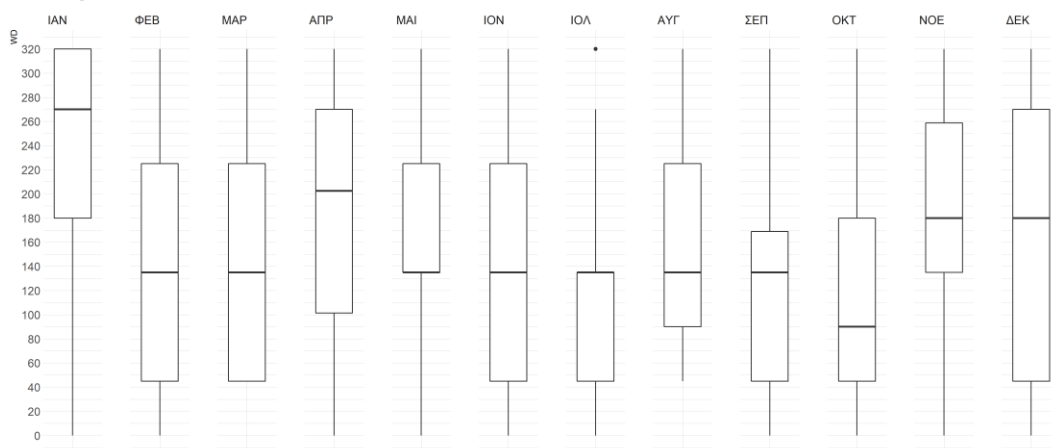
Έτος 2006



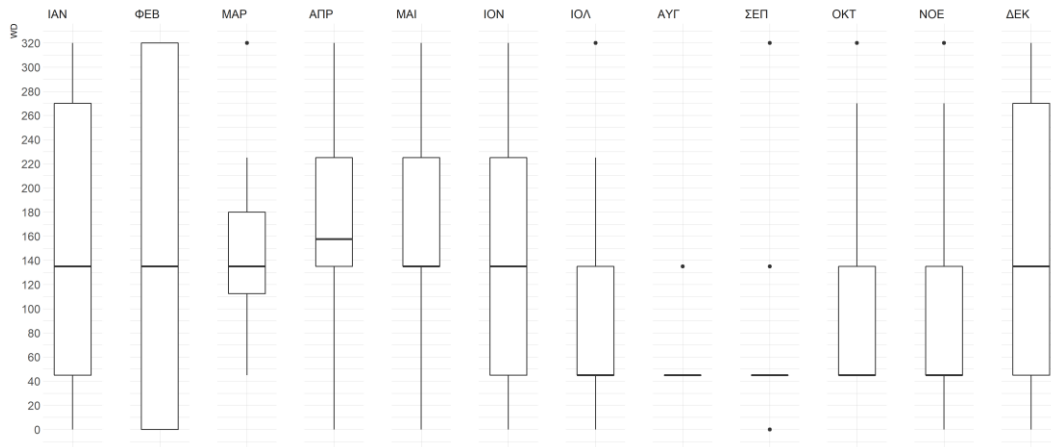
Έτος 2007



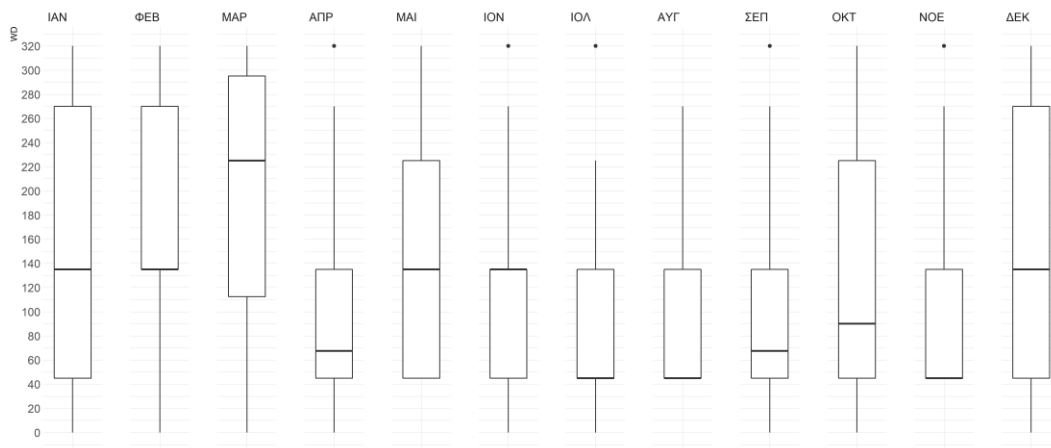
Έτος 2008



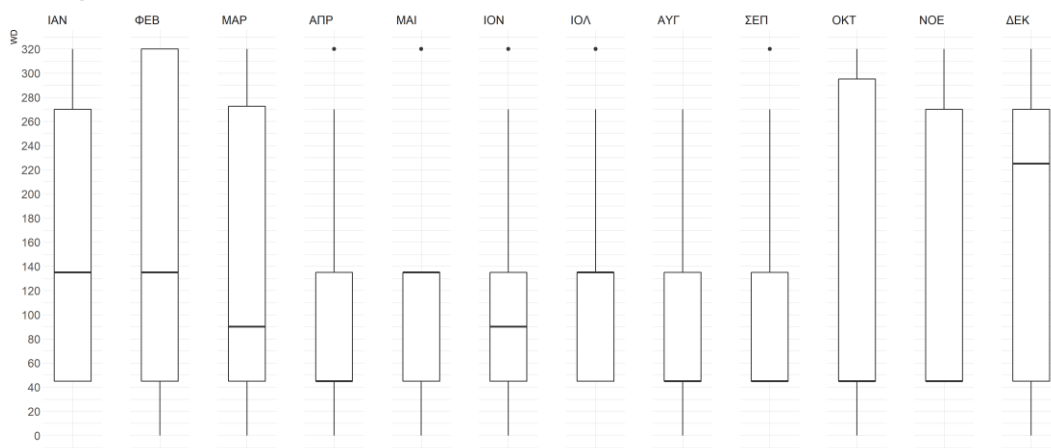
Έτος 2009



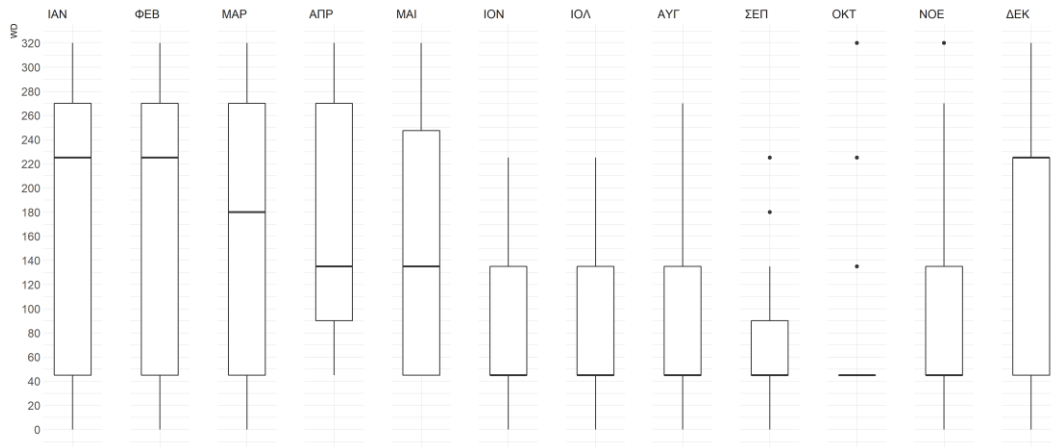
Έτος 2010



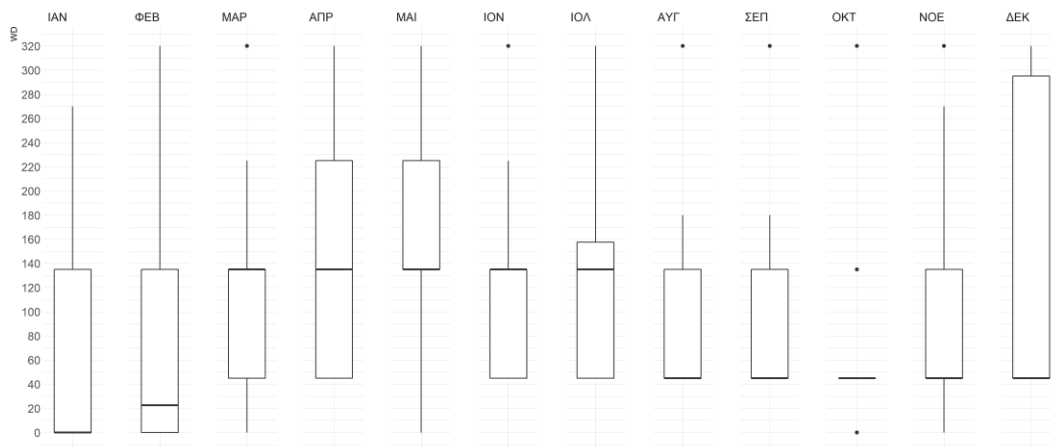
Έτος 2011



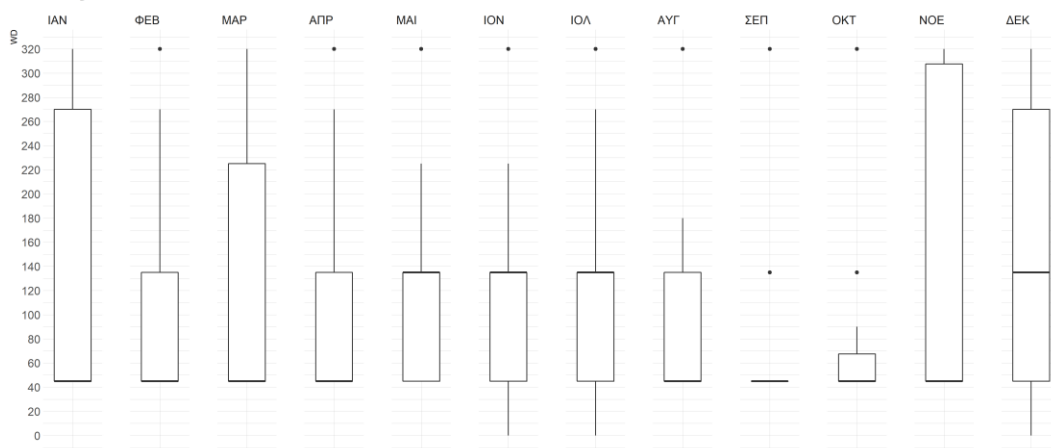
Έτος 2012



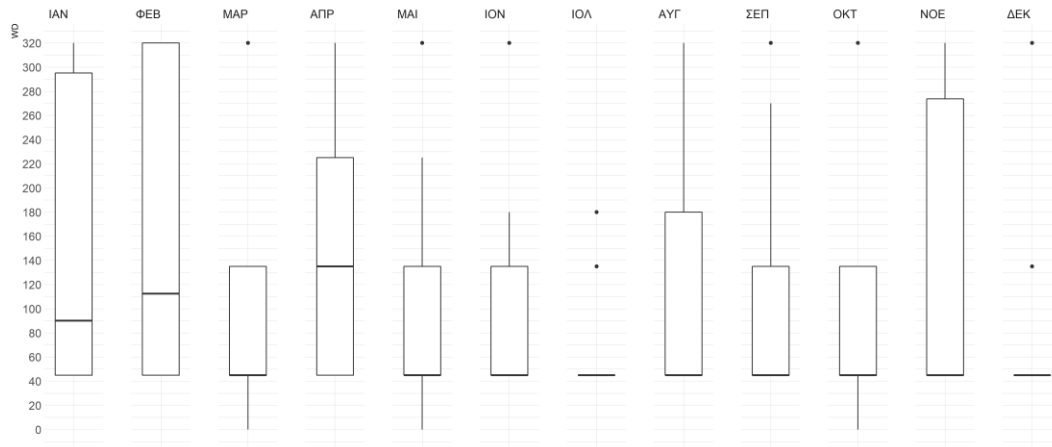
Έτος 2013



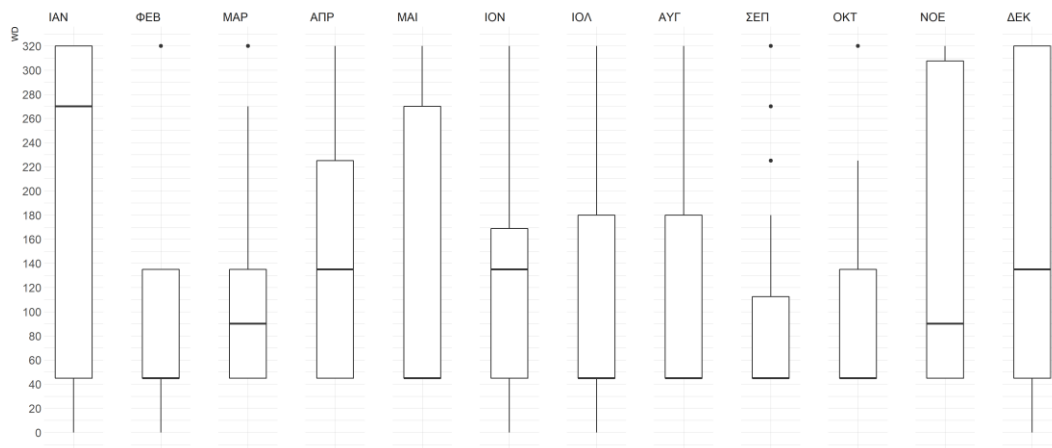
Έτος 2014

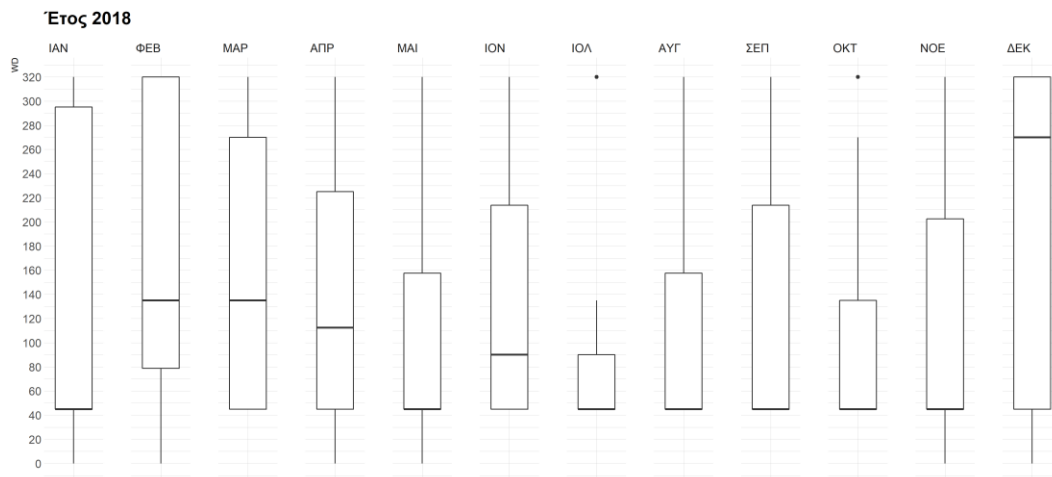
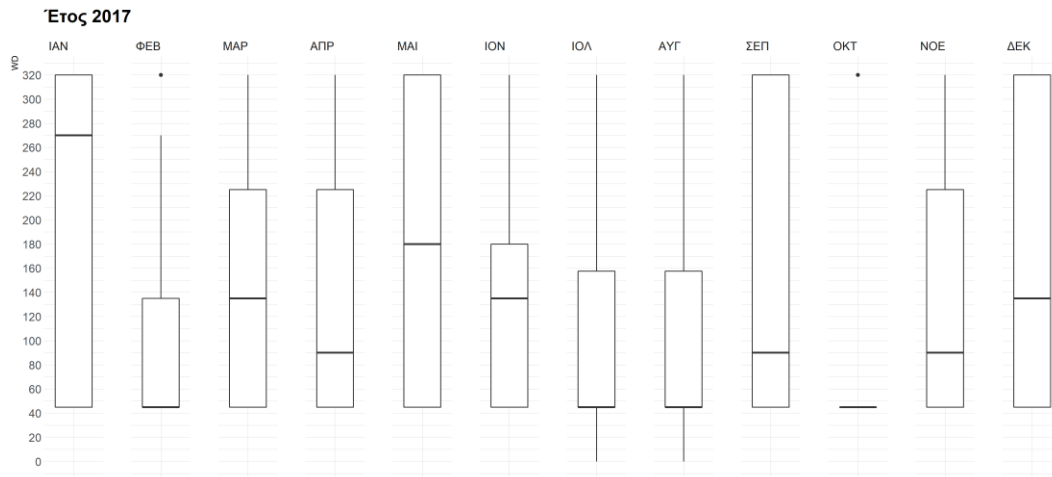


Έτος 2015



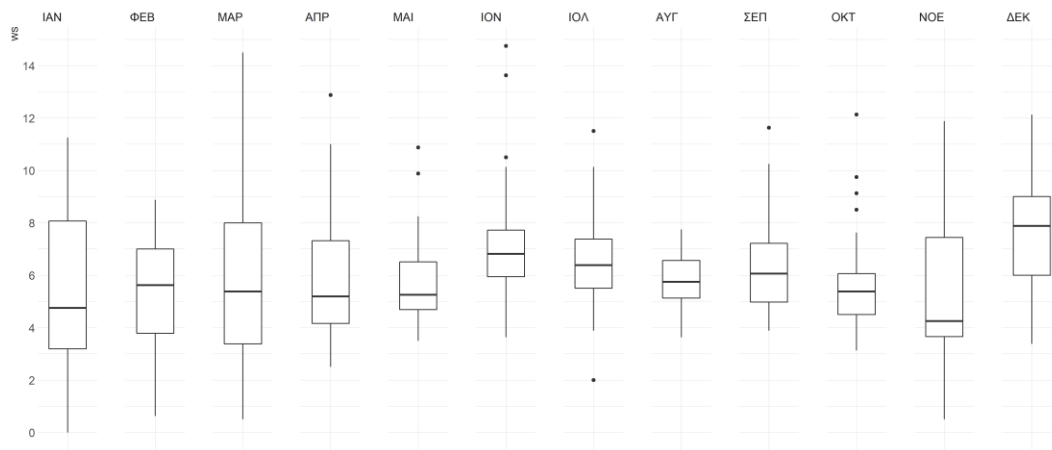
Έτος 2016



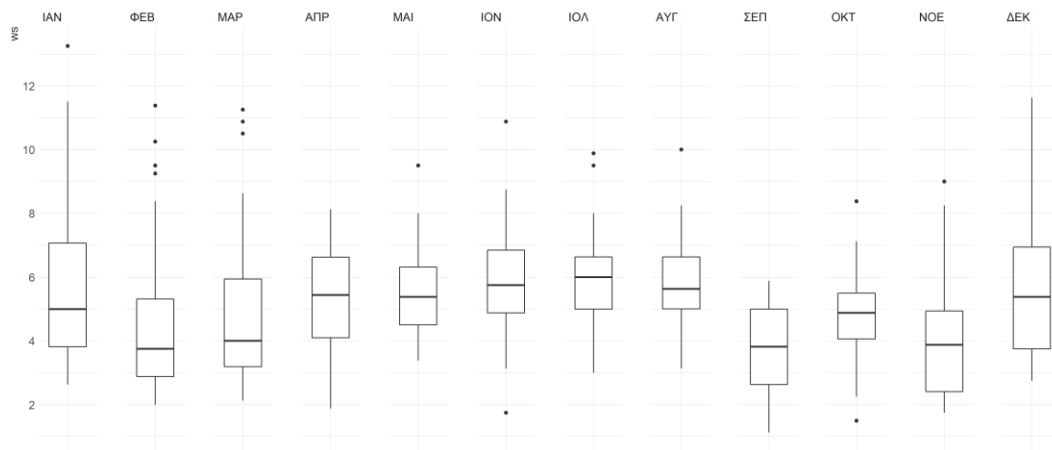


Στα παρακάτω σχήματα φαίνονται τα boxplots της μέσης ημερήσιας τιμής της ταχύτητας του ανέμου για τα έτη 2001 – 2018.

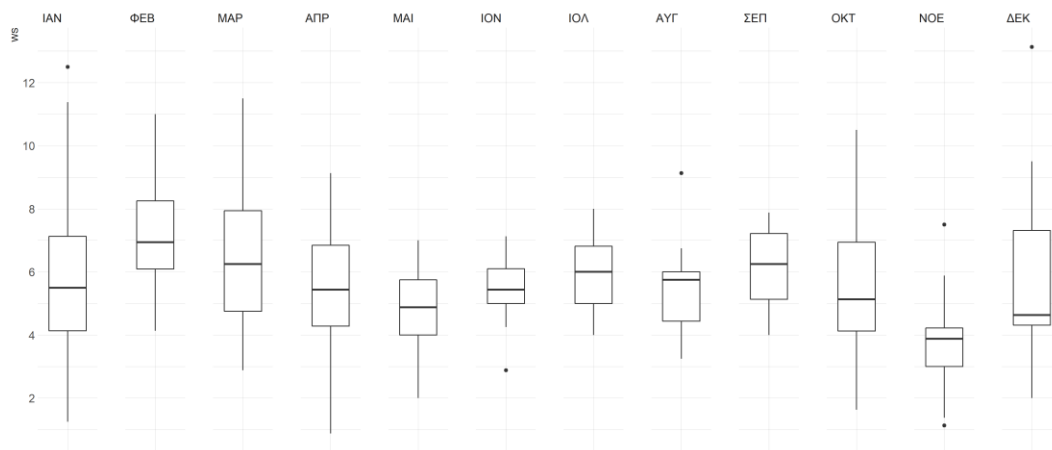
Έτος 2001

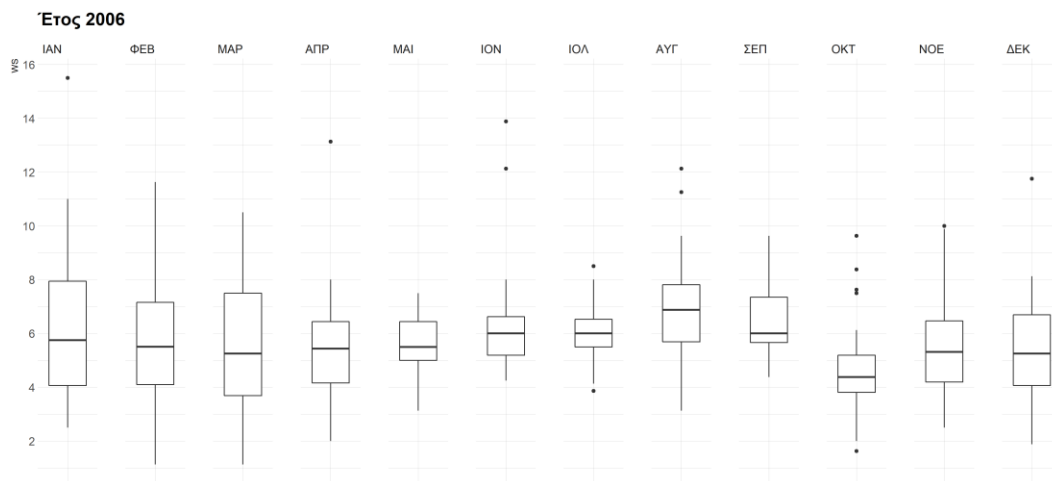
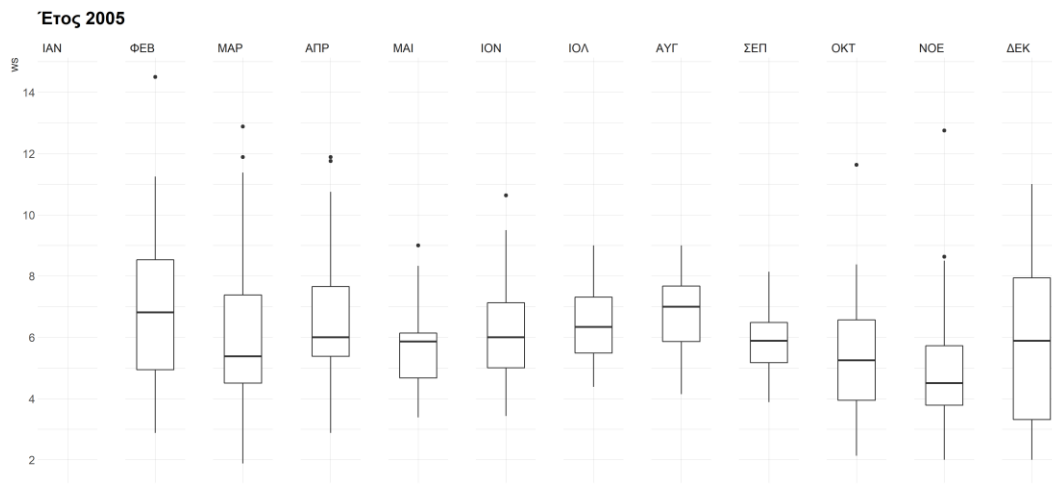
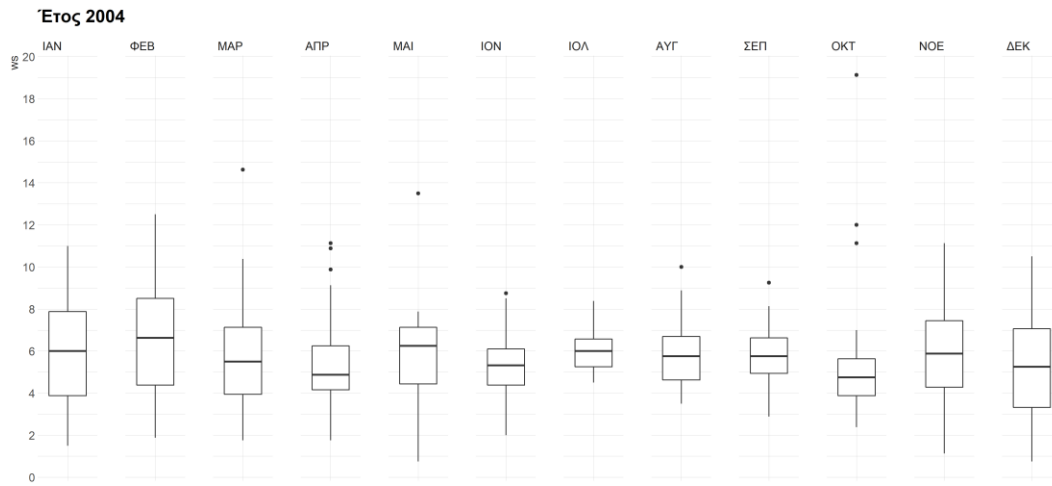


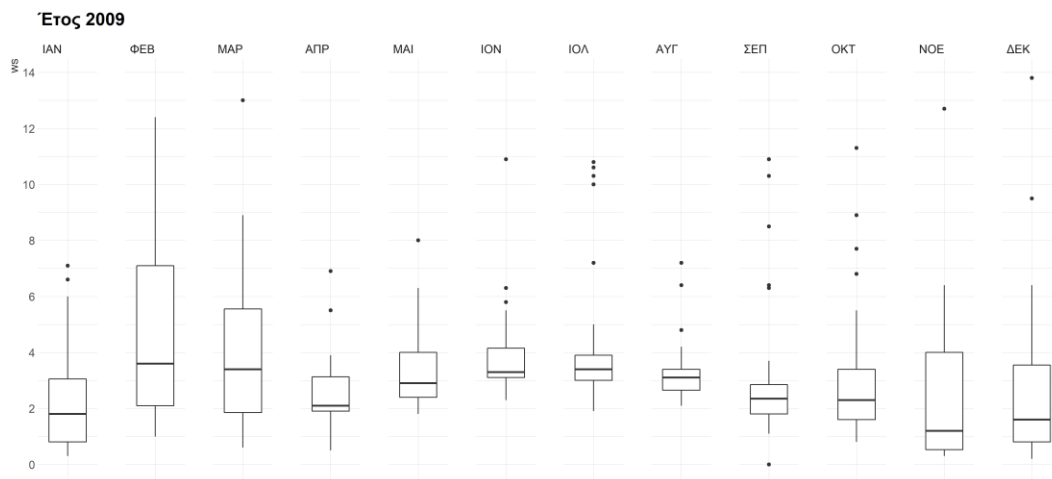
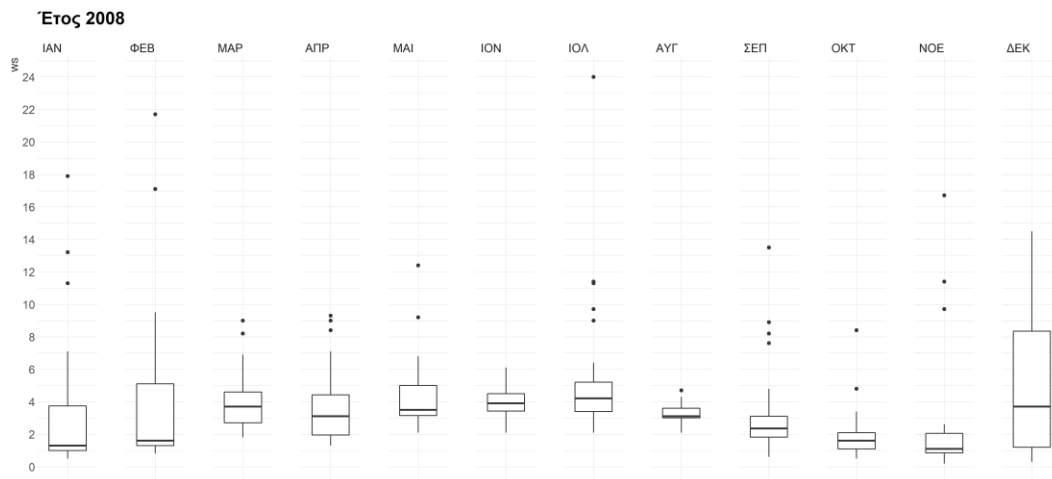
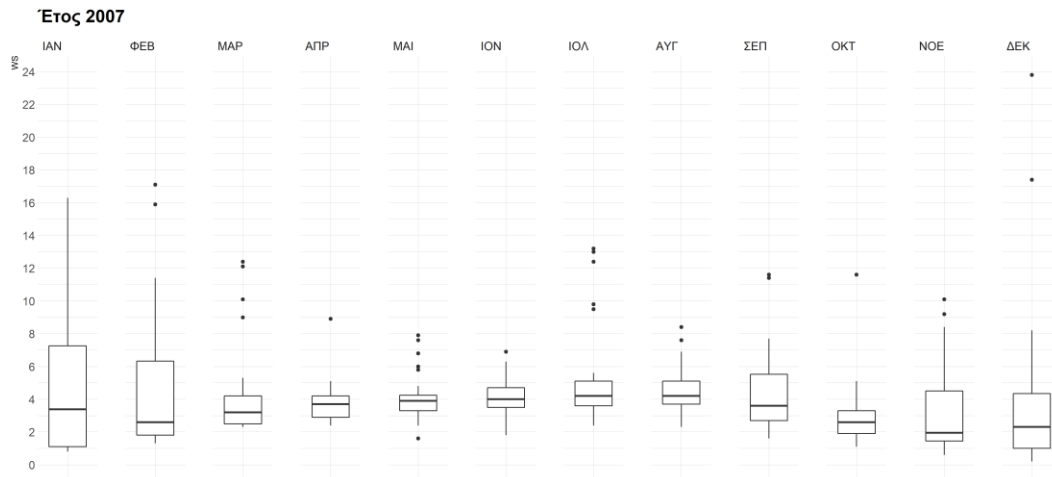
Έτος 2002

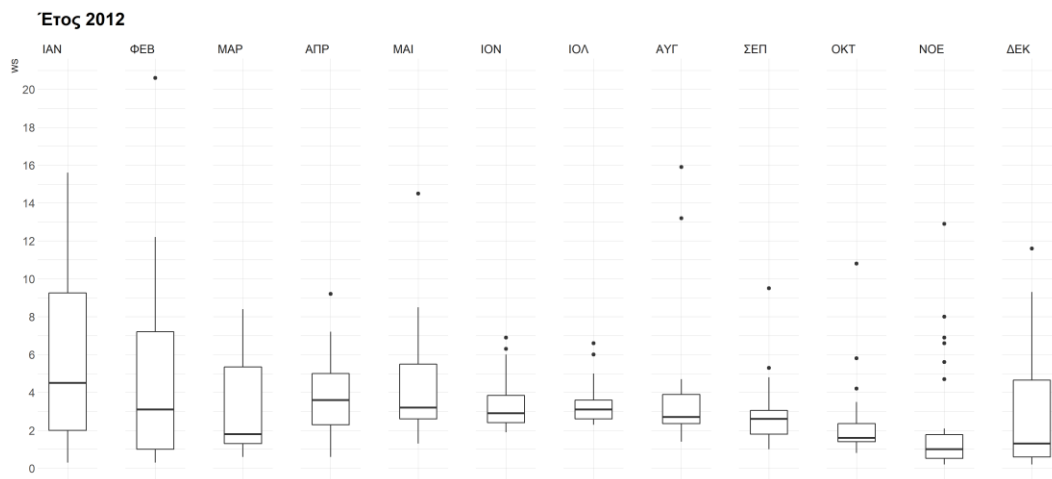
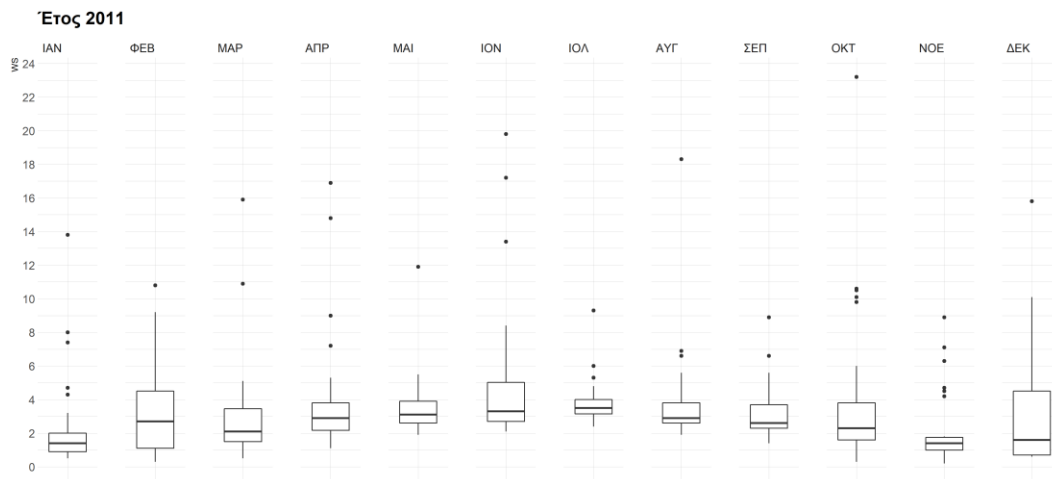
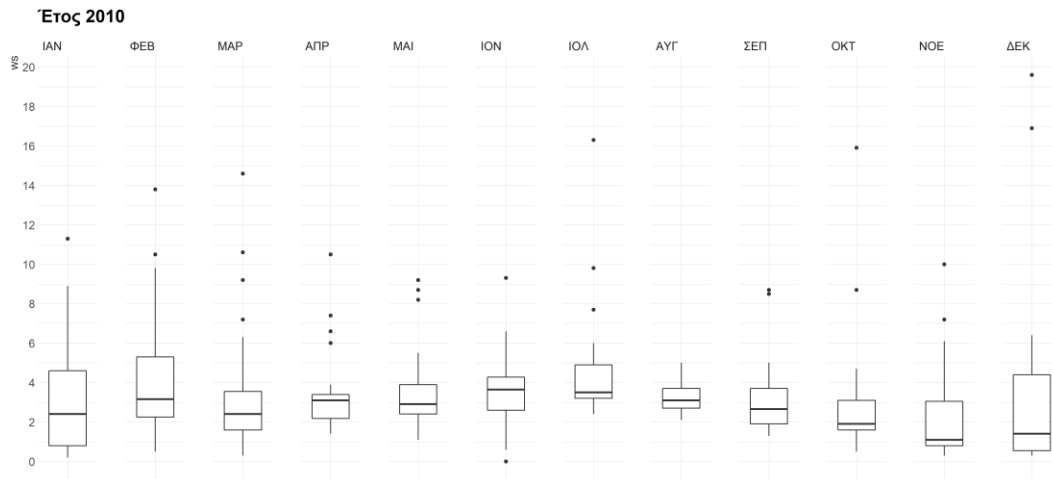


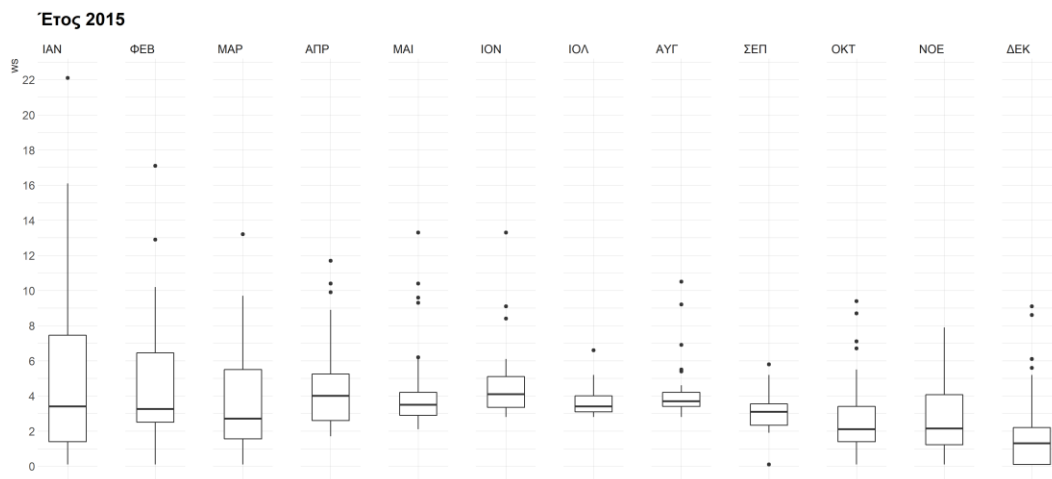
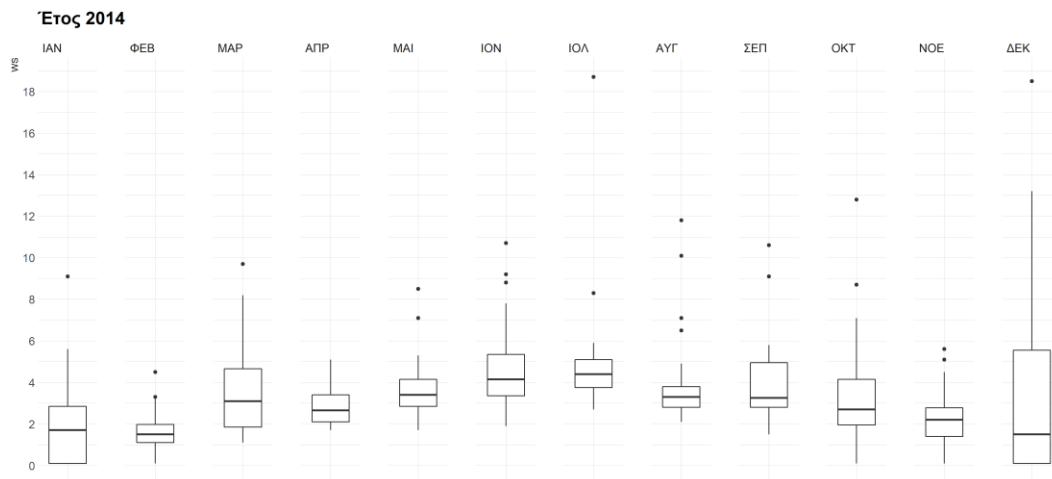
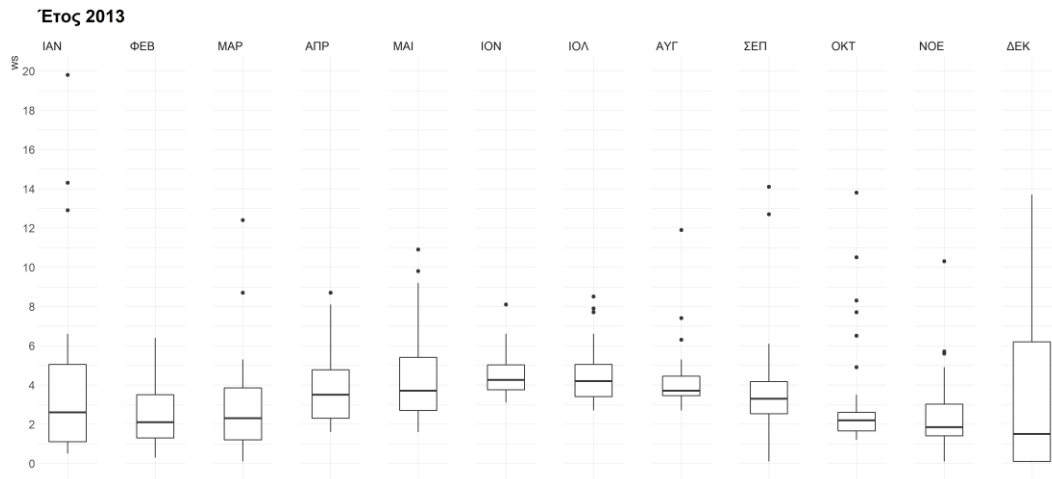
Έτος 2003

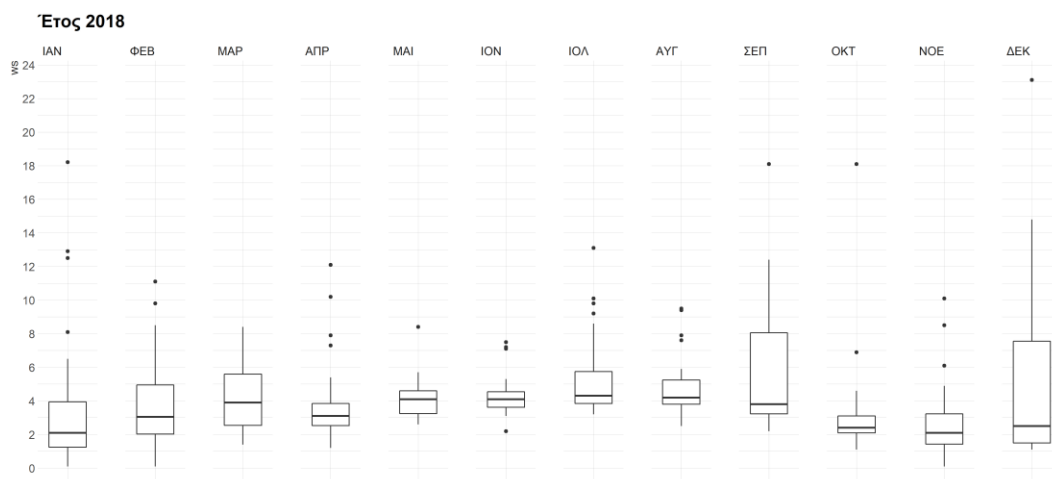
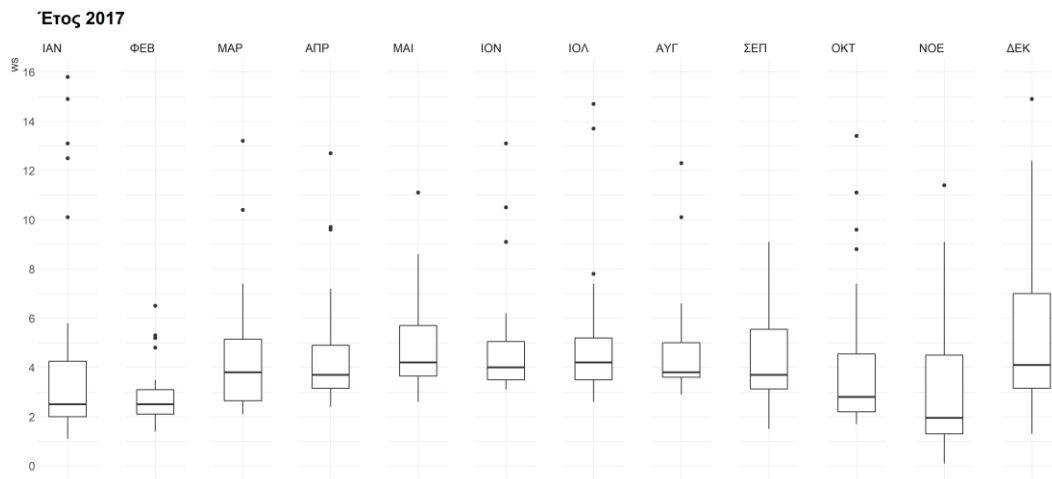
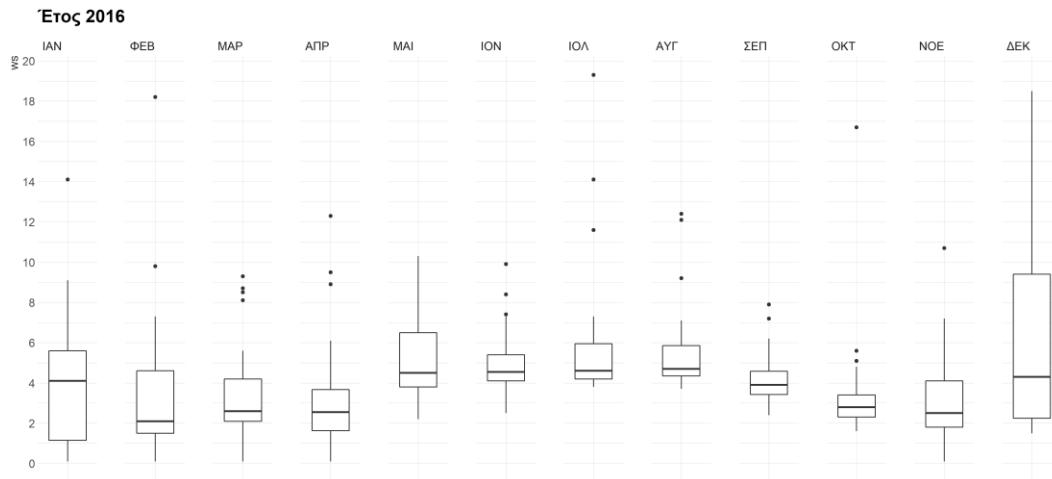




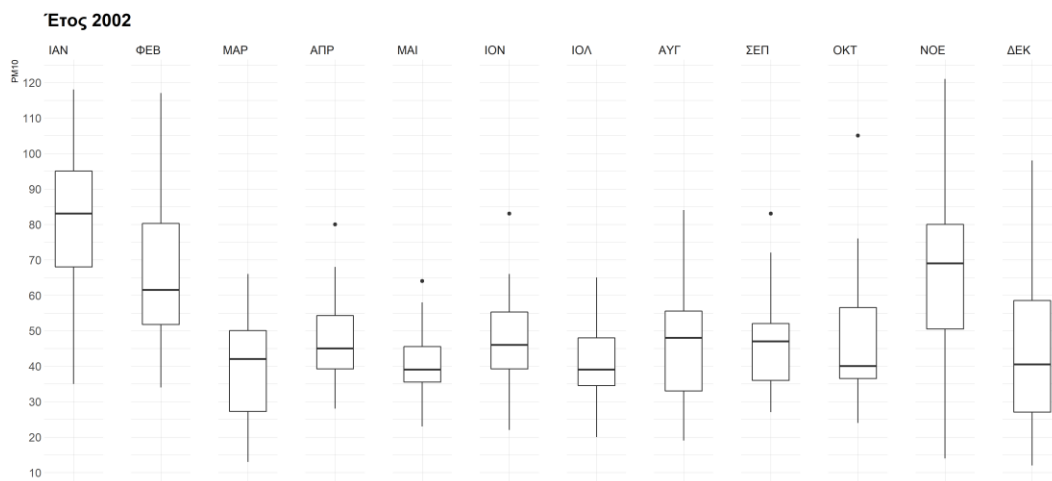
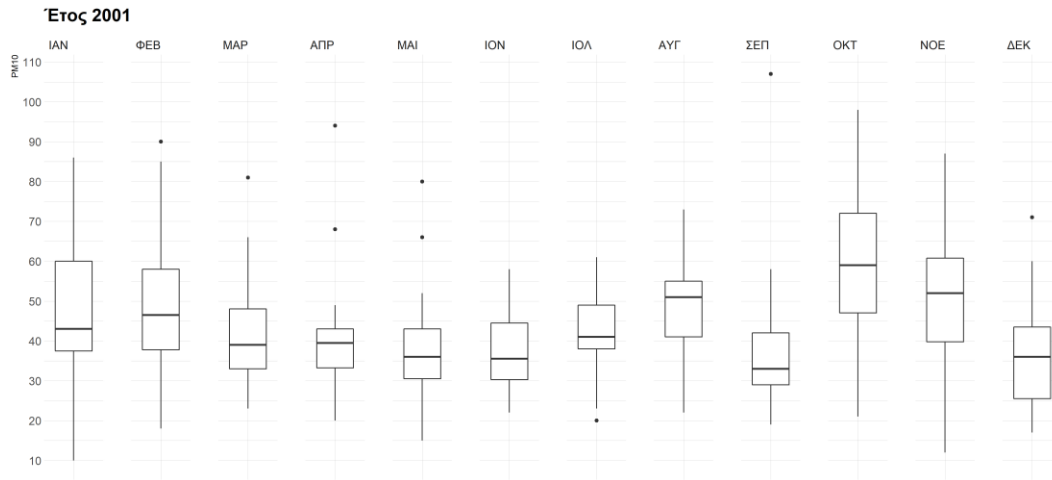




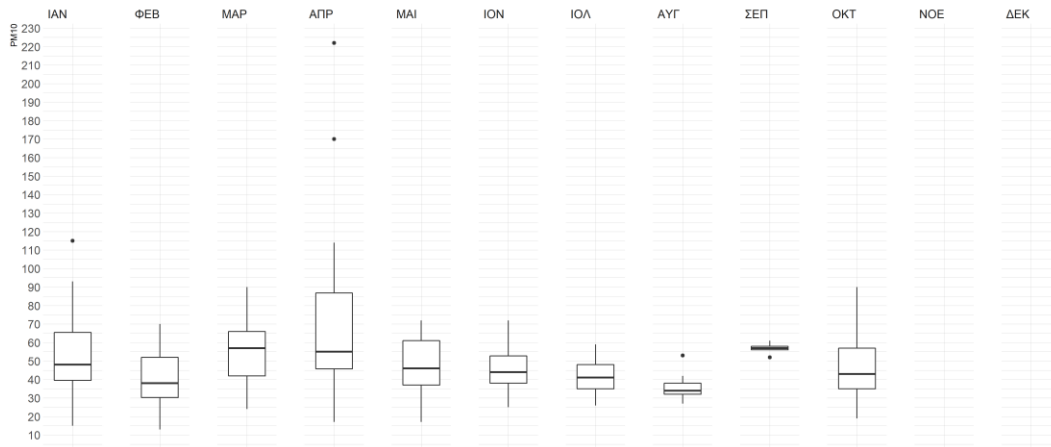




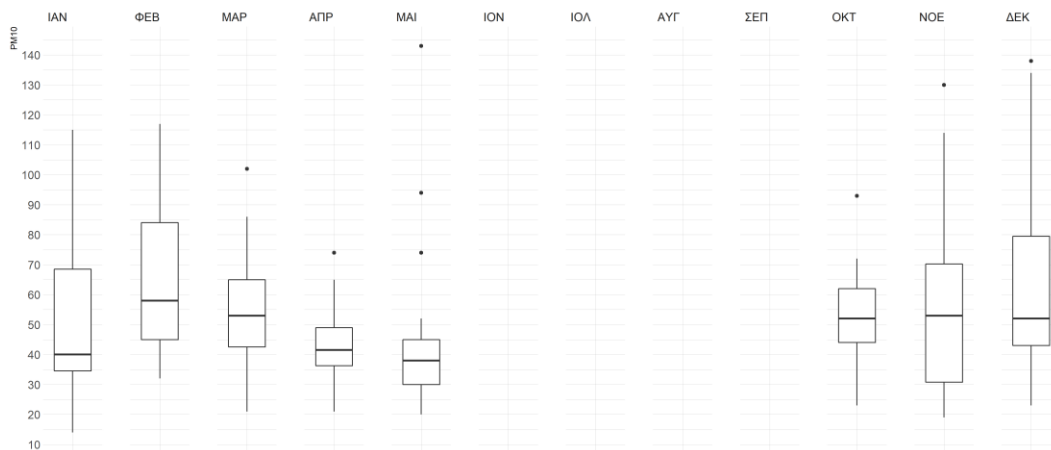
Στα παρακάτω σχήματα φαίνονται τα boxplots της μέσης ημερήσιας τιμής των αιωρούμενων σωματιδίων για τα έτη 2001 – 2018.



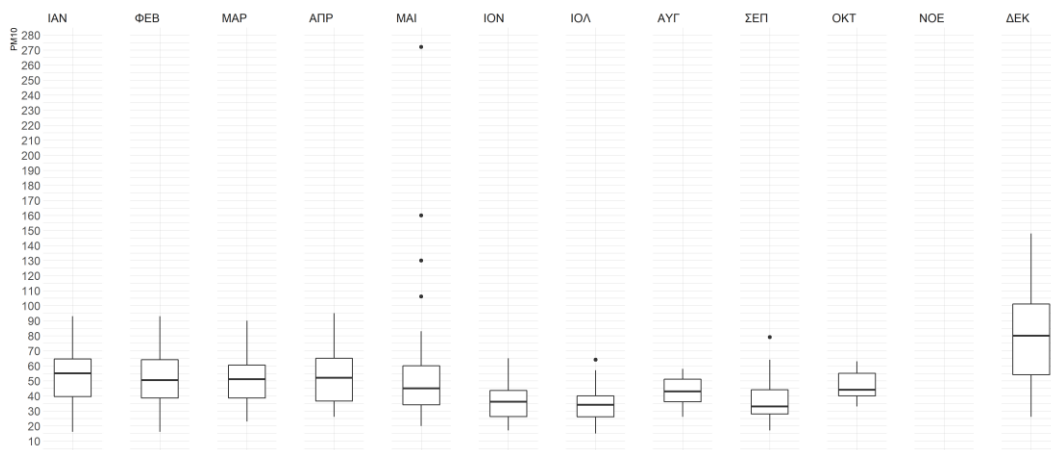
Έτος 2003



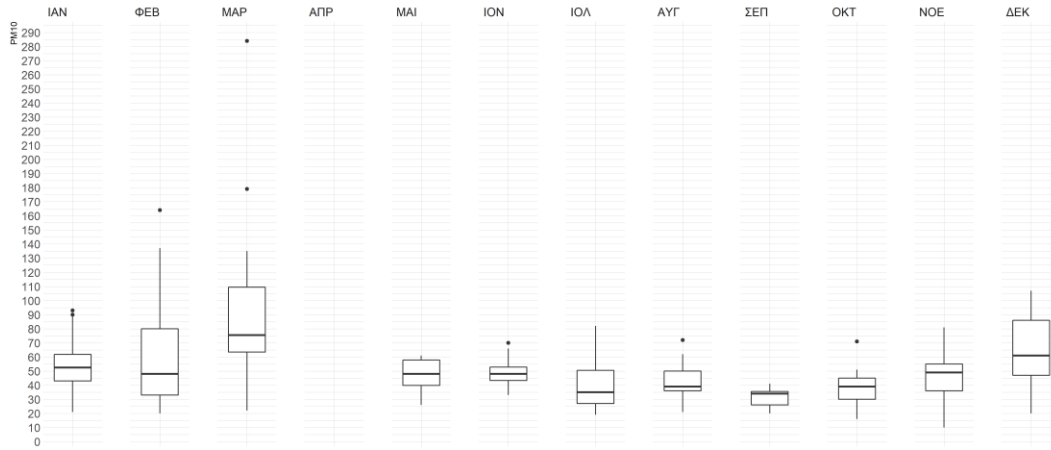
Έτος 2004



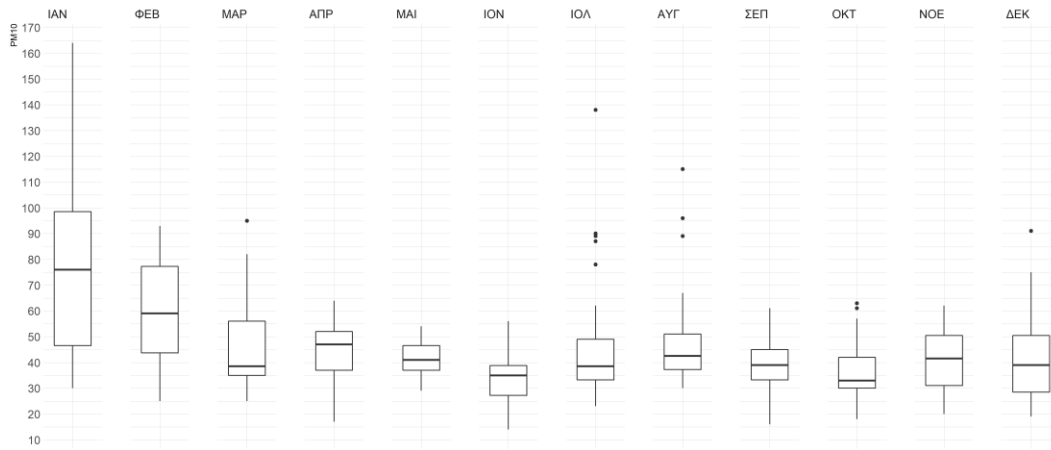
Έτος 2005



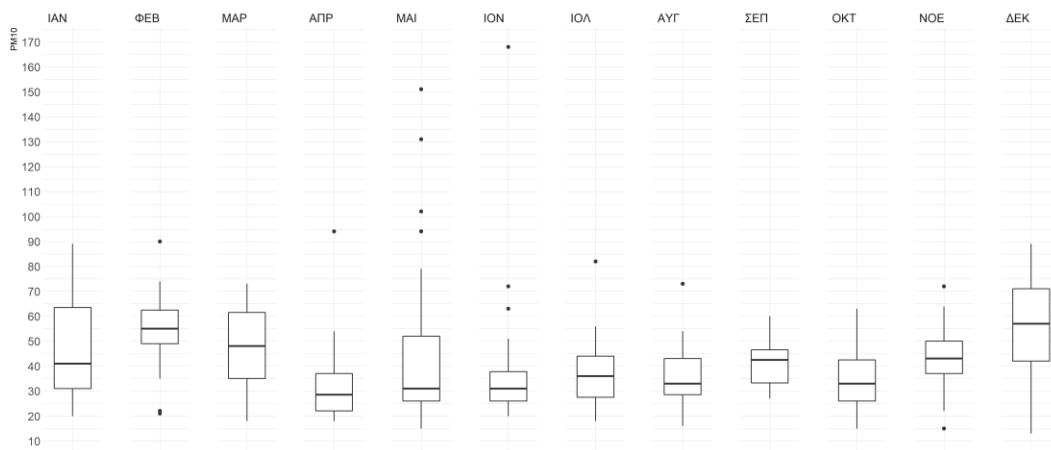
Έτος 2006



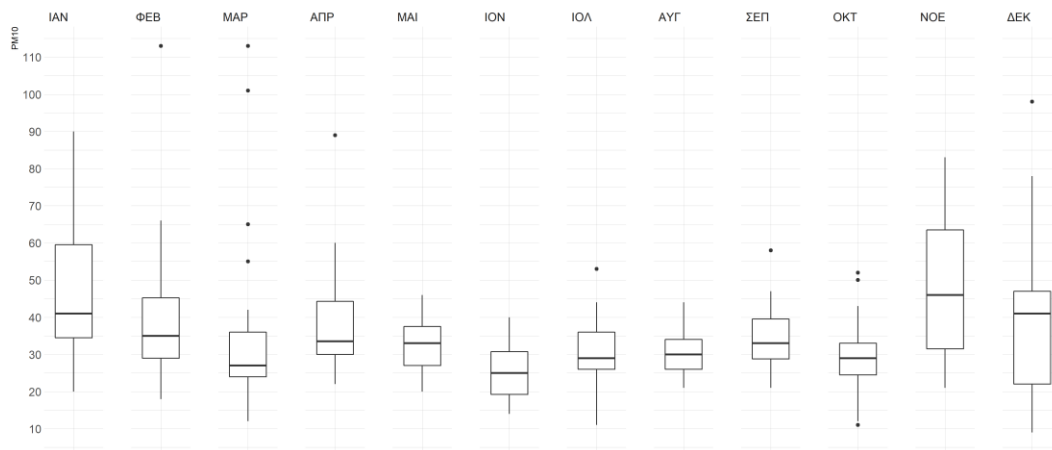
Έτος 2007



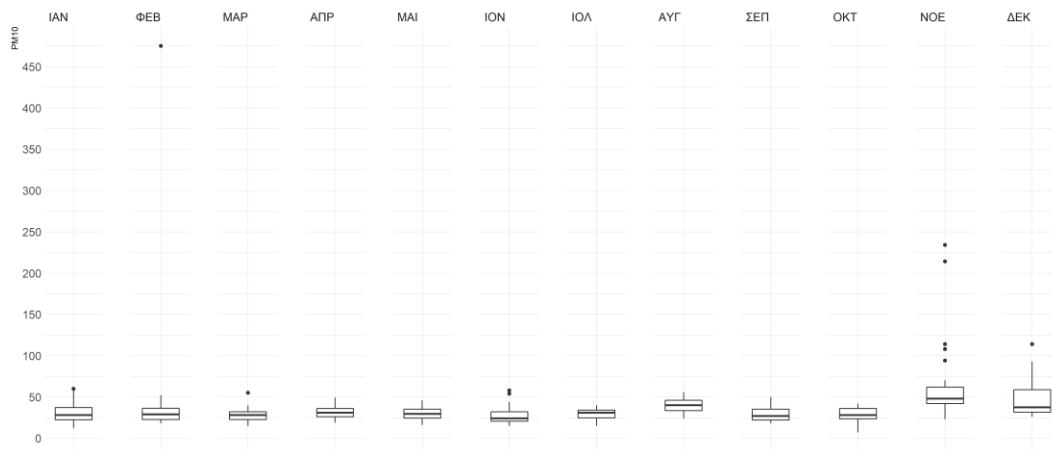
Έτος 2008



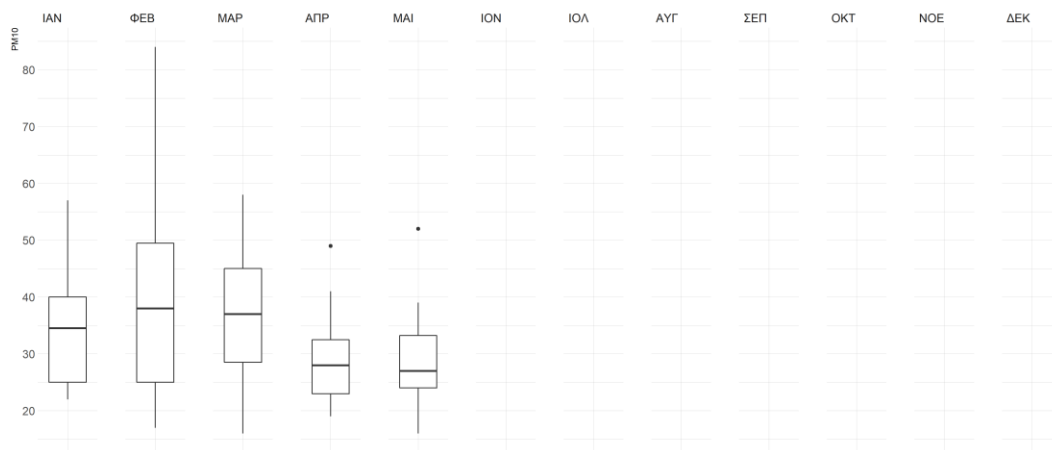
Έτος 2009



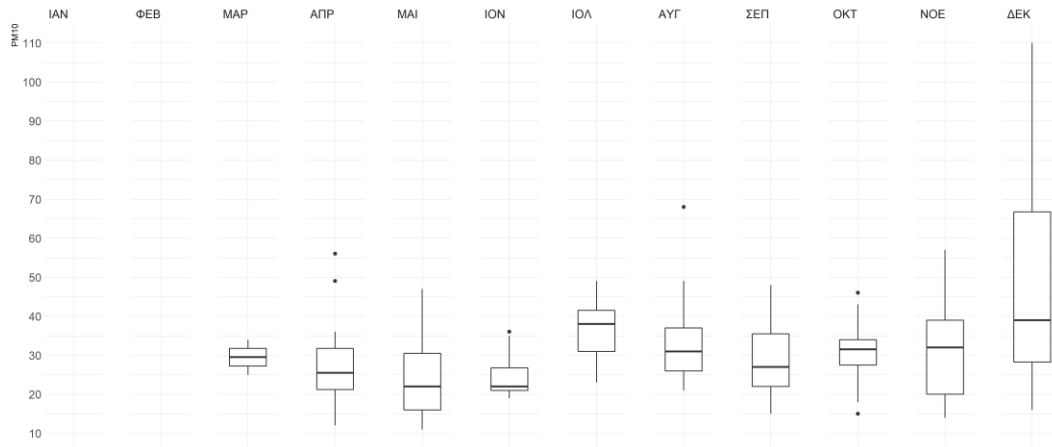
Έτος 2010



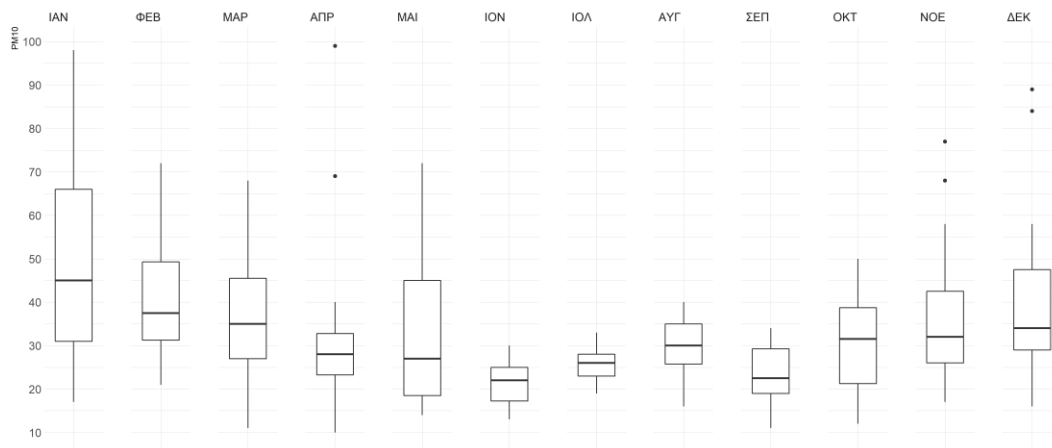
Έτος 2011



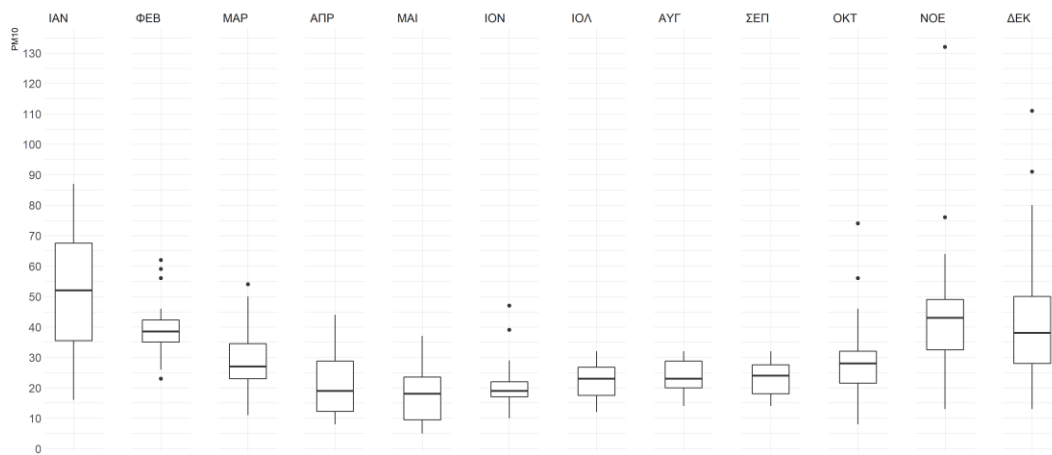
Έτος 2012



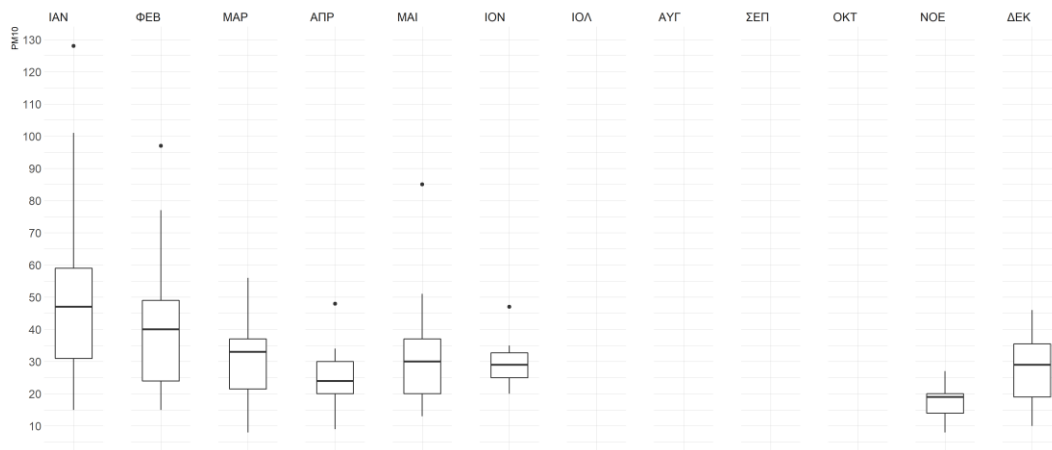
Έτος 2013



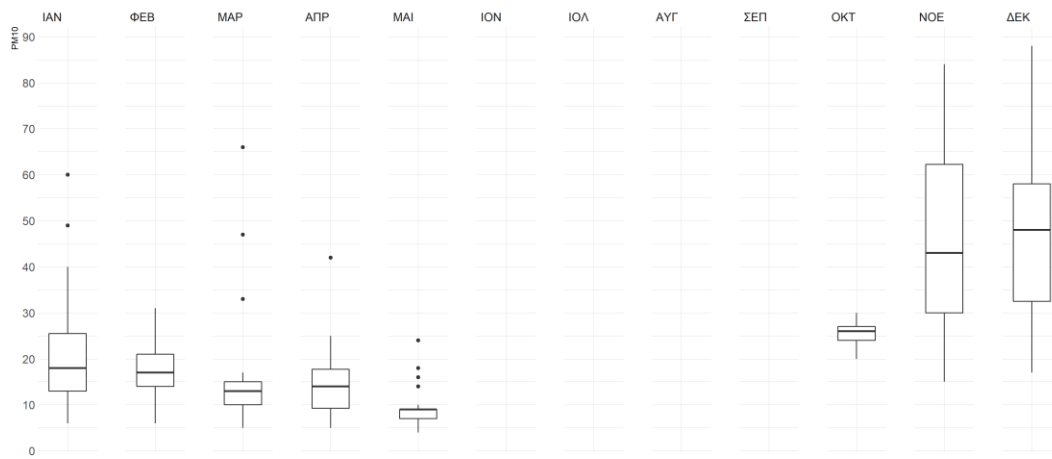
Έτος 2014

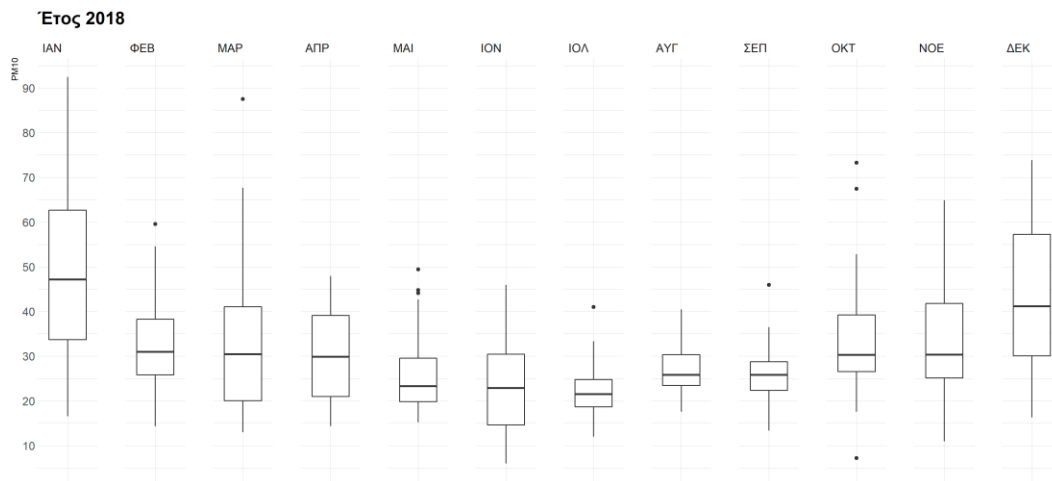
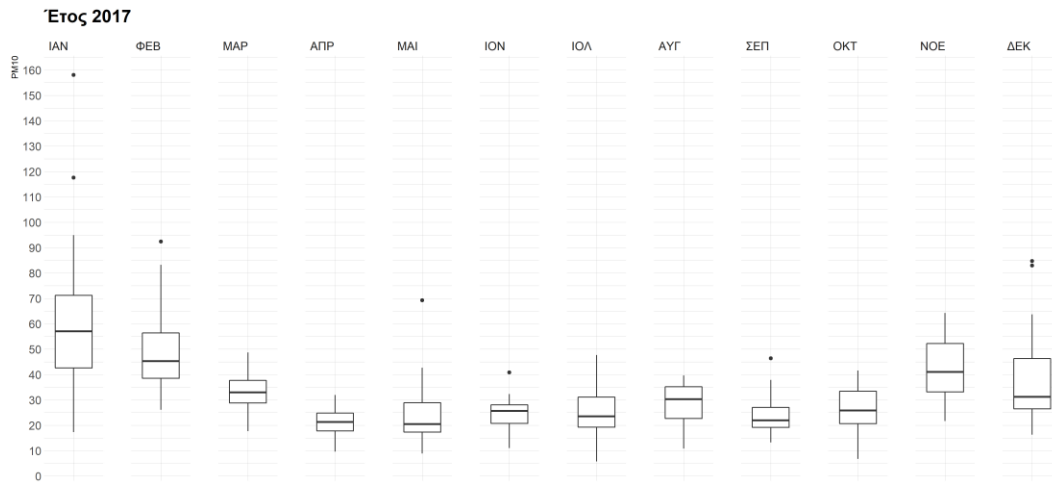


Έτος 2015

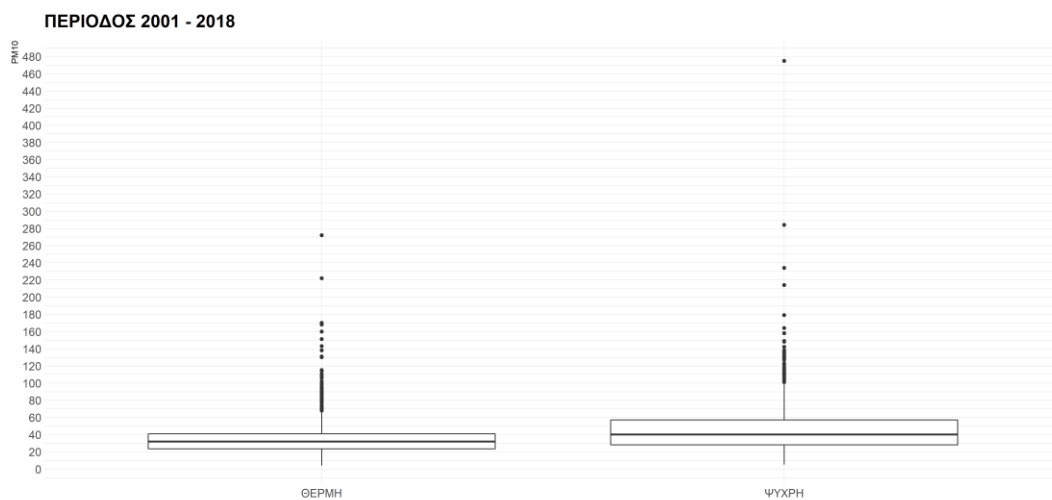


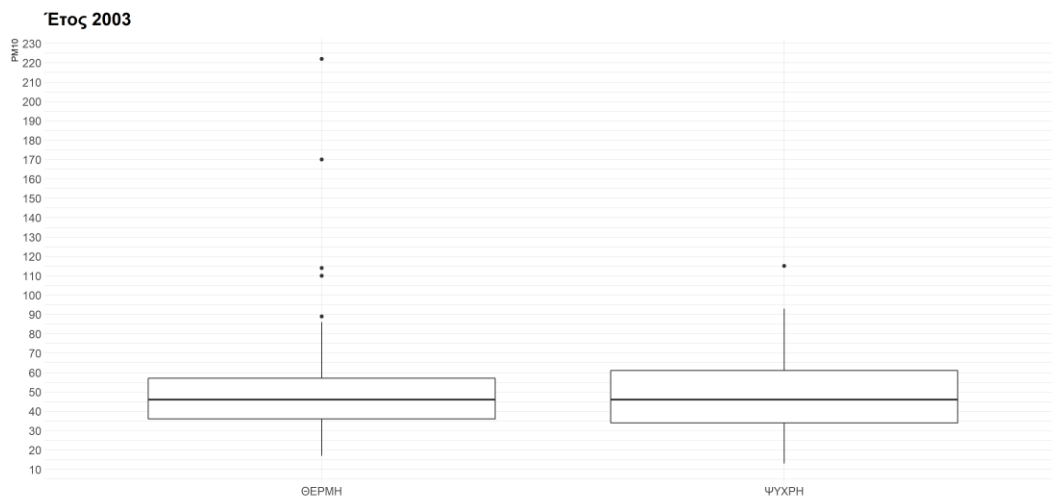
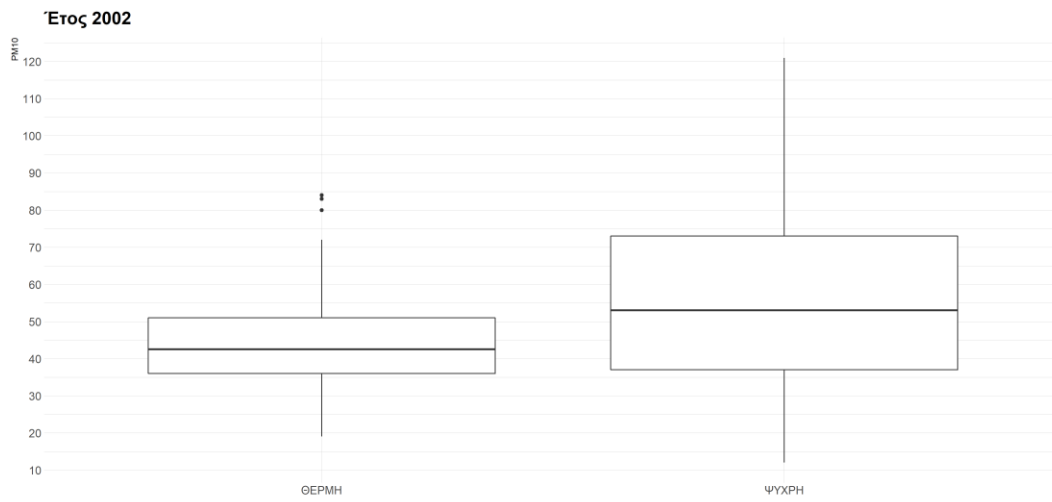
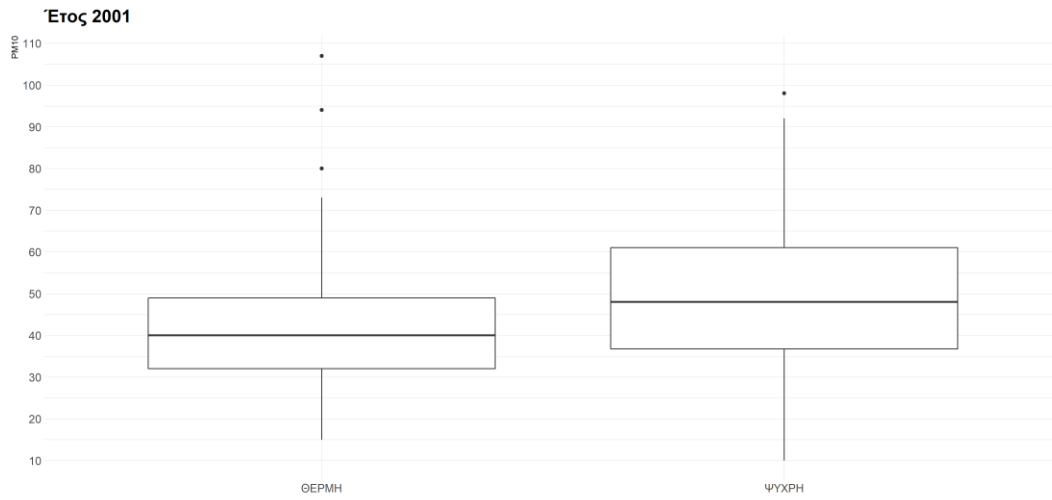
Έτος 2016

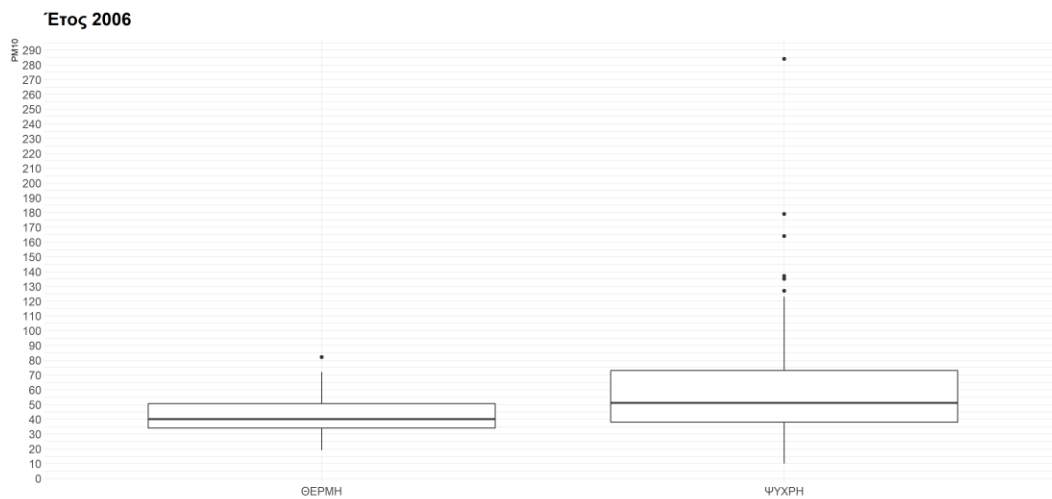
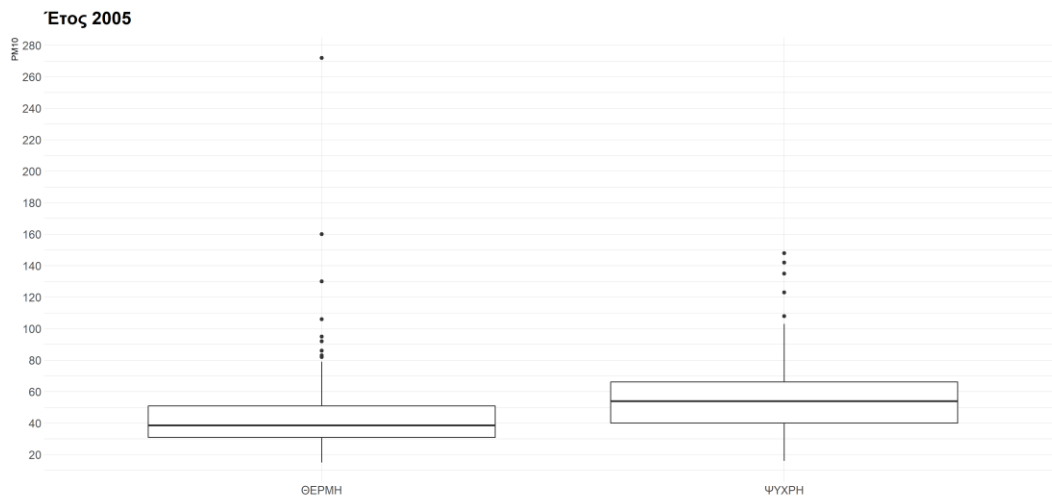
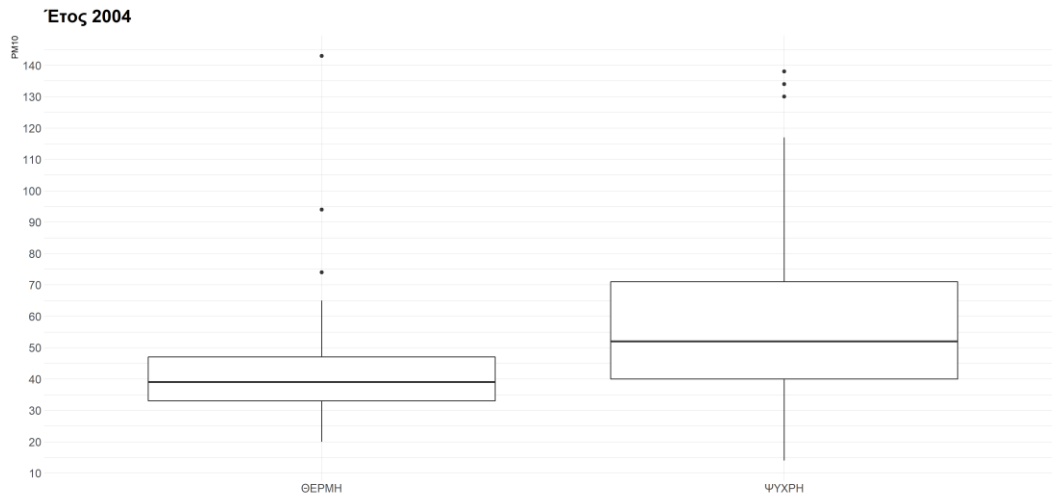


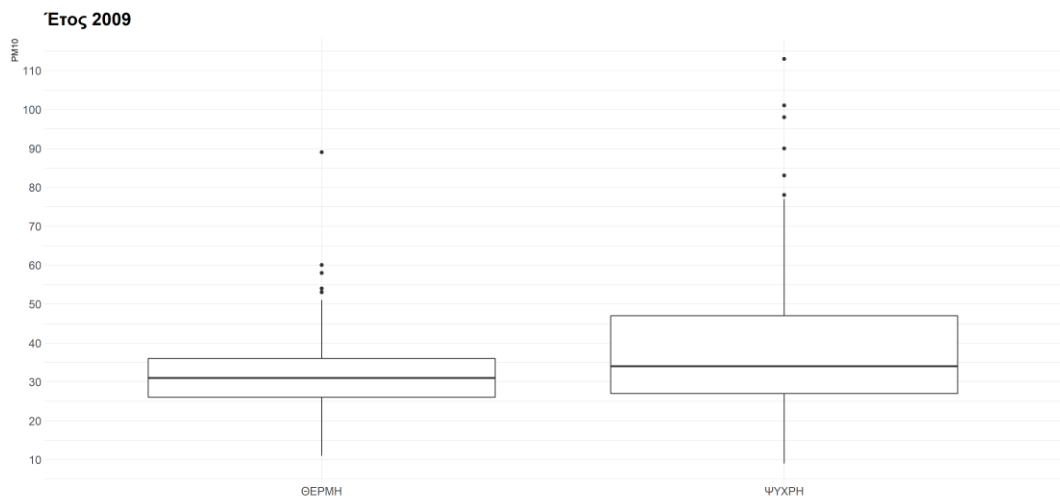
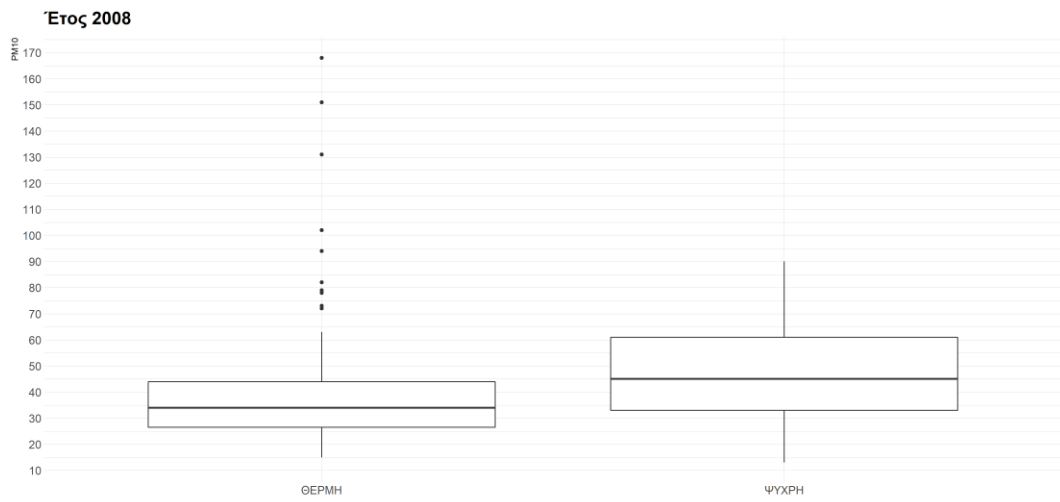
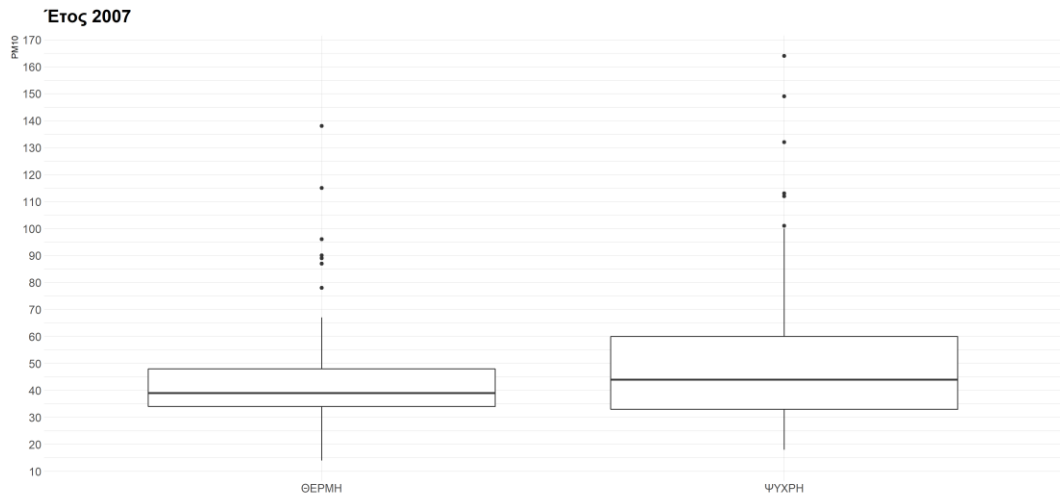


Στα παρακάτω σχήματα φαίνονται τα boxplots της θερμής και ψυχρής περιόδου για τα έτη 2001 – 2018.

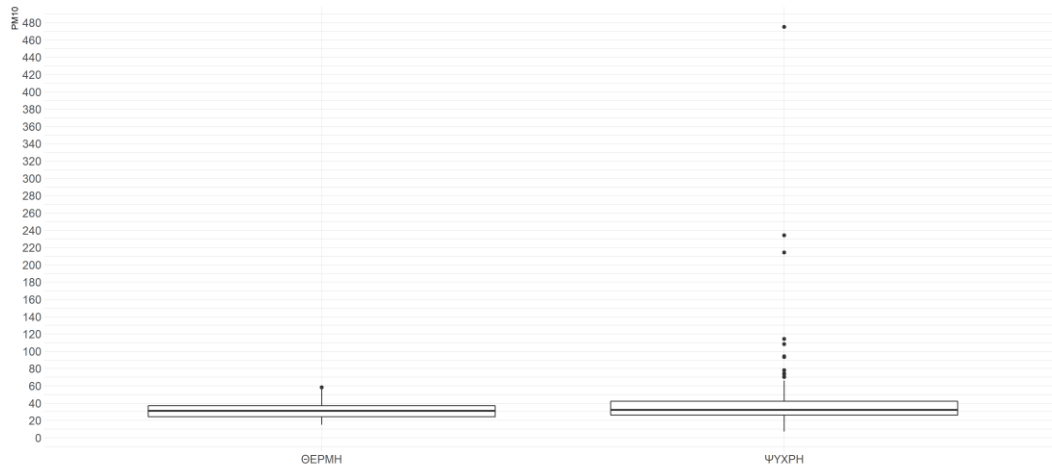








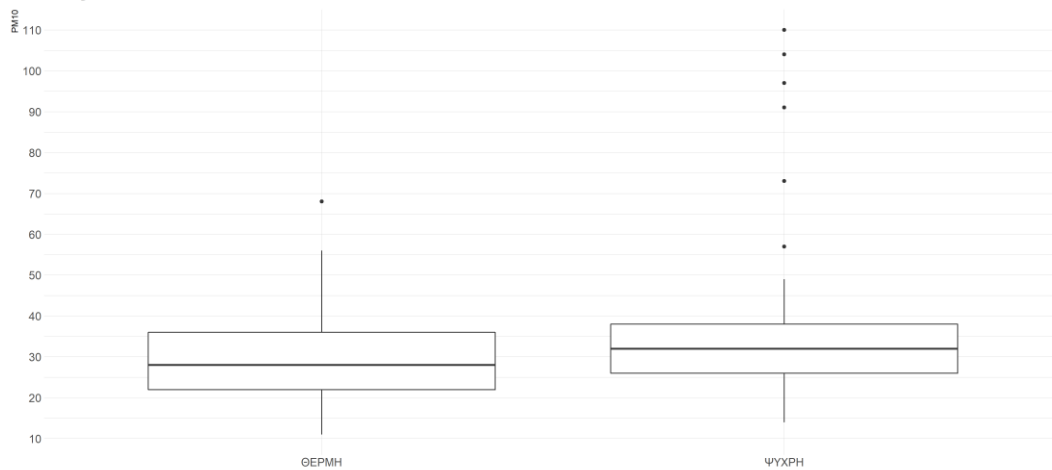
Έτος 2010

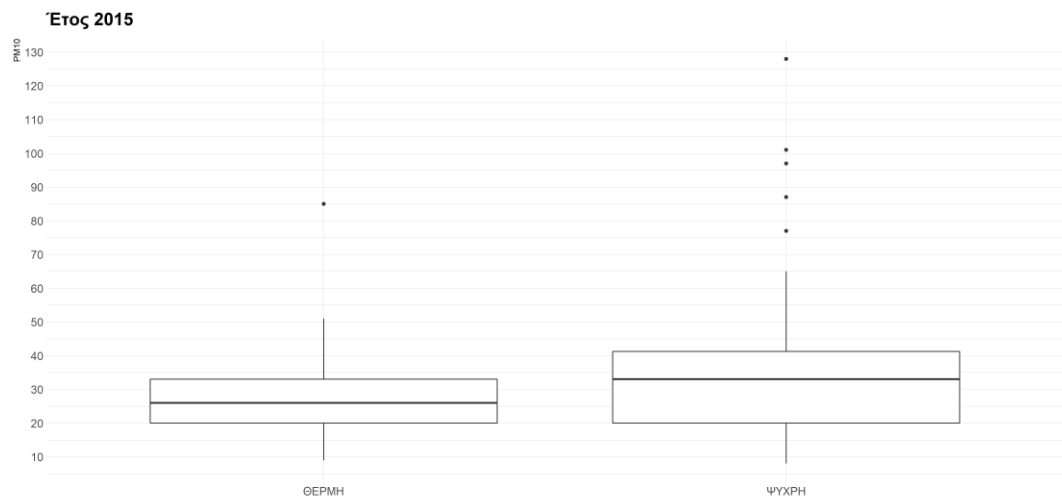
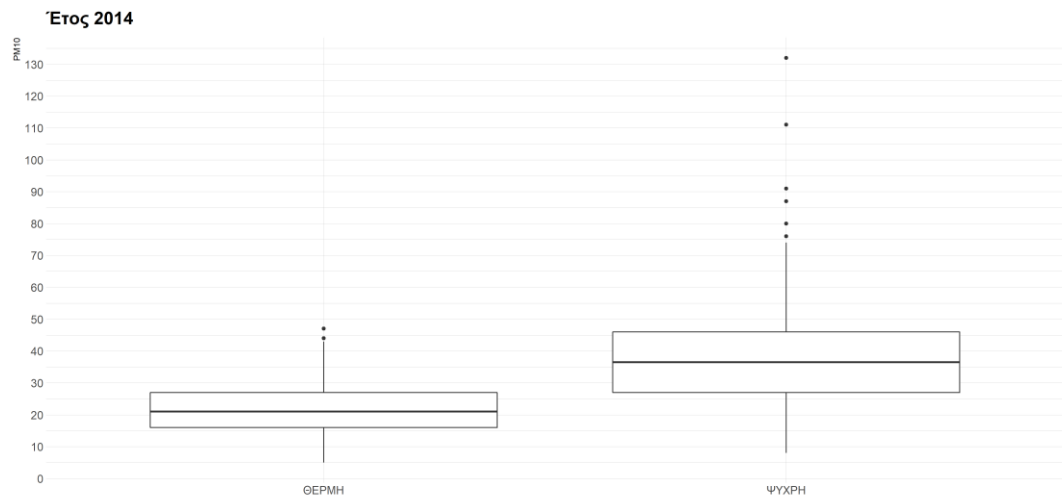
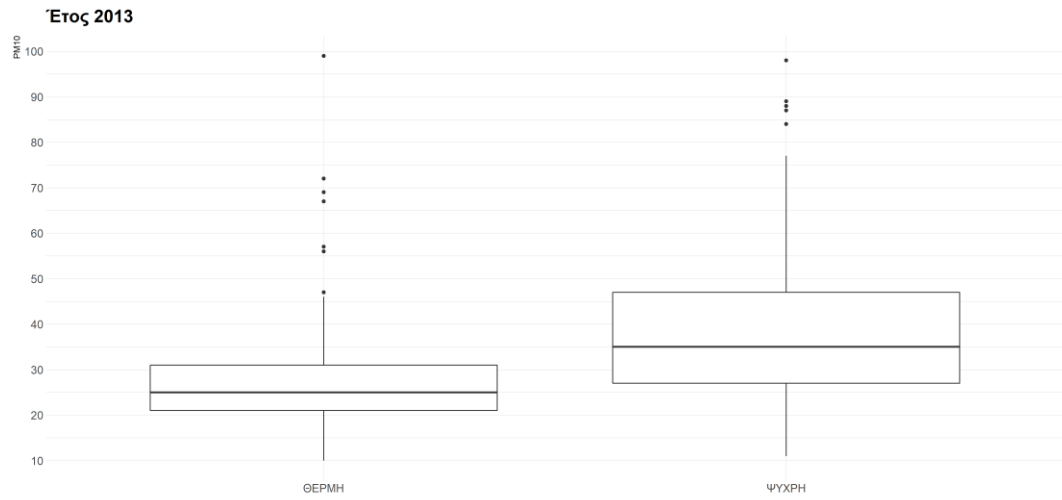


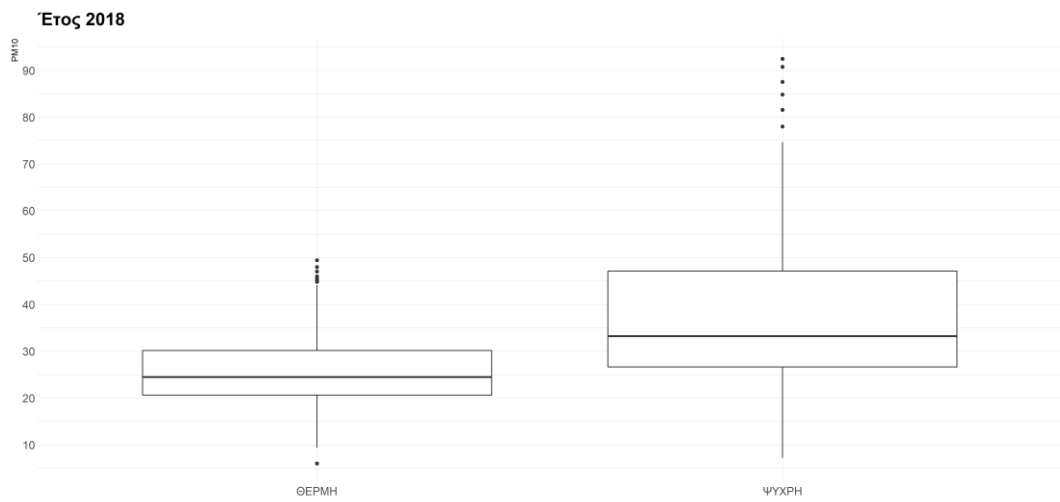
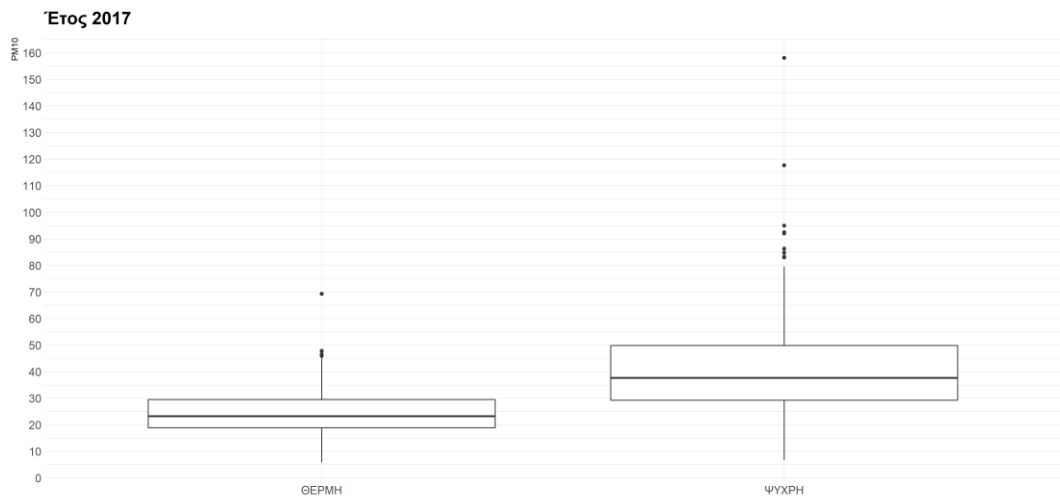
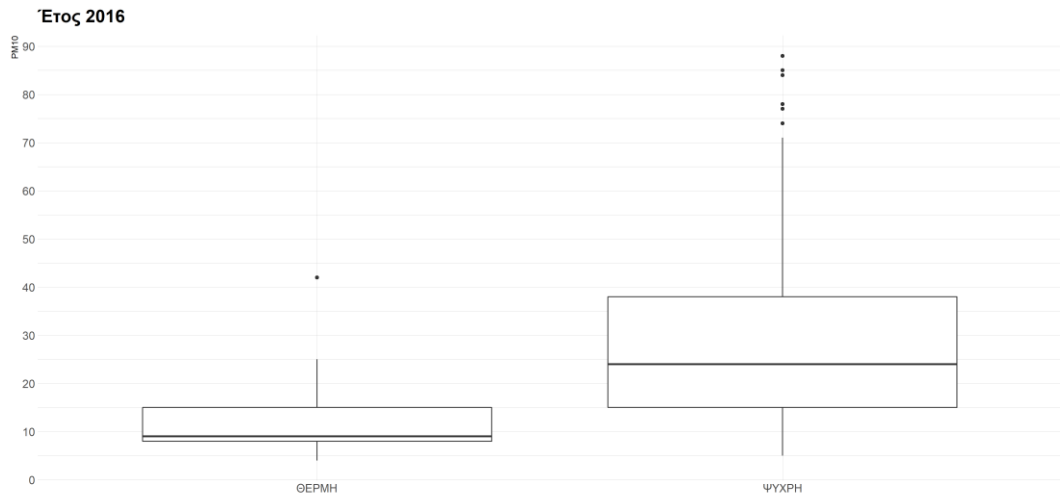
Έτος 2011



Έτος 2012



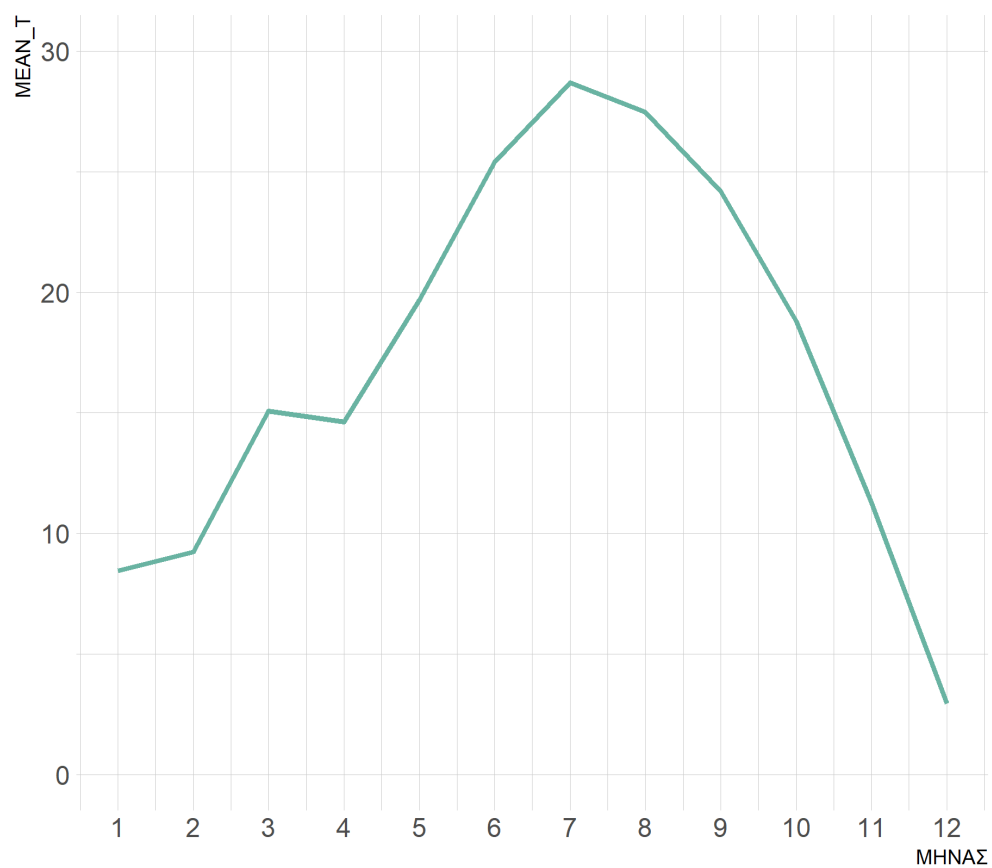




Στα παρακάτω σχήματα φαίνονται τα διαγράμματα της μέσης ημερήσιας τιμής της θερμοκρασίας για τα έτη 2001 – 2018.

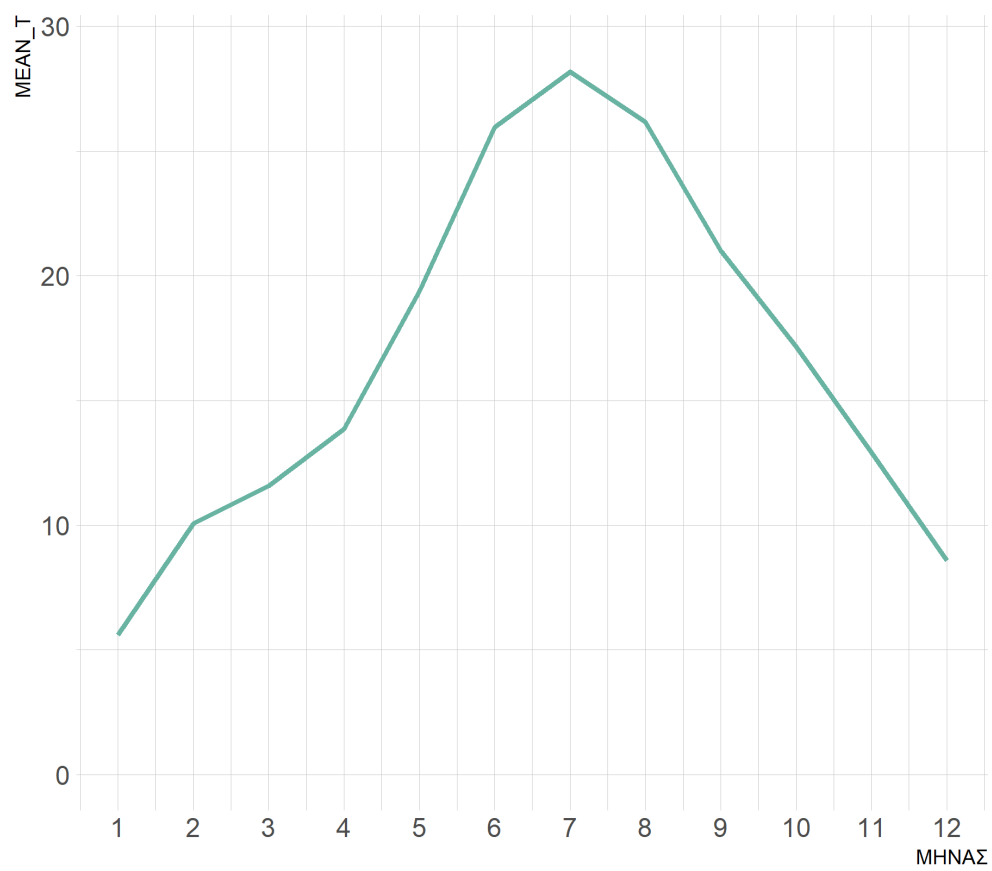
Μέση τιμή θερμοκρασίας ανά μήνα

Έτος 2001



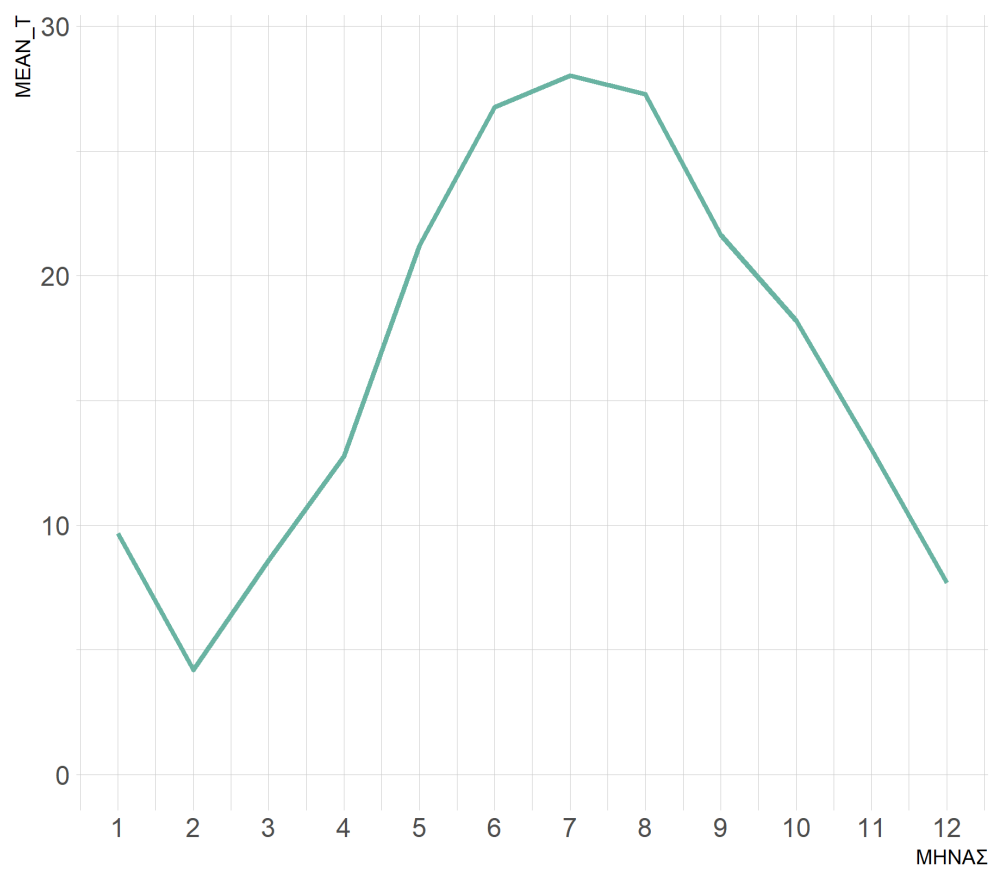
Μέση τιμή θερμοκρασίας ανά μήνα

Έτος 2002



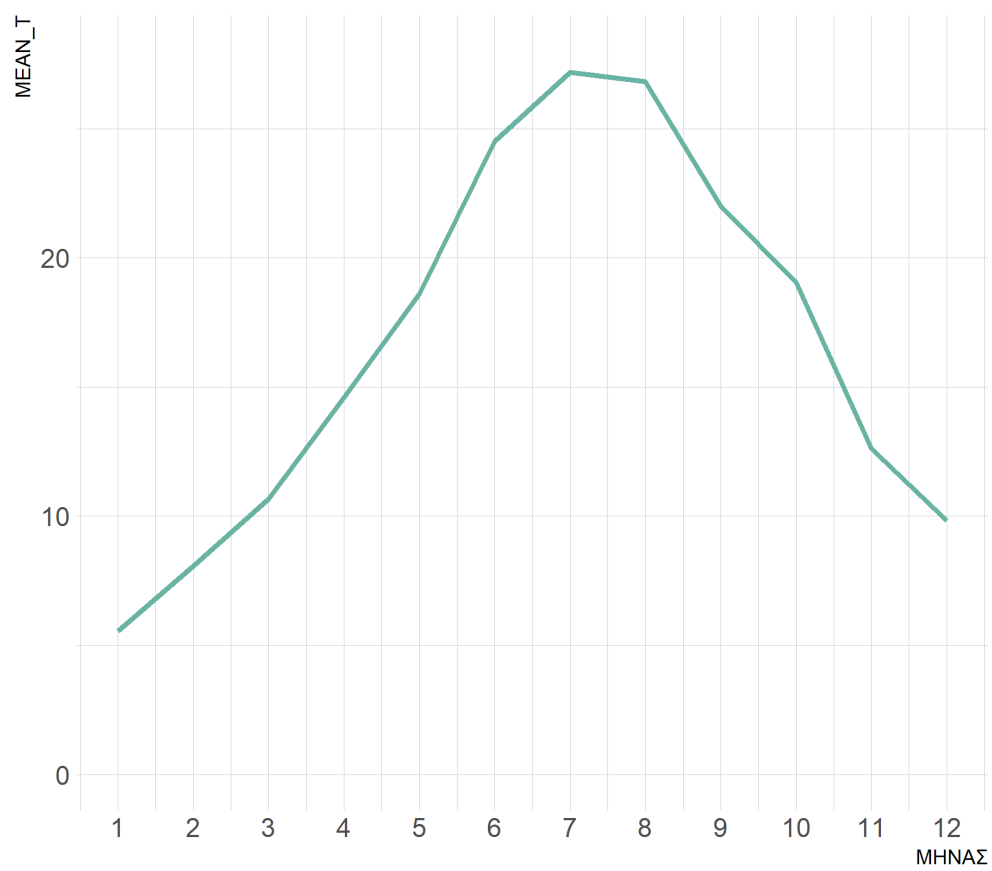
Μέση τιμή θερμοκρασίας ανά μήνα

Έτος 2003



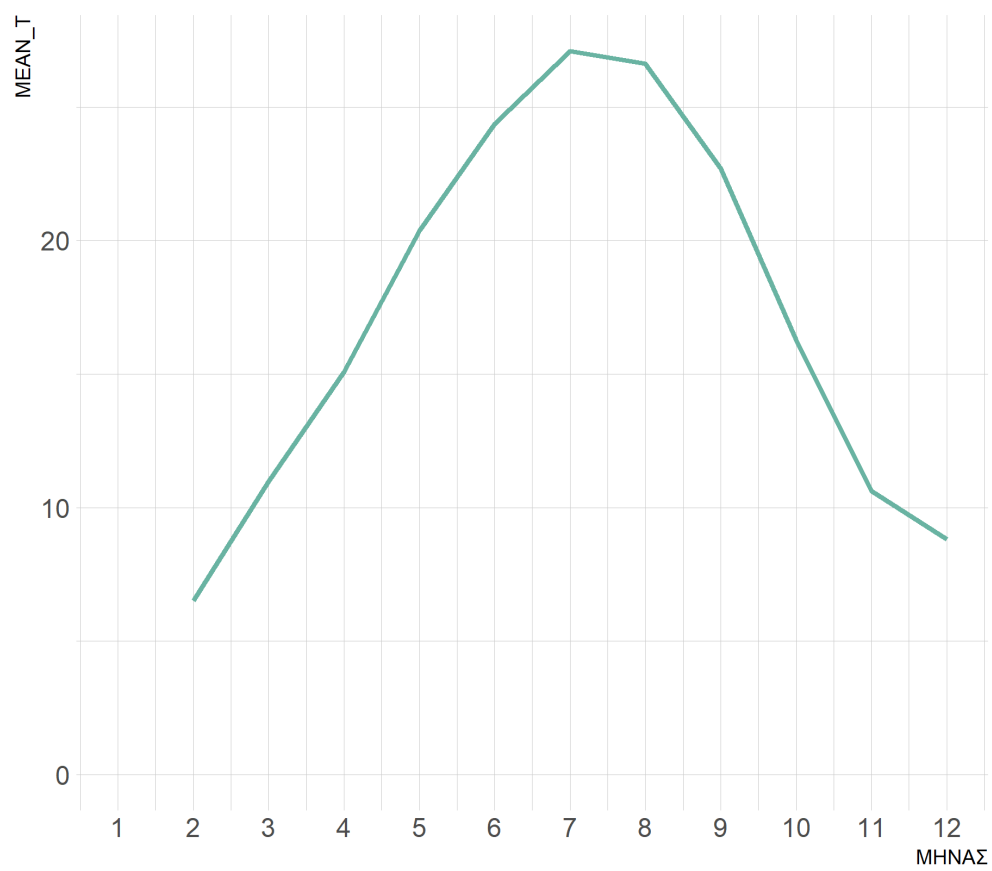
Μέση τιμή θερμοκρασίας ανά μήνα

Έτος 2004



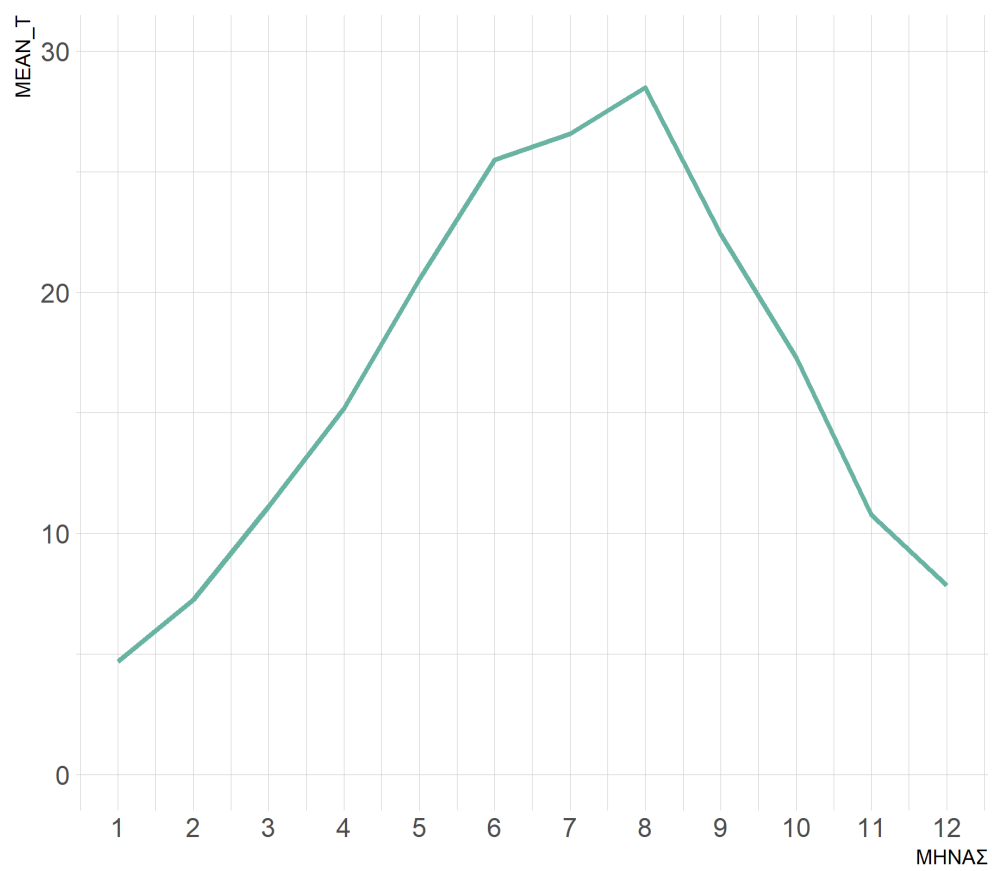
Μέση τιμή θερμοκρασίας ανά μήνα

Έτος 2005



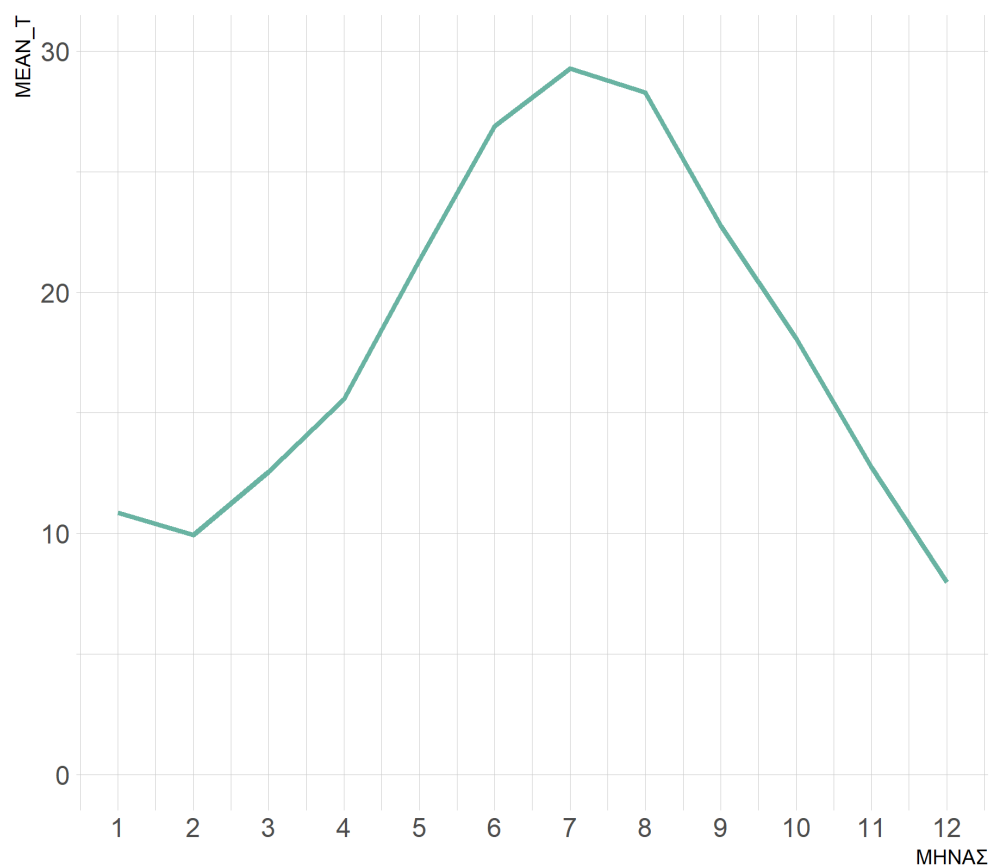
Μέση τιμή θερμοκρασίας ανά μήνα

Έτος 2006



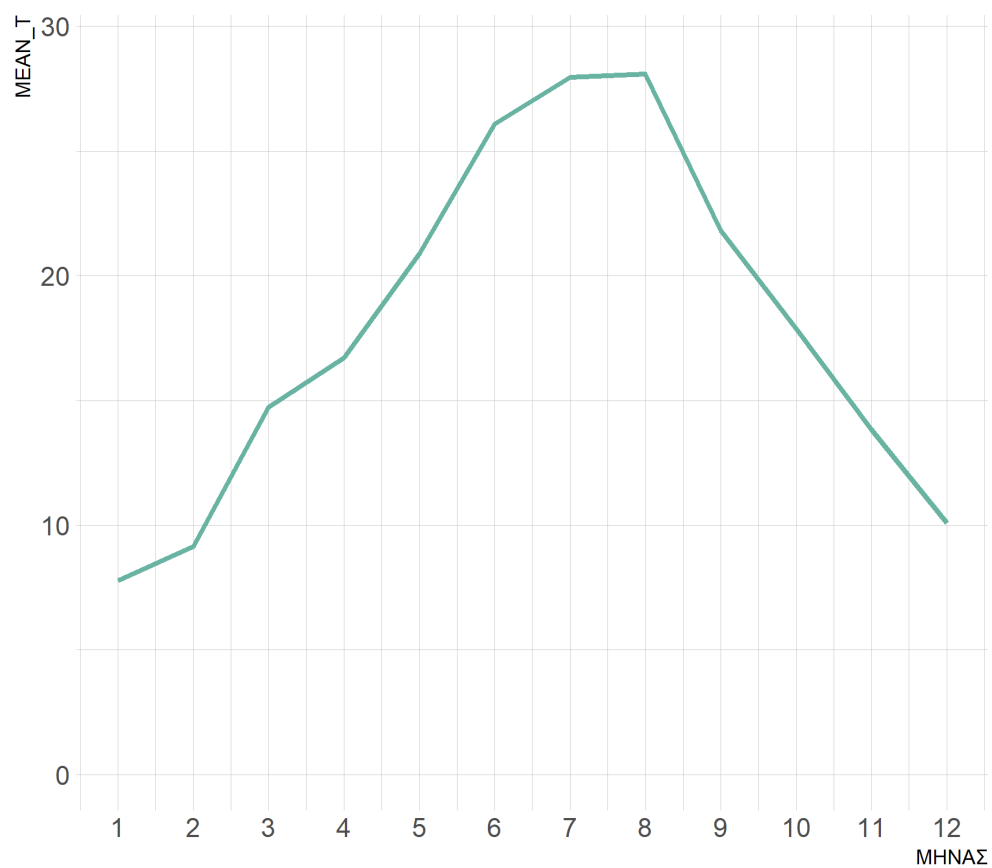
Μέση τιμή θερμοκρασίας ανά μήνα

Έτος 2007



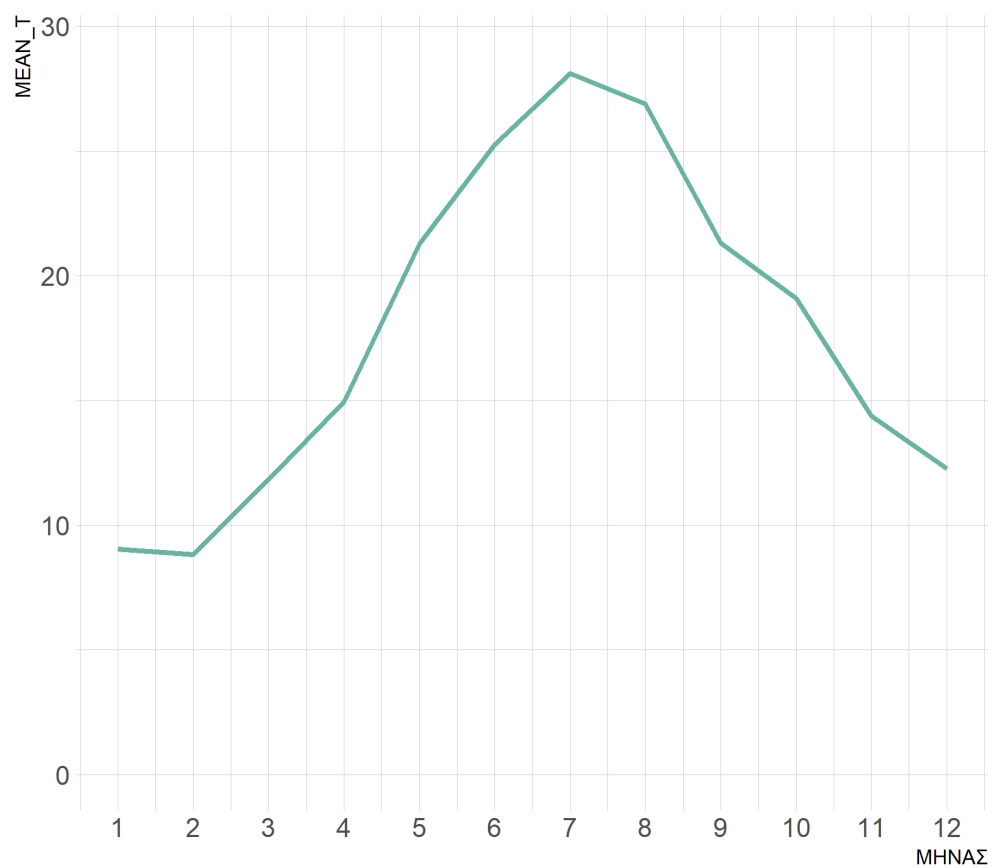
Μέση τιμή θερμοκρασίας ανά μήνα

Έτος 2008



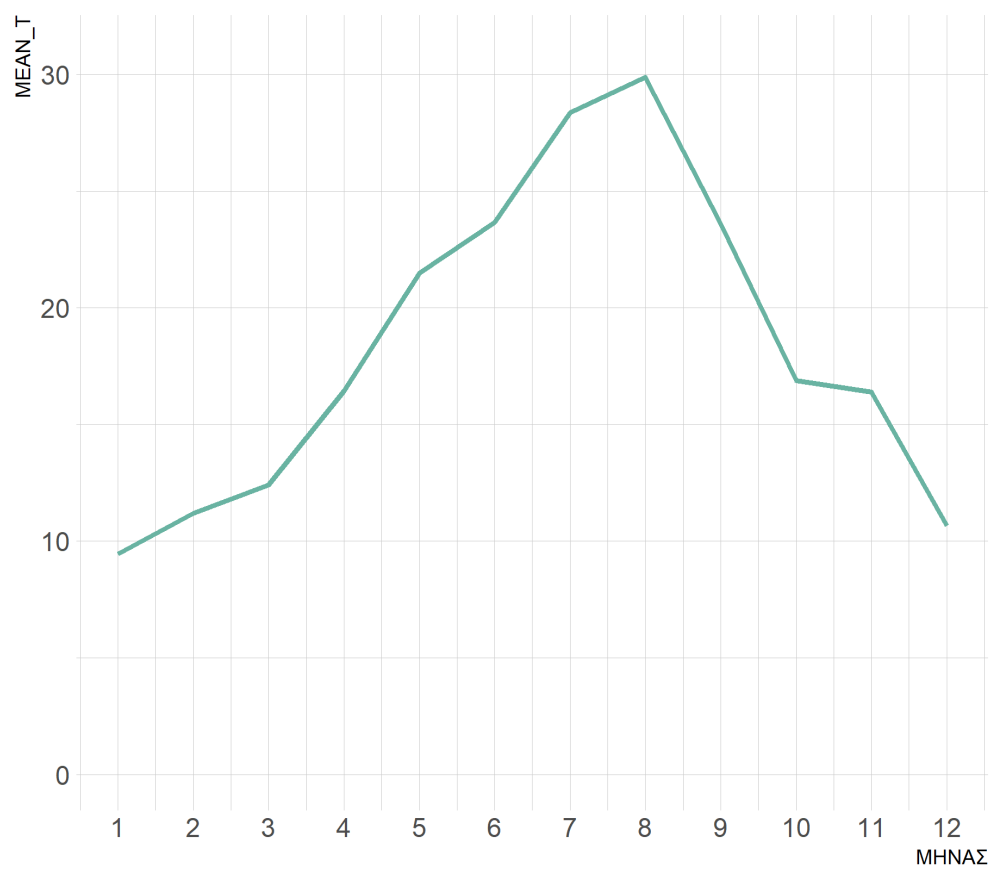
Μέση τιμή θερμοκρασίας ανά μήνα

Έτος 2009



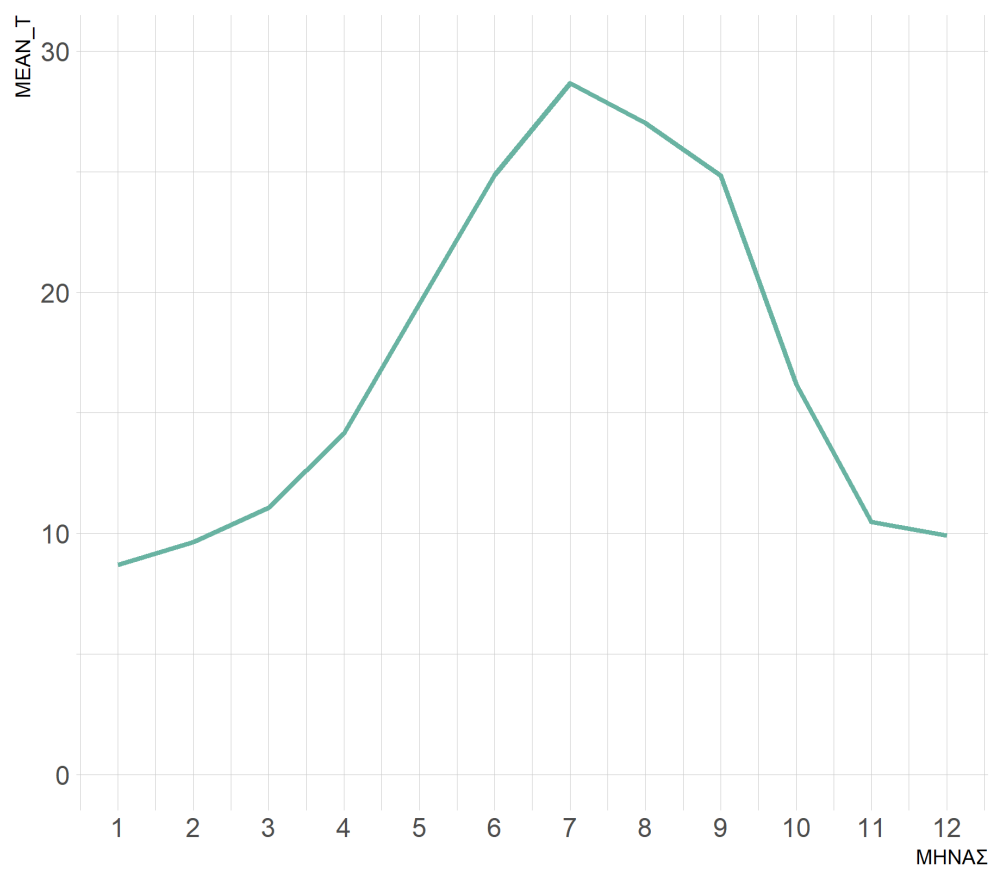
Μέση τιμή θερμοκρασίας ανά μήνα

Έτος 2010



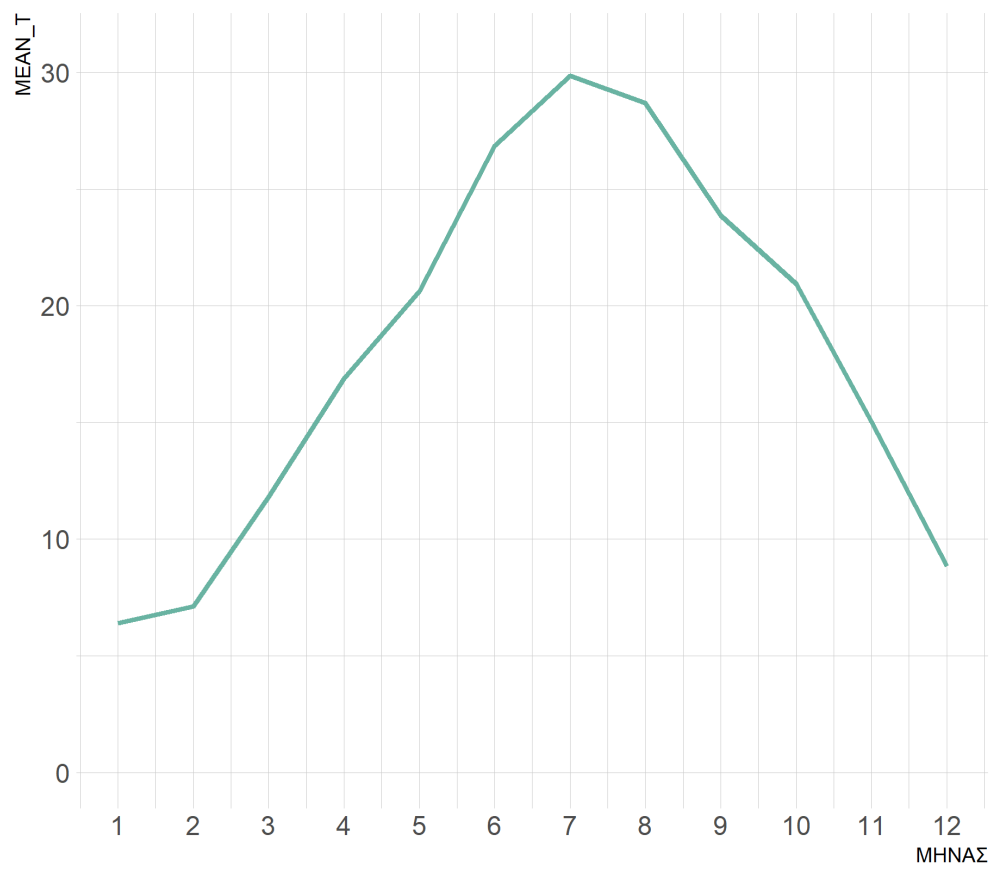
Μέση τιμή θερμοκρασίας ανά μήνα

Έτος 2011



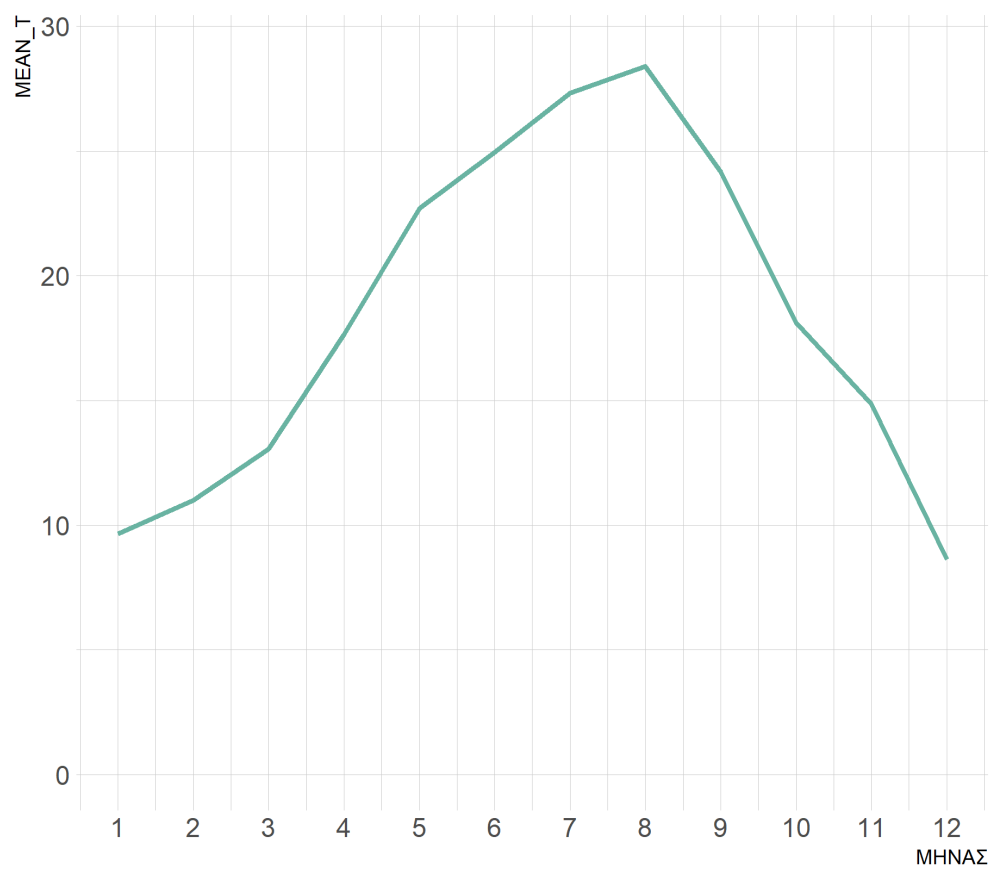
Μέση τιμή θερμοκρασίας ανά μήνα

Έτος 2012



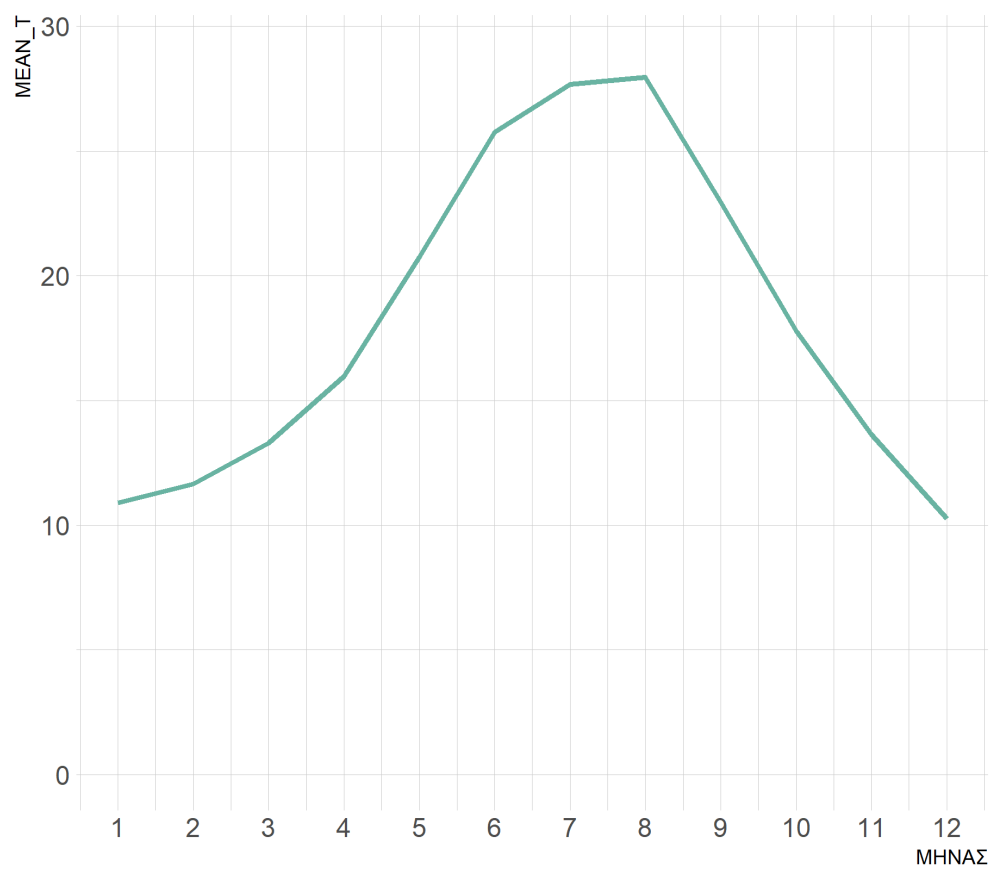
Μέση τιμή θερμοκρασίας ανά μήνα

Έτος 2013



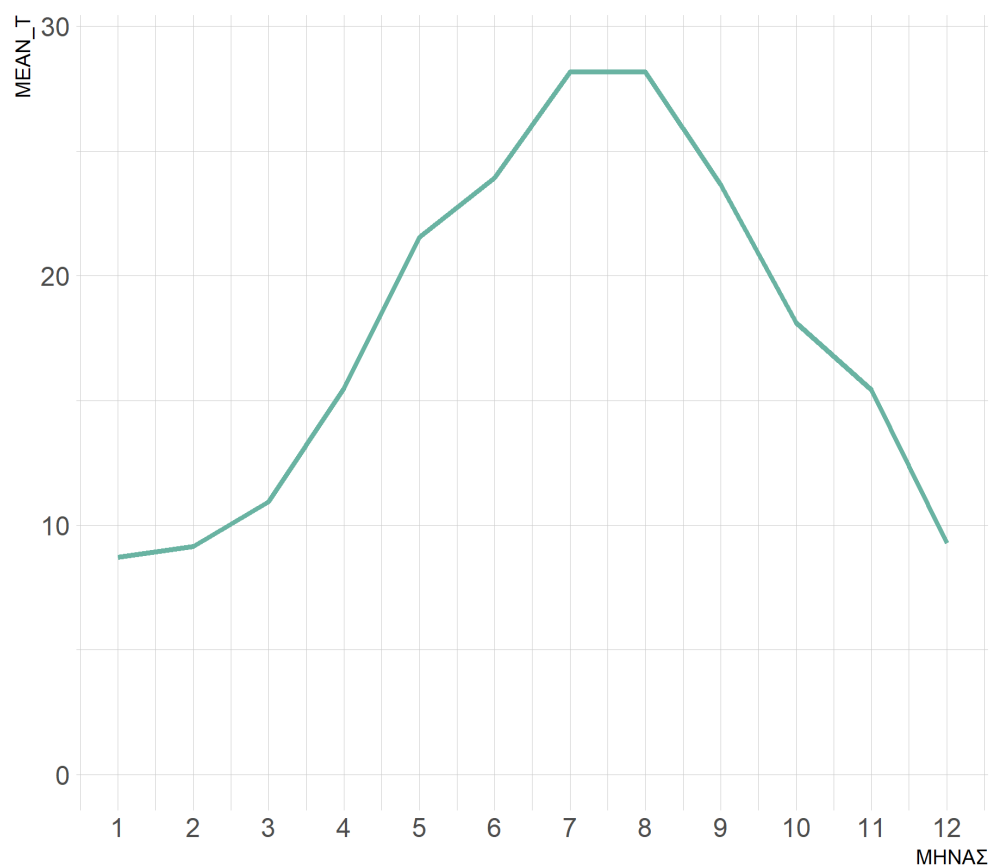
Μέση τιμή θερμοκρασίας ανά μήνα

Έτος 2014



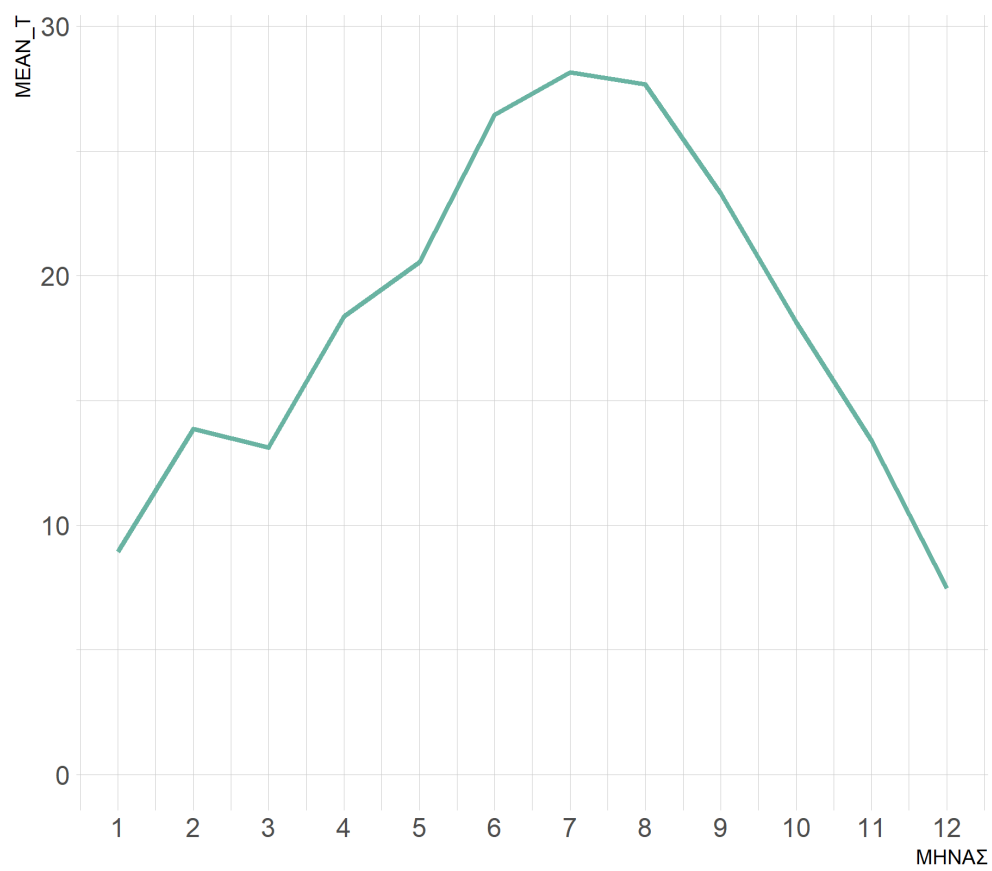
Μέση τιμή θερμοκρασίας ανά μήνα

Έτος 2015



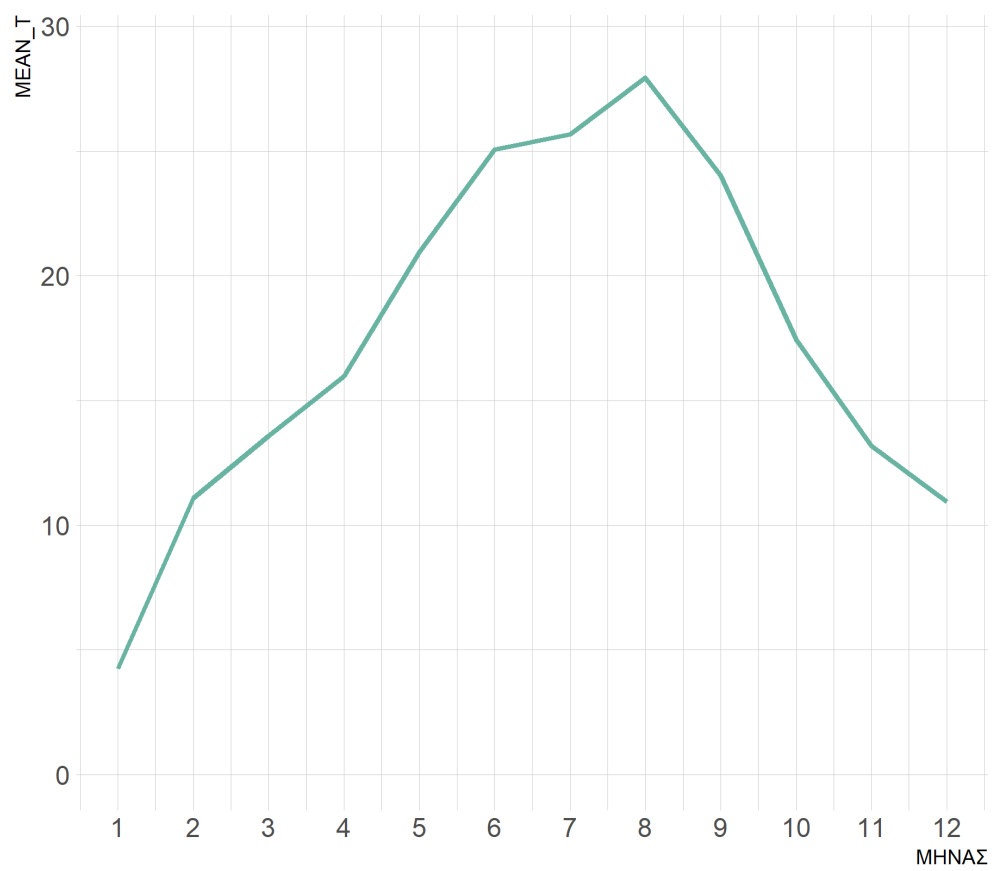
Μέση τιμή θερμοκρασίας ανά μήνα

Έτος 2016



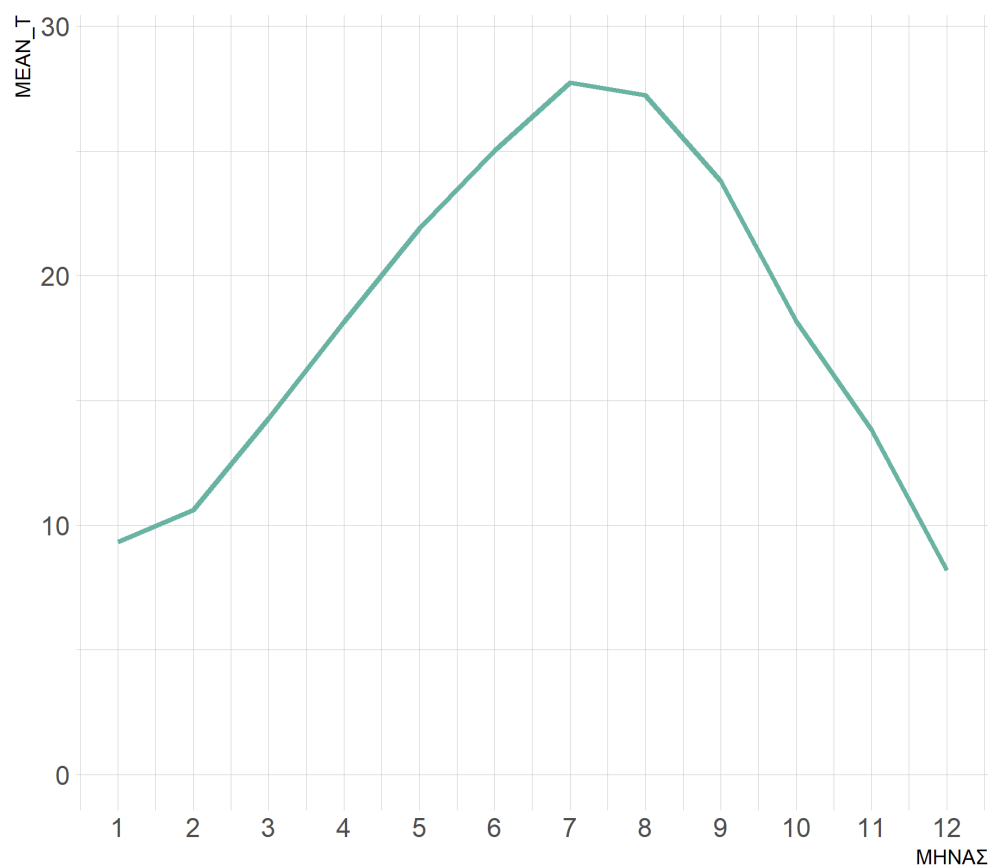
Μέση τιμή θερμοκρασίας ανά μήνα

Έτος 2017



Μέση τιμή θερμοκρασίας ανά μήνα

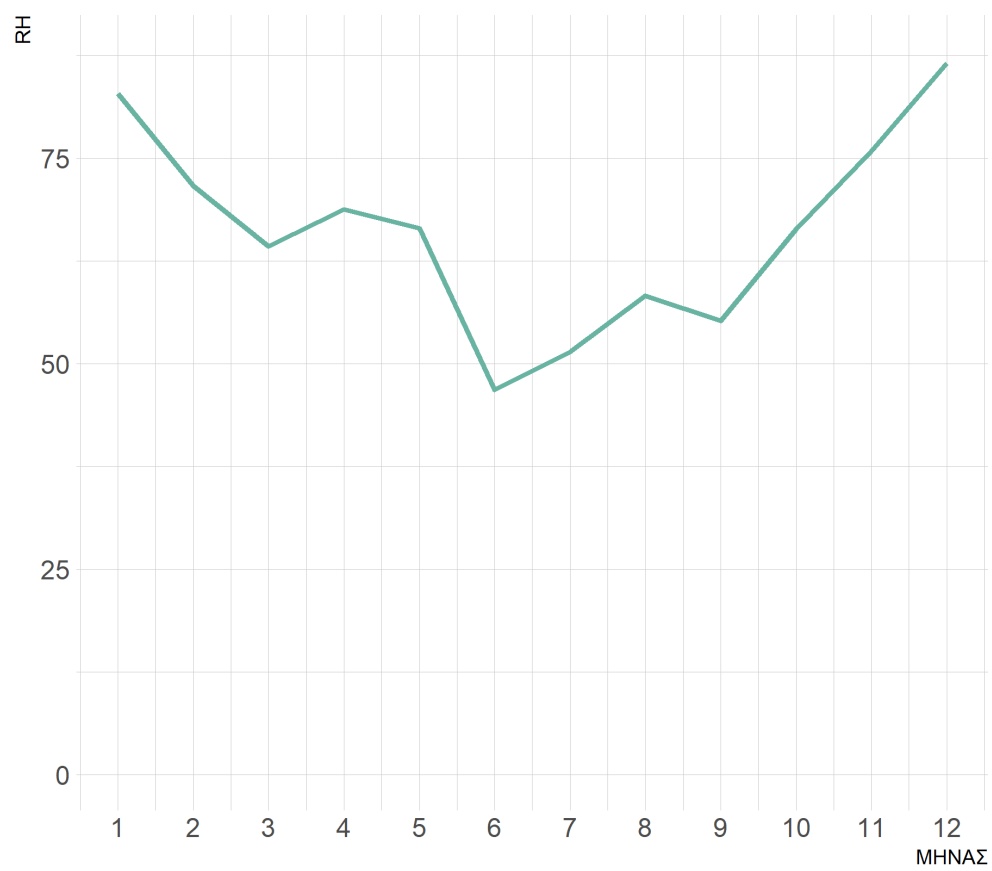
Έτος 2018



Στα παρακάτω σχήματα φαίνονται τα διαγράμματα της μέσης ημερήσιας τιμής της σχετικής υγρασίας για τα έτη 2001 – 2018.

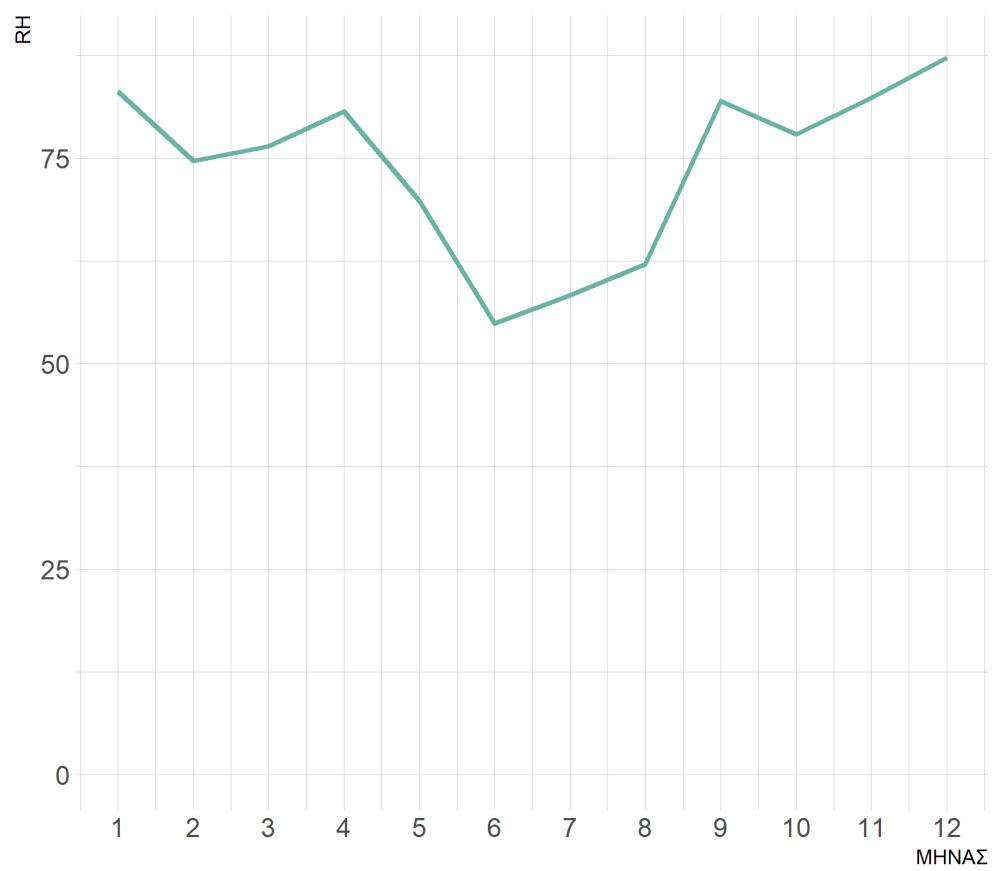
Μέση τιμή σχετικής υγρασίας ανά μήνα

Έτος 2001



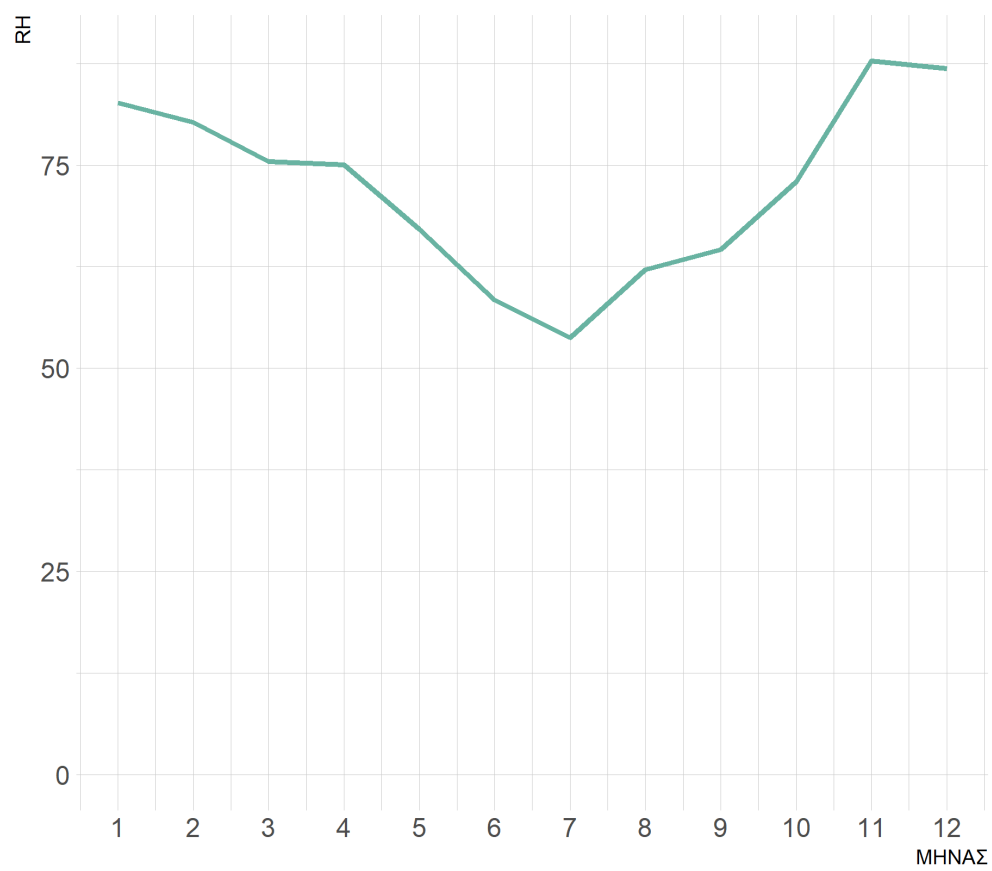
Μέση τιμή σχετικής υγρασίας ανά μήνα

Έτος 2002



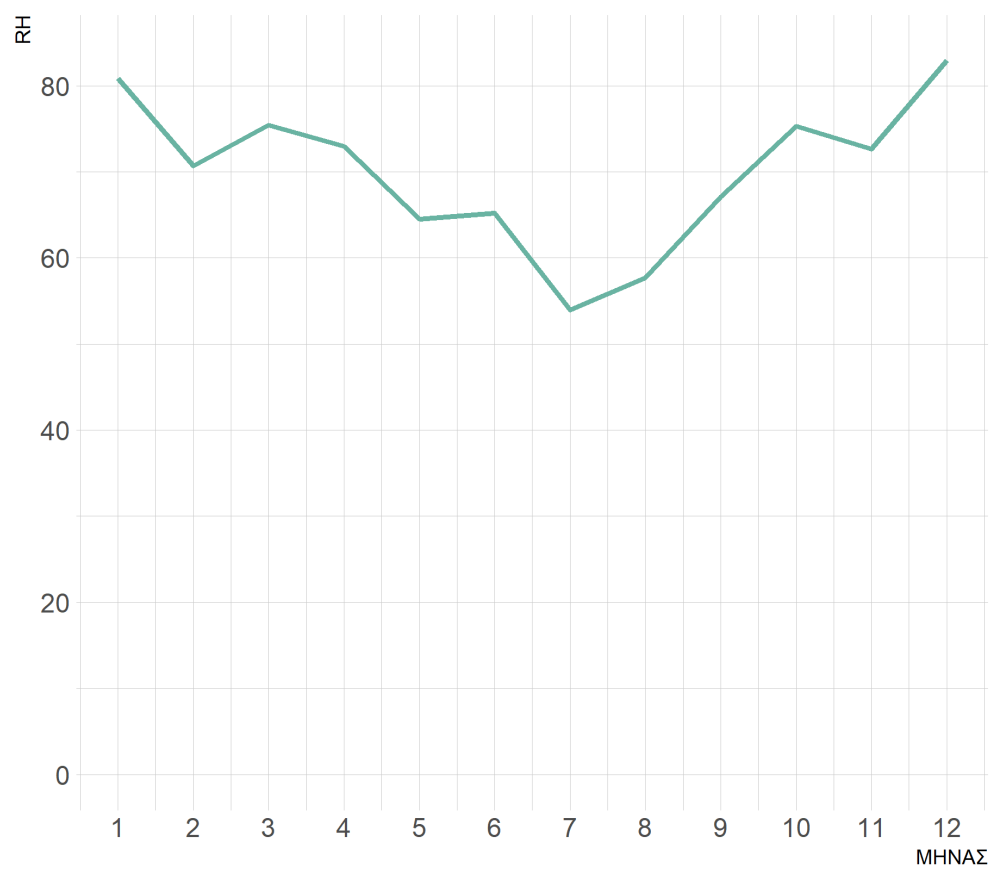
Μέση τιμή σχετικής υγρασίας ανά μήνα

Έτος 2003



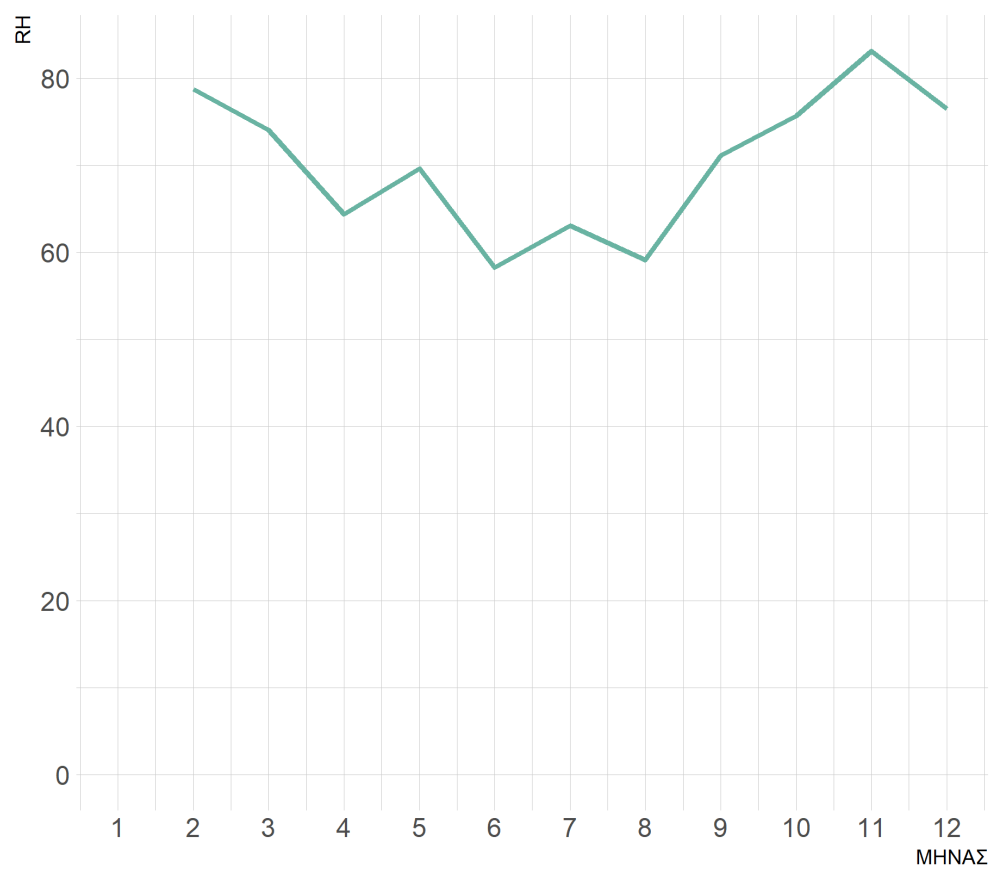
Μέση τιμή σχετικής υγρασίας ανά μήνα

Έτος 2004



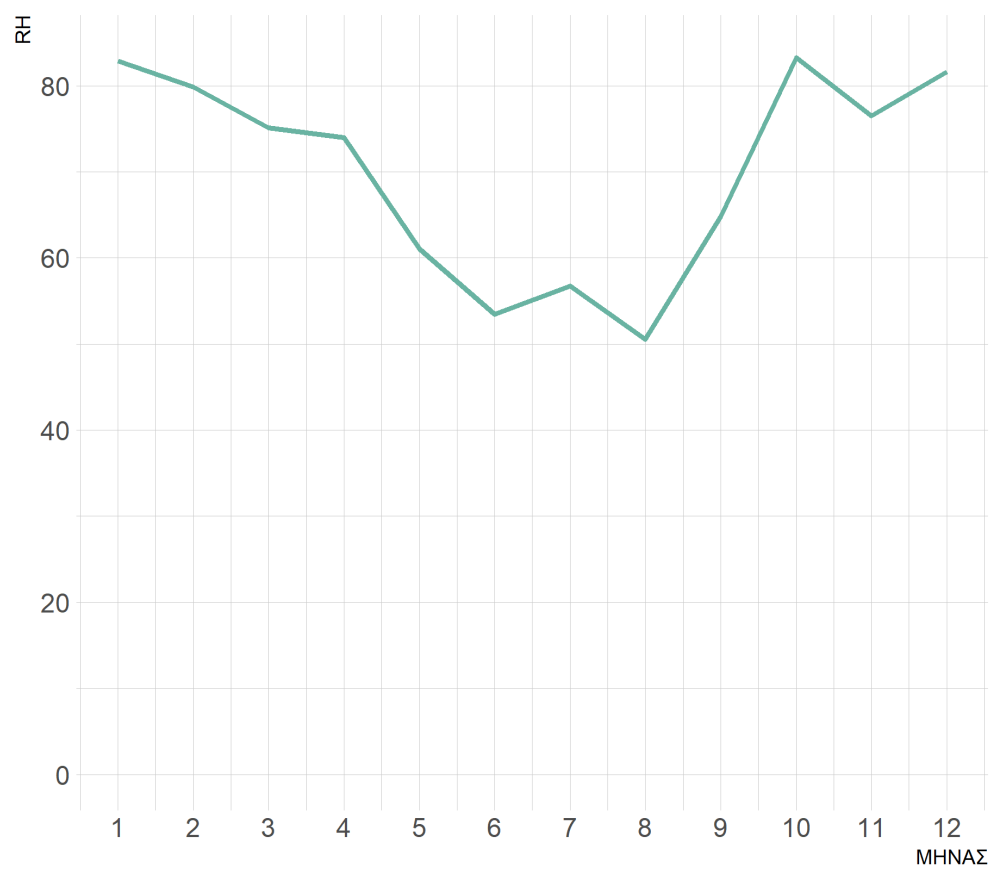
Μέση τιμή σχετικής υγρασίας ανά μήνα

Έτος 2005



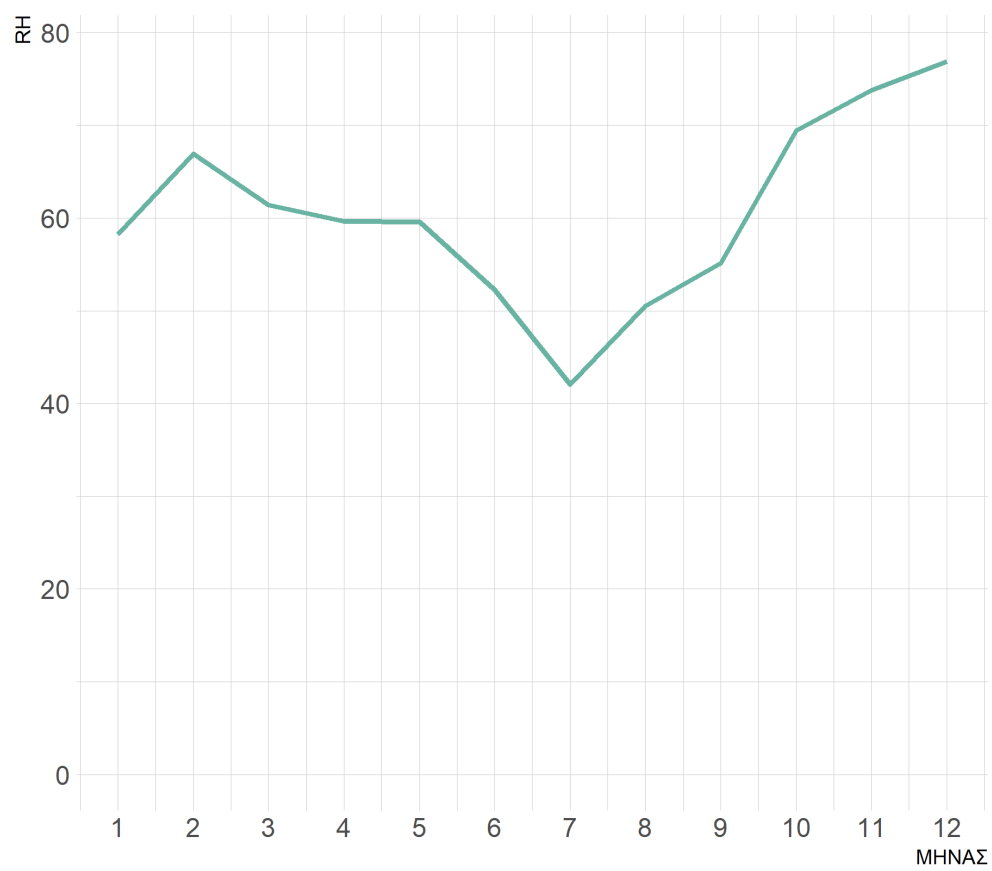
Μέση τιμή σχετικής υγρασίας ανά μήνα

Έτος 2006



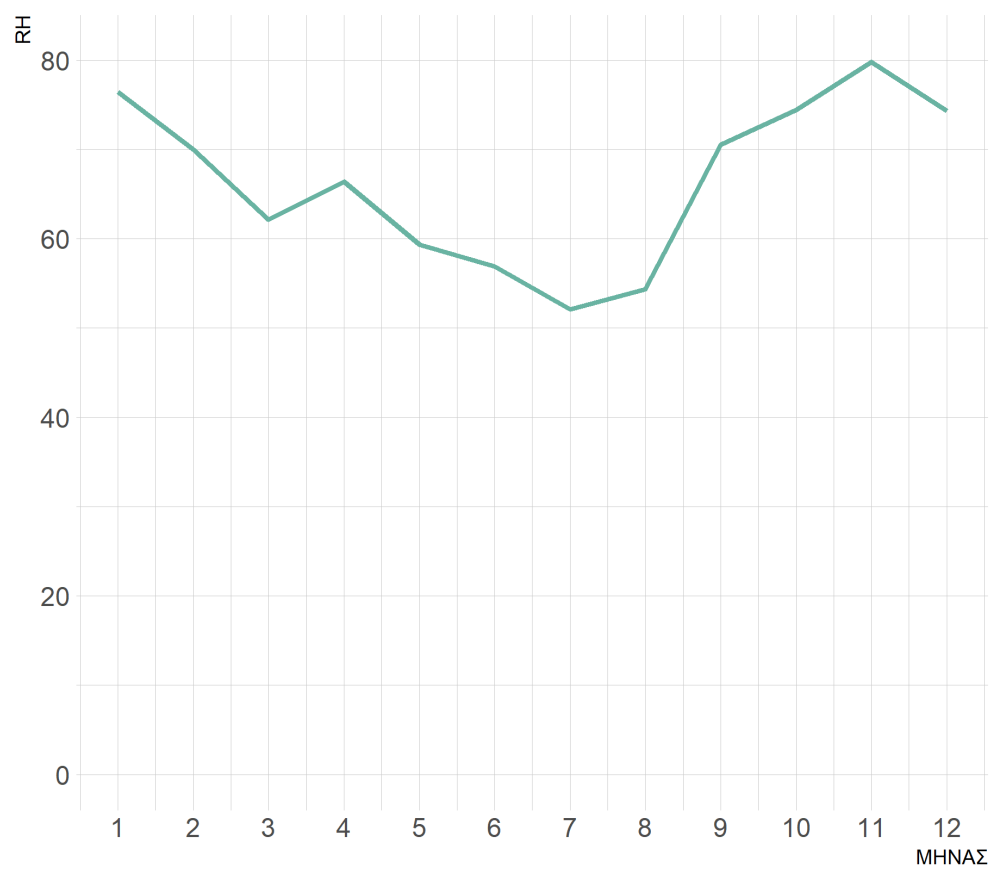
Μέση τιμή σχετικής υγρασίας ανά μήνα

Έτος 2007



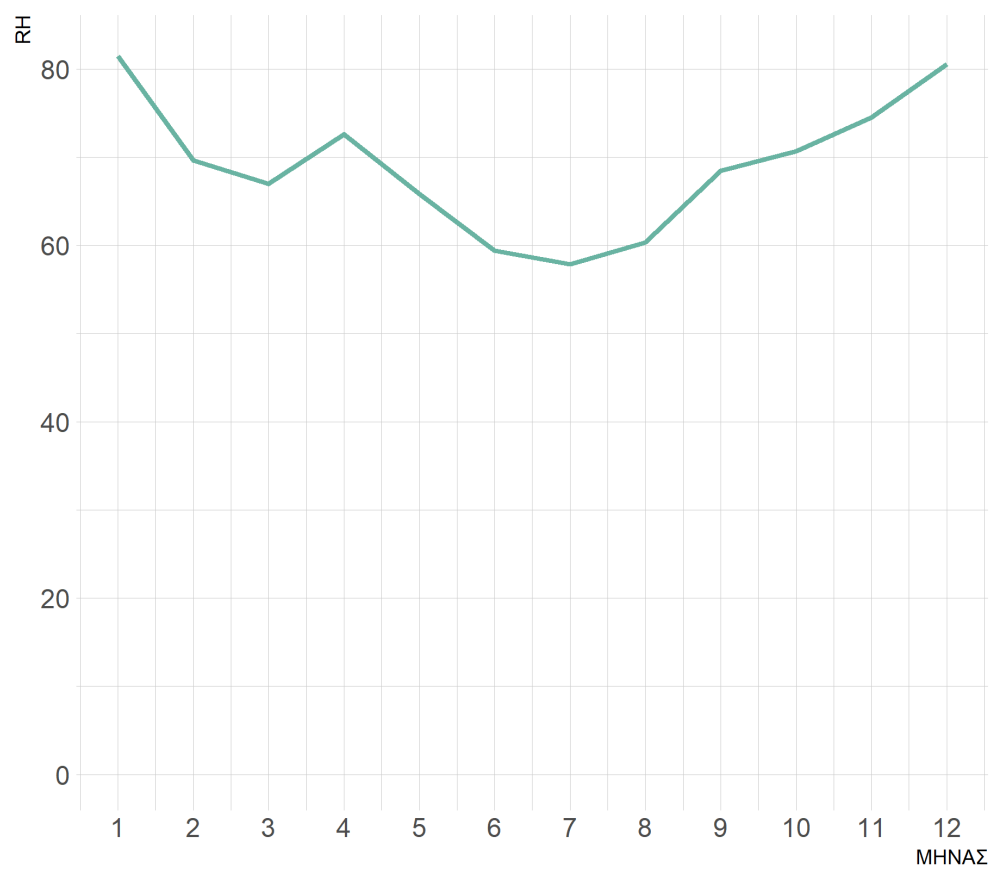
Μέση τιμή σχετικής υγρασίας ανά μήνα

Έτος 2008



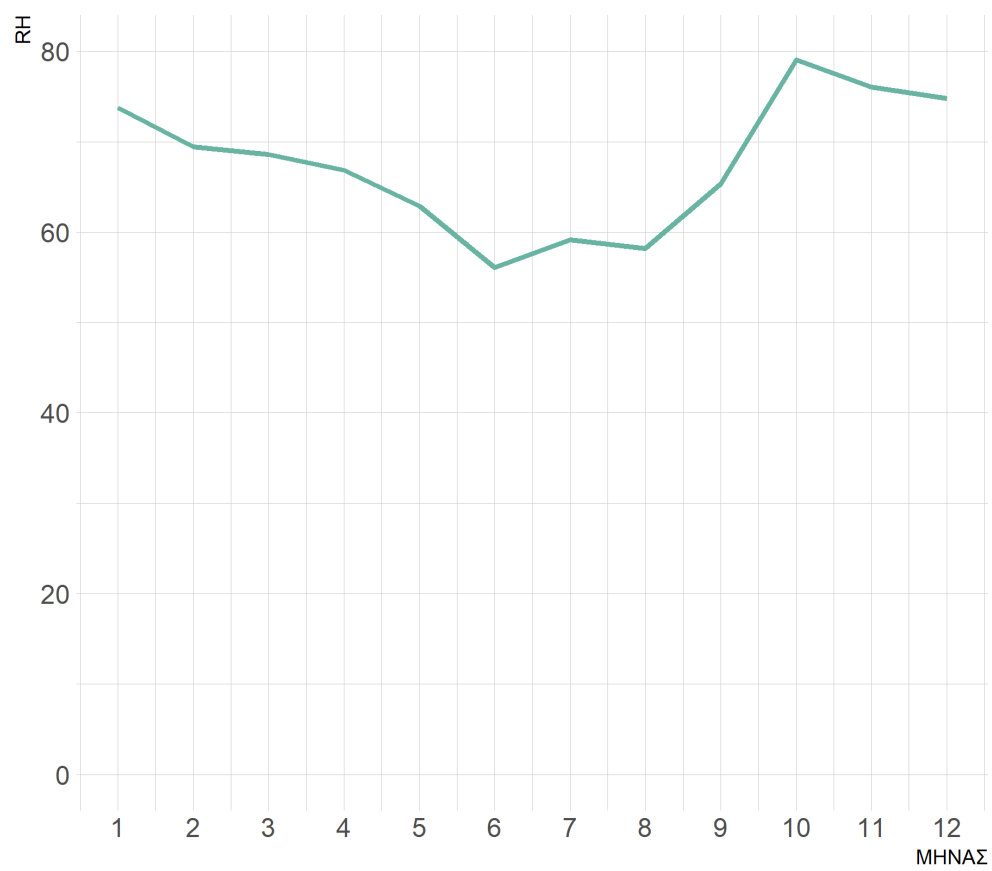
Μέση τιμή σχετικής υγρασίας ανά μήνα

Έτος 2009



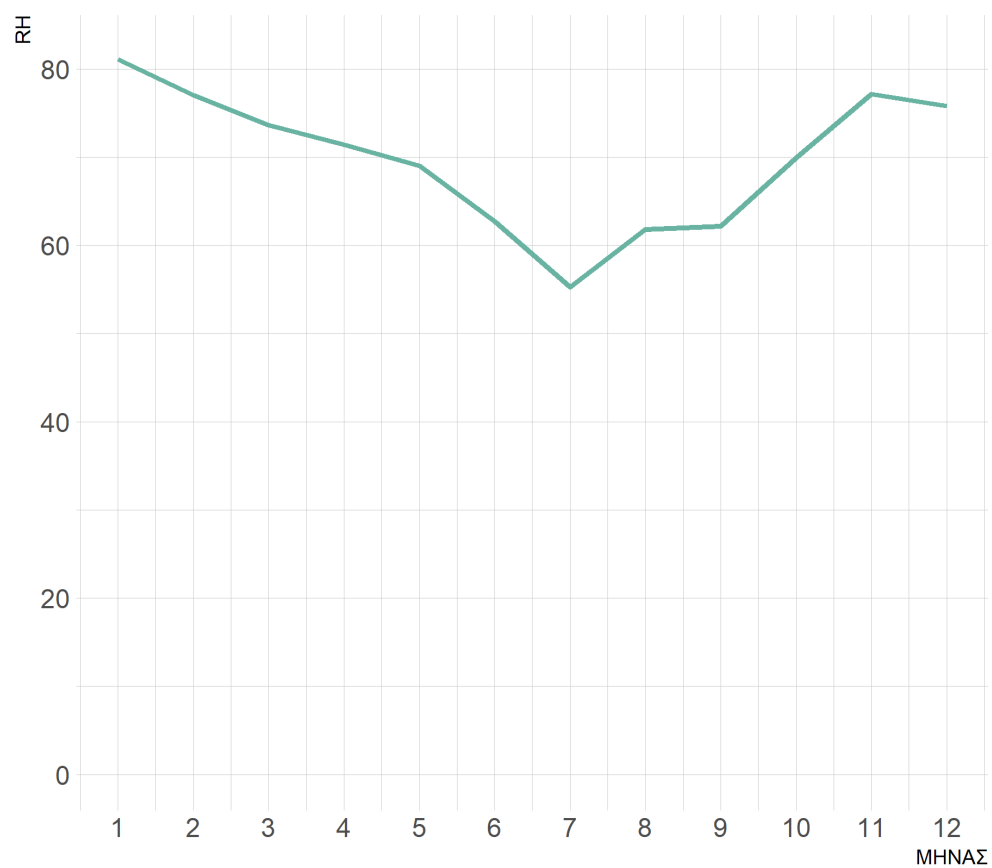
Μέση τιμή σχετικής υγρασίας ανά μήνα

Έτος 2010



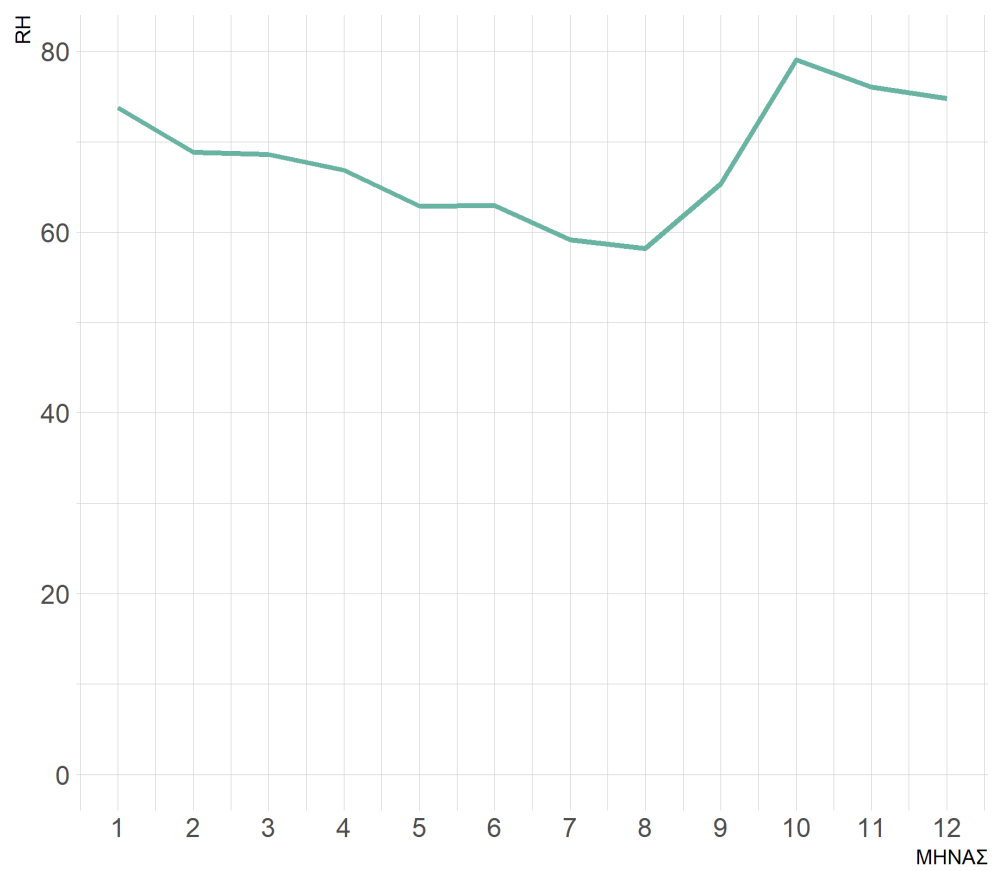
Μέση τιμή σχετικής υγρασίας ανά μήνα

Έτος 2011



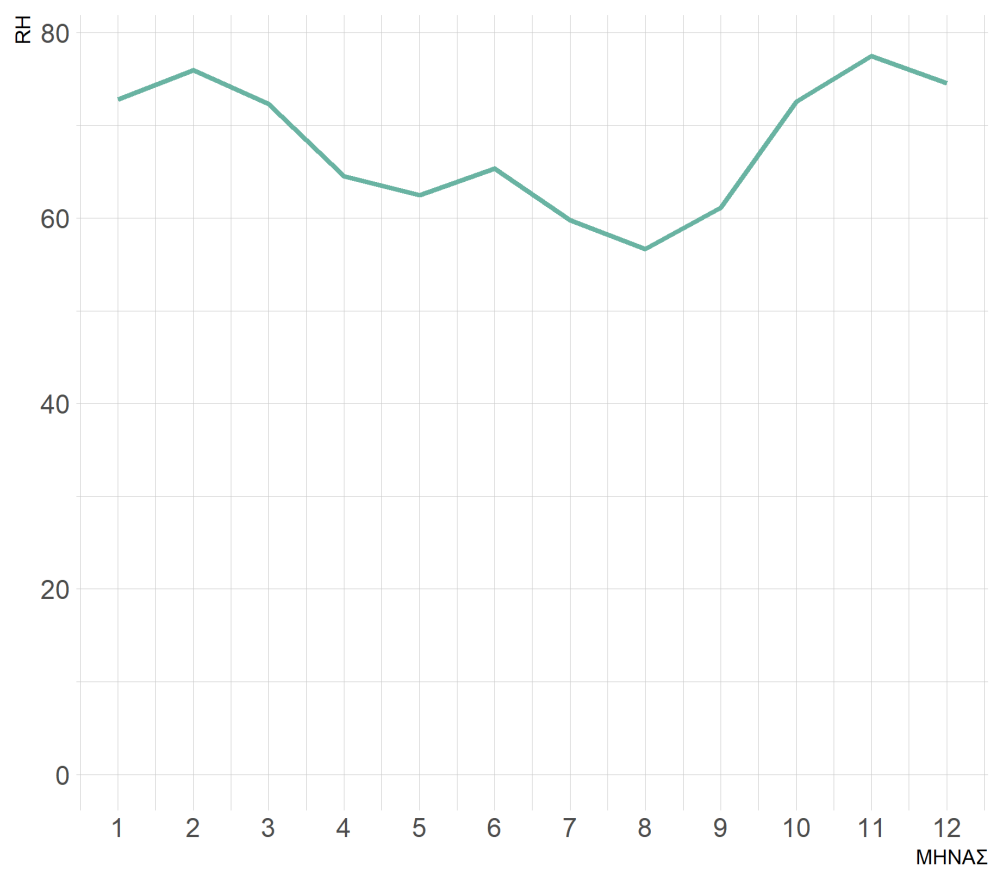
Μέση τιμή σχετικής υγρασίας ανά μήνα

Έτος 2012



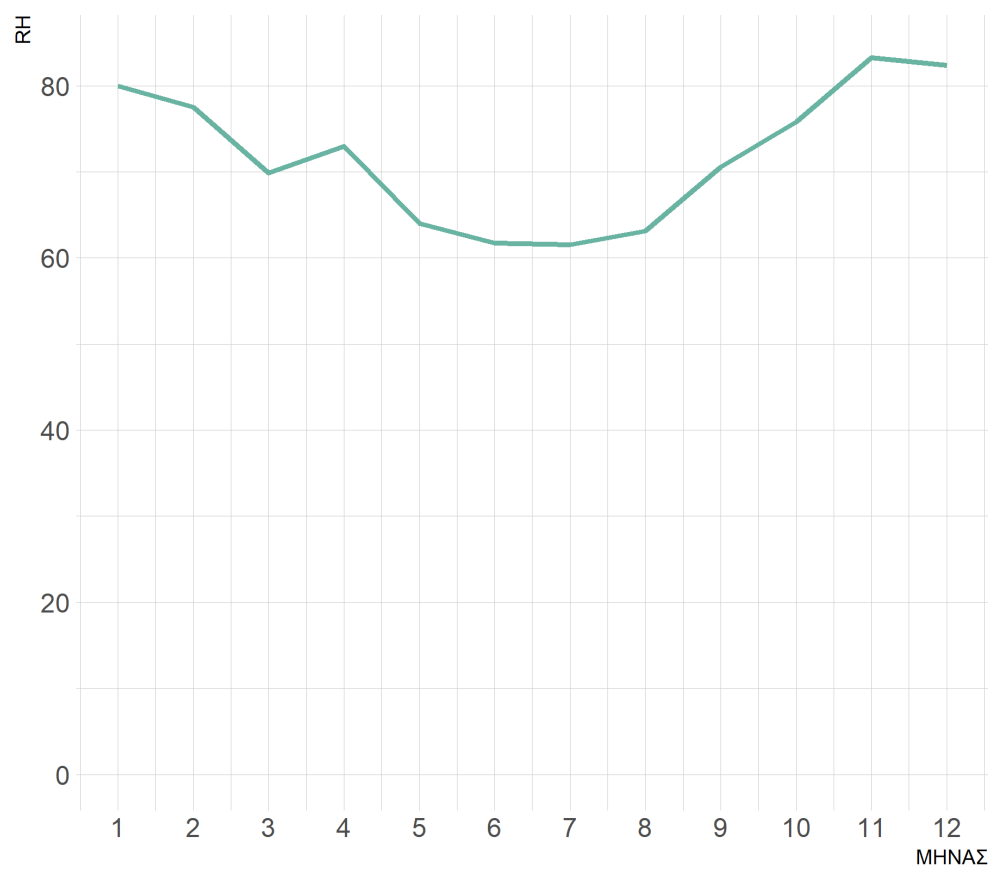
Μέση τιμή σχετικής υγρασίας ανά μήνα

Έτος 2013



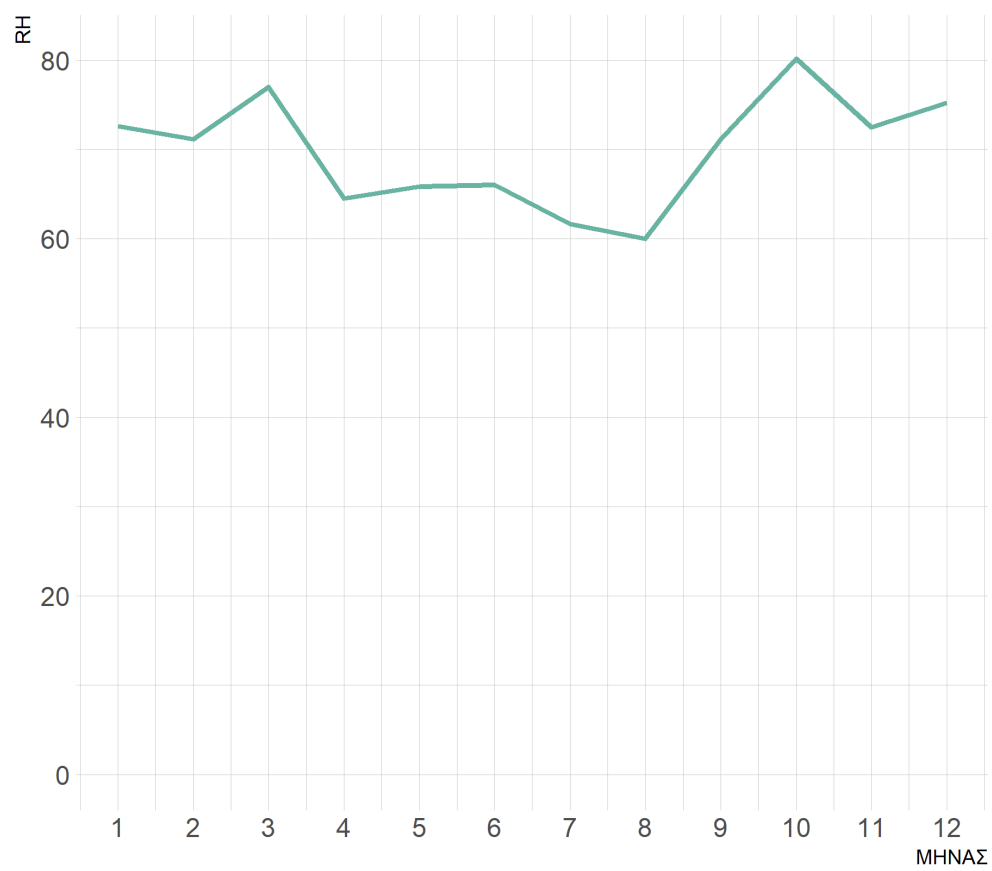
Μέση τιμή σχετικής υγρασίας ανά μήνα

Έτος 2014



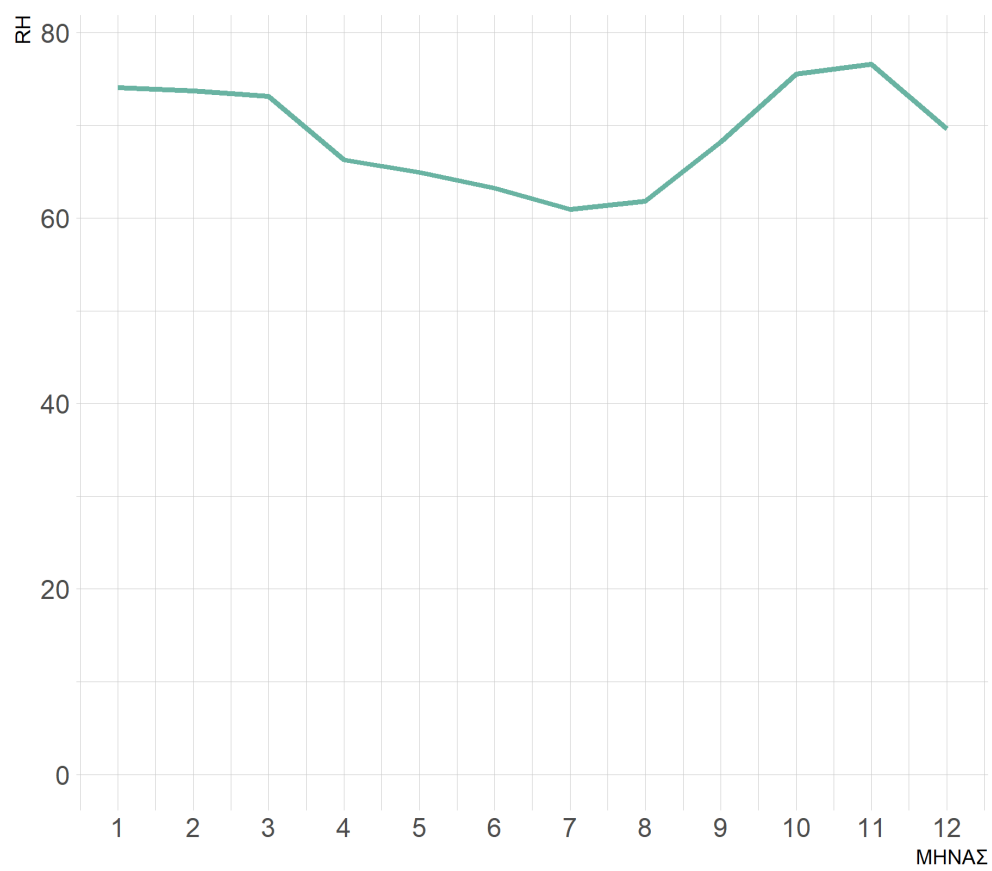
Μέση τιμή σχετικής υγρασίας ανά μήνα

Έτος 2015



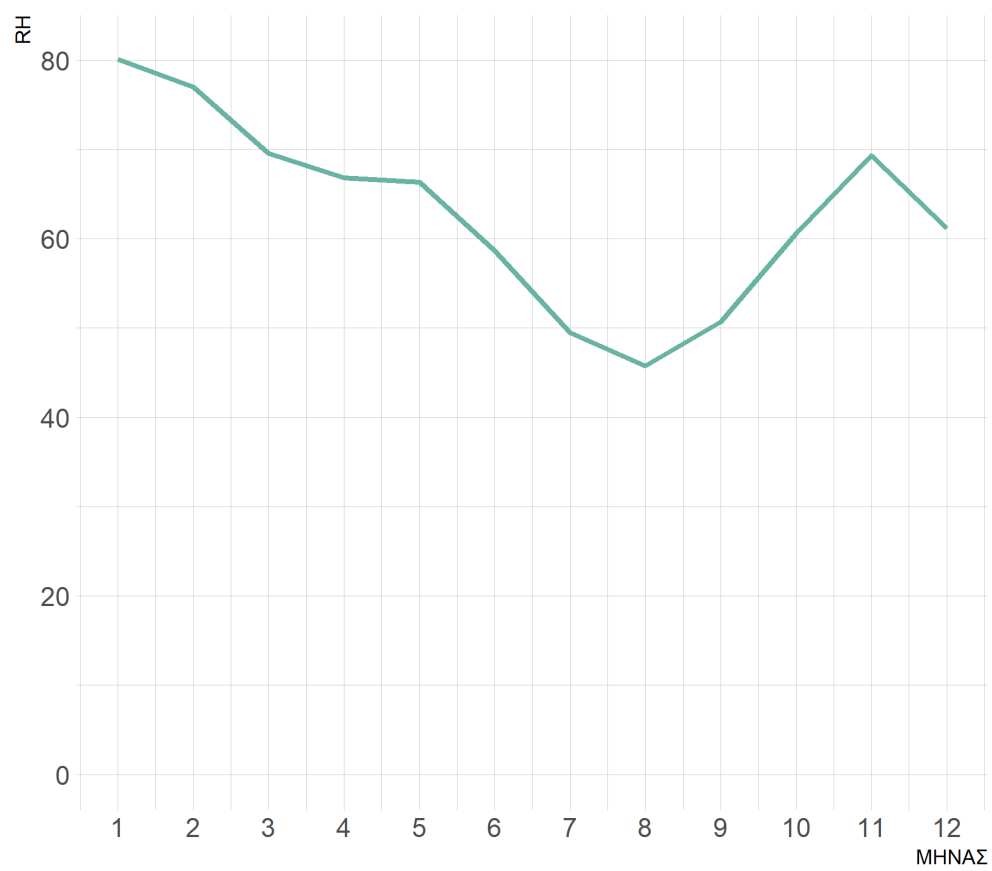
Μέση τιμή σχετικής υγρασίας ανά μήνα

Έτος 2016



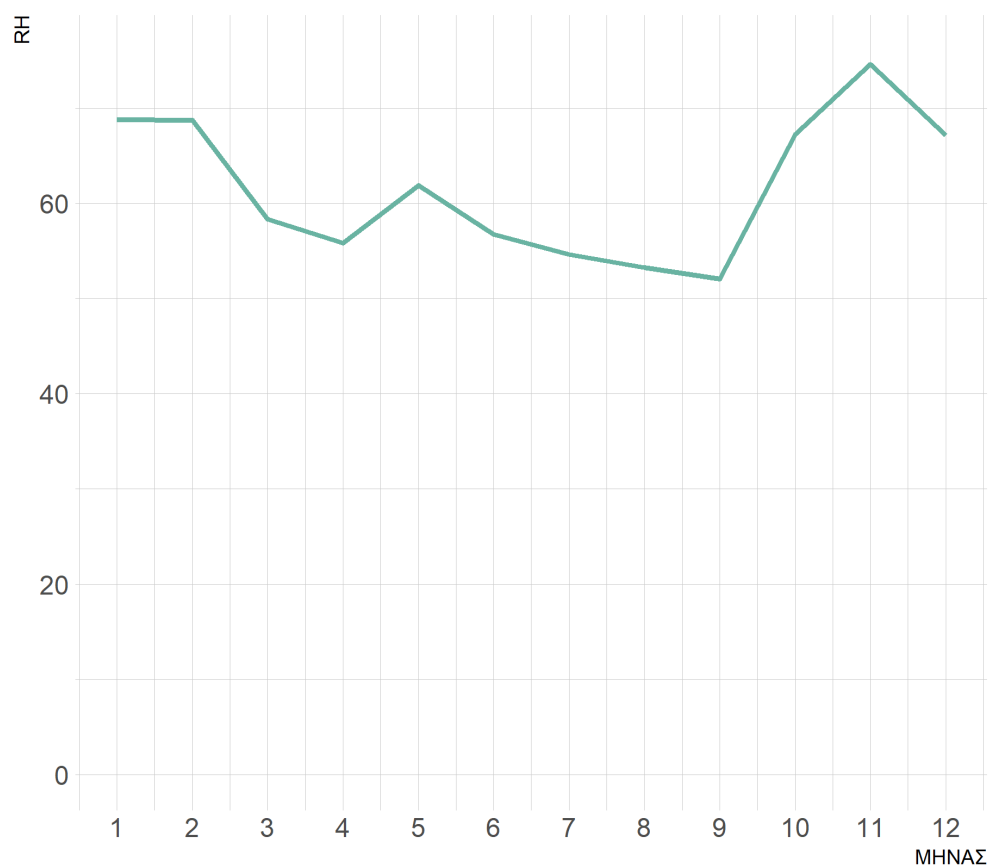
Μέση τιμή σχετικής υγρασίας ανά μήνα

Έτος 2017



Μέση τιμή σχετικής υγρασίας ανά μήνα

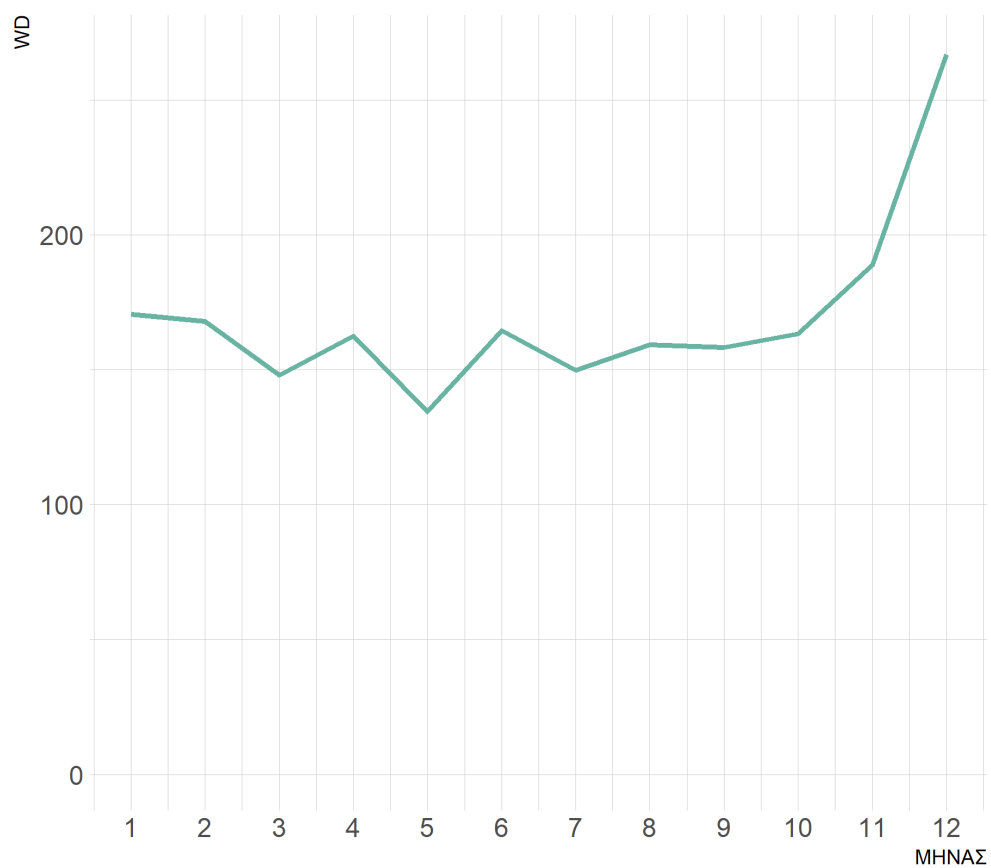
Έτος 2018



Στα παρακάτω σχήματα φαίνονται τα διαγράμματα της μέσης ημερήσιας τιμής της κατεύθυνσης του ανέμου για τα έτη 2001 – 2018.

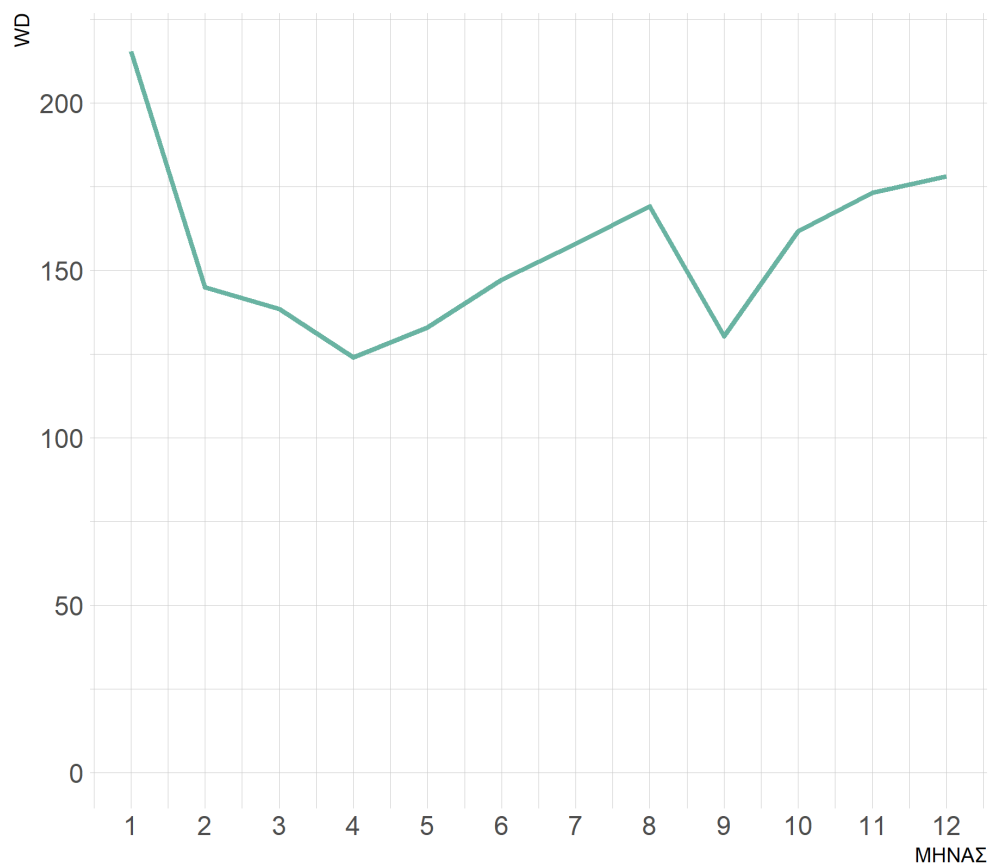
Μέση τιμή διεύθυνσης ανέμου ανά μήνα

Έτος 2001



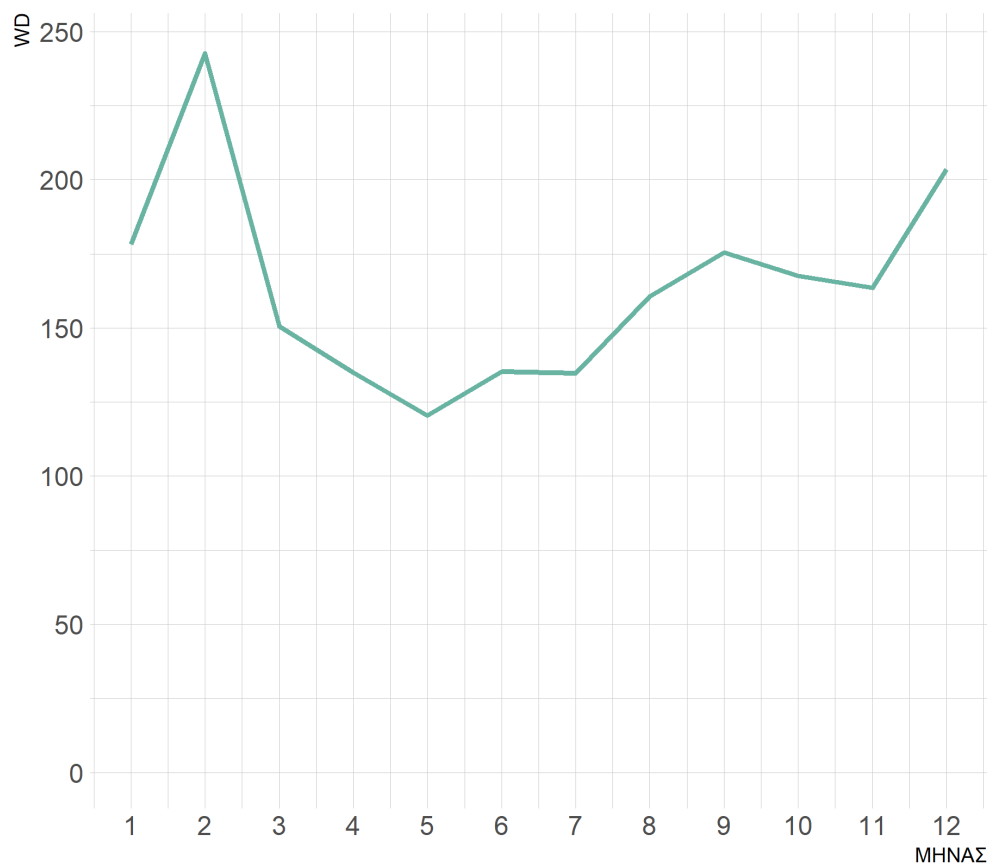
Μέση τιμή διεύθυνσης ανέμου ανά μήνα

Έτος 2002



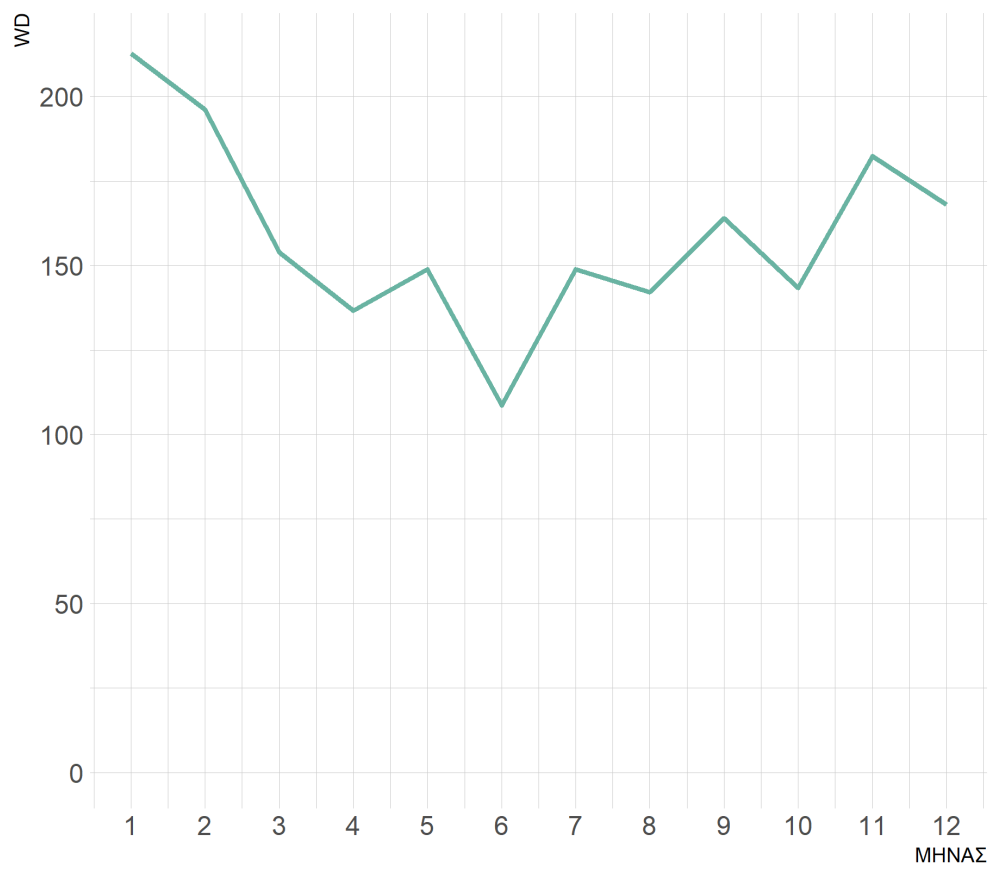
Μέση τιμή διεύθυνσης ανέμου ανά μήνα

Έτος 2003



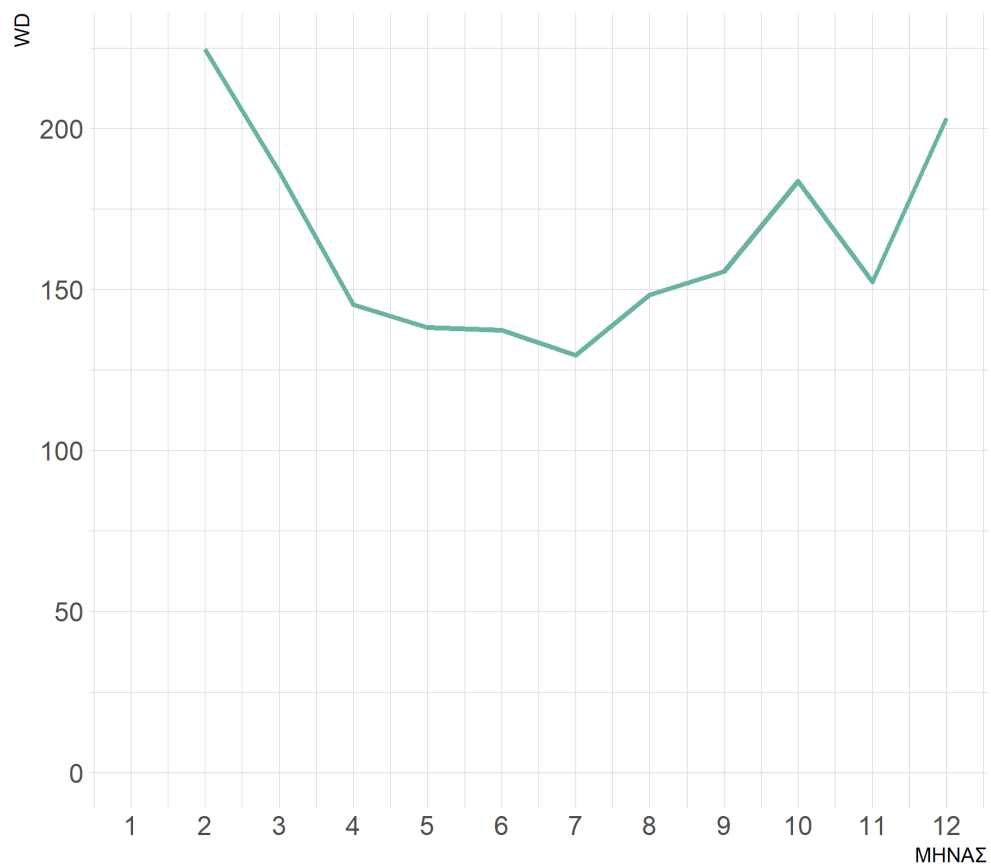
Μέση τιμή διεύθυνσης ανέμου ανά μήνα

Έτος 2004



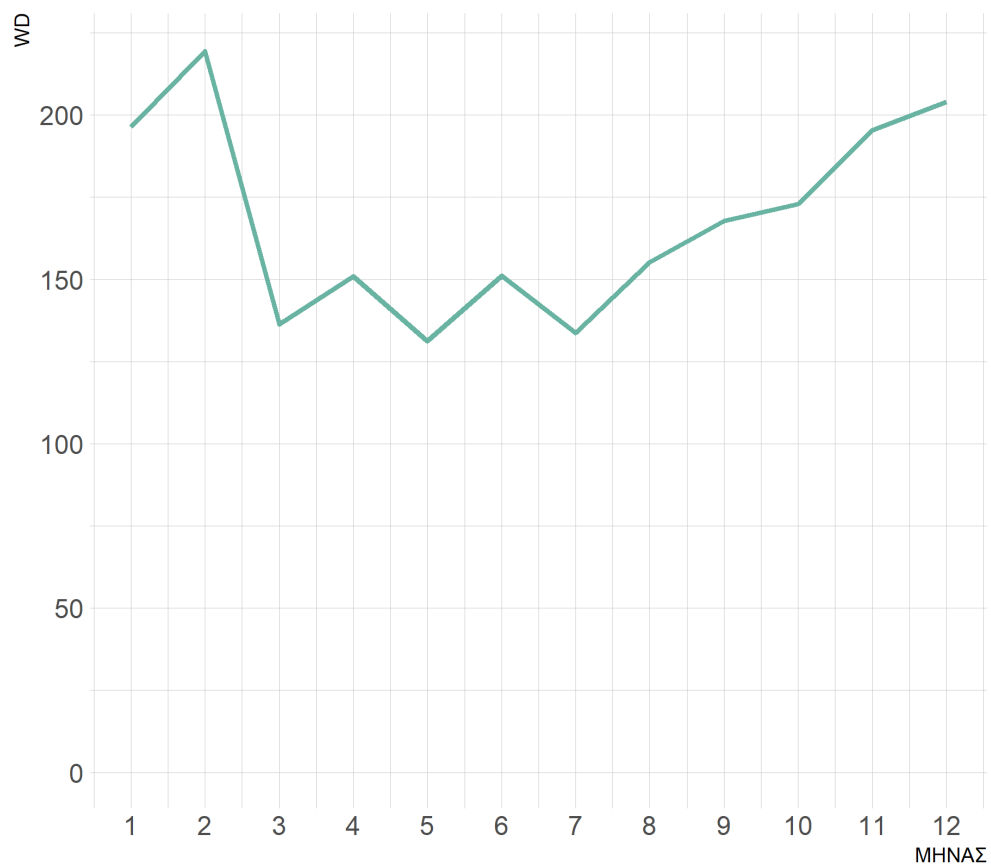
Μέση τιμή διεύθυνσης ανέμου ανά μήνα

Έτος 2005



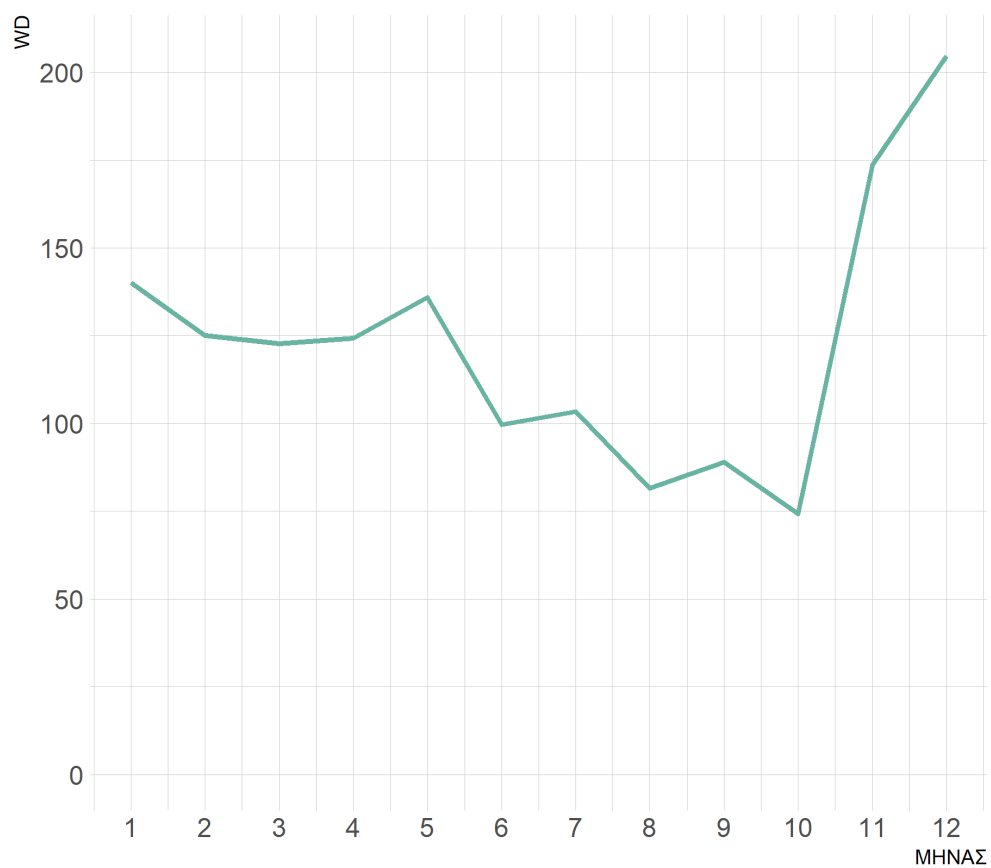
Μέση τιμή διεύθυνσης ανέμου ανά μήνα

Έτος 2006



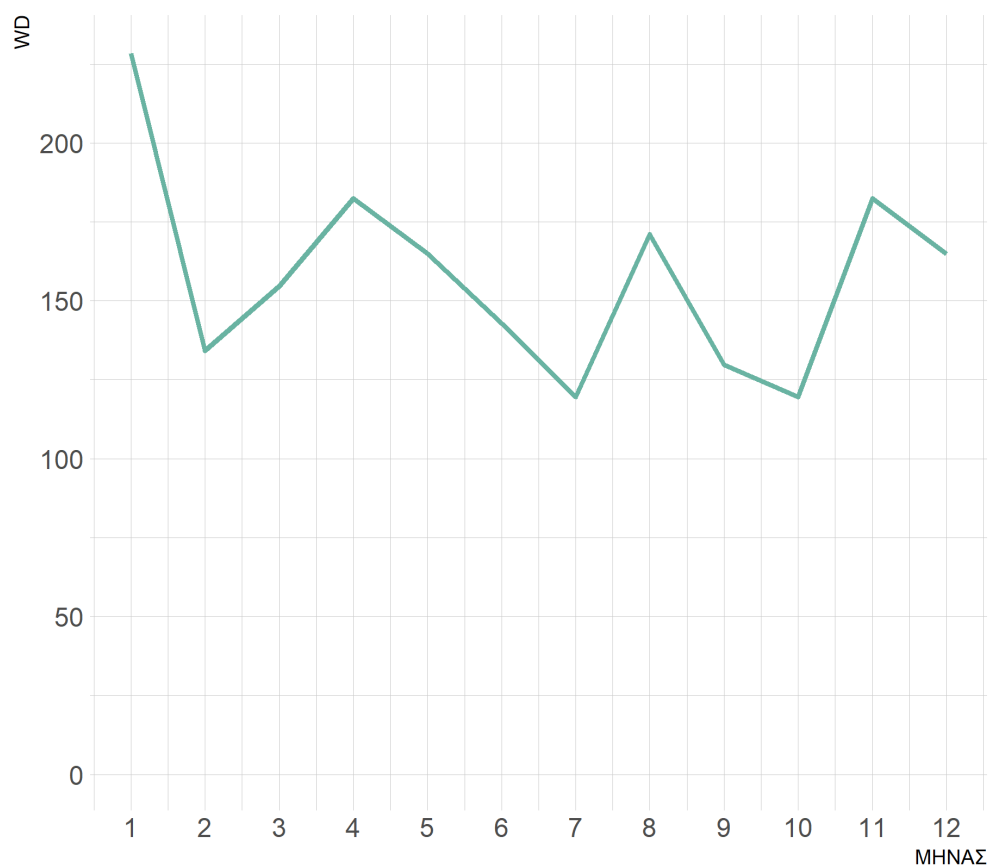
Μέση τιμή διεύθυνσης ανέμου ανά μήνα

Έτος 2007



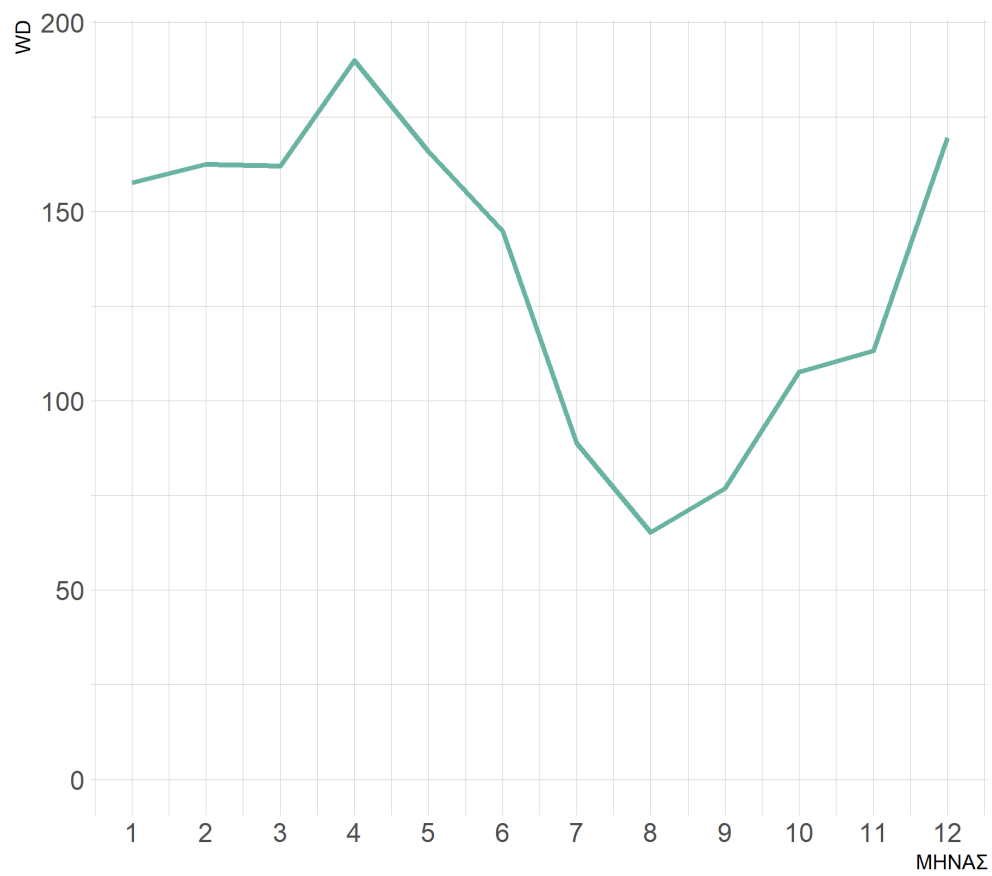
Μέση τιμή διεύθυνσης ανέμου ανά μήνα

Έτος 2008



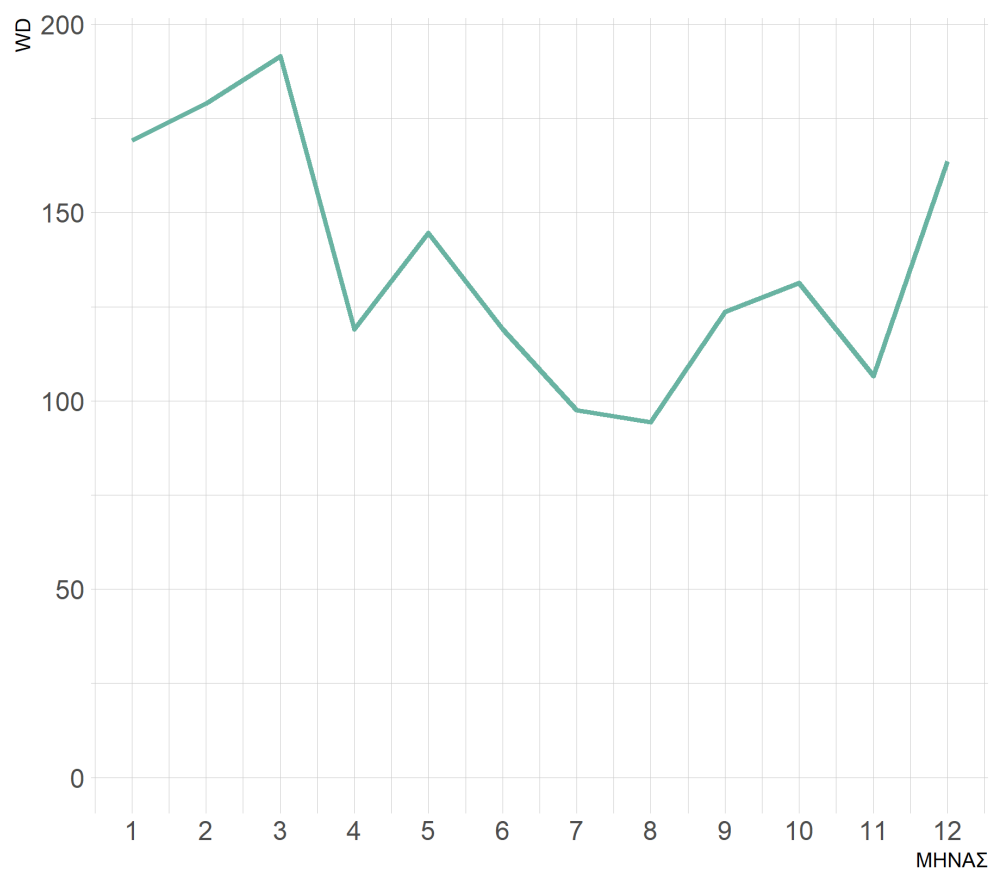
Μέση τιμή διεύθυνσης ανέμου ανά μήνα

Έτος 2009



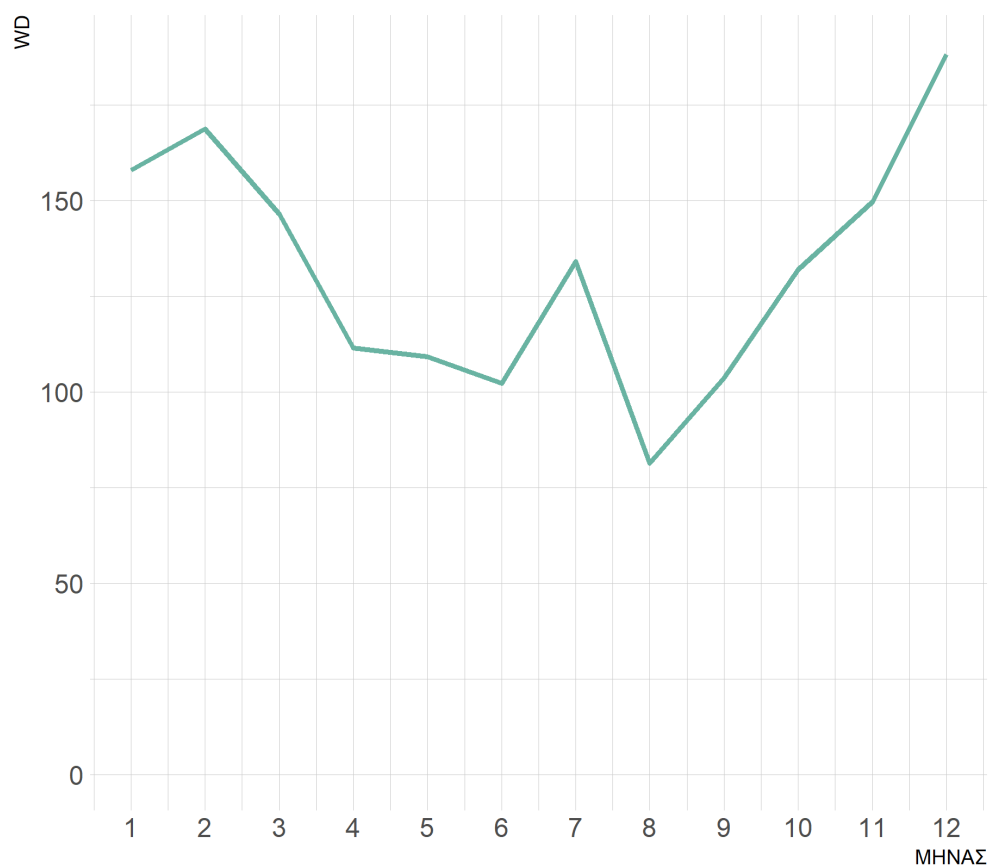
Μέση τιμή διεύθυνσης ανέμου ανά μήνα

Έτος 2010



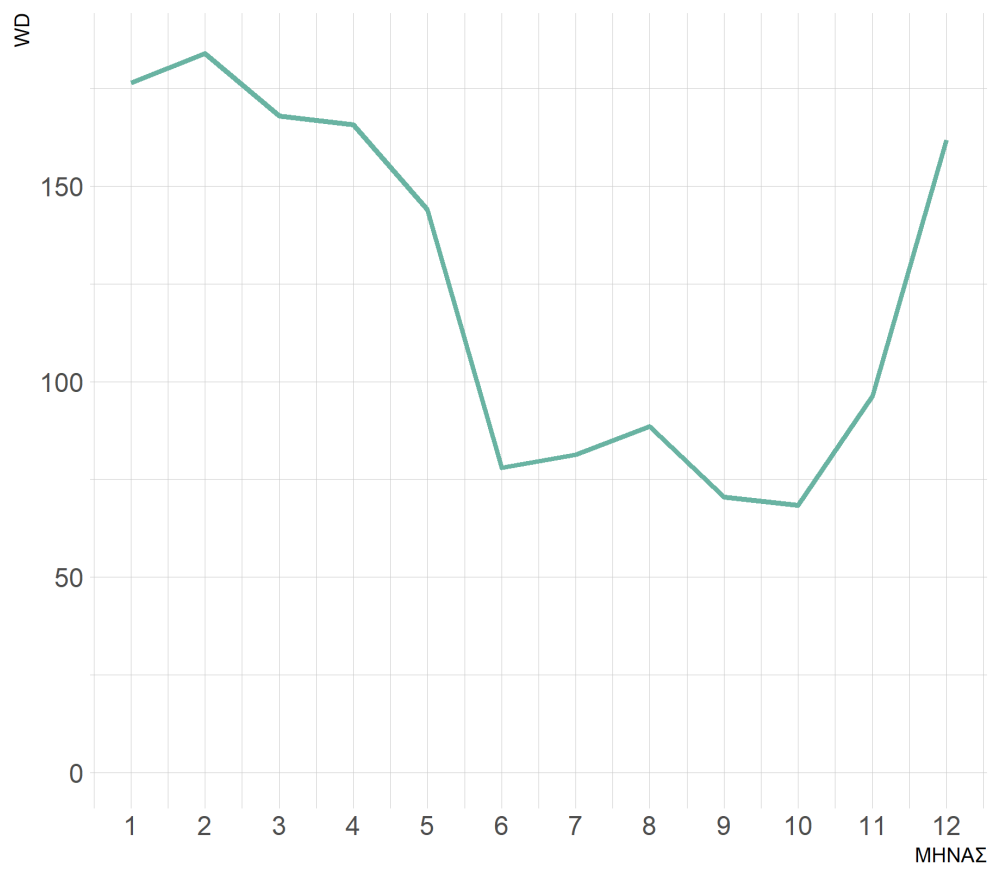
Μέση τιμή διεύθυνσης ανέμου ανά μήνα

Έτος 2011



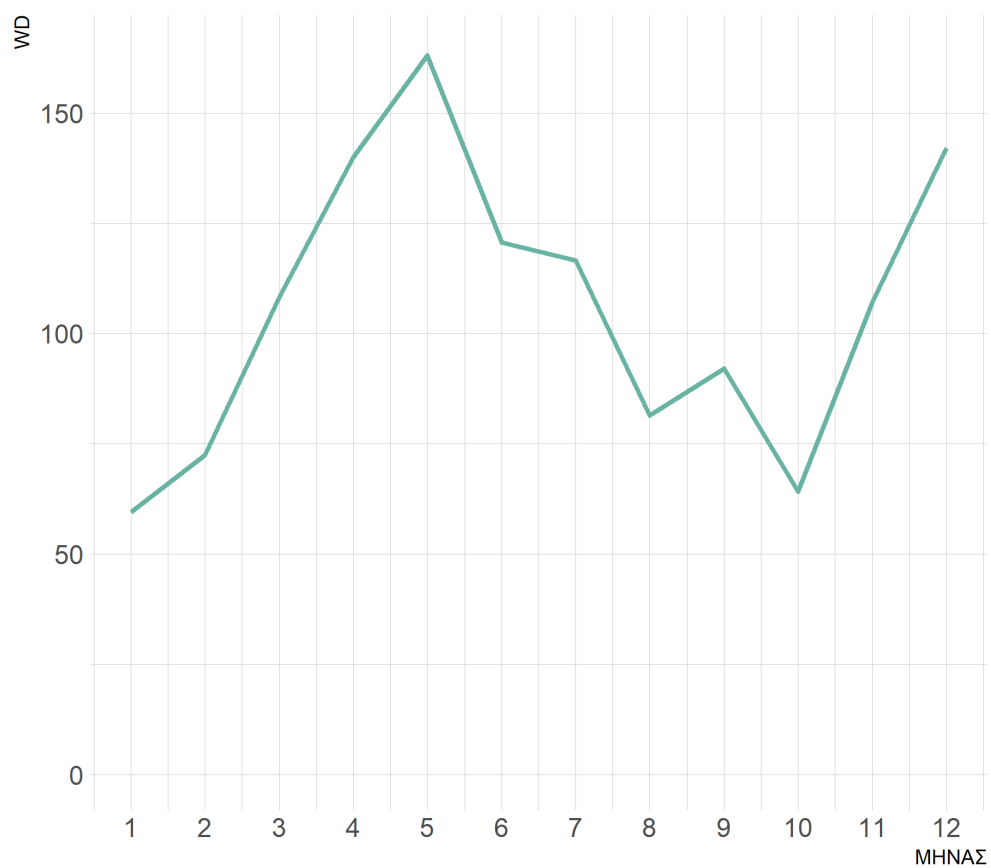
Μέση τιμή διεύθυνσης ανέμου ανά μήνα

Έτος 2012



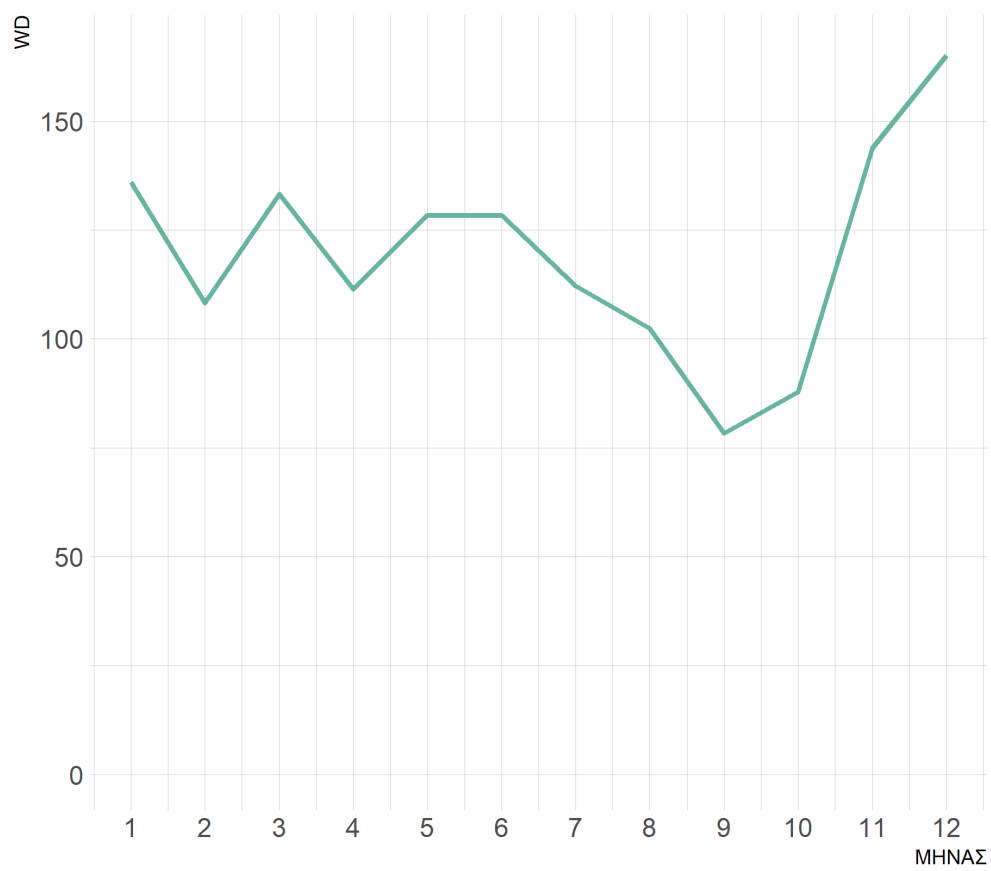
Μέση τιμή διεύθυνσης ανέμου ανά μήνα

Έτος 2013



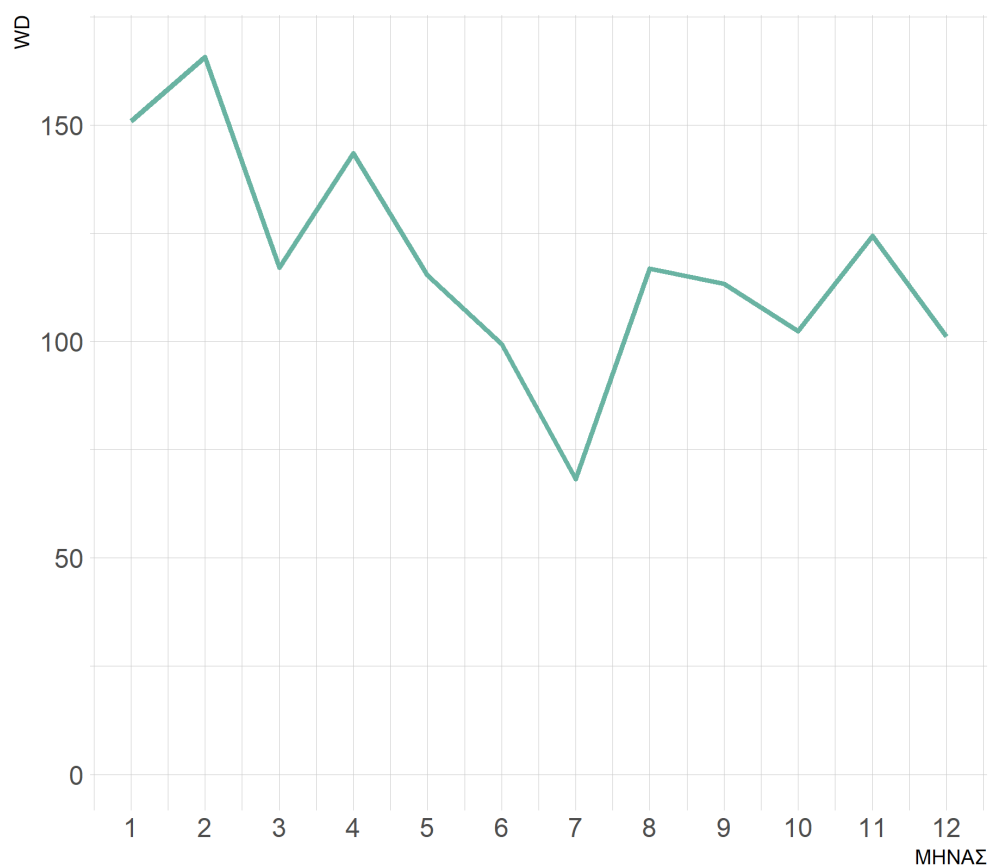
Μέση τιμή διεύθυνσης ανέμου ανά μήνα

Έτος 2014



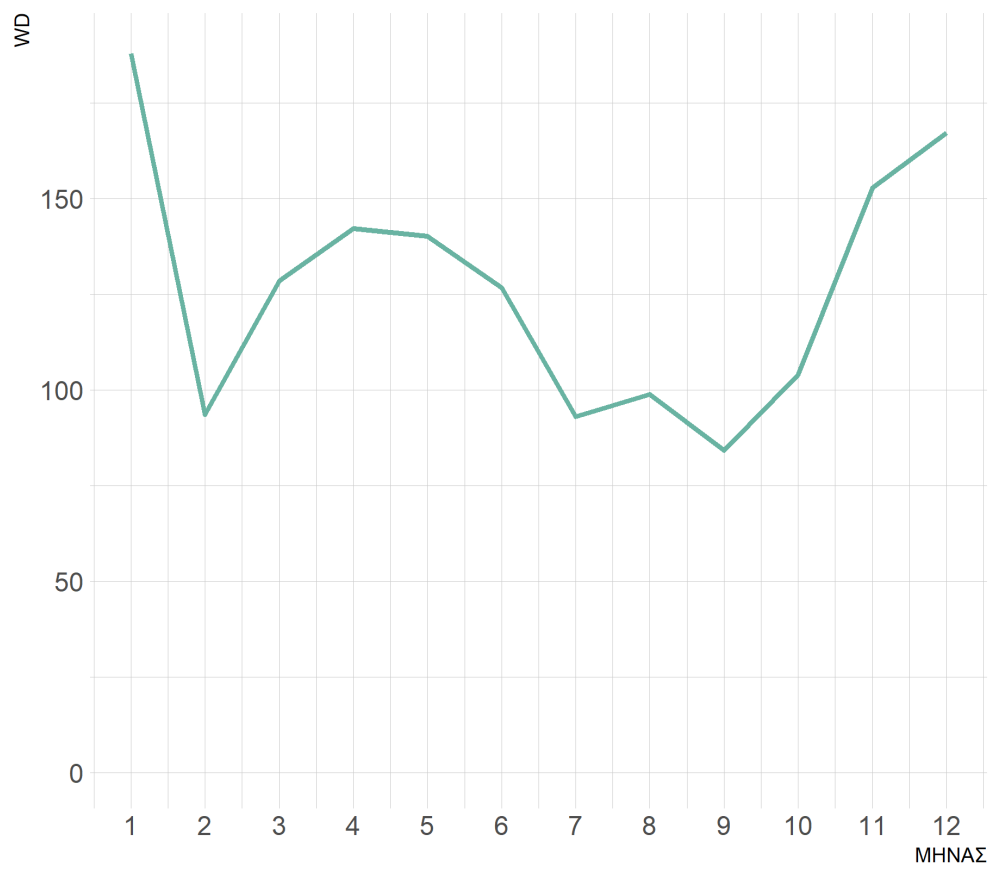
Μέση τιμή διεύθυνσης ανέμου ανά μήνα

Έτος 2015



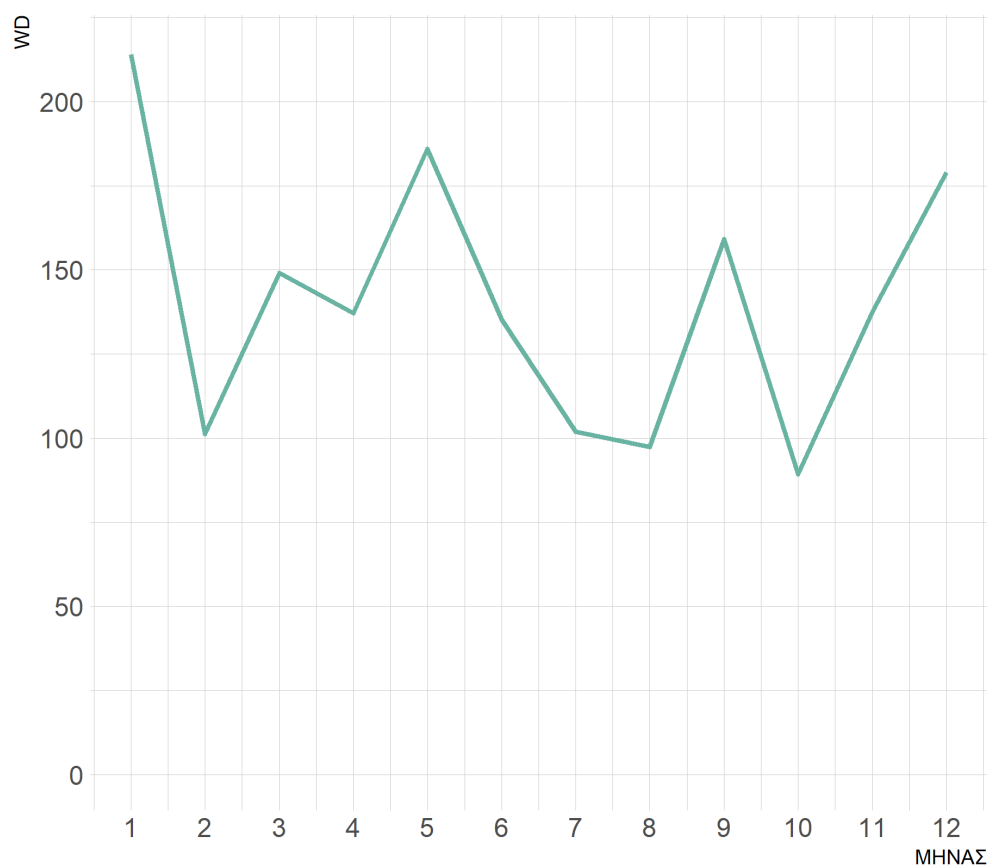
Μέση τιμή διεύθυνσης ανέμου ανά μήνα

Έτος 2016



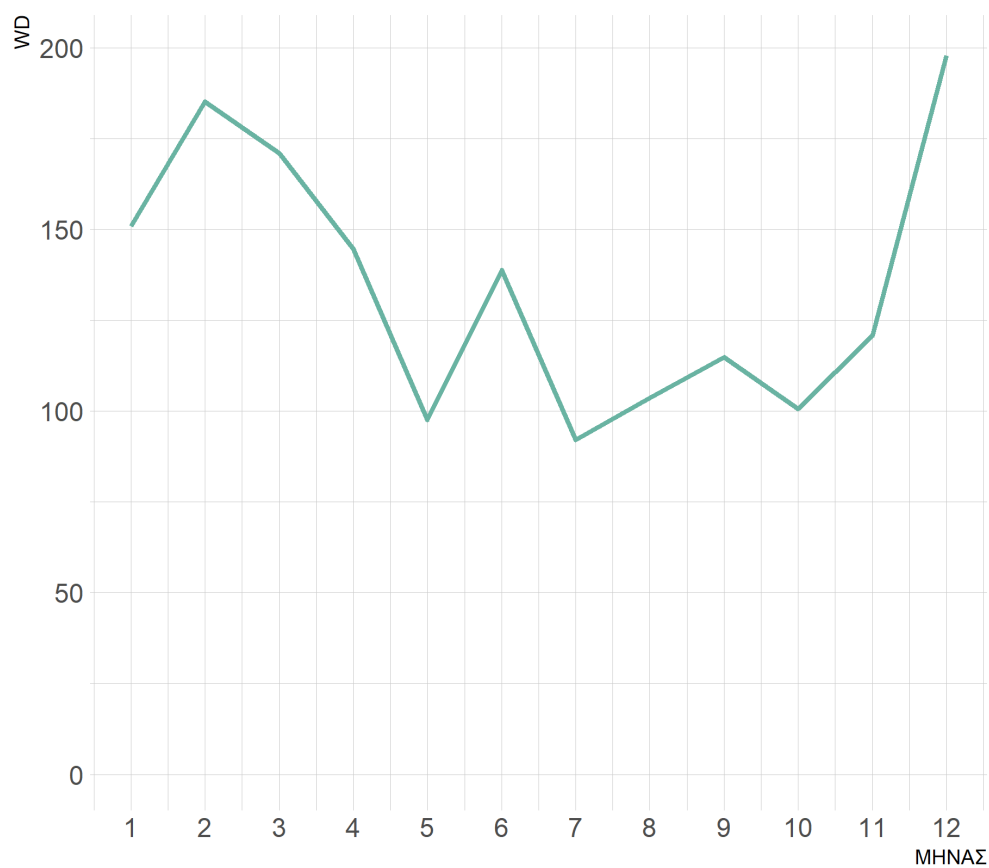
Μέση τιμή διεύθυνσης ανέμου ανά μήνα

Έτος 2017



Μέση τιμή διεύθυνσης ανέμου ανά μήνα

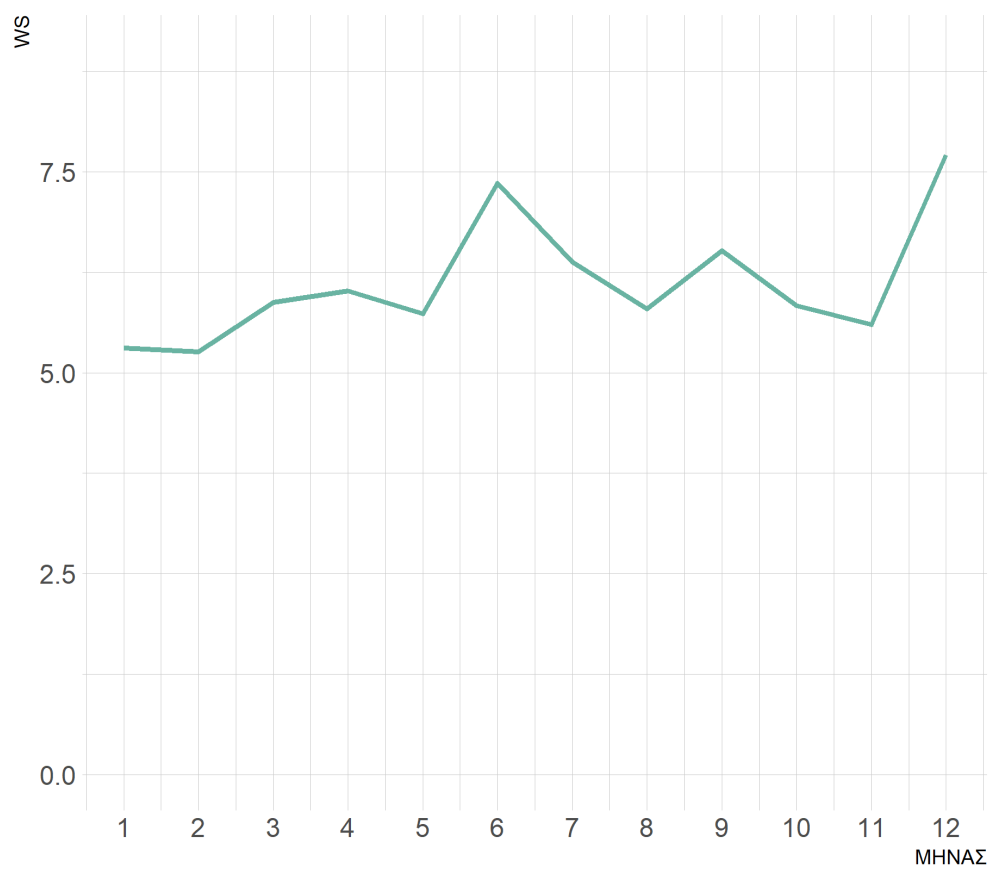
Έτος 2018



Στα παρακάτω σχήματα φαίνονται τα διαγράμματα της μέσης ημερήσιας τιμής της ταχύτητας του ανέμου για τα έτη 2001 – 2018.

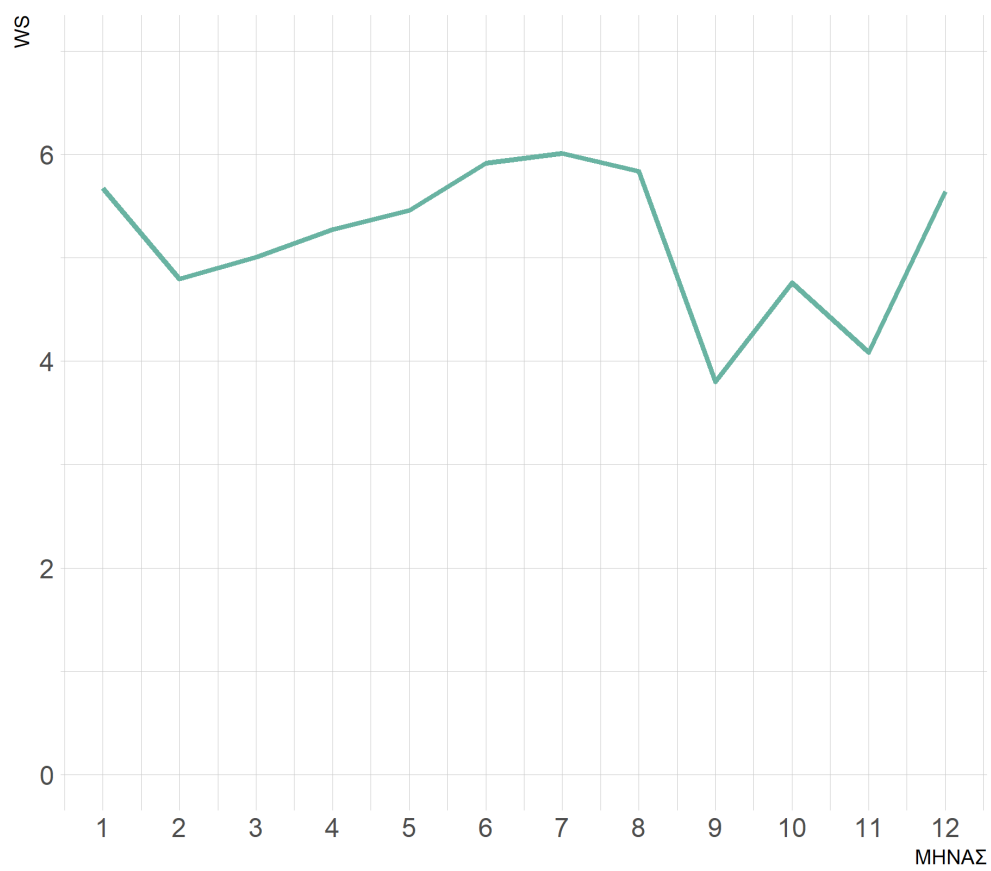
Μέση τιμή ταχύτητας ανέμου ανά μήνα

Έτος 2001



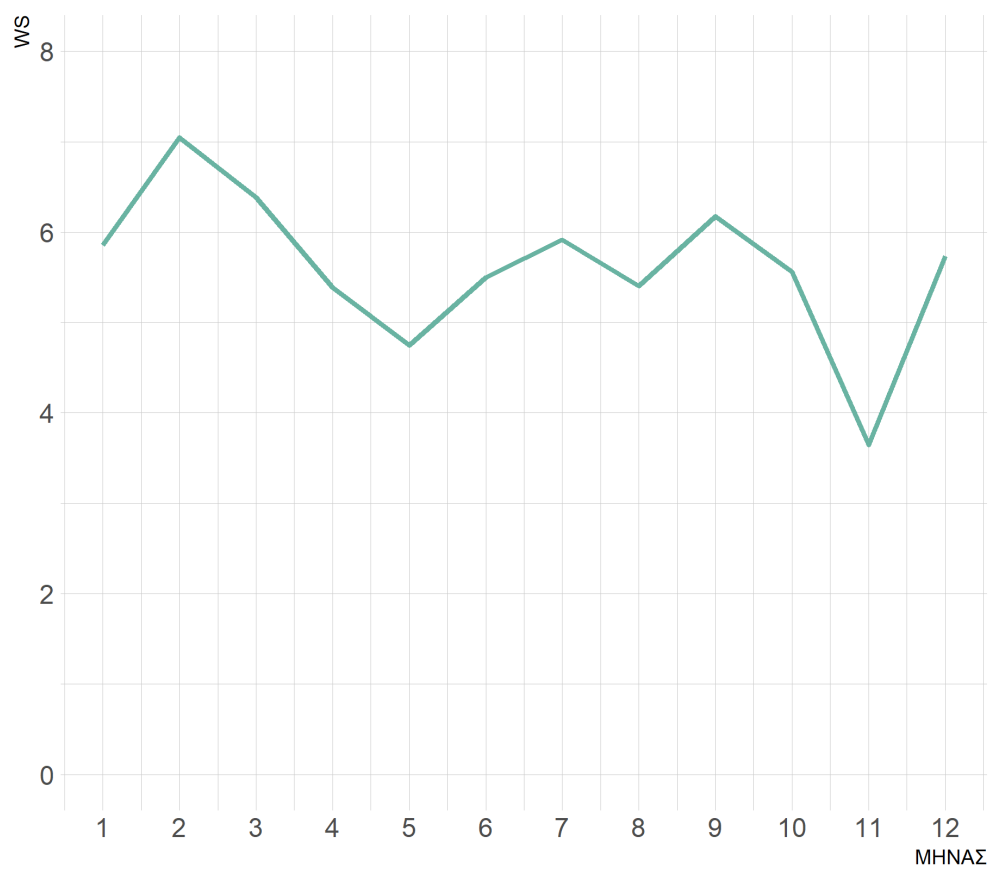
Μέση τιμή ταχύτητας ανέμου ανά μήνα

Έτος 2002



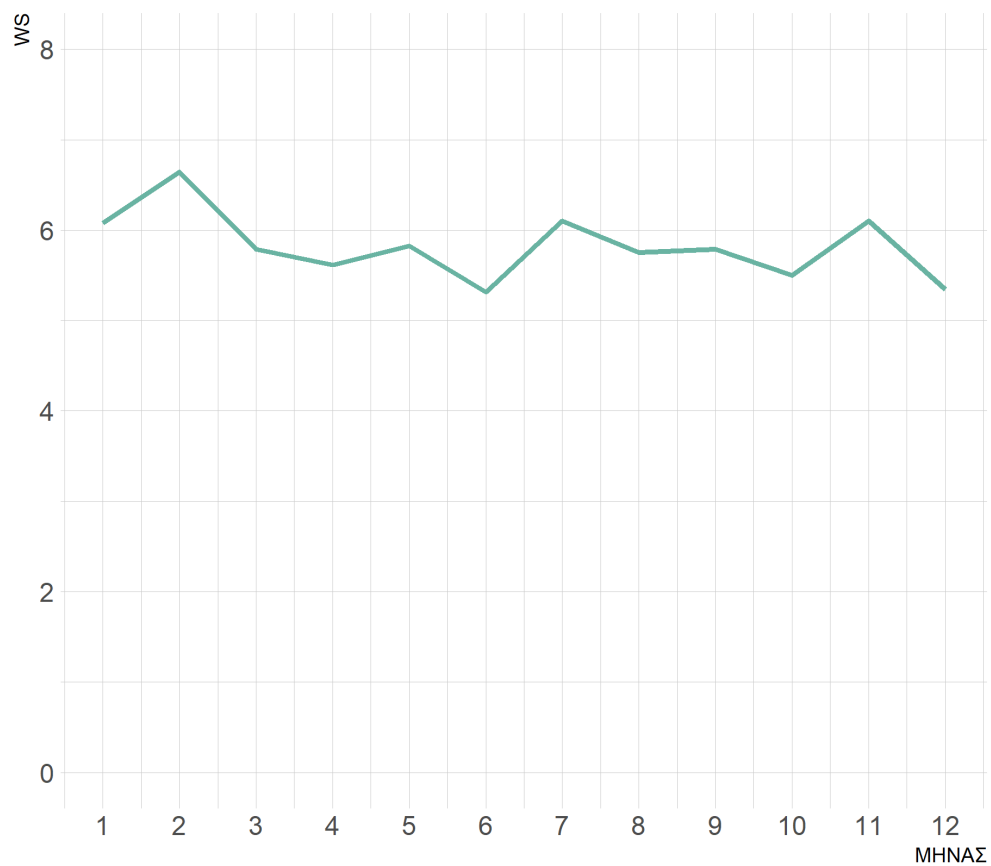
Μέση τιμή ταχύτητας ανέμου ανά μήνα

Έτος 2003



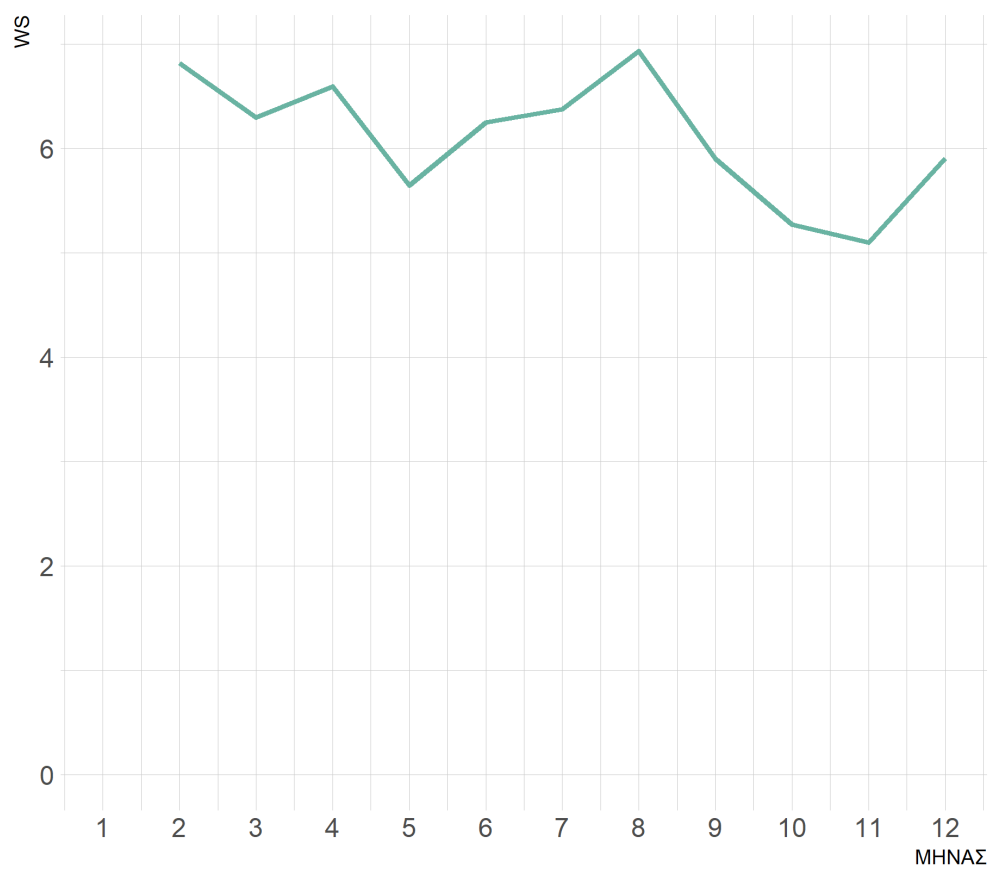
Μέση τιμή ταχύτητας ανέμου ανά μήνα

Έτος 2004



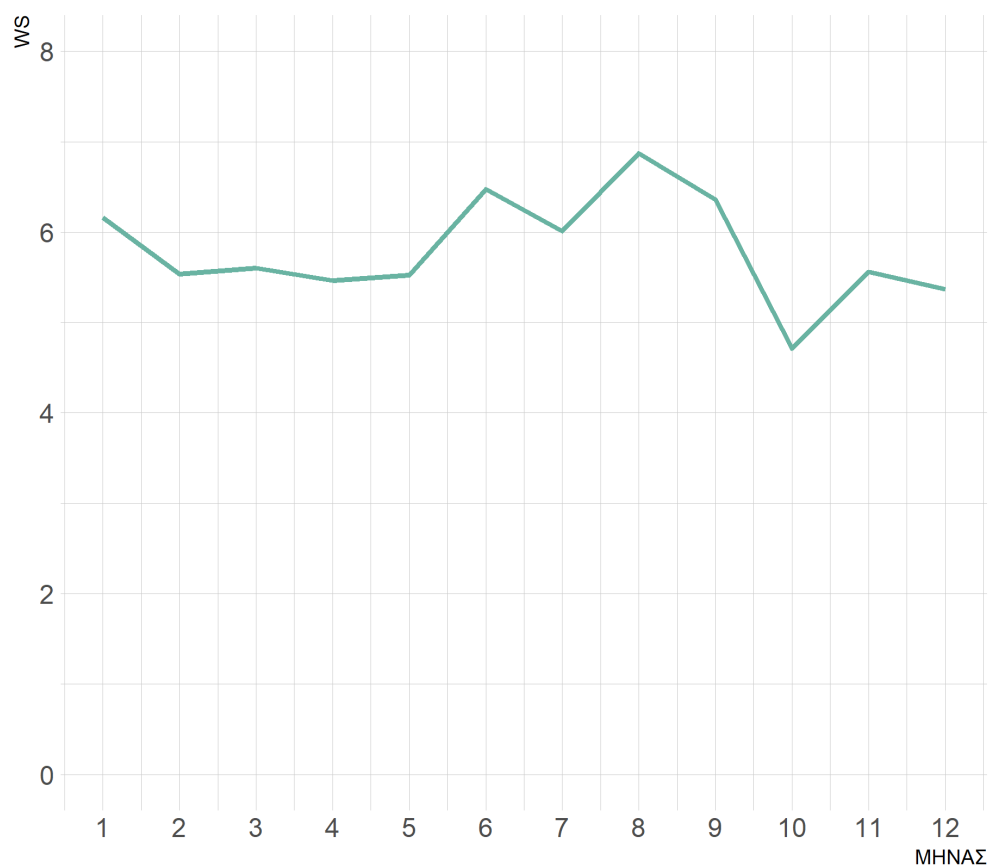
Μέση τιμή ταχύτητας ανέμου ανά μήνα

Έτος 2005



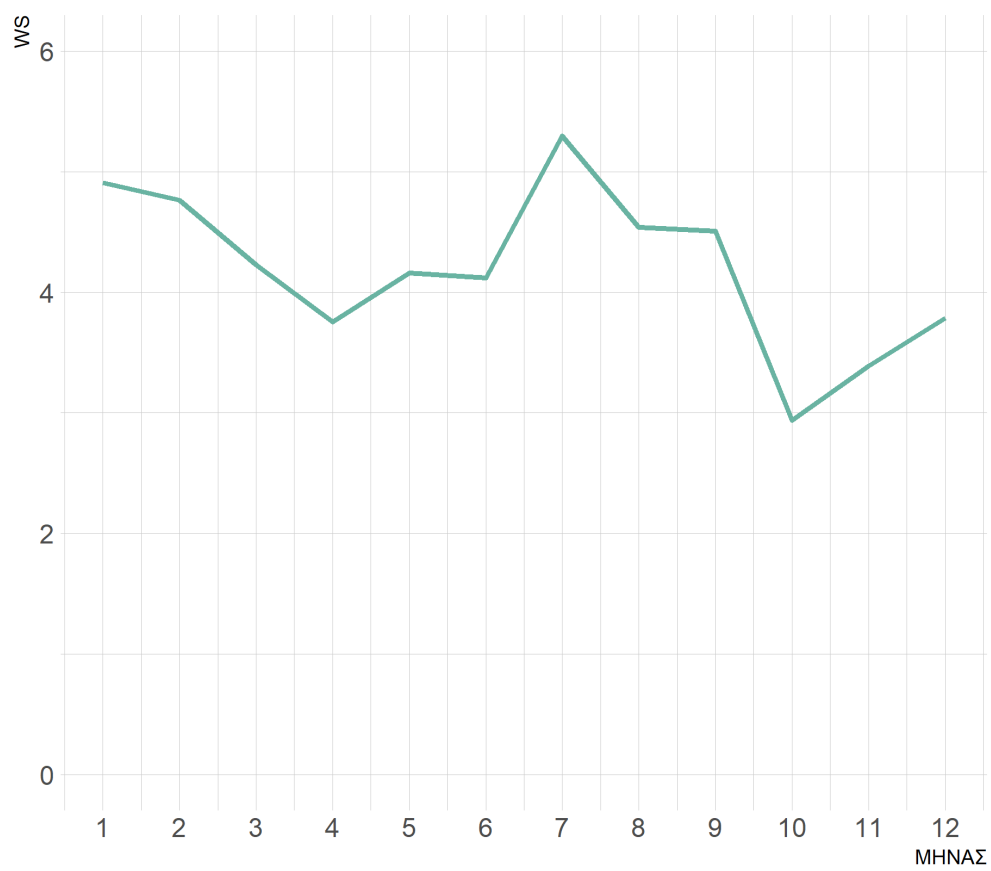
Μέση τιμή ταχύτητας ανέμου ανά μήνα

Έτος 2006



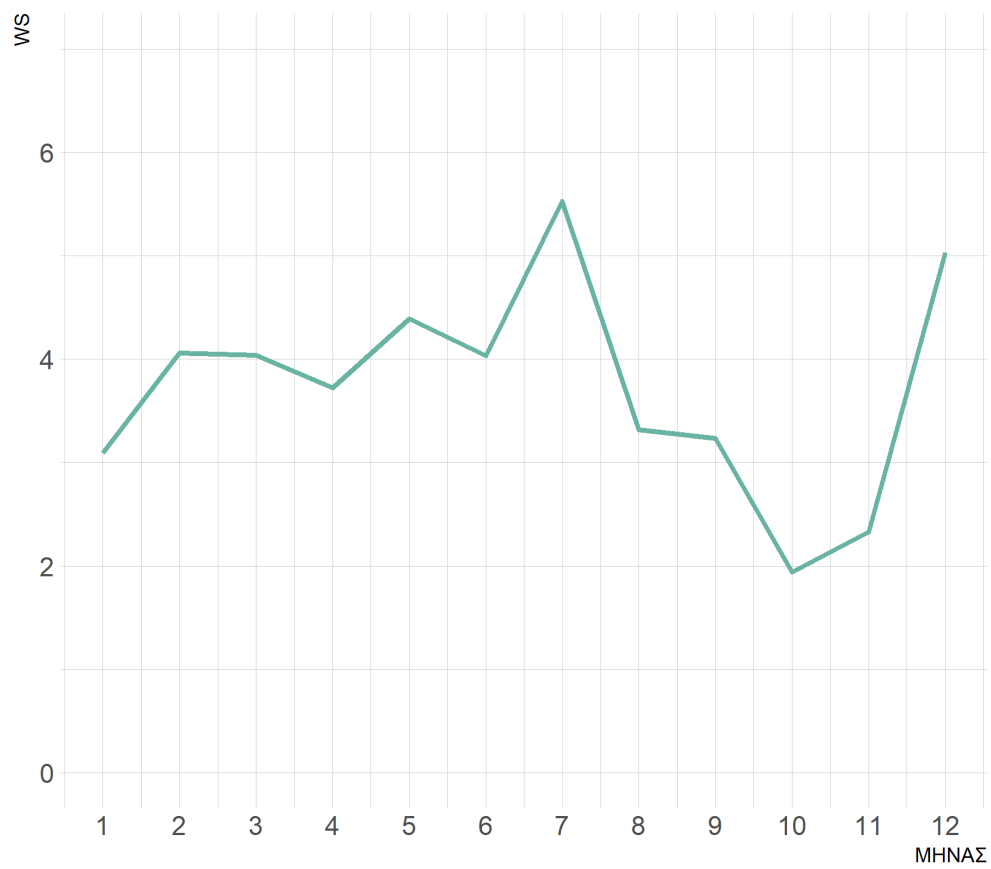
Μέση τιμή ταχύτητας ανέμου ανά μήνα

Έτος 2007



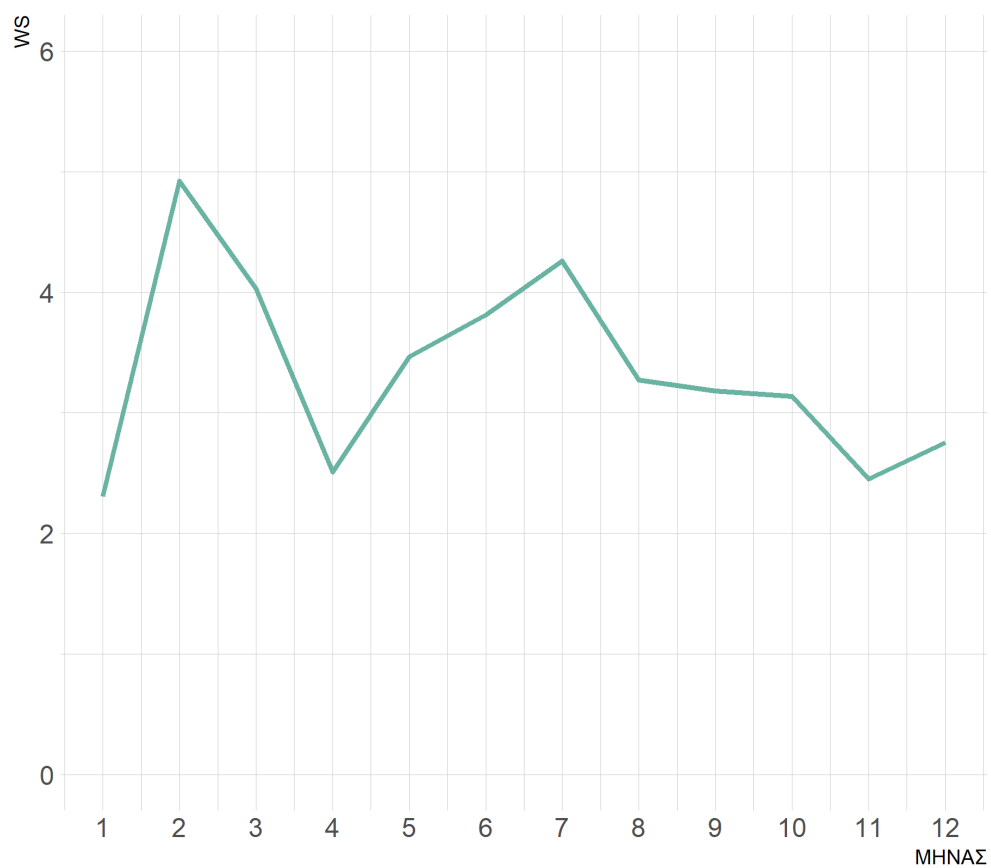
Μέση τιμή ταχύτητας ανέμου ανά μήνα

Έτος 2008



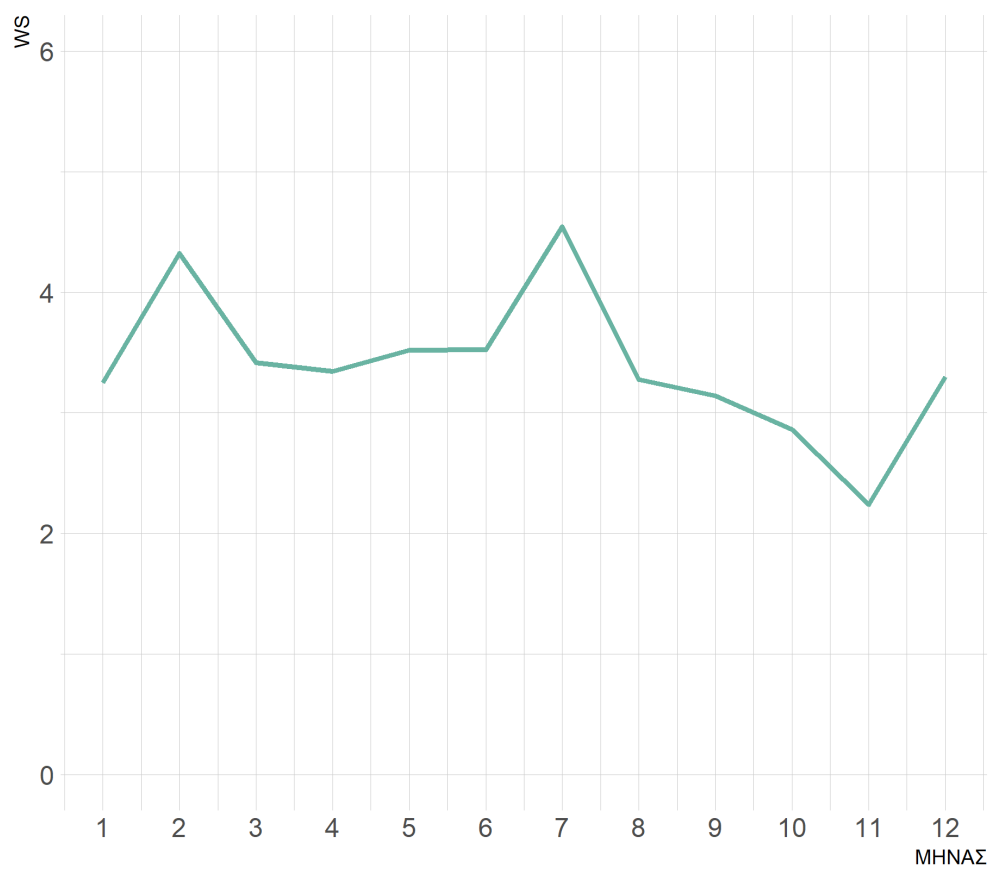
Μέση τιμή ταχύτητας ανέμου ανά μήνα

Έτος 2009



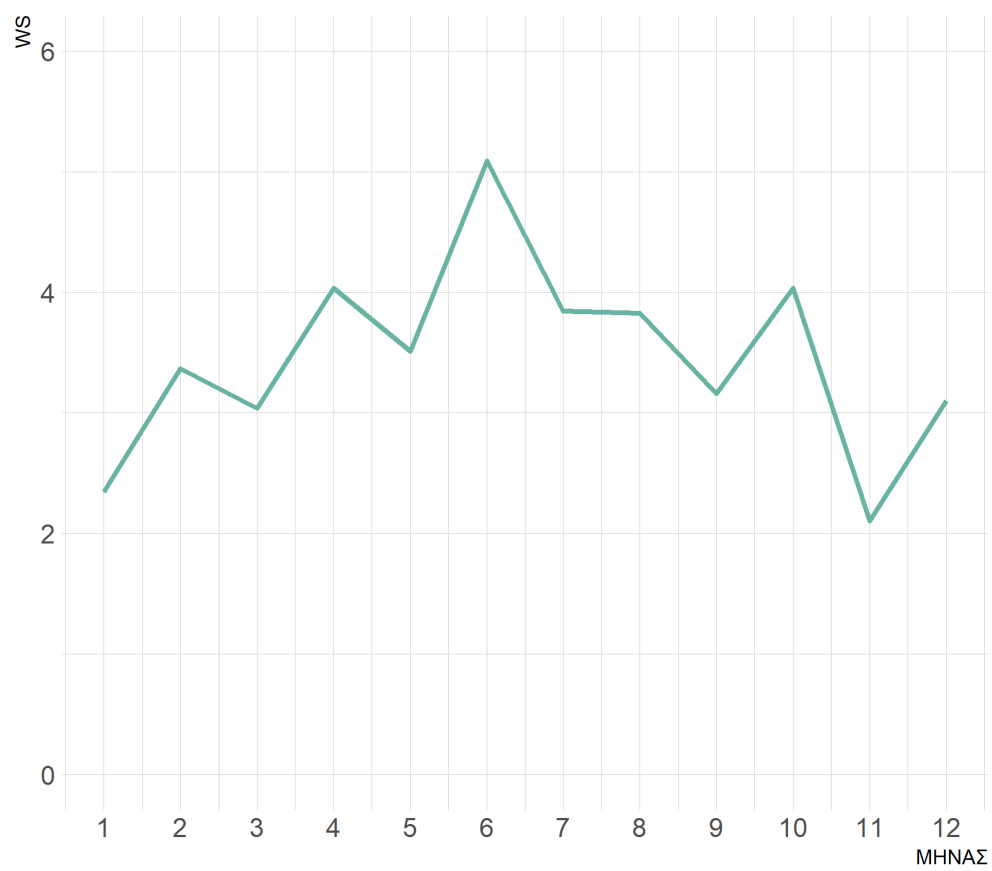
Μέση τιμή ταχύτητας ανέμου ανά μήνα

Έτος 2010



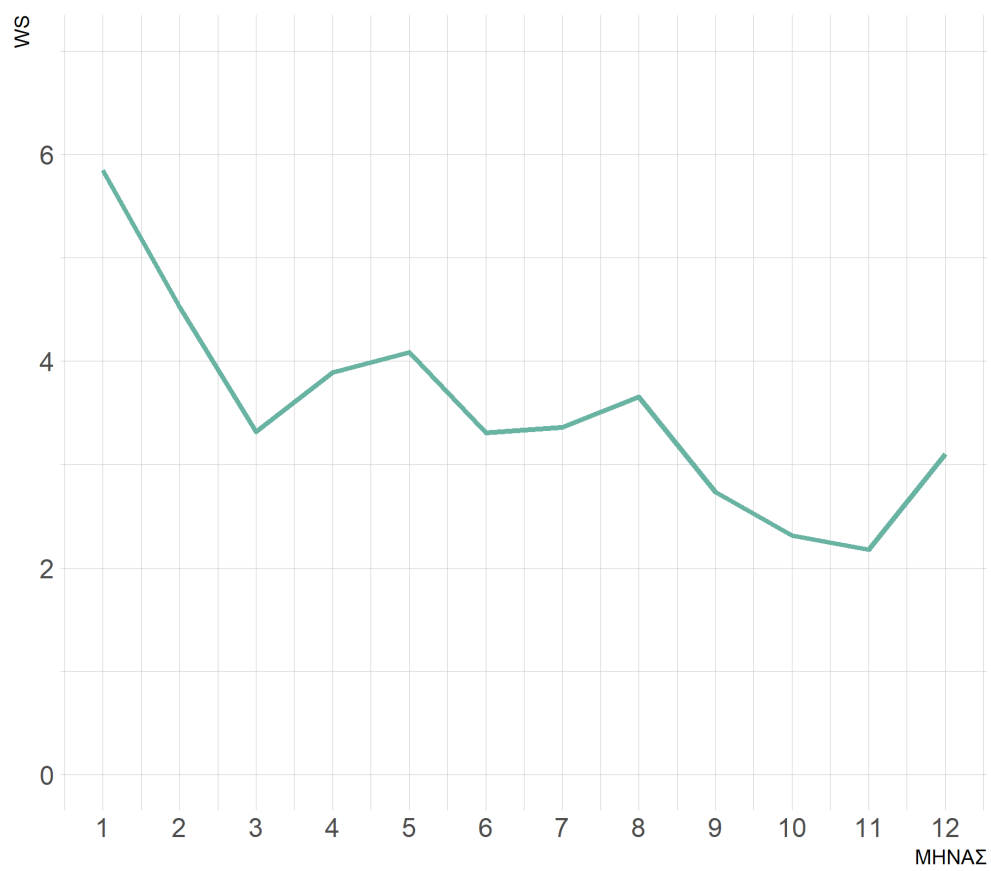
Μέση τιμή ταχύτητας ανέμου ανά μήνα

Έτος 2011



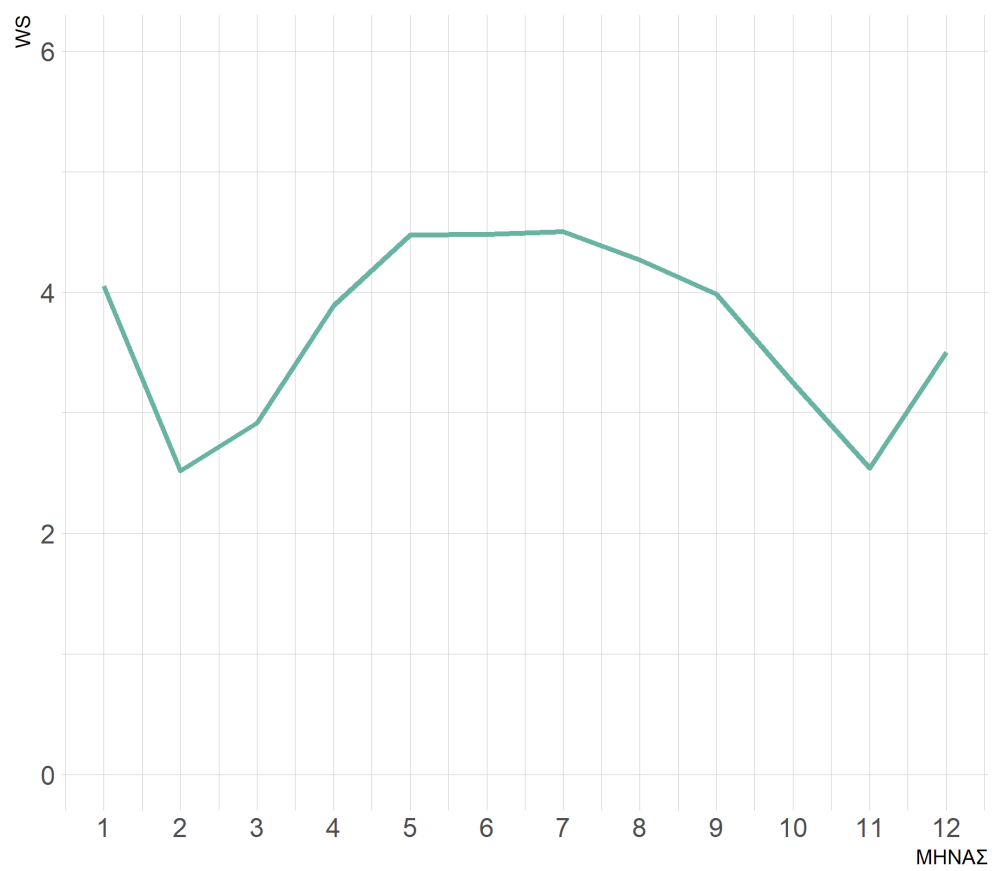
Μέση τιμή ταχύτητας ανέμου ανά μήνα

Έτος 2012



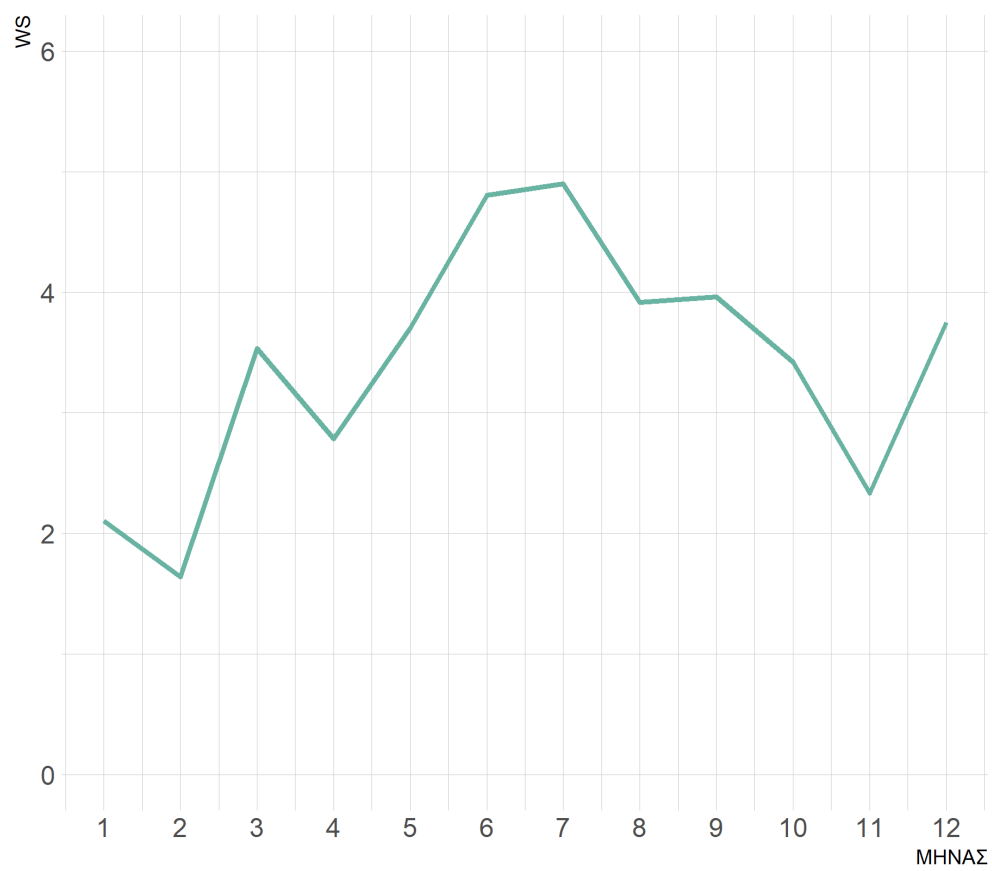
Μέση τιμή ταχύτητας ανέμου ανά μήνα

Έτος 2013



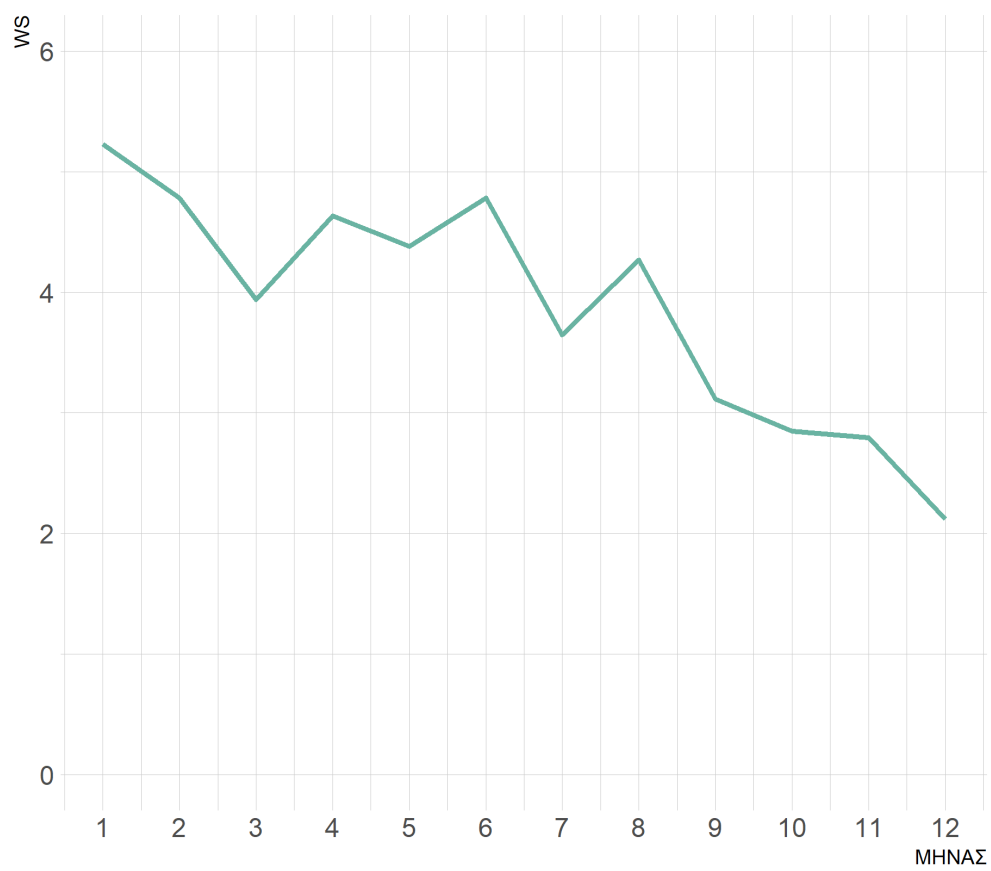
Μέση τιμή ταχύτητας ανέμου ανά μήνα

Έτος 2014



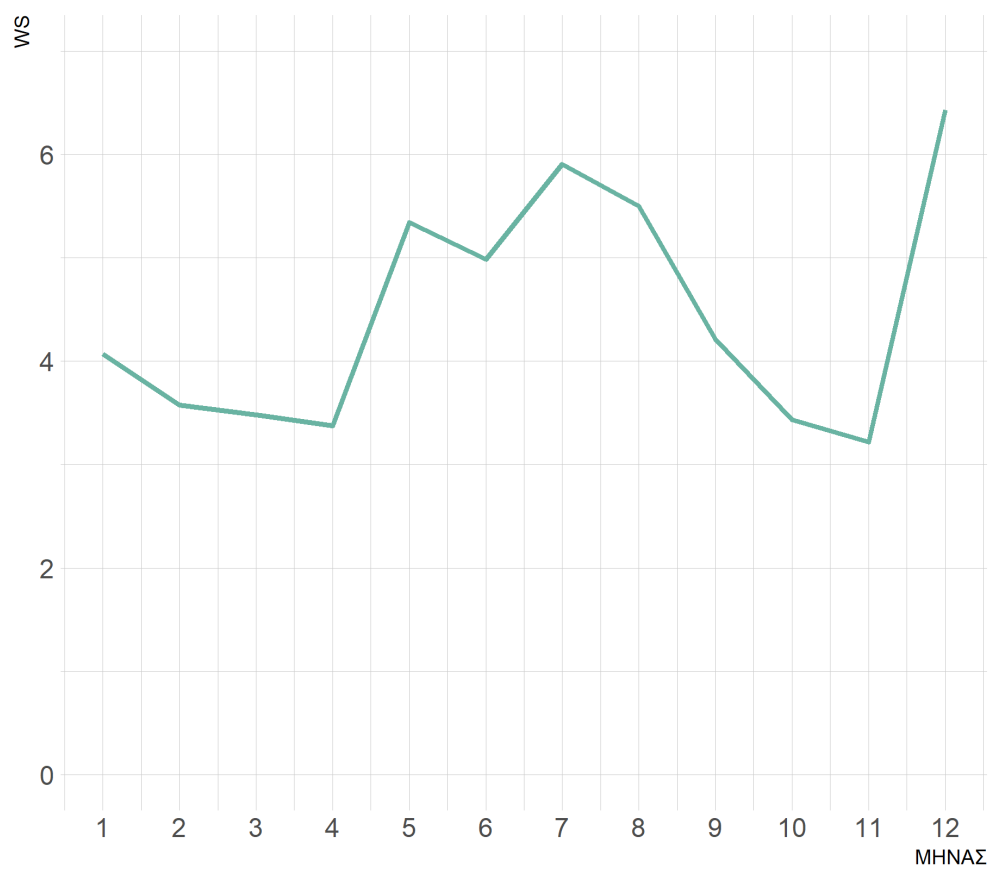
Μέση τιμή ταχύτητας ανέμου ανά μήνα

Έτος 2015



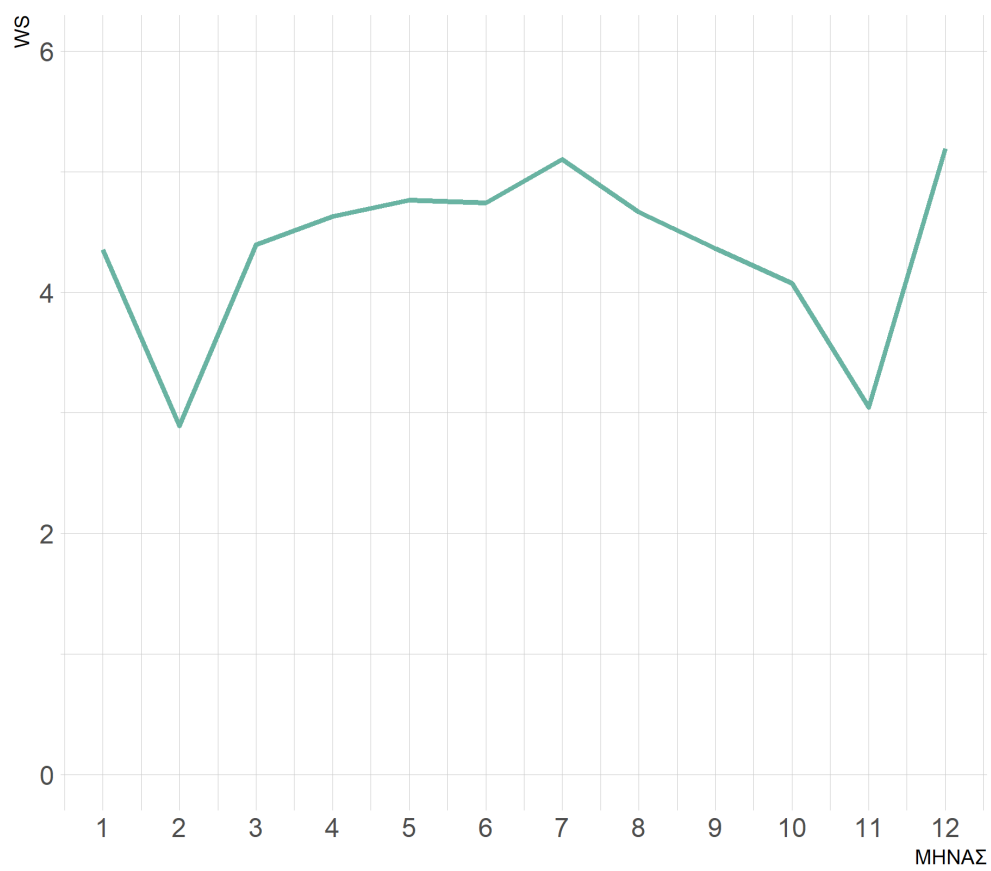
Μέση τιμή ταχύτητας ανέμου ανά μήνα

Έτος 2016



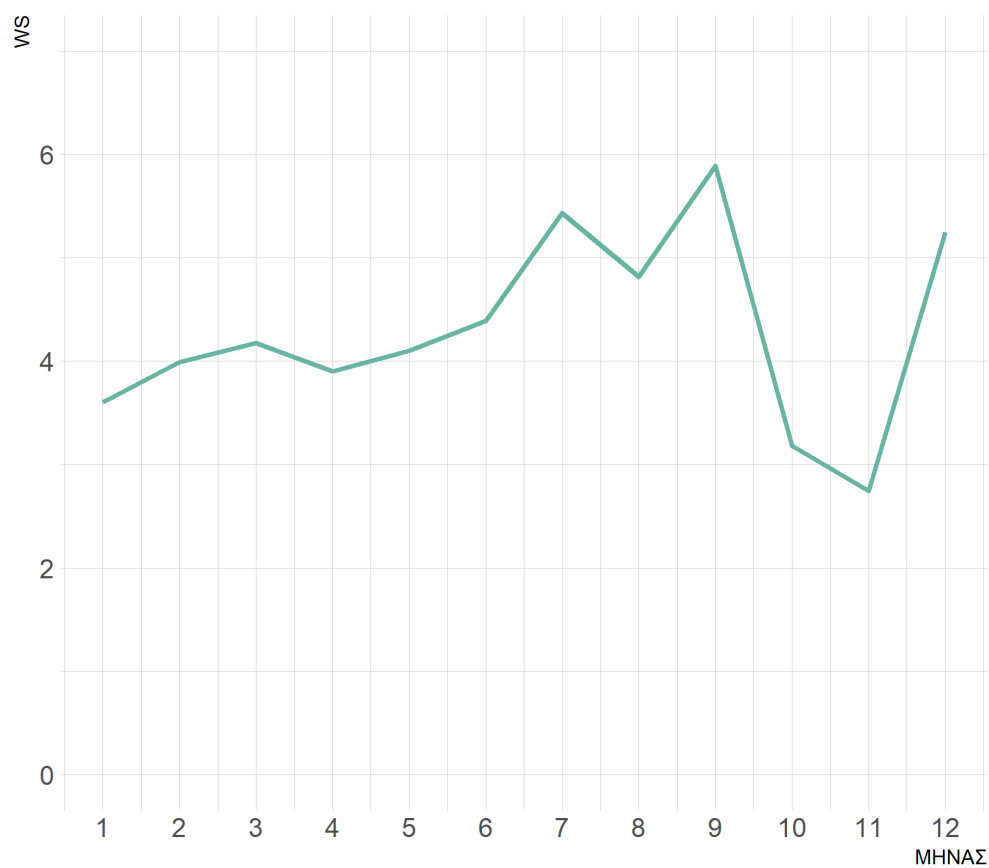
Μέση τιμή ταχύτητας ανέμου ανά μήνα

Έτος 2017



Μέση τιμή ταχύτητας ανέμου ανά μήνα

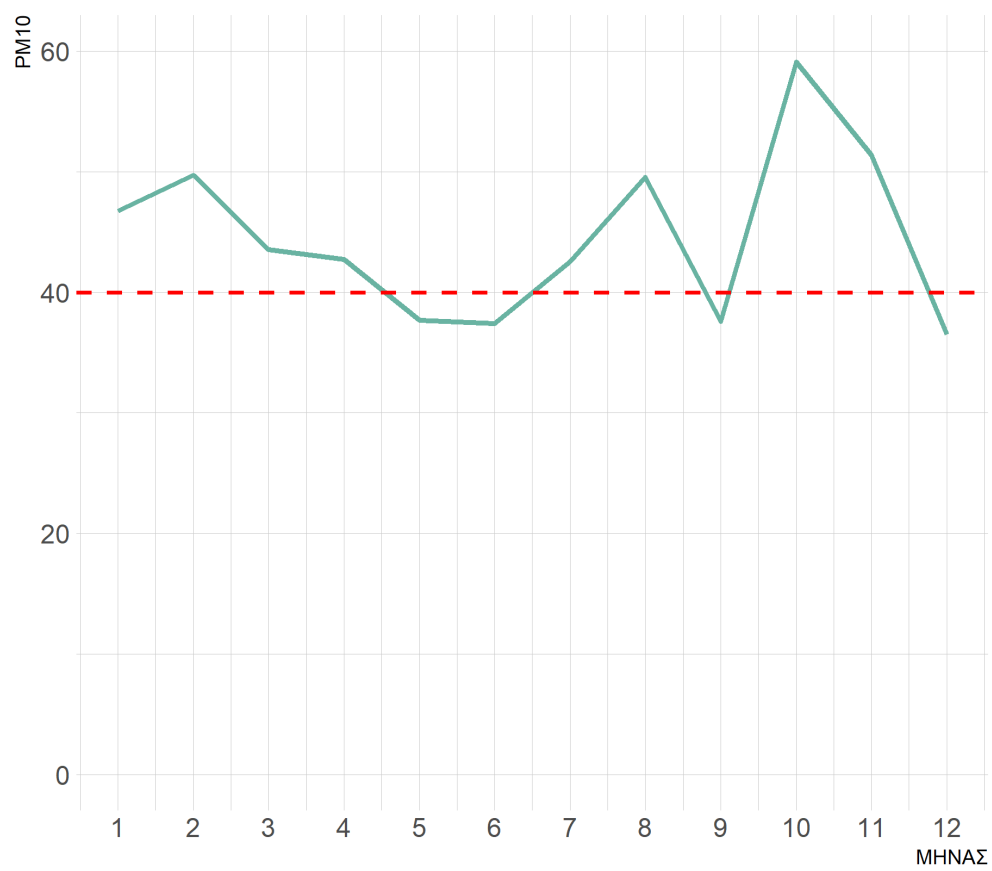
Έτος 2018



Στα παρακάτω σχήματα φαίνονται τα διαγράμματα της μέσης ημερήσιας τιμής των αιωρούμενων σωματιδίων για τα έτη 2001 – 2018.

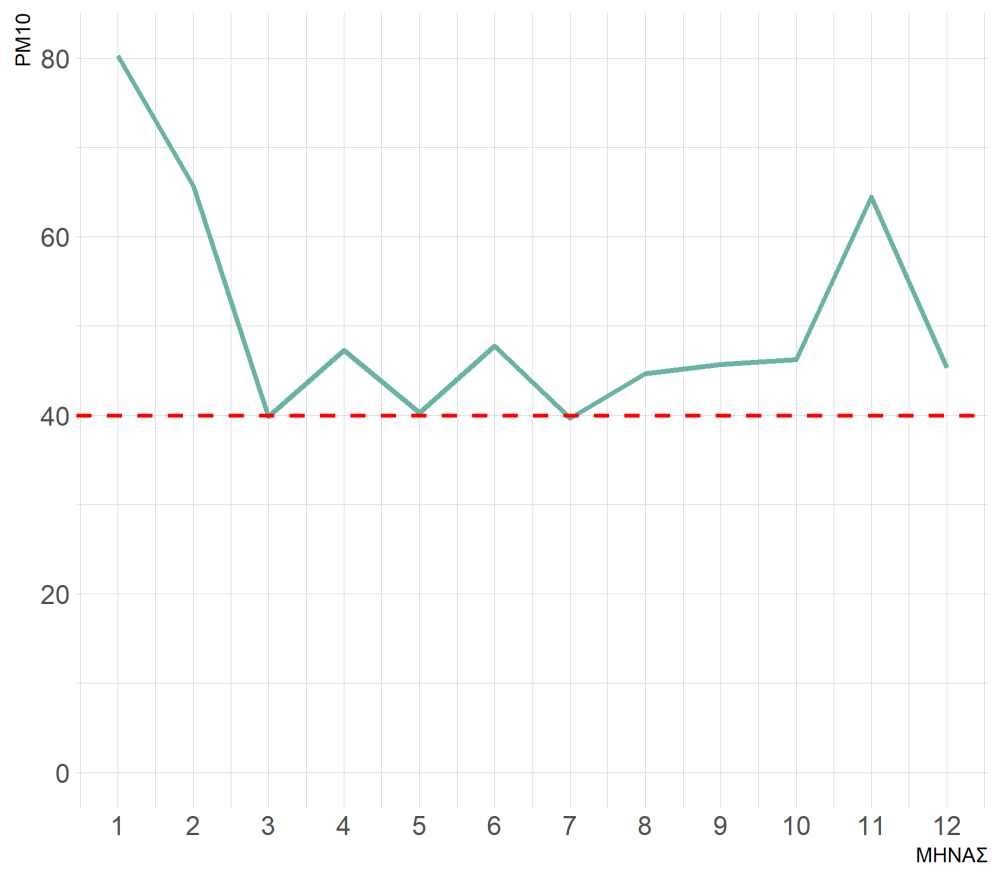
Μέσος όρος PM10 ανά μήνα

Έτος 2001



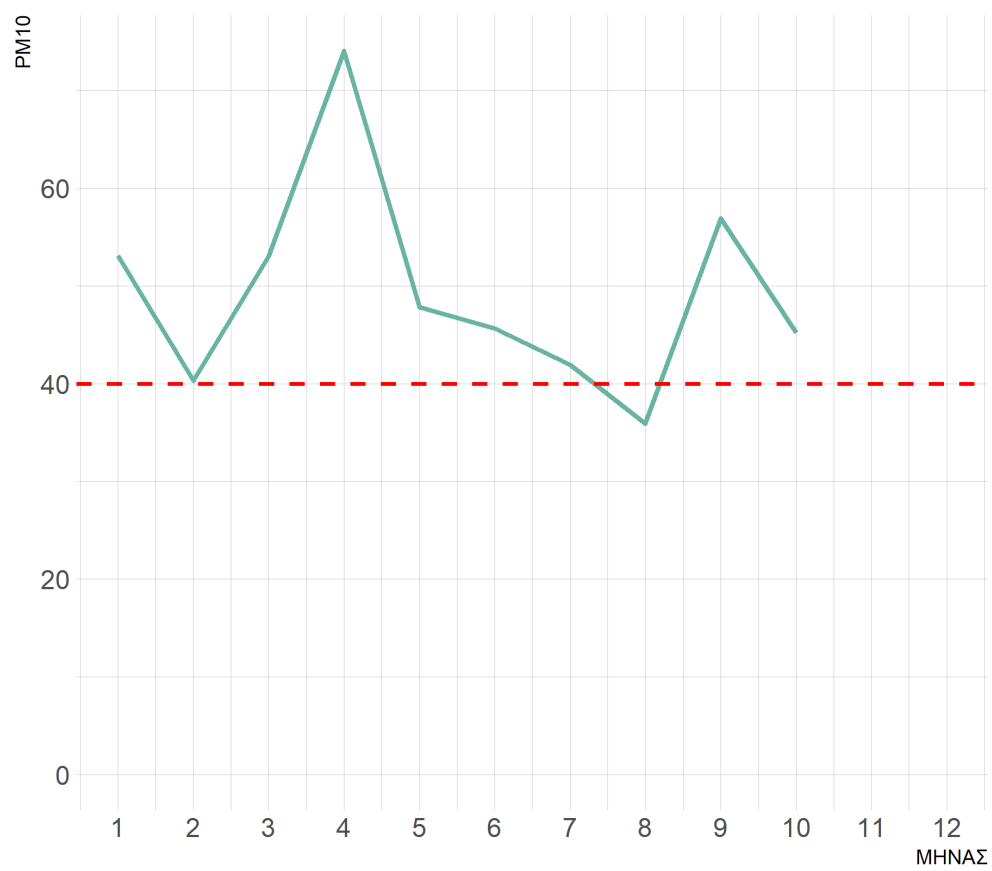
Μέσος όρος PM10 ανά μήνα

Έτος 2002



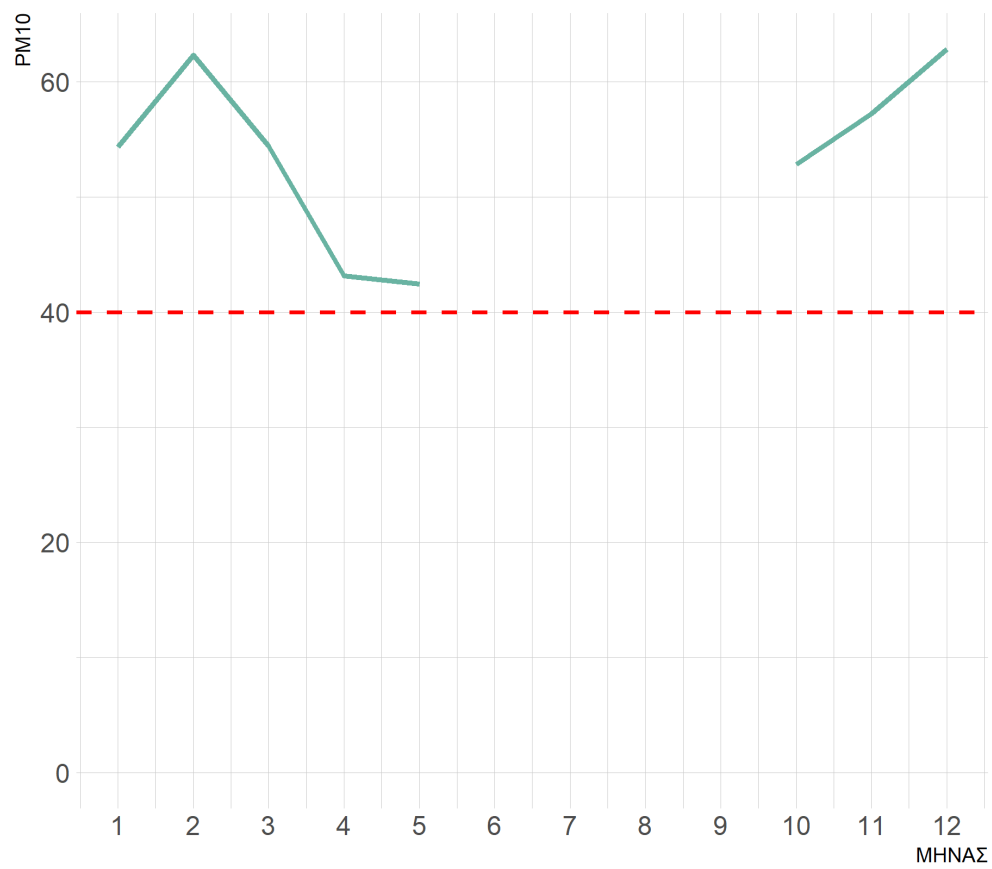
Μέσος όρος PM10 ανά μήνα

Έτος 2003



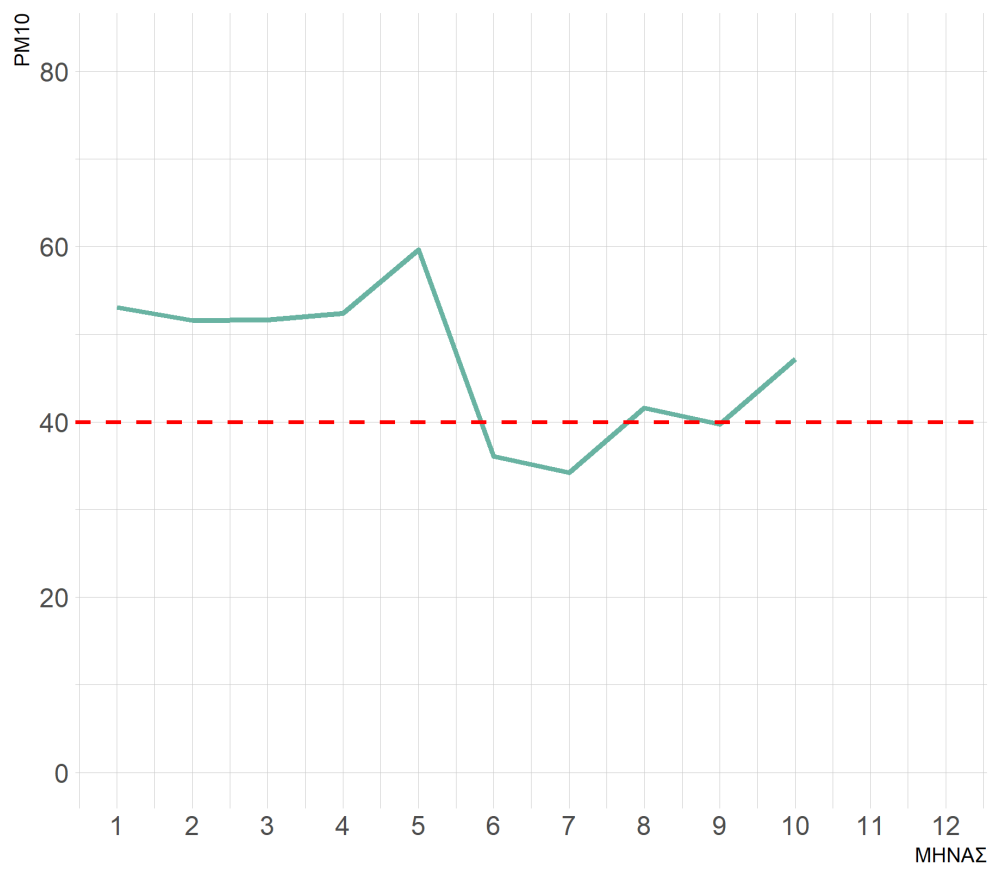
Μέσος όρος PM10 ανά μήνα

Έτος 2004



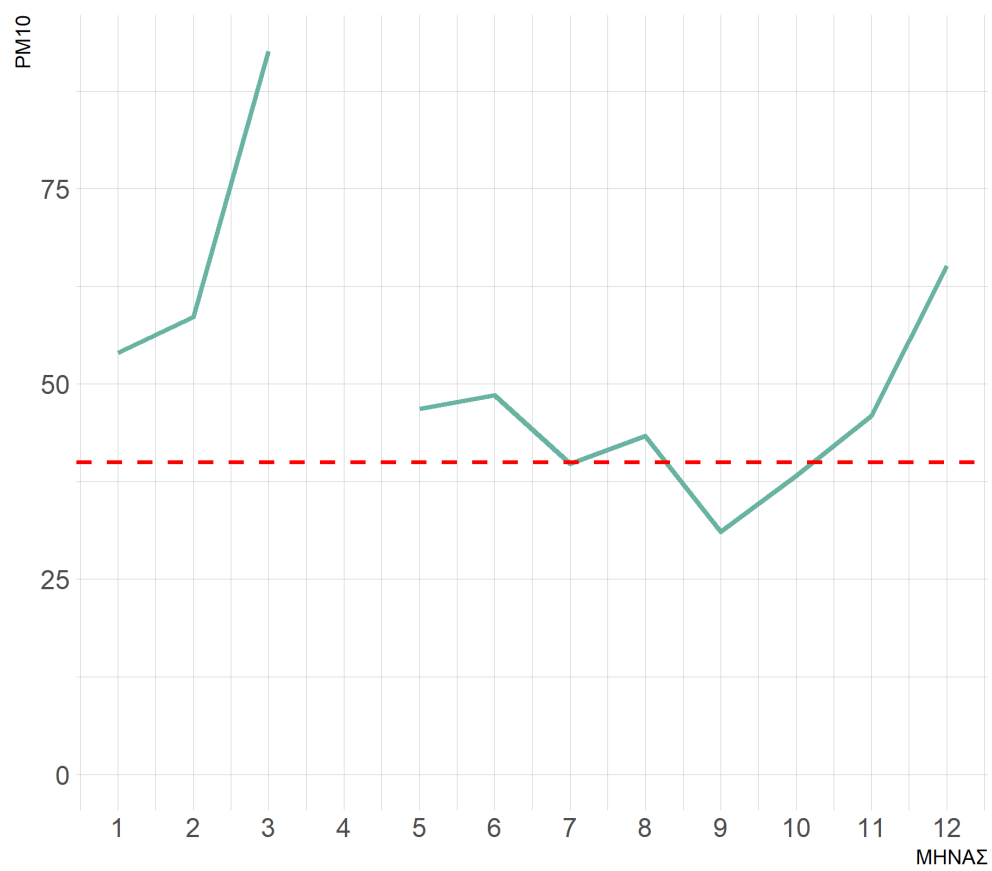
Μέσος όρος PM10 ανά μήνα

Έτος 2005



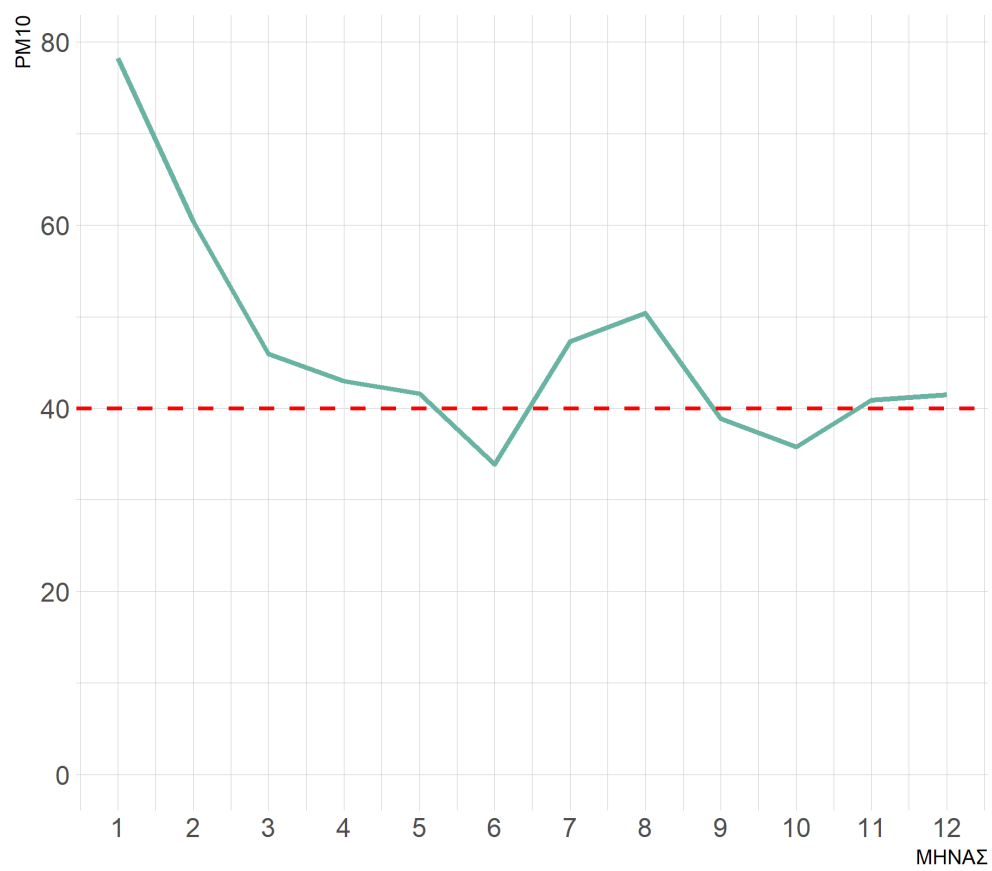
Μέσος όρος PM10 ανά μήνα

Έτος 2006



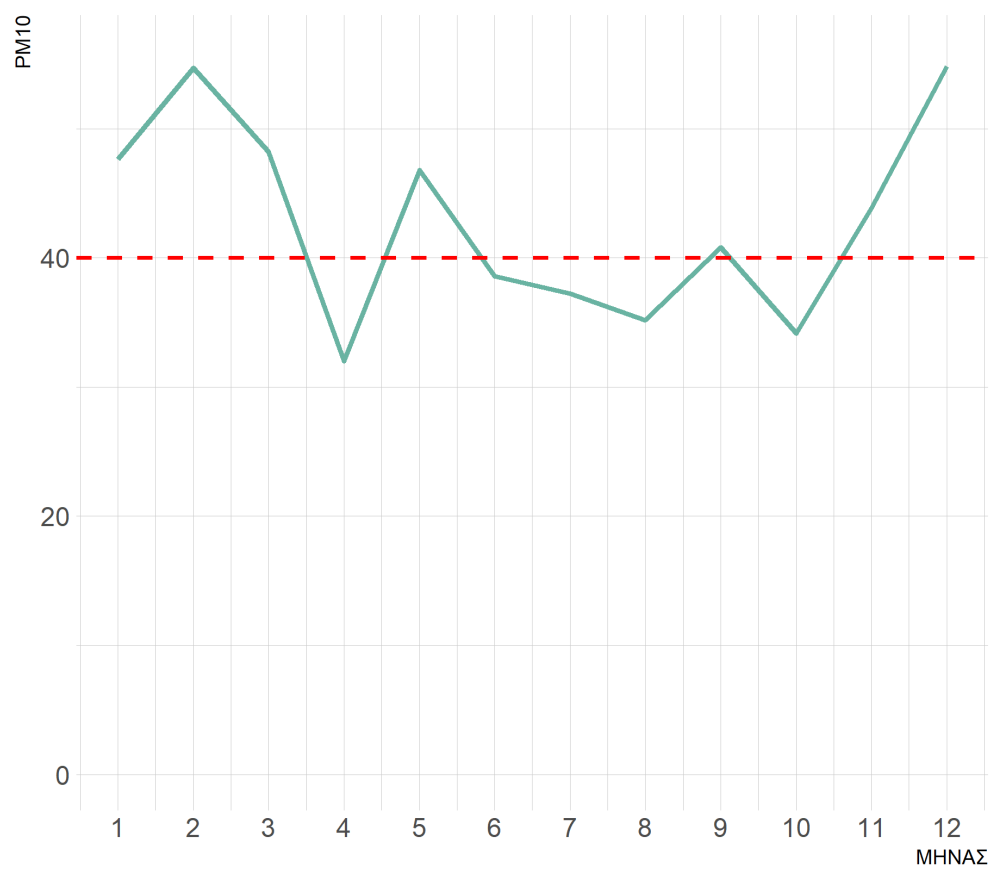
Μέσος όρος PM10 ανά μήνα

Έτος 2007



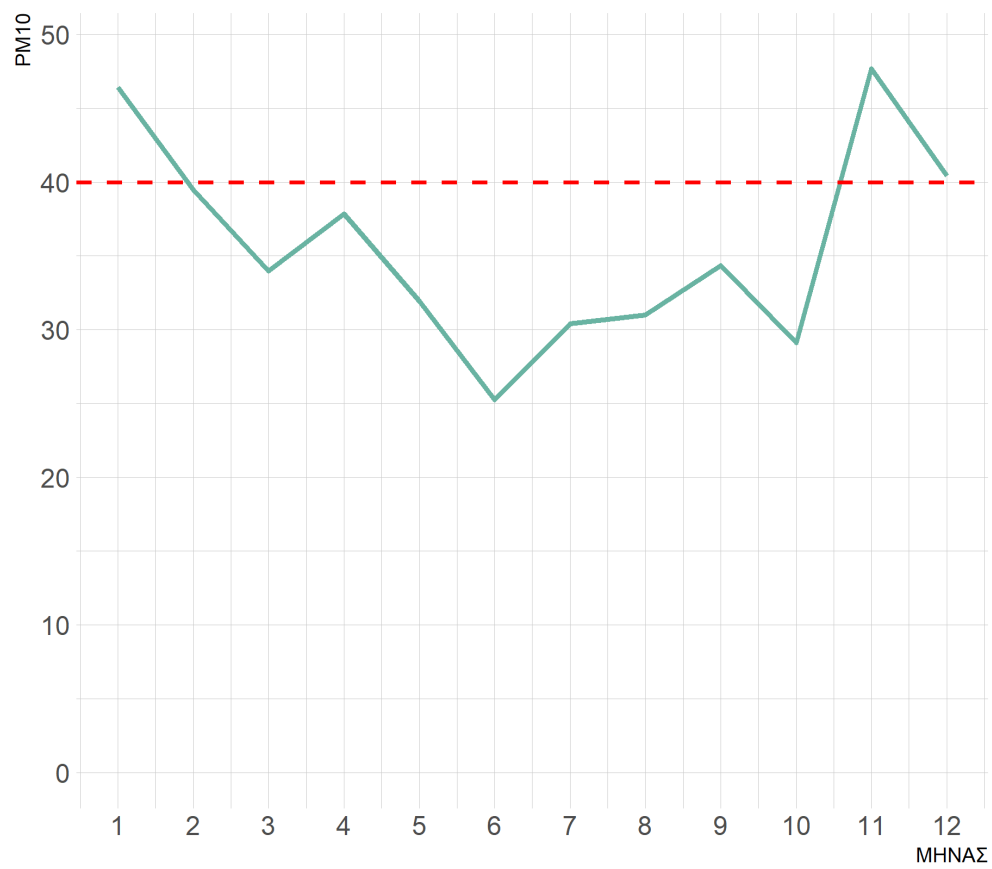
Μέσος όρος PM10 ανά μήνα

Έτος 2008



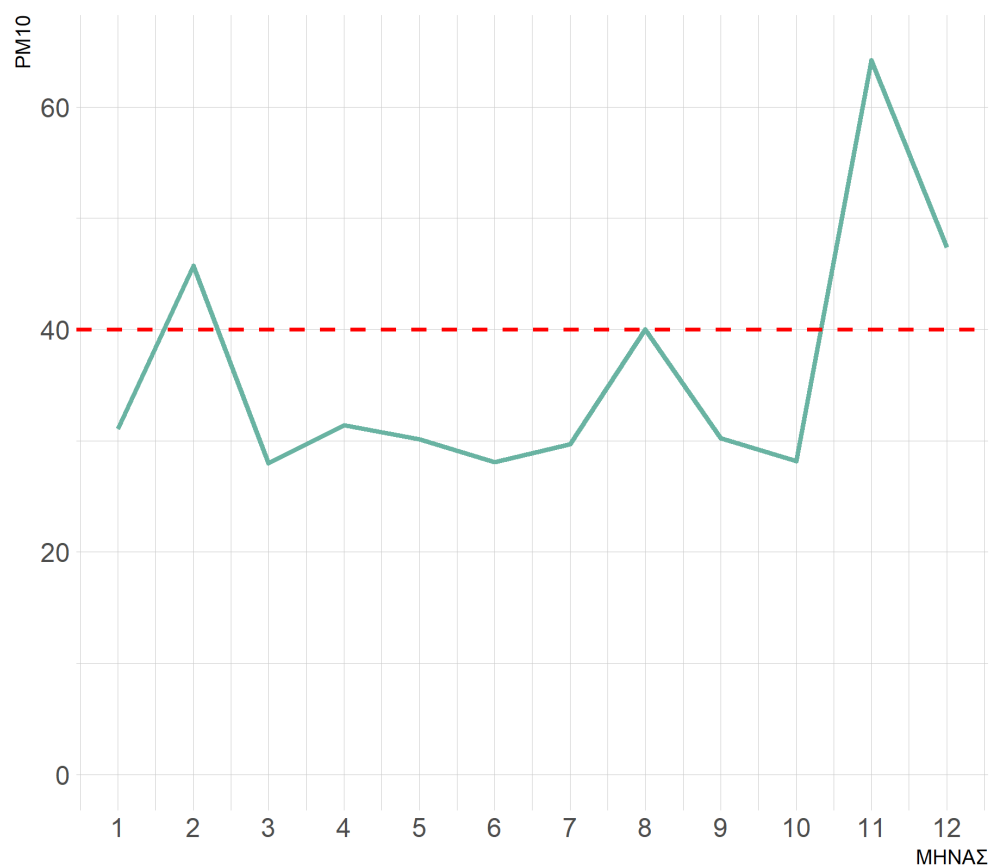
Μέσος όρος PM10 ανά μήνα

Έτος 2009



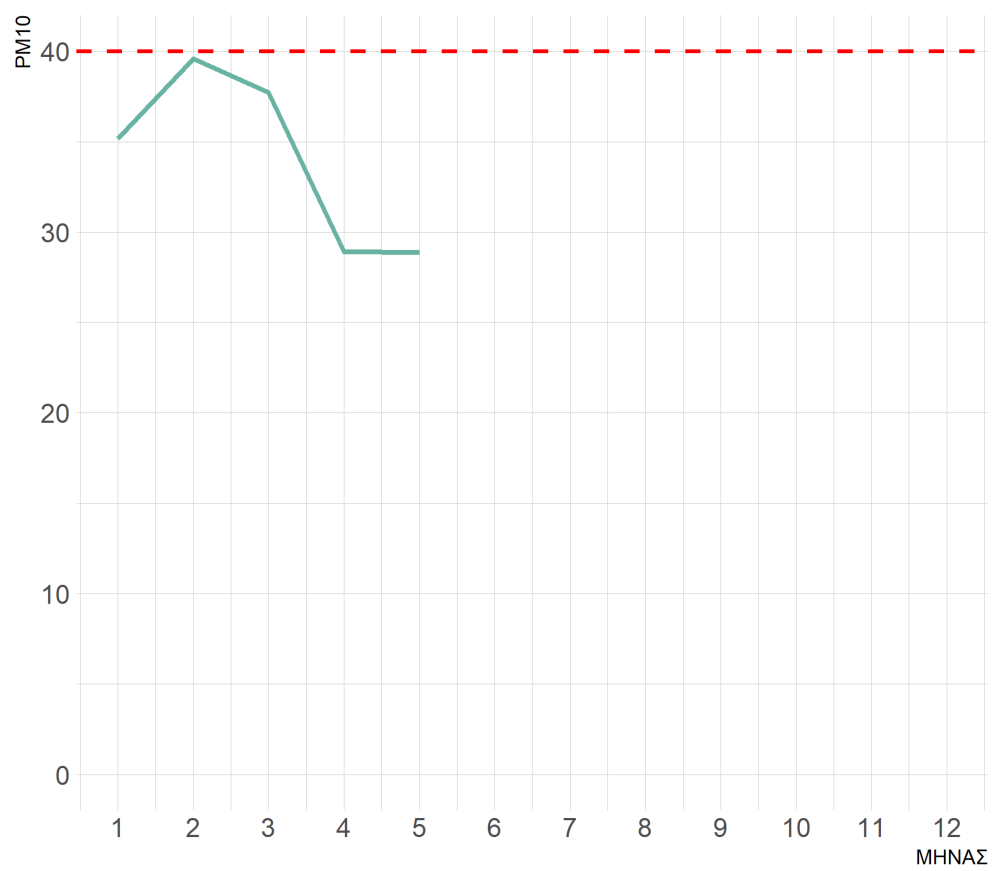
Μέσος όρος PM10 ανά μήνα

Έτος 2010



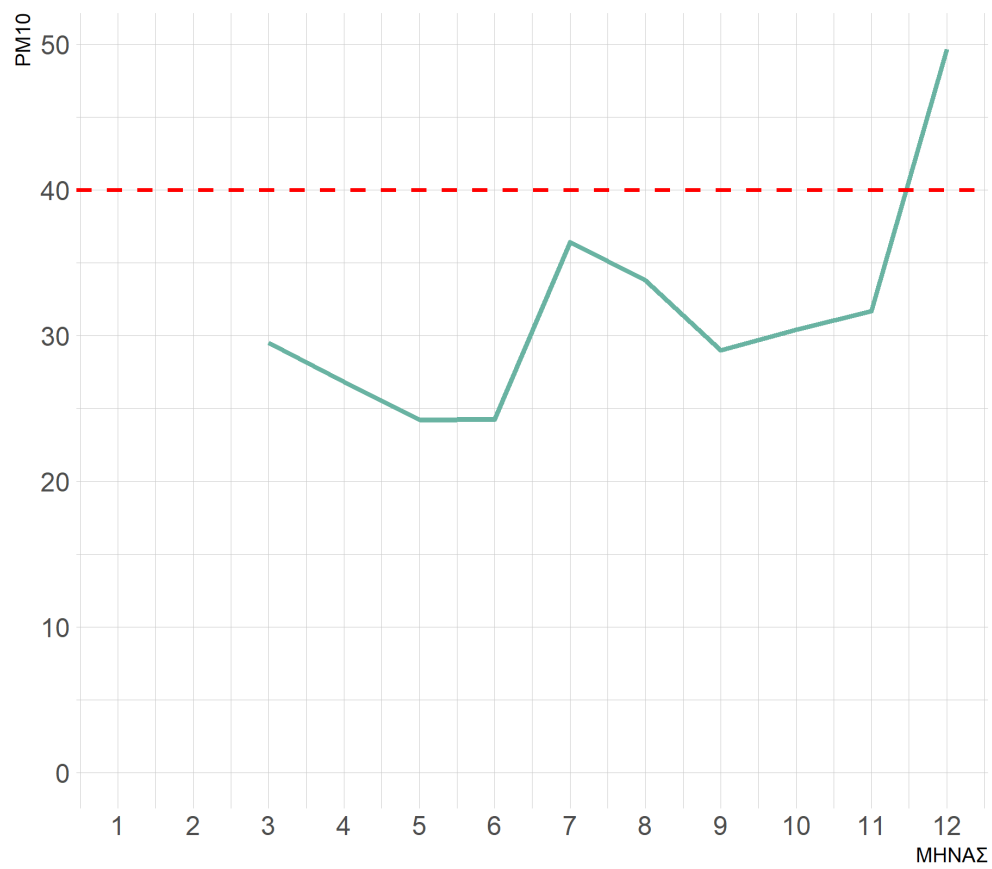
Μέσος όρος PM10 ανά μήνα

Έτος 2011



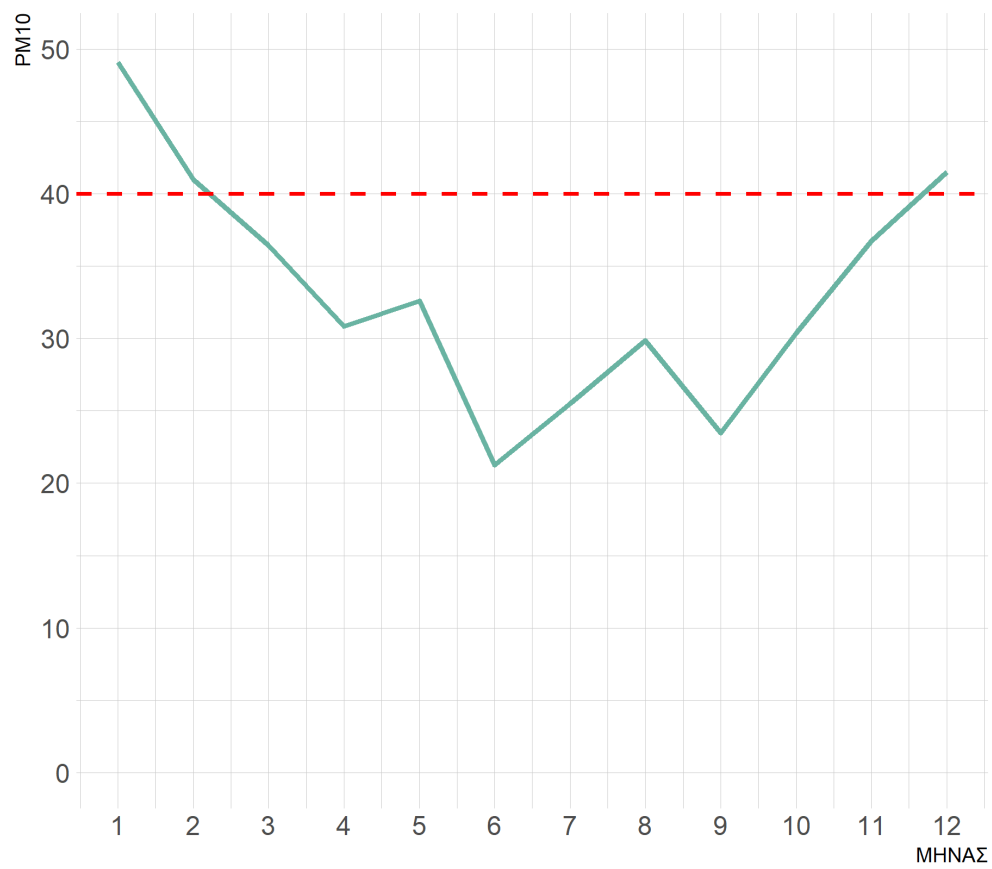
Μέσος όρος PM10 ανά μήνα

Έτος 2012



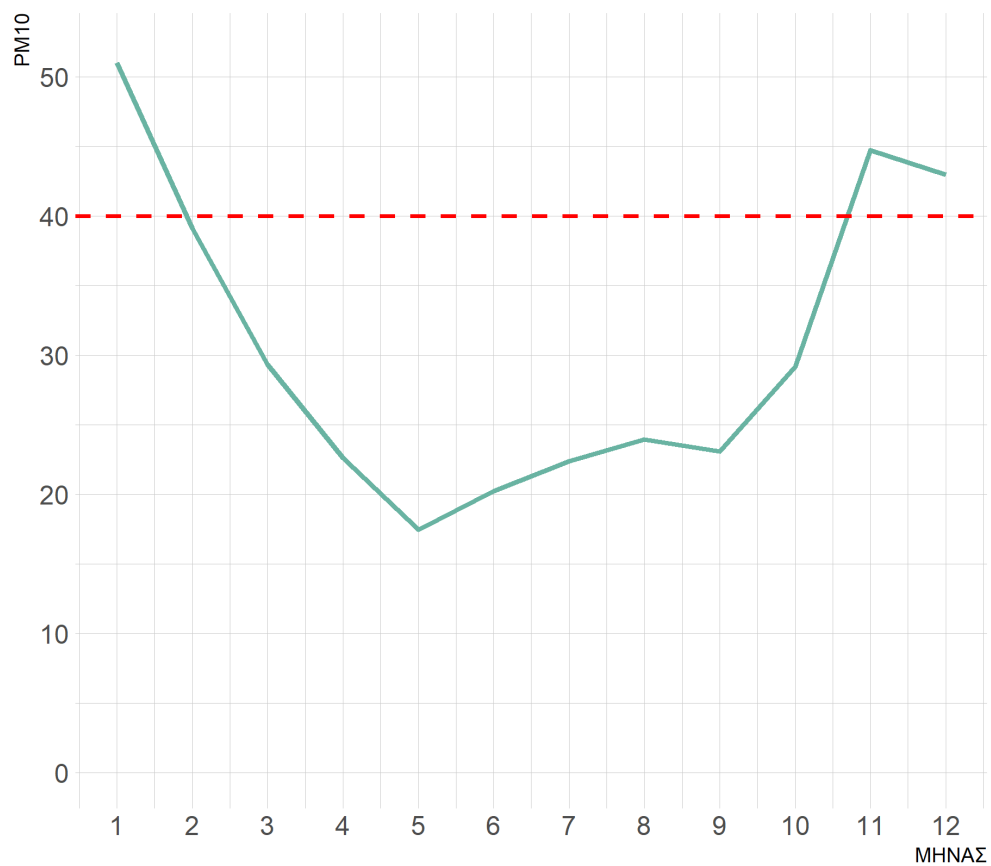
Μέσος όρος PM10 ανά μήνα

Έτος 2013



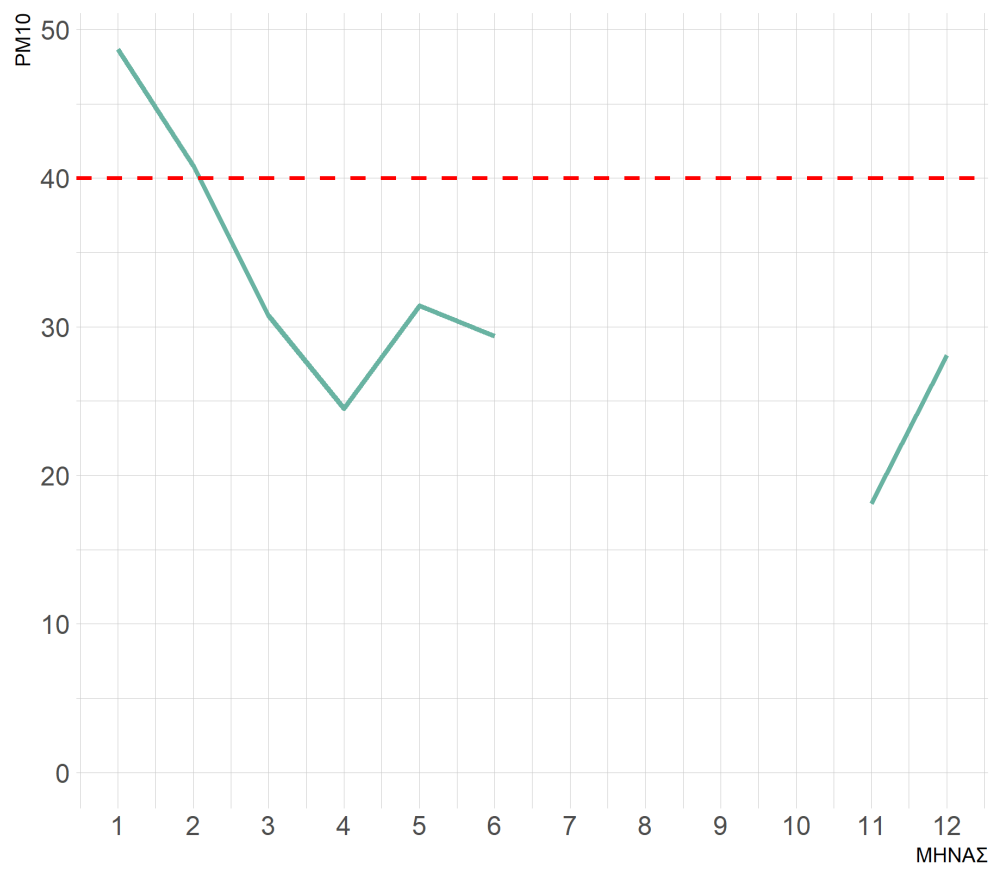
Μέσος όρος PM10 ανά μήνα

Έτος 2014



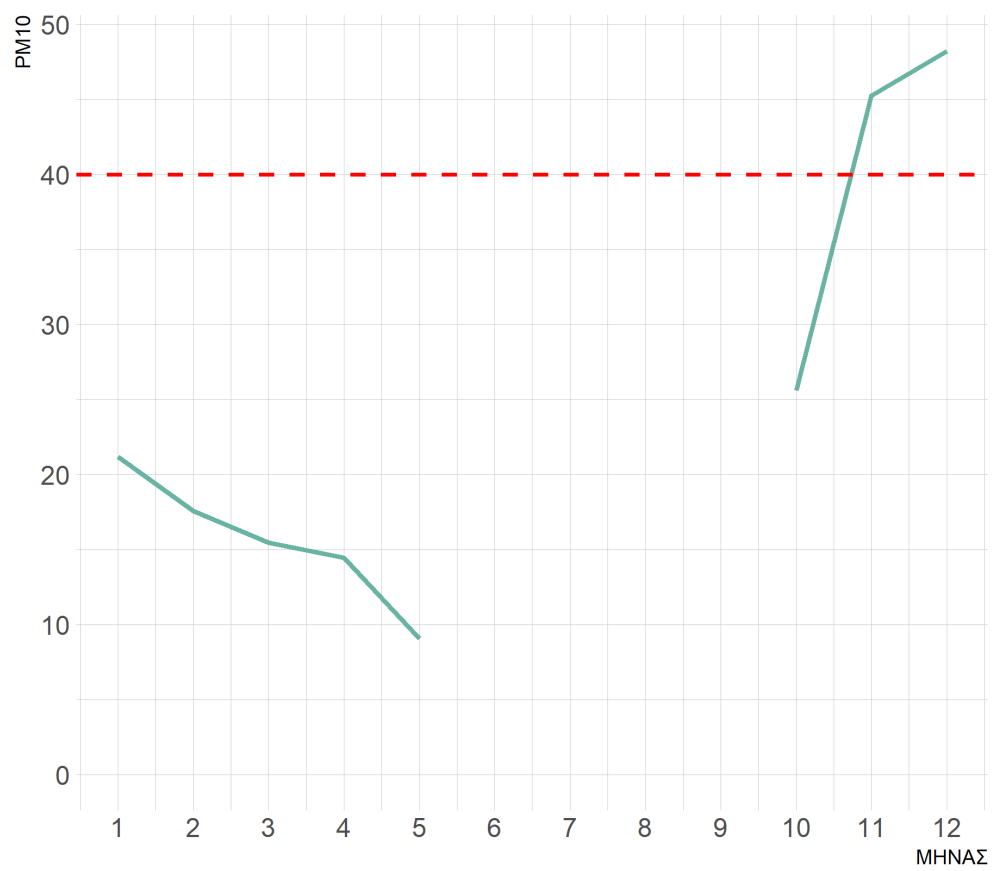
Μέσος όρος PM10 ανά μήνα

Έτος 2015



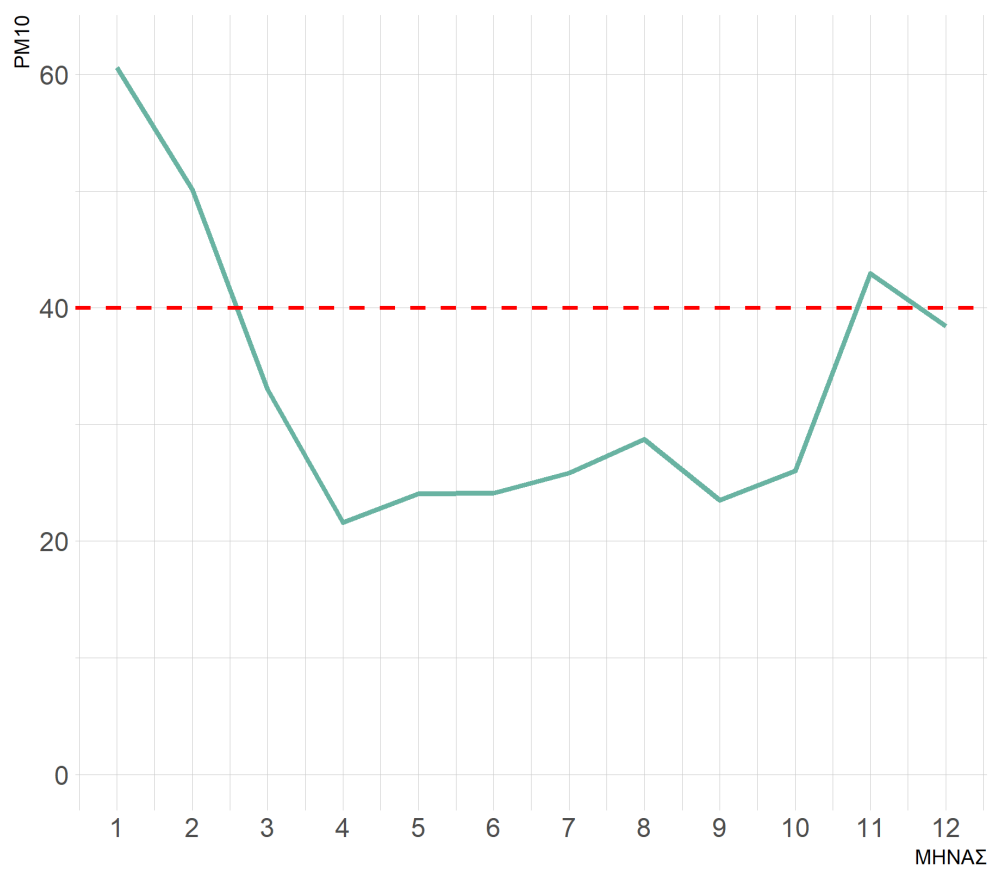
Μέσος όρος PM10 ανά μήνα

Έτος 2016



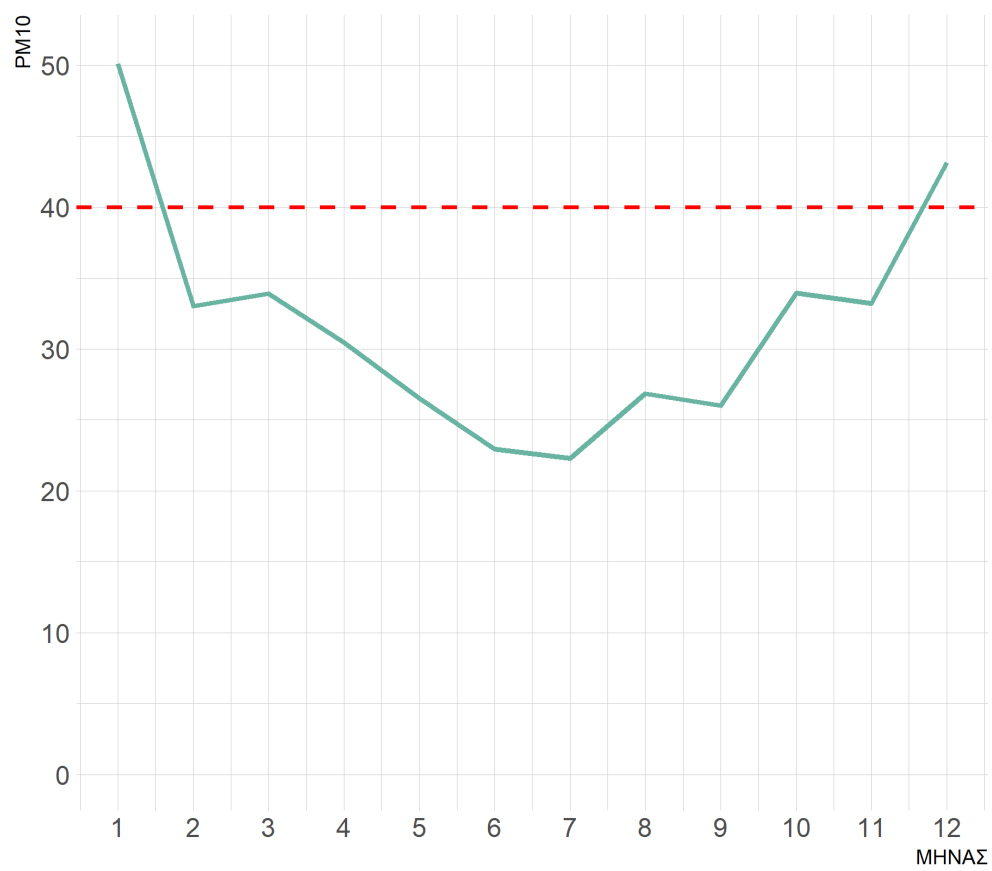
Μέσος όρος PM10 ανά μήνα

Έτος 2017



Μέσος όρος PM10 ανά μήνα

Έτος 2018



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Διαμαντάρας Κ., 2007. Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα. Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα. ISBN 978-960-461-080-8.

Καρολεμέα Κ.Μ. και Πελτέκης Ν., 2012. Διπλωματική εργασία. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη

Μουστρής Κ., 2009. Πρόγνωση ποιότητας της ατμόσφαιρας στην ευρύτερη περιοχή Αθηνών με τη χρήση νευρωνικών δικτύων. Διδακτορική Διατριβή. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

Σαμαρά Κ., Κουϊμτζής Θ., Βουτσά Δ., Κούρας Α., Μανώλη Ε., Αργυρόπουλος Γ., Νικολάου Κ., Σταπουντζής Ε. και Κουμπάρελος Γ. (2008). «Προσδιορισμός της συμβολής πηγών στην ατμοσφαιρική ρύπανση του Βόλου και σχεδιασμός ιεραρχημένης περιβαλλοντικής πολιτικής για την αναβάθμιση της ατμόσφαιρας: Φάση II-Τελική έκθεση». Ερευνητικό έργο. Εργαστήριο Ελέγχου Ρύπανσης του Περιβάλλοντος του Τμήματος Χημείας του ΑΠΘ.

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Abbey D.E., Nishino N., McDonnell W.F., Burchette R.J., Knusten S.F., Beeson, W.L., Yang J.X (1999). Long-Term Inhalable Particles and Other Air Pollutants Related to Mortality in Nonsmokers, *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*, 159, 373-382.

Ackermann-Lieblich, U., Leuenberger P., Schwartz J., Schindler C., Monn C., Bolognini G., Bongard J.P., Brändli O., Domenighetti G., Elsasser S., Grize L., Karrer W., Keller R., Keller-Wossidlo H., Künzli N., Martin B.W., Medici T.C., Perruchoud A.P., Schöni M.H., Tschopp J.M., Villiger B., Wüthrich B., Zellweger J.P., Zemp E. (1997). "Lung function and long term exposure to air pollutants in Switzerland. Study on Air Pollution and Lung Diseases in Adults (SAPALDIA) Team." *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* **155**(1): 122-129. Ackley D.H., Hinton G.E., Sejnowski T.J., 1985. A Learning Algorithm for Boltzmann Machines. *Cognitive Science*, 9, pp. 147-169.

Ackley D.H., Hinton G.E., Sejnowski T.J. (198. A Learning Algorithm for Boltzmann Machines. *Cognitive Science*, 9, pp. 147-169.

Anenberg S.C., Daven K.H., Tinney V., Kinney P.L., Raich W., Fann N., Malley C.S.,

Roman H., Lamsal L., Duncan B., Martin R.V., Donkelaar van A., Brauer M., Doherty R., Jonson J.E., Davila Y., Sudo K. and Kuylentierna J.C.I. (2018). Estimates of the Global Burden of Ambient PM_{2.5}, Ozone, and NO₂ on Asthma Incidence and Emergency Room Visits is companion of Vol. 126, No. 10 Research Open Access

Anderson, H.R. (2009). "Air pollution and mortality: A history." *Atmospheric Environment* **43**(1): 142-152.

Ashmore, M. R. and Dimitroulopoulou C. (2009). "Personal exposure of children to air pollution." *Atmospheric Environment* **43**(1): 128-141.

Avol, E., Gauderman W.J., Tan S.M., London S J, Peters J M et al. (2001). "Respiratory Effects of Relocating to Areas of Differing Air Pollution Levels." *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* **164**(11): 2067-2072.

Badland H, Schofield G, Witten K, Schluter P, Mavoa S, Kearns R, Erica A Hinckson, Melody Oliver, Hector Kaiwai, Victoria G Jensen, Christina Ergler, Leslie McGrath & Julia McPhee et al. 2009. Understanding the Relationship between Activity and Neighbourhoods (URBAN) Study: research design and methodology. *BMC Public Health* 9:224; doi:10.1186/1471-2458-9-224

Bahrami F.A., Leili M., Vaziri Y., Salahshour S.A., Cristaldi A., Oliveri G.C., Ferrante M., (2018). • Health impacts quantification of ambient air pollutants using AirQ model approach in Hamadan, Iran, PMID: 29121489, DOI: 10.1016/j.envres.2017.10.050, 161:114-121.

Ballester E., Balaguer G., Camps Valls, J.L., Carrasco-Rodriguez E., Oliva S. and del Valle-Tascon S, (2002). Effective 1-day ahead prediction of hourly surface ozone concentrations in eastern Spain using linear models and neural networks, *Ecological Modelling*, Volume 156, Issue 1, p.p. 27-41. Birmili W., Hoffmann T., 2006. Particulate and Dust Pollution, Inorganic and Organic Compounds. *Environmental Pollutants: Overview*

Barron A.R., (1991). Approximation and Estimation Bounds for Artificial Neural Networks. Technical Report TR. #59, Department of Statistics, University of Illinois at Urbana – Champaign, IL, 61820.

Barron A.R., (1993). Universal Approximation Bounds for Superpositions of Sigmoidal Functions. *IEEE Tr. Information Theory*, 39, 3, pp. 930-945.

Bartzokas A., Kassomenos P., Petrakis M., Celessides C. (2004). The effect of meteorological and pollution parameters on the frequency of hospital admissions for cardiovascular and respiratory problems in Athens. *Indoor Built. Environ.* 13, 271-275.

Basis for Indian Air Quality Index (IND-AQI). Available at: <http://home.iitk.ac.in>

Bateson, T.F. and Schwartz J. (2004). "Who is Sensitive to the Effects of Particulate Air Pollution on Mortality?: A Case-Crossover Analysis of Effect Modifiers." *Epidemiology* 15(2): 143-149 110.1097/1001.ede.0000112210.0000168754.fa.

Bayer-Oglesby, L., Schindler C., Marianne E. Hazenkamp-von Arx, Fahrländer C.B., Keidel D., Rapp R., Künzli N., Braendli O., Burdet L., Liu L-J Sally, Leuenberger Ph., Ackermann-Liebrich U., the SAPALDIA Team. (2006). "Living near Main Streets and Respiratory Symptoms in Adults." *American Journal of Epidemiology* 164(12): 1190-1198.

Beelen, R., Hoek, G. Fischer P., Van den Brandt P.A., Brunekreef B., (2007). "Estimated long-term outdoor air pollution concentrations in a cohort study." *Atmospheric Environment* 41(7): 1343-1358.

Bloemsma L.D., Gehring U., Klomp maker J.O., Hoek G., Janssen N.A.H., Lebret E., Brunekreef B., Wijga A.H. (2019). Green space, air pollution, traffic noise and cardiometabolic health in adolescents: The PIAMA birth cohort. *Environ Int.*, 131:104991. doi: 10.1016/j.envint.2019.104991.

Boldo E., Medina S., Le Tertre A., Hurley F., Mücke H.G., Ballester F., Inmaculada A., Eilstein D., Apeis Group. (2006). Apeis: Health impact assessment of long-term exposure to (PM_{2.5}) in 23 European cities. *Eur J Epidemiol* 2006; 21(6): 449-458.

- Botkin D.B. and Keller E.A., (1995). *Environmental science: Earth as a living planet* (1st ed.). New York, Wiley.
- Boubel, R.W., Fox, D.L., Turner, D.B., and Stern, A.C. (1994). *Fundamentals of Air Pollution*. 3rd Edition, Academic Press.
- Brook, R. (2008). "Cardiovascular effects of air pollution." *Clinical Science* 115: 175-187.
- Brook, R. D. and Rajagopalan S., (2009). "Particulate matter, air pollution, and blood pressure." *Journal of the American Society of Hypertension* 3(5): 332-350.
- Brunekreef B., Janssen N.A., De Hartog J., Harssema H., Knape M., Van Vliet P. (1997). Air pollution from truck traffic and lung function in children living near motorways. *Epidemiology*. 1997 May;8(3):298–303
- Brunekreef, B. and Forsberg B. (2005). "Epidemiological evidence of effects of coarse airborne particles on health." *European Respiratory Journal* 26(2): 309-318.
- Brunekreef B., Beelen R., Hoek G., Schouten L., Bausch-Goldbohm S., Fischer P., Armstrong B., Hughes E., Jerrett M., Van den Brandt Piet, (2009). Effects of long-term exposure to traffic-related air pollution on respiratory and cardiovascular mortality in the Netherlands: the NLCS-AIR study *Res Rep Health Eff Inst.* . 2009 Mar;(139):5-71; discussion 73-89.
- Bruce N., Perez-Padilla R., Albalak R., (2000). Indoor air pollution in developing countries: a major environmental and public health challenge, *Bulletin of the World Health Organization*, 2000, 78 (9).
- Canter, L.W. (1996). *Environmental Impact Assessment*, 2 nd Edition, McGraw Hill.
- Carpenter G., Grossberg S.,(1988). The ART of Adaptive Pattern Recognition by Self-Organizing Neural Network. *IEEE Computer*, 21, pp. 77-88.
- Cavanagh, J.A.E., Trought K., Brown L., Duggan S., (2009). "Exploratory investigation of the chemical characteristics and relative toxicity of ambient air particulates from two New Zealand cities." *Science of the Total Environment* 407(18): 5007-5018.
- Chen, B. and H. Kan (2008). "Air pollution and population health: a global challenge." *Environ Health and Prevent Med* 13: 94-101.
- Cheng, W.L., Chen, Y.S., Zhang, J., Lyons, T.J., Pai, J.L. and Chang, S.H. (2007). Comparison of the Revised Air Quality Index with the PSI and AQI indices. *Science of the Total Environment*, 382, 2–3, 191–198.
- Clancy, L., Goodman P., Sinclair Hamish, Dockery D.W., (2002). "Effect of air-pollution control on death rates in Dublin, Ireland: an intervention study." *The Lancet* 360 (9341): 1210-1214.
- Cohen A.J., Anderson H.R., Ostro B., Pandey K.D., Krzyzanowski M., Kuenzli N., Gutschmidt K., Pope C.A., Romieu I., Samet J.M., Smith K.R. (2004). Mortality impacts of urban air pollution. In *Comparative quantification of health risks: Global and regional burden of disease due to selected major risk factors*, eds. M. Ezzati, A. D. Lopez, A. Rodgers, and C. U. J. L. Murray, vol. 2, pp. Geneva: World Health Organization.
- Cohen A.J., Ross A.H., Ostro B., Pandey K.D., Kryzanowski M., Kunzail N., (2005). The global burden of disease due to outdoor air pollution. *J. Toxicol. Environ. Health*, A 68, 1e7.

Comrie A.C. (1997). Comparing neural networks and regression models for ozone forecasting. *Journal of Air and Waste Management Association*, 47, pp 653-663.

Cooper C.D., Alley F.C., (2004). Έλεγχος αέριας ρύπανσης. Σχεδιασμός αντιρρυπαντικής τεχνολογίας. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.

Council Directive 1999/30/EC, 1999. Limit values of sulphur dioxide, nitrogen dioxide and oxides of nitrogen, particulate matter and lead in ambient air. *Official Journal of the European Communities*, L163, 29/6/1999, pp 41-60.

Council Directive 2000/69/EC of the European Parliament and the Council, 2000. Limit values for benzene and carbon monoxide in ambient air. *Official Journal of the European Communities*, L313, 13/12/2000, pp 12-22.

Council Directive 2002/3/EC of the European Parliament and the Council, 2002. Ozone in ambient air. *Official Journal of the European Communities*, L67, 9/3/2002, pp 14-31.

Council Directive 96/92/EC, 1996. On ambient air quality assessment and management. *Official Journal of the European Communities*, L296, 21/11/1996, pp 55-63.

Cybenko G., (1989). Approximation by Superpositions of a Sigmoidal Function. *Mathematics of Control, Signals, and Systems*, 2, pp. 303-314.

Decesari S., Facchini M. C., Matta E., Lettini F., Mircea M., Fuzzi S., Tagliavini E., Putaud J.-P., (2001). Chemical features and seasonal variation of fine aerosol water-soluble organic compounds in the Po Valley, Italy. *Atmos. Environ.*, 35: 3691-3699.

Dieme, D., Cabral-Ndior M., Garçon G., Verdin A., Billet S., Cazier F., Courcot D., Diouf A., Shirali P., (2012). "Relationship between physicochemical characterization and toxicity of fine particulate matter (PM_{2.5}) collected in Dakar city (Senegal)." *Environmental Research* **113**(0): 1-13.

Dockery D.W., Pope III C.A. (1994) Acute respiratory effects of particulate air pollution. *Ann. Rev. Publ. Health.*, 15, 107-132.

Dockery D.W., Pope C.A., Xu X., Spengler J.D., Ware, J.H., Fay M.E., Ferris Jr B.G., and Speizer F.E. (1993). An Association between Air Pollution and Mortality in Six U.S. Cities, *N Engl J Med* 1993; 329:1753-1759
DOI: 10.1056/NEJM199312093292401

Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 "On Ambient Air Quality and Cleaner Air for Europe."

Driscoll, K.E., Carter J.M., Hassenbein D.G., and Howard B., (1997). "Cytokines and particle-induced inflammatory cell recruitment." *Environ Health Perspect* 105(Suppl 5).

Dutot A.L., Rynkiewicz J., Steiner F.E. and Rude J., (2007). A 24-h forecast of ozone peaks and exceedance levels using neural classifiers and weather predictions. *Environmental Modeling & Software*, 22 (9), pp. 1261-1269.

EPA (2016), Air Quality Assessment Division, Office of Air Quality Planning and Standards, Environmental Protection Agency, United States. Publication No. EPA-454/B-16-002. <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P100P29X.PDF?Dockey=P100P29X.PDF>

Faridi P., Chen L., Ramarathinam S.H., Vivian J.P., Illing P.T., Mifsud N.A., Ayala R., Song J., Gearing L.J., Hertzog P.J., Ternette N., Rossjohn J., Croft N.P., Purcell A.W., (2018). A

subset of HLA-I peptides are not genomically templated: Evidence for cis- and trans-spliced peptide ligands, *Sci Immunol.* 12, 3(28):eaar3947, doi: 10.1126/sciimmunol.aar3947.

Ferreira F., Tente H., and Torres P., (2002). Air quality in major Portuguese urban agglomerations. *Water Air Soil Poll.* 2, 103–114.

Firket J. (1936). "For along the Meuse valley." *Transactions of the Faraday Society* 32: 1192-1197.

Forbes L.J.L., Kapetanakis V., Rudnicka A.R., Cook D.G., Bush T., Stedman J.R., Whincup P.H., Strachan D.P., Anderson H.R., (2009). "Chronic exposure to outdoor air pollution and lung function in adults." *Thorax* 64(8): 657-663.

Forsberg, B., Hansson H.C., Johansson B.C., Areskoug H., (2005). "Comparative Health Impact Assessment of Local and Regional Particulate Air Pollutants in Scandinavia." *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 34(1): 11-19.

Franceschini, F., Galetto, M. and Maisano, D. (2005). A short survey on air quality indicators: properties, use, and (mis)use. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 16 (5), 490504.

Friedrich H., (1995). Degrees of Explanation. *British Journal for Philosophy of Science*.

Fukushima K., (1975). Cognitron: A self-organizing multi-layered neural network. *Biological Cybernetics*, 20, pp. 121-136.

Funahashi K., (1989). On the Approximate Realization of Continuous Mappings by Neural Networks. *Neural Networks*, 2, pp. 183-192.

Furberg, H., Bulik, C.M., Lerman, C., Lichtenstein, P., Pedersen, N.L., and Sullivan, P.F. (2005). Is Swedish snus associated with smoking initiation or smoking cessation? *Tobacco Control* 14:422-424.

Grosjean E., Rasmussen R.A., and Grosjean D., (1998). Ambient levels of gas phase pollutants in Porto Alegre, Brazil. *Atmos. Environ.* 32, 3371–3379.

Hampel, R., Breitner S., Schneider A., Zareba W., Kraus U., Cyrus J., Gerschkat U., Belcredi P., Muller M., Wichmann H.E., Peters An. for the Cooperative Health Research in the Region of Augsburg (KORA) Study Grouet (2012). "Acute air pollution effects on heart rate variability are modified by SNPs involved in cardiac rhythm in individuals with diabetes or impaired glucose tolerance." *Environmental Research* 112(0): 177-185.

Hebb D.O., (1942). The Effects of early and late brain injury upon test scores and the nature of normal adult intelligence. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 85, pp. 275-292.

Hebb D.O., (1949). *The organization of behavior: A neuropsychological theory*. New York, Wiley.

Hetland, R.B., Myhre O., Hongve Låg M.D., Schwarze P.E., Refsnes M.. (2001). "Importance of soluble metals and reactive oxygen species for cytokine release induced by mineral particles." *Toxicology* 165(2–3): 133-144.

Hoek, G., Kos G., Hoek G., Harrison R.M., De Hartog J., Meliefste K., Ten Brink H., Katsouyanni K., Karakatsani A., Lianou M., Kotronarou A., Kavouras I., Pekkanen J., Vallius M., Kulmala M., Puustinen A., Thomas S., Meddings C., Ayres J.G., Van Wijnen J., Hameri

- K. (2008). "Indoor–outdoor relationships of particle number and mass in four European cities." *Atmospheric Environment* 42(1): 156-169.
- Hopfield J.J., (1982). Neural Networks and Physical Systems with emergent collective computational abilities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 9(2554).
- Hopfield J.J., Tank D.W., (1986). Computing with Neural Circuits. *A Model Science*, 233, pp. 625-633.
- Hopfield J.J., (1987). Learning algorithms and probability distributions in feed-forward and feed-back networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 84, pp. 8429-8433.
- Hornik K., Stinchcombe M., White H., (1989). Multilayer Feedforward Networks are Universal Approximators. *Neural Networks Archive*, vol.2, issue 5, pp. 359-366. [http://www.environmentaction.org/pollution/health effects/](http://www.environmentaction.org/pollution/health%20effects/)
- Hu L., Bell D., Antani S., Xue Zh., Yu Kai, Horning M.P., Gachuhi N., Wilson B., Jaiswal M.S., Befano Br., Long L.R., Herrero Rolando, Einstein M.H., Burk R.D., Demarco M., Gage J.C. Rodriguez A.C., Wentzensen N., Schiffman M., *Cancer J N.* (2019). An Observational Study of Deep Learning and Automated Evaluation of Cervical Images for Cancer Screening, *Inst.*, 111(9):923-932. doi: 10.1093/jnci/djy225.
- Hueglin C., Gehrig R., Baltensperger Urs, Scherrer P., Gysel M., (2004). Chemical characterisation of PM_{2.5}, PM₁₀ and coarse particles at urban, near-city and rural sites in Switzerland, *Institut. Atmospheric Environment* 39(4):637-651, DOI:10.1016/j.atmosenv.2004.10.027
- Ghio A., Kim C., Devlin R. (2000). "Concentrated Ambient Air Particles Induce Mild Pulmonary Inflammation in Healthy Human Volunteers." *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 162(3): 981-988.
- Gold D.R., Litonjua A., Schwartz J., Lovett E., Larson A., Nearing B., Allen G., Verrier M., Cherry R., Verrier R., 2000. Ambient pollution and heart rate variability. *Circulation* 101:1267–1273.
- Goldberg M.S., Burnett R.T., Bailar J.C. 3rd, Tamblyn R., Ernst P., Flegel K., Brook J., Bonvalot Y., Singh R., Valois M.F., and Vincent R., (2001). "Identification of Persons with Cardiorespiratory Conditions Who Are at Risk of Dying from the Acute Effects of Ambient Air Particles." *Environ Health Perspect* 109(s4).
- Golub, A., Strukova, E. (2008). Evaluation and Identification of Priority Air Pollutants for Environmental Management on the Basis of Risk Analysis in Russia. *Journal of Toxicology and Environmental Health. Part A.* 71. 86-91.
- Goto Y., Ishii H., Hogg J.C., Shih C.H., Yatera K., Vincent R., Van Eeden S.F. (2004). "Particulate Matter Air Pollution Stimulates Monocyte Release from the Bone Marrow." *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 170(8): 891-897.
- Grineski S.E., Staniswalis J.G., Bulathsinal P., Peng Y., Gill T.E., (2011). Hospital admissions for asthma and acute bronchitis in El Paso, Texas: Do age, sex, and insurance status modify the effects of dust and low wind events? *Environmental Research Volume 111, Issue 8, Pages 1148-1155*

Gunasekar, P.G. and Stanek L.W. (2011). Advances in exposure and toxicity assessment of particulate matter: An overview of presentations at the 2009 Toxicology and Risk Assessment Conference." *Toxicology and Applied Pharmacology* **254**(2): 141-144.

Habeebullah T.M. (2013). Health Impacts of PM10 Using AirQ2.2.3 Model. *Makkah. J. Basic Appl. Sci.* **9**, 259-268.

Harrison R.M., Yin J. (2000). Particulate matter in the atmosphere: which particle properties are important for its effects on health. *Sci. Total Environ.*, **249**, 85-101.

Jacobs L., Buczynska A., Walgraeve C., Delcloo A., Potgieter-Vermaak S., Van Grieken R., Demeestere K., Dewulf J., Van Langenhove H., De Backer H., Nemery B., Nawrot T.S. (2012). Acute changes in pulse pressure in relation to constituents of particulate air pollution in elderly persons. *Environmental Research*, **18** Jun 2012, **117**:60-67
DOI: 10.1016/j.envres.2012.05.003 PMID: 22717264.

Jalaludin B.B., Chey T., O'Toole B.I., Smith W.T., Capon A.G., Leeder S.R. (2000). Acute effects of low levels of ambient ozone on peak expiratory flow rate in a cohort of Australian children. *Int J Epidemiol* **29**(3):549–557.

Jeong S.J. (2013). The Impact of Air Pollution on Human Health in Suwon City. *Asian J. Atmos. Environ.*, **7**, 227-233.

Jerrett, M., M. Buzzelli, Richard T Burnett, Patrick F DeLuca (2005). "Particulate air pollution, social confounders, and mortality in small areas of an industrial city." *Social Science & Medicine* **60**(12): 2845-2863.

Ibald-Mulli, A., Timonen K.L, Peters An., Heinrich J., Wölke G., Lanki T. Buzorius G., Kreyling W.G., De Hartog J., Hoek G., Ten Brink H.M. and Pekkanen J. (2003). Effects of Particulate Air Pollution on Blood Pressure and Heart Rate in Subjects with Cardiovascular Disease: A Multicenter Approach. *Environ Health Perspect* **112**(3).

Kappos, A.D., Bruckmann P., Eikmann T., Englert N., Heinrich Uwe, Höpfe P., d Koch Eck., Krause G.H.M., Kreyling W.G., Rauchfuss K., Rombout P., a Schulz-Klemp V., Thiel W.R., Wichmann H.E. (2004). "Health effects of particles in ambient air." *International Journal of Hygiene and Environmental Health* **207**(4): 399-407.

Kamarehie B, Sicard P, Takdastan A, Hopke P, Taiwo M, Khaniaba F, De Marco AL, Datyanoosh M (2018) Mortality and morbidity due to ambient air pollution in Iran. *Clinical Epidemiology and Global Health*, <https://doi.org/10.1016/j.cegh.2018.06.006>

Karandinos-Riga AN, Saitanis C (2005) Comparative assessment of ambient air quality in two typical Mediterranean coastal cities in Greece. *Chemosphere*, **59**, 1125-1136.

Katsouyanni K, Touloumi G, Samoli E, Gryparis A, Le Tertre A, Monopoli Y, Rossi G, Zmirou D, Ballester F, Boumghar A, Anderson HR, Wojtyniak B, PaLdy A, Braunstein R, Pekkanen J, Schindler C, Schwartz J (2001) Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: Results from 29 European cities within the APHEA2 project. *Epidemiology*, **12**, 521–531.

Katsouyanni, K., Gryparis A., et al. (2011). Short-Term Effects of Air Pollution on Health. *Encyclopedia of Environmental Health*. O. N. Editor-in-Chief: Jerome. Burlington, Elsevier: 51-60.

Kelessis A.G., (2001). Eleven years of primary air-pollutant observations in the city of Thessaloniki, Greece. *Fresen. Environ. Bull.* **10**, 624-628.

- Kelly F.J., Fussell J.C., (2012). Size, source and chemical composition as determinants of toxicity attributable to ambient particulate matter. *Atmospheric Environment* 60, 504-526.
- Kim, O.J., Ha E.H., Byung-Mi K., Ju-Hee S., Hye-Sook P., Woo-Jae J., Lee Bo-Eun, Young-Ju Suh, Young-Ju Kim, Jong-Tae Lee, Ho Kim, Yun-Chul Hong (2007). "PM10 and Pregnancy Outcomes: A Hospital-Based Cohort Study of Pregnant Women in Seoul." *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 49(12): 1394-1402
1310.1097/JOM.1390b1013e3181594859.
- Klepac P., Locatelli I., Korošec S., Künzlid N., j Kukecaf A. (2018). Ambient air pollution and pregnancy outcomes: A comprehensive review and identification of environmental public health challenges *Environmental Research*, Volume 167, November 2018, Pages 144-159.
- Klepeis N.E., Nelson W.C., Wayne R.O., Robinson J.P., Tsang G.A.M., Switzer P., Behar J.V., Hern S.C. and Engelmann W.H. (2001). The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): A Resource for Assessing Exposure to Environmental Pollutants. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*. 11(3):231-252.
- Kohonen T., (1988). *Self-Organization and Associative Memory*. New York, Springer-Verlag.
- Kolehmainen M., Martikainen H., Ruuskanen J., (2001). Neural networks and periodic components used in air quality forecasting. *Atmospheric Environment*, 35, pp. 815-825.
- Krewski, D., Burnett R., Goldberg M.S., Kristin H.B., Siemiatycki J., Jerrett M., Abrahamowicz M., White W.H. (2000). Reanalysis of the Harvard Six Cities Study of particulate air pollution and mortality, *Effects Institute J Toxicol Environ Health A*. 10;66(16-19):1507-51. doi: 10.1080/15287390306424.
- Kulkarni, N. and Grigg J. (2008). "Effect of air pollution on children." *Paediatrics and Child Health* 18(5): 238-243.
- Künzli, N., Kaiser R., Medina S., Studnicka M., Chanel O., Filliger P., Herry M., Horak Jr.F., Puybonnieux-Textier V., Quénel P., Schneider J., Seethaler R., Vergnaud J.C., Sommer H. (2000). Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment, *The Lancet* 356(9232): 795-801.
- Langkulsen, U., Jinsart W., Karita K, Yan E.. (2006). Health effects of respirable particulate matter in Bangkok schoolchildren, *International Congress Series* 1294(0): 197-200.
- Leonardi, G., Houthuijs D., Steerenberg P.A, Fletcher T., Armstrong B., T Antova, I Lochman, A Lochmanová, P Rudnai, E Erdei, J Musial, B Jazwicz-Kanyion, E M Niciu, S Durbaca, E Fabiánová, K Koppová, E Leuret, B Brunekreef, H van Loveren. (2000). Immune biomarkers in relation to exposure to particulate matter: A cross-sectional survey in 17 cities of central Europe. *Inhal. Toxicol.*: 1-14.
- Liao, D., J. Creason, et al. (1999). Daily variation of particulate air pollution and poor cardiac autonomic control in the elderly. *Environ Health Perspect* 107(7).
- Li, N., Xia T., Nel A.E. (2008). "The role of oxidative stress in ambient particulate matter-induced lung diseases and its implications in the toxicity of engineered nanoparticles." *Free Radical Biology and Medicine* 44(9): 1689-1699.
- Liao, D., Duan Y., Whitsel E.A, Zheng Zhi, Heiss G., Chinchilli V.M., Lin Hung-Mo. (2004). Association of Higher Levels of Ambient Criteria Pollutants with Impaired Cardiac Autonomic Control: A Population-based Study. *American Journal of Epidemiology* 159(8): 768-777.
- Lipfert, F.W., Perry H. M, Miller J.P., Baty J.D., Wyzga R.E., Carmody S.E. (2000). The Washington University - EPRI veteran's cohort mortality study: Preliminary results. *Inhal. Toxicol.* 12: 41-73.

- Logan, W.P.D., 1953. Mortality in London fog incident 1952, *The Lancet* 261(6755): 336-338.
- Lonati G., Giugliano M., Butelli P., Romele L., Tardivo R., 2005. Major chemical components of PM_{2.5} in Milan (Italy). *Atmos. Environ.*, 39: 1925-1934.
- Lorenc, T., Brunton G, Oliver S., Oliver K., Oakley A. (2008). *Journal of Epidemiology and Community Health* **62**: 852-857.
- Lucchini, R.G., Dorman D.C., Elder A., Veronesi B., (2012). Neurological impacts from inhalation of pollutants and the nose–brain connection. *Neurotoxicology*. 2012 Aug;33(4):838-41. doi: 10.1016/j.neuro.2011.12.001. Epub 2011 Dec 9.
- Luyten L.J. Saenen N.D., Janssen B.G., Vrijens K., Plusquin M., Roels H.A., Deb F. Chainiaux, Nawrot T.S. (2018). Air pollution and the fetal origin of disease: A systematic review of the molecular signatures of air pollution exposure in human placenta *Environmental Research* Volume 166, October 2018, Pages 310-323.
- Magari S.R., Hauser R., Schwartz J., Williams P.L., Smith T.J., Christiani D.C., (2001). Association of heart rate variability with occupational and environmental exposure to particulate air pollution. *Circulation* 104:986–991
- Marshall, J.D. (2008). Environmental inequality: Air pollution exposures in California's South Coast Air Basin. *Atmospheric Environment* **42**(21): 5499-5503.
- Marshall D.J., Brauer M., and Lawrence D. F., (2009). Healthy Neighborhoods: Walkability and Air Pollution *Environ Health Perspect*. Nov 2009; 117(11): 1752–1759.
- Mayer. H., Kalberlah, F. and Ahrens, D. (2002a). TLQ
An impact related air quality index obtained on a daily basis. Proceedings of the fourth Symposium on the Urban Environment, Norfolk, VA (USA), pp 8081.
- Mayer, H., Kalberlah, F., Ahrens, D. and Reuter, U. (2002b). Analysis of indices for the assessment of the air (in German). *Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft*, 62, 177–183.
- McConnell, R., Berhane K, (1999). "Air pollution and bronchitic symptoms in Southern California children with asthma." *Environ Health Perspect* 107(9).
- McDonnell W.F., Nishino-Ishikawa N., Petersen F.F., Chen L.H., Abbey, D.E. (2000). Relationships of Mortality with the Fine and Coarse Fraction of Long-Term Ambient PM₁₀ Concentrations in Nonsmokers; *J. Expo. Anal. Environ. Epidemiol.* 2000, 10, 427-436
- McCulloch W. and Pitts W., (1943). A logical calculus of the ideas imminent in nervous activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics* 5, pp 33-115.
- Mechra P. and Wah B.W., (1992). *Artificial Neural Networks. Concepts and Theory*. IEEE Comput. Society Press.
- Mills N. L., Donaldson K., Hadoke P. W., Boon N. A., MacNee W., Cassee F. R., Sandström T., Blomberg A., Newby D. E. (2009). Adverse cardiovascular effects of air pollution. *Nat. Clin. Pract. Cardiovasc. Med.* 6, 36–44.
- Minsky M., Papert S., (1987). *Perceptrons – Expanded Edition: An Introduction to Computational Geometry*. MIT Press, 1987.

Miyata, R. and Van Eeden S. F. (2011). The innate and adaptive immune response induced by alveolar macrophages exposed to ambient particulate matter. *Toxicology and Applied Pharmacology* 257(2): 209-226.

Monks P.S., Granier C., Fuzzi S., Stohl A., Williams M.L., Akimoto H., Amann M., Baklanov A., Baltensperger U., Bey I., (2009). Atmospheric composition change – global and regional air quality. *Atmospheric Environment* 43, 5268-5350.

Moustris K, Kladakis A, Ntouro K, Nastos P (2018). Estimation of adverse health effects attributed to PM10, CO, NO2, O3 and SO2 exposure within the greater Athens area, Greece. 14th International Conference on Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics, Alexandroupolis, October 15-17.

Nakayama Wong, L., Aung H.H., Lamé M.W., Wegesser T.C., Wilson D.W. (2011). Fine particulate matter from urban ambient and wildfire sources from California's San Joaquin Valley initiate differential inflammatory, oxidative stress, and xenobiotic responses in human bronchial epithelial cells. *Toxicology in Vitro* 25(8): 1895-1905.

Nastos P.T., Paliatsos A.G., Anthracopoulos M.B., Roma E.S., Priftis K.N. (2010). Outdoor particulate matter and childhood asthma admissions in Athens, Greece: a time-series study. *Environ. Health*, 9 (45), doi: 10.1186/1476-069X-9-45.

Nastos P.T. and Matzarakis A., (2006). Weather impacts on respiratory infections in Athens, Greece. *International Journal of Biometeorology*, 50, pp 358-369.

Nastos P.T. and Matzarakis A., (2008). Bioclimatic conditions, trends and variability at the University campus of Athens. *Proceedings of the 9th Conference of Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics*. Thessaloniki, Greece, 28-31 May 2008 , pp 925-932.

Nastos P.T., Paliatsos A.G. and Priftis K.N., (2007a). Cross spectrum analysis between childhood asthma and ambient air pollutants, at Athens, Greece. *Proceedings of the 10th International Conference on Environmental Science and Technology (CEST 2007)*, Kos Island, Greece, 5-7 September 2007, vol. A, 1021-1028.

Nastos P.T., Paliatsos A.G. and Priftis K.N., (2008). Do the maxima of air pollutants coincide with the incidence of childhood asthma in Athens, Greece. *Global NEST Journal*, 10, 3, 453-460.

Nastos P.T., Paliatsos A.G., Panagiotakos D.B., Antoniou A., Chrysohoou C., Pitsavos C. and Toutouzas P.K., (2003). "Associations between primary air pollutants and cardiovascular mortality, in Athens, *Proceedings of the 8th International Conference on Environmental Science and Technology*, Lemnos Island, Greece, 8-10 September 2003, 612-619.

Nastos P.T., Paliatsos A.G., Priftis K.N. and Zachariadi-Xypolita A., (2007b). "Particulate matter PM10 and childhood asthma in Athens, Greece". *Book of Abstracts of the 14th International Symposium on Environmental Pollution and its Impact on Life in the Mediterranean Region with Focus on the Environment and Health*, October 10-14, 2007, Seville, Spain, 96-97 (ISBN 978-84-8474-214-2).

Nastos P.T., Paliatsos A.G., Tritakis V.P., Bergiannaki A., (2006). Environmental Discomfort and Geomagnetic Field Influence on Physiological Mood in Athens, Greece. *Indor and Built Environment*, 15, 4, pp 365-372.

- Nawrot, T.S., Perez L., Künzli N., Munters E., Nemery B. (2011). Public health importance of triggers of myocardial infarction: a comparative risk assessment." *The Lancet* **377**(9767): 732-740.
- Nazir, R., Shaheen N. and Shah Munir H. (2011). Indoor/outdoor relationship of trace metals in the atmospheric particulate matter of an industrial area, *Atmospheric Research* **101**(3): 765-772.
- Nelin, T. D., Joseph A. M., Gorr M.W. and Wold L.E.. (2012). Direct and indirect effects of particulate matter on the cardiovascular system. *Toxicology Letters* **208**(3): 293-299.
- Nerriere, É., Zmirou-Navier D., Blanchard O., Momas I., Ladner J., Le Moullec Y., e Personnaz M.B., Lameloise Ph., Delmas V., Target A., Desqueyroux H. (2005). Can we use fixed ambient air monitors to estimate population long-term exposure to air pollutants? The case of spatial variability in the Genotox ER study. *Environmental Research* **97**(1): 32-42.
- Neuberger, M., Schimek M.G., Horak F., Moshammer H., Kundi M., Frischer T., Gomiscek B., Puxbaum H. and Hauck H. (2004). Acute effects of particulate matter on respiratory diseases, symptoms and functions, epidemiological results of the Austrian Project on Health Effects of Particulate Matter (AUPHEP). *Atmospheric Environment* **38**(24): 3971-3981.
- Nishino N., Abbey D.E. and Mc Donnell W.F. (1996). Long Term Ambient Concentrations of Ozone and Development of Asthma - the Ashmog Study: T 52. *Epidemiology* **7**(4): S31.
- Okeson, C.D., Riley M.R, Art Fernandez Jost, Wendt O.L. (2003). Impact of the composition of combustion generated fine particles on epithelial cell toxicity: influences of metals on metabolism. *Chemosphere* **51**(10): 1121-1128.
- NSW Department of Health. Air pollution and health. Available at: www.health.nsw.gov.au/public-health/ehb/hazards/air-pollution.html.
- NSW Environment Protection Authority. Action for Air. Sydney: EPA, 1998, with action for Air, 2006 update. Sydney: EPA, 2006. Available at: www.environment.nsw.gov.au/air/actionforair/execsum.htm.
- Ott, W.R. and Hunt, W.F. (1976). A quantitative evaluation of the pollutant standards index. *Journal of Air Pollution Control Association*, **26**, 10501054.
- Ott, W.R. and Thom, G.C. (1976). A critical review of air pollution index systems in the United States and Canada. *Journal of Air Pollution Control Association*, **26**, 460470.
- Paliatsos A.G., Kaldellis J.K. and Nastos P.T., (2007). Application of an ambient index for air quality management in greater Athens area. Greece. *Proceedings of the International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics. (IV)*, pp 2459-2464.
- Paliatsos A.G., Nastos P.TH., (1999). Relation between air pollution episodes and discomfort index in the greater Athens area, Greece. *Global Nest: The Int. J. Vol 1, No 2*, pp 91-97.
- Paliatsos A.G., Priftis K.N., Ziomas I.C., Panagiotopoulou-Gartagani P., Nikolaou-Panagiotou A., Tapratzi-Potamianou P., Zachariadi-Xypolita A., Nicolaidou P., Saxoni-Papageorgiou P., (2006). "Association between ambient air pollution and childhood asthma in Athens, Greece". *Fresenius Environmental Bulletin*, **15**, 7, 614-618.
- Paliatsos, A.G., Nastos, P.T., (1999). Relation between air pollution episodes and discomfort index in the greater Athens area, Greece. *Global Nest: the Int. J.*, **1**, 2, pp 91-97.

Paliatsos, A.G. and Amanatidis, G.T. (1994). Smoke concentrations in Athens, Greece trends and strong episodes, 1984-1991. *The Science of the Total Environment*, 144, 137-144.

Paliatsos, A.G., Viras, L.G., Ziomas, I.C. and Amanatidis, G.T. (1996). Routine air pollution measurements in Athens: rationalization of the monitoring network using spatial correlation analysis. *Fresenius Environmental Bulletin*, 5, 436-441.

Paliatsos A.G., Angelopoulos K.C., Coucouletsos C., Karamolengos M. and Stamatakis, D.P. (2000). Fifteen years of regular smoke measurements in Greater Athens Area Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*, 9, 515-522.

Paliatsos A.G., Priftis K.N., Ziomas I.C., Panagiotopoulou G., Gartagani P., Nikolaou - Panagiotou, A., Tapratzi Potamianou, P., Zachariadi Xypolita, A. Nicolaidou, P., Saxoni Papageorgiou, P. (2006a). Association between ambient air pollution and childhood asthma in Athens, Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*, 15, 7, 614-618.

Paliatsos, A.G., Koronakis, P.S. and Kaldellis, J.K. (2006b). Effect of surface ozone exposure on vegetation in the rural area of Aliartos, Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*, 15, 11, 1387-1393.

Panagiotakos, D.B., Chrysohou, C., Pitsavos, C., Nastos, P., Anadiotis, A., Tentolouris, C., Stefanadis, C., Toutouzias, P., Paliatsos, A. (2004). Climatological variations in daily hospital admissions for acute coronary syndromes. *International Journal of Cardiology*, 94, 229-233.

Papayannou AB, Viras LG, Nastos PT, Paliatsos AG (2010) An analysis of selected air pollutants in the city of Volos, Greece. *Environ. Monit. Assess.*, 161, 485-494.

Papamanolis N., (2001). On the seasonal dependence of the air pollution in the city of Volos, Greece. *Fresenius Environ. Bull.* 10, 749-754.

Papanastasiou D. and D. Melas, (2009). Statistical characteristics of ozone and PM₁₀ levels in a medium sized Mediterranean city. *Int. J. Environ. Pollut.* 36, 127-138.

Papanastasiou D.K., Melas D., Kioutsoukis I., (2007). Development and Assessment of Neural Network and Multiple Regression Models in Order to Predict PM₁₀ Levels in a Medium-sized Mediterranean City. *Water Air Soil Pollution*. 182, pp. 325-334.

Pateraki S, Assimakopoulos VD, Maggos T, Fameli KM, Kotroni V, Vasilakos Ch. (2013). Particulate Matter Pollution over a Mediterranean Urban Area. *Science of the Total Environment*, 463-464: 508-524

Peel J, Paige T, Klein M, Metzger KB, Flanders WD, Todd K, et al. (2005) Ambient air pollution and respiratory emergency department visits. *Epidemiology*, 16, 164e174.

Pekkanen J., Peters A., Hoek G., Tiittanen P., Brunekreef B., De Hartog J., Heinrich J., Ibaldo Mulli A., Kreyling W.G., Lanki T., Timonen K.L., Vanninen E. (2002). Particulate air pollution and risk of ST-segment depression during repeated submaximal exercise tests among subjects with coronary heart disease: the Exposure and Risk Assessment for Fine and Ultrafine Particles in Ambient Air (ULTRA) study. *Circulation* 106(8):933-938.

Parker, J.D., Rich D.Q., Glinianaia S.V., Leem J.H., Wartenberg D., Bell M.L., Bonzini M., Brauer M., Darrow L., Gehring U., Gouveia N., Grillo P., Ha E., Van den Hooven E.H., Jalaludin B., Jesdale B.M., Lepeule J., Morello-Frosch R., Morgan, G.G., Slama R., Pierik F.H.,

- Pesatori, A.C. Sathyanarayana S., Seo J., Strickland M., Tamburic L., and Woodruff Tracey J. (2011). The International Collaboration on Air Pollution and Pregnancy Outcomes: Initial Results." *Environ Health Perspect* **119**(7).
- Peters, A., Doring A., Wichmann H.E., Koenig W., (1997). Increased plasma viscosity during an air pollution episode: a link to mortality? *The Lancet* 349(9065): 1582-1587.
- Peters, A., Perz S., Döring Angela, Stieber Jutta, Koenig Wolfgang Wichmann., H.E. (1999). Increases in Heart Rate during an Air Pollution Episode. *American Journal of Epidemiology* 150(10): 1094-1098.
- Peters, A. and Pope C.A. (2002). Cardiopulmonary mortality and air pollution. *The Lancet* 360(9341): 1184-1185.
- Peters A, Dockery D.D., Miller J.F., Mittelman M.A., (2001) Increased particular matter and the triggering of myocardial infraction. *Circulation*, 103, 2810-2815.
- Pope 3rd, C.A., Thun M., Namboodiri M.M., Dockery D.W., Evans J.S., Speizer F.E., Heath JrCW., (1995). Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of US adults. *Am J Respir Crit Care Med* 151: 669-674.
- Pope Arden Iii, C. and Dockery D.W. (1999). 31 - Epidemiology of Particle Effects. *Air Pollution and Health*.
- Pope III C.A. and Dockery D.W., 2006. Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. *Journal of the Air & Waste Management Association* 56, 709 – 742.
- Pope III C.A. (2000). Epidemiology of fine particulate air pollution and human health: biological mechanisms and who's at risk? *Environ. Health Persp.*, 108, 713–723.
- Pope III C.A., Burnett R.T., Thurston G.D., Thun M.J., Calle E.E., Krewski D., Godleski J.J., (2004). Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution, Epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease. *Circulation*, 109, 71-77.
- Proias G.T., Nastos P.T., Larissi I.K and Paliatsos A.G., (2009). PM₁₀ concentrations related to Meteorology in Volos, Greece. 7th International Conference of the Balkan Physical Union, Alexandroupolis, Greece, September 2009.
- Rich D.Q., Kipen H.M., Huang W., Wang G., Wang Y., Zhu P., Ohman-Strickland P., Hu Min, Philipp Cl., Diehl S.R., Lu Shou-En., Tong J., Gong J., Duncan Thomas, Zhu T., Zhang J.J. (2012), Association between changes in air pollution levels during the Beijing Olympics and biomarkers of inflammation and thrombosis in healthy young adults 16, 307(19):2068-78. doi: 10.1001/jama.2012.3488.
- Romieu, I., Ramírez-Aguilar M., Moreno-Macias H., Barraza-Villarreal A., Miller P., Hernández-Cadena L., Carbajal-Arroyo L.A., Hernandez-Avila M., (2004). Infant Mortality and Air Pollution: Modifying Effect by Social Class, *Journal of Occupational and Environmental Medicine* **46**(12): 1210-1216.
- Rosenblatt F., (1958). The Perceptron: A Probabilistic Model for Information Storage and Organization in the Brain. Cornell Aeronautical Laboratory. *Psychological Review*, V (65), No (6), pp. 386-408.
- Ruellan, S. and Cachier, H. (2001). Characterization of Fresh Particulate Vehicular Exhausts Near a Paris High Flow Road. *Atmospheric Environment*, 35, 453-468. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(00\)00110-2](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(00)00110-2)

Rumelhart D.E. and McClelland J.L., (1986). *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition*. MIT Press, 1986.

Rumelhart D.E., Hinton G.E., Williams R.J., (1986). Learning internal representations by error propagation. In *Parallel Distribution Processing: Vol 1: Foundations*, D.E. Rumelhart and J.L. McClelland editors, pp 318-364, MIT Press, 1986.

Rumelhart D.E., Hinton G.E., Williams R.J., (1988) Learning internal representations by error propagation. In *Neurocomputing*, edited by Anderson J. and Rosenfeld E. Cambridge, Massachusetts, MIT Press, pp 675-695, 1988.

Saldiva, P.H.N., Clarke R.W, Coull B.A., Stearns R.C., Lawrence J., Murthy K.G.G., Diaz E., Koutrakis P., Suh H., Tsuda A., Godleski J.J. (2002). Lung Inflammation Induced by Concentrated Ambient Air Particles Is Related to Particle Composition, *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 165(12): 1610-1617.

Salma I., Chi X., Maenhaut W., (2004). Elemental and organic carbon in urban canyon and background environments in Budapest, Hungary. *Atmos. Environ.*, 38: 27-36.

Samet, J.M., Dominici F., Curriero F.C., Coursa I.M.S. and Zeger S.L., (2000). Fine Particulate Air Pollution and Mortality in 20 U.S. Cities, 1987–1994. *New England Journal of Medicine* 343(24): 1742-1749.

Samoli E., Nastos P.T., Paliatsos A.G., Katsouyanni K., Priftis K.N. (2011). Acute effects of air pollution on paediatric asthma exacerbation: evidence of association and effect modification. *Environ. Res.*, 111, 418-424.

Sandström, T. and Brunekreef B. (2007). Traffic-related pollution and lung development in children. *The Lancet* **369** (9561): 535-537.

Saxena P., Kumar S., Ghosh C.. (2009). Pattern Change in the Concentration of Greenhouse Gas, Tropospheric Ozone at two Distinct Sites in Delhi during Post CNG Era. In *Proceedings of CETAS International Conference on Changing Environmental Trends and Sustainable Development*, Guru Jambheshwar University, Hisar, India. 67-71.

Schlink U., Dorling S., Pelikan E., Nunnari G., Cawley G., Junninen H., Greig A., Foxall R., Eben K., Chatterton T., Vondracek J., Richter M., Dostal M., Bertuccio L., Kolehmainen M., Doyle M., (2003). A rigorous inter-comparison of ground-level ozone predictions. *Atmos. Environ.*, 37, pp. 3237-3253.

Schrenk, H. (1949). Air pollution in Donora, Pa., epidemiology of the unusual smog episode of October 1948: preliminary report. *Public Health Bulletin*. 306. Public Health Service, Washington DC.

Schwartz, J. (2004). The effects of particulate air pollution on daily deaths: a multi-city case crossover analysis, *Occupational and Environmental Medicine* 61(12): 956-961.

Schwarze P.E., Øvrevik J., Låg M., Refsnes M., Nafstad P., Hetland R.B., Dybing E. (2006). Particulate matter properties and health effects: consistency of epidemiological and toxicological studies, *Human & Experimental Toxicology* **25**(10): 559-579.

Seaton A., MacNee W., Donaldson K., Godden D. (1995). Particulate air pollution and acute health effects. *Lancet*, 345, 176–178.

Schwartz J., Dockery D.W., Neas L.M. (1996). Is Daily Mortality Associated Specifically with Fine Particles? *J. Air Waste Manage*, 46, 927–939.

- Shakour A.A., El-Shahat M.F., El-Taieb N.M., Hassanein M.A., Mohamed A.M.F. (2011). Health Impacts of Particulate Matter in Greater Cairo, Egypt. *J. Am. Sci.*, 7, 840-848.
- Seinfeld J.H., Pandis S.N. (1998). *Atmospheric Chemistry and Physics. From air pollution to climate change.* John Wiley & Sons Inc., New York, USA.
- Stephen T.H., Jonathan M.S, Hillel S.K., Maynard R.L., Holgate S.T. and Robert L.M. (1999). London, Academic Press: 673-705.
- Sunyer J., Schwartz J., Tobias A., Macfarlane D., Garcia J., Antó J.M. (2000). Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease Are at Increased Risk of Death Associated with Urban Particle Air Pollution: A Case-Crossover Analysis. *American Journal of Epidemiology*, Volume 151, Issue 1, Pages 50 –56, <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a010121>
- Tan, W., Qiu D., Liam B.L., Ng T.P., Lee S.H., Van Eeden S.F., D' Yachkovy, H.J.C. (2000). The Human Bone Marrow Response to Acute Air Pollution Caused by Forest Fires. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 161(4): 1213-1217.
- Terashima T., Wiggs B., English D., Hogg J.C, (1997). Phagocytosis of small carbon particles (PM10) by alveolar macrophages stimulates the release of polymorphonuclear leukocytes from bone marrow. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 155(4): 1441-1447.
- Terzi E., Argyropoulos G., Bougatioti A., Mihalopoulos N., (2010). Chemical composition and mass closure of ambient PM10 at urban sites, *Atmospheric Environment* 44(18):2231-2239, DOI:10.1016/j.atmosenv.2010.02.019.
- Tonne C., Yanosky J., Gryparis A., Melly S., Mittleman M., Goldberg R., (2009). Traffic particles and occurrence of acute myocardial infarction: a case–control analysis. *Occup Environ Med* 66:797–804.
- Proias G.T., Nastos P.T, Larissi I.K. and Paliatsos A.G, (2009). PM10 concentrations related to Meteorology in Volos, Greece. 7th International Conference of the Balkan Physical Union, Alexandroupolis, Greece, September 2009.
- Tunstall D.B. (1979). Developing indicators of environmental quality: the experience of the Council of Environmental Quality. *Social Indicators Research*, 6, 301–347
- U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency) <http://www.epa.gov/oar/oaqps/gooduphigh/>
- Valavanidis A., Vlahogianni T., Dassenakis M., Scoullou M., (2006). Molecular biomarkers of oxidative stress in aquatic organisms in relation to toxic environmental pollutants. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 64(2): 178-189.
- Viana M., Querol X., Alastuey A., Menéndez J.I.G.M., (2006). Identification of PM sources by principal component analysis (PCA) coupled with wind direction data, *Chemosphere*, Volume 65, Issue 11, December 2006, Pages 2411-2418
- Von Klot, S., Cyrus J., Hoek G., Kühnel B., Pitz M., Kuhn U., Kuch B., Meisinger Ch., Hörmann A., Wichmann H.E., Peters A. (2011). Estimated Personal Soot Exposure Is Associated With Acute Myocardial Infarction Onset in a Case-Crossover Study. *Progress in Cardiovascular Diseases* 53(5): 361-368.
- Xing Yu-Fei Xu Yue-Hua, Shi Min-Hua, and Yi-Xin Lian (2016). The impact of PM2.5 on the human respiratory system, *J Thorac Dis.* 8(1): E69–E74. doi: 10.3978/j.issn.2072-1439.2016.01.19 PMID: 26904255

Washington, H.G. (1984). Diversity, biotic and similarity indices: a review with special relevance to aquatic ecosystems. *Water Research*, 18, 6, 653–694.

Walker S.E., Slordal H.L., Guerreiro C., Gram F. and Grønskei E.K., (1999). Air pollution exposure monitoring and estimation Part II. Model evaluation and population exposure. *J. Environ. Monit.*, 1, pp. 321-326.

Wang G., Kawamura K., Lee S., Ho K., Cao J. (2006). Molecular, seasonal, and spatial distributions of organic aerosols from fourteen Chinese cities, *Environ. Sci. Technol.*, 40 (2006), pp. 4619-4625.

Werbos P., (1974). *Beyond Regression: New Tools for Prediction and Analysis on the Behavior Sciences*. Ph.D. Thesis, Harvard University.

Willmott C.J., Ackleson S.G., Davis R.E., Feddema J.J., Klink K.M., Legates D.R., O'Donnell J. and Rowe C., (1985). Statistics for the evaluation and comparison of models. *Journal of Geophysical Research*, 90, pp. 8995-9005.

Wilmot C.J., (1982). Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin American Meteorology Society*, Vol. 63, No 11, pp. 1309-1313.

Wismar, M., Blau, J., Ernst K. and Figueras G. (2007). *The Effectiveness of Health Impact Assessment: Scope and limitations of supporting decision-making in Europe*. Copenhagen World Health Organization (on behalf of the European Observatory on Health Systems and Policies)

World Health Organization (W.H.O), (2001). *European Centre of Environment and Health. Quantification of the Health effects of exposure to air pollution*.

World Health Organization (W.H.O), (2002). *World Health Report*. Geneva, 2002.

World Health Organization (W.H.O). Department of the Protection of the Environment. <http://www.who.int/peh> , www.epa.nsw.gov.au/resources/airpollution05623.pdf.

Yang CY, Chen YS, Yang CH, Ho SC (2004) Relationship between air pollution and hospitalization for cardiovascular diseases in Kaohsiung, Taiwan. *J. Toxicol. Environ. Health, Part A*, 67, 483e493.

Yarahmadi M., Hadei M., Hashemi-Nazari S.S., Beheshti Sh., Gea O.C., (2018). Mortality assessment attributed to long-term exposure to fine particles in ambient air of the megacity of Tehran, Iran, *Environmental Science and Pollution Research* 25(14), DOI:10.1007/s11356-018-1680-4. Project: Health impact assessment of air pollution in Iran (2013-present)

Yorifuji T., Kashima S., Tsuda T., Takao S., Suzuki E., Doi H., (2010). Long-term exposure to traffic-related air pollution and mortality in Shizuoka, Japan. *Occup Environ Med.* 67:111–117.

Zanobetti, A., Baccarelli A. and Schwartz J. (2011). Gene–Air Pollution Interaction and Cardiovascular Disease: A Review. *Progress in Cardiovascular Diseases* 53(5): 344-352.

Zhicheng D., Ziqiang L. and Yuantao H. (2018). con2aqi: Calculate the AQI from Pollutant Concentration. R package version 0.1.0. <https://CRAN.R-project.org/package=con2aqi>

Ziomas I.C., Zerefos C.S., Bais A.F., Proyou A.G., Amanatidis G.T. and. Kelessis A. G., 1989. Significant increasing trends in surface ozone in Greece. *Environ. Technol.* 10, 1071-1082.

Zurada J.M., (1992). *Introduction to Artificial Neural Systems*. St. Paul, MN: West, 1992.