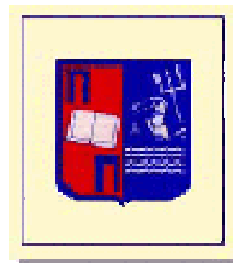




Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Τμήμα Χημικών Μηχανικών

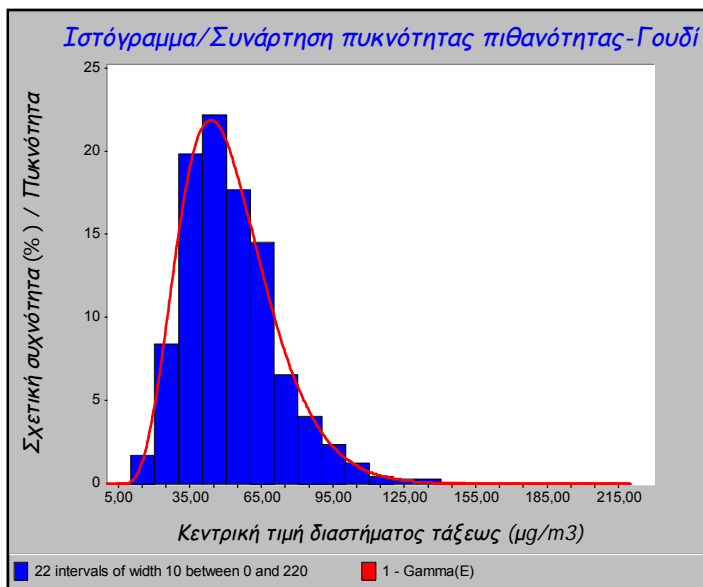


Πανεπιστήμιο Πειραιά
Τμήμα Βιομηχανικής Διοίκησης
& Τεχνολογίας

Δ.Π.Μ.Σ. Οργάνωση & Διοίκηση Βιομηχανικών Συστημάτων
Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας & Προστασίας Περιβάλλοντος

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

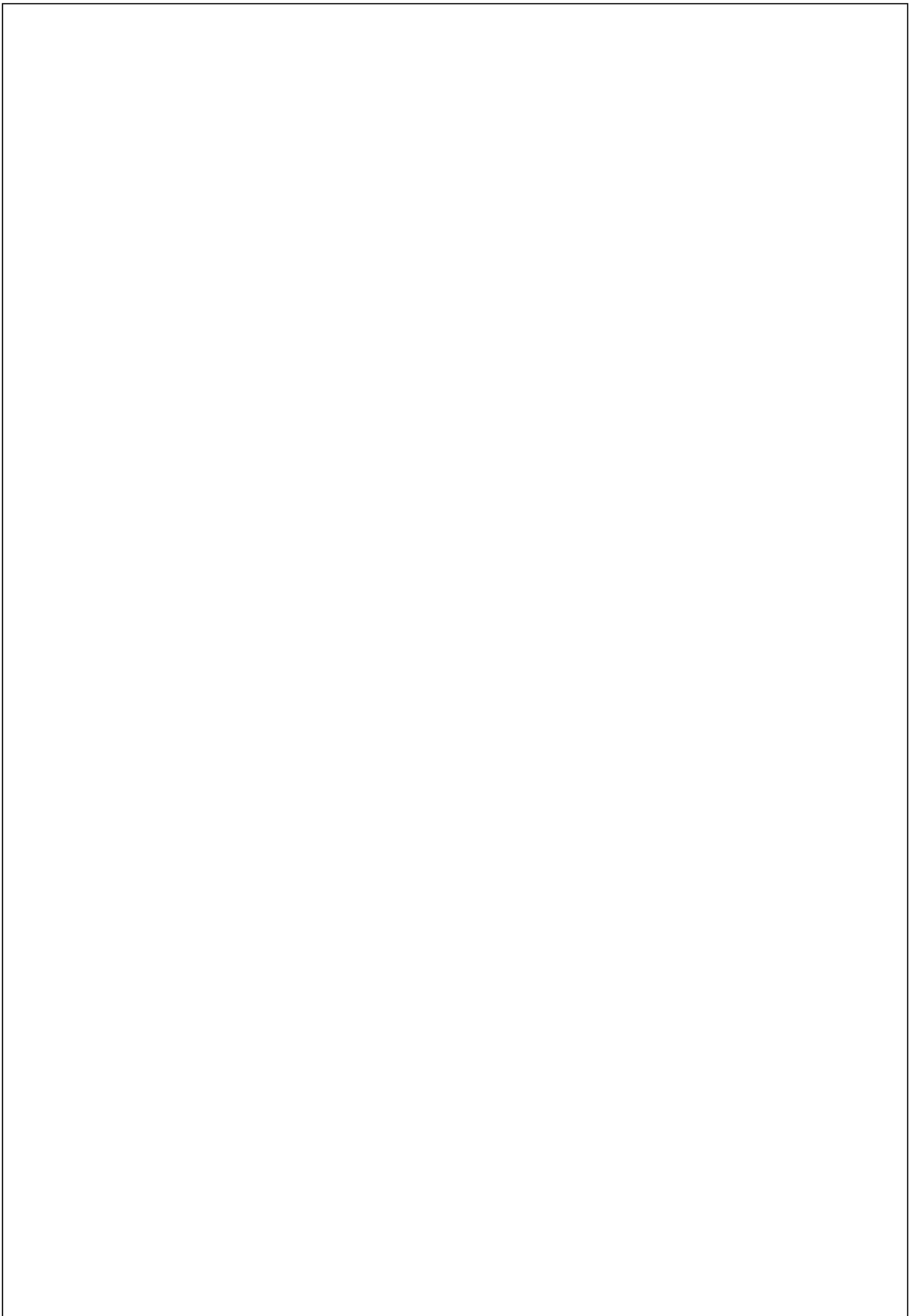
ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΩΝ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM10 ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ



ΓΑΒΡΙΗΛ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΗ ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ: ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ Α. ΧΑΛΟΥΛΑΚΟΥ

ΑΘΗΝΑ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2004



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία με τίτλο «Μελέτη της στατιστικής κατανομής των χρονοσειρών συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10 στην περιοχή της Αθήνας» εκπονήθηκε από τον υπογράφοιτα κατά το διάστημα Φεβρουάριου 2004-Νοέμβριου 2004 στα πλαίσια του διατμηματικού μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών «Συστήματα διαχείρισης της ενέργειας και προστασίας του περιβάλλοντος».

Η διπλωματική εργασία εκπονήθηκε υπό την επίβλεψη και πολύτιμη αρωγή της κα. Αρχοντούλας Χαλουλάκου, επίκουρου καθηγήτριας του Ε.Μ.Π., την οποία ευχαριστώ για την ανάθεση της παρούσας διπλωματικής, την αδιάλειπτη βοήθεια της και τη συνεχή καθοδήγησή της σε όλη τη χρονική διάρκεια της εκπόνησης της. Οι πολύτιμες συμβουλές και υποδείξεις, καθώς και το αμείωτο ενδιαφέρον της ήταν αποφασιστικοί παράγοντες για την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω επίσης τους διπλωματούχους Χημικούς Μηχανικούς κ. Γεώργιο Γρίβα και κ. Αραμπατζή Γεώργιο, των οποίων η βοήθεια και οι υποδείξεις ήταν καθοριστικές για την εκπόνηση της διπλωματικής.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι ιδιαίτερα έντονο στο λεκανοπέδιο της Αθήνας. Η οικονομική ανάπτυξη των τελευταίων δεκαετιών η συσσώρευση των δραστηριοτήτων του 50% του πληθυσμού της χώρας, η κυκλοφοριακή συμφόρηση και η αυξανόμενη βιομηχανική λειτουργία οδήγησαν στη σημερινή κατάσταση. Επίσης η γεωμορφολογία του λεκανοπεδίου και τα ιδιαίτερα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά του παίζουν σημαντικό ρόλο στη συσσώρευση των εκπεμπόμενων ρύπων. Παρόλα τα μέτρα που λαμβάνονται και των πριμοδοτούμενων προτάσεων για αποκέντρωση όλοι οι κάτοικοι του λεκανοπεδίου ζουν καθημερινά τις επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ποιότητα ζωής.

Τα αιωρούμενα σωματίδια που συγκαταλέγονται στους σημαντικότερους ατμοσφαιρικούς ρύπους έχουν κάνει έντονα αισθητή την παρουσία τους στην περιοχή της Αθήνας την τελευταία δεκαετία. Τα μηνύματα που λαμβάνονται από ιατρικά και περιβαλλοντικά συνέδρια καθώς και από την προσωπική καθημερινή εμπειρία των κατοίκων της πρωτεύουσας είναι δυσμενή. Με απώτερο στόχο τον έλεγχο των επιπέδων σωματιδιακής ρύπανσης, η Ε.Ε. εξέδωσε οδηγία η οποία προβλέπει οριακή μέση ετήσια συγκέντρωση σωματιδίων PM₁₀ (40mg/m³) και μέγιστο αριθμό υπερβάσεων (35) μιας 24-ωρης οριακής τιμής (50mg/m³) μέσα σε ένα ημερολογιακό έτος. Αμφότερα τα πρότυπα ποιότητας της ατμόσφαιρας έχουν επίσημη έναρξη ισχύος την 1/1/2005.

Η πολιτεία προσπαθεί να λάβει τα απαραίτητα μέτρα για την αποφυγή επεισοδίων ρύπανσης με σκοπό τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των κατοίκων της αλλά και την αποφυγή πιθανών οικονομικών και διοικητικών κυρώσεων. Ακριβώς για αυτούς τους λόγους η πρόγνωση των επεισοδίων και των μέγιστων συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στην πρόληψη και εφαρμογή μέτρων προστασίας από τους αρμόδιους και τις υπηρεσίες περιβάλλοντος.

Στόχος της παρούσης εργασίας είναι η πλήρης και αναλυτική στατιστική επεξεργασία των ωριαίων συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ που καταγράφηκαν σε οκτώ σταθμούς μέτρησης του Λεκανοπεδίου της Αττικής κατά τη

διάρκεια των ετών 2001 και 2002. Η στατιστική αυτή ανάλυση καταλήγει στην προσαρμογή διάφορων θεωρητικών κατανομών στα δεδομένα με σκοπό να εκτιμηθούν οι αναμενόμενες υπερβάσεις και οι αναμενόμενες μέγιστες συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων. Η όλη μεθοδολογία που εφαρμόζεται μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης ως εργαλείο διαχείρισης της αέριας ποιότητας για το σχεδιασμό σεναρίων μείωσης των εκπομπών των αιωρούμενων σωματιδίων, με σκοπό τη συμμόρφωση με τα διάφορα θεσμοθετημένα πρότυπα.

Τα βασικότερα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη στατιστική επεξεργασία των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 συνοψίζονται στα εξής:

- ✦ Υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων PM10 καταγράφηκαν σε όλους τους σταθμούς μέτρησης
- ✦ Για το 2001 η μέση ετήσια συγκέντρωση των PM10 είναι κατά πολύ υψηλότερη από την επιτρεπόμενη τιμή από την Ε.Ε. ($40\mu\text{g}/\text{m}^3$) σε όλους τους σταθμούς μέτρησης. Οι μεγαλύτερες τιμές των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων παρουσιάζονται στη Λυκόβρυση ($60\mu\text{g}/\text{m}^3$) και Πειραιά ($59,9\mu\text{g}/\text{m}^3$).
- ✦ Για το 2002 η μέση ετήσια συγκέντρωση των PM10 είναι κατά πολύ υψηλότερη από την επιτρεπόμενη τιμή από την Ε.Ε. στους έξι από τους οχτώ σταθμούς μέτρησης. Οι μόνοι σταθμοί στους οποίους δεν υπερβαίνεται η οριακή τιμή είναι αυτοί του Πανεπιστημίου και των Θρακομακεδόνων. Οι μεγαλύτερες τιμές των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων παρουσιάζονται στο Μαρούσι ($69,4\mu\text{g}/\text{m}^3$) και Πειραιά ($63,2\mu\text{g}/\text{m}^3$).
- ✦ Κατά τη διάρκεια του έτους 2001 το όριο του μέσου ημερήσιου προτύπου της Ε.Ε των $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ υπερβαίνεται και στους οχτώ σταθμούς περισσότερες φορές από τον μέγιστο επιτρεπόμενο αριθμό των 35 ημερών. Οι υπερβάσεις αυτές κυμαίνονται από τις 36 στους Θρακομακεδόνες έως τις 198 στο Μαρούσι και τις 223 στη Λυκόβρυση.
- ✦ Κατά τη διάρκεια του έτους 2002 το όριο του μέσου ημερήσιου προτύπου της Ε.Ε. των $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ υπερβαίνεται στους 6 από τους οχτώ σταθμούς περισσότερες

από τον μέγιστο επιτρεπόμενο των 35 ημερών. Οι μόνοι σταθμοί στους οποίους η οριακή τιμή υπερβαίνεται λιγότερες από 35 ημέρες είναι αυτοί του Πανεπιστημίου και των Θρακομακεδόνων. Οι περισσότερες υπερβάσεις σημειώνονται στον Πειραιά (205) και στη Λυκόβρυση (193)

- ✦ Το μεγαλύτερο πρόβλημα από τη σωματιδιακή ρύπανση το αντιμετωπίζουν οι αστικές περιοχές στις οποίες επικρατούν οι τοπικές πηγές ρύπανσης (εκπομπές από οχήματα, κεντρική θέρμανση), όπως διαφαίνεται και από τον ημερήσιο κύκλο ρύπανσης. Αντίθετα, στις περιαστικές περιοχές επικρατούν τα δευτερογενή αιωρούμενα σωματίδια.
- ✦ Οι χρονοσειρές των μέσων ημερήσιων συγκεντρώσεων εμφανίζουν θετική ασυμμετρία σε όλους τους σταθμούς μέτρησης και για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται θεωρητικές κατανομές με θετική ασυμμετρία για την προσαρμογή αυτών στα δεδομένα των μέσων ημερήσιων συγκεντρώσεων. Από τις κατανομές αυτές οι πλέον κατάλληλες για την περιγραφή των συγκεντρώσεων αποδεικνύεται ότι είναι η λογαριθμοκανονική κατανομή και η κατανομή γάμμα.
- ✦ Με την προσαρμογή των θεωρητικών κατανομών εκτιμήθηκαν οι μέγιστες αναμενόμενες συγκεντρώσεις για το έτος 2003 καθώς και οι συγκεντρώσεις που αναμένονται να ξεπεραστούν μέχρι και 35 φορές κατά τη διάρκεια του έτους αυτού. Οι μεγαλύτερες τιμές και για τις δύο αυτές συγκεντρώσεις αναμένονται στο Μαρούσι, τη Λυκόβρυση και τον Πειραιά.
- ✦ Σε όλους τους σταθμούς με εξαίρεση τους σταθμούς του Πανεπιστημίου και των Θρακομακεδόνων αναμένονται περισσότερες από τις 35 επιτρεπόμενες υπερβάσεις του ημερήσιου προτύπου των $50\mu\text{g}/\text{m}^3$. Οι περισσότερες υπερβάσεις αναμένονται στον Πειραιά (251), στη Λυκόβρυση (228) και στο Μαρούσι (206).
- ✦ Η απαιτούμενη μείωση των εκπομπών των αιωρούμενων σωματιδίων ανέρχεται στο 50% σε σχέση με τα επίπεδα των εκπομπών στο τέλος του 2002

προκειμένου να υπάρξει συμμόρφωση με το ημερήσιο πρότυπο της Ε.Ε. σε όλους τους σταθμούς μέτρησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

1.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΙ

ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗ ΥΛΗ

Σωματιδιακή ύλη (particulate matter-PM) είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για την περιγραφή των διεσπαρμένων στον αέρα, στερεών και υγρών σωματιδίων, με μέγεθος μεγαλύτερο από αυτό των απλών μορίων (περίπου $2 \times 10^{-4} \mu\text{m}$ σε διάμετρο), αλλά μικρότερο από $500 \mu\text{m}$. Αναφέρονται επίσης και ως αιωρούμενα σωματίδια (suspended particles) ή απλά ως σωματίδια. [1,2]

ΑΕΡΟΛΥΜΑ

Αερολύματα (aerosols) ονομάζονται τα κολλοειδή συστήματα όπου κάποια αέρια, υγρή ή στερεά ουσία, κολλοειδών διαστάσεων βρίσκεται διασκορπισμένη μέσα σε αέριο μέσο διασποράς. Η περίπτωση διασποράς αερίου σε αέριο στην πραγματικότητα είναι δυνατή μόνο σε μεγάλη κλίμακα, δηλαδή στην ατμόσφαιρα. Η ατμόσφαιρα θεωρείται ένα αερόλυμα, όπου εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασιών και συγκεντρώσεων, μπορεί να λεχθεί ότι τμήματα αέρα μεγαλύτερης πυκνότητας είναι διασκορπισμένα μέσα στον αέρα σε κολλοειδείς διαστάσεις (στο γεγονός αυτό οφείλεται και το γαλάζιο χρώμα του ουρανού).

Συνεπώς, ως ατμοσφαιρικά αερολύματα μπορούν να χαρακτηριστούν τα ατμοσφαιρικά σωματίδια κολλοειδών διαστάσεων. Τα ατμοσφαιρικά αερολύματα αποτελούνται από στερεά ή υγρά σωματίδια μεγέθους μικρότερου από $100 \mu\text{m}$. [3]

ΣΤΕΡΕΑ ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΑ

Σχηματίζονται από τη διασπορά στερεών σωματιδίων σε αέριο μέσο. Ανάλογα με το μέγεθος των σωματιδίων διαχωρίζονται σε αιθάλη και σκόνη.

1. Αιθάλη (fume): Μικρά, στερεά σωματίδια, τα οποία σχηματίζονται από την συμπύκνωση ατμών στερεών υλικών συχνά οξειδίων των μετάλλων όπως είναι τα

οξειδία του ψευδαργύρου και του μολύβδου και από στοιχειακό άνθρακα (soot, carbon black). Τυπικό μέγεθος 0,03 έως 1 μm.

2. Σκόνη (dust): Μικρά στερεά σωματίδια που προκύπτουν από τη θραύση μεγαλύτερων μαζών, κατά την διάρκεια διαδικασιών όπως σύνθλιψη, τριβή, έκρηξη. Τυπικό μέγεθος 1 έως 10.000 μm. Η χρήση του όρου σκόνη, υποδηλώνει σωματίδια φυσικής και συνήθως γεωλογικής προέλευσης.

Τα σωματίδια που προκύπτουν από διαδικασίες καύσης χωρίζονται σε καπνό και ιπτάμενη τέφρα.

1. Καπνός (smoke): Μικρά στερεά σωματίδια που προκύπτουν από την ατελή καύση υλών, όπως το κάρβουνο, ο καπνός ή το ξύλο. Τυπικό μέγεθος 0,5 έως 1 μm.

2. Ιπτάμενη τέφρα (fly ash): Μικρά, ορυκτά σωματίδια που διαφεύγουν από τις καπνοδόχους, κατά τη καύση ορυκτών καυσίμων. Η σύσταση της ιπτάμενης τέφρας εξαρτάται από το είδος του καυσίμου. Τα κύρια συστατικά της είναι οξείδια του αργιλίου, του ασβεστίου, του σιδήρου και του πυριτίου, αλλά και ιχνοστοιχεία όπως Mg, S, Ti, Na, K. Τυπικό μέγεθος των σωματιδίων της ιπτάμενης τέφρας 1 έως 100 μm. [3,4,5]

ΥΓΡΑ ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΑ

Σχηματίζονται από τη διασπορά υγρών σωματιδίων σε αέριο μέσο. Ανάλογα με το μέγεθος των σωματιδίων διαχωρίζονται σε ομίχλη και σπρέι.

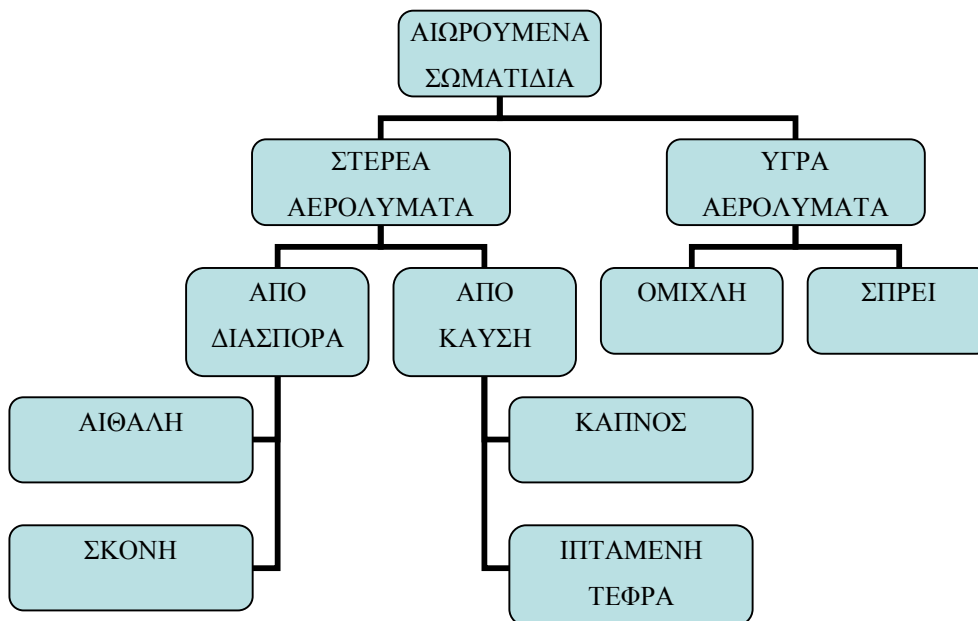
1. Ομίχλη (Mist): Υγρά σωματίδια ή σταγονίδια που δημιουργούνται από τη συμπύκνωση ατμών. Τυπικό μέγεθος 0,1 έως 10 μm.

2. Spray: Υγρά σωματίδια που μορφοποιούνται από το ράντισμα υγρών, όπως τα φυτοφάρμακα ή τα παρασιτοκτόνα. Τυπικό μέγεθος 10 έως 1000 μm. [6,7]

Στην ατμόσφαιρα και τα ατμοσφαιρικά υγρά αερολύματα, η μάζα των συμπυκνωμένων υδρατμών πάνω από το έδαφος, υπό τη μορφή ορατής συγκέντρωσης υγροσταγονιδίων, παγοκρυστάλλων ή και των δύο, ονομάζεται νέφος (cloud) ή απλά σύννεφο. Ο μετεωρολογικός όρος ομίχλη που στην αγγλική γλώσσα αποδίδεται με την αγγλική ονομασία fog, υποδηλώνει την ύπαρξη νέφους σε μικρή απόσταση από την επιφάνεια του εδάφους και με πυκνότητα τέτοια, ώστε η ορατότητα σε οριζόντια διεύθυνση να είναι μικρότερη από 1000 μέτρα.

Κάτω από παρόμοιες συνθήκες αλλά με ορατότητα μεγαλύτερη των 1000 μέτρων, το αερόλυμα ονομάζεται αχλός (haze). Το τυπικό μέγεθος των σωματιδίων των νεφών κυμαίνεται από 2 έως 80 μm . [8]

Τα υγρά σωματίδια που εμφανίζονται στην ατμόσφαιρα σε μέγεθος μεγαλύτερο από 100 μm , έχουν ελάχιστο χρόνο αιώρησης και η ονομασία τους ταυτίζεται με τα ορατά φαινόμενα της βροχής (άνω των 500 μm) ή για μικρότερο μέγεθος, της ψιχάλας (drizzle).



Σχήμα 1.1: Είδη αιωρούμενων σωματιδίων

1.2 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

1.2.1 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΟΝ ΤΡΟΠΟ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ

Ανάλογα με την προέλευση τους, είτε από πρωτογενείς πηγές, είτε από δευτερογενείς διαδικασίες, τα σωματίδια διαχωρίζονται σε πρωτογενή και δευτερογενή.

1. Πρωτογενή σωματίδια

Πρωτογενή σωματίδια είναι αυτά τα οποία εκπέμπονται κατ' ευθείαν από πηγές. Οι ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις τους είναι στην γενική περίπτωση ανάλογες προς τις εκπεμπόμενες ποσότητες.

Μια κατηγορία πρωτογενών σωματιδίων είναι τα προερχόμενα από την θραύση μεγαλύτερων μαζών και την επαναιώρηση των θραυσμάτων από τον αέρα. Η κύρια μάζα αυτών των πρωτογενών σωματιδίων αποτελείται από σωματίδια μεγέθους μεγαλύτερου από 1μm, όμως η κατ' αριθμό κατανομή τους παρουσιάζει μέγιστο στην περιοχή 0,1-1μm.

Αυτή η κατηγορία σωματιδίων υπόκειται σε ελάχιστες διαδικασίες μετασχηματισμού μετά την εκπομπή τους. Λόγω του μεγάλου τους σχετικά μεγέθους δεν συσσωματώνονται μεταξύ τους εύκολα, αλλά αναμιγνύονται με άλλα ατμοσφαιρικά συστατικά, μέσω διαδικασιών μεταφοράς μάζας στην αέρια φάση.

Μια ιδιαίτερα σημαντική κατηγορία πρωτογενών σωματιδίων είναι τα σωματίδια στοιχειακού άνθρακα που σχηματίζονται από διαδικασίες καύσης. Αρχικά έχουν μέγεθος 5-20 nm αλλά συσσωματώνονται γρήγορα προς σχηματισμό μεγαλύτερων μαζών. Κατόπιν μεταπίπτουν σε πιο σύνθετες μορφές, μεγέθους πολλών δεκάδων nm, με την επίδραση τριχοειδών δυνάμεων από ατμούς που συμπυκνώνονται επί αυτών.

[9]

2. Δευτερογενή σωματίδια

Δευτερογενή σωματίδια ονομάζονται αυτά τα οποία σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα, από μετατροπή αερίων, άμεσα εκπεμπόμενων από πηγές. Κύριες πρόδρομες ενώσεις για τα δευτερογενή σωματίδια είναι το διοξείδιο του θείου, η αμμωνία και τα οξείδια του αζώτου.

Προϋπόθεση για την μετάπτωση μια αέριας ένωσης σε υγρή ή στερεά μορφή είναι η συγκέντρωση της στην αέρια φάση να υπερβαίνει την τάση ατμών της. Αυτή η προϋπόθεση στην ατμόσφαιρα ικανοποιείται, κατά τις παρακάτω διαδικασίες.

- Χημικές αντιδράσεις που οδηγούν στην αύξηση της συγκέντρωσης αέριων ενώσεων με χαμηλές τάσεις ατμών. Για παράδειγμα: $\text{NO}_2 + \text{OH}^\bullet \rightarrow \text{HNO}_3$
- Ελάττωση της θερμοκρασίας η οποία οδηγεί σε ελάττωση της τάσης ατμών.
- Σχηματισμός πολυδισπαρμένου αερολύματος, οπότε η τάση ατμών των απλών ενώσεων πάνω από το αερόλυμα, μειώνεται από την παρουσία άλλων ενώσεων στο αερόλυμα (Νόμος Raoult).

Ακόμα αρκετές πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC's) μπορούν να μετασχηματιστούν σε σωματίδια. Η πλειοψηφία αυτών των μετατροπών είναι αποτέλεσμα έντονων φωτοχημικών αντιδράσεων.

Οι ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις των δευτερογενών σωματιδίων δεν είναι κατ' ανάγκη ανάλογες προς τις εκπεμπόμενες ποσότητες των πρόδρομων ενώσεων, καθώς η ελάττωση του ρυθμού σχηματισμού μπορεί να καθορίζεται και από παράγοντες διαφορετικούς από την συγκέντρωση των αντιδρώντων ουσιών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το δευτερογενές νιτρικό αμμώνιο, μια ασταθής ένωση, η ισορροπία της οποίας με την αμμωνία και το νιτρικό οξύ επηρεάζεται από την θερμοκρασία και την σχετική υγρασία.

Παρότι η σκόνη που επαναιωρείται από το έδαφος ανήκει στα πρωτογενή σωματίδια, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στο σχηματισμό δευτερογενών σωματιδίων. Για παράδειγμα το νιτρικό αμμώνιο που περιέχεται στα λιπάσματα, είναι δυνατό να

εξαμισθεί σε αμμωνία και νιτρικό οξύ, οπότε συμβάλλει στο σχηματισμό δευτερογενών σωματιδίων.

Τα δευτερογενή σωματίδια συνήθως σχηματίζονται μέσα σε λίγες ώρες και το μέγεθος τους κυμαίνεται μεταξύ 0,1 και 1μm. [9,10]

1.2.2 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ

ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΟΥ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ

Τα σωματίδια έχουν διάφορα σχήματα και συνεπώς είναι αδύνατη η έκφραση κοινής παραμέτρου μεγέθους, αφού πολλές ιδιότητες των σωματιδίων εξαρτώνται από το μέγεθός τους (όγκος, μάζα, ταχύτητα εναπόθεσης). Στις κατανομές κατά μέγεθος ως κριτήριο κατάταξης χρησιμοποιείται το μέγεθος της “ισοδύναμης διαμέτρου” του σωματιδίου. Καθώς το μέγεθος αυτό είναι μία έννοια συμβατική, υπάρχουν διαφορετικοί ορισμοί. Η ισοδύναμη διάμετρος ενός σωματιδίου μπορεί να προσδιορισθεί γεωμετρικά (με οπτική ή ηλεκτρονική μικροσκοπία), από την σκέδαση που προκαλεί στο φως και από τα φυσικά χαρακτηριστικά του όπως είναι η ηλεκτρική ευκινησία, η ταχύτητα εναπόθεσης και η αεροδυναμική του συμπεριφορά.

Από τα παραπάνω, συνηθέστερο είναι να χρησιμοποιείται η φυσική συμπεριφορά του σωματιδίου ως κριτήριο καθορισμού της ισοδύναμης διαμέτρου. Συγκεκριμένα, συνήθως χρησιμοποιείται η διάμετρος Stokes (D_p) ή η αεροδυναμική διάμετρος (D_a). Ο ορισμός της πρώτης βασίζεται στο προσδιορισμό της αντίστασης που εμφανίζεται πάνω στο σωματίδιο όταν αυτό κινείται μέσα σ' ένα ρευστό, με διαφορετική ταχύτητα. Σωματίδια με ίδια διάμετρο Stokes και ίδια πυκνότητα έχουν την ίδια ταχύτητα εναπόθεσης.

Η αεροδυναμική διάμετρος εξαρτάται από τη πυκνότητα του σωματιδίου και ορίζεται ως “η διάμετρος σφαίρας μοναδιαίας πυκνότητας ($\rho_p = 1\text{g/cm}^3$), η οποία έχει την ίδια οριακή ταχύτητα πτώσης στον ακίνητο αέρα με το υπό εξέταση σωματίδιο”.

Η αεροδυναμική διάμετρος ενός σωματιδίου συσχετίζεται με την διάμετρο Stokes, προσεγγιστικά, με τον παρακάτω απλοποιημένο τύπο:

$$D_a = D_p \cdot (\rho_p)^{1/2} \quad (1.1)$$

Σωματίδια με το ίδιο πρακτικό μέγεθος και σχήμα αλλά με διαφορετικές πυκνότητες θα έχουν ίδιες διαμέτρους Stokes αλλά όχι τις ίδιες αεροδυναμικές διαμέτρους. Για σωματίδια μεγαλύτερα από 0,5μm χρησιμοποιείται η αεροδυναμική διάμετρος διότι από αυτή εξαρτάται η μεταφορά του σωματιδίου από αέρια ρεύματα, η συλλογή στους δειγματολήπτες και η εναπόθεση μέσα στο ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα. [1,2]

ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Η αιωρούμενη σωματιδιακή ύλη, συντίθεται από σωματίδια έντονα διαφοροποιημένα ως προς το μέγεθος. Τα μικρότερα σε μέγεθος σωματίδια έχουν μέγεθος κάτω από 5 nm σε διάμετρο και αποτελούνται μόνο από κάποιες δεκάδες μορίων. Αντιθέτως τα πιο μεγάλα σωματίδια έχουν μέγεθος έως και 100μm.

ΟΛΙΚΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΤΕΡΕΑ (TSP)

Είναι ο όρος που δόθηκε στο σύνολο των αιωρούμενων στερεών σωματιδίων και σταγονιδίων. Τα TSP ποικίλουν γενικά σε μέγεθος από 0,01μm έως και μερικές εκατοντάδες μm. Ωστόσο τα σωματίδια εκείνα με μέγεθος άνω των 50μm έχουν την τάση να καθιζάνουν πολύ εύκολα.

Τα ολικά αιωρούμενα σωματίδια διακρίνονται σε δύο τύπους σωματιδίων, τα οποία με τη σειρά τους ομαδοποιούνται σε επιμέρους κλάσματα. [10]

1. Λεπτόκοκκα

Λεπτόκοκκα (fine mode) καλούνται τα σωματίδια με μέγεθος αεροδυναμικής διαμέτρου μέχρι 2,5μm. Χωρίζονται με τη σειρά τους σε δύο κατηγορίες.

1^A. Υποκατηγορία πυρήνα

Τα σωματίδια υποκατηγορία πυρήνα (nucleation mode) έχουν μέγεθος 0,01 έως 0,1μm. Τα σωματίδια αυτά προέρχονται άμεσα από πηγές καύσης ή είναι

συμπυκνώματα προϊόντων καύσης έχουν μικρό χρόνο ζωής στην ατμόσφαιρα γιατί συσσωματώνονται μεταξύ τους και σχηματίζουν σωματίδια μεγαλύτερης διαμέτρου. Το μέγεθος των δευτερογενών σωματιδίων αυξάνεται επίσης καθώς λειτουργούν ως εστίες συμπύκνωσης άλλων αερίων συστατικών.

Καθώς τα σωματίδια φθάνουν σε μια διάμετρο της τάξης των 60nm η συμπύκνωση γίνεται ελεγχόμενη από τη διάχυση και επιβραδύνεται, ενώ η συσσωμάτωση η οποία είναι μια διεργασία δεύτερης τάξης τελικά σταματά, καθώς ο αριθμός των σωματιδίων μειώνεται. Εκτιμάται ότι η ανάπτυξη του μεγέθους των σωματιδίων σε 0,1nm, σε συνήθεις συνθήκες αστικής ρύπανσης, απαιτεί λιγότερο από μια μέρα. [9]

Η υποκατηγορία πυρήνα χωρίζεται στις επόμενες δύο ομάδες :

1^{A1}. Μεταβατικά σωματίδια πυρήνα

Τα μεταβατικά σωματίδια πυρήνα (aitken mode particles) αντιπροσωπεύουν εκείνη την ομάδα των σωματιδίων πυρήνα που παρουσιάζει τοπικό μέγιστο στην κατανομή κατά πλήθος πάνω από τα 15nm.

1^{A2}. Υπερλεπτόκοκκα σωματίδια πυρήνα

Τα υπερλεπτόκοκκα σωματίδια πυρήνα (ultra-fine nuclei) περιλαμβάνουν τα υπόλοιπα σωματίδια πυρήνα. Τα σωματίδια αυτά παρουσιάζουν τοπικό μέγιστο στην κατανομή κατά πλήθος κάτω από τα 15nm. Τα πλέον λεπτόκοκκα σωματίδια που έχουν κατασκευαστεί για ερευνητικούς σκοπούς έχουν μέγεθος περίπου 10nm. Η διαδικασία παραγωγής τους περιλαμβάνει την θέρμανση ενός μετάλλου ή ενός άλατος ως το σημείο εξάχνωσής του και εν συνεχεία την συμπύκνωση του ατμού, με γρήγορη ψύξη, ώστε να επιτευχθεί η δημιουργία πολλών μικρών, αντί λίγων μεγαλύτερων σωματιδίων. [11,12]

1^B. Υποκατηγορία συσσώρευσης

Τα σωματίδια υποκατηγορίας συσσώρευσης (accumulation range) έχουν μέγεθος 0,1 έως 2,5 μ m. Τα σωματίδια αυτά από συσσωματώσεις μικρότερων σωματιδίων (υποκατηγορίας πυρήνα) και από συμπυκνώσεις επιπρόσθετου υλικού στις συσσωματώσεις αυτές. Μια άλλη διαδικασία σχηματισμού των σωματιδίων υποκατηγορίας συσσώρευσης, είναι οι χημικές αντιδράσεις που γίνονται στα σύννεφα. Αυτές, συνήθως αφορούν την οξείδωση αερίων ουσιών, όπως το SO₂, η

οποία γίνεται στο υδατικό περιβάλλον των σταγόνων που σχηματίζονται γύρω από τα μικρότερα σωματίδια. Μετά την εξάτμιση της σταγόνας η μάζα του σωματιδίου είναι αυξημένη κατά το προϊόν της οξείδωσης. [9]

Με βάση τα παραπάνω, τα σωματίδια της κατηγορίας συσσώρευσης χωρίζονται σε δυο ομάδες.

1^{B1}. Συμπυκνώματα

Τα συμπυκνώματα (condensation mode) πρόκειται για τα μικρότερα σωματίδια της υποκατηγορίας. Σχηματίζονται από τη συσσωμάτωση μη υγροσκοπικών σωματιδίων πυρήνα και παρουσιάζουν μέγιστο στην κατανομή κατά μάζα περίπου στα 0,2μm.

1^{B2}. Σταγονίδια

Είναι δυνατόν να λάβουν χώρα αντιδράσεις υγρής φάσης μεταξύ σταγονιδίων μέσα σε νέφη ή ομίχλη ή παρουσία πολύ υψηλής σχετικής υγρασίας, επάνω στην επιφάνεια αιωρούμενων σωματιδίων. Η συσσωμάτωση που επέρχεται ως αποτέλεσμα δημιουργεί την ομάδα των σταγονιδίων (droplet mode), τα οποία παρουσιάζουν μέγιστο στην κατά μάζα κατανομή στα 0,7μm. [10]

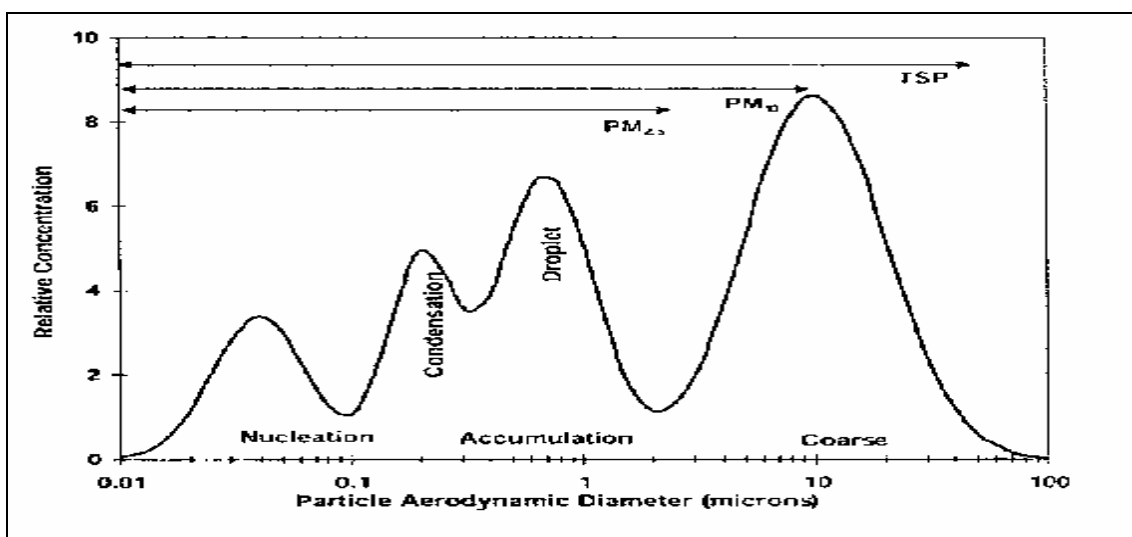
Η απομάκρυνση των σωματιδίων από την ατμόσφαιρα γίνεται με ξηρή και υγρή απόθεση. Τα σωματίδια υποκατηγορίας συσσώρευσης διαχέονται στην επιφάνεια της γης, μια διαδικασία που επιβραδύνεται καθώς το μέγεθος των σωματιδίων αυξάνει. Όσον αφορά την υγρή απόθεση, μόνο αν τα σωματίδια έχουν τις κατάλληλες υγροσκοπικές ιδιότητες μπορούν να απομακρυνθούν ως βροχή. [9]

Συνεπώς η απομάκρυνση τους από την ατμόσφαιρα είναι ιδιαίτερα δύσκολη, για αυτό και τα σωματίδια συσσωρεύονται σε αυτή την κατηγορία μεγέθους. Τα σωματίδια υποκατηγορίας συσσώρευσης έχουν χρόνο ζωής στην ατμόσφαιρα από 7 έως 30 ημέρες. [1]

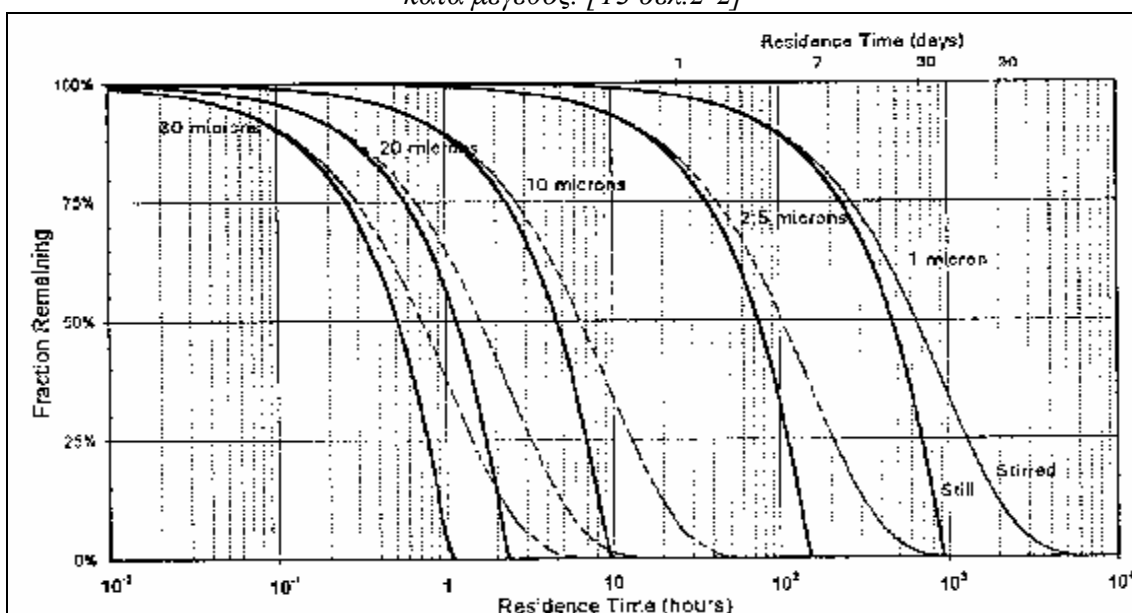
2. Χονδρόκοκκα

Χονδρόκοκκα (coarse mode) καλούνται τα αιωρούμενα σωματίδια που έχουν αεροδυναμική διάμετρο, μεγαλύτερη των 2,5μm. Παράγονται συνήθως με μηχανικούς τρόπους.

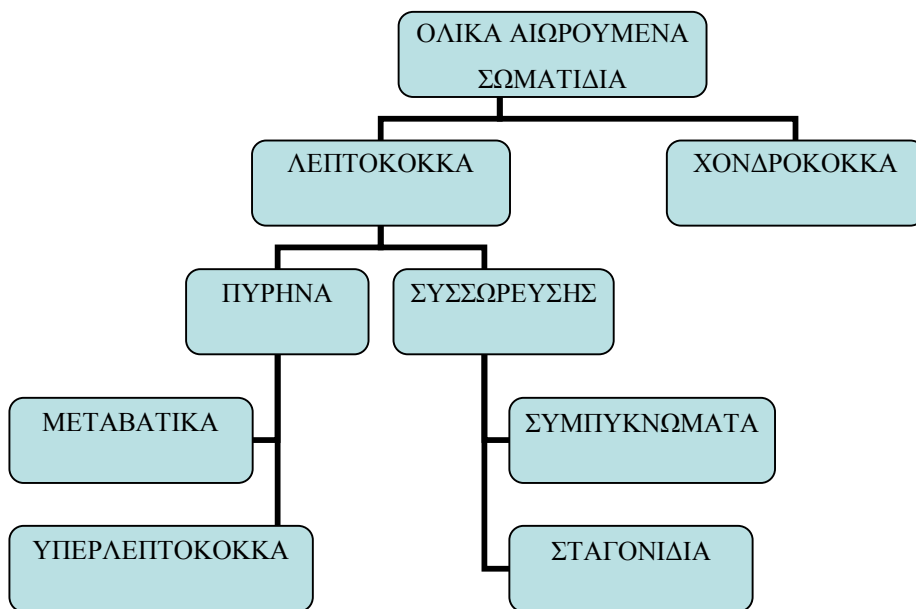
Στο περιβάλλον τα μεγαλύτερα σωματίδια, για παράδειγμα εκείνα με διάμετρο 10μm είναι δυνατόν να μείνουν σε αιώρηση 10 με 20 ώρες πριν την καθίζησή τους στο κάτω τμήμα της τροπόσφαιρας. Η μέση ταχύτητα του ανέμου είναι περίπου 7m/s, συνεπώς, τα σωματίδια αυτά μπορούν να ταξιδέψουν έως 20 με 30 χιλιόμετρα, ενώ τα μικρότερα σωματίδια (διαμέτρου 0,1 έως 1μm) μπορούν να απομακρυνθούν έως και αρκετές εκατοντάδες χιλιόμετρα από το σημείο εκπομπής τους. Ένα μικρό ποσοστό των αιωρούμενων σωματιδίων μπορεί να φτάσει έως το άνω τμήμα της τροπόσφαιρας (περίπου 8 με 15 χιλιόμετρα ύψος). Τα σωματίδια αυτά μπορούν να μείνουν αιωρούμενα για μεγάλους χρόνους (έως και 1 έτος).



Σχήμα 1.2: Ιδανική κατανομή αιωρούμενων σωματιδίων εξωτερικής ατμόσφαιρας, κατά μέγεθος. [13 σελ.2-2]



Σχήμα 1.3: Χρόνος αιώρησης σωματιδίων σε συνάρτηση με την διάμετρό τους. Τα στοιχεία αναφέρονται σε μέγιστο ύψος 100m και στις περιπτώσεις α. ακίνητου αέρα, β. αναδεδυόμενου αέρα [13 σελ 2-3]



Σχήμα 1.4: Είδη ολικών αιωρούμενων σωματιδίων με κριτήριο το μέγεθος

1.2.3 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΗΝ ΔΙΕΙΣΔΥΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ

Η συμπεριφορά των σωματιδίων μέσα στον ανθρώπινο οργανισμό είναι θέμα που έχει απασχολήσει έντονα την επιστημονική κοινότητα και που ακόμη μελετάται. Ωστόσο τα μέχρι σήμερα συμπεράσματα φαίνονται να εντοπίζονται στις εξής υποομάδες των ολικών αιωρούμενων σωματιδίων (TSP):

1. Εισπνεύσιμα σωματίδια

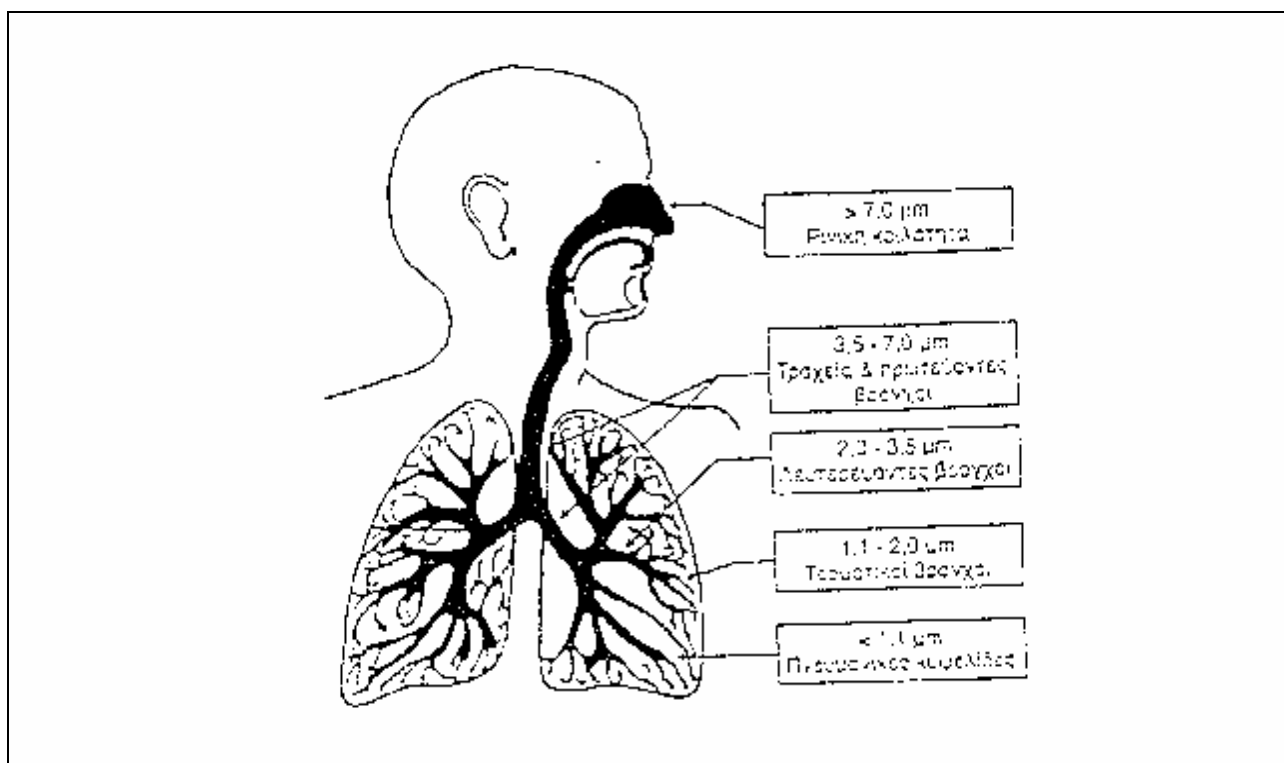
Εισπνεύσιμα σωματίδια (inhalable particles) είναι τα αιωρούμενα σωματίδια που εισέρχονται στο ανώτερο σύστημα της αναπνευστικής οδού (ρινοφάρυγγας). Αυτό το κλάσμα των ολικών σωματιδίων περιλαμβάνει σωματίδια με διαμέτρους μικρότερες από 10 μm , καθώς η μεγάλη πλειοψηφία των σωματιδίων με διαμέτρους μεγαλύτερες από 10 μm κατακρατούνται στην στοματική και τη ρινική κοιλότητα.

2. Θωρακικά σωματίδια

Τα θωρακικά σωματίδια (thoracic particles) αποτελούν το κλάσμα των PM10 που καταφέρνουν να διαπερνούν το ανώτερο τμήμα της αναπνευστικής οδού (ρινοφάρυγγας). Θεωρείται ότι έχουν μέγεθος μικρότερο των 7 μ m.

3. Αναπνεύσιμα σωματίδια

Τα αναπνεύσιμα σωματίδια (respirable particles) αποτελούν το κλάσμα με μέγεθος αεροδυναμικής διαμέτρου έως περίπου 2,5 μ m είναι το πιο σημαντικό από άποψη επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία. Τα σωματίδια αυτά καταφέρνουν γενικά να διεισδύσουν έως τα βάθη των πνευμόνων και γι' αυτό καλούνται αναπνεύσιμα. [12,14,15]

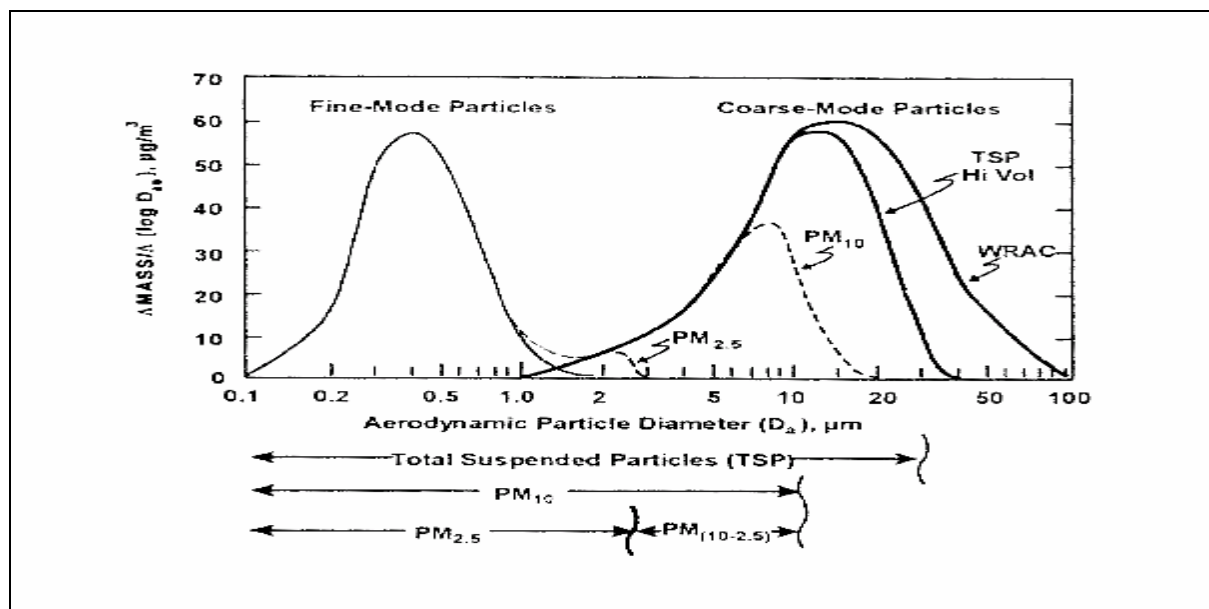


Σχήμα 1.5: Διεισδυτικότητα των αιωρούμενων σωματιδίων στον ανθρώπινο οργανισμό

1.3 ΟΡΙΣΜΟΙ ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΩΝ ΡΥΠΩΝ

Με βάση ορισμού την ταξινόμηση των ολικών αιωρούμενων σωματιδίων κατά μέγεθος (σε χονδρόκοκκα και λεπτόκοκκα) και σε συσχέτιση με την διεισδυτικότητα τους στον ανθρώπινο οργανισμό (εισπνεύσιμα και αναπνεύσιμα), γίνεται η εισαγωγή δύο νέων ρυπαντικών παραμέτρων, των σωματιδίων PM₁₀ και των σωματιδίων PM_{2,5}. Θεωρείται γενικά ότι τα PM₁₀ ταυτίζονται με την κατηγορία των εισπνεύσιμων σωματιδίων και έχουν διάμετρο έως 10μm. Ωστόσο ο ορισμός αυτός δεν λαμβάνει υπ' όψη του το γεγονός ότι είναι αδύνατον να κατασκευασθεί δειγματολήπτης ικανός να λειτουργεί υπό μορφή βηματικής συνάρτησης, οπότε να αποκλείει τη συλλογή των σωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο παραπλήσια της επιθυμητής, ώστε να μπορούμε να προσδιορίσουμε σωματίδια μέχρι ή από μία διάμετρο και πέρα. Στην πράξη δηλαδή τα PM₁₀ περιλαμβάνουν και ένα περιορισμένο αριθμό σωματιδίων με μέγεθος μεγαλύτερο από 10μm. [10]

Στο σχήμα 1.6 παρουσιάζονται τα κυριότερα κλάσματα των αιωρούμενων σωματιδίων όπως ορίστηκαν παραπάνω. Φαίνεται ξεκάθαρα σε αυτό ότι στα PM₁₀ περιλαμβάνεται και ένας αριθμός σωματιδίων με διάμετρο μεγαλύτερη από 10μm.



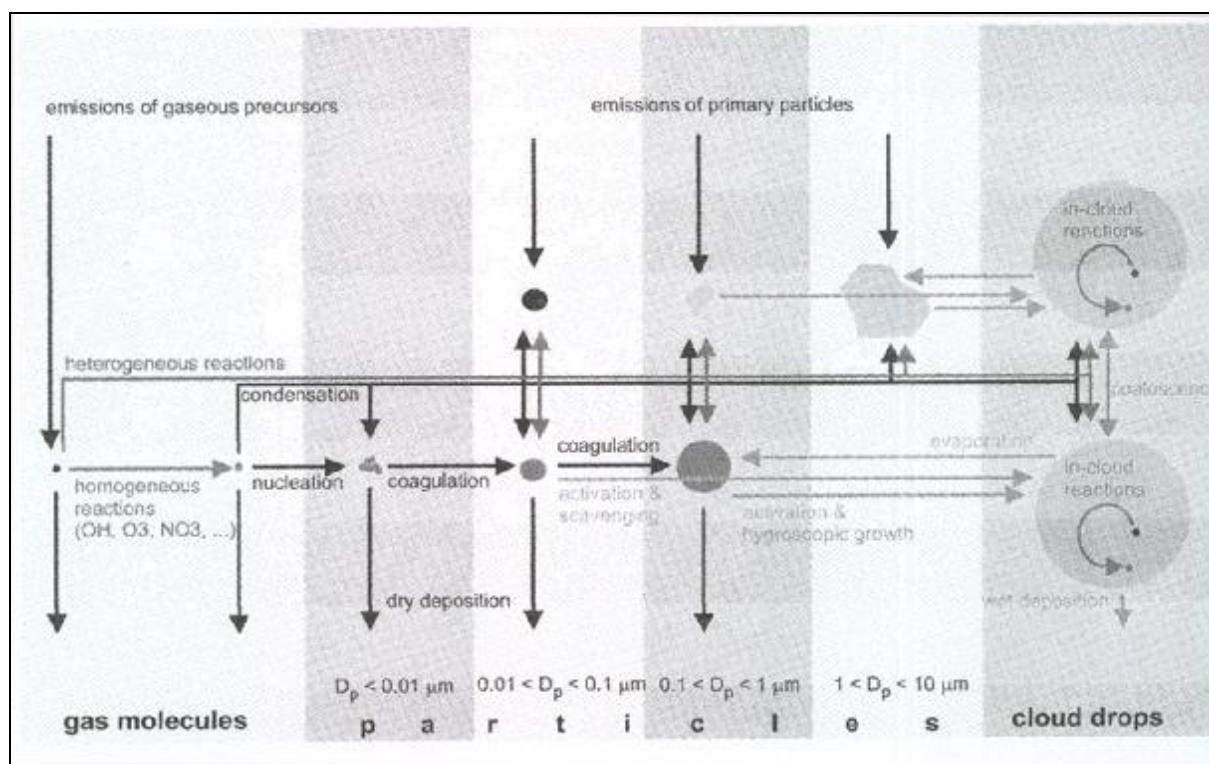
Σχήμα 1.6: Κυριότερα κλάσματα αιωρούμενων σωματιδίων [1 σελ.3-10]

Για τον παραπάνω λόγο ο αυστηρός ορισμός των PM10 όπως τον αναφέρει η ΕΕ στις οδηγίες της είναι:

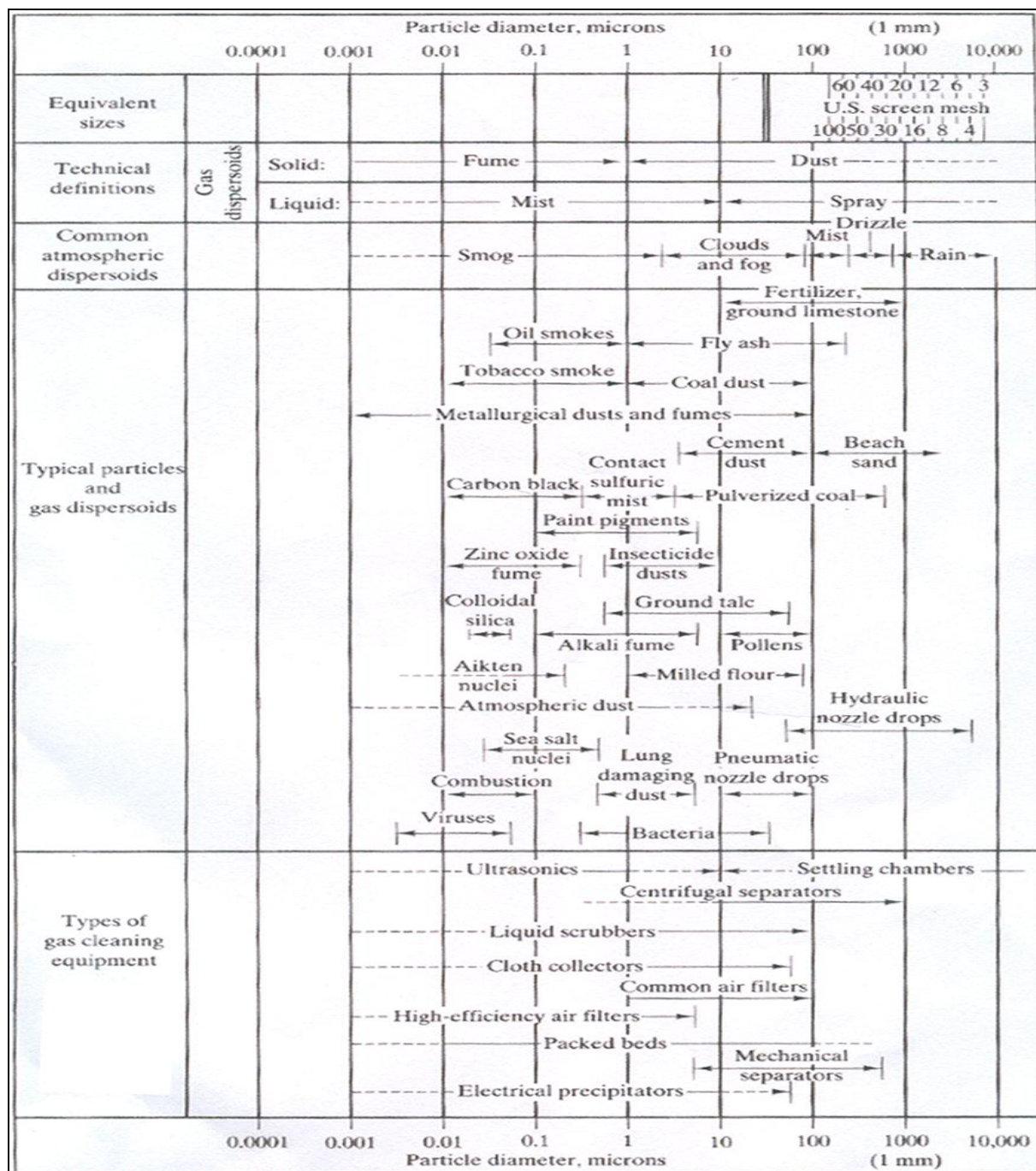
“PM10 νοούνται τα σωματίδια που διέρχονται δια στομίου επιλεγέντος μεγέθους το οποίο συγκρατεί το 50% των σωματιδίων αεροδυναμικής διαμέτρου 10 μm ”

Τα PM2,5 ταυτίζονται με την κατηγορία των αναπνεύσιμων σωματιδίων και θεωρείται ότι έχουν διάμετρο έως και 2,5 μm . Ο αντίστοιχος ορισμός της ΕΕ για τα PM2,5 είναι:

“PM2,5 νοούνται τα σωματίδια που διέρχονται δια στομίου επιλεγέντος μεγέθους το οποίο συγκρατεί το 50% των σωματιδίων αεροδυναμικής διαμέτρου 2,5 μm . [16]



Σχήμα 1.7: Επίδραση των μικροφυσικών διεργασιών στην κατανομή μεγέθους και την χημική σύσταση των ατμοσφαιρικών σωματιδίων [9 σελ.4217]



Σχήμα 1.8: Κατάταξη σωματιδίων ανάλογα με το μέγεθος και τη φυσική κατάσταση, κατάταξη χαρακτηριστικών τύπων σωματιδίων κατά μέγεθος και εύρος λειτουργίας συστημάτων κατακράτησης σωματιδίων [5 σελ.516]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

2.1 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΕ ΑΕΡΙΟ ΜΕΣΟ

Σε ένα σφαιρικό σωματίδιο το οποίο κινείται σε συνεχές, αδρανές μέσο, (αδρανής αέρας) ασκούνται οι εξής δυνάμεις:

Βαρυτική δύναμη (gravital force)	$F_g = \rho_{part} (\pi/6)D^3 g$
Άνοση (buoyant force)	$F_b = \rho_{air} (\pi/6)D^3 g$
Οπισθέλκουσα δύναμη (drag force)	F_D

Όταν το σωματίδιο καθιζάνει με οριακή ταχύτητα, τότε η επιτάχυνση του σωματιδίου είναι μηδενική, καθώς και η συνισταμένη των δυνάμεων που ασκούνται σε αυτό.

$$\Sigma F=0 \rightarrow F_D = F_g - F_b = (\pi/6)D^3g (\rho_{part} - \rho_{air}) \quad (2.1)$$

Με την παραδοχή ότι ο αριθμός Reynolds είναι $Re < 1$ και ότι το σωματίδιο κινείται σε συνεχές μέσο, ισχύει για την οπισθέλκουσα δύναμη ο νόμος του Stokes:

$$F_D = 3\pi D\mu u_o \quad (2.2)$$

όπου μ το ιξώδες του ρευστού.

Οπότε η οριακή ταχύτητα κατακάθισης δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση (εξίσωση Stokes):

$$u_o = \frac{gD^2(\rho_{part} - \rho_{air})}{18\mu} \quad (2.3)$$

Η οπισθέλκουσα δύναμη που ασκείται στο σωματίδιο δίνεται από την εξίσωση:

$$F_D = \frac{C_D A_o \rho u^2}{2} \quad (2.4)$$

όπου C_D ο συντελεστής οπισθέλκουσας και A_o η μετωπική επιφάνεια του σωματιδίου.

Ο συντελεστής οπισθέλκουσας περιλαμβάνει εξίσου την οπισθέλκουσα δύναμη που ασκείται από την ασύμμετρη κατανομή πίεσης στο σωματίδιο (form drag) αλλά και από τις ιξώδεις διατμητικές δυνάμεις που ασκούνται στην επιφάνεια του σωματιδίου.

Ο αριθμός Reynolds (Re) για ένα σωματίδιο κινούμενο στον αέρα ισούται με:

$$Re = \frac{Dv_{p,air}}{\mu} \quad (2.5)$$

Η κίνηση ενός σωματιδίου σε ένα ρευστό μέσο διακρίνεται ανάλογα με τον αριθμό Reynolds, στις ακόλουθες περιοχές:

Ροή Stokes (Stokes flow regime) $Re < 1$

Μεταβατική ροή (transition flow regime) $1 < Re < 10^3$

Νευτωνική ροή (Newtonian flow regime) $10^3 < Re < 10^5$

Πιστεύεται ότι για λεία σφαιρικά σωματίδια σε ομοιόμορφη υποηχητική ροή, που κινούνται σε σταθερής πυκνότητας Νευτωνικά ρευστά, ο συντελεστής οπισθέλκουσας εξαρτάται μόνο από τον αριθμό Reynolds.

Η εισαγωγή του συντελεστή οπισθέλκουσας στον υπολογισμό της οριακής ταχύτητας κατακάθισης των σωματιδίων οδηγεί σε σημαντική απόκλιση, από αυτή που υπολογίζεται με την εξίσωση του Stokes, ιδίως για σωματίδια μεγέθους άνω των 50μm, λόγω της εξάρτησης του αριθμού Reynolds από τη διάμετρο των σωματιδίων. Στην περίπτωση των σωματιδίων πολύ μικρού μεγέθους παραβιάζεται η παραδοχή του νόμου του Stokes, περί την κίνηση σε συνεχές μέσο. Τα πραγματικά ρευστά δεν είναι συνεχή, υπό την έννοια ότι αποτελούνται από άτομα και μόρια. Όταν ένα σωματίδιο είναι μικρότερο από την μέση απόσταση μεταξύ των μορίων του ρευστού, η αλληλεπίδραση του, με τα μόρια γίνεται σημαντική, ενώ είναι δυνατό να διαχέεται μέσα σε αυτά (slip flow).

Η μέση απόσταση που διανύεται από τα μόρια ενός αερίου μεταξύ των συγκρούσεων τους με αλλά μόρια του αερίου καλείται “μέση ελεύθερη διαδρομή” (λ). Η μέση ελεύθερη διαδρομή για τον αέρα σε πρότυπες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης είναι $\lambda_a = 0,0667\mu\text{m}$. Ένα ρευστό θεωρείται συνεχές όταν το κινούμενο σε αυτό σωματίδιο είναι σημαντικά μεγαλύτερο από την μέση ελεύθερη διαδρομή.

Η παράμετρος που χρησιμοποιείται για να προσδιοριστεί η συνέχεια της ροής ονομάζεται αριθμός Knudsen (K_n), και για σφαιρικά σωματίδια ισχύει:

$K_n = \lambda / D = K_n > 10$	ελεύθερη μοριακή ροή
$10 > K_n > 0,1$	μεταβατική ροή
$K_n < 0,1$	συνεχές μέσο

Στην περίπτωση της ελεύθερης μοριακής ροής η οπισθέλκουσα δύναμη που ασκείται στα σωματίδια είναι μικρότερη, με αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας τους. Ο συντελεστής διόρθωσης της οπισθέλκουσας δύναμης που χρησιμοποιείται ευρέως είναι ο συντελεστής Cunningham (C), που έχει την μορφή:

$$C = \frac{F_{D - Stokes}}{F_D} = 1 + \frac{A\lambda}{D} \quad (2.6)$$

όπου A μια πειραματικά προσδιοριζόμενη σταθερά. Μια προτεινόμενη τιμή για την σταθερά A είναι $A=1,728$

Ο συντελεστής Cunningham μπορεί να εκφραστεί και ως εξής:

$$C = K_n [2,514 + 0,8 \exp(-\frac{0,55}{D})] \quad (2.7)$$

Στον πίνακα 2.1 φαίνεται η συσχέτιση μεταξύ του συντελεστή Cunningham και της διαμέτρου σφαιρικών σωματιδίων, σε πρότυπες συνθήκες. Είναι προφανές ότι για μεγάλα σωματίδια, ο συντελεστής τείνει στην μονάδα όποτε είναι δυνατό να παραληφθεί από τους υπολογισμούς της ταχύτητας κατακάθισης.

Πίνακας 2.1: Συσχέτιση μεταξύ συντελεστή Cunningham και της διαμέτρου σφαιρικών σωματιδίων, σε πρότυπες συνθήκες

D(μm)	C
0,01	22,218
0,02	11,415
0,05	4,969
0,1	2,867
0,3	1,561
0,5	1,33
1	1,164
5	1,033
10	1,016
20	1,008
30	1,003

Όσον αφορά την οριζόντια μετακίνηση των σωματιδίων, ορίζεται η απόσταση ακινητοποίησης Stokes, X_{st} , για ένα σωματίδιο που κινείται με αρχική οριζόντια ταχύτητα u_0 , από τη σχέση:

$$X_{st} = \frac{u_0 D^2 p_{part} C}{18m} \quad (2.8)$$

Ένα σωματίδιο μεγέθους 1μm, με αρχική οριζόντια ταχύτητα 10m/s, δεν μεταφέρεται σε απόσταση μεγαλύτερη από 7m, πράγμα που αποδεικνύει ότι για σωματίδια και γενικά ρύπους τέτοιου μεγέθους ο αέρας είναι ένα αρκετά ιξώδες μέσο. [17]

Ένα αερόλυμα στο οποίο όλα τα σωματίδια έχουν την ίδια διάμετρο καλείται μονοδιασπαρμένο (monodispersed), ενώ αυτό στο οποίο τα σωματίδια έχουν διαφορετικές διαμέτρους καλείται πολυδιασπαρμένο (polydispersed). Αν δύο αερολύματα έχουν την ίδια συγκέντρωση σωματιδίων αλλά διαφορετική κατανομή μεγέθους, τότε θα έχουν αρκετά διαφορετική δυναμική συμπεριφορά. Η συγκέντρωση μάζας σωματιδίων ορίζεται ως η μάζα των σωματιδίων προς τον όγκο του φέροντος αερίου.

Μια ιδιότητα των λεπτόκοκκων σωματιδίων είναι ότι εάν δύο από αυτά έρθουν σε επαφή θα μείνουν ενωμένα, λόγω ηλεκτροστατικών δυνάμεων και δυνάμεων Van deer Waals. Αυτές οι δυνάμεις είναι γενικά ανάλογες της επιφάνειας του σωματιδίου, δηλαδή ανάλογες προς τον όρο D^2 .

Στα μεγαλύτερα σωματίδια η βαρύτητα ή η αδράνεια θα υπερνικήσει τις παραπάνω δυνάμεις. Όμως η βαρύτητα και η αδράνεια είναι ανάλογες προς την μάζα η οποία είναι ανάλογη με το D^3 των σωματιδίων. Προφανώς, όσο το μέγεθος μειώνεται, ο όρος D^3 μειώνεται ταχύτερα απ' ότι το D^2 . [4]

2.2 ΣΧΗΜΑ ΤΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Η γεωμετρία των σωματιδίων είναι έντονα διαφοροποιημένη. Οι συμπυκνωμένοι ατμοί έχουν τέλειο σφαιρικό σχήμα, οι ίνες βάμβακος και αμιάντου είναι νηματοειδούς μορφής, τα σωματίδια από χαλαζία και μίκα έχουν σχήμα πεταλιών, τα σωματίδια αιθάλης είναι φτεροειδή συσσωματώματα, ενώ τα άλλα σωματίδια έχουν ασαφές και ανομοιόμορφο σχήμα.

Αν τα σωματίδια δεν είναι τέλειες σφαίρες, η οπισθέλκουσα δύναμη μπορεί να είναι πολύ διαφορετική σε σχέση με σφαιρικά σωματίδια ίδιας μάζας. Για να καλυφθεί η περίπτωση των μη σφαιρικών σωματιδίων, εισάγεται (Fuchs,1964) ο αδιάστατος δυναμικός παράγοντας σχήματος X (dynamic shape factor), ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος των οπισθέλκουσών δυνάμεων ενός μη σφαιρικού σωματιδίου και ενός σφαιρικού σωματιδίου, που έχουν τον ίδιο όγκο και την ίδια ταχύτητα.

Συνεπώς η συνολική εξίσωση της οπισθέλκουσας δύναμης γράφεται:

$$F_D = -X \left(\frac{c_D \rho P}{8C} \right) (D_{e,p})^2 \quad (2.9)$$

όπου $D_{e,p}$ είναι η διάμετρος ισοδύναμου όγκου, που εκφράζεται σε σχέση με τον πραγματικό όγκο του σωματιδίου.

$$D_{e,p} = \left(\frac{6V_P}{\rho} \right)^{0,33} \quad (2.10)$$

Ο παράγοντας X για σωματίδια που έχουν συγκρίσιμη τιμή μήκους, πλάτους ή ύψους είναι κοντά στην μονάδα και μπορεί να παραληφθεί, και ο όρος $D_{e,p}$ μπορεί να αντικατασταθεί από την αντίστοιχη διάσταση. Ο δυναμικός παράγοντας σχήματος μπορεί να εκτιμηθεί από τη σχέση:

$$X = \left(\frac{0,33 + 0,67 D_{s,p}}{D_{p,p}} \right) \left(\frac{D_{e,p}}{D_{p,p}} \right) \quad (2.11)$$

όπου: $D_{p,p}$ είναι η διάμετρος σφαίρας που έχει την ίδια επιφάνεια που προβάλλεται από το σωματίδιο, κατά την διεύθυνση της ροής και $D_{s,p}$ είναι η διάμετρος σφαίρας που έχει την ίδια επιφάνεια με το σωματίδιο. Ορίζεται επίσης η μέση διάμετρος Sauter ως ο λόγος του συνολικού όγκου όλων των σωματιδίων ενός αερολύματος προς την συνολική επιφάνεια όλων των σωματιδίων. [17]

2.3 ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Θεωρείται ένα αντικείμενο το οποίο φωτίζεται από ακτίνα φωτός έντασης I , σε απόσταση x από έναν παρατηρητή. Αν το φως περάσει μέσα από το αντικείμενο κατά απόσταση dx , η ένταση της ακτινοβολίας μειώνεται λόγω απορρόφησης και σκέδασης κατά ποσότητα dI ανάλογη με την αρχική ένταση I . Έχει αποδειχθεί (Middleton, 1952) ότι:

$$dI = -\sigma_{ext} I dx \quad (2.12)$$

όπου σ_{ext} είναι ο συνολικός συντελεστής εξασθένησης ακτινοβολίας (overall extinction coefficient).

Η ολοκλήρωση της παραπάνω σχέσης για διάστημα από 0 έως d , το οποίο είναι το μήκος της διαδρομής του φωτός, δίνει:

$$I = I_0 \exp(-\sigma_{ext} d) \quad (2.13)$$

όπου I_0 η αρχική ένταση για $x=0$.

Ο συντελεστής σ_{ext} λαμβάνει υπ' όψη του την επίδραση της απορρόφησης και της σκέδασης από τα μόρια των αερίων και από τα μόρια των σωματιδίων, δηλαδή:

$$\sigma_{ext} = \sigma_{Rayleigh} + \sigma_{abs-gas} + \sigma_{scat-part} + \sigma_{abs-part} \quad (2.14)$$

όπου $\sigma_{Rayleigh}$, $\sigma_{abs-gas}$ είναι οι συντελεστές που αναφέρονται στην σκέδαση και απορρόφηση αντίστοιχα, του φωτός από τα μόρια των αερίων και $\sigma_{scat-part}$, $\sigma_{abs-part}$, είναι οι συντελεστές που αναφέρονται στην σκέδαση και απορρόφηση αντίστοιχα, του φωτός από τα σωματίδια.

Συνεπώς, γίνεται κατανοητό, ότι τα σωματίδια μεγέθους συγκρίσιμου με το μήκος κύματος της προσπίπτουσας σε αυτά ακτινοβολίας, οδηγούν σε εξασθένηση της έντασης της. Περίπου το 59% της ηλιακής ακτινοβολίας εμπίπτει σε μια περιοχή του ορατού φάσματος, με μήκη κύματος από 0,4 έως 0,8 μm , με την μέγιστη ένταση ακτινοβολίας να αντιστοιχεί στα 0,48 μm . Είναι λοιπόν προφανής η επίδραση των σωματιδίων μεγέθους κάτω του 1 μm στην μείωση της ορατότητας.

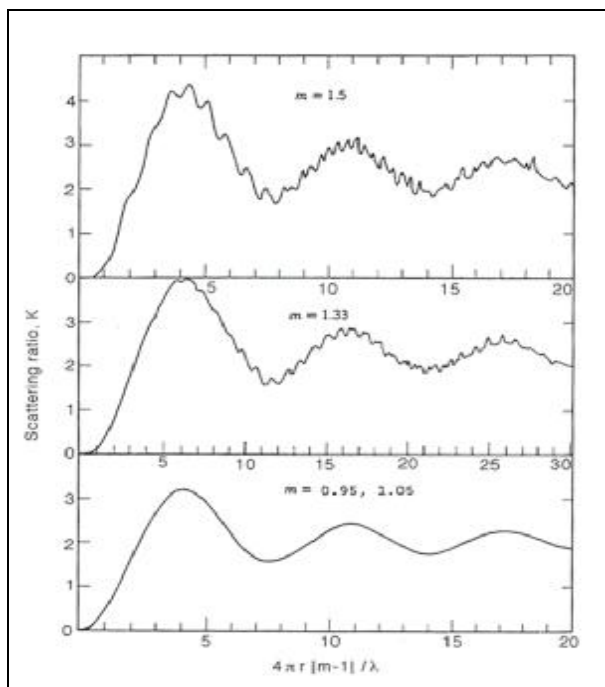
Η σκέδαση του φωτός από τα σωματίδια ονομάζεται σκέδαση Mie. Ο συντελεστής $\sigma_{scat-part}$ δίνεται από την σχέση:

$$\sigma_{\text{scat-part}} = N K \pi r^2 \quad (2.15)$$

όπου N ο αριθμός των σωματιδίων ακτίνας r ανά μονάδα όγκου και K ο λόγος της επιφάνειας σκέδασης προς την επιφάνεια του σωματιδίου.

Όταν η σωματιδιακή ύλη δεν είναι ομογενής, τότε η τιμή του $\sigma_{\text{scat-part}}$ είναι το άθροισμα των ανεξάρτητων τιμών $\sigma_{\text{scat-part}}$, των διαφόρων ειδών σωματιδίων.

Για τον υπολογισμό του λόγου K έχει προταθεί μια καμπύλη συσχέτισεως του με τον όρο $4\pi r \frac{|m-1|}{\lambda}$ όπου m είναι ο δείκτης σκέδασης των σωματιδίων, r η ακτίνα των σωματιδίων και λ το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.



Σχήμα 2.1: Προσεγγιστική τιμή της αναλογίας σκέδασης K για σφαιρικά σωματίδια που δεν απορροφούν την ακτινοβολία. [5 σελ. 519]

Ο προσδιορισμός του συντελεστή $\sigma_{\text{abs-part}}$ παρουσιάζει δυσκολία και γίνεται συνήθως πειραματικά.

Οι αρχές της απορρόφησης και της σκέδασης της ακτινοβολίας από τα σωματίδια αποτελούν τη βάση για τον ανάπτυξη συστημάτων και κριτηρίων για τον έλεγχο των σωματιδιακών εκπομπών. Αυτά τα κριτήρια στηρίζονται στο μέγεθος που στην ελληνική γλώσσα μπορεί να αποδοθεί ως αδιαφάνεια (opacity).

Ως αδιαφάνεια (opacity) ορίζεται το επί τοις εκατό ποσοστό του φωτός που παρεμποδίζεται κατά την διέλευση του μέσα από μια διαφυγούσα εκπομπή ρύπων από καμινάδα.

$$\text{Opacity} = \left(1 - \frac{I}{I_0}\right) \cdot 100\% \quad (2.16)$$

Ο λόγος $\frac{I}{I_0}$ μπορεί να προσδιοριστεί από την αρχική εξίσωση όπου d η διάμετρος της καμινάδας. [2]

2.4 ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Σύμφωνα με τα συμπεράσματα των περισσότερων μελετών γύρω από τη χημική σύσταση των σωματιδίων η μάζα τους αποτελείται από τις παρακάτω βασικές κατηγορίες συστατικών: [18]

Θεικά

Νιτρικά

Αμμωνιακά

Χλωριόντα

Γεωλογικά υλικά

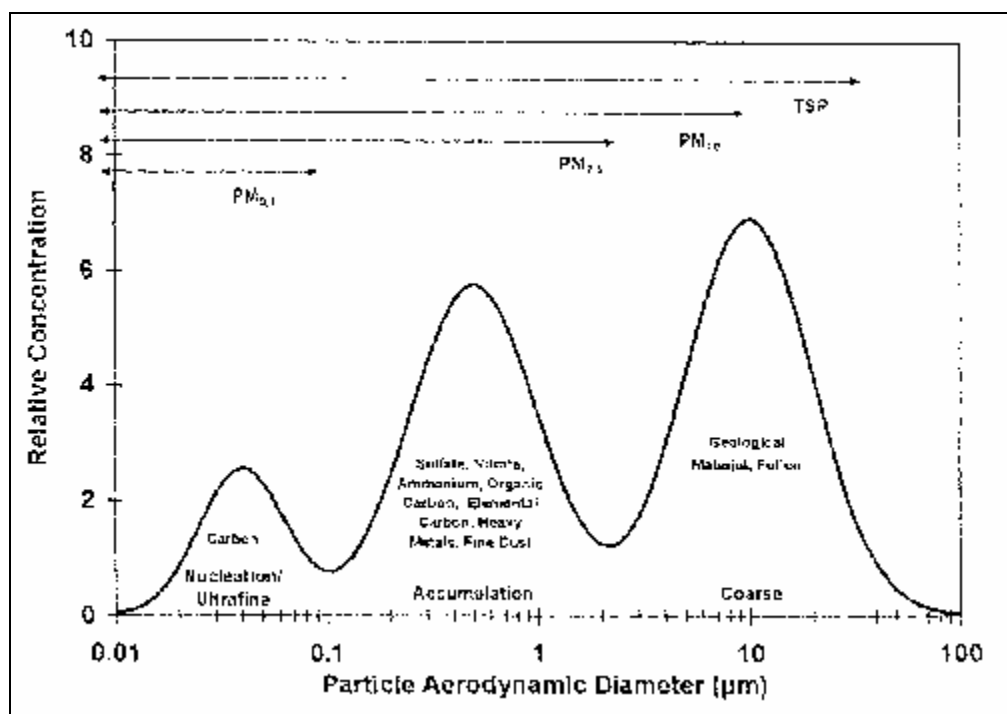
Στοιχειακό άνθρακα

Οργανικό άνθρακα

Βιολογικά υλικά

Μέταλλα

Ισχυρά οξέα



Σχήμα 2.2: Αντιπροσωπευτική κατανομή αιωρούμενων σωματιδίων κατά μάζα και κυριότερα συστατικά. [19 σελ.3-16]

Επιπλέον το υγρό H₂O είναι ένα ακόμα βασικό συστατικό στα διαλυτοποιήσιμα σωματίδια. Προσροφάται σε αυτά όταν η σχετική υγρασία υπερβαίνει περίπου το 70%. Ωστόσο το μεγαλύτερο ποσοστό αυτού του νερού εξατμίζεται στα φίλτρα πριν τη μέτρηση. [10,20]

Παρακάτω γίνεται η παρουσίαση των χημικών ενώσεων και ομάδων οι οποίες συνθέτουν τα ολικά αιωρούμενα σωματίδια:

ΘΕΙΚΑ

Προέρχονται κυρίως από την οξείδωση του διοξειδίου του θείου στην ατμόσφαιρα. Οι θεικές ενώσεις είναι παρούσες στην σωματιδιακή μάζα κυρίως υπό τη μορφή (NH₄)₂SO₄ και σε μικρότερη αναλογία ως NH₄HSO₄. Επειδή η μετατροπή του διοξειδίου του θείου γίνεται με αργό ρυθμό, σε απόσταση δεκάδων χιλιομέτρων από την πηγή εκπομπής του διοξειδίου του θείου, οι συγκεντρώσεις των θεικών μπορεί να είναι πολύ μικρές, όμως σε απόσταση εκατοντάδων ή χιλιάδων χιλιομέτρων μπορεί να είναι ιδιαίτερα σημαντική.

Αυτές οι ενώσεις είναι υδατοδιαλυτές και συναντώνται σχεδόν αποκλειστικά στα PM_{2,5}. Θεικό νάτριο είναι δυνατόν να ανιχνευθεί σε παραλιακές περιοχές όπου το θεικό οξύ έχει εξουδετερωθεί από το χλωριούχο νάτριο του θαλάσσιου αλατιού. Αν και ο γύψος και κάποια άλλα γεωλογικά υλικά περιέχουν θεικά, αυτά δεν είναι εύκολα διαλυτοποιήσιμα στο νερό για να αναλυθούν χημικά, είναι πιο άφθονα σε χονδρόκοκκα σωματίδια έναντι των PM_{2,5} και συνήθως ταξινομούνται στα γεωλογικά υλικά. [18]

ΝΙΤΡΙΚΑ

Σχηματίζονται κυρίως από την οξείδωση του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του αζώτου και μία από τις κύριες μορφές του, το νιτρικό αμμώνιο NH₄NO₃, πιστεύεται ότι βρίσκεται στην ατμόσφαιρα σε ισορροπία με τις πρόδρομες του αέρια ουσίες, την αμμωνία NH₃ και τους ατμούς νιτρικού οξέος HNO₃. Σε ορισμένες περιπτώσεις το νιτρικό νάτριο (NaNO₃) κυριαρχεί. Καθότι το NO₂ οξειδώνεται ταχύτερα απ' ό,τι το SO₂ και λόγω της ευαισθησίας του νιτρικού αμμωνίου στις ατμοσφαιρικές

συγκεντρώσεις της αμμωνίας, οι οποίες επηρεάζουν την διάσπαση του, η χωρική κατανομή των νιτρικών είναι πολύ λιγότερο ομοιόμορφη από αυτή των θεικών. [9,18]

ΑΜΜΩΝΙΑΚΑ

Όταν σχηματίζονται αρχικά στην ατμόσφαιρα τα νιτρικά και τα θειικά ιόντα είναι στην μορφή των θεικών και νιτρικών οξέων αντίστοιχα. Αυτά τα οξέα, σταδιακά εξουδετερώνονται από την ατμοσφαιρική αμμωνία σχηματίζοντας αμμωνιακά άλατα. Στις περισσότερες αστικές περιοχές, το ιόν του αμμωνίου NH_4^+ , υπερέχει σημαντικά του ιόντος του υδρογόνου H^+ , το οποίο και αντικαθιστά στη διαδικασία εξουδετέρωσης.

Η συντριπτική πλειοψηφία των αμμωνιακών ενώσεων εντάσσεται στο λεπτόκοκκο κλάσμα των σωματιδίων. Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς τα χονδρόκοκκα σωματίδια αποτελούνται κυρίως από ορυκτά υλικά τα οποία καθότι αλκαλικά, δεν αντιδρούν με την αέρια αμμωνία. Αν και το μεγαλύτερο ποσοστό του διοξειδίου του θείου και των οξειδίων του αζώτου που αποτελούν πρώτες ύλες για το σχηματισμό αμμωνιακών ενώσεων, προέρχονται από τη χρήση καυσίμου σε κινητές και στατικές πηγές, η περισσότερη από την αμμωνία προέρχεται από βιολογικές πηγές (π.χ. γεωργία, εκτροφεία ζώα). [10,18,21]

ΧΛΩΡΙΟΝΤΑ

Η κύρια πηγή των ιόντων χλωρίου είναι το υδρόλυμα θαλάσσης (sea spray), ακόμα και σε περιοχές που βρίσκονται εκατοντάδες χιλιόμετρα από την ακτή. Επίσης κατά τους χειμερινούς μήνες, πηγή αποτελεί η ρίψη αλατιού στους δρόμους για την αντιμετώπιση του πάγου.

Οι θαλάσσιες πηγές χλωριούχων σωματιδίων συνεισφέρουν κυρίως σε χλωριούχο νάτριο. Αυτή η κατηγορία σωματιδίων εντάσσεται στο χονδρόκοκκο κλάσμα. Σε μια μελέτη που έγινε στην Ανταρκτική, όπου λόγω της προφανούς έλλειψης ανθρωπογενών πηγών, άνω του 70% των ατμοσφαιρικών σωματιδίων αποτελείται

από θαλάσσιο NaCl, η ,κατά μάζα, κατανομή μεγέθους των σωματιδίων έδειξε μέγιστο για σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο περίπου 3μm. [22]

Οι χλωριούχες ενώσεις εισέρχονται στην αέρια σωματιδιακή μάζα και με δευτερογενείς διαδικασίες όπως η εξουδετέρωση της ατμοσφαιρικής αμμωνίας από τους ατμούς υδροχλωρικού οξέος, το οποίο εκπέμπεται από πηγές όπως αποτεφρωτήρες και σταθμούς παραγωγής ενέργειας. Οι δευτερογενείς χλωριούχες ενώσεις ανήκουν στο λεπτόκοκκο κλάσμα των σωματιδίων και συνίστανται κυρίως σε χλωριούχο αμμώνιο. [21]

ΟΡΓΑΝΙΚΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑΣ

Ο οργανικός άνθρακας είναι δυνατόν να εκπέμπεται από πρωτογενείς πηγές εκπομπής. Όμως, σημαντική ποσότητα οργανικού άνθρακα είναι δυνατό να ενσωματωθεί στην σωματιδιακή μάζα, ως αποτέλεσμα ατμοσφαιρικών φωτοχημικών διεργασιών, μεταξύ πρωτογενών αέριων οργανικών χημικών ειδών, οι οποίες παράγουν χαμηλής πτητικότητας οργανικές ενώσεις. Ο σχηματισμός δευτερογενών οργανικών σωματιδίων έχει συσχετιστεί με τον λόγο οργανικού προς στοιχειακού άνθρακα, από συγκεκριμένες μελέτες, και έχει προταθεί ως χαρακτηριστική τιμή του λόγου, η τιμή 2. Αν ο λόγος αυτός είναι πάνω από 2, θεωρείται ότι ο οργανικός άνθρακας σχηματίζεται με δευτερογενείς διαδικασίες. [23]

Οι οργανικές ενώσεις που υπάρχουν στα αιωρούμενα σωματίδια είναι αλειφατικοί υδρογονάνθρακες, είτε αρωματικές ενώσεις, είτε οξυγονωμένα παράγωγα των υδρογονανθράκων. Οι αλειφατικοί υδρογονάνθρακες που ανιχνεύονται στα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούνται σε μεγάλο ποσοστό από κανονικά αλκάνια, 16-36 ατόμων άνθρακα, ενώ σημαντική είναι κι η περιεκτικότητα σε διακλαδισμένες και ακόρεστες ενώσεις. Είναι αδρανείς ενώσεις, σχετικά μη τοξικές και δεν συμμετέχουν σε χημικές αντιδράσεις στην ατμόσφαιρα. [3]

Τα n-αλκάνια που αποτελούνται μέχρι και από 25 άτομα άνθρακα χαρακτηρίζονται ως πετρογενή (petrogenic) και η παρουσία τους στην ατμόσφαιρα σχετίζεται με εκπομπές από καύση ορυκτών καυσίμων. Αντίθετα τα C₂₅-C₃₆ αλκάνια χαρακτηρίζονται ως βιογενή και προέρχονται από φυσικές πηγές.

Εκτός από τους αλειφατικούς υδρογονάνθρακες, στις οργανικές ενώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων περιέχονται οι πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες (Polynuclear Aromatic Hydrocarbons-PAH's) οι οποίοι συγκεντρώνουν μεγάλο ενδιαφέρον λόγω της αποδεδειγμένης καρκινογόνου και μεταλλαξιογόνου δράσης τους. [23,24,25]

Κύριες ενώσεις που ανήκουν στην κατηγορία των PAH's είναι το βενζο[α]πυρένιο (BaP), το βενζο[ε]πυρένιο (BeP), το βενζο[α]ανθρακένιο, το χρυσένιο, το βενζοπερυλένιο και η ινδενόλη.

Αν και στην ατμόσφαιρα έχουν μετρηθεί συγκεντρώσεις PAH's που φθάνουν τα 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, μια έρευνα που έγινε σε 5 πόλεις του Ειρηνικού (Μελβούρνη, Σεούλ, Χονγκ Κονγκ, Μπανγκόγκ και Τζακάρτα) έδειξε μέσες ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις PAH's από 6,4 έως 61,2 ng/m^3 , με το βενζο[ε]πυρένιο και το βενζοπερυλένιο να εμφανίζουν τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις. [26]

Κύρια διαδικασία σχηματισμού των PAH's είναι η πυροσύνθεση. Κατά την πυροσύνθεση, σε θερμοκρασίες περίπου 500°C, οι δεσμοί C-C και C-H, των υδρογονανθράκων χαμηλού μοριακού βάρους, διαρρηγνύονται προς σχηματισμό ελεύθερων ριζών. Κατόπιν, οι ελεύθερες ρίζες αφυδρογονώνονται και συνδυάζονται χημικά για να σχηματίσουν δομές, αποτελούμενες από αρωματικούς δακτυλίους, ανθεκτικές στις υψηλές θερμοκρασίες. Η ευχέρεια των υδρογονανθράκων να σχηματίσουν PAH's με πυροσύνθεση δίνεται από την ακολουθία: [3]

Αρωματικοί > κυκλολεφίνες > ολεφίνες > παραφίνες

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι PAH's εντάσσονται στην κατηγορία των τοξικών οργανικών μικρό-ρύπων (Toxic Organic Micro Pollutants- TOMP's), όπου ανήκουν και οι πολυχλωριωμένες διοξίνες και φουράνια, καθώς και τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCB's), ομάδες ενώσεων που πρόσφατα γνώρισαν μεγάλη δημοσιότητα, και επίσης σχετίζονται με τα αιωρούμενα σωματίδια. [21]

Τέλος, στο οργανικό κλάσμα των αιωρούμενων σωματιδίων εντάσσονται ουδέτερα οξυγονωμένα παράγωγα των υδρογονανθράκων (αλδεύδες, κετόνες, εποξειδία,

εστέρες, λακτόνες, κινόνες), οργανικά οξέα (μυριστικό, ελαικό, λινολεικό, στεατικό, παλμιτικό, μυριστικό) και τέλος αλκαλικές ενώσεις όπως η ακριδίνη.

Compound	%
$\text{HOOC(CH}_2\text{)}_4\text{COOH}$	1.8
$\text{HOOC(CH}_2\text{)}_6\text{COOH}$	3.5
$\text{HOOC(CH}_2\text{)}_8\text{COOH}$	3.5
$\text{HOOC(CH}_2\text{)}_4\text{COONa} + \text{HOOC(CH}_2\text{)}_6\text{COONa}$	1.4
$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{CHO}$	3.9
$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{CHO}$	3.5
$\text{HOOC(CH}_2\text{)}_4\text{COOK} + \text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{COOK}$	3.5
$\text{CHO(CH}_2\text{)}_4\text{COONa}$	3.2
$\text{HOOC(CH}_2\text{)}_4\text{COONa}$	3.1
$\text{HOOC(CH}_2\text{)}_4\text{COONa}$	4.5
$\text{HOOC(CH}_2\text{)}_4\text{COONa}$	3.4
$\text{C}_6\text{H}_5\text{-(CH}_2\text{)}_4\text{COOH}$	1.3
$\text{HOOC-(C}_6\text{H}_4\text{)-CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$	1.2

Source: Schuler et al. (1975), Cerni et al. (1977).

Σχήμα 2.3: Οργανικές ενώσεις που ανιχνεύθηκαν σε αιωρούμενα σωματίδια σε αστικές περιοχές [1 σελ.3-77]

ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑΣ

Κατά τις διαδικασίες καύσης και ιδίως εξ' αιτίας της κυκλοφορίας οχημάτων, εκπέμπονται σωματίδια αιθάλης, τα οποία περιέχουν άνθρακα υπό τη μορφή ενός πυρήνα από στερεό μαύρο στοιχειακό άνθρακα υπό μορφή είτε καθαρού γραφίτη είτε υπό μορφή υψηλού μοριακού βάρους μη πτητικής ύλης όπως πίσσας και κωκ. Στην επιφάνεια του πυρήνα συχνά υπάρχει επικάλυψη από ημι-πτητικές οργανικές ενώσεις, οι οποίες συμπυκνώνονται από τα αέρια καύσης. Περιέχονται επίσης και κάποιες χαρακτηριστικές ομάδες (υδροξυλικές, φαινολικές, καρβονυλικές, καρβοξυλικές κ.α.).

Επειδή οι χημικές μεταβολές του στοιχειακού άνθρακα, όπως η χημική αντίδραση ή οι εναλλαγές μεταξύ σωματιδιακής και αέριας φάσης, είναι γενικά περιορισμένες, ο στοιχειακός άνθρακας θεωρείται καλός δείκτης της πρωτογενούς και ανθρωπογενούς αέριας ρύπανσης. [27,28,29]

ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Περιλαμβάνουν επιφανειακή σκόνη και αερομεταφερόμενα αποσπασμένα πετρογενή ορυκτά υλικά. Δεν έχουν επομένως σταθερή χημική σύσταση και αντικατοπτρίζουν τα εκάστοτε τοπικά γεωλογικά χαρακτηριστικά και τις επιφανειακές συνθήκες. Η συγκέντρωσή τους εξαρτάται από τις μετεωρολογικές συνθήκες και τις διαδικασίες οι οποίες οδηγούν στην επαναιώρηση τους από το έδαφος. [18]

Ορισμένα από τα φυσικά ορυκτά που έχουν αναγνωρισθεί στην σωματιδιακή μάζα είναι τα παρακάτω: Χαλαζίας (SiO_2), ασβεστίτης (CaCO_3), γύψος ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), αστρίοι (feldspar, KAlSi_3O_8), εψωμίτης ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), χλωρίτης, καολινίτης, μοντμοριλλονίτης, αιματίτης κ.α. [21]

ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Ορισμένες μελέτες έχουν διαχωρίσει την σωματιδιακή ύλη βιολογικής προέλευσης (BAP-Biological Aerosol Particles), η οποία μπορεί να περιλαμβάνει μικροοργανισμούς, όπως βακτήρια αλλά και σπόρια, γύρη και τεμαχίδια κυτταρινούχου φυτικού υλικού. Με την εξαίρεση κάποιων ιών, και άλλων σωματιδίων που εκπέμπονται, είτε από το ανθρώπινο σώμα, είτε από βιομηχανικές και αστικές δραστηριότητες (π.χ. αποχετευτικό σύστημα), αυτά τα σωματίδια είναι στην πλειοψηφία τους, χονδροκοκκα σε μέγεθος (coarse). Στις περισσότερες μελέτες χαρακτηρίζονται ως οργανικός άνθρακας παρά ως βιολογικά υλικά. [18,30]

ΜΕΤΑΛΛΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ

Τα μέταλλα που είναι παρόντα σε μεγαλύτερη αναλογία στα αιωρούμενα σωματίδια είναι το νάτριο, το ασβέστιο, το μαγνήσιο και το κάλιο, υπό την μορφή των ιόντων τους. Σύμφωνα με αναλύσεις τα ποσοστά επί των συνολικών ιόντων της αέριας σωματιδιακής μάζας είναι κατά προσέγγιση 5,6-1,8-0,8-0,6% για τα Na^+ , Ca^{+2} , K^+ , Mg^{+2} αντίστοιχα. [21]

Σε αντίθεση με τα υπόλοιπα ιοντικά είδη, τα παραπάνω μέταλλα εμφανίζονται κυρίως στο χονδρόκοκκο κλάσμα των σωματιδίων. Αυτό είναι λογικό λόγω της προέλευσης τους από τα θαλάσσια αερολύματα και την επιφανειακή σκόνη. Το νάτριο είναι κυρίως παρόν ως NaCl και Na₂SO₄. [18]

Είναι ευρέως αναγνωρισμένο το γεγονός ότι ορισμένα μεταλλικά ιχνοστοιχεία όπως ο μόλυβδος, ο υδράργυρος, το βηρύλλιο (το οποίο έχει και το χαμηλότερο επιτρεπτό όριο στην ατμόσφαιρα), το βανάδιο, το κάδμιο, το χρώμιο, το νικέλιο και το αρσενικό (μεταλλοειδές) είναι ιδιαίτερα τοξικά σε συγκεκριμένες δόσεις.

Ο μόλυβδος βρίσκεται στην ατμόσφαιρα υπό την μορφή των αλογονιδίων του (PbCl₂, PbClBr, PbBr₂) τα οποία σχηματίζονται κατά την αντίδραση των αντικροτικών ουσιών του καυσίμου (τετρααιθυλιούχος μόλυβδος) με το διχλωροαιθάνιο ή το διβρωμοαιθάνιο, που προστίθενται για να αποτρέψουν την συσσώρευση των οξειδίων του μολύβδου μέσα σε κινητήρες. Τα αλογονίδια του μολύβδου είναι αρκετά πτητικά ώστε να εξέλθουν από την εξάτμιση, αλλά συμπυκνώνονται σε σωματίδια στην ατμόσφαιρα.

Ο υδράργυρος είναι παρών στην ατμόσφαιρα με τη μορφή οργανομεταλλικών ενώσεων όπως οι (CH₃)₂Hg, (CH₃)HgBr. Αλλά μέταλλα απαντούν με την μορφή των οξειδίων τους όπως Fe₃O₄, V₂O₅, CaO. [3]

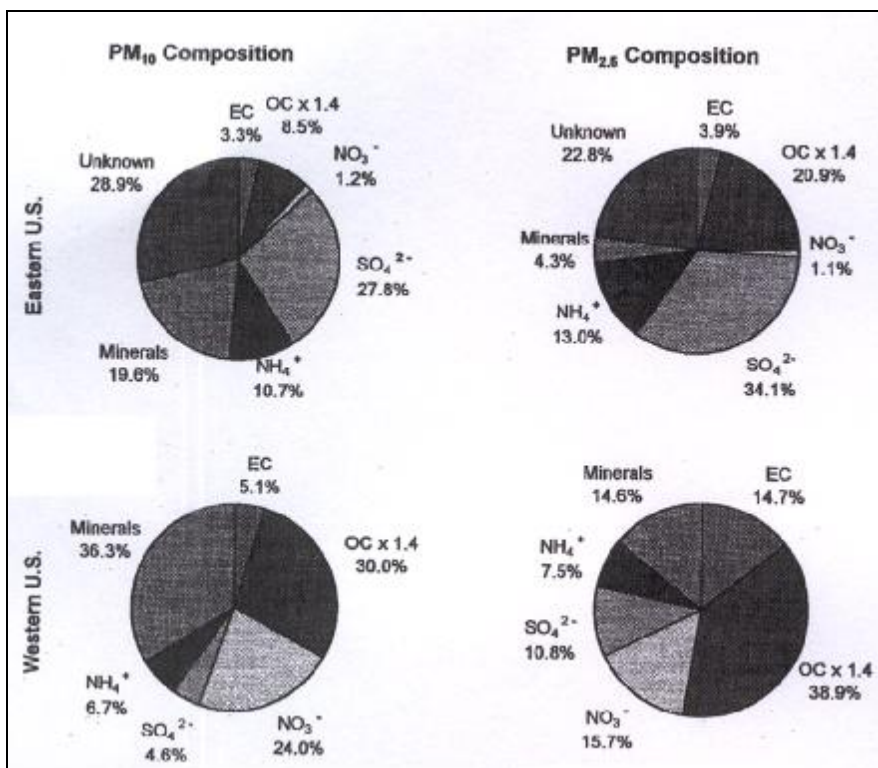
Η έκθεση στα μεταλλικά ιχνοστοιχεία μέσω της αναπνοής αιωρούμενων σωματιδίων, σε αστικές περιοχές αναπτυγμένων χωρών θεωρείται ότι είναι ανεπαρκής, ώστε να έχει τοξική επίδραση στον άνθρωπο. Όμως, έχει αποδειχθεί ότι κάποια στοιχεία μετάπτωσης και συγκεκριμένα ο σίδηρος είναι δυνατό να έχουν αρνητικά αποτελέσματα μέσω μη-συνήθων μηχανισμών όπως η συμβολή στην παραγωγή ριζών υδροξυλίου μέσω της αντίδρασης Fenton. [18,31]

Με την εξαίρεση μετάλλων όπως ο μόλυβδος του οποίου η κύρια πηγή είναι η κυκλοφορία οχημάτων η οποία οδηγεί στην ευρεία διασπορά του στον αέρα μιας πόλης, τα άλλα μεταλλικά ιχνοστοιχεία προέρχονται κυρίως από βιομηχανικές διαδικασίες και συνεπώς η κατανομή τους στον χώρο είναι ανομοιόμορφη. [18]

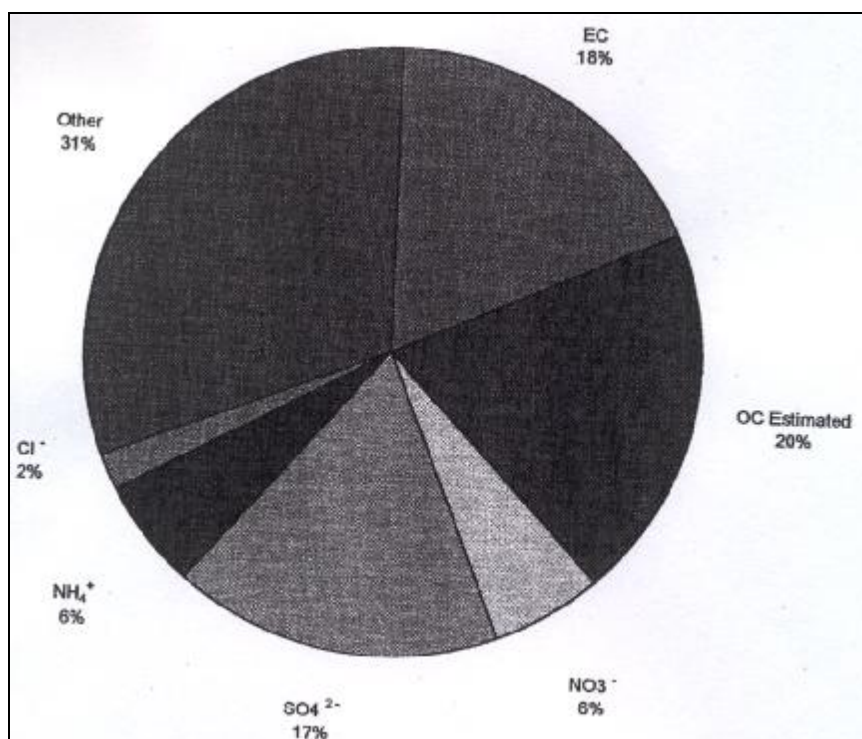
ΙΣΧΥΡΑ ΟΞΕΑ

Ο σχηματισμός θεικών και νιτρικών στην ατμόσφαιρα από την οξείδωση των SO₂ και NO₂, γίνεται αρχικά υπό τη μορφή των ισχυρών τους οξέων HNO₃ και H₂SO₄, αντίστοιχα. Το νιτρικό οξύ λόγω της μεγάλης του πτητικότητας, μπορεί να ενσωματωθεί στα αιωρούμενα σωματίδια μόνο μέσω της απώλειας της οξύτητάς του, είτε μέσω της αντίδρασης του με το υδροχλωρικό οξύ, είτε μέσω της εξουδετέρωσης του από την αμμωνία.

Αντιθέτως, το θειικό οξύ, είναι μη πτητικό και μόλις σχηματιστεί ενσωματώνεται κατ' ευθείαν στα σωματίδια, όπου κατόπιν μόνο εξουδετερώνεται από την αμμωνία της ατμόσφαιρας. Συνεπώς, σε περιβάλλοντα με χαμηλές συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικής αμμωνίας, τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν ένα σημαντικό περιεχόμενο ισχυρού οξέος, το οποίο αντικατοπτρίζει το μη εξουδετερωμένο ή μερικά εξουδετερωμένο θειικό οξύ. Ορισμένες παλαιότερες μελέτες υποστήριξαν σθεναρά ότι το περιεχόμενο ισχυρού οξέος είναι υπαίτιο για την τοξική δράση των σωματιδίων. [18]



Σχήμα 2.4: Σύγκριση της κατανομής των κύριων συστατικών των αιωρούμενων σωματιδίων, στις Ανατολικές και Δυτικές ΗΠΑ [18 σελ.91]



Σχήμα 2.5: Τυπική σύσταση σωματιδίων PM₁₀ σε μια Βρετανική βιομηχανική πόλη (Birmingham) [19 σελ.93]

Species	Basson		Phoenix		Los Angeles				
	Total <10 μm (ng m ⁻³)	Fine <2.5 μm (ng m ⁻³)	Coarse 2.5 - 10 μm (ng m ⁻³)	Total <10 μm (ng m ⁻³)	Fine <2.5 μm (ng m ⁻³)	Coarse 2.5 - 10 μm (ng m ⁻³)	Total <10 μm (ng m ⁻³)	Fine <2.5 μm (ng m ⁻³)	Coarse 2.5 - 10 μm (ng m ⁻³)
Na	-	-	-	-	-	-	515	466	52
K	625	98	532	880	207	699	460	217	243
Ca	1135	70	1069	2100	170	1920	1190	335	854
Mg	-	-	-	-	-	-	287	75	212
Si	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bc	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cd	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sb	-	-	-	-	<18	<16	-	-	-
Al	3458	-	3458	2670	<33	<30	-	-	-
Ti	154	-	154	140	130	2534	817	250	597
V	28	23	8	-	<30	121	165	60	106
Cr	8	4	4	10	<16	<14	9	7	3
Mn	30	1	29	50	3	8	42	25	17
Fe	1733	121	1612	1470	23	33	63	43	21
Ni	34	12	22	10	216	1259	2102	557	1635
Cu	56	35	23	40	3	3	5	7	-
Zn	101	46	54	90	15	21	178	273	-
As	3	2	1	-	56	34	293	298	-
Se	1	1	-	-	<20	<2	19	15	4
Sr	-	-	-	14	<2	<2	10	11	-
Pb	162	285	177	60	-	14	24	28	-
Ba	5904	114	6760	7440	39	22	251	185	66
Hg	-	-	-	10	430	7013	2162	520	1642
Rh	-	-	-	-	<106	<77	127	45	82
Zr	-	-	-	-	<2.5	-	-	-	-
Pd	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-
In	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sn	-	-	-	-	-	-	-	-	-
La	-	-	-	-	<28	<25	-	-	-
Total mass	145400	34800	105600	62450	29550	33090	67470	41100	26301

Σχήμα 2.6: Σύγκριση μέσων συγκεντρώσεων μεταλλικών ιχνοστοιχείων σε πόλεις των ΗΠΑ [18 σελ.94]

Species	Chicago			Houston			St. Louis		
	Total <10 μm (ng m ⁻³)	Fine <2.5 μm (ng m ⁻³)	Coarse 2.5 - 10 μm (ng m ⁻³)	Total <10 μm (ng m ⁻³)	Fine <3.5 μm (ng m ⁻³)	Coarse 2.5 - 10 μm (ng m ⁻³)	Total <10 μm (ng m ⁻³)	Fine <7.5 μm (ng m ⁻³)	Coarse 2.5 - 10 μm (ng m ⁻³)
Na	22	22	<17	<1490	<380	<740	-	-	-
K	161	61	101	289	119	170	653	261	392
Ca	761	45	716	2935	155	2780	2949	132	2817
Mg	118	12	106	-	-	-	-	-	-
Sc	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Be	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cd	<41	<29	<12	<12	<3	<6	5	4	1
Sb	<59	<42	<17	6	6	<9	7	6	1
Al	269	46	223	1216	123	1093	1412	203	1209
Ti	19	<29	19	35	<14	36	587	112	475
V	<13	<9	<4	<45	<8	<30	6	2	4
Cr	<7.3	<5	<2.4	7	<5	7	13	6	9
Mn	13	5	6	35	14	21	71	36	35
Fe	432	89	344	766	162	604	1493	275	1218
Ni	<1.8	<1	<0.7	8	4	4	9	4	5
Cu	17	11	6	46	28	18	45	29	14
Zn	90	52	38	142	84	58	175	101	74
As	<4.3	<2	<1.3	<15	<5	<6	3	2	1
Se	<1.7	<1	<0.6	<3	<2	-	5	4	1
Sr	-	1	-	-	-	<4	9	2	7
Pb	32	27	5	589	465	124	877	688	189
Si	831	74	759	3300	210	2990	4928	458	4470
Ba	<130	<91	38	139	48	91	54	20	54
Hg	-	-	-	-	<2	<3	2	0	2
Rb	-	-	-	<6	-	-	-	-	-
Zr	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pd	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-
In	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sa	<70	<49	<21	-	<5	<9	10	9	1
Ta	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total mass	28540	13570	14970	63400	38600	24898	62000	34000	28000

Σχήμα 2.7: Σύγκριση μέσων συγκεντρώσεων μεταλλικών ιχνοστοιχείων σε πόλεις των ΗΠΑ (συνέχεια) [18 σελ 95]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΗΓΕΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

3.1 ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΠΗΓΕΣ

3.1.1 ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΠΟ ΤΑ ΟΧΗΜΑΤΑ

Οι κύριες πηγές εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων από τα οχήματα είναι τα καυσαέρια των οχημάτων και η φθορά από την χρήση των ελαστικών και των φρένων. [8] Οι εκπομπές σωματιδίων από τους κινητήρες ντίζελ είναι πολύ μεγαλύτερες σε σχέση με τους βενζινοκινητήρες, κάτι που είναι σύμφωνο με την γενική αρχή, ότι όσο βαρύτερο είναι το κλάσμα πετρελαίου που καίγεται, τόσο μεγαλύτερη είναι η παραγωγή σωματιδίων. Βέβαια, δεν είναι δυνατό να αγνοηθεί η εκπομπή σημαντικών ποσοτήτων σωματιδίων από βενζινοκινητήρες και ιδιαίτερα από μη καταλυτικά οχήματα.

Η χρήση του ντίζελ ως καυσίμου γίνεται κυρίως από επαγγελματικά αυτοκίνητα, φορτηγά, λεωφορεία και αγοραία οχήματα, αλλά και σε ορισμένες χώρες και από ιδιωτικής χρήσης αυτοκίνητα. Δευτερεύουσες εστίες εκπομπής σωματιδίων, που εντάσσονται σε αυτήν την κατηγορία είναι τα μηχανήματα βαρέως έργου που χρησιμοποιούνται στις βιομηχανίες, οι αμαξοστοιχίες αλλά και τα πλοία, τα οποία επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα πάνω από λιμάνια και ωκεανούς. [32]

Οι εκπομπές από μηχανές ντίζελ περιέχουν κυρίως αιθάλη, πτητικές οργανικές ενώσεις και μερικά θειικά από το θείο που περιέχει το καύσιμο. Ο σχηματισμός αιθάλης, σε κινητήρες εσωτερικής καύσης, γίνεται στο πρώτο στάδιο της καύσης όταν υπάρχει φλόγα διάχυσης. Στην περίοδο αυτή, η φλόγα είναι πολύ φωτεινή, ένδειξη ύπαρξης ελεύθερου άνθρακα. Ένα πολύ μικρό μέρος του άνθρακα αυτού δεν προλαβαίνει να καεί, σχηματίζοντας έτσι αιθάλη, μέσω πολύπλοκων διεργασιών πυρόλυσης, πολυμερισμού και μερικής οξειδωσης. Τα σωματίδια σχηματίζονται από οργανικά και ανόργανα υλικά που εισέρχονται στον κινητήρα με το καύσιμο και τον αέρα. Τα πολύ μικρά σωματίδια αιθάλης, που δημιουργούνται κατά την καύση, λειτουργούν ως πυρήνες συσσωμάτωσης, δημιουργώντας έτσι τα σωματίδια που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα.

Η φύση του άνθρακα που δημιουργείται είναι πολύπλοκη και περιλαμβάνει διάφορες δομές. Σημαντικό ρόλο στο σχηματισμό και την ανάπτυξη των σωματιδίων παίζουν οι αντιδράσεις πυρόλυσης. Σε υψηλές θερμοκρασίες ευνοούνται η αφυδρογόνωση και η διάσπαση των μορίων (ενδόθερμες δράσεις). Σε χαμηλότερες θερμοκρασίες ευνοούνται ο πολυμερισμός και η συμπίκνωση (εξώθερμες δράσεις).

Μέσα στον κινητήρα συντελείται ο μετασχηματισμός ενός μορίου με 10-20 άτομα C σε σωματίδια αιθάλης με 10^5 άτομα C. Η όλη διεργασία πρέπει να περιλάβει τόσο τις αντιδράσεις αφυδρογόνωσης, όσο και τις αντιδράσεις πολυμερισμού. Ο ρυθμός των αντιδράσεων πυρόλυσης και πολυμερισμού είναι διαφορετικός για τους παραφινικούς και τους αρωματικούς υδρογονάνθρακες. Οι παραφινικοί H/C's διασπώνται σε ενώσεις ενός ή δυο ατόμων άνθρακα στους 450°C. Οι αντιδράσεις κυκλοποίησης και πολυμερισμού αρχίζουν από τους 600°C. Οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες δεν υφίστανται διάσπαση αλλά απ' ευθείας πολυμερισμό και συμπίκνωση.

Οι κύριες φάσεις σχηματισμού της αιθάλης είναι τρεις: Ο σχηματισμός των μικρών πυρήνων, η αρχική συσσωμάτωση και αύξηση μεγέθους, και τέλος η δημιουργία των ακόμα μεγαλύτερων αδρομερών. Οι σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες που παρατηρούνται σε φλόγες διάχυσης, προωθούν τις αντιδράσεις πολυμερισμού και συμπίκνωσης, πριν τη φάση της αφυδρογόνωσης.

Κάτω από αυτές τις συνθήκες, αρωματικοί και πολυκυκλικοί υδρογονάνθρακες λειτουργούν ως αρχικοί πυρήνες. Οι υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούν σε προαναμειγμένες φλόγες και φλόγες τυρβώδους διάχυσης, προωθούν αντιδράσεις πυρόλυσης και διάσπασης μορίων. Ενδιάμεσο προϊόν αυτών των δράσεων είναι το ακετυλένιο. Οι πυρήνες συσσωμάτωσης αυξάνουν ταχύτερα σε αυτές τις υψηλές θερμοκρασίες. Μετά την εκπομπή τους από τις θερμότερες περιοχές της φλόγας, τα μικρά αλλά πλήρως σχηματισμένα σωματίδια αιθάλης, συνεχίζουν την αύξηση του μεγέθους τους. Μέρος του σχηματιζόμενου άνθρακα καίγεται και ο τελικός ρυθμός εκπομπής αιθάλης είναι ανάλογος της διαφοράς του ρυθμού παραγωγής σωματιδίων και του ρυθμού καύσης τους. [6]

Ο καπνός που εκπέμπεται από τους κινητήρες ντίζελ ανάλογα με το χρώμα του μπορεί να χαρακτηριστεί ως μαύρος, λευκός, γκριζός ή μπλε καπνός. Ο λευκός και ο γκριζός καπνός αποτελεί το μη αναφλέξιμο υπόλειμμα των σταγόνων του καυσίμου. Η παρουσία μπλε καπνού είναι ενδεικτική της εκπομπής άκαυστων σταγονιδίων καυσίμου ή σταγονιδίων λιπαντικού και συνήθως υποδεικνύει την ανάγκη συντήρησης του κινητήρα.

Ο χρονισμός ψεκασμού του καυσίμου, η καλή εκνέφωση του καυσίμου, η καλή ανάμειξη με τον αέρα, η πίεση ψεκασμού, και η γεωμετρία του θαλάμου καύσης είναι παράγοντες που επηρεάζουν το σχηματισμό αιθάλης.

Η αυτανάφλεξη του ντίζελ κατά την συμπίεση του εξαρτάται από τους ρυθμούς διάχυσης του αέρα προς τη ζώνη των σταγονιδίων καυσίμου και των ατμών του καυσίμου μακριά από τα σταγονίδια. Συνεπώς, ο σχηματισμός καπνού είναι δυνατό να ελαττωθεί με την ελάττωση του χρόνου, κατά τον οποίο η ανάφλεξη γίνεται στη φάση διάχυσης. Αυτό επιτυγχάνεται με αύξηση του στροβιλισμού του καυσίμου μέσα στον κύλινδρο, η οποία οδηγεί σε καλύτερη ανάμειξη, σε ταχύτερη ανάφλεξη και σε παραγωγή ενός λεπτότερου σπρέι από σταγόνες καυσίμου, το οποίο ενισχύει το ρυθμό ατμοποίησης του.

Ο περιορισμός των εκπομπών σωματιδίων από κινητήρες ντίζελ είναι δυνατός και με την αλλαγή του σχεδιασμού του θαλάμου καύσης. Στους κινητήρες έμμεσου ψεκασμού το καύσιμο ψεκάζεται σε έναν προθάλαμο, όπου στροβιλίζεται και αναμιγνύεται με τον θερμό συμπιεσμένο αέρα και κατόπιν εισέρχεται στο θάλαμο καύσης. Το μειονέκτημα των κινητήρων έμμεσου ψεκασμού, σε σχέση με τους κινητήρες άμεσου ψεκασμού, είναι η απόδοση μικρότερης ισχύος για το ίδιο μέγεθος κινητήρα.

Η χρήση καταλυτών αντίστοιχων με αυτούς που χρησιμοποιούνται στους βενζινοκινητήρες, αποτελεί μια λύση για την μείωση των εκπομπών σωματιδίων, αλλά παρουσιάζει ουσιαστικά προβλήματα. Καθώς ο κινητήρας ντίζελ λειτουργεί με περίσσεια αέρα, ο καταλύτης που θα εφαρμοστεί στα αέρια της εξάτμισης θα λειτουργεί σε οξειδωτικό περιβάλλον. Επίσης, είναι ενδεχόμενη η αστοχία ενός καταλυτικού συστήματος, λόγω της παρουσίας σωματιδίων στα καυσαέρια και λόγω

της περιεκτικότητας του καυσίμου σε θείο. Το θείο οξειδώνεται σε τριοξείδιο του θείου και σε θειικό οξύ, οδηγώντας σε όξινες εκπομπές, αλλά και σε σχηματισμό θειικών σωματιδίων. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση των σωματιδιακών εκπομπών στην περίπτωση που η περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο είναι άνω του 0,2% κ.β.. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με διατήρηση υψηλής θερμοκρασίας στον καταλύτη, όπου δεν ευνοείται η μετατροπή του SO₂ σε SO₃ και με χρήση ντίζελ χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο.

Η περιεκτικότητα ενός καυσίμου σε θείο επηρεάζει σημαντικά τις σωματιδιακές εκπομπές, λόγω της μετατροπής του σε θειικά άλατα. Η ισχύουσα προδιαγραφή των 500 ppm έχει συμβάλει σημαντικά στην μείωση των εκπομπών σωματιδίων. Πρέπει να σημειωθεί ότι η μείωση των σωματιδιακών εκπομπών από κινητήρες ντίζελ δεν είναι εύκολη, καθώς οι συνθήκες που ευνοούν τη μείωση των εκπομπών σωματιδίων, αυξάνουν την παραγωγή οξειδίων του αζώτου. [2]

Ακόμα, η κίνηση των οχημάτων στους δρόμους προκαλεί την επαναιώρηση της σκόνης του δρόμου. Σωματίδια εκπέμπονται επίσης ως αποτέλεσμα της φθοράς των φρένων και των ελαστικών, κατά την χρήση τους. Υπάρχει η εκτίμηση ότι τα σωματίδια αυτά είναι μεγέθους 3-30 μm.

Fuel Type	Organic Carbon	Elemental Carbon	N ^c	Sources
Diesel				
Denver, CO ^d	23 ± 8%	74 ± 21%	3	1, 2
Los Angeles, CA ^e	36 ± 3%	52 ± 5%	2	3, 4, 5, 6
Bakersfield, CA ^f	49 ± 13%	43 ± 8%	3	7
Phoenix, AZ ^g	40 ± 7%	33 ± 8%	8	6
Unleaded gasoline				
Denver, CO ^d	76 ± 29%	18 ± 11%	8	1, 2
Los Angeles, CA ^e	93 ± 52%	5 ± 7%	11	3, 4, 5, 6
Los Angeles, CA ^f	49 ± 10%	39 ± 5%	11	3, 4, 5, 6
Phoenix, AZ ^g	30 ± 12%	14 ± 8%	9	8
Leaded gasoline				
Denver, CO ^d	67 ± 23%	16 ± 7%	3	1, 2
Los Angeles, CA ^e	52 ± 4%	13 ± 1%	3	3, 4, 5, 6
Los Angeles, CA ^f	31 ± 20%	15 ± 2%	2	3, 4, 5, 6
Mixed (tunnel and roadside)				
Denver, CO	50 ± 24%	28 ± 19%		1, 2
Los Angeles, CA ^d	38 ± 6%	28 ± 5%	1	3
Phoenix, AZ	39 ± 19%	36 ± 11%		8

Σχήμα 3.1: Οργανικός και στοιχειακός άνθρακας στα καυσάγια των κινητήρων οχημάτων [1 σελ. 5-21]

3.1.2 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ

[33]

ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΠΟ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΚΑΥΣΗΣ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.

1. Ανθρακούχα ορυκτά (κάρβουνο)

Τα ανθρακούχα ορυκτά που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας είναι, κατά φθίνουσα σειρά θερμογόνου δύναμης, ο ανθρακίτης, οι πισσούχοι (bituminous) και υποπισσούχοι (subbituminous) άνθρακες, ο λιγνίτης και η τύρφη. Η χρήση τους είναι διαδεδομένη σε λιγότερο ανεπτυγμένες χώρες, που διαθέτουν αποθέματα πρώτων υλών. Στην Ελλάδα η καύση λιγνίτη αποδίδει άνω του 90% του ηλεκτρικού ενεργειακού δυναμικού της χώρας.

Η ατελής καύση των ανθρακούχων ορυκτών οδηγεί σε εκπομπή σωματιδίων αιθάλης. Σε μονάδες, όπου η εισαγωγή του κάρβουνου στις καμίνους γίνεται σε κονιορτοποιημένη μορφή, η καύση του είναι σχεδόν πλήρης. Συνεπώς, τα παραγόμενα σωματίδια συνίστανται κυρίως από την ανόργανη υπολειμματική τέφρα.

[34]

Κύρια συστατικά της ιπτάμενης τέφρας είναι τα SiO_2 (10-70%), Al_2O_3 (8-38%), Fe_2O_3 (2-50%), CaO (0,5-50%), MgO (0,3-8%), Na_2O (0,1-3%), K_2O (0,1-3%), TiO_2 (0,4-4%). Η μέση διάμετρος (υπολογισμένη με βάση την κατά μάζα κατανομή) των σωματιδίων κυμαίνεται μεταξύ 3,6 και 0,4 μm .

2. Πετρέλαιο

Οι σωματιδιακές εκπομπές εξαρτώνται από το είδος του καιγομένου πετρελαίου. Τα ελαφρύτερα κλάσματα πετρελαίου παράγουν σημαντικά λιγότερα σωματίδια απ' ό,τι τα βαρύτερα. Θεωρείται ότι για τα βαρύτερα κλάσματα, η παραγωγή σωματιδίων είναι συνάρτηση της περιεκτικότητας του καυσίμου σε θείο. Αυτό οφείλεται στο ότι, η προέλευση του καυσίμου είτε από ακατέργαστο πετρέλαιο χαμηλού θείου, είτε από διαδικασίες αποθείωσης, έχει ως αποτέλεσμα το να περιέχει λιγότερα ασφαλένια και τέφρα, και να έχει μικρότερο ιξώδες. Συνεπώς, έχει καλύτερα χαρακτηριστικά καύσης.

3. Βιομάζα

Η παραγωγή ενέργειας από βιομάζα, σε μεγάλο βαθμό οφείλεται στην καύση λιγνοκυτταρινούχων φυτικών, υπολειμματικών προϊόντων. Οι εκπομπές από καυστήρες που χρησιμοποιούν ξύλα ως καύσιμη ύλη, κυμαίνονται σε ένα εύρος 4,5-34 kg/τόνο καιγόμενου ξύλου. Περίπου 80-95% των ανόργανων συστατικών του ξύλου μετατρέπεται σε ιπτάμενη τέφρα στον καυστήρα. Στην κατηγορία των PM10 εντάσσεται περίπου το 10-30% των παραγόμενων σωματιδίων ιπτάμενης τέφρας.

Το πρόβλημα της παραγωγής σωματιδίων, κατά την καύση υπολειμματικής ξυλείας, γίνεται ιδιαίτερα σημαντικό στην περίπτωση, όπου η πρώτη ύλη περιέχει θαλασσινό αλάτι, κάτι που συμβαίνει στην περίπτωση κορμών που μεταφέρονται πάνω στο νερό.

Παρά τη δεδομένη εκπομπή σωματιδίων, εκτιμάται ότι η καύση βιομάζας και πιο συγκεκριμένα άχυρου, παράγει περίπου 4 φορές λιγότερα αιωρούμενα σωματίδια σε σχέση με την καύση ανθρακούχων ορυκτών. [35]

ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΠΟ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΑΠΟΤΕΦΡΩΣΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

Τα αιωρούμενα σωματίδια σε αυτήν την περίπτωση αποτελούνται κυρίως από άκαυστη ανόργανη ύλη, που μεταφέρεται από το αέριο που εξέρχεται της καπνοδόχου. Το τυπικό μέγεθος τους κυμαίνεται από 1 έως 50 μm. Μεγαλύτερο ρυθμό παραγωγής σωματιδίων έχουν οι καυστήρες RDF (refuse derived fuel), με ενδεικτική τιμή 20 kg PM10/ ton RDF (χωρίς σύστημα έλεγχου εκπομπών).

Σημαντικό είναι και το μέγεθος της εκπομπής βαρέων μετάλλων με πιο χαρακτηριστικά το αρσενικό, το κάδμιο, το νικέλιο, τον μόλυβδο, τον ψευδάργυρο και τον υδράργυρο, υπό την μορφή των οξειδίων τους και των χλωριδίων τους. Οι εν λόγω ενώσεις παράγονται λόγω της παρουσίας υλικών, όπως μπαταρίες, πλαστικά και μεταλλικά κράματα στα απορρίμματα. Κάποιες από τις παραπάνω ενώσεις έχουν σημεία ζέσης χαμηλότερα των 1000°C, όπου λειτουργούν τα συστήματα αποτέφρωσης, και επομένως ατμοποιούνται στο αέριο εξόδου. Όταν η θερμοκρασία μειώνεται τότε τείνουν να συμπυκνωθούν και να προσροφηθούν στα λεπτόκοκκα σωματίδια του καυσαερίου, με μέγεθος 0,2-0,7μm. Αντίστοιχη συμπεριφορά παρουσιάζουν και αρκετές οργανικές ενώσεις που παράγονται κατά τη διαδικασία.

Είναι δυνατό ορισμένα πιο πτητικά μέταλλα, όπως ο μόλυβδος και ο υδράργυρος να παραμείνουν στην αέρια φάση. Όπως και στις υπόλοιπες διαδικασίες υψηλών θερμοκρασιών, όπου παράγονται σωματίδια, η εναπόθεση των βαρέων μετάλλων σε αυτά εξαρτάται από το μέγεθος των σωματιδίων, τον αριθμό των σωματιδίων και την θερμοκρασία του καυσαερίου.

ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΠΟ ΤΗ ΧΗΜΙΚΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

Στη συνέχεια του κειμένου παρουσιάζονται, οι περιπτώσεις εκπομπής σωματιδίων από τις διάφορες βιομηχανίες παραγωγής χημικών προϊόντων .

1. Παραγωγή καυστικής σόδας και χλωρίνης.

Παρατηρούνται σωματιδιακές εκπομπές υδραργύρου και αμιάντου.

2. Παραγωγή φωσφορικού οξέος.

Σε παλαιότερες βιομηχανίες η χρήση ως πρώτης ύλης φωσφορικών ορυκτών, σε μεγάλες ποσότητες υπό ξηρή μορφή (βράχοι), οδηγούσε σε παραγωγή σημαντικών ποσοτήτων σκόνης, κατά τις διαδικασίες μεταφοράς και χειρισμού. Στις νεότερες εγκαταστάσεις το πρόβλημα λύνεται, αν προηγηθεί υγρή κατεργασία και μείωση μεγέθους της πρώτης ύλης.

3. Παραγωγή θειικού οξέος.

4. Παραγωγή πολυμερών προϊόντων.

Ενδεικτικές τιμές παραγωγής σωματιδίων από βιομηχανίες θερμοπλαστικών πολυμερών είναι 0,02kgTSP/ton πολυαιθυλενίου και 0,02kg/ton πολυπροπυλενίου. Παραγωγή σωματιδίων υπάρχει και κατά την διαδικασία θερμοσκληρυνόμενων πολυμερών και ιδίως εποξειδικών ρητινών όπως η διφαινόλη-α (BPA-bisphenol-a)

5. Παραγωγή φθαλικού ανυδρίτη

Ο φθαλικός ανυδρίτης είναι στερεά ένωση με σημείο εξάχνωσης τους 130°C, οπότε είναι δυνατή η διαφυγή του υπό αέρια μορφή και η συμπύκνωση του στην ατμόσφαιρα.

6. Παραγωγή ενεργού άνθρακα.

Η παραγωγή σωματιδίων γίνεται κατά τις διαδικασίες μεταφοράς, μείωσης μεγέθους και μορφοποίησης σε μπρικέτες του ενεργού άνθρακα. Επίσης, η διαφυγή σωματιδίων πίσσας κατά την παραγωγική διαδικασία αποτελεί μια επιπλέον πηγή.

7. Παραγωγή απορρυπαντικών.

Τα σωματίδια των απορρυπαντικών που εμπεριέχονται στο αέριο εξόδο είναι σχετικά μεγάλα σε μέγεθος. Άνω του 50% αυτών των σωματιδίων έχουν διάμετρο πάνω από 40μm. Αυτά τα σωματίδια αποτελούν περίπου το 95% του βάρους του συνόλου των αερίων ρύπων στο αέριο εξόδο. Αποτελούνται κυρίως από απορρυπαντικές ουσίες, αν και μερικά από τα σωματίδια είναι ανεξάρτητα φωσφορικά, θειικά και άλλες μεταλλικές ενώσεις.

8. Παραγωγή άνυδρου ανθρακικού νατρίου (sodium carbonate or soda ash).

ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΠΟ ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΕΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΕΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

1. Βιομηχανία καφέ

Η εκπομπή σωματιδίων από διαδικασίες επεξεργασίας του καφέ είναι σχετικά μικρή. Υπολογίζεται ότι για παραγωγή που περιλαμβάνει την συνεχή επεξεργασία της πρώτης ύλης οι εκπομπές είναι 0,19 gr σωματιδίων/ft³ , ενώ για ασυνεχείς διεργασίες είναι 0,16 gr/ft³. Η πλειοψηφία των εκπεμπόμενων σωματιδίων ανήκουν στο χονδρόκοκκο κλάσμα και πολλών το μέγεθος υπερβαίνει τα 100 μm.

2. Βιομηχανίες επεξεργασίας δημητριακών

Μεγάλες ποσότητες σωματιδίων απελευθερώνονται κατά την ξήρανση, την διαλογή, την άλεση και την επεξεργασία των δημητριακών. Περισσότερα από το 50% των σωματιδίων είναι μεγαλύτερα από 250μm και συλλέγονται εύκολα. Τα σωματίδια που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα των εγκαταστάσεων αυτών συνιστούν ένα σημαντικό κίνδυνο έκρηξης, επομένως η απομάκρυνση τους από τον χώρο εργασίας είναι απαραίτητη. Συνεπώς, ο έλεγχος της ατμόσφαιρας των εγκαταστάσεων γίνεται με απομάκρυνση στον ελεύθερο αέρα των σωματιδίων που δεν είναι δυνατό να συλλεχθούν. [36]

Πρέπει να αναφερθεί ότι είναι πιθανή η μόλυνση των σωματιδίων από τοξικές ουσίες που είναι παρούσες στην πρώτη ύλη, όπως παρασιτοκτόνα και ζιζανιοκτόνα, αλλά και από το θειάφι που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο των τρωκτικών και των μυκήτων στους χώρους αποθήκευσης.

3. Εκτροφεία ζώων

Πολύ μεγάλες ποσότητες σωματιδίων εκπέμπονται από εκτροφεία ζώων. Σε εκτροφεία βοοειδών στις Η.Π.Α., έχουν μετρηθεί μέσες 24-ωρες συγκεντρώσεις TSP έως και 1700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Σύμφωνα με την EPA (Environmental Protection Agency) ο μέσος ρυθμός εκπομπής σωματιδίων από εκτροφεία βοοειδών είναι 127 kg/ημέρα/1000 εκτρεφόμενα ζώα. Τα PM10 αποτελούν περίπου το 40% των TSP, ενώ τα PM2,5 περίπου το 5%. Η κατά μέγεθος κατανομή των σωματιδίων εμφανίζει μέγιστο στην περιοχή 8,5-12,2 μm .

Στην περίπτωση των πτηνοτροφείων, εκατοντάδες χιλιάδες πτηνών συγκεντρώνονται σε μια τοποθεσία. Βάσει παρατηρήσεων που έγιναν σε ένα τέτοιο εκτροφείο προέκυψε το συμπέρασμα ότι το 40% των σωματιδίων που διέφυγαν δια μέσου του συστήματος αερισμού είχε διάμετρο μικρότερο από 5 μm . [36]

4. Βιομηχανίες παραγωγής λιπασμάτων

Μια σημαντική κατηγορία λιπασμάτων είναι τα νιτρικά λιπάσματα, τα οποία αποτελούνται από νιτρικό αμμώνιο. Η τήξη του παραγόμενου νιτρικού αμμωνίου, προκειμένου να μορφοποιηθεί σε κόκκους, οδηγεί στην παραγωγή αερίων παραπροϊόντων αποσύνθεσης του, δηλαδή αμμωνία και νιτρικό οξύ. Αυτά, συνδυάζονται στην ψυχρότερη ατμόσφαιρα, ώστε να επανασηματισθεί το νιτρικό αμμώνιο υπό μορφή σωματιδίων, μεγέθους κάτω του 1 μm , τα οποία γίνονται αντιληπτά υπό τη μορφή μπλε νέφους..

Ένα άλλο είδος αζωτούχου λιπάσματος, του οποίου η παραγωγή οδηγεί σε σωματιδιακές εκπομπές είναι η ουρία. Σωματίδια παράγονται επίσης και κατά τις διεργασίες παραγωγής φωσφορικών λιπασμάτων, κυρίως υπό τη μορφή φωσφορικού αμμωνίου.

ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΠΟ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΚΕΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΕΣ.

1. Βιομηχανίες παραγωγής αλουμινίου

Η εκπομπή σωματιδίων από μονάδες παραγωγής αλουμινίου, γίνεται κυρίως από τα ηλεκτρολυτικά κελιά στα οποία γίνεται η μετατροπή της αλουμίνας. Οι σωματιδιακές εκπομπές ανέρχονται στα 20-35kg/τόνο παραγόμενου αλουμινίου και αποτελούνται

κυρίως από φθοριούχες ενώσεις (CaF_2), στοιχειακό άνθρακα και αλουμίνα. Επίσης, υπάρχει εκπομπή σωματιδίων κατά τις διαδικασίες ξήρανσης του βωξίτη, προ της κατεργασίας του σε αλουμίνα.

2. Παραγωγή μεταλλουργικού κωκ

Εκπέμπονται προϊόντα συμπύκνωσης αερίων ενώσεων, τα οποία έχουν μέγεθος μικρότερο από $1\mu\text{m}$.

3. Βιομηχανία επεξεργασίας χαλκού

Κύριες σωματιδιακές ενώσεις που παράγονται είναι ο χαλκός και τα οξείδια του σιδήρου. Παράγονται επίσης οξείδια άλλων μετάλλων (Sb, Cd, Pb, Hg, Zn) και θεικές ενώσεις.

4. Βιομηχανία παραγωγής ψευδάργυρου

Η σημαντικότερη διεργασία κατά την οποία υπάρχουν σωματιδιακές εκπομπές είναι η μετατροπή του ορυκτού σφαλερίτη (ZnS) σε οξείδιο του ψευδαργύρου (ZnO). Οι εκπομπές σωματιδίων στην περίπτωση χρησιμοποίησης αντιδραστήρων ρευστοστερεάς κλίνης ανέρχονται σε $900\text{kg}/\text{τόνο}$ παραγόμενου ψευδαργύρου.

5. Βιομηχανία παραγωγής μολύβδου

Εκπέμπονται διάφορα είδη σωματιδίων, συμπεριλαμβανόμενων οξειδίων του μολύβδου, χαλαζία, ασβεστόλιθου, σιδηροπυρίτη, αρσενικού και άλλων μεταλλικών ενώσεων. Τα εκπεμπόμενα σωματίδια από μια μονάδα παραγωγής μολύβδου ανήκουν κατά 80%, περίπου, στην κατηγορία των $\text{PM}_{2,5}$, ενώ το 60-70% των συνολικών σωματιδίων έχουν μέγεθος κάτω από $1\mu\text{m}$.

6. Χυτήρια

Η εκπομπή σωματιδίων από τις υψικαμίνους των χυτηρίων σιδηρού υπολογίζεται στα $13\text{-}17\text{ kg}/\text{τόνο}$ πρώτης ύλης που τήκεται. Τα εκπεμπόμενα σωματίδια αποτελούνται κυρίως από FeO , MgO , MnO , CaO , SiO_2 , ZnO , Pb και Cd . Μόνο το 15% αυτών των σωματιδίων είναι PM_{10} .

7. Χαλυβουργεία

Οι εγκαταστάσεις παραγωγής χάλυβα εκπέμπουν σημαντικές ποσότητες σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Τα περισσότερα από αυτά τα σωματίδια είναι οξειδία του σιδηρού ή οξειδία μετάλλων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ειδικών κραμάτων και έχουν μέγεθος μικρότερο από 2 μm . Η αλλαγή που συντελέστηκε τις δυο τελευταίες δεκαετίες προς τους κλιβάνους οξυγόνου έχει ως αποτέλεσμα την εκπομπή σωματιδίων μικρότερου μεγέθους και μεγαλύτερων ποσοτήτων. [36]

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΝΟΡΓΑΝΩΝ ΚΑΙ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ.

1. Τσιμεντοβιομηχανία

Οι κύριες διαδικασίες κατά τις οποίες παράγονται αιωρούμενα σωματίδια είναι η έψηση, η ψύξη και η άλεση του τσιμέντου. Κατά την έψηση, τα σωματίδια απομακρύνονται σχεδόν ολοκληρωτικά από τα αέρια της καμίνου, ακόμα και για παλιές εγκαταστάσεις. Η συλλεγόμενη από τα αέρια της καμίνου σκόνη, γνωστή ως CKD (cement kiln dust) συνήθως ανατροφοδοτείται στην διεργασία, ενώ άλλοτε απομακρύνεται από αυτήν και χρησιμοποιείται συνήθως ως πληρωτικό υλικό. Ο χειρισμός, η αποθήκευση και η απόθεση της CKD είναι πιθανές διαδικασίες εκπομπής σωματιδίων.

Τα λεπτόκοκκα σωματίδια που παράγονται κατά την άλεση του τσιμέντου συνιστούν το 30-65% των ολικών παραγόμενων σωματιδίων, ανάλογα με τον τύπο του τσιμέντου που παράγεται. Αναφέρεται ότι περίπου το 90% των σωματιδίων του τσιμέντου Portland διέρχονται από κόσκινο 325 mesh (44 μm)

2. Παραγωγή fiberglass

Η πλειοψηφία των εκπεμπόμενων σωματιδίων, που βρίσκονται στα αέρια της καπνοδόχου ανήκουν στην κατηγορία των PM10 και αποτελούνται κυρίως από CaCO_3 , NaF, CaF_2 , SiO_2 , Na_2SO_4 και βορικό οξύ.

3. Υαλουργία

Τα σωματίδια που παράγονται κατά την διαδικασία της θερμικής διεργασίας της τήξης, είναι μεγέθους μικρότερου από 1 μm . Τα κύρια συστατικά των ολικών εκπεμπόμενων σωματιδίων είναι Na_2SO_4 , NaF, NaSiF_6 , B_2O_3 .

4. Λατομεία

Τα ολικά παραγόμενα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούνται κατά σχετικά μικρό ποσοστό από PM₁₀ (5-30%), ενώ η παραγωγή PM_{2,5} είναι αμελητέα. Συνεπώς, η επίδραση των εκπομπών στην ανθρώπινη υγεία είναι λιγότερο σημαντική σε σχέση με τα προβλήματα που προκαλούνται από την απόθεση των αιωρούμενων σωματιδίων.

Τα δεδομένα που ποσοτικοποιούν τις εκπομπές σε σωματίδια είναι ανεπαρκή, όμως κάποιες έρευνες που έγιναν στις ΗΠΑ δίνουν μία προσέγγιση για εκπομπές TSP. Σύμφωνα με αυτές, οι εκπομπές σε ζώνες με μεγάλη οικονομική δραστηριότητα σε εξέλιξη, αναμένεται να εκπέμπονται 2,5 τόνοι ανά εκτάριο ανά μήνα ολικών αιωρούμενων σωματιδίων. Οι συντελεστές εκπομπών που έχει υιοθετήσει η US-EPA για μεταφορές πρώτων υλών, εργασίες σε ορυχεία και λατομεία, ποικίλουν από 0,007 έως 0,119 kg/τόνο ύλης .

Άλλες διαδικασίες κατά τις οποίες παράγονται σωματίδια είναι η εξόρυξη άνθρακα και βαρέων μετάλλων, η παραγωγή ασβέστη και οι χωματουργικές εργασίες. [7]

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΧΗΜΙΚΗΣ ΧΑΡΤΟΜΑΖΑΣ

Οι σωματιδιακές εκπομπές κατά την παραγωγή χημικής χαρτόμαζας περιλαμβάνουν κυρίως Na₂SO₄, K₂SO₄, Na₂CO₃, Na₂S, CaCO₃, CaO. Άνω του 75% των ολικών σωματιδιακών εκπομπών ανήκουν στα PM₁₀, εκ των οποίων τα PM_{2,5} συνιστούν ποσοστό έως και 90%.

ΔΙΥΛΙΣΤΗΡΙΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ

Σύμφωνα με εκτιμήσεις (1987), η εκπομπή σωματιδίων από την διύλιση πετρελαίου στις ΗΠΑ ανέρχεται σε 771 ton/έτος. Σε αυτά περιλαμβάνονται και επικίνδυνες ενώσεις όπως PAH's, βανάδιο, νικέλιο, μόλυβδος, ψευδάργυρος, κοβάλτιο, μολυβδαίνιο, χαλκός, αρσενικό, αντιμόνιο, βάριο, βηρύλλιο, κάδμιο και χρώμιο.

3.1.3 ΟΙΚΙΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

Η καύση κάρβουνου μέσα στα σπίτια ήταν στο παρελθόν μια σημαντική πηγή αιωρούμενων σωματιδίων κατά τους χειμερινούς μήνες. Στην εποχή μας μόνο σε κάποιες βόρειες ευρωπαϊκές πόλεις, όπως το Belfast, οι κάτοικοι εξακολουθούν να χρησιμοποιούν κάρβουνο, για οικιακή χρήση. Επίσης, η καύση ξύλων για οικιακή θέρμανση, για την οποία υπάρχει νέο ενδιαφέρον στις ανεπτυγμένες χώρες, αποτελεί μια επιπλέον παράμετρο αέριας σωματιδιακής ρύπανσης. [37]

Η πλέον δημοφιλής μέθοδος οικιακής θέρμανσης είναι η καύση πετρελαίου. Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, αυτή οδηγεί σε σημαντική εκπομπή αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Αναφέρεται ότι στην Ελλάδα, η χρήση πετρελαίου θέρμανσης επιβαρύνει ακόμα περισσότερο το περιβάλλον, καθώς το πετρέλαιο θέρμανσης περιέχει 2 φορές περισσότερα ανόργανα υλικά και 4 φορές περισσότερο θείο από το κοινό ντίζελ κίνησης. [6]

3.1.4 ΔΑΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΦΩΤΙΕΣ

Όσον αφορά στις δασικές και γεωργικές φωτιές η γενική συμβολή στη μόλυνση της ατμόσφαιρας από τον καπνό της φωτιάς είναι προσωρινή, όμως σε περιοχές με μεγάλες δασικές πυρκαγιές αυτή η πηγή μπορεί να αποκτήσει μεγάλη σημασία. Τόσο οι άμεσες εκπομπές όσο και η επαναιώρηση σωματιδίων από την καμένη γη μπορούν να αποτελέσουν μια σημαντική πηγή αιωρούμενων σωματιδίων. Το πυρογενές αυτό υλικό αποτελείται από οργανική ύλη, στοιχειακό άνθρακα και ανόργανα υλικά. Είναι σε μεγάλο ποσοστό μεγέθους κάτω από 10 μ m και γι' αυτό μπορεί εύκολα να επαναιωρηθεί λόγω του ανέμου.

Εκτιμάται ότι οι γεωργικές και δασικές πυρκαγιές, στις τροπικές ζώνες, είναι υπεύθυνες για την εκπομπή στην ατμόσφαιρα 1Mtn/έτος χαλκού, 3Mtn/έτος ψευδαργύρου και 2,2Gtn/έτος στοιχειακού άνθρακα. Κατά μέσο όρο αυτές οι τιμές αντιπροσωπεύουν, αντίστοιχα, το 2%, το 3% και το 12% του παγκόσμιου συνόλου εκπομπών, αυτών των χημικών ειδών. [38]

3.2 ΦΥΣΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

3.2.1 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΕ ΜΕΓΑΛΕΣ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ

Τα αέρια ρεύματα που παρασύρουν αιωρούμενα σωματίδια από την έρημο της Σαχάρας έχει εκτιμηθεί ότι μεταφέρουν 150 εκ. τόνους σκόνης ετησίως προς το βόρειο ημισφαίριο. Με τον ίδιο τρόπο εκτιμάται ότι μεταφέρονται 3,9 εκ. τόνοι σωματιδίων, τα οποία τελικά γίνονται εμφανή ως κόκκινη βροχή, από την έρημο της Σαχάρας προς τη βορειοδυτική περιοχή της Μεσογείου, ετησίως. Αν και ο κύριος όγκος των προερχόμενων από τη Σαχάρα σωματιδίων διοχετεύεται προς τη περιοχή της Μεσογείου, τέτοια σωματίδια μεταφέρονται επίσης προς τη βόρεια Ευρώπη και προς άλλες περιοχές, όπως την Αμερικανική ήπειρο.

Το φαινόμενο αυτό σχετίζεται άμεσα με τις ανεμοθύελλες στις ερήμους που είναι συνηθισμένες κατά την διάρκεια περιόδων με ισχυρούς ανέμους. Ωστόσο, το ίδιο παρατηρείται και σε άλλες περιοχές της υφής. Η ένταση του φαινομένου γενικά μειώνεται όσο η υγρασία του εδάφους αυξάνεται και όσο περισσότερο καλύπτεται η επιφάνεια του από βλάστηση. Εκτιμάται ότι κάθε χρόνο η συνολική συνεισφορά του φαινομένου στα αιωρούμενα σωματίδια του βόρειου ημισφαιρίου είναι 300 εκατομμύρια τόνοι.

Τα σωματίδια που μεταφέρονται από τη Σαχάρα είναι συνήθως χονδρόκοκκα και συχνά έχοντας μικρό χρόνο ζωής μπορούν να μετατοπισθούν σε σχετικά μικρές ακτίνες. Όμως η ανίχνευση τους από την βόρεια Αφρική σε χώρες της βόρειας Ευρώπης αποδεικνύει ότι αυτός ο περιορισμός δεν ισχύει πάντα.

Η σύσταση των σωματιδίων που προέρχονται από τη Σαχάρα, εμφανίζει υψηλή περιεκτικότητα σε ασβεστίτη, με κάποιες ποσότητες γύψου, αργιλικών υλικών και μετάλλων.

3.2.2 ΕΠΑΝΑΙΩΡΗΣΗ ΣΚΟΝΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΕΛΑΦΟΣ

Η επαναιώρηση της σκόνης από το έδαφος οφείλεται σε μετεωρολογικούς μηχανισμούς, όπως είναι ο άνεμος, οι μεταβολές στη θερμοκρασία και η υγρασία, διαμέσου των οποίων γίνεται δυνατή η αποσάθρωση πετρών και ορυκτών. Η σκόνη αυτή είναι δυνατόν να μεταφερθεί από τον άνεμο. Η κατανομή της ως προς το μέγεθος εξαρτάται από το είδος της αρχικής πηγής (πέτρα, ορυκτό). Γενικά το μέγεθος κυμαίνεται μέσα στα όρια των 5 έως 50μm. Η χημική σύσταση της σκόνης από χώμα είναι όμοια με εκείνη της γεωλογικής πηγής, όπως δολομίτης, γύψος, χαλαζία και αργιλικά πετρώματα.

Η επίδραση των ανέμων σε χαλαρές επιφάνειες ξηρού χώματος έχει ως αποτέλεσμα να μεταφέρονται τα σωματίδια αυτά στον αέρα. Οι παράγοντες που εντείνουν το φαινόμενο είναι το ποσό της εκτιθέμενης ξηρής επιφάνειας από σωματίδια και η ταχύτητα του ανέμου. Στις πόλεις, τέτοιου είδους εκτεθειμένες χωμάτινες επιφάνειες είναι μάλλον σπάνιες, ιδιαίτερα στο κέντρο των πόλεων. Όμως υπάρχουν αξιοσημείωτες ποσότητες σκόνης πάνω στους δρόμους και στα πεζοδρόμια. Η σκόνη αυτή προέρχεται από :

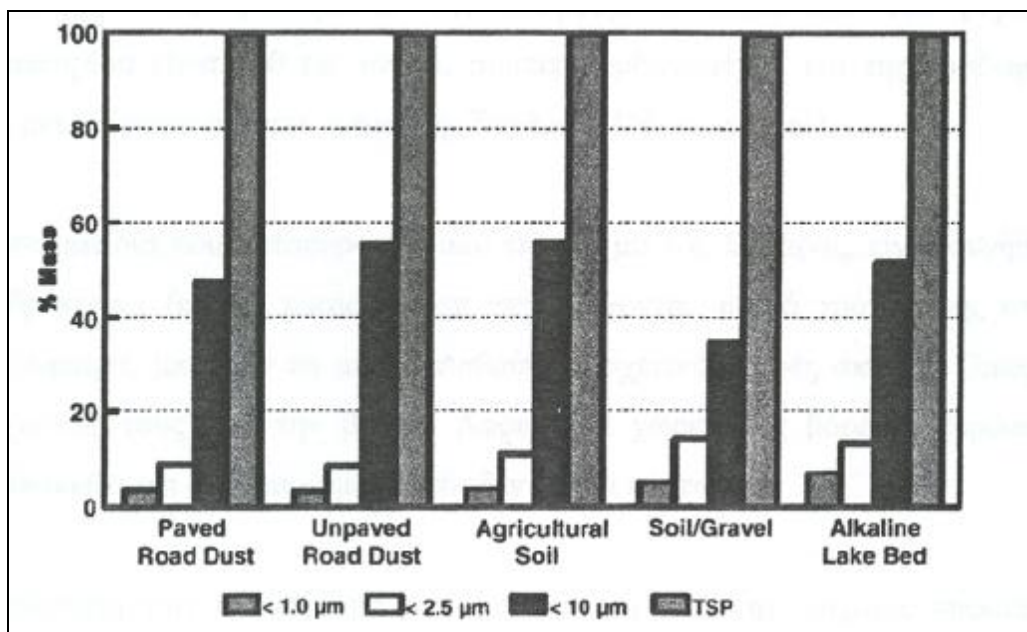
- την σκόνη που μεταφέρεται πάνω στα ελαστικά των οχημάτων
- την σκόνη που καθιζάνει από την ατμόσφαιρα
- την φθορά της επιφάνειας του ίδιου του δρόμου
- την σταδιακή αποσάθρωση τμημάτων των οχημάτων ιδιαίτερα των ελαστικών

Καθώς η σκόνη αυτή επικάθεται επάνω σε επιφάνειες όπου και ξηραίνεται εύκολα, είναι εκτεθειμένη στους αέριους στροβιλισμούς που δημιουργεί το πέρασμα των οχημάτων. Με τον τρόπο αυτό υπάρχει πάντα μία εν δυνάμει πηγή αιωρούμενων σωματιδίων. Η ποσότητα των σωματιδίων που μεταφέρονται στην ατμόσφαιρα είναι εξαιρετικά δύσκολο να προβλεφθεί ή μετρηθεί καθώς εξαρτάται έντονα από παράγοντες όπως:

- το φορτίο των σωματιδίων που επικάθονται στην επιφάνεια
- τον χρόνο ξήρανσης που προηγείται της επαναιώρησης
- την ταχύτητα των κινούμενων οχημάτων

Ο ρυθμός εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων PM10 στην Καλιφόρνια για το 1995 (όπως εκτιμήθηκε στα πλαίσια της ολοκληρωμένης ερευνάς για την παρακολούθηση των επιπέδων PM10 και PM2,5 στην ατμόσφαιρα), από την επαναιώρηση σκόνης από τους δρόμους, είναι 12,9 ton/ημέρα για ασφαλτοστρωμένους δρόμους και 21,0ton/ημέρα για μη ασφαλτοστρωμένους δρόμους. Η αντίστοιχη τιμή για την αερομεταφερόμενη σκόνη είναι 7,6 ton/ημέρα. [39]

Η κατανομή κατά μέγεθος και η χημική σύσταση των αιωρούμενων σωματιδίων στις αστικές περιοχές δίνουν μια ξεκάθαρη ένδειξη ότι αυτή η πηγή συνεισφέρει σημαντικά στο φορτίο σε αιωρούμενα σωματίδια στις πόλεις.



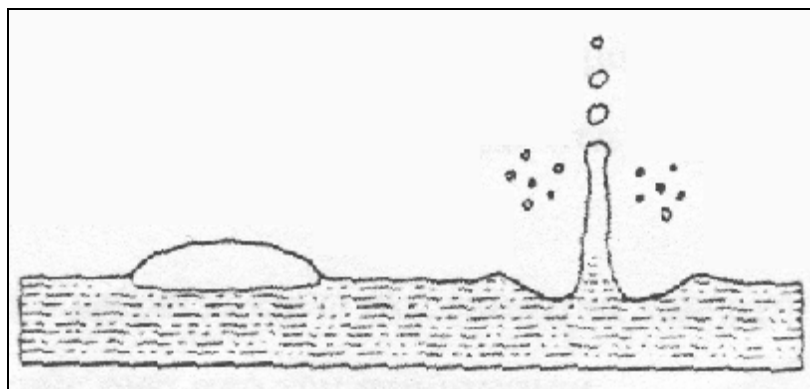
Σχήμα 3.2: Κατανομή κατά μέγεθος αιωρούμενων σωματιδίων από διάφορες πηγές, μετά από επαναιώρηση σε εργαστηριακές συνθήκες [1 σελ. 5-9]

3.2.3 ΥΔΡΟΛΥΜΑ ΘΑΛΑΣΣΗΣ

Η θραύση των κυμάτων στην θάλασσα δημιουργεί πολλά μικρά σταγονίδια από θαλασσινό νερό τα οποία ξηραίνονται με την εξάτμιση, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται αιωρούμενα σωματίδια από θαλασσινό αλάτι. Σωματίδια επίσης εκπέμπονται και άμεσα με το σπάσιμο αέριων φυσαλίδων στην επιφάνεια της θάλασσας. Τα σωματίδια αυτά έχουν μέγεθος, που κυμαίνεται σε ένα εύρος από 1 έως 20μm. Αν και τα περισσότερα σωματίδια ανήκουν στο χονδρόκοκκο κλάσμα, ένα

μικρό ποσοστό της μάζας τους έχει μέγεθος αρκετά μικρό ώστε να έχουν χρόνο παραμονής στην ατμόσφαιρα έως και τρεις ημέρες.

Το αιωρούμενο θαλασσινό αλάτι έχει μεγάλη ομοιότητα στη χημική του σύσταση με το θαλασσινό αλάτι, με ανιόντα (θειικά και χλωρίου), κατιόντα (ασβεστίου, μαγνησίου και φωσφόρου). Επίσης έχουν ανιχνευθεί σε περιοχές με λιμενικές εγκαταστάσεις και μεταλλικά ιχνοστοιχεία όπως κάδμιο, μόλυβδος, βανάδιο και ψευδάργυρος. Αυτός ο εμπλουτισμός σε μέταλλα προέρχεται από εκείνες τις φυσαλίδες του νερού που πρώτα έρχονται σε επαφή με μεταλλικά αντικείμενα πριν διαραγούν.



Σχήμα 3.3: Σχηματισμός υδρολύματος θαλάσσης (sea spray)

3.2.4 ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΕΚΡΗΞΕΙΣ

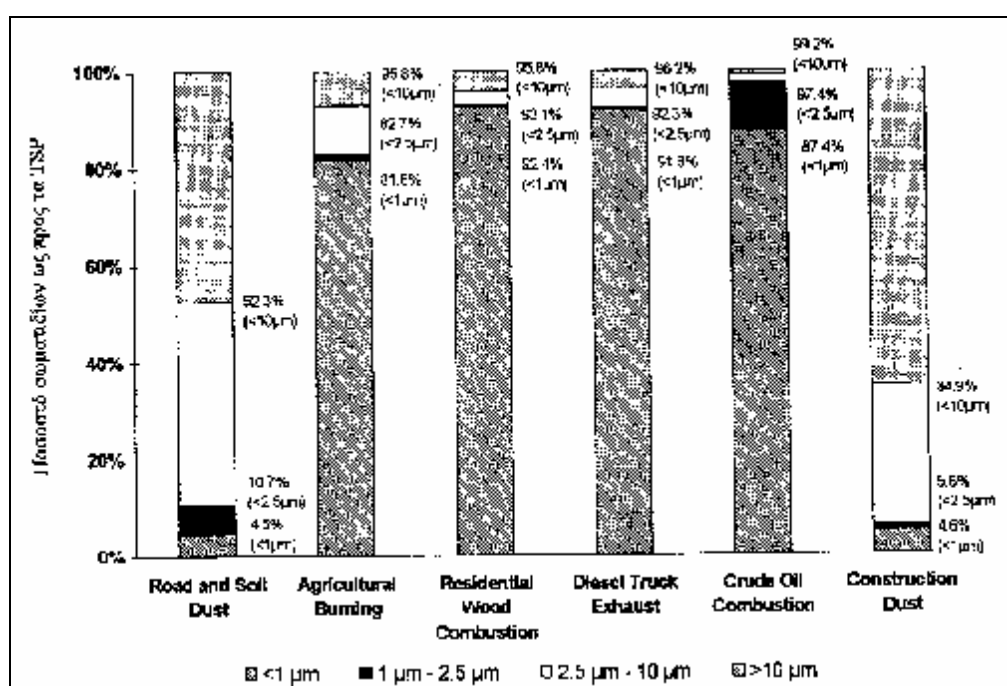
Η ηφαιστειακή δραστηριότητα λαμβάνει ακόμη χώρα σε κάποιες νησιωτικές περιοχές της Ευρώπης όπως είναι οι Κανάριοι Νήσοι και η Σικελία. Τα σωματίδια με τη μορφή ιπτάμενης τέφρας που εκπέμπουν τα ηφαίστεια μπορούν να αποτελέσουν μια σημαντική τοπική πηγή σωματιδίων σε κοντινές πόλεις, αλλά και προδρόμων ενώσεων στην ατμόσφαιρα. Για παράδειγμα το ηφαίστειο στο βουνό Αίτνα εκτιμήθηκε ότι εκπέμπει κατά μέσο όρο 4.000 τόνους διοξειδίου του θείου ημερησίως.

Οι ηφαιστειακές εκρήξεις αποτελούν μια συγκεντρωμένη πηγή όλων των ατμοσφαιρικών ρύπων και ιδιαίτερα των σωματιδίων. Για παράδειγμα η έκρηξη του ηφαιστείου της Αγίας Ελένης στις 18 Μαΐου 1980 εκτόξευσε όγκο σωματιδίων στην

ατμόσφαιρα ίσο με 4 km³. Η ποσότητα αυτή είναι μεγαλύτερη από το συνολικό ετήσιο πόσο των εκπεμπόμενων σωματιδίων που οφείλονται σε ανθρώπινες δραστηριότητες στην Βόρεια Αμερική. Το μέγεθος των εκπεμπόμενων σωματιδίων κυμάνθηκε από στέρεα σώματα, ορατά με το γυμνό μάτι, έως και υπερλεπτόκοκκα σωματίδια διαμέτρου 0,001μm

Η ενέργεια των ηφαιστειακών εκρήξεων είναι συχνά αρκετή ώστε να μεταφέρει τα αέρια και τα σωματίδια δια μέσου των χαμηλών στρωμάτων της ατμόσφαιρας, στην στρατόσφαιρα, όπου οι φυσικές διαδικασίες απομάκρυνσης είναι πολύ βραδείες.

Η χημική ανάλυση της ηφαιστειακής τέφρας που λήφθηκε σε απόσταση 650km από το σημείο της έκρηξης, έδειξε ότι το 60-70% της σύστασης ήταν διοξείδιο του πυριτίου και το 16-18% τριοξείδιο του αργιλίου. Η χημική σύσταση και η κατανομή μεγεθών της τέφρας μεταβαλλόταν ανάλογα με την απόσταση από την πηγή, υποδεικνύοντας ότι τα συγκεκριμένα χημικά συστατικά συγκεντρώνονταν σε συγκεκριμένες τάξεις μεγέθους. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι ορισμένα στοιχεία, όπως ο μόλυβδος, ο ψευδάργυρος και το αρσενικό, έχουν χαμηλές σχετικά θερμοκρασίες εξάτμισης και συγκεντρώθηκαν σε σωματίδια μικρού μεγέθους, που σχηματίστηκαν με εξάχνωση μετά την έκρηξη. [36]



Σχήμα 3.4: Κατανομή αιωρούμενων σωματιδίων κατά μέγεθος σε πηγές της πολιτείας της Καλιφόρνια, ΗΠΑ [13 σελ.2-4]

Aerosol species	Sources			
	Primary		Secondary	
	Natural	Anthropogenic	Natural	Anthropogenic
SO ₂	Sea spray	Fossil fuel combustion	Oxidation of reduced sulfur gases emitted by the oceans and wetlands; and SO ₂ and H ₂ S emitted by volcanism and forest fires	Oxidation of SO ₂ emitted from fossil fuel combustion
NO _x	—	Motor vehicle exhaust	Oxidation of NO _x produced by soils, forest fires, and lightning	Oxidation of NO _x emitted from fossil fuel combustion; and in motor vehicle exhaust
Minerals	Erosion, re-entrainment	Fugitive dust: paved, unpaved roads; agriculture and forestry	—	—
NH ₃	—	Motor vehicle exhaust	Emissions of NH ₃ from wild animals, undisturbed soil	Emissions of NH ₃ from animal husbandry, sewage, fertilized land
Organic carbon (OC)	Wild fires	Open burning, wood burning, cooking, motor vehicle exhaust, tire wear	Oxidation of hydrocarbons emitted by vegetation, terpenes, waxes; wild fires	Oxidation of hydrocarbons emitted by motor vehicles, open burning, wood burning
Elemental carbon	Wild fires	Motor vehicle exhaust, wood burning, cooking	—	—
Metals	Volcanic activity	Fossil fuel combustion, smelting, brake wear	—	—

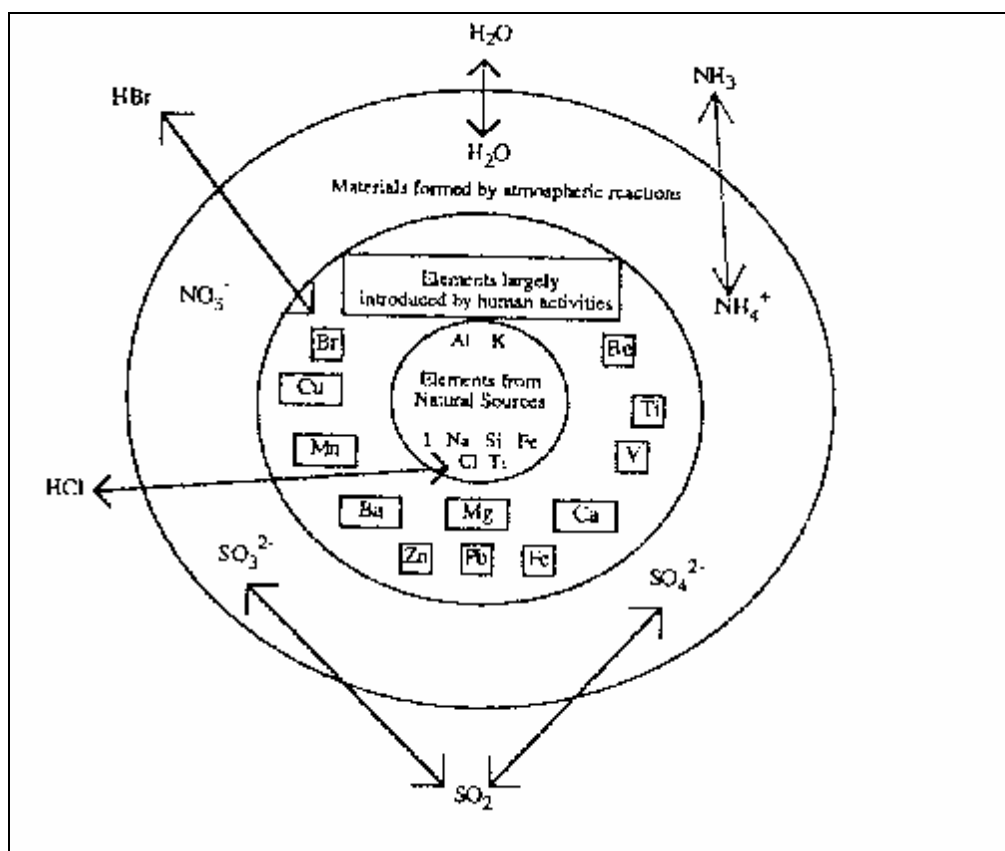
Σχήμα 3.5: Σύσταση λεπτόκοκκων αιωρούμενων σωματιδίων και κύριες πηγές [1, σελ. 5-2]

Aerosol species	Sources			
	Primary		Secondary	
	Natural	Anthropogenic	Natural	Anthropogenic
Minerals	Erosion, re-entrainment	Fugitive dust: paved, unpaved road dust, agriculture and forestry	—	—
Metals	Erosion, re-entrainment, organic debris	—	—	—
Miscellaneous ions	Sea spray	Road salting	—	—
Organic carbon	—	Tire and asphalt wear	—	—
Organic debris	Plant, insect fragments	—	—	—

Σχήμα 3.6: Σύσταση χονδρόκοκκων αιωρούμενων σωματιδίων και κύριες πηγές [1, σελ. 5-2]

3.3 ΣΧΕΣΗ ΠΗΓΗΣ - ΕΚΠΕΜΠΟΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Η ανάγκη κατανόησης του ποσοστού της συμβολής της κάθε πηγής στο συνολικό πρόβλημα αιωρούμενων σωματιδίων μιας περιοχής και η πρόβλεψη των χημικών και φυσικών ιδιοτήτων του μείγματος των αιωρούμενων σωματιδίων μιας περιοχής, οδήγησε στην προσπάθεια αποκάλυψης της σχέσης πηγής και εκπεμπόμενων σωματιδίων. Μια συσχέτιση που αφορά το μέγεθος και την σύσταση του σωματιδίου τόσο από πλευράς χημικών στοιχείων/ενώσεων όσο και από πλευράς ποσόστωσής τους μέσα στο σωματίδιο. Συμπεράσματα με σημείο αναφοράς πρώτα ένα σωματίδιο και κατόπιν μια πηγή παρατίθενται παρακάτω με τα εξής παραδείγματα: [3,10,13]

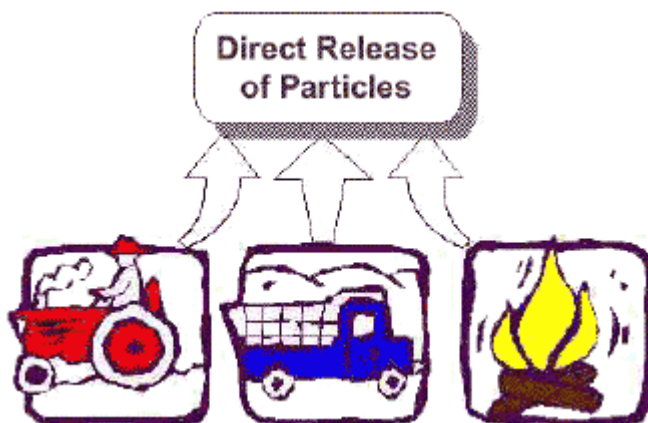


Σχήμα 3.7: Χημική στοιχειακή σύσταση ανόργανου σωματιδίου και προέλευσής της [3 σελ.257]

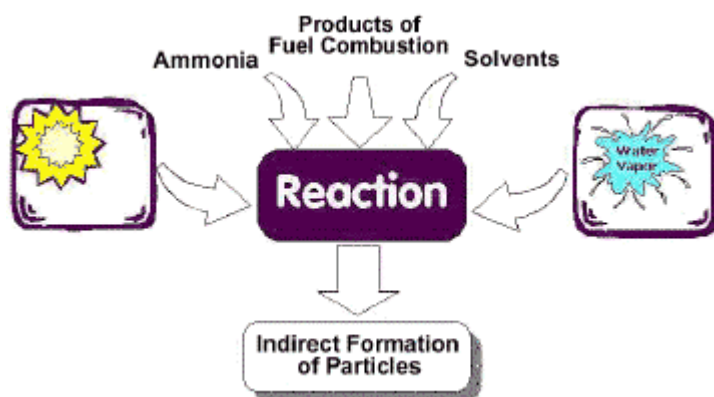
Με βάση την πηγή, αντιστοιχείται η χημική σύσταση και ο τύπος των σωματιδίων παράγονται σε κάθε πηγή. Ο πίνακας του σχήματος 3.8 που ακολουθεί περιέχει μερικές χαρακτηριστικές τέτοιες πηγές.

Source Type	Dominant Particle Size	Chemical Abundances in Percent Mass			
		<0.1%	0.1 to 1%	1 to 10%	>10%
Paved Road Dust ^{11,13,16C}	Coarse (2.5 to 10 µm)	Cr, Sr, Pb, Zr	SO ₄ ²⁻ , Na ⁺ , K ⁺ , P, S, Cl, Mn, Zn, Ba, Ti	Elemental Carbon (EC), Al, K, Ca, Fe	Organic Carbon (OC), Si
Unpaved Road Dust ^{11,13,16C}	Coarse	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ , P, Zn, Sr, Ba	SO ₄ ²⁻ , Na ⁺ , K ⁺ , P, S, Cl, Mn, Ba, Ti	OC, Al, K, Ca, Fe	S
Construction ^{14,15,16}	Coarse	Cr, Mn, Zn, Sr, Ba	SO ₄ ²⁻ , K ⁺ , S, Ti	OC, Al, K, Ca, Fe	S
Agriculture Soil ^{15D}	Coarse	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ , Cr, Zn, Sr	SO ₄ ²⁻ , Na ⁺ , K ⁺ , S, Cl, Mn, Ba, Ti	OC, Al, K, Ca, Fe	S
Natural Soil ^{15A-15D}	Coarse	Cr, Mn, Sr, Zn, Ba	Cl, Na ⁺ , EC, P, S, Cl, Ti	OC, Al, Mg, K, Ca, Fe	Si
Lake Bed ^{11,13,16}	Coarse	Mn, Sr, Ba	K ⁺ , Ti	SO ₄ ²⁻ , Na ⁺ , OC, Al, S, Cl, K, Ca, Fe	Si
Motor Vehicle ^{13,20,25}	Fine (0 to 2.5 µm)	Cr, Ni, Y, Sr, Ba	Si, Cl, Al, Sr, P, Ca, Mn, Fe, Zn, Br, Pb	Cl, NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , NH ₄ ⁺ , S	OC, EC
Vegetative Burning ^{13,20,25}	Fine	Ca, Mn, Fe, Zn, Br, Rb, Pb	NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , NH ₄ ⁺ , Na ⁺ , S	Cl, K ⁺ , Ca, K	OC, EC
Residual Oil Combustion ^{31,22,23}	Fine	K ⁺ , OC, Cl, Ti, Cr, Co, Ga, Se	NH ₄ ⁺ , Na ⁺ , Zn, Fe, Si	V, OC, EC, Ni	S, SO ₄ ²⁻
Incinerator ²⁴⁺²⁷	Fine	V, Mn, Cu, Ag, Sr	K ⁺ , Al, Ti, Zn, Hg	NO ₃ ⁻ , Na ⁺ , EC, Si, S, Ca, Fe, Br, La, Pb	SO ₄ ²⁻ , NH ₄ ⁺ , OC, Cl
Coal-Fired Boiler ^{23,28}	Fine	Cl, Cr, Mn, Ga, As, Se, Br, Rb, Zr	NH ₄ ⁺ , P, K, Ti, V, Ni, Zn, Sr, Ba, Pb	SO ₄ ²⁻ , OC, EC, Al, S, Ca, Fe	Si
Oil-Fired Power Plant ^{23,28}	Fine	V, Ni, Ba, As, Br, Ba	Al, Si, P, K, Zn	NH ₄ ⁺ , OC, EC, Na, Ca, Pb	S, SO ₄ ²⁻
Smelter Fire ^{23,24}	Fine	V, Mn, Sb, Cr, Ti	Cd, Zn, Mg, Na, Ca, K, Se	Fe, Cu, As, Pb	S
Ammonia Boiler ²⁴	Fine	V, Cl, Ni, Mn	SO ₄ ²⁻ , Sb, Pb	S	None reported
Marine ^{11,13,16}	Fine and Coarse	Br, V, Ni, Sr, Zr, Pd, Ag, Sn, Sb, Pb	Al, Si, K, Ca, Fe, Cu, Zn, Ba, La	NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , OC, EC	Cl, Na ⁺ , Na, Cl

Σχήμα 3.8: Τοπική χημική σύσταση και τύπος σωματιδίων σε αντιστοιχία με την πηγή [10 σελ 2-5]



Σχήμα 3.9: Πηγές άμεσης δημιουργίας αιωρούμενων σωματιδίων



Σχήμα 3.10: Πηγές έμμεσης δημιουργίας αιωρούμενων σωματιδίων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

4.1 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ



4.1.1 ΣΥΜΠΤΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ

Τα PM10 και ιδιαίτερα τα PM2,5 είναι συνδεδεμένα με σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία. Τα συμπτώματα που αναφέρονται στην βιβλιογραφία είναι πολλά. Αναφέρουμε τα συνηθέστερα: Μπορούν να προκαλέσουν ή να επιδεινώσουν προβλήματα του αναπνευστικού συστήματος και καρδιοαγγειακές παθήσεις, να επιδράσουν στο μηχανισμό αυτοκαθαρισμού του σώματος από ξένα σωματίδια, να προκαλέσουν βλάβη στους ιστούς των πνευμόνων, καρκινογενέσεις και πρόωρο θάνατο.

Στις συνέπειες συγκαταλέγονται ακόμη και κάποιες λιγότερο επώδυνες, όπως επίμονος βήχας, φλέγματα, ζαλάδες και αδιαθεσία. Είναι γενικά παραδεκτό ότι η μακροχρόνια έκθεση του ανθρώπου σε υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων μπορεί να μειώσει τη διάρκεια της ζωής από 1 έως 2 χρόνια κατά μέσο όρο. Ακόμα, υπάρχουν μελέτες που δείχνουν ότι τα σωματίδια δρουν επιβαρυντικά για την υγεία ακόμη και σε συγκεντρώσεις κατά πολύ μικρότερες από τα προβλεπόμενα ανώτατα επιτρεπτά όρια. [40,41,42,43]

Το αναπνευστικό σύστημα είναι ικανό να φιλτράρει τα αιωρούμενα σωματίδια με μεγέθη που κατά την ιστορική εξέλιξη τον ανθρώπου ήταν συνήθη στον αέρα. Ωστόσο, η κατανομή των αιωρούμενων σωματιδίων άλλαξε ριζικά λόγω, κυρίως των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Όπως αναφέρεται και στο κεφάλαιο 3, οι ανθρώπινες δραστηριότητες συνδέονται με την δημιουργία πολύ μικρών σωματιδίων (PM10-PM2,5). Έτσι, ο αέρας που αναπνέουμε σήμερα περιέχει πολύ περισσότερα

σωματίδια με μέγεθος μικρότερο των 10 μ m. Οι αναλύσεις έχουν δείξει ότι συνήθως μόνο ένα 50% των PM10 προέρχεται από φυσικές πηγές. Το αντίστοιχο ποσοστό στα PM2,5 είναι λιγότερο από 10%.

Στη γενική περίπτωση τα σωματίδια με μέγεθος μεγαλύτερο από 10 μ m κατακρατούνται και αποβάλλονται από τον οργανισμό στο σημείο εισαγωγής. Όμως τα PM10 μπορούν να διαφύγουν σε πρώτη φάση από τους μηχανισμούς κατακράτησης και για αυτό καλούνται εισπνεύσιμα (inhalable). Όμως, ο κύριος όγκος των χονδρόκοκκων σωματιδίων αποβάλλονται από το ανώτερο αναπνευστικό σύστημα. Τα λεπτόκοκκα σωματίδια PM2,5, έχουν τη δυνατότητα να εισχωρήσουν βαθύτερα στους βρόγχους και να προκαλέσουν σημαντική βλάβη.

Τα σωματίδια στην πορεία τους προς το βάθος των πνευμόνων περνάνε μέσα από τους ολοένα και στενότερους βρόγχους. Τα PM2,5 είναι δυνατό να φθάσουν μέχρι και τις κυψελίδες των πνευμόνων, δια μέσου των οποίων το οξυγόνο εισέρχεται στο αίμα. Τα σωματίδια που παγιδεύονται σε αυτούς τους υπερευαίσθητους ιστούς επεμβαίνουν στην οξυγόνωση του αίματος. Σε όλη τη διαδρομή τοξικές και καρκινογόνες ενώσεις μπορούν να μεταφέρονται προσροφημένες αρχικά στην επιφάνεια των σωματιδίων και στην συνέχεια να προσροφούνται σε διάφορα σημεία των πνευμόνων. [44]

Λόγω των μεταβολών στη ροή του αέρα στην τραχειοβρογχική ζώνη, τα σημεία εναπόθεσης των σωματιδίων είναι κυρίως πάνω ή κοντά στους βρόγχους. Σε αυτά τα σημεία υπάρχουν συγκεντρωμένες πολλές νευρικές απολήξεις. Οι μηχανικοί ερεθισμοί που προκαλούνται από τα σωματίδια συχνά οδηγούν σε αντανακλαστικό βήχα και σε συστολή των βρόγχων. Η ευαισθησία των νευρικών απολήξεων στις χημικές διεγέρσεις έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του ρυθμού αναπνοής και τη μείωση της ικανότητας του πνεύμονα να λειτουργεί το ίδιο αποδοτικά στις αυξομειώσεις της πίεσης κατά την αναπνοή.

Τα περισσότερα από τα σωματίδια που είναι μεγαλύτερα των 10 μ m απομακρύνονται με κατακράτηση στο στόμα ή στη μύτη. Από τα σωματίδια με μέγεθος μικρότερο των 10 μ m, ένα 10 έως 60% είναι πιθανό να εναποτεθεί τελικά στους πνεύμονες. Το ποσοστό εναπόθεσης στους πνεύμονες εξαρτάται από το μέγεθος του κάθε

σωματιδίου και κυμαίνεται από 20% για σωματίδια με διάμετρο περί τα 3μm έως 60% για εκείνα με διάμετρο περίπου 0,03μm.

Υπάρχουν μελέτες που υποστηρίζουν ότι υψηλή απόθεση σωματιδίων στην ρινική χώρα μπορεί να συσχετιστεί με ασθένειες του άνω αναπνευστικού συστήματος όπως είναι: ρινίτιδα, αλλεργίες και μολύνσεις στα ιγμόρεια.

Όταν ξηρά αλλά διαλυτοποιήσιμα σωματίδια εισχωρούν στο ανθρώπινο σώμα, όπου η σχετική υγρασία ξεπερνά το 99%, το μέγεθός τους αυξάνει σημαντικά καθώς προσροφάται σε αυτά νερό. Με τον τρόπο αυτό, τα σωματίδια παίρνουν τη μορφή και το μέγεθος σταγονιδίων. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, είναι αξιοσημείωτο ότι αυτά τα σωματίδια μπορούν να προκαλέσουν μεγαλύτερη βλάβη στους πνεύμονες από ότι τα μη υγροσκοπικά σωματίδια ή τα σωματίδια που έχουν εισέλθει ήδη σε μορφή σταγονιδίων.

4.1.2 ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Το 1995 η επιτροπή του Υπουργείου Υγείας της Μεγάλης Βρετανίας, που εξετάζει τις επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης αποφάνθηκε ότι δεν υπάρχει γνωστή χημική ένωση, επαρκούς τοξικότητας, δεδομένων των επιπέδων έκθεσης σε σωματιδιακή ρύπανση, ικανή να εξηγήσει το παρατηρούμενο μέγεθος των επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία από τα σωματίδια. Ακόμα και οι τοξικές ουσίες που αναπτύσσονται για τις εφαρμογές του χημικού πόλεμου, δεν έχουν την απαιτούμενη τοξικότητα. [18]

Δεν είναι όμως εύκολο, να γίνει αποδεκτή η άποψη ότι η χημική σύσταση των σωματιδίων είναι εντελώς αμέτοχη στην τοξικότητα των σωματιδίων. Είναι γενικά πιστευτό ότι η τοξικότητα οφείλεται στον συνδυασμό της χημικής τους σύστασης, της περιεκτικότητας τους σε ορισμένα ιδιαίτερα τοξικά χημικά είδη και της κατανομής του μεγέθους τους.

Η επίδραση του μεγέθους των σωματιδίων στην τοξικότητα τους αναλύθηκε παραπάνω και έχει σχέση με την, οφειλόμενη στο μικρό τους μέγεθος, ευχέρεια προσβολής δυσπρόσιτων περιοχών του αναπνευστικού συστήματος. Τα

υπερλεπτόκοκκα σωματίδια με μέγεθος κάτω από 100nm φαίνεται να έχουν ιδιαίτερα αυξημένη τοξικότητα ανά μονάδα μάζας και η τοξικότητα τους μειώνεται καθώς το μέγεθος τους αυξάνεται. Το γεγονός αυτό εξηγείται από την ικανότητα των σωματιδίων αυτών να εισχωρούν στις ατέλειες της επιφανειακής δομής των πνευμόνων. Με αυτόν τον τρόπο ευνοείται η δημιουργία λοιμώξεων, που με τη σειρά τους ενισχύουν τη δημιουργία θρομβώσεων του αίματος στο κυκλοφοριακό σύστημα. Εξηγείται λοιπόν η αναγνωρισμένη δυνατότητα των αιωρούμενων σωματιδίων να αυξάνουν τον κίνδυνο παρουσίας ισχαιμικών παθήσεων. [45]

Όσον αφορά τα κύρια συστατικά των σωματιδίων, περισσότερο επικίνδυνα θεωρούνται τα θειικά, καθώς βλάπτουν σοβαρά την ικανότητα των πνευμόνων να αποβάλλουν τα σωματίδια. Έχει διατυπωθεί η άποψη ότι τα υδατοδιαλυτά συστατικά των σωματιδίων, τα οποία διαλύονται ταχύτατα στα υγρά που επενδύουν τα τοιχώματα του αναπνευστικού συστήματος, είναι μάλλον απίθανο να ασκήσουν οποιαδήποτε σημαντική επίδραση. Όμως, γύρω από αυτό το ζήτημα, υπάρχει μέχρι στιγμής αρκετή αβεβαιότητα.

Η επίδραση των μεταλλικών ιχνοστοιχείων έχει διατυπωθεί και σε προηγούμενο κεφαλαίο. Η καταλυτική δράση ορισμένων μετάλλων, σε αντιδράσεις σχηματισμού ελευθέρων ριζών υδροξυλίου, οι οποίες έχουν αποδεδειγμένη επίδραση στον ερεθισμό των ιστών, φαίνεται να αποτελεί σημαντικότερο παράγοντα τοξικότητας απ' ό,τι η αυτή καθ' εαυτή τοξικότητα τους. Τα PM10 έχουν έντονη δραστηριότητα μεσώ των ελευθέρων ριζών κάτι που αποδεικνύεται πειραματικά με αποσύνθεση του DNA. Μέρος αυτής της δραστηριότητας οφείλεται στην ρίζα υδροξυλίου, μια ελεύθερη ρίζα ισχυρά δηλητηριώδη, η οποία εκλύεται από τα PM10 σε υδατικό μέσο. Επίσης σε σημαντικές ποσότητες τα PM10 εκλύουν Fe^{+3} σε pH= 7,2, το οποίο είναι το pH της επιφάνειας των πνευμόνων. Η έκλυση σιδηρού είναι ακόμα πιο επικίνδυνη καθότι ευνοεί την διαδικασία σχηματισμού ριζών υδροξυλίου. [46]

Πολύ μεγαλύτερη φαίνεται να είναι η επίδραση ορισμένων οργανικών ενώσεων και ιδίως των πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων (PAH's) η καρκινογόνος και μεταλλαξιογόνος δράση των οποίων είναι αναγνωρισμένη. Ισχυρή μεταλλαξιογόνος δράση παρατηρήθηκε σε δείγματα TSP και PM10, στην Πόλη του Μεξικού. Τα αιωρούμενα σωματίδια που εντάσσονται στο κλάσμα των PM10

εμφάνισαν περισσότερο μεταλλαξιγόνο χαρακτήρα σε σχέση με τα ολικά αιωρούμενα σωματίδια, λόγω της μεγαλύτερης περιεκτικότητας τους σε οργανικές ενώσεις και λιγότερο σε γεωλογικά υλικά.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η εξέταση ενός μίγματος χημικών ενώσεων όπως τα αιωρούμενα σωματίδια, δίνει μια πιο ρεαλιστική βάση για την μεταλλαξιγόνο επίδραση, απ' ό,τι η εξέταση των μεμονωμένων συστατικών, λόγω της εμφάνισης συνεργιστικών ή ανταγωνιστικών μηχανισμών στο μίγμα. Η ανάλυση του μεταλλαξιγόνου χαρακτήρα των σωματιδίων έχει προγνωστική αξία για τις πιθανές καρκινογενέσεις, καθώς οι περισσότερες ουσίες που έχουν ταξινομηθεί ως μεταλλαξιγόνες έχουν και καρκινογόνο δράση. [47]

Υπάρχουν αρκετές μελέτες, οι οποίες εξετάζουν την τοξική επίδραση των αιωρούμενων σωματιδίων στα επιθηλιακά κύτταρα των βρόγχων (in vitro). Η τοξικότητα φαίνεται να είναι ιδιαίτερα σημαντική στην περίπτωση σωματιδίων PM10 που προέρχονται από βιομηχανοποιημένες περιοχές και ιδιαίτερα από κινητήρες diesel (DEP-diesel exhaust particles). Αντίστοιχες μελέτες που έγιναν σε τρωκτικά αποδεικνύουν ότι τα αιωρούμενα σωματίδια της ιπτάμενης τέφρας επιφέρουν την τοξικότητα και την υπερέκκριση βλεννών στα επιθηλιακά κύτταρα της αναπνευστικής οδού. Η παραπάνω επίδραση γίνεται δυνατή μέσω της παραγωγής ενδοκυτταρικών οξειδωτικών ουσιών, ως αποτέλεσμα της έκθεσης των κυττάρων της τραχείας στα αιωρούμενα σωματίδια. [48]

4.1.3 ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ

Προβλήματα υγείας δε προκαλούνται όχι μόνο πρωτογενώς λόγω της διείσδυσης σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα και της τοξικής τους δράσης, αλλά και δευτερογενώς λόγω της εξασθένησης του οργανισμού. Υπάρχουν πολλές μελέτες που αποδεικνύουν ότι εξαιτίας των αιωρούμενων σωματιδίων είναι δυνατή η εμφάνιση αναπνευστικών προβλημάτων, αλλοιώσεων στην λειτουργία των πνευμόνων και στους μηχανισμούς αυτοκαθαρισμού των πνευμόνων και η δημιουργία φλεγμονών στους πνεύμονες οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν σε αυξημένη ευαισθησία.

Η αυξημένη ευαισθησία στη συνέχεια, είναι δυνατό να ευνοήσει την συμπύκνωση υγρού μέσα στους πνεύμονες, ιδιαίτερα σε ανθρώπους με καρδιακές παθήσεις. Η έκθεση σε σωματίδια μπορεί επίσης, να αυξήσει την ευαισθησία του πνεύμονα σε μολύνσεις από βακτήρια ή ιούς. Το γεγονός αυτό προκαλεί την αύξηση επεισοδίων πνευμονίας στην ομάδα των ευπαθών ατόμων. [8]

4.1.4 ΕΠΙΔΗΜΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ

Από τις επιδημιολογικές μελέτες προέκυψαν κάποια συμπεράσματα για τις επιπτώσεις των αέριων ρύπων στην ανθρώπινη υγεία τα οποία αξίζει να αναφερθούν. Έτσι, υπάρχουν επαρκείς λόγοι ώστε να υποτεθεί ότι τα λεπτόκοκκα αιωρούμενα στερεά στην αστική ατμόσφαιρα είναι επικίνδυνα για την δημόσια υγεία, παρότι καμία μελέτη δεν υποστηρίζει κανένα όριο κατωφλίου, κάτω από το οποίο η έκθεση σε PM να θεωρείται ασφαλής. Αντί λοιπόν για κατευθυντήριες γραμμές παρατίθενται κάποια ποσοστά κινδύνου από τα PM.

Η Επιτροπή για τις Επιπτώσεις της Ατμοσφαιρική Ρύπανσης στην Υγεία (COMEAP-Committee on the Medical Effects of Air Pollution) του Βρετανικού Υπουργείου Υγείας, μετά από ευρεία ερευνά της βιβλιογραφίας, όσον αφορά την συσχέτιση έκθεσης σε σωματιδιακή ρύπανση (συγκεκριμένα σε PM10) με το αποτέλεσμα, υιοθέτησε (1998) τους παρακάτω τερματικούς συντελεστές. Αύξηση της 24-ωρης μέσης συγκέντρωσης PM10 κατά $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ επιφέρει 0,75% αύξηση σε θανάτους και 0,8% αύξηση των εισαγωγών σε νοσοκομεία λόγω οξέων αναπνευστικών προβλημάτων. [49]

Η παραπάνω εκτίμηση θεωρείται μάλλον αισιόδοξη και παρακάτω δίνονται ορισμένοι πιο ρεαλιστικοί συντελεστές, όπως αυτοί προκύπτουν από τη νεώτερη βιβλιογραφία.

Μία αύξηση $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ σε 24ωρη μέση PM10 έκθεση οδηγεί σε 1% αύξηση στους καθημερινούς θανάτους

Μία αύξηση $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ σε 24ωρη μέση PM10 έκθεση οδηγεί σε 12.19% αύξηση στους καθημερινούς θανάτους

Μία αύξηση $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ σε 24ωρη μέση PM10 έκθεση οδηγεί σε 25% αύξηση σε συνολικές νοσοκομειακές εισαγωγές

Σε ασθματικούς, μία $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αύξηση σε 24ωρη μέση PM10 έκθεση οδηγεί σε 12% αύξηση του βήχα. [50]

Στον πληθυσμό, υπάρχουν μερικές ομάδες ανθρώπων οι οποίες παρουσιάζουν μεγάλη ευαισθησία στις επιπτώσεις των σωματιδίων. Οι κυριότερες ομάδες υψηλού κινδύνου συμπεριλαμβάνουν άτομα με χρόνια αναπνευστικά προβλήματα (εμφύσημα, άσθμα), με καρδιαγγειακά προβλήματα, άτομα με γρίπη, ηλικιωμένοι και παιδιά. Έχει υπολογισθεί ότι ο χρόνος ζωής μπορεί να ελαττωθεί από ένα έως δύο χρόνια κατά μέσο όρο για τα άτομα υψηλού κινδύνου, που διαμένουν σε περιοχές με έντονη ρύπανση. [8,41,42,43,44]

Επιδημιολογικές μελέτες συσχετίζουν την αυξημένη πνευμονική νοσηρότητα με επεισόδια υψηλής ατμοσφαιρικής ρύπανσης από σωματίδια PM10. Η πνευμονία, συνήθως ιογενούς προέλευσης, αυξάνεται μετά από επεισόδια ρύπανσης από PM10. Τα περισσότερα από τα δεδομένα των επιδημιολογικών μελετών αφορούν τους ηλικιωμένους, ενώ υπάρχουν λιγότερες ενδείξεις για παιδιά κυρίως κάτω των 2 ετών.

Μια διετής επιδημιολογική έρευνα που περιελάμβανε την ανάλυση των καθημερινών εισαγωγών σε νοσοκομεία του Santiago της Χιλής, υπέδειξε την ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των επιπέδων PM10 και του αριθμού των συμπτωμάτων του κατώτερου αναπνευστικού συστήματος σε παιδιά ηλικίας 3-15 ετών.

Για παιδιά κάτω των 2 ετών μια αύξηση $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ της συγκέντρωσης PM10 οδηγεί σε μια αύξηση 4-12% των συμπτωμάτων του κατώτερου αναπνευστικού συστήματος ενώ για τα παιδιά ηλικίας 3-15 ετών το αντίστοιχο ποσοστό είναι 3-9%. [51]

Σε μια μελέτη που έγινε για την ατμοσφαιρική ρύπανση στο Λονδίνο κατά τα έτη 1992-1994, μεταξύ των 6 ρύπων που εξετάστηκαν (PM10, NO₂, O₃, SO₂, CO, καπνός), τα PM10 είχαν την μεγαλύτερη συσχέτιση με την θνησιμότητα λόγω αναπνευστικών προβλημάτων. Παρατηρήθηκε αύξηση 4% στους θανάτους ατόμων όλων των ηλικιών για μια αύξηση της συγκέντρωσης των PM10 από το 10^ο στο 90^ο εκατοστημόριο.

Η επίδραση του καπνού (ο οποίος στο Λονδίνο είναι δείκτης των λεπτόκοκκων σωματιδίων που προέρχονται από την καύση πετρελαίου) στην θνησιμότητα λόγω

αναπνευστικών προβλημάτων είναι ανεξάρτητη με την αντίστοιχη επίδραση των PM10, αλλά δεν ισχύει και το αντίστροφο, καθώς το κλάσμα των PM10 που αποτελείται από καπνό φαίνεται να είναι κυρίως υπεύθυνο για την επίδραση τους. [52]

Αντίστοιχα είναι και τα αποτελέσματα σχετικής ερευνάς στο Anchorage της Alaska, η οποία επίσης υπέδειξε σημαντική συσχέτιση μεταξύ των συγκεντρώσεων PM10 και των εισαγωγών σε νοσοκομεία ατόμων με κρίσεις άσθματος. [53]

Τα αποτελέσματα αναφέρουν ότι μια αύξηση $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ της συγκέντρωσης των PM10 έχει ως αποτέλεσμα της μια αύξηση 3-6% των εισαγωγών στα νοσοκομεία λόγω ασθματικών κρίσεων, και 1-3% για ασθένειες του ανώτερου αναπνευστικού συστήματος. Σημειώνεται ότι στο Anchorage η βιομηχανική δραστηριότητα είναι σχετικά περιορισμένη και τα PM10 της περιοχής προέρχονται κυρίως από εδαφογενείς και ηφαιστειακές πηγές. [54]

Σε μια δεκαετή έρευνα (1985-1995) που έγινε σε τρεις πόλεις της Utah, το Ogden, την Salt Lake City και το Provo, εκτιμήθηκε ότι μια αύξηση της συγκέντρωσης PM10 κατά $10\mu\text{g}/\text{m}^3$, συσχετίζεται με αύξηση θνησιμότητας 1,6, 0,8 και 1,0 % για κάθε πόλη αντίστοιχα. [55]

Μια επιδημιολογική μελέτη που έγινε στο Birmingham κατά το χρονικό διάστημα 1992-1994 είχε τα εξής αποτελέσματα όσον αφορά την επίδραση της έκθεσης σε PM10 στις διάφορες ασθένειες και την θνησιμότητα. Υπάρχει σημαντική συσχέτιση μεταξύ του αριθμού επισκέψεων σε νοσοκομεία, λόγω αναπνευστικών προβλημάτων, εγκεφαλοαγγειακών προβλημάτων και βρογχίτιδας, και των επιπέδων PM10 την ίδια μέρα. Σημαντική συσχέτιση υπάρχει και μεταξύ των συμπτωμάτων πνευμονίας και άσθματος, και των επιπέδων PM10 για τις 3 μέρες που προηγήθηκαν των επισκέψεων στο νοσοκομείο. Οι θάνατοι λόγω προβλημάτων του κυκλοφοριακού συστήματος, αλλά και ο συνολικός αριθμός θανάτων παρουσιάζουν σημαντική συσχέτιση με τα επίπεδα PM10 που μετρήθηκαν τις προηγούμενες 24 ώρες, ενώ αντίστοιχη είναι και η συσχέτιση μεταξύ των θανάτων λόγω χρόνιων παρελκυστικών πνευμονικών νοσημάτων και των συγκεντρώσεων PM10 την ίδια μέρα.

Μια αύξηση της συγκέντρωσης των PM10 αντιστοιχεί σε αύξηση των επισκέψεων στα νοσοκομεία κατά 2,4% λόγω αναπνευστικών προβλημάτων, 2,1% λόγω εγκεφαλοαγγειακών παθήσεων και σε αύξηση 1,1% της γενικής θνησιμότητας. [56]

Κατά τη διάρκεια των χειμερινών περιόδων για τα έτη 1992-1994 σε μια μελέτη σε αστικές και μη περιοχές της Ολλανδίας, κατεγράφησαν καθημερινά οι περιπτώσεις αναπνευστικών προβλημάτων και ένας δείκτης αναπνευστικής λειτουργίας (PEF-peak expiratory flow- μέγιστη ροή εκπνοής) σε ομάδες παιδιών 7-11 ετών, προκειμένου να εκτιμηθεί η συσχέτιση τους με διάφορους ρύπους. Η έρευνα κατέδειξε την μεγάλη σχέση μεταξύ της συγκέντρωσης των PM10 και των συμπτωμάτων του κατώτερου αναπνευστικού συστήματος καθώς και της μείωσης του PEF, ιδίως σε παιδιά με αναπνευστικά προβλήματα. Απεδείχθη επίσης ότι η χρήση βρογχοδιαλυτικών για το άσθμα δεν προλαμβάνει την αρνητική επίδραση των σωματιδίων σε παιδιά με αντίστοιχα συμπτώματα. [57]

Στο πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια (U.C., Berkeley), υπολογίστηκε ότι ο κίνδυνος θανάτου που διατρέχουν οι κάτοικοι της πολιτείας από τα αιωρούμενα σωματίδια είναι προσεγγιστικά ίσος με 1/10000, περίπου το ήμισυ του κινδύνου θανάτου από αυτοκινητιστικό ατύχημα. [58]

Το 1995, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας είχε αναφέρει ότι δεν υπάρχουν ασφαλή επίπεδα έκθεσης σε PM10. Σύμφωνα με τους υπολογισμούς του οργανισμού ένα υποτιθέμενο τριήμερο επεισόδιο των 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, σε μια πόλη 1.000.000 κατοίκων θα προκαλούσε 1000 πρόσθετα κρούσματα άσθματος και τέσσερις θανάτους.

Την ίδια εποχή, στην Βρετανία, το Συμβούλιο Εμπειρογνομόνων σε θέματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Expert Panel on air Pollutants) δημοσιοποίησε έναν απολογισμό κατά τον οποίο τα PM10 προκαλούσαν 2000 με 10.000 θανάτους ετησίως στην Μεγάλη Βρετανία. Παράλληλα, μια αναφορά του Natural Defense Resources Defense Council (NRDC) για 249 πόλεις των ΗΠΑ, εκτιμούσε τους θανάτους που οφείλονται στα PM10, σε 64000 ετησίως, ενώ εικαζόταν ότι 4000-37.500 θάνατοι θα είχαν αποφευχθεί αν η συγκέντρωση των PM10 δεν υπερέβαινε τα 12,5 με 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. [8,15]

4.2 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑ



Ένας γενικός ορισμός της ορατότητας δίνεται παρακάτω:

Ορατότητα είναι η μεγαλύτερη απόσταση κατά ορισμένη διεύθυνση, στην οποία το γυμνό ανθρώπινο μάτι μπορεί να αναγνωρίσει α)κατά την ημέρα, ένα χαρακτηριστικό αντικείμενο στον ορίζοντα, και β)κατά την νύχτα, μια σαφή, μη εστιασμένη κατά προτίμηση, φωτεινή πηγή, μέτριας έντασης.

Η ορατότητα εξαρτάται από την ικανότητα του ματιού να διακρίνει ένα αντικείμενο, λόγω της αντίθεσης του με το οπτικό υπόβαθρο, και από την μετάδοση του φωτός μέσα στην ατμόσφαιρα. Η μεταβολή της αντίθεσης οφείλεται στην σκέδαση και την απορρόφηση του φωτός, από τα σωματίδια στην ατμόσφαιρα. [5]

Στην περίπτωση που τα μόρια του αέρα ήταν ο μόνος παράγοντας εξασθένησης της έντασης του φωτός, τότε βάσει της θεωρίας σκέδασης του Rayleigh, υπολογίζεται μια ορατότητα άνω των 150 μιλίων. Όμως, σε περιοχές με ρυπασμένη ατμόσφαιρα, η ορατότητα (γύρω από αεροδρόμια) μειώνεται στα 3 μίλια (5,4km) και μερικές φορές κάτω από 1 μίλι (1,7km).

Μια συγκέντρωση σωματιδίων σκόνης $2000/\text{cm}^3$ είναι δυνατό να οδηγήσει στην απόκρυψη ενός βουνού σε απόσταση 50 μιλίων, ενώ συγκέντρωση 100 000 σωματιδίων σκόνης $/\text{cm}^3$, μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της ορατότητας στο 1 μίλι. [59]

Μια γενική υπόθεση για το κατώτατο όριο ορατότητας για την πλειοψηφία του πληθυσμού είναι ότι αυτό παρουσιάζεται όταν η ένταση του φωτός μειώνεται στο 2% της έντασης του ανεμπόδιστου φωτός. Σε αυτήν την περίπτωση η απόσταση d της εξίσωσης (2.13) ταυτίζεται με την ελάχιστη ορατότητα, L_u όταν η ποσότητα I/I_0 αντικαθίσταται με 0,02.

$$\ln\left(\frac{I}{I_0}\right) = -\sigma_{ext} d \rightarrow \ln(0,02) = -\sigma_{ext} L_u \rightarrow L_u = 3,9/\sigma_{ext} \quad (4.1)$$

Αν υποθεθεί ότι η παρεμπόδιση του φωτός οφείλεται μόνο στην σκέδαση του από τα σωματίδια, και ότι τα σωματίδια αυτά έχουν σφαιρική μορφή, το ίδιο μέγεθος και ομοιόμορφη κατανομή, τότε ισχύει η σχέση:

$$L_u = \frac{5,2\rho_p r}{KC} \quad (4.2)$$

όπου C η συγκέντρωση των σωματιδίων, ρ_p η πυκνότητα τους και r η ακτίνα τους.

Η ορατότητα εξαρτάται περισσότερο από τις μεταβλητές C και r. Ο περιορισμός της ορατότητας γίνεται ιδιαίτερα σημαντικός για συγκεντρώσεις σωματιδίων άνω των $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ και για σωματίδια μεγέθους από 0,1 μm έως 1 μm .

Μια εμπειρική σχέση μεταξύ του οπτικού πεδίου και της συγκέντρωσης είναι:

$$L_u = \frac{1,2 \cdot 10^3}{C} L(Km), C(\mu\text{g}/\text{m}^3) \quad (4.3)$$

Η παραπάνω εξίσωση είναι μια εκτίμηση βασισμένη σε εμπειρικές διαπιστώσεις πάνω στα σωματίδια, ενώ η εξίσωση (5.2) δίνει την ορατότητα για ένα δεδομένο μέγεθος σωματιδίων ή για ένα κατάλληλο μέσο μέγεθος. Και οι δυο εξισώσεις έχουν σημαντικό σφάλμα όταν η σχετική υγρασία ξεπερνά το 70%, οπότε και τα σωματίδια τείνουν να μετατρέπονται σε σταγόνες (droplets), ως αποτέλεσμα της υγροσκοπικότητάς τους σε αυτές τις συνθήκες. [5]

Ο διαχωρισμός μεταξύ της τάσης της ακτινοβολίας να σκεδαστεί ή να απορροφηθεί από ένα σωματίδιο καθορίζεται από τον λόγο της διαμέτρου του σωματιδίου προς το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Αν η διάμετρος του σωματιδίου είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από το μήκος κύματος, τότε θα απορροφήσει την ακτινοβολία. Αν τα δυο μεγέθη είναι περίπου ίδια τότε η ακτινοβολία θα σκεδαστεί. Αν, τέλος, η διάμετρος είναι πολύ μικρότερη από το μήκος κύματος, τότε η ακτινοβολία θα διέλθει μέσα από το σωματίδιο.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα, είναι ότι τα λευκά σύννεφα δεν οδηγούν σε βροχή σε αντίθεση με τα μαύρα. Τα λευκά σύννεφα αποτελούνται από λεπτόκοκκα σωματίδια τα οποία σκεδάζουν την ηλιακή ακτινοβολία. Αντίθετα, το μαύρο χρώμα των σύννεφων οφείλεται στην σύσταση τους από μεγαλύτερα σωματίδια, τα οποία

είναι αρκετά ευμεγέθη ώστε να απορροφούν την ακτινοβολία, αλλά και αρκετά μεγάλα ώστε να πέσουν ως σταγόνες βροχής.

Όσον αφορά την οπτική συμπεριφορά των επιμέρους συστατικών του συνόλου της σωματιδιακής μάζας ισχύουν τα παρακάτω. Ο στοιχειακός άνθρακας κυρίως απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία σε αντίθεση με τον οργανικό άνθρακα ο οποίος μόνο την σκεδάζει. Τα σωματίδια στοιχειακού άνθρακα σκεδάζουν επίσης την ακτινοβολία αλλά κατά μικρότερο ποσοστό ($\sigma_{\text{abs}}/\sigma_{\text{scat}} \approx 4$). Επίσης, ο συντελεστής απορρόφησης της ακτινοβολίας από τον στοιχειακό άνθρακα είναι ανεξάρτητος από την υγρασία, σε αντίθεση με τον οργανικό άνθρακα και τα θειικά σωματίδια.

Τα γεωλογικά υλικά απορροφούν ή σκεδάζουν την ακτινοβολία ανάλογα με το μέγεθος τους. Για γεωλογικά σωματίδια μικρότερα του 1 μm , ο λόγος των συντελεστών $\sigma_{\text{scat}}/\sigma_{\text{ext}}$ κυμαίνεται από 0,91 έως 0,96. [60]

Στις ανατολικές ΗΠΑ το 60-70% της επίδρασης των σωματιδίων στην μείωση της ορατότητας αποδίδεται στα θειικά σωματίδια. Στις μεσοδυτικές ορεινές πολιτείες το ποσοστό αυτό μειώνεται στο 30%, ενώ σημαντική γίνεται η επίδραση των χονδρόκοκκων σωματιδίων (coarse) με ποσοστό 15% και 25%.

Η κύρια προσπάθεια στις ΗΠΑ για την βελτίωση της ορατότητας κατευθύνεται στις περιοχές των εθνικών πάρκων, για την προστασία του τοπίου (πρόγραμμα IMPROVE-Interagency Monitoring of Protected Visual Environments). Στα εθνικά πάρκα του οροπεδίου του Colorado (π.χ. Yellowstone park) η κατανομή της επίδρασης των σωματιδίων στην ορατότητα είναι πιο ομοιόμορφη (23% θειικά, 33% άνθρακας, 10% γεωλογικά υλικά). [61]

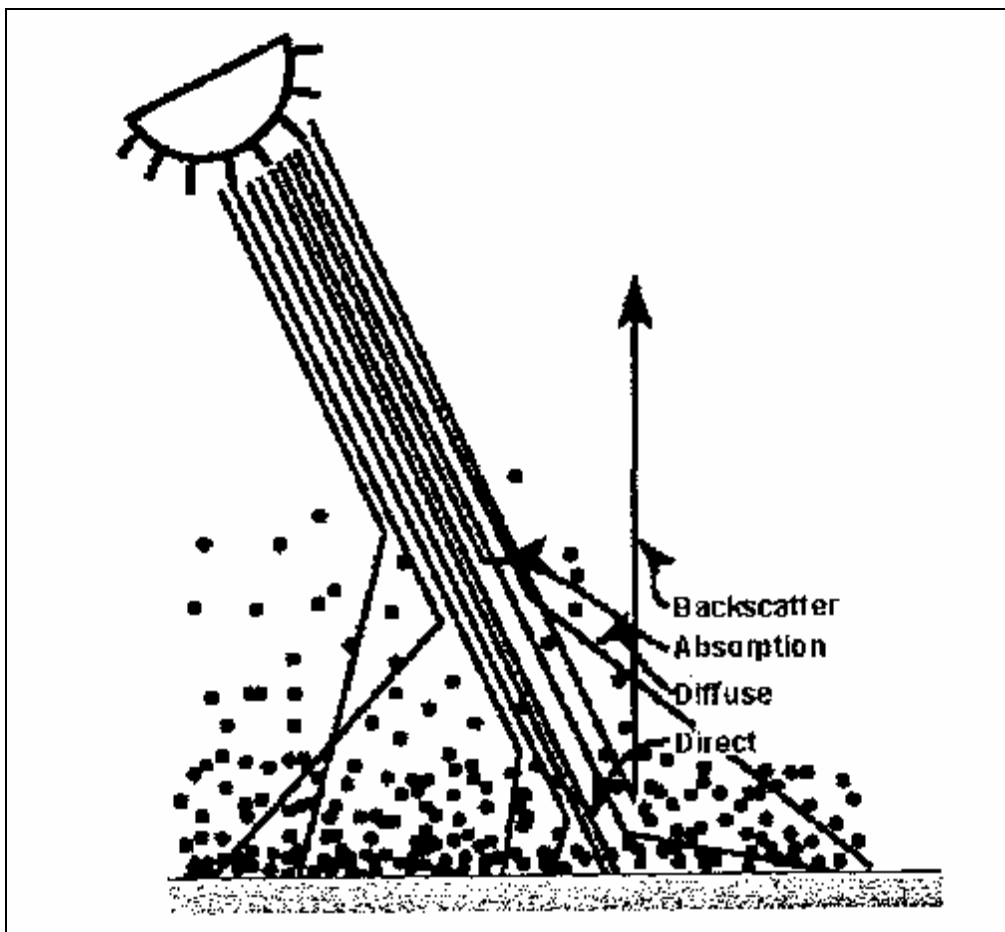
Όσον αφορά τα PM_{2,5} τα αντίστοιχα συμπεράσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή ενός μοντέλου πρόβλεψης της μείωσης της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στην Ινδία είναι 36% θειικά, 33% οργανικός άνθρακας, 14% ιπταμένη τέφρα, 13% στοιχειακός άνθρακας και 4% μεταλλικά συστατικά. [61]

Στην σκέδαση του ηλιακού φωτός από τα σωματίδια οφείλεται και το χρώμα με το οποίο αυτό γίνεται αντιληπτό από τον άνθρωπο. Το ηλιακό φως σκεδάζεται και από τα αέρια μόρια (σκέδαση Rayleigh), όχι όμως τόσο αποτελεσματικά όσο από τα σωματίδια (σκέδαση Mie), λόγω του μικρού τους μεγέθους (διάμετροι περίπου 0,0005μm), σε σχέση με το μήκος κύματος του ορατού φωτός (περίπου 0,3 έως 0,6 μm).

Η ένταση της ακτινοβολίας που γίνεται αντιληπτή από έναν παρατηρητή εξαρτάται εκτός από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας και από τη γωνία μεταξύ του παρατηρητή και της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Αυτή η γωνία ονομάζεται γωνία σκέδασης (θ_s).

Επειδή το μήκος κύματος της μπλε ακτινοβολίας είναι μικρότερο από αυτό της ερυθρής, είναι ευκολότερη η σκέδαση του, από τα αέρια μόρια, και κυρίως από αυτά του οξυγόνου. Κατά τη διάρκεια της μέρας λόγω της θέσης του ήλιου, η ακτινοβολία σκεδάζεται πλευρικά, σε σχέση με τον παρατηρητή. Σε αυτό οφείλεται και το γαλάζιο χρώμα του ουρανού, όπως το αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος (εκτός φυσικά αν κοιτάξει κατευθείαν τον ήλιο).

Η σκέδαση του ηλιακού φωτός από τα σωματίδια είναι και ο λόγος του κόκκινου χρώματος του ουρανού κατά την ανατολή και τη δύση του ήλιου. Κατά αυτές τις χρονικές στιγμές η ηλιακή ακτινοβολία ευθυγραμμίζεται με το ανθρώπινο οπτικό πεδίο (γωνία σκέδασης ίση με 0°), οπότε το μεγαλύτερο μέρος της μπλε ακτινοβολίας σκεδάζεται μακριά από το οπτικό πεδίο του ανθρώπου. Συνεπώς η ακτινοβολία που φθάνει στον άνθρωπο είναι μετατοπισμένη προς την ερυθρά περιοχή του ορατού φάσματος. Το χρώμα του ουρανού είναι πιο κόκκινο κατά την δύση του ήλιου απ' ότι κατά την ανατολή, λόγω της μεγαλύτερης συγκέντρωσης σωματιδίων την συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Αυτό οφείλεται στην θέρμανση του εδάφους από την ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διάρκεια της μέρας και την συνεπαγόμενη ανατάραξη της ατμόσφαιρας. [4]



Σχήμα 4.1: Αλληλεπίδραση ηλιακής ακτινοβολίας και αιωρούμενων σωματιδίων

4.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΚΛΙΜΑ

Η θερμοκρασία της γης είναι δυνατό να μεταβληθεί λόγω της αύξησης της περιεκτικότητας της ατμόσφαιρας σε λεπτοκοκκα σωματίδια. Φυσικά, αυτή η περίπτωση δεν είναι τόσο σοβαρή όσο το πρόβλημα των αερίων του θερμοκηπίου, λόγω του μικρού σχετικά διαστήματος που παραμένουν τα σωματίδια σε αιώρηση, σε σχέση με το CO₂ και τα υπόλοιπα αέρια (CH₄, CFC's).

Προκειμένου τα αιωρούμενα σωματίδια να έχουν επίδραση που να απαιτεί την παραμονή τους για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο από λίγες μέρες, πρέπει να εισέλθουν στην στρατόσφαιρα (σε ύψος περίπου 10800m) όπου και έχουν χρόνο ζωής κάποια χρόνια. Ελάχιστες ανθρώπινες δραστηριότητες εκπέμπουν σωματίδια στην στρατόσφαιρα.

Όμως, οι μεγάλες ηφαιστειακές εκρήξεις στέλνουν στο συγκεκριμένο ύψος μεγάλες ποσότητες σωματιδίων. Συνήθως για τα επόμενα ένα ή δυο χρόνια μιας ηφαιστειακής έκρηξης παρατηρείται μείωση της θερμοκρασίας του πλανήτη, καθώς υπάρχει περιορισμός της εισχώρησης της ηλιακής ακτινοβολίας λόγω του σκεδασμού του από τα σωματίδια.

Η συσχέτιση της υψηλής περιεκτικότητας των ανώτερων στρωμάτων της ατμόσφαιρας σε σωματίδια με την μείωση των θερμοκρασιών στην επιφάνεια της γης, έχει δώσει έδαφος για την διατύπωση θεωριών που εξηγούν ορισμένα παγκόσμια φαινόμενα. Έτσι η εξαφάνιση των δεινοσαύρων θεωρείται αποτέλεσμα μιας μεγάλης ηφαιστειακής έκρηξης, ενώ πιστεύεται ότι σε περίπτωση ενός πυρηνικού πολέμου, θα ακολουθήσει μια μακρόχρονη περίοδος χαμηλών θερμοκρασιών, επονομαζόμενη και πυρηνικός χειμώνας (nuclear winter). [4]

Τα αιωρούμενα σωματίδια ωστόσο, επιδρούν και μ' ένα ακόμη έμμεσο τρόπο στο παγκόσμιο κλίμα. Η έμμεση αυτή δράση προκύπτει από τον τρόπο με τον οποίο επιδρούν τα σωματίδια στις μικροφυσικές ιδιότητες των νεφών. Το πιο σημαντικό αποτέλεσμα είναι η ελάττωση του μεγέθους των σταγονιδίων των νεφών. Αυτό συμβαίνει διότι τα σωματίδια δρουν ως πυρήνες συμπύκνωσης προκαλώντας τον

σηματισμό σταγόνων και στερώντας έτσι τα σύννεφα πρώτιστα από τα ογκωδέστερα των σταγονιδίων τους. Άλλη επίπτωση είναι η αύξηση της ζωής των νεφών. [62,63]

Ο Aitken το 1888 σε κλειστό χώρο και υπό ελεγχόμενες συνθήκες πέτυχε την συμπύκνωση των υδρατμών πάνω στα αιωρούμενα σωματίδια με ορατό αποτέλεσμα το σχηματισμό σταγονιδίων στον αέρα. Ήταν ο πρώτος που κατέληξε στο συμπέρασμα ότι χωρίς την ύπαρξη σωματιδίων στον αέρα δεν θα υπήρχαν σύννεφα.

Για την επιτυχία του πειράματος του Aitken απαιτήθηκε επικράτηση συνθηκών σχετικού υπερκορεσμού 300% (δηλαδή σχετική υγρασία 400%), όποτε ήταν δυνατή η ενεργοποίηση όλων των σωματιδίων. Στην ατμόσφαιρα όμως, παρατηρούνται σχετικοί υπερκορεσμοί το πολύ 2%, όποτε υπό αυτές τις συνθήκες θα ενεργοποιηθούν μόνο τα σωματίδια που είναι υγροσκοπικά, δηλαδή σωματίδια που περιέχουν επαρκείς ποσότητες διαλυτών συστατικών ώστε να μειωθεί η τάση των υδρατμών της σχηματιζόμενης σταγόνας. Ο κρίσιμος υπερκορεσμός που απαιτείται για την ενεργοποίηση των σωματιδίων, αυξάνεται όσο το μέγεθος των σωματιδίων μειώνεται. Συνεπώς, η ενεργοποίηση των νεφών (cloud activation) θα γίνει επιλεκτικά, στα μεγαλύτερα σωματίδια. Η γρήγορη συμπύκνωση του νερού, καταστέλλει την αύξηση του υπερκορεσμού, όποτε η ενεργοποίηση περιορίζεται σε ένα υποσύνολο σωματιδίων τα οποία ονομάζονται πυρήνες συμπύκνωσης νεφών (cloud concentration nuclei –CCN).

Γίνεται κατανοητό ότι οι φυσικοχημικές ιδιότητες των σωματιδίων ελέγχουν τον σχηματισμό των υγροσταγονιδίων της ατμόσφαιρας, και συνεπώς τις μικροφυσικές ιδιότητες των νεφών. Τα σωματίδια διαδραματίζουν συνεπώς σημαντικό ρόλο στον υδρολογικό κύκλο και στις βροχοπτώσεις. [4]

Υπό κανονικές συνθήκες η βροχή έχει μια ελαφρά οξύτητα (pH= 5,6) Αυτό οφείλεται στην ισορροπία ανάμεσα στο νερό της βροχής και στο CO₂, το οποίο διαλύεται στις σταγόνες δίνοντας ένα ασθενές διάλυμα ανθρακικού οξέος. Σήμερα σε περιοχές όπως η ανατολική Βόρεια Αμερική και η Βόρεια Ευρώπη, όπου παρατηρούνται σημαντικές βροχοπτώσεις, το pH της βροχής πλησιάζει το 4,0 και σε σπάνιες περιπτώσεις το 3,0. [36]

Στο κεφαλαίο 1 αναφέρθηκαν οι χημικές αντιδράσεις που γίνονται στα σύννεφα, όπως η οξειδωση του SO₂ και του NO₂ στο υδατικό περιβάλλον των σταγόνων των νεφών, που έχει ως αποτέλεσμα των σχηματισμό αραιών οξέων. Τα οξέα αυτά καταλήγουν στην επιφάνεια της γης, κατά την διαδικασία της υγρής απόθεσης και συνιστούν το φαινόμενο της όξινης βροχής, το οποίο είναι υπαίτιο για μεγάλες καταστροφές στα υδάτινα και χερσαία οικοσυστήματα καθώς και τα υλικά και τα κτήρια.

Αν και οι ρύποι που είναι κατ' εξοχήν υπεύθυνοι για το φαινόμενο της όξινης βροχής είναι το SO₂ και τα NO_x, τα αιωρούμενα σωματίδια επηρεάζουν το φαινόμενο λόγω της δράσης τους στο σχηματισμό των σταγόνων της βροχής αλλά και της περιεκτικότητας τους σε ρίζες οξέων (SO₄²⁺, NO₃⁺², Cl⁻). Σε μελέτη της όξινης βροχής από το 1981 έως σήμερα στην περιοχή White Mountain National Forest των ΗΠΑ, αναφέρεται ότι η χαμηλότερη οξύτητα που μετρήθηκε στα σύννεφα ήταν pH=2,5. Αντίστοιχα η χαμηλότερη οξύτητα όξινης βροχής είχε pH=3,0. Η χημική ανάλυση έδειξε ότι αυτή η οξύτητα οφειλόταν κατά περίπου 2/3 στα θειικά ιόντα και κατά 1/3 στα νιτρικά. Ανάμεσα στις πηγές αυτών των ιόντων είναι και τα PM_{2,5}. [64]

4.4 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΥΛΙΚΑ



Τα μέταλλα, οι πέτρες οι χρωματισμένες επιφάνειες φθείρονται όταν υπόκεινται στην αέρια σωματιδιακή ρύπανση σε συνδυασμό με την ακτινοβολία, την υγρασία, την θερμοκρασία και την κίνηση των ανέμων. Η επικάθιση των σωματιδίων στις επιφάνειες οδηγεί στην ελάττωση της ανακλαστικότητας τους. Παρουσία της υγρασίας τα σωματίδια αντιδρούν χημικά με τα υλικά των επιφανειών, και στην περίπτωση σωματιδίων που περιέχουν μέταλλα είναι δυνατή η έναρξη ηλεκτροχημικών αντιδράσεων.

Τα υλικά τα οποία είναι περισσότερο ευαίσθητα στην σωματιδιακή ρύπανση είναι οι ασβεστούχες πέτρες και τα περιέχοντα σίδηρο υλικά. Η φθορά των υλικών περιλαμβάνει την απώλεια μάζας, τον αποχρωματισμό, την μεταβολή του πορώδους και την αύξηση της ψαθυρότητας.

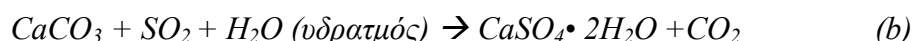
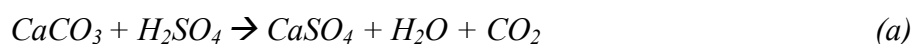
4.4.1 ΦΘΟΡΑ ΠΕΤΡΙΝΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ

Από όλα τα είδη φθορών που τα αιωρούμενα σωματίδια προκαλούν στα υλικά, αυτή που προκαλείται στα μνημεία είναι η πλέον σημαντική. Είναι γεγονός ότι η διάβρωση και η αποσύνθεση των άλλων ειδών επιφανειών, αποτελούν πολύ σοβαρές επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, όμως η αλλοίωση των μνημείων που έχουν δημιουργηθεί πριν από αιώνες, έχει ανυπολόγιστο κόστος, καθώς σε πολλές περιπτώσεις δεν είναι αναστρέψιμη.

Το μόνιμο επιφανειακό στρώμα (πατίνα) που σχηματίζεται πάνω στα μνημεία που είναι κατασκευασμένα από ασβεστόλιθο (limestone) ή μάρμαρο, είναι δυνατό να περιέχει υλικό από αιωρούμενα σωματίδια, που αποτέθηκαν σε αυτό και ευνοούν την αποσύνθεσή του. Οι επιφάνειες είναι δυνατό, είτε να παραμένουν λευκές αλλά λόγω της διάβρωσης της πέτρας να αλλοιώνεται το περίγραμμά τους, είτε να διατηρούν την εξωτερική μορφή τους αλλά να μαυρίζουν (σχηματισμός επιστρώματος μαύρου

γύψου- black gypsum crust), ανάλογα με το αν προστατεύονται ή όχι από τη βροχή. [3]

Η φθορά των μνημείων οφείλεται κυρίως στην παρουσία στην ατμόσφαιρα του SO₂ το οποίο οξειδώνεται αργά σε H₂SO₄, που κατόπιν εξουδετερώνεται από τις βασικές ουσίες των πέτρινων επιφανειών. Το υλικό από το οποίο αποτελούνται οι πέτρες των μνημείων είναι ο ασβεστίτης, εξαγωνική κρυσταλλική μορφή του CaCO₃, ο οποίος με την παραπάνω διαδικασία μετατρέπεται σε γύψο.



Η οξείδωση του SO₂ προκύπτει είτε μέσω αντίδρασης με ενεργά οξειδωτικά, όπως το NO₂ και το O₃, είτε με απλή αντίδραση με O₂, η οποία ενεργοποιείται από την υψηλή υγρασία, είτε με μεταλλικά (βανάδιο, ασβέστιο, ψευδάργυρος, νικέλιο) οξειδία. [65]

Η ταυτόχρονη παρουσία δυο εξ' αυτών των καταλυτικών μέσων σε ορισμένα είδη ατμοσφαιρικών σωματιδίων, εξηγεί την σημαντική επίδραση των σωματιδίων, που επικάθονται στις επιφάνειες των μνημείων, στην επιτάχυνση των ρυθμών φθοράς τους. Από αυτήν την άποψη, πιο ενδιαφέρουσα κατηγορία σωματιδίων είναι οι ιπτάμενες τέφρες, που εκπέμπονται κατά την ατελή καύση στερεών και υγρών καυσίμων και περιέχουν ποσότητες μεταλλικών οξειδίων.

Είναι υπαρκτή η πιθανότητα, η ιπταμένη τέφρα να δρα συνεργιστικά με την οξείδωση του SO₂. Η ιπταμένη τέφρα που εκπέμπεται κυρίως κατά την καύση πετρελαίου για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, είναι φορέας ισχυρής οξύτητας στην ατμόσφαιρα, ενώ επίσης περιέχει ήδη τον οξειδωτικό παράγοντα υπό την μορφή του SO₃ που βρίσκεται στο αέριο μίγμα των εκπομπών. [66]

Ένας άλλος παράγοντας φθοράς των πέτρινων επιφανειών είναι η παρουσία στο επιφανειακό στρώμα, ανθρακούχων (μη ανθρακικών) ενώσεων οι οποίες προέρχονται από τους αέριους ρύπους, με προφανή την συμμετοχή των αιωρούμενων σωματιδίων και σε αυτή την παράμετρο.

4.4.2 ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ

Ανάλογα με την χημική τους σύσταση και την φυσική τους κατάσταση τα σωματίδια είναι δυνατό να προκαλέσουν μεγάλη φθορά στις μεταλλικές επιφάνειες. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η άμεση χημική φθορά που μπορούν να προκαλέσουν τα σωματίδια στα μέταλλα, είτε με κατευθείαν διαβρωτική δράση των ίδιων, είτε με την δράση διαβρωτικών χημικών ουσιών, οι οποίες προσροφούνται σε αδρανή σωματίδια.

Τα μέταλλα συνήθως μπορούν να αντισταθούν στην διάβρωση στον καθαρό, ξηρό ή έστω και υγρό αέρα. Παρ' όλα αυτά, υγροσκοπικά σωματίδια που βρίσκονται συνήθως στην ατμόσφαιρα είναι δυνατόν να διαβρώσουν μεταλλικές επιφάνειες, ανεξάρτητα από την παρουσία άλλων ρύπων. Είναι χαρακτηριστική η επιτάχυνση της διάβρωσης επιφανειών από χάλυβα και ψευδάργυρο σε συγκεντρώσεις TSP άνω των $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Η φθορά που προκαλείται από την σωματιδιακή ύλη ενισχύεται από την παρουσία του SO_2 , λόγω της οξύτητας που προκαλείται όταν το SO_2 προσροφάται στην επιφάνεια των σωματιδίων.

Η έκθεση σε φορτισμένα σωματίδια μπορεί να επιτείνει σημαντικά το ρυθμό διάβρωσης των ηλεκτρονικών συσκευών, μέχρι προκλήσεως βλαβών. Τα σωματίδια αυτά έχουν μέγεθος από μερικές δεκάδες Angstroms έως $1 \mu\text{m}$ και προκαλούν διάβρωση καθώς είναι υγροσκοπικά και διαβρωτικά στις φυσιολογικές συνθήκες σχετικής υγρασίας, ώστε να επιδρούν άμεσα στα μεταλλικά εξαρτήματα ή ακόμη και να σχηματίζουν λεπτά αγωγίμα φιλμ υγρασίας προκαλώντας βραχυκυκλώματα στη συσκευή. [1,3]

4.4.3 ΕΠΙΚΑΘΙΣΗ

Μια από τις σημαντικότερες επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων είναι η επικάθιση τους πάνω στις επιφάνειες. Ήδη από το 1959 είχε μελετηθεί το φαινόμενο κατά το οποίο όταν σωματίδια βομβάρδιζαν μια χάρτινη επιφάνεια σ' ένα χώρο με υψηλή συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων. Το χαρτί παρέμενε καθαρό για ένα διάστημα και στη συνέχεια φαινόταν ξαφνικά σκονισμένο.

Η ικανότητα των σωματιδίων να προσκολλούνται ή να επαναιωρούνται από επιφάνειες έχει σχέση με το μέγεθος τους. Σύμφωνα με μελέτες παρατηρείται σημαντική συσχέτιση μεταξύ των χονδρόκοκκων σωματιδίων και την κάλυψη των επιφανειών από σκόνη, πράγμα που μαρτυρά τον σημαντικό ρόλο που έχουν τα μεγαλύτερα σωματίδια στον σχηματισμό του στρώματος σκόνης επί των επιφανειών.

Τα σωματίδια με μέγεθος μικρότερο από 1 μm δεν επαναιωρούνται εύκολα ως ανεξάρτητα σωματίδια. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι για μικρά σωματίδια οι δυνάμεις Van der Waals, οι οποίες εξαναγκάζουν τα σωματίδια να προσκολλούνται στις επιφάνειες, γίνονται ισχυρότερες σε σχέση με τις εξωτερικές δυνάμεις που προκαλούνται από την κίνηση του αέρα.

Όμως, αφού τα λεπτότερα σωματίδια αποτεθούν στις επιφάνειες και συσσωρευτούν, η ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για την απελευθέρωση των σωματιδίων μειώνεται, όσο τα σωματίδια αυξάνουν σε μάζα. [67]

Το καθάρισμα, το πλύσιμο ή το βάνιμο είναι κατά περίπτωση η λύση αυτού του φαινομένου. Η αύξηση της συχνότητας αυτών των δραστηριοτήτων όμως συνεπάγεται άμεσο οικονομικό κόστος αλλά και μείωση του χρόνου ωφέλιμης χρήσης της επιφάνειας. Υπολογίστηκε από την Αμερικανική ένωση ιδιοκτητών και διαχειριστών κτηρίων ότι το συνολικό κόστος καθαρισμού για τα ιδιωτικά κτήρια γραφείων των Η.Π.Α ανέρχεται στα 1,09\$/ft² το 1995, δηλαδή περίπου 13 δισεκατομμύρια δολάρια συνολικό ετήσιο κόστος.

Εξάλλου εκτός από την επίπτωση στην αισθητική η επικάλυψη των σωματιδίων μειώνει την ανακλαστικότητα των αδιαφανών επιφανειών αλλά και το ποσοστό του φωτός που διαπερνά τις διαφανείς επιφάνειες.

4.4.4 ΦΘΟΡΑ ΧΡΩΜΑΤΙΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ

Η έκθεση των χρωματισμένων επιφανειών σε σωματιδιακή ρύπανση έχει ως αποτέλεσμα το σημαντικό ξεθώριασμα τους. Άνω του 50% των σωματιδίων που προσκολλούνται σε χρωματισμένες επιφάνειες ανήκουν στο χονδρόκοκκο κλάσμα. Η προσκόλληση αυτή μπορεί να ποσοτικοποιηθεί με μέτρηση της ανακλαστικότητας

των επιφανειών. Για την μεγαλύτερη μερίδα του πληθυσμού, μείωση της ανακλαστικότητας μιας επιφάνειας κατά 30%, δικαιολογεί την ανάγκη να επαναχρωματισθεί.

Για να συσχετισθεί η μείωση της ανακλαστικότητας R μιας επιφάνειας με το επίπεδο της σωματιδιακής ρύπανσης, απουσία βροχοπτώσεων, έχει προταθεί η παρακάτω σχέση (Hamilton & Mansfeld, 1993):

$$R (\%) = 1,413 (t c_{TSP})^{0,5} \quad (4.4)$$

όπου t ο χρόνος έκθεσης σε έτη και c_{TSP} η συγκέντρωση των ολικών αιωρούμενων σωματιδίων σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Αν ληφθεί υπ' όψη και η περίπτωση των βροχοπτώσεων η παραπάνω σχέση μετασχηματίζεται στην:

$$R (\%) = 100[1 - \exp(-kt)] \quad (4.5)$$

όπου k ένας συντελεστής που εξαρτάται από την συγκέντρωση και το είδος των σωματιδίων. Για τα ολικά αιωρούμενα σωματίδια (TSP) και τα σωματίδια στοιχειακού άνθρακα (PEC) ο συντελεστής k είναι: [3]

$$k_{TSP} = 0,0085 c_{TSP}$$

$$k_{PEC} = 0,095 c_{PEC}$$

4.5 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΕ ΧΛΩΡΙΔΑ ΚΑΙ ΠΑΝΙΔΑ



Η προσβολή των φυτών από τα αιωρούμενα σωματίδια γίνεται είτε μέσω της εισόδου από το φύλλωμα τους είτε μέσω της αναρρόφησης από τις ρίζες τους. Τα υδρόφιλα σωματίδια, διαλύονται στο νερό και είναι ευκολότερη η απορρόφηση τους μέσω των ριζών.

Ορισμένες μελέτες αναφέρουν ότι ο συνδυασμός των αιωρούμενων σωματιδίων με άλλους ρύπους όπως το SO₂, είναι δυνατό να ενισχύσει την αναρρόφηση SO₂ από τα φύλλα και την προσβολή τους από τα βαρέα μέταλλα, ή και να ελαττώσει την ανάπτυξη και την απόδοση των φυτών.

Τα χονδρόκοκκα σωματίδια αποτίθενται στα φύλλα των φυτών, μειώνοντας την ανταλλαγή των ζωτικών για το φυτό αερίων, αυξάνοντας την θερμοκρασία της επιφάνειας και επιβραδύνοντας την φωτοσύνθεση. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα την χλωρίωση (chlorosis), δηλαδή το κιτρίνισμα των φύλλων λόγω της ανικανότητας να αναπτυχθεί χλωροφύλλη. Τα σωματίδια που περιέχουν φθοριούχες ενώσεις φαίνεται ότι καταστρέφουν την βλάστηση, ενώ η απόθεση μαγνησίας (MgO) πάνω σε γεωργικά εδάφη έχει ως αποτέλεσμα την προβληματική ανάπτυξη των καλλιεργειών.

Η υγεία των ζώων επηρεάζεται σημαντικά όταν αυτά τρέφονται με φυτά που καλύπτονται από τοξική σωματιδιακή ύλη. Αυτά τα τοξικά συστατικά είναι δυνατό να απορροφηθούν στους ιστούς των φυτών ή απλά παραμένουν ως μια επιφανειακή εστία ρύπανσης για τα φυτά. Η ασθένεια της φθορίαση (fluorosis) των ζώων έχει αποδοθεί στην κατάποση φυτών καλυμμένων με φθοριούχες σωματιδιακές ενώσεις. Στην διατροφή με βλάστηση στην οποία είχε κατακαθίσει σωματιδιακή ύλη που περιείχε αρσενικό αποδίδεται και η δηλητηρίαση βοοειδών και προβάτων από αυτή την ένωση. [3,4]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΡΟΤΥΠΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ ΓΙΑ ΤΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

5.1 Η ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΘΥΓΑΤΡΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ - ΠΛΑΙΣΙΟ

Σε επίπεδο νομοθεσίας η Ευρωπαϊκή Ένωση, εκδίδει οδηγίες-πλαίσια, βάσει των οποίων οφείλουν τα κράτη μέλη να προσαρμόζουν την εθνική τους νομοθεσία. Η οδηγία-πλαίσιο της Ε.Ε. προβλέπει την έκδοση θυγατρικών οδηγιών. Κάθε θυγατρική οδηγία αναφέρεται σ' ένα ρύπο ή μία κατηγορία ρύπων.

Η παλαιότερη θυγατρική οδηγία της ΕΕ, για τα αιωρούμενα σωματίδια, που είχε εκδοθεί το 1983, αναφερόταν στα TSP και πρότεινε τις παρακάτω τιμές:

Πίνακας 5.1: Παλαιότερη θυγατρική οδηγία της Ε.Ε. για τα TSP

Ετήσια τιμή (μέσος όρος 24ωρων μετρήσεων)	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Τιμή χειμερινής περιόδου (μέσος όρος 24ωρων μετρήσεων)	130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
98° εκατοστημόριο των 24ωρων μετρήσεων του έτους	250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Στις 24 Μαρτίου 1999, η Ευρωπαϊκή Ένωση εξέδωσε για τον έλεγχο της ποιότητας της ατμόσφαιρας μετά από μακρά προετοιμασία μια νέα θυγατρική οδηγία που αναφέρεται στα αιωρούμενα σωματίδια (PM10). [68]

Η οδηγία αναφέρει ότι τα κράτη μέλη οφείλουν να λάβουν τα αναγκαία μέτρα ώστε οι συγκεντρώσεις PM10 στον ατμοσφαιρικό αέρα, να μην ξεπερνούν τις οριακές τιμές που δίδονται στους πίνακες παρακάτω, στο συντομότερο δυνατό χρονικό διάστημα και πριν από τις αναφερόμενες στην οδηγία ημερομηνίες. Ακόμη σύμφωνα με την οδηγία τα κράτη μέλη οφείλουν να εγκαταστήσουν και να λειτουργήσουν σταθμούς μέτρησης για τη συλλογή στοιχείων σχετικών με τις συγκεντρώσεις PM2,5. Η Ε.Ε. αν και δεν έχει ακόμα αρκετά στοιχεία (χρονοσειρές) ώστε να ορίσει οριακές τιμές για τα PM2,5 ωστόσο προβλέπει συνεχή καταγραφή του ρύπου αυτού, σε όλα τα κράτη-μέλη, ώστε σύντομα να υπάρχουν αρκετά στοιχεία για την θέσπιση οριακών τιμών και για τα PM2,5. [69,70]

Στον πίνακα 5.2 παρουσιάζονται οι οριακές τιμές που έχει θεσπίσει η Ευρωπαϊκή Ένωση για τις συγκεντρώσεις σωματιδίων PM10 στην ατμόσφαιρα.

Πίνακας 5.2: Ισχύουσα θυγατρική οδηγία της Ε.Ε. για τα αιωρούμενα σωματίδια PM10

	Περίοδος αναφοράς για τον προσδιορισμό του μέσου όρου	Οριακή τιμή	Περιθώριο ανοχής	Προθεσμία για τη συμμόρφωση προς την οριακή τιμή
1. 24ωρη οριακή τιμή για την προστασία της υγείας του ανθρώπου	24 ώρες	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10 που δεν πρέπει να υπερβαίνεται πάνω από 35 φορές ανά έτος	50% κατά την έναρξη της παρούσας οδηγίας, μειούμενο από 1/1/2001 και κάθε 12 μήνες κατά ίσο ποσοστό ώστε να φτάσει το 0% την 1/1/2005	1 ^η Ιανουαρίου 2005
2. Ετήσια οριακή τιμή για την προστασία της υγείας του ανθρώπου	Ημερολογιακό έτος	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10	20% την 1/1/2005 μειούμενο κάθε 12 μήνες κατά ίσο ποσοστό ώστε να φτάσει το 0% την 1/1/2010	1 ^η Ιανουαρίου 2005
Στάδιο 2				
1. 24ωρη οριακή τιμή για την προστασία της υγείας του ανθρώπου	24 ώρες	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10 που δεν πρέπει να υπερβαίνεται πάνω από 7 φορές ανά έτος	Θα υπολογιστεί βάσει δεδομένων που θα είναι ισοδύναμα με την οριακή τιμή του σταδίου 1	1 ^η Ιανουαρίου 2010
2. Ετήσια οριακή τιμή για την προστασία της υγείας του ανθρώπου	Ημερολογιακό έτος	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10	50% την 1/1/2005 μειούμενο κάθε 12 μήνες κατά ίσο ποσοστό ώστε να φτάσει το 0% την 1/1/2010	1 ^η Ιανουαρίου 2010

5.2 ΠΡΟΤΥΠΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑ US-EPA

Ο ρόλος του αμερικανικού οργανισμού προστασίας του περιβάλλοντος, είναι σύμφωνα με το εθνικό σχέδιο δράσης των ΗΠΑ (US Clean Air Act 1970, 1977, 1990), να ορίζει και να θέτει σε ισχύ τα εθνικά πρότυπα ποιότητας αέρα της χώρας (National Ambient Air Quality Standards-NAAQS). Αυτά τα όρια πρέπει να είναι αρκετά αυστηρά ώστε να προστατεύεται η υγεία ακόμα και των πιο ευαίσθητων ομάδων του πληθυσμού.

Τα αιωρούμενα σωματίδια είναι για την EPA ένας από τους ρύπους-κριτήρια. Ρύπους κριτήρια καλούμε τους αέριους ρύπους εκείνους που η EPA έχει αποφασίσει ότι είναι απαραίτητοι για τον προσδιορισμό και την καταπολέμηση της αέριας ρύπανσης.

Η πρώτη αναφορά στην ανάγκη θέσπισης κριτηρίων για την ατμοσφαιρική ποιότητα έγινε το Δεκέμβριο του 1963, από το εθνικό σχέδιο δράσης των ΗΠΑ (Clean Air Act of 1963), ενώ η απόφαση για την ανάπτυξη και την θέσπιση των κριτηρίων, λήφθηκε από το εθνικό σχέδιο δράσης του 1967 (Air Quality Act of 1967), και αναφερόταν σε ρύπους που έχουν αναγνωρίσιμη αρνητική επίδραση στην ανθρώπινη υγεία και ευημερία.

Το 1971 θεσπίστηκαν τα εθνικά πρότυπα ποιότητας (NAAQS) των ΗΠΑ, αναφέρονται στους αέριους ρύπους: Μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του αζώτου, διοξείδιο του θείου, όζον, σωματιδιακό μόλυβδο και αιωρούμενα σωματίδια.

Από την θέσπισή τους, τα πρότυπα ποιότητας αέρα των ΗΠΑ (NAAQS), ορίστηκε ότι επανεξετάζονται κάθε πέντε χρόνια, από τον αμερικάνικο οργανισμό προστασίας του περιβάλλοντος (US-EPA), ώστε να αντισταθμίζουν την πρόσφατη επιστημονική γνώση.

Το 1987 θεσπίστηκε ένα εθνικό αμερικάνικο πρότυπο ποιότητας αέρα (NAAQS) για τα PM₁₀. Συγκεκριμένα, το πρότυπο δεν επέτρεπε οι συγκεντρώσεις στο περιβάλλον να υπερβαίνουν τα 50μg/m³ (ετήσια μέση τιμή) περισσότερο από μια φορές σε τρία συνεχόμενα χρόνια και τα 150μg/m³ (μέση 24ωρη τιμή) περισσότερο από τρεις φορές μέσα σε τρία έτη.

Το 1992 η αμερικάνικη πνευμονολογική εταιρεία (American Lung Association) μήνυσε την US-EPA επειδή δεν είχε επανεξετάσει το πρότυπο ποιότητας αέρα των PM10. Το δικαστήριο που έγινε στην πολιτεία της Αριζόνα απεφάνθη στις 6 Οκτωβρίου 1994, ότι η EPA οφείλει να επανεξετάσει το πρότυπο ποιότητας αέρα των PM10 και αν κριθεί απαραίτητο να αναθεωρήσει τα αμερικάνικα πρότυπα ποιότητας αέρα το αργότερο έως τις 31 Δεκεμβρίου 1997. [71]

Ήδη τον Ιούλιο 1997, η EPA είχε προσδιορίσει τις αναθεωρήσεις που έπρεπε να γίνουν στο πρότυπο ποιότητας για τα αιωρούμενα σωματίδια, ώστε να ανταποκρίνονται στην τότε τρέχουσα επιστημονική γνώση. Τελικά οι αναθεωρήσεις αυτές τέθηκαν σε ισχύ στις 16 Σεπτεμβρίου 1997.

Η προσθήκη προτύπου ποιότητας για τα PM_{2,5} προκάλεσε αρκετές διαμάχες στις ΗΠΑ. Για να αποκτηθεί μεγαλύτερο επιστημονικό υπόβαθρο, το αμερικάνικο Κογκρέσο χρηματοδότησε την EPA με επιπλέον 49,6 εκ.\$ το 1998. Τα χρήματα αυτά θα αξιοποιηθούν μόνο για έρευνες σχετικές με τα αιωρούμενα σωματίδια και την καλύτερη κατανόηση της συσχέτισής τους με την ανθρώπινη υγεία. Για τις έρευνες αυτές άλλωστε, χρηματοδοτήθηκε και μια μελέτη του εθνικού ερευνητικού οργανισμού των ΗΠΑ (National Research Council-NRC), της οποίας θέμα είναι ο προσδιορισμός των πιο σημαντικών ερευνητικών προτεραιοτήτων ώστε να βοηθήσει τη θέσπιση και τον έλεγχο των νέων προτύπων ποιότητας για τα αιωρούμενα σωματίδια, που αναμένονται να ανακοινωθούν το 2002. Η EPA πάντως, εκτιμά ότι χάρη στο νέο πρότυπο των PM_{2,5} θα μειωθούν κατά 15.000 περίπου οι πρόωροι θάνατοι και κατά 250.000 περίπου τα κρούσματα σοβαρών αναπνευστικών προβλημάτων σε παιδιά, ετησίως. [72,73,74]

Στον πίνακα 5.3 παρουσιάζονται τα πρότυπα ποιότητας για τα αιωρούμενα σωματίδια όπως ίσχυαν το 1987 καθώς και με την αναθεώρηση που έγινε το 1997.

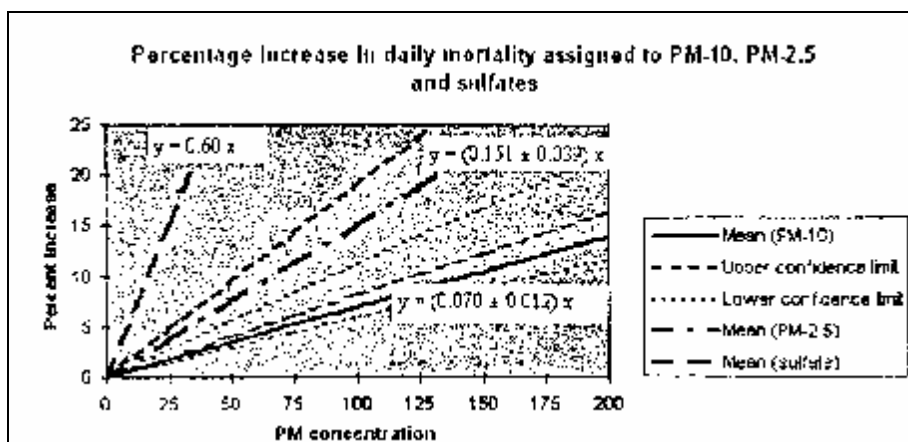
Πίνακας 5.3: Παλαιά και αναθεωρημένα πρότυπα ποιότητας της US-EPA για τα αιωρούμενα σωματίδια PM10 και PM2,5

Κλάσμα αιωρούμενων σωματιδίων	Οριακή τιμή 1987	Επεξήγηση	Οριακή τιμή 1997	Επεξήγηση
Αιωρούμενα σωματίδια διαμέτρου έως 10μm (PM10)	Ετήσια 50μg/m ³	Ο ετήσιος αριθμητικός μέσος των 24ωρων μετρήσεων δεν πρέπει να υπερβεί την τιμή 50 μg/m ³ πάνω από μια φορά σε τρία συνεχόμενα έτη.	Ετήσια 50μg/m ³	Καμία αλλαγή σε σχέση με το 1987
	24ωρη 150μg/m ³	Οι 24ωρες μετρήσεις από κάθε δειγματολήπτη μιας συγκεκριμένης περιοχής δεν πρέπει να υπερβούν την τιμή των 150μg/m ³ περισσότερες από τρεις φορές σε τρία συνεχόμενα έτη.	24ωρη 150μg/m ³	Το 99 ^ο εκατοστημόριο του συνόλου των 24ωρων συγκεντρώσεων από κάθε δειγματολήπτη μιας συγκεκριμένης περιοχής δεν πρέπει να υπερβεί την τιμή των 150 μg/m ³ περισσότερο από τρεις φορές σε τρία συνεχόμενα έτη.
Αιωρούμενα σωματίδια διαμέτρου έως 2,5μm (PM2,5)		Δεν υπάρχει οριακή τιμή	Ετήσια 15 μg/m ³	Ο ετήσιος αριθμητικός μέσος των 24ωρων μετρήσεων από έναν ή περισσότερους σταθμούς σε οικιστικές περιοχές, δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή 15,0 μg/m ³
		Δεν υπάρχει οριακή τιμή	24ωρη 65 μg/m ³	Το 98 ^ο εκατοστημόριο του συνόλου των 24ωρων συγκεντρώσεων από κάθε δειγματολήπτη μιας συγκεκριμένης περιοχής δεν πρέπει να υπερβεί την τιμή των 65 μg/m ³ περισσότερο από τρεις φορές σε τρία συνεχόμενα έτη.

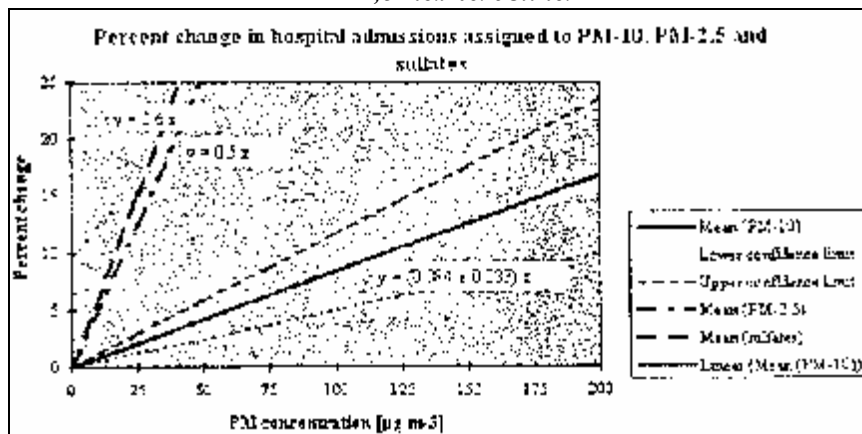
5.3 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΥ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ ΥΓΕΙΑΣ

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO-World Health Organization) τα αιωρούμενα σωματίδια είναι δυνατόν να επιδράσουν αρνητικά στην ανθρώπινη υγεία σε συγκεντρώσεις, κατά πολύ χαμηλότερες από όλες τις ισχύουσες σήμερα οριακές τιμές, στις διάφορες χώρες. Από του ειδικούς επιστήμονες του οργανισμού, δεν προτάθηκε οριακή τιμή συγκέντρωσης κάτω από την οποία να θεωρείται ότι δεν επηρεάζεται η ανθρώπινη υγεία.

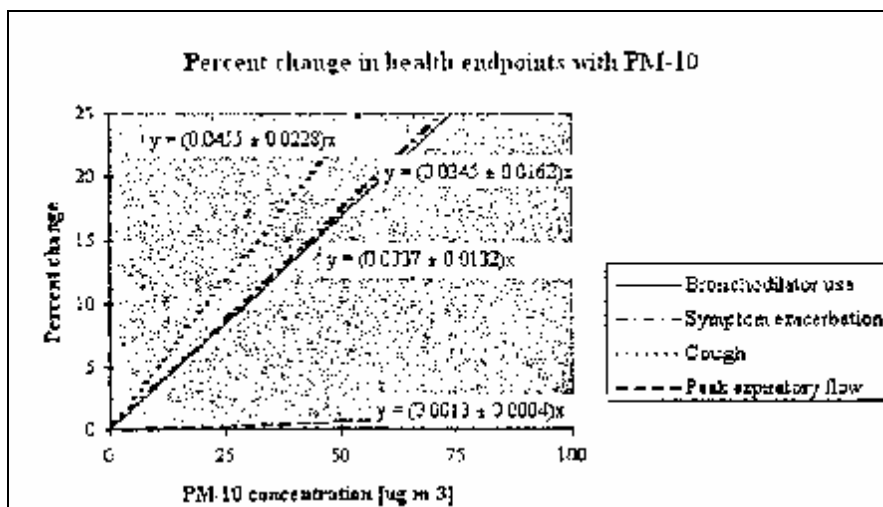
Για αυτό τον λόγο ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας δεν προτείνει κάποια συγκεκριμένη τιμή συγκέντρωσης για τα αιωρούμενα σωματίδια αλλά παραθέτει τα παρακάτω τρία διαγράμματα, από οποία είναι δυνατό να εξαχθεί η επικινδυνότητα συναρτήσει της συγκέντρωσης. Με αυτόν τον τρόπο, κάθε κυβέρνηση μπορεί να επιλέξει το κατάλληλο επίπεδο επικινδυνότητας. [75, 76]



Σχήμα 5.1: Ποσοστό της ημερήσιας θνησιμότητας που αποδίδεται στα PM10, τα PM2,5 και τα θειικά



Σχήμα 5.2: Επίδραση των PM10 στο ποσοστό μεταβολής αναπνευστικών παραμέτρων



Σχήμα 5.3: Ποσοστό μεταβολής στις εισαγωγές σε νοσοκομεία που αποδίδεται σε PM_{10} , $PM_{2,5}$ και θειικά

Τα παραπάνω γραφήματα στην περίπτωση των PM_{10} μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα εύρος συγκεντρώσεων από $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ έως $200\mu\text{g}/\text{m}^3$. Η αντίστοιχη περιοχή για τα $PM_{2,5}$ είναι $10\text{-}100\mu\text{g}/\text{m}^3$.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

6.1 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ

6.1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ

Στην καθομιλουμένη, Στατιστική (statistics) σημαίνει συστηματική απαρίθμηση και παρουσίαση αριθμητικών δεδομένων ή στοιχείων (data), τα οποία προέρχονται από πολλές παρατηρήσεις ή μετρήσεις (observations). Οι παρατηρήσεις αυτές ή οι μετρήσεις αναφέρονται σε συγκεκριμένο αντικείμενο ή γεγονός. Ανάλογα με το αντικείμενο ή το γεγονός στο οποίο αναφέρονται τα αριθμητικά δεδομένα, η Στατιστική παίρνει και ιδιαίτερη ονομασία. Έτσι, όταν γίνεται λόγος π.χ. για Γεωργική Στατιστική, Στατιστική Επιχειρήσεων, Στατιστική Εργατικού δυναμικού κ.λ.π., εννοούνται αριθμητικά δεδομένα που αναφέρονται αντίστοιχα στη γεωργία, στις επιχειρήσεις ή στο εργατικό δυναμικό κ.λ.π. Στην επιστημονική γλώσσα, η λέξη Στατιστική αποκτά ευρύτερη σημασία· σημαίνει την επιστήμη που έχει ως αντικείμενο όχι μόνο τη συγκέντρωση και παρουσίαση, αλλά και τη μελέτη και ανάλυση των παρατηρήσεων ή μετρήσεων που αναφέρονται σε ένα συγκεκριμένο αντικείμενο ή γεγονός, οποιαδήποτε και αν είναι η φύση του. Έτσι, η Στατιστική περιλαμβάνει τόσο τις μεθόδους συλλογής και επεξεργασίας στοιχείων, όσο και τις μεθόδους ανάλυσης και μελέτης τους, ανακαλύπτοντας έτσι σχέσεις που υπάρχουν ανάμεσα στα διάφορα φαινόμενα και διατυπώνοντας συμπεράσματα που είναι χρήσιμα για τη λήψη ορθών αποφάσεων. Μπορεί λοιπόν να ειπωθεί ότι:

Στατιστική (statistical science) είναι η επιστήμη που ασχολείται με τις επιστημονικές μεθόδους συλλογής, οργάνωσης, παρουσίασης και ανάλυσης των αριθμητικών εκείνων στοιχείων που αναφέρονται σε χαρακτηριστικές ιδιότητες διαφόρων οικονομικών, κοινωνικών, δημογραφικών, φυσικών κ.λ.π. φαινομένων και έχει ως σκοπό τη συστηματική μελέτη αυτών των στοιχείων για την κατάληξη σε γενικά συμπεράσματα, που είναι χρήσιμα στη διαδικασία της λήψης ορθών αποφάσεων.

Αναλύοντας τον ορισμό αυτό της Στατιστικής, προκύπτει το συμπέρασμα ότι τα βασικά στάδια που ακολουθούνται για τη μελέτη των ιδιοτήτων των διαφόρων μονάδων μιας πολυπληθούς ομάδας είναι τα εξής:

1. Η συγκέντρωση των στατιστικών στοιχείων που είναι αναγκαία για τη μελέτη του φαινομένου που ερευνάται.
2. Η μεθοδική επεξεργασία και παρουσίαση των στατιστικών στοιχείων σε μορφή αριθμητικών πινάκων και γραφικών παραστάσεων.
3. Η ανάλυση των στοιχείων αυτών και η εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για να ληφθούν σωστές αποφάσεις. [1]

6.1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ

Η λέξη στατιστική προέρχεται από τη λατινική λέξη status (που σημαίνει κράτος) και δηλώνει αρχικά συλλογή στοιχείων για τις κρατικές ανάγκες (έκταση, παραγωγή, πληθυσμό κ.λ.π.). Έχει εξακριβωθεί ότι η πρώτη απογραφή πληθυσμού (census population) έγινε στην Κίνα από τον αυτοκράτορα Υ-άο το έτος 2238 π.Χ., ενώ στους Ρωμαίους η πρώτη απογραφή πληθυσμού έγινε επί Ρωμούλου (753-715 π.Χ.) και η τελευταία από τον αυτοκράτορα Βεσπασιανό το 73 μ.Χ. Στην Αγγλία, η πρώτη καθολική απογραφή του πληθυσμού και του πλούτου γενικά έγινε το 1085 από τον Γουλιέλμο τον κατακτητή.

Το 1583 γράφεται από τον Fr.Sansovino το πρώτο βιβλίο στατιστικού περιεχομένου και λίγο αργότερα εισάγεται από τον Konring (1606-1681) η Στατιστική στην ανώτερη παιδεία.

Την ίδια εποχή εμφανίζεται το ενδιαφέρον για τις ασφάλειες ζωής και ο περίφημος Άγγλος αστρονόμος Halley, χρησιμοποιώντας τα ληξιαρχικά βιβλία (vital statistics) γεννήσεων και θανάτων της πόλεως Breslaou, παρουσιάζει τον πρώτο πίνακα θνησιμότητας. Το ρεύμα αυτό των δημογραφικών μελετών επεκτείνεται και στη Γερμανία, όπου ο πάστορας Siissmilch (1707-1767) συγκεντρώνει στοιχεία από τα ληξιαρχικά βιβλία των εφημερίων της Πρωσίας και καταλήγει, το 1741, στο συμπέρασμα ότι το ποσοστό γέννησης των αγοριών είναι 51% και των κοριτσιών 49%, ενώ τα δύο φύλα έχουν ίσα ποσοστά κατά την εποχή του γάμου. Για το

συγγραφέα το φαινόμενο αυτό δεν είναι τυχαίο γεγονός, αλλά νόμος θείας προέλευσης που αποσκοπεί στη διαιώνιση του είδους. Μέχρι την εποχή αυτή, η Στατιστική έχει περιγραφικό χαρακτήρα και ασχολείται κυρίως με θέματα Δημογραφίας.

Η Στατιστική θα ξεφύγει από τον περιγραφικό χαρακτήρα της με την ανάπτυξη ενός νέου κλάδου, του Λογισμού των Πιθανοτήτων, ο οποίος προήλθε από τη μελέτη των τυχερών παιγνιδιών (χαρακτηριστική μάλιστα είναι η αλληλογραφία ανάμεσα στους Γάλλους μαθηματικούς Pascal και Fermat, με αφορμή τα ερωτήματα που έθεσε στον Pascal ο Ιππότης De Mere για τα παιγνίδια του κύβου). Από τους θεμελιωτές του Λογισμού των Πιθανοτήτων, αξίζει να αναφερθεί ο Bernoulli, ο οποίος στο βιβλίο του “Η τέχνη των προβλέψεων” διατυπώνει τον περίφημο νόμο των μεγάλων αριθμών, και ο Γάλλος μαθηματικός Laplace, στον οποίο οφείλεται η εφαρμογή του Λογισμού των Πιθανοτήτων στη σπουδή των φυσικών φαινομένων με πολυσύνθετες αιτίες. Στη νέα αυτή περίοδο της Στατιστικής, ο Βέλγος αστρονόμος Quetelet επεκτείνει την εφαρμογή της Στατιστικής στη σπουδή των φυσικών, διανοητικών και ηθικών ιδιοτήτων του ανθρώπου και παίρνει την πρωτοβουλία για τη σύγκληση του πρώτου Διεθνούς Συνεδρίου Στατιστικής που έγινε στις Βρυξέλλες το 1853, ενώ αργότερα ο F.Gallon εφαρμόζει τη Στατιστική στη Βιολογία και, ειδικότερα, στα προβλήματα της κληρονομικότητας. Η προσπάθεια του Galton συνεχίστηκε από τον Άγγλο μαθηματικό Pearson, στον οποίο οφείλεται κατά πολύ η σημερινή ανάπτυξη και θέση της Στατιστικής. [1]

6.1.3 ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΠΕΔΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ

Μια απλή αρίθμηση των εφαρμογών της Στατιστικής, που είναι βασικά εφαρμοσμένη επιστήμη, δείχνει ότι αυτή χρησιμοποιείται σε όλους σχεδόν τους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας. Η Στατιστική είναι απαραίτητη στη Διοίκηση γενικά, όπου η λήψη ορθών αποφάσεων έχει μεγάλη σημασία για την πρόοδο ενός κράτους, ενός οργανισμού, μιας βιομηχανίας ή μιας επιχείρησης. Γι' αυτό και δεν υπάρχει σήμερα στις σύγχρονες επιχειρήσεις κανένας τομέας που να μην χρησιμοποιεί τις στατιστικές μεθόδους (statistical methods) στη λήψη επιχειρηματικών αποφάσεων.

Μεγάλη σημασία έχει η εφαρμογή της Στατιστικής στη Δημογραφία, όπου η μελέτη της γαμηλιότητας, της γεννητικότητας, της θνησιμότητας, της μετανάστευσης κ.λ.π., απαιτεί μακροχρόνιες στατιστικές παρατηρήσεις και επίπονες αναλύσεις. Επίσης, η Στατιστική εφαρμόζεται σήμερα στην Ιατρική, Φυσική, Γενετική, Αστρονομία, Βιολογία, Μετεωρολογία, Γεωργία, Βιομηχανία, στη μελέτη του φυσικού περιβάλλοντος, στη μελέτη των ανθρωπίνων ιδεών και προθέσεων, στη Θεωρία των αποφάσεων, στον έλεγχο ποιότητας των προϊόντων κ.λ.π. Τέλος, η Στατιστική βρίσκει πολύ μεγάλη εφαρμογή και στον Οικονομικό τομέα, όπου η παρακολούθηση του γενικού επιπέδου των τιμών, του εθνικού εισοδήματος, της νομισματικής ισοτιμίας και των οικονομικών διακυμάνσεων, της απασχόλησης, της παραγωγικότητας, της κατάρτισης δεικτών οικονομικής δραστηριότητας, των εθνικών πόρων και της εθνικής δαπάνης, είναι αντικείμενα στατιστικής επεξεργασίας. Η χρησιμότητα της Στατιστικής φαίνεται και από το γεγονός ότι η Στατιστική διδάσκεται σήμερα σχεδόν σε όλες της Ανώτατες και Ανώτερες Σχολές της χώρας μας.

[1]

6.1.4 ΒΑΣΙΚΕΣ ΔΙΑΚΡΙΣΕΙΣ ΤΗΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως το γνωστικό πεδίο της στατιστικής καλύπτει ένα ευρύτατο φάσμα αντικειμένων με αποτέλεσμα να είναι αδύνατη η συνολική και σύμμετρη διαπραγμάτευση αυτών. Από την άλλη μεριά, ο επιδιωκόμενος σκοπός και το είδος των πληροφοριών που υπόκεινται σε ανάλυση αποτελούν παράγοντα διαφοροποίησης της μεθοδολογικής προσέγγισης που είναι απαραίτητη για τη στατιστική διερεύνηση επιμέρους προβλημάτων και φαινομένων. Οι λόγοι αυτοί οδήγησαν στην ανάπτυξη ειδικών κλάδων στον ευρύτερο χώρο της στατιστικής.

Έτσι, ανάλογα με τον επιδιωκόμενο σκοπό η στατιστική διακρίνεται σε περιγραφική και σε επαγωγική.

Η περιγραφική στατιστική (descriptive statistics) έχει ως αντικείμενο την ανάπτυξη μεθοδολογίας και τεχνικών για τη συλλογή, την επεξεργασία, την αποθήκευση και τη συστηματοποιημένη παρουσίαση του πρωτογενούς στατιστικού υλικού. Ακόμη, ασχολείται με την εξαγωγή συμπερασμάτων περιγραφικού χαρακτήρα, τα οποία αναφέρονται αποκλειστικά στο ερευνούμενο τμήμα του πληθυσμού χωρίς να

προχωρεί στη διατύπωση προτάσεων γενικότερης εφαρμογής, δηλαδή προτάσεων (συμπερασμάτων) οι οποίες να αφορούν στο σύνολο του πληθυσμού ή να σχετίζονται με την πρόβλεψη της μελλοντικής πορείας του φαινομένου που μελετάται.

Η επαγωγική στατιστική (inductive statistics) ή στατιστική συμπερασματολογία (statistical inference) ασχολείται με την ανάπτυξη μεθόδων και τεχνικών, οι οποίες επιτρέπουν τη διατύπωση συμπερασμάτων με γενική ισχύ αναφορικά με τη συμπεριφορά ενός φαινομένου με βάση πληροφορίες που περιέχονται σε ένα μικρό τμήμα (δείγμα) του πληθυσμού. Με άλλα λόγια, στην περίπτωση της επαγωγικής στατιστικής γίνεται προσπάθεια να διατυπωθούν νόμοι με γενικότερη ισχύ, στηριζόμενοι σε ένα πολύ μικρό τμήμα των δεδομένων που προσδιορίζουν την εξέλιξη ενός φαινομένου. Στο ίδιο εννοιολογικό πλαίσιο εντάσσεται και η προσπάθεια για τη διενέργεια προβλέψεων σχετικών με τη μελλοντική πορεία του φαινομένου και τη λήψη αποφάσεων σε συνθήκες αβεβαιότητας.

Εξάλλου, ανάλογα με το είδος των προς επεξεργασία πληροφοριών και του σκοπού της ανάλυσης, η επαγωγική στατιστική διακρίνεται στους εξής μεγάλους τομείς:

1. Στην κλασική στατιστική συμπερασματολογία (classical statistical inference)
2. Στη στατιστική επαγωγή κατά Bayes (Bayesian inference) και
3. Στην θεωρία αποφάσεων (decision theory).

Στην κλασική στατιστική επαγωγή ή συμπερασματολογία ως πηγή πληροφοριών για την εξαγωγή συμπερασμάτων χρησιμοποιούνται μόνο τα δεδομένα του δείγματος, ενώ η προσέγγιση της επαγωγής κατά Bayes είναι προσανατολισμένη στην ταυτόχρονη επεξεργασία δεδομένων δείγματος και εκ των προτέρων πληροφορήσης (prior information). Τέλος, η μεθοδολογία της θεωρίας αποφάσεων είναι σχεδιασμένη κατά τρόπο που να επιτρέπει, πέρα από τη χρησιμοποίηση στοιχείων δείγματος και προϋπάρχουσας πληροφορήσης, την ενσωμάτωση στην ανάλυση και των συνεπειών που εκτιμάται ότι θα έχουν στο τελικό αποτέλεσμα οι εναλλακτικοί τρόποι δράσης (εναλλακτικές προτάσεις ή αποφάσεις).

Τέλος είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι οι βάσεις του μεθοδολογικού οπλοστασίου της Στατιστικής βρίσκονται στα Μαθηματικά και ειδικότερα στη θεωρία των

Πιθανοτήτων. Ωστόσο, πρέπει να τονιστεί ότι παρά την εκτεταμένη χρήση Μαθηματικών, η στατιστική δεν είναι Μαθηματικά. Είναι ξεχωριστή επιστήμη εφαρμοσμένου χαρακτήρα με δικό της περιεχόμενο και μέθοδο ανάλυσης. [2]

6.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΙ

6.2.1 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ

Ο όρος πληθυσμός (population) αποτελεί θεμελιακή έννοια της Στατιστικής θεωρίας. Εκφράζει το σύνολο των ατόμων ή αντικειμένων ή οποιονδήποτε άλλων οντοτήτων στα οποία αναφέρονται οι παρατηρήσεις, για το οποίο σύνολο πρόκειται να εξαχθούν ορισμένα συμπεράσματα για τα χαρακτηριστικά των στοιχείων του. Με άλλα λόγια, ο όρος πληθυσμός δεν αναφέρεται στις ίδιες τις μονάδες του πλήθους των όντων ή των πραγμάτων που είναι αντικείμενο στατιστικής μελέτης, αλλά στις μετρήσεις ή τις εν γένει παρατηρήσεις τις σχετικές με κάποιο χαρακτηριστικό ή κάποια ιδιότητα των μονάδων αυτών. Ο πληθυσμός πρέπει να είναι καλά ορισμένος, να περιγράφεται δηλαδή με κάποιες ιδιότητες των στοιχείων που τον αποτελούν, ώστε να μπορεί οποιοσδήποτε να αποφανθεί αν κάποιο στοιχείο είναι μέλος του ή όχι. [4,2]

Τα στοιχεία του συνόλου αυτού ονομάζονται στατιστικές μονάδες (statistical unit) ή άτομα του πληθυσμού. Ως στατιστική μονάδα λοιπόν μπορεί να θεωρηθεί οποιοδήποτε άτομο, αντικείμενο ή άλλη οντότητα το οποίο ανήκει σε ορισμένο πληθυσμό και του οποίου όλα τα στοιχεία εξετάζονται ως προς μία ή περισσότερες χαρακτηριστικές ιδιότητες. Αντικείμενο της στατιστικής δεν είναι οι μονάδες του πληθυσμού, αλλά οι ιδιότητες που περιέχουν οι μονάδες του προς μελέτη πληθυσμού. [1]

6.2.2 ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΠΛΗΘΥΣΜΩΝ

Μια βασική διάκριση των στατιστικών πληθυσμών είναι σε πεπερασμένους (finite) και σε άπειρους (infinite), ανάλογα αν το πλήθος των μετρήσεων που περιλαμβάνουν είναι πεπερασμένο ή άπειρο. Για παράδειγμα, οι μετρήσεις που εκφράζουν

διαχρονικά τους κατοίκους τους Ελλάδας (ή της Κίνας) αποτελούν πεπερασμένο στατιστικό πληθυσμό. Αντίθετα, ο αριθμός των άστρων παριστάνει άπειρο πληθυσμό, διότι οι μονάδες πάνω στις οποίες θεωρητικά μπορούν να γίνουν μετρήσεις είναι άπειρες. Θεωρητικά άπειρος είναι και ο πληθυσμός που συνιστούν οι ρίψεις (κορώνα-γράμματα) ενός νομίσματος. Στην ουσία οι άπειροι πληθυσμοί είναι ιδεατοί, με την έννοια ότι εκφράζουν δυνητικές καταστάσεις και συνήθως προκύπτουν ως αποτέλεσμα επανάληψης της ίδιας πράξης ή διαδικασίας χωρίς τέλος.

Οι πεπερασμένοι πληθυσμοί χαρακτηρίζονται ως πολυπληθείς ή ολιγοπληθείς, ανάλογα με το πλήθος των μετρήσεων ή παρατηρήσεων που εκφράζουν. Σε κάθε περίπτωση ο πληθυσμός που ερευνάται πρέπει να προσδιορίζεται με σαφήνεια και να είναι απόλυτα γνωστό ποιες από τις υπάρχουσες μετρήσεις ή παρατηρήσεις ανήκουν ή δεν ανήκουν σ' αυτόν.

Άλλη σημαντική διάκριση των στατιστικών πληθυσμών είναι αυτή σε μονομεταβλητούς και πολυμεταβλητούς πληθυσμούς. Συνήθως οι μονάδες ενός στατιστικού πληθυσμού έχουν περισσότερα από ένα χαρακτηριστικά. Κάθε χαρακτηριστικό εκφράζεται πρακτικά με μία μεταβλητή. Έτσι, με κριτήριο τον αριθμό των μεταβλητών που εξετάζονται κάθε φορά, οι στατιστικοί πληθυσμοί διακρίνονται σε μονομεταβλητούς και πολυμεταβλητούς. Στην περίπτωση των μονομεταβλητών πληθυσμών κάθε μεταβλητή λαμβάνεται και μελετάται μεμονωμένα. Αντίθετα, η περίπτωση συνεξέτασης δύο ή περισσότερων μεταβλητών πρόκειται για διερεύνηση πολυμεταβλητών πληθυσμών ή φαινομένων. [2]

6.2.3 ΔΕΙΓΜΑ

Τα δεδομένα (μετρήσεις ή παρατηρήσεις) που χρησιμοποιούνται στις στατιστικές έρευνες σπάνια καλύπτουν το σύνολο των μονάδων ενός πεπερασμένου πολυπληθούς πληθυσμού. Οι λόγοι ανάγονται κυρίως στις υψηλές δαπάνες και στο μεγάλο χρόνο που απαιτούνται για τη συγκέντρωση παρατηρήσεων που να αναφέρονται σε όλες τις μονάδες ενός πολυαριθμού πληθυσμού. Βεβαίως, στις περιπτώσεις των απείρων στατιστικών πληθυσμών η πλήρης κάλυψη είναι αδύνατη. Για τους λόγους αυτούς η εφαρμοσμένη έρευνα, κατά κανόνα, περιορίζεται σε ένα υποσύνολο του συνόλου των μονάδων που αποτελούν τον πληθυσμό. Το υποσύνολο αυτό ονομάζεται δείγμα

(sample) και αντιπροσωπεύει συνήθως πολύ μικρό ποσοστό του αρχικού συνόλου (π.χ. 10%, 5%, 2% ή μικρότερα). Έτσι, με βάση τις πληροφορίες που περιέχονται στο δείγμα εξάγονται συμπεράσματα για το σύνολο του πληθυσμού. Είναι συνήθης η πρακτική να επιχειρείται η εξαγωγή συμπερασμάτων αναφορικά με την εκλογική συμπεριφορά ενός πληθυσμού με τη βοήθεια πολύ μικρού δείγματος (τα γνωστά gallor). Επειδή οι παρατηρήσεις του δείγματος αποτελούν τη μόνη πληροφόρηση που διαθέτει ο ερευνητής για τον πληθυσμό, το δείγμα πρέπει να είναι καλά σχεδιασμένο και αντιπροσωπευτικό. Για το σκοπό αυτό έχει αναπτυχθεί ειδική μεθοδολογία που είναι γνωστή στη Στατιστική ως δειγματοληψία (random sampling). Αξίζει να τονιστεί ότι η αντιπροσωπευτικότητα (representation) και το μέγεθος του δείγματος παίζουν κρίσιμο ρόλο στην εξαγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων για τον πληθυσμό. [2]

6.2.4 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ

Οι χαρακτηριστικές ιδιότητες των στατιστικών μονάδων ενός πληθυσμού, με τη μελέτη των οποίων ασχολείται η Στατιστική, ονομάζονται μεταβλητές (variable). Οι αριθμοί ή οι άλλες συμβολικές εκφράσεις που αντιπροσωπεύουν τις διάφορες καταστάσεις μιας μεταβλητής ονομάζονται τιμές της μεταβλητής (variable value). [1]

Οι μεταβλητές χωρίζονται σε δύο κυρίως κατηγορίες:

- Στις ποιοτικές μεταβλητές (qualitative variable), που δεν επιδέχονται μέτρηση και οι τιμές τους εκφράζονται με λέξεις. Τέτοιες μεταβλητές είναι π.χ. «η οικογενειακή κατάσταση ενός υπαλλήλου», «η κατάσταση υγείας ενός μαθητή», «το επάγγελμα ενός ατόμου» κ.λ.π.
- Στις ποσοτικές μεταβλητές (numeric, quantitative variable), που επιδέχονται μέτρηση και οι τιμές τους είναι αριθμοί αναφερόμενοι σε συγκεκριμένες μονάδες. Τέτοιες μεταβλητές είναι π.χ. το βάρος ή το ύψος ενός μαθητή, η ηλικία ή το εισόδημα ενός ατόμου, η θερμοκρασία, η συγκέντρωση ενός αέριου ρύπου, ο αριθμός των δωματίων ενός διαμερίσματος κ.λπ. Αν μια ποσοτική μεταβλητή σημειωθεί με το γράμμα X , οι τιμές της θα σημειώνονται με τα αντίστοιχα μικρά γράμματα $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$. [1]

Οι ποσοτικές μεταβλητές διακρίνονται σε ασυνεχείς και συνεχείς:

- Ασυνεχείς (discrete) ονομάζονται οι μεταβλητές εκείνες που μπορούν να λάβουν πεπερασμένο ή αριθμήσιμο πλήθος τιμών. Έτσι, π.χ. η ένδειξη ενός ζαριού είναι μια ασυνεχής τυχαία μεταβλητή, γιατί το σύνολο των τιμών της $\{1,2,3,4,5,6\}$ είναι πεπερασμένο.
- Συνεχείς (continuous) ονομάζονται οι μεταβλητές εκείνες που μπορούν να λάβουν όλες τις τιμές ενός διαστήματος $[a,b]$ όπου a,b πραγματικοί αριθμοί. Έτσι, π.χ. το βάρος ή το ύψος ενός μαθητή, το εισόδημα ή η ηλικία ενός ατόμου, η ταχύτητα, η θερμοκρασία και η συγκέντρωση ενός αέριου ρύπου κ.λπ. είναι συνεχείς μεταβλητές. [1]

Οι μεταβλητές διακρίνονται επίσης σε τυχαίες και μη τυχαίες μεταβλητές.

- Τυχαία ή στοχαστική μεταβλητή (random, stochastic) ονομάζεται η μεταβλητή της οποίας οι τιμές διέπονται από πιθανοτικούς νόμους με συνέπεια να μη μπορούν να προσδιοριστούν εκ των προτέρων.
- Μη τυχαία ή προσδιορίσιμη μεταβλητή (non-random) ονομάζεται η μεταβλητή της οποίας οι τιμές μπορεί να είναι προσδιορίσιμες εκ των προτέρων καθώς δεν διέπονται από πιθανοτικούς νόμους. Οι περισσότερες μεταβλητές είναι τυχαίες μεταβλητές, ιδίως αυτές που εκφράζουν οικονομικά και κοινωνικά φαινόμενα. [3]

6.2.5 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Τα στατιστικά δεδομένα ή στοιχεία αποτελούν την «πρώτη ύλη» της στατιστικής και οικονομετρικής ανάλυσης των φυσικών και κοινωνικοοικονομικών φαινομένων. Αυτά συνοψίζουν κατά περιεκτικό τρόπο τα χαρακτηριστικά και τη συμπεριφορά των φαινομένων που ερευνώνται. Ανάλογα με τη φύση τους και τη χρονική στιγμή που αναφέρονται τα στατιστικά δεδομένα διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

1. Στις χρονολογικές σειρές (time series),
2. Στα διαστρωματικά στοιχεία (cross-section data),
3. Στα πειραματικά (experimental) και
4. Στα μη πειραματικά δεδομένα.

Η διάκριση των δεδομένων σ' αυτές τις κατηγορίες έχει ιδιαίτερη αξία για τις πληροφορίες που αυτά δίνουν, την ακρίβεια των δεδομένων, τη στατιστική μεθοδολογία που κάθε φορά πρέπει να εφαρμόζεται στην ανάλυση τους, καθώς και για τα συμπεράσματα στα οποία θα καταλήξει η ανάλυση. [2]

Οι χρονολογικές σειρές (time-series data) είναι δεδομένα τα οποία συλλέγονται διαχρονικά και καλύπτουν μια σχετικά μεγάλη χρονική περίοδο. Σε διαφορετική διατύπωση, τα δεδομένα αυτά εκφράζουν τις τιμές μιας μεταβλητής κατά τη διάρκεια ίσων διαδοχικών χρονικών περιόδων (π.χ. μήνα, τρίμηνο, έτος). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στη στατιστική ο όρος χρονοσειρά εκτός από το είδος των στατιστικών στοιχείων υποδηλώνει και τον τρόπο με τον οποίο εξελίσσεται διαχρονικά ένα φαινόμενο. Η πορεία αυτή μέσα στο χρόνο αντιμετωπίζεται ως στοχαστική διαδικασία (stochastic process), η δε ανάλυση των χρονοσειρών (time series analysis) αποσκοπεί στην αποκάλυψη μακροχρόνιων τάσεων (trends) ή περιοδικών κυμάνσεων όπως εποχικότητα (seasonal variations, movements) ή κυκλικότητα (cyclical movements) και αφετέρου να επιτύχει ικανοποιητικές προβλέψεις (predictions) και προβολές (projections) μεγεθών στο μέλλον. [2,3]

6.3 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

6.3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η δυσκολία χειρισμού πολυπληθών παρατηρήσεων επέβαλε την επινόηση μεθόδων με τη χρήση των οποίων είναι δυνατή η συμπύκνωση της παρεχόμενης από τα δεδομένα πληροφορίας. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται η μέθοδος της κατάταξης των διαστημικών και αναλογικών δεδομένων σε κλάσεις (τάξεις, ομάδες) και η παρουσίαση τους σε πίνακες κατανομής συχνοτήτων. Βοήθεια στην προσπάθεια που καταβάλλεται για την κατανόηση της δομής και φυσιογνωμίας του υπό μελέτη δείγματος ή πληθυσμού έρχονται να δώσουν και ειδικά διαγράμματα, όπως τα ιστογράμματα, οι καμπύλες συχνοτήτων, οι ασπίδες και τα αθροιστικά διαγράμματα. [3]

6.3.2 ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

Έστω ότι για τη μελέτη της τυχαίας, ποσοτικής μεταβλητής X επιλέγεται δείγμα μεγέθους n . Η μεταβλητή αυτή μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή σε ένα διάστημα μεταξύ δύο πραγματικών αριθμών $[a, \beta]$. Προκύπτει μια σειρά δεδομένων της μορφής $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$. Αυτά ονομάζονται πρωτογενή (ακατέργαστα) δεδομένα (raw data). Για διευκόλυνση της ταξινόμησης των αρχικών δεδομένων σε πίνακα κατά συχνότητα εμφάνισης, τα αρχικά δεδομένα (original data) διατάσσονται κατά φυσική αύξουσα τάξη μεγέθους (ascending order) και προκύπτουν οι διατεταγμένες τιμές των δεδομένων (ordered data).

Ορίζεται ως εύρος τιμών (range) και συμβολίζεται με R η διαφορά μεταξύ της μέγιστης και της ελάχιστης τιμής της μεταβλητής. Δηλαδή ισχύει:

$$R = x_{max} - x_{min} \quad (6.1)$$

Επειδή η μεταβλητή X πρόκειται περί συνεχούς μεταβλητής, η λογικότερη προσέγγιση είναι η υποδιαίρεση του εύρους (R) των τιμών της μεταβλητής σε τάξεις ή διαστήματα τάξεων (classes, class intervals) κατά τρόπο ώστε να αποφευχθούν επικαλύψεις ή κενές περιοχές τιμών. Η εν συνεχεία καταμέτρηση των επί μέρους τιμών της μεταβλητής που εμπίπτουν σε κάθε τάξη, ολοκληρώνει την διαδικασία ομαδοποίησης (ταξινόμησης, κλασικοποίησης) των δεδομένων. Στις συνεχείς κατανομές (continuous distributions) οι συχνότητες καλούνται και ταξικές συχνότητες (class frequencies) και εκφράζουν τον αριθμό των ατόμων f_i (απόλυτη συχνότητα) ή την αναλογία των ατόμων (f_i/n) που επί συνόλου η παρατηρήσεων εμπίπτουν σε κάθε ένα από τα διαστήματα τάξεων της κατανομής (σχετική συχνότητα). [3]

Το πλήθος των τάξεων της κατανομής συμβολίζεται με το λατινικό γράμμα k . Ο αριθμός των χρησιμοποιούμενων τάξεων εξαρτάται κατά περίπτωση από τη φύση των δεδομένων και από το εύρος των τιμών τους. Στις περισσότερες περιπτώσεις ένας αριθμός τάξεων μεταξύ 5 και 20 θεωρείται ότι ικανοποιεί τα επιθυμητά χαρακτηριστικά της ομοιογένειας, απλότητας, καλαισθησίας και λειτουργικότητας της κατανομής. Είναι φανερό ότι με την χρησιμοποίηση μικρού αριθμού τάξεων

μεγάλο ποσοστό παρατηρήσεων (50% ή και περισσότερο) μπορεί να εμπίπτει σε μία μόνο τάξη, ενώ αντίθετα η υιοθέτηση μεγάλου αριθμού τάξεων οδηγεί σε κατανομή με τάξεις μικρών ή και μηδενικών συχνοτήτων. Η "χρυσή τομή", πέραν της φύσεως των δεδομένων, επιτυγχάνεται και με την εμπειρία του ερευνητή, στον οποίον πλέον παρέχεται από τους H/Y η δυνατότητα να επιχειρεί διαφορετικές ομαδοποιήσεις των δεδομένων χωρίς κόπο, όσο μεγάλος και αν είναι ο αριθμός των υπό μελέτη παρατηρήσεων.

Στην πράξη, η χρήση κατανομών συχνοτήτων με ίσο πλάτος είναι συνήθης και επιθυμητή διότι διευκολύνει την κατανόηση και ανάλυση των στοιχείων. Εάν το εύρος τιμών της μεταβλητής R είναι πεπερασμένο, το πλάτος των διαστημάτων τάξεων (class interval) προσδιορίζεται εύκολα από τον τύπο:

$$\delta = \frac{R}{k} \quad (6.2)$$

όπου k ο επιθυμητός αριθμός των τάξεων της κατανομής.

Συνήθως η τιμή του δ στρογγυλοποιείται (προς τα πάνω ή προς τα κάτω) σε ένα αριθμό που να διευκολύνει στην απομνημόνευση της κατανομής και την ερμηνεία του φαινομένου.

Ένας άλλος τρόπος που παρέχει κατά προσέγγιση το πλάτος των διαστημάτων τάξεων δίδεται από τον εμπειρικό τύπο του H. A. Stages:

$$\delta = \frac{R}{1 + 3,322 \log n} \quad (6.3)$$

όπου η ο συνολικός αριθμός των παρατηρήσεων.

Οι κατώτερες και ανώτερες τιμές που προσδιορίζουν τα διαστήματα τάξεων καλούνται όρια τάξεων (class limits). Τα κατώτερα και ανώτερα όρια των διαστημάτων τάξεων συμβολίζονται με L_i , και U_i , αντίστοιχα. Η διαφορά μεταξύ των δύο ορίων προσδιορίζει το πλάτος των διαστημάτων, δ_i δηλαδή:

$$\delta_i = U_i - L_i, \text{ όπου } i=1,2,\dots,k \quad (6.4)$$

Το ημιάθροισμα των δύο ορίων καλείται κεντρική τιμή διαστημάτων τάξεων (class midpoints) και συμβολίζεται με w_i , δηλαδή:

$$w_i = \frac{L_i + U_i}{2}, \text{ όπου } i=1, 2, \dots, k. \quad (6.5)$$

Η βασική υπόθεση που διέπει τις κατανομές συχνοτήτων είναι ότι οι συχνότητες κατανέμονται ομοιόμορφα μέσα στα διαστήματα τάξεων και συνεπώς συγκεντρώνονται γύρω από την κεντρική τιμή της αντίστοιχης τάξης. Η υπόθεση αυτή βέβαια δεν είναι πάντα ακριβής και μάλιστα όσο αυξάνεται το πλάτος των διαστημάτων τάξεων, τόσο μεγαλύτερος είναι ο κίνδυνος απομάκρυνσης από την βασική υπόθεση περί ομοιόμορφης κατανομής των συχνοτήτων στις επί μέρους τάξεις. Από την άλλη πλευρά, όσο ελαττώνεται το πλάτος των τάξεων, τόσο μεγαλύτερη ακρίβεια επιτυγχάνεται, όμως σε ορισμένες περιπτώσεις αυτό μπορεί να αποβεί σε βάρος της επιδιωκόμενης απλότητας και περιληπτικής παρουσίασης των μετρήσεων. [3]

6.3.3 ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΕΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ

Οι απλές (ταξικές) συχνότητες όπως αναφέρθηκε παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τον αριθμό των ατόμων ή την αναλογία των ατόμων που επί συνόλου η παρατηρήσεων εμπίπτουν σε κάθε ένα από τα διαστήματα τάξεων της κατανομής. Το άθροισμα των συχνοτήτων όλων των τάξεων είναι ίσο με το σύνολο των διαθεσίμων παρατηρήσεων, και το αντίστοιχο άθροισμα των σχετικών συχνοτήτων είναι ίσο με 1 ή με 100 ανάλογα με το εάν οι σχετικές συχνότητες εκφράζονται ανά μονάδα ή ως ποσοστό επί τοις εκατό. Δηλαδή ισχύει:

$$\sum_{i=1}^k f_i = n \quad (6.6)$$

$$\sum_{i=1}^k \frac{f_i}{n} = 1 \quad (6.7)$$

$$\sum_{i=1}^k \frac{f_i}{n} 100 = 100 \quad (6.8)$$

όπου k το πλήθος των τάξεων της κατανομής.

Οι σχετικές συχνότητες επέχουν θέση πιθανοτήτων, δεδομένου ότι για μεγάλες τιμές του n , και με την προϋπόθεση του αναλλοίωτου των χαρακτηριστικών κάτω από

διαδικασία επαναλαμβανόμενης τυχαίας δειγματοληψίας αναμένεται ότι οι λόγοι f_i/n τείνουν να εξομοιωθούν με τις αληθείς πληθυσμιακές αναλογίες.

Πολλές φορές στη στατιστική ανάλυση απαιτείται η γνώση του αριθμού ή ποσοστού των παρατηρήσεων μιας μεταβλητής που περιλαμβάνεται μέχρι ενός ορισμένου διαστήματος τάξης ή του αριθμού των παρατηρήσεων των οποίων οι τιμές είναι μικρότερες ή ίσες μιας ορισμένης τιμής της μεταβλητής. Για αυτό το λόγο εισάγονται οι έννοιες της απόλυτης και σχετικής αθροιστικής συχνότητας (cumulative frequency).

Οι απόλυτες αθροιστικές συχνότητες (συμβολιζόμενες με F_i) υπολογίζονται εύκολα αθροίζοντας τις απλές συχνότητες, από την πρώτη προς την τελευταία τάξη της κατανομής. Οι σχετικές αθροιστικές συχνότητες εκφράζονται ως ποσοστό (%) επί του συνολικού αριθμού των παρατηρήσεων. Επειδή η γραφική παράσταση των αθροιστικών συχνοτήτων εμφανίζεται με την μορφή πολυγωνικής γραμμής που ξεκινά από το κάτω αριστερό άκρο του διαγράμματος κατευθυνόμενη προς το άνω δεξιό άκρο, οι συχνότητες αυτές καλούνται δεξιόστροφες αθροιστικές συχνότητες ("less than" cumulative frequencies).

Από τα ανωτέρω συνάγεται ότι η πρώτη αθροιστική συχνότητα είναι ίση με την πρώτη ταξική συχνότητα, η τελευταία αθροιστική συχνότητα είναι ίση με το σύνολο των διαθέσιμων παρατηρήσεων, ενώ η διαφορά μεταξύ δυο διαδοχικών αθροιστικών συχνοτήτων ισούται με την αντίστοιχη ταξική συχνότητα. Ισχύει γενικά ότι:

$$F_j = \sum_{j=1}^k f_j, \text{ όπου } i=1,2,\dots,k \quad (6.9)$$

$F_k = \text{σύνολο διαθέσιμων παρατηρήσεων } n \text{ (απόλυτα μεγέθη) ή } 100\% \text{ (σχετικά μεγέθη)}$

$$F_1 = f_1 \quad (6.10)$$

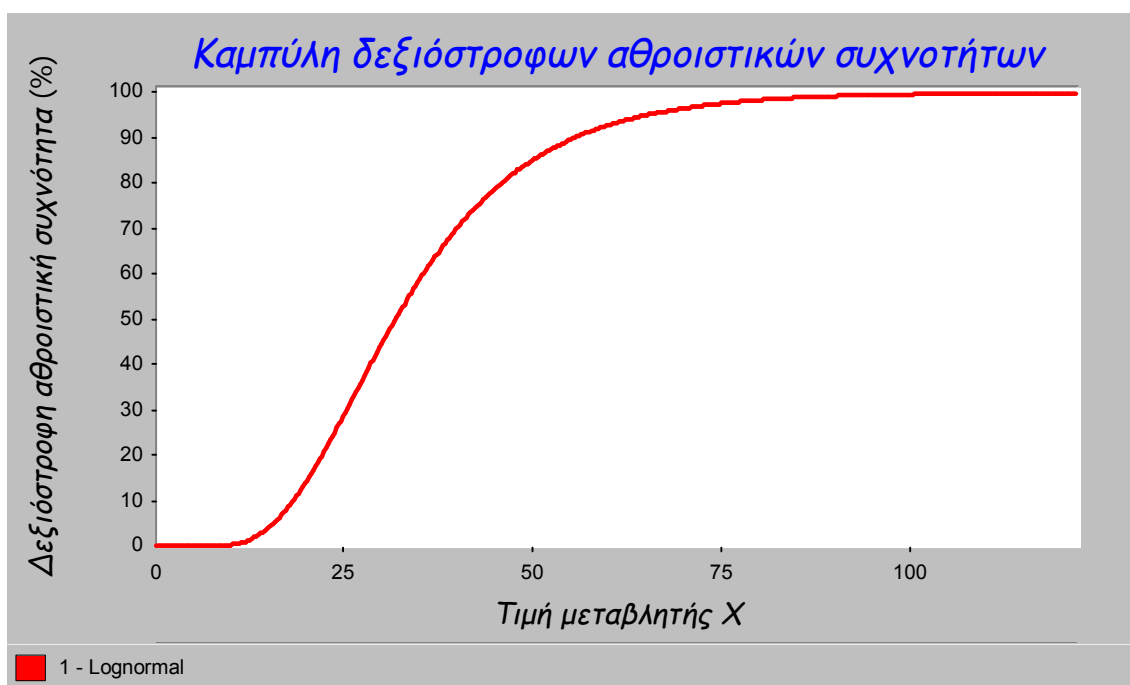
$$F_{i+1} - F_i = f_i \text{ όπου } i=1,2,\dots,k \quad (6.11)$$

Παρουσιάζει μερικές φορές ενδιαφέρον η γνώση τον αριθμόν ή του ποσοστού των στατιστικών μονάδων τον πληθυσμού ή του δείγματος των οποίων οι τιμές είναι ίσες ή μεγαλύτερες κάποιου ορίου. Τα στοιχεία αυτά παρέχονται από τις λεγόμενες αριστερόστροφες αθροιστικές συχνότητες ("or more" cumulative frequencies), οι οποίες προκύπτουν αθροίζοντας τις ταξικές συχνότητες, ξεκινώντας όμως τους

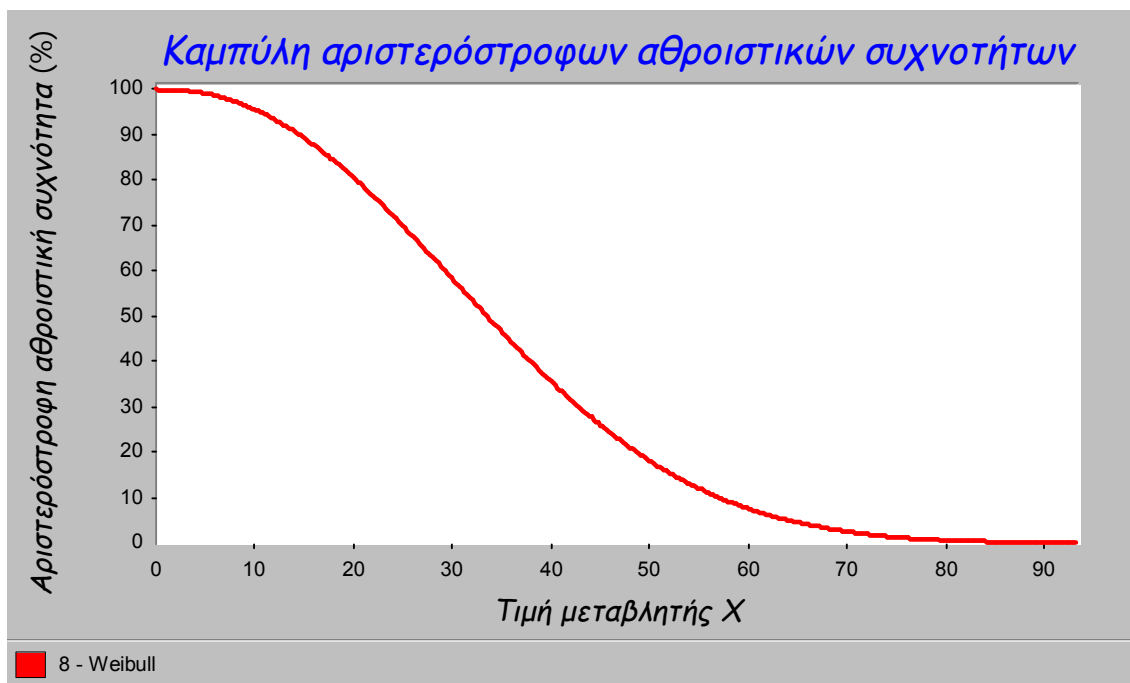
υπολογισμούς από την τελευταία προς την πρώτη τάξη της κατανομής. Στην πραγματικότητα, οι πληροφορίες αυτές παρέχονται άμεσα αφαιρώντας από το σύνολο ή το 100% των παρατηρήσεων τις δεξιόστροφες αθροιστικές συχνότητες (F_i). Στην προκειμένη περίπτωση η τελευταία αριστερόστροφη αθροιστική συχνότητα είναι ίση με την τελευταία απλή συχνότητα, η δε πρώτη αριστερόστροφη αθροιστική συχνότητα είναι ίση με η (ή N) ή με 1 (ή 100%) ανάλογα με το αν οι συχνότητες εκφράζονται σε απόλυτα ή σχετικά μεγέθη. Οι αριστερόστροφες αθροιστικές συχνότητες χρησιμοποιούνται σπανιότερα των αντιστοίχων δεξιόστροφων, όταν δε χρησιμοποιείται ο όρος αθροιστική συχνότητα ή αθροιστική κατανομή χωρίς άλλη διευκρίνιση, θα εννοούνται οι δεξιόστροφες αθροιστικές συχνότητες ή κατανομές. [3]

6.3.4 ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

Οι αθροιστικές κατανομές συχνοτήτων εύκολα απεικονίζονται γραφικά με τα αθροιστικά διαγράμματα ή αντίδες (ogive) και με την καμπύλη αθροιστικών συχνοτήτων (smoothed ogive) στην περίπτωση που το πλήθος των διαθέσιμων παρατηρήσεων είναι αρκετά μεγάλο. Τα διαγράμματα αυτά μπορεί να αναφέρονται είτε στις απόλυτες είτε στις σχετικές αθροιστικές συχνότητες, χωρίς αυτό να επηρεάζει τη μορφή της. Οι καμπύλες των δεξιόστροφων και αριστερόστροφων αθροιστικών συχνοτήτων έχουν την μορφή των καμπύλων των σχημάτων. [3,2]



Διάγραμμα 6.1: Καμπύλη δεξιόστροφων αθροιστικών συχνοτήτων



Διάγραμμα 6.2: Καμπύλη αριστερόστροφων αθροιστικών συχνοτήτων

6.3.5 ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΚΑΤΑΝΟΜΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

Η γραφική απεικόνιση μιας κατανομής συχνοτήτων δεδομένων μιας συνεχούς μεταβλητής μπορεί να γίνει με τρεις τρόπους:

- Ιστόγραμμα συχνοτήτων (frequency histogram)
- Πολύγωνο συχνοτήτων (frequency polygon)
- Καμπύλη συχνοτήτων (frequency curve)

Η μορφή του σχήματος δεν διαφοροποιείται με την χρησιμοποίηση απολύτων ή σχετικών συχνοτήτων, δεδομένου ότι τα γραφήματα παρουσιάζουν σχηματικά τη δομή τον εξεταζόμενου πληθυσμού ή δείγματος, απεικονίζουν δηλαδή συγκριτικά το μέγεθος κάθε μιας τάξης της κατανομής του συνόλου των παρατηρήσεων. [3]

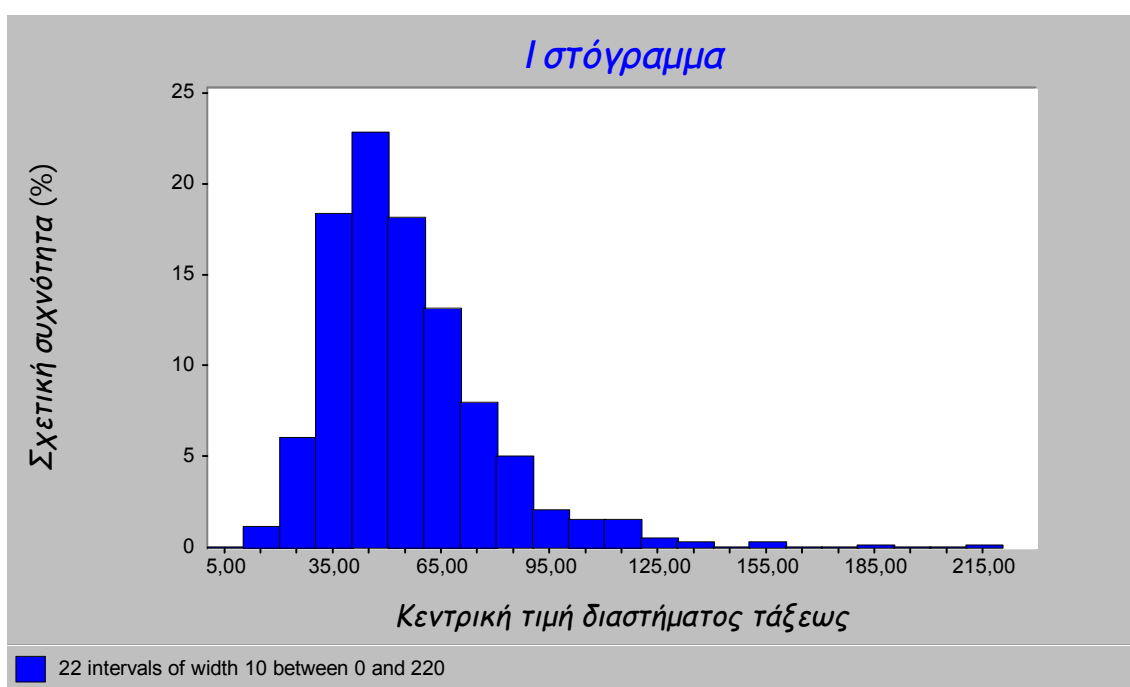
ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

Το ιστόγραμμα συχνοτήτων ή απλώς ιστόγραμμα αποτελεί τον σημαντικότερο ίσως τρόπο γραφικής απεικόνισης μιας συνεχούς κατανομής συχνοτήτων. Με τη βοήθεια του ιστογράμματος μπορεί να ελεγχθεί ο βαθμός συγκέντρωσης των δεδομένων σε

κάποια ή κάποιες από τις τάξεις, καθώς και το ποσοστό των παρατηρήσεων που εμπίπτει μεταξύ δύο τιμών της μεταβλητής. Η χρήση των ιστογραμμάτων δεν ενδείκνυται για την γραφική απεικόνιση και σύγκριση ταυτοχρόνως δύο ή περισσότερων κατανομών. Αυτό επιτυγχάνεται με τις πολυγωνικές γραμμές και τις καμπύλες συχνοτήτων. [3]

Τα ιστογράμματα είναι μια σειρά εφαπτόμενων ορθογωνίων παραλληλογράμμων που έχουν βάση τον οριζόντιο άξονα των ορθογωνίων συντεταγμένων, το δε ύψος τους είναι ανάλογο με τη συχνότητα την οποία αντιπροσωπεύουν. [1]

Για την κατασκευή ενός ιστογράμματος σε σύστημα των ορθογωνίων συντεταγμένων απεικονίζονται στον άξονα των τετμημένων X τα διαστήματα τάξεων της κατανομής με διαδοχικά ευθύγραμμα τμήματα συμβατικού μήκους και στον άξονα των τεταγμένων Y απεικονίζονται οι σχετικές ή απόλυτες συχνότητες. Από τα όρια των τάξεων φέρονται κατακόρυφα ύψη ίσα προς τη συχνότητά τους και προκύπτει ένας αριθμός αλληλοεφαπτομένων παραλληλογράμμων, τα οποία δίνουν το ιστογράμμα τάξεων. [1]



Διάγραμμα 6.3: Ιστόγραμμα συχνοτήτων

ΠΟΛΥΓΩΝΟ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

Το πολύγωνο συχνοτήτων προκύπτει από το ιστόγραμμα με τη σύνδεση με ευθύγραμμα τμήματα των κέντρων των άνω πλευρών των ορθογωνίων (ιστών). Το πολύγωνο συχνοτήτων ενδείκνυται κυρίως για ταυτόχρονη σύγκριση δύο ή περισσότερων κατανομών συχνοτήτων. [3]

ΚΑΜΠΥΛΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

Στην περίπτωση που είναι διαθέσιμος ένας αρκετά μεγάλος αριθμός μετρήσεων μιας συνεχούς μεταβλητής η πολυγωνική γραμμή - που σχηματίζεται από την σύνδεση των κέντρων των κορυφών των ορθογωνίων παραλληλογράμμων του αντίστοιχου ιστογράμματος συχνοτήτων-προσεγγίζει (μετασχηματίζεται οριακά σε) μία ομαλή καμπύλη η οποία καλείται καμπύλη συχνοτήτων. Στην ουσία η καμπύλη συχνοτήτων, αποτελεί την γραφική απεικόνιση επί του επιπέδου των ορθογωνίων αξόνων απείρων σημείων των οποίων οι τετμημένες αντιστοιχούν στις άπειρες τιμές της συνεχούς μεταβλητής. Βέβαια με το "χέρι" δεν είναι δυνατόν να σχεδιαστεί μία τέτοια λεπτομερής καμπύλη, όμως με τη χρήση των ειδικών λογισμικών εργαλείων η κατασκευή της είναι εφικτή χωρίς δυσκολία. [3]

Οι καμπύλες συχνοτήτων, στα πλαίσια της περιγραφικής στατιστικής, αποτελούν μία από τις δυνατότητες γραφικής απεικόνισης των κατανομών συνεχών δεδομένων κατά συχνότητες. Ωστόσο οι καμπύλες συχνοτήτων έχουν μεγάλη σπουδαιότητα και στην στατιστική συμπερασματολογία και εκτιμητική. Η θεωρητική μελέτη των καμπυλών συχνοτήτων έχει οδηγήσει στην ποσοτική (μαθηματική) διατύπωση συναρτησιακών σχέσεων οι οποίες εκφράζουν την σχέση ανάμεσα στις τιμές της μεταβλητής και στις συχνότητες εμφάνισης τους μέσα στον πληθυσμό. Διακρίνονται τέσσερις οικογένειες θεωρητικών κατανομών οι οποίες λαμβάνουν το όνομα τους από το σχήμα που παρουσιάζουν. Πρόκειται για τις:

- Μονοκύρυνες κατανομές (unimodal distributions)
- Κατανομές σχήματος U (U-shaped distributions)
- Κατανομές σχήματος J (J-shaped distributions)
- Διάφορες σύνθετες κατανομές ιδιάζουσας μορφής (πολυκόρυφες).

Κατανομές σχήματος U ή αντιστρόφου U παρατηρούνται σε ορισμένα οικονομικά μεγέθη, όμως γενικά δεν απαντώνται συχνά κατά τις εφαρμογές. Επίσης οι κατανομές σχήματος J και αντιστρόφου J δεν είναι συνήθεις, απεικονίζουν όμως μερικές φορές αθροιστικές κατανομές συχνοτήτων. Τέλος οι κατανομές της τελευταίας κατηγορίας περιγράφουν κάποια σύνθετα και πολύπλοκα φαινόμενα, η μελέτη όμως των οποίων υπερβαίνει τα όρια της περιγραφικής στατιστικής προσέγγισης. Γενικά το ενδιαφέρον, από πλευράς ανάλυσης, επικεντρώνεται στις μονοκόρυφες κατανομές.

[3]

6.4 ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΤΥΧΑΙΑΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ

Οι θεωρητικές αυτές κατανομές, όπως αναφέρθηκε, χαρακτηρίζονται από κάποιες συναρτησιακές σχέσεις οι οποίες εκφράζουν τη σχέση ανάμεσα στην τιμή της μεταβλητής και τη συχνότητα εμφάνισης της. Οι σχέσεις αυτές είναι οι συναρτήσεις κατανομής και οι συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας.

6.4.1 ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ

Μια τυχαία μεταβλητή X ονομάζεται συνεχής, όπως αναφέρθηκε, αν μπορεί να πάρει όλες τις τιμές στο διάστημα $[a, \beta]$. Στην περίπτωση της συνεχούς τυχαίας μεταβλητής η πιθανότητα να πάρει η τυχαία μεταβλητή X μια ορισμένη τιμή x_i είναι 0, δηλαδή:

[1]

$$P(X=x_i)=0 \quad (6.12)$$

Πολλές φορές είναι χρήσιμη η γνώση με την οποία μια τυχαία μεταβλητή παίρνει τιμές μικρότερες ή ίσες ορισμένης τιμής αυτής. Η πιθανότητα αυτή εξαρτάται από τη συγκεκριμένη τιμή της μεταβλητής, ονομάζεται αθροιστική πιθανότητα και συμβολίζεται με $F(x)$.

Η συνάρτηση $F(x)$ ονομάζεται συνάρτηση κατανομής (distribution function) ή αθροιστική συνάρτηση κατανομής (cumulative distribution function) της τυχαίας μεταβλητής X και ορίζεται από τη σχέση:

$$F(x) = P\{X \leq x\} = \int_{-\infty}^x f(x) dx \quad (6.13)$$

Η συνάρτηση κατανομής $F(x)$ έχει τις παρακάτω ιδιότητες:

1. Η $F(x)$ είναι μη φθίνουσα συνάρτηση του x , δηλαδή αν $x_1 < x_2$, τότε και $F(x_1) \leq F(x_2)$.
2. Η $F(x)$ παίρνει τιμές στο κλειστό διάστημα $[0, 1]$
3. Αν $x \rightarrow -\infty$, τότε $F(x) \rightarrow 0$: $\lim_{x \rightarrow -\infty} F(x) = 0$
4. Αν $x \rightarrow \infty$, τότε $F(x) \rightarrow 1$: $\lim_{x \rightarrow \infty} F(x) = 1$
5. Η $F(x)$ είναι συνεχής από τα δεξιά για όλα τα x . [1,2]

6.4.2 ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ

Αν $F(x)$ και $F(x+dx)$ είναι 2 τιμές της συνάρτησης κατανομής, θα ισχύει

$$F(x+dx) - F(x) = P\{X < x+dx\} - P\{X < x\} = P$$

$$F(x+dx) - F(x) = P\{x < X < x+dx\}$$

Θέτοντας $P\{x < X < x+dx\} = f(x)dx$ συνεπάγεται ότι:

$$f(x) = \lim_{dx \rightarrow 0} \frac{F(x+dx) - F(x)}{dx}$$

Η συνάρτηση $f(x)$ ονομάζεται συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (probability density function) και είναι η παράγωγος της συνάρτησης κατανομής $F(x)$, δηλαδή:

$$f(x) = F'(x) = \frac{dF(x)}{dx} \quad (6.14)$$

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας έχει τις παρακάτω ιδιότητες:

1. $f(x) \geq 0$ για όλα τα $x \in \mathbb{R}$, $-\infty < x < \infty$

2. Το συνολικό εμβαδόν κάτω από την καμπύλη της $f(x)$ ισούται με τη μονάδα,

$$\text{δηλαδή: } \int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1$$

Οι παραπάνω σχέσεις είναι αναγκαίες και ικανές συνθήκες για να είναι η $f(x)$ συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας.

Για κάθε ζεύγος πραγματικών αριθμών a και β , όπου $-\infty < a < \infty$, $-\infty < \beta < \infty$ θα ισχύει:

$$P(a < x < \beta) = \int_a^{\beta} f(x) dx \quad (6.15)$$

Επειδή η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας $f(x)$ μετά από ολοκλήρωση εξασφαλίζει την αντιστοιχία μεταξύ των διαστημάτων $a < x < \beta$ και των πιθανοτήτων $P(a < X < \beta)$ συνήθως αυτή καλείται και κατανομή. [1,2]

6.5 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΑ ΜΕΤΡΑ

Το πρώτο και βασικό στάδιο της στατιστικής ανάλυσης από την άποψη της μελέτης μιας ιδιότητας ύστερα από τη συλλογή των στατιστικών στοιχείων είναι η ταξινόμηση και η εμφάνιση των πολυάριθμων παρατηρήσεων με μορφή κατανομών συχνοτήτων και διαγραμμάτων. Σκοπός της διαδικασίας αυτής είναι ο περιορισμός του όγκου των συγκεντρωμένων στοιχείων και η ευκολότερη μελέτη και περιγραφή των δεδομένων. Στο σημείο αυτό θα αναπτυχθούν καθιερωμένες υπολογιστικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται με σκοπό την ακόμη συνοπτικότερη περιγραφή των ποσοτικών στοιχείων. Πρόκειται για τον εντοπισμό και υπολογισμό ορισμένων τυπικών τιμών οι οποίες συμπυκνώνουν ποσοτικά την συμπεριφορά των δεδομένων και οι οποίες μπορούν να "αντικαταστήσουν νοερά" τις διαθέσιμες μετρήσεις. [1,3]

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, μελετούνται συνήθως στατιστικές πληροφορίες οι οποίες προέρχονται από κάποιο δείγμα, ένα τμήμα δηλαδή ενός ευρύτερου συνόλου μετρήσεων, του πληθυσμού. Ο κάθε πληθυσμός χαρακτηρίζεται από ορισμένες ιδιότητες οι οποίες προσδιορίζουν-περιγράφουν τη φυσιογνωμία του και τη δομή του. Οι ιδιότητες αυτές εκφράζονται μέσω κάποιων εν δυνάμει αριθμητικών μεγεθών, των

πληθυσμιακών παραμέτρων, οι οποίες μπορούν να υπολογιστούν στην περίπτωση που είναι γνωστές όλες οι μετρήσεις του πληθυσμού. Επιλέγοντας ένα δείγμα, συλλέγονται πληροφορίες που αναφέρονται στις χαρακτηριστικές ιδιότητες του πληθυσμού από τον οποίο προέρχονται και οι οποίες μπορούν να εκτιμηθούν από τα στοιχεία του δείγματος. Οι τυπικές αυτές τιμές, οι οποίες συμπυκνώνουν και συγκεφαλαιώνουν τις πληροφορίες ενός πολυπληθούς συνόλου μετρήσεων, καλούνται στατιστικά περιγραφικά μέτρα (descriptive measures, summary statistics). Επομένως, για ένα σύνολο ποσοτικών δεδομένων, το στατιστικό περιγραφικό μέτρο είναι ένας και μόνον αριθμός ο οποίος υπολογίζεται από τα διαθέσιμα στοιχεία και παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη μορφή και δομή των δεδομένων. Το κύριο πλεονέκτημα των στατιστικών μέτρων έναντι των γραφικών απεικονίσεων και των απλών κατατάξεων σε πίνακες συχνότητας είναι ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διενέργεια εκτιμήσεων και τον έλεγχο στατιστικών υποθέσεων. Επί πλέον, τα μέτρα της περιγραφικής στατιστικής λειτουργούν ως ένα είδος "μνημοτεχνικής διαδικασίας" η οποία διευκολύνει την διενέργεια συγκρίσεων μεταξύ ομοειδών δεδομένων που προέρχονται από διαφορετικά σύνολα μετρήσεων. [3]

Τα στατιστικά μέτρα λόγω του χαρακτήρα τους και του σκοπού για τον οποίο προορίζονται πρέπει να ικανοποιούν ορισμένες ιδιότητες οι οποίες είναι γνωστές ως συνθήκες του Yule. Σύμφωνα με αυτές:

1. Η τιμή του μέτρου πρέπει να υπολογίζεται με αντικειμενικό τρόπο και με τη συμμετοχή όλων των παρατηρήσεων.
2. Η τιμή του να υπολογίζεται με τον κατά το δυνατόν απλούστερο τρόπο και να έχει συγκεκριμένη σημασία έτσι ώστε να είναι κατανοητή ακόμη και σε άτομα που δεν είναι εξοικειωμένα με στατιστικούς υπολογισμούς.
3. Το υπολογιζόμενο μέτρο να είναι όσο το δυνατόν λιγότερο ευαίσθητο σε κυμάνσεις της δειγματοληψίας και να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε επόμενους στατιστικούς υπολογισμούς. Η τελευταία αυτή ιδιότητα έχει την έννοια ότι η τιμή του μέτρου που εκτιμάται από τα στοιχεία του δείγματος θα πρέπει να προσεγγίζει με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια την τιμή της αντίστοιχης παραμέτρου του πληθυσμού από τον οποίο προέρχεται το επιλεγέν δείγμα. [3]

Χρησιμοποιούνται πέντε είδη στατιστικών μέτρων που αντιστοιχούν σε ισάριθμους τρόπους περιγραφής της κατανομής των δεδομένων :

1. Μέτρα κεντρικής τάσης (measures of central tendency): Τα δεδομένα εμφανίζουν μία τάση να περιστρέφονται γύρω από μία κεντρική τιμή η οποία εκφράζει την τυπική ή μέση τιμή τους. Πρόκειται για τα αποκαλούμενα μέτρα κεντρικής τάσης στα οποία υπάγονται οι διάφοροι μέσοι όροι (ο αριθμητικός, ο γεωμετρικός και ο αρμονικός μέσος).
2. Μέτρα θέσης (measures of location): Έχουν επινοηθεί ορισμένα μέτρα τα οποία σκοπό έχουν να εντοπίσουν την θέση της κατανομής κατά μήκος του άξονα των τιμών της μεταβλητής. Οι στατιστικές αυτές αναφέρονται ως μέτρα θέσης και σε αυτές περιλαμβάνονται η επικρατούσα τιμή, η διάμεσος και τα ποσοστημόρια.
3. Μέτρα διασποράς ή διασκόρπισης (measures of variability, dispersion): Ιδιαίτερα σημαντική είναι η γνώση και η ποσοτική αξιολόγηση της έκτασης με την οποία οι τιμές μιας μεταβλητής συγκεντρώνονται ή αντίθετα διασκορπίζονται γύρω από την κεντρική της τιμή. Αυτό εκφράζεται με τα μέτρα διασποράς ή διασκόρπισης στα οποία περιλαμβάνονται η διακύμανση, η τυπική και η μέση απόκλιση της κατανομής και ο συντελεστής μεταβλητότητας. Η διασπορά των μετρήσεων γύρω από την κεντρική τιμή τους συμπληρώνει τα μέτρα κεντρικής τάσης και θέσης και προσδιορίζουν σε μεγάλο βαθμό την μορφή του ερευνούμενου πληθυσμού.
4. Μέτρα λοξότητας ή ασυμμετρίας (measures of skewness): Πρόκειται για δείκτες που προσδιορίζουν το είδος και τον βαθμό της θετικής ή αρνητικής ασυμμετρίας, γνωστότερο από τα οποία είναι ο συντελεστής ασυμμετρίας του Pearson.
5. Μέτρα κύρτωσης (kurtosis measures): Η κατανομή των τιμών της μεταβλητής γύρω από την κεντρική της τιμή σε σχέση με τις ακραίες τιμές της, προσδιορίζει συγκεκριμένη μορφή της μονοκόρυφης καμπύλης, η αιχμηρότητα της οποίας μετράται με τα μέτρα κύρτωσης. Ο απλός και ο

τυποποιημένος συντελεστής κύρτωσης αποτελούν τα στατιστικά μέτρα τα οποία χρησιμοποιούνται για τη μελέτη της ιδιότητας αυτής που παρουσιάζουν οι κατανομές των δεδομένων. [3]

Έστω ένα δείγμα n μετρήσεων και x_1, x_2, \dots, x_n οι δειγματικές τιμές της μεταβλητής X . Για τα σημαντικότερα στατιστικά μέτρα ισχύει:

6.5.1 ΜΕΤΡΑ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ

Το σημαντικότερο μέτρο κεντρικής τάσης θεωρείται ο μέσος.

ΜΕΣΟΣ

Διακρίνονται τρεις κατηγορίες μέσου: ο μέσος αριθμητικός, ο μέσος γεωμετρικός και ο μέσος αρμονικός, από τους οποίους σημαντικότερος θεωρείται ο πρώτος.

Ο αριθμητικός μέσος (arithmetic mean) ορίζεται ως το πηλίκο του αθροίσματος των τιμών των δεδομένων δια του πλήθους των μετρήσεων. Συμβολίζεται με \bar{x} και υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (6.16)$$

Ο αριθμητικός μέσος είναι ένα πολύ εύληπτο στατιστικό μέτρο και εξαιρετικά χρήσιμο τόσο στην περιγραφική όσο και στην επαγωγική στατιστική. Η τιμή του υπολογίζεται εύκολα και εκφράζεται σε μονάδες μέτρησης της μεταβλητής. Έναντι αυτών των πλεονεκτημάτων, ωστόσο παρουσιάζει το μειονέκτημα ότι επηρεάζεται από ακραίες-απομακρυσμένες από τις υπόλοιπες τιμές των δεδομένων, γνωστές στη στατιστική ορολογία ως έκτροπες παρατηρήσεις (outliers).

6.5.2 ΜΕΤΡΑ ΘΕΣΗΣ

Τα σημαντικότερα μέτρα θέσης θεωρούνται η επικρατούσα τιμή, η διάμεσος και τα ποσοστημόρια.

ΕΠΙΚΡΑΤΟΥΣΑ ΤΙΜΗ

Σε ένα σύνολο δεδομένων η τιμή με τη μεγαλύτερη συχνότητα ορίζεται ως επικρατούσα τιμή ή σημείο μέγιστης συχνότητας ή κορυφή (mode) και συμβολίζεται με το γράμμα τ . Γεωμετρικά, η επικρατούσα τιμή αντιστοιχεί στην τιμή της μεταβλητής X για την οποία η καμπύλη κατανομής συχνοτήτων παρουσιάζει μέγιστο και μπορεί εύκολα να υπολογιστεί. Ωστόσο τα δεδομένα δεν εμφανίζουν πάντα επικρατούσα τιμή, ενώ υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες εντοπίζονται περισσότερα του ενός σημεία μέγιστης συχνότητας, αυτό συμβαίνει όταν η καμπύλη συχνοτήτων έχει περισσότερες από μία ισούψεις κορυφές. Κατανομές με ένα σημείο μόνο μέγιστης συχνότητας ονομάζονται μονοκόρυφες (unimodal), με δύο δικόρυφες (bimodal) κ.τ.λ. [2,3]

ΔΙΑΜΕΣΟΣ

Η διάμεσος (median) ενός συνόλου παρατηρήσεων της μεταβλητής X αντιστοιχεί στην τιμή που χωρίζει το σύνολο των διατεταγμένων δεδομένων σε δύο ισοπληθή υποσύνολα. Συνέπεια του ορισμού είναι το 50% των παρατηρήσεων να έχει τιμές μικρότερες ή ίσες της τιμής της διαμέσου, η οποία προφανώς κατέχει την κεντρική θέση. Η διάμεσος συμβολίζεται με τα γράμμα m και εκφράζεται σε μονάδες μέτρησης της μεταβλητής. Για την εύρεση της οι τιμές διατάσσονται κατά αύξουσα ή φθίνουσα σειρά. Αν το πλήθος των παρατηρήσεων είναι περιττό, η διάμεσος συμπίπτει με τον μοναδικό κεντρικό όρο της σειράς. Αν το πλήθος των παρατηρήσεων είναι άρτιο, η διάμεσος αντιστοιχεί στο ημιάθροισμα των δύο κεντρικών όρων. Γενικά η θέση της διαμέσου υπολογίζεται από τον τύπο:

$$m = \frac{n+1}{2} \quad (6.17)$$

Για τον υπολογισμό της διαμέσου δεν χρησιμοποιούνται όλες οι παρατηρήσεις, χαρακτηριστικό που αποτελεί ταυτόχρονα και πλεονέκτημα και μειονέκτημα. Πλεονέκτημα διότι στις περιπτώσεις που τα δεδομένα εμφανίζουν ασυμμετρία η διάμεσος ως στατιστικό μέτρο είναι περισσότερο αντιπροσωπευτικό μέσο από ότι είναι ο μέσος αριθμητικός. Από την άλλη μεριά η μη χρησιμοποίηση όλων των

παρατηρήσεων συνεπάγεται απώλεια πληροφοριών, γεγονός που καθιστά αυτή μη επαρκή εκτιμήτρια της κεντρικής τάσης στον πληθυσμό. [2,3]

ΠΟΣΟΣΤΗΜΟΡΙΑ

Τα σημαντικότερα μέτρα που προσδιορίζουν τη θέση της κατανομής ενός συνόλου δεδομένων είναι τα τεταρτημόρια, τα δεκατημόρια και τα εκατοστημόρια. Τα μέτρα αυτά διαιρούν αντίστοιχα τα δεδομένα σε τέσσερα, σε δέκα και σε εκατό μισά μέρη. Για τον εντοπισμό των μέτρων αυτών διατάσσονται τα δεδομένα κατά αύξουσα τάξη και στη συνέχεια η σειρά των παρατηρήσεων υποδιαιρείται σε 4, 10 ή 100 ίσα μέρη ανάλογα με την περίπτωση. [2]

ΤΕΤΑΡΤΗΜΟΡΙΑ

Τα τεταρτημόρια (quartile) υποδιαιρούν το σύνολο των διαθέσιμων μετρήσεων σε τέσσερις ισοπληθείς ομάδες κάθε μια από τις οποίες περιλαμβάνει το 25% των διατεταγμένων κατά μέγεθος των παρατηρήσεων. Συγκεκριμένα:

Το πρώτο τεταρτημόριο (Q_1) είναι η τιμή εκείνη της μεταβλητής μέχρι την οποία περιλαμβάνεται το 25% των διατεταγμένων τιμών του δείγματος και πάνω από την οποία βρίσκεται το 75%.

Το δεύτερο τεταρτημόριο (Q_2) αντιστοιχεί στην τιμή της μεταβλητής μέχρι την οποία βρίσκεται το 50% των διατεταγμένων τιμών του δείγματος, ενώ το υπόλοιπο 50% βρίσκεται πάνω από αυτήν. Με άλλα λόγια, το δεύτερο τεταρτημόριο αντιστοιχεί στην τιμή της μεταβλητής στην οποία αντιστοιχεί και η διάμεσος.

Το τρίτο τεταρτημόριο (Q_3) αντιστοιχεί στην τιμή της μεταβλητής μέχρι την οποία βρίσκεται το 75% των διατεταγμένων τιμών του δείγματος, ενώ το υπόλοιπο 25% βρίσκεται πάνω από αυτήν.

Έτσι, κάτω από το πρώτο τεταρτημόριο υπάρχουν τόσες τιμές όσες μεταξύ του πρώτου και του τρίτου, καθώς και όσες μεταξύ του δεύτερου και του τρίτου. Ο συμβολισμός των τεταρτημορίων με Q_1 , Q_2 , Q_3 , Q_4 προέρχεται από την αγγλική λέξη Quartile που σημαίνει τεταρτημόριο. [2,3]

ΔΕΚΑΤΗΜΟΡΙΑ

Δεκατημόρια ονομάζονται οι εννέα αριθμοί D_1, D_2, \dots, D_9 που χωρίζουν το πλήθος των παρατηρήσεων σε δέκα ίσα μέρη.

Το πρώτο δεκατημόριο εκφράζει την τιμή της μεταβλητής μέχρι την οποία βρίσκεται το 10% του συνόλου των διατεταγμένων τιμών του δείγματος και πάνω από αυτή υπάρχει το 90%, ενώ το τέταρτο δεκατημόριο αντιστοιχεί στην τιμή της μεταβλητής κάτω από την οποία βρίσκεται το 40% του συνόλου των τιμών της σειράς και πάνω από αυτή βρίσκεται το 60%. Παρόμοια είναι η ερμηνεία των άλλων δεκατημορίων.

Τα δεκατημόρια συμβολίζονται D_k . [1,2]

ΕΚΑΤΟΣΤΗΜΟΡΙΑ

Εκατοστημόριο ονομάζεται μια τιμή της μεταβλητής, τέτοια ώστε τα k εκατοστά ($k\%/100$) των τιμών της μεταβλητής να είναι μικρότερα ή ίσα αυτής και συμβολίζονται με P_k [1]

Η διαφορά ανάμεσα στην τιμή του τρίτου και πρώτου τεταρτημορίου καλείται ενδο-τεταρτημοριακό εύρος (interquartile range) και συμβολίζεται με IQR, δηλαδή:

$$IQR = Q_3 - Q_1 \quad (6.18)$$

Το IQR εκφράζεται σε μονάδες μέτρησης της μεταβλητής και δηλώνει το κεντρικό διάστημα μέσα στο οποίο εμπίπτει το 50% των διατεταγμένων κατά μέγεθος παρατηρήσεων του δείγματος. [3]

6.5.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΩΝ

Συχνά οι κατανομές συχνοτήτων είναι συμμετρικές ως προς την κεντρική τιμή και μονοκόρυφες, δηλαδή έχουν ένα μόνο σημείο αιχμής (peak). Στις περιπτώσεις αυτές ο μέσος (πλέον αντιπροσωπευτική τιμή), η διάμεσος (κεντρική τιμή) και ο τύπος (τιμή με τη μεγαλύτερη συχνότητα) συμπίπτουν. Αντίθετα, όταν η κατανομή εμφανίζει λοξότητα (skewed) τα τρία αυτά μέτρα διαφέρουν μεταξύ τους και έτσι, ανάλογα με

την περίπτωση, εκείνο που θεωρείται ως το καλύτερο μέτρο για μια κατανομή να μην είναι επίσης το καλύτερο και για κάποια άλλη. Στις περιπτώσεις που παρατηρούνται αποκλίσεις από τη συμμετρικότητα είναι σκόπιμο να υπολογίζονται και τα τρία μέτρα. Έτσι ανακύπτει θέμα επιλογής του καλύτερου μέτρου, κάτι που εξαρτάται από τα ερωτήματα που πρόκειται να απαντηθούν σε κάθε περίπτωση.

Σύγκριση μέσου με τη διάμεσο και τον τύπο

1. Ο μέσος αριθμητικός εκφράζει κατά τον πλέον αξιόπιστο τρόπο την κεντρικότητα της κατανομής όταν αυτή είναι συμμετρική.
2. Η τιμή του επηρεάζεται από τη μεταβολή της τιμής οποιασδήποτε παρατήρησης της κατανομής, κάτι που δεν συμβαίνει με τις δυο άλλες παραμέτρους.
3. Η τιμή του Μ.Α. βρίσκεται πλησιέστερα ως προς όλες τις επιμέρους τιμές της κατανομής, αφού το άθροισμα των τετραγώνων των αποκλίσεων των τιμών γύρω από τον Μ.Α. είναι μικρότερο από το αντίστοιχο άθροισμα γύρω από οποιαδήποτε άλλη τιμή.
4. Εμφανίζει θεωρητικές σχέσεις με άλλες παραμέτρους που έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον.

Σύγκριση διαμέσου με τον Μ.Α. και τον τύπο

1. Η διάμεσος διαιρεί τα δεδομένα σε δύο ίσα μέρη και προσφέρεται για χονδρικής φύσεως και γρήγορες απαντήσεις.
2. Η διάμεσος θεωρείται το πλέον αξιόπιστο μέτρο κεντρικής τάσης όταν τα δεδομένα εμφανίζουν έντονη λοξότητα.
3. Η διάμεσος εκφράζει την πλέον αντιπροσωπευτική τιμή της κατανομής, με την έννοια ότι το άθροισμα των απόλυτων διαφορών των επιμέρους τιμών της κατανομής από τη διάμεσο είναι το μικρότερο, σε σύγκριση με οποιαδήποτε άλλη τιμή, δηλαδή: $\sum(|X_i - m|) = \min$
4. Η διάμεσος προτιμάται στις περιπτώσεις που ζητούνται γρήγορες απαντήσεις.

Σύγκριση τύπου με Μ.Α. και διάμεσο

1. Ο τύπος αποτελεί γρήγορη και καλή εκτίμηση του Μ.Α. και της διαμέσου, όταν η κατανομή είναι συμμετρική (ή πολύ κοντά στη συμμετρική).

2. Ο τύπος προτιμάται ως στατιστικό μέτρο όταν η απόφαση που στηρίζεται στην τιμή του αφορά σε όλες τις τιμές της κατανομής. [2]

6.5.4 ΜΕΤΡΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ

Μέτρα κεντρικής τάσης όπως ο μέσος, είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για την συνοπτική περιγραφή ενός συνόλου δεδομένων. Η χρήση όμως ενός και μόνο στατιστικού δεν είναι ικανή να περιγράψει πλήρως την κατανομή των παρατηρήσεων. Ένα από τα βασικότερα γνωρίσματα των στατιστικών δεδομένων είναι η μεταβλητότητα (variability), δηλαδή η διαφοροποίηση των τιμών μιας μεταβλητής μεταξύ των στατιστικών μονάδων. Μικρός βαθμός διαφοροποίησης των τιμών των δεδομένων χαρακτηρίζει ομοιογενή δεδομένα. Ο όρος ομοιογένεια αναφέρεται στην "ομοιότητα" των μετρήσεων. Στην περίπτωση πλήρως ομοιογενών δεδομένων η μεταβλητότητα είναι μηδέν και ο μέσος αποτελεί το πληρέστερο μέτρο περιγραφής τους. Στην πράξη η περίπτωση πλήρους ομοιογένειας είναι σπανιότατη, με συνέπεια να είναι απαραίτητη η μέτρηση του βαθμού μεταβλητότητας, η οποία αυξάνεται όσο περισσότερο διαφοροποιούνται οι τιμές των μετρήσεων μεταξύ τους.

Άλλες ονομασίες της μεταβλητότητας είναι διασπορά (dispersion), εξάπλωση (spread) και διασκόρπιση (scatter).

Τα συνηθέστερα μέτρα για την μέτρηση της μεταβλητότητας είναι το εύρος, η μέση απόλυτη απόκλιση, η διακύμανση, η τυπική απόκλιση και ο συντελεστής μεταβλητότητας. Τα μέτρα αυτά έχουν νόημα όταν υπολογίζονται σε μετρήσεις διαστήματος ή λόγου. [3]

ΕΥΡΟΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ

Εύρος (range) των τιμών μιας μεταβλητής ονομάζεται η διαφορά μεταξύ της μέγιστης και της ελάχιστης τιμής αυτής. Συμβολίζεται με R και ισχύει:

$$R = x_{max} - x_{min}.$$

Το εύρος εξαρτάται μόνο από τις δύο ακραίες τιμές της μεταβλητής και ως εκ τούτου έχει περιορισμένες εφαρμογές, αφού οι πληροφορίες που δίνει είναι εντελώς ενδεικτικές της διασποράς των τιμών της μεταβλητής.

Χρησιμότερα μέτρα εύρους μπορούν να οριστούν με την βοήθεια των ποσοστημορίων της κατανομής. Ένα τέτοιο μέτρο είναι το ενδοτεταρτημοριακό εύρος (IQR) που αναφέρθηκε προηγουμένως, το οποίο δεν επηρεάζεται από τις ακραίες τιμές και αντανακλά την κύμανση των κεντρικών μόνο τιμών του δείγματος. [2,3]

ΜΕΣΗ ΑΠΟΛΥΤΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ

Ένα άλλο χρήσιμο μέτρο είναι η μέση απόλυτη απόκλιση (mean absolute deviation) που ορίζεται ως ο μέσος αριθμητικός των απόλυτων διαφορών του μέσου από τις επιμέρους τιμές της μεταβλητής, δηλαδή:

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n} \quad (6.19)$$

Σε σύγκριση με τα δύο προηγούμενα μέτρα διασποράς, η MAD εμφανίζει το πλεονέκτημα ότι για τον υπολογισμό της χρησιμοποιούνται οι πληροφορίες που υπάρχουν σε όλες τις τιμές της μεταβλητής. [2]

ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΚΑΙ ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ

Ένας άλλος τρόπος υπολογισμού της συνολικής διασποράς των τιμών των δεδομένων γύρω από τον αριθμητικό τους μέσο επιτυγχάνεται αν αντί των απολύτων τιμών ληφθούν τα τετράγωνα των αποκλίσεων των μετρήσεων από το μέσο τους. Το γεγονός ότι οι ποσότητες $(x_i - \bar{x})^2$ είναι πάντα μη αρνητικές επιτρέπει τον προσδιορισμό κατάλληλου στατιστικού μέτρου. Από τους χειρισμούς αυτούς ορίζονται δύο στατιστικά μέτρα, η διακύμανση (variance) και η τυπική απόκλιση (standard deviation) των παρατηρήσεων του δείγματος, τα οποία είναι και τα συχνότερα χρησιμοποιούμενα μέτρα μεταβλητότητας.

Η δειγματική διακύμανση (sample variance) συμβολίζεται με s^2 και η δειγματική τυπική απόκλιση (sample standard deviation) συμβολίζονται με s .

Συγκεκριμένα διακύμανση (variance) ενός πλήθους παρατηρήσεων ονομάζεται ο μέσος αριθμητικός των τετραγώνων των αποκλίσεων των τιμών της μεταβλητής από τον μέσο αριθμητικό, συμβολίζεται με s^2 και δίνεται από τη σχέση:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (6.20)$$

Η διακύμανση εκφράζεται σε μονάδες, οι οποίες είναι τετράγωνα των αρχικών μονάδων. Για να υπάρχει επομένως ένα μέτρο διασποράς και να εκφράζεται στις ίδιες μονάδες που εκφράζεται και η μεταβλητή, χρησιμοποιείται η τετραγωνική ρίζα της διακύμανσης.

Επομένως η θετική τετραγωνική ρίζα της διακύμανσης ορίζεται ως τυπική απόκλιση, συμβολίζεται με s και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (6.21)$$

Από τους ανωτέρω ορισμούς της διακύμανσης και της τυπικής απόκλισης προκύπτει ότι ισχύει πάντα $s^2 > 0$ και $s > 0$.

Μεγάλες τιμές των μέτρων αυτών δηλώνουν μεγάλη μεταβλητότητα των τιμών της μεταβλητής και συνεπώς μεγάλη διασπορά από τον αριθμητικό μέσο. Αν όλες οι τιμές της μεταβλητής είναι ίσες μεταξύ τους τότε η διακύμανση και η τυπική απόκλιση θα είναι μηδενικές. [1,3]

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ

Οι παράμετροι διασποράς (ειδικότερα η τυπική απόκλιση) που αναφέρθηκαν πιο πάνω μετρούν τη διασπορά των τιμών της μεταβλητής γύρω από τη μέση τιμή σε απόλυτους όρους. Το γεγονός αυτό εμποδίζει τις συγκρίσεις, που κατά κανόνα αποτελούν βασική επιδίωξη της στατιστικής ανάλυσης, όταν:

- Οι μεταβλητές και οι κατανομές εκφράζονται σε διαφορετικές μονάδες.
- Οι αριθμητικοί μέσοι δύο διαφορετικών μεταβλητών, έστω και αν εκφράζονται στις ίδιες μονάδες, διαφέρουν πολύ μεταξύ τους.

Τα προβλήματα αυτά ξεπερνιούνται με τη βοήθεια του συντελεστή μεταβλητότητας (Coefficient of variation), ο οποίος μετράει τη διασπορά των τιμών της κατανομής σε σχετικούς όρους. Ο συντελεστής μεταβλητότητας ορίζεται ως ο λόγος της τυπικής απόκλισης προς τον αριθμητικό μέσο και εκφράζει την τυπική απόκλιση ως ποσοστό επί τοις εκατό του μέσου αριθμητικού. Συμβολίζεται με CV και υπολογίζεται από τη σχέση: [1,2,3]

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \quad \text{ή} \quad CV = \frac{s}{\bar{x}} * 100 \quad (6.22)$$

6.5.5 ΜΕΤΡΑ ΑΣΥΜΜΕΤΡΙΑΣ Η ΛΟΞΟΤΗΤΑΣ

Για τον ακριβή προσδιορισμό της μορφολογίας των κατανομών συχνότητας, απαιτούνται και πληροφορίες σχετικά με την ασυμμετρία ή λοξότητα (skewness) καθώς και τον βαθμό συγκέντρωσης που εμφανίζουν οι τιμές της μεταβλητής γύρω από το μέσο και τα άκρα της κατανομής. Συμμετρική είναι η κατανομή όταν ο αριθμητικός μέσος, η διάμεσος και η επικρατούσα τιμή συμπίπτουν και βρίσκονται πάνω στον άξονα συμμετρίας της κατανομής δηλαδή όταν $\bar{x} = m = \tau$. Στην περίπτωση θετικής ασυμμετρίας (positive skewness) ισχύει $\bar{x} > m > \tau$ και στην περίπτωση αρνητικής ασυμμετρίας (negative skewness) ισχύει $\bar{x} < m < \tau$.

Ένα μέτρο περιγραφής της ασυμμετρίας ενός συνόλου δεδομένων είναι ο συντελεστής ασυμμετρίας που ορίζεται από τη σχέση:

$$\beta_1 = \frac{\mu_3}{\mu_2^{3/2}} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{s^3} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^3 \quad (6.23)$$

όπου μ_2, μ_3 η δεύτερη και τρίτη κεντρική ροπή ως προς τον μέσο.

Ο συντελεστής συμμετρίας είναι καθαρός αριθμός και επιτρέπει τη σύγκριση μεταξύ διαφορετικών κατανομών. Ο βαθμός ασυμμετρίας μιας κατανομής εξαρτάται από την

απόσταση του μ_3 από το μηδέν, ενώ η κατεύθυνση της ασυμμετρίας προσδιορίζεται από το αλγεβρικό πρόσημο του μ_3 . [2,3]

Αυτό σημαίνει πως όταν:

- $\beta_1 > 0$ Η κατανομή εμφανίζει θετική ασυμμετρία
- $\beta_1 = 0$ Η κατανομή είναι συμμετρική
- $\beta_1 < 0$ Η κατανομή εμφανίζει αρνητική ασυμμετρία

6.5.6 ΜΕΤΡΑ ΚΥΡΤΩΣΗΣ

Τα μέτρα κύρτωσης χαρακτηρίζουν το ύψος της κατανομής και δίνουν πληροφορίες γύρω από την αιχμηρότητα της καμπύλης της κατανομής. Μετράνε δηλαδή το βαθμό συγκέντρωσης των τιμών της μεταβλητής στην περιοχή του μέσου και προς τα άκρα του, δηλαδή παρέχουν ένα μέτρο του κατά πόσο λεπτή ή πλατιά είναι η κατανομή.

Ένα μέτρο περιγραφής της κύρτωσης ενός συνόλου δεδομένων είναι ο συντελεστής κυρτότητας που ορίζεται από την εξίσωση

$$\beta_2 = \frac{\mu_4}{\mu_2^2} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{s^4} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^4 \quad (6.24)$$

όπου μ_2 , μ_4 η δεύτερη και τέταρτη κεντρική ροπή ως προς τον μέσο.

Ως βάση σύγκρισης για το χαρακτηρισμό μιας κατανομής ως προς την κυρτότητα χρησιμοποιείται η κανονική κατανομή, η οποία έχει συντελεστή κυρτότητας ίσο με 3. [1,3]

Αυτό σημαίνει πως όταν:

- $\beta_2 > 3$ Η κατανομή είναι λεπτόκυρτη
- $\beta_2 = 3$ Η κατανομή είναι μεσόκυρτη
- $\beta_2 < 3$ Η κατανομή πλατύκυρτη

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ

7.1 ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΤΑΝΟΜΩΝ ΣΤΙΣ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ

7.1.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΕΡΙΑΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

Τα δεδομένα αέριας ποιότητας είναι συνήθως σειρές-ακολουθίες συγκεντρώσεων υπολογισμένες σε συγκεκριμένη σταθερή τοποθεσία κατά τη διάρκεια ίσων διαδοχικών χρονικών στιγμών ή περιόδων. Τα δεδομένα αυτά αποτελούν στατιστικές χρονοσειρές (time series), που περιγράφουν τη διαχρονική εξέλιξη της συγκέντρωσης και είναι της μορφής:

$$x_{\tau}(t_1), x_{\tau}(t_2), \dots, x_{\tau}(t_n); t_1 < t_2 < \dots < t_n$$

όπου:

$\tau = t_2 - t_1 = t_3 - t_2 = \dots = t_n - t_{n-1}$: η μονάδα μέτρησης του χρόνου (time unit), δηλαδή ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ δύο διαδοχικών τιμών της χρονοσειράς

Η παραπάνω χρονοσειρά αντιμετωπίζεται ως στοχαστική διαδικασία (stochastic process), δηλαδή μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα τυχαίο δείγμα από έναν άπειρο πληθυσμό τυχαίων συγκεντρώσεων της μορφής:

$$c_{\tau}(t_1), c_{\tau}(t_2), \dots, c_{\tau}(t_n); t_1 < t_2 < \dots < t_n$$

Να σημειωθεί πως το μέγεθος της μονάδας μέτρησης του χρόνου τ επηρεάζει σε μεγάλο ποσοστό τον βαθμό αυτοσυσχέτισης (autocorrelation) μεταξύ διαδοχικών παρατηρήσεων $x_{\tau}(t_i)$. [5]

Οι συγκεντρώσεις αυτές των αέριων ρύπων συμπεριφέρονται ως τυχαίες μεταβλητές, που επηρεάζονται από αρκετούς παράγοντες, όπως από τις ανεμολογικές συνθήκες, τη γεωγραφία του τόπου και τα επίπεδα εκπομπών. Όταν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα αέριας ποιότητας, διάφορα στατιστικά χαρακτηριστικά μπορούν να

προσδιοριστούν και να αντιστοιχηθούν στις συγκεντρώσεις των αέριων ρύπων. Αυτός είναι και ο στόχος της περιγραφικής στατιστικής που πραγματοποιείται, δηλαδή η σύνοψη όλων των παρατηρήσεων με τη χρήση πινάκων συχνοτήτων, διαγραμμάτων και στατιστικών μέτρων. [5]

Η στατιστική ανάλυση που πραγματοποιείται όμως στα δεδομένα αυτά των συγκεντρώσεων των αέριων ρύπων έχει ως στόχο την εξαγωγή από αυτά νόμων, κανόνων και συμπερασμάτων των οποίων η ισχύς να ξεπερνά το επίπεδο των παρατηρήσεων που είναι διαθέσιμο, τον προσδιορισμό του τρόπου μεταβολής των τιμών των ρύπων και τη διατύπωση των μαθηματικών σχέσεων που τις διέπει. Αυτό δύναται να πραγματοποιηθεί αν οι πληροφορίες των δεδομένων συμπυκνωθούν σε κάποια από τις συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας (p.d.f. probability distribution function) των θεωρητικών κατανομών. Αυτό σημαίνει πως πρέπει να βρεθεί η μαθηματική έκφραση που αντιστοιχεί σε κάθε διάστημα τιμών της τυχαίας μεταβλητής την πιθανότητα επέλευσης της. [5,6]

7.1.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ

Η επιλογή της κατάλληλης κατανομής στην οποία τα δεδομένα μας ανταποκρίνεται είναι καθοριστικής σημασίας για την στατιστική ανάλυση τους. Η επιλογή ενός λανθασμένου μοντέλου μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά σφάλματα. Στην περίπτωση όμως της σωστής επιλογής, τα πλεονεκτήματα της προσαρμογής μιας θεωρητικής κατανομής σε μια σειρά δεδομένων είναι σημαντικότερα. Συγκεκριμένα:

- Το πλήθος των n παρατηρήσεων αντικαθίσταται από λίγες παραμέτρους και επομένως γίνεται ευκολότερη η σύγκριση και ανάλυση των διάφορων παρατηρήσεων.
- Η θεωρητική κατανομή έχει γνωστές ιδιότητες.
- Η ενσωμάτωση των δεδομένων σε συναρτήσεις κατανομής απαλείφει την επίδραση του θορύβου που παρατηρείται στις τυχαίες παρατηρήσεις. Ο θόρυβος μπορεί να οφείλεται σε σφάλματα μέτρησης, σε χαμένες παρατηρήσεις (missing observations) ή σε έκτροπες παρατηρήσεις. [1,7,8]

Η σωστά επιλεγόμενη συνάρτηση κατανομής της πιθανότητας αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο σύγκρισης με τα πρότυπα αέριας ποιότητας που έχουν θεσπιστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση και εκτίμησης των περιβαλλοντικών συνεπειών στους αποδέκτες. Σε σχέση με τα πρότυπα ποιότητας του αέρα ενδιαφέρουν τα επεισόδια, δηλαδή οι υπερβάσεις των ορίων, που έχουν συνήθως τη μορφή:

- μέγιστη επιτρεπόμενη συκέντρωση (ωριαία, ημερήσια, μέγιστη ωριαία, ποσοστημοριακή)
- επιτρεπόμενη συχνότητα υπέρβασής της.

Δηλαδή η περιγραφή των δεδομένων αέριας ποιότητας με όρους στατιστικών κατανομών επιτρέπει την εκτίμηση των υπερβάσεων των ορίων. Δεν παρέχει όμως τη δυνατότητα εκτίμησης του πότε ακριβώς θα παρατηρηθούν οι υπερβάσεις αυτές. [5,6,9]

Επιπλέον, οι πληροφορίες που αποκομίζονται από τη γνώση της κατανομής συχνοτήτων είναι χρήσιμες και για την ανάπτυξη στρατηγικών ελέγχου των αέριων ρύπων και την εξέταση τυχόν διαφορών και ομοιοτήτων μεταξύ διάφορων μορφών αέριας ρύπανσης σε διαφορετικές περιοχές. [9]

Βέβαια το είδος της κατανομής στο οποίο προσαρμόζονται οι συγκεντρώσεις των αέριων ρύπων εξαρτάται από τη συγκεκριμένη περιοχή που εξετάζεται και όχι μόνο από το είδος του ρύπου. Και καθώς υπάρχουν σχέσεις που συσχετίζουν τις συγκεντρώσεις αυτές με τα επίπεδα εκπομπής, η μείωση των αέριων ρύπων, που απαιτείται για τη συμμόρφωση με τα πρότυπα ποιότητας, θα είναι και αυτή διαφορετική από περιοχή σε περιοχή. [9]

7.1.3 ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

Οι πληροφορίες που περιέχονται στα δεδομένα της χρονοσειράς $\{x_t(t_i)\}$, όπως αναφέρθηκε, μπορούν με τη βοήθεια της προσαρμοσμένης θεωρητικής κατανομής να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη και εκτίμηση της τήρησης των προτύπων αέριας ποιότητας. Για τη σωστή όμως προσαρμογή των δεδομένων σε μια θεωρητική κατανομή πρέπει να πληρούνται ορισμένες προϋποθέσεις. Συγκεκριμένα η αρχική

κατανομή από την οποία τα δείγματα προήλθαν να παραμένει σταθερή από ένα σύνολο δειγμάτων σε άλλο. Δηλαδή ο πληθυσμός από τον οποίο προέρχεται το δείγμα θα πρέπει να διατηρεί σταθερές στατιστικές ιδιότητες, και σε περίπτωση οποιασδήποτε μεταβολής, αυτή να μπορεί να μετρηθεί και να προσδιοριστεί η επίδραση της. (stationary process). Επιπλέον θα πρέπει το υπό εξέταση δείγμα να είναι κατάλληλο ώστε οι παράμετροι της προσαρμοσμένης κατανομής να μπορούν να εκτιμηθούν (ergodicity) . Η ιδιότητα αυτή προϋποθέτει ότι η αναμενόμενη μέση τιμή της κατανομής που εκτιμάται από τα στοιχεία του δείγματος θα πρέπει να προσεγγίζει με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια την τιμή της αντίστοιχης παραμέτρου του πληθυσμού από τον οποίο προέρχεται το επιλεγέν δείγμα. [5]

Οι δύο αυτές ιδιότητες ικανοποιούνται εφόσον το δείγμα είναι μεγάλο σε μέγεθος και οι συγκεντρώσεις είναι ανεξάρτητες και ομοιόμορφα κατανεμημένες τυχαίες μεταβλητές (independent, identically distributes random variables-i.d.d. variables). Η παραδοχή αυτή, αν και όχι πάντα έγκυρη και ακριβής, μπορεί συχνά να εφαρμοστεί σε πραγματικές καταστάσεις και να είναι σε συμφωνία με τις μετρήσεις-παρατηρήσεις και επομένως καθίσταται ένα πολύτιμο εργαλείο για απλοποιημένες στατιστικές αναλύσεις. [5,9]

7.2 ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Πολλά είδη κατανομών πιθανότητας έχουν χρησιμοποιηθεί για τη σωστή προσαρμογή αυτών σε δεδομένα συγκεντρώσεων αέριων ρύπων. Οι συγκεντρώσεις αέριων ρύπων είναι πάντα μεγαλύτερες του μηδενός, οπότε και οι κατανομές αυτές θα πρέπει να αντιπροσωπεύουν την κατανομή μη αρνητικής μεταβλητής X με πιθανότητα εμφάνισης 0 καθώς η τιμή της τείνει στο μηδέν και το άπειρο.

Τέτοιες κατανομές είναι:

- Η λογαριθμική-κανονική
- Η κατανομή Weibull
- Η κατανομή Pearson Τύπου V
- Η κατανομή γάμμα
- Η κατανομή βήτα και
- Η εκθετική κατανομή.

7.2.1 ΛΟΓΑΡΙΘΜΙΚΗ-ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Η λογαριθμική-κανονική κατανομή (lognormal distribution) είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη κατανομή, όχι μόνο για δεδομένα ποιότητας εξωτερικού αέρα αλλά και για την ποιότητα αέρα σε εσωτερικούς χώρους και για διαλυμένα στερεά σε υπόγεια νερά. [10]

Το γεγονός πως οι συγκεντρώσεις των αέριων ρύπων παρουσιάζουν την τάση να ακολουθούν τη λογαριθμική-κανονική κατανομή εξηγήθηκε από τον Ott χρησιμοποιώντας την θεωρία των «διαδοχικών τυχαίων διαλύσεων» (successive random dilutions). Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή οι αέριοι ρύποι, μετά την εκπομπή τους από την πηγή και κατά τη διαδικασία μεταφοράς τους ως τη πηγή δειγματοληψίας, υπόκεινται διαδοχικές αναμίξεις και διαλύσεις με αποτέλεσμα να ακολουθούν τη λογαριθμική-κανονική κατανομή. [10]

Ο Larsen ήταν από τους πρώτους ερευνητές που μελέτησε τη χρησιμότητα της συγκεκριμένης κατανομής για την περιγραφή συγκεντρώσεων αέριων ρύπων. Συγκεκριμένα το 1969 πραγματοποίησε μια εμπειρική ανάλυση αέριων ρύπων σε οκτώ πόλεις προκειμένου να αποδείξει πως η κατάλληλη κατανομή πιθανοτήτων που ανταποκρινόταν στα δεδομένα όλων των ρύπων ήταν η λογαριθμική-κανονική. [11] Αποδείχτηκε το 1972 από τον Singpurwalla πως η εμπειρική μέθοδος που χρησιμοποίησε ο Larsen ήταν μια εφαρμογή της θεωρίας των ακραίων τιμών, προσαρμοσμένη στη συγκεκριμένη κατανομή. [12] Το μοντέλο αυτό του Larsen τροποποιήθηκε το 1977 από τον ίδιο προκειμένου να συμπεριλάβει μια τρίτη παράμετρο για τη μελέτη δεδομένων που προέρχονταν μετά από δειγματοληψία σε σημειακή πηγή. [13]

Ο Larsen με μια σειρά εργασιών και χρησιμοποιώντας γραφικές τεχνικές κατέληξε στο συμπέρασμα ότι για όλα τα είδη ρύπων και για όλους τις περιόδους μέτρησης οι συγκεντρώσεις των ρύπων οι μεγαλύτερες συγκεκριμένων ανώτερων ποσοστημορίων ακολουθούν την λογαριθμική κατανομή. Ο έλεγχος της καταλληλότητας της προσαρμογής της συγκεκριμένης κατανομής στα δεδομένα πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια γραφικών μεθόδων. [14,15]

Ο Patel το 1973 επισήμανε πως ο Larsen είχε χρησιμοποιήσει την παραδοχή πως τα δεδομένα ήταν ανεξάρτητα και επιπλέον απέδειξε πως τα δεδομένα αυτά παρουσίαζαν αυτοσυσχέτιση. [16] Οι Horowitz και Barakat μελέτησαν το 1979 την επίδραση της αυτοσυσχέτισης στην εκτίμηση της μέγιστης συγκέντρωσης ενός αέριου ρύπου και απέδειξαν πως αυτή δεν επηρεάζει την εκτίμηση των παραμέτρων της θεωρητικής κατανομής [17]

Ο Ott και οι συνεργάτες του το 1976 απέδειξαν ότι οι συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και άλλων αέριων ρύπων ακολουθούν την λογαριθμική-κανονική κατανομή δύο ή τριών παραμέτρων και μάλιστα πως όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των διαλύσεων τόσο μεγαλύτερη είναι και η διασπορά της κατανομής. [18]

Ο deNevers το 1979 πρότεινε ότι η απόκλιση των δεδομένων από τη λογαριθμική-κανονική κατανομή αποδίδεται αποκλειστικά στα σφάλματα κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας. [19]

Η λογαριθμική-κανονική κατανομή 2 παραμέτρων προσαρμόστηκε επίσης στις μέσες ωριαίες συγκεντρώσεις διοξειδίου του θείου της περιοχής της Washington DC από τους Γεωργόπουλο και Seinfeld το 1982. Στην εργασία αυτή απέδειξαν πώς οι διάφορες μορφές προτύπων ποιότητας αέρα μπορούν να συσχετισθούν άμεσα με τις παραμέτρους και τις ιδιότητες της κατανομής χρησιμοποιώντας τη θεωρία της στατιστικής. Επίσης απέδειξαν πως οι στατιστικές κατανομές μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της απαιτούμενης μείωσης εκπομπών των ρύπων και πως οι μέσες τιμές σε αντίθεση με τις ακραίες μεταβάλλονται γραμμικά με την ένταση των πηγών εκπομπής. [5]

Πιο πρόσφατα, το 1995 οι Kao and Friedlander απέδειξαν πως οι κατανομές που ακολουθούν τα αιωρούμενα σωματίδια PM10 και τα χημικά συστατικά των λεπτόκοκκων σωματιδίων στη πόλη Duarte της Γαλλίας είναι η μονοκόρυφη λογαριθμική-κανονική, ενώ στη πόλη Rubidouix οι κατανομές μερικών χοντρόκοκκων συστατικών, όπως του αργιλίου (Al) και του πυριτίου (Si) προσεγγίζονται από την δικόρυφη λογαριθμική-κανονική. [20]

Ανάλογα ήταν και τα αποτελέσματα του Burkhardt και των συνεργατών του το 1998 για συγκεντρώσεις αμμωνίας, του Lu για μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων PM10 στην περιοχή της Ταϊβάν και του Rumburg για συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων PM10 στην περιοχή Spokane της Washington. [9,21,22,23]

Οι Bencala and Seinfeld χρησιμοποίησαν και άλλες κατανομές πέραν της λογαριθμικής-κανονικής στα δεδομένα συγκεντρώσεων του CO που χρησιμοποίησε ο Larsen το 1969 και απέδειξαν πως και άλλες κατανομές μπορούν να αναπαραστήσουν τις συγκεντρώσεις αυτές των αέριων ρύπων. Το κριτήριο καλής προσαρμογής της θεωρητικής κατανομής που χρησιμοποίησαν ήταν αυτό του μέσου τετραγωνικού σφάλματος. [24] Διάφορες κατανομές με δεξιά ασυμμετρία χρησιμοποιήθηκαν και από άλλους μελετητές με σκοπό τη σύγκριση τους με τη λογαριθμική ως προς την καταλληλότητα της προσαρμογής τους σε συγκεντρώσεις αέριων ρύπων. (Graedel et all 1972; Kalpasanov and Kurchatova 1976; Holland and Fitz-Simons 1982) [25,26,27]

7.2.2 ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Η μονοπαραμετρική εκθετική κατανομή (exponential) χρησιμοποιήθηκε από τους Curran and Frank. Το 1975 και τους Simpson και Jakeman το 1984 για τη στατιστική ανάλυση δεδομένων αέριας ποιότητας, λόγω της καταλληλότητας της για την περιγραφή δεδομένων αέριων ρύπων από απομονωμένες σημειακές πηγές. [28,29] Παρά το ενδιαφέρον που έδειξαν οι Jakeman and Simpson το 1985 για την αποτελεσματικότητα της εκτίμησης των παραμέτρων της, η εκθετική κατανομή δεν έχει καθιερωθεί ακόμα ως ένα κατάλληλο μοντέλο για την περιγραφή της ολότητας της χρονοσειράς των συγκεντρώσεων αέριων ρύπων. [8] Αντίθετα, η διπαραμετρική εκθετική κατανομή χρησιμοποιήθηκε το 1982 από τον Berger και τους συνεργάτες για τις ακραίες συγκεντρώσεις αέριων ρύπων, όπου η πηγή είναι συνδυασμός διάφορων σημειακών πηγών και μιας εμβαδικής πηγής, όπως και από τον Lu για τις ακραίες συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων. [30,31]

7.2.3 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΓΑΜΜΑ

Η κατανομή γάμμα (gamma) θεωρείται όπως και η λογαριθμική κανονική μια κατάλληλη κατανομή για εφαρμογή της στη μελέτη των αέριων ρύπων λόγω της θετικής ασυμμετρίας της. Οι Bencala (1976) και Pollack (1975) απέδειξαν τη σημαντικότητα της σε στατιστικές αναλύσεις συγκεντρώσεων αέριων ρύπων, ενώ οι Berger et al (1982) πρότειναν πως η κατανομή γάμμα παρέχει καλύτερη περιγραφή των μέσων ημερήσιων συγκεντρώσεων SO₂ από ότι η λογαριθμική-κανονική κατανομή, όπως και ο Trijonis για δεδομένα διοξειδίου του αζώτου NO₂. [24,30,32] Τέλος ανάλογα ήταν και τα συμπεράσματα των Jakeman και Taylor για τις συγκεντρώσεις αέριων ρύπων σε βιομηχανικό airshed, όπως και για τις μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις όζοντος O₃ και διοξειδίου του αζώτου NO₂ στην πόλη της Μελβούρνης της Αυστραλίας. [8,33]

7.2.4 ΚΑΤΑΝΟΜΗ WEIBULL

Αντίστοιχα με τη γάμμα και η κατανομή Weibull εφαρμόζεται ευρύτατα λόγω της θετικής ασυμμετρίας της. Η Weibull κατανομή όταν η παράμετρος shape παίρνει την τιμή 1 εκπίπτει στην εκθετική κατανομή. Οι Bencala και Seinfeld το 1976 εξέτασαν

το άθροισμα των τετραγώνων των σφαλμάτων κατά την προσαρμογή της συγκεκριμένης κατανομής σε δεδομένα μονοξειδίου του άνθρακα από οκτώ πόλεις. Χρησιμοποιώντας το παραπάνω κριτήριο-δείκτη η κατανομή παρουσίασε καλύτερα αποτελέσματα από την λογαριθμική που χρησιμοποίησε ο Larsen το 1971 στα ίδια ακριβώς δεδομένα για τις πέντε από τις οκτώ περιπτώσεις. [24] Οι Taylor και Jakeman το 1985 παρατήρησαν την καταλληλότητα της για τη περιγραφή δεδομένων συγκεντρώσεων μονοξειδίου του άνθρακα-CO που εκπέμπονται από σημειακές πηγές κοντά σε κεντρικούς οδούς κυκλοφορίας της Μελβούρνης στην Αυστραλία, ενώ ο Pollack επισήμανε τη σημαντικότητα της λόγω της ομοιότητας της με την λογαριθμική-κανονική. [8,32] Τέλος πιο πρόσφατα το 1988 σε μελέτη των Seinfeld and Pandis η κατανομή Weibull απέφερε καλή προσαρμογή στις ωριαίες συγκεντρώσεις όζοντος του έτους 1971 στη πόλη Pasadena της Καλιφόρνια. [34]

7.2.5 PEARSON ΤΥΠΟΥ V

Η Pearson τύπου V χρησιμοποιήθηκε από τον Morel και τους συνεργάτες του το 1999 για τις μετρήσεις των PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂ και NO₂ στην πόλη Santiago της Χιλής όπως και από τον Lu για τις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ στην περιοχή της Ταϊβάν. [9,22,35]

7.3 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑΝΟΜΩΝ

Στο παρόν κεφάλαιο θα μελετηθούν οι θεωρητικές κατανομές που θα χρησιμοποιηθούν στην στατιστική ανάλυση των χρονοσειρών των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων. Οι κατανομές αυτές είναι:

- Η διπαραμετρική και τριπαραμετρική λογαριθμική-κανονική κατανομή
- Η μονοπαραμετρική και διπαραμετρική εκθετική κατανομή
- Η διπαραμετρική και τριπαραμετρική κατανομή γάμα
- Η διπαραμετρική και τριπαραμετρική κατανομή Weibull
- Η τετραπαραμετρική κατανομή βήτα
- Η κατανομή Pearson τύπου V

Όπως είναι ευνόητο, όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των παραμέτρων της κατανομής, τόσο μεγαλύτερη είναι και η αποτελεσματικότητα της προσαρμογής της συγκεκριμένης κατανομής στα δεδομένα.

Στις μονοπαραμετρικές και διπαραμετρικές κατανομές η μεταβλητή της συγκέντρωσης μπορεί να πάρει οποιαδήποτε μη αρνητική τιμή, στις τριπαραμετρικές περιορίζεται στις μη αρνητικές αυτές τιμές που είναι μεγαλύτερες της παραμέτρου γ της κατανομής, ενώ στην τετραπαραμετρική κατανομή βήτα υπάρχει ανώτερο και κατώτερο όριο τιμών το οποίο μπορεί να πάρει η μεταβλητή. [5]

7.3.1 ΛΟΓΑΡΙΘΜΙΚΗ ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Η λογαριθμική κανονική κατανομή (lognormal) θεωρείται από τις πιο χρήσιμες θεωρητικές κατανομές. Εφαρμόστηκε για πρώτη φορά στη στατιστική από τον D.McAlister. Το χαρακτηριστικό γνώρισμα της κατανομής αυτής είναι ότι σε πολλά φαινόμενα οι τιμές μιας τυχαίας μεταβλητής δεν ακολουθούν μια κανονική κατανομή, ακολουθούν όμως οι νεπέριοι λογάριθμοι των τιμών των μεταβλητών αυτών. Η λογαριθμική κανονική κατανομή προσφέρεται για την περιγραφή κατανομών, όπου οι τιμές των μεταβλητών είναι μη αρνητικές και εμφανίζουν θετική ασυμμετρία.

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (σ.π.π.) της λογαριθμικής κατανομής δίνεται από την εξίσωση

$$f_L(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}(x-\gamma)\sigma} \exp\left[-\frac{(\ln(x-\gamma)-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (7.1)$$

όπου:

x: η συγκέντρωση του αέριου ρύπου, $x > \gamma$

μ: η παράμετρος scale της κατανομής που αντιπροσωπεύει τη μέση τιμή,

$$-\infty < \mu < \infty$$

σ: η παράμετρος shape της κατανομής που αντιπροσωπεύει την τυπική απόκλιση, $\sigma > 0$

γ: η παράμετρος location της κατανομής, που αντιπροσωπεύει τη μικρότερη τιμή της μεταβλητής, $\gamma \geq 0$

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της λογαριθμικής κανονικής κατανομής είναι μηδέν στην ελάχιστη τιμή της μεταβλητής, στη συνέχεια αυξάνει δημιουργώντας κορυφή (peak) η οποία καθορίζεται από τις τιμές των παραμέτρων μ και σ και στη συνέχεια μειώνεται μονότονα όσο αυξάνει η τιμή της μεταβλητής.

Η αθροιστική συνάρτηση κατανομής, που εκφράζει την πιθανότητα η τιμή της τυχαίας μεταβλητής x να είναι μικρότερη ή ίση μιας τιμής ορίου x_c , δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$F_L(x) = Pr(x \leq x_c) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} * \int_{-\infty}^n e^{-t^2/2} dt \quad (7.2)$$

$$n = \frac{\ln(x-\gamma)-\mu}{\sigma}$$

Η πιθανότητα τέλος η τιμή της μεταβλητής x να υπερβαίνει την τιμή x_c δίνεται από τη συμπληρωματική συνάρτηση κατανομής: [1,2,9,22,36]

$$\overline{F}_L = Pr(x > x_c) = 1 - F_L \quad (7.3)$$

7.3.2 ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (σ.π.π.) της εκθετικής κατανομής (exponential) δίνεται από την εξίσωση:

$$f_E(x) = \frac{1}{\beta} \exp\left[-\left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)\right] \quad (7.4)$$

όπου:

- x: η συγκέντρωση του αέριου ρύπου, $x > \gamma$
- β : η παράμετρος scale της κατανομής, $\beta > 0$
- γ : η παράμετρος location της κατανομής, που αντιπροσωπεύει τη μικρότερη τιμή της μεταβλητής, $\gamma \geq 0$

Η πιθανότητα η μεταβλητή x να υπερβαίνει την τιμή x_c δίνεται από τη συμπληρωματική συνάρτηση κατανομής: [1,2,36]

$$\overline{F}_E(x) = Pr(x > x_c) = \exp\left[-\left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)\right] \quad (7.5)$$

7.3.3 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΓΑΜΜΑ

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (σ.π.π.) της κατανομής γάμμα (gamma) δίνεται από την εξίσωση:

$$f_G(x) = \frac{(x-\gamma)^{\lambda-1}}{\sigma^\lambda \Gamma(\lambda)} * \exp\left[-\left(\frac{x-\gamma}{\sigma}\right)\right] \quad (7.6)$$

όπου:

- x: η συγκέντρωση του αέριου ρύπου, $x > \gamma$
- σ : η παράμετρος scale της κατανομής, $\sigma > 0$
- λ : η παράμετρος shape της κατανομής, $\lambda > 0$
- γ : η παράμετρος location της κατανομής, που αντιπροσωπεύει τη μικρότερη τιμή της μεταβλητής, $\gamma \geq 0$

$\Gamma(\lambda)$: η συνάρτηση γάμμα που δίνεται από την εξίσωση

$$\Gamma(\lambda) = \int_0^{\infty} t^{\lambda-1} e^{-t} dt$$

Η πιθανότητα η μεταβλητή x να υπερβαίνει την τιμή x_c δίνεται από τη συμπληρωματική συνάρτηση κατανομής: [1,30,36,37]

$$\overline{F}_G(x) = Pr(x > x_c) = \exp\left[-\left(\frac{x-\gamma}{\sigma}\right)^\lambda\right] * \sum_{j=0}^{\lambda-1} \frac{\left(\frac{x-\gamma}{\sigma}\right)^j}{j} \quad (7.7)$$

7.3.4 ΚΑΤΑΝΟΜΗ WEIBULL

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (σ.π.π.) της κατανομής Weibull δίνεται από την εξίσωση:

$$f_W(x) = \frac{\lambda}{\sigma} \left(\frac{x-\gamma}{\sigma}\right)^{\lambda-1} \exp\left[-\left(\frac{x-\gamma}{\sigma}\right)^\lambda\right] \quad (7.8)$$

όπου:

- x : η συγκέντρωση του αέριου ρύπου, $x > \gamma$
- σ : η παράμετρος scale της κατανομής, $\sigma > 0$
- λ : η παράμετρος shape της κατανομής, $\lambda > 0$
- γ : η παράμετρος location της κατανομής, που αντιπροσωπεύει τη μικρότερη τιμή της μεταβλητής, $\gamma \geq 0$

Η πιθανότητα η μεταβλητή x να υπερβαίνει την τιμή x_c δίνεται από τη συμπληρωματική συνάρτηση κατανομής: [9,22,36]

$$\overline{F}_W(x) = Pr(x \geq x_c) = \exp\left[-\left(\frac{x-\gamma}{\sigma}\right)^\lambda\right] \quad (7.9)$$

7.3.5 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΒΗΤΑ

Η κατανομή βήτα είναι ιδιαίτερα ευέλικτη κατανομή καθώς έχει συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας η οποία μπορεί να έχει μια μεγάλη ποικιλία μορφών ανάλογα με την επιλογή των παραμέτρων της. Πρόκειται για συμμετρική κατανομή όταν $\sigma = \lambda$, παρουσιάζει ασυμμετρία προς τα δεξιά όταν $\sigma < \lambda$ και προς τα αριστερά όταν $\sigma > \lambda$. Η κατανομή βήτα όπως και η γάμμα ανήκουν στην γενικευμένη οικογένεια κατανομών τύπου Pearson, που περιλαμβάνει 12 κατανομές

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (σ.π.π.) της κατανομής βήτα (beta) δίνεται από την εξίσωση: [36,37]

$$f_B(x) = \frac{(\beta - \alpha)^{1-\sigma-\lambda} (x - \alpha)^{\sigma-1} (\beta - x)^{\lambda-1}}{B(\sigma, \lambda)} \quad (7.10)$$

όπου:

x: η συγκέντρωση του αέριου ρύπου, $\alpha < x < \beta$

σ, λ : οι παράμετροι shape της κατανομής, $\sigma, \lambda > 0$

α : η ελάχιστη τιμή της μεταβλητής, $\alpha > 0$

β : η μέγιστη τιμή της μεταβλητής, $\beta > \alpha > 0$

$B(\sigma, \lambda)$: η συνάρτηση βήτα, που συνδέεται με τη συνάρτηση γάμμα μέσω της σχέσης:

$$B(\sigma, \lambda) = \frac{\Gamma(\sigma + \lambda)}{\Gamma(\sigma)\Gamma(\lambda)}$$

7.3.6 ΚΑΤΑΝΟΜΗ PEARSON ΤΥΠΟΥ V

Κάνοντας την παραδοχή πως οι συγκεντρώσεις των αέριων ρύπων είναι το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης των συνθηκών εκπομπής και άλλων στοχαστικών παραγόντων, όπως για παράδειγμα οι μετεωρολογικές συνθήκες, ο Morel και οι συνεργάτες του απέδειξαν ότι η κατανομή των συγκεντρώσεων των αέριων ρύπων μπορεί να περιγραφεί από την παρακάτω εξίσωση, η οποία είναι μια ειδική μορφή της κατανομής Pearson τύπου V. [30 ιστ]

$$f_P(x, E) = \frac{(\rho)^{\rho+1}}{x^{eq} \Gamma(\rho+1)} \left(\frac{x}{x^{eq}} \right)^{-(\rho+2)} \exp\left(-\frac{x^{eq} \rho}{x}\right) \quad (7.11)$$

όπου:

Γ : η συνάρτηση γάμμα

ρ : παράμετρος της κατανομής V Pearson

x^{eq} : παράμετρος της κατανομής V Pearson και εκφράζει τη συγκέντρωση του αέριου ρύπου απουσίας στοχαστικότητας

E: το επίπεδο των ανθρωπογενών εκπομπών

Η σχέση μεταξύ x^{eq} και E δίνεται από την εξίσωση, η οποία και συσχετίζει το επίπεδο εκπομπών και τις συγκεντρώσεις των αέριων ρύπων στην ατμόσφαιρα:

$$x^{eq} = \mu + \frac{\beta E}{\delta} \quad (7.12)$$

όπου

μ: η συγκέντρωση ισορροπίας απουσία της ανθρωπογενούς συνεισφοράς, δηλαδή όταν E=0

β: παράγοντας φορτίου (loading factor)

δ:

Η πιθανότητα η μεταβλητή x να υπερβαίνει την τιμή x_c δίνεται από τη συμπληρωματική συνάρτηση κατανομής: [9,22,35,36]

$$\overline{F_P} = Pr(x > x_c) = \frac{\gamma(1 + \rho, \gamma x^{eq} / x_c)}{\Gamma(1 + \rho)} \quad (7.13)$$

όπου

γ: η ατελής συνάντηση γάμμα

Στον πίνακα 7.1 περιέχονται συνοψίζονται οι εξισώσεις των συναρτήσεων πυκνότητας πιθανότητας των κατανομών ενώ στον πίνακα 7.2 παρουσιάζονται η μέση τιμή, η διασπορά και η κορυφή της κάθε κατανομής καθώς και το εύρος τιμών που μπορεί να πάρει η μεταβλητή.

Πίνακας 7.1: Εξισώσεις συναρτήσεων πυκνότητας πιθανότητας θεωρητικών κατανομών

Κατανομή	Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (p. d. f.)
Λογαριθμική κανονική 2p	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right]$
Λογαριθμική κανονική 3p	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}(x - \gamma)\sigma} \exp\left[-\frac{(\ln(x - \gamma) - \mu)^2}{2\sigma^2}\right]$
Γάμμα 2p	$\frac{x^{\lambda-1}}{\sigma^\lambda \Gamma(\lambda)} \exp\left(-\frac{x}{\sigma}\right)$
Γάμμα 3p	$\frac{(x - \gamma)^{\lambda-1}}{\sigma^\lambda \Gamma(\lambda)} \exp\left[-\left(\frac{x - \gamma}{\sigma}\right)\right]$

Weibull 2p	$\frac{\lambda}{\sigma} \left(\frac{x}{\sigma}\right)^{\lambda-1} \exp[-(\frac{x}{\sigma})^\lambda]$
Weibull 3p	$\frac{\lambda}{\sigma} \left(\frac{x-\gamma}{\sigma}\right)^{\lambda-1} \exp[-(\frac{x-\gamma}{\sigma})^\lambda]$
Εκθετική 1p	$\frac{1}{\beta} \exp(-\frac{x}{\beta})$
Εκθετική 2p	$\frac{1}{\beta} \exp[-(\frac{x-\gamma}{\beta})]$
Βήτα 4p	$\frac{(\beta-a)^{1-\sigma-\lambda} (x-a)^{\sigma-1} (\beta-x)^{\lambda-1}}{B(\sigma,\lambda)}$
Pearson τύπου V	$\frac{(\rho)^{\rho+1}}{x^{eq} \Gamma(\rho+1)} \left(\frac{x}{x^{eq}}\right)^{-(\rho+2)} \exp(-\frac{x^{eq} \rho}{x})$

Πίνακας 7.2: Μέση τιμή, διασπορά, κορυφή και εύρος τιμών θεωρητικών κατανομών

Κατανομή	Εύρος τιμών	Μέση τιμή	Διασπορά	Κορυφή
2p lognormal	(0, ∞)	$\exp(\mu+0,5\sigma^2)$	$\exp(2\mu+\sigma^2)(\exp(\sigma^2)-1)$	$\exp(\mu-\sigma^2)$
3p lognormal	(γ, ∞)	$\gamma+\exp(\mu+0,5\sigma^2)$	$\exp(2\mu+\sigma^2)(\exp(\sigma^2)-1)$	$\gamma+\exp(\mu-\sigma^2)$
2p gamma	(0, ∞)	$\sigma\lambda$	$\sigma^2\lambda$	$\sigma(\lambda-1)$ αν $\alpha^3 I$, 0 αλλού
3p gamma	(γ, ∞)	$\gamma+\sigma\lambda$	$\sigma^2\lambda$	$\gamma+\sigma(\lambda-1)$ αν $\alpha^3 I$, 0 αλλού
2p Weibull	(0, ∞)	$\frac{s}{l} \Gamma(\frac{1}{l})$	$\sigma^2/\lambda\{2\Gamma(\frac{2}{l})-\frac{1}{l}[\Gamma(\frac{1}{l})]^2\}$	$\sigma(\frac{l-1}{l})^{1/l}$
3p Weibull	(γ, ∞)	$\gamma+\frac{s}{l} \Gamma(\frac{1}{l})$	$\sigma^2/\lambda\{2\Gamma(\frac{2}{l})-\frac{1}{l}[\Gamma(\frac{1}{l})]^2\}$	$\gamma+\sigma(\frac{l-1}{l})^{1/l}$
1p expo	(0, ∞)	β	β^2	0
2p expo	(γ, ∞)	$\gamma+\beta$	β^2	γ
4p Beta	(α,β)	$\alpha+(\beta-\alpha)\frac{s}{s+1}$	$(\beta-\alpha)^2 \frac{\sigma\lambda}{(\sigma+\lambda)^2(\sigma+\lambda+1)}$	Εξαρτάται από τις τιμές των σ,λ
Pearson V	(0, ∞)	x^{eq}	$(x^{eq})^2/(\rho-1)$	$\rho x^{eq}/(\rho+2)$

[36]

7.4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως κάθε μια από τις παραπάνω κατανομές χαρακτηρίζεται από μια, δύο ή τρεις παραμέτρους. Η προσαρμογή των δεδομένων σε κάποια από αυτές τις κατανομές-μοντέλα απαιτεί τον προσδιορισμό των τιμών των παραμέτρων της κατανομής ώστε η προσαρμογή να είναι η καλύτερη δυνατή. Ο προσδιορισμός των παραμέτρων γίνεται με εκτίμηση τους από τα δεδομένα των συγκεντρώσεων.

Στην στατιστική επιστήμη έχουν αναπτυχθεί πολλοί μέθοδοι εύρεσης εκτιμητών με γενικότερη εφαρμογή, οι οποίες μέθοδοι υιοθετούν κάποια αρχή βελτιστοποίησης. Δύο από αυτές τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται περισσότερο είναι:

- Η μέθοδος των ροπών (method of moments)
 - Η μέθοδος της μέγιστης πιθανοφάνειας (method of maximum likelihood)
- [5,9,38]

7.4.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΩΝ ΡΟΠΩΝ-Method of moments

Η μέθοδος αυτή οφείλεται στον K.Pearson και είναι η παλαιότερη όλων των άλλων μεθόδων εκτίμησης. Συνίσταται στην εξίσωση των πρώτων ροπών της θεωρητικής κατανομής του πληθυσμού με τις αντίστοιχες δειγματικές ροπές. Προκύπτει έτσι ένα σύστημα εξισώσεων, με άγνωστες τις προς εκτίμηση παραμέτρους της θεωρητικής κατανομής. Η λύση του συστήματος αυτού δίνει τις ζητούμενες εκτιμήσεις των αγνώστων παραμέτρων. [1,5]

Πιο συγκεκριμένα, έστω οι παρατηρήσεις x_1, x_2, \dots, x_n ενός τυχαίου δείγματος X_1, X_2, \dots, X_n από έναν πληθυσμό που έχει συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας $f(x; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)$ όπου $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k$ οι προς εκτίμηση παράμετροι του πληθυσμού.

Η ροπή k τάξης της θεωρητικής κατανομής δίνεται από την εξίσωση:

$$M_k = \int_0^{\infty} x^k f(x, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k) dx$$

Η ροπή k τάξης για τα δεδομένα του δείγματος δίνεται από την εξίσωση:

$$M_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^k$$

όπου:

n: Το μέγεθος του δείγματος

Η μέθοδος των ροπών συνίσταται στην εξίσωση των ροπών της θεωρητικής κατανομής του πληθυσμού με τις ροπές του δείγματος, δηλαδή:

$$M_1 = M_1'(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)$$

$$M_2 = M_2'(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)$$

M M M

$$M_k = M_k'(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)$$

Η λύση του παραπάνω συστήματος ως προς $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k$ δίνει τις εκτιμήσεις των παραμέτρων της θεωρητικής κατανομής του πληθυσμού. [1,5]

Η μέθοδος των ροπών είναι η απλούστερη και πιο εύχρηστη μέθοδος εκτίμησης, γεγονός που επιτρέπει την γρήγορη εύρεση εκτιμητών. Πρέπει όμως να τονιστεί ότι οι εκτιμητές των παραμέτρων που προκύπτουν με τη μέθοδο αυτή συχνά είναι μεροληπτικοί και με μικρή αποτελεσματικότητα, με αποτέλεσμα να προτιμούνται άλλες μέθοδοι εκτίμησης. [2]

Για την λογαριθμική-κανονική κατανομή 2 παραμέτρων οι σχέσεις μεταξύ των παραμέτρων και των δειγματικών ροπών δίνονται από τις εξισώσεις:

$$\mu = 2 \ln M_1 - 0,5 * M_2 \quad (7.14)$$

$$\sigma^2 = \ln M_2 - 2 \ln M_1 \quad (7.15)$$

Με τη βοήθεια των παραπάνω εξισώσεων μπορεί εύκολα να υπολογιστούν οι παράμετροι της λογαριθμικής-κανονικής κατανομής μ και σ . [5]

Ομοίως για την κατανομή Weibull, οι σχέσεις από τις οποίες μπορεί να υπολογιστούν οι παράμετροι σ και λ της κατανομής δίνονται από τις σχέσεις: [5]

$$\left(\frac{\Gamma(1+2/\lambda)}{\Gamma^2(1+1/\lambda)} - 1 \right)^{1/2} = \frac{((1/n) \sum_{i=1}^n (x_i - M_1)^2)^{1/2}}{M_1} \quad (7.16)$$

$$\sigma = \frac{M_1}{\Gamma(1+1/\lambda)} \quad (7.17)$$

Για την κατανομή Pearson τύπου V, οι σχέσεις από τις οποίες μπορεί να υπολογιστούν οι παράμετροι x^{eq} και ρ της κατανομής δίνονται από τις σχέσεις: [9,35]

$$x^{eq} = M_1 \quad (7.18)$$

$$\rho = \frac{M_2}{M_2 - M_1^2} \quad (7.19)$$

Για την κατανομή γάμμα, οι σχέσεις από τις οποίες μπορεί να υπολογιστούν οι παράμετροι σ και λ της κατανομής δίνονται από τις σχέσεις:

$$\lambda = \left(\frac{\bar{x}}{s} \right)^2 \quad (7.20)$$

$$\gamma = \frac{s^2}{\bar{x}} \quad (7.21)$$

όπου \bar{x} , s η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση του δείγματος. [39]

7.4.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΠΙΘΑΝΟΦΑΝΕΙΑΣ-Method of maximum likelihood

Η μέθοδος της μέγιστης πιθανοφάνειας (maximum likelihood method) είναι μία από τις σημαντικότερες μεθόδους εκτίμησης. Στη δεκαετία του 1920 ο R.A.Fisher θεμελίωσε τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας, που είναι πιο περίπλοκη από τη μέθοδο των ροπών, αλλά οδηγεί σε εκτιμήσεις μεγάλης αποτελεσματικότητας τουλάχιστον όταν χρησιμοποιούνται αρκετά μεγάλα δείγματα. Η αρχή πάνω στην οποία στηρίζεται συνίσταται στην εύρεση εκτιμητών, δηλαδή μαθηματικών τύπων, για την εκτίμηση των άγνωστων παραμέτρων τέτοιων ώστε να μεγιστοποιείται η πιθανότητα εμφάνισης των τιμών του χρησιμοποιούμενου δείγματος. Δηλαδή, η

μέθοδος στοχεύει στη μεγιστοποίηση της συχνότητας εμφάνισης του συγκεκριμένου δείγματος σε μια διαδικασία επανάληψης της δειγματοληψίας από τον ίδιο πληθυσμό ή από πληθυσμό που οι κατανομές τους διαφέρουν μόνο ως προς τις παραμέτρους που πρέπει να εκτιμηθούν. Έτσι, το δείγμα θα είναι το πλέον αντιπροσωπευτικό του πληθυσμού, γεγονός που διασφαλίζει ότι οι τιμές των άγνωστων παραμέτρων, οι οποίες υπολογίζονται με βάση τα στοιχεία του δείγματος από εκτιμητές μέγιστης πιθανοφάνειας, είναι οι τιμές που έχουν υψηλότερη πιθανότητα να συμπέσουν με τις αληθινές τιμές των παραμέτρων. [2,40]

Για να περιγραφεί η μέθοδος της μέγιστης πιθανοφάνειας, θα πρέπει να οριστεί πρώτα η συνάρτηση πιθανοφάνειας. Έστω x_1, x_2, \dots, x_n τιμές που παρατηρήθηκαν σε ένα τυχαίο δείγμα X_1, X_2, \dots, X_n , το οποίο προέρχεται από κάποιον πληθυσμό του οποίου η κατανομή πιστεύεται ότι ανήκει σε μια οικογένεια κατανομών με συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας $f(x; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)$ όπου $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k$ οι k άγνωστοι παράμετροι της κατανομής.

Επομένως αν $f(x_1; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k), f(x_2; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k), \dots, f(x_n; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)$ η συνάρτηση πιθανότητας καθεμιάς από τις τιμές του δείγματος, τότε η από κοινού συνάρτηση πιθανότητας του τυχαίου δείγματος X_1, X_2, \dots, X_n , είναι:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k) = f(x_1; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k) f(x_2; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k) \dots f(x_n; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)$$

Αν θεωρήσουμε τις τιμές του δείγματος x_1, x_2, \dots, x_n συγκεκριμένες ανεξάρτητες μεταξύ τους παρατηρήσεις ενός τυχαίου δείγματος, τότε η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του γινομένου $f(x_1; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k) f(x_2; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k) \dots f(x_n; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)$ συμβολίζεται με $L(\theta)$ και δίνεται από τη σχέση:

$$L(x_1, x_2, \dots, x_n; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k) = f(x_1; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k) f(x_2; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k) \dots f(x_n; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k) =$$

$$\prod_{i=1}^n f(x_i; q_1, q_2, \dots, q_k) \quad (7.22)$$

Η συνάρτηση $L(\theta)$ που είναι συνάρτηση της παραμέτρου θ , ονομάζεται συνάρτηση μέγιστης πιθανότητας ή συνάρτηση πιθανοφάνειας του τυχαίου δείγματος X_1, X_2, \dots, X_n .

Η επιλογή κατάλληλου εκτιμητή για τις k άγνωστες παραμέτρους είναι ισοδύναμη με την επιλογή του κατάλληλου προτύπου κατανομής, μεταξύ των προτύπων της υποθεθείσας οικογένειας. Η μέθοδος της μέγιστης πιθανοφάνειας επιλέγει το πρότυπο με τη μεγαλύτερη συμβατότητα με τα δεδομένα, δηλαδή την τιμή της θ που μεγιστοποιεί τη συνάρτηση μέγιστης πιθανότητας $L(\theta)$. Μεγιστοποίηση της $L(\theta)$ σημαίνει μεγιστοποίηση της πιθανότητας εμφάνισης των τιμών x_1, x_2, \dots, x_n στο δείγμα X_1, X_2, \dots, X_n . Οι τιμές των παραμέτρων που μεγιστοποιούν την παραπάνω συνάρτηση ονομάζονται εκτιμητές μέγιστης πιθανοφάνειας.

Εφόσον η συνάρτηση πιθανοφάνειας είναι παραγωγίσιμη ως προς τις παραμέτρους $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k$, οι ζητούμενες αυτές τιμές προκύπτουν από την μεγιστοποίηση της $L(\theta)$ ως προς $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k$. Για λόγους ευκολίας, αντί της προηγούμενης συνάρτησης, μεγιστοποιείται ο λογαριθμικός της μετασχηματισμός, δηλαδή η συνάρτηση:

$$\ln L(\theta) = \ln \prod_{i=1}^n f(x_i; q_1, q_2, \dots, q_k) = \sum_{i=1}^n \ln f(x_i, q_1, q_2, \dots, q_k) \quad (7.23)$$

Η μεγιστοποίηση της συνάρτησης $\ln L(\theta)$ επιτυγχάνεται με παραγωγή της ως προς $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k$, εξίσωση των k παραγώγων με μηδέν και ταυτόχρονη επίλυση των k εξισώσεων ως προς τις αγνώστους παραμέτρους. Ισχύει δηλαδή:

$$\frac{\partial \ln(q)}{\partial \theta_k} = 0 \quad (7.24)$$

Οι τιμές των παραμέτρων καθορίζουν ένα ακραίο σημείο και για να είναι το σημείο αυτό το μέγιστο του λογαριθμικού μετασχηματισμού της συνάρτησης πιθανοφάνειας, θα πρέπει η δεύτερη παράγωγος να ικανοποιεί την ανισότητα: [1,2,5,9,40]

$$\frac{\partial^2 \ln(q)}{\partial^2 q_k} < 0 \quad (7.25)$$

Έτσι για την λογαριθμική-κανονική κατανομή 2 παραμέτρων οι εκτιμήσεις των παραμέτρων μ και σ δίνονται από τις εξισώσεις: [5]

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln x_i \quad (7.26)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\ln x_i - \mu)^2 \quad (7.27)$$

Για την κατανομή Weibull οι σχέσεις από τις οποίες μπορεί να εκτιμηθούν οι παράμετροι λ και σ της κατανομής δίνονται από τις σχέσεις: [5]

$$\lambda = \left[\left(\sum_{i=1}^n x_i^\lambda \ln x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n x_i^\lambda \right)^{-1} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln x_i \right]^{-1} \quad (7.28)$$

$$\sigma = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^\lambda \right)^{1/\lambda} \quad (7.29)$$

Για την κατανομή Pearson τύπου V οι σχέσεις από τις οποίες μπορεί να εκτιμηθούν οι παράμετροι x^{eq} και ρ της κατανομής δίνονται από τις σχέσεις: [9,35]

$$x^{eq} = \frac{\rho + 1}{\rho} \frac{1}{(1/n) \sum_{i=1}^n (1/x_i)} \quad (7.30)$$

$$\frac{d \ln(\Gamma(\rho + 1))}{d\rho} = \ln(\rho x^{eq}) - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(x_i) \quad (7.31)$$

Για την εκθετική κατανομή η σχέση από την οποία μπορεί να υπολογιστεί η παράμετρος β δίνεται από την εξίσωση: [41,42]

$$\beta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (7.32)$$

Για την κατανομή γάμμα οι παράμετροι σ και λ της κατανομής υπολογίζονται με την επίλυση των εξισώσεων: [42,43,44]

$$\log \lambda = \psi(\lambda) = C \quad (7.33) \quad \text{και} \quad \sigma = \frac{\lambda}{\bar{x}} \quad (7.34)$$

$$\text{όπου} \quad C = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} - \frac{\sum_{i=1}^n \log x_i}{n} \quad (7.35), \quad \psi(\lambda) = \frac{d}{d\lambda} \ln \Gamma n(\lambda) \quad (7.36)$$

7.5 ΥΠΕΡΒΑΣΕΙΣ ΟΡΙΩΝ-ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ

Ο αριθμός των υπερβάσεων (επεισοδίων) $N_x(m)$ ενός συγκεκριμένου ορίου συγκέντρωσης ενός αέριου ρύπου x_c σε ένα δείγμα m παρατηρήσεων $x_t(t_i)$ αποτελεί επίσης μια τυχαία μεταβλητή. Ομοίως ο αριθμός των χρονικών περιόδων μεταξύ δύο διαδοχικών υπερβάσεων της τιμής x_c αποτελεί τυχαία μεταβλητή, την αποκαλούμενη περίοδο επαναφοράς (waiting time, passage time, return period). [5]

7.5.1 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΥΠΕΡΒΑΣΕΩΝ

Στην περίπτωση ανεξάρτητων μεταβλητών, κάθε μια παρατήρηση αποτελεί αποτέλεσμα μιας δοκιμής Bernoulli. Επομένως η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της μεταβλητής $N_x(m)$ δίνεται από την εξίσωση εκφρασμένη με όρους της μητρικής κατανομής $F(x)$:

$$\varphi(N_x; m; x) = \binom{m}{N_x} [1-F(x)]^{N_x} [F(x)]^{m-N_x}$$

Από την παραπάνω εξίσωση προκύπτει πως ο αναμενόμενος αριθμός υπερβάσεων $E\{N_x(m)\}$ του ορίου x σε ένα δείγμα μεγέθους n υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$\overline{N_x}(m) = E\{N_x(m)\} = m(1 - F(x)) = m \overline{F_x} \quad (7.37)$$

Αντίστοιχα το αναμενόμενο ποσοστό υπερβάσεων μιας τιμής x σε ένα δείγμα μεγέθους m υπολογίζεται από την εξίσωση: [5]

$$\Pi(x) = 100 \overline{F_x} \quad (7.38)$$

7.5.2 ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ

Η αναμενόμενη περίοδος επαναφοράς όπως αναφέρθηκε είναι η χρονική περίοδος μεταξύ δύο διαδοχικών υπερβάσεων της τιμής x . Η πιθανότητα πως η συγκέντρωση θα υπερβεί την τιμή x για πρώτη φορά στην παρατήρηση n δίνεται από την εξίσωση

$$f_n = Pr\{c \leq x\}^{n-1} Pr\{c > x\} = [F(x)]^{n-1} [1-F(x)]$$

Εξ ορισμού ισχύει:

$$RP = E\{n\} = \sum_{n=1}^{\infty} n f_n$$

Συνδυάζοντας τις δύο παραπάνω εξισώσεις προκύπτει πως:

$$E\{n\} = \sum_{n=1}^{\infty} n [F(x)]^{n-1} [1-F(x)] = [1-F(x)] \sum_{n=1}^{\infty} n [F(x)]^{n-1}$$

Αφού $F(x) < 1$, τότε συνεπάγεται ότι ισχύει:

$$\sum_{n=1}^{\infty} n [F(x)]^{n-1} = 1 + 2F + 3F^2 + \dots = \frac{1}{[1-F(x)]^2}$$

Με συνδυασμό των εξισώσεων προκύπτει ότι: [5]

$$E\{n\} = \frac{1}{[1-F(x)]} = [\bar{F}(x)]^{-1} \quad (7.39)$$

7.6 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ

Όπως αναφέρθηκε, οι πληροφορίες που αποκομίζονται από τη γνώση της κατανομής συχνοτήτων είναι χρήσιμες ως εργαλείο διαχείρισης της αέριας ποιότητας και ανάπτυξης στρατηγικών ελέγχου των εκπομπών των αέριων ρύπων.

7.6.1 ΜΕΘΟΔΟΣ 1: ΕΞΙΣΩΣΗ ΜΕΙΩΣΗΣ Ή ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΟΣΟΣΤΩΣΗΣ (ROLLBACK EQUATION)

Η απαιτούμενη μείωση του ρυθμού εκπομπών του ρύπου (R%) προκειμένου να επιτευχθεί συμμόρφωση με τα πρότυπα αέρια ποιότητας μπορεί να υπολογιστεί με τη βοήθεια της εξίσωσης μείωσης ή του μοντέλου ποσόστωσης (rollback equation). Η συγκέντρωση ενός αέριου ρύπου ισούται με την συγκέντρωση υποβάθρου αυξημένη κατά τη συγκέντρωση ρύπου που οφείλεται στις εκπομπές της περιοχής, συγκέντρωση που είναι γραμμικά ανάλογη του ρυθμού παραγωγής ρύπου q . Στην περίπτωση που είναι γνωστή η παρούσα συγκέντρωση του ρύπου c_1 και ο ρυθμός παραγωγής του ρύπου q_1 για αυτή τη συγκέντρωση και είναι επιθυμητή η ελάττωση της συγκέντρωσης στην τιμή c_2 , μπορεί να υπολογιστεί ο επιτρεπόμενος ρυθμός εκπομπής ρύπου q_2 , ώστε να επιτευχθεί η μείωση της συγκέντρωσης.

Ισχύει :

$$q_1 = (c_1 - b)A$$

$$q_2 = (c_2 - b)A$$

όπου A μια μεταβλητή που εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως για παράδειγμα από τις μετεωρολογικές συνθήκες. Αν οι παράγοντες αυτοί υποτεθούν σταθεροί, τότε η μεταβλητή A είναι και αυτή σταθερή, οπότε θα ισχύει:

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{c_1 - b}{c_2 - b}$$

Το ποσοστό μείωσης του ρυθμού εκπομπών ρύπου, που είναι απαραίτητο για την επίτευξη της επιθυμητής συγκέντρωσης, είναι:

$$R = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{c_2 - b}{c_1 - b} = \frac{c_1 - c_2}{c_1 - b} \quad (7.40)$$

Αν οι συγκεντρώσεις c_1, c_2 και b αντικατασταθούν από τις μέσες (αναμενόμενες) τιμές των κατανομών που έχει υποθεθεί πως ακολουθούν, η εξίσωση 7.40 μετασχηματίζεται στην εξίσωση 7.41:

$$R = \frac{E\{C_p\} - E\{C\}_s}{E\{C_p\} - C_b} \quad (7.41)$$

όπου:

- C_s : Η συγκέντρωση-πρότυπο αέριας ποιότητας για ρύπανση από PM10
 $E\{C\}_s$: Η μέση αναμενόμενη συγκέντρωση της κατανομής της οποίας η ακραία τιμή ισούται με τη συγκέντρωση-πρότυπο αέριας ποιότητας για ρύπανση από PM10
 $E\{C_p\}$: Η μέση τιμή της τωρινής κατανομής
 C_b : Η συγκέντρωση υποβάθρου

Για να ισχύει η παραπάνω συνθήκη, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, έχουν γίνει ορισμένες παραδοχές. Συγκεκριμένα θεωρούνται αμετάβλητες μετεωρολογικές συνθήκες, αμετάβλητη χωρική κατανομή των πηγών εκπομπής, ενώ ο ρύπος πρέπει να μη συμμετέχει σε αντιδράσεις κατά τη διαδικασία μεταφοράς του στην ατμόσφαιρα.

Η παραπάνω εξίσωση μείωσης φανερώνει πως η συγκέντρωση του ρύπου είναι ανάλογη με τον ρυθμό εκπομπής του, ενώ η συγκέντρωση υποβάθρου μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα, χωρίς σημαντική επίπτωση στους υπολογισμούς. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η γνώση της κατανομής και των παραμέτρων που έχει υποθεθεί ότι ακολουθεί ο ρύπος. Μετά τον καθορισμό του είδους της κατανομής που προσαρμόζεται στα δεδομένα και τον προσδιορισμό των παραμέτρων της κατανομής οι τιμές των ποσοτήτων $E\{C_p\}$ και $E\{C\}_s$ υπολογίζονται εύκολα και μέσω της εξίσωσης 7.41 υπολογίζεται το ποσοστό μείωσης του ρυθμού εκπομπής του ρύπου. [5,9,22,45,46]

7.6.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΙΙ: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΩΝ ΠΕΡΙΟΔΩΝ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ

Ένας άλλος τρόπος εκτίμησης της απαιτούμενης μείωσης του ρυθμού εκπομπών των πηγών βασίζεται στις μέγιστες συγκεντρώσεις που αναμένονται για συγκεκριμένες περιόδους επαναφοράς, οι οποίες καθορίζονται από τα διάφορα πρότυπα ποιότητας αέρα. Για παράδειγμα αν σύμφωνα με το πρότυπο μια συγκέντρωση x_c δεν πρέπει να ξεπεραστεί n φορές το έτος, τότε η περίοδος επαναφοράς της συγκεκριμένης συγκέντρωσης είναι:

$$RP(x_c) = \text{χρονικές μονάδες μέτρησης έτους} / n \quad (7.42)$$

όπου οι χρονικές μονάδες μέτρησης του έτους καθορίζεται από τις μονάδες μέτρησης της περιόδου επαναφοράς, και μπορεί να είναι ημέρες, εβδομάδες, μήνες κτλ.

Η συγκέντρωση x που αναμένεται να ξεπεραστεί n φορές το έτος υπολογίζεται με τη βοήθεια της συνάρτησης κατανομής που ακολουθεί ο ρύπος και από την εξίσωση 7.39 της περιόδου επαναφοράς.

Επομένως, η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων θα πρέπει να ελαττωθεί κατά την ποσότητα $x - x_c$ προκειμένου να επιτευχθεί συμμόρφωση με τη νομοθεσία. Αν υποθεθεί τώρα πως οι ακραίες αυτές συγκεντρώσεις είναι ανάλογες του ρυθμού εκπομπής η απαιτούμενη μείωση του ρυθμού εκπομπής των πηγών του ρύπου θα ισούται προσεγγιστικά:

$$R = (x - x_c) / x \quad (7.43)$$

Οι δύο παραπάνω σχέσεις παρέχουν μια εκτίμηση του επιθυμητού ποσοστού μείωσης του ρυθμού εκπομπής των πηγών του ρύπου. Αυτό συμβαίνει, λόγω των παραδοχών που έχουν υποθεθεί αλλά και επειδή οι εκτιμημένες πιθανότητες υπέρβασης δεν είναι ίδιες με την πραγματικές πιθανότητες. Παρόλα αυτά μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως σημεία αναφοράς για την ανάπτυξη στρατηγικών ελέγχου της αέριας ρύπανσης από τα αιωρούμενα σωματίδια PM10. Όπως έχει αναφερθεί, τα σωματίδια εκπέμπονται από πολλές πηγές, όπως από τα μέσα μεταφοράς, από βιομηχανικές, κατασκευαστικές δραστηριότητες και από φυσικές πηγές. Οι αρμόδιες αρχές επομένως κάθε περιοχής είναι υπεύθυνες να αποφασίσουν τη διαδικασία ελέγχου και μείωσης των εκπομπών από κάθε μια από τις παραπάνω πηγές, προκειμένου να επιτευχθεί συμμόρφωση με τα πρότυπα αέριας ποιότητας. Στην περίπτωση βέβαια που η άμεση συμμόρφωση είναι αδύνατη, μπορεί να εφαρμοστούν

άλλες στρατηγικές μείωσης εκπομπών, με τη σύγκριση των περιόδων επαναφοράς διάφορων τιμών συγκεντρώσεων. [22,31,47,48]

7.7 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΛΗΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ

Η επιλογή της κατάλληλης κατανομής στην οποία τα δεδομένα ανταποκρίνονται καλύτερα είναι καθοριστικής σημασίας καθώς τυχόν επιλογή λανθασμένης κατανομής-μοντέλου μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά σφάλματα. Το πρόβλημα που ανακύπτει, δεδομένου του πλήθους των εναλλακτικών κατανομών που είναι διαθέσιμες και του γεγονότος πως καμιά κατανομή δεν μπορεί να θεωρηθεί a priori η καλύτερη, είναι η επιλογή του μοντέλου που να ανταποκρίνεται στα υπό εξέταση δεδομένα. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται τα κριτήρια καλής προσαρμογής, τα οποία πρέπει να είναι όσο το δυνατόν αντικειμενικά και να είναι εφαρμόσιμα σε κάθε ακολουθία δεδομένων. [7,8,49]

7.7.1 ΔΕΙΚΤΕΣ ΚΑΛΗΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ

Για τη σωστή προσαρμογή της θεωρητικής κατανομής στα δεδομένα μπορεί να χρησιμοποιηθούν στατιστικοί δείκτες με σκοπό να αποφανθεί ποια κατανομή είναι κατάλληλη για να αντιπροσωπεύσει την κατανομή των αιωρούμενων σωματιδίων PM10.

Αυτοί οι στατιστικοί δείκτες που θα χρησιμοποιηθούν είναι το μέσο απόλυτο σφάλμα (mean absolute error-MAE), η ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (root mean square error-RMSE) και ο δείκτης d. [31]

Σύμφωνα με τον Willmott ο ορισμός του μέσου απόλυτου σφάλματος δίνεται από τη σχέση

$$MAE = N^{-1} \sum_{i=1}^n |P_i - O_i| \quad (7.44)$$

όπου:

P_i : οι εκτιμημένες τιμές

O_i : οι πραγματικές τιμές

N : το μέγεθος του δείγματος, δηλαδή ο συνολικός αριθμός των τιμών

Το μοντέλο θεωρείται κατάλληλο για να αντιπροσωπεύσει τα δεδομένα όσο μικρότερη είναι η τιμή του μέσου απόλυτου σφάλματος. [31,50]

Σύμφωνα με τους Willmott (1982) Kolehmainen et al. (2001) ο δείκτης d που υπολογίζεται από την εξίσωση παρέχει μια ένδειξη του σφάλματος.

$$d=1-\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P'_i| + |O'_i|)^2} \quad (7.45)$$

όπου:

$$P'_i = P_i - \bar{O}$$

$$O'_i = O_i - \bar{O}$$

N: το μέγεθος του δείγματος, δηλαδή ο συνολικός αριθμός των τιμών

\bar{O} : η μέση τιμή των παρατηρούμενων συγκεντρώσεων

Ο δείκτης d είναι ένα αδιάστατο μέγεθος που και παίρνει τιμές μεταξύ 0 και 1 και χρησιμοποιείται για τη σύγκριση διάφορων μοντέλων. Όσο η τιμή του δείκτη πλησιάζει τη μονάδα, τόσο πιο κατάλληλο θεωρείται το μοντέλο να προσομοιώσει τα δεδομένα [31,50,51]

Η ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος θεωρείται ο πιο ευρέα χρησιμοποιημένος δείκτης και υπολογίζεται μέσω της εξίσωσης:

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 \right]^{1/2} \quad (7.46)$$

Ο δείκτης για ένα καλό μοντέλο πρέπει να πλησιάζει την τιμή μηδέν. Κατά συνέπεια όσο μικρότερη η τιμή του δείκτη τόσο καταλληλότερο θεωρείται το μοντέλο. [31]

Ο παραπάνω δείκτης μπορεί να χωριστεί σε δυο επιμέρους δείκτης τη συστηματική (RMSEs) και μη συστηματική (RMSEu) ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος. Για ένα καλό μοντέλο θα πρέπει το συστηματικό σφάλμα να προσεγγίζει το μηδέν και το μη συστηματικό τη ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMSE). Συγκεκριμένα ισχύει:

$$RMSE_s = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{P}_i - O_i)^2 \right]^{1/2} \quad (7.47)$$

$$RMSE_u = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{P}_i - P_i)^2 \right]^{1/2} \quad (7.48)$$

όπου $\hat{P}_i = \alpha + bO_i$.

Η παράμετρος α εκφράζει το σημείο τομής και η παράμετρος b την κλίση της ευθείας των ελαχίστων τετραγώνων.

Το ποσοστό του συστηματικού σφάλματος επί του συνολικού (PSE) περιγράφεται τέλος από την εξίσωση: [22,50,51]

$$PSE = \frac{RMSE_s^2}{RMSE^2} \quad (7.49)$$

7.7.2 ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΑ ΤΕΣΤ ΚΑΛΗΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ

Εκτός από τα κριτήρια αυτά υπάρχουν και άλλα στατιστικά τεστ που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της σωστής προσαρμογής της εκτιμημένης κατανομής στις παρατηρήσεις. Τέτοια τεστ αποκαλούνται «παραδοσιακά τεστ καλής προσαρμογής» (traditional goodness-of-fit tests). Τα στατιστικά αυτά τεστ μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέτρο σύγκρισης των διάφορων υπό εξέταση θεωρητικών κατανομών. Επίσης πληροφορούν για το πότε η υπόθεση ότι μια συγκεκριμένη κατανομή προσαρμόζεται στα δεδομένα πρέπει να απορριφθεί ή όχι, με αποτέλεσμα τα μοντέλα που δεν ικανοποιούν τα δεδομένα να μπορούν εύκολα να αναγνωρισθούν και να απορριφθούν. Τέτοια παραδοσιακά τεστ καλής προσαρμογής είναι:

- Το τεστ X^2
- Το στατιστικό τεστ Kolmogorov-Smirnof
- Το στατιστικό τεστ τύπου Kolmogorov-Smirnof του Lilliefors
- Το στατιστικό τεστ Anderson-Darling

Το στατιστικό τεστ X^2 δεν θεωρείται αποτελεσματικό στατιστικό τεστ και προτιμούνται τα υπόλοιπα τρία τα οποία είναι και τα πιο αξιόπιστα και αντικειμενικά. [1,8,22]

ΤΕΣΤ ΚΟΛΟΜΟΓΟΡΟΒ

Έστω μια τυχαία μεταβλητή X που παίρνει τιμές $X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n$, με συνάρτηση κατανομής:

$$F(x) = P(X < x_i)$$

Λαμβάνουμε ένα τυχαίο δείγμα των n παρατηρήσεων $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$. Η συνάρτηση κατανομής του δείγματος θα είναι:

$$S(x) = P(X < x_i)$$

Με τον έλεγχο Kolmogorov-Smirnov ελέγχεται και συγκρίνεται η αθροιστική συνάρτηση κατανομής του δείγματος $S(x)$ με την αθροιστική συνάρτηση κατανομής της θεωρητικής κατανομής $F(x)$.

Αν η συνάρτηση κατανομής του δείγματος $S(x)$ βρίσκεται κοντά στη συνάρτηση κατανομής $F(x)$ του θεωρητικού πληθυσμού, τότε συμπεραίνεται ότι το παρακάτω δείγμα ικανοποιεί την υπόθεση H_0 , δηλαδή ότι προέρχεται από ένα πληθυσμό στον οποίο η μεταβλητή X έχει συνάρτηση κατανομής την $F(x)$.

Ο παραπάνω έλεγχος της υπόθεσης ότι το δείγμα προέρχεται από την κατανομή που έχει συνάρτηση κατανομής την $F(x)$, ως προς την εναλλακτική υπόθεση ότι το δείγμα προέρχεται από οποιαδήποτε άλλη κατανομή, γίνεται με το κριτήριο:

$$D_0 = \max |F(x) - S(x)| \quad (7.50)$$

Η τιμή D_0 συγκρίνεται με την τιμή $D_{n,\alpha}$ η οποία αντιστοιχεί στη μέγιστη θεωρητική διαφορά που γίνεται αποδεκτή σε συγκεκριμένο επίπεδο εμπιστοσύνης α . Για μεγάλες τιμές του n (>100) οι τιμές $D_{n,\alpha}$ υπολογίζονται προσεγγιστικά από ειδικούς πίνακες ανάλογα με το επίπεδο σημαντικότητας.

Συγκεκριμένα, για $n > 100$ και για επίπεδα σημαντικότητας 0,01, 0,02, 0,05, 0,2 οι τιμές $D_{n,\alpha}$ είναι αυτές του πίνακα 3:

Πίνακας 7.3: Τιμές $D_{n,\alpha}$ τεστ Kolmogorov-Smirnov για διάφορα επίπεδα σημαντικότητας

Επίπεδο σημαντικότητας (α)	$D_{n,\alpha}$
-------------------------------------	----------------

0,01	$\frac{1,63}{\sqrt{n}}$
0,02	$\frac{1,52}{\sqrt{n}}$
0,05	$\frac{1,36}{\sqrt{n}}$
0,2	$\frac{1,07}{\sqrt{n}}$

Όταν $D_0 < D_{n,\alpha}$, η υπόθεση H_0 ότι δεν υπάρχει διαφορά μεταξύ της θεωρητικής και της δειγματοληπτικής κατανομής γίνεται αποδεκτή σε επίπεδο σημαντικότητας α . Αντίστοιχα αν $D_0 > D_{n,\alpha}$, τότε η υπόθεση απορρίπτεται.

Το προτέρημα του τεστ Kolmogorov σε αντίθεση με το τεστ X^2 είναι πως χρησιμοποιεί κάθε διαθέσιμη πληροφορία και είναι ιδιαίτερα χρήσιμο, όταν το πλήθος του δείγματος κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα. [1,8,22,52]

ΤΕΣΤ ANDERSON-DARLING

Το τεστ Anderson-Darling εφαρμόζεται στις συνεχείς θεωρητικές κατανομές και έχει την ίδια φιλοσοφία με το τεστ Kolmogorov. Η διαφορά μεταξύ τους έγκειται στο γεγονός πως είναι πιο αξιόπιστο καθώς δίνεται μεγαλύτερη έμφαση στις ουρές των κατανομών, όπου παρατηρούνται και οι μεγαλύτερες αποκλίσεις μεταξύ της δειγματοληπτικής και της θεωρητικής κατανομής. Άλλη μια σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο τεστ είναι πως το στατιστικό του τεστ Kolmogorov δεν εξαρτάται από το είδος της υπό εξέταση κατανομής, σε αντίθεση με αυτό του τεστ Anderson-Darling.

Ο έλεγχος της υπόθεσης ότι το δείγμα προέρχεται από την κατανομή που έχει συνάρτηση κατανομής την $F(x)$, ως προς την εναλλακτική υπόθεση ότι το δείγμα προέρχεται από οποιαδήποτε άλλη κατανομή, γίνεται με το κριτήριο:

$$A^2 = -N \cdot S \quad (7.51)$$

$$\text{όπου } S = \sum_{i=1}^N \frac{2i-1}{N} [\ln F(Y_i) + \ln(1 - F(Y_{N+1-i}))] \quad (7.52),$$

όπου F η συνάρτηση κατανομής της υπό εξέταση κατανομής και Y_i τα διατεταγμένα δεδομένα του δείγματος.

Η τιμή A^2 συγκρίνεται με τις κρίσιμες τιμές που υπολογίζονται προσεγγιστικά από ειδικούς πίνακες ανάλογα με το επίπεδο σημαντικότητας και την υπό εξέταση κατανομή. Όταν η τιμή A^2 είναι μικρότερη της κρίσιμης η υπόθεση H_0 ότι δεν υπάρχει διαφορά μεταξύ της θεωρητικής και της δειγματοληπτικής κατανομής γίνεται αποδεκτή σε επίπεδο σημαντικότητας α . Αντίστοιχα αν είναι μεγαλύτερη, η υπόθεση απορρίπτεται.

[39,53]

7.8 ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ ΚΑΤΑΝΟΜΩΝ

Τα πιθανοθεωρητικά διαγράμματα αποτελούν δύο γραφικές μεθόδους ελέγχου της αξιοπιστίας της προσαρμογής της θεωρητικής κατανομής (μοντέλο) στα δεδομένα. Τα διαγράμματα αυτά είναι τα διαγράμματα Πιθανότητας-Πιθανότητας (P-P Plot) και τα διαγράμματα Ποσοστημορίου-Ποσοστημορίου (Q-Q Plot), με τα οποία επιχειρείται με γραφικές μεθόδους να διαπιστωθεί πόσο κοντά σε κάποια κατανομή είναι τα δεδομένα που επεξεργάζονται. [53,54]

7.8.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ P-P

Έστω x_1, x_2, \dots, x_n οι τιμές των δεδομένων του δείγματος διατεταγμένα κατά αύξουσα σειρά. Το διάγραμμα P-P παριστάνουν σε σύστημα ορθογωνίων αξόνων τις τιμές της παρατηρούμενης αθροιστικής συχνότητας υπολογισμένες για τα σημεία x_i , όπου $i=1,2,\dots,n$. (άξονας των x) και της αθροιστικής συχνότητας της θεωρητικής κατανομής που υποτίθεται ότι ακολουθεί η μεταβλητή που εξετάζεται για τα σημεία x_i , όπου $i=1,2,\dots,n$ (άξονας των y).

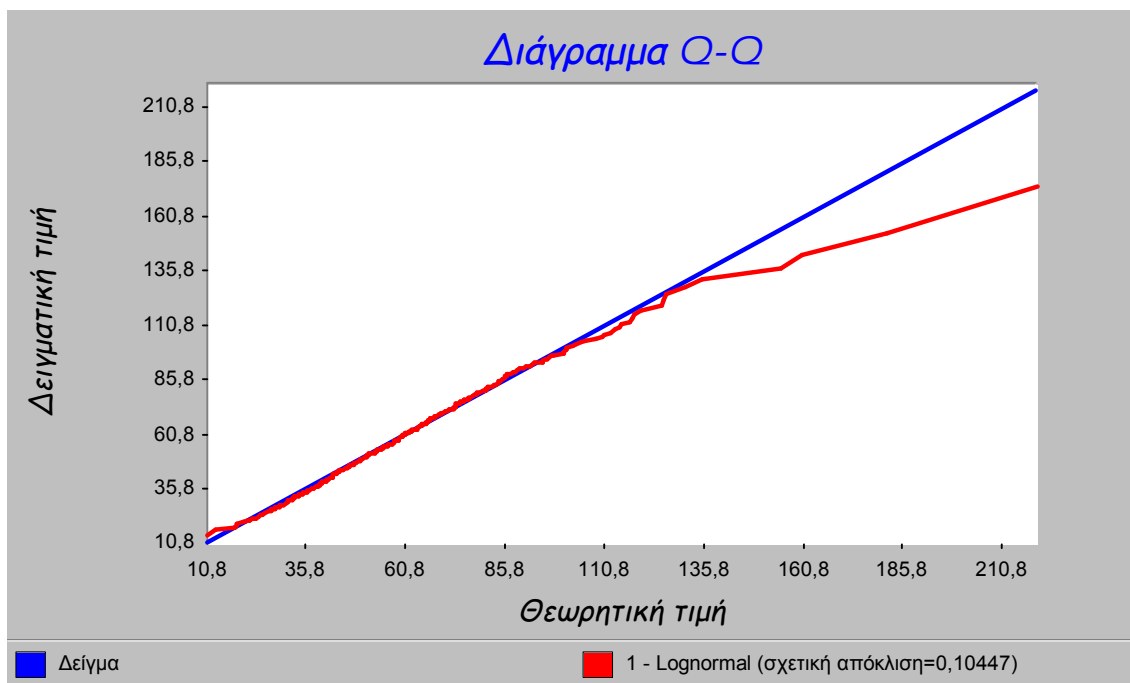
Όσο πιο έντονα φαίνεται ότι είναι τα σημεία συγκεντρωμένα γύρω από μια ευθεία (τη διχοτόμο της γωνίας των αξόνων x - y), τόσο περισσότερο ενισχύεται η υπόθεση ότι τα δεδομένα ακολουθούν την κατανομή που έχει υποτεθεί. Βασική προϋπόθεση βέβαια είναι το δείγμα να είναι ικανοποιητικά μεγάλο σε μέγεθος.

Ακόμα όμως και στην περίπτωση καλής προσαρμογής της θεωρητικής κατανομής στα δεδομένα, παρατηρούνται αποκλίσεις από τη γραμμικότητα, ιδιαίτερα για μικρού και μεσαίου μεγέθους δείγματα. Το διάγραμμα P-P κατασκευάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να αμβλύνονται οι αποκλίσεις μεταξύ των τιμών στο μέσο των δύο κατανομών.

Η σχετική απόκλιση (relative discrepancy) ενός διαγράμματος P-P αποτελεί μέτρο της γραμμικότητας του διαγράμματος P-P και εκφράζει το απόλυτο εμβαδόν μεταξύ της καμπύλης και της διχοτόμου των αξόνων x - y . [53,54]

μεσαίου μεγέθους. Τα διαγράμματα Q-Q σχεδιάζονται έτσι ώστε να αμβλύνονται οι αποκλίσεις μεταξύ των τιμών στις ουρές των δύο κατανομών.

Η σχετική απόκλιση, που αποτελεί μέτρο της γραμμικότητας του διαγράμματος Q-Q, και εκφράζει το απόλυτο εμβαδόν μεταξύ της καμπύλης και της διχοτόμου των αξόνων x-y. [53,54]

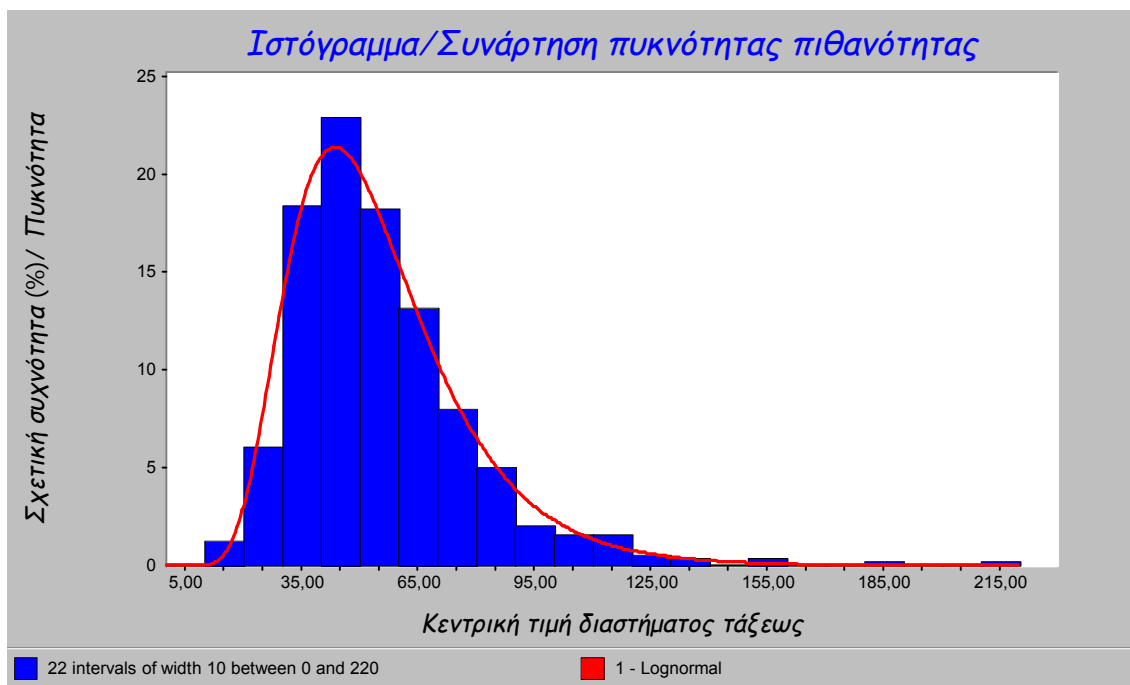


Διάγραμμα 7.2: Πιθανοθεωρητικό διάγραμμα Q-Q

Πέρα από τα πιθανοθεωρητικά διαγράμματα, υπάρχουν και άλλα διαγράμματα τα οποία επιτρέπουν τον έλεγχο της αξιοπιστίας της προσαρμογής της θεωρητικής κατανομής (μοντέλου) στα δεδομένα. Τα διαγράμματα αυτά είναι:

7.8.3 ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ/ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ

Τα διαγράμματα ιστογράμμο/συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (density/histogram overplot), όπου το ιστόγραμμα των δεδομένων και η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της θεωρητικής κατανομής παριστάνονται σε κοινό διάγραμμα, με σκοπό τη σύγκριση τους και τον έλεγχο της καταλληλότητας της προσαρμογής της συγκεκριμένης θεωρητικής κατανομής στα δεδομένα. [53]



Διάγραμμα 7.3: Διάγραμμα σύγκρισης ιστογράμματος και συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας θεωρητικής κατανομής

7.8.4 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΠΟΚΛΙΣΕΩΝ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ ΚΑΤΑΝΟΜΩΝ

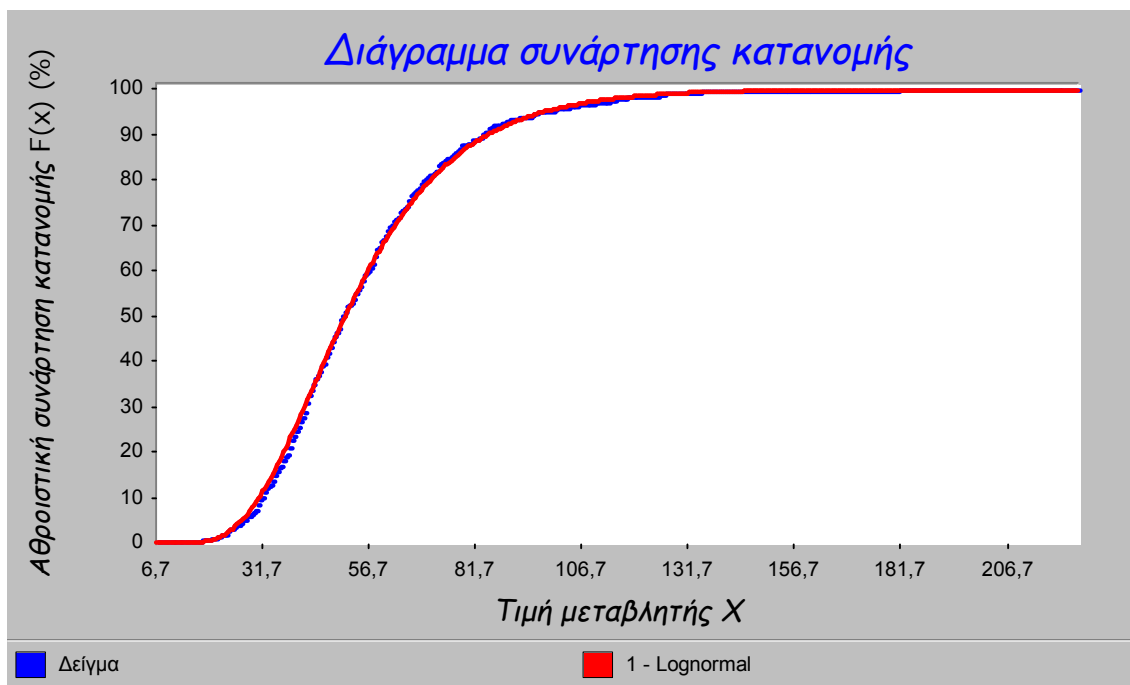
Το διάγραμμα αποκλίσεων των συναρτήσεων κατανομών (Distribution-Function-Differences Plot) που απεικονίζει τις ατομικές αποκλίσεις μεταξύ της θεωρητικής συνάρτησης κατανομής και της δειγματικής συνάρτησης κατανομής, υπολογιζόμενες για όλες τις τιμές του δείγματος. Αν η θεωρητική κατανομή είναι αυτή που πραγματικά χαρακτηρίζει τον πληθυσμό από τον οποίο προέρχεται το δείγμα και το μέγεθος του δείγματος τείνει στο άπειρο, το διάγραμμα είναι μια γραμμή παράλληλη του άξονα των x η οποία περνάει από το σημείο 0 του άξονα των y . Επομένως όσο μεγαλύτερες είναι οι αποκλίσεις από τη συγκεκριμένη ευθεία, τόσο πιο ακατάλληλο θεωρείται η συγκεκριμένη κατανομή για να περιγράψει τα δεδομένα. Για κάθε θεωρητική κατανομή υπολογίζεται η μέση απόκλιση της θεωρητικής κατανομής από τη δειγματική και μάλιστα όσο μικρότερη είναι η μέση αυτή τιμή τόσο πιο κατάλληλη είναι και η προσαρμογή της συγκεκριμένης κατανομής. Επιπλέον στο διάγραμμα απεικονίζονται δύο παράλληλες στον άξονα των x ευθείες (οι διακεκομμένες μπλε χρώματος), που παρέχουν ένα μέτρο της σημαντικότητας της παρατηρούμενης απόκλισης της θεωρητικής κατανομής. Αν οι αποκλίσεις ξεπερνούν τις συγκεκριμένες ευθείες, το μοντέλο θεωρείται ακατάλληλο. [53]



Διάγραμμα 7.4: Διάγραμμα αποκλίσεων συναρτήσεων κατανομής

7.8.5 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ

Στο διάγραμμα συνάρτησης κατανομής (distribution function plot) όπου απεικονίζονται από κοινού οι δεξιόστροφες αθροιστικές συναρτήσεις της θεωρητικής και της δειγματικής κατανομής για όλες τις τιμές του δείγματος. Η δεξιόστροφη αθροιστική συνάρτηση της δειγματικής κατανομής είναι το ποσοστό των παρατηρήσεων του δείγματος που είναι μικρότερο ή ίσο της τιμής x , ενώ η δεξιόστροφη αθροιστική συνάρτηση της θεωρητικής κατανομής είναι η πιθανότητα η τιμή της μεταβλητής X να είναι μικρότερη ή ίση της τιμής x . Σε περίπτωση καλής προσαρμογής της κατανομής στα δεδομένα, οι γραφικές παραστάσεις θα πρέπει να ταυτίζονται όσο το δυνατόν περισσότερο. [53]



Διάγραμμα 7.5: Διάγραμμα συνάρτησης κατανομής

7.8.6 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ ΕΠΙΒΙΩΣΗΣ

Αντίστοιχο είναι και το διάγραμμα συνάρτησης επιβίωσης (survivor function plot) όπου απεικονίζονται από κοινού οι αριστερόστροφες αθροιστικές συναρτήσεις της θεωρητικής και της δειγματικής κατανομής για όλες τις τιμές του δείγματος. Η αριστερόστροφη αθροιστική συνάρτηση της δειγματικής κατανομής είναι το ποσοστό των παρατηρήσεων του δείγματος που είναι μεγαλύτερες της τιμής x , ενώ η αριστερόστροφη αθροιστική συνάρτηση της θεωρητικής κατανομής είναι η πιθανότητα η τιμή της μεταβλητής X να είναι μεγαλύτερη της τιμής x . Σε περίπτωση καλής προσαρμογής της κατανομής στα δεδομένα, οι γραφικές παραστάσεις θα πρέπει να ταυτίζονται όσο το δυνατόν περισσότερο. [53]

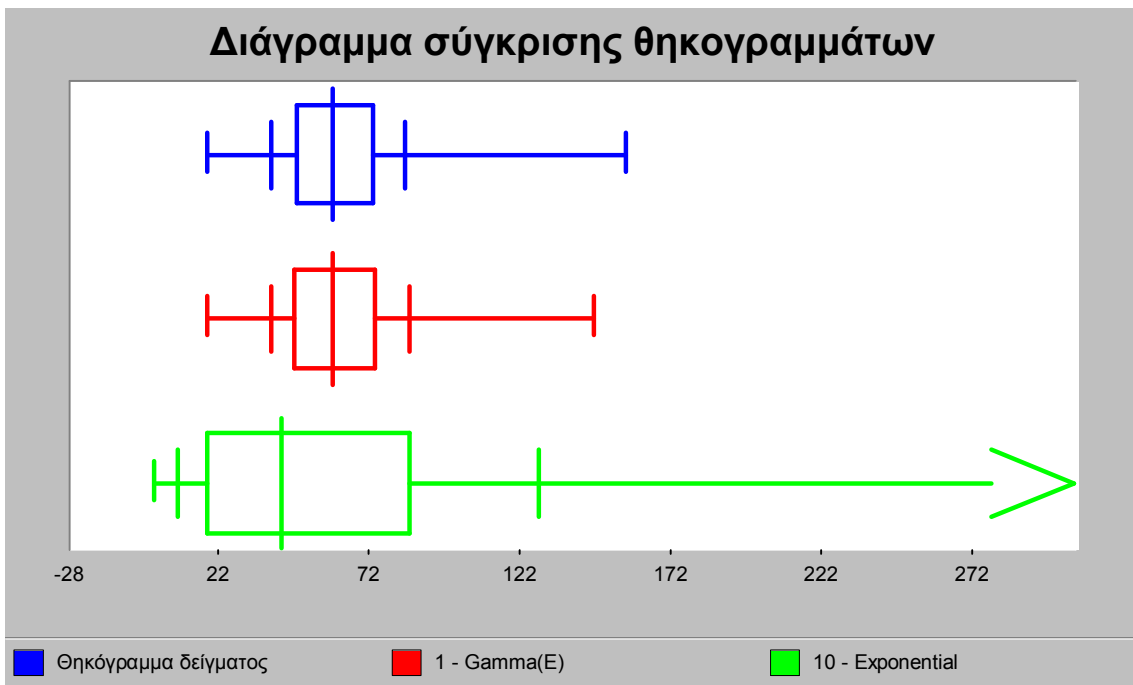
Η θέση της διαμέσου στο εσωτερικό του ορθογώνιου προσδιορίζει το είδος της ασυμμετρίας:

- Εάν τα δεδομένα είναι συμμετρικά, η διάμεσος θα βρίσκεται στο μέσο του μήκους του παραλληλογράμμου.
- Όταν η διάμεσος βρίσκεται πιο κοντά προς την αριστερή πλευρά του ορθογώνιου τα δεδομένα εμφανίζουν θετική ασυμμετρία.
- Όταν η διάμεσος βρίσκεται πιο κοντά προς τη δεξιά πλευρά του ορθογώνιου τα δεδομένα εμφανίζουν αρνητική ασυμμετρία.

Όσον αφορά στο θηκόγραμμα της θεωρητικής κατανομής αυτό απεικονίζει κατά αντιστοιχία με το θηκόγραμμα του δείγματος τη διάμεσο, τη μέγιστη και ελάχιστη τιμή, τα τεταρτημόρια και τα οκτημόρια της θεωρητικής κατανομής.

Στο διάγραμμα σύγκρισης των θηκογραμμάτων αποτυπώνονται τα θηκογράμματα του δείγματος και μιας θεωρητικής κατανομής και επομένως παρέχεται η δυνατότητα σύγκρισης τους και ελέγχου της καταλληλότητας προσαρμογής της συγκεκριμένης κατανομής στα δεδομένα. Παρέχει δηλαδή τη δυνατότητα να εξακριβωθεί κατά πόσον η θεωρητική κατανομή έχει την ίδια μορφή (συμμετρία, ουρές) με την κατανομή που ακολουθούν τα δεδομένα. Στην περίπτωση μη καταλληλότητας προσαρμογής μιας θεωρητικής κατανομής, τότε στο θηκόγραμμα της συγκεκριμένης κατανομής εμφανίζεται ένα βέλος σε κάποια από τις δυο εξωτερικές πλευρές του. [3,53]

Το διάγραμμα σύγκρισης θηκογραμμάτων έχει τη μορφή του διαγράμματος 7.7 όπου απεικονίζονται το θηκόγραμμα του δείγματος και τα θηκογράμματα μιας κατάλληλης και μίας ακατάλληλης θεωρητικής κατανομής:

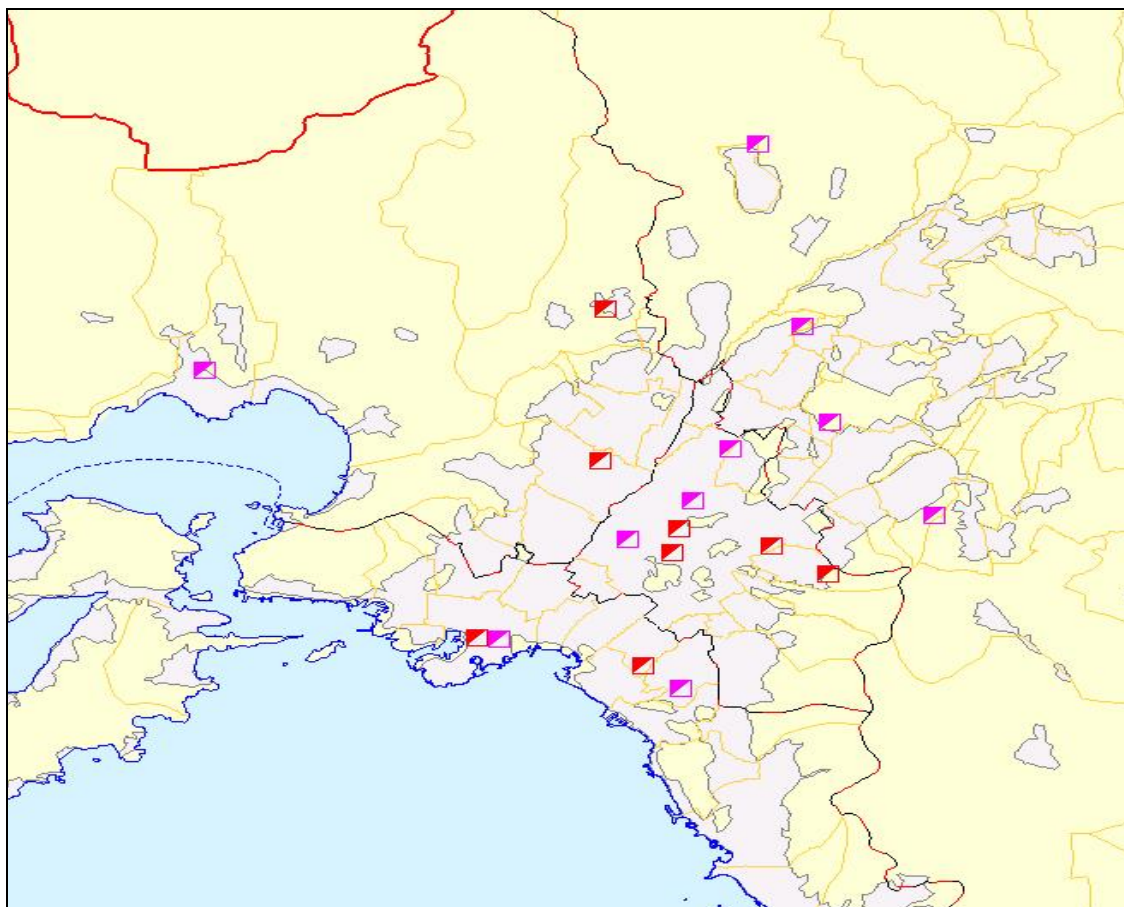


Διάγραμμα 7.7: Διάγραμμα σύγκρισης θηκογραμμμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ PM10

8.1 ΔΙΚΤΥΟ ΣΤΑΘΜΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ PM10 ΣΤΟ ΛΕΚΑΝΟΠΕΔΙΟ ΤΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

Το 2001-2002 η Διεύθυνση ΕΑΡΘ (Τμήμα Ποιότητας Ατμόσφαιρας), λειτούργησε δεκαεπτά σταθμούς μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή Αττικής όπως φαίνεται και στο σχήμα 8.1.



Σχήμα 8.1: Χάρτης της περιοχής Αττικής που εμφανίζονται οι θέσεις μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Στον Πίνακα 8.1. εμφανίζονται οι θέσεις των σταθμών αυτών, ο χαρακτηρισμός τους και οι ρύποι που μετρούνται ανά σταθμό. Στην τελευταία στήλη, φαίνεται σε ποιους σταθμούς είναι διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα (θερμοκρασία αέρα, σχετική υγρασία, διεύθυνση και ένταση ανέμου).

Πίνακας 8.1: Χαρακτηριστικά σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης περιοχής Αττικής του ΕΔΠΑΡ

Σταθμός				Χαρακτηρισμός	Μετρούμενοι ρύποι								Μετεωρολογικά
Θέση			Υψόμετρο (m-asl)		SO ₂	NO _x	CO	O ₃	PM ₁₀	TSP	BTX	BS	
Όνομα	Γεωγραφικό μήκος	Γεωγραφικό πλάτος											
Αθηνάς	23° 43' 30''	37° 58' 42''	100	Αστικός-Κυκλοφορίας	v	v	v	v				v	
Αριστοτέλους	23° 43' 39''	37° 59' 16''	95	Αστικός-Κυκλοφορίας	v	v			v			v	
Γεωπονική	23° 42' 25''	37° 59' 01''	50	Περιστατικός-Βιομηχανικός	v	v	v	v				v	
Λιόσια	23° 41' 52''	38° 04' 36''	165	Περιστατικός-Υποβάθρου	v	v		v				v	
Λυκόβρυση	23° 46' 35''	38° 04' 11''	210	Περιστατικός		v	v	v	v	v		v	
Μαρούσι	23° 47' 14''	38° 01' 51''	145	Αστικός-Κυκλοφορίας	v	v	v	v	v			v	
Νέα Σμύρνη	23° 42' 54''	37° 55' 58''	50	Αστικός-Υποβάθρου	v	v	v	v					
Πατησίων	23° 43' 59''	37° 59' 57''	105	Αστικός-Κυκλοφορίας	v	v	v	v			v	v	
Πειραιάς - ΠΕΙ-1	23° 38' 51''	37° 56' 36''	20	Αστικός-Κυκλοφορίας	v	v	v	v	v	v			
Περιστέρι	23° 41' 46''	38° 00' 55''	80	Αστικός-Υποβάθρου	v	v	v	v					
Αγ. Παρασκευή	23° 49' 10''	37° 59' 42''	290	Περιστατικός-Υποβάθρου	v	v		v	v	v		v	
Γαλάτσι	23° 44' 53''	38° 01' 13''	145	Αστικός-Υποβάθρου	v	v		v				v	
Γουδί	23° 46' 04''	37° 59' 04''	155	Αστικός-Κυκλοφορίας		v			v				
Ελευσίνα	23° 32' 18''	38° 03' 05''	20	Περιστατικός-Βιομηχανικός	v	v		v				v	
Ζωγράφου	23° 47' 13''	37° 58' 11''	245	Περιστατικός-Υποβάθρου	v	v		v	v	v			
Θρακομακεδόνες	23° 45' 29''	38° 08' 37''	550	Περιστατικός-Υποβάθρου		v		v	v			v	
Πανεπιστήμιο Πειραιά - ΠΕΙ-2	23° 39' 10''	37° 56' 32''	25	Αστικός-Υποβάθρου	v	v		v				v	

Από το έτος 2000 ισχύουν ειδικές οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης για έλεγχο της σωματιδιακής ρύπανσης, που προβλέπουν την υποχρεωτική ανάπτυξη δικτύου καταγραφής των αιωρούμενων σωματιδίων καθώς και τη λήψη σταδιακών μέτρων για τη σταδιακή μείωση τους ως το τέλος του 2005. Στο πλαίσιο των οδηγιών αυτών έχει εγκατασταθεί από το 2000 και λειτουργεί ανάλογο δίκτυο σε οκτώ από τους σταθμούς αυτούς. Οι σταθμοί αυτοί είναι:

- Αγία Παρασκευή
- Αριστοτέλους
- Γουδί
- Λυκόβρυση
- Μαρούσι
- Πανεπιστήμιο
- Πειραιάς
- Θρακομακεδόνες

8.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΑΙΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Η καταγραφή των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 έγινε με τη βοήθεια της συσκευής ESM Andersen FH 62 I-R Particulate Monitoring Instrument. Το όργανο βασίζεται στη ραδιομετρική μέθοδο της παρεμπόδισης ακτινοβολίας β (beta attenuation method), με χρήση διπλής ακτίνας για την εξασφάλιση της σταθερής απόδοσης και υψηλής ακρίβειας.

Η συλλογή της σωματιδιακής μάζας γίνεται σε κατάλληλη περιστρεφόμενη φιλτροταινία. Το ρεύμα αέρα αφού διέρχεται από κατάλληλη κεφαλή δειγματοληψίας PM10 οδηγείται προς το καθαρό τμήμα της φιλτροταινίας με ονομαστικό ογκομετρικό ρυθμό ροής 16,7 l/min. Τα σωματίδια συλλέγονται επί του φίλτρου για προκαθορισμένο χρονικό διάστημα (30 min). Στο συγκεκριμένο τμήμα του φίλτρου εστιάζεται ακτινοβολία β προερχόμενη από κατάλληλη πηγή (Kr-85). Καθώς η συλλεγόμενη μάζα των σωματιδίων αυξάνει όπως και το πάχος του σχηματιζόμενου στρώματος, η ένταση της ακτίνας β εξασθενεί. Η εξασθένιση αυτή μεταφράζεται μέσω κατάλληλων κοιλωμάτων σε διαφοροποίηση του ηλεκτρικού σήματος η οποία

με χρήση κατάλληλων εξισώσεων (π.χ. νόμος του Leonard) παρέχει σε συνεχή βάση τη συγκέντρωση των σωματιδίων στη φιλτροταινία. Η ίδια διαδικασία γίνεται και προς την αντίθετη διεύθυνση (χρήση διπλής ακτίνας) με τη διάφορα ότι δεν παρεμβάλλεται το τμήμα με την φιλτροταινία (μέτρηση αναφοράς για αντιστάθμιση). Ο χρόνος έκθεσης κάθε τμήματος της ταινίας είναι 30 min και η στάθμιση γίνεται κατόπιν σε ωριαίες συγκεντρώσεις. Ο ρυθμός ροής του αέρα διατηρείται σταθερός με χρήση κατάλληλων αισθητήρων και αντλίας. Για να αποφεύγεται η παρεμβολή στη μέτρηση της μεταβαλλόμενης υγρασίας του αέρα καθώς και το ενδεχόμενο της συμπύκνωσης υδρατμών μέσα στο ρεύμα εισόδου, γίνεται θέρμανση του σωλήνα εισροής αέρα στο όργανο στους 50°C. Η ακρίβεια του οργάνου όπως δίνεται από την εταιρεία είναι 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Σχήμα 8.2: Συσκευή ESM Andersen FH 62 I-R Particulate Monitoring Instrument για την καταγραφή ωριαίων συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10.

8.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΝΕΡΓΩΝ ΗΜΕΡΩΝ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΩΝ ΕΤΩΝ

Πριν τη στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων αφαιρέθηκαν ορισμένες μέρες στις οποίες δεν υπήρχαν καθόλου δεδομένα. Οι βασικότεροι λόγοι απουσίας δεδομένων είναι η κακή λειτουργία των οργάνων δειγματοληψίας και μέτρησης, η διακοπή μέτρησης λόγω πιθανών επιδιορθώσεων των οργάνων καθώς και πιθανές λανθασμένες καταγραφές. Για τον τελευταίο λόγο μάλιστα αφαιρέθηκαν όλες οι

συγκεντρώσεις που ήταν μικρότερες των $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, η οποία θεωρείται και η ελάχιστη τιμή απόκρισης του οργάνου.

Στην απόφαση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής 2001/752/EK της 17^{ης} Οκτωβρίου του 2001 στο παράρτημα 4 καθορίζονται τα κριτήρια για την ομαδοποίηση των δεδομένων και των υπολογισμό των στατιστικών παραμέτρων. Συγκεκριμένα καθορίζεται ότι για τον υπολογισμό τιμών 24ώρου πρέπει να διατίθενται τουλάχιστον 13 ωριαίες τιμές με την προϋπόθεση να μην παραλείπονται περισσότερες από 6 διαδοχικές ωριαίες τιμές. Με γνώμονα τα παραπάνω αφαιρέθηκαν οι ημέρες οι οποίες δεν κάλυπταν τα συγκεκριμένα κριτήρια, οι οποίες μέρες και δεν συμπεριλήφθηκαν στην χρονοσειρά. Επομένως ενεργές ημέρες καλούνται οι ημέρες που τελικά συμπεριλαμβάνονται στη χρονοσειρά που δημιουργείται και πληρούν τα ανώτερα κριτήρια.

Έπειτα από την παραπάνω διαδικασία προέκυψαν οι χρονοσειρές για τα έτη 2001-2002 για τους οκτώ σταθμούς. Σε όλες τις περιπτώσεις με εξαίρεση τον σταθμό του Αμαρουσίου υπάρχουν δεδομένα για τουλάχιστον το 50% των ημερών του έτους, επομένως σε όλους τους σταθμούς τα έτη 2001 και 2002 θεωρούνται ενεργά και συμπεριλαμβάνονται στην υπό μελέτη χρονοσειρά. Δηλαδή ενεργά έτη καλούνται τα έτη αυτά τα οποία τελικά συμπεριλαμβάνονται στην υπό μελέτη χρονοσειρά και για τα οποία υπάρχουν δεδομένα για το 50% τουλάχιστον των ημερών του έτους.

8.4 ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ

Η επιλογή για την εξέταση της μέσης ωριαίας συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 και της μέσης ετήσιας έγινε λόγω της σχέσης τους με τις πιθανές επιπτώσεις στην υγεία. Οι μονάδες αυτές με τα αντίστοιχα πεδία τιμών τους υιοθετούνται τόσο από την Ευρωπαϊκή Ένωση όσο και από την Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας ως κριτήρια ποιότητας του αέρα και τα εκάστοτε όρια που θεσπίζονται ακτινογραφούν μια πολιτική ελέγχου τους. Για τους λόγους αυτούς κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας αυτής οι τιμές αυτές επιλέχθηκαν ως οι καταλληλότερες προς μελέτη μεταβλητές.

8.5 ΠΛΗΡΟΤΗΤΑ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ

Με βάση τα προαναφερόμενα ο μέγιστος αριθμός των ημερών για κάθε έτος είναι 365 ημέρες. Όπως όμως αναφέρθηκε κάποιες ημέρες απορρίπτονται. Έπειτα από τη διαδικασία απόρριψης προέκυψαν τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον πίνακα 8.2 όσον αφορά στις ενεργές μέρες και στην πληρότητα του κάθε έτους.

Πίνακας 8.2: Ενεργές ημέρες και πληρότητα μετρήσεων για τα έτη 2001 και 2002

Σταθμός	Ενεργές ημέρες 2001	Πληρότητα 2001	Ενεργές ημέρες 2002	Πληρότητα 2002
Αγία Παρασκευή	266	72,88%	310	84,93%
Αριστοτέλους	356	97,53%	219	60,00%
Γουδί	345	94,52%	294	80,55%
Λυκόβρυση	354	96,99%	302	82,74%
Μαρούσι	358	98,08%	153	41,92%
Πανεπιστήμιο	352	96,44%	363	99,45%
Πειραιάς	299	81,92%	273	74,79%
Θρακομακεδόνες	353	96,71%	254	69,59%

Η τελική πληρότητα της κάθε χρονοσειράς και το συνολικό μήκος της σε αριθμό ημερών παρουσιάζονται στον πίνακα 8.3.

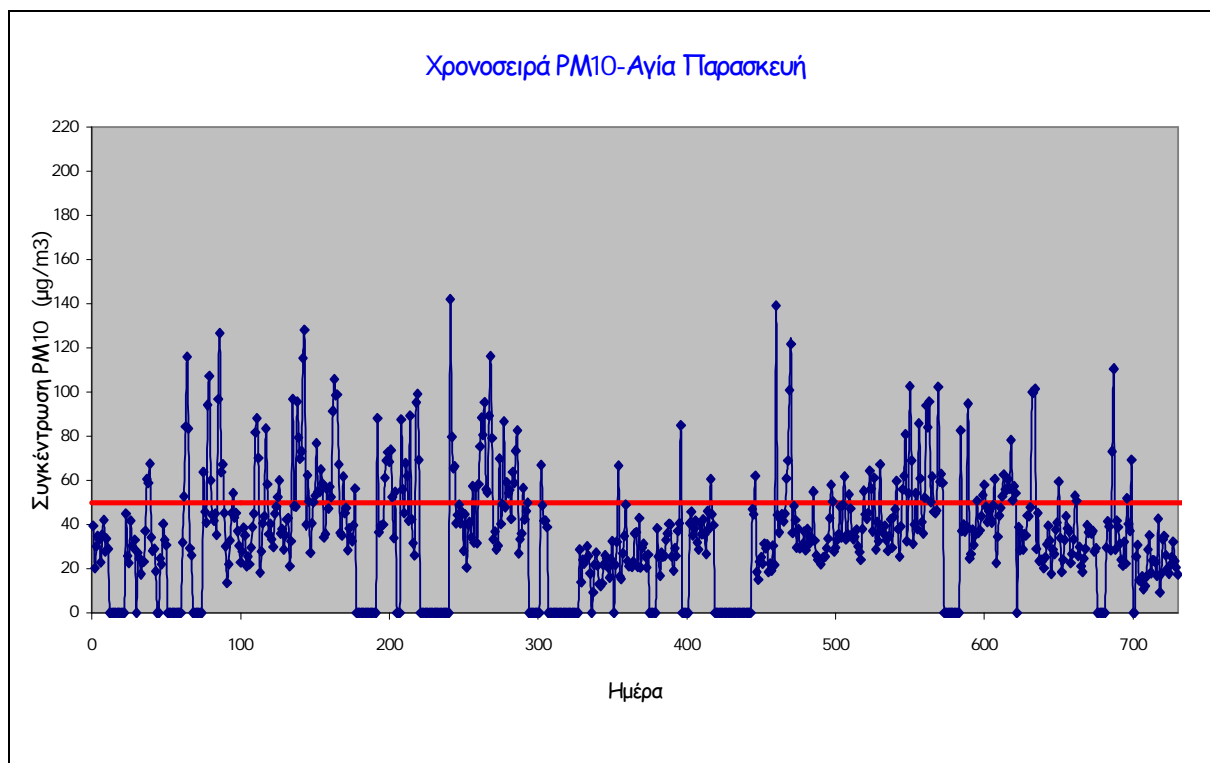
Πίνακας 8.3: Μήκος και πληρότητα χρονοσειρών για την περίοδο 2001-2002

Σταθμός	Μήκος χρονοσειράς	Πληρότητα χρονοσειράς
Αγία Παρασκευή	576	78,90%
Αριστοτέλους	575	78,77%
Γουδί	639	87,53%
Λυκόβρυση	656	89,86%
Μαρούσι	511	70,00%
Πανεπιστήμιο	715	97,95%
Πειραιάς	572	78,36%
Θρακομακεδόνες	607	83,15%

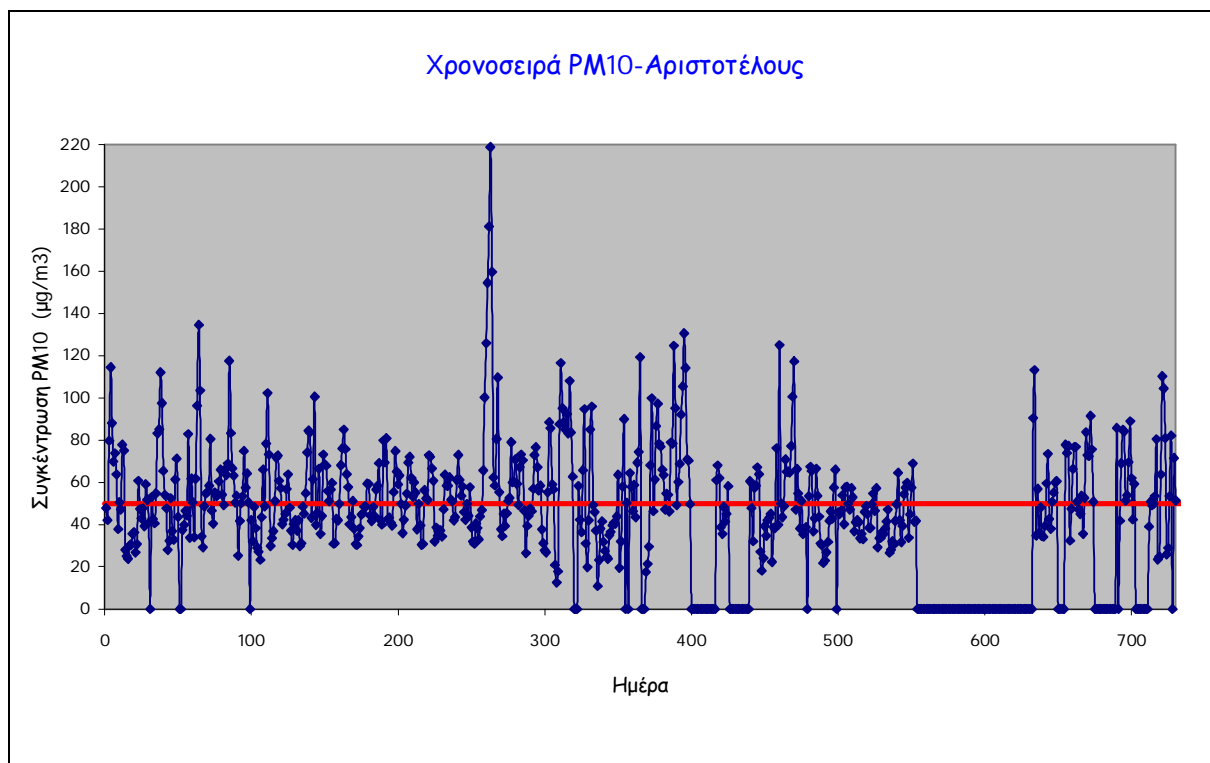
8.6 ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΙΣ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ

Στη συνέχεια επισυνάπτονται τα διαγράμματα που αντιπροσωπεύουν τις χρονοσειρές των μέσων ημερήσιων συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 στους οκτώ υπό μελέτη σταθμούς.

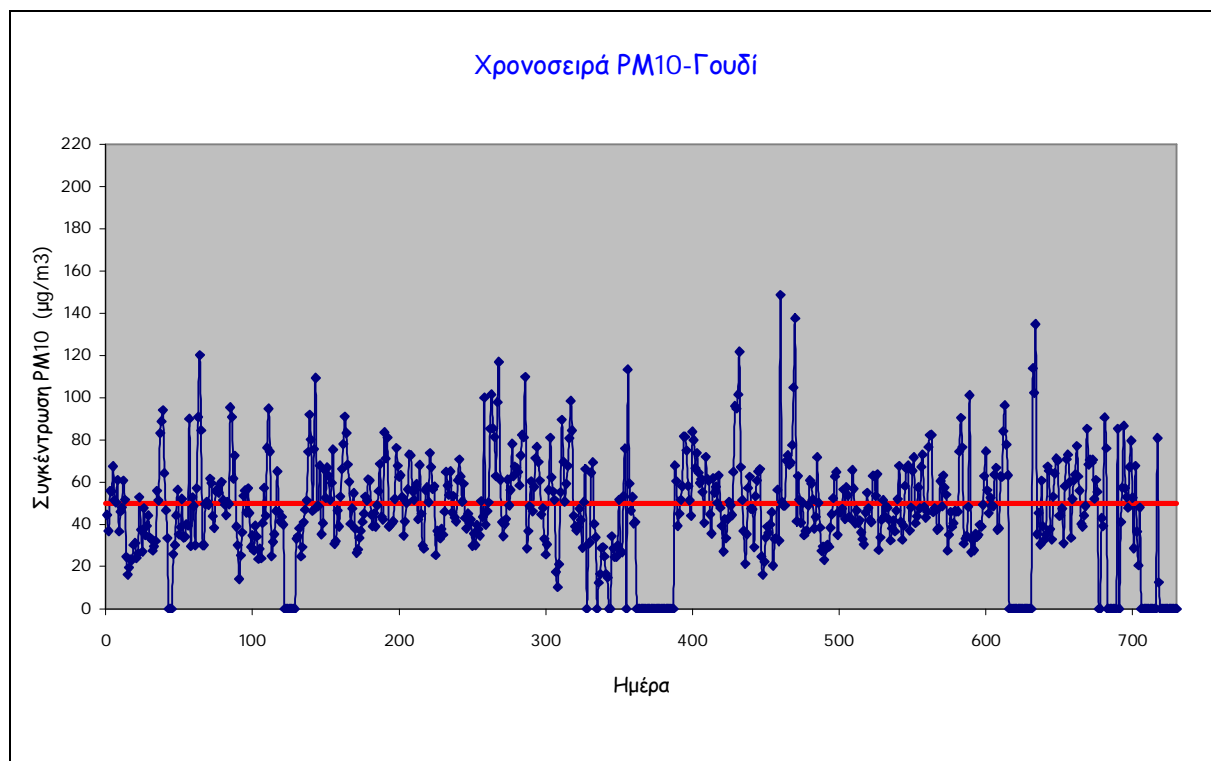
Για όλες τις γραφικές παραστάσεις στον άξονα Y παριστάνονται οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και στον άξονα X οι ημέρες.



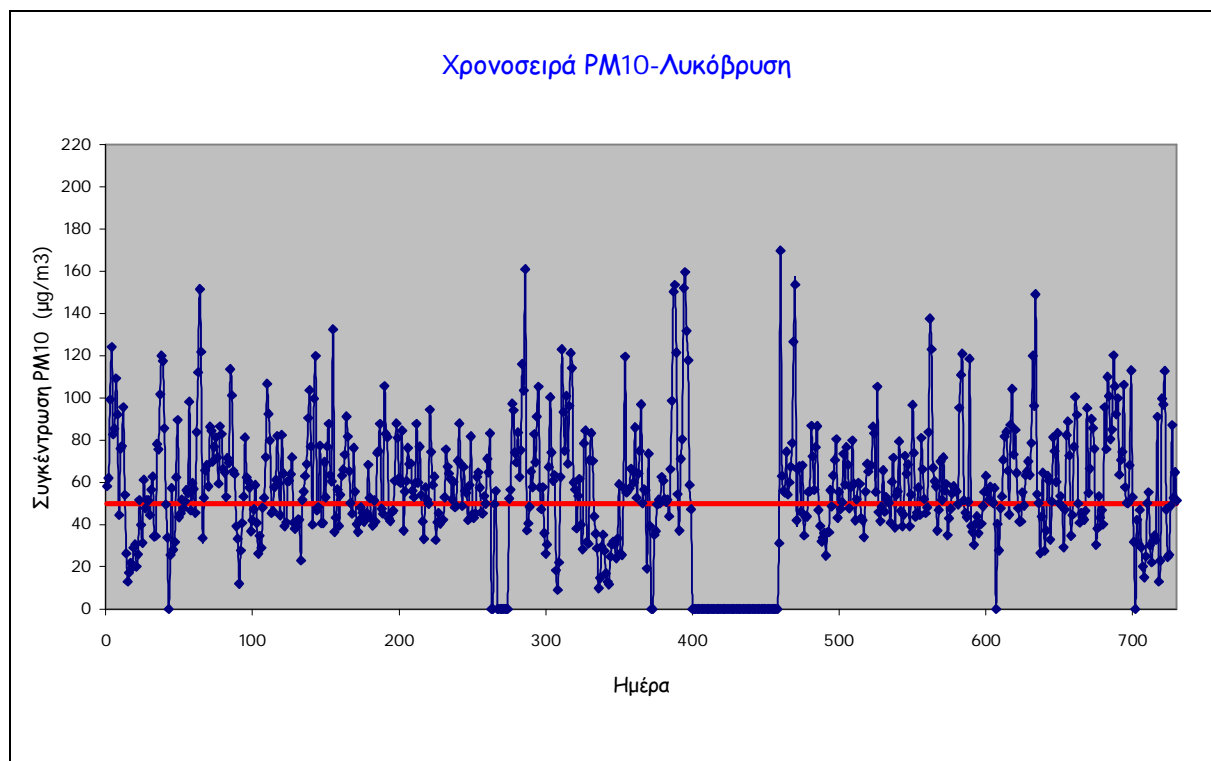
Διάγραμμα 8.1: Χρονοσειρά μέσω ημερήσιων συγκεντρώσεων PM10 της περιόδου 2001-2002 στο σταθμό Αγία Παρασκευή



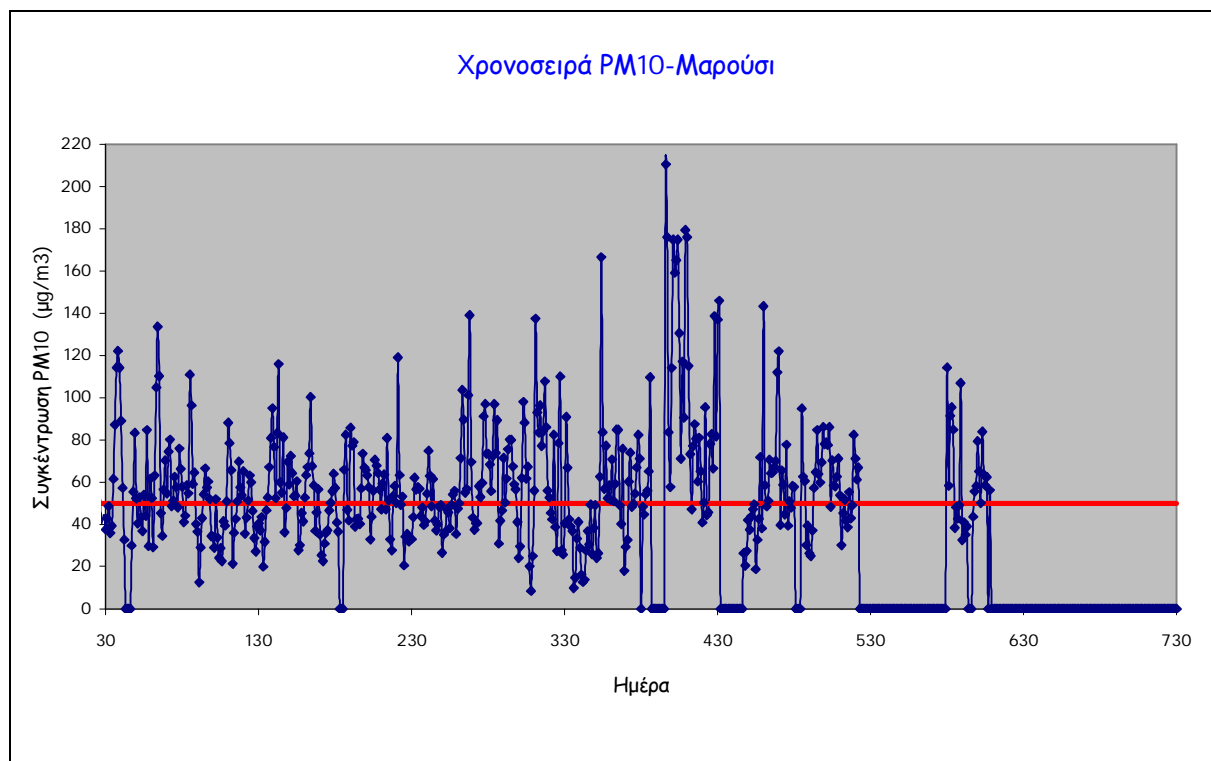
Διάγραμμα 8.2: Χρονοσειρά μέσω ημερήσιων συγκεντρώσεων PM10 της περιόδου 2001-2002 στο σταθμό Αριστοτέλους



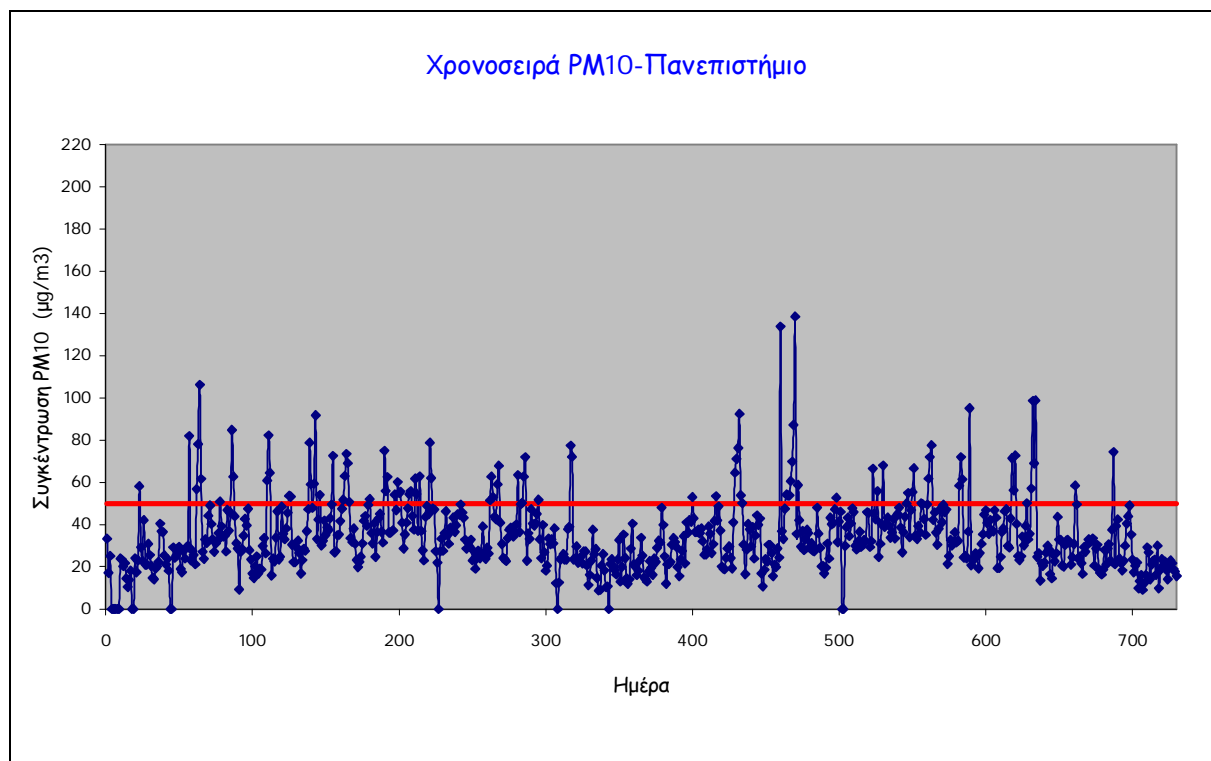
Διάγραμμα 8.3: Χρονοσειρά μέσω ημερήσιων συγκεντρώσεων PM10 της περιόδου 2001-2002 στο σταθμό Γουδί



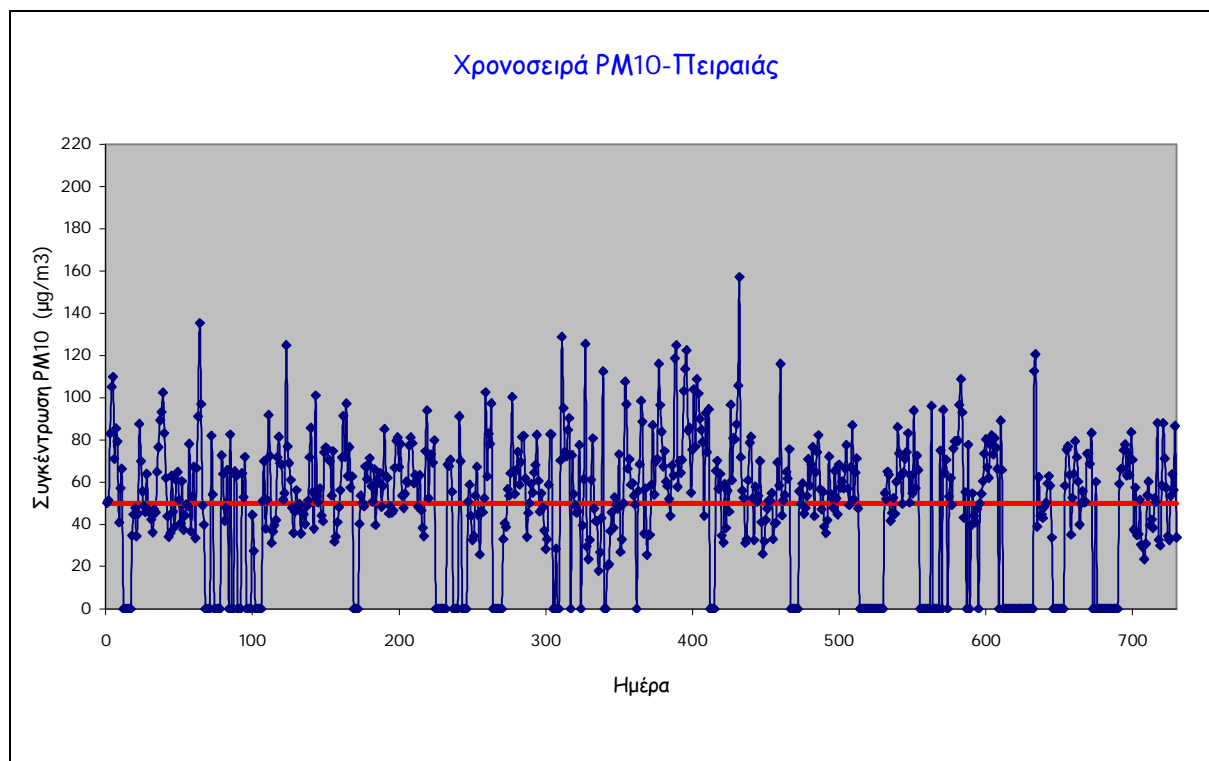
Διάγραμμα 8.4: Χρονοσειρά μέσω ημερήσιων συγκεντρώσεων PM10 της περιόδου 2001-2002 στο σταθμό Λυκόβρυση



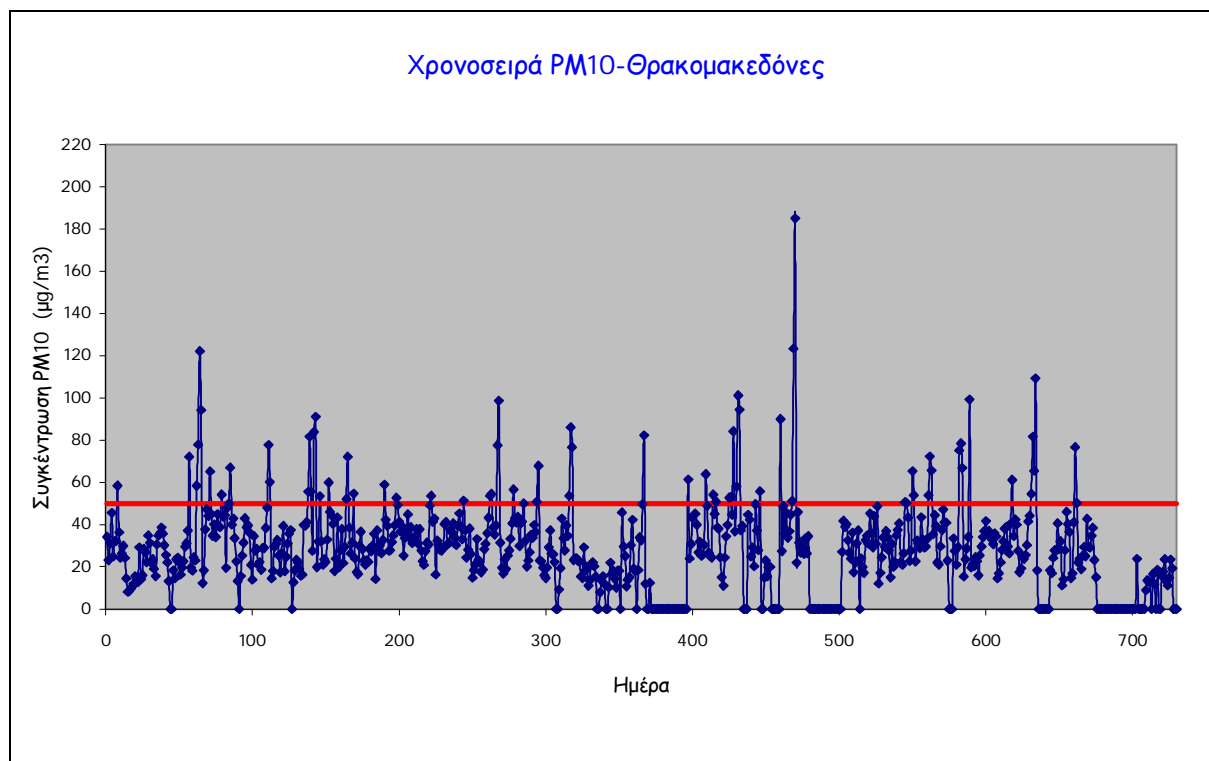
Διάγραμμα 8.5: Χρονοσειρά μέσω ημερήσιων συγκεντρώσεων PM10 της περιόδου 2001-2002 στο σταθμό Μαρούσι



Διάγραμμα 8.6: Χρονοσειρά μέσω ημερήσιων συγκεντρώσεων PM10 της περιόδου 2001-2002 στο σταθμό Πανεπιστήμιο



Διάγραμμα 8.7: Χρονοσειρά μέσω ημερήσιων συγκεντρώσεων PM10 της περιόδου 2001-2002 στο σταθμό Πειραιά



Διάγραμμα 8.8: Χρονοσειρά μέσω ημερήσιων συγκεντρώσεων PM10 της περιόδου 2001-2002 στο σταθμό Θρακομακεδόνες

8.7 ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ

Στους πίνακες που ακολουθούν παριστάνεται η διαχρονική μεταβολή των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 ανά σταθμό μέτρησης.

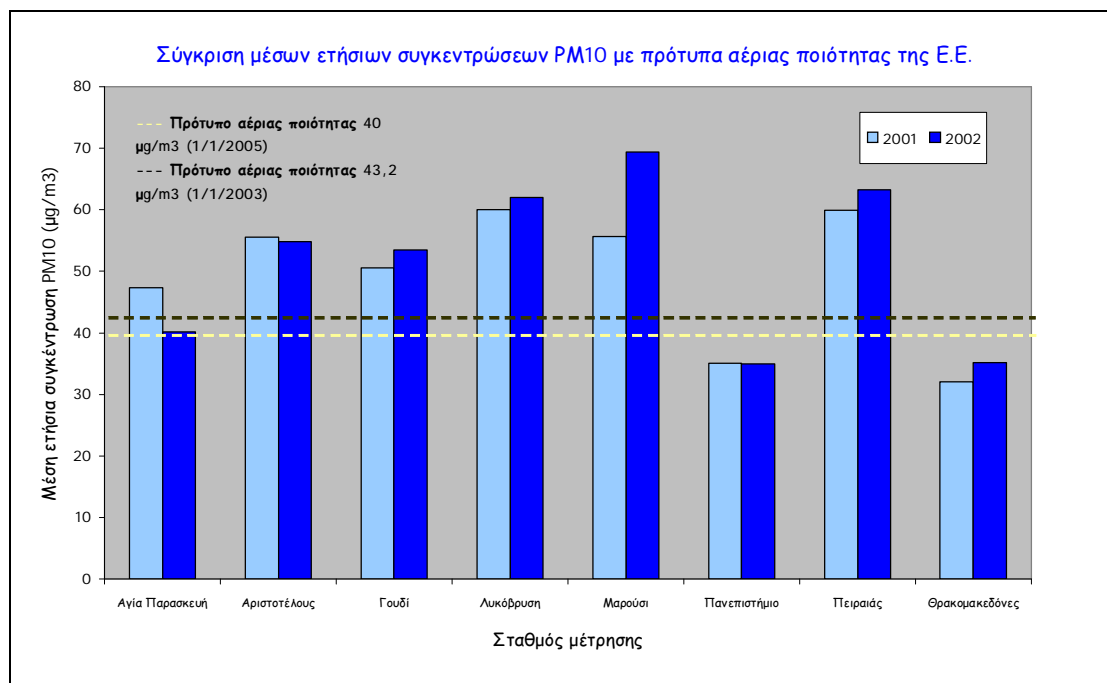
Συγκεκριμένα, στον πίνακα 8.4 περιέχονται οι μέσες ετήσιες τιμές που υπολογίστηκαν σε 24ωρη βάση, ενώ στον πίνακα 8.5 αυτές σε ωριαία βάση.

Πίνακας 8.4: Μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις PM10 υπολογισμένες σε 24ωρη βάση ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Σταθμός	Μέση ετήσια συγκέντρωση ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 2001-2002	Μέση ετήσια συγκέντρωση ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 2001	Μέση ετήσια συγκέντρωση ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 2002
Αγία Παρασκευή	43,4	47,3	40,1
Αριστοτέλους	55,2	55,5	54,8
Γουδί	51,9	50,5	53,4
Λυκόβρυση	60,9	60,0	61,9
Μαρούσι	59,8	55,7	69,4
Πανεπιστήμιο	35,0	35,1	34,9
Πειραιάς	61,5	59,9	63,2
Θρακομακεδόνες	33,3	32,0	35,1

Πίνακας 8.5: Μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις PM10 υπολογισμένες σε ωριαία βάση ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Σταθμός	Μέση ετήσια συγκέντρωση ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 2001-2002	Μέση ετήσια συγκέντρωση ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 2001	Μέση ετήσια συγκέντρωση ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 2002
Αγία Παρασκευή	43,8	47,7	40,3
Αριστοτέλους	55,2	55,5	54,8
Γουδί	51,9	50,6	53,5
Λυκόβρυση	61,0	60,1	62,0
Μαρούσι	59,9	55,8	69,7
Πανεπιστήμιο	35,2	35,2	35,1
Πειραιάς	61,3	59,7	63,1
Θρακομακεδόνες	33,6	32,8	35,3



Διάγραμμα 8.9: Σύγκριση μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων PM10 των ετών 2001 και 2002 με τα πρότυπα αέριας ποιότητας της Ε.Ε.

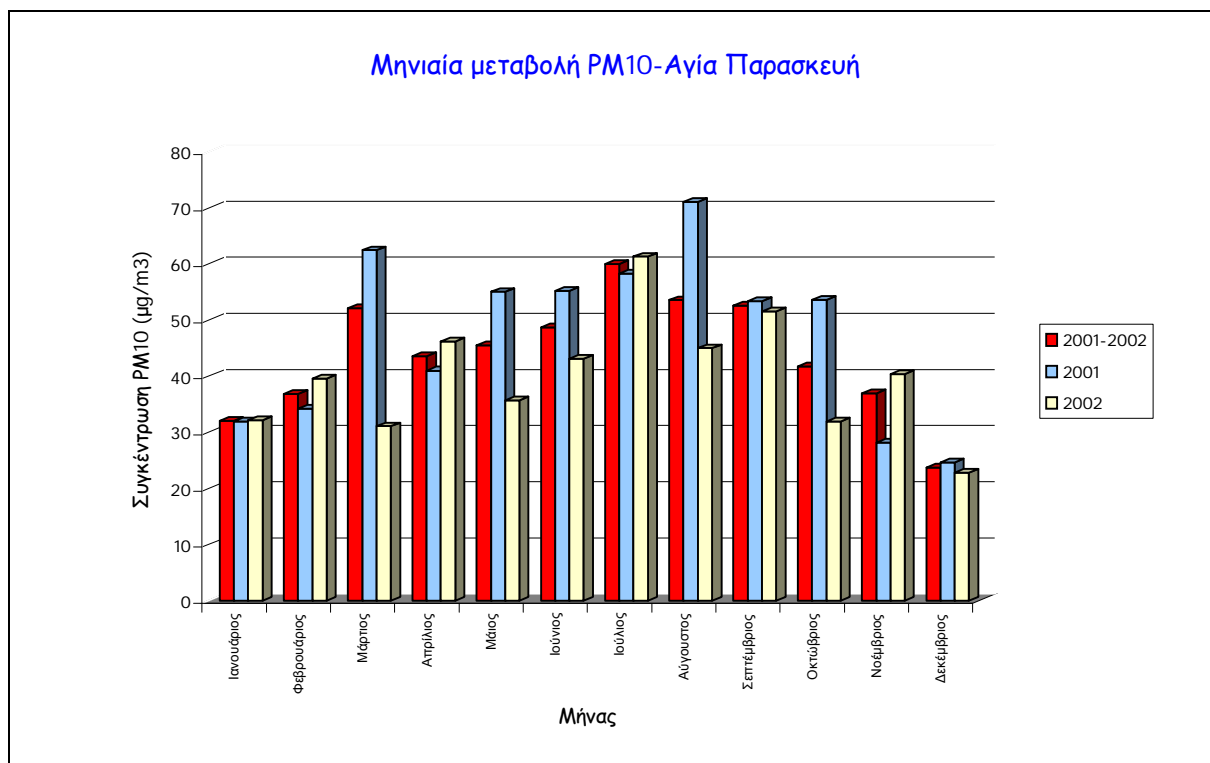
8.8 ΜΗΝΙΑΙΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Για κάθε σταθμό μέτρησης υπολογίστηκαν οι μέσες μηνιαίες τιμές των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 για την περίοδο 2001-2002 αλλά και για κάθε έτος ξεχωριστά. Οι διακυμάνσεις αυτές των μέσων μηνιαίων συγκεντρώσεων PM10 για όλους τους σταθμούς περιέχονται στον πίνακα 8.6.

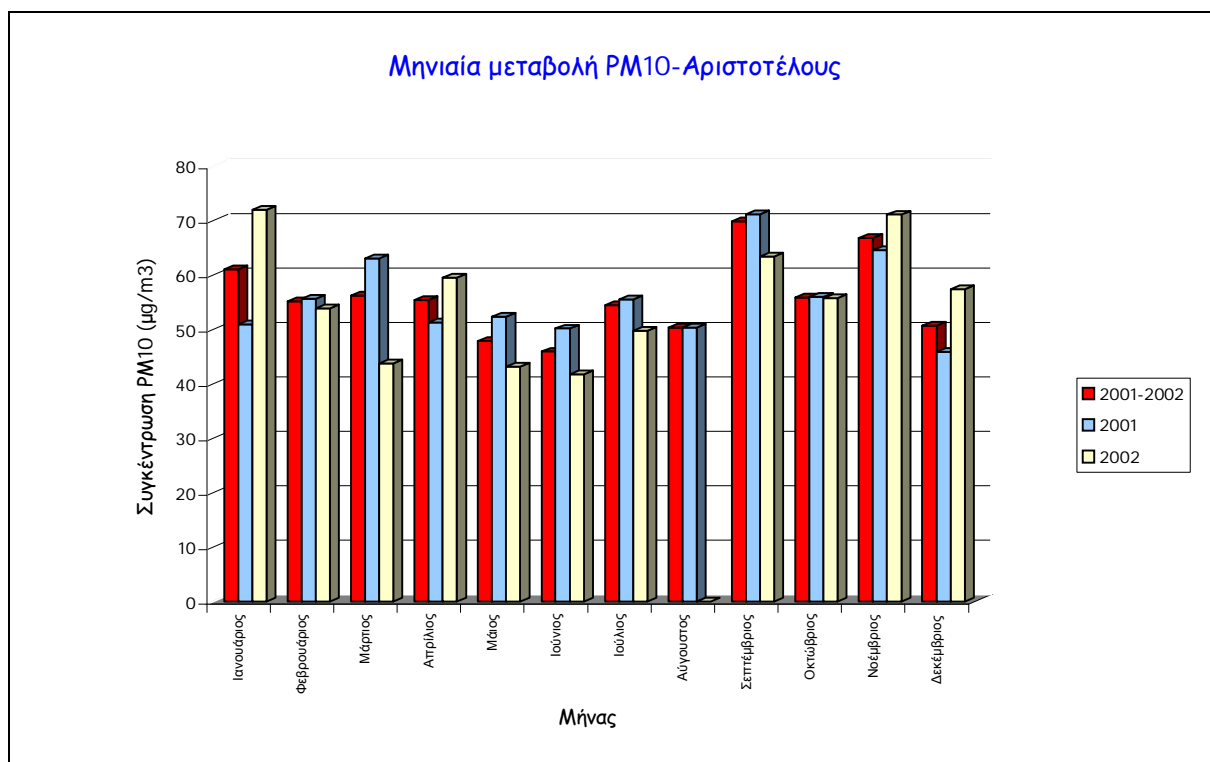
Πίνακας 8.6: Μέσες μηνιαίες συγκεντρώσεις PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Σταθμός	Έτος	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
Αγία Παρασκευή	2001-02	32	37	52	44	46	49	60	54	53	42	37	24
	2001	32	34	62	41	55	55	58	71	53	54	28	25
	2002	32	40	31	46	36	43	61	45	52	32	40	23
Αριστοτέλους	2001-02	61	55	56	55	48	46	54	50	70	56	67	51
	2001	51	56	63	51	52	50	55	50	71	56	65	46
	2002	72	54	44	60	43	42	50		63	56	71	57
Γουδί	2001-02	45	52	54	51	48	49	54	50	61	57	56	39
	2001	39	48	57	43	54	52	55	50	55	60	51	38
	2002	62	55	52	59	44	47	53	50	72	54	64	44
Λυκόβρυση	2001-02	64	62	74	62	56	58	63	57	63	65	69	46
	2001	55	61	74	55	60	58	64	57	57	72	63	45
	2002	73	75		70	52	59	62	57	67	59	75	47
Μαρούσι	2001-02	57	83	64	55	57	52	58	56	55	65	63	48
	2001	53	61	64	47	56	50	58	51	55	65	63	48
	2002	64	101	65	65	57	62		63				
Πανεπιστήμιο	2001-02	25	31	40	39	38	41	45	39	38	34	30	20
	2001	24	27	43	32	40	41	45	41	34	39	29	21
	2002	25	35	37	47	35	41	44	37	42	28	31	19
Πειραιάς	2001-02	67	64	63	59	58	61	64	67	58	59	66	51
	2001	61	57	68	57	59	61	61	64	52	60	64	54
	2002	73	72	61	60	58	60	69	69	72	57	71	49
Θρακομακεδόνες	2001-02	27	31	44	39	34	32	37	35	36	32	29	19
	2001	25	27	45	31	36	33	36	34	34	34	29	21
	2002	42	35	43	50	30	31	38	35	38	30	29	16

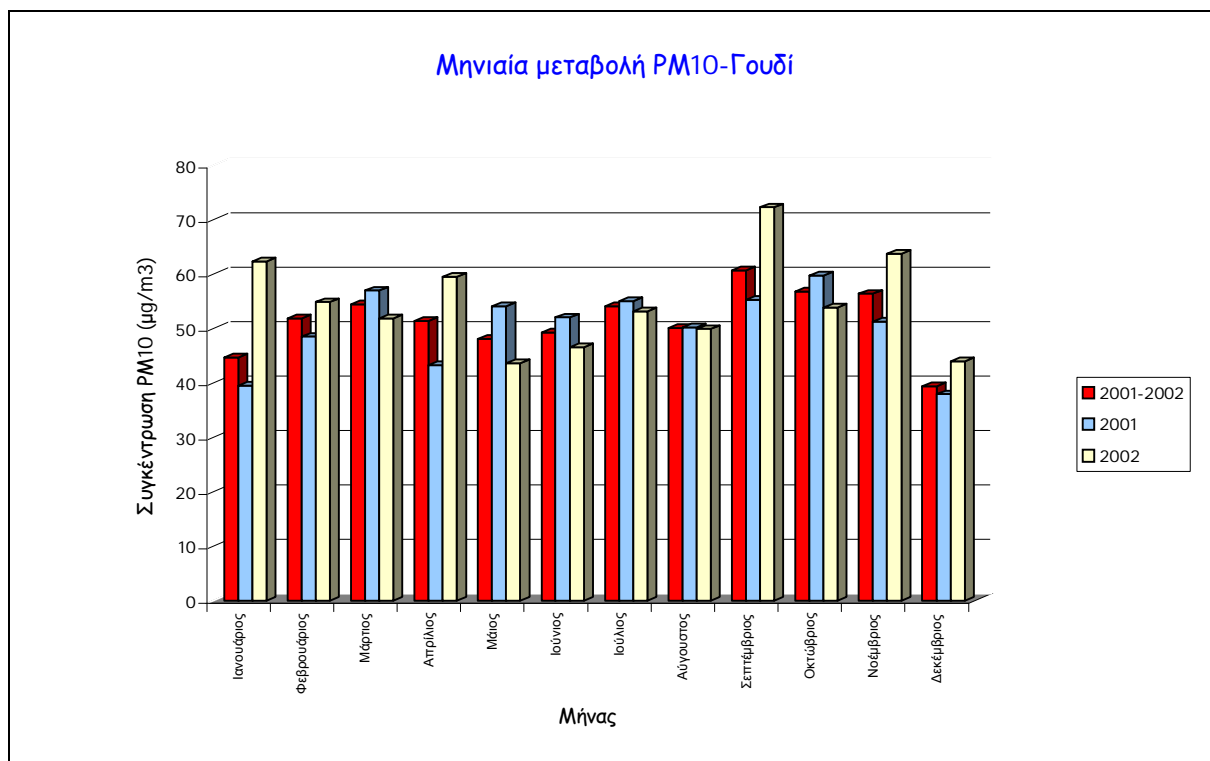
Στα διαγράμματα 8.10 έως 8.17 που ακολουθούν παρουσιάζονται οι μηνιαίοι κύκλοι ρύπανσης για καθένα από τους 8 σταθμούς μέτρησης.



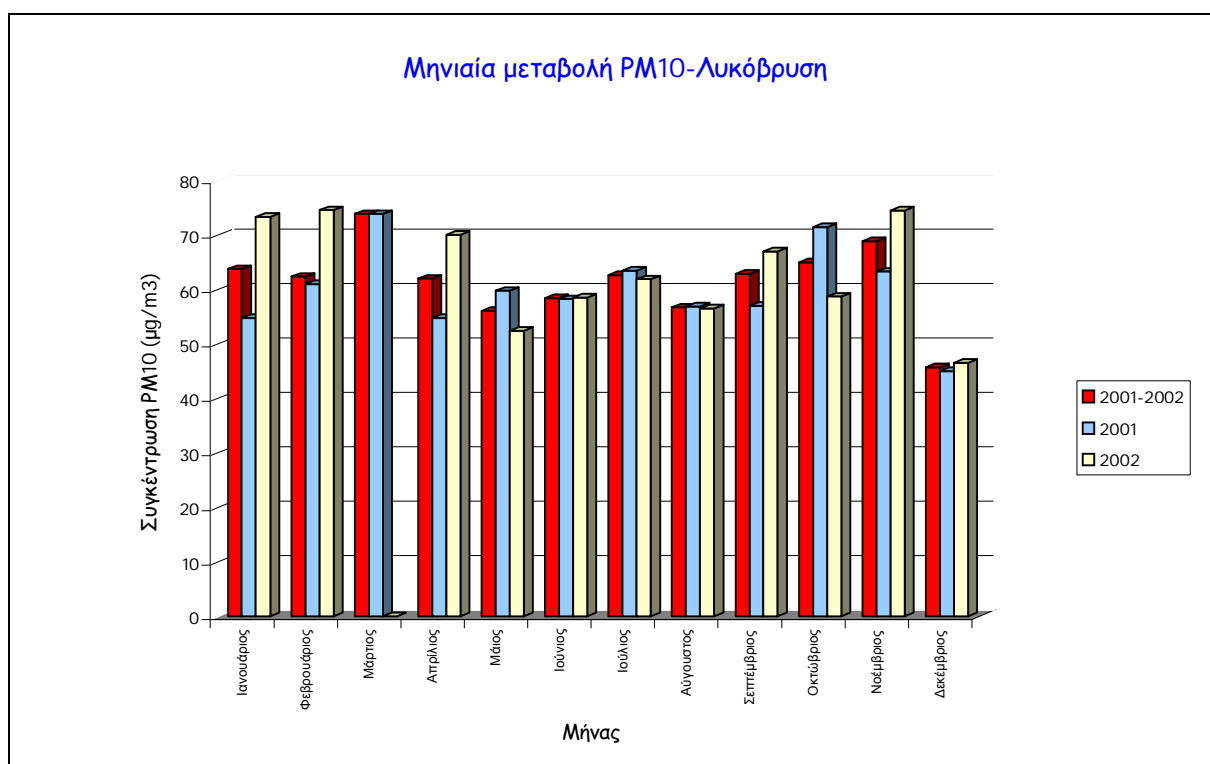
Διάγραμμα 8.10: Μέσες μηνιαίες συγκεντρώσεις PM10 στο σταθμό Αγία Παρασκευή



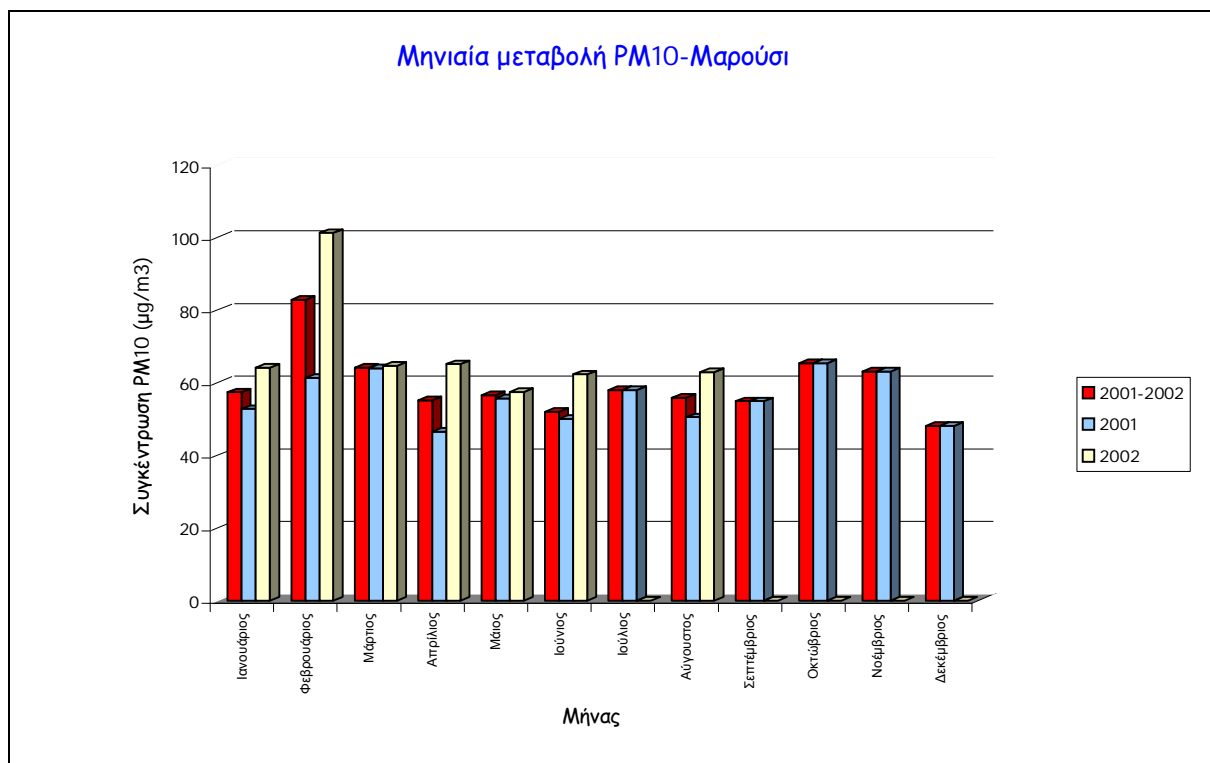
Διάγραμμα 8.11: Μέσες μηνιαίες συγκεντρώσεις PM10 στο σταθμό Αριστοτέλους



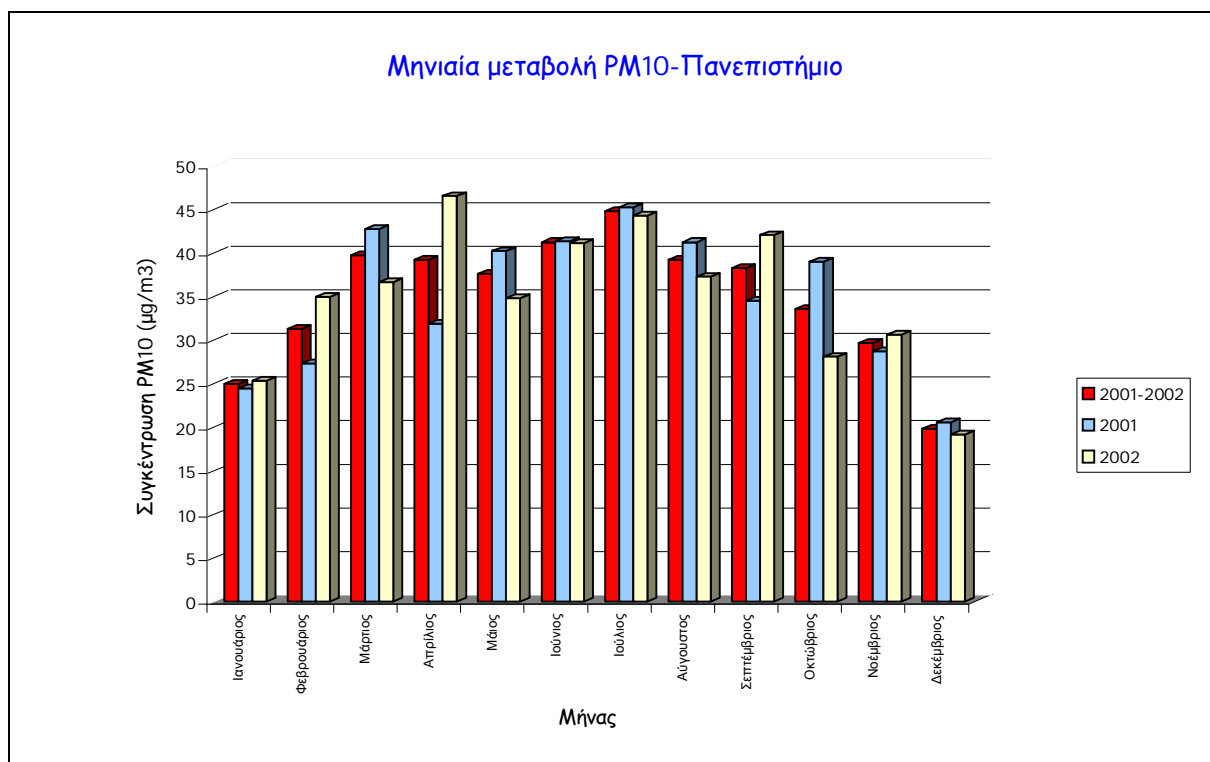
Διάγραμμα 8.12: Μέσες μηνιαίες συγκεντρώσεις PM10 στο σταθμό Γουδί



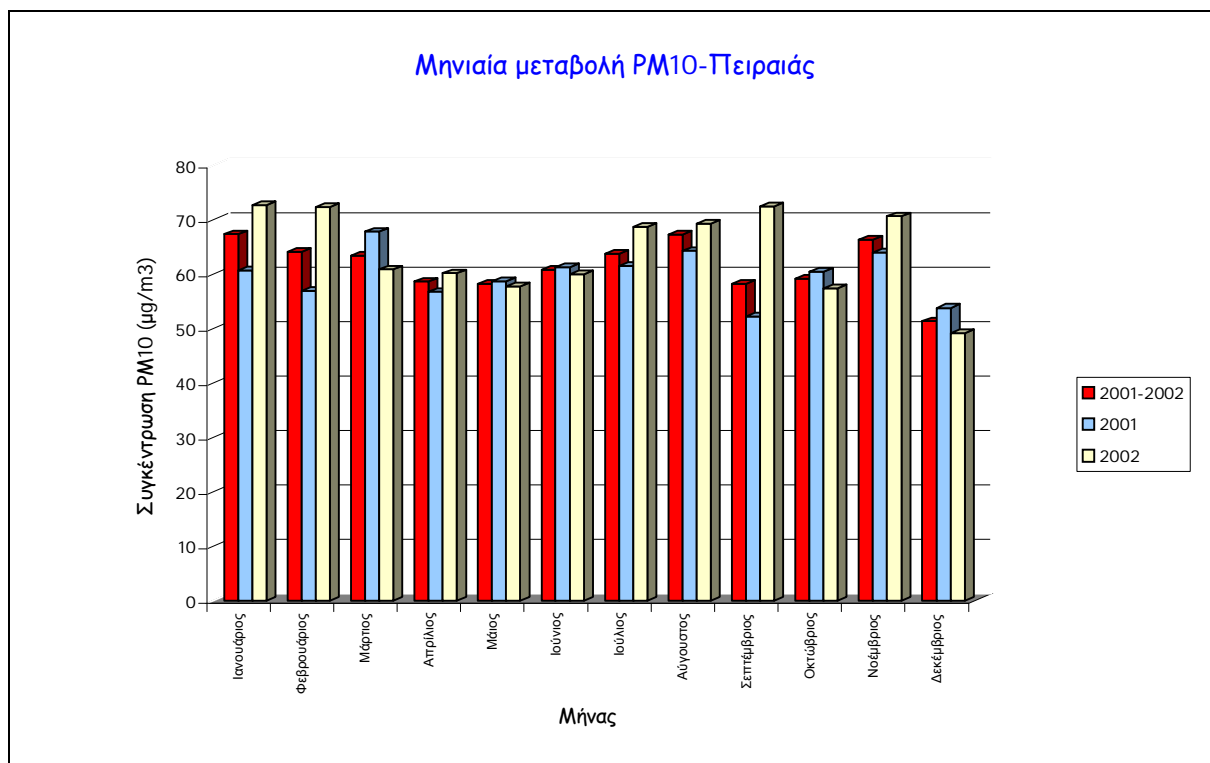
Διάγραμμα 8.13: Μέσες μηνιαίες συγκεντρώσεις PM10 στο σταθμό Λυκόβρυση



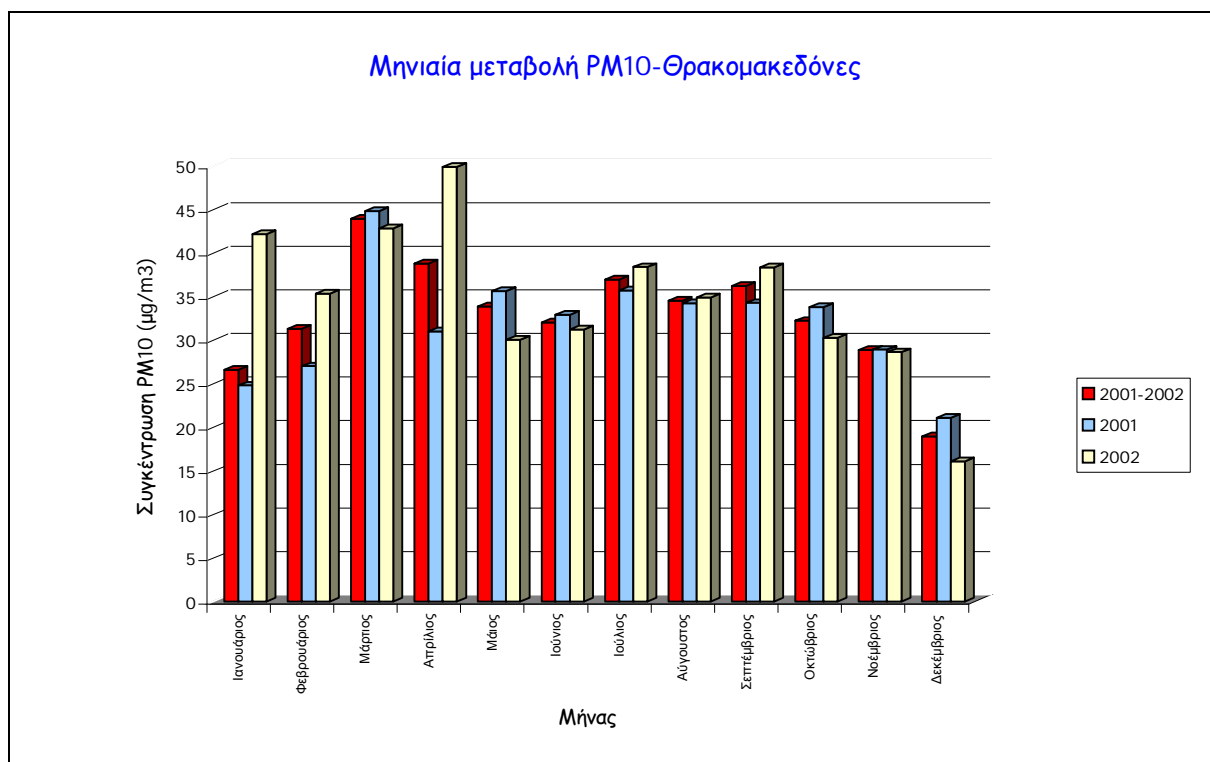
Διάγραμμα 8.14: Μέσες μηνιαίες συγκεντρώσεις PM10 στο σταθμό Μαρούσι



Διάγραμμα 8.15: Μέσες μηνιαίες συγκεντρώσεις PM10 στο σταθμό Πανεπιστήμιο



Διάγραμμα 8.16: Μέσες μηνιαίες συγκεντρώσεις PM10 στο σταθμό Πειραιά



Διάγραμμα 8.17: Μέσες μηνιαίες συγκεντρώσεις PM10 στο σταθμό Θρακομακεδόνες

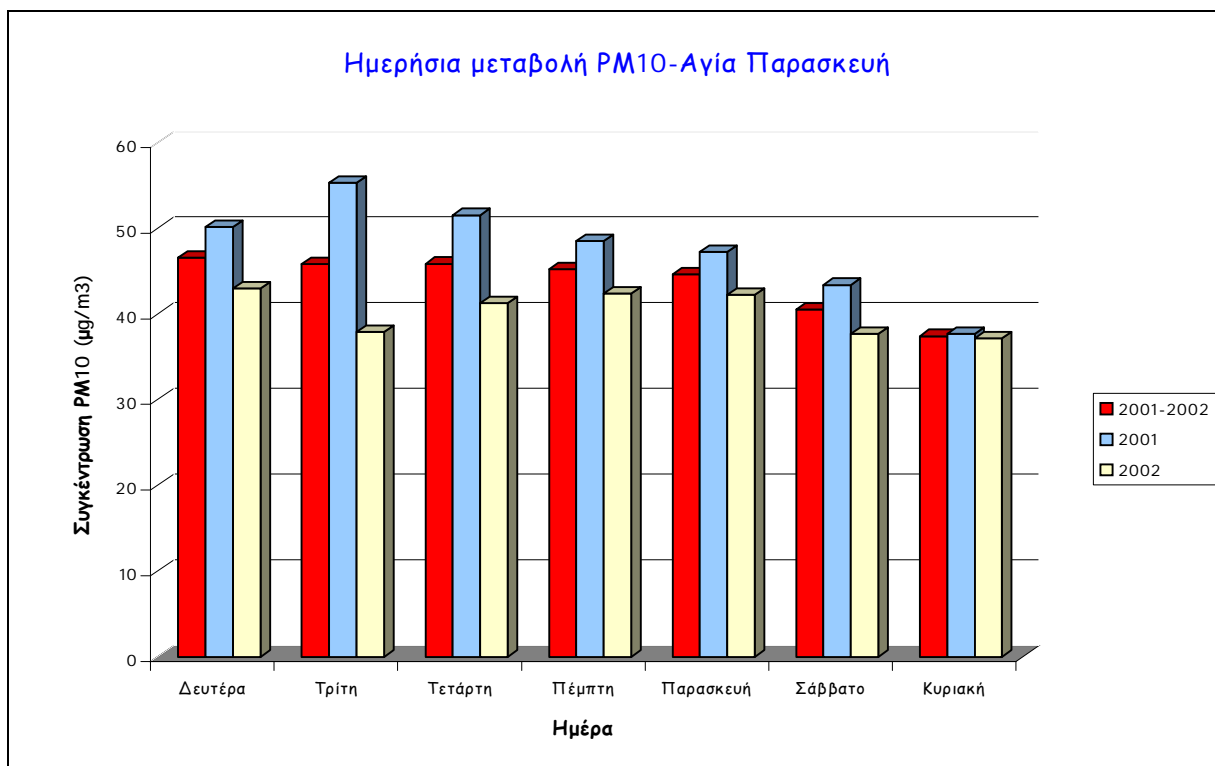
8.9 ΗΜΕΡΗΣΙΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Για κάθε σταθμό μέτρησης υπολογίστηκε η ημερήσια μεταβολή των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 για την περίοδο 2001-2002 αλλά και για κάθε έτος ξεχωριστά. Οι τιμές αυτές περιέχονται στον πίνακα 8.7.

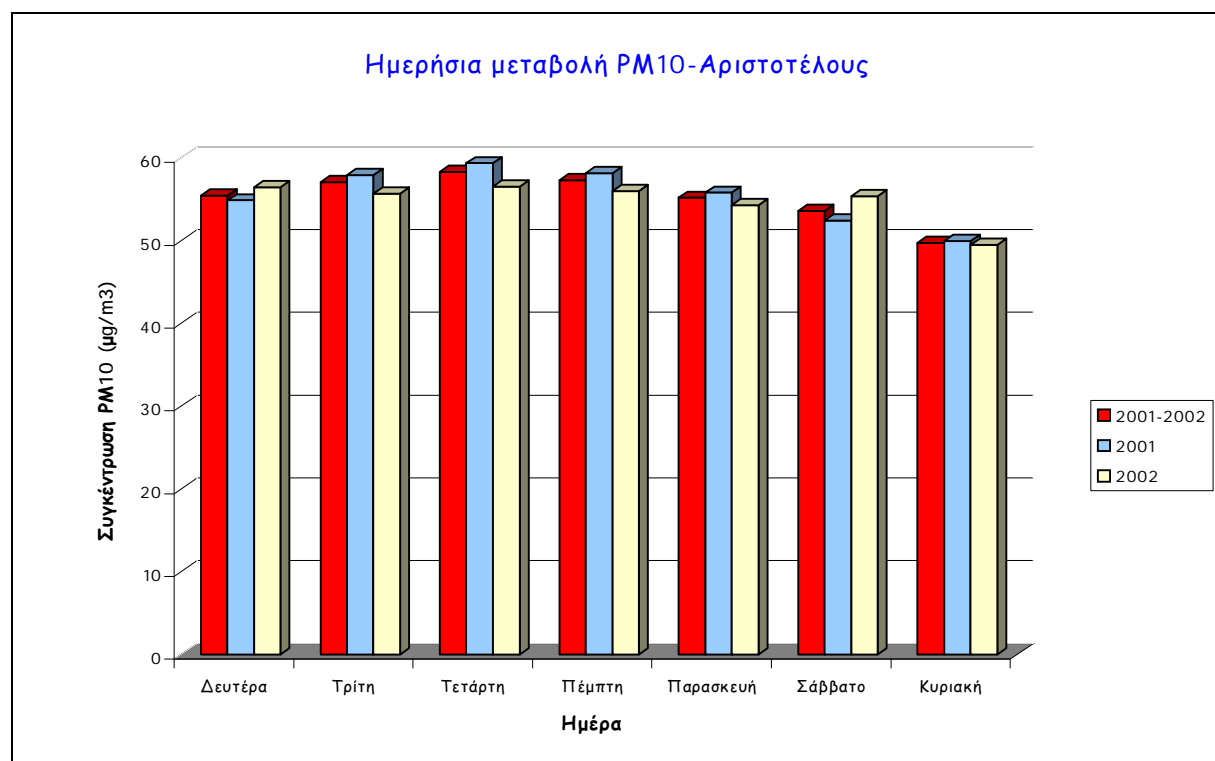
Πίνακας 8.7: Ημερήσια μεταβολή συγκεντρώσεων PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Σταθμός	Έτος	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή
Αγία Παρασκευή	2001-02	47	46	46	45	45	41	37
	2001	50	55	52	48	47	43	38
	2002	43	38	41	42	42	38	37
Αριστοτέλους	2001-02	55	57	58	57	55	54	50
	2001	55	58	59	58	56	52	50
	2002	56	56	57	56	54	55	49
Γουδί	2001-02	52	54	55	53	54	51	45
	2001	51	53	53	51	49	51	45
	2002	54	54	56	56	59	50	45
Λυκόβρυση	2001-02	65	63	63	64	61	58	52
	2001	63	61	63	65	60	57	52
	2002	67	67	64	64	62	58	53
Μαρούσι	2001-02	62	61	63	67	62	56	48
	2001	56	57	59	63	57	52	47
	2002	76	70	71	75	78	66	51
Πανεπιστήμιο	2001-02	37	36	36	36	37	33	31
	2001	38	37	36	35	35	34	32
	2002	37	35	36	37	39	32	30
Πειραιάς	2001-02	61	59	64	65	63	59	57
	2001	62	58	63	63	60	55	57
	2002	61	61	66	67	66	63	57
Θρακομακεδόνες	2001-02	37	34	34	33	33	32	32
	2001	35	34	32	31	30	33	32
	2002	40	35	36	37	36	30	32

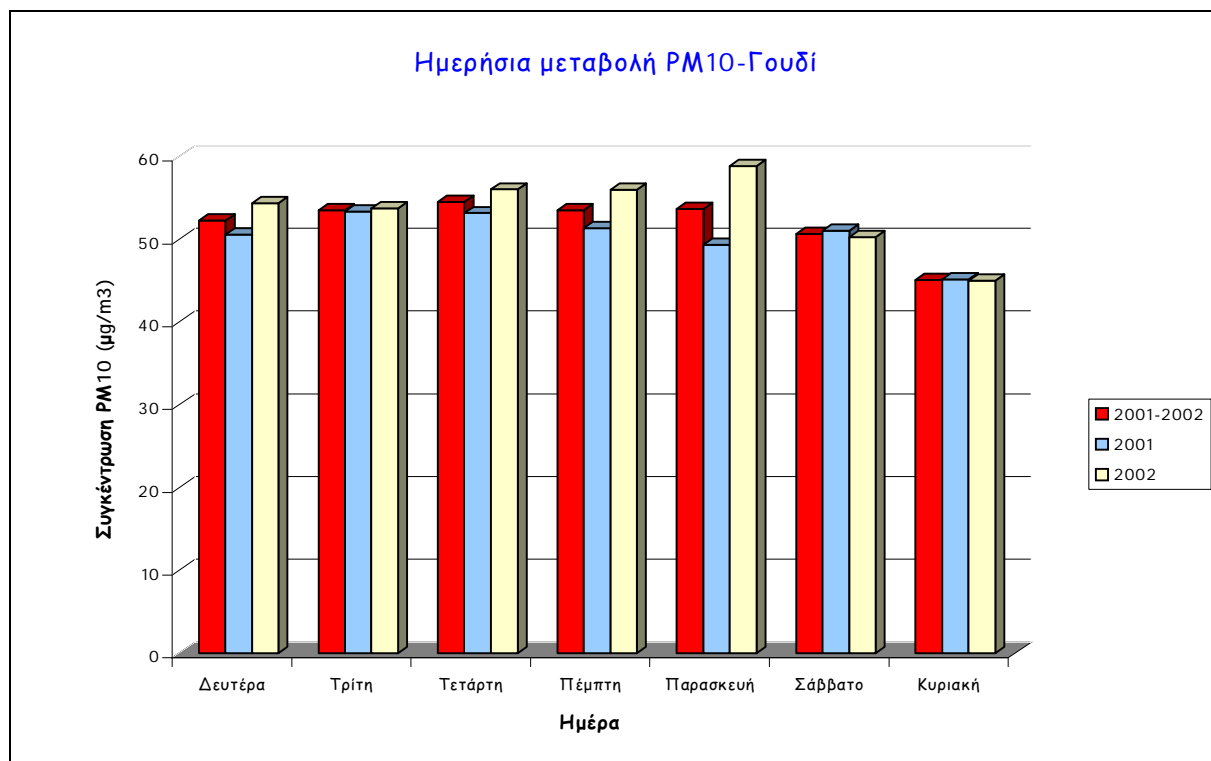
Στα διαγράμματα 8.18 έως 8.25 που ακολουθούν παριστάνεται γραφικά η ημερήσια μεταβολή των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 για την περίοδο 2001-2002 αλλά και για κάθε έτος ξεχωριστά.



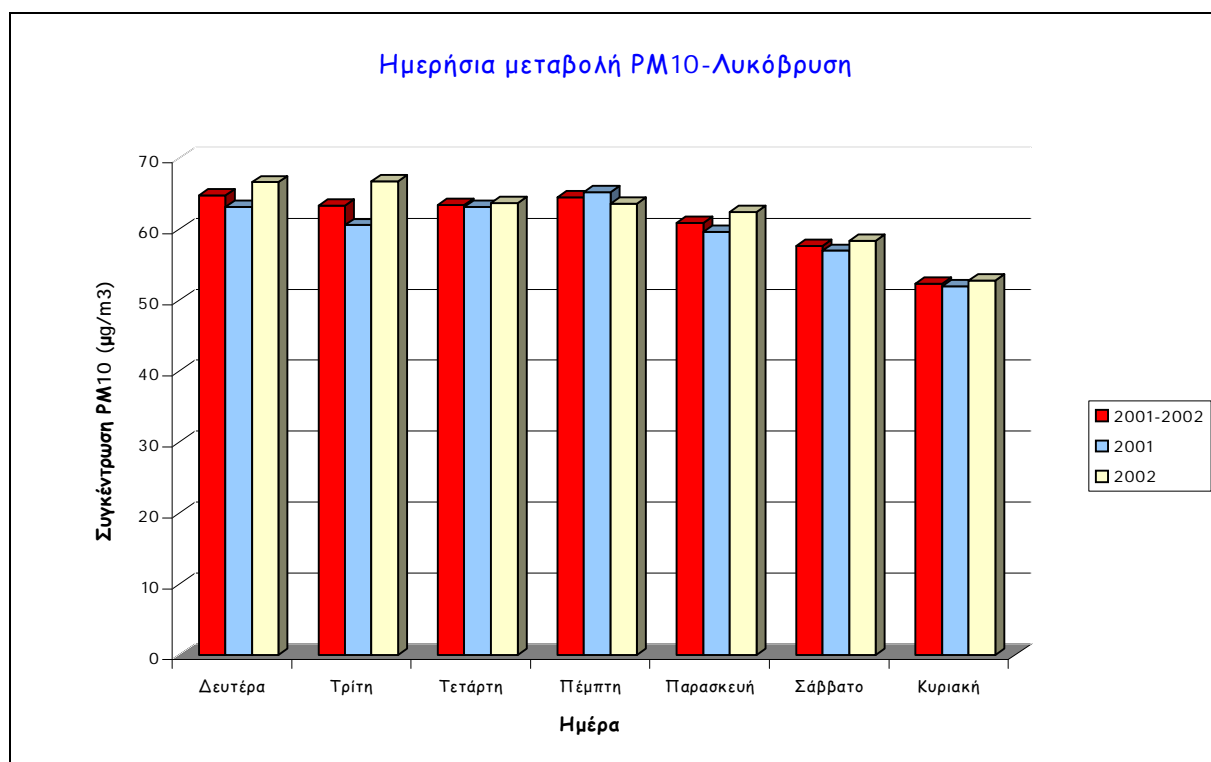
Διάγραμμα 8.18: Ημερήσια μεταβολή συγκεντρώσεων PM10 στο σταθμό Αγία Παρασκευή



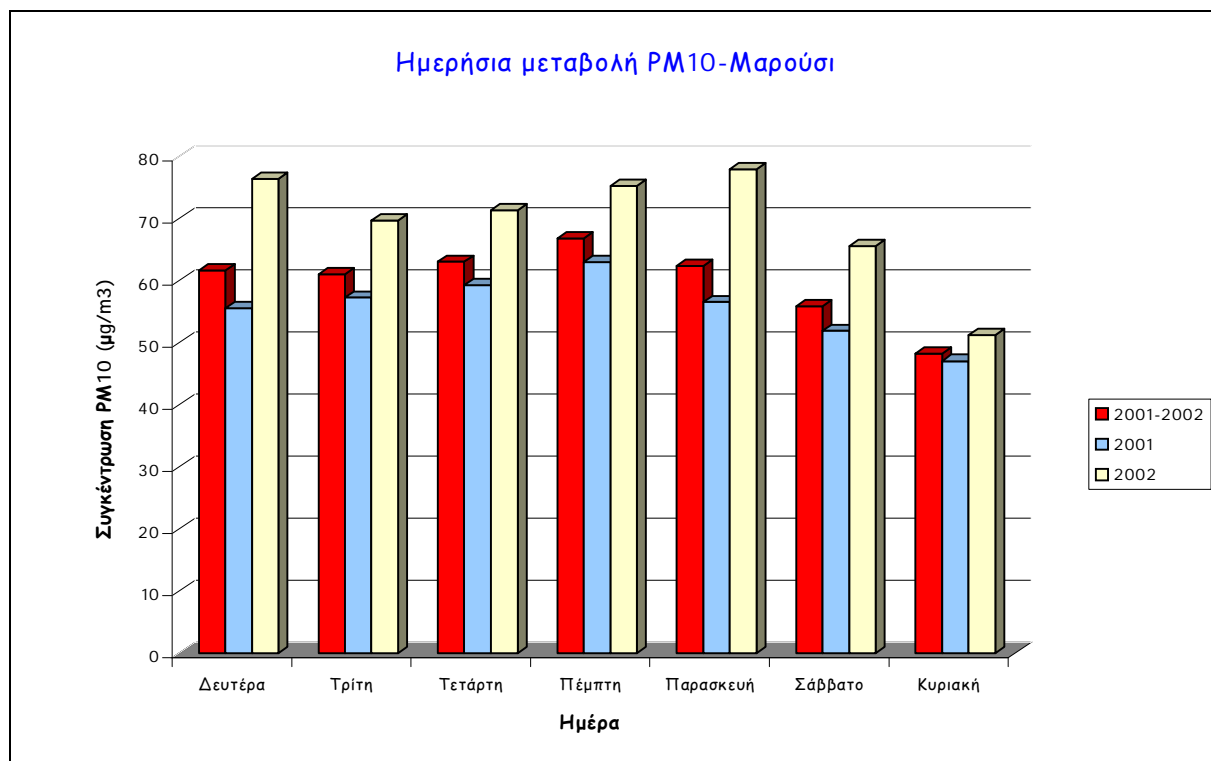
Διάγραμμα 8.19: Ημερήσια μεταβολή συγκεντρώσεων PM10 στο σταθμό Αριστοτέλους



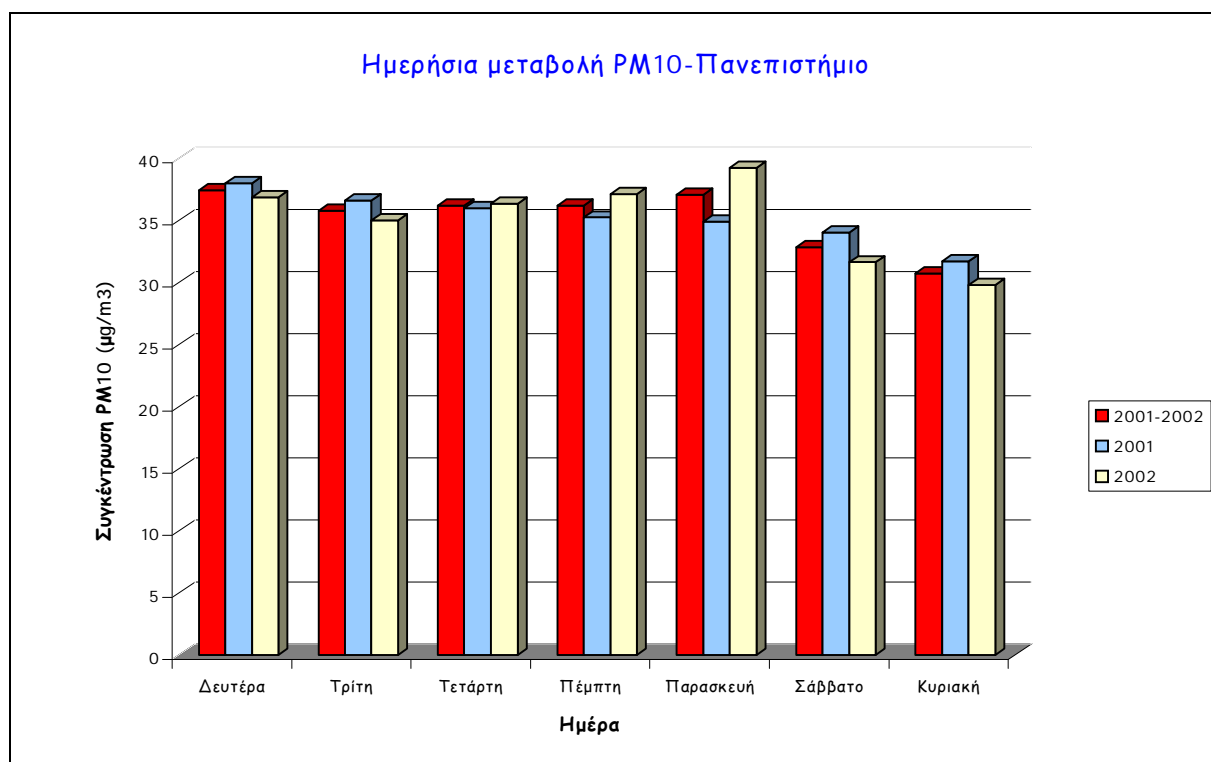
Διάγραμμα 8.20: Ημερήσια μεταβολή συγκεντρώσεων PM10 στο σταθμό Γουδί



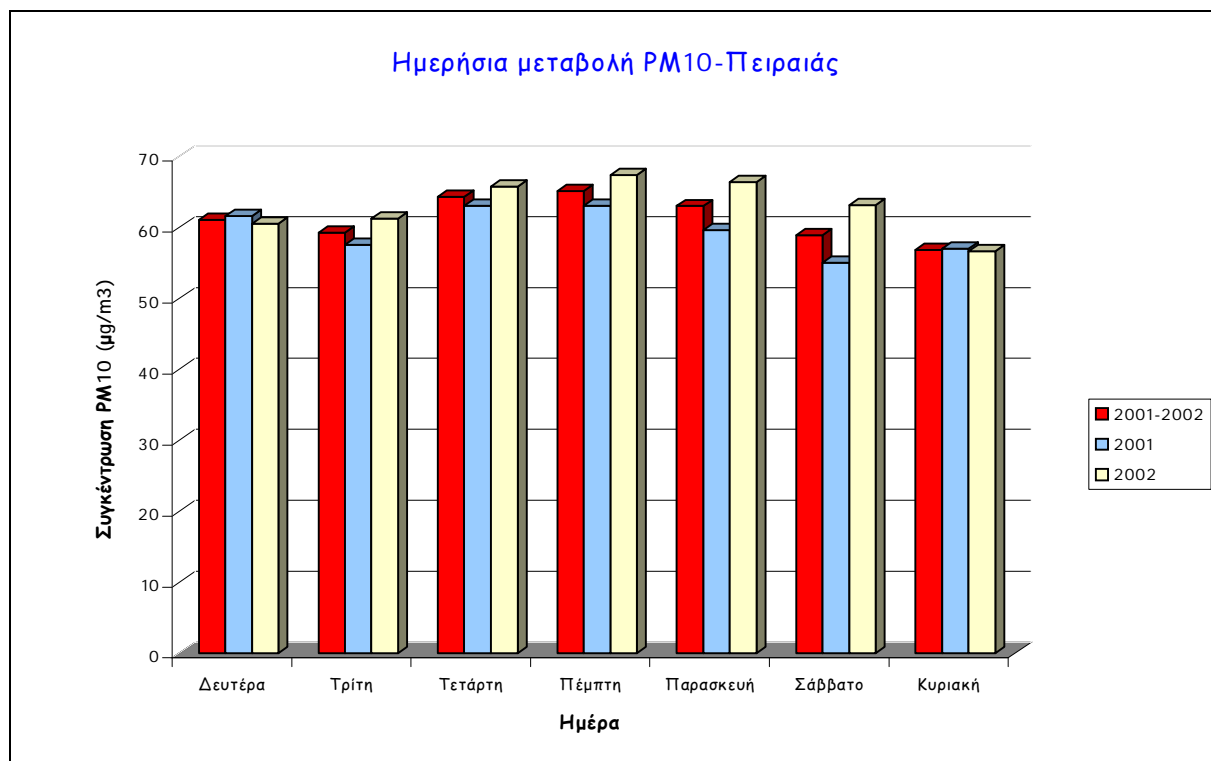
Διάγραμμα 8.21: Ημερήσια μεταβολή συγκεντρώσεων PM10 στο σταθμό Λυκόβρυση



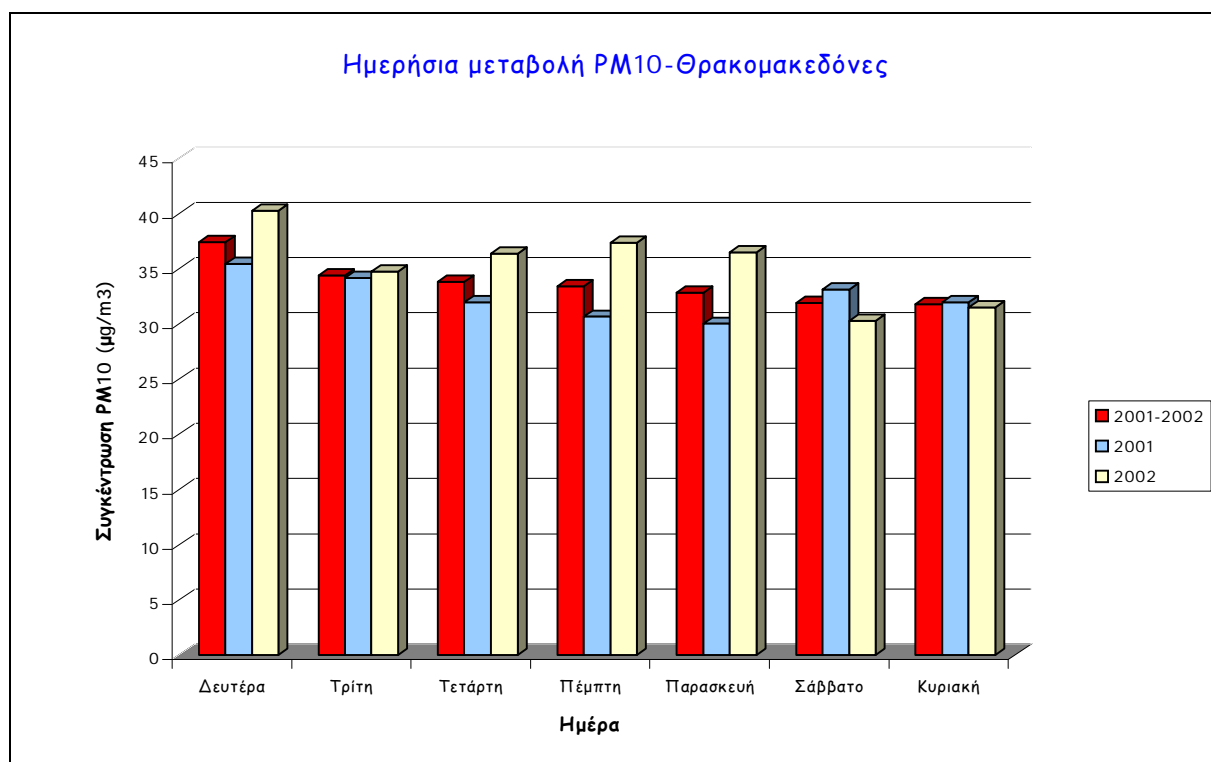
Διάγραμμα 8.22: Ημερήσια μεταβολή συγκεντρώσεων PM10 στο σταθμό Μαρούσι



Διάγραμμα 8.23: Ημερήσια μεταβολή συγκεντρώσεων PM10 στο σταθμό Πανεπιστήμιο



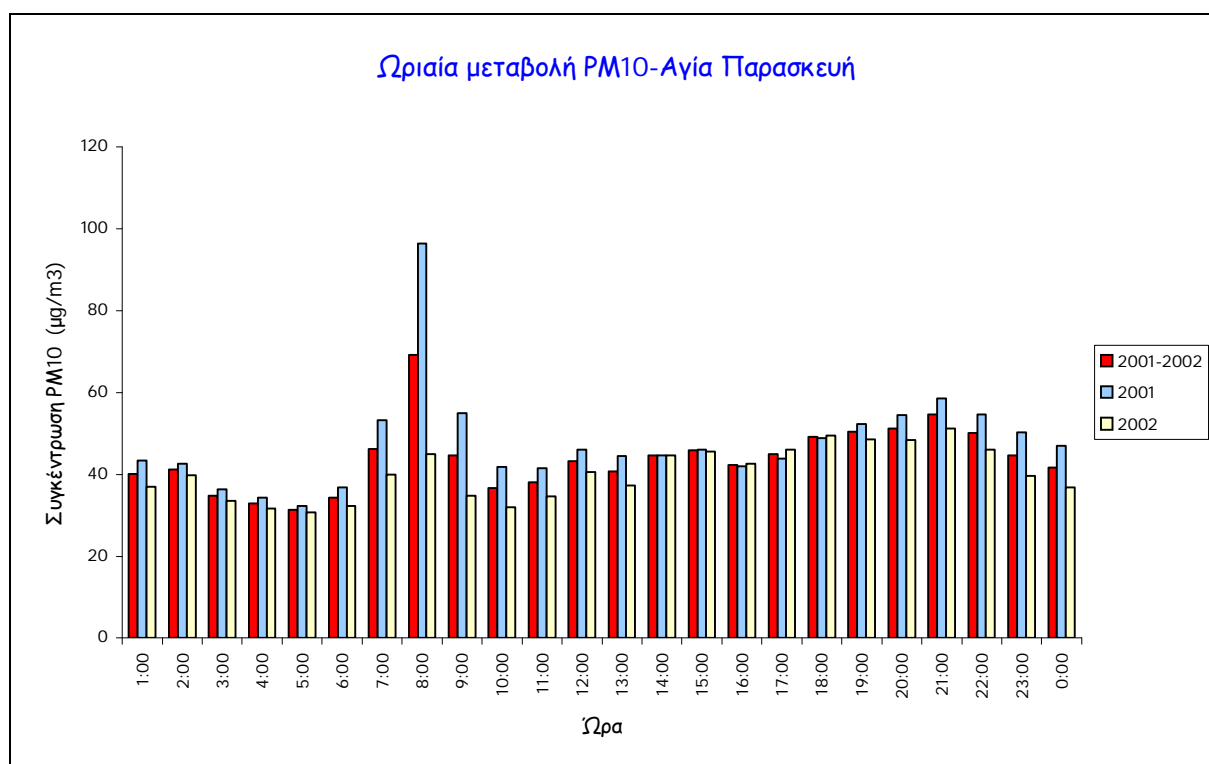
Διάγραμμα 8.24: Ημερήσια μεταβολή συγκεντρώσεων PM10 στο σταθμό Πειραιά



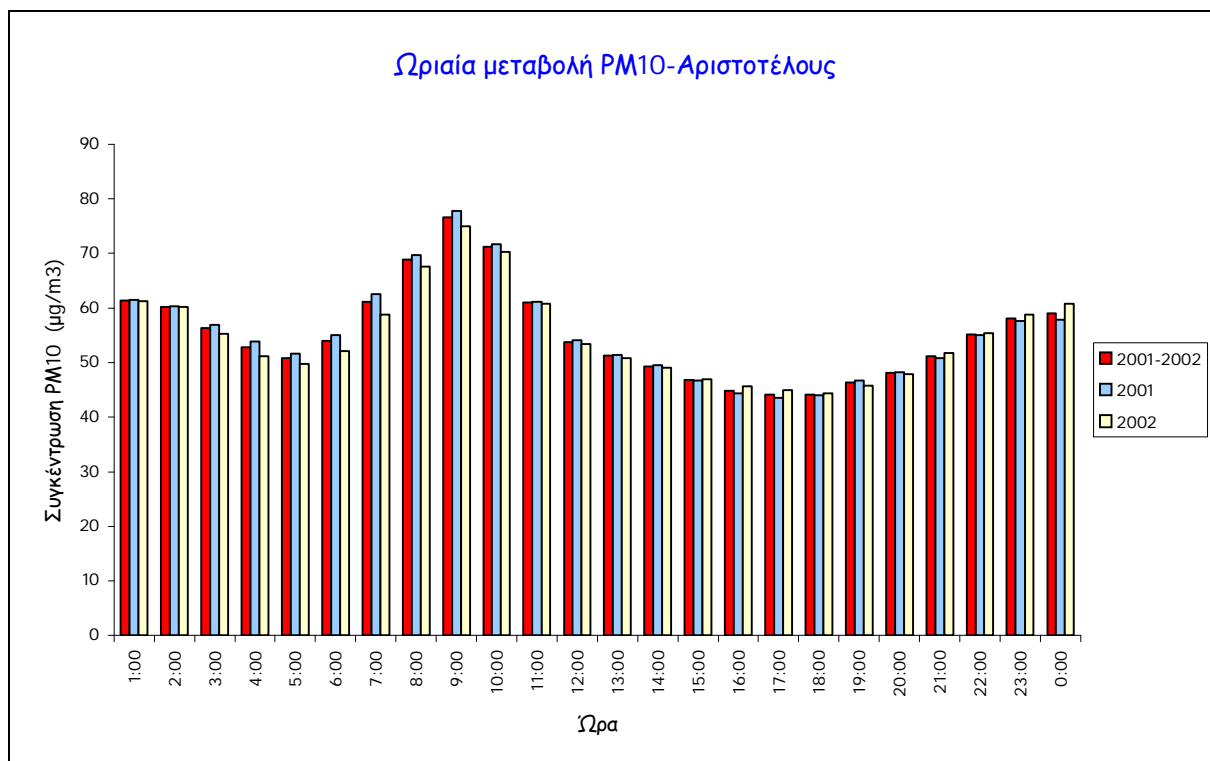
Διάγραμμα 8.25: Ημερήσια μεταβολή συγκεντρώσεων PM10 στο σταθμό Θρακομακεδόνες

8.10 ΩΡΙΑΙΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

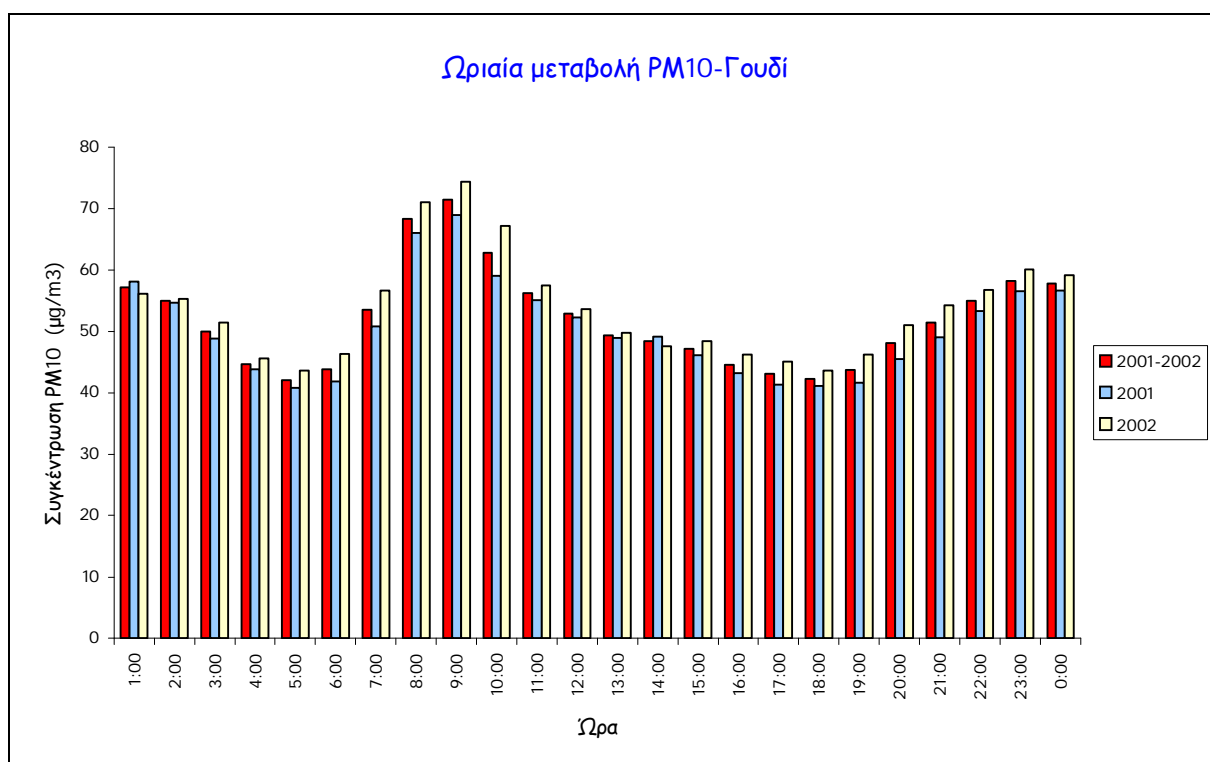
Στα διαγράμματα 8.26 έως 8.33, παρουσιάζεται η ωριαία μεταβολή των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 για την υπό εξέταση περίοδο αλλά και για κάθε έτος ξεχωριστά



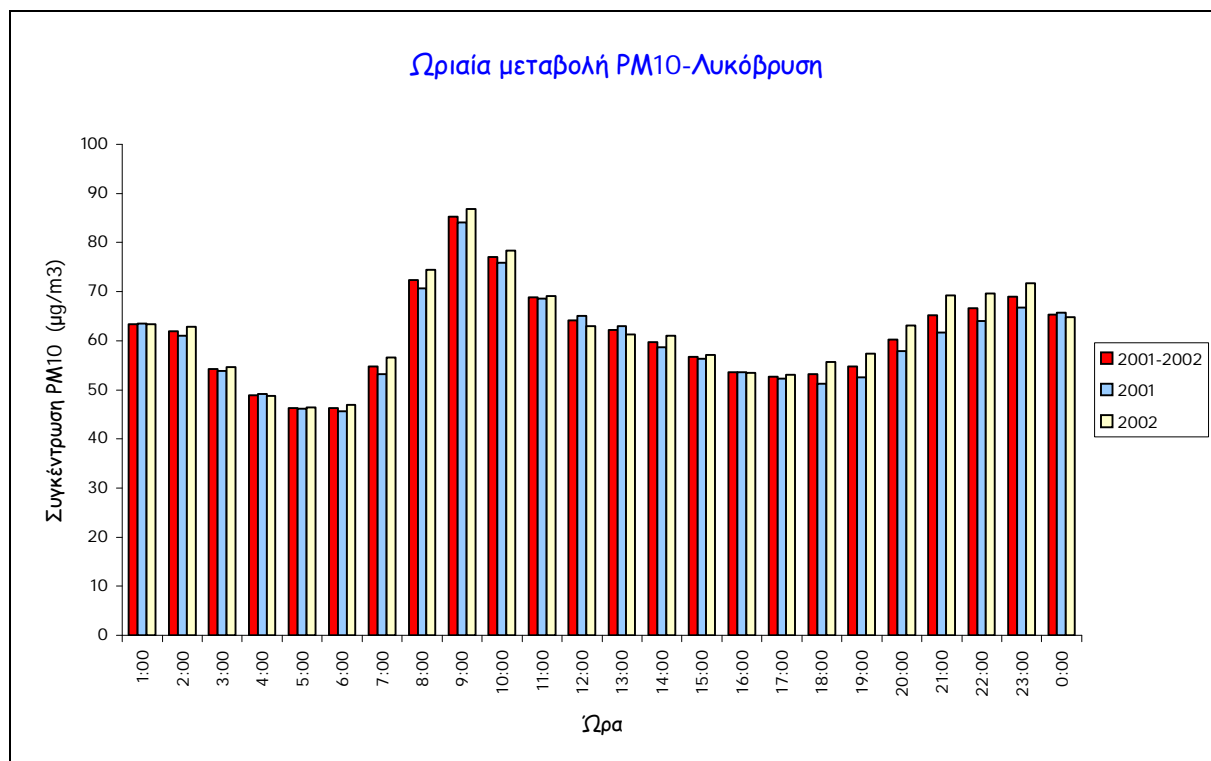
Διάγραμμα 8.26: Ωριαία μεταβολή συγκεντρώσεων PM10 στο σταθμό Αγία Παρασκευή



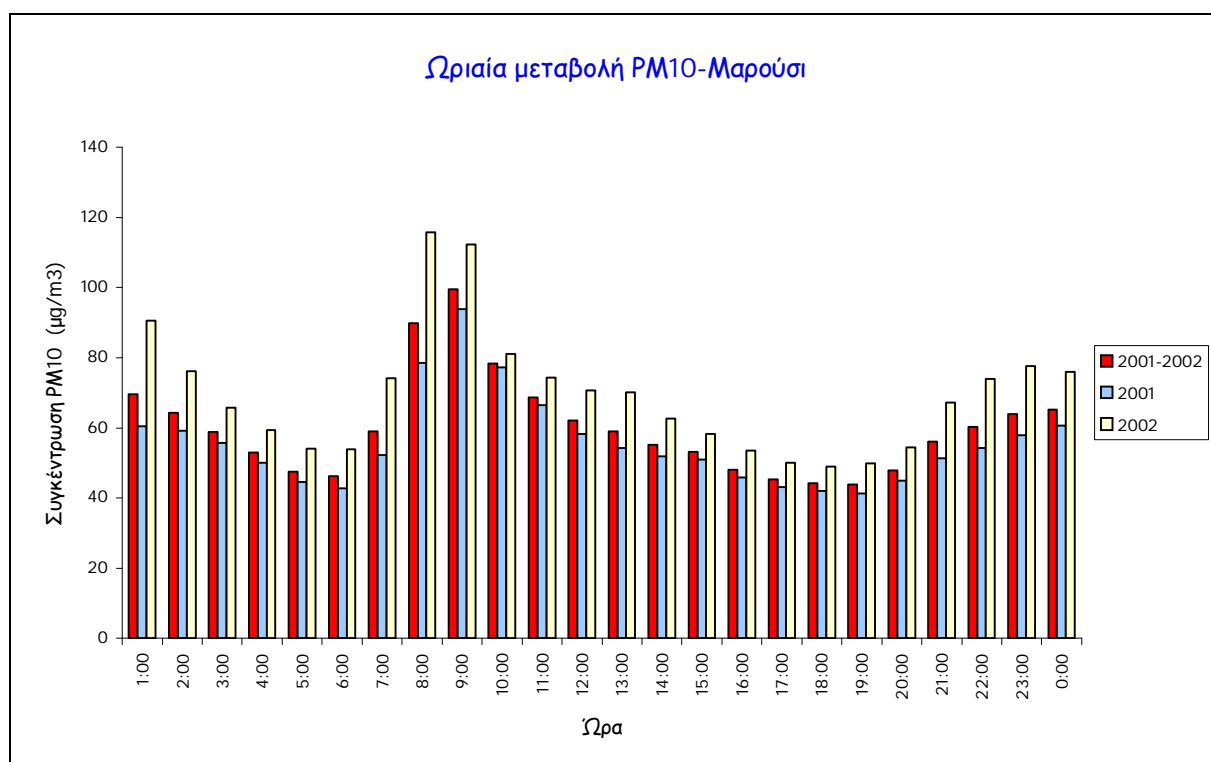
Διάγραμμα 8.27: Ωριαία μεταβολή συγκεντρώσεων PM10 στο σταθμό Αριστοτέλους



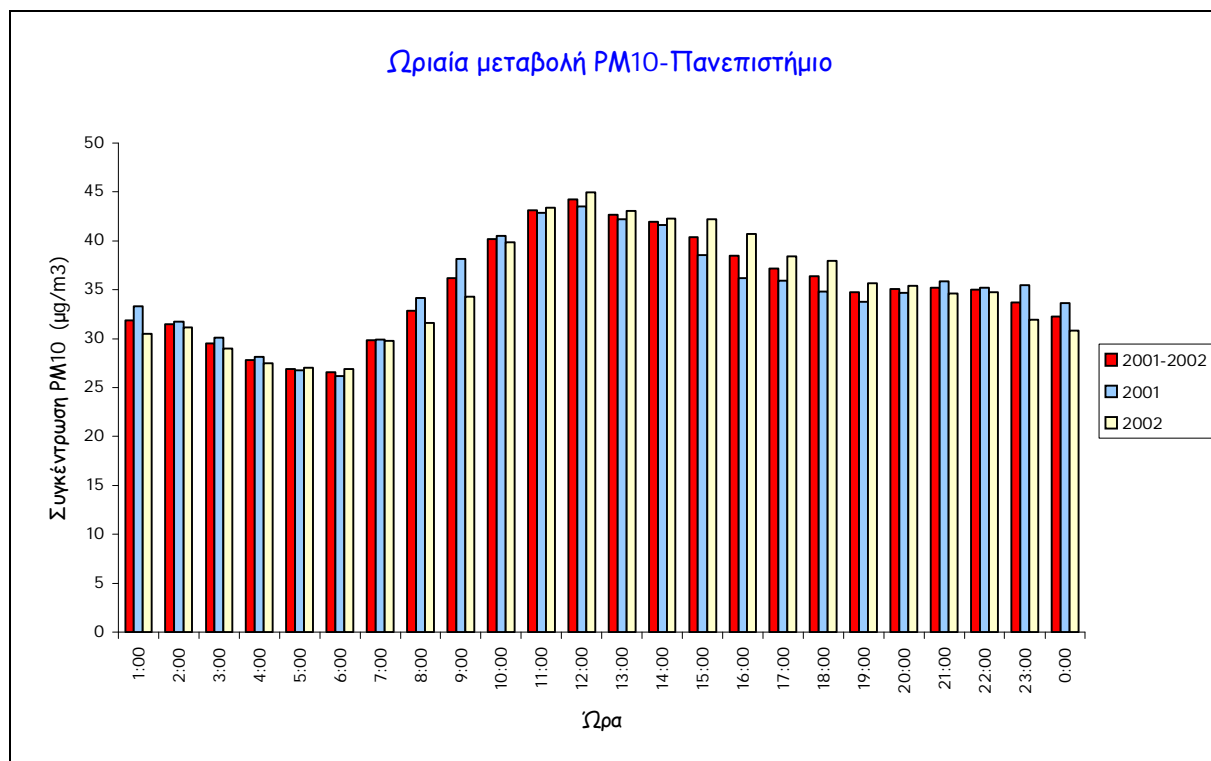
Διάγραμμα 8.28: Ωριαία μεταβολή συγκεντρώσεων PM10 στο σταθμό Γουδί



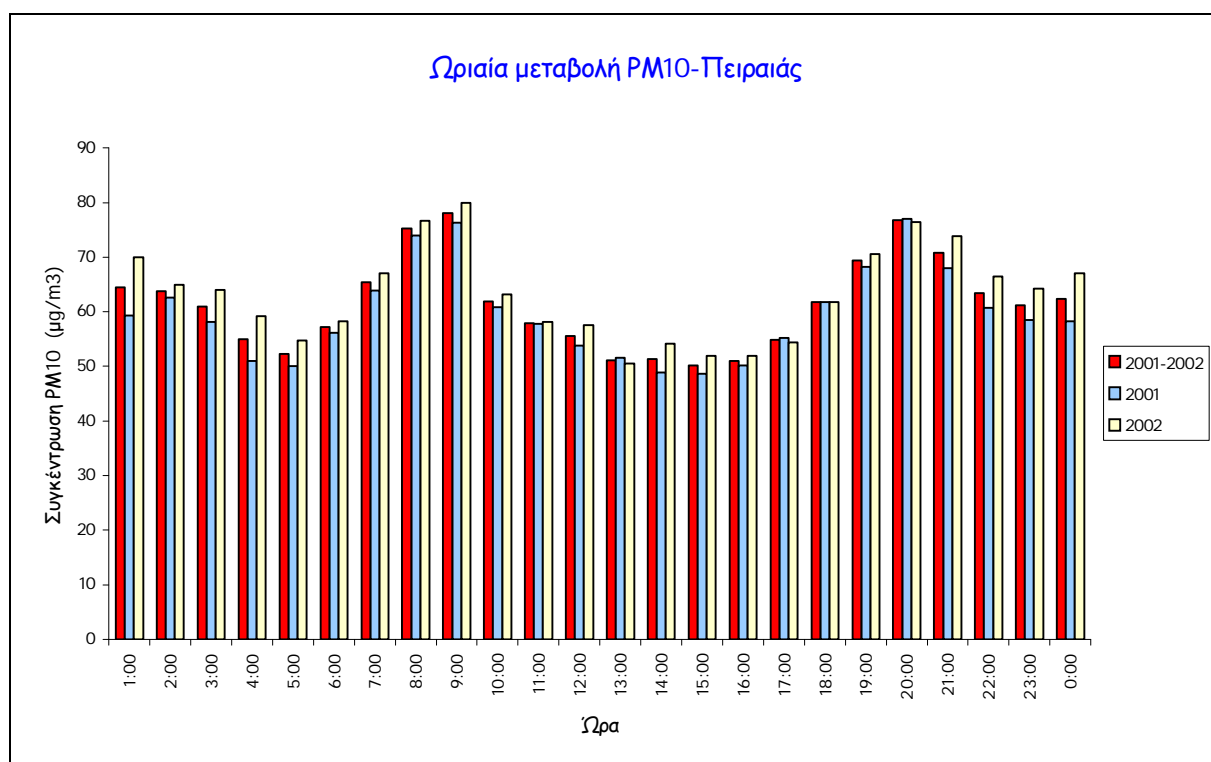
Διάγραμμα 8.29: Ωριαία μεταβολή συγκεντρώσεων PM10 στο σταθμό Λυκόβρυση



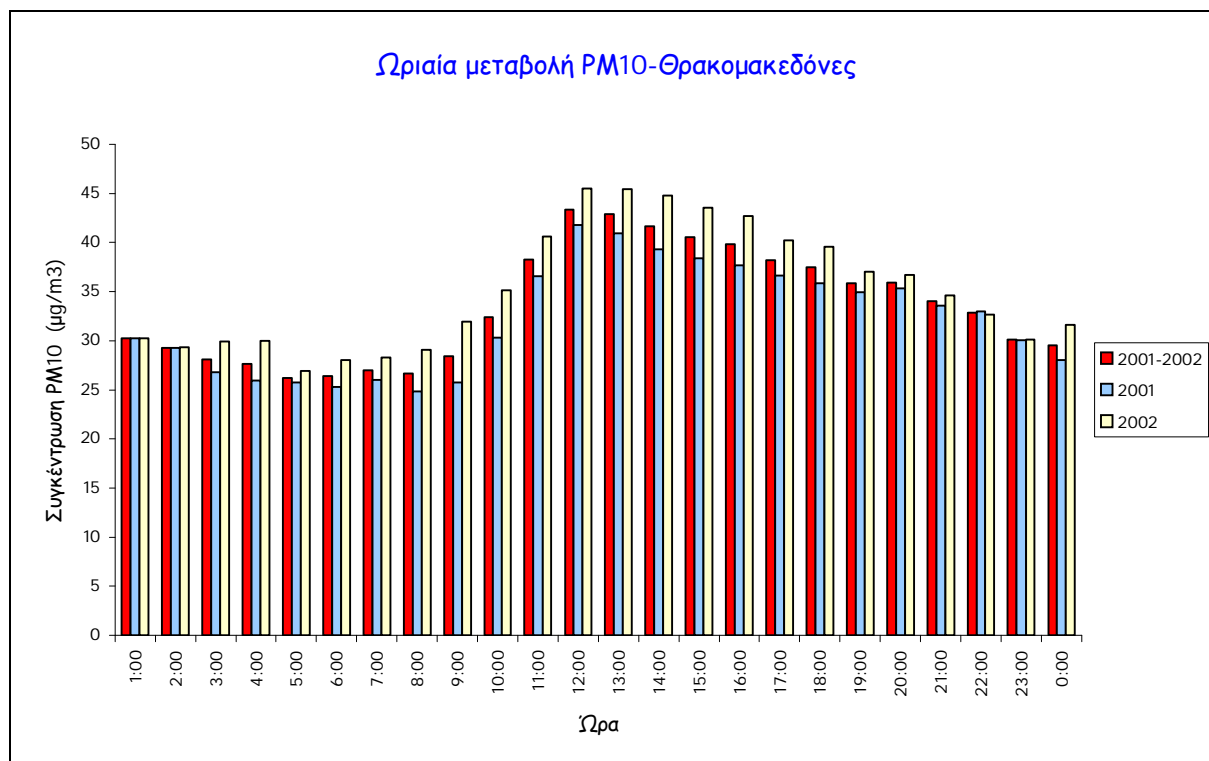
Διάγραμμα 8.30: Ωριαία μεταβολή συγκεντρώσεων PM10 στο σταθμό Μαρούσι



Διάγραμμα 8.31: Ωριαία μεταβολή συγκεντρώσεων PM10 στο σταθμό Πανεπιστήμιο



Διάγραμμα 8.32: Ωριαία μεταβολή συγκεντρώσεων PM10 στο σταθμό Πειραιάς



Διάγραμμα 8.33: Ωριαία μεταβολή συγκεντρώσεων PM10 στο σταθμό Θρακομακεδόνες

8.11 ΕΠΟΧΙΑΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Κάθε ημερολογιακό έτος χωρίστηκε σε δύο περιόδους: την θερμή και ψυχρή περίοδο με σκοπό την εξέταση της εποχιακής μεταβολής της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων. Η θερμή περίοδος σύμφωνα με την απόφαση 2001/752/ΕΚ της Ευρωπαϊκής Επιτροπής ορίζεται από την 1^η Απριλίου ως τις 30^η Σεπτεμβρίου και η ψυχρή περίοδος από 1^η Ιανουαρίου ως 30^η Μαρτίου και από 1^η Οκτωβρίου ως 31^η Δεκεμβρίου.

Λόγω των ιδιαίτερων καιρικών συνθηκών που επικρατούν στην Ελλάδα η θερμή περίοδος ορίστηκε από την 15^η Απριλίου ως την 14^η Οκτωβρίου ενώ η ψυχρή περίοδος από 1^η Ιανουαρίου ως την 14^η Απριλίου και από 15^η Οκτωβρίου ως 31^η Δεκεμβρίου.

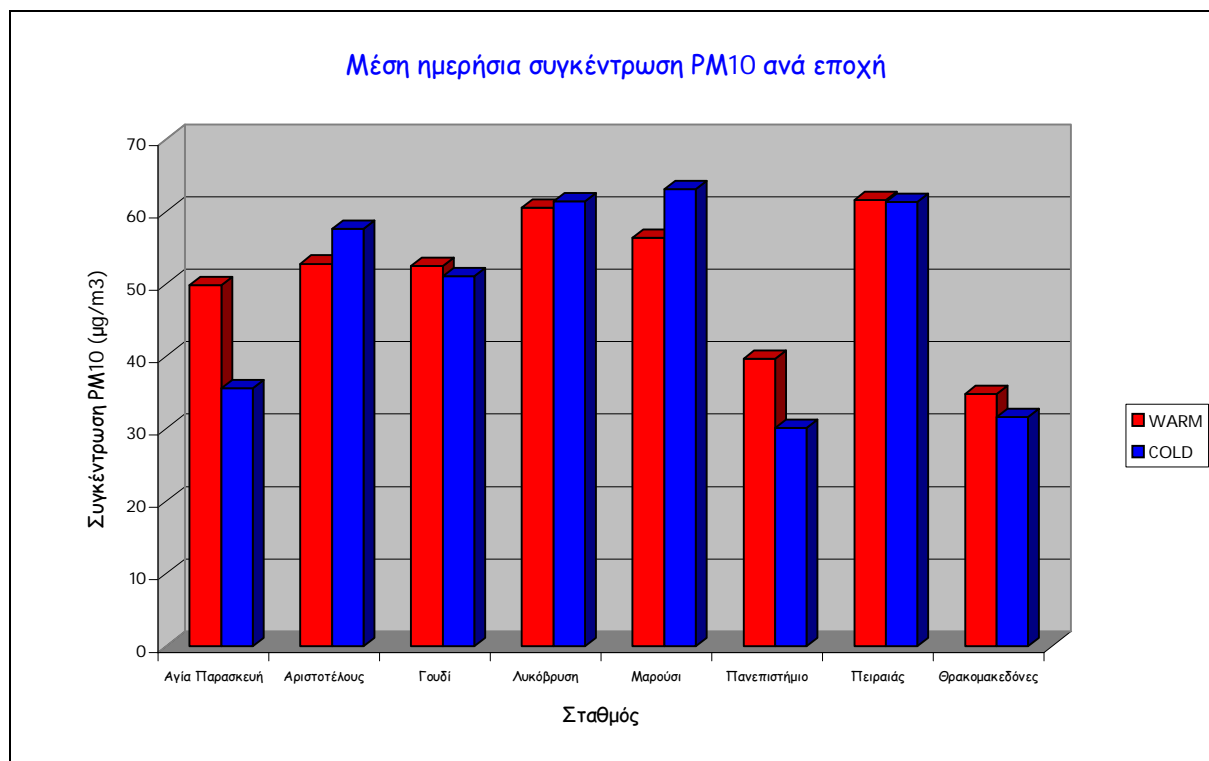
Για κάθε σταθμό και για καθεμιά από τις δύο περιόδους υπολογίζονται οι ενεργές ημέρες και η πληρότητα μετρήσεων καθώς και η μέση τιμή των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10. Επίσης υπολογίζεται και ο λόγος των ενεργών

ημερών για τις δύο εποχές του κάθε έτους, ο οποίος σύμφωνα με την προαναφερθείσα απόφαση δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή 2. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται στον πίνακα 8.8.

Πίνακας 8.8: Ενεργές ημέρες, πληρότητα μετρήσεων, μέση συγκέντρωση PM10 και λόγος ενεργών ημερών θερμής και ψυχρής περιόδου

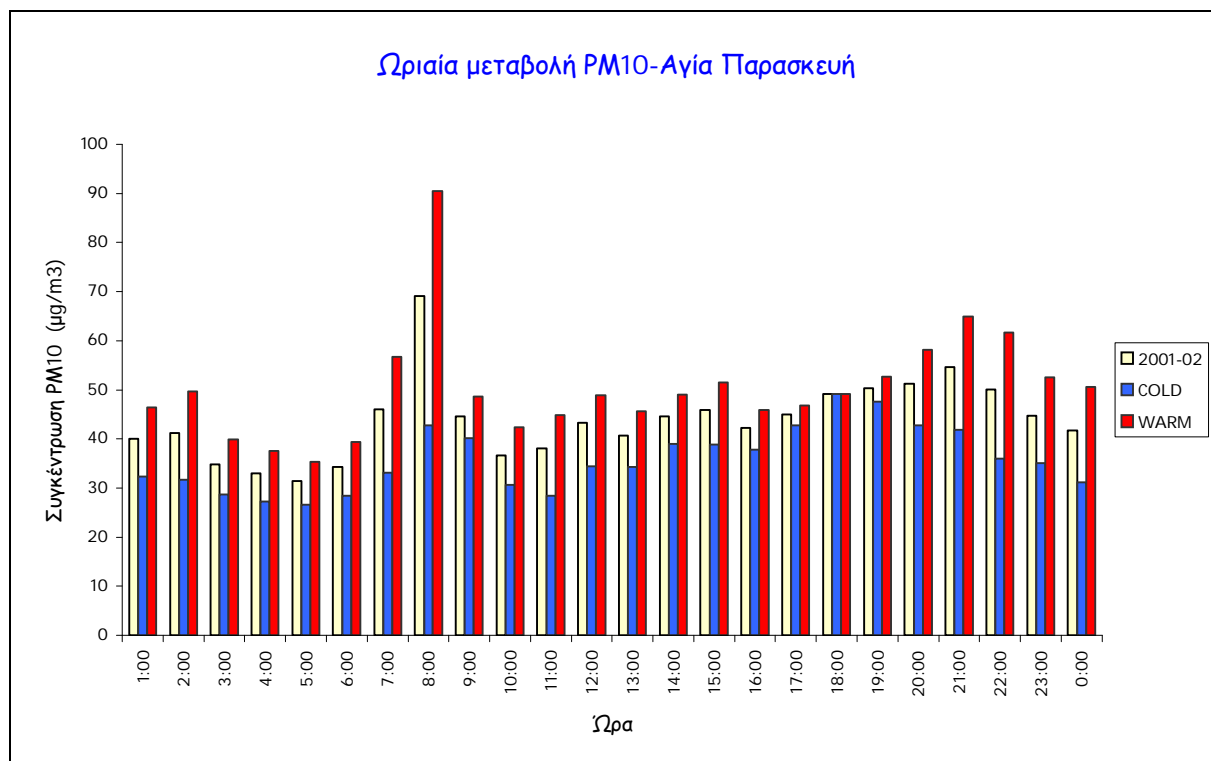
Σταθμός	Έτος	Θερμή περίοδος			Ψυχρή περίοδος			Λόγος
		Μετρήσεις	Πληρότητα	Μέση	Μετρήσεις	Πληρότητα	Μέση	
Αγία Παρασκευή	2001-02	317	86,61%	49,8	259	71,15%	35,6	
	2001	146	79,78%	55,6	120	65,93%	37,2	0,82
	2002	171	93,44%	44,9	139	76,37%	34,2	0,81
Αριστοτέλους	2001-02	282	77,05%	52,8	293	80,49%	57,6	
	2001	183	100,00%	55,9	173	95,05%	55,1	0,95
	2002	99	54,10%	47,0	120	65,93%	61,2	1,21
Γουδί	2001-02	342	93,44%	52,5	297	81,59%	51,1	
	2001	175	95,63%	53,9	170	93,41%	47,0	0,97
	2002	167	91,26%	51,0	127	69,78%	56,6	0,76
Λυκόβρυση	2001-02	355	96,99%	60,5	301	82,69%	61,4	
	2001	173	94,54%	61,3	181	99,45%	58,7	1,05
	2002	182	99,45%	59,6	120	65,93%	65,4	0,66
Μαρούσι	2001-02	254	69,40%	56,4	257	70,60%	63,1	
	2001	180	98,36%	54,8	178	97,80%	56,5	0,99
	2002	74	40,44%	60,3	79	43,41%	77,9	1,07
Πανεπιστήμιο	2001-02	363	99,18%	39,7	352	96,70%	30,1	
	2001	182	99,45%	40,4	170	93,41%	29,4	0,93
	2002	181	98,91%	39,0	182	100,00%	30,9	1,01
Πειραιάς	2001-02	270	73,77%	61,6	302	82,97%	61,3	
	2001	154	84,15%	60,5	145	79,67%	59,3	0,94
	2002	116	63,39%	63,1	157	86,26%	63,2	1,35
Θρακομακεδόνες	2001-02	331	90,44%	34,8	276	75,82%	31,6	
	2001	182	99,45%	34,5	171	93,96%	29,4	0,94
	2002	149	81,42%	35,1	105	57,69%	35,2	0,70

Στο διάγραμμα 8.34 απεικονίζονται γραφικά οι μέσες συγκεντρώσεις PM10 κατά τη θερμή και ψυχρή περίοδο για τους οχτώ σταθμούς μέτρησης.

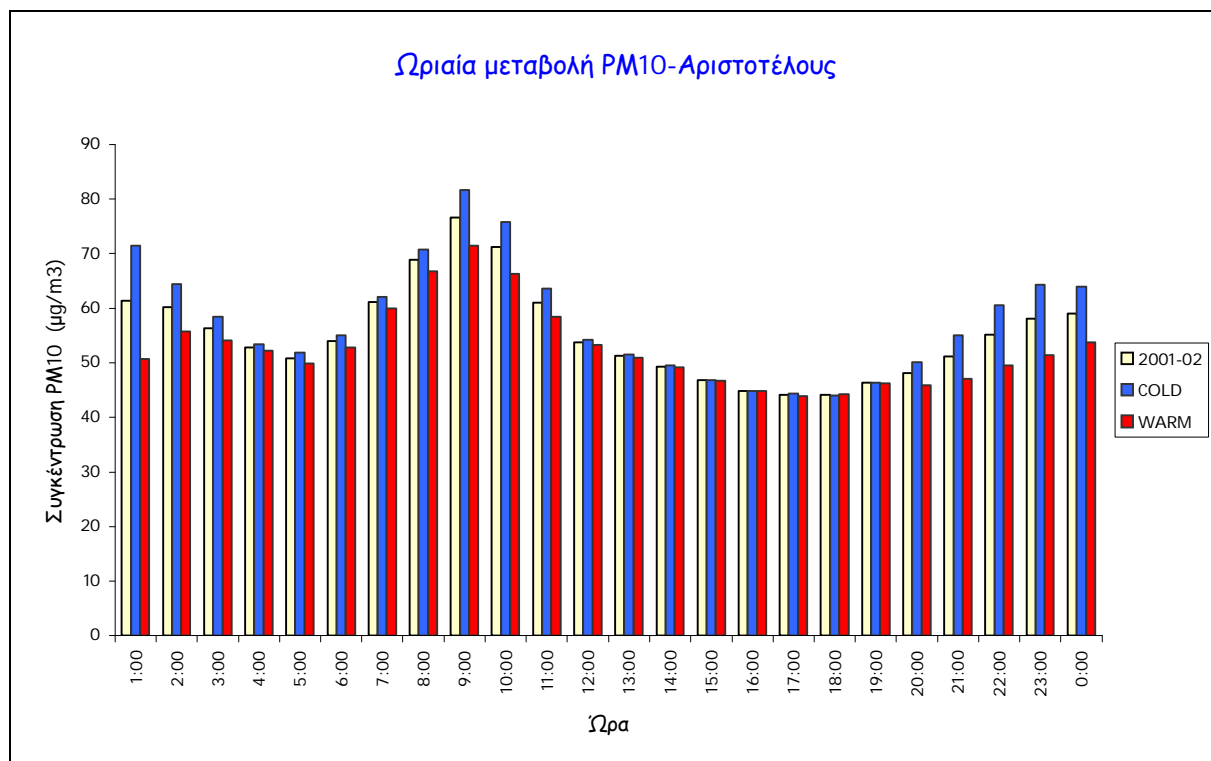


Διάγραμμα 8.34: Μέση ημερήσια συγκέντρωση PM10 της θερμής και ψυχρής περιόδου στους οχτώ σταθμούς μέτρησης

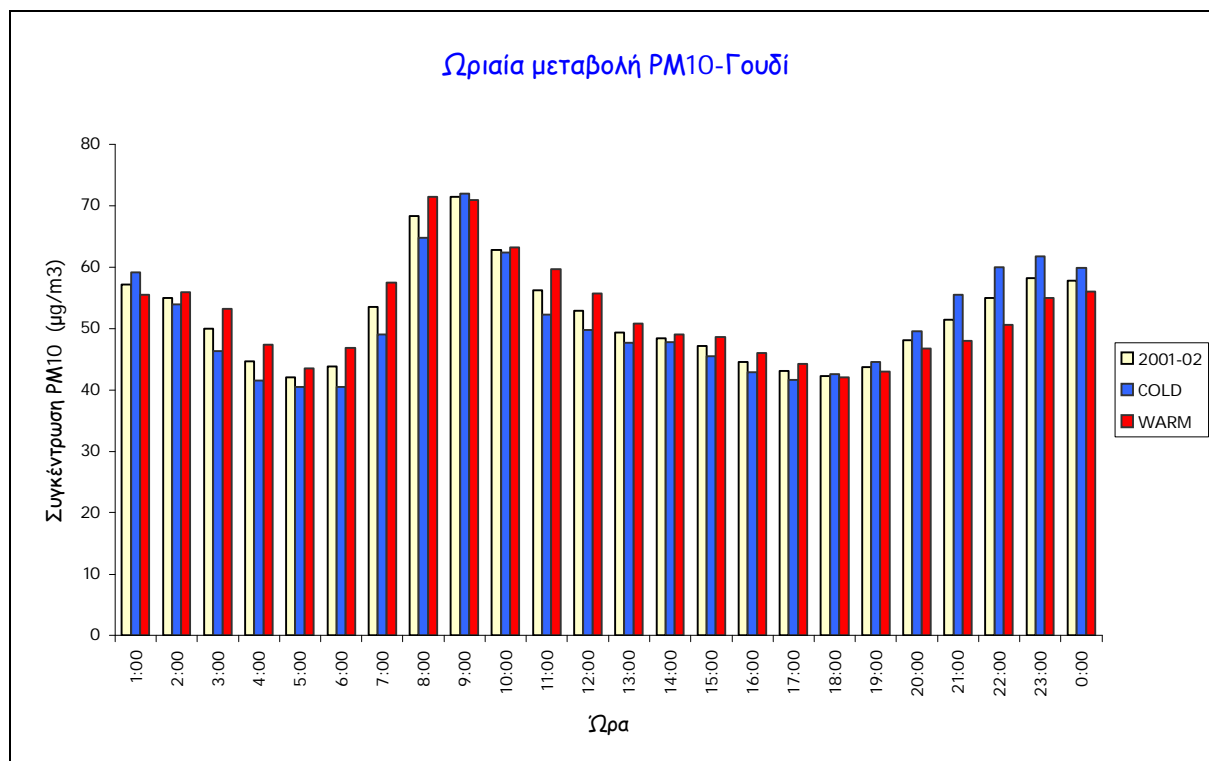
Στα διαγράμματα 8.35 έως 8.42, παρουσιάζεται η ωριαία μεταβολή των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 για τη θερμή και ψυχρή περίοδο 2001-2002.



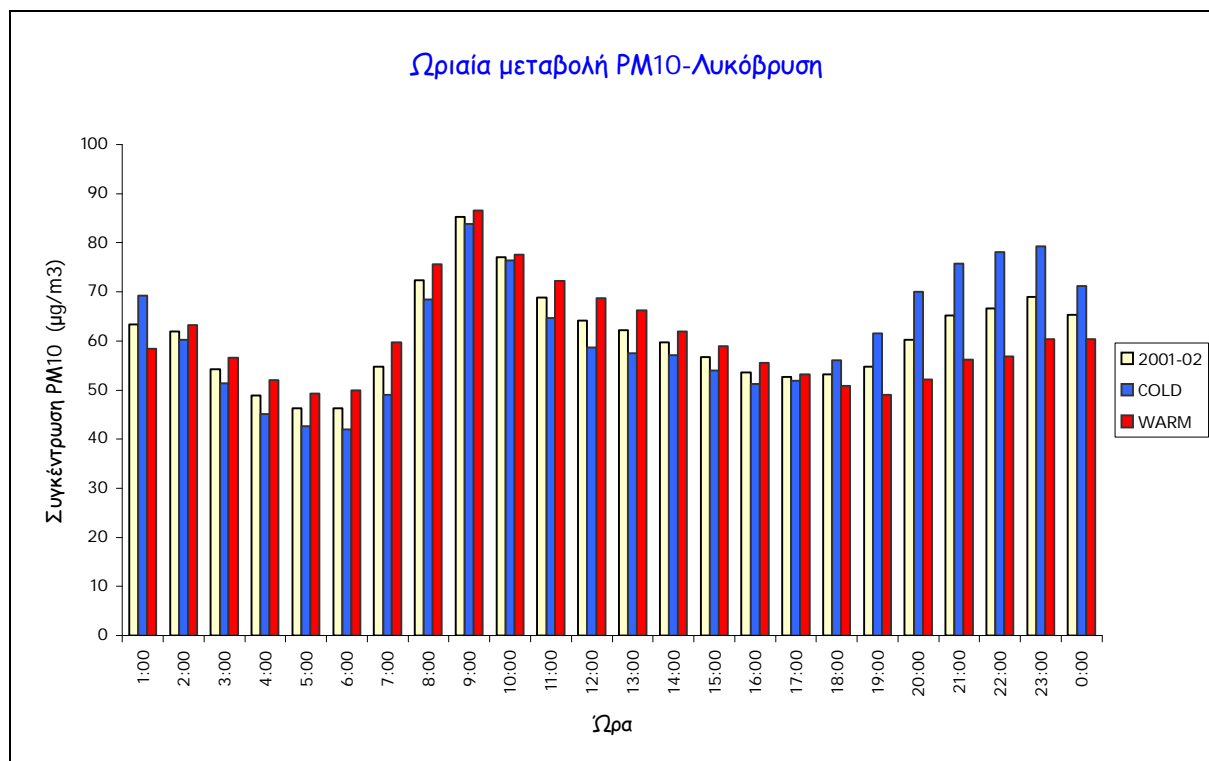
Διάγραμμα 8.35: Ωριαία μεταβολή συγκεντρώσεων PM10 στη θερμή και ψυχρή περίοδο 2001-2002 στο σταθμό Αγία Παρασκευή



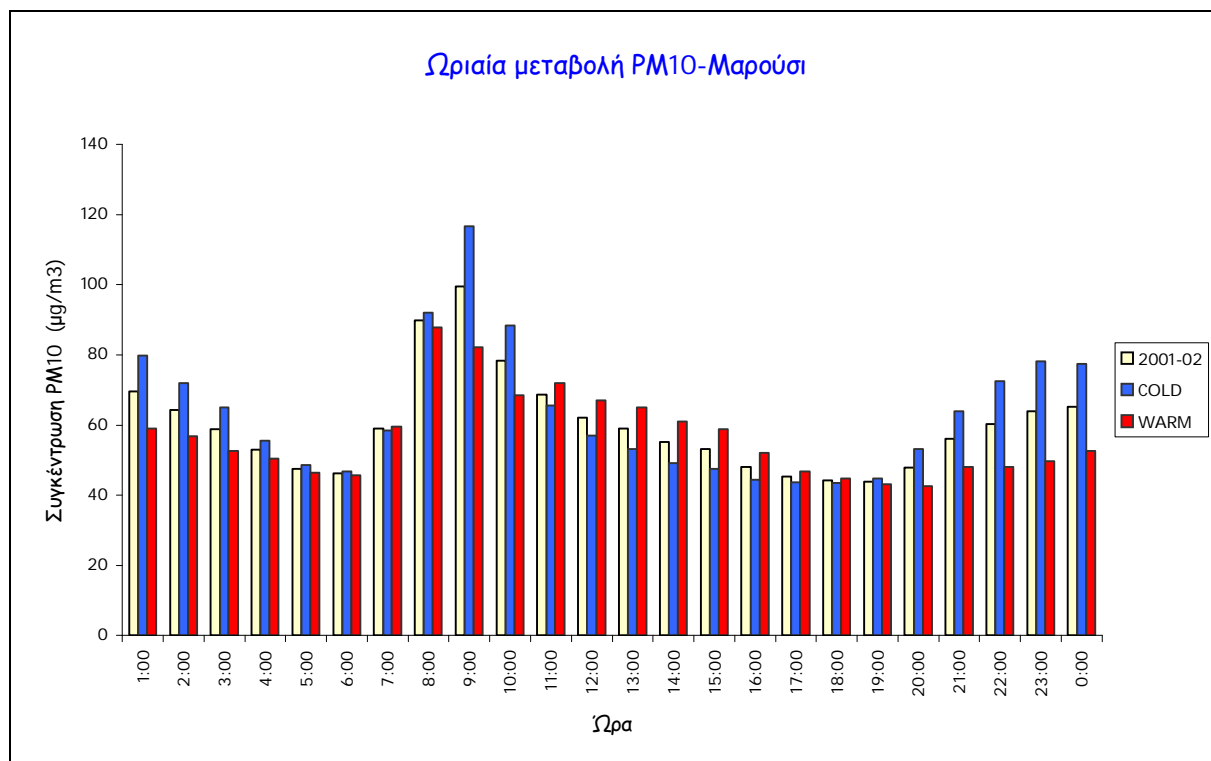
Διάγραμμα 8.36: Ωριαία μεταβολή συγκεντρώσεων PM10 στη θερμή και ψυχρή περίοδο 2001-2002 στο σταθμό Αριστοτέλους



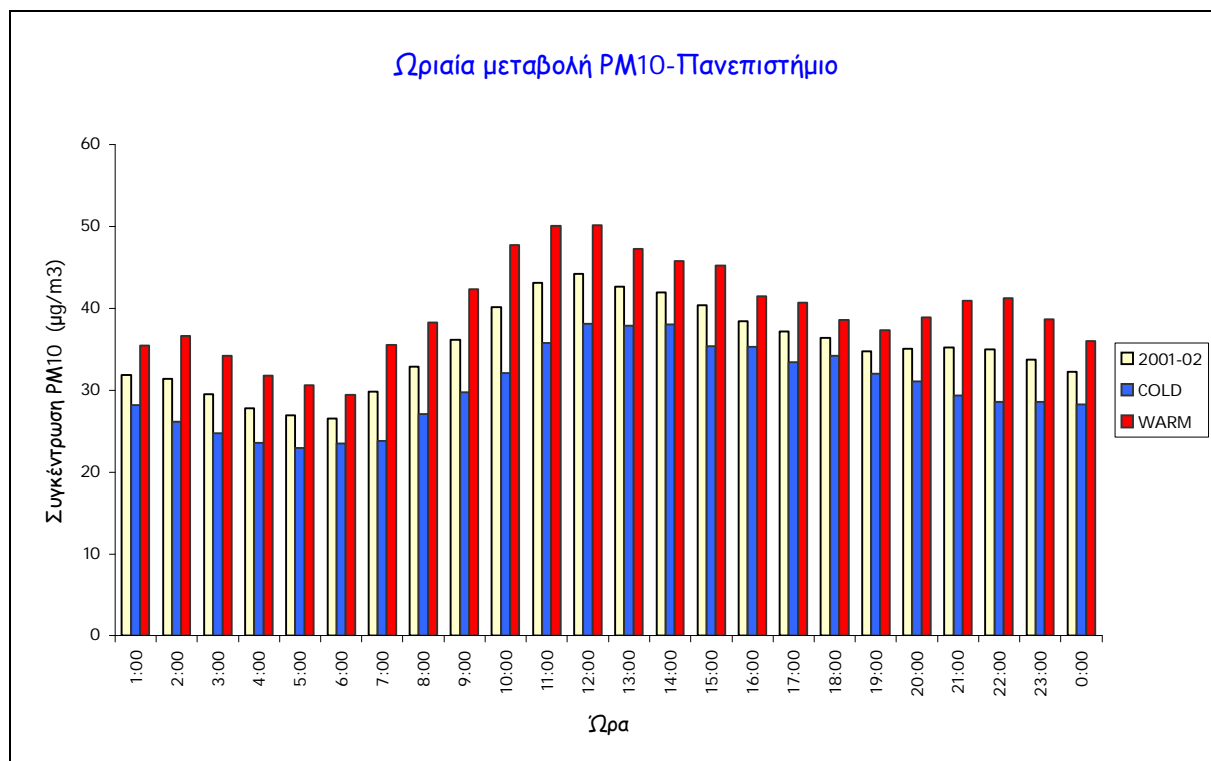
Διάγραμμα 8.37: Ωριαία μεταβολή συγκεντρώσεων PM10 στη θερμή και ψυχρή περίοδο 2001-2002 στο σταθμό Γουδί



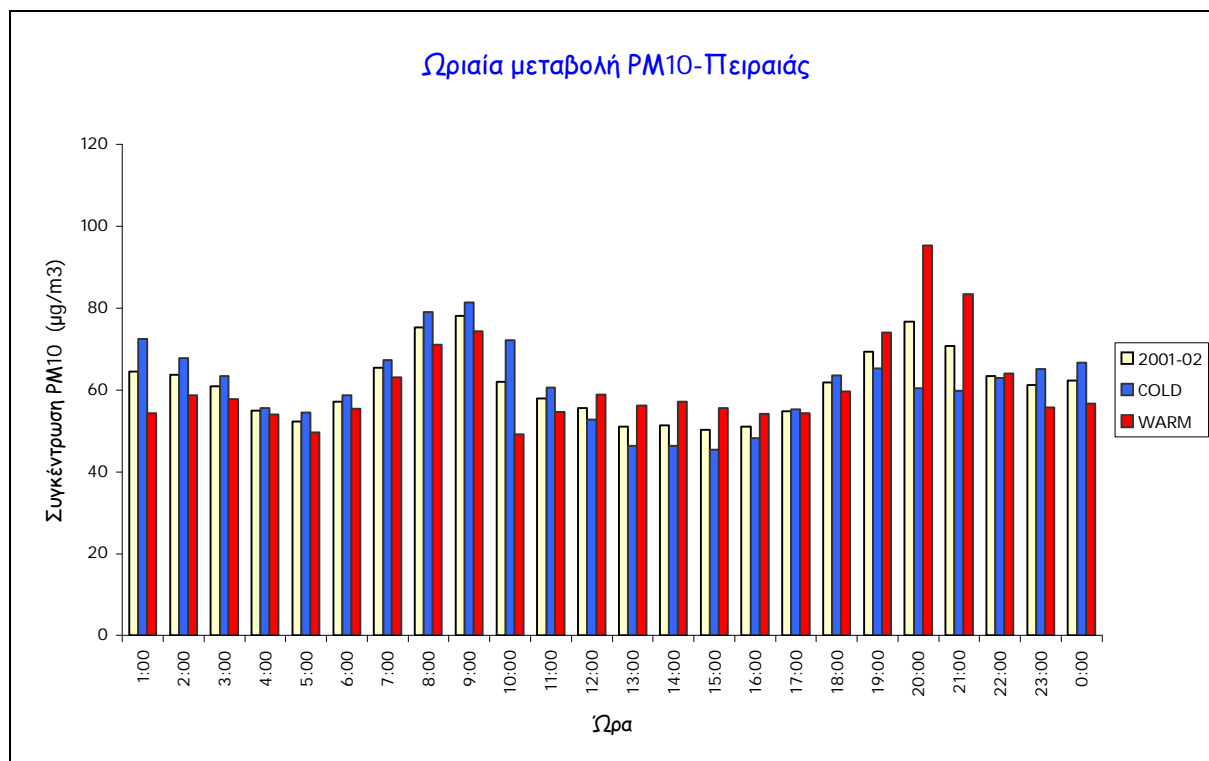
Διάγραμμα 8.38: Ωριαία μεταβολή συγκεντρώσεων PM10 στη θερμή και ψυχρή περίοδο 2001-2002 στο σταθμό Λυκόβρυση



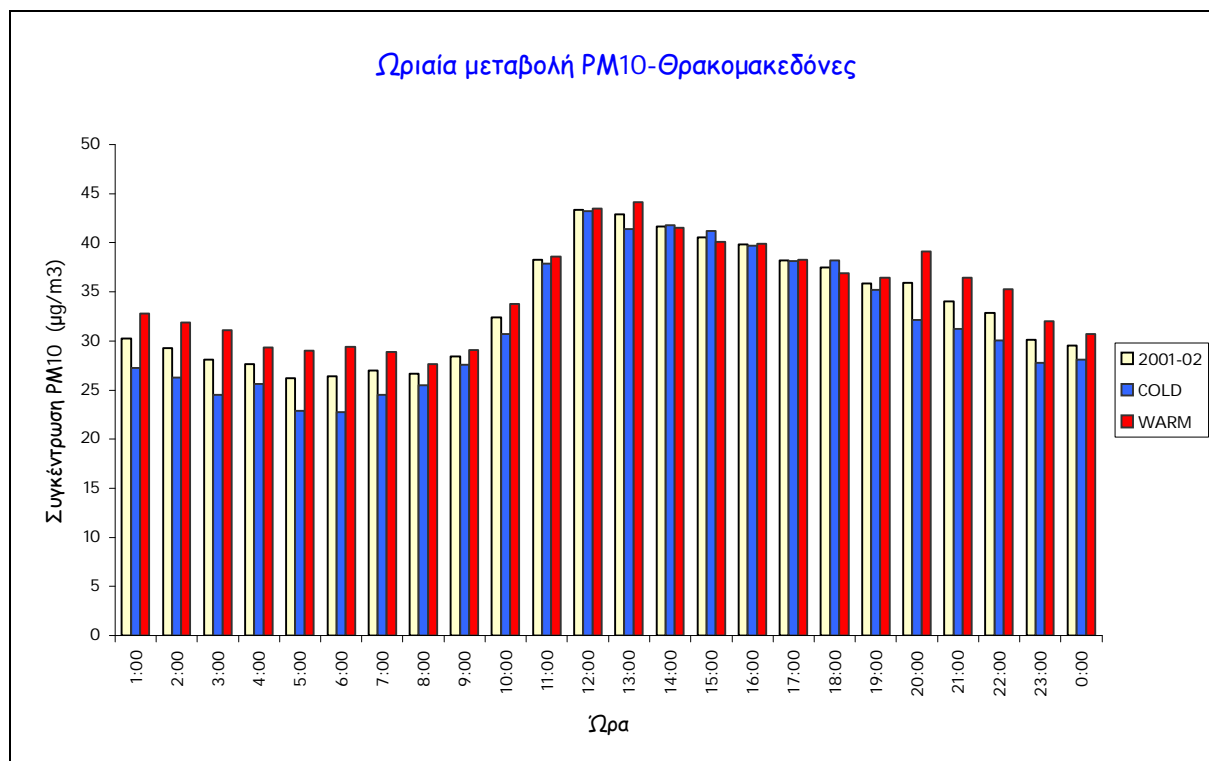
Διάγραμμα 8.39: Ωριαία μεταβολή συγκεντρώσεων PM10 στη θερμή και ψυχρή περίοδο 2001-2002 στο σταθμό Μαρούσι



Διάγραμμα 8.40: Ωριαία μεταβολή συγκεντρώσεων PM10 στη θερμή και ψυχρή περίοδο 2001-2002 στο σταθμό Πανεπιστήμιο



Διάγραμμα 8.41: Ωριαία μεταβολή συγκεντρώσεων PM10 στη θερμή και ψυχρή περίοδο 2001-2002 στο σταθμό Πειραιά



Διάγραμμα 8.42: Ωριαία μεταβολή συγκεντρώσεων PM10 στη θερμή και ψυχρή περίοδο 2001-2002 στο σταθμό Θρακομακεδόνες

8.12 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

Για κάθε σταθμό έχουν υπολογιστεί ορισμένες στατιστικές παράμετροι της υπό εξέτασης χρονοσειράς. Οι παράμετροι αυτοί είναι:

- Μέση συγκέντρωση
- Μέγιστη τιμή
- Ελάχιστη τιμή
- Εύρος τιμών
- Διάμεσος τιμή
- Τυπική απόκλιση
- Διασπορά
- Συντελεστής διασποράς
- Συντελεστής συμμετρίας
- Συντελεστής κυρτότητας
- 90^ο και 98^ο εκατοστημόριο

Οι τιμές των παραμέτρων αυτών εμπεριέχονται στον πίνακα 8.9.

Πίνακας 8.9: Στατιστικές παράμετροι χρονοσειρών μέσω ημερήσιων συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10

Παράμετρος	Αγία Παρασκευή	Αριστοτέλους	Γουδί	Λυκόβρυση	Μαρούσι	Πανεπιστήμιο	Πειραιάς	Θρακομακεδόνες
Μέση τιμή	43,44	55,22	51,87	60,88	59,77	34,99	61,48	33,33
Ελάχιστη	9,35	10,83	10,22	9,00	8,42	8,70	17,92	8,00
Μέγιστη	142,08	218,96	148,79	169,83	210,58	138,54	157,21	185,21
Εύρος τιμών	132,73	208,13	138,57	160,83	202,16	129,85	139,29	177,21
Διάμεσος	38,00	50,67	48,71	56,15	55,33	32,13	59,30	30,29
Τυπική απόκλιση	21,94	23,35	19,86	25,83	28,73	16,25	20,49	17,85
Διασπορά	481,49	545,37	394,35	667,35	825,31	264,01	419,75	318,78
Συντελεστής διασποράς	0,51	0,42	0,38	0,42	0,48	0,46	0,33	0,54
Συντελεστής συμμετρίας	1,48	1,78	1,03	1,07	1,61	1,69	0,81	2,46
Συντελεστής κυρτότητας	5,50	9,51	4,91	4,72	7,05	8,30	4,13	14,69
90ο εκατοστημόριο	73,0	83,6	76,8	95,5	91,4	54,4	87,1	52,3
98ο εκατοστημόριο	102,43	116,98	101,54	124,10	142,49	77,99	113,25	84,14

Για τους οχτώ σταθμούς οι βασικές από τις στατιστικές παραμέτρους που καθορίζονται από την οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης, δηλαδή η μέση και μέγιστη τιμή, η διάμεσος, και το 98^ο και 90^ο εκατοστημόριο, υπολογίστηκαν για την υπό εξέταση περίοδο αλλά και για κάθε χρονιά ξεχωριστά. Οι τιμές των παραμέτρων αυτών παρατίθενται στους δύο ακόλουθους πίνακες. Στον πίνακα 8.10 οι τιμές υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας τα δεδομένα σε 24ωρη βάση, ενώ στον πίνακα 8.11 σε ωριαία βάση.

Πίνακας 8.10: Στατιστικές παράμετροι υπολογισμένοι σε 24ωρη βάση της περιόδου 2001-2002 και των ετών 2001 και 2002 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Σταθμός	Έτος	Μέση	Μέγιστη	Διάμεσος	98ο εκατοστημόριο	90ο εκατοστημόριο
Αγία Παρασκευή	2001-02	43,4	142,1	38,0	102,4	73,0
	2001	47,3	142,1	40,9	112,9	83,6
	2002	40,1	139,2	36,3	100,6	60,8
Αριστοτέλους	2001-02	55,2	219,0	50,7	117,0	83,6
	2001	55,5	219,0	50,8	117,5	83,6
	2002	54,8	130,6	50,0	113,9	82,5
Γουδί	2001-02	51,9	148,8	48,7	101,5	76,8
	2001	50,5	120,2	47,8	98,7	77,5
	2002	53,4	148,8	49,0	102,7	76,7
Λυκόβρυση	2001-02	60,9	169,8	56,1	124,1	95,5
	2001	60,0	161,0	57,5	120,0	92,4
	2002	61,9	169,8	55,4	148,9	96,9
Μαρούσι	2001-02	59,8	210,6	55,3	142,5	91,4
	2001	55,7	166,6	52,8	115,7	86,3
	2002	69,4	210,6	60,3	176,1	114,9
Πανεπιστήμιο	2001-02	35,0	138,5	32,1	78,0	54,4
	2001	35,1	106,3	32,4	78,1	55,9
	2002	34,9	138,5	31,8	77,3	53,4
Πειραιάς	2001-02	61,5	157,2	59,3	113,3	87,1
	2001	59,9	135,4	57,5	107,8	84,8
	2002	63,2	157,2	60,3	116,1	88,0
Θρακομακεδόνες	2001-02	33,3	185,2	30,3	84,1	52,3
	2001	32,0	122,3	29,9	78,0	50,0
	2002	35,1	185,2	30,8	94,2	54,0

Πίνακας 8.11: Στατιστικές παράμετροι υπολογισμένοι σε ωριαία βάση της περιόδου 2001-2002 και των ετών 2001 και 2002 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Σταθμός	Έτος	Μέση	Μέγιστη	Διάμεσος	98ο εκατοστημόριο	90ο εκατοστημόριο
Αγία Παρασκευή	2001-02	43,8	847,0	35,0	148,0	86,8
	2001	47,7	847,0	37,0	162,0	72,0
	2002	40,3	708,0	33,0	135,0	79,0
Αριστοτέλους	2001-02	55,2	528,0	47,0	152,0	93,0
	2001	55,5	395,0	47,0	155,0	93,0
	2002	54,8	528,0	46,0	149,0	94,0
Γουδί	2001-02	51,9	709,0	45,0	135,0	87,0
	2001	50,6	499,0	43,0	135,0	85,0
	2002	53,5	709,0	47,0	134,0	89,0
	2001-02	61,0	654,0	51,0	179,0	108,0

Λυκόβρυση	2001	60,1	654,0	50,0	176,0	105,0
	2002	62,0	627,0	51,0	181,8	110,0
Μαρούσι	2001-02	59,9	632,0	47,0	204,0	109
	2001	55,8	530,0	45,0	175,0	99
	2002	69,7	632,0	52,0	257,0	132
	2001-02	35,2	733,0	30,0	97,0	59,0
Πανεπιστήμιο	2001	35,2	461,0	30,0	97,0	60,0
	2002	35,1	733,0	30,0	97,0	59,0
Πειραιάς	2001-02	61,3	500,0	53,0	172,0	107,0
	2001	59,7	500,0	51,0	171,7	105,0
	2002	63,1	402,0	55,0	172,0	110,0
	2001-02	33,6	409,0	28,0	106,0	59,0
Θρακομακεδόνες	2001	32,5	383,0	27,0	100,0	56,0
	2002	35,3	409,0	29,0	118,0	63,0

8.13 ΠΛΗΘΟΣ ΥΠΕΡΒΑΣΕΩΝ

Το επόμενο στάδιο της μελέτης είναι η καταμέτρηση του πλήθους των υπερβάσεων ορισμένων τιμών συγκεντρώσεων για καθένα από τους οχτώ σταθμούς. Στους πίνακες 8.12 έως 8.19 που ακολουθούν καταγράφονται οι υπερβάσεις αυτές για όλους τους σταθμούς για την περίοδο 2001-2002, τη ψυχρή και θερμή περίοδο 2001-2002 καθώς για τα έτη 2001 και 2002 ξεχωριστά.

Πίνακες 8.12-8.19: Υπερβάσεις διάφορων τιμών συγκεντρώσεων για την περίοδο 2001-2002, τη ψυχρή και θερμή περίοδο 2001-2002 και τα έτη 2001 και 2002

ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ

Συγκέντρωση ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2001-2002	2001	2002	Ψυχρή περίοδος 2001-02	Θερμή περίοδος 2001-02
50	158	94	64	33	125
55	129	80	49	27	102
60	100	64	36	24	76
65	78	55	23	18	60
70	60	41	19	12	48
75	54	36	18	11	43
80	48	31	17	11	37
85	39	25	14	9	30
90	30	18	12	8	22
95	26	16	10	7	19
100	15	8	7	6	9
105	11	8	3	5	6
110	9	6	3	4	5
115	8	6	2	3	5
120	5	3	2	2	3
125	4	3	1	2	2
130	2	1	1	1	1
140	1	1	0	0	1
150	0	0	0	0	0

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΟΥΣ

Συγκέντρωση ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2001-2002	2001	2002	Ψυχρή περίοδος 2001-02	Θερμή περίοδος 2001-02
50	295	184	111	169	126
55	242	154	88	138	104
60	190	118	72	119	71
65	151	91	60	97	54
70	114	70	44	78	36
75	88	52	36	66	22
80	68	43	25	51	17
85	51	32	19	38	13
90	39	23	16	27	12
95	34	21	13	23	11
100	27	17	10	16	11
105	21	13	8	13	8
110	18	11	7	11	7
115	13	9	4	7	6
120	9	6	3	4	5
125	8	6	2	3	5
130	6	5	1	2	4
140	4	4	0	0	4
150	4	4	0	0	4

ΓΟΥΔΙ

Συγκέντρωση ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2001-2002	2001	2002	Ψυχρή περίοδος 2001-02	Θερμή περίοδος 2001-02
50	305	161	144	148	157
55	246	126	120	118	128
60	192	94	98	88	104
65	138	70	68	64	74
70	99	51	48	47	52
75	74	41	33	37	37
80	57	33	24	29	28
85	38	21	17	20	18
90	31	17	14	15	16
95	21	10	11	9	12
100	16	7	9	6	10
105	10	5	5	4	6
110	8	3	5	4	4
115	6	2	4	3	3
120	5	1	4	3	2
125	3	0	3	1	2
130	3	0	3	1	2
140	1	0	1	1	0
150	0	0	0	0	0

ΛΥΚΟΒΡΥΣΗ

Συγκέντρωση ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2001-2002	2001	2002	Ψυχρή περίοδος 2001-02	Θερμή περίοδος 2001-02
50	416	223	193	189	227
55	351	196	155	160	191
60	281	158	123	133	148

65	229	124	105	113	116
70	186	101	85	97	89
75	155	86	69	85	70
80	130	70	60	74	56
85	99	51	48	62	37
90	79	40	39	51	28
95	68	32	36	45	23
100	52	25	27	34	18
105	43	19	24	28	15
110	35	15	20	23	12
115	29	12	17	18	11
120	22	8	14	15	7
125	13	3	10	8	5
130	12	3	9	7	5
140	9	2	7	6	3
150	8	2	6	6	2

ΜΑΡΟΥΣΙ

Συγκέντρωση ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2001-2002	2001	2002	Ψυχρή περίοδος 2001-02	Θερμή περίοδος 2001-02
50	300	198	102	151	149
55	257	163	94	131	126
60	200	122	78	110	90
65	165	99	66	95	70
70	138	81	57	85	53
75	114	67	47	74	40
80	95	56	39	64	31
85	67	38	29	45	22
90	55	29	26	39	16
95	48	25	23	35	13
100	40	19	21	31	9
105	35	14	21	29	6
110	32	13	19	27	5
115	24	8	16	20	4
120	19	5	14	17	2
125	17	4	13	16	1
130	17	4	13	16	1
140	11	1	10	11	0
150	9	1	8	9	0

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Συγκέντρωση ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2001-2002	2001	2002	Ψυχρή περίοδος 2001-02	Θερμή περίοδος 2001-02
50	95	52	43	29	66
55	68	37	31	20	48
60	53	29	24	17	36
65	36	16	20	13	23
70	29	14	15	12	17
75	19	10	9	9	10
80	12	5	7	6	6
85	9	2	7	4	5
90	8	2	6	3	5
95	6	1	5	2	4
100	3	1	2	2	1

105	3	1	2	2	1
110	2	0	2	1	1
115	2	0	2	1	1
120	2	0	2	1	1
125	2	0	2	1	1
130	2	0	2	1	1
140	0	0	0	0	0
150	0	0	0	0	0

ΠΕΙΡΑΙΑΣ

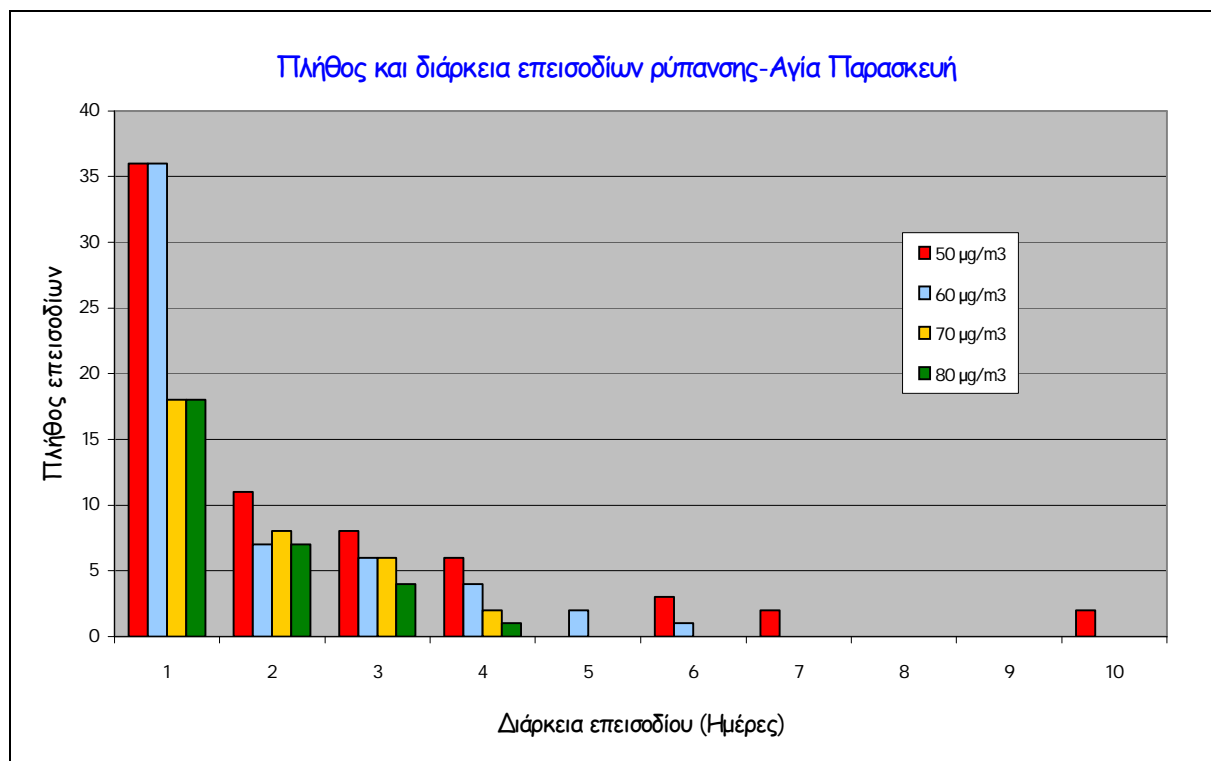
Συγκέντρωση ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2001-2002	2001	2002	Ψυχρή περίοδος 2001-02	Θερμή περίοδος 2001-02
50	396	191	205	201	195
55	330	160	170	168	162
60	279	138	141	143	136
65	220	109	111	113	107
70	174	82	92	95	79
75	127	59	68	73	54
80	93	45	48	59	34
85	65	30	35	42	23
90	50	25	25	32	18
95	37	18	19	26	11
100	27	12	15	20	7
105	20	8	12	16	4
110	14	5	9	11	3
115	11	4	7	9	2
120	8	4	4	6	2
125	5	3	2	5	0
130	2	1	1	2	0
140	1	0	1	1	0
150	1	0	1	1	0

ΘΡΑΚΟΜΑΚΕΔΟΝΕΣ

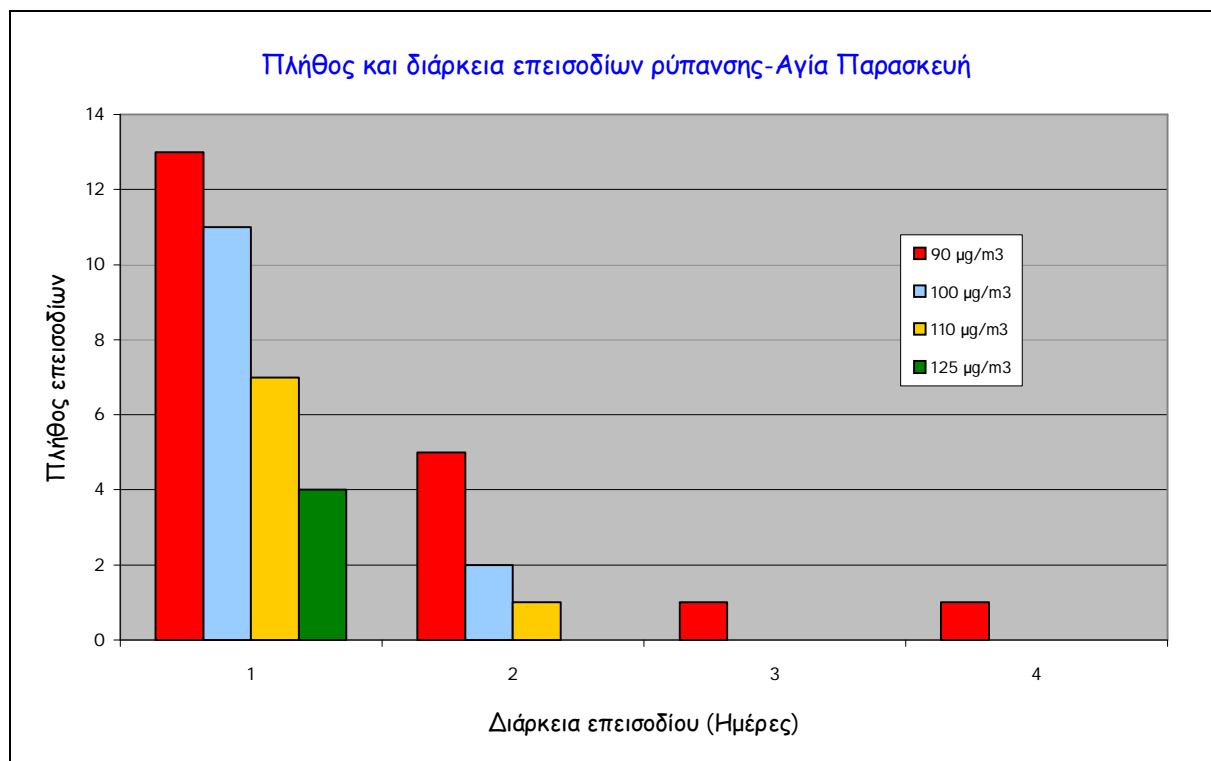
Συγκέντρωση ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2001-2002	2001	2002	Ψυχρή περίοδος 2001-02	Θερμή περίοδος 2001-02
50	70	36	34	31	39
55	47	24	23	22	25
60	38	17	21	18	20
65	34	16	18	16	18
70	27	13	14	13	14
75	24	11	13	12	12
80	17	7	10	9	8
85	12	5	7	7	5
90	10	4	6	5	5
95	7	2	5	3	4
100	5	1	4	3	2
105	4	1	3	2	2
110	3	1	2	2	1
115	3	1	2	2	1
120	3	1	2	2	1
125	1	0	1	0	1
130	1	0	1	0	1
140	1	0	1	0	1
150	1	0	1	0	1

8.14 ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΕΠΕΙΣΟΔΙΩΝ

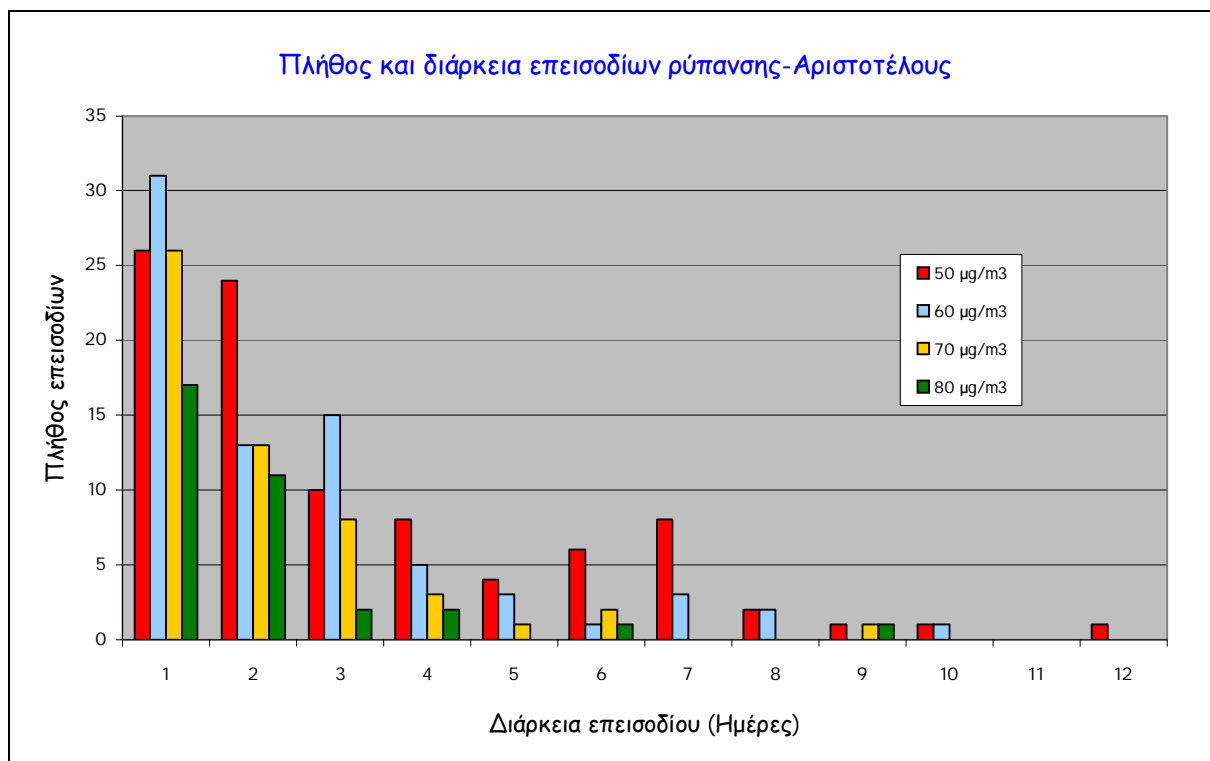
Το επόμενο βήμα της στατιστικής ανάλυσης είναι ο εντοπισμός της διάρκειας των επεισοδίων. Αυτά αποκαλούνται επεισόδια X ημερών της τιμής Y . Στις υπό εξέταση χρονοσειρές το X λαμβάνει τιμές από 0 έως 22. Βέβαια μπορεί το X να λάβει υψηλότερες τιμές, απλά στις χρονοσειρές αυτές δεν εμφανίζονται. Τα διαγράμματα 8.43-8.58 που επισυνάπτονται στη συνέχεια παρουσιάζουν το πλήθος και τη διάρκεια επεισοδίων των συγκεντρώσεων $50\mu\text{g}/\text{m}^3$, $60\mu\text{g}/\text{m}^3$, $70\mu\text{g}/\text{m}^3$, $80\mu\text{g}/\text{m}^3$, $90\mu\text{g}/\text{m}^3$, $100\mu\text{g}/\text{m}^3$, $110\mu\text{g}/\text{m}^3$ και $125\mu\text{g}/\text{m}^3$ για όλους τους σταθμούς μέτρησης.



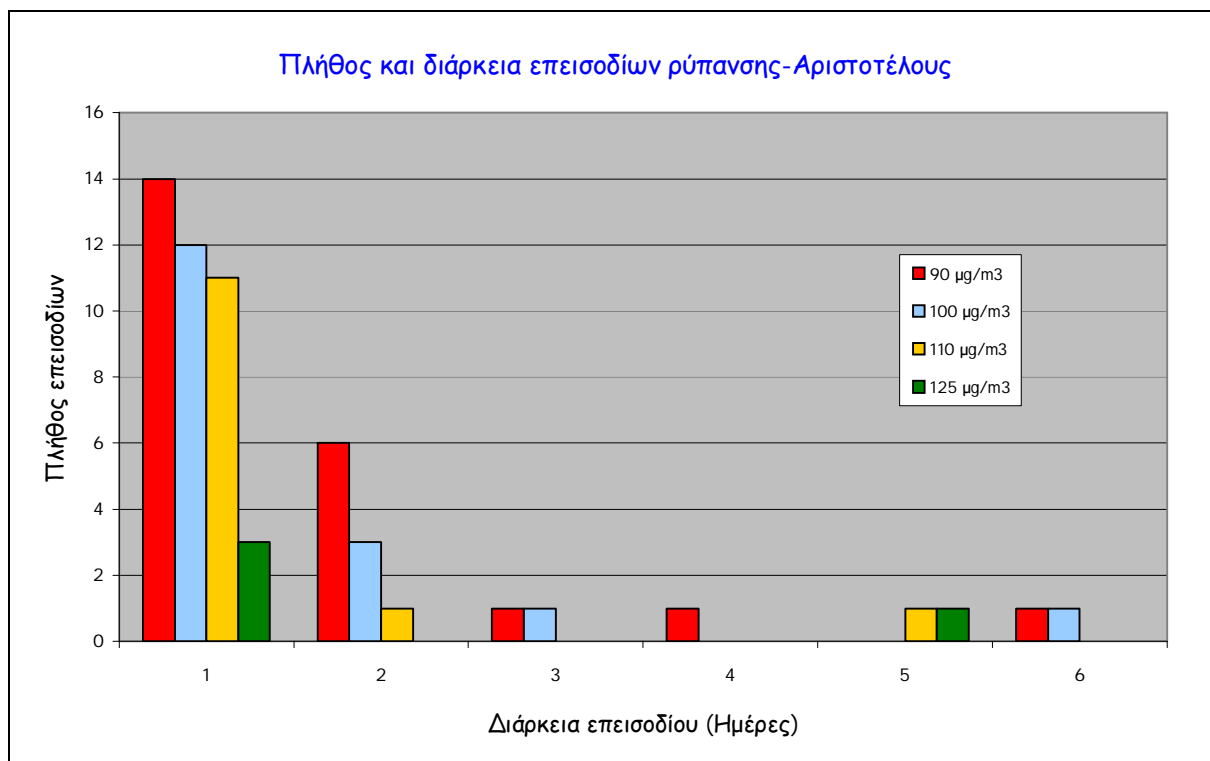
Διάγραμμα 8.43: Πλήθος και διάρκεια επεισοδίων ρύπανσης PM10 στο σταθμό Αγία Παρασκευή-1



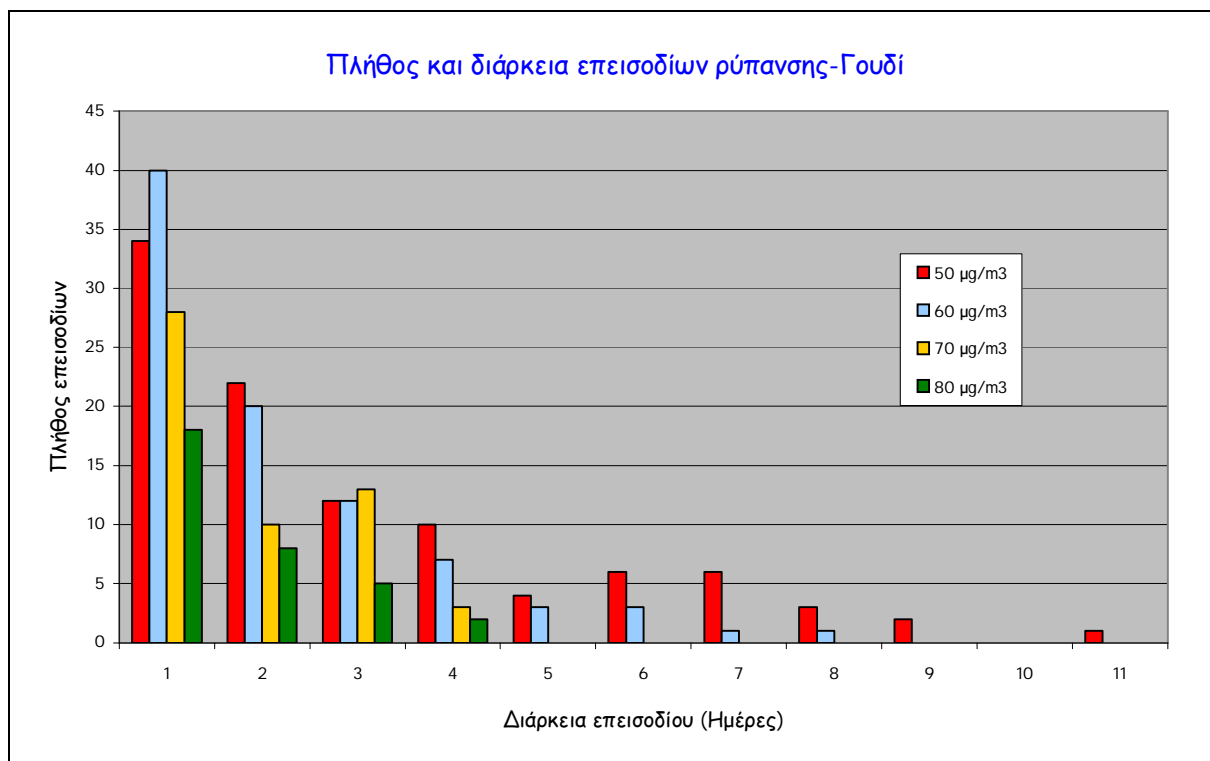
Διάγραμμα 8.44: Πλήθος και διάρκεια επεισοδίων ρύπανσης PM10 στο σταθμό Αγία Παρασκευή-2



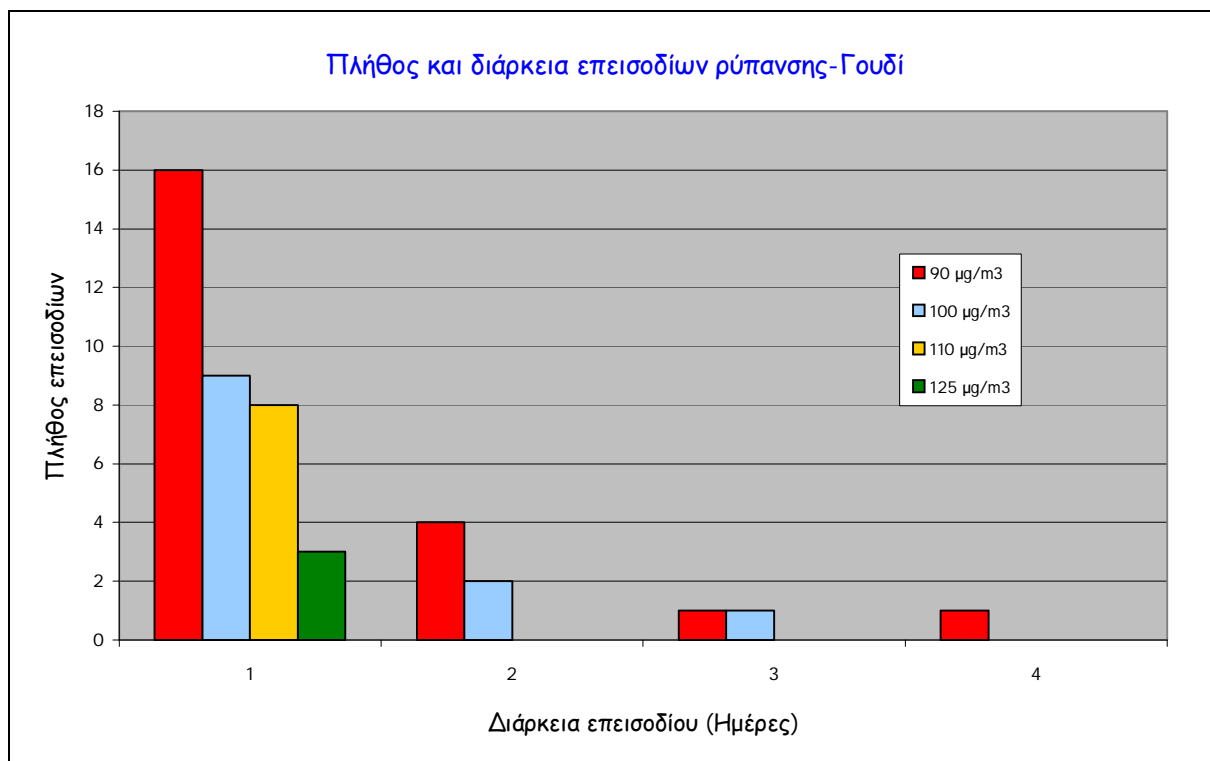
Διάγραμμα 8.45: Πλήθος και διάρκεια επεισοδίων ρύπανσης PM10 στο σταθμό Αριστοτέλους-1



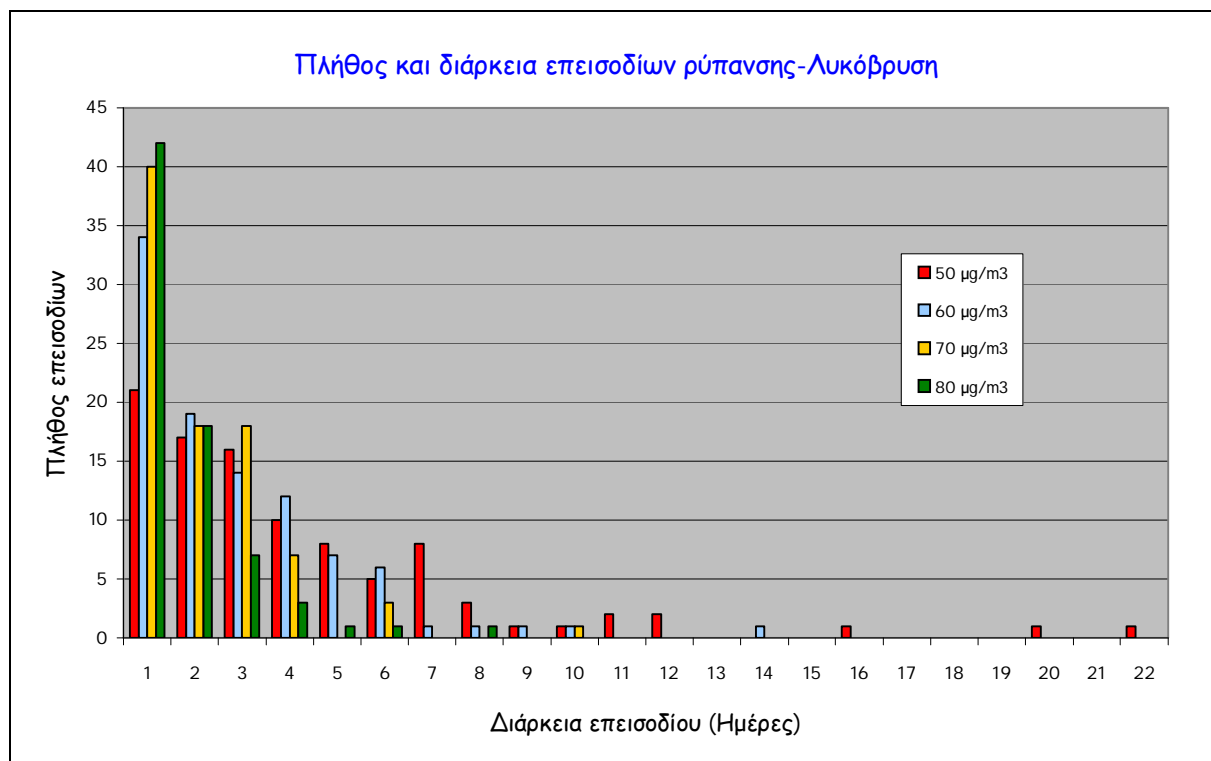
Διάγραμμα 8.46: Πλήθος και διάρκεια επεισοδίων ρύπανσης PM10 στο σταθμό Αριστοτέλους-2



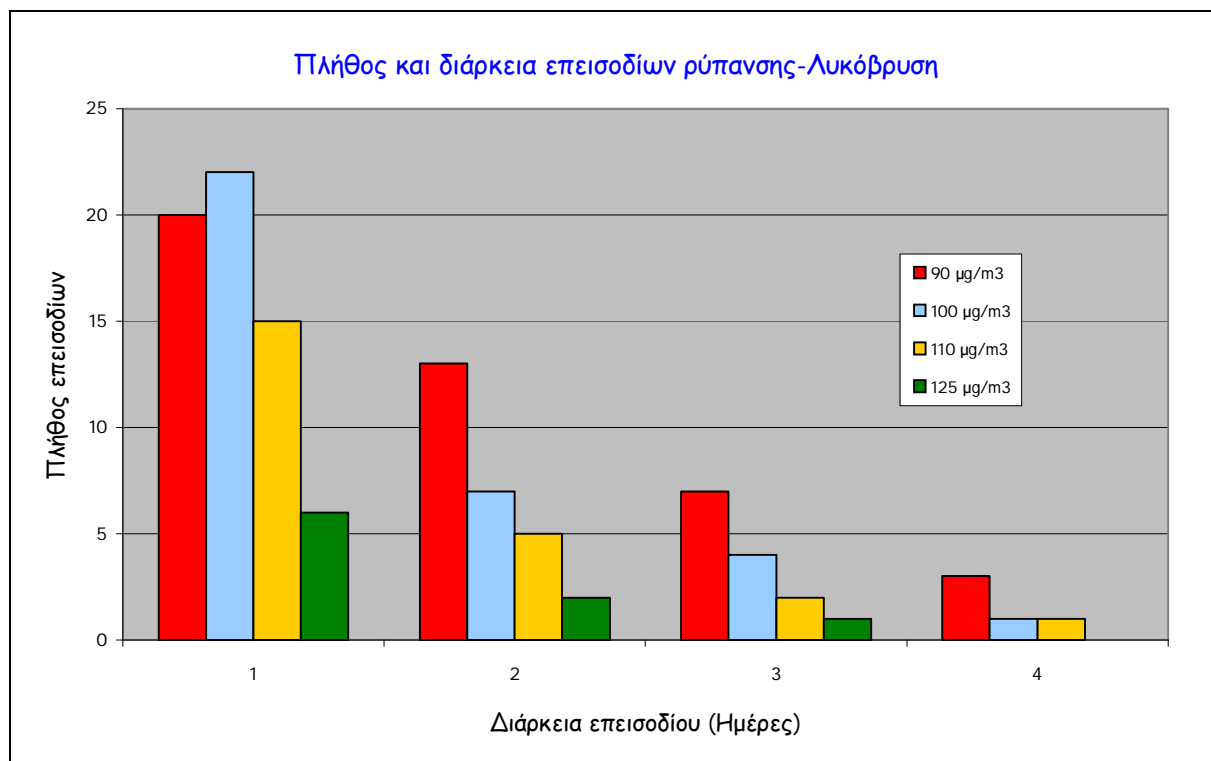
Διάγραμμα 8.47: Πλήθος και διάρκεια επεισοδίων ρύπανσης PM10 στο σταθμό Γουδί-1



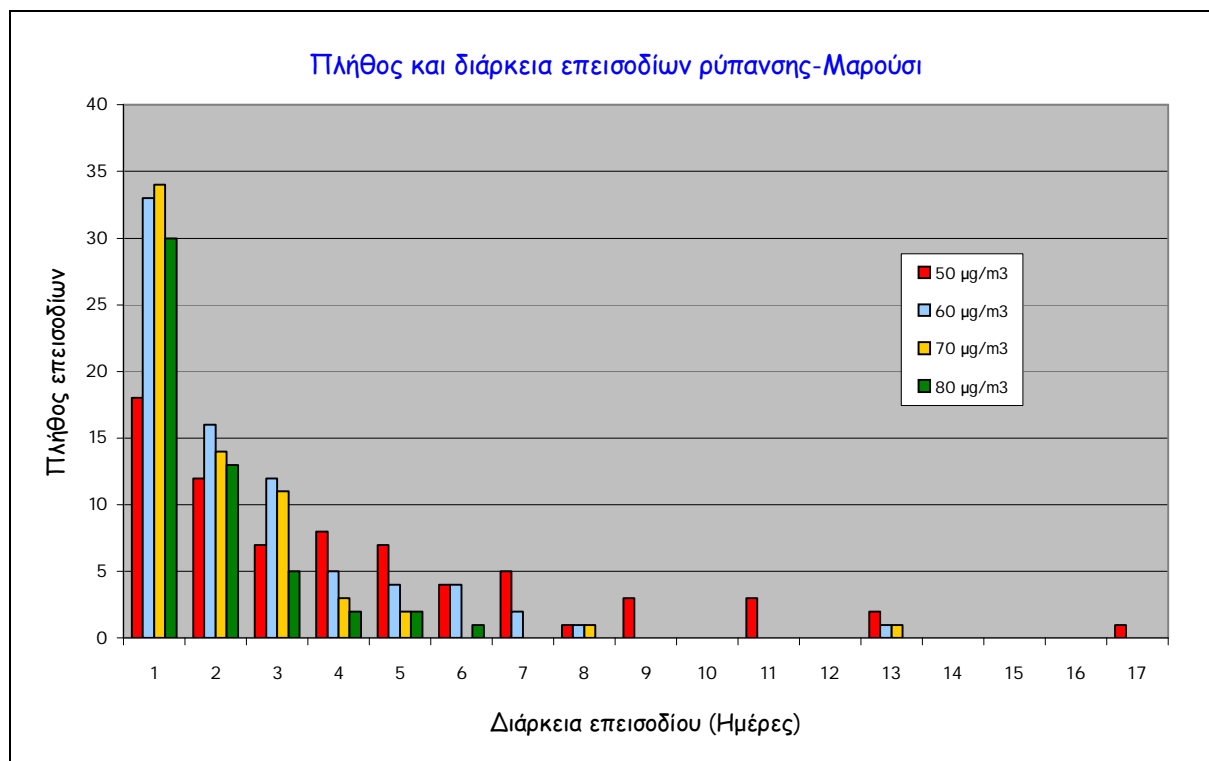
Διάγραμμα 8.48: Πλήθος και διάρκεια επεισοδίων ρύπανσης PM10 στο σταθμό Γουδί-2



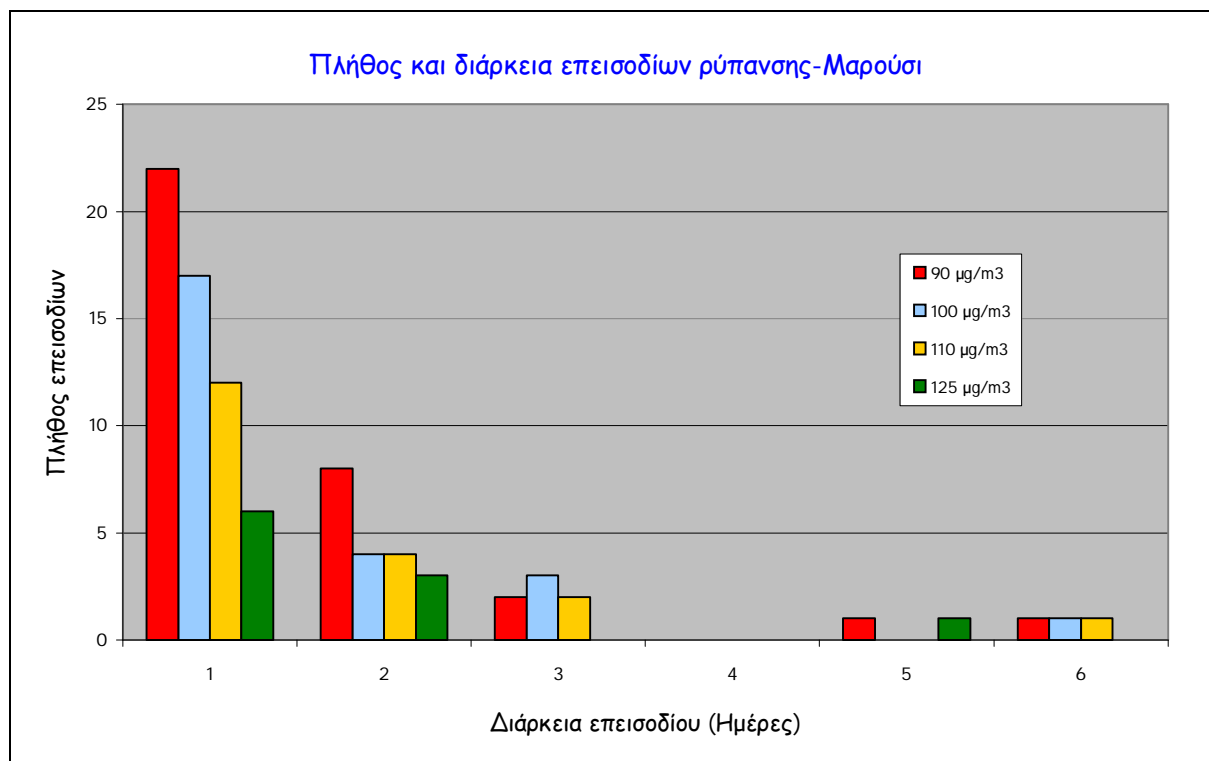
Διάγραμμα 8.49: Πλήθος και διάρκεια επεισοδίων ρύπανσης PM10 στο σταθμό Λυκόβρυση-1



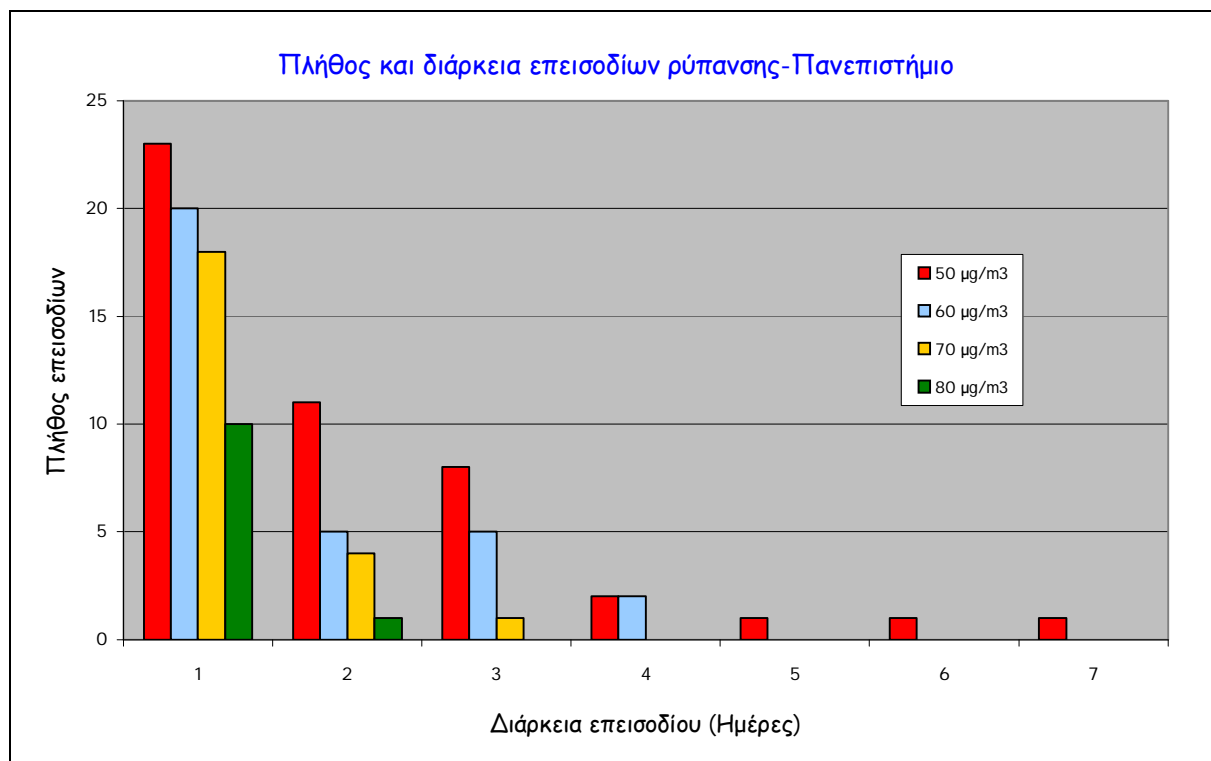
Διάγραμμα 8.50: Πλήθος και διάρκεια επεισοδίων ρύπανσης PM10 στο σταθμό Λυκόβρυση-2



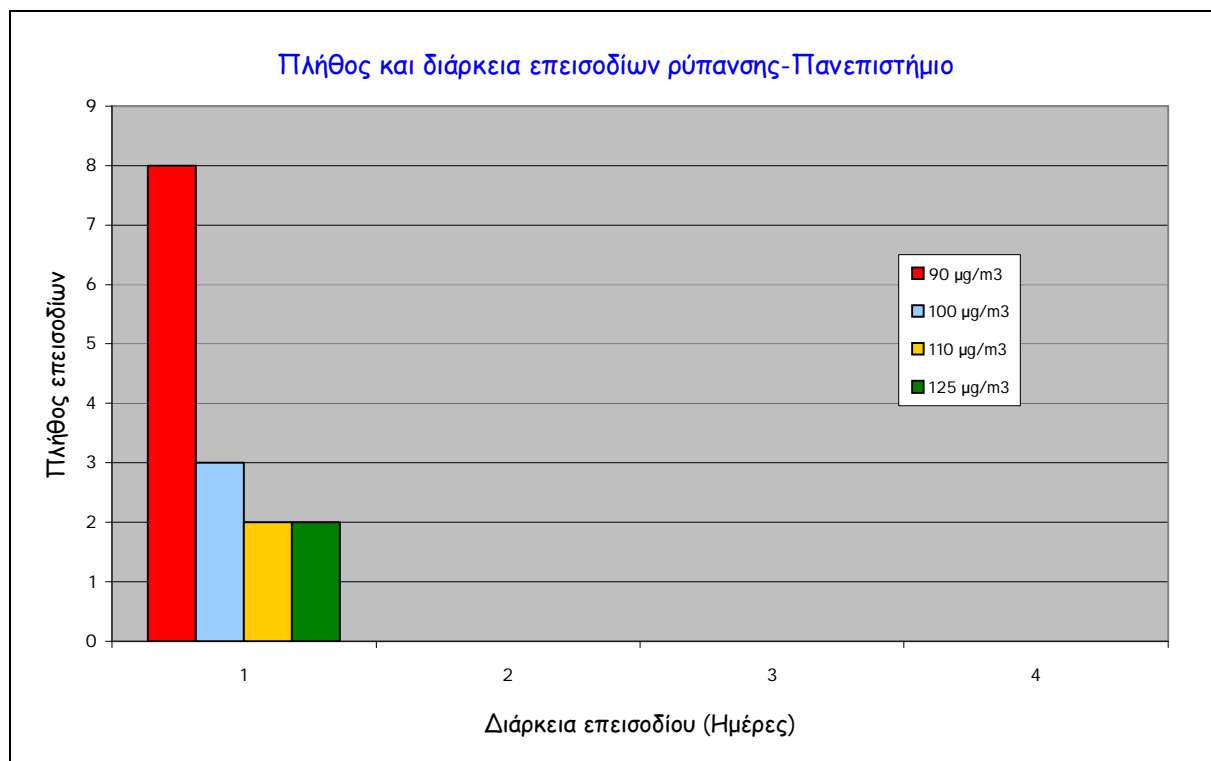
Διάγραμμα 8.51: Πλήθος και διάρκεια επεισοδίων ρύπανσης PM10 στο σταθμό Μαρούσι-1



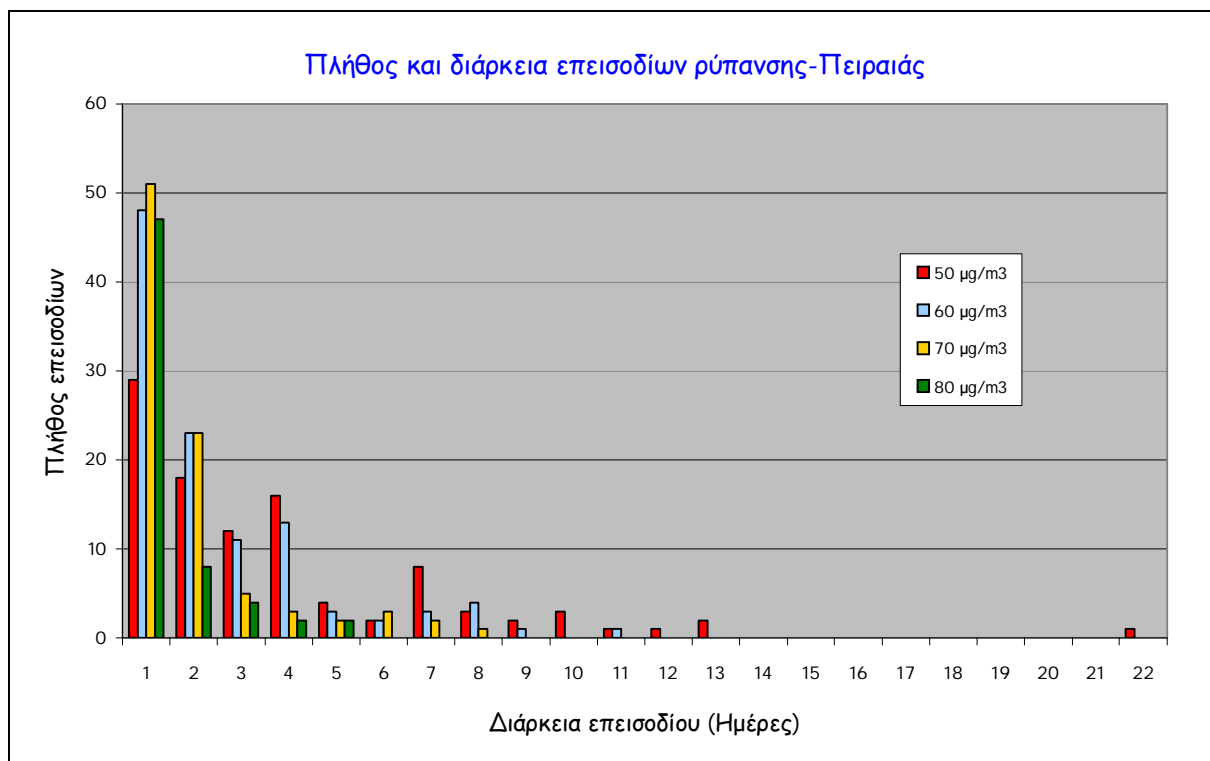
Διάγραμμα 8.52: Πλήθος και διάρκεια επεισοδίων ρύπανσης PM10 στο σταθμό Μαρούσι-2



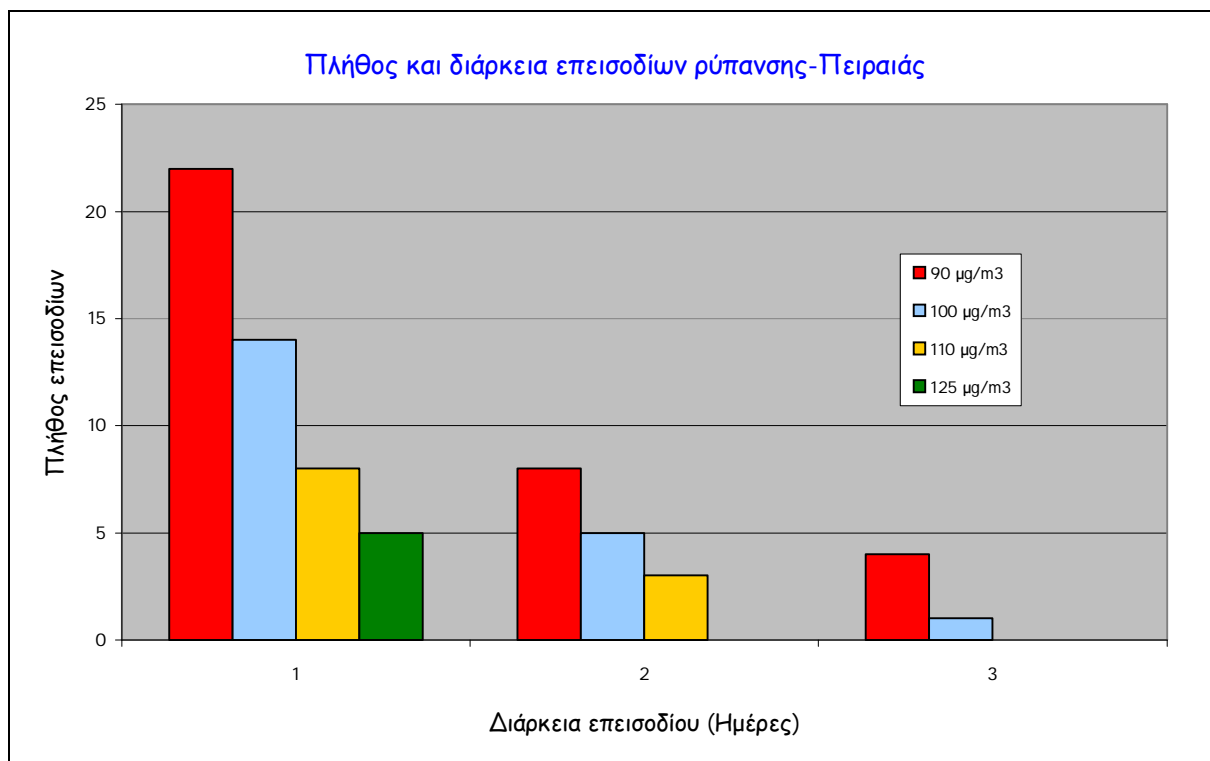
Διάγραμμα 8.53: Πλήθος και διάρκεια επεισοδίων ρύπανσης PM10 στο σταθμό Πανεπιστήμιο-1



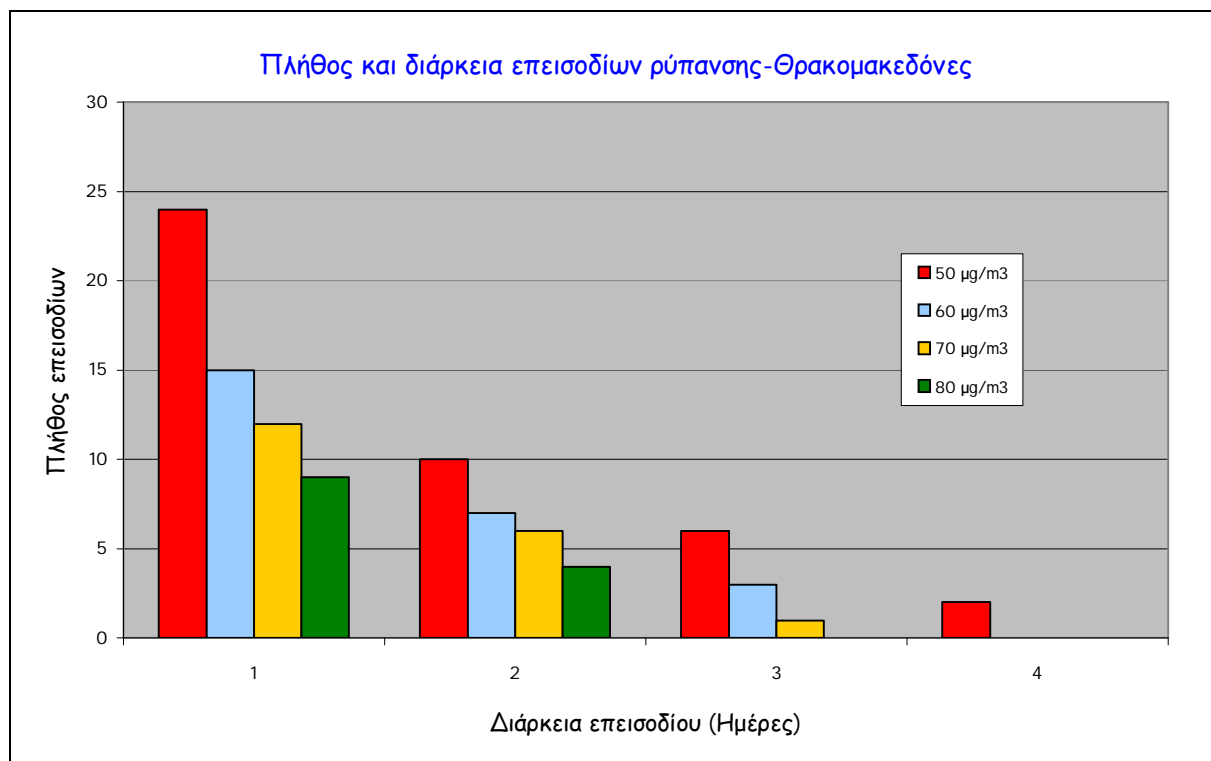
Διάγραμμα 8.54: Πλήθος και διάρκεια επεισοδίων ρύπανσης PM10 στο σταθμό Πανεπιστήμιο-2



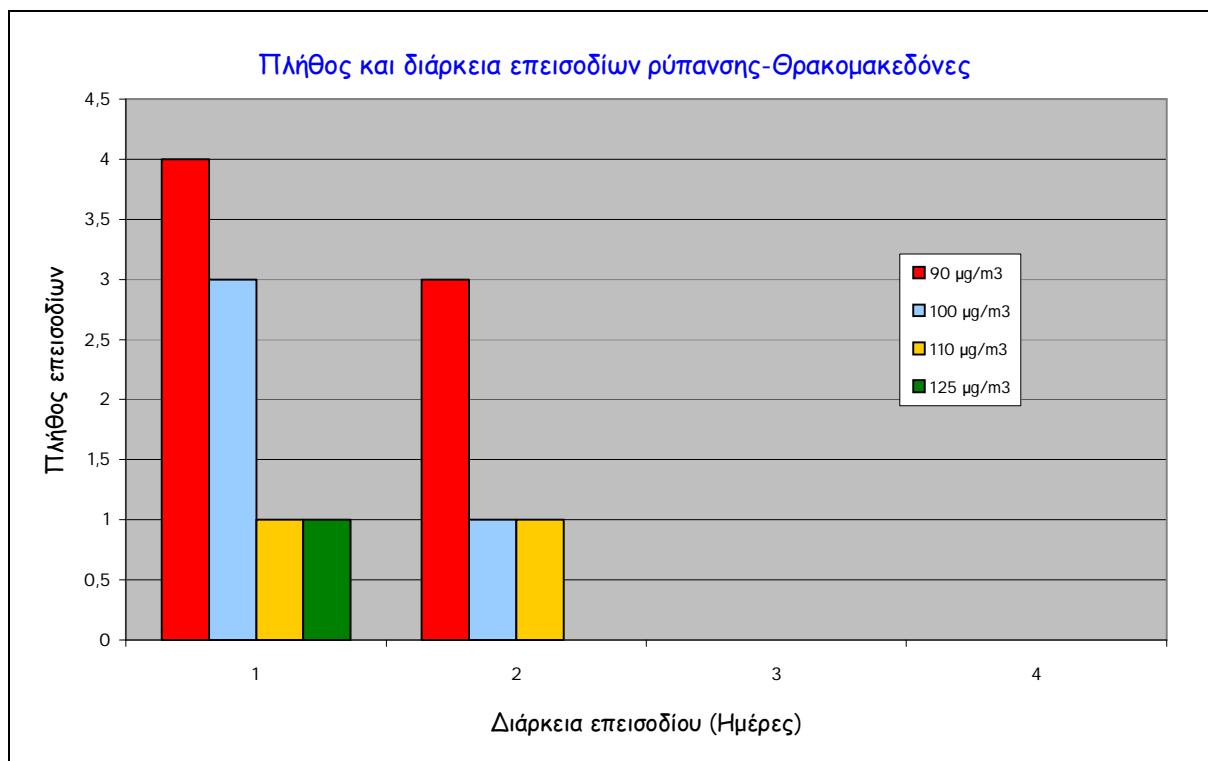
Διάγραμμα 8.55: Πλήθος και διάρκεια επεισοδίων ρύπανσης PM10 στο σταθμό Πειραιά-1



Διάγραμμα 8.56: Πλήθος και διάρκεια επεισοδίων ρύπανσης PM10 στο σταθμό Πειραιά-2



Διάγραμμα 8.57: Πλήθος και διάρκεια επεισοδίων ρύπανσης PM10 στο σταθμό Θρακομακεδόνες-1



Διάγραμμα 8.58: Πλήθος και διάρκεια επεισοδίων ρύπανσης PM10 στο σταθμό Θρακομακεδόνες-2

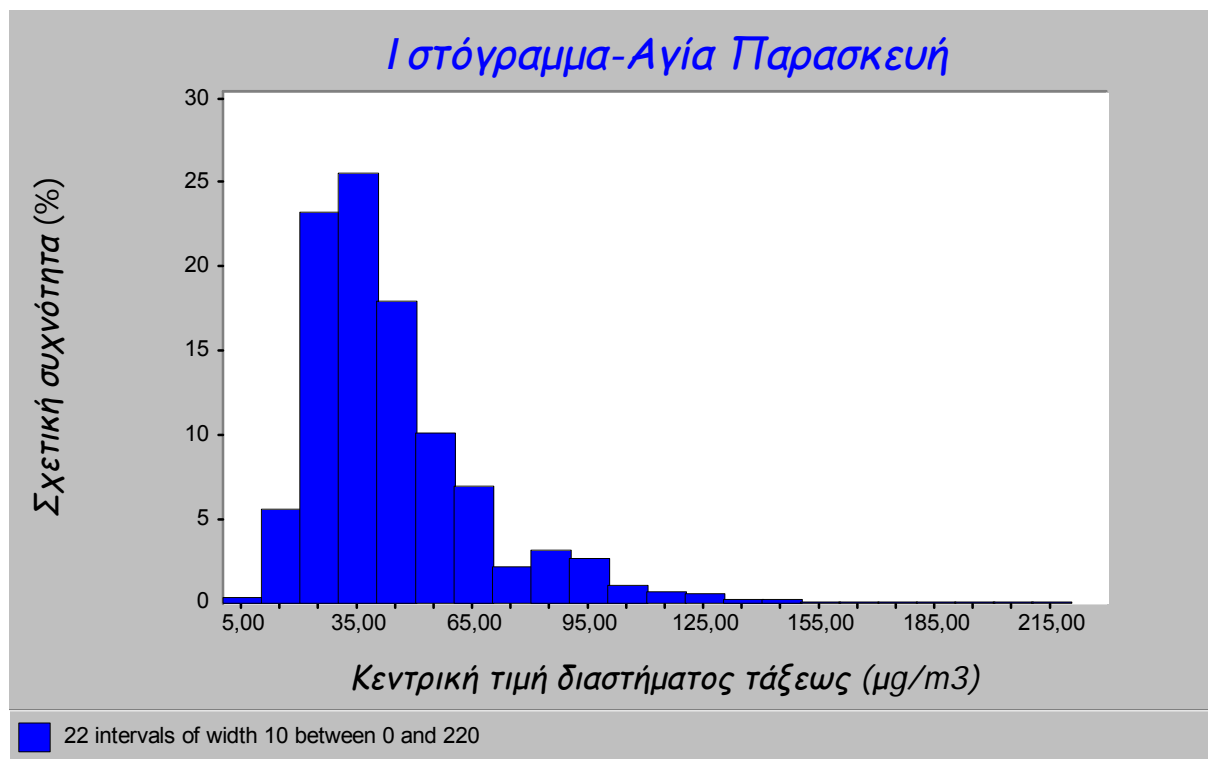
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΤΑΝΟΜΩΝ ΣΤΙΣ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ PM10

9.1 ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑΤΑ

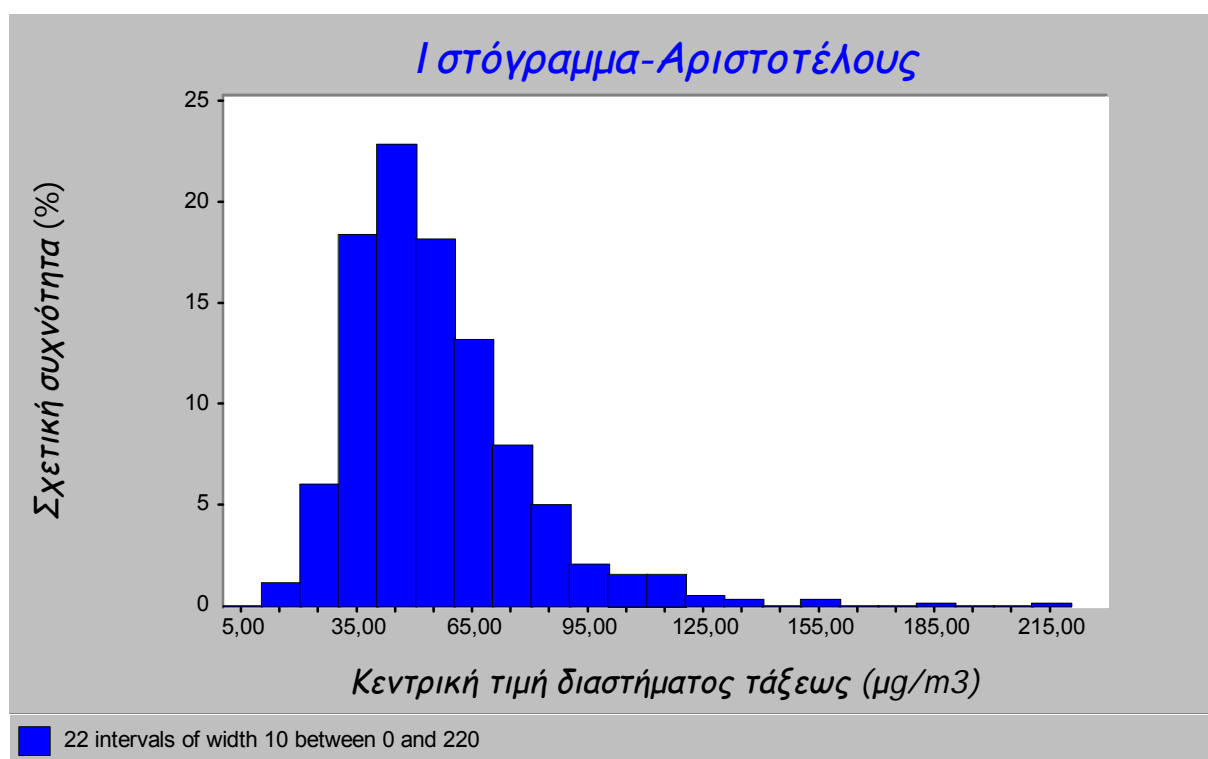
Όπως αναφέρθηκε οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη της στατιστικής κατανομής των χρονοσειρών των αιωρούμενων σωματιδίων για τους οκτώ σταθμούς μέτρησης του λεκανοπεδίου της Αττικής.

Για τα δεδομένα των οχτώ σταθμών κατασκευάζονται τα ιστογράμματα. Τα ιστογράμματα και για τους οχτώ σταθμούς κατασκευάζονται με τα ίδια χαρακτηριστικά, για διευκόλυνση της σύγκρισης τους. Συγκεκριμένα ως εύρος τιμών ορίζεται $R=220$, το οποίο υποδιαιρείται σε $k=22$ διαστήματα τάξεων με πλάτος $\delta=10$. Επομένως το μηδέν είναι η ελάχιστη και το 220 η μέγιστη τιμή της μέσης ημερήσιας συγκέντρωσης σε κάθε ιστόγραμμα.

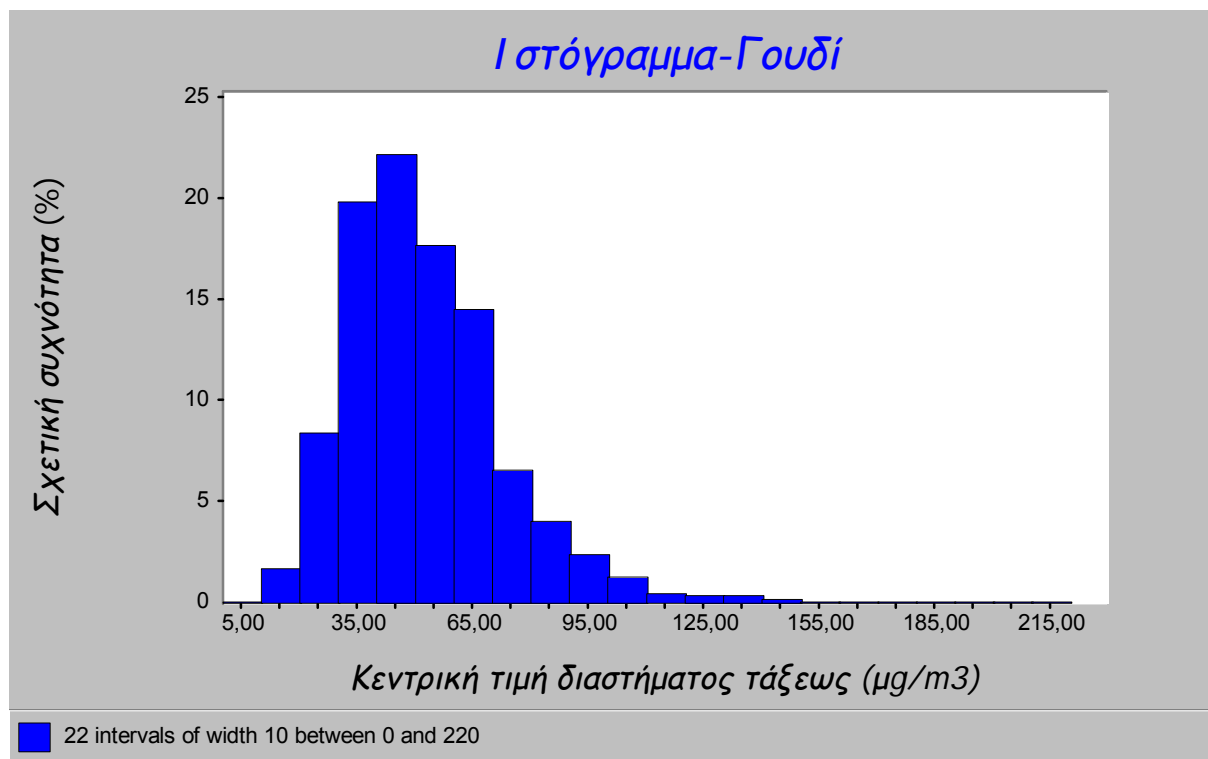
Με αυτόν τον τρόπο προκύπτουν τα ιστογράμματα τα οποία παρουσιάζονται στα διαγράμματα 9.1 έως 9.8.



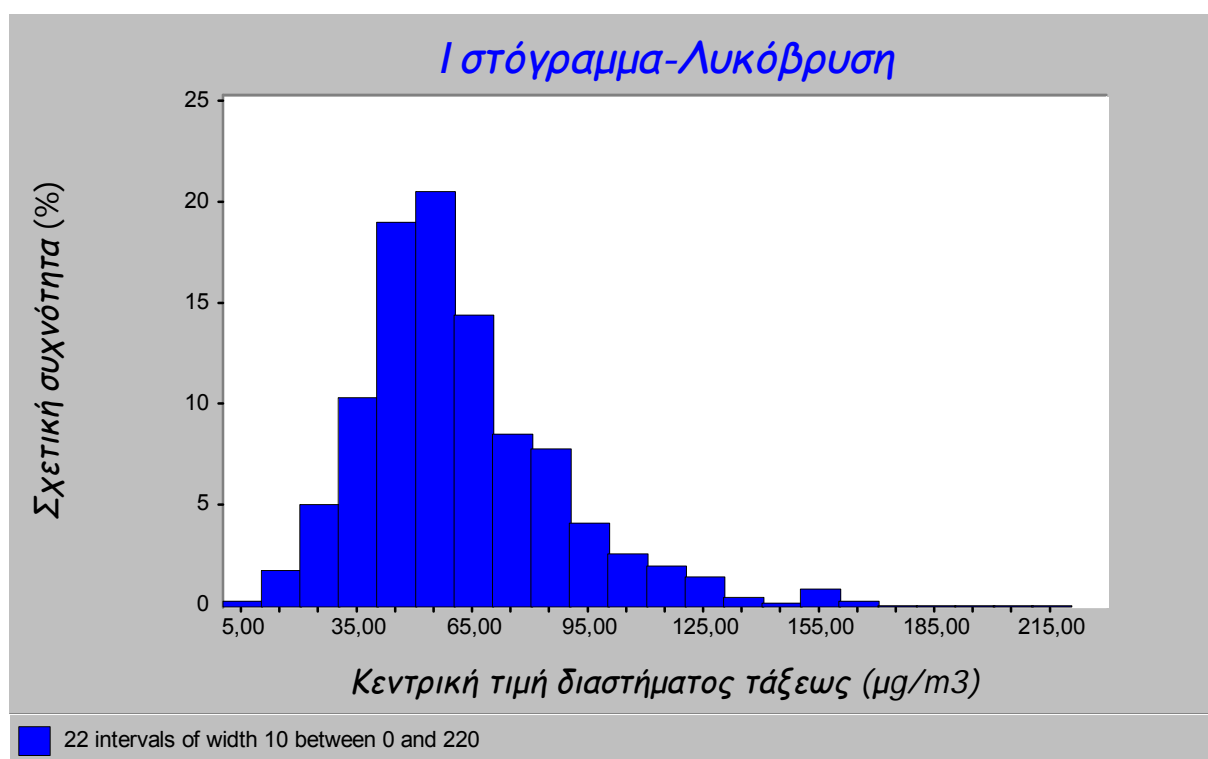
Διάγραμμα 9.1: Ιστόγραμμα συχνοτήτων μέσων ημερήσιων συγκεντρώσεων PM10 στο σταθμό Αγία Παρασκευή



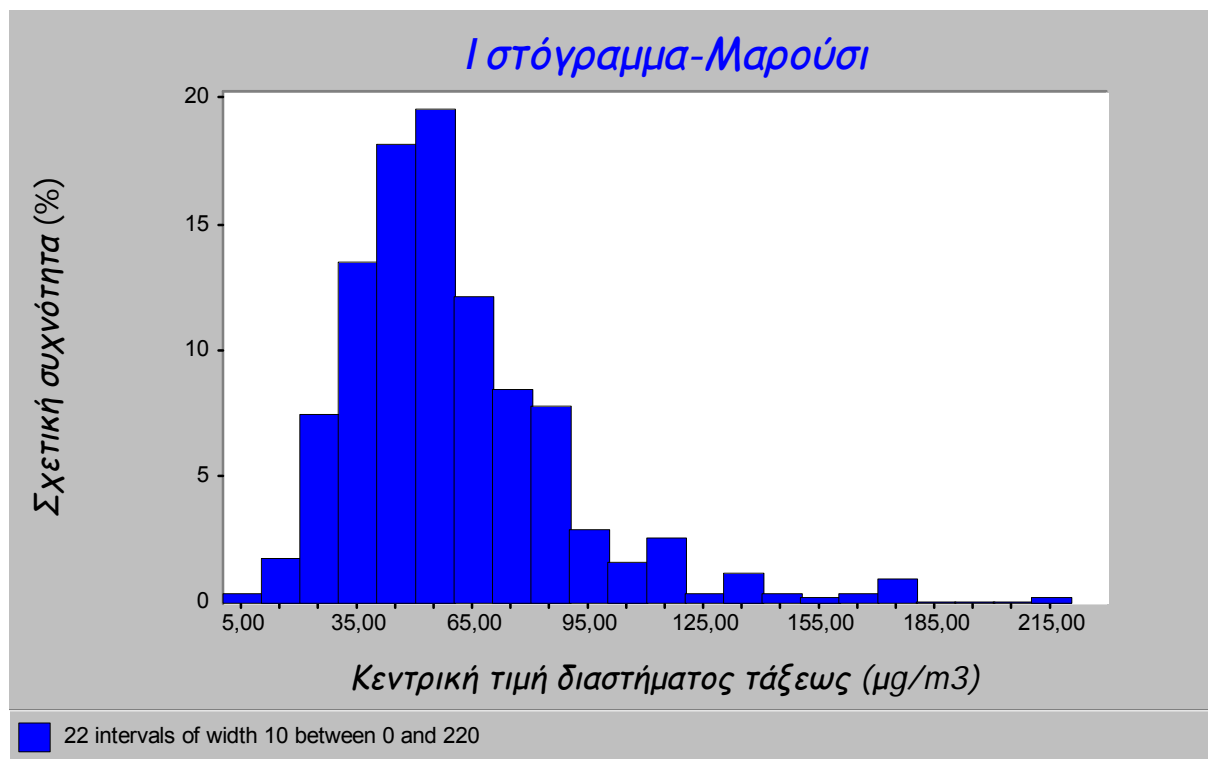
Διάγραμμα 9.2: Ιστόγραμμα συχνοτήτων μέσων ημερήσιων συγκεντρώσεων PM10 στο σταθμό Αριστοτέλους



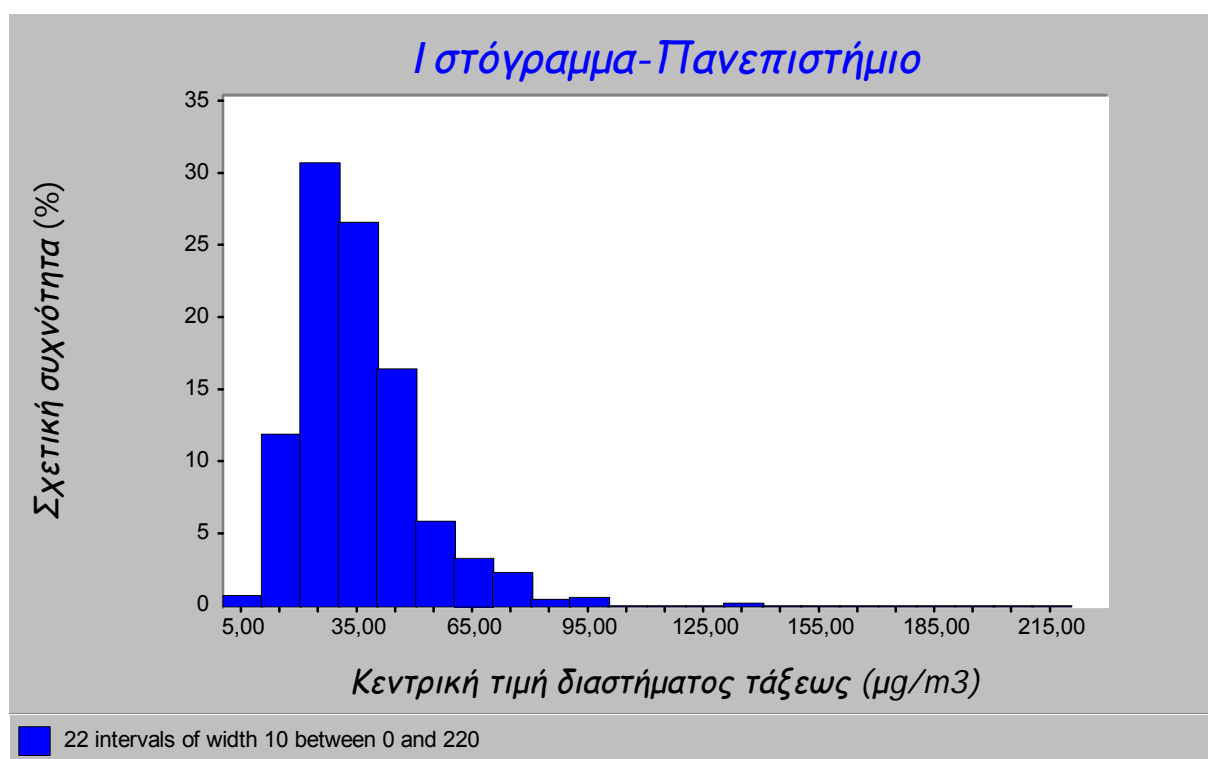
Διάγραμμα 9.3: Ιστόγραμμα συχνοτήτων μέσων ημερήσιων συγκεντρώσεων PM10 στο σταθμό Γουδί



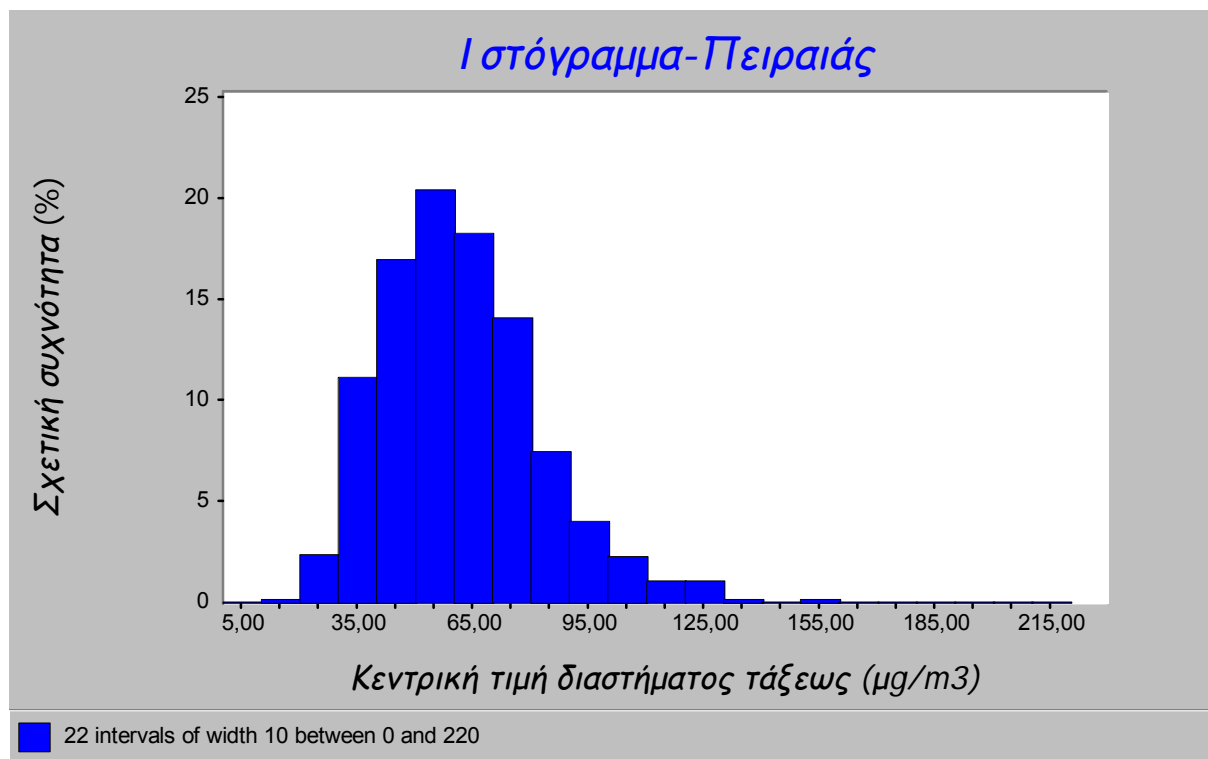
Διάγραμμα 9.4: Ιστόγραμμα συχνοτήτων μέσων ημερήσιων συγκεντρώσεων PM10 στο σταθμό Λυκόβρυση



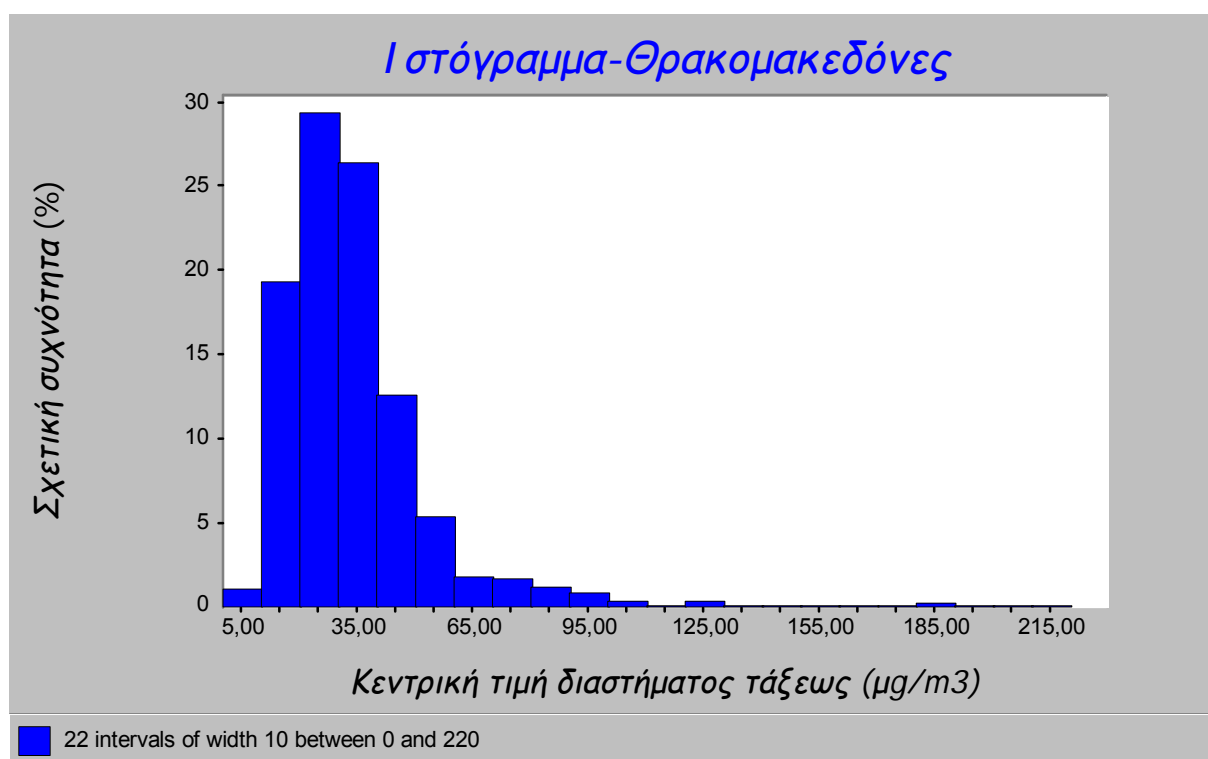
Διάγραμμα 9.5: Ιστόγραμμα συχνοτήτων μέσων ημερήσιων συγκεντρώσεων PM10 στο σταθμό Μαρούσι



Διάγραμμα 9.6: Ιστόγραμμα συχνοτήτων μέσων ημερήσιων συγκεντρώσεων PM10 στο σταθμό Πανεπιστήμιο



Διάγραμμα 9.7: Ιστόγραμμα συχνοτήτων μέσων ημερήσιων συγκεντρώσεων PM10 στο σταθμό Πειραιά



Διάγραμμα 9.8: Ιστόγραμμα συχνοτήτων μέσων ημερήσιων συγκεντρώσεων PM10 στο σταθμό Θρακομακεδόνες

9.2 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΤΑΝΟΜΩΝ

Αναζητείται η θεωρητική κατανομή την οποία ακολουθεί η κάθε χρονοσειρά και στην οποία τα δεδομένα ανταποκρίνονται όσο το δυνατόν καλύτερα. Οι θεωρητικές κατανομές που χρησιμοποιήθηκαν είναι αυτές που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 7.

Τα αποτελέσματα της προσαρμογής αυτής συνοψίζονται στους πίνακες 9.1 έως 9.8, όπου παρουσιάζονται και οι τιμές των παραμέτρων κάθε κατανομής.

Να σημειωθεί πως οι παράμετροι shape και scale των κατανομών υπολογίστηκαν με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας (MLE), ενώ οι παράμετροι location-threshold της τριπαραμετρικής λογαριθμικής-κανονικής, τριπαραμετρικής γάμμα, τριπαραμετρικής Weibull, διπαραμετρικής εκθετικής και της βήτα υπολογίστηκαν με βάση την αριστοποίηση των αποτελεσμάτων.

Πίνακες 9.1-9.8: Εκτιμημένες παράμετροι θεωρητικών κατανομών προσαρμοσμένων στις χρονοσειρές των μέσων ημερήσιων συγκεντρώσεων PM10

ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ

Κατανομή	Παράμετρος	Μέθοδος εκτίμησης	Τιμή παραμέτρου
1 - Λογαριθμοκανονική 3p	Location	OPT	4,53725
	Scale	ML	3,5184
	Shape	ML	0,53789
2 - Pearson τύπου V	Location	Default	0
	Scale	ML	169,49605
	Shape	ML	4,85062
3 - Λογαριθμοκανονική 2p	Location	Default	0
	Scale	ML	3,66033
	Shape	ML	0,46619
4 - Γάμμα 3p	Location	OPT	8,98054
	Scale	ML	12,88659
	Shape	ML	2,67367
5 - Βήτα	Κατώτερο σημείο	OPT	9,18646
	Ανώτερο σημείο	OPT	274,93406
	Shape #1	ML	2,25396
	Shape #2	ML	15,15385
6 - Γάμμα 2p	Location	Default	0
	Scale	ML	9,30626
	Shape	ML	4,66729
7 - Weibull 3p	Location	OPT	9,31626
	Scale	ML	38,27329
	Shape	ML	1,65049
8 - Weibull 2p	Location	Default	0
	Scale	ML	49,25717
	Shape	ML	2,10917
9 - Εκθετική 2p	Location	OPT	9,34952
	Scale	ML	34,08553
10 - Εκθετική 1p	Location	Default	0

	Scale	ML	43,43505
--	-------	----	----------

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΟΥΣ

Κατανομή	Παράμετρος	Μέθοδος εκτίμησης	Τιμή παραμέτρου
1 - Λογαριθμοκανονική 2p	Location	Default	0
	Scale	ML	3,933
	Shape	ML	0,39415
2 - Λογαριθμοκανονική 3p	Location	OPT	0,00794192
	Scale	ML	3,93283
	Shape	ML	0,39422
3 - Γάμμα 3p	Location	OPT	9,25231
	Scale	ML	10,65119
	Shape	ML	4,31582
4 - Pearson τύπου V	Location	Default	0
	Scale	ML	308,44174
	Shape	ML	6,53392
5 - Γάμμα 2p	Location	Default	0
	Scale	ML	8,43828
	Shape	ML	6,5441
6 - Βήτα	Κατώτερο σημείο	OPT	9,98651
	Ανώτερο σημείο	OPT	427,11008
	Shape #1	ML	3,63726
	Shape #2	ML	29,81434
7 - Weibull 3p	Location	OPT	10,74471
	Scale	ML	50,227
	Shape	ML	2,00032
8 - Weibull 2p	Location	Default	0
	Scale	ML	62,2132
	Shape	ML	2,42795
9 - Εκθετική 2p	Location	OPT	10,83275
	Scale	ML	44,38822
10 - Εκθετική 1p	Location	Default	0
	Scale	ML	55,22097

ΓΟΥΔΙ

Κατανομή	Παράμετρος	Μέθοδος εκτίμησης	Τιμή παραμέτρου
1 - Γάμμα 3p	Location	OPT	4,25439
	Scale	ML	8,10164
	Shape	ML	5,87751
2 - Γάμμα 2p	Location	Default	0
	Scale	ML	7,2734
	Shape	ML	7,13172
3 - Λογαριθμοκανονική 2p	Location	Default	0
	Scale	ML	3,87703
	Shape	ML	0,38543
4 - Λογαριθμοκανονική 3p	Location	OPT	0,000159442
	Scale	ML	3,87703
	Shape	ML	0,38543
5 - Βήτα	Κατώτερο σημείο	OPT	7,79563
	Ανώτερο σημείο	OPT	287,38762
	Shape #1	ML	4,10912
	Shape #2	ML	21,9307
6 - Weibull 3p	Location	OPT	10,10208
	Scale	ML	47,1283
	Shape	ML	2,19935
7 - Pearson τύπου V	Location	Default	0
	Scale	ML	293,14376

	Shape	ML	6,56481
8 - Weibull 2p	Location	Default	0
	Scale	ML	58,27146
	Shape	ML	2,72362
9 - Εκθετική 2p	Location	OPT	10,21686
	Scale	ML	41,65499
	Location	Default	0
10 - Εκθετική 1p	Location	Default	0
	Scale	ML	51,87186

ΛΥΚΟΒΡΥΣΗ

Κατανομή	Παράμετρος	Μέθοδος εκτίμησης	Τιμή παραμέτρου
1 - Γάμμα 2p	Location	Default	0
	Scale	ML	10,60706
	Shape	ML	5,73921
2 - Γάμμα 3p	Location	OPT	0,81149
	Scale	ML	10,80037
	Shape	ML	5,56135
3 - Βήτα	Κατώτερο σημείο	OPT	5,24576
	Ανώτερο σημείο	OPT	330,80602
	Shape #1	ML	3,81496
	Shape #2	ML	18,47792
4 - Λογαριθμοκανονική 2p	Location	Default	0
	Scale	ML	4,0192
	Shape	ML	0,43663
5 - Weibull 3p	Location	OPT	8,80798
	Scale	ML	58,72963
	Shape	ML	2,10217
6 - Weibull 2p	Location	Default	0
	Scale	ML	68,65947
	Shape	ML	2,47353
7 - Pearson τύπου V	Location	Default	0
	Scale	ML	246,71748
	Shape	ML	4,92351
8 - Εκθετική 2p	Location	OPT	8,99952
	Scale	ML	51,87662
9 - Εκθετική 1p	Location	Default	0
	Scale	ML	60,87614

ΜΑΡΟΥΣΙ

Κατανομή	Παράμετρος	Μέθοδος εκτίμησης	Τιμή παραμέτρου
1 - Λογαριθμοκανονική 2p	Location	Default	0
	Scale	ML	3,98608
	Shape	ML	0,46258
2 - Λογαριθμοκανονική 3p	Location	OPT	0,00013141
	Scale	ML	3,98608
	Shape	ML	0,46258
3 - Γάμμα 3p	Location	OPT	5,09346
	Scale	ML	13,6518
	Shape	ML	4,00509
4 - Γάμμα 2p	Location	Default	0
	Scale	ML	12,0779
	Shape	ML	4,94872
5 - Βήτα	Κατώτερο σημείο	OPT	6,42507
	Ανώτερο σημείο	OPT	412,91718
	Shape #1	ML	3,21837
	Shape #2	ML	21,21773
6 - Pearson τύπου V	Location	Default	0

	Scale	ML	219,72011
	Shape	ML	4,57057
7 - Weibull 3p	Location	OPT	8,29986
	Scale	ML	58,06633
	Shape	ML	1,88833
8 - Weibull 2p	Location	Default	0
	Scale	ML	67,61906
	Shape	ML	2,18767
9 - Εκθετική 2p	Location	OPT	8,42042
	Scale	ML	51,34977
10 - Εκθετική 1p	Location	Default	0
	Scale	ML	59,77019

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Κατανομή	Παράμετρος	Μέθοδος εκτίμησης	Τιμή παραμέτρου
1 - Λογαριθμοκανονική 2p	Location	Default	0
	Scale	ML	3,45984
	Shape	ML	0,43563
2 - Λογαριθμοκανονική 3p	Location	OPT	0,000930069
	Scale	ML	3,45981
	Shape	ML	0,43564
3 - Γάμμα 3p	Location	OPT	6,57186
	Scale	ML	8,48854
	Shape	ML	3,34789
4 - Βήτα	Κατώτερο σημείο	OPT	7,53194
	Ανώτερο σημείο	OPT	268,4069
	Shape #1	ML	2,71271
	Shape #2	ML	22,98383
5 - Γάμμα 2p	Location	Default	0
	Scale	ML	6,46651
	Shape	ML	5,41104
6 - Pearson τύπου V	Location	Default	0
	Scale	ML	156,32919
	Shape	ML	5,40574
7 - Weibull 3p	Location	OPT	8,62452
	Scale	ML	29,60258
	Shape	ML	1,70992
8 - Weibull 2p	Location	Default	0
	Scale	ML	39,56037
	Shape	ML	2,25305
9 - Εκθετική 2p	Location	OPT	8,69521
	Scale	ML	26,29536
10 - Εκθετική 1p	Location	Default	0
	Scale	ML	34,99057

ΠΕΙΡΑΙΑΣ

Κατανομή	Παράμετρος	Μέθοδος εκτίμησης	Τιμή παραμέτρου
1 - Γάμμα 3p	Location	OPT	3,3766
	Scale	ML	7,09655
	Shape	ML	8,18733
2 - Γάμμα 2p	Location	Default	0
	Scale	ML	6,64866
	Shape	ML	9,24673
3 - Βήτα	Κατώτερο σημείο	OPT	11,67558
	Ανώτερο σημείο	OPT	296,26385
	Shape #1	ML	4,79597
	Shape #2	ML	22,59338

4 - Λογαριθμοκανονική 2p	Location	Default	0
	Scale	ML	4,06364
	Shape	ML	0,33599
5 - Λογαριθμοκανονική 3p	Location	OPT	0,000279589
	Scale	ML	4,06363
	Shape	ML	0,33599
6 - Weibull 3p	Location	OPT	17,7276
	Scale	ML	49,35538
	Shape	ML	2,24049
7 - Pearson τύπου V	Location	Default	0
	Scale	ML	482,48878
	Shape	ML	8,78721
8 - Weibull 2p	Location	Default	0
	Scale	ML	68,60067
	Shape	ML	3,13187
9 - Εκθετική 2p	Location	OPT	17,91576
	Scale	ML	43,56261
10 - Εκθετική 1p	Location	Default	0
	Scale	ML	61,47838

ΘΡΑΚΟΜΑΚΕΔΟΝΕΣ

Κατανομή	Παράμετρος	Μέθοδος εκτίμησης	Τιμή παραμέτρου
1 - Λογαριθμοκανονική 2p	Location	Default	0
	Scale	ML	3,39153
	Shape	ML	0,47285
2 - Λογαριθμοκανονική 3p	Location	OPT	0,000326834
	Scale	ML	3,39152
	Shape	ML	0,47286
3 - Γάμμα 3p	Location	OPT	6,30628
	Scale	ML	9,72717
	Shape	ML	2,77808
4 - Βήτα	Κατώτερο σημείο	OPT	7,0345
	Ανώτερο σημείο	OPT	362,4379
	Shape #1	ML	2,35588
	Shape #2	ML	29,34186
5 - Pearson τύπου V	Location	Default	0
	Scale	ML	124,73905
	Shape	ML	4,68849
6 - Γάμμα 2p	Location	Default	0
	Scale	ML	7,38736
	Shape	ML	4,51164
7 - Weibull 3p	Location	OPT	7,93456
	Scale	ML	28,3042
	Shape	ML	1,53726
8 - Weibull 2p	Location	Default	0
	Scale	ML	37,72594
	Shape	ML	1,98468
9 - Εκθετική 2p	Location	OPT	7,99959
	Scale	ML	25,32952
10 - Εκθετική 1p	Location	Default	0
	Scale	ML	33,32911

9.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΚΑΛΗΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ

Από τις θεωρητικές αυτές κατανομές αναζητείται αυτή την οποία ακολουθεί η κάθε χρονοσειρά και η οποία ανταποκρίνεται όσο το δυνατόν καλύτερα στα υπό εξέταση δεδομένα. Τα κριτήρια καλής προσαρμογής που υπολογίζονται είναι οι στατιστικοί δείκτες και τα «παραδοσιακά τεστ καλής προσαρμογής».

Στους πίνακες 9.9 έως 9.24 παρουσιάζονται αναλυτικά οι τιμές των κριτηρίων αυτών για όλες τις θεωρητικές κατανομές των χρονοσειρών των οχτώ σταθμών μέτρησης.

Πίνακας 9.9-9.16: Στατιστικοί δείκτες θεωρητικών κατανομών προσαρμοσμένων στις χρονοσειρές των μέσων ημερήσιων συγκεντρώσεων PM10

ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ

Κατανομή	R ²	MBE	MAE	RMSE	RMSEu	RMSEs	PSE	d
Λογαριθμική κανονική 2p	0,990	-0,137	1,257	2,319	2,131	0,915	0,156	0,997
Λογαριθμική κανονική 3p	0,988	0,034	1,109	2,409	2,399	0,223	0,009	0,997
Γάμμα 2p	0,974	-0,020	2,627	3,900	3,233	2,182	0,313	0,991
Γάμμα 3p	0,987	-0,027	1,816	2,617	2,368	1,114	0,181	0,996
Weibull 2p	0,945	0,176	4,213	5,154	5,080	0,869	0,028	0,986
Weibull 3p	0,973	0,084	2,823	3,596	3,453	1,007	0,078	0,993
Εκθετική 1p	0,985	-0,083	15,610	21,417	5,241	20,766	0,940	0,891
Εκθετική 2p	0,985	-0,065	8,751	12,286	4,113	11,577	0,888	0,951
Βήτα	0,978	0,141	2,405	3,367	3,043	1,441	0,183	0,994

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΟΥΣ

Κατανομή	R ²	MBE	MAE	RMSE	RMSEu	RMSEs	PSE	d
Λογαριθμική κανονική 2p	0,987	-0,070	0,925	2,752	2,546	1,043	0,144	0,996
Λογαριθμική κανονική 3p	0,987	-0,070	0,925	2,751	2,546	1,042	0,143	0,996
Γάμμα 2p	0,962	-0,019	2,046	4,744	4,175	2,254	0,226	0,989
Γάμμα 3p	0,972	-0,023	1,657	4,020	3,676	1,627	0,164	0,992
Weibull 2p	0,924	-0,070	4,553	6,662	6,661	0,123	0,000	0,980
Weibull 3p	0,946	0,019	3,299	5,460	5,404	0,779	0,020	0,986
Εκθετική 1p	0,975	-0,106	23,689	31,849	8,586	30,669	0,927	0,832
Εκθετική 2p	0,975	-0,085	15,770	21,229	6,902	20,076	0,894	0,900
Βήτα	0,963	0,101	2,085	4,567	4,234	1,712	0,141	0,990

ΓΟΥΔΙ

Κατανομή	R ²	MBE	MAE	RMSE	RMSEu	RMSEs	PSE	d
Λογαριθμική κανονική 2p	0,997	0,104	0,901	1,321	1,055	0,795	0,362	0,999
Λογαριθμική κανονική 3p	0,997	0,104	0,901	1,321	1,055	0,796	0,362	0,999
Γάμμα 2p	0,994	-0,015	0,826	1,607	1,507	0,557	0,120	0,998
Γάμμα 3p	0,995	-0,016	0,712	1,357	1,317	0,330	0,059	0,999

Weibull 2p	0,967	-0,044	2,756	3,748	3,734	0,315	0,007	0,991
Weibull 3p	0,982	-0,043	1,823	2,696	2,695	0,062	0,001	0,995
Εκθετική 1p	0,955	-0,091	23,170	32,293	10,934	30,386	0,885	0,793
Εκθετική 2p	0,955	-0,073	15,745	22,294	8,780	20,492	0,845	0,866
Βήτα	0,991	0,031	1,057	1,893	1,852	0,393	0,043	0,998

ΛΥΚΟΒΡΥΣΗ

Κατανομή	R ²	MBE	MAE	RMSE	RMSEu	RMSEs	PSE	d
Λογαριθμική κανονική 2p	0,992	0,305	1,848	3,193	2,560	1,909	0,357	0,996
Γάμμα 2p	0,992	-0,021	1,669	2,412	2,331	0,617	0,066	0,998
Γάμμα 3p	0,992	-0,021	1,652	2,365	2,299	0,556	0,055	0,998
Weibull 2p	0,967	0,016	3,778	4,781	4,781	0,016	0,000	0,991
Weibull 3p	0,978	-0,067	2,952	3,810	3,805	0,177	0,002	0,995
Εκθετική 1p	0,958	-0,104	25,360	35,479	12,422	33,233	0,877	0,829
Εκθετική 2p	0,958	-0,088	18,778	26,693	10,585	24,504	0,843	0,879
Βήτα	0,986	0,066	2,170	3,054	2,981	0,664	0,047	0,996

ΜΑΡΟΥΣΙ

Κατανομή	R ²	MBE	MAE	RMSE	RMSEu	RMSEs	PSE	d
Λογαριθμική κανονική 2p	0,991	0,095	1,866	2,752	2,749	0,143	0,003	0,998
Λογαριθμική κανονική 3p	0,991	0,095	1,866	2,752	2,749	0,143	0,003	0,998
Γάμμα 2p	0,971	-0,029	2,633	5,155	4,577	2,372	0,212	0,991
Γάμμα 3p	0,975	-0,033	2,477	4,653	4,259	1,873	0,162	0,993
Weibull 2p	0,938	0,094	5,145	7,203	7,156	0,821	0,013	0,984
Weibull 3p	0,954	0,041	4,132	6,154	6,056	1,090	0,031	0,988
Εκθετική 1p	0,977	-0,127	23,248	31,073	9,012	29,738	0,916	0,874
Εκθετική 2p	0,977	-0,109	17,084	22,856	7,743	21,505	0,885	0,917
Βήτα	0,965	0,166	3,083	5,489	5,093	2,047	0,139	0,990

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Κατανομή	R ²	MBE	MAE	RMSE	RMSEu	RMSEs	PSE	d
Λογαριθμική κανονική 2p	0,994	-0,035	0,525	1,276	1,204	0,423	0,110	0,998
Λογαριθμική κανονική 3p	0,994	-0,034	0,525	1,276	1,204	0,423	0,110	0,998
Γάμμα 2p	0,972	-0,012	1,383	2,912	2,515	1,467	0,254	0,991
Γάμμα 3p	0,983	-0,015	0,930	2,227	2,032	0,911	0,167	0,995
Weibull 2p	0,938	0,042	2,764	4,099	4,085	0,335	0,007	0,984
Weibull 3p	0,968	0,024	1,598	2,928	2,856	0,644	0,048	0,992
Εκθετική 1p	0,981	-0,055	13,900	18,759	4,820	18,129	0,934	0,864
Εκθετική 2p	0,981	-0,042	7,555	10,250	3,622	9,589	0,875	0,941
Βήτα	0,975	0,069	1,197	2,636	2,450	0,974	0,136	0,993

ΠΕΙΡΑΙΑΣ

Κατανομή	R ²	MBE	MAE	RMSE	RMSEu	RMSEs	PSE	d
Λογαριθμική κανονική 2p	0,997	0,060	1,005	1,388	1,235	0,635	0,209	0,999
Λογαριθμική κανονική 3p	0,997	0,059	1,005	1,388	1,235	0,634	0,209	0,999
Γάμμα 2p	0,997	-0,015	0,553	1,150	1,089	0,368	0,103	0,999
Γάμμα 3p	0,998	-0,016	0,515	1,032	0,994	0,277	0,072	0,999
Weibull 2p	0,972	-0,105	2,680	3,612	3,553	0,654	0,033	0,993

Weibull 3p	0,991	-0,049	1,296	1,970	1,970	0,051	0,001	0,998
Εκθετική 1p	0,936	-0,118	29,720	41,400	15,436	38,414	0,861	0,738
Εκθετική 2p	0,936	-0,084	16,717	23,904	10,938	21,255	0,791	0,857
Βήτα	0,995	0,016	0,698	1,390	1,360	0,285	0,042	0,999

ΘΡΑΚΟΜΑΚΕΔΟΝΕΣ

Κατανομή	R ²	MBE	MAE	RMSE	RMSEu	RMSEs	PSE	d
Λογαριθμική κανονική 2p	0,973	-0,133	1,168	3,167	2,725	1,614	0,260	0,991
Λογαριθμική κανονική 3p	0,973	-0,133	1,168	3,167	2,725	1,614	0,260	0,991
Γάμμα 2p	0,931	-0,015	1,948	4,952	4,103	2,773	0,313	0,978
Γάμμα 3p	0,948	-0,020	1,594	4,239	3,659	2,140	0,255	0,984
Weibull 2p	0,896	0,097	3,555	5,786	5,653	1,231	0,045	0,973
Weibull 3p	0,932	0,068	2,343	4,677	4,401	1,583	0,115	0,981
Εκθετική 1p	0,969	-0,061	12,337	15,768	5,798	14,664	0,865	0,903
Εκθετική 2p	0,969	-0,046	6,513	8,155	4,406	6,862	0,708	0,964
Βήτα	0,940	0,103	1,831	4,512	3,987	2,112	0,219	0,982

Πίνακες 9.17-9.24: Αποτελέσματα «παραδοσιακών τεστ καλής προσαρμογής» θεωρητικών κατανομών προσαρμοσμένων στις χρονοσειρές των μέσων ημερήσιων συγκεντρώσεων PM10

ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ

Κατανομή	Τεστ Anderson-Darling			Τεστ Kolmogorov-Smirnof		
	Στατιστικό	Αποδοχή (α)	Κατάταξη	Στατιστικό	Αποδοχή (α)	Κατάταξη
1 - Λογαριθμοκανονική 3p	0,73104	Ναι	1	0,03891	Ναι	2
2 - Pearson τύπου V	0,81475	0,025	2	0,03601	Ναι	1
3 - Λογαριθμοκανονική 2p	1,10109	0,005	3	0,04789	0,05	3
4 - Γάμμα 3p	2,29219	0,05	4	0,06186	0,02	4
5 - Βήτα	3,83954	0,01	5	0,0757	Όχι	5
6 - Γάμμα 2p	4,52701	Όχι	6	0,07933	Όχι	6
7 - Weibull 3p	5,62879	Όχι	7	0,08179	Όχι	7
8 - Weibull 2p	11,53288	Όχι	8	0,10906	Όχι	8
9 - Εκθετική 2p	44,72718	Όχι	9	0,2165	Όχι	9
10 - Εκθετική 1p	81,61367	Όχι	10	0,31271	Όχι	10

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΟΥΣ

Κατανομή	Τεστ Anderson-Darling			Τεστ Kolmogorov-Smirnof		
	Στατιστικό	Αποδοχή (α)	Κατάταξη	Στατιστικό	Αποδοχή (α)	Κατάταξη
1 - Λογαριθμοκανονική 2p	0,3942	Ναι	1	0,02442	Ναι	1
2 - Λογαριθμοκανονική 3p	0,39422	Ναι	2	0,02442	Ναι	2
3 - Γάμμα 3p	1,17985	Ναι	3	0,03065	Ναι	3
4 - Pearson τύπου V	1,35476	Όχι	4	0,03773	Ναι	4
5 - Γάμμα 2p	1,8326	Όχι	5	0,04207	Ναι	6
6 - Βήτα	1,94023	0,05	6	0,03955	Ναι	5
7 - Weibull 3p	5,86664	Όχι	7	0,06525	Όχι	7
8 - Weibull 2p	10,18426	Όχι	8	0,08499	Όχι	8
9 - Εκθετική 2p	73,26518	Όχι	9	0,27945	Όχι	9
10 - Εκθετική 1p	104,22077	Όχι	10	0,34783	Όχι	10

ΓΟΥΔΙ

Κατανομή	Τεστ Anderson-Darling			Τεστ Kolmogorov-Smirnof		
	Στατιστικό	Αποδοχή (α)	Κατάταξη	Στατιστικό	Αποδοχή (α)	Κατάταξη
1 - Γάμμα 3p	0,43424	Ναι	1	0,02131	Ναι	1

2 - Γάμμα 2p	0,51673	0,1	2	0,02494	Ναι	4
3 - Λογαριθμοκανονική 2p	0,63855	0,05	3	0,02339	Ναι	2
4 - Λογαριθμοκανονική 3p	0,63856	Ναι	4	0,02339	Ναι	3
5 - Βήτα	0,88347	Ναι	5	0,0276	Ναι	5
6 - Weibull 3p	2,83911	0,025	6	0,04357	0,05	6
7 - Pearson τύπου V	3,31711	Όχι	7	0,04943	0,05	7
8 - Weibull 2p	5,71545	Όχι	8	0,05991	0,02	8
9 - Εκθετική 2p	85,75995	Όχι	9	0,28015	Όχι	9
10 - Εκθετική 1p	120,00799	Όχι	10	0,34822	Όχι	10

ΛΥΚΟΒΡΥΣΗ

Κατανομή	Τεστ Anderson-Darling			Τεστ Kolmogorov-Smirnof		
	Στατιστικό	Αποδοχή (α)	Κατάταξη	Στατιστικό	Αποδοχή (α)	Κατάταξη
1 - Γάμμα 2p	1,55372	Όχι	2	0,04253	0,05	1
2 - Γάμμα 3p	1,55065	0,1	1	0,0432	0,05	2
3 - Βήτα	2,49473	0,025	4	0,04848	0,05	3
4 - Λογαριθμοκανονική 2p	2,16831	Όχι	3	0,05265	0,05	4
5 - Weibull 3p	4,63569	Όχι	5	0,06306	Όχι	5
6 - Weibull 2p	6,94193	Όχι	6	0,0728	Όχι	6
7 - Pearson τύπου V	7,59816	Όχι	7	0,07867	Όχι	7
8 - Εκθετική 2p	83,18073	Όχι	8	0,28286	Όχι	8
9 - Εκθετική 1p	109,6552	Όχι	9	0,31967	Όχι	9

ΜΑΡΟΥΣΙ

Κατανομή	Τεστ Anderson-Darling			Τεστ Kolmogorov-Smirnof		
	Στατιστικό	Αποδοχή (α)	Κατάταξη	Στατιστικό	Αποδοχή (α)	Κατάταξη
1 - Λογαριθμοκανονική 2p	1,16582	Όχι	1	0,03475	Ναι	1
2 - Λογαριθμοκανονική 3p	1,16583	Ναι	2	0,03475	Ναι	2
3 - Γάμμα 3p	1,6703	0,1	3	0,04859	0,05	3
4 - Γάμμα 2p	1,8489	Όχι	4	0,05265	0,05	4
5 - Βήτα	2,67638	0,025	5	0,05985	0,05	5
6 - Pearson τύπου V	4,14654	Όχι	6	0,06931	Όχι	6
7 - Weibull 3p	5,31404	Όχι	7	0,07167	Όχι	7
8 - Weibull 2p	7,89611	Όχι	8	0,08653	Όχι	8
9 - Εκθετική 2p	57,39688	Όχι	9	0,25861	Όχι	9
10 - Εκθετική 1p	77,50124	Όχι	10	0,30399	Όχι	10

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Κατανομή	Τεστ Anderson-Darling			Τεστ Kolmogorov-Smirnof		
	Στατιστικό	Αποδοχή (α)	Κατάταξη	Στατιστικό	Αποδοχή (α)	Κατάταξη
1 - Λογαριθμοκανονική 2p	0,40168	Ναι	1	0,02059	Ναι	1
2 - Λογαριθμοκανονική 3p	0,40171	Ναι	2	0,02059	Ναι	2
3 - Γάμμα 3p	1,06329	Ναι	3	0,02843	Ναι	3
4 - Βήτα	1,81345	0,1	4	0,03515	Ναι	4
5 - Γάμμα 2p	2,02568	Όχι	5	0,03732	Ναι	5
6 - Pearson τύπου V	2,16078	Όχι	6	0,0413	0,05	6
7 - Weibull 3p	3,91887	0,005	7	0,05165	0,02	7
8 - Weibull 2p	10,46142	Όχι	8	0,07445	Όχι	8
9 - Εκθετική 2p	59,63323	Όχι	9	0,22412	Όχι	9
10 - Εκθετική 1p	113,32525	Όχι	10	0,32046	Όχι	10

ΠΕΙΡΑΙΑΣ

Κατανομή	Τεστ Anderson-Darling	Τεστ Kolmogorov-Smirnof
----------	-----------------------	-------------------------

	Στατιστικό	Αποδοχή (α)	Κατάταξη	Στατιστικό	Αποδοχή (α)	Κατάταξη
1 - Γάμμα 3p	0,18343	Ναι	1	0,0184	Ναι	2
2 - Γάμμα 2p	0,1959	Ναι	2	0,01779	Ναι	1
3 - Βήτα	0,32116	Ναι	3	0,02324	Ναι	3
4 - Λογαριθμοκανονική 2p	0,66025	0,05	4	0,03118	Ναι	4
5 - Λογαριθμοκανονική 3p	0,66027	Ναι	5	0,03118	Ναι	5
6 - Weibull 3p	1,10534	Ναι	6	0,03565	Ναι	6
7 - Pearson τύπου V	2,6279	Όχι	7	0,04979	0,05	7
8 - Weibull 2p	4,20333	Όχι	8	0,052	0,05	8
9 - Εκθετική 2p	75,02575	Όχι	9	0,27009	Όχι	9
10 - Εκθετική 1p	121,82429	Όχι	10	0,37078	Όχι	10

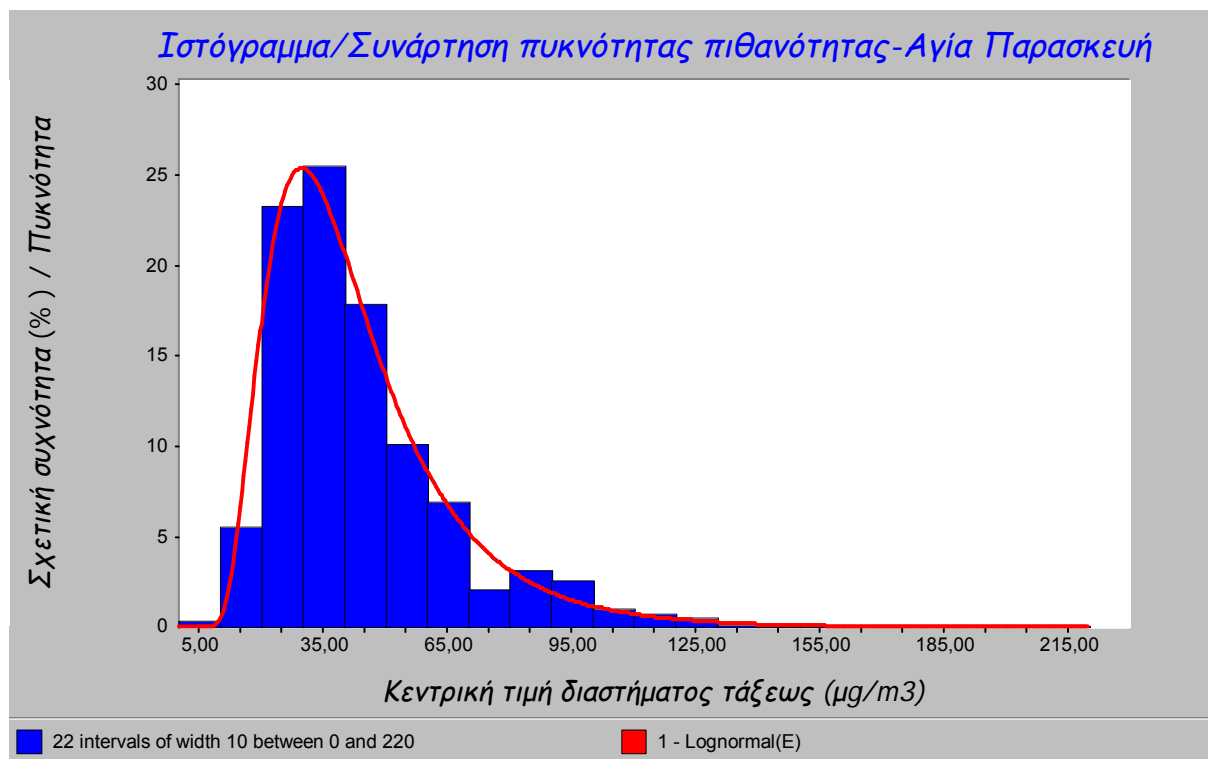
ΘΡΑΚΟΜΑΚΕΔΟΝΕΣ

Κατανομή	Τεστ Anderson-Darling			Τεστ Kolmogorov-Smirnof		
	Στατιστικό	Αποδοχή (α)	Κατάταξη	Στατιστικό	Αποδοχή (α)	Κατάταξη
1 - Λογαριθμοκανονική 2p	0,99537	0,01	1	0,04185	Ναι	1
2 - Λογαριθμοκανονική 3p	0,99538	Ναι	2	0,04185	Ναι	2
3 - Γάμμα 3p	1,89766	0,1	3	0,05444	0,05	3
4 - Βήτα	2,6304	0,025	4	0,06149	0,02	5
5 - Pearson τύπου V	2,89903	Όχι	5	0,06204	Όχι	6
6 - Γάμμα 2p	2,94368	Όχι	6	0,05799	0,02	4
7 - Weibull 3p	4,97443	Όχι	7	0,07168	Όχι	7
8 - Weibull 2p	12,15566	Όχι	8	0,09493	Όχι	8
9 - Εκθετική 2p	41,1041	Όχι	9	0,19044	Όχι	9
10 - Εκθετική 1p	85,93318	Όχι	10	0,29063	Όχι	10

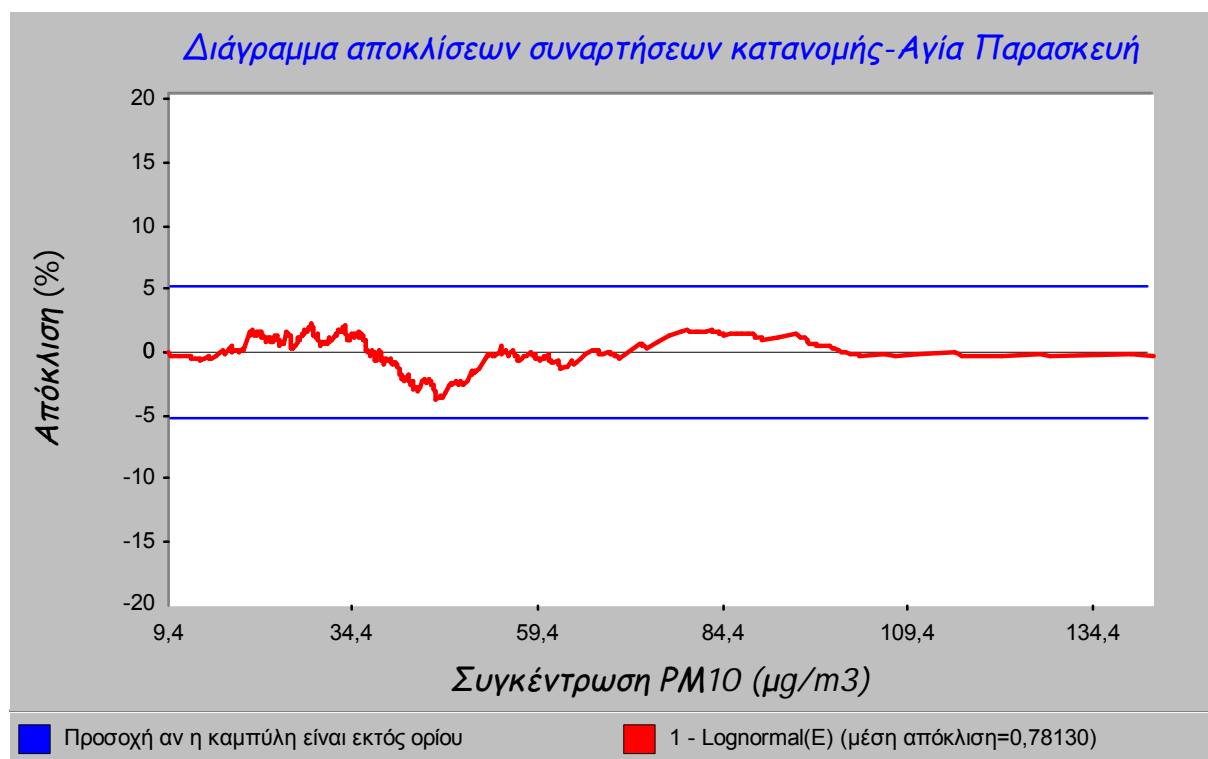
9.4 ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Για κάθε ένα σταθμό παρουσιάζονται τα διαγράμματα της καταλληλότερης θεωρητικής κατανομής που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο. Τα διαγράμματα αυτά παρέχουν οπτική εικόνα της καταλληλότητας της προσαρμογής της θεωρητικής κατανομής στα δεδομένα. Συγκεκριμένα τα διαγράμματα αυτά είναι:

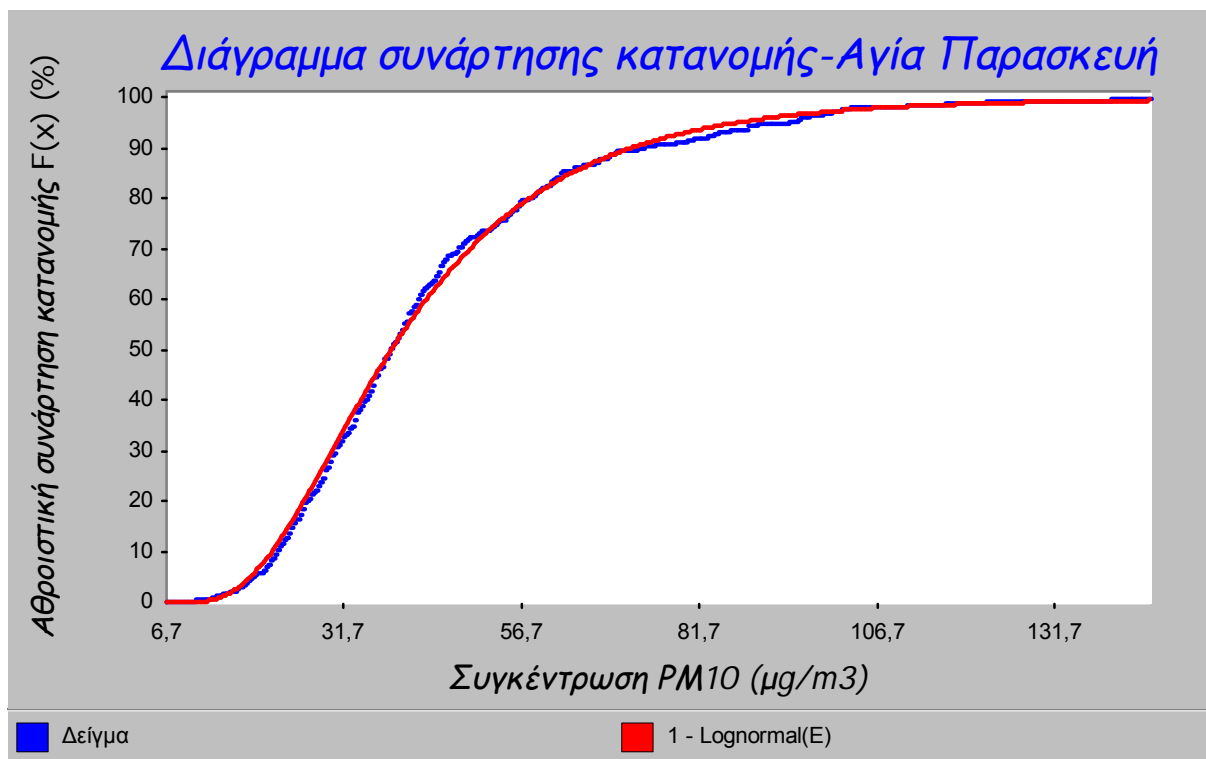
- Ιστογράμμα/Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας
- Διάγραμμα αποκλίσεων των συναρτήσεων κατανομών
- Διάγραμμα συνάρτησης κατανομής
- Διάγραμμα συνάρτησης επιβίωσης
- Διάγραμμα Πιθανότητας-Πιθανότητας
- Διάγραμμα Ποσοστημορίου-Ποσοστημορίου
- Θηκόγραμμα



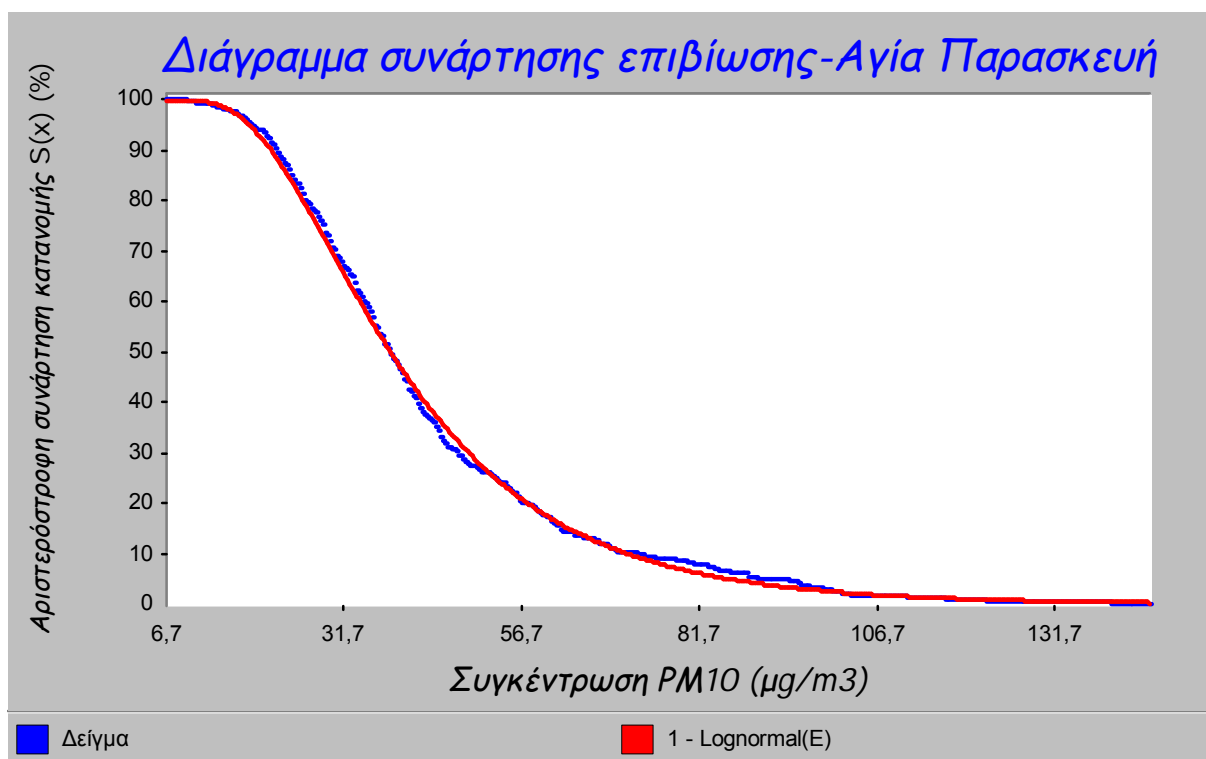
Διάγραμμα 9.9: Σύγκριση ιστογράμματος και συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας της λογαριθμικής κανονικής κατανομής 3σ για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Αγία Παρασκευή



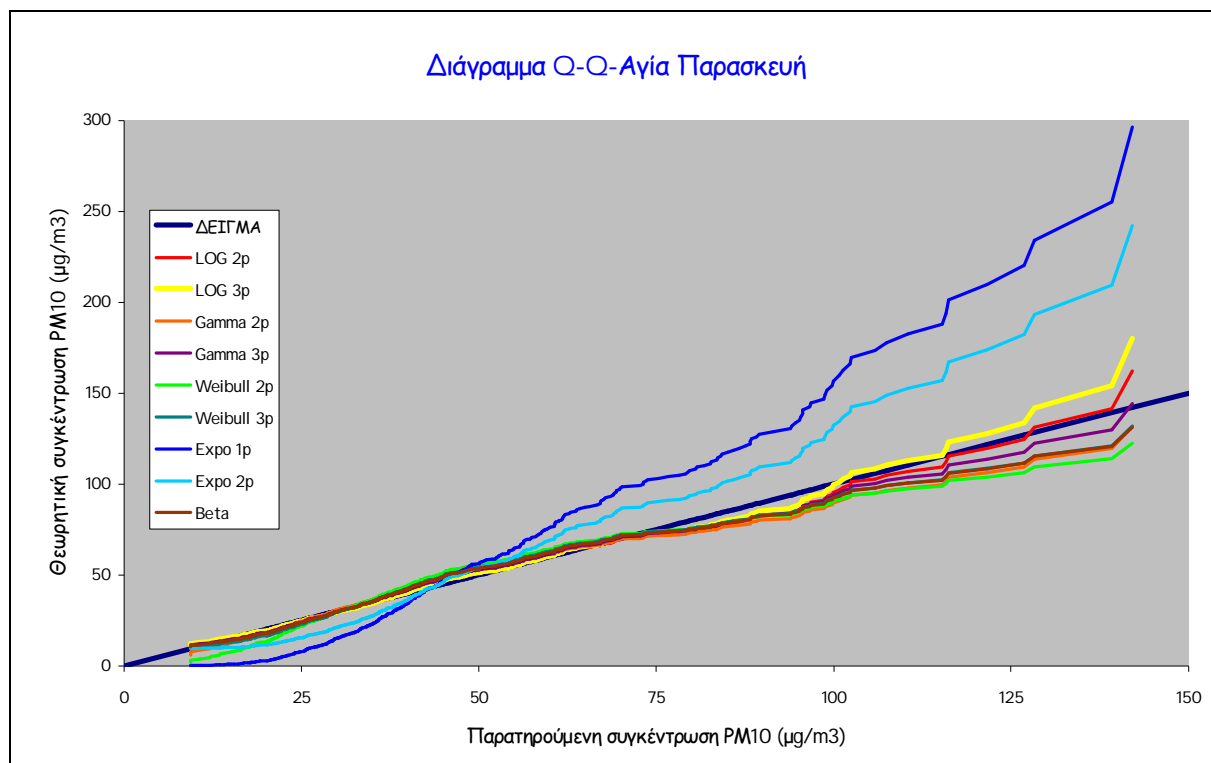
Διάγραμμα 9.10: Διάγραμμα αποκλίσεων δειγματικής και λογαριθμικής κανονικής κατανομής 3σ για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Αγία Παρασκευή



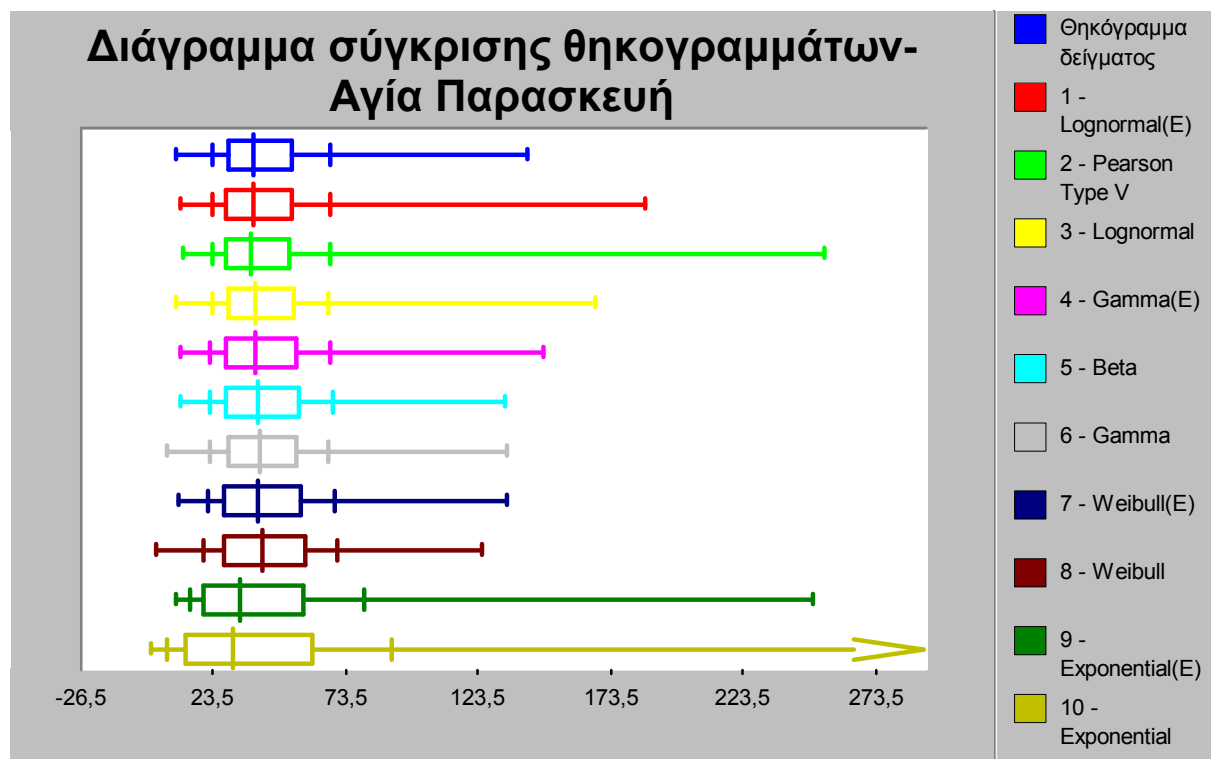
Διάγραμμα 9.11: Σύγκριση συναρτήσεων κατανομής (δεξιόστροφων αθροιστικών συναρτήσεων κατανομής) δειγματικής και λογαριθμικής κανονικής κατανομής 3σ για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Αγία Παρασκευή



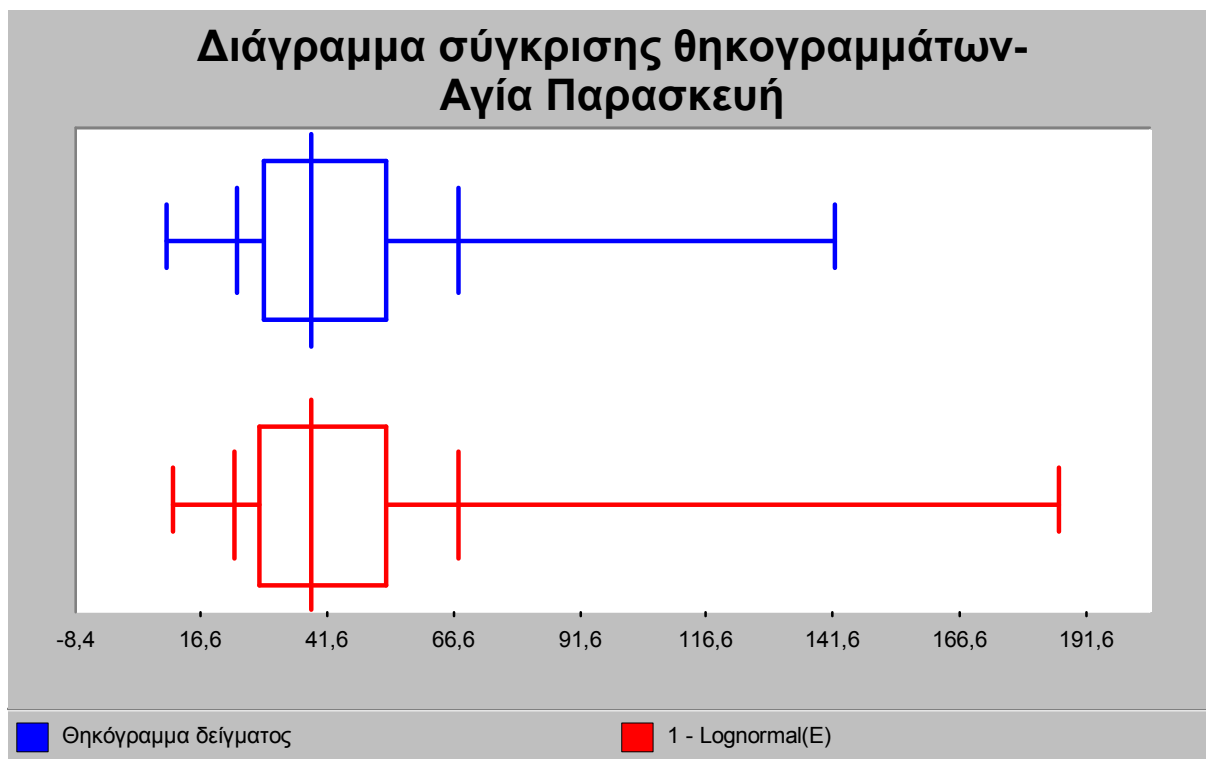
Διάγραμμα 9.12: Σύγκριση συναρτήσεων επιβίωσης (αριστερόστροφων αθροιστικών συναρτήσεων κατανομής) δειγματικής και λογαριθμικής κανονικής κατανομής 3σ για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Αγία Παρασκευή



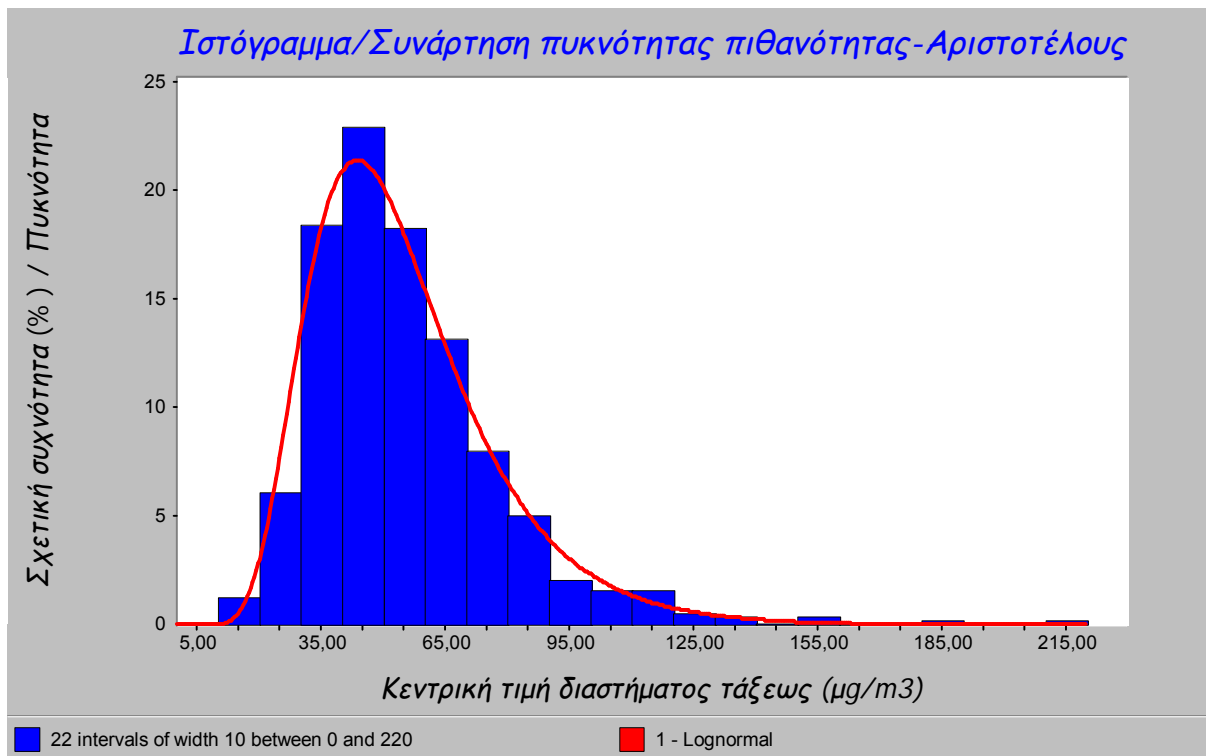
Διάγραμμα 9.15: Πιθανοθεωρητικό διάγραμμα Q-Q όλων των θεωρητικών κατανομών για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Αγία Παρασκευή



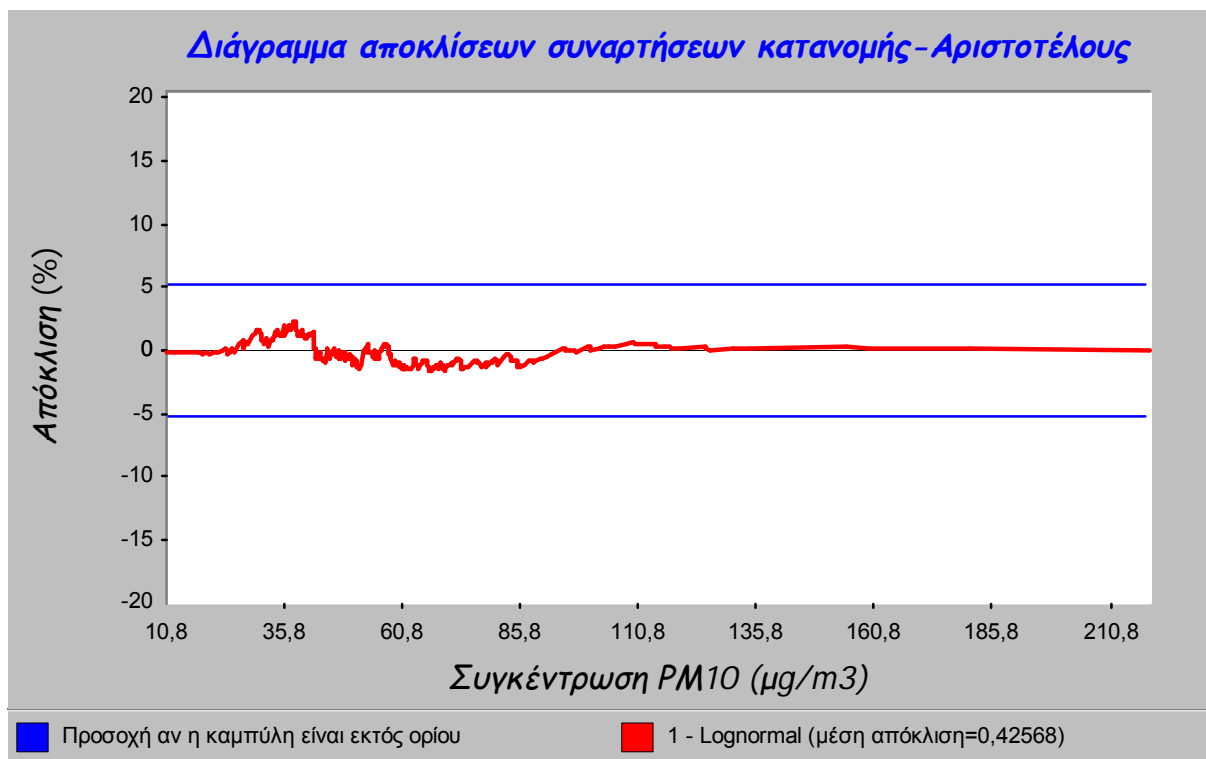
Διάγραμμα 9.16: Σύγκριση θηκογραμμάτων δείγματος και όλων των θεωρητικών κατανομών για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Αγία Παρασκευή



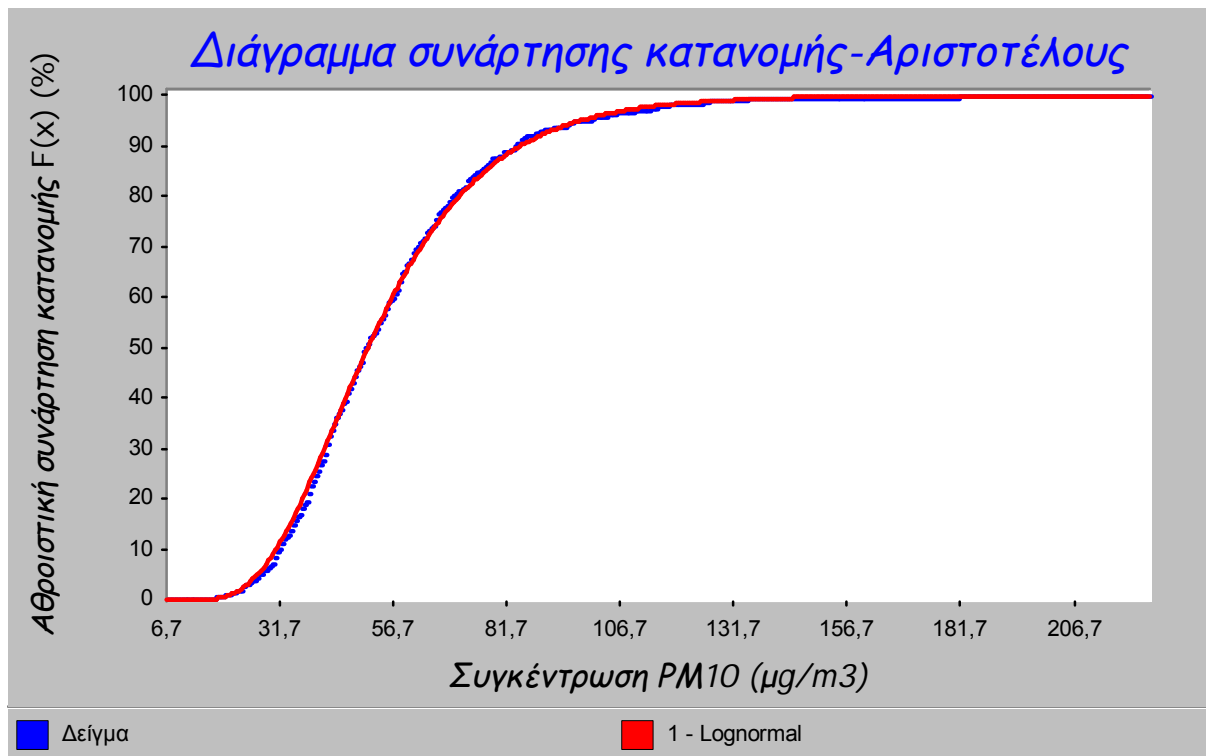
Διάγραμμα 9.17: Σύγκριση θηκογραμμάτων δείγματος και λογαριθμικής κανονικής κατανομής Z_p για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Αγία Παρασκευή



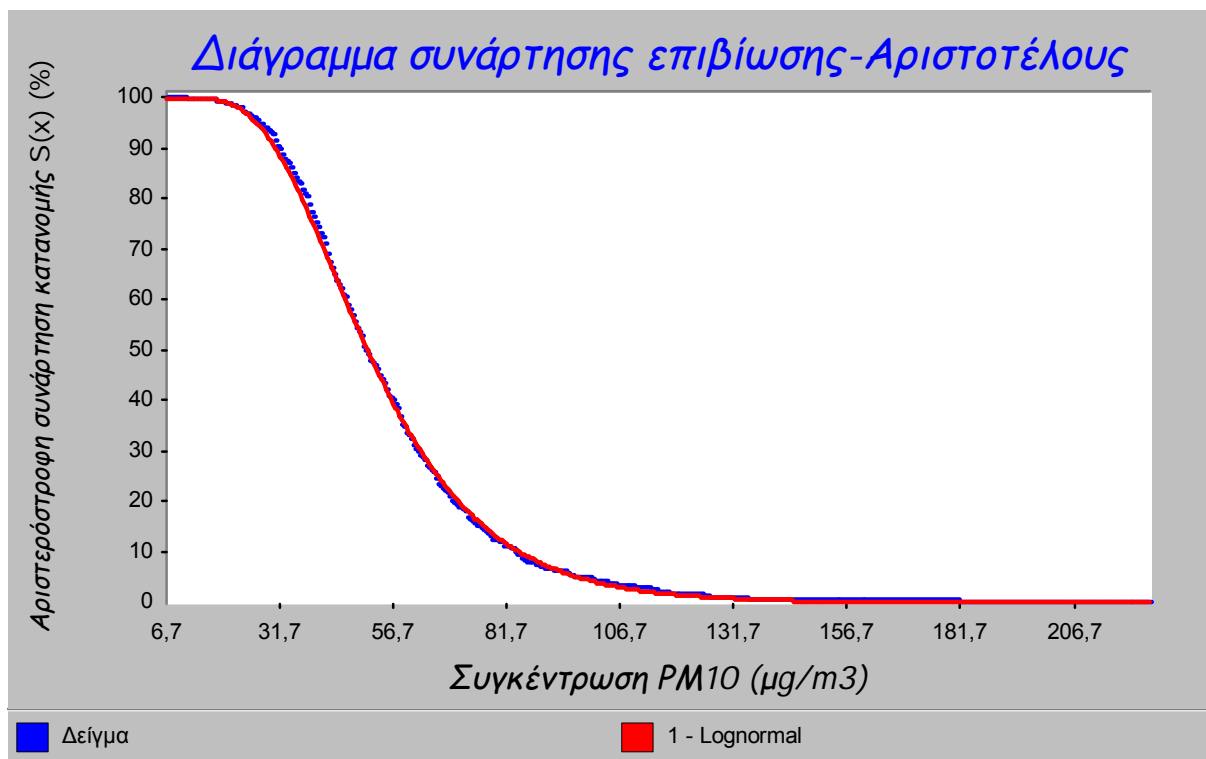
Διάγραμμα 9.18: Σύγκριση ιστογράμματος και συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας της λογαριθμικής κανονικής κατανομής Z_p για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Αριστοτέλους



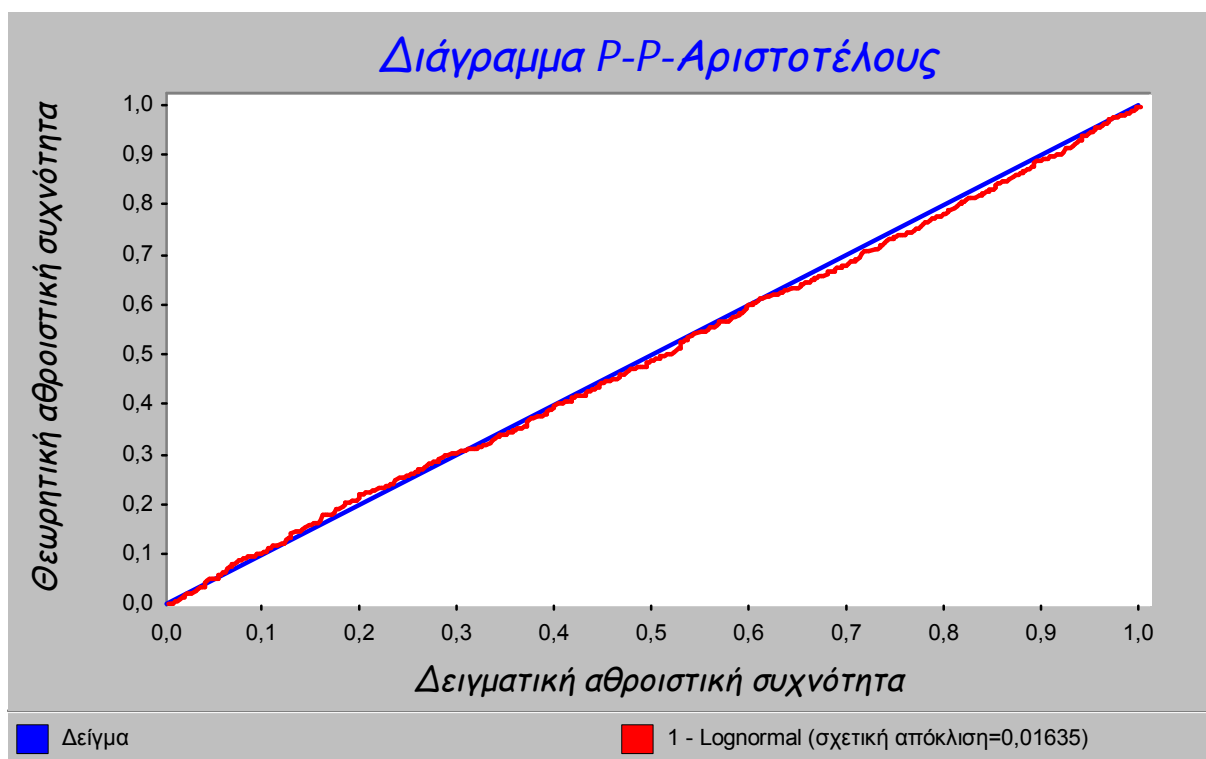
Διάγραμμα 9.19: Διάγραμμα αποκλίσεων δειγματικής και λογαριθμικής κανονικής κατανομής $2p$ για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Αριστοτέλους



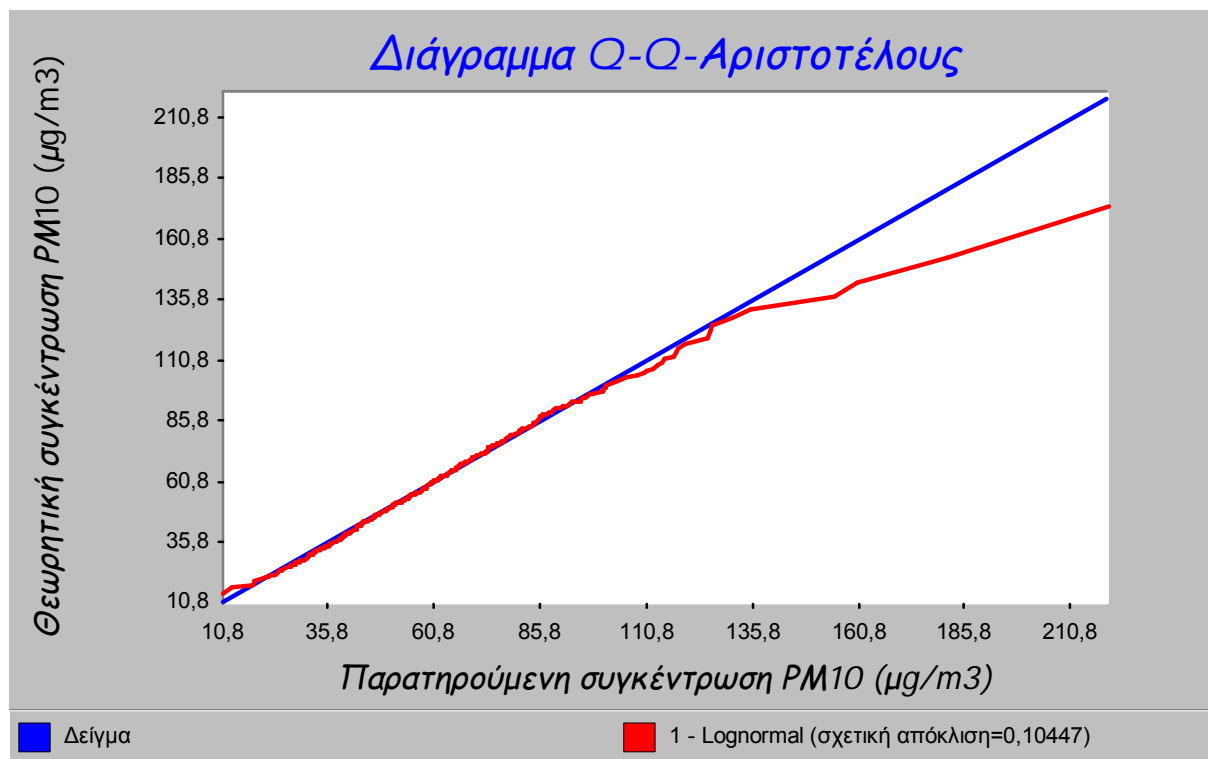
Διάγραμμα 9.20: Σύγκριση συναρτήσεων κατανομής (δεξιόστροφων αθροιστικών συναρτήσεων κατανομής) δειγματικής και λογαριθμικής κανονικής κατανομής $2p$ για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Αριστοτέλους



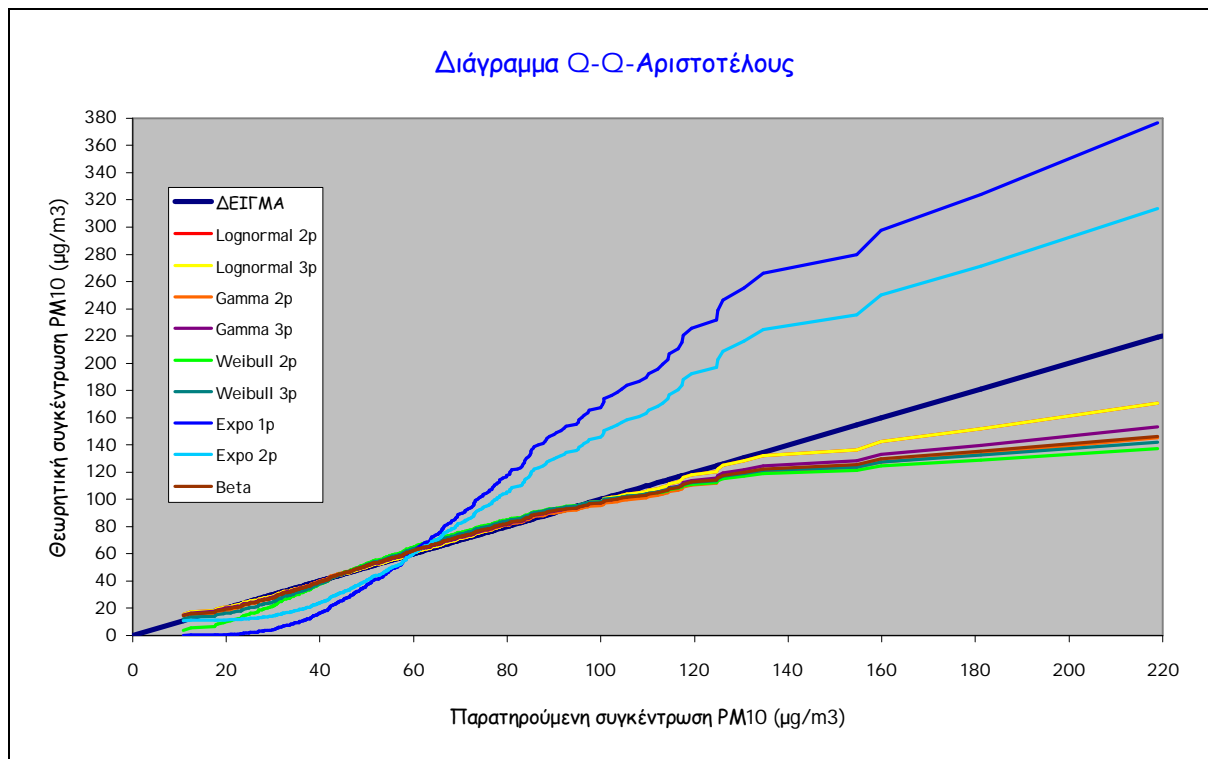
Διάγραμμα 9.21: Σύγκριση συναρτήσεων επιβίωσης (αριστερόστροφων αθροιστικών συναρτήσεων κατανομής) δειγματικής και λογαριθμικής κανονικής κατανομής $2p$ για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Αριστοτέλους



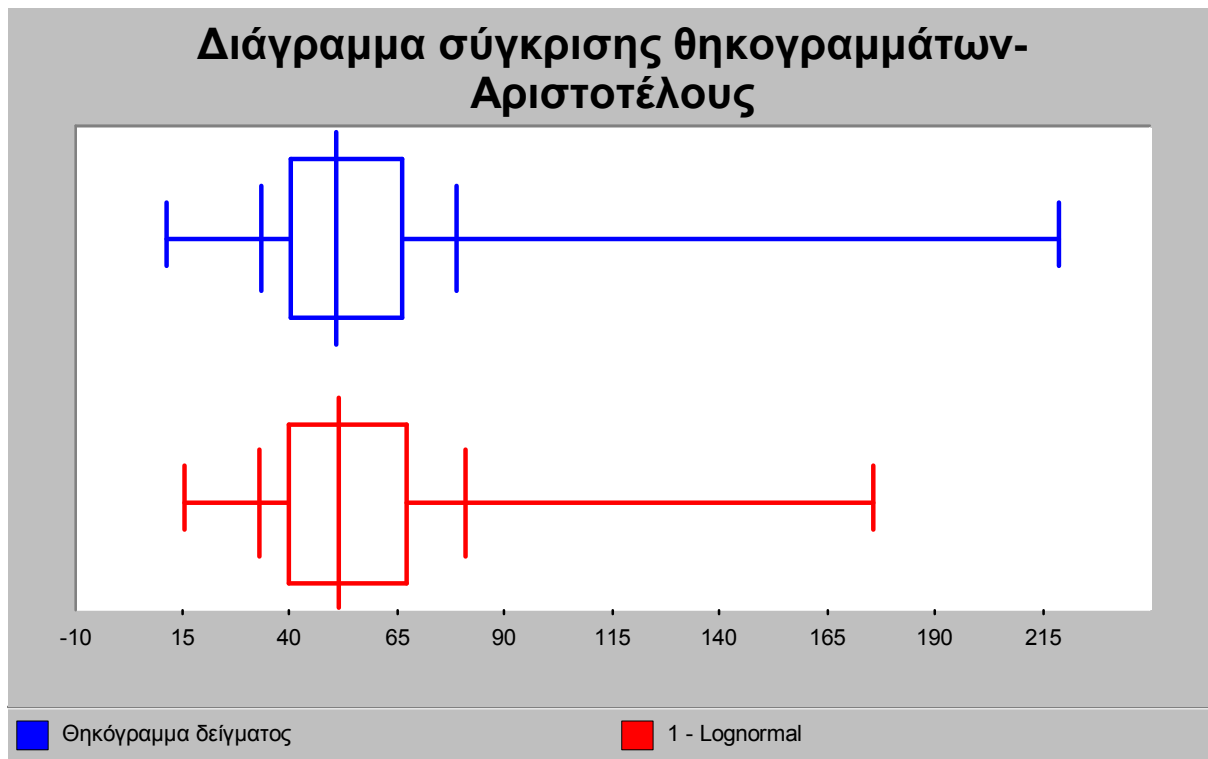
Διάγραμμα 9.22: Πιθανοθεωρητικό διάγραμμα P-P της λογαριθμικής κανονικής κατανομής $2p$ για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Αριστοτέλους



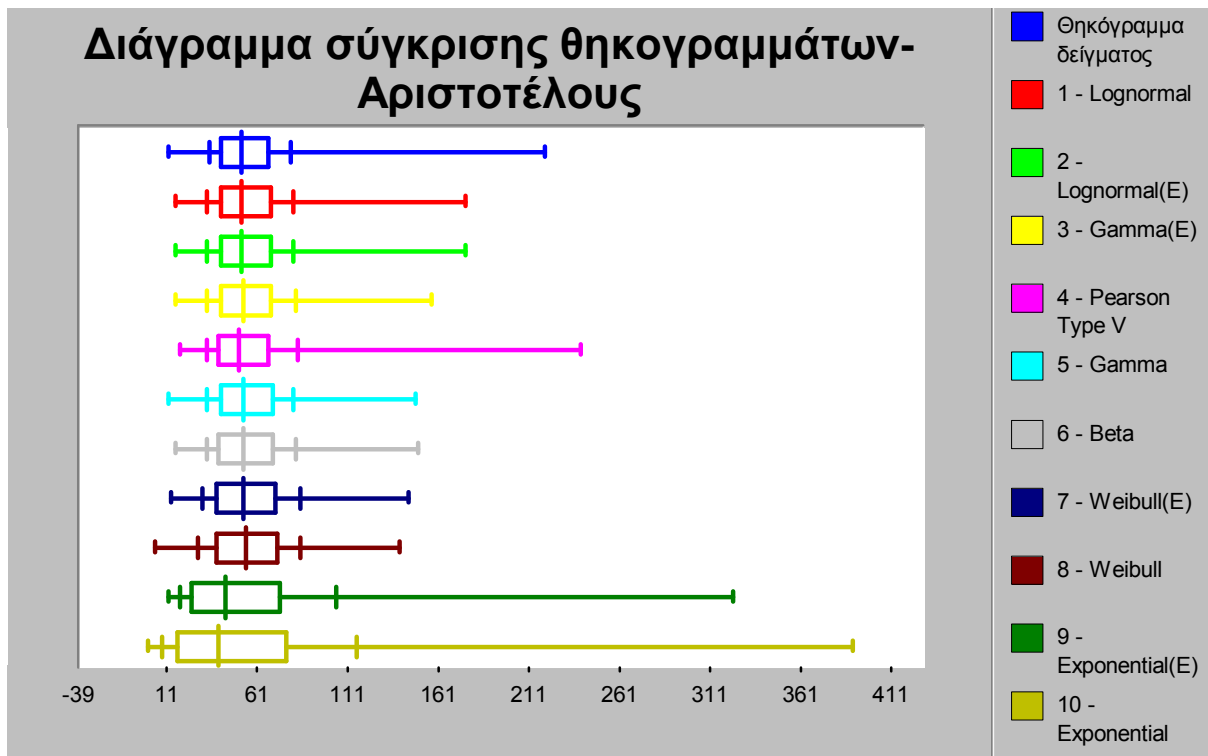
Διάγραμμα 9.23: Πιθανοθεωρητικό διάγραμμα Q-Q της λογαριθμικής κανονικής κατανομής 2p για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Αριστοτέλους



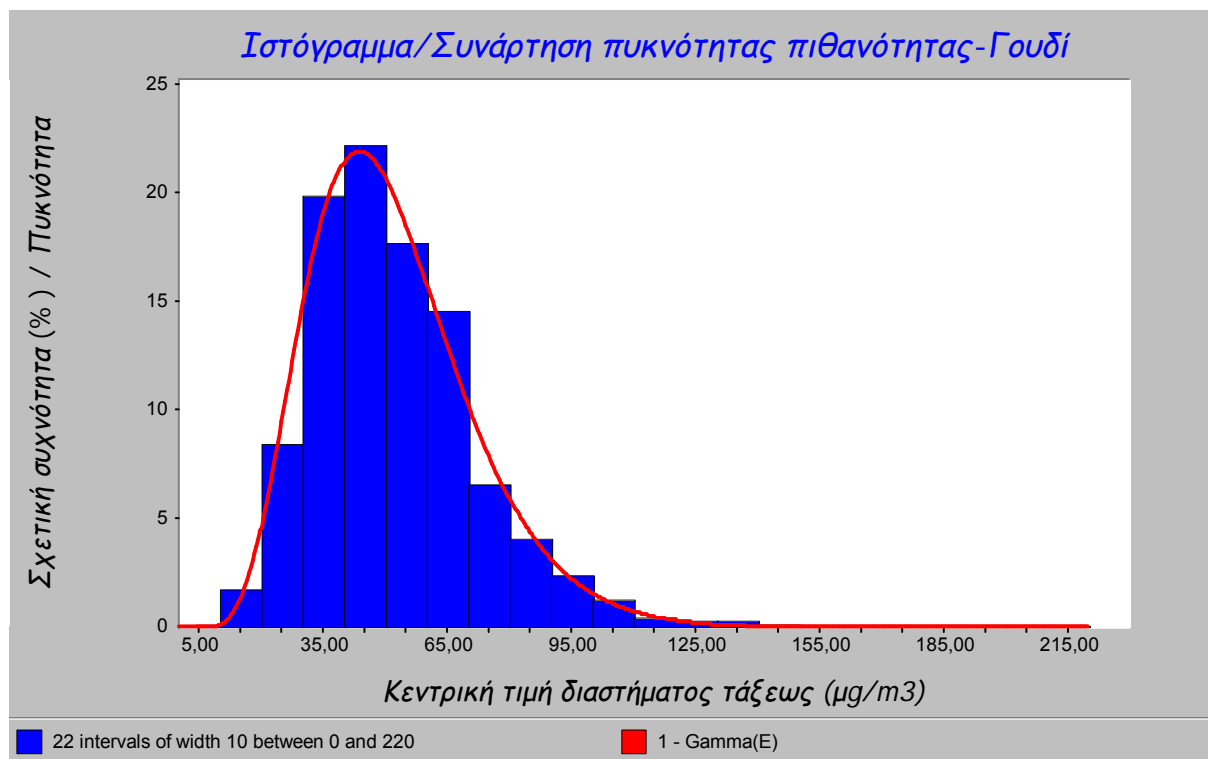
Διάγραμμα 9.24: Πιθανοθεωρητικό διάγραμμα Q-Q όλων των θεωρητικών κατανομών για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Αριστοτέλους



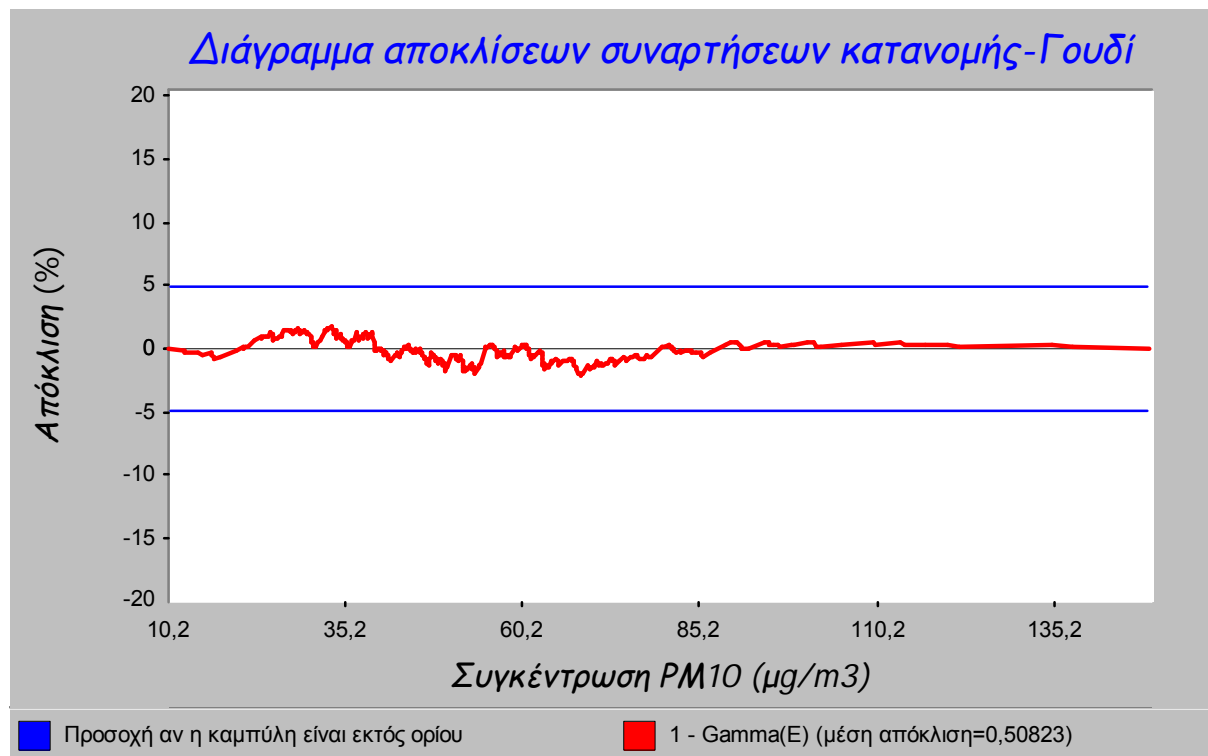
Διάγραμμα 9.25: Σύγκριση θηκογραμμμάτων δείγματος και λογαριθμικής κανονικής κατανομής $2p$ για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Αριστοτέλους



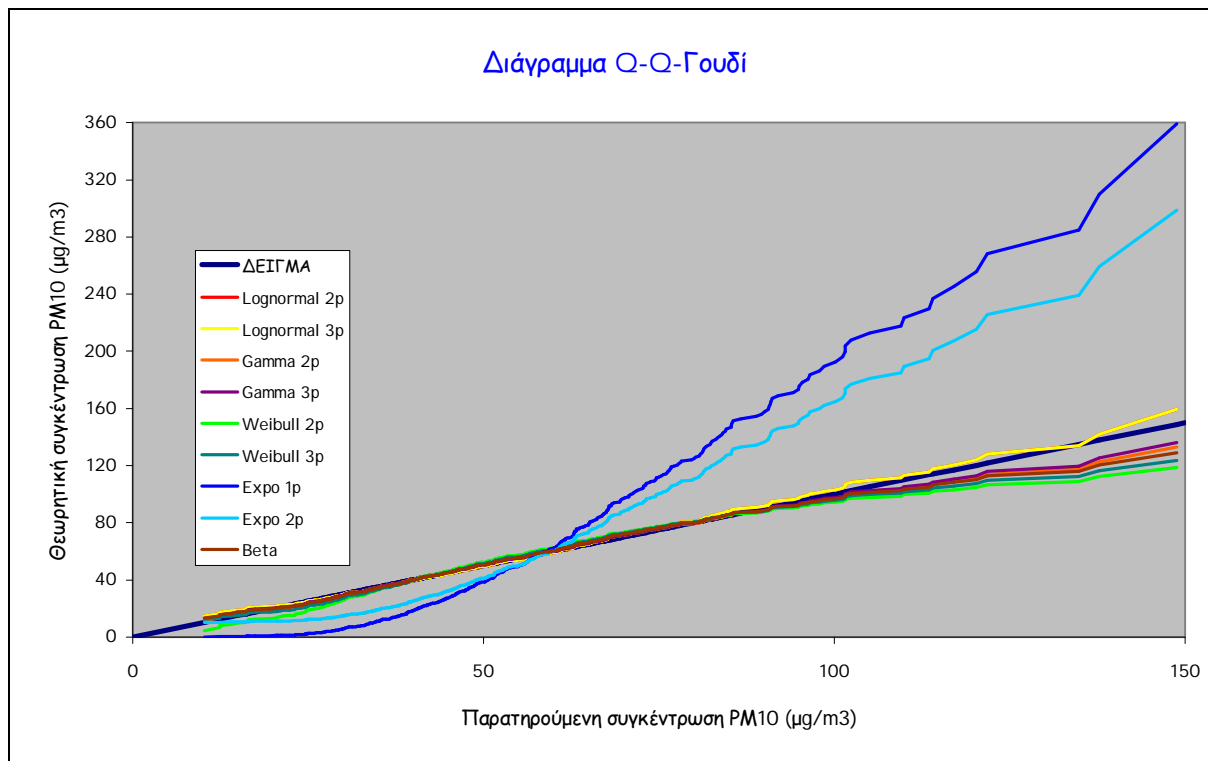
Διάγραμμα 9.26: Σύγκριση θηκογραμμμάτων δείγματος και όλων των θεωρητικών κατανομών για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Αριστοτέλους



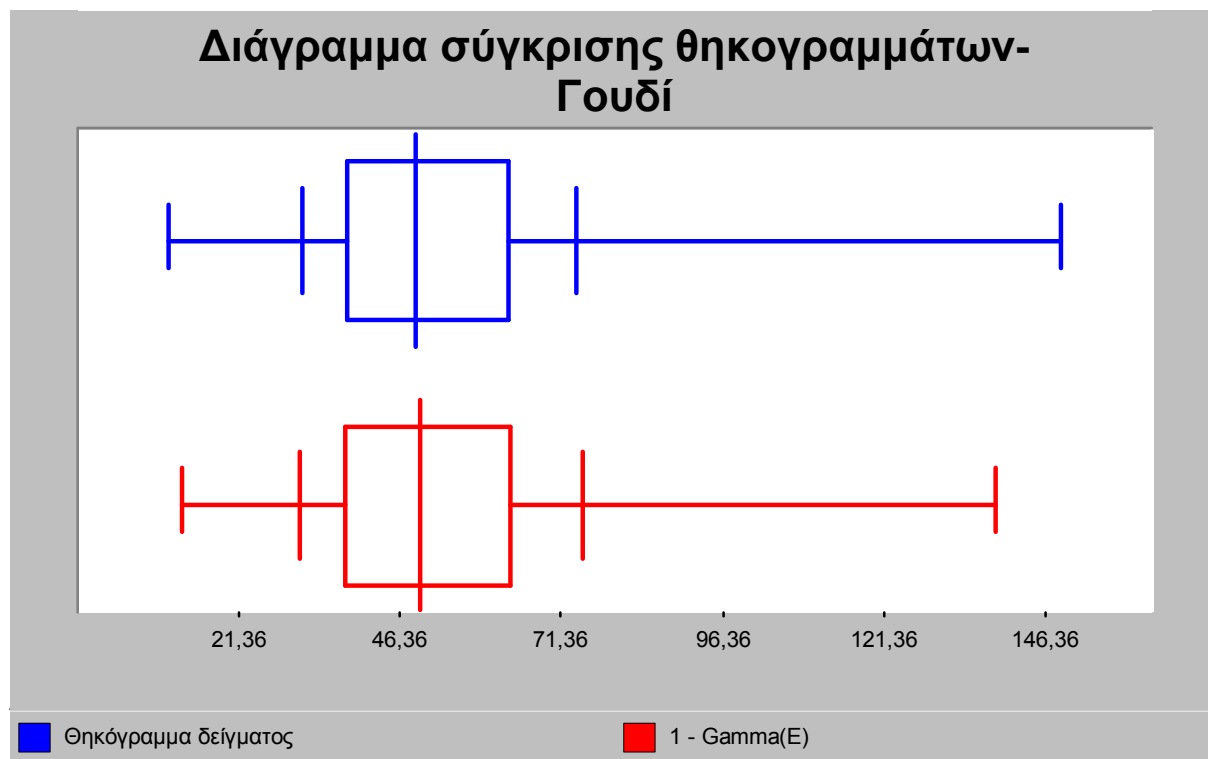
Διάγραμμα 9.27: Σύγκριση ιστογράμματος και συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας της κατανομής γάμμα $3p$ για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Γουδί



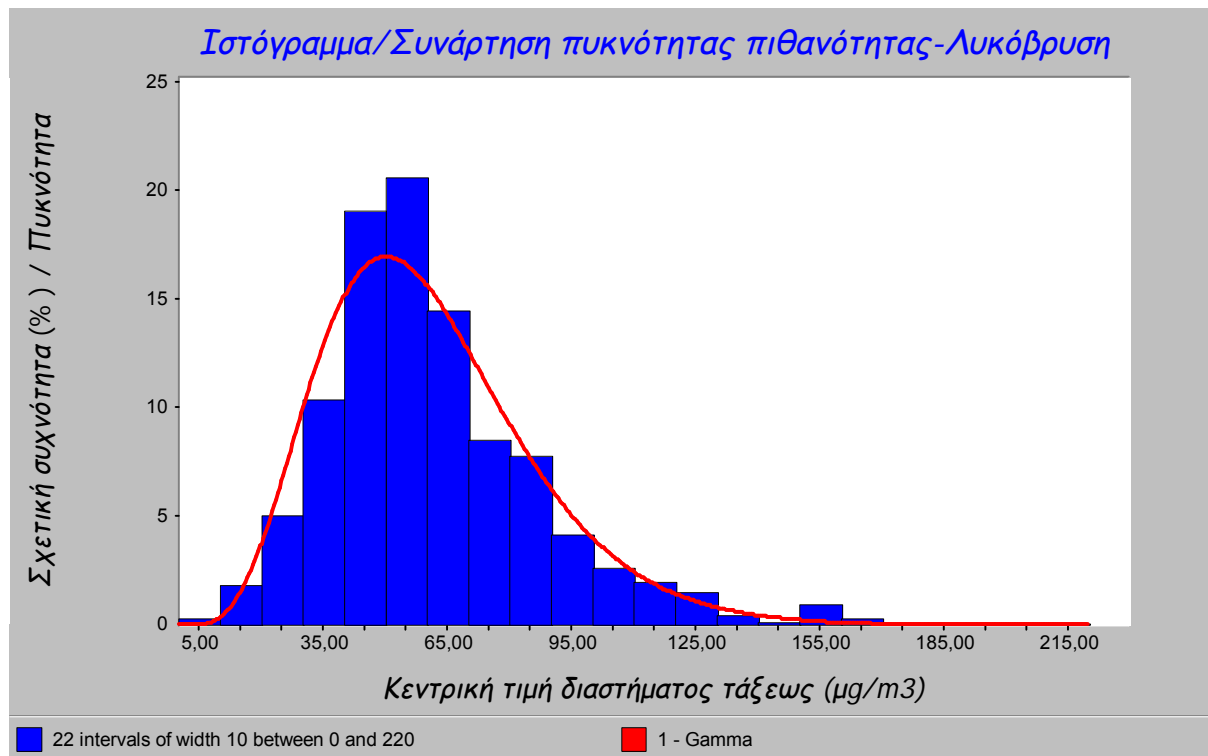
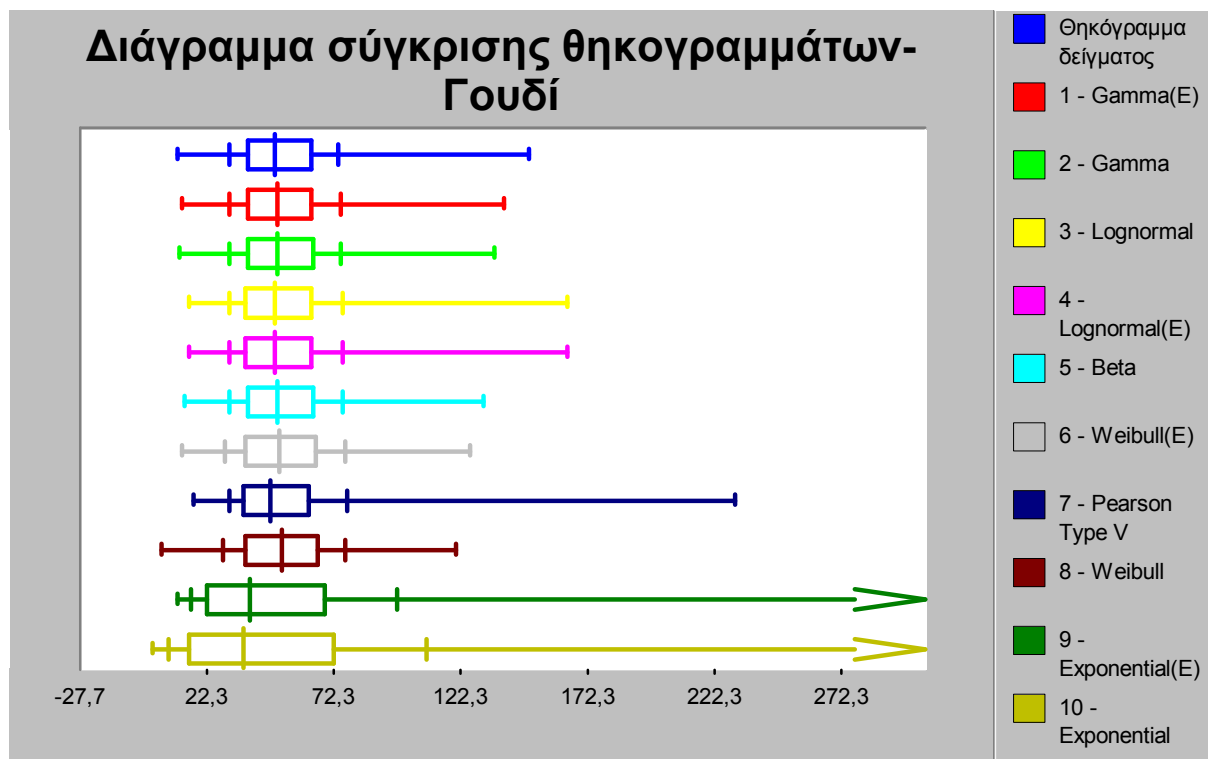
Διάγραμμα 9.28: Διάγραμμα αποκλίσεων δειγματικής και κατανομής γάμμα $3p$ για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Γουδί

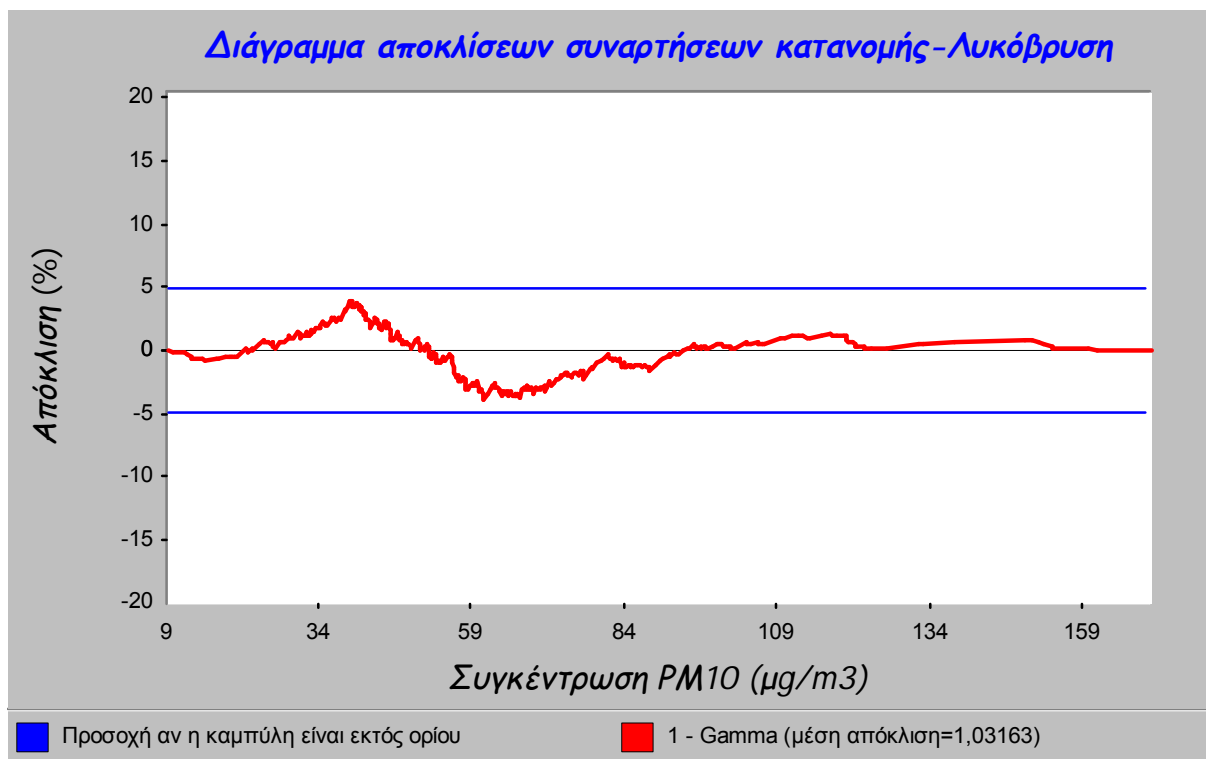


Διάγραμμα 9.33: Πιθανοθεωρητικό διάγραμμα Q-Q όλων των θεωρητικών κατανομών για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Γουδί

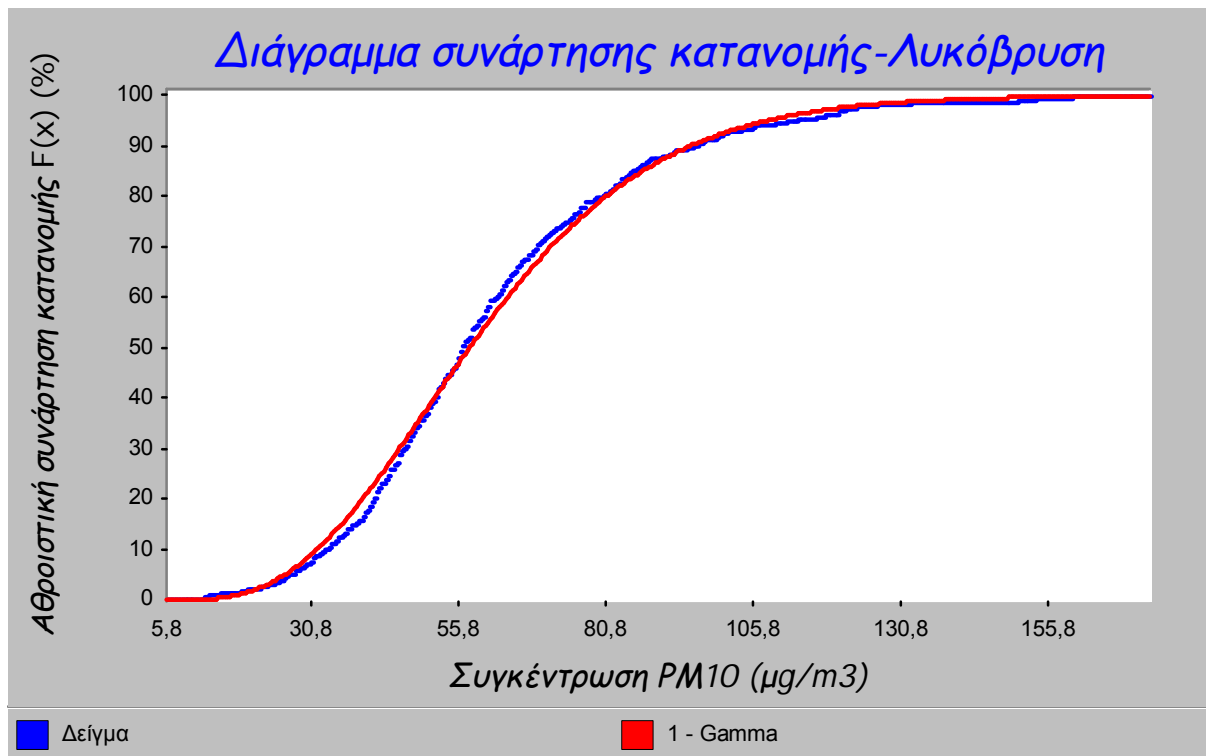


Διάγραμμα 9.34: Σύγκριση θηκογραμμάτων δείγματος και κατανομής γάμμα 3p για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Γουδί

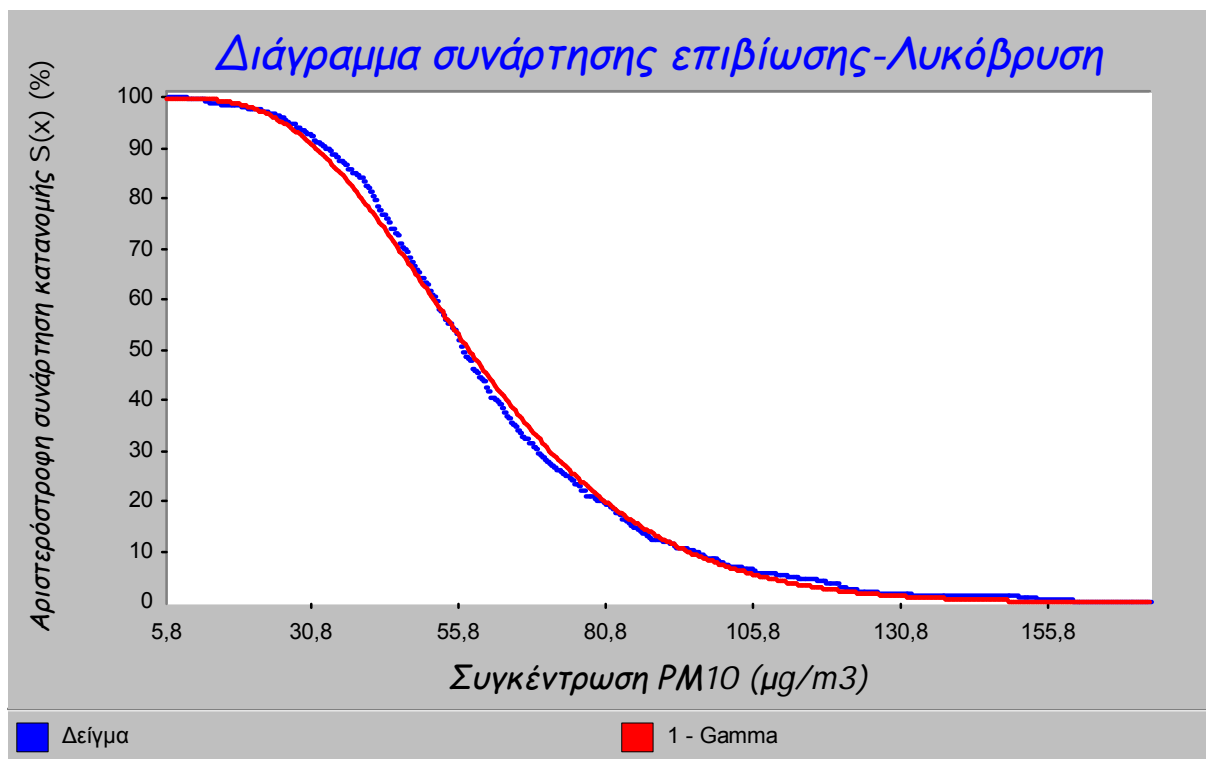




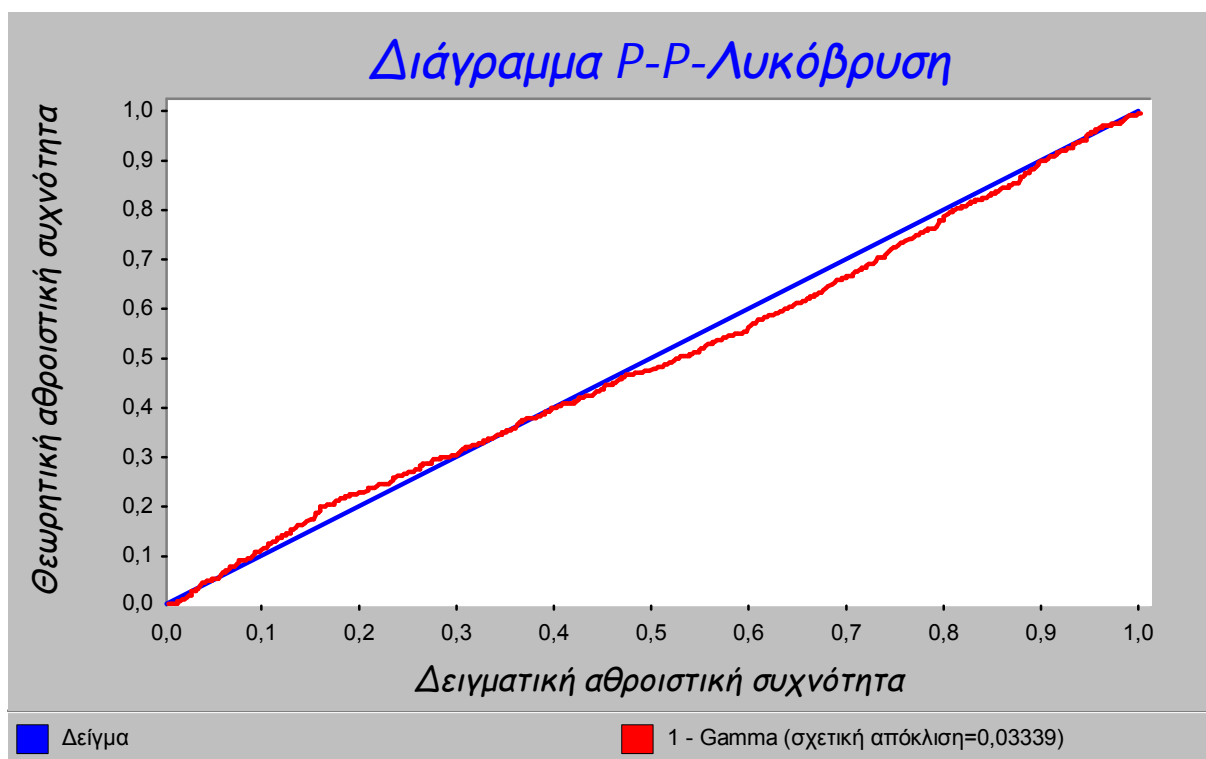
Διάγραμμα 9.37: Διάγραμμα αποκλίσεων δειγματικής και κατανομής γάμμα $2p$ για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Λυκόβρυση



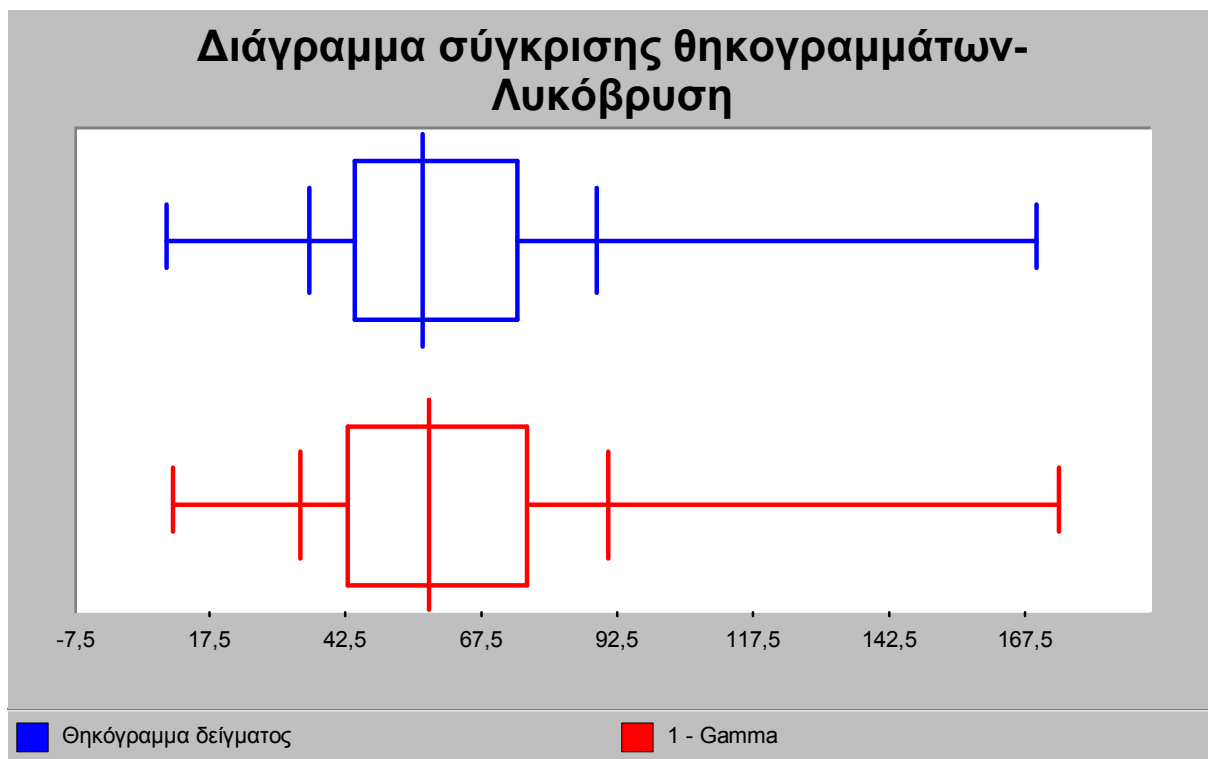
Διάγραμμα 9.38: Σύγκριση συναρτήσεων κατανομής (δεξιόστροφων αθροιστικών συναρτήσεων κατανομής) δειγματικής και κατανομής γάμμα $2p$ για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Λυκόβρυση



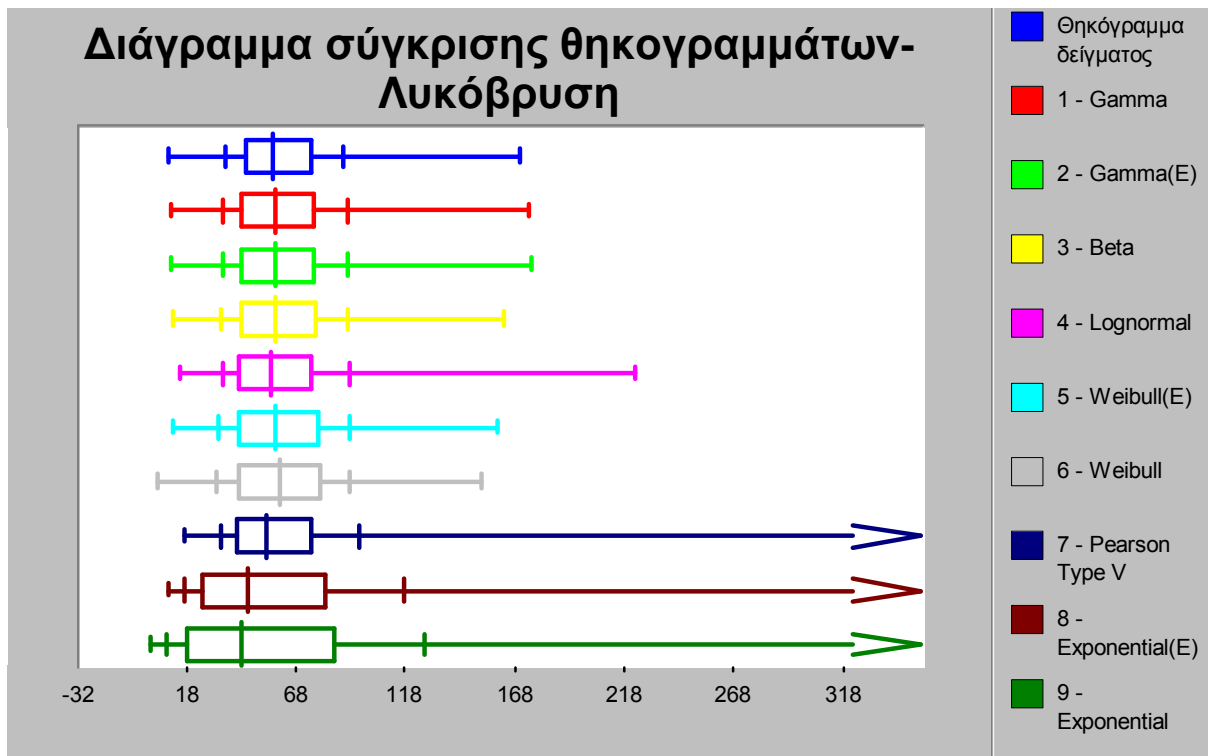
Διάγραμμα 9.39: Σύγκριση συναρτήσεων επιβίωσης (αριστερόστροφων αθροιστικών συναρτήσεων κατανομής) δειγματικής και κατανομής γάμμα $2p$ για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Λυκόβρυση



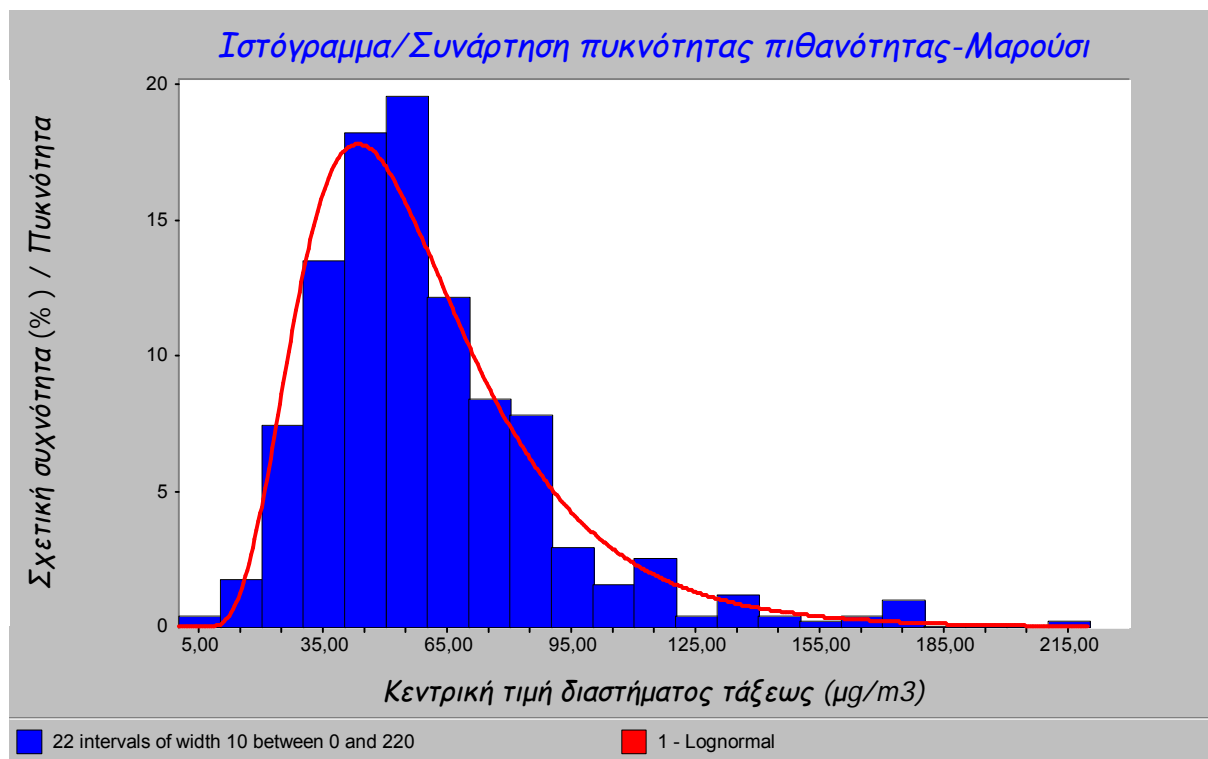
Διάγραμμα 9.40: Πιθανοθεωρητικό διάγραμμα P-P της κατανομής γάμμα $2p$ για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Λυκόβρυση



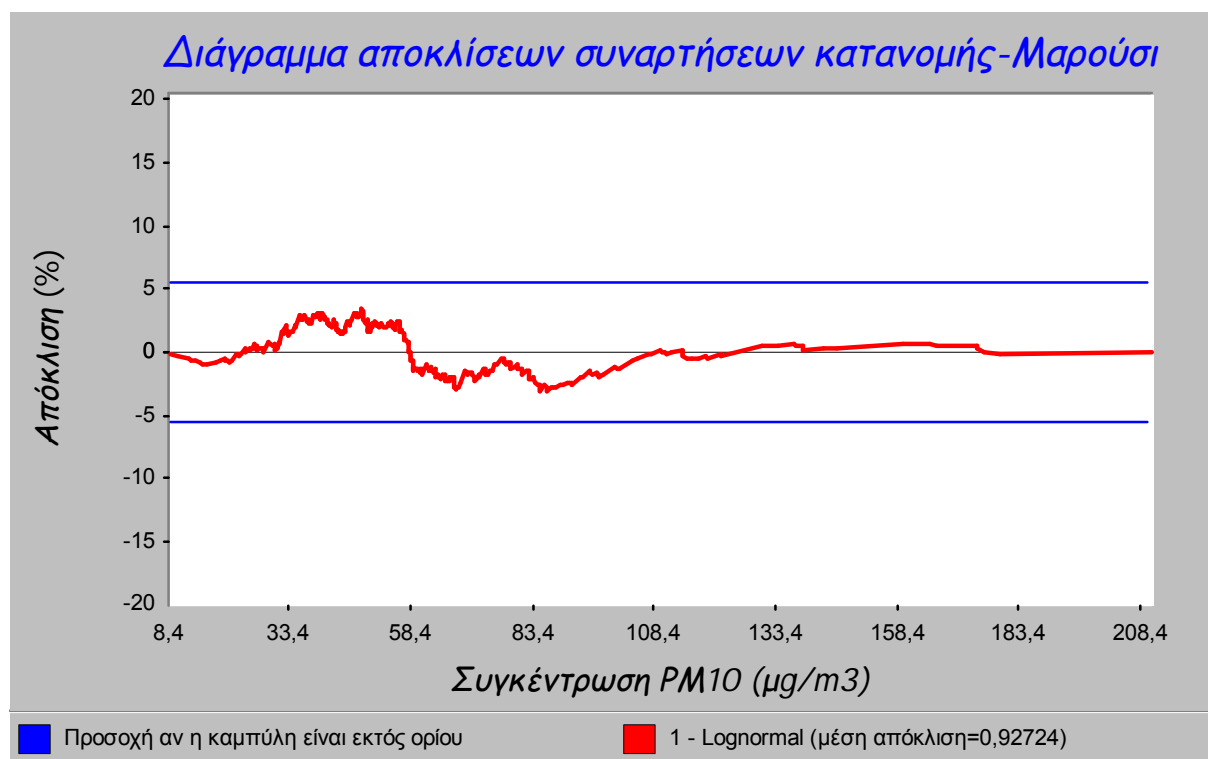
Διάγραμμα 9.43: Σύγκριση θηκογραμμμάτων δείγματος και κατανομής γάμμα $2p$ για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Λυκόβρυση



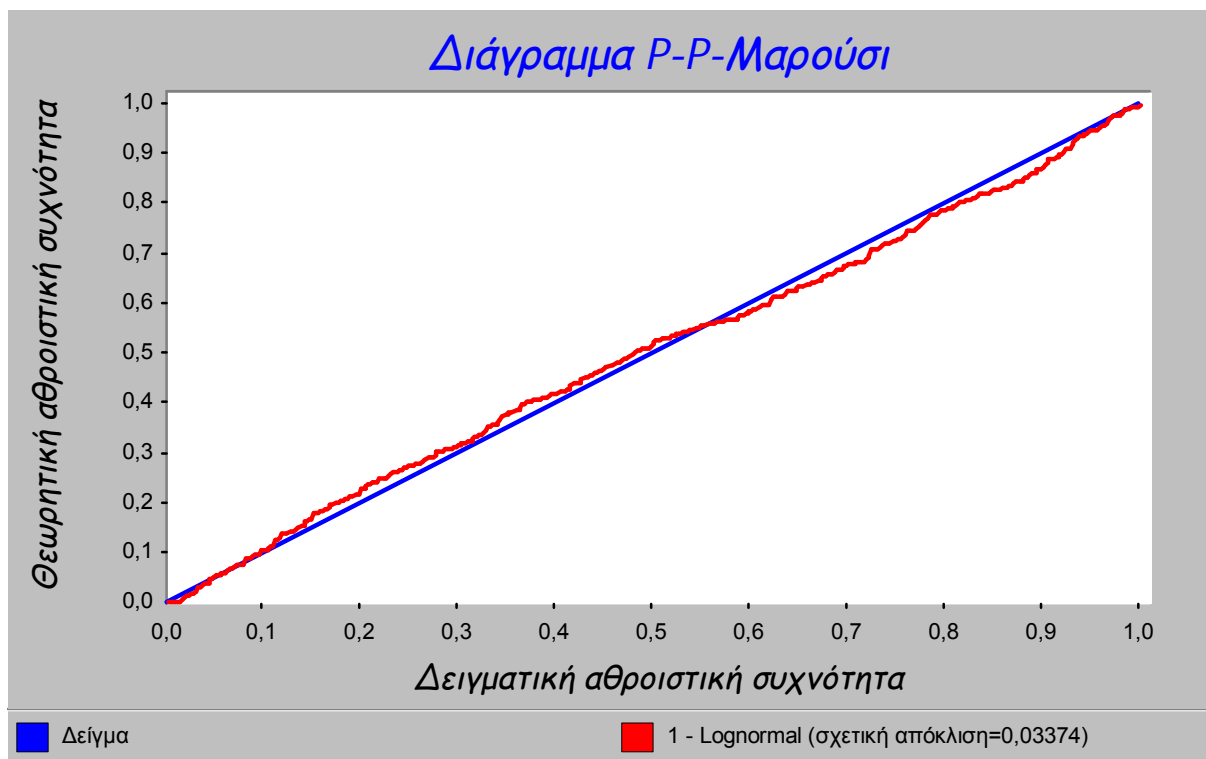
Διάγραμμα 9.44: Σύγκριση θηκογραμμμάτων δείγματος και όλων των θεωρητικών κατανομών για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Λυκόβρυση



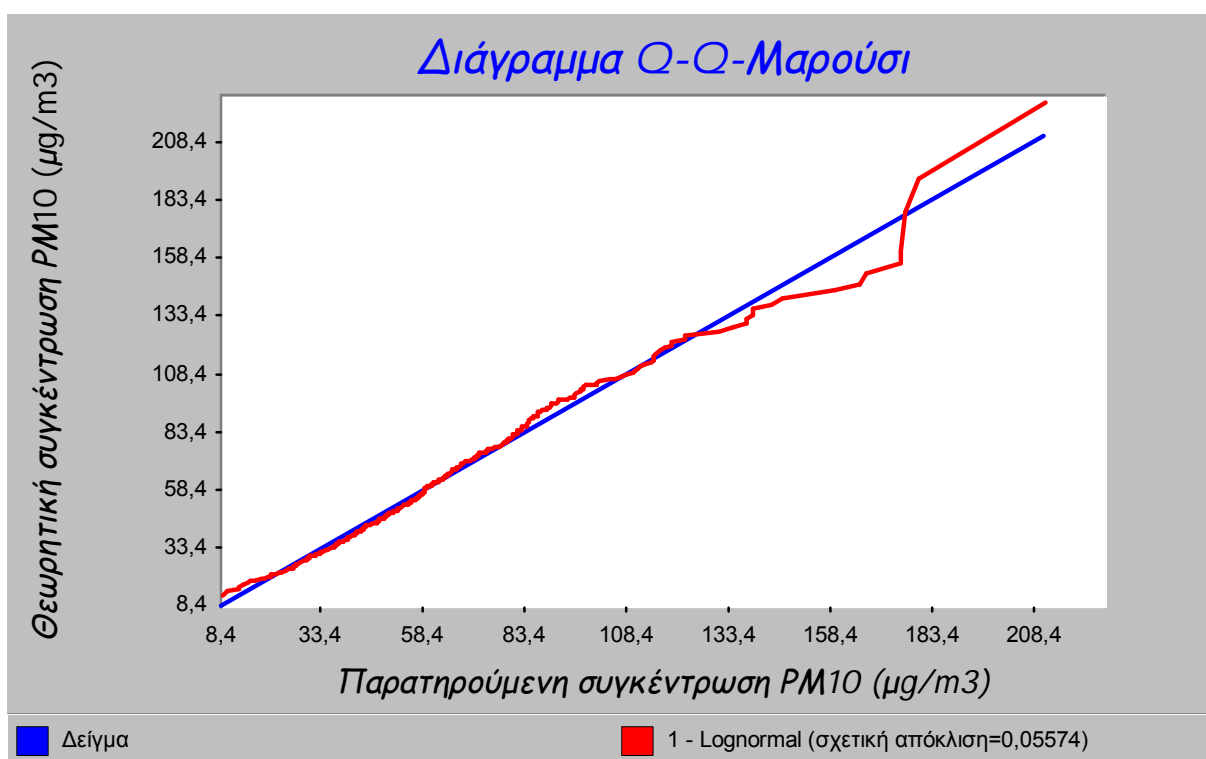
Διάγραμμα 9.45: Σύγκριση ιστογράμματος και συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας της λογαριθμικής κανονικής κατανομής 2σ για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Μαρούσι



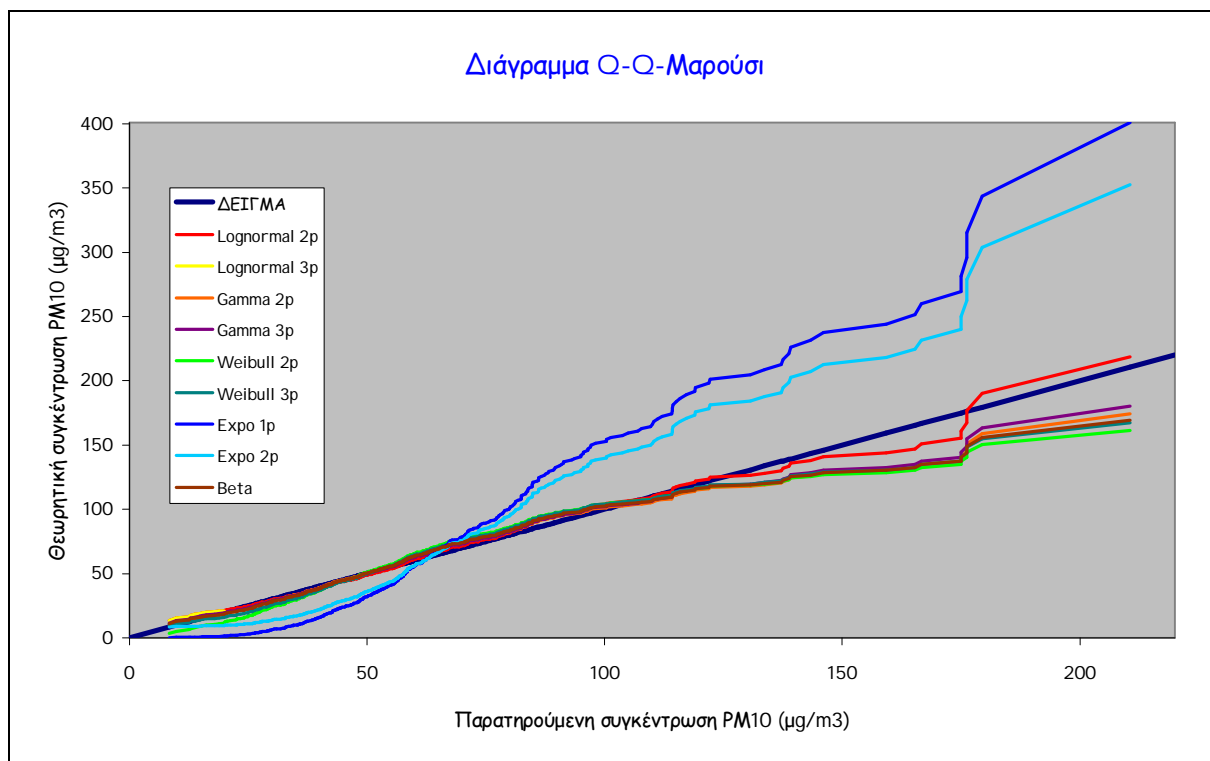
Διάγραμμα 9.46: Διάγραμμα αποκλίσεων δειγματικής και λογαριθμικής κανονικής κατανομής 2σ για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Μαρούσι



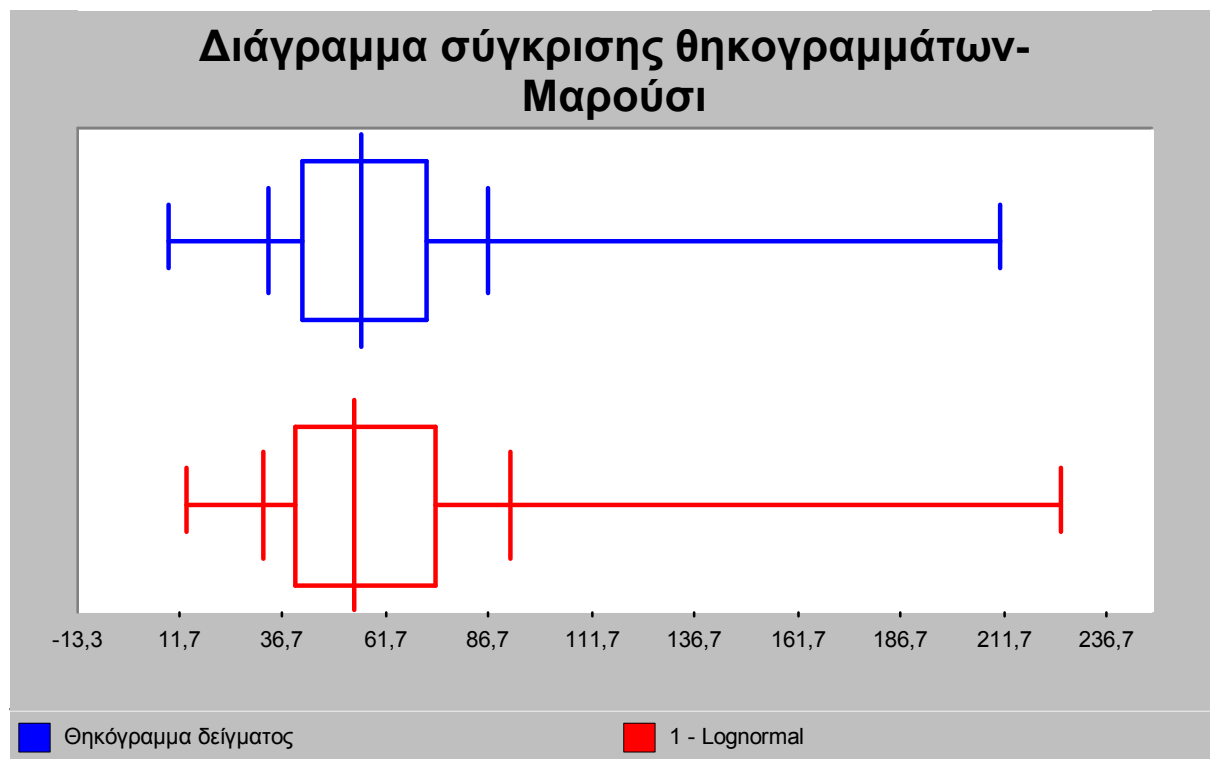
Διάγραμμα 9.49: Πιθανοθεωρητικό διάγραμμα P-P της λογαριθμικής κανονικής κατανομής $2p$ για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Μαρούσι



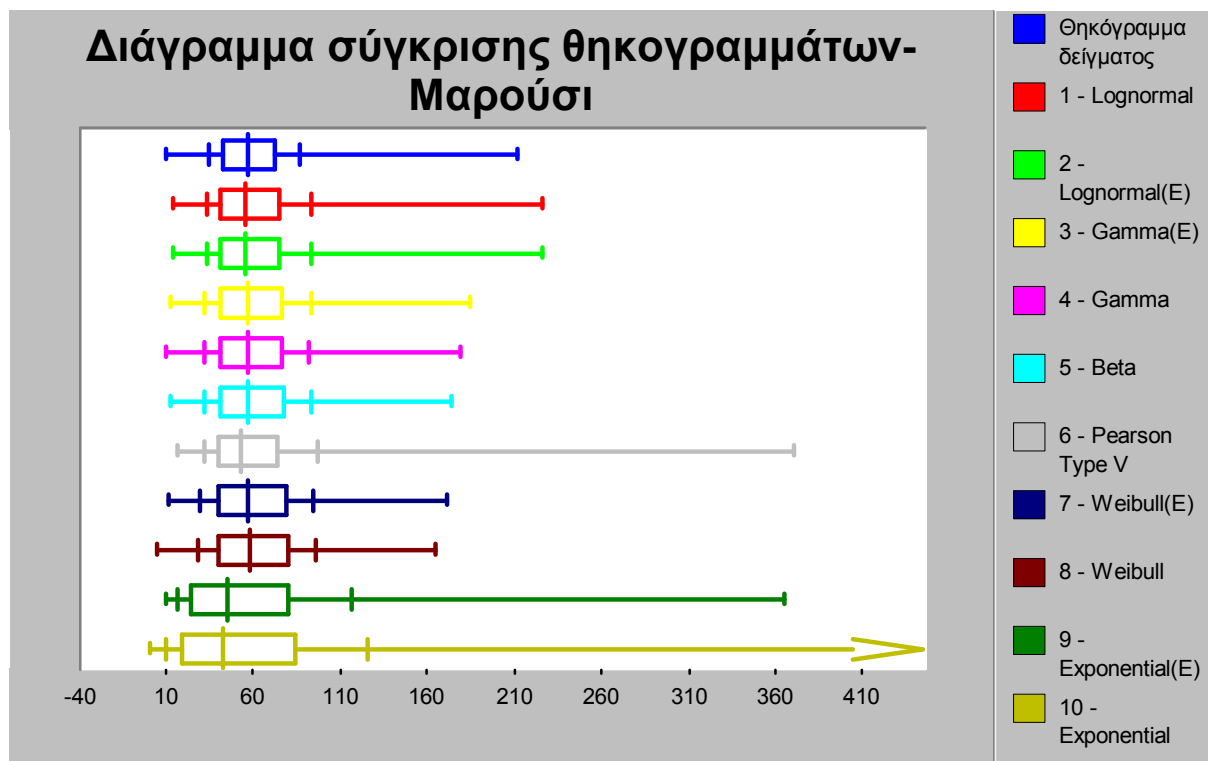
Διάγραμμα 9.50: Πιθανοθεωρητικό διάγραμμα Q-Q της λογαριθμικής κανονικής κατανομής $2p$ για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Μαρούσι



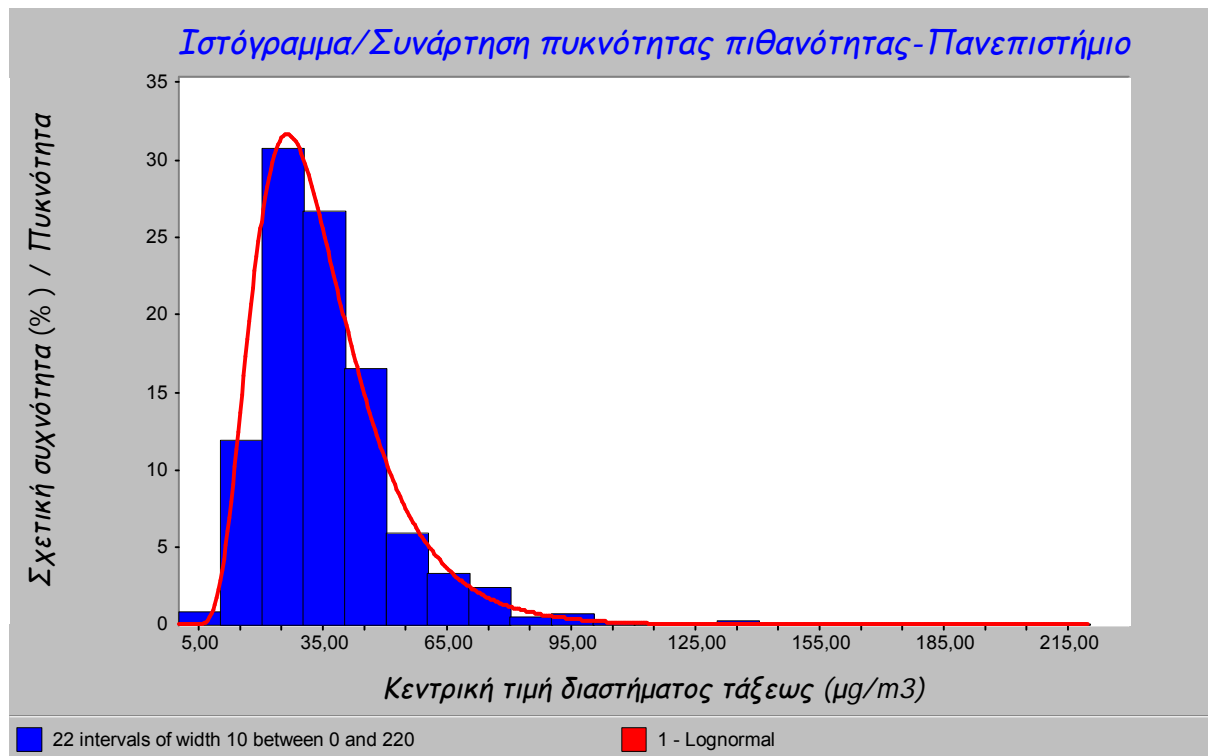
Διάγραμμα 9.51: Πιθανοθεωρητικό διάγραμμα Q-Q όλων των θεωρητικών κατανομών για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Μαρούσι



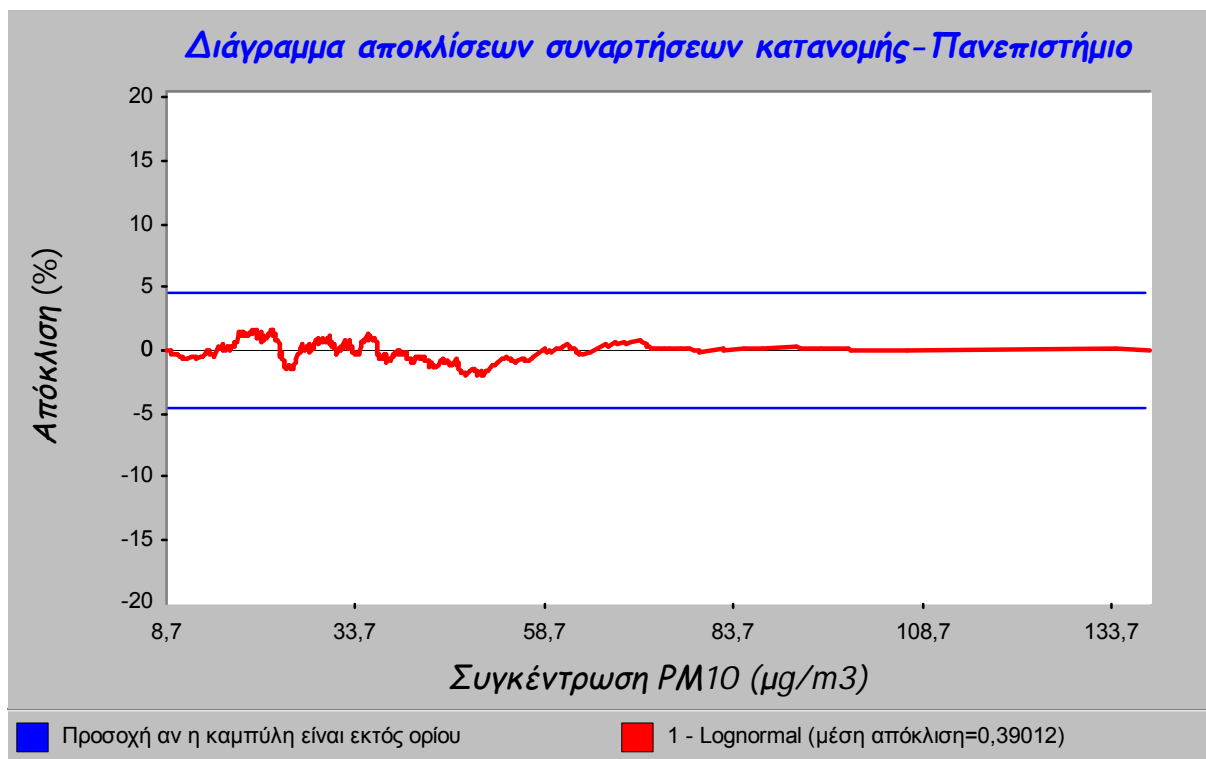
Διάγραμμα 9.52: Σύγκριση θηκογραμμάτων δείγματος και λογαριθμικής κανονικής κατανομής 2p για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Μαρούσι



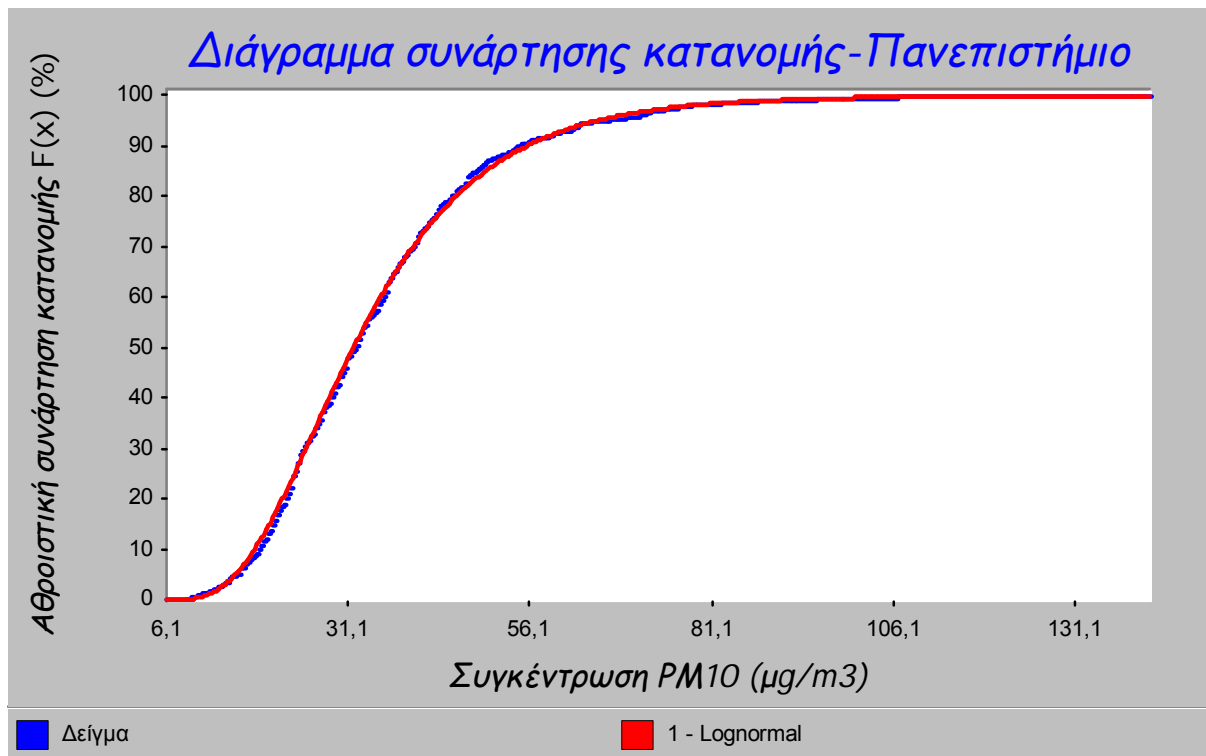
Διάγραμμα 9.53: Σύγκριση θηκογραμμμάτων δείγματος και όλων των θεωρητικών κατανομών για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Μαρούσι



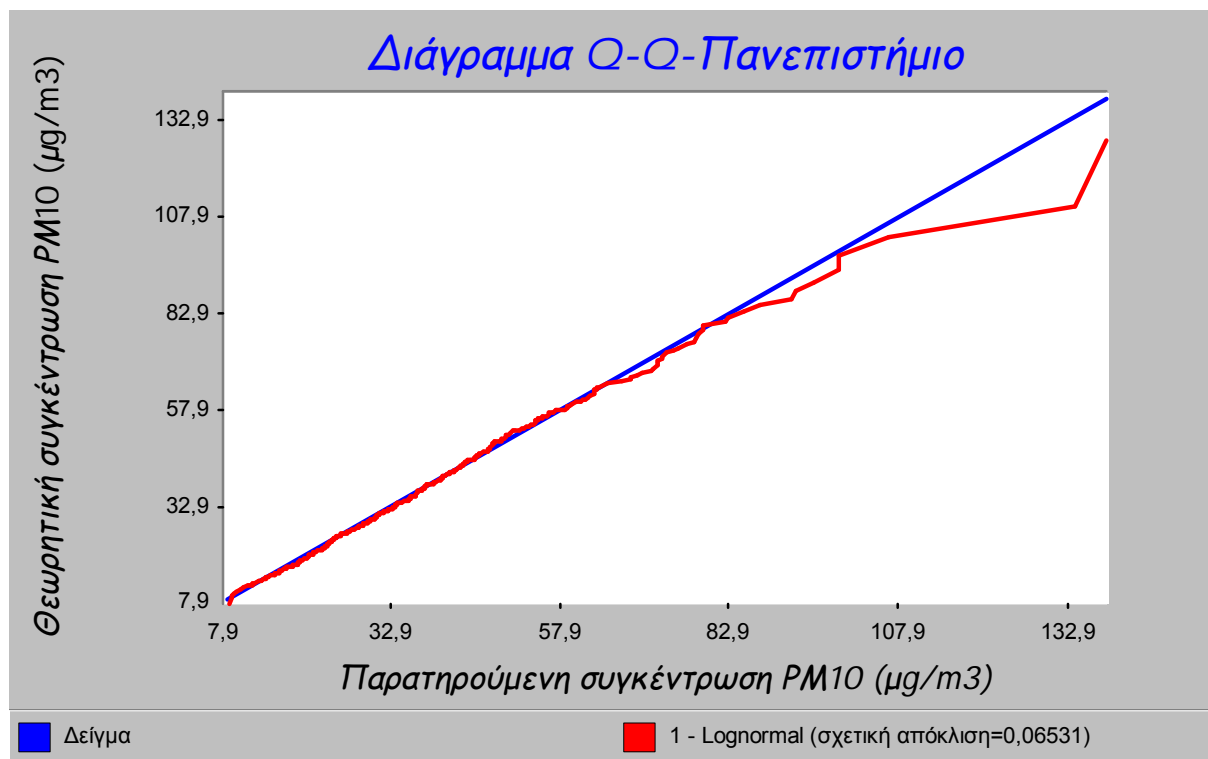
Διάγραμμα 9.54: Σύγκριση ιστογράμματος και συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας της λογαριθμικής κανονικής κατανομής 2σ για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Πανεπιστήμιο



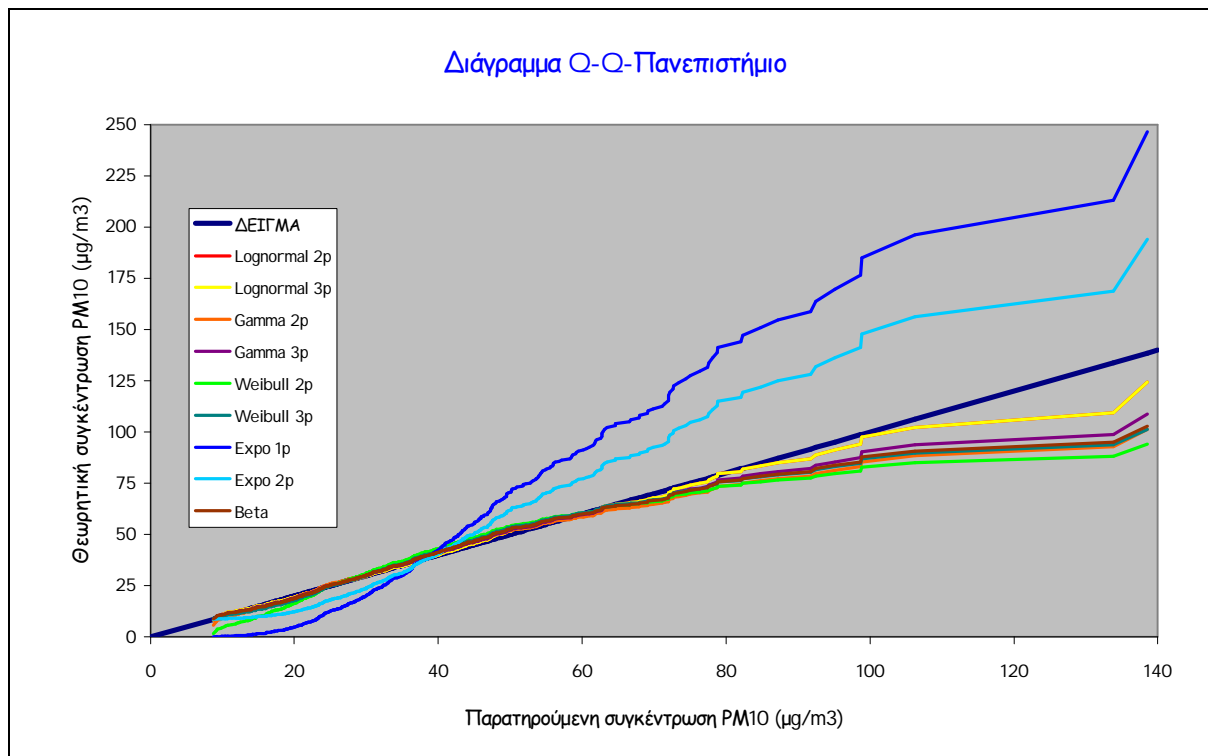
Διάγραμμα 9.55: Διάγραμμα αποκλίσεων δειγματικής και λογαριθμικής κανονικής κατανομής 2σ για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Πανεπιστήμιο



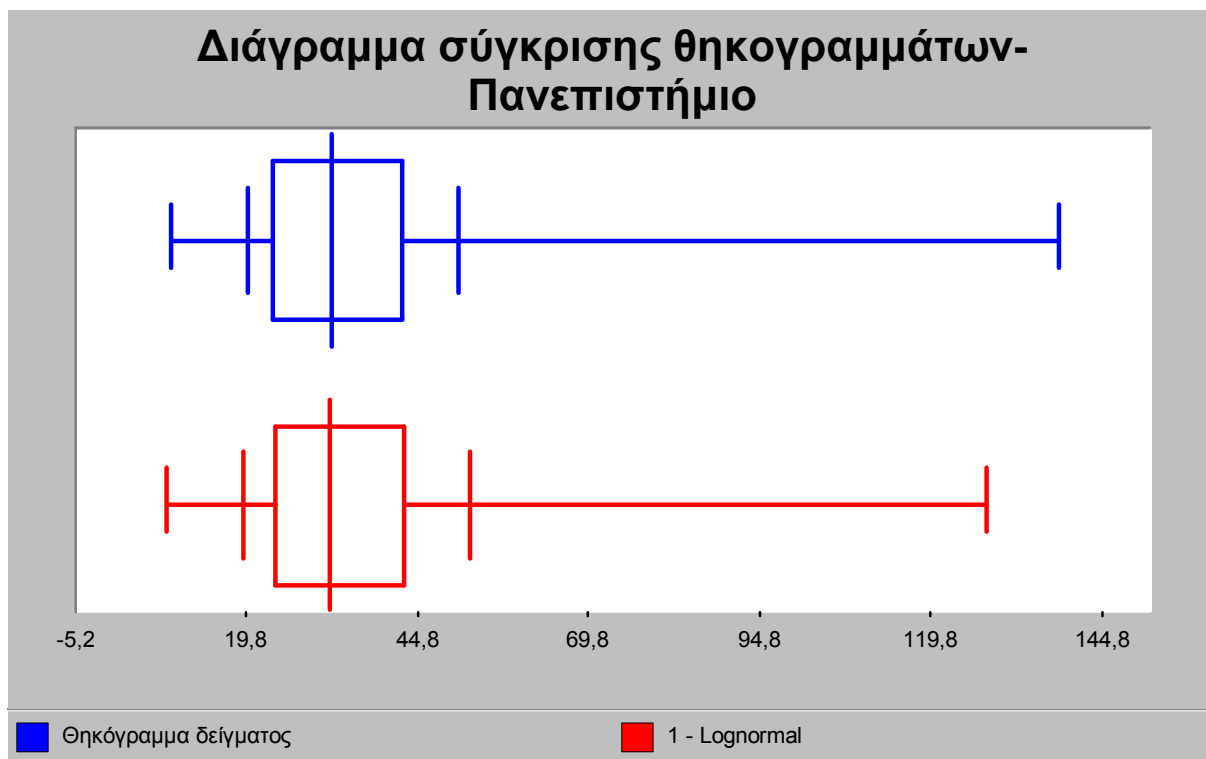
Διάγραμμα 9.56: Σύγκριση συναρτήσεων κατανομής (δεξιόστροφων αθροιστικών συναρτήσεων κατανομής) δειγματικής και λογαριθμικής κανονικής κατανομής 2σ για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Πανεπιστήμιο



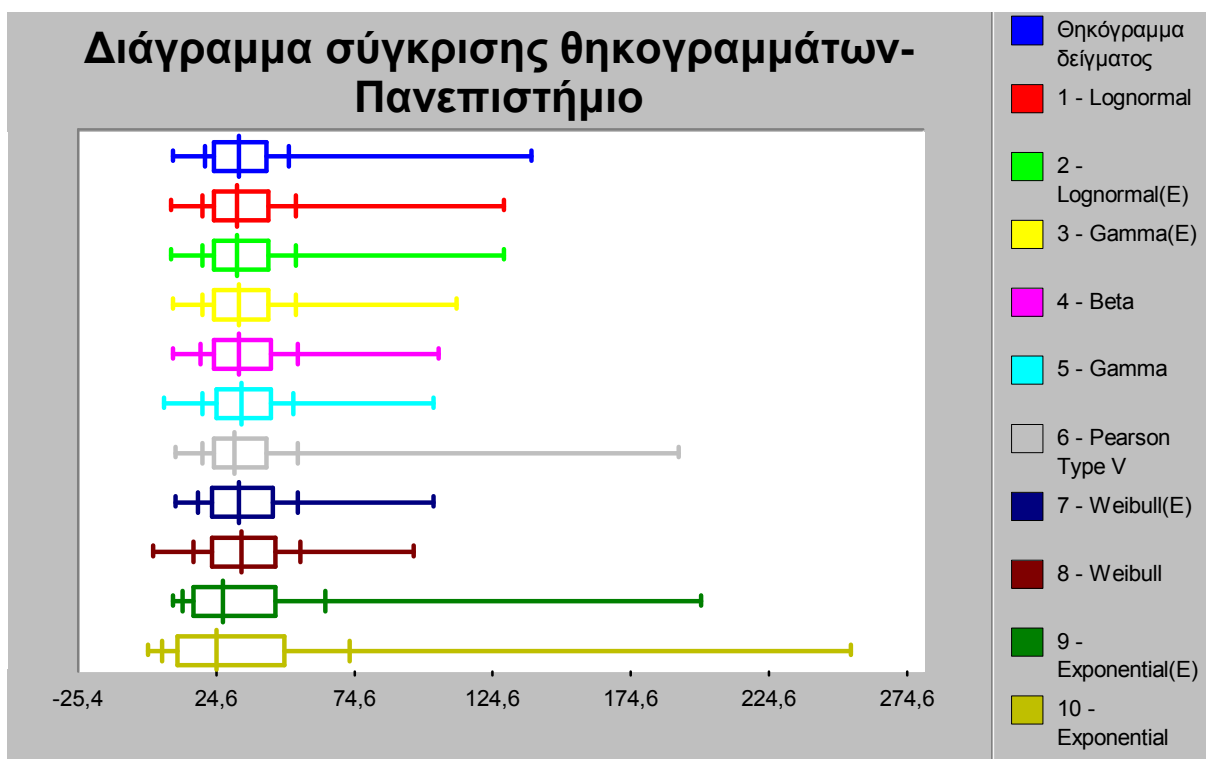
Διάγραμμα 9.59: Πιθανοθεωρητικό διάγραμμα Q-Q της λογαριθμικής κανονικής κατανομής 2p για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Πανεπιστήμιο



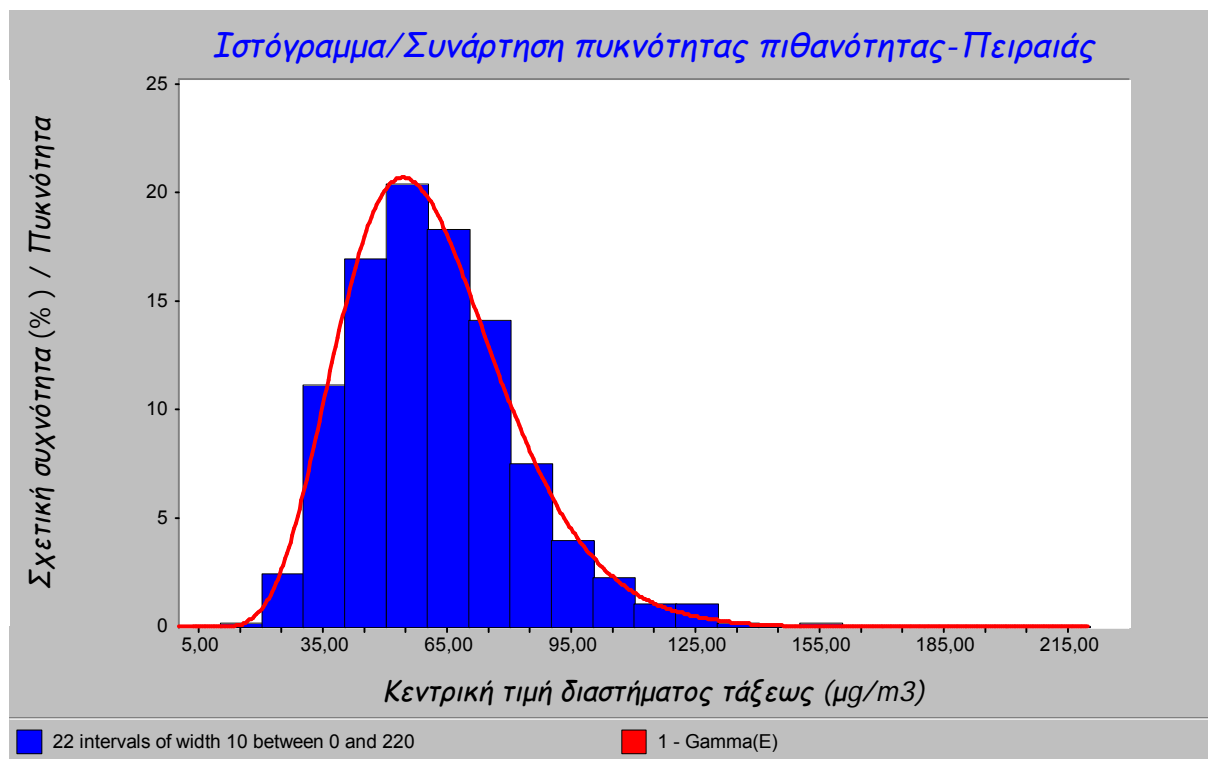
Διάγραμμα 9.60: Πιθανοθεωρητικό διάγραμμα Q-Q όλων των θεωρητικών κατανομών για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Πανεπιστήμιο



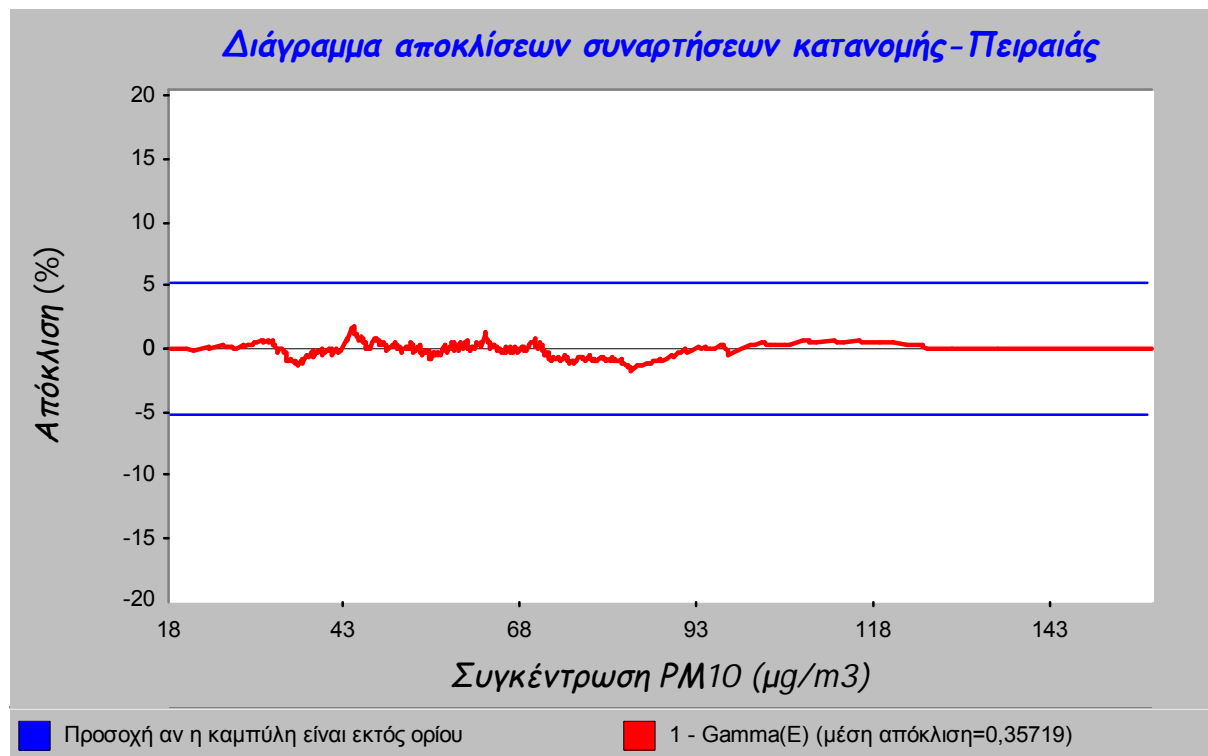
Διάγραμμα 9.61: Σύγκριση θηκογραμμάτων δείγματος και λογαριθμικής κανονικής κατανομής $2p$ για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Πανεπιστήμιο



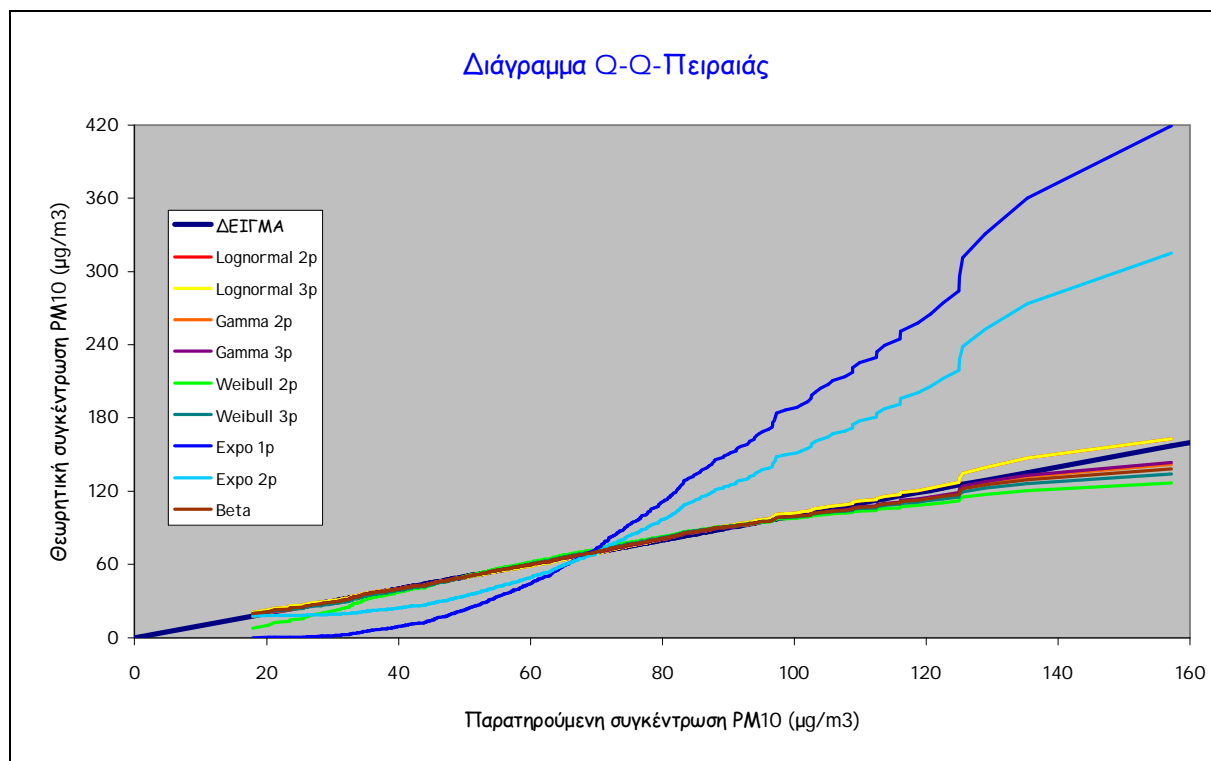
Διάγραμμα 9.62: Σύγκριση θηκογραμμάτων δείγματος και όλων των θεωρητικών κατανομών για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Πανεπιστήμιο



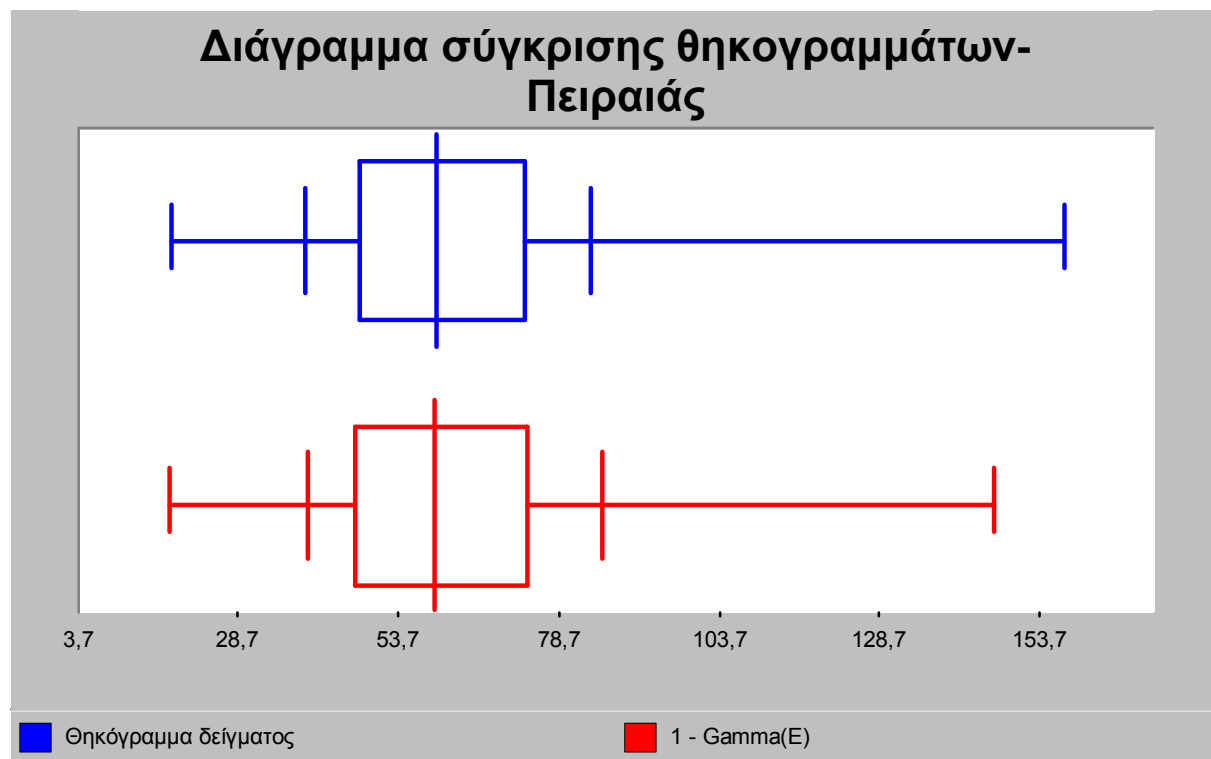
Διάγραμμα 9.63: Σύγκριση ιστογράμματος και συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας της κατανομής γάμμα $3r$ για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Πειραιά



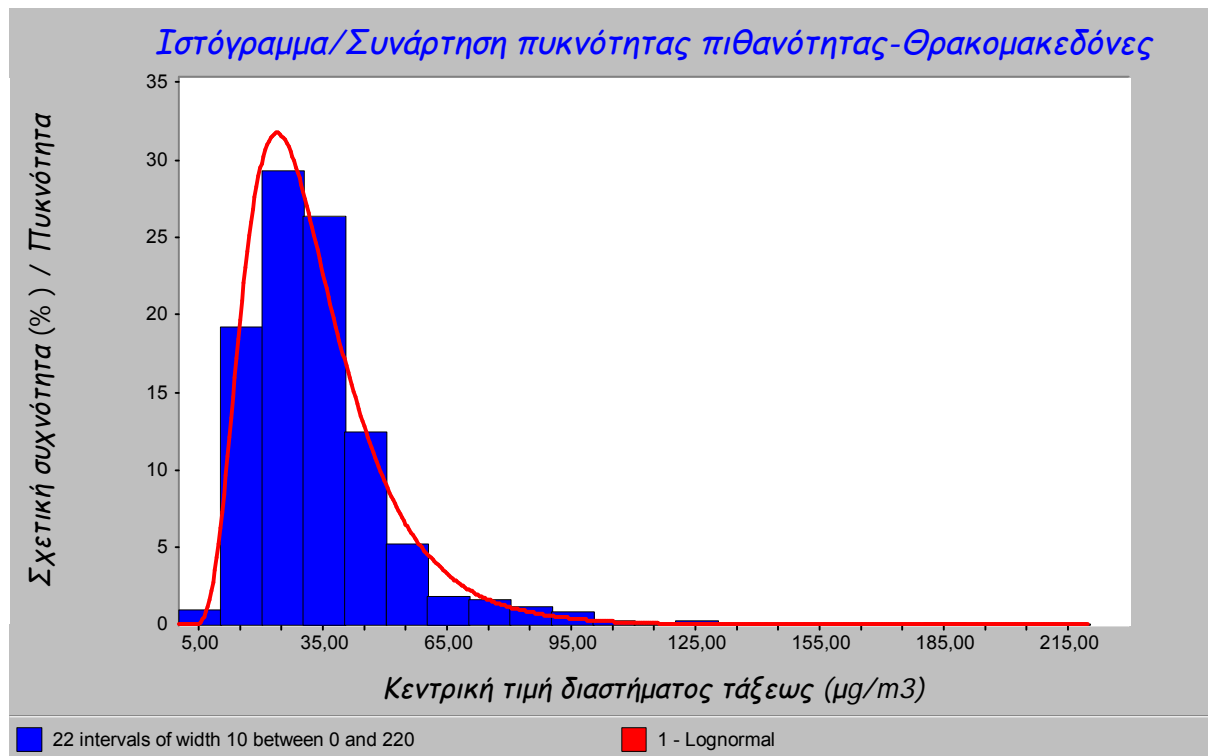
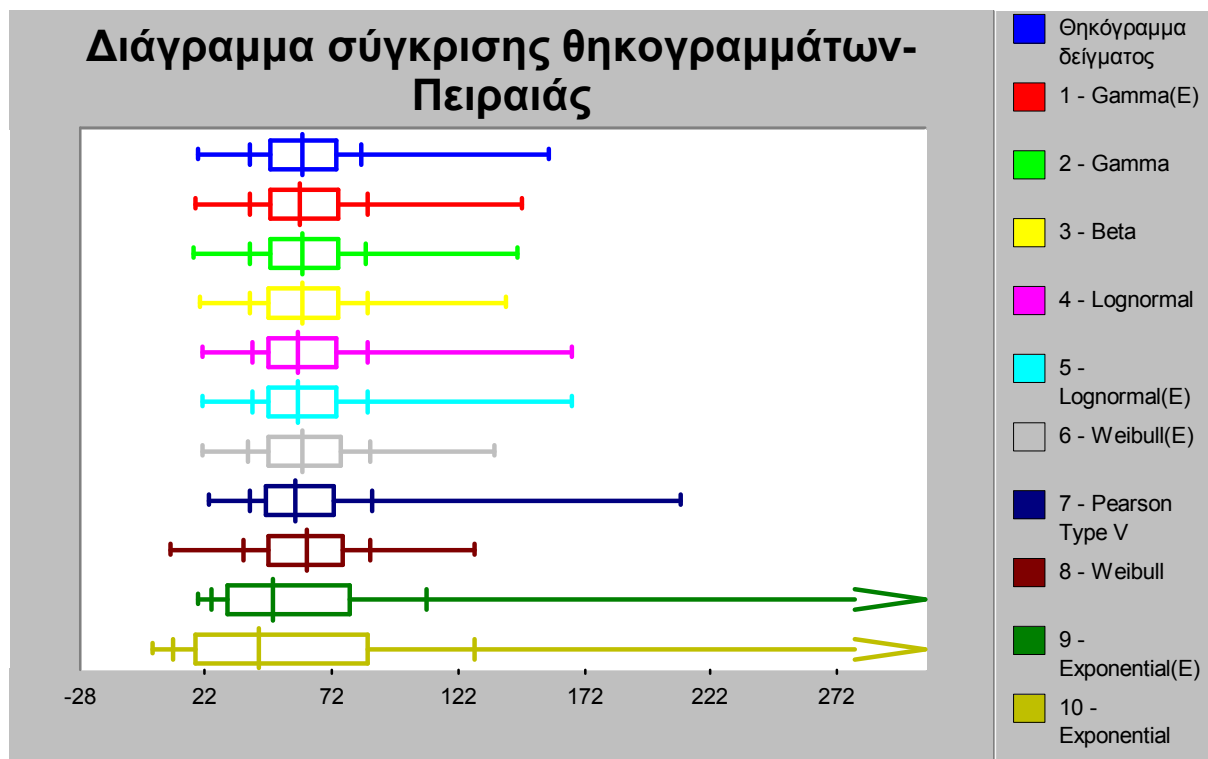
Διάγραμμα 9.64: Διάγραμμα αποκλίσεων δειγματικής και κατανομής γάμμα $3r$ για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Πειραιά

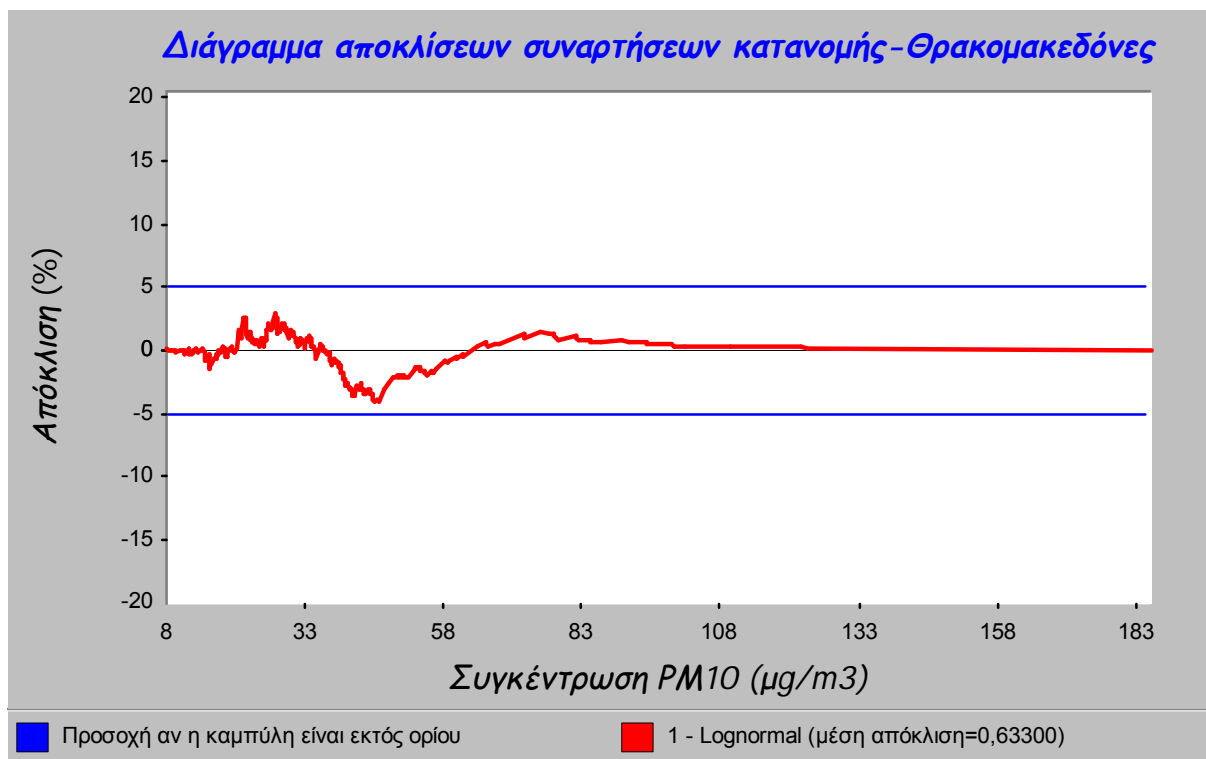


Διάγραμμα 9.69: Πιθανοθεωρητικό διάγραμμα Q-Q όλων των θεωρητικών κατανομών για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Πειραιά

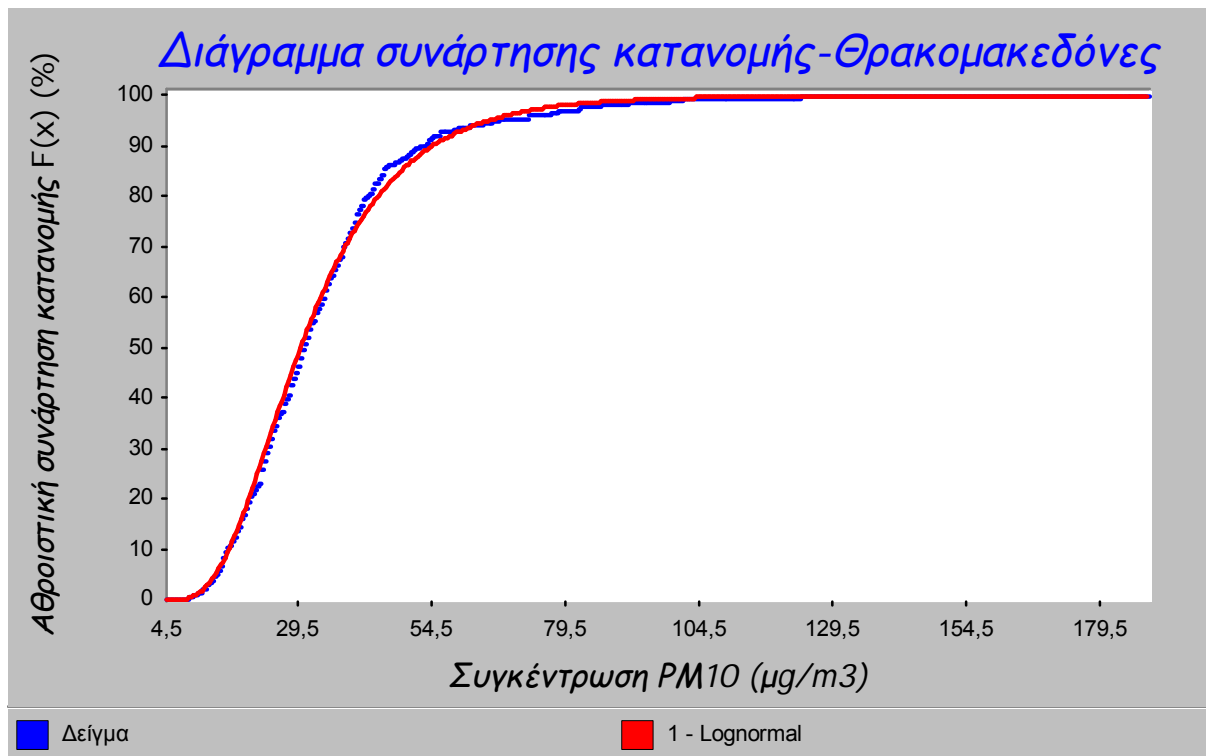


Διάγραμμα 9.70: Σύγκριση θηκογραμμάτων δείγματος και κατανομής γάμμα 3p για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Πειραιά

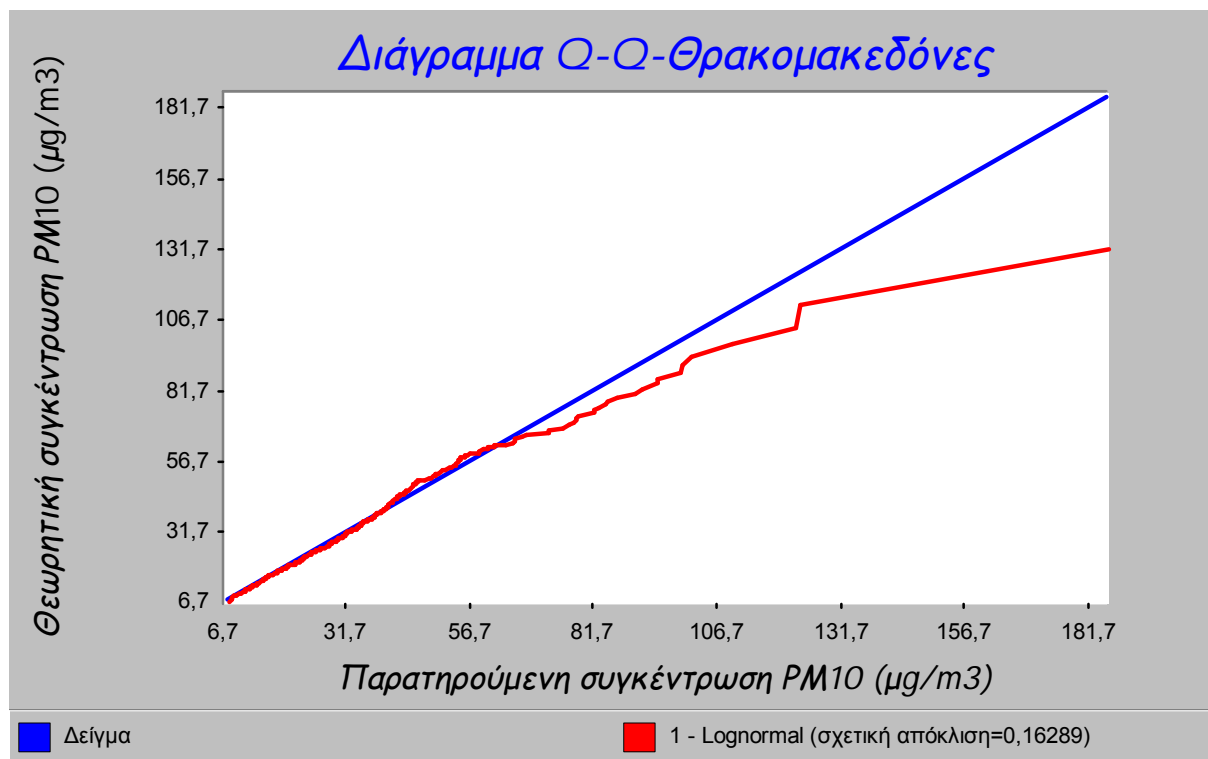




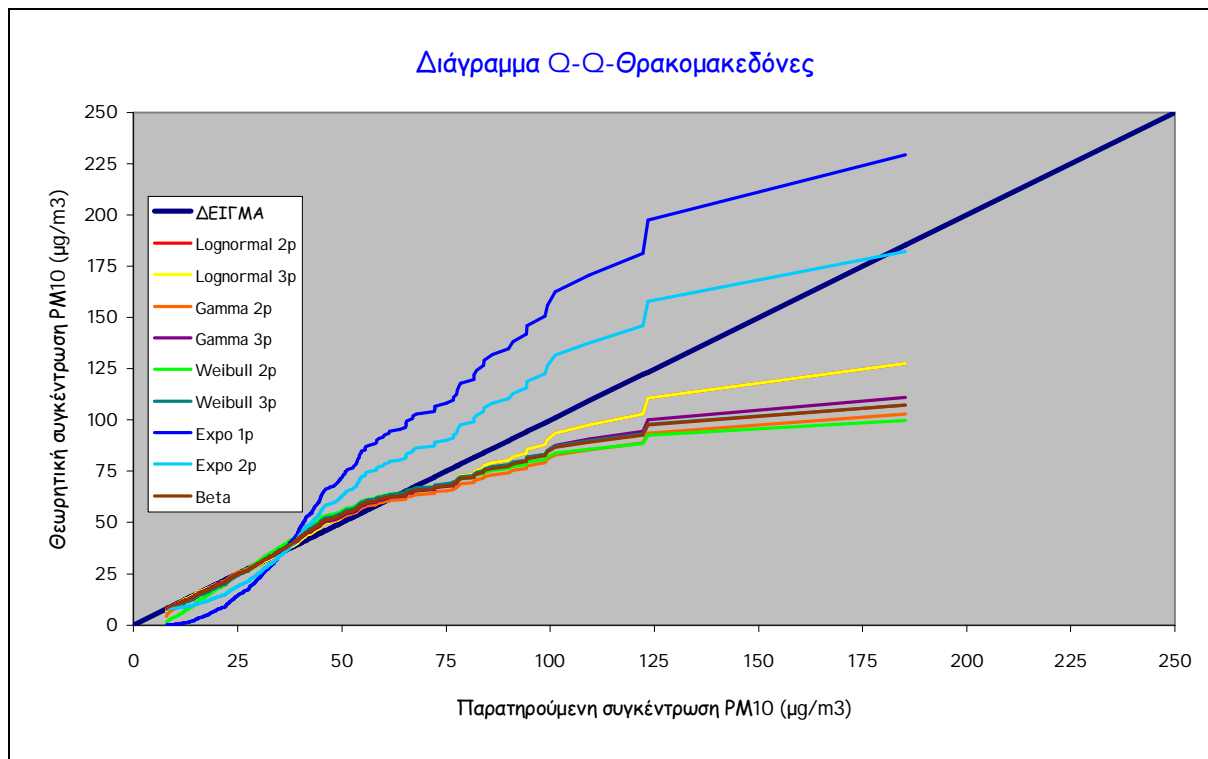
Διάγραμμα 9.73: Διάγραμμα αποκλίσεων δειγματικής και λογαριθμικής κανονικής κατανομής 2 σ για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Θρακομακεδόνες



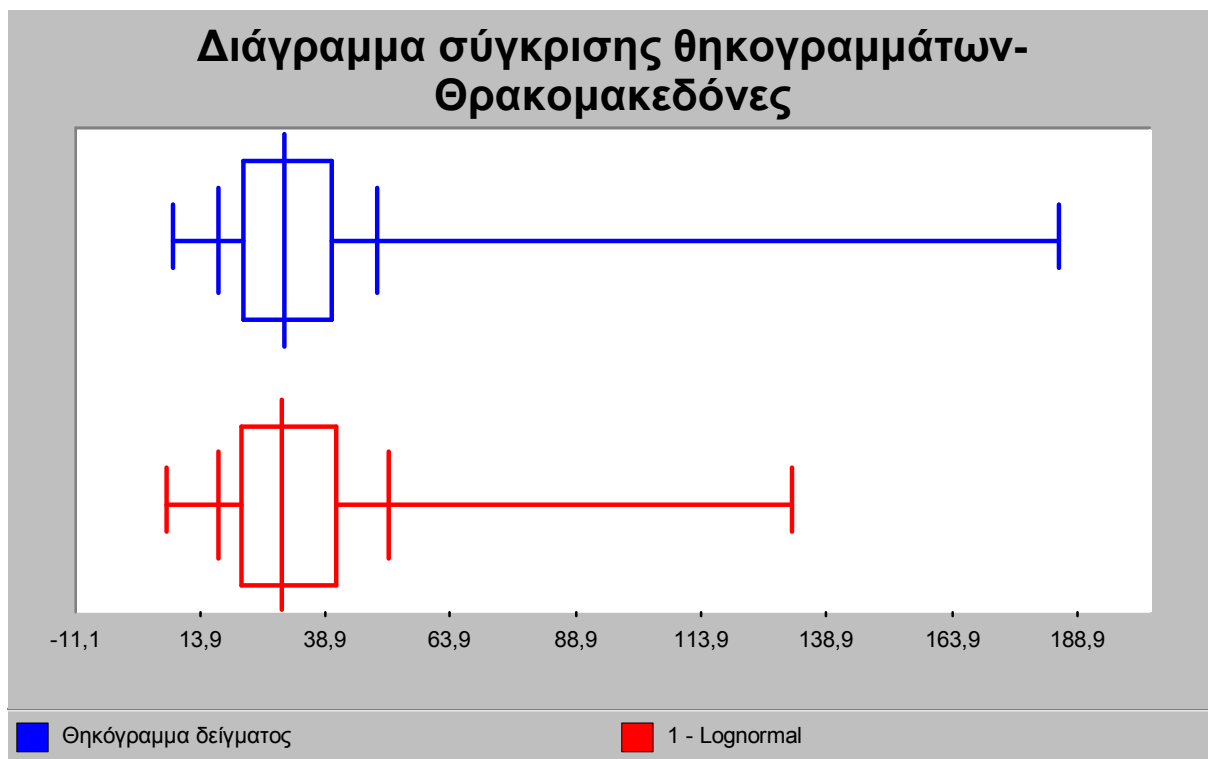
Διάγραμμα 9.74: Σύγκριση συναρτήσεων κατανομής (δεξιόστροφων αθροιστικών συναρτήσεων κατανομής) δειγματικής και λογαριθμικής κανονικής κατανομής 2 σ για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Θρακομακεδόνες



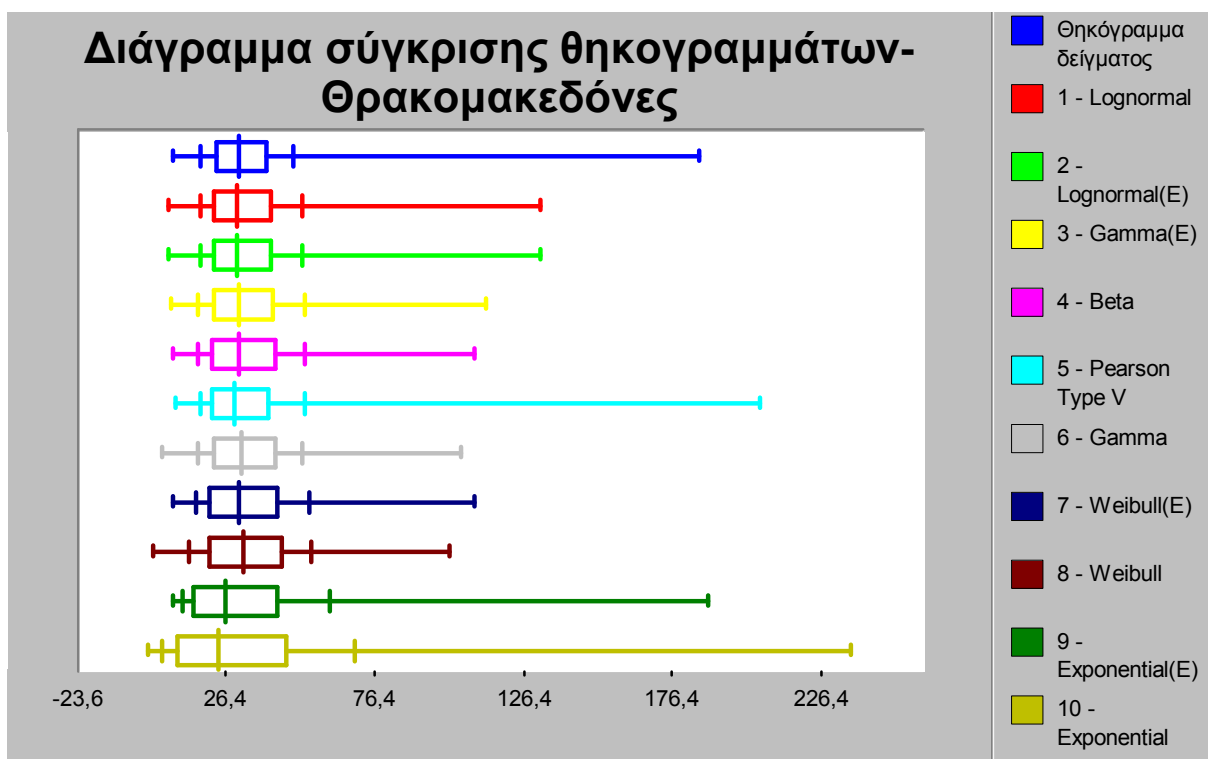
Διάγραμμα 9.77: Πιθανοθεωρητικό διάγραμμα Q-Q της λογαριθμικής κανονικής κατανομής 2p για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Θρακομακεδόνες



Διάγραμμα 9.78: Πιθανοθεωρητικό διάγραμμα Q-Q όλων των θεωρητικών κατανομών για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Θρακομακεδόνες



Διάγραμμα 9.79: Σύγκριση θηκογραμμμάτων δείγματος και λογαριθμικής κανονικής κατανομής $2p$ για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Θρακομακεδόνες



Διάγραμμα 9.80: Σύγκριση θηκογραμμμάτων δείγματος και όλων των θεωρητικών κατανομών για τη χρονοσειρά PM10 στο σταθμό Θρακομακεδόνες

9.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΜΕΝΩΝ ΥΠΕΡΒΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 2001-2002

Από τη στιγμή που επιλέχθηκαν οι θεωρητικές συναρτήσεις στις οποίες ανταποκρίνονται καλύτερα τα δεδομένα και έχουν υπολογιστεί οι παράμετροι τους, είναι γνωστές οι συναρτήσεις των κατανομών που ακολουθούν οι χρονοσειρές των μέσων ημερήσιων συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 για όλους τους σταθμούς μέτρησης. Οι εξισώσεις των συναρτήσεων πυκνότητας πιθανότητας των προσαρμοσμένων θεωρητικών κατανομών για καθεμία από τις χρονοσειρές των οχτώ σταθμών μέτρησης παρουσιάζονται στον πίνακα 9.25.

Πίνακας 9.25: Συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας (p.d.f.) προσαρμοσμένων θεωρητικών κατανομών

Σταθμός	Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (p.d.f.)
Αγία Παρασκευή	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}(x-4,5372)0,53789} \exp\left[-\frac{(\ln(x-4,53725)-3,5184)^2}{2(0,53789)^2}\right]$
Αριστοτέλους	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}x0,39415} \exp\left[-\frac{(\ln x-3,933)^2}{2(0,39415)^2}\right]$
Γουδί	$\frac{(x-4,25439)^{4,87751}}{8,10164^{5,87751} \Gamma(5,87751)} \exp\left[-\left(\frac{x-4,25439}{8,10164}\right)\right]$
Λυκόβρυση	$\frac{x^{4,73921}}{10,60706^{5,73921} \Gamma(5,73921)} \exp\left[-\left(\frac{x}{10,60706}\right)\right]$
Μαρούσι	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}x0,46258} \exp\left[-\frac{(\ln x-3,98608)^2}{2(0,46258)^2}\right]$
Πανεπιστήμιο	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}x0,43563} \exp\left[-\frac{(\ln x-3,45984)^2}{2(0,43563)^2}\right]$
Πειραιάς	$\frac{(x-3,3766)^{7,18733}}{7,09655^{8,18733} \Gamma(8,18733)} \exp\left[-\left(\frac{x-3,3766}{7,09655}\right)\right]$
Θρακομακεδόνες	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}x0,47285} \exp\left[-\frac{(\ln x-3,39153)^2}{2(0,47285)^2}\right]$

Οι παραπάνω συναρτήσεις μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό διάφορων μεγεθών, τα οποία παρέχουν σημαντικές πληροφορίες στην στατιστική ανάλυση των χρονοσειρών των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων. Συγκεκριμένα υπολογίζονται για διάφορες τιμές συγκεντρώσεων οι αντίστοιχες αθροιστικές

πιθανότητες και οι περίοδοι επαναφοράς τους μέσω της εξίσωσης 7.39. Στη συνέχεια υπολογίζονται οι αναμενόμενες υπερβάσεις των συγκεκριμένων συγκεντρώσεων διαιρώντας τον αριθμό των παρατηρήσεων σε κάθε σταθμό με την περίοδο επαναφοράς τους. Οι αναμενόμενες υπερβάσεις συγκρίνονται με τις πραγματικές υπερβάσεις που παρατηρήθηκαν την περίοδο 2001-2002 με τα αποτελέσματα της σύγκρισης αυτής να παρέχουν ένα επιπλέον κριτήριο της καταλληλότητας της προσαρμογής της συγκεκριμένης κατανομής στα δεδομένα.

Τα παραπάνω αποτελέσματα συνοψίζονται στους πίνακες 9.26-9.33.

Πίνακες 9.26-9.33: Εκτίμηση πιθανότητας υπέρβασης και περιόδου επαναφοράς διάφορων τιμών συγκεντρώσεων και σύγκριση αναμενόμενων και πραγματικών υπερβάσεων αυτών

ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ

Συγκέντρωση (μg/m ³)	Πιθανότητα υπέρβασης F(x)	Περίοδος επαναφοράς (ημέρες)	Αναμενόμενες υπερβάσεις	Πραγματικές υπερβάσεις
50	0,28947	3,45	167	158
55	0,22695	4,41	131	129
60	0,17760	5,63	102	100
65	0,13895	7,20	80	78
70	0,10884	9,19	63	60
75	0,08541	11,71	49	54
80	0,06719	14,88	39	48
85	0,05301	18,86	31	39
90	0,04196	23,83	24	30
95	0,03332	30,01	19	26
100	0,02655	37,66	15	15
105	0,02123	47,11	12	11
110	0,01703	58,71	10	9
115	0,01371	72,93	8	8
120	0,01108	90,28	6	5
125	0,00898	111,39	5	4
130	0,00730	136,99	4	2
140	0,00487	205,22	3	1
150	0,00329	303,72	2	0

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΟΥΣ

Συγκέντρωση (μg/m ³)	Πιθανότητα υπέρβασης F(x)	Περίοδος επαναφοράς (ημέρες)	Αναμενόμενες υπερβάσεις	Πραγματικές υπερβάσεις
50	0,52122	1,92	300	295
55	0,42521	2,35	244	242
60	0,34114	2,93	196	190
65	0,27013	3,70	155	151
70	0,21173	4,72	122	114
75	0,16466	6,07	95	88
80	0,12730	7,86	73	68
85	0,09800	10,20	56	51

90	0,07521	13,30	43	39
95	0,05760	17,36	33	34
100	0,04406	22,69	25	27
105	0,03369	29,68	19	21
110	0,02576	38,82	15	18
115	0,01970	50,76	11	13
120	0,01508	66,31	9	9
125	0,01156	86,52	7	8
130	0,00887	112,74	5	6
140	0,00525	190,54	3	4
150	0,00313	319,71	2	4

ΓΟΥΔΙ

Συγκέντρωση ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Πιθανότητα υπερβάσης F(x)	Περίοδος επαναφοράς (ημέρες)	Αναμενόμενες υπερβάσεις	Πραγματικές υπερβάσεις
50	0,48330	2,07	309	305
55	0,38469	2,60	246	246
60	0,29855	3,35	191	192
65	0,22650	4,42	145	138
70	0,16836	5,94	108	99
75	0,12287	8,14	79	74
80	0,08820	11,34	56	57
85	0,06238	16,03	40	38
90	0,04352	22,98	28	31
95	0,02999	33,35	19	21
100	0,02043	48,94	13	16
105	0,01378	72,57	9	10
110	0,00920	108,64	6	8
115	0,00610	164,05	4	6
120	0,00400	249,74	3	5
125	0,00261	383,04	2	3
130	0,00169	591,58	1	3
140	0,00070	1438,07	0	1
150	0,00028	3575,60	0	0

ΛΥΚΟΒΡΥΣΗ

Συγκέντρωση ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Πιθανότητα υπερβάσης F(x)	Περίοδος επαναφοράς (ημέρες)	Αναμενόμενες υπερβάσεις	Πραγματικές υπερβάσεις
50	0,62351	1,60	409	416
55	0,53917	1,85	354	351
60	0,45811	2,18	301	281
65	0,38297	2,61	251	229
70	0,31541	3,17	207	186
75	0,25622	3,90	168	155
80	0,20552	4,87	135	130
85	0,16295	6,14	107	99
90	0,12782	7,82	84	79
95	0,09928	10,07	65	68
100	0,07642	13,09	50	52
105	0,05832	17,15	38	43
110	0,04417	22,64	29	35
115	0,03320	30,12	22	29
120	0,02479	40,33	16	22
125	0,01840	54,35	12	13

130	0,01357	73,68	9	12
140	0,00727	137,62	5	9
150	0,00381	262,12	3	8

ΜΑΡΟΥΣΙ

Συγκέντρωση ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Πιθανότητα υπερβάσης F(x)	Περίοδος επαναφοράς (ημέρες)	Αναμενόμενες υπερβάσεις	Πραγματικές υπερβάσεις
50	0,56360	1,77	288	300
55	0,48168	2,08	246	257
60	0,40748	2,45	208	200
65	0,34197	2,92	175	165
70	0,28526	3,51	146	138
75	0,23686	4,22	121	114
80	0,19601	5,10	100	95
85	0,16182	6,18	83	67
90	0,13338	7,50	68	55
95	0,10983	9,11	56	48
100	0,09039	11,06	46	40
105	0,07440	13,44	38	35
110	0,06125	16,33	31	32
115	0,05045	19,82	26	24
120	0,04159	24,04	21	19
125	0,03432	29,13	18	17
130	0,02836	35,27	14	17
140	0,01943	51,47	10	11
150	0,01338	74,71	7	9

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Συγκέντρωση ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Πιθανότητα υπερβάσης F(x)	Περίοδος επαναφοράς (ημέρες)	Αναμενόμενες υπερβάσεις	Πραγματικές υπερβάσεις
50	0,14964	6,68	107	95
55	0,10442	9,58	75	68
60	0,07262	13,77	52	53
65	0,05048	19,81	36	36
70	0,03512	28,48	25	29
75	0,02449	40,83	18	19
80	0,01713	58,36	12	12
85	0,01203	83,10	9	9
90	0,00849	117,83	6	8
95	0,00601	166,31	4	6
100	0,00428	233,64	3	3
105	0,00306	326,64	2	3
110	0,00220	454,47	2	2
115	0,00159	629,27	1	2
120	0,00115	867,13	1	2
125	0,00084	1189,24	1	2
130	0,00062	1623,40	0	2
140	0,00034	2984,03	0	0
150	0,00019	5389,55	0	0

ΠΕΙΡΑΙΑΣ

Συγκέντρωση ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Πιθανότητα υπερβάσης	Περίοδος επαναφοράς	Αναμενόμενες υπερβάσεις	Πραγματικές υπερβάσεις
---	-------------------------	------------------------	----------------------------	---------------------------

	F(x)	(ημέρες)		
50	0,68746	1,45	393	396
55	0,58465	1,71	334	330
60	0,48260	2,07	276	279
65	0,38733	2,58	222	220
70	0,30285	3,30	173	174
75	0,23116	4,33	132	127
80	0,17257	5,79	99	93
85	0,12624	7,92	72	65
90	0,09064	11,03	52	50
95	0,06396	15,63	37	37
100	0,04443	22,51	25	27
105	0,03042	32,87	17	20
110	0,02055	48,67	12	14
115	0,01371	72,95	8	11
120	0,00904	110,63	5	8
125	0,00590	169,57	3	5
130	0,00381	262,53	2	2
140	0,00155	646,72	1	1
150	0,00061	1646,13	0	1

ΘΡΑΚΟΜΑΚΕΔΟΝΕΣ

Συγκέντρωση ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Πιθανότητα υπερβάσης F(x)	Περίοδος επαναφοράς (ημέρες)	Αναμενόμενες υπερβάσεις	Πραγματικές υπερβάσεις
50	0,13550	7,38	82	70
55	0,09640	10,37	59	47
60	0,06860	14,58	42	38
65	0,04890	20,45	30	34
70	0,03497	28,60	21	27
75	0,02510	39,84	15	24
80	0,01810	55,26	11	17
85	0,01311	76,28	8	12
90	0,00954	104,78	6	10
95	0,00698	143,22	4	7
100	0,00513	194,77	3	5
105	0,00379	263,54	2	4
110	0,00282	354,83	2	3
115	0,00210	475,41	1	3
120	0,00158	633,91	1	3
125	0,00119	841,31	1	1
130	0,00090	1111,47	1	1
140	0,00052	1914,40	0	1
150	0,00031	3242,31	0	1

9.6 ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΥΠΕΡΒΑΣΕΩΝ ΤΩΝ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΑΕΡΙΑΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

Η στατιστική ανάλυση με τη χρήση κατανομών χρησιμοποιείται σαν εργαλείο πρόβλεψης. Από τη στιγμή που είναι γνωστές οι περίοδοι επαναφοράς διάφορων επιπέδων συγκεντρώσεων, μπορεί εύκολα να υπολογιστούν οι αναμενόμενες υπερβάσεις κάθε τιμής κατά τη διάρκεια του επόμενου έτους. Βέβαια ενδιαφέρον παρουσιάζουν κυρίως οι τιμές που εμπεριέχονται στα διάφορα θεσμοθετημένα πρότυπα αέριας ποιότητας, δηλαδή οι συγκεντρώσεις $50\mu\text{g}/\text{m}^3$, $60\mu\text{g}/\text{m}^3$, $125\mu\text{g}/\text{m}^3$ και $150\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Στους πίνακες 9.34 έως 9.41 παρουσιάζονται οι αναμενόμενες υπερβάσεις διάφορων τιμών συγκεντρώσεων κατά τη διάρκεια του έτους 2003 καθώς και το ποσοστό των ημερών όπου παρατηρείται υπέρβαση επί του συνολικού αριθμού ημερών του έτους. Να σημειωθεί πως τα αποτελέσματα των προαναφερόμενων συγκεντρώσεων σημειώνονται με μπλε χρώμα.

Πίνακες 9.34-9.41: Αναμενόμενες υπερβάσεις διάφορων τιμών συγκεντρώσεων για το έτος 2003 και ποσοστό ημερών υπερβάσεων

ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ

Συγκέντρωση ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Περίοδος επαναφοράς (ημέρες)	Αναμενόμενες υπερβάσεις	Ποσοστό υπερβάσεων
50	3,45	106	28,95%
55	4,41	83	22,70%
60	5,63	65	17,76%
65	7,20	51	13,90%
70	9,19	40	10,88%
75	11,71	31	8,54%
80	14,88	25	6,72%
85	18,86	19	5,30%
90	23,83	15	4,20%
95	30,01	12	3,33%
100	37,66	10	2,65%
105	47,11	8	2,12%
110	58,71	6	1,70%
115	72,93	5	1,37%
120	90,28	4	1,11%
125	111,39	3	0,90%
130	136,99	3	0,73%
140	205,22	2	0,49%
150	303,72	1	0,33%

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΟΥΣ

Συγκέντρωση ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Περίοδος επαναφοράς (ημέρες)	Αναμενόμενες υπερβάσεις	Ποσοστό υπερβάσεων
50	1,92	190	52,12%
55	2,35	155	42,52%
60	2,93	125	34,11%
65	3,70	99	27,01%
70	4,72	77	21,17%
75	6,07	60	16,47%
80	7,86	46	12,73%
85	10,20	36	9,80%
90	13,30	27	7,52%
95	17,36	21	5,76%
100	22,69	16	4,41%
105	29,68	12	3,37%
110	38,82	9	2,58%
115	50,76	7	1,97%
120	66,31	6	1,51%
125	86,52	4	1,16%
130	112,74	3	0,89%
140	190,54	2	0,52%
150	319,71	1	0,31%

ΓΟΥΔΙ

Συγκέντρωση ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Περίοδος επαναφοράς (ημέρες)	Αναμενόμενες υπερβάσεις	Ποσοστό υπερβάσεων
50	2,07	176	48,33%
55	2,60	140	38,47%
60	3,35	109	29,86%
65	4,42	83	22,65%
70	5,94	61	16,84%
75	8,14	45	12,29%
80	11,34	32	8,82%
85	16,03	23	6,24%
90	22,98	16	4,35%
95	33,35	11	3,00%
100	48,94	7	2,04%
105	72,57	5	1,38%
110	108,64	3	0,92%
115	164,05	2	0,61%
120	249,74	1	0,40%
125	383,04	1	0,26%
130	591,58	1	0,17%
140	1438,07	0	0,07%
150	3575,60	0	0,03%

ΛΥΚΟΒΡΥΣΗ

Συγκέντρωση ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Περίοδος επαναφοράς (ημέρες)	Αναμενόμενες υπερβάσεις	Ποσοστό υπερβάσεων
50	1,60	228	62,35%
55	1,85	197	53,92%
60	2,18	167	45,81%

65	2,61	140	38,30%
70	3,17	115	31,54%
75	3,90	94	25,62%
80	4,87	75	20,55%
85	6,14	59	16,29%
90	7,82	47	12,78%
95	10,07	36	9,93%
100	13,09	28	7,64%
105	17,15	21	5,83%
110	22,64	16	4,42%
115	30,12	12	3,32%
120	40,33	9	2,48%
125	54,35	7	1,84%
130	73,68	5	1,36%
140	137,62	3	0,73%
150	262,12	1	0,38%

ΜΑΡΟΥΣΙ

Συγκέντρωση ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Περίοδος επαναφοράς (ημέρες)	Αναμενόμενες υπερβάσεις	Ποσοστό υπερβάσεων
50	1,77	206	56,36%
55	2,08	176	48,17%
60	2,45	149	40,75%
65	2,92	125	34,20%
70	3,51	104	28,53%
75	4,22	86	23,69%
80	5,10	72	19,60%
85	6,18	59	16,18%
90	7,50	49	13,34%
95	9,11	40	10,98%
100	11,06	33	9,04%
105	13,44	27	7,44%
110	16,33	22	6,12%
115	19,82	18	5,05%
120	24,04	15	4,16%
125	29,13	13	3,43%
130	35,27	10	2,84%
140	51,47	7	1,94%
150	74,71	5	1,34%

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Συγκέντρωση ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Περίοδος επαναφοράς (ημέρες)	Αναμενόμενες υπερβάσεις	Ποσοστό υπερβάσεων
50	6,68	55	14,96%
55	9,58	38	10,44%
60	13,77	27	7,26%
65	19,81	18	5,05%
70	28,48	13	3,51%
75	40,83	9	2,45%
80	58,36	6	1,71%
85	83,10	4	1,20%
90	117,83	3	0,85%
95	166,31	2	0,60%
100	233,64	2	0,43%

105	326,64	1	0,31%
110	454,47	1	0,22%
115	629,27	1	0,16%
120	867,13	0	0,12%
125	1189,24	0	0,08%
130	1623,40	0	0,06%
140	2984,03	0	0,03%
150	5389,55	0	0,02%

ΠΕΙΡΑΙΑΣ

Συγκέντρωση ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Περίοδος επαναφοράς (ημέρες)	Αναμενόμενες υπερβάσεις	Ποσοστό υπερβάσεων
50	1,45	251	68,75%
55	1,71	213	58,47%
60	2,07	176	48,26%
65	2,58	141	38,73%
70	3,30	111	30,29%
75	4,33	84	23,12%
80	5,79	63	17,26%
85	7,92	46	12,62%
90	11,03	33	9,06%
95	15,63	23	6,40%
100	22,51	16	4,44%
105	32,87	11	3,04%
110	48,67	7	2,05%
115	72,95	5	1,37%
120	110,63	3	0,90%
125	169,57	2	0,59%
130	262,53	1	0,38%
140	646,72	1	0,15%
150	1646,13	0	0,06%

ΘΡΑΚΟΜΑΚΕΔΟΝΕΣ

Συγκέντρωση ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Περίοδος επαναφοράς (ημέρες)	Αναμενόμενες υπερβάσεις	Ποσοστό υπερβάσεων
50	7,38	49	13,55%
55	10,37	35	9,64%
60	14,58	25	6,86%
65	20,45	18	4,89%
70	28,60	13	3,50%
75	39,84	9	2,51%
80	55,26	7	1,81%
85	76,28	5	1,31%
90	104,78	3	0,95%
95	143,22	3	0,70%
100	194,77	2	0,51%
105	263,54	1	0,38%
110	354,83	1	0,28%
115	475,41	1	0,21%
120	633,91	1	0,16%
125	841,31	0	0,12%
130	1111,47	0	0,09%
140	1914,40	0	0,05%
150	3242,31	0	0,03%

9.7 ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ

Η στατιστική ανάλυση με τη χρήση κατανομών χρησιμοποιείται επίσης ως εργαλείο για την εκτίμηση μιας συγκέντρωσης δεδομένης περιόδου επαναφοράς. Με αυτό τον τρόπο υπολογίζονται η πρώτη και δεύτερη μέγιστη αναμενόμενη συγκέντρωση κατά τη διάρκεια του επόμενου έτους καθώς και η συγκέντρωση που αναμένεται να ξεπεραστεί 35 φορές το επόμενο έτος. Οι συγκεντρώσεις αυτές έχουν περίοδο επαναφοράς 365 ημέρες, 182,5 ημέρες και 10,428 ημέρες αντίστοιχα.

Πίνακας 9.42: Εκτίμηση πρώτης και δεύτερης μέγιστης συγκέντρωσης και της 35 φορές υπερβενόμενης συγκέντρωσης κατά τη διάρκεια του έτους 2003

Υπέρβαση	R.P.	F(X>x)	Αγία Παρασκευή	Αριστοτέλους	Γουδί	Λυκόβρυση	Μαρούσι	Πανεπιστήμιο	Πειραιάς	Θρακομακεδόνες
1	365	0,00274	154,79	152,58	124,44	155,03	194,58	106,67	133,70	110,48
2	182,5	0,00548	137,07	139,17	116,28	144,42	174,67	96,36	125,85	98,93
35	10,428	0,09589	72,61	85,41	78,76	95,67	98,48	56,18	89,17	55,08

9.8 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΕΙΩΣΗΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM10

Η περιγραφή των δεδομένων συγκεντρώσεων με τη μορφή κατανομών επιτρέπει την ανάπτυξη στρατηγικών διαχείρισης και ελέγχου των εκπομπών των αιωρούμενων σωματιδίων. Στην παρούσα εργασία καταstrώνονται τρία διαφορετικά σενάρια μείωσης των εκπομπών των αιωρούμενων σωματιδίων PM10:

Σενάριο I: Σύμφωνα με το σενάριο I πρέπει να επιτευχθεί μείωση των εκπομπών των αιωρούμενων σωματιδίων PM10, έτσι ώστε να μην παρατηρούνται πάνω από 35 υπερβάσεις ανά ημερολογιακό έτος της οριακής τιμής των 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Το σενάριο αυτό είναι απόρροια της οδηγίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης η οποία και καθορίζει ως προθεσμία συμμόρφωσης προς την οριακή αυτή τιμή την 1^η Ιανουαρίου του 2005.

Σενάριο II: Σύμφωνα με το σενάριο II πρέπει να επιτευχθεί μείωση των εκπομπών των αιωρούμενων σωματιδίων PM10, έτσι ώστε να μην παρατηρούνται πάνω από 35

υπερβάσεις ανά ημερολογιακό έτος της οριακής τιμής των $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Το σενάριο αυτό είναι απόρροια της οδηγίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης η οποία και καθορίζει ως προθεσμία συμμόρφωσης προς την οριακή αυτή τιμή την 1^η Ιανουαρίου του 2003, με βάση το περιθώριο ανοχής που επιτρέπει η Ευρωπαϊκή Ένωση.

Σενάριο III: Σύμφωνα με το σενάριο III πρέπει να επιτευχθεί μείωση των εκπομπών των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 έτσι ώστε να μην παρατηρείται πάνω από 1 υπέρβαση ανά ημερολογιακό έτος της οριακής τιμής των $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Το σενάριο αυτό αντιστοιχεί στο αμερικάνικο πρότυπο αέριας ποιότητας (N.A.A.Q.S.) του Αμερικάνικου Οργανισμού Προστασίας του Περιβάλλοντος (US-EPA).

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, υπάρχουν δύο μέθοδοι εκτίμησης της απαιτούμενης μείωσης των εκπομπών των αέριων ρύπων. Τα αποτελέσματα των δύο αυτών μεθόδων παρουσιάζονται στη συνέχεια.

9.8.1 ΜΕΘΟΔΟΣ I

Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στην εξίσωση μείωσης ή μοντέλο ποσόστωσης (rollback equation) και εφαρμόστηκε για τα σενάρια I και II και με την προϋπόθεση πως οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 ακολουθούν την λογαριθμική-κανονική κατανομή. Σύμφωνα με τα σενάρια αυτά δεν πρέπει να παρατηρείται υπέρβαση της οριακής τιμής ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για το σενάριο I και $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για το σενάριο II) πάνω από 35 φορές ανά ημερολογιακό έτος. Με άλλα λόγια, η επιτρεπόμενη πιθανότητα υπέρβασης της τιμής αυτής είναι 0,09589 (35/365). Στις περιπτώσεις που η πιθανότητα αυτή είναι μεγαλύτερη, οι εκπομπές στη συγκεκριμένη περιοχή θα πρέπει να ελαττωθούν, έτσι ώστε να μειωθεί και η μέση αναμενόμενη συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων και να επιτευχθεί συμμόρφωση με τη νομοθεσία. Όμως η παράμετρος σ της λογαριθμικής-κανονικής κατανομής, που ελέγχει το μέγεθος των διακυμάνσεων της κατανομής, δεν επηρεάζεται από τα επίπεδα εκπομπής των αέριων ρύπων. Κατά συνέπεια θα πρέπει να μειωθεί η παράμετρος μ της κατανομής. Η σχέση 7.3 συνδέει την παράμετρο μ της κατανομής και την πιθανότητα υπέρβασης μιας τιμής συγκέντρωσης, ενώ η σχέση που συνδέει τη μέση αναμενόμενη τιμή και τις παραμέτρους της λογαριθμικής κανονικής κατανομής παρέχεται από την εξίσωση 9.1:

$$\ln E\{C_p\} = \mu + \frac{1}{2} \sigma^2 \quad (9.1)$$

Από τις δύο αυτές εξισώσεις μπορεί να υπολογιστεί η σχέση μεταξύ της μέσης αναμενόμενης συγκέντρωσης και της πιθανότητας υπέρβασης μιας τιμής της συγκέντρωσης και να παρασταθεί γραφικά.

Τέλος με τη βοήθεια της εξίσωσης μείωσης ή του μοντέλου ποσόστωσης μπορεί να εκτιμηθεί η απαιτούμενη μείωση των εκπομπών των αιωρούμενων σωματιδίων PM10.

Για την περίπτωση των συγκεντρώσεων του σταθμού Αριστοτέλους θα εξετασθεί αναλυτικά η εκτίμηση της απαιτούμενης μείωσης των εκπομπών των αιωρούμενων σωματιδίων σύμφωνα με το σενάριο I. Η τωρινή μέση συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων για το σταθμό αυτόν είναι $55,18422 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και η αντίστοιχη τυπική απόκλιση $23,35 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Οι συγκεντρώσεις θεωρούνται ότι ακολουθούν την λογαριθμική-κανονική κατανομή με παραμέτρους $\mu=3,933$ και $\sigma=0,39415$. Εφόσον η παράμετρος σ παραμένει σταθερή, για να έχει η οριακή τιμή των $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ πιθανότητα υπέρβασης $0,09589$, η παράμετρος μ θα πρέπει να μειωθεί και να γίνει $\mu'=3,39726$. Από την εξίσωση 9.1 προκύπτει ότι η μέση αναμενόμενη συγκέντρωση θα πρέπει να μειωθεί από $55,18422 \mu\text{g}/\text{m}^3$ σε $32,30439 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Η απαιτούμενη επομένως μείωση εκπομπών των αιωρούμενων σωματιδίων θα είναι:

$$R = \frac{E\{C_p\} - E\{C\}'_s}{E\{C_p\} - C_b} = \frac{55,18422 - 32,30439}{55,18422 - 0} = 0,4146 = 41,46\%$$

Κατά αντιστοιχία υπολογίζεται η απαιτούμενη μείωση και για τα δεδομένα των άλλων σταθμών για καθένα από τα δύο σενάρια και τα αποτελέσματα αυτά συνοψίζονται στους πίνακες 9.43 έως 9.46. Στους πίνακες 9.44 και 9.46 οι σταθμοί έχουν καταταχθεί κατά φθίνουσα σειρά ως προς την απαιτούμενη μείωση εκπομπών των αιωρούμενων σωματιδίων.

Πίνακας 9.43: Παράμετρος scale, μέση αναμενόμενη συγκέντρωση PM10 και απαιτούμενη μείωση εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων με τη μέθοδο I (εξίσωση μείωσης)-Σενάριο I

Σταθμός	Παράμετρος μ	Μέση αναμενόμενη συγκέντρωση ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Απαιτούμενη μείωση εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων - Σενάριο I
Αγία Παρασκευή	3,115	30,572	29,75%

Αριστοτέλους	3,398	32,304	41,46%
Γουδί	3,409	32,563	37,38%
Λυκόβρυση	3,342	31,106	49,19%
Μαρούσι	3,308	30,423	49,23%
Πανεπιστήμιο	3,343	31,133	10,99%
Πειραιάς	3,473	34,120	44,58%
Θρακομακεδόνες	3,295	30,162	9,22%

Πίνακας 9.44: Εκτίμηση απαιτούμενης μείωσης εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων με τη μέθοδο I (εξίσωση μείωσης)-Σενάριο I

Σταθμός	Απαιτούμενη μείωση εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων -Σενάριο I
Μαρούσι	49,23%
Λυκόβρυση	49,19%
Πειραιάς	44,58%
Αριστοτέλους	41,46%
Γουδί	37,38%
Αγία Παρασκευή	29,75%
Πανεπιστήμιο	10,99%
Θρακομακεδόνες	9,22%

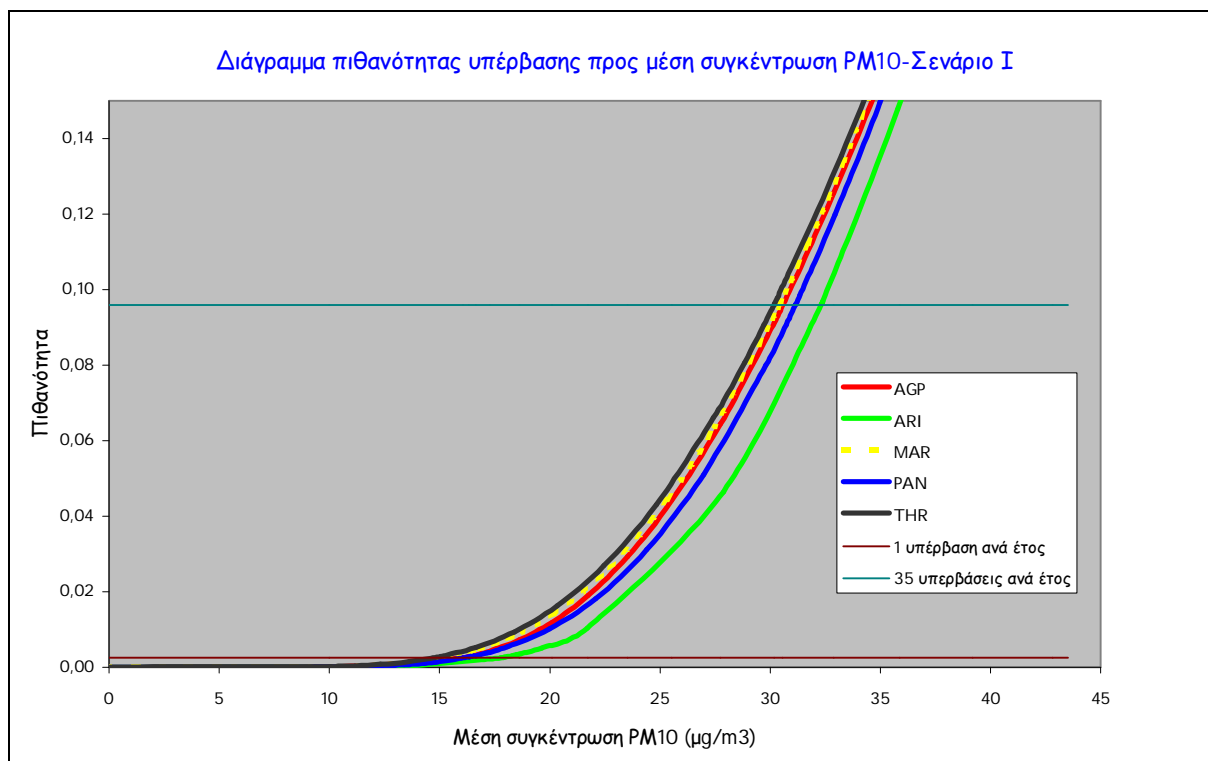
Πίνακας 9.45: Παράμετρος scale, μέση αναμενόμενη συγκέντρωση PM10 και απαιτούμενη μείωση εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων με τη μέθοδο I (εξίσωση μείωσης)-Σενάριο II

Σταθμός	Παράμετρος μ	Μέση αναμενόμενη συγκέντρωση ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Απαιτούμενη μείωση εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων - Σενάριο I
Αγία Παρασκευή	3,314	36,299	16,59%
Αριστοτέλους	3,580	38,765	29,75%
Γουδί	3,591	39,076	24,86%
Λυκόβρυση	3,524	37,327	39,03%
Μαρούσι	3,491	36,507	39,08%
Πειραιάς	3,656	40,944	33,49%

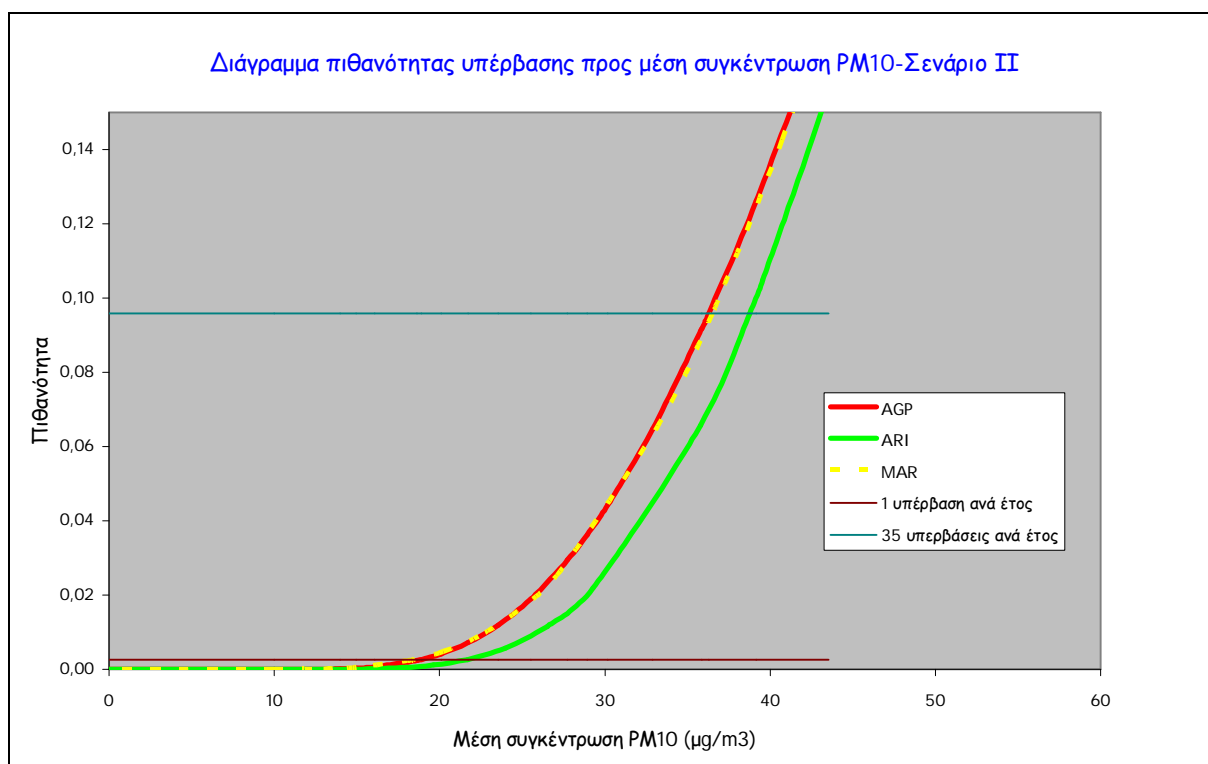
Πίνακας 9.46: Εκτίμηση απαιτούμενης μείωσης εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων με τη μέθοδο I (εξίσωση μείωσης)-Σενάριο II

Σταθμός	Απαιτούμενη μείωση εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων -Σενάριο II
Μαρούσι	39,08%
Λυκόβρυση	39,03%
Πειραιάς	33,49%
Αριστοτέλους	29,75%
Γουδί	24,86%
Αγία Παρασκευή	16,59%

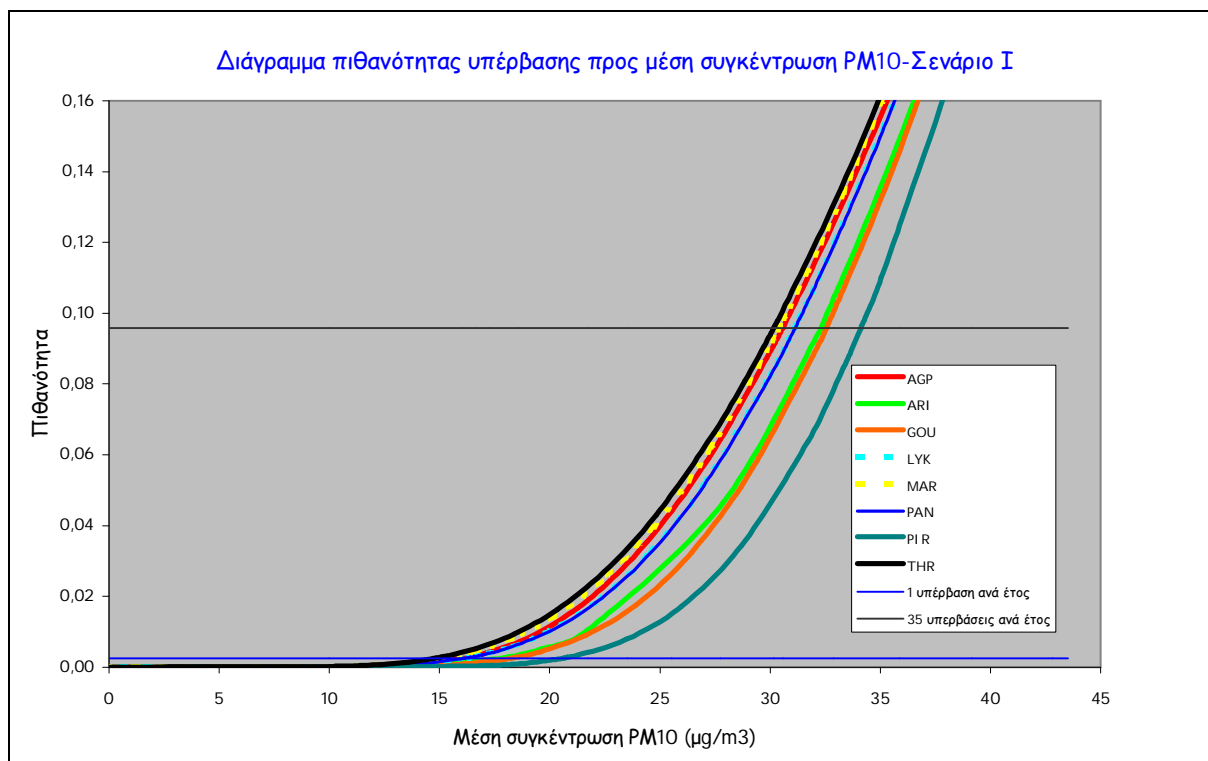
Στα διαγράμματα 9.81 έως 9.84 που ακολουθούν απεικονίζεται η σχέση μεταξύ της μέσης αναμενόμενης συγκέντρωσης και της πιθανότητας υπέρβασης της τιμής συγκέντρωσης των 50 και 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα.



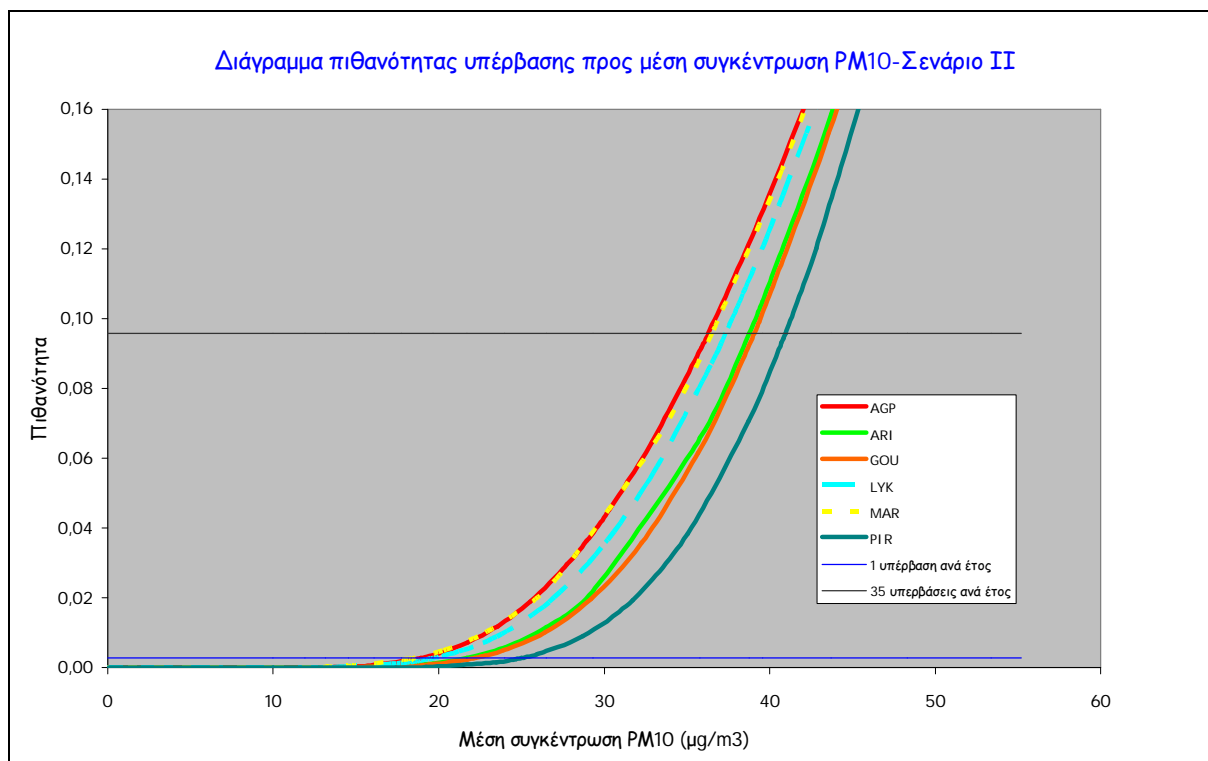
Διάγραμμα 9.81: Σχέση πιθανότητας υπέρβασης συγκέντρωσης $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ προς μέση (αναμενόμενη) ετήσια συγκέντρωση PM10 για τους σταθμούς μέτρησης των οποίων η χρονοσειρά ακολουθεί την λογαριθμοκανονική κατανομή



Διάγραμμα 9.82: Σχέση πιθανότητας υπέρβασης συγκέντρωσης $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ προς μέση (αναμενόμενη) ετήσια συγκέντρωση PM10 για τους σταθμούς μέτρησης των οποίων η χρονοσειρά ακολουθεί την λογαριθμοκανονική κατανομή



Διάγραμμα 9.83: Σχέση πιθανότητας υπέρβασης συγκέντρωσης $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ προς μέση (αναμενόμενη) ετήσια συγκέντρωση PM10 για όλους τους σταθμούς μέτρησης



Διάγραμμα 9.84: Σχέση πιθανότητας υπέρβασης συγκέντρωσης $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ προς μέση (αναμενόμενη) ετήσια συγκέντρωση PM10 για όλους τους σταθμούς μέτρησης

9.8.2 ΜΕΘΟΔΟΣ II

Η δεύτερη μέθοδος εκτίμησης της απαιτούμενης μείωσης εκπομπών των αιωρούμενων σωματιδίων εφαρμόστηκε και για τα τρία σενάρια. Για τα δεδομένα του σταθμού Αριστοτέλους παρουσιάζεται αναλυτικά ο υπολογισμός της απαιτούμενης μείωσης των εκπομπών των αιωρούμενων σωματιδίων σύμφωνα με το σενάριο I. Το σενάριο αυτό καθορίζει πως η συγκέντρωση των 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ δεν πρέπει να ξεπεραστεί παραπάνω από 35 φορές το έτος και επομένως η περίοδος επαναφοράς της συγκεκριμένης συγκέντρωσης πρέπει να είναι: $RP(50) = \frac{365}{35} = 10,428$ ημέρες. Η

συγκέντρωση x που αναμένεται να ξεπεραστεί 35 φορές το έτος υπολογίζεται με τη βοήθεια της συνάρτησης κατανομής της λογαριθμικής κανονικής κατανομής $2p$ που ακολουθεί ο ρύπος και από τον τύπο της περιόδου επαναφοράς και προκύπτει πως ανέρχεται στα 161, $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Κατά συνέπεια η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων θα πρέπει να ελαττωθεί κατά την ποσότητα $85,41 - 50 = 35,41$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ προκειμένου να επιτευχθεί συμμόρφωση με τη νομοθεσία. Αν υποτεθεί τώρα πως οι ακραίες αυτές συγκεντρώσεις είναι ανάλογες του ρυθμού εκπομπής, η απαιτούμενη μείωση του ρυθμού εκπομπής των αιωρούμενων σωματιδίων θα ισούται προσεγγιστικά με $\frac{35,41}{85,41} * 100\% = 41,46\%$.

Με τον ίδιο τρόπο υπολογίζεται η απαιτούμενη μείωση εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων και για τα άλλα σενάρια σε όλους τους σταθμούς και τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται στους πίνακες 9.47 έως 9.49. Να σημειωθεί πως στους πίνακες αυτούς οι σταθμοί έχουν καταταχθεί κατά φθίνουσα σειρά ως προς την απαιτούμενη μείωση εκπομπών των αιωρούμενων σωματιδίων.

Πίνακας 9.47: Εκτίμηση απαιτούμενης μείωσης εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων με τη μέθοδο II-Σενάριο I

Σταθμός	Απαιτούμενη μείωση εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων -Σενάριο I
Μαρούσι	49,23%
Λυκόβρυση	47,74%
Πειραιάς	43,93%
Αριστοτέλους	41,46%
Γουδί	36,52%
Αγία Παρασκευή	31,14%
Πανεπιστήμιο	10,99%
Θρακομακεδόνες	9,22%

Πίνακας 9.48: Εκτίμηση απαιτούμενης μείωσης εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων με τη μέθοδο II-Σενάριο II

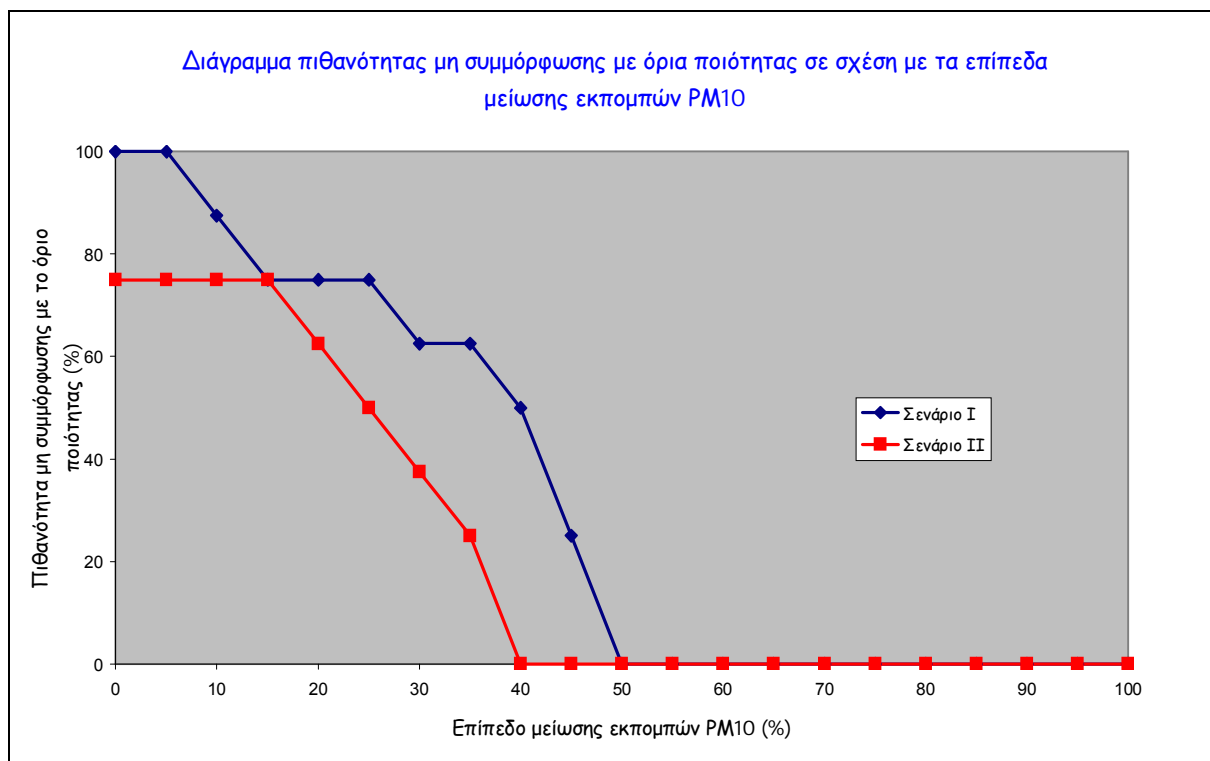
Σταθμός	Απαιτούμενη μείωση εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων -Σενάριο II
Μαρούσι	39,08%
Λυκόβρυση	37,29%
Πειραιάς	32,71%
Αριστοτέλους	29,75%
Γουδί	23,82%
Αγία Παρασκευή	17,36%

Πίνακας 9.49: Εκτίμηση απαιτούμενης μείωσης εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων με τη μέθοδο II-Σενάριο III

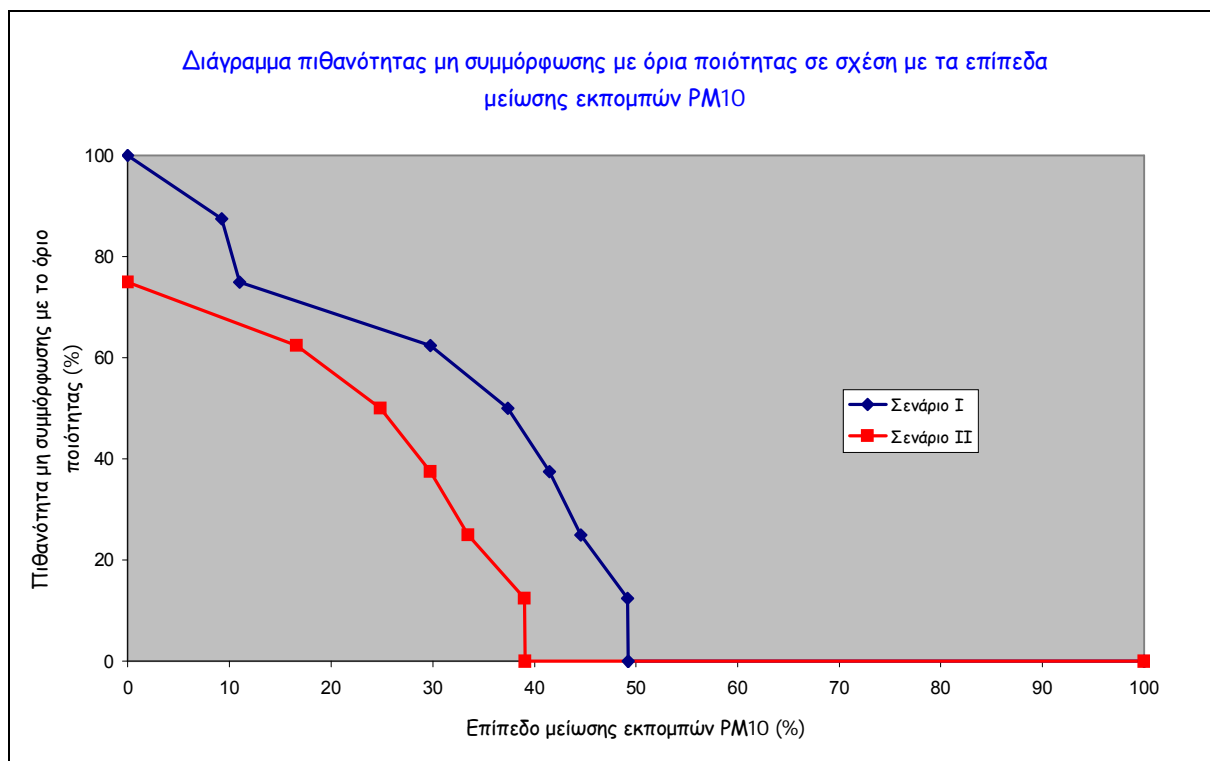
Σταθμός	Απαιτούμενη μείωση εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων -Σενάριο III
Μαρούσι	35,76%
Λυκόβρυση	19,37%
Αγία Παρασκευή	19,25%
Αριστοτέλους	18,08%
Πειραιάς	6,51%

Λόγω της ομοιογένειας της περιοχής του λεκανοπεδίου όπου γίνονται οι μετρήσεις των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων, το ποσοστό (%) των σταθμών μέτρησης για ένα δεδομένο επίπεδο μείωσης εκπομπών των αιωρούμενων σωματιδίων στους οποίους εξακολουθούν να υπάρχουν υπερβάσεις των ορίων ποιότητας, μπορεί να θεωρηθεί ως δείκτης για την πιθανότητα μη συμμόρφωσης για όλη την περιοχή.

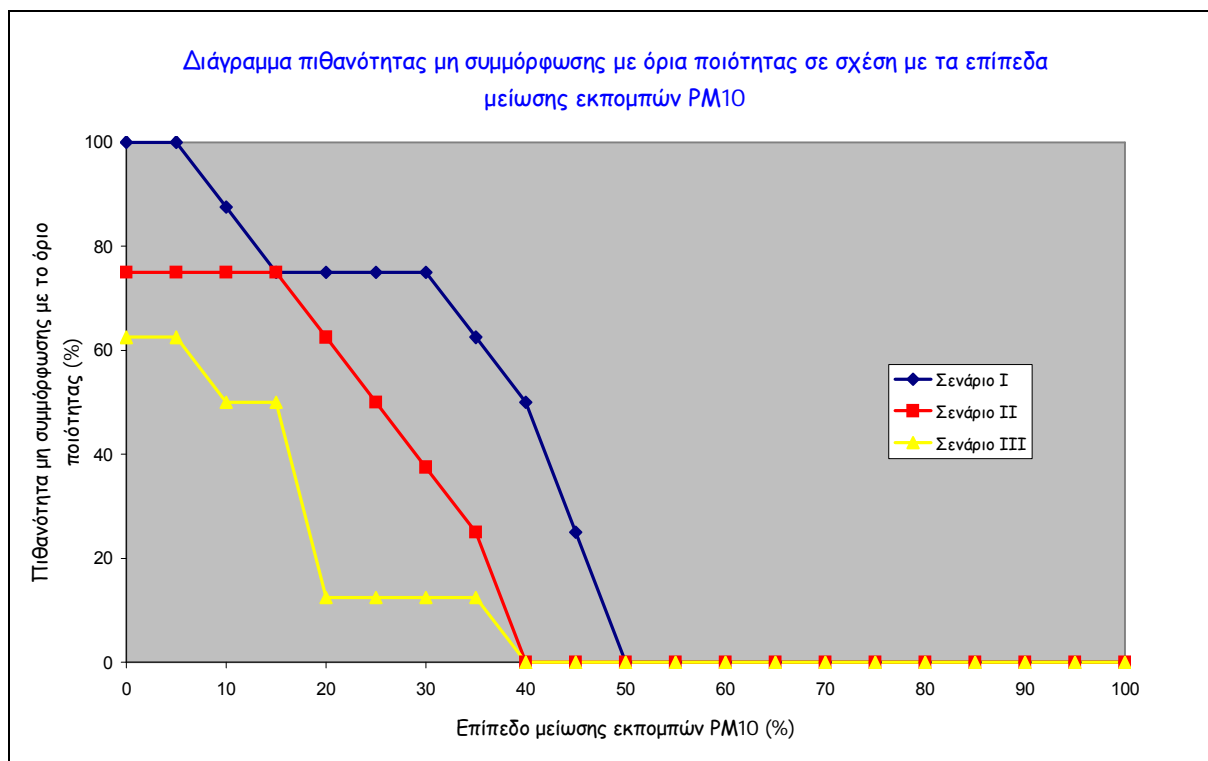
Για παράδειγμα χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα της μεθόδου I για το σενάριο I και αρχίζοντας από την κατάσταση που υπάρχει στο τέλος του 2002, όπου το 100% των σταθμών δεν είναι συμμορφωμένο με το όριο ποιότητας των 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ υπολογίζεται η πιθανότητα μη συμμόρφωσης με το όριο αυτό σε σχέση με τα επίπεδα μείωσης εκπομπών των αιωρούμενων σωματιδίων PM10. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο διάγραμμα (μπλε καμπύλη). Για τη συμμόρφωση και των 8 σταθμών μέτρησης (0% πιθανότητα μη συμμόρφωσης) με το όριο των 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, απαιτούνται επίπεδα μείωσης της τάξης του 50%, ενώ για ποσοστό μείωσης μέχρι 5% δεν υπάρχει καμιά βελτίωση. Στα διαγράμματα 9.85 έως 9.88 που ακολουθούν παριστάνεται γραφικά η πιθανότητα μη συμμόρφωσης με τα διάφορα όρια ποιότητας σε σχέση με τα επίπεδα μείωσης των εκπομπών PM10 που υπολογίζονται με τις μεθόδους I και II.



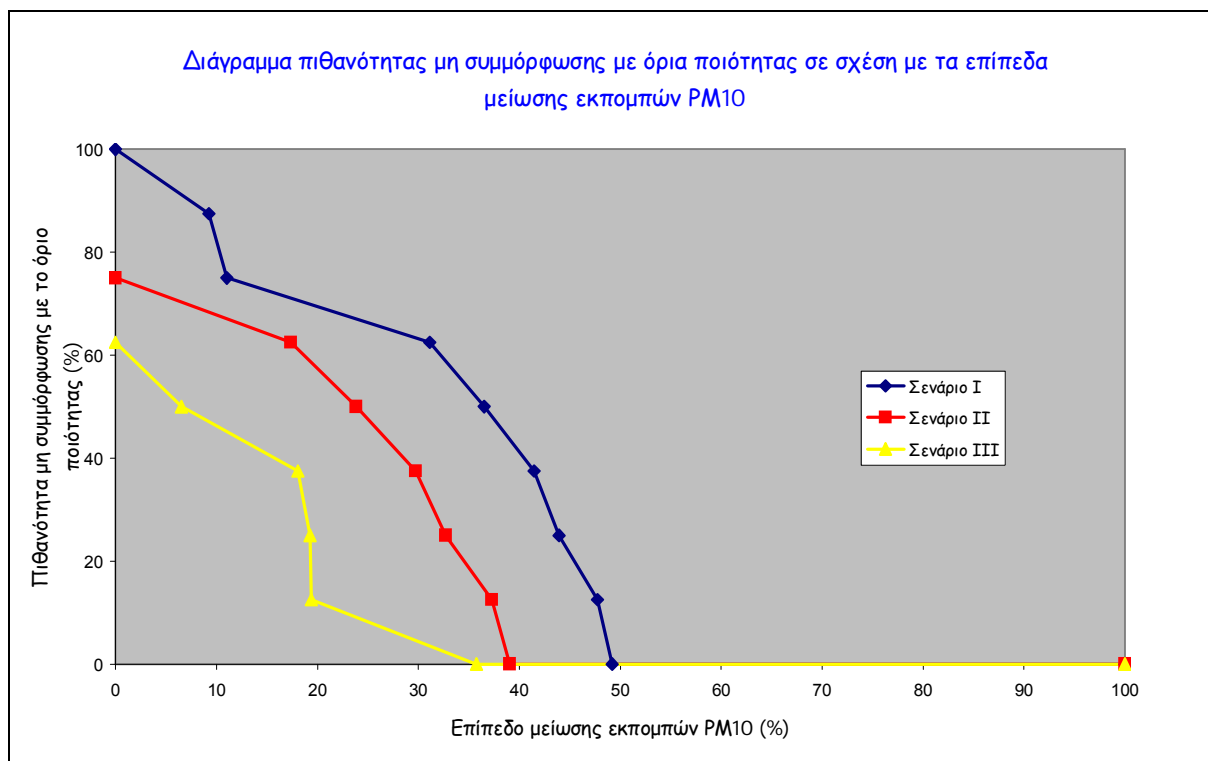
Διάγραμμα 9.85: Πιθανότητα μη συμμόρφωσης με όρια ποιότητας σε σχέση με τα επίπεδα μείωσης των εκπομπών PM10-Μέθοδος I



Διάγραμμα 9.86: Πιθανότητα μη συμμόρφωσης με όρια ποιότητας σε σχέση με τα επίπεδα μείωσης των εκπομπών PM10-Μέθοδος I



Διάγραμμα 9.87: Πιθανότητα μη συμμόρφωσης με όρια ποιότητας σε σχέση με τα επίπεδα μείωσης των εκπομπών PM10-Μέθοδος II



Διάγραμμα 9.88: Πιθανότητα μη συμμόρφωσης με όρια ποιότητας σε σχέση με τα επίπεδα μείωσης των εκπομπών PM10-Μέθοδος II

9.9 ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΑ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ ΚΑΤΑΝΟΜΩΝ

Στους πίνακες 9.50 έως 9.57 παρουσιάζονται τα διαστήματα εμπιστοσύνης εκτίμησης των τιμών των παραμέτρων των θεωρητικών κατανομών για διάφορα επίπεδα εμπιστοσύνης.

Πίνακες 9.50-9.57: Διαστήματα εμπιστοσύνης τιμών παραμέτρων θεωρητικών κατανομών για διάφορα επίπεδα εμπιστοσύνης

ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ

Επίπεδο εμπιστοσύνης	Παράμετρος scale		Παράμετρος shape	
	Κατώτερη τιμή	Ανώτερη τιμή	Κατώτερη τιμή	Ανώτερη τιμή
0,5	3,50327	3,53352	0,52767	0,54909
0,75	3,49259	3,5442	0,52044	0,557
0,9	3,48147	3,55532	0,51311	0,56542
0,95	3,47438	3,56241	0,50852	0,57089
0,98	3,46611	3,57068	0,50328	0,57737
0,99	3,46047	3,57632	0,49976	0,58185
0,9999	3,43058	3,60621	0,48187	0,60643

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΟΥΣ

Επίπεδο εμπιστοσύνης	Παράμετρος scale		Παράμετρος shape	
	Κατώτερη τιμή	Ανώτερη τιμή	Κατώτερη τιμή	Ανώτερη τιμή
0,5	3,9219	3,94409	0,38666	0,40237
0,75	3,91407	3,95192	0,38136	0,40817
0,9	3,90592	3,96008	0,37598	0,41434
0,95	3,90071	3,96528	0,37261	0,41836
0,98	3,89465	3,97134	0,36877	0,42311
0,99	3,89052	3,97548	0,36619	0,42639
0,9999	3,86859	3,9974	0,35307	0,44442

ΓΟΥΔΙ

Επίπεδο εμπιστοσύνης	Παράμετρος scale		Παράμετρος shape	
	Κατώτερη τιμή	Ανώτερη τιμή	Κατώτερη τιμή	Ανώτερη τιμή
0,5	7,79112	8,41216	5,65006	6,08105
0,75	7,57205	8,63123	5,50318	6,23829
0,9	7,34439	8,85889	5,35336	6,40459
0,95	7,19932	9,00396	5,25937	6,51212
0,98	7,03065	9,17263	5,15154	6,63867
0,99	6,91579	9,28748	5,079	6,72579
0,9999	6,31051	9,89277	4,70847	7,19765

ΛΥΚΟΒΡΥΣΗ

Επίπεδο εμπιστοσύνης	Παράμετρος scale		Παράμετρος shape	
	Κατώτερη τιμή	Ανώτερη τιμή	Κατώτερη τιμή	Ανώτερη τιμή
0,5	10,20565	11,00847	5,5203	5,9354
0,75	9,92245	11,29167	5,37876	6,08678
0,9	9,62816	11,58596	5,23436	6,24686

0,95	9,44063	11,77349	5,14375	6,35033
0,98	9,22258	11,99154	5,03978	6,4721
0,99	9,07411	12,14001	4,96982	6,55592
0,9999	8,29166	12,92246	4,61233	7,00972

ΜΑΡΟΥΣΙ

Επίπεδο εμπιστοσύνης	Παράμετρος scale		Παράμετρος shape	
	Κατώτερη τιμή	Ανώτερη τιμή	Κατώτερη τιμή	Ανώτερη τιμή
0,5	3,97227	3,99989	0,45327	0,47284
0,75	3,96252	4,00965	0,44669	0,48008
0,9	3,95236	4,0198	0,44002	0,4878
0,95	3,94588	4,02628	0,43585	0,49283
0,98	3,93833	4,03384	0,43109	0,49878
0,99	3,93317	4,03899	0,4279	0,5029
0,9999	3,90583	4,06633	0,41172	0,52559

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Επίπεδο εμπιστοσύνης	Παράμετρος scale		Παράμετρος shape	
	Κατώτερη τιμή	Ανώτερη τιμή	Κατώτερη τιμή	Ανώτερη τιμή
0,5	3,44884	3,47083	0,42816	0,44373
0,75	3,44108	3,47859	0,42289	0,44945
0,9	3,43301	3,48667	0,41752	0,45552
0,95	3,42785	3,49182	0,41416	0,45946
0,98	3,42185	3,49782	0,41031	0,46411
0,99	3,41776	3,50192	0,40772	0,46733
0,9999	3,39609	3,52358	0,39452	0,48488

ΠΕΙΡΑΙΑΣ

Επίπεδο εμπιστοσύνης	Παράμετρος scale		Παράμετρος shape	
	Κατώτερη τιμή	Ανώτερη τιμή	Κατώτερη τιμή	Ανώτερη τιμή
0,5	6,81041	7,38269	7,84885	8,4881
0,75	6,60854	7,58456	7,63143	8,72176
0,9	6,39875	7,79435	7,4099	8,96914
0,95	6,26507	7,92803	7,27106	9,12922
0,98	6,10964	8,08346	7,1119	9,31775
0,99	6,0038	8,1893	7,0049	9,4476
0,9999	5,44604	8,74706	6,45941	10,15197

ΘΡΑΚΟΜΑΚΕΔΟΝΕΣ

Επίπεδο εμπιστοσύνης	Παράμετρος scale		Παράμετρος shape	
	Κατώτερη τιμή	Ανώτερη τιμή	Κατώτερη τιμή	Ανώτερη τιμή
0,5	3,37858	3,40449	0,46409	0,48243
0,75	3,36943	3,41363	0,45789	0,48919
0,9	3,35992	3,42315	0,4516	0,49639
0,95	3,35384	3,42922	0,44767	0,50107
0,98	3,34677	3,4363	0,44316	0,50659
0,99	3,34194	3,44113	0,44014	0,51042
0,9999	3,31636	3,4667	0,42477	0,53137

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ-ΓΕΝΙΚΕΣ ΔΙΑΠΙΣΤΩΣΕΙΣ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

10.1 ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΙΣ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ

Από τις γραφικές παραστάσεις των χρονοσειρών των μέσων ημερήσιων συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 για την περίοδο 2001-2002 διαπιστώνεται πως η συγκέντρωση των PM10 δεν παρουσιάζει ιδιαίτερα έντονη εποχιακή διακύμανση. Η συχνότητα υπέρβασης του ημερήσιου προτύπου αέριας ποιότητας της Ευρωπαϊκής Ένωσης ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) είναι μεγάλη σε όλους τους σταθμούς μέτρησης, με εξαίρεση τους σταθμούς του Πανεπιστημίου και των Θρακομακεδόνων.

ΠΛΗΡΟΤΗΤΑ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ

Τη μεγαλύτερη πληρότητα παρουσιάζει η χρονοσειρά στο σταθμό του Πανεπιστημίου (97,95%) και τη μικρότερη αυτή στο σταθμό του Αμαρουσίου (70%). Ο τελευταίος αυτός σταθμός είναι και ο μοναδικός που δεν καλύπτει τις προδιαγραφές πληρότητας της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το έτος 2002. Συγκεκριμένα για το έτος αυτό υπάρχουν δεδομένα μόνο για 153 ημέρες, δηλαδή η πληρότητα των μετρήσεων είναι 41,92%, μικρότερη από το 50% που ορίζει η Ευρωπαϊκή Ένωση.

ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ

Οι μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις των 24ωρων τιμών των χρονοσειρών των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 κυμαίνονται από $33,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ στο σταθμό των Θρακομακεδόνων έως $61,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ στο σταθμό του Πειραιά.

Η σειρά κατάταξης των σταθμών με βάση τις μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις είναι η ακόλουθη:

*Πειραιάς>Λυκόβρυση>Μαρούσι>Αριστοτέλους>Γουδί>Αγία Παρασκευή>
Πανεπιστήμιο>Θρακομακεδόνες*

Σε ότι αφορά στις μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις των 24ωρων τιμών για κάθε έτος ξεχωριστά, οι μεγαλύτερες τιμές παρουσιάζονται στη Λυκόβρυση για το έτος 2001 ($60 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και στο Μαρούσι για το έτος 2002 ($69,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Αντίστοιχα για τις μικρότερες τιμές, αυτές παρουσιάζονται στους Θρακομακεδόνες για το 2001 ($32 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και στο Πανεπιστήμιο για το 2002 ($34,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Όπως φαίνεται και από το διάγραμμα 9.9 η οριακή τιμή για την προστασία της υγείας του ανθρώπου που έχει θεσπίσει η Ευρωπαϊκή Ένωση των $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ υπερβαίνεται σε όλους τους σταθμούς με εξαίρεση τους σταθμούς του Πανεπιστημίου και των Θρακομακεδόνων. Το ίδιο ισχύει και για την οριακή τιμή με το αντίστοιχο περιθώριο ανοχής για το 2001 ($46,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ενώ αυτή του 2002 ($44,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) δεν υπερβαίνεται στους δύο παραπάνω σταθμούς και σε αυτόν της Αγίας Παρασκευής.

ΜΗΝΙΑΙΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Οι διακυμάνσεις της μηνιαίας μεταβολής των συγκεντρώσεων διαφέρουν από σταθμό σε σταθμό. Συγκεκριμένα οι τιμές στους σταθμούς Γουδί, Μαρούσι, Λυκόβρυση και Πειραιά δεν παρουσιάζουν εμφανή μηνιαία μεταβολή, στους σταθμούς Αγίας Παρασκευής, Πανεπιστήμιο και Θρακομακεδόνες είναι μεγαλύτερες κατά τη θερμή περίοδο ενώ στο σταθμό Αριστοτέλους κατά τη ψυχρή περίοδο.

ΗΜΕΡΗΣΙΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Από τα διαγράμματα της ημερήσιας μεταβολής των συγκεντρώσεων των PM10 είναι φανερό ότι οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 εμφανίζουν μικρή μείωση στη διάρκεια του Σαββατοκύριακου. Η μείωση αυτή αποδίδεται στο μικρότερο κυκλοφοριακό φόρτο τις ημέρες αυτές.

ΩΡΙΑΙΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Από τα διαγράμματα του ωριαίου κύκλου ρύπανσης είναι φανερό πως στους αστικούς σταθμούς η ωριαία μεταβολή ακολουθεί την ίδια μορφή, δηλαδή παρουσιάζει μέγιστο στις οχτώ με εννέα το πρωί, ελαττώνεται σταδιακά μέχρι το απόγευμα για να παρουσιάσει ξανά μέγιστο κατά τις δώδεκα τα μεσάνυχτα. Στον Πειραιά το δεύτερο

μέγιστο εμφανίζεται στις οχτώ το βράδυ, λόγω της έντονης δραστηριότητας στο λιμάνι την ώρα αυτή της ημέρας. Αντίστοιχα στους περιαστικούς σταθμούς δεν παρουσιάζεται η μείωση κατά τη διάρκεια του απογεύματος και η καμπύλη παρουσιάζει μεγαλύτερη ομοιομορφία. Όσον αφορά στις μέγιστες πρωινές τιμές, αυτές καταγράφονται με χρονική υστέρηση (στις 12 το μεσημέρι). Οι διαφορές αυτές στον ωριαίο κύκλο ρύπανσης οφείλονται στο γεγονός πως στους περιαστικούς σταθμούς επικρατούν τα δευτερογενή σωματίδια, τα οποία παρουσιάζουν όπως είναι φυσικό χρονική υστέρηση σε σχέση με τα πρωτογενή και έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Αντίθετα στις αστικές περιοχές επικρατούν οι τοπικές πηγές ρύπανσης (εκπομπές από οχήματα και κεντρική θέρμανση), όπως διαφαίνεται και από τη χαρακτηριστική μορφή του ημερήσιου κύκλου ρύπανσης.

Οι ώρες εμφάνισης των μεγίστων το πρωί και το βράδυ οφείλεται στο ότι αφ' ενός μεν, τις ώρες αυτές επικρατούν ευνοϊκές μετεωρολογικές συνθήκες για τη συσσώρευση ατμοσφαιρικών ρύπων, αφ' ετέρου δε, συμπίπτουν χρονικά οι αιχμές της κυκλοφορίας και οι ώρες λειτουργίας της κεντρικής θέρμανσης.

ΕΠΟΧΙΑΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Οι χρονοσειρές και για τους οχτώ σταθμούς ικανοποιούν την απαίτηση της απόφασης της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η οποία ορίζει ότι ο λόγος των ενεργών ημερών των δύο εποχών του έτους θα πρέπει να είναι μικρότερος της τιμής 2.

Όσον αφορά στην πληρότητα, μόνο στο σταθμό του Αμαρουσίου και για το έτος 2002 αυτή είναι μικρότερη από το ελάχιστο επιτρεπτό του 50% και για τις δύο εποχές.

Τέλος από το διάγραμμα 9.34 και τον πίνακα 9.7 προκύπτουν τα ίδια συμπεράσματα με αυτά του μηνιαίου κύκλου ρύπανσης σε ότι αφορά στην εποχιακή μεταβολή της ρύπανσης από αιωρούμενα σωματίδια. Συγκεκριμένα οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις είναι μεγαλύτερες κατά τη θερμή περίοδο στους περιαστικούς σταθμούς καθώς επικρατούν τα δευτερογενή σωματίδια, τα οποία ευνοούνται από την ηλιακή ακτινοβολία. Αντίθετα στους αστικούς σταθμούς οι μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις είναι περίπου ίδιες, με ελαφρά μεγαλύτερες αυτές της ψυχρής

περιόδου. Αυτό οφείλεται καθώς το χειμώνα οι εκπομπές από την κεντρική θέρμανση είναι σαφώς μεγαλύτερες, ενώ και η κίνηση των οχημάτων είναι πυκνότερη. Σε ορισμένες περιοχές αυτό αντισταθμίζεται βέβαια από την επαναιώρηση από το έδαφος (μεγαλύτερη ξηρασία) και τη μεταφορά σωματιδίων σε μεγάλες αποστάσεις ενώ επικρατούν συνθήκες που εμποδίζουν τις διαδικασίες φυσικού καθαρισμού της ατμόσφαιρας.

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΚΑΙ ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ

Η ελάχιστη μέση ημερήσια συγκέντρωση παρουσιάζεται στους Θρακομακεδόνες ($8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και η μέγιστη στην Αριστοτέλους ($218,96 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ενώ η μέγιστη ωριαία συγκέντρωση στην Αγία Παρασκευή ($847 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Στον πίνακα 10.1 παρουσιάζονται οι ημερομηνίες εμφάνισης των μέγιστων ημερήσιων και ωριαίων συγκεντρώσεων για τις χρονοσειρές όλων των σταθμών μέτρησης.

Πίνακας 10.1: Ημερομηνίες εμφάνισης μέγιστων ημερήσιων και ωριαίων συγκεντρώσεων

Σταθμός	Ημερομηνία εμφάνισης μέγιστης ημερήσιας συγκέντρωσης	Ημερομηνία και ώρα εμφάνισης μέγιστης ωριαίας συγκέντρωσης
Αγία Παρασκευή	29 Αυγούστου 2001	15 Μαΐου 2001-8.00
Αριστοτέλους	20 Σεπτεμβρίου 2001	5 Απριλίου 2002-23.00
Γουδί	5 Απριλίου 2002	5 Απριλίου 2002-17.00
Λυκόβρυση	5 Απριλίου 2002	4 Ιουνίου 2001-17.00
Μαρούσι	31 Ιανουαρίου 2002	5 Απριλίου 2002-17.00
Πανεπιστήμιο	15 Απριλίου 2002	5 Απριλίου 2002-17.00
Πειραιάς	8 Μαρτίου 2002	3 Μαΐου 2001-13.00
Θρακομακεδόνες	15 Απριλίου 2002	2 Ιανουαρίου 2002-04.00

Παρατηρείται ότι την 5^η Απριλίου του 2002 παρατηρήθηκαν πολλές μέγιστες τιμές και κατά συνέπεια πρόκειται για μια μέρα με έντονο πρόβλημα ρύπανσης. Από την αναλυτική εξέταση της συγκεκριμένης μέρας διαπιστώθηκε ότι οι συγκεντρώσεις σε

όλους τους σταθμούς ήταν πολύ μεγάλες. Συγκεκριμένα στον πίνακα 10.2 παρουσιάζονται για κάθε σταθμό η μέση ημερήσια και η μέγιστη ωριαία συγκέντρωση για τη συγκεκριμένη ημέρα.

Πίνακας 10.2: Μέση ημερήσια και μέγιστη ωριαία συγκέντρωση PM10 την 5^η Απριλίου του 2002

Σταθμός	Μέση ημερήσια συγκέντρωση (μg/m ³)	Μέγιστη ωριαία συγκέντρωση (μg/m ³) και ώρα εμφάνισης
Αγία Παρασκευή	139,2 (2)	708-17.00
Αριστοτέλους	125 (8)	528-17.00
Γουδί	148,8 (1)	709-17.00
Λυκόβρυση	169,8 (1)	627-17.00
Μαρούσι	143,3 (11)	632-17.00
Πανεπιστήμιο	133,8 (2)	733-17.00
Πειραιάς	116 (11)	300-16.00
Θρακομακεδόνες	90 (11)	336-18.00

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΣΥΜΜΕΤΡΙΑΣ ΚΑΙ ΚΥΡΤΟΤΗΤΑΣ

Οι συντελεστές ασυμμετρίας είναι όλοι μεγαλύτεροι του 0, γεγονός που υποδηλώνει πως οι κατανομές των μέσων ημερήσιων συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων εμφανίζουν θετική ασυμμετρία. Τη μεγαλύτερη ασυμμετρία παρουσιάζουν τα δεδομένα στους Θρακομακεδόνες (2,46) και τη μικρότερη αυτά στον Πειραιά (0,81).

Αντίστοιχα οι συντελεστές κυρτότητας είναι σε όλους τους σταθμούς μεγαλύτεροι του 3, επομένως οι κατανομές χαρακτηρίζονται ως λεπτόκυρτες. Τη μεγαλύτερη αιχμηρότητα παρουσιάζει η κατανομή στους Θρακομακεδόνες (14,69) και τη μικρότερη αυτή στον Πειραιά (4,13)

Τα παραπάνω μέτρα υπολογίστηκαν διότι καθορίζουν τη μορφή των θεωρητικών κατανομών που θα επιλεγθούν για προσαρμογή στα δεδομένα των ημερήσιων συγκεντρώσεων PM10. (Βλέπε κεφάλαια 6 και 7)

90^ο ΕΚΑΤΟΣΤΗΜΟΡΙΟ

Το 90^ο εκατοστημόριο παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον και εξετάζεται καθώς αντιστοιχεί περίπου στη συγκέντρωση που ορίζεται από το ημερήσιο πρότυπο της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Όπως αναφέρθηκε η οριακή τιμή του προτύπου δεν θα πρέπει να υπερβαίνεται παραπάνω από 35 φορές ανά ημερολογιακό έτος. Μια άλλη διατύπωση του προτύπου αυτή είναι πως το 90^ο εκατοστημόριο των δεδομένων δεν θα πρέπει να ξεπερνάει την οριακή αυτή τιμή. Οι τιμές του 90^{ου} εκατοστημορίου κυμαίνονται από τα 52,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ στους Θρακομακεδόνες έως τα 95,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ στη Λυκόβρυση. Η σειρά κατάταξης των σταθμών με βάση τις μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις είναι η ακόλουθη:

Λυκόβρυση>Μαρούσι>Πειραιάς>Αριστοτέλους>Γουδί>Αγία Παρασκευή>Πανεπιστήμιο>Θρακομακεδόνες

ΠΛΗΘΟΣ ΥΠΕΡΒΑΣΕΩΝ

Στους πίνακες 9.11 έως 9.18 καταγράφονται οι υπερβάσεις διάφορων τιμών συγκεντρώσεων για τις χρονοσειρές των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων στους οχτώ σταθμούς μέτρησης. Από αυτές τις τιμές συγκεντρώσεων ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι τιμές που εμπεριέχονται στα θεσμοθετημένα πρότυπα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Οι συγκεντρώσεις αυτές είναι τα 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (οριακή τιμή για το 2005), τα 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (οριακή τιμή για το 2002) και τα 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (οριακή τιμή για το 2002).

Στον πίνακα 10.3 περιλαμβάνονται οι υπερβάσεις των ορίων αυτών για καθένα από τους οχτώ σταθμούς μέτρησης.

Πίνακας 10.3: Υπερβάσεις συγκεντρώσεων που εμπεριέχονται στα πρότυπα αέριας ποιότητας της Ε.Ε.

Σταθμός	Συγκέντρωση ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Υπερβάσεις		
		2001-2002	2001	2002
Αγία Παρασκευή	50	158	94	64
	65			23
	70		41	
Αριστοτέλους	50	295	184	111
	65			60
	70		70	
	50	305	161	144

Γουδί	65			68
	70		51	
Λυκόβρυση	50	416	223	193
	65			105
	70		101	
Μαρούσι	50	300	198	102
	65			66
	70		81	
Πανεπιστήμιο	50	95	52	35
	65			20
	70		14	
Πειραιάς	50	396	191	205
	65			111
	70		82	
Θρακομακεδόνες	50	70	36	34
	65			18
	70		13	

Παρατηρείται ότι οι περισσότερες υπερβάσεις της οριακής τιμής των 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ σημειώνονται στους αστικούς σταθμούς με χειρότερη την περίπτωση της Λυκόβρυσης όπου σημειώνονται συνολικά 416 υπερβάσεις τη διετία 2001-2002 σε σύνολο 656 μετρήσεων (αντί για τις επιτρεπόμενες 70). Αντίθετα, στους περιαστικούς σταθμούς οι υπερβάσεις είναι αισθητά λιγότερες, με καλύτερη την περίπτωση του σταθμού των Θρακομακεδόνων όπου σημειώνονται ακριβώς 70 υπερβάσεις την ίδια χρονική περίοδο.

Βέβαια το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στις συνολικές υπερβάσεις ανά ημερολογιακό έτος οι οποίες σύμφωνα με την απόφαση της Ευρωπαϊκής Ένωσης δεν πρέπει να υπερβαίνουν τις 35.

Για τα δεδομένα του έτους 2001 η τιμή των 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ υπερβαίνεται και στους οχτώ σταθμούς παραπάνω από 35 φορές. Οι περισσότερες υπερβάσεις σημειώνονται στην Λυκόβρυση (223) και οι λιγότερες στους Θρακομακεδόνες (36). Όσον αφορά στην τιμή των 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ περισσότερες από 35 υπερβάσεις σημειώνονται σε όλους τους σταθμούς με εξαίρεση αυτή του Πανεπιστημίου και των Θρακομακεδόνων. Πάλι οι περισσότερες υπερβάσεις σημειώνονται στη Λυκόβρυση (101) και οι λιγότερες στους Θρακομακεδόνες (13).

Για τα δεδομένα του έτους 2002 η τιμή των 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ υπερβαίνεται και στους οχτώ σταθμούς παραπάνω από 35 φορές με εξαίρεση αυτούς του Πανεπιστημίου και των Θρακομακεδόνων. Οι περισσότερες υπερβάσεις σημειώνονται στον Πειραιά (205) και

οι λιγότερες στους Θρακομακεδόνες (34). Όσον αφορά στην τιμή των $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ λιγότερες από 35 υπερβάσεις σημειώνονται στους σταθμούς Πανεπιστήμιο, Θρακομακεδόνες και Αγία Παρασκευή. Πάλι οι περισσότερες υπερβάσεις σημειώνονται στον Πειραιά (111) και οι λιγότερες στους Θρακομακεδόνες (18).

Όσον αφορά στις υπερβάσεις ανά περίοδο οι περισσότερες υπερβάσεις σημειώνονται στη διάρκεια της θερμής περιόδου για τους σταθμούς Αγία Παρασκευή, Λυκόβρυση, Πανεπιστήμιο και Θρακομακεδόνες, δηλαδή στους περιαστικούς σταθμούς. Αντίθετα στους αστικούς σταθμούς οι υπερβάσεις παρουσιάζονται περισσότερο ισοκατανεμημένες στις δύο περιόδους. Μόνο στην περίπτωση της Λυκόβρυσης οι υπερβάσεις κατά τη ψυχρή περίοδο είναι αισθητά περισσότερες από αυτές της θερμής περιόδου.

ΠΛΗΘΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΕΠΕΙΣΟΔΙΩΝ

Πέρα από τις υπερβάσεις και η διάρκεια των επεισοδίων, δηλαδή οι συνεχόμενες ημέρες πάνω από ορισμένα επίπεδα συγκεντρώσεων, είναι μεγαλύτερη στους αστικούς σταθμούς παρά στους περιαστικούς. Μάλιστα στο σταθμό του Πειραιά και της Λυκόβρυσης η διάρκεια του μεγαλύτερου επεισοδίου των $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ανέρχεται στις 22 ημέρες, σε αντίθεση με τους περιαστικούς, όπου η μεγαλύτερη διάρκεια είναι 10, 7 και 4 ημέρες για τους σταθμούς Αγίας Παρασκευής, Πανεπιστήμιο και Θρακομακεδόνες αντίστοιχα.

Συνοψίζοντας, είναι φανερό ότι στις αστικές περιοχές και στην Λυκόβρυση το φαινόμενο της ρύπανσης της ατμόσφαιρας λόγω των αιωρούμενων σωματιδίων είναι ιδιαίτερα αισθητό σε αντίθεση με τις περιαστικές περιοχές. Η διαπίστωση αυτή προκύπτει, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, τόσο από τον αριθμό των υπερβάσεων και τη διάρκεια των επεισοδίων όσο και από τις τιμές των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων.

10.2 ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΤΑΝΟΜΩΝ

ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ ΚΑΤΑΝΟΜΩΝ

Από τα ιστογράμματα που κατασκευάζονται για τις χρονοσειρές συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10 διαπιστώνεται πως σε όλους τους σταθμούς οι κατανομές εμφανίζουν θετική ασυμμετρία. Αυτός είναι και ο λόγος που προτιμήθηκαν οι θεωρητικές κατανομές που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 7 για προσαρμογή στα δεδομένα, καθώς πρόκειται για κατανομές των οποίων η μεταβλητή X παίρνει μη αρνητικές τιμές και εμφανίζουν θετική ασυμμετρία.

Ένας άλλος λόγος επιλογής των συγκεκριμένων κατανομών είναι και η καταλληλότητα τους για την περιγραφή δεδομένων αέριας ποιότητας, όπως έχει προκύψει και από τα αποτελέσματα όλων των μελετών που έχουν πραγματοποιηθεί παγκοσμίως πάνω στο συγκεκριμένο θέμα. Μερικές από αυτές παρ' όλα αυτά αποδείχτηκαν τελείως ακατάλληλες για την περιγραφή των συγκεκριμένων χρονοσειρών, όπως για παράδειγμα η εκθετική κατανομή.

Τέλος δοκιμάστηκαν και άλλες κατανομές παρόμοιας μορφής όπως η Erlang, η logistic, η Wald, η Inverse Gaussian κ.α., οι οποίες όμως δεν χρησιμοποιήθηκαν παραπέρα στην ανάλυση λόγω των αποκλίσεων τους στην περιοχή των υψηλών συγκεντρώσεων και της απουσίας τους από ανάλογες μελέτες σε παγκόσμιο επίπεδο.

ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΕΡΗΣ ΘΕΩΡΗΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ

Για τον υπολογισμό των παραμέτρων scale και shape των προσαρμοσμένων θεωρητικών κατανομών χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της μέγιστης πιθανοφάνειας έναντι της μεθόδου των ροπών. Ο λόγος της προτίμησης αυτής της μεθόδου, αν και η πιο περίπλοκη σε ότι αφορά στον υπολογισμό των παραμέτρων, ήταν το γεγονός ότι οδηγεί σε εκτιμήσεις μεγάλης αποτελεσματικότητας και αμεροληψίας.

Μετά την εξέταση των κριτηρίων καλής προσαρμογής και των αντίστοιχων διαγραμμάτων για κάθε θεωρητική κατανομή, επιλέχτηκαν αυτές που θεωρούνται οι

καταλληλότερες για την περιγραφή των χρονοσειρών. Οι κατανομές αυτές καθώς και οι εκτιμημένες τιμές των παραμέτρων τους για τις χρονοσειρές των οχτώ σταθμών μέτρησης παρουσιάζονται στον πίνακα 10.4

Πίνακας 10.4: Επιλεγμένες θεωρητικές κατανομές χρονοσειρών συγκεντρώσεων PM10 και εκτιμημένες παράμετροι αυτών

Σταθμός	Κατανομή	Παράμετρος location	Παράμετρος shape	Παράμετρος scale
Αγία Παρασκευή	Λογαριθμική κανονική 3p	4,53725	3,5184	0,53789
Αριστοτέλους	Λογαριθμική κανονική 2p	0	3,933	0,39415
Γουδί	Γάμμα 3p	4,25439	8,10164	5,87751
Λυκόβρυση	Γάμμα 2p	0	10,60706	5,73921
Μαρούσι	Λογαριθμική κανονική 2p	0	3,98608	0,46258
Πανεπιστήμιο	Λογαριθμική κανονική 2p	0	3,45984	0,43563
Πειραιάς	Γάμμα 3p	3,3766	7,09655	8,18733
Θρακομακεδόνες	Λογαριθμική κανονική 2p	0	3,39153	0,47285

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα της προσαρμογής μπορεί να ειπωθεί πως η λογαριθμική κανονική και η κατανομή γάμμα θεωρούνται οι καταλληλότερες κατανομές για την περιγραφή των χρονοσειρών των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων. Η επιλεγμένη καταλληλότερη κατανομή διαφέρει βέβαια από σταθμό σε σταθμό. Στους τρεις αστικούς σταθμούς επιλέχτηκε η κατανομή γάμμα ενώ στον τέταρτο αστικό σταθμό της Αριστοτέλους και στους προαστικούς σταθμούς επιλέχτηκε η λογαριθμική κανονική.

Από τις υπόλοιπες κατανομές η διπαραμετρική και μονοπαραμετρική εκθετική κατανομή όπως και η κατανομή Weibull αποδείχτηκαν τελείως ακατάλληλες να περιγράψουν τα δεδομένα αέριας ποιότητας.

Μελετώντας τα πιθανοθεωρητικά διαγράμματα Q-Q εξάγεται το συμπέρασμα πως η εκθετική κατανομή υπερεκτιμά τις υψηλές συγκεντρώσεις και υποεκτιμά τις χαμηλές. Η κατανομή Pearson Τύπου V υπερεκτιμά τις συγκεντρώσεις στην περιοχή υψηλών

τιμών, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες κατανομές οι οποίες υποεκτιμούν τις συγκεντρώσεις.

Η επιλογή της κατανομής που ακολουθεί η κάθε χρονοσειρά έγινε με τη βοήθεια των παραδοσιακών τεστ καλής προσαρμογής και των στατιστικών δεικτών. Να σημειωθεί πως στα τεστ Kolmogorov-Smirnov και Anderson-Darling στις περιπτώσεις των τριπαραμετρικών κατανομών οι κρίσιμες τιμές, μέσω των οποίων πραγματοποιείται ο έλεγχος της αποδοχής ή απόρριψης της υπόθεσης, είναι υπολογισμένες με την παραδοχή πως οι παράμετροι των κατανομών είναι γνώστες και όχι εκτιμημένες από το δείγμα. Για αυτό τον λόγο προτιμούνται και οι διπαραμετρικές από τις τριπαραμετρικές, ακόμα και στην περίπτωση που τα αποτελέσματα των τεστ για τις δεύτερες είναι καλύτερα

Από τα διαγράμματα που παρατίθενται στο κεφάλαιο 10 διαπιστώνεται πως οι επιλεγμένες κατανομές περιγράφουν αποτελεσματικά τις χρονοσειρές των PM10. Σε πολλούς σταθμούς μάλιστα η προσαρμογή είναι πολύ ακριβής ακόμα και στην περιοχή των υψηλών συγκεντρώσεων, όπως για παράδειγμα στο Πανεπιστήμιο, στον Πειραιά, στο Γουδί και στην Αριστοτέλους.

Όπως αναφέρθηκε ένα άλλο κριτήριο της καταλληλότητας προσαρμογής των παραπάνω κατανομών στα δεδομένα προκύπτει από τη σύγκριση των πραγματικών και των αναμενόμενων υπερβάσεων για την περίοδο 2001-2002. Εξετάζοντας τους πίνακες 10.26 έως 10.33 όπου περιέχονται οι υπερβάσεις διαπιστώνεται η ακρίβεια της εκτίμησης των υπερβάσεων που παρέχουν οι συγκεκριμένες κατανομές για 20 διαφορετικές τιμές συγκεντρώσεων (από 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ έως 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΟΒΑΡΟΤΗΤΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΟ ΛΕΚΑΝΟΠΕΔΙΟ ΑΤΤΙΚΗΣ

Οι παράμετροι scale των κατανομών σχετίζονται άμεσα με την ένταση των εκπομπών των πηγών και επομένως η ρύπανση από τα αιωρούμενα σωματίδια PM10 θα είναι σοβαρότερη στον σταθμό στον οποίο η παράμετρο scale της κατανομής έχει τη μεγαλύτερη τιμή. Η κατάταξη των σταθμών με βάση την τιμή των παραμέτρων scale κατά φθίνουσα σειρά είναι η ακόλουθη:

*Πειραιάς>Λυκόβρυση>Μαρούσι>Αριστοτέλους>Γουδί>Αγία Παρασκευή>
Πανεπιστήμιο>Θρακομακεδόνες*

Η σειρά αυτή κατάταξης των οχτώ σταθμών με βάση την τιμή της παραμέτρου scale συμπίπτει με την κατάταξη των σταθμών με βάση τη μέση ετήσια συγκέντρωση των χρονοσειρών των αιωρούμενων σωματιδίων. Επομένως, εξάγεται το συμπέρασμα πως η σοβαρότητα του προβλήματος της ρύπανσης από PM10 είναι μεγαλύτερη στον Πειραιά και μικρότερη στους Θρακομακεδόνες.

Ένα άλλο κριτήριο της σοβαρότητας της ρύπανσης από τα PM10 παρέχεται από τις εκτιμήσεις των υπερβάσεων της τιμής ορίου του ημερήσιου προτύπου των 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ κατά τη διάρκεια του έτους 2003. Οι εκτιμήσεις αυτές για καθένα από τους οχτώ σταθμούς περιέχονται στον πίνακα 10.5

Πίνακας 10.5: Εκτιμημένες υπερβάσεις συγκέντρωσης 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για το έτος 2003 με τη χρήση των θεωρητικών κατανομών

Σταθμός	Υπερβάσεις συγκέντρωσης 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ημέρες)
Αγία Παρασκευή	65
Αριστοτέλους	125
Γουδί	109
Λυκόβρυση	167
Μαρούσι	149
Πανεπιστήμιο	27
Πειραιάς	176
Θρακομακεδόνες	25

Παρατηρείται πως μόνο στους σταθμούς Πανεπιστήμιο και Θρακομακεδόνες αναμένεται να υπάρξει συμμόρφωση με το ημερήσιο πρότυπο αέριας ποιότητας της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το έτος 2003. Η κατάταξη των υπόλοιπων σταθμών οι οποίοι δεν αναμένεται να συμμορφωθούν με το πρότυπο με βάση τον αναμενόμενο αριθμό υπερβάσεων είναι η ακόλουθη:

Πειραιάς>Λυκόβρυση>Μαρούσι>Αριστοτέλους>Γουδί>Αγία Παρασκευή

Όσον αφορά στην πιθανότητα υπέρβασης συγκεντρώσεων διάφορων τιμών συγκεντρώσεων από 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ έως 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ προκύπτει η εξής κατάταξη των σταθμών:

- από 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ έως 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

*Πειραιάς>Λυκόβρυση>Μαρούσι>Αριστοτέλους>Γουδί>Αγία Παρασκευή>
Πανεπιστήμιο>Θρακομακεδόνες*

- 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ έως 85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

*Λυκόβρυση>Μαρούσι>Πειραιάς>Αριστοτέλους>Γουδί>Αγία Παρασκευή>
Θρακομακεδόνες>Πανεπιστήμιο*

- 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ έως 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

*Μαρούσι>Λυκόβρυση >Πειραιάς>Αριστοτέλους >Αγία Παρασκευή>Γουδί >
Θρακομακεδόνες>Πανεπιστήμιο*

- 105 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ έως 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

*Μαρούσι>Λυκόβρυση>Αριστοτέλους>Αγία Παρασκευή>Πειραιάς>Γουδί>
Θρακομακεδόνες>Πανεπιστήμιο*

Από τα παραπάνω προκύπτει το συμπέρασμα πως το μεγαλύτερο πρόβλημα ρύπανσης αντιμετωπίζουν οι αστικοί σταθμοί Πειραιά, Μαρούσι και Αριστοτέλους και ο περιαστικός Λυκόβρυση. Η διαφορά έγκειται πως στον Πειραιά αν και παρουσιάζει τη μεγαλύτερη μέση τιμή και τις περισσότερες υπερβάσεις για χαμηλά επίπεδα συγκεντρώσεων, δεν αναμένεται να παρουσιάσει πολύ ακραίες τιμές καθώς οι περίοδος επαναφοράς αυτών των συγκεντρώσεων είναι πολύ μεγαλύτερες από αυτές των υπόλοιπων αστικών σταθμών.

Τα συμπεράσματα αυτά επιβεβαιώνονται από τις προβλέψεις των συγκεντρώσεων δεδομένης περιόδου επαναφοράς. Σε ότι αφορά στην πρώτη μέγιστη συγκέντρωση για το έτος 2003 αυτή κυμαίνεται από 106,67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ στο Πανεπιστήμιο έως 194,58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ στο Μαρούσι. Η κατάταξη των σταθμών με βάση την εκτιμημένη πρώτη μέγιστη συγκέντρωση είναι:

*Μαρούσι>Λυκόβρυση> Αγία Παρασκευή>Αριστοτέλους>Πειραιάς>Γουδί>
Θρακομακεδόνες>Πανεπιστήμιο*

Σε ότι αφορά συγκέντρωση η οποία αναμένεται να ξεπεραστεί 35 φορές κατά τη διάρκεια του έτος 2003 αυτή κυμαίνεται από 55,08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ στους Θρακομακεδόνες έως 98,48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ στο Μαρούσι. Η κατάταξη των σταθμών με βάση την εκτιμημένη συγκέντρωση η οποία αναμένεται να ξεπεραστεί 35 φορές είναι:

**Μαρούσι>Λυκόβρυση>Πειραιάς >Αριστοτέλους >Γουδί >Αγία Παρασκευή
Πανεπιστήμιο>Θρακομακεδόνες**

Αυτή εξάλλου είναι και η κατάταξη των σταθμών με βάση την εκτίμηση της απαιτούμενης μείωσης των εκπομπών των πηγών των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 υπολογισμένη και με τις δύο μεθόδους.

Συγκεκριμένα για το σενάριο I η κατάταξη των σταθμών ως προς την απαιτούμενη μείωση υπολογισμένη και με τις δύο μεθόδους είναι:

**Μαρούσι>Λυκόβρυση>Πειραιάς >Αριστοτέλους >Γουδί >Αγία Παρασκευή
Πανεπιστήμιο>Θρακομακεδόνες**

Αξίζει να σημειωθεί η απόλυτη σχεδόν ομοιότητα των εκτιμημένων τιμών και από τις δύο μεθόδους. Η απαιτούμενη μείωση κυμαίνεται από 9,22% στους Θρακομακεδόνες έως 49,23% στο Μαρούσι.

Για το σενάριο II και με τις δύο μεθόδους η κατάταξη είναι η ίδια με τη διαφορά πως στους Θρακομακεδόνες και στο Πανεπιστήμιο δεν απαιτείται μείωση για συμμόρφωση με το συγκεκριμένο πρότυπο. Η απαιτούμενη μείωση κυμαίνεται από 17% στην Αγία Παρασκευή έως 39 % στο Μαρούσι.

Για το σενάριο III και με τη βοήθεια της μεθόδου II η κατάταξη των σταθμών ως προς την απαιτούμενη μείωση είναι:

Μαρούσι>Λυκόβρυση>Αγία Παρασκευή>Αριστοτέλους>Πειραιάς

ενώ δεν απαιτείται μείωση για συμμόρφωση με το συγκεκριμένο πρότυπο στους Θρακομακεδόνες, Πανεπιστήμιο και Γουδί. Η απαιτούμενη μείωση κυμαίνεται από 6,51% στον Πειραιά έως 35,76 % στο Μαρούσι.

10.5 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Κατά τα τελευταία χρόνια, υπάρχει ιδιαίτερα αυξημένο ενδιαφέρον για την επίδραση των υψηλών ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεων αέριων ρύπων στην ανθρώπινη υγεία και εξετάζεται η ανάγκη για δημιουργία κατάλληλων εργαλείων πρόβλεψης σοβαρών επεισοδίων ρύπανσης.

Η συνολική παρουσία των κύριων ρύπων σε ποικίλους μεταξύ τους συνδυασμούς είναι δυνατό να έχει σοβαρότατες επιδράσεις στην υγεία λόγω της συνέργειας που παρουσιάζεται κατά τη δράση τους. Η παρουσία δηλαδή του ενός είναι δυνατό να πολλαπλασιάσει την επίδραση του άλλου. Ακόμη περισσότερο, τρίτοι παράγοντες όπως οι ακραίες θερμοκρασιακές μεταβολές (κύμα ψύχους ή καύσωνα), η εμφάνιση επιδημιών γρίπης, το κάπνισμα, οι αλλεργικές επιδράσεις σε συνδυασμό πάντοτε με τη διάρκεια και συχνότητα έκθεσης, καθώς και με την ημερήσια και εποχιακή διακύμανση των ρύπων, δίνουν τη διάσταση της πολυπλοκότητας του προβλήματος, κάτι που σημαίνει ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση κάθε αστικο-βιομηχανικού συγκροτήματος έχει τη δική της υπόσταση και χρήζει ιδιαίτερης παρακολούθησης και μελέτης.

Μετρήσεις σε μια μητροπολιτική περιοχή είναι δύσκολο να γενικεύονται και επικίνδυνο να οδηγούν σε συμπεράσματα για μια άλλη όπου, εκτός των όλων παραπάνω, και ο τρόπος ζωής και οι γονιδιακές καταβολές είναι προφανώς διαφορετικά. Η ταυτότητα δηλαδή του κάθε νέφους και οι βιολογικές επιδράσεις του εξαρτώνται από τη σύσταση του αλλά και από το συγκεκριμένο πληθυσμό που το παράγει και υφίσταται τις συνέπειες του. Αυτή η δυναμική αλληλεπίδραση δεν είναι δυνατό να αγνοείται τόσο συστηματικά όσον αφορά στην περίπτωση της ρύπανσης στην Αθήνα. Η ψυχρή καταγραφή της διακύμανσης των αέριων ρύπων είναι πολύ μειωμένης αξίας εάν δεν ακολουθείται από κατάλληλη περαιτέρω επεξεργασία και ανάλυση. Η μεθοδολογία που προτείνεται στην παρούσα εργασία μπορεί να αποτελέσει ένα εύχρηστο και χρήσιμο εργαλείο για τη χάραξη στρατηγικής μείωσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή της Αθήνας. Εφαρμόζεται για πρώτη φορά σε ό,τι αφορά στους αέριους σωματιδιακούς ρύπους, ενώ σπανίζει ακόμα και σε διεθνές επίπεδο.

Από τη στατιστική επεξεργασία των χρονοσειρών των συγκεντρώσεων των PM10 διαφαίνεται η σοβαρότητα του προβλήματος της σωματιδιακής ρύπανσης για το Λεκανοπέδιο της Αττικής. Δυστυχώς, τα διαθέσιμα δεδομένα συγκεντρώσεων περιορίζονται μονάχα σε αυτά των 2001 και 2002 καθώς από τότε ξεκίνησε η μέτρηση των συγκεντρώσεων του συγκεκριμένου ρύπου από το Υπουργείο Περιβάλλοντος (ΠΕΡΠΙΑ). Το πρόβλημα του ελέγχου της σωματιδιακής ρύπανσης γίνεται ακόμα μεγαλύτερο αν ληφθεί υπόψη η έλλειψη παράλληλης μέτρησης στους σταθμούς των λεπτόκοκκων σωματιδίων PM2,5, παρά τη σύσταση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και πάρα την ιδιαίτερη βαρύτητα που αποδίδεται στα συγκεκριμένα σωματίδια σύμφωνα με τα ευρήματα των επιδημιολογικών μελετών. Αυτή τη στιγμή σε ένα μόνο σταθμό του Λεκανοπεδίου της Αττικής λειτουργούν δύο σταθμικοί δειγματολήπτες μέτρησης σε καθημερινή βάση των συγκεντρώσεων PM10 και PM2,5. Συγκεκριμένα από το 1999 έχουν εγκατασταθεί για ερευνητικούς σκοπούς από επιστημονική ομάδα του Τμήματος Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. δύο πρότυποι δειγματολήπτες μέτρησης στο σταθμό της οδού Αριστοτέλους 17.

Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στα υπάρχοντα δεδομένα μπορεί να ειπωθεί πως το πρόβλημα στο Λεκανοπέδιο της Αττικής είναι ιδιαίτερα σοβαρό. Οι μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις στους 6 από τους 8 σταθμούς είναι κατά πολύ υψηλότερες από την επιτρεπόμενη από την οδηγία της Ε.Ε. τιμή, ακόμα και με το περιθώριο της ανοχής, ενώ στο ίδιο χρονικό διάστημα οι υπερβάσεις του επιτρεπόμενου ημερήσιου ορίου ξεπερνάνε κατά πολύ τις 35 επιτρεπόμενες.

Το πρόβλημα είναι ιδιαίτερα οξύ στις αστικές περιοχές, δηλαδή στη Λυκόβρυση, στο Μαρούσι, στο Γουδί, στον Πειραιά και στην Αριστοτέλους. Στις περιοχές αυτές παρατηρείται έντονη κίνηση οχημάτων και ανθρώπινη δραστηριότητα και παραδοσιακά καταγράφονται αυξημένες συγκεντρώσεις πρωτογενών ρύπων. Αντίθετα στις περιοχές των περιαστικών σταθμών μέτρησης κυριαρχούν τα δευτερογενή σωματίδια και κατά συνέπεια τα επίπεδα που καταγράφονται είναι αρκετά χαμηλότερα.

Η στατιστική ανάλυση των κατανομών των χρονοσειρών πέρα από την παρακολούθηση των επιπέδων συγκεντρώσεων παρέχει τη δυνατότητα εκτίμησης και πρόβλεψης της απαιτούμενης μείωσης των πηγών των εκπομπών των αιωρούμενων

σωματιδίων. Μάλιστα όσο το «μήκος» των διαθέσιμων χρονοσειρών αυξάνει, βελτιώνεται και η αξιοπιστία της όλης μεθόδου. Η μεθοδολογία αυτή στο σύνολό της επιτρέπει τη σωστή και έγκαιρη διαχείριση των περιβαλλοντικών θεμάτων ώστε να υπάρξει συμμόρφωση σε μακροπρόθεσμη βάση με τα ισχύοντα πρότυπα της Ε.Ε.. Συγκεκριμένα, προκειμένου να μην παρατηρούνται περισσότερες από 35 υπερβάσεις της τιμής των $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ σε κανέναν από τους οχτώ σταθμούς μέτρησης στις αρχές του 2005 οι εκπομπές θα πρέπει να έχουν μειωθεί κατά 50% σε σχέση με τα επίπεδα των εκπομπών στο τέλος του 2002. Βέβαια, η προβλεπόμενη έναρξη ισχύος της απόφασης δεν αφήνει πολλά περιθώρια αισιοδοξίας. Αν λάβει κανείς υπόψη και τα αποτελέσματα των επιδημιολογικών μελετών που έχουν διεξαχθεί την τελευταία δεκαετία στη Ευρώπη τα οποία υποδηλώνουν την υψηλή συσχέτιση μεταξύ των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα και των αρνητικών επιδράσεων στην υγεία, καταλαβαίνει την ανησυχητική διάσταση του προβλήματος που αντιμετωπίζει η πόλη της Αθήνας.

Οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 στην Αθήνα δυστυχώς βρίσκονται στα υψηλότερα επίπεδα των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Μάλιστα τα αιωρούμενα σωματίδια κάτω από ορισμένες συνθήκες αυξάνουν την τοξικότητα τους και γίνονται θανατηφόρα για τις ευπαθείς ομάδες του πληθυσμού, όπως είναι οι ηλικιωμένοι και τα άτομα που πάσχουν από χρόνιες ασθένειες. Στην Αθήνα οι συνθήκες αυτές (μεγάλες θερμοκρασίες, υψηλές συγκεντρώσεις NO₂, γεωγραφική θέση) απαντώνται στο σύνολό τους, οπότε τα αιωρούμενα σωματίδια της Αθήνας θεωρούνται από τα πιο δραστικά και τοξικά. Ανάλογο πρόβλημα αντιμετωπίζουν όλες οι μεγάλες πόλεις της νοτίου Ευρώπης (Βαρκελώνη, Μαδρίτη, Ρώμη, Βαλένθια, Μιλάνο) όπου σύμφωνα με μελέτη του ευρωπαϊκού προγράμματος APHEA-2 για κάθε αύξηση των συγκεντρώσεων των PM10 κατά $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ παρατηρείται αύξηση της θνησιμότητας κατά 98%. Η δαμόκλειος σπάθη της Ε.Ε. που επικρέμαται πάνω από την Ελλάδα επιβάλλει και επιταχύνει τη λήψη δραστικών μέτρων από τους Έλληνες αρμοδίους. Στον πίνακα 10.6 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα διάφορα μέτρα τα οποία μπορεί να πραγματοποιηθούν με σκοπό τη μείωση των εκπομπών των αιωρούμενων σωματιδίων ανά είδος πηγής.

Πίνακας 10.6: Μέτρα μείωσης εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων ανά είδος πηγής

Είδος πηγών	Προτεινόμενη μείωση	Μέτρα μείωσης εν ισχύ	Σχόλια
Ανθρωπογενείς πηγές			
Εκπομπές από οχήματα -Άμεσες εκπομπές -Επαναιώρηση (περιλαμβανομένου της σκόνης των δρόμων)	Βελτίωση καύσης, βελτιωμένα καύσιμα, καλύτερες εξατμίσεις Σταθεροποιητικά οδών Καλύτερες συνθήκες επίστρωσης Καλύτερη συντήρηση οδών και αποχέτευση	Νομοθεσία Ε.Ε. σχετικά με εκπομπές diesel	Εκτίμηση κοστών στο πλαίσιο του προγράμματος Auto-oil
Οικιακή θέρμανση (κυρίως καύση ξύλου και κάρβουνου)	Χρήση φίλτρων στις σόμπες και τις κάμινους		
Λοιπές πηγές καύσης (βιομηχανική, απορριμμάτων, ενεργειακή) -Πρωτογενείς πηγές -Δευτερογενείς πηγές NO _x , SO _x Φωτοχημικό φαινόμενο	Καλύτερες συνθήκες καύσης, χρήση ειδικών φίλτρων Καθαρισμός απαερίων (Fluegas) Μείωση VOC και NO _x	Εφαρμογή βέλτιστων διαθέσιμων τεχνικών (BAT) Πρωτόκολλα UNECE περί NO _x , SO _x	Πληροφόρηση σχετικά με τα κόστη των βιομηχανιών μέσω CONCAVE
Γεωργικές πηγές Κτηνοτροφία, εκτροφή πουλερικών	Απομάκρυνση σωματιδίων από εξαεριστήρες, μείωση αμμωνιακών εκπομπών		
Δασικές και γεωργικές φωτιές	Αποφυγή καύσης καλαμιών, αποτροπή δασικών φωτιών		Εφαρμογή σε ισχύ σε πολλές χώρες της Ε.Ε.
Φυσικές πηγές			
Υδρόλυμα θαλάσσης			Μειωμένης σημασίας για τις συγκεντρώσεις PM10
Επαναιώρηση σκόνης από το έδαφος	Φυτική κάλυψη αχρησιμοποίητων εκτάσεων	Αποφυγή ευτροφισμού γλυκού νερού και παράκτιων νερών	Ιδιαίτερη σημασία στις χώρες της Μεσογείου
Μεταφορά σωματιδίων σε μεγάλες αποστάσεις και ηφαιστειακές εκρήξεις			Ιδιαίτερη σημασία στις χώρες της Μεσογείου

Στην περιοχή της Αθήνας οι γεωγραφικές και μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν στη συγκεκριμένη περιοχή επιβαρύνουν το πρόβλημα της ρύπανσης από τα αιωρούμενα σωματίδια. Από τη στιγμή που δεν είναι δυνατό να υπάρξει παρέμβαση σε αυτές τις μεταβλητές, η μόνη λύση είναι η κατά το δυνατό μείωση των ανθρωπογενών εκπομπών.

Η αυξημένη αναλογία αυτοκινήτων ανά κάτοικο, η πυκνή κίνηση τροχοφόρων σε όλη σχεδόν τη διάρκεια του 24ώρου, ο συνεχής αριθμός αύξησης τους και η κακή λειτουργία τους καθιστούν τη ρύπανση από κινούμενες πηγές τη πλέον σημαντική για

τα αιωρούμενα σωματίδια της Αθήνας. Πρώτο μέλημα επομένως των αρμοδίων πρέπει να είναι η μείωση των εκπομπών από τα οχήματα. Αυτό θα μπορέσει να πραγματοποιηθεί με μείωση της κυκλοφορίας, ιδιαίτερα στο κέντρο της πόλης. Προς αυτήν την κατεύθυνση εξάλλου κινούνται και οι αρμόδιοι με την προσπάθεια βελτίωσης των μέσων μαζικής μεταφοράς, την κατασκευή νέων δρόμων και λεωφορειολωρίδων και τις αυστηρές ποινές για την παράβαση του δακτυλίου στο κέντρο της πόλης. Ένας άλλος τρόπος μείωσης είναι η ανανέωση του στόλου των Ι.Χ. και η βελτίωση των καυσίμων και των συνθηκών καύσης στις μηχανές των οχημάτων, έτσι ώστε να παράγονται όσο το δυνατόν καθαρότερα απαέρια. Αυτό αφορά κυρίως στα επαγγελματικά αυτοκίνητα, δηλαδή φορτηγά, ταξί λεωφορεία και αγοραία οχήματα τα οποία χρησιμοποιούν ντίζελ ως καύσιμο καθώς οι εκπομπές σωματιδίων από κινητήρες ντίζελ είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τους βενζινοκινητήρες. Αυτό δεν σημαίνει βέβαια ότι πρέπει να αγνοηθεί η εκπομπή σημαντικών ποσοτήτων σωματιδίων από βενζινοκινητήρες και ιδιαίτερα από μη καταλυτικά οχήματα. (βλέπε περισσότερα κεφάλαιο 2). Επίσης θα πρέπει να υπάρχει καλύτερη επιθεώρηση και έλεγχος των αυτοκινήτων καθώς σωματίδια εκπέμπονται ως αποτέλεσμα της φθοράς των ελαστικών και των φρένων.

Σημαντικό πρόβλημα στην περιοχή της Αθήνας δημιουργούν οι κακοτεχνίες και η κακή κατάσταση του οδικού δικτύου, γεγονός που επιβαρύνει και την ατμόσφαιρα με σωματίδια που προέρχονται από επαναιώρηση στο έδαφος. Το πρόβλημα μπορεί να αντιμετωπιστεί με την βελτίωση των ασφαλτοστρώσεων των δρόμων και την όσο το δυνατόν καλύτερη συντήρηση αυτών.

Το πρόβλημα της σωματιδιακής ρύπανσης επιδεινώθηκε επίσης κατά τη διάρκεια της προετοιμασίας των Ολυμπιακών Αγώνων, καθώς παρατηρήθηκε ένας οικοδομικός οργανισμός (κατασκευή Ολυμπιακών έργων, Αττική οδός, Κηφισός) που συνέβαλε σημαντικά στην αύξηση των τιμών των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 στην ατμόσφαιρα της Αθήνας. Μετά την ολοκλήρωση των έργων αυτών πρωταρχικό μέλημα των αρμοδίων πρέπει να είναι η σωστή διαμόρφωση των περιβάλλοντων χώρων και η άμεση δενδροφύτευση, για τον περιορισμό της επαναιώρησης της σκόνης και των υπολοίπων αιωρούμενων σωματιδίων.

Μια άλλη βασική πηγή αιωρούμενων σωματιδίων στην Αθήνα 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. Θα πρέπει επομένως να περιοριστούν οι παράγοντες αυτοί που συμβάλλουν στην χαμηλής ποιότητας λειτουργία των εγκαταστάσεων, οι κυριότεροι από τους οποίους είναι: η απουσία μόνωσης στις καπνοδόχους και τις σωληνώσεις, η μη ορθή εγκατάσταση καπνοσυλλεκτών, η μη συστηματική ρύθμιση και συντήρηση των εγκαταστάσεων, η μεγάλη περίσσεια αέρα καύσης και η έλλειψη συστημάτων αυτοματισμού.

Τέλος ιδιαίτερα σημαντικά θεωρούνται και τα μέτρα μείωσης των αέριων ρύπων NO_x και SO_x καθώς με τον τρόπο αυτό θα μειωθεί σημαντικά και η ποσότητα των παραγόμενων δευτερογενών σωματιδίων, τα οποία και έχουν μεγάλο διάστημα παραμονής στην ατμόσφαιρα.

Είναι γεγονός πάντως πως το πρόβλημα της σωματιδιακής ρύπανσης είναι πολύ δύσκολο να αντιμετωπιστεί λόγω της συμβολής πολλών πηγών εκπομπής στο σχηματισμό των αιωρούμενων σωματιδίων. Αν και στην περιοχή της Αθήνας, βασικότερες πηγές των αιωρούμενων σωματιδίων είναι οι ανθρωπογενείς εκπομπές, αυτά μπορεί να προέρχονται και από φυσικές πηγές, όπως μεταφορά από γειτονικές περιοχές (όταν φυσούν νότιοι άνεμοι από το Θριάσιο), από μακρινές περιοχές (Βόρεια Αφρική) και από το υδρόλυμα θαλάσσης. Επομένως, αφού τα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούν σύνολο ετερογενούς παραγωγής και προέλευσης, η λήψη τυχόν μέτρων ελέγχου και περιορισμού των συγκεντρώσεων τους προϋποθέτει την ανάλυση διάφορων παραμέτρων (όπως η κατανομή μεγέθους, οι πηγές εκπομπής και διάφοροι φυσικοί και μετεωρολογικοί παράμετροι που επηρεάζουν τις διαδικασίες παραγωγής των PM_{10}), με σκοπό να ερμηνευθεί το μέγεθος της επίδρασης των παραμέτρων αυτών στη διακύμανση των συγκεντρώσεων που καταγράφονται στους διάφορους σταθμούς δειγματοληψίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ	1
1.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΙ	1
1.2 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ	4
1.2.1 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΟΝ ΤΡΟΠΟ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ	4
1.2.2 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ	6
1.2.3 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΗΝ ΔΙΕΙΣΔΥΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ	11
1.3 ΟΡΙΣΜΟΙ ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΩΝ ΡΥΠΩΝ.....	13
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ.....	 16
2.1 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΕ ΑΕΡΙΟ ΜΕΣΟ	16
2.2 ΣΧΗΜΑ ΤΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ.....	20
2.3 ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ	21
2.4 ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ.....	24
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΗΓΕΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ.....	 36
3.1 ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΠΗΓΕΣ.....	36
3.1.1 ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΠΟ ΤΑ ΟΧΗΜΑΤΑ	36
3.1.2 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ	40
3.1.3 ΟΙΚΙΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ	48
3.1.4 ΔΑΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΦΩΤΙΕΣ	48
3.2 ΦΥΣΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ.....	49
3.2.1 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΕ ΜΕΓΑΛΕΣ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ.....	49
3.2.2 ΕΠΑΝΑΙΩΡΗΣΗ ΣΚΟΝΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ.....	50
3.2.3 ΥΔΡΟΛΥΜΑ ΘΑΛΑΣΣΗΣ.....	51
3.2.4 ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΕΚΡΗΞΕΙΣ	52
3.3 ΣΧΕΣΗ ΠΗΓΗΣ - ΕΚΠΕΜΠΟΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ.....	55
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΠΗΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ	 58

4.1 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ	58
4.1.1 ΣΥΜΠΤΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ	58
4.1.2 ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ	60
4.1.3 ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ	62
4.1.4 ΕΠΙΔΗΜΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ.....	63
4.2 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑ	67
4.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΚΛΙΜΑ	72
4.4 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΥΛΙΚΑ	75
4.4.1 ΦΘΟΡΑ ΠΕΤΡΙΝΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ.....	75
4.4.2 ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ	77
4.4.3 ΕΠΙΚΑΘΙΣΗ.....	77
4.4.4 ΦΘΟΡΑ ΧΡΩΜΑΤΙΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ	78
4.5 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΕ ΧΛΩΡΙΔΑ ΚΑΙ ΠΑΝΙΔΑ	80
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΡΟΤΥΠΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ ΓΙΑ ΤΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ	81
5.1 Η ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΘΥΓΑΤΡΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ - ΠΛΑΙΣΙΟ	81
5.2 ΠΡΟΤΥΠΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑ US-EPA	83
5.3 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΥ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ ΥΓΕΙΑΣ	86
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	88
6.1 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ	88
6.1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ.....	88
6.1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ	89
6.1.3 ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΠΕΔΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ.....	90
6.1.4 ΒΑΣΙΚΕΣ ΔΙΑΚΡΙΣΕΙΣ ΤΗΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ.....	91
6.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΙ	93
6.2.1 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ	93
6.2.2 ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΠΛΗΘΥΣΜΩΝ	93
6.2.3 ΔΕΙΓΜΑ	94
6.2.4 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ	95
6.2.5 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	96
6.3 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	97

6.3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	97
6.3.2 ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ	98
6.3.3 ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΕΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ	100
6.3.4 ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ	102
6.3.5 ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΚΑΤΑΝΟΜΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ	103
6.4 ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΤΥΧΑΙΑΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ	106
6.4.1 ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ	106
6.4.2 ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ	107
6.5 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΑ ΜΕΤΡΑ	108
6.5.1 ΜΕΤΡΑ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ	111
6.5.2 ΜΕΤΡΑ ΘΕΣΗΣ	111
6.5.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΩΝ	114
6.5.4 ΜΕΤΡΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ	116
6.5.5 ΜΕΤΡΑ ΑΣΥΜΜΕΤΡΙΑΣ Η ΛΟΞΟΤΗΤΑΣ	119
6.5.6 ΜΕΤΡΑ ΚΥΡΤΩΣΗΣ	120
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ	121
7.1 ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΤΑΝΟΜΩΝ ΣΤΙΣ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ	121
7.1.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΕΡΙΑΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ	121
7.1.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ	122
7.1.3 ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ	123
7.2 ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	125
7.2.1 ΛΟΓΑΡΙΘΜΙΚΗ-ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ	125
7.2.2 ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ	128
7.2.3 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΓΑΜΜΑ	128
7.2.4 ΚΑΤΑΝΟΜΗ WEIBULL	128
7.2.5 PEARSON ΤΥΠΟΥ V	129
7.3 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑΝΟΜΩΝ	130
7.3.1 ΛΟΓΑΡΙΘΜΙΚΗ ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ	130
7.3.2 ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ	132
7.3.3 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΓΑΜΜΑ	132

7.3.4 ΚΑΤΑΝΟΜΗ WEIBULL	133
7.3.5 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΒΗΤΑ	133
7.3.6 ΚΑΤΑΝΟΜΗ PEARSON ΤΥΠΟΥ V	134
7.4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ	137
7.4.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΩΝ ΡΟΠΩΝ-Method of moments	137
7.4.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΠΙΘΑΝΟΦΑΝΕΙΑΣ-Method of maximum likelihood	139
7.5 ΥΠΕΡΒΑΣΕΙΣ ΟΡΙΩΝ-ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ	143
7.5.1 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΥΠΕΡΒΑΣΕΩΝ	143
7.5.2 ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ	143
7.6 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ.....	145
7.6.1 ΜΕΘΟΔΟΣ I: ΕΞΙΣΩΣΗ ΜΕΙΩΣΗΣ Ή ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΟΣΟΣΤΩΣΗΣ (ROLLBACK EQUATION)	145
7.6.2 ΜΕΘΟΔΟΣ II: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΩΝ ΠΕΡΙΟΔΩΝ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ ..	146
7.7 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΛΗΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ	148
7.7.1 ΔΕΙΚΤΕΣ ΚΑΛΗΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ	149
7.7.2 ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΑ ΤΕΣΤ ΚΑΛΗΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ	151
7.8 ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ ΚΑΤΑΝΟΜΩΝ.....	154
7.8.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ P-P	155
7.8.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Q-Q.....	156
7.8.3 ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ/ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ.....	157
7.8.4 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΠΟΚΛΙΣΕΩΝ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ ΚΑΤΑΝΟΜΩΝ	158
7.8.5 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ.....	159
7.8.6 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ ΕΠΙΒΙΩΣΗΣ	160
7.8.7 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΘΗΚΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	161
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	
ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ PM10	164
8.1 ΔΙΚΤΥΟ ΣΤΑΘΜΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ PM10 ΣΤΟ ΛΕΚΑΝΟΠΕΔΙΟ ΤΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ	164
8.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΑΙΡΟΥΜΕΝΩΝ	
ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ	166
8.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΝΕΡΓΩΝ ΗΜΕΡΩΝ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΩΝ ΕΤΩΝ.....	167
8.4 ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ	168
8.5 ΠΛΗΡΟΤΗΤΑ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ.....	169

8.6 ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΙΣ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ	169
8.7 ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ	174
8.8 ΜΗΝΙΑΙΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	176
8.9 ΗΜΕΡΗΣΙΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	181
8.10 ΩΡΙΑΙΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	186
8.11 ΕΠΟΧΙΑΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	190
8.12 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ	197
8.13 ΠΛΗΘΟΣ ΥΠΕΡΒΑΣΕΩΝ	199
8.14 ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΕΠΕΙΣΟΔΙΩΝ	203

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ
ΚΑΤΑΝΟΜΩΝ ΣΤΙΣ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ PM10.....212**

9.1 ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑΤΑ.....	212
9.2 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΤΑΝΟΜΩΝ.....	217
9.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΚΑΛΗΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ.....	222
9.4 ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	226
9.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΜΕΝΩΝ ΥΠΕΡΒΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 2001-2002.....	263
9.6 ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΥΠΕΡΒΑΣΕΩΝ ΤΩΝ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΑΕΡΙΑΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ	268
9.7 ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΔΕΛΟΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ.....	272
9.8 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΕΙΩΣΗΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM10.....	272
9.8.1 ΜΕΘΟΔΟΣ I.....	273
9.8.2 ΜΕΘΟΔΟΣ II	278
9.9 ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΑ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ ΚΑΤΑΝΟΜΩΝ ..	282

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ-ΓΕΝΙΚΕΣ
ΔΙΑΠΙΣΤΩΣΕΙΣ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ**

284

10.1 ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	284
10.2 ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΤΑΝΟΜΩΝ	292
10.5 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	298

1. Environmental Protection Agency's (EPA) Office of Research and Development (ORD), "Air Quality Criteria for Particulate matter", (EPA/600/P-95/001aF-cF), Federal Register 61(89): 20522, 5/7/96
2. Wark K., Warher C.F., Davis W.T., "Air pollution: its origin and control", Addison Wesley Longman, 1998.
3. E.Manahan Stanley (1991), "Environmental chemistry", 5th edition, Lewis publishers, USA
4. De Nevers Noel (1995), "Air pollution control engineering", Mc Graw Hill, USA
5. Robert Jennings Heinsohn, Robert Lynn Kobel, Sources and Control of air Pollution, Prentice Hall, 1999.
6. Στούρνας Σ., Λόης Ε., Ζαννίκος Φ., "Τεχνολογία καυσίμων και λιπάντικων", Αθήνα, 1993.
7. Querol X., Alastuey A., Lopez-Soler A., Plana F., "Levels and chemistry of atmospheric particulates induced by a spill of heavy metal mining wastes in the Donana area, Southwest Spain", *Atmospheric Environment*, 34(2000): 239-253.
8. Natural Resources Defence Council, "Air pollution FAQ" (Based on BREATH-TAKING : Premature Mortality Due to Particulate Air Pollution in 239 American Cities, a May 1996 report by the Natural Resources Defense Council), [http:// mail.igc.apc.org/nrdc/faqs/aibrefaq.html](http://mail.igc.apc.org/nrdc/faqs/aibrefaq.html)
9. Frank Raes, Rita van Dingenen, Elisabetta Vignati, Julian Wilson, Jean Philippe Putaud, John S. Seinfeld, Peter Adams, "Formation and cycling of aerosols in the global troposphere", *Atmospheric Environment*, 34(2000): 4215-4240.
10. Chow Judith C. (1995), "Measurement methods to determine compliance with ambient air quality standards for suspended particles", *J. Air & Waste Management Assoc.*, 45,3/1995 :320-382.
11. Keywood M.D, Ayers G.P., Grass J.L., Gillett R.W, Cohen D.D, "Relationships between size- segregated mass concentration data and ultrafine particle number concentrations in urban areas", *Atmospheric Environment*, 33(1999): 2907-2913.

12. Berico M, Luciani A., Formignani M., “Atmospheric aerosol in an urban area- Measurements of TSP and PM10 standards and pulmonary deposition assessments, *Atmospheric Environment*, 31(1997): 3659- 3665.
13. Watson John G., Chow Judith C., Dubois David, Green Mark, Frank Neil, Pitchford Marc(1997), “Guidance for network design and optimum site exposure for PM2,5 and PM10”, prepared for Office of Air Quality Planning and Standards -U.S. Environmental Protection Agency (Research Triangle Park, NC27711), 15 Dec 1997.
14. Dr Paterson Kurt (1995), “CE352 Air Particulate Laboratory: Analysis of second hand smoke, Types of Air Particulate, Representatives sizes of air particulate”,
http://www.bic.ac.civil.mtu.edu/public_html/classes/cd352/labs/particulates.html, First prototype Internet Laboratory of the MTU Environment Course Ware Series
15. Natural Resources Defense Council, “Danger in the Air: Thousands of early deaths could be averted with cleaner air standard” (Based on BREATH-TAKING: Premature Mortality Due to Particulate Air Pollution in 239 American Cities, a May 1996 report by the Natural Resources Defense Council), <http://www.nrdc.org/find/aibresum.html>
16. Technical working group on particles (by European Commission), 24 July 1996, “Ambient air pollution by particulate matter-Draft position paper”, version 4.0.
17. Παπαϊωάννου Α.Θ., “Μηχανική των ρευστών”, Τόμος 1, 1993.
18. Harrison R.M, Yin J., “Particulate matter in the atmosphere: which particles properties are responsible for its effects on health”, *The science of the total environment*, 249 (2000): 85-101.
19. Watson John G., Chow Judith C., Moosmoller Hans, Green Mark, Frank Neil, Pitchfird Marc, “Guidance for using continuous monitors in PM2,5 monitoring network”, prepared for Office of Air Quality Planning and Standards-U.S. Environmental Protection Agency , 1998.
20. Ohta S., Hori M., Yamagata S., Murao N., “Chemical characterization of atmospheric fine particles in Sapporo with determination of water content”, *Atmospheric Environment*, 32 (1999): 1121-1125.

21. Harrison R.M, Jones M., “The chemical composition of airborne particles in the U.K. atmosphere”, *The science of the total environment*, 168 (1995): 195-214.
22. Veli-Matti K., Kimmo T., Risto H., “Chemistry of the sea- salt particles in the summer Antarctic Atmosphere”, *Atmospheric Environment*, 34(2000): 2817-2825.
23. Kavouras I. G., Joy L., Koutrakis P., Stephanou E.G., Oyola P., “Measurement of particulate aliphatic and polynuclear aromatic hydrocarbons in Santiago de Chile: source reconciliation and evaluation of sampling artifacts”, *Atmospheric Environment*, 33(1999): 4977-4986.
24. Junker M., Kasper M., Roosli M., Camenzind M.,Kunzli N., Monn C., Theis G., Braun-Fahrlander C., “Airborne particle number profiles, particle mass, distributions and particle- bound PAH concentrations within the city environment of Basel”, *Atmospheric Environment*, 34(2000): 3171-3181.
25. Menichini E., Monfrendini F., Merli F., “The temporal variability of the profile of carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons in urban air: A study in a medium traffic area in Rome”, *Atmospheric Environment*, 33(1999): 3739-3750.
26. Panther B.C., Hooper M.A., Tapper N.J., “A comparison of air particulate matter and associated polycyclic aromatic hydrocarbons in some tropical and temperate environment”, *Atmospheric Environment*, 33(1999): 4087-4099.
27. Offenbergh J.H., Baker J.E., “Aerosol size distributions of elemental and organic carbon in urban and over water atmospheres”, *Atmospheric Environment*, 34(2000): 1509-1517.
28. Molnar A., Meszaros E., Hansson H.C., Karlsson H., Gelencser A., Kiss G., Krivacsy Z., “The importance of organic and elemental carbon in the fine atmospheric aerosol particles”, *Atmospheric Environment*, 33(1999): 2745-2750.
29. Kim Y.P., Moon K.C., Lee J.H, Baik N.J., “Concentrations of carbonaceous species in particles at Seoul and Cheju in Korea”, *Atmospheric Environment*, 33(1999): 2751- 2758.
30. Mattias-Maser S., Obolkin V., Khodzer T., Jaeniche R., “Seasonal variation of primary biological aerosol particles in the remote continental region of lake Baikal/Siberia, *Atmospheric Environment*, 34(2000): 3805-3811.

31. Valavanidis A., Salica A, Theodoropoulou A., “Generation of hydroxy radicals by urban suspended particulate matter. The role of iron ions”, *Atmospheric Environment*, 34(2000): 2379-2386.
32. Kleeman M. J., Cass G.R., “Identifying the effect of individual emissions sources on particulate air quality within a photochemical aerosol processes trajectory model”, *Atmospheric Environment*, 33(1999): 4597- 4613.
33. Air Pollution Engineering Manual, Air & Waste Management Association, Edited by Anthony J. Buonicore & Wayne T. Davis, Van Nostrand Reinhold, 1992.
34. Querol X., Alastuey A., Puigercus H.A., Mantilla E., Miro J.V., Lopez-Soler A., Plana F., Artinano B., “Seasonal evolution of suspended particles around a large coal-fired power station: particulates levels and sources”, *Atmospheric Environment*, 32(1998): 1963-1978.
35. Ohlstrom M.O., Lehtinen K., Moisio M., Jokiniemi J.K., “Fine particle emissions of energy production in Finland”, *Atmospheric Environment*, 34(2000): 3701-3711.
36. Ρήγας Φ., Επιστήμη και Τεχνολογία Περιβάλλοντος, Αθήνα, 1997.
37. Jones A.P., “Indoor air quality and health”, *Atmospheric Environment*, 33(1999): 4535-4564.
38. Yamasoe M.A., Artaxo P., Miguel A.H., Allen A.G., “Chemical composition of aerosol particles from direct emissions from vegetation fires in the Amazon Basin: water soluble species and trace elements”, *Atmospheric Environment*, 34(2000): 1641-1653.
39. Magliano K. M., Hughes V.M., Chinkin L., Coe D. L., Haste T. L., Kumar N., Lurmann F.W., “Spatial and temporal variations in PM₁₀ and PM_{2,5} source contributions and comparison to emissions during the 1995 integrated monitoring study”, *Atmospheric Environment*, 33(1999): 4757-4773.
40. Mage D., Wilson W., Hasselblad V., Grant L., “Assessment of human exposure to ambient particulate matter”, *Journal of the Air and Waste Management Association*, 49(1999): 1280-1291.
41. U.S. Environmental Protection Agency (1997), “EPA Region 9: Breathing Easier 1996: PARTICULATE MATTER”, <http://www.epa.gov/region09/air/breath96/pm10.html>

42. U.S. Environmental Protection Agency (1997), “Information on Particulate Matter”, <http://www.epa.gov/oar/oaqps/regusmog/infpact.html>.
43. Atmospheric Research and Information Centre (Dr.D.Raper), “ARIC Briefing note: Particulate Matter”, <http://doc.mmu.ac.uk/aric/notes/bn52.html>.
44. American Lung Association of Washington, “Facts about particulate matter air pollution”, <http://alaw.org/pmfact.html>.
45. Hazell C., Burr M., Collins P., Carani B., “Investigation of the possible link between exposure to air pollution and changes in blood coagulation parameters”, *Environmental International*, 25(1999): 9-16
46. Gilmour P.S., Brown D.M., Lindsay T.G., Beswick P.H., MacNee W., Donaldson K. “Adverse health effects of PM10 particles: Involvement of iron in generation of hydroxyl radical”, *Occupational and Environmental Medicine*, 53(1996): 817-825.
47. Villalobos-Pietrini R., Blanco S., Gomez-Arroyo S., “Mutagenicity assessments of airborne particles in Mexico city”, *Atmospheric Environment*, 29(2000): 517-5244.
48. *Inhalation Toxicology*, Poster Section 4D.
49. Mitchell G., Namdeo A., Kay D., “A new disease-burden method for estimating the impact of outdoor air quality in human health”, *The Science of the Total Environment*, 246(2000), [153-163].
50. Jantunen M. J., Katsouyanni K., Knüppel H., “Air Pollution Exposure in European Cities: The EXPOLIS Study” pp.3-5, pp.34.
51. Becker S., Soukup J.M., “Exposure to urban air particulates alters the macrophage-mediated inflammatory response to respiratory viral infection”, *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 57(1999): 445-457.
52. Burnett R.T., Smith-Doiron M., Stieb D., Cakmak S., Brook J.R., “ Effects of particulate and gaseous air pollution on cardiorespiratory hospitalisations”, *Archives of Environmental Health*, 54(1999): 130-139.
53. Choudhury A.H., Gordian M.E., Morris S.S., “Associations between respiratory illness and PM10 air pollution”, *Archives of Environmental Health*, 52(1997): 113-117.
54. Gordian M.E., Ozkaynak H., Xue J., Morris S.S., Spengler J.D., “Particulate air pollution and respiratory disease in Anchorage, Alaska”, *Environmental Health Perspectives*, 104(1996): 290-297.

55. Pope III C.A., Hill R.W., Villegas G.M., “Particulate air pollution and daily mortality on Utah's Wasatch Front”, *Environmental Health Perspectives*, 107(1997): 567-573.
56. Wordley J., Walters S., Ayres J.G., “Short term variations in hospital admissions and mortality and particulate air pollution”, *Occupational and Environmental Medicine*, 54(1997): 108-116.
57. Van der Zee S.C., Hoek G., Boezen H.M., Schouten J.P., Van Wijnen J.H., Brunekreef B., “Acute effects of urban air pollution on respiratory health of children with and without chronic respiratory symptoms”, *Occupational and Environmental Medicine*, 56(1999): 802-812.
58. Lents J. M., Kelly W. J., “Clearing the air in Los Angeles”, *Scientific American*, October 1993: 32-39.
59. Paterson K.G.M. (1995), “Module 2: Atmospheric Pollutant”, http://bigmac.civil.mtu.edu/public_html/classes/ce352/lectures/Lecture2.html
60. Shekar Reddy M., Venkataraman C., “Atmospheric aerosol and radiative effects of anthropogenic aerosol constituents from India”, *Atmospheric Environment*, 34(2000): 4511-4523.
61. Malm W.C., Day D.E., “Optical properties of aerosols at Grand Canyon National Park”, *Atmospheric Environment*, 34(2000): 3373-3391.
62. Koloutsou-Valais Sotiria, “Global issue, Aerosol particles and global climate change”, University of Illinois at Urban-Champaign, http://www.gnest.org/Global_Issues/Aerosol.htm
63. “Air quality monitoring and related projects”, <http://www.outdoors.org/Conservation/Air/air-quality-monitoring.html>
64. Reist Parker and Refik Alp (1996), “Effect of size distribution on estimates of bext from atmospheric aerosol measurements”, <http://www.sph.unc.edu/envr/esenotes/june96/reist.htm>
65. Chabas A., Levevre R.A., “Chemistry and microscopy of atmospheric particulates at Delos (Cyclades-Greece)”, *Atmospheric Environment*, 34(2000): 225-238.
66. Primarano P., Marino G., Di Pasquale S., Mavilla L., Corigliano F., “Possible alteration of monuments caused by particles emitted into the atmosphere carrying strong primary acidity”, *Atmospheric Environment*, 34(2000): 3889-3896.

67. Kildeso J., Vallarino J., Sprengler J. D., Brightman H.S., Schneider T., “dust build-up on surfaces in the indoor environment”, *Atmospheric Environment*, 33(1999): 699-707.
68. Νέα θυγατρική οδηγία της Ε.Ε, (24/3/1999).
69. Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο (1997), “Πρόταση οδηγίας του Συμβουλίου σχετικά με οριακές τιμές για το διοξείδιο του θείου, τα οξείδια του αζώτου, τα σωματίδια και το μόλυβδο στον ατμοσφαιρικό αέρα (ΕΕ αριθμ. C9/98, σ.6), COM(97) 500 τελικό-97/0266(SYN)”, Υποβλήθηκε από την Επιτροπή στις 21 Νοεμβρίου 1997.
70. Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο (1998), “Τροποποιημένη πρόταση οδηγίας του Συμβουλίου σχετικά με οριακές τιμές για το διοξείδιο του θείου, τα οξείδια του αζώτου, τα σωματίδια και το μόλυβδο στον ατμοσφαιρικό αέρα (ΕΕ αριθμ. C259/98, σ.10), COM(98) 386 τελικό-97/0266(SYN)”, Υποβλήθηκε από την Επιτροπή σύμφωνα με το άρθρο 189Α παράγραφο 2 της συνθήκης ΕΚ στις 8 Ιουλίου 1998.
71. “Particulate Matter firmly linked to deaths. Should EPA alter particulate matter standards” *Environmental Manager*, vol.1 April 1995, p.34-35.
72. U.S. Environmental Protection Agency (1997), “Current and revised standards for Ozone and Particulate Matter”, <http://www.epa.gov/oar/oaqps/ozpmbro/current.html>.
73. U.S. Environmental Protection Agency (1997), “What changes were made to the particulate matter standards”, <http://www.epa.gov/oar/oaqps/ozpmbro/partstan.html>.
74. U.S. Environmental Protection Agency (1997), “40 CFR Part 50; National Ambient Air Quality Standards for Particulate matter; Final Rule” *Federal Register/ Vol.62, No.138/ Friday, July 18 1997/Prepublication*.
75. World Health Organization (1999), “Sustainable Development and Healthy environments; Protection of the human environment; Air quality management; Air quality guidelines”, <http://www.who.int/peh/air/airguides2.htm>.
76. World Health organization (1998), “Fact Sheet No.187; December 1997; WHO Guidelines for air quality”, <http://www.who.int/inf-fs/en/fact187.html>.

1. Πέτρος Κιόχος, Στατιστική, Εκδόσεις Interbooks, Αθήνα, 1993.
2. Ανδρέας Α.Κιντής, Σύγχρονη στατιστική ανάλυση-Συμβολή στην επιστημονική έρευνα και στη λήψη των αποφάσεων, Εκδόσεις Gutenberg, Αθήνα, 1995.
3. Κλέων Τσίμπος-Φώτης Γεωργιακώδης, Περιγραφική & Διερευνητική στατιστική ανάλυση δεδομένων-Μονοδιάστατη ανάλυση, Εκδόσεις Σταμούλης, Αθήνα, 1999.
4. Τσάντας Νικόλαος, Μουσιάδης Χρόνης, Μπαγιάτης Ντίνος, Χατζηπαντελής Θόδωρος, Ανάλυση δεδομένων με τη βοήθεια στατιστικών πακέτων, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 1999.
5. Georgopoulos P.G., Seinfeld J.H., "Statistical distributions of air pollutant concentrations", *Environmental Science & Technology*, 16, 401A-416A, 1982.
6. Αμπατζόγλου Γ., Ασημακόπουλος Δ., "Στατιστική ανάλυση αερίων ρύπων στο Θριάσιο πεδίο. Κατανομές και ακραίες τιμές", *Τεχνικά χρονικά*, Τόμος 13, Τεύχος 3-4, 1993.
7. Μπαζάκας Φίλιππος, Πρόβλεψη επεισοδίων φωτοχημικής ρύπανσης με χρήση της θεωρίας των ακραίων τιμών στο λεκανοπέδιο της Αθήνας, Διπλωματική εργασία, Αθήνα, 1998.
8. Taylor J.A., Jakeman A.J., Simpson R.W., "Modeling distributions of air pollutant concentrations-I. Identification of statistical models", *Atmospheric Environment*, V.20, No 9, 1781-1789, 1986.
9. Hsin-Chung Lu, "The statistical characters of PM10 concentration in Taiwan area, *Atmospheric Environment*", 36, 491-502, 2002.
10. Ott, W.R.A., "Physical explanation of the lognormality of pollutant concentrations", *Journal of Air and Waste Management Association* 40, 1378-1383, 1990.
11. Larsen R.I., "A new mathematical model of air pollutant concentration averaging time and frequency", *Journal of Air Pollution Control Association*, 19, 24-30, 1969.
12. Singpurwalla N.D., "Extreme values from a lognormal law with applications to air pollution problems", *Technometrics*, 14, 703-711, 1972.

13. Larsen R.I., "A new mathematical model of air pollutant concentration averaging time and frequency", *Journal of Air Pollution Control Association*, 27, 454-459, 1977.
14. Larsen R.I., "A mathematical model for relating air quality measurements to air quality standards", Publication No. AP-89, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, N.C., U.S.A., 1971.
15. Larsen R.I., "An air quality data analysis system for interrelating effects, standards, and needed source reductions", *Journal of Air Pollution Control Association*, 23, 933-940, 1973.
16. Patel N.R., "A new mathematical model of air pollution concentration", *Journal of Air and Waste Management Association* 23, 291-292, 1973.
17. Horowitz J., Barakat S., "Statistical analysis of the maximum concentration of an air pollutant: effects of autocorrelation and non-stationarity", *Atmospheric Environment*, 13, 811-818, 1979.
18. Ott W.R., Mage D.T.T., "A general purpose univariate probability model for environmental data analysis", *Computers and Operations Research*, 3, 209-216, 1976.
19. deNevers N., Lee K.W., Frank N.H., "Patterns in TSP distribution", *Journal of Air Pollutants and Control Assessments* 29, 32-35, 1979.
20. Kao A.S., Friedlander S.K., "Frequency distributions of PM10 chemical components and their sources", *Environmental Science and Technology*, 29, 19-28, 1995.
21. Burkhardt J., Sutton M.A., Milford C., Storeton-West R.L., Fowler D., "Ammonia concentrations at a site in Southern Scotland from 2 yr. of continuous measurements", *Atmospheric Environment*, 32 325-331, 1998.
22. Hsin-Chung Lu, "Comparisons of statistical characteristic of air pollutants in Taiwan by frequency distribution", *Journal of Air and Waste Management*, 53, 608-616, 2003.
23. Rumburg B., Alldredge R., Claiborn C., "Statistical distributions of particulate matter and the error associated with sampling frequency", *Atmospheric Environment*, 35, 2907-2920, 2001
24. Bencala K.E., Seinfeld J.H., "On frequency distributions of air pollution concentrations", *Atmospheric Environment*, 10, 941-950, 1976

25. Graedel T.E., Kleiner B., Patterson C.C., “Measurements of extreme concentrations of tropospheric hydrogen sulfide”, *Journal of Geophysical Research*, 79, 4467-4473, 1974.
26. Kalpasanov Y., Kurchatova G, “A study of the statistical distribution of chemical pollutants in air”, *Journal of the Air Pollution Control Association*, 26, 981-985, 1976.
27. Holland D.M., Fitz-Simons T., “Fitting statistical distributions to air quality data by the maximum likelihood method”, *Atmospheric Environment*, 16, 1071-1076, 1982.
28. Curran T.C., Frank N.H., “Assessing the validity of the lognormal model when predicting maximum air pollutant concentration”, Paper No.75-51.3 presented at the 68th annual meeting of the Air Pollution Control Association, Boston.
29. Simpson R.W., Butt J., Jakeman A.J., “An averaging time model of SO₂ frequency distributions from a single point source”, *Atmospheric Environment*, 18, 1115-1123, 1984.
30. Berger A, Melice J.L., Demuth C.L., “Statistical distributions of daily and high atmospheric SO₂ concentrations”, *Atmospheric Environment*, 10, 941-650, 1975.
31. Hsin-Chung Lu, “Estimating the emission source reduction of PM10 in central Taiwan”, *Chemosphere*, 54, 805-814, 2004.
32. Pollack R.I., “Studies of pollutant concentration frequency distributions”, Report No. EPA-650/4-75-004, U.S.Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, U.S.A., 1975.
33. Taylor J.A., Simpson R.W, Jakeman A.J., “A hybrid model for predicting the distribution of pollutants dispersed from line sources”, *sci.tot.envir*, 46, 191-213, 1985.
34. Seinfeld J.H., Pandis S.N., “Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change”, New York, John Wiley & Sons, 1998, p.1271
35. Morel B., Yen S., Cifuentes L., “Statistical distribution for air pollutant applies to the study of the particulate problem in Santiago”, *Atmospheric Environment*, 33, 2575-2585, 1999.
36. ExpertFit Version 6 user’s guide, Averill M.Law, February 2004.

37. Πανάρετος Ι., Ξεκαλάκη Ε., Εισαγωγή στη στατιστική σκέψη-Τόμος ΙΙ, Εισαγωγή στις πιθανότητες και στη στατιστική συμπερασματολογία, Αθήνα 2000
38. Holland D.M., Fitz-Simons T., "Fitting statistical distributions to air quality data by the maximum likelihood method", Atmospheric Environment, 16, 1071-1076, 1982.
39. www.itl.nist.gov/div898/handbook
40. Κουτρουβέλης Ι.Α., Πιθανότητες και στατιστική ΙΙ., Ελληνικό ανοικτό πανεπιστήμιο, Πάτρα, 2000.
41. Hastings N.A.J., Peacock J.B., Statistical distributions, Butterworths, London, 1974.
42. Taylor J.A., Jakeman A.J., Simpson R.W., "Modeling distributions of air pollutant concentrations-II. Estimation of one and two parameter statistical distributions", Atmospheric Environment, V.20, No 12, 2435-2446, 1986.
43. Choi S.C., Wette R., "Maximum likelihood estimation of the parameters of the gamma distribution and their bias", Technometrics, 11, 683-690, 1969.
44. Jordan C., Calculus of finite differences, Chelsea publishing, New York, 1960.
45. Χαλουλάκου Α., Σημειώσεις μαθήματος "Ποιότητα περιβάλλοντος και νομοθεσία" μεταπτυχιακού προγράμματος "Συστήματα διαχείρισης ενέργειας και προστασίας περιβάλλοντος", Αθήνα, 2003.
46. Ott W.R., Environmental statistics and data analysis, Lewis Publishers, 276-284, 1995.
47. Surman P.G., Bodero J., Simpson R.W., "The prediction of the numbers of violations of standards and the frequency of air pollution episodes using extreme value theory", Atmospheric Environment, 21 (8), 1843-1848.
48. Abatzoglou G., Chaloulakou A., Assimacopoulos D., Lekkas T., "Prediction of air pollution episodes: extreme value theory applied in Athens", Environmental Technology, 17, 349-359, 1996
49. Mage D.T., Ott W.R., "An evaluation of the method of fractiles, moments and maximum likelihood for estimating parameters when sampling air quality data from a stationary lognormal distribution", Atmospheric Environment, 18, 163-171, 1984.
50. Willmott C.J., "Some comments on the evaluation of model performance", Bull Am. Meteor. Soc., 63 (11), 1309-1313, 1982.

51. Kolehmainen M., Martikainen H., Ruuskanen J., “Neural networks and periodic components used in air quality forecasting”, *Atmospheric Environment*, 35 (5), 815-825, 2001.
52. *Statistica electronic manual*, StatSoft Inc, Tusca, USA 2001.
53. Τσάντας Νικόλαος, Μουσιάδης Χρόνης, Μπαγιάτης Ντίνος, Χατζηπαντελής Θόδωρος, *Ανάλυση δεδομένων με τη βοήθεια στατιστικών πακέτων*, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 1999.
54. Nieuwstadt F.T.M., “Prediction of air pollution frequency distribution. Part II. The Gaussian plume model”, *Atmospheric Environment*, 14, 259-265, 1980.