

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ – ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ

Διπλωματική εργασία

Η Επίδραση της βροχής και του ανέμου στον καθορισμό της ατμόσφαιρας
της Θεσσαλονίκης από το διοξείδιο του θείου και τα αιωρούμενα
σωματίδια.

Της Βεργανελάκης Ευγενίας

Επιβλέπων καθηγητής Αντώνιος Μπλούτσος, Αναπληρωτής Καθηγητής

Θεσσαλονίκη, 2003

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	2
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	3
1.2 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΡΥΠΩΝ	7
1.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΟΥΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	8
2. ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	10
3. ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ (SO₂)	12
3.1 ΠΗΓΕΣ ΤΟΥ SO ₂	13
3.2 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ SO ₂	14
3.3 ΕΠΙΠΕΔΑ ΤΟΥ SO ₂ ΣΤΟ ΕΜΠΟΡΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ	15
4. ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ	19
4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	20
4.2 ΕΙΔΗ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ	21
4.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ	22
4.4 ΕΠΙΠΕΔΑ ΤΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΤΟ ΕΜΠΟΡΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ	24
5. ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΡΥΠΑΝΣΗ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ	26
5.1 Η ΒΡΟΧΗ ΣΑΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΑΠΟ SO ₂ ΚΑΙ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ	27
5.2 Ο ΑΝΕΜΟΣ ΣΑΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΑΠΟ SO ₂ ΚΑΙ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ	37
<i>A) Ο ΒΑΡΔΑΡΗΣ</i>	38
<i>B) ΟΙ ΕΤΗΣΙΕΣ</i>	38
<i>Γ) Ο ΧΟΡΤΙΑΤΗΣ</i>	38
<i>Δ) Η ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΓΕΙΟΣ ΑΥΡΑ</i>	39
5.2.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΝΕΜΩΝ ΒΑ & ΝΑ ΣΥΝΙΣΤΩΣΑΣ ΣΤΟΝ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ	40

5.2.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΝΕΜΩΝ ΝΑ & ΒΔ ΣΥΝΙΣΤΩΣΑΣ ΣΤΟΝ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ-----	46
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ -----	49
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ -----	51

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην παρούσα εργασία γίνεται μία προσπάθεια να μελετηθεί η συμπεριφορά της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην πόλη της Θεσσαλονίκης και ειδικότερα στο εμπορικό κέντρο αυτής σε σχέση τόσο με την βιομηχανική της περιοχή όσο και με τις γύρω κατοικημένες συνοικίες. Έχουν επιλεγεί δύο ρύποι, ένας αέριος (διοξείδιο του θείου) και ένας στερεός (αιωρούμενα σωματίδια) έτσι ώστε να φανούν τυχόν διαφορές στην συμπεριφορά των ρύπων που οφείλονται στην φυσική τους κατάσταση. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται τα στοιχεία από τις Τεχνικές Εκθέσεις του Δήμου Θεσσαλονίκης για το χρονικό διάστημα 1990 – 1997. Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά τις συγκεντρώσεις των ρύπων χρησιμοποιούνται οι μέσες ημερήσιες τιμές όπως αυτές έχουν μετρηθεί στον Σταθμό Εγνατίας – Βενιζέλου.

Τα στοιχεία που αφορούν τις μετεωρολογικές παραμέτρους (βροχή, άνεμος) προέρχονται από τις δημοσιευμένες μετεωρολογικές παρατηρήσεις του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης της ίδιας χρονικής περιόδου.

Η εργασία αυτή ξεκίνησε αρχικά υπό την επίβλεψη του κ. Σαχσαμάνογλου Χαράλαμπου καθηγητή του τομέα Μετεωρολογίας Κλιματολογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης και στην συνέχεια αναπτύχθηκε και πήρε την σημερινή της μορφή με την καθοριστική καθοδήγηση του κ. Μπλούτσου Αντώνιου αναπληρωτή καθηγητή του τομέα Μετεωρολογίας Κλιματολογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, τον οποίο θα ήθελα να ευχαριστήσω για την προθυμία, το ενδιαφέρον και την κατανόηση που έδειξε όπως επίσης και τις χρήσιμες συμβουλές του για την πραγματοποίηση της διπλωματικής αυτής εργασίας.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

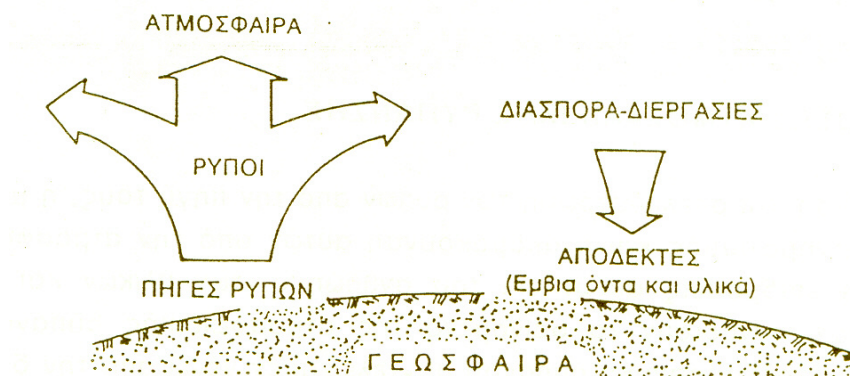
Ο άνθρωπος είναι αναπόσπαστα δεμένος με την φύση της οποίας αποτελεί υποσύνολο. Έχει όμως την τάση να χειραφετείται από την εξάρτηση της και από την νομοτέλεια που την διέπει βασισμένος στο ακαταμάχητο όπλο της νόησης, που μόνο αυτός από τα έμβια όντα διαθέτει. Αρχικά, ο αγώνας του εναντίον της ήταν αμυντικός, καθώς ο άνθρωπος κυνηγημένος από τα στοιχεία της φύσης έπαθε πολλά. Με την πάροδο όμως των αιώνων και στηριζόμενος στις γνώσεις που έχει αποκτήσει σχετικά με αυτήν και τους νόμους που την χαρακτηρίζουν θέλησε να γίνει από δημιουργήμα της φύσης, δημιουργός της.

Δυστυχώς η προσπάθεια αυτή του ανθρώπου δεν θεμελιώθηκε στη σύνεση. Προχώρησε άκριτα στη λεηλασία της φύσης και παραβίασε τους νόμους της ανενδοίαστα, παραγνωρίζοντας ότι με τον αφανισμό της φύσης που τον γέννησε και τον συντηρεί απεργάζεται το δικό του αφανισμό. Έτσι η σύγχρονη κοινωνία χαρακτηρίζεται από την εξαφάνιση πολλών ειδών ζώων και φυτών, την υπερκατανάλωση έως κατασπατάληση των φυσικών πόρων και την ρύπανση του περιβάλλοντος. Τα αποτελέσματα της αλλοίωσης αυτής του περιβάλλοντος που οδηγούν σταδιακά στην καταστροφή του είναι εμφανή τόσο στο νερό, επιφανειακό ή υπόγειο, στην χέρσο, όπως επίσης και στην ατμόσφαιρα. Ειδικότερα, η ατμόσφαιρα της γης η οποία αποτελεί το αεριώδες τμήμα που περιβάλλει τον πλανήτη μας, τον ακολουθεί στο σύνολο των κινήσεών του και καθορίζεται από συγκεκριμένη ποιοτική και ποσοτική σύσταση, υπόκειται σε μια σειρά πιέσεων ανθρωπογενούς προέλευσης, οι οποίες οφείλονται, στη προσπάθεια του ανθρώπου να παράγει συνεχώς περισσότερα αγαθά, αλλά και στον τρόπο διαβίωσής του. Επομένως η γένεση και απελευθέρωση των ρύπων από την πηγή τους, η μεταφορά, ο μετασχηματισμός και η απομάκρυνση αυτών από την ατμόσφαιρα σε συνδιασμό με τις επιδράσεις αυτών στον άνθρωπο, τα υλικά και το οικοσύστημα συνθέτουν το φαινόμενο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Σχήμα 1.1).

1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η αρχή του φαινομένου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στις παραμέτρους που αυτό εξαρτάται από την ανθρώπινη δραστηριότητα, τοποθετείται ταυτόχρονα με την

ανακάλυψη και χρήση της φωτιάς από τον άνθρωπο. Σιγά σιγά, εξαιτίας της συγκέντρωσης των ανθρώπων στις πόλεις προκλήθηκε ατμοσφαιρική ρύπανση από ενοχλητικές μυρωδιές καπναερίων καμινάδων. Την εποχή του Μεσαίωνα και αργότερα με την βιομηχανοποίηση της Ευρώπης και της Αμερικής τα φαινόμενα ατμοσφαιρικής ρύπανσης από την χρήση της φωτιάς στις κατοικημένες περιοχές πολλαπλασιάστηκαν.



Σχημα 1.1 Βασικές συνιστώσες ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Γιαννόπουλος 1994).

Το πρώτο επεισόδιο ατμοσφαιρικής ρύπανσης από καπνό προερχόμενο από καύση λιθανθράκων καταγράφηκε το έτος 1257. Η εμμονή του προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο Λονδίνο ανάγκασε τον Βασιλέα Εδουάρδο Ι (1272-1307 μΧ) να απαγορεύσει την καύση λιθανθράκων κατά τη διάρκεια των συνεδριάσεων του Κοινοβουλίου, επιβάλλοντας τον αποκεφαλισμό ως ποινή στους παραβάτες. Αργότερα, οι βασιλείς Ριχάρδος ΙΙ (1377-1399) και Ερίκος V έλαβαν επίσης μέτρα κατά του καπνού. Ο πρώτος επέβαλε φορολογία, ενώ ο δεύτερος ήταν ο πρώτος που σχημάτισε επιτροπή για τη μελέτη του προβλήματος. Μπορεί να θεωρηθεί επομένως, ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση αρχίζει να προβληματίζει σοβαρά τον άνθρωπο από τον 14 αιώνα μ.Χ. και έπειτα, δηλαδή από τότε που άρχισε να χρησιμοποιείται ο λιθάνθρακας ως η κύρια πηγή παραγωγής της θερμικής, κινητικής ή ηλεκτρικής ενέργειας στην θέση του ξύλου. Η διαφορά του λιθάνθρακα από το ξύλο, είναι ότι ο λιθάνθρακας περιέχει διάφορες ενώσεις του θείου, οι οποίες καιόμενες δημιουργούν τον ενοχλητικό ρύπο του διοξειδίου του θείου (SO_2). Η προσέγγιση του ελέγχου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης με την μορφή που αυτή έχει σήμερα γεννήθηκε στην Αγγλία με την πράξη των αλκαλίων το έτος 1863. Πάντως έως και το έτος 1947 κύρια μέριμνα αποτελούσε η αντιμετώπιση προβλημάτων ρύπανσης κυρίως από καπνό, οπότε ένας εθνικός νόμος στις Ηνωμένες Πολιτείες αντιμετώπισε για πρώτη φορά την ατμοσφαιρική ρύπανση γενικότερα.

Στις αρχές του αιώνα μας παρατηρήθηκε για πρώτη φορά μια αύξηση των θανάτων στις αστικές περιοχές της Μεγάλης Βρετανίας, που αποδόθηκε στην ύπαρξη στην ατμόσφαιρα καπναιθάλης (coal smoke) και ομίχλης (fog), με αποτέλεσμα την δημιουργία ενός ιδιαίτερα ερεθιστικού μείγματος της καπνομίχλης (smog). Ένας από τους παράγοντες που ευνοεί τέτοιου είδους επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι το φαινόμενο της θερμοκρασιακής αναστροφής, το οποίο εμφανίζεται κοντά στο έδαφος και προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας με το ύψος. Τα στρώματα αναστροφής της θερμοκρασίας είναι στάσιμα και πάρα πολύ ευσταθή, με αποτέλεσμα να εμποδίζουν τις ανοδικές κινήσεις και γενικότερα τον εξαερισμό των κατώτερων στρωμάτων της ατμόσφαιρας, που είναι συνήθως και περισσότερο επιβεβαρυμένα με αέριους ρύπους. Δημιουργούν έτσι ένα πωματισμό, θα λέγαμε, ο οποίος σχεδόν πάντοτε είναι υπεύθυνος για την παρατηρούμενη ρύπανση των κατώτερων στρωμάτων της ατμόσφαιρας. Όσο πιο μεγάλη είναι μάλιστα η διάρκεια του φαινομένου της θερμοκρασιακής αναστροφής, τόσο μεγαλύτερη αύξηση της συγκέντρωσης των ρύπων προκαλείται στο παγιδευμένο στρώμα αέρος. Αναφέρονται παρακάτω ορισμένα επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης που αποτελούν κλασικά παραδείγματα φαινομένου θερμοκρασιακής αναστροφής.

- α) Κοιλιάδα Μές (Meuse), Βέλγιο, Δεκέμβριος 1930. Παράγοντες: θερμοκρασιακή αναστροφή, καπνομίχλη, ενοχλητικά αέρια, κυρίως διοξείδιο του θείου $25-100 \text{ mg/m}^3$ και αχλύς (αιώρημα σταγονιδίων) θειϊκού οξέος. Διάρκεια επεισοδίου 3 ημέρες. Επακόλουθα: 63 θάνατοι (10 φορές τον συνηθισμένο αριθμό) και χιλιάδες άρρωστοι αποδίδονται στο επεισόδιο.
- β) Δονόρα (Donora), Πεννσυλβανία (Pennsylvania), ΗΠΑ, Οκτώβριος 1948. Παράγοντες: θερμοκρασιακή αναστροφή, ομίχλη, διοξείδιο του θείου $1,5 - 5,5 \text{ mg/m}^3$ καπνός, σωματίδια ενώσεων ψευδαργύρου, αχλύς θειϊκού οξέος. Διάρκεια επεισοδίου 4 ημέρες. Επακόλουθα: επί πληθυσμού 14.100 κατοίκων το 43% ασθένησε και το 10% προσεβλήθη σοβαρά, ενώ 17 θάνατοι αποδίδονται στο επεισόδιο.
- γ) Λονδίνο, Αγγλία, Δεκέμβριος 1952. Παράγοντες: θερμοκρασιακή αναστροφή, πολύ σκοτεινή ομίχλη, (περίπου μηδενική ορατότητα) καπνός έως $4,5 \text{ mg/m}^3$, διοξείδιο του θείου έως $3,75 \text{ mg/m}^3$. Διάρκεια επεισοδίου 6 ημέρες. Επακόλουθα: περίπου 4.000 θάνατοι αποδίδονται στο επεισόδιο (Σχήμα 1.2)

Τον Ιανουάριο 1956 η παρατεταμένη καπνομίχλη είχε σαν αποτέλεσμα άλλους 1.000 θανάτους. Παρακινούμενο από αυτά τα γεγονότα το Βρετανικό Κοινοβούλιο ψήφισε

ειδική νομοθεσία, την "Clean Air Act", η οποία προέβλεπε την μείωση χρησιμοποίησης του λιθάνθρακα ως καυσίμου. Τα συμπτώματα από τα παραπάνω επεισόδια ήταν βήχας, δυσκολίες στο αναπνευστικό σύστημα, ερεθισμός της μύτης και των οφθαλμών και αύξηση των καρδιακών νοσημάτων.

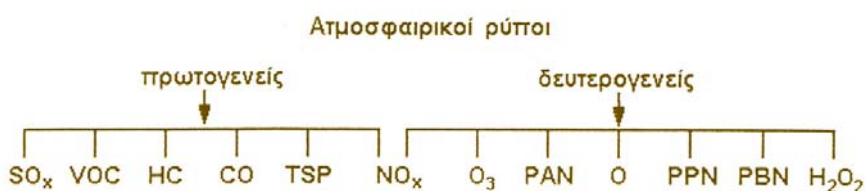


Σχήμα 1.2. Η καπνομίχλη στο Λονδίνο όπως απεικονίστηκε απο τον Illigworth στην εφημερίδα Daily Mail με τον τίτλο Smog (Γιαννόπουλος 1994).

Στην αρχή της δεκαετίας του 1970 ο έλεγχος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης άρχισε να περνά σταδιακά και στην Ευρωπαϊκή Κοινότητα, ενώ η Ελλάδα έγινε μέλος της το 1981 (Γιαννόπουλος 1994).

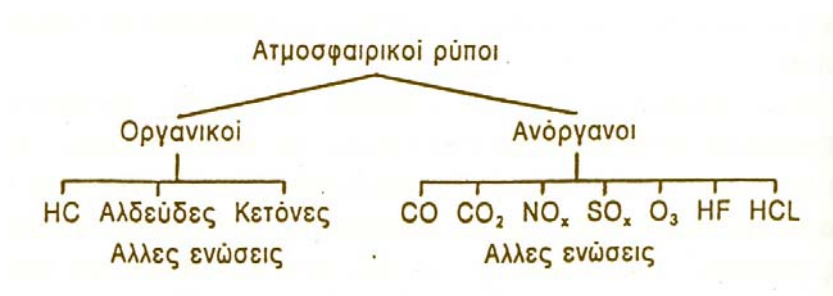
1.2 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΡΥΠΩΝ

Σήμερα ατμοσφαιρικός ρύπος ονομάζεται οτιδήποτε δεν προβλέπεται από τον ορισμό της ατμόσφαιρας είτε ως συστατικό είτε ως ποσότητα. Ρύπος μπορεί να είναι ύλη, ουσία με οποιαδήποτε μορφή, αλλά και ενέργεια οποιασδήποτε μορφής. Επομένως, η παρουσία των ουσιών αυτών στον ατμοσφαιρικό αέρα αποτελεί αυτό που όλοι ονομάζουν ρύπανση της ατμόσφαιρας. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο ρύπος δεν είναι αναγκαίο να προκαλεί βλάβη στον άνθρωπο ή το φυσικό περιβάλλον (Σαχσαμάνογλου 2001). Οι ρύποι μπορούν να διακριθούν με βάση την προέλευση τους σε δύο γενικές κατηγορίες. Τους πρωτογενείς, αυτούς δηλαδή που εκπέμπονται απευθείας στην ατμόσφαιρα και παραμένουν στην αρχική τους μορφή και τους δευτερογενείς, εκείνους δηλαδή που σχηματίζονται από υπάρχοντες πρωτογενείς ρύπους (Σχήμα 1.3).



Σχήμα 1.3. Διαίρεση των ατμοσφαιρικών ρύπων με βάση την προέλευσή τους.

Μια δεύτερη διάκριση των ρύπων μπορεί να γίνει με βάση την χημική τους σύσταση, σε οργανικούς και ανόργανους. Οργανικοί είναι οι ρύποι που περιέχουν άνθρακα και υδρογόνο ενώ στους ανόργανους περιλαμβάνονται το μονοξείδιο του άνθρακα, το διοξείδιο του άνθρακα, τα οξείδια του θείου και του αζώτου, το όζον, το υδροφθόριο, το υδροχλώριο κ.α (Σχήμα 1.4).



Σχήμα 1.4. Διαίρεση των ατμοσφαιρικών ρύπων με βάση την χημική σύσταση.

Τέλος, μια τρίτη διάκριση των ατμοσφαιρικών ρύπων στηρίζεται στην κατάσταση της ύλης, διακρίνονται έτσι οι σωματιδιακοί ρύποι και οι αέριοι (Σχήμα 1.5). Οι σωματιδιακοί με την σειρά τους μπορούν να διαιρεθούν σε στερεούς (σκόνη, καπνός, ιπτάμενη τέφρα) και υγρούς (υγρή αχλύς) ρύπους (Σαχσαμάνογλου 2001). Στην παρούσα εργασία θα μελετήσουμε την συμπεριφορά του SO_2 και των αιωρούμενων σωματιδίων στην επίδραση του ανέμου και της βροχής στην πόλη της Θεσσαλονίκης για το χρονικό διάστημα 1990-1997.



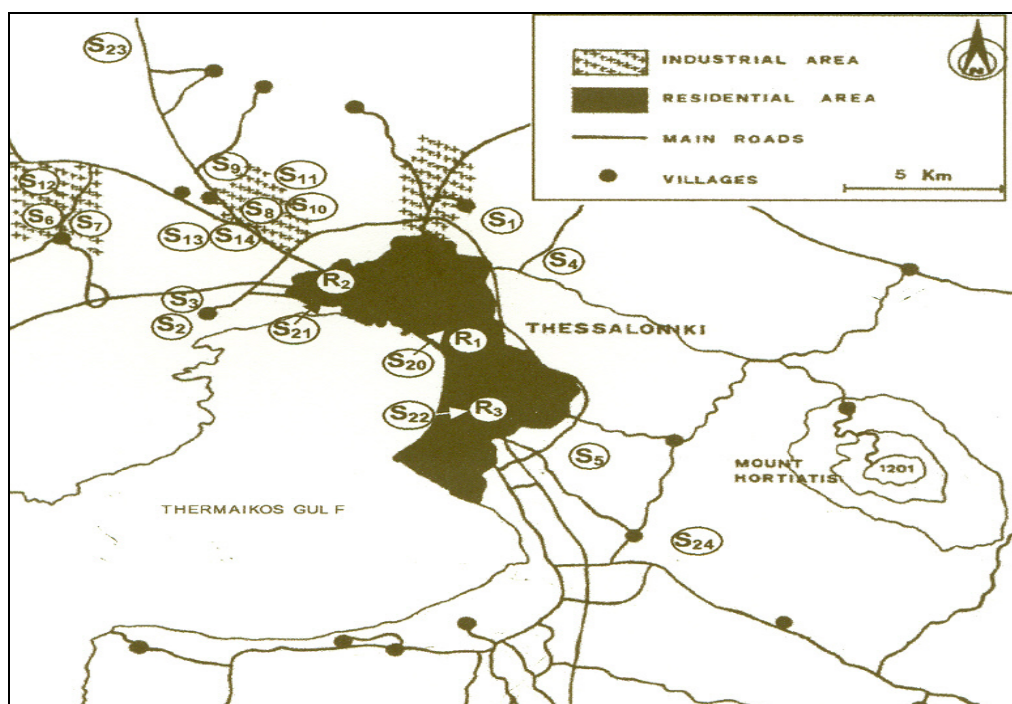
Σχήμα 1.5 Διαίρεση των ατμοσφαιρικών ρύπων με βάση την φυσική τους κατάσταση.

Το διοξείδιο του θείου (SO_2) αποτελεί έναν από τους κύριους ρύπους των αστικών κυρίως περιοχών. Είναι αέριο, άχρωμο, άφλεκτο με χαρακτηριστική δυσάρεστη οσμή, που γίνεται αντιληπτή στα $1306 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και κατώφλια γεύσεως $784 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Είναι ευδιάλυτο στο νερό, βαρύτερο από τον αέρα και όταν διαλύεται σε υγρό ατμοσφαιρικό αέρα μετατρέπεται σε θειώδες οξύ (H_2SO_3) ενώ όταν διαλύεται σε ξηρό αέρα οξειδώνεται σε SO_3 , το οποίο με τη σειρά του μετατρέπεται σε H_2SO_4 , κύριο συστατικό της όξινης βροχής. Ο δεύτερος ρύπος που θα μελετηθεί είναι τα αιωρούμενα σωματίδια. Με τον όρο αυτό χαρακτηρίζονται τα σωματίδια εκείνα που βρίσκονται σε ελεύθερη μορφή στον αέρα και έχουν διαστάσεις και ειδικό βάρος κατάλληλα για να παραμένουν αρκετό χρόνο σε αιώρηση.

1.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΟΥΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Όπως είναι αναμενόμενο, τα κρούσματα ρύπανσης είναι περισσότερα και εντονότερα στις πυκνοκατοικημένες περιοχές όπου η συγκέντρωση κόσμου και ο μεγάλος βαθμός αστικοποίησης έχουν προκαλέσει σημαντικές αλλαγές στο φυσικό περιβάλλον. Στον Ελλαδικό χώρο σημαντικότερο πρόβλημα ατμοσφαιρικής ρύπανσης

παρουσιάζεται στα μεγάλα αστικά κέντρα (Αθήνα, Θεσσαλονίκη) όπου η συγκέντρωση πηγών είναι μεγάλη και οι δυνατότητες φυσικής απομάκρυνσης είναι ελάχιστες καθώς το περιβάλλον έχει κατά πολύ αλλοιωθεί (περιορισμός πρασίνου, υψηλά κτίρια που εμποδίζουν την δράση του ανέμου, μεγάλες εκτάσεις καλυμμένες από τσιμέντο που δεν επιτρέπουν την απορρόφηση των ρύπων που φτάνουν στο έδαφος παρασυρόμενες απ'τη βροχή με αποτέλεσμα σύντομα να παρατηρείται επαναιώρηση). Στην παρούσα εργασία θα μελετηθεί η κατάσταση στην πόλη της Θεσσαλονίκης και πιο συγκεκριμένα στο εμπορικό κέντρο αυτής για το διάστημα 1990-1997. Η αστική περιοχή της Θεσσαλονίκης ($40^{\circ}62'/N$, $22^{\circ}95'/E$, Σχήμα 1.6) είναι μια απ' τις πιο πυκνοκατοικημένες πόλεις της Ελλάδας και της Ευρώπης γενικότερα μετρώντας περίπου 16.000 κατοίκους ανα km^2 . Εκτείνεται στο εσωτερικό τμήμα του Θερμαϊκού κόλπου κατά μήκος της βορειοανατολικής του ακτής. Στα ανατολικά της πόλης υπάρχει η οροσειρά του Χορτιάτη (ύψους 1200μ), ενώ βορειοανατολικά βρίσκεται η λοφοσειρά του Ασβεστοχωρίου (ύψους 460μ). Βορειοδυτικά του πολεοδομικού συγκροτήματος και σε μεγάλη έκταση, εκτείνεται η πεδιάδα των ποταμών Γαλλικού-Αξιού-Αλιάκμονα στην οποία εδρεύει ένα μεγάλο βιομηχανικό σύμπλεγμα (Samara, et al, 2002).



Σχήμα 1.6 Χάρτης της Θεσσαλονίκης (Samara, Kouimtzis, Tsitouridou, Kanias, Simeonov, 2002).

2. ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Το Δημοτικό Δίκτυο Σταθμών Ελέγχου Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης (Σχήμα 2.1) δημιουργήθηκε για την πόλη της Θεσσαλονίκης σε τέσσερις φάσεις: Το έτος 1989 λειτούργησε ο πρώτος Σταθμός στο εμπορικό και διοικητικό κέντρο της πόλης του οποίου τις μετρήσεις μελετάμε στην παρούσα εργασία.



Σχήμα 2.2 Σταθμός Εγνατίας – Βενιζέλου (www.envdimosthes.gr).

Ο Σταθμός Δημαρχείου ή Σταθμός Εγνατίας – Βενιζέλου (Σχήμα 2.2), βρίσκεται στη συμβολή του κυριότερου από πολεοδομικής και κυκλοφοριακής άποψης οδικού άξονα της Θεσσαλονίκης, που είναι ο άξονας Εγνατίας – Μοναστηρίου, και της οδού Βενιζέλου, που συνδέει το Λιμάνι της Θεσσαλονίκης με την Άνω Πόλη και θεωρείται ο σημαντικότερος εμπορικός κάθετος άξονας της πόλης στην αγορά της Θεσσαλονίκης. Η απόσταση του σταθμού από το Λιμάνι είναι 800 m (σε ευθεία γραμμή). Σε μια πόλη με μονοκεντρική δομή όπως η Θεσσαλονίκη, η περιοχή εγκατάστασης του σταθμού αυτού θεωρείται εκτός από Εμπορικό, Διοικητικό, Επιχειρηματικό και Οικονομικό κέντρο της πόλης. Στην κεντρική αυτή περιοχή συναντώνται τα υψηλότερα κτίρια του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης. Στην περιοχή παρατηρείται μια εκτόπιση των κατοικιών από πλήθος γραφείων και εργασιακών χώρων. Η συμβολή του σταθμού της Εγνατίας στο δίκτυο ελέγχου ατμοσφαιρικής ρύπανσης της πόλης είναι να καταγράφει τις μέγιστες συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης για όλους τους άλλους ρύπους, πλην του όζοντος και ταυτόχρονα να προειδοποιεί έγκαιρα για επικείμενο επεισόδιο ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Έτσι, οι τιμές του σταθμού αυτού χρησιμοποιούνται σαν «βαρόμετρο» των βραχυπρόθεσμων εξελίξεων του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος της Θεσσαλονίκης.

Το έτος 1990 προστέθηκε ένας Σταθμός στην Ανατολική Θεσσαλονίκη και ένας Μετεωρολογικός Σταθμός στο κέντρο της πόλης, με σκοπό τη συσχέτιση της

ατμοσφαιρικής ρύπανσης με τα μετεωρολογικά δεδομένα. Ο πρώτος, ο Μετεωρολογικός Σταθμός του Δημαρχείου ανήκει στο Α΄ Δημοτικό διαμέρισμα και βρίσκεται σε υψόμετρο 43 m από την επιφάνεια της θάλασσας. Ο δεύτερος είναι ο Σταθμός 25^{ης} Μαρτίου ο οποίος ανήκει στο Ε΄ Δημοτικό διαμέρισμα, απέχει από την θάλασσα 1100 m και βρίσκεται σε υψόμετρο 12 m.



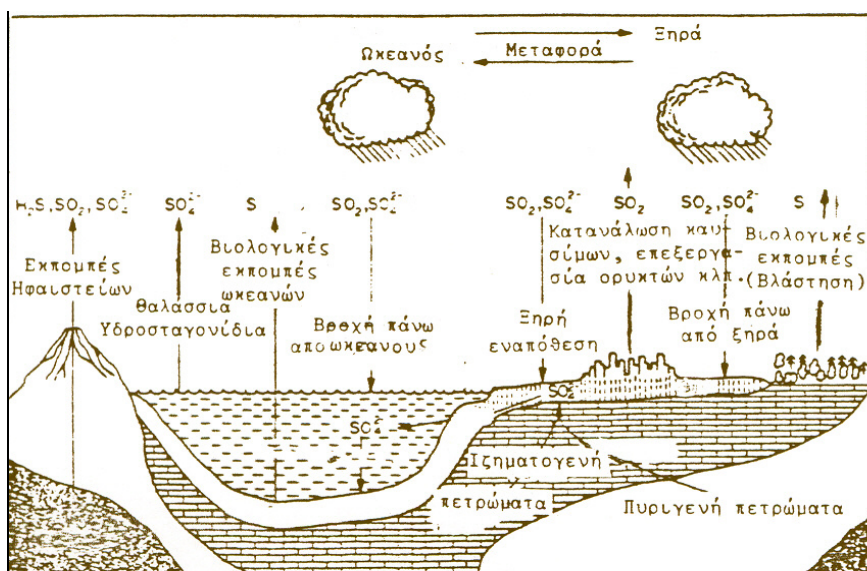
Σχήμα 2.1 Δημοτικό δίκτυο μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Πετρακάκης Μ., Κελέσης Α., Τζουμάκα Π., Κανελλοπούλου Ζ., Τσακνιά Α., Κουτσάρη Ε. Τεχνική Έκθεση-Αποτελέσματα Μετρήσεων Δημοτικού Δικτύου Ελέγχου Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Μετεωρολογικών Παραμέτρων, Τόμος 7^{ος}, Δήμος Θεσσαλονίκης).

Λίγο αργότερα, την χρονιά του 1991 εγκαταστάθηκαν δύο σταθμοί στο βορειότερο και δυτικότερο άκρο του Δήμου Θεσσαλονίκης όπου τοποθετήθηκε και ο δεύτερος Μετεωρολογικός σταθμός του δικτύου. Ο Σταθμός Επταπυργίου ανήκει στο Γ΄ Δημοτικό Διαμέρισμα σε υψόμετρο 174 m από την επιφάνεια της θάλασσας και σε ελάχιστη απόσταση από αυτήν 2400 m. Ο Σταθμός Λαγκαδά που τοποθετείται στο Β΄ Δημοτικό Διαμέρισμα βρίσκεται σε υψόμετρο 18 m από την επιφάνεια της θάλασσας και σε ελάχιστη απόσταση από αυτήν 2100 m. Τέλος, ο Μετεωρολογικός Σταθμός του Επταπυργίου, ο δεύτερος μετεωρολογικός σταθμός του δικτύου, βρίσκεται σε υψόμετρο 177 m από την επιφάνεια της θάλασσας και σε ελάχιστη απόσταση από αυτήν 2400 m.

Το Δημοτικό Δίκτυο Μέτρησης ολοκληρώθηκε το έτος 1994 όταν συμπληρώθηκε με δύο ακόμη Σταθμούς που εγκαταστάθηκαν στην Ανατολική Θεσσαλονίκη. Ο τελευταίος από αυτούς μάλιστα λειτουργεί σαν Σταθμός ραδιοβολήσεων - οζοντοβολήσεων.

3. ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ (SO_2)

Το θείο είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα στοιχεία του ατμοσφαιρικού μας συστήματος. Είναι απαραίτητο για την ύπαρξη ζωής καθώς συμμετέχει στην σύνθεση των πρωτεϊνών. Στον πλανήτη μας υπάρχει στην ατμόσφαιρα, στην υδρόσφαιρα αλλά και στην λιθόσφαιρα.



Σχήμα 3.1 Ο κύκλος του θείου στην ατμόσφαιρα (Κελέσης 1989).

Οι κύριες θειϊκές ενώσεις του κύκλου του θείου είναι το SO_2 , το H_2S και οι θειϊκές ρίζες· οι ενώσεις αυτές εκπεμπόμενες στην ατμόσφαιρα δεν συσσωρεύονται σε αυτήν αλλά υπάρχει μια συνεχής ανταλλαγή μεταξύ των διαφορετικών φάσεων (Σχήμα 3.1) και μια ευαίσθητη ισορροπία ανάμεσα στην ποσότητα που εκλύεται στην ατμόσφαιρα και σε αυτήν που επιστρέφει στην επιφάνεια της γής.

Τα τελευταία 100 χρόνια ο άνθρωπος με την αύξηση της παραγωγής των θεϊκών ενώσεων έχει καταφέρει να μετατοπίσει το σημείο ισορροπίας με αποτέλεσμα την εμφάνιση οικολογικών μεταβολών και φαινομένων ατμοσφαιρικής ρύπανσης που οφείλονται στο SO₂.

3.1 ΠΗΓΕΣ ΤΟΥ SO₂

Το διοξείδιο του θείου εκλύεται στην ατμόσφαιρα από φυσικές ή ανθρωπογενείς πηγές. Οι φυσικές πηγές του θείου στην ατμόσφαιρα είναι τριών ειδών 1) γεωθερμικές, 2) βιολογικές, 3) από θαλάσσια υδροσταγονίδια. Οι γεωθερμικές πηγές προέρχονται από ηπειρωτικές πηγές θείου με αμελητέα συνεισφορά στο συνολικά γεωθερμικά παραγόμενο ποσό, σε σύγκριση με την ποσότητα που προέρχεται από εκρήξεις ηφαιστειών. Οι βιολογικές εκπεμπόμενες θεϊκές ενώσεις είναι η σημαντικότερη πηγή φυσικώς παραγόμενου θείου στην ατμόσφαιρα και γίνεται με τις δύο παρακάτω διαδικασίες: τη διαδικασία της αποσύνθεσης των οργανικών θεϊκών ενώσεων από μικροοργανισμούς, μικρόβια και φύκια σε αερόβιο ή αναερόβιο περιβάλλον και τη διαδικασία της μετατροπής του θείου από συγκεκριμένα μικρόβια σε αποκλειστικά αναερόβιο περιβάλλον. Και οι δύο διαδικασίες χρειάζονται απαραίτητα την παρουσία οργανικής ύλης και υγρασίας (Κελέσης 1989).

Οι ανθρωπογενείς εκπομπές θεϊκών ενώσεων έχουν μια αυξητική τάση τα τελευταία 100 χρόνια. Οι κύριες διαδικασίες παραγωγής είναι η κατανάλωση καυσίμων, άνθρακα και πετρελαίου, τα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας, οι βιομηχανίες, οι κεντρικές θερμάνσεις, οι χημικές βιομηχανίες και οι χαρτοβιομηχανίες. Άλλες σημαντικές ανθρωπογενείς πηγές διοξειδίου του θείου είναι η διύλιση πετρελαίου και η βιομηχανική κατεργασία θειούχων ενώσεων. Η κατανομή των ανθρωπογενών πηγών σε παγκόσμια κλίμακα δεν είναι ομοιόμορφη, στον ευρωπαϊκό χώρο το ποσό του SO₂ που μεταφέρεται από τις γύρω περιοχές είναι πολύ μικρό σε σχέση με τις εκπομπές στο εσωτερικό της. Στην περιοχή της Βορείου Ελλάδος οι δύο μεγαλύτερες περιοχές εκπομπής SO₂ από ανθρωπογενείς δραστηριότητες είναι η περιοχή του νομού Θεσσαλονίκης και η περιοχή της Πτολεμαΐδος.

3.2 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ SO₂

Το διοξείδιο του θείου προκαλεί δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου καθώς ευδιάλυτο όπως είναι, απορροφάται από τα υγρά στο ανώτερο κυρίως τμήμα του αναπνευστικού συστήματος προκαλώντας την έκκριση βλέννας. Ερεθίζεται έτσι ο βλεννογόνος του αναπνευστικού συστήματος με συνέπεια ορισμένες φορές, ιδιαίτερα όταν αυτό συνδυάζεται με τον καπνό και τα σωματίδια, με τα οποία συνήθως συνυπάρχει, να παρατηρηθούν βρογχίτιδα και πνευμονικό εμφύσημα.

Στο διοξείδιο του θείου και τα μικροσωματίδια οφείλονται σημαντικά επεισόδια ρύπανσης που συνέβησαν κατά το παρελθόν στα οποία αποδίδεται ο θάνατος χιλιάδων, ηλικιωμένων ως επί το πλείστον, ατόμων. Το διοξείδιο του θείου εκτός από τον άνθρωπο επηρεάζει και το περιβάλλον του. Αν και είναι δύσκολο να απομονωθούν οι επιπτώσεις αυτού στα αστικά κέντρα, λόγω των πολλών άλλων ρύπων που εκπέμπονται, παρόλα αυτά είναι σχεδόν σίγουρο ότι το διοξείδιο του θείου και οι θειϊκές ρίζες υπό μορφή σωματιδίων, παίζουν καθοριστικό ρόλο στην διαμόρφωση του κλίματος των περιοχών αυτών. Οι κυριότερες επιδράσεις είναι οι υψηλότερες θερμοκρασίες των αστικών περιοχών σε σύγκριση με αυτές που επικρατούν στις γύρω αγροτικές περιοχές, η μείωση της υπερϊώδους ακτινοβολίας κατά τους χειμερινούς μήνες, η μείωση της ορατότητας με την συχνότερη εμφάνιση ομίχλης και τέλος, η αύξηση των βροχοπτώσεων από την αύξηση δημιουργίας πυρήνων συμπύκνωσης (Κελέσης 1989).

Όπως είναι αναμενόμενο το SO₂ έχει και οικολογικές επιπτώσεις. Η σημαντικότερη ίσως από αυτές, ιδιαίτερα για χώρες όπως είναι η Ελλάδα με έντονη αρχαιολογική κληρονομιά, είναι το φαινόμενο της όξινης βροχής το οποίο είναι υπεύθυνο για την υποβάθμιση των κτιρίων και των μαρμάρινων μνημείων. Ιδιαίτερο παράδειγμα αποτελεί η αψίδα του Γαλέριου στην οποία οι ανάγλυφες παραστάσεις έχουν αλλοιωθεί τα τελευταία χρόνια (Ζερεφός και Ζουμάκης 1984). Ο όρος όξινη βροχή καλύπτει ποικιλία φαινομένων που περιλαμβάνουν βροχή, ομίχλη, χιόνι και χαλάζι. Η τιμή του pH της φυσικής βροχής είναι 5,65 και προκύπτει από τη διάλυση του CO₂ της ατμόσφαιρας και τον σχηματισμό H₂CO₂ στις σταγόνες των κατακρημνισμάτων. Οποιαδήποτε μορφή κατακρημνισμάτων με τιμή pH μικρότερη από 5,65 θεωρείται όξινη. Η μείωση του pH οφείλεται στην διάλυση στο νερό της βροχής των διοξειδίων του θείου (SO₂) και οξειδίων αζώτου (NO_x) που παράγονται κυρίως από την καύση ορυκτών καυσίμων και την παραγωγή οξειδίων αζώτου από μηχανές εσωτερικής καύσης.

Επι πλέον, η όξινη βροχή έχει σοβαρές επιπτώσεις στην υδρόβια ζωή των λιμνών και την καταστροφή των δασών. Προκαλεί επίσης, το κιτρίνισμα των φύλλων, ακόμη και σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις της τάξης των 55-60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Στην δεκαετία του 1980 υπήρξε μεγάλη ανησυχία στην κοινή γνώμη αλλά και στους επιστήμονες, για την επίδραση της όξινης βροχής στα δασικά και στα λιμναία οικοσυστήματα. Η καταστροφή δασών στην Γερμανία αλλά και η οξύνιση λιμνών στις σκανδιναβικές χώρες οδήγησε στην λήψη μέτρων. Η Ευρωπαϊκή Ένωση αποφάσισε, το 1986, την εφαρμογή ειδικής δράσης για την προστασία των δασών της Κοινότητας από την ατμοσφαιρική ρύπανση (Μιχόπουλος, Μπαλούτσος, Οικονόμου 2002).

3.3 ΕΠΙΠΕΔΑ ΤΟΥ SO_2 ΣΤΟ ΕΜΠΟΡΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Μελετώντας τις μέσες ημερήσιες τιμές του διοξειδίου του θείου από τις μετρήσεις του σταθμού Εγνατίας - Βενιζέλου για το χρονικό διάστημα 1990-1997 (Πίνακας 3.1) μπορούμε να βγάλουμε χρήσιμα συμπεράσματα όσον αφορά τα επίπεδα ρύπανσης, τους παράγοντες που τα καθορίζουν όπως επίσης και τις απαραίτητες ενέργειες για τον καθαρισμό της ατμόσφαιρας της πόλης μας. Από το διάγραμμα των μέσων όρων των μέσων ημερήσιων τιμών SO_2 (Σχήμα 3.2) σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$ παρατηρείται ότι μεγαλύτερες τιμές εμφανίζονται τους χειμερινούς μήνες με μέγιστο τον Ιανουάριο 91 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Αντίθετα, τα επίπεδα του διοξειδίου του θείου τους θερινούς μήνες είναι πολύ χαμηλά με ελάχιστο τον Ιούλιο με μέση ημερήσια τιμή μόλις 23,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Το γεγονός αυτό εξηγείται πλήρως αν ανατρέξουμε στις πηγές του διοξειδίου του θείου καθώς η σημαντικότερη από αυτές ιδίως στις αστικές περιοχές, είναι οι καυστήρες κεντρικής θέρμανσης. Επίσης τους θερινούς μήνες η κίνηση των τροχοφόρων στο κέντρο της Θεσσαλονίκης μειώνεται αισθητά λόγω των καλοκαιρινών διακοπών με αποτέλεσμα την αποσυμφόρηση της ατμόσφαιρας της πόλης.

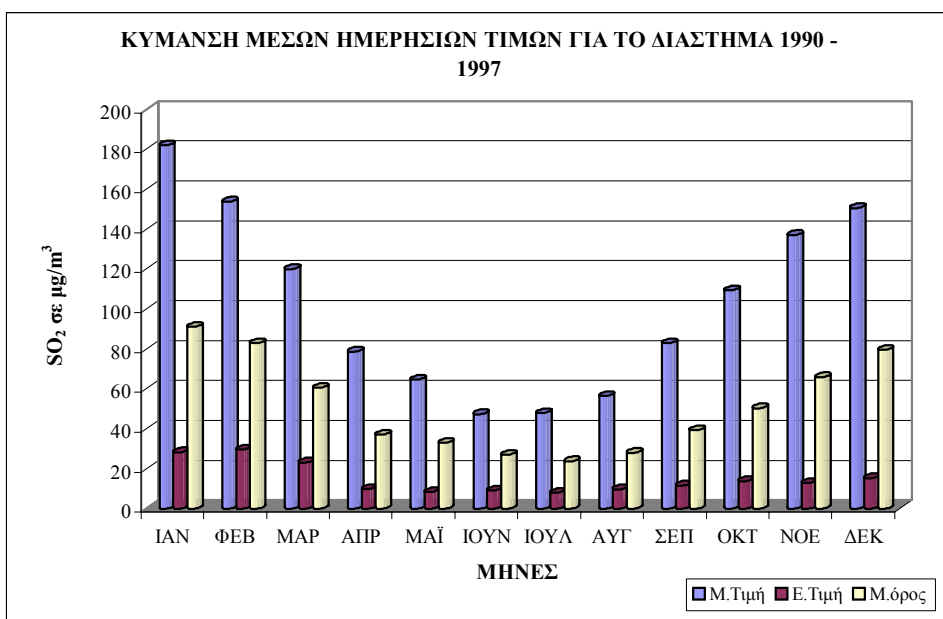
Αν συγκρίνουμε τώρα τις τιμές του διοξειδίου του θείου ανά έτος διακρίνουμε μια ελάττωση των τιμών από χρόνο σε χρόνο γεγονός που οφείλεται αφενός στην ευαισθητοποίηση του κόσμου για τα προβλήματα του περιβάλλοντος και αφετέρου στην βελτίωση της μηχανικής των καυσίμων με αποτέλεσμα, τόσο οι καυστήρες κεντρικής θέρμανσης όσο και τα καινούρια αυτοκίνητα να μην είναι τόσο επιζήμια για την ατμόσφαιρα. Βέβαια ένας ακόμη απρόβλεπτος παράγοντας που επηρεάζει τα

επίπεδα ρύπανσης κάθε έτους, ανεξάρτητα από τις πηγές εκπομπής, είναι οι υπάρχουσες μετεωρολογικές συνθήκες καθώς από αυτές εξαρτώνται οι διαδικασίες διασποράς και απομάκρυνσης του ρυπογόνου φορτίου. Τέτοιες είναι η βροχή, ο άνεμος, οι θερμοκρασιακές αναστροφές, η θερμοκρασία κ.α.

Πίνακας 3.1 Μέσες ημερήσιες τιμές SO₂ σε μg/m³ από τον Σταθμό Εγνατίας – Βενιζέλου για το χρονικό διάστημα 1990-1997.

1990		ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
	Μ.τιμή	213	173	200	125	81	44	27	49	84	164	153	221
	Ε.τιμή	46	26	42	11	6	8	2	9	16	9	19	18
	Μ . Ο	124	97	97	54	39	27	13	31	44	62	76	104
1991		ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
	Μ.τιμή	206	145	119	60	91	58	55	79	122	129	124	205
	Ε.τιμή	40	29	28	10	10	7	11	3	3	7	4	8
	Μ . Ο	109	83	59	39	35	29	28	30	41	52	65	101
1992		ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
	Μ.τιμή	289	212	162	124	91	72	82	87	147	118	150	147
	Ε.τιμή	10	41	41	22	23	13	11	31	22	15	13	16
	Μ . Ο	101	105	87	71	54	45	42	54	72	51	69	86
1993		ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
	Μ.τιμή	167	208	127	56	54	55	49	55	76	115	156	169
	Ε.τιμή	33	51	8	4	9	8	8	14	13	29	20	28
	Μ . Ο	98	109	58	28	32	31	25	26	43	58	69	97
1994		ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
	Μ.τιμή	165	175	### ¹	88	51	38	34	49	73	92	133	167
	Ε.τιμή	31	30	###	8	6	29	6	6	21	11	6	15
	Μ . Ο	99	95	###	24	32	34	19	24	40	44	48	84
1995		ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
	Μ.τιμή	161	112	78	64	36	45	51	43	58	100	200	119
	Ε.τιμή	18	33	16	6	4	2	19	6	3	8	14	8
	Μ . Ο	68	61	44	23	14	20	32	23	27	35	95	60
1996		ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
	Μ.τιμή	157	115	88	54	69	36	29	41	61	89	108	95
	Ε.τιμή	20	13	10	6	4	4	2	2	5	21	13	17
	Μ . Ο	74	63	42	25	32	20	12	13	21	44	60	57
1997		ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
	Μ.τιμή	98	90	67	58	44	30	56	48	42	67	72	81
	Ε.τιμή	28	13	17	12	5	2	4	7	10	10	13	12
	Μ . Ο	55	50	37	33	26	11	19	23	26	36	45	48

¹ Τα σύμβολα '#' που εμφανίζονται στους πίνακες, δηλώνουν την έλλειψη τιμών. Συνεχόμενες ελλείψεις τιμών οφείλονται σε εργασίες συντήρησης ή βαθμονόμησης, σε διακοπές ρεύματος, σε σημαντικές βλάβες των αναλυτών και των μετεωρολογικών οργάνων και σε έλλειψη αντιπροσωπευτικού δείγματος τιμών.

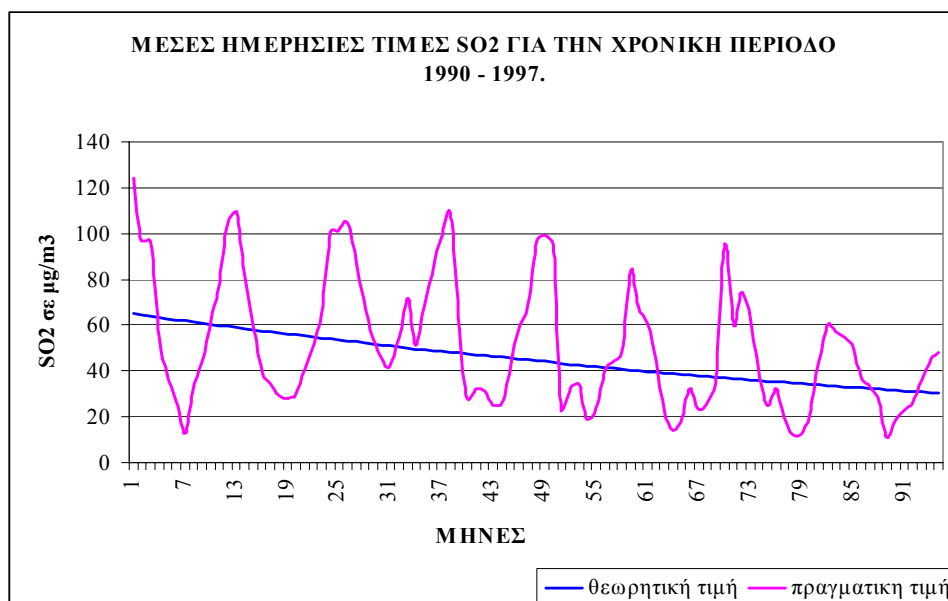


Σχόλιο: Τα σύμβολα '#' που εμφανίζονται στους πίνακες, δηλώνουν την έλλειψη τιμών.

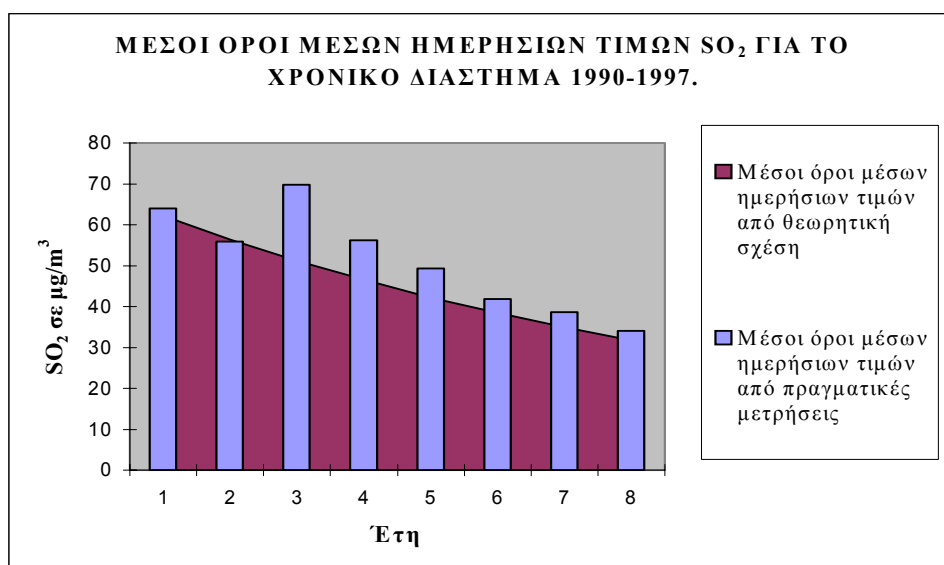
Σχήμα 3.2. Διακύμανση των μέσων όρων των ημερήσιων τιμών του SO₂ για το διάστημα 1990 – 1997.

Πέρα όμως από την εποχική αυτή διακύμανση, διαγράφεται όπως προαναφέρθηκε, μια γενικότερη πτωτική τάση των τιμών με την πάροδο των ετών. Παρουσιάστηκε, επομένως, η ανάγκη να βρεθεί μια μαθηματική έκφραση που να δίνει την πορεία της συγκέντρωσης των ρύπων (εξαρτημένη μεταβλητή) σαν συνάρτηση του χρόνου (ανεξάρτητη). Ο καθορισμός του τύπου της μαθηματικής αυτής σχέσης επιτυγχάνεται με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων, δηλαδή με την μέθοδο εκείνη που ελαχιστοποιεί το σφάλμα μεταξύ της τιμής που παρατηρούμε (χρόνος) και της τιμής που αναμένουμε (συγκέντρωση ρύπων) (Μπλούτσος 1984).

Αναζητώντας επομένως, την μαθηματική σχέση που εκφράζει καλύτερα την πορεία των μέσων ημερήσιων τιμών του διοξειδίου του θείου, σε συνάρτηση με τον χρόνο, οδηγηθήκαμε σε μία σχέση της μορφής $y = a e^{bx}$ όπου y οι τιμές του διοξειδίου του θείου σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και x ο χρόνος που περνάει σε μήνες. Λογαριθμίζοντας την παραπάνω σχέση προκύπτει $\ln y = \ln a + bx$ (1) κατόπιν θέτουμε $Y = \ln y$ και όπου $\gamma = \ln a$ και αντικαθιστώντας η (1) παίρνει την παρακάτω μορφή $Y = \gamma + bx$ στην οποία μπορούμε να εφαρμόσουμε την μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων (Μπλούτσος 1984). Προκύπτει έτσι η σχέση $y = 65,366 e^{-0,008x}$ η οποία δίνεται στην γραφική παράσταση του σχήματος 3.3. σε συνδιασμό με τις πραγματικές τιμές του διοξειδίου του θείου για το ίδιο χρονικό διάστημα.



Σχήμα 3.3 Συγκέντρωση SO₂ σε µg/m³ για ένα διαστημα 96 μηνών όπως μετρήθηκε στον Σταθμό Εγνατίας – Βενιζέλου και όπως υπολογίστηκε απο την θεωρητική σχέση $y = 65,366 e^{-0,008x}$ (σαν 1^{ος} μήνας θεωρείται ο Ιανουάριος του 1990).



Σχήμα 3.4 Σύγκριση μέσων όρων μέσων ημερήσιων τιμών του διοξειδίου του θείου σε ετήσιο επίπεδο όπως υπολογίστηκαν από την θεωρητική σχέση $y = 65,366 e^{-0,008x}$ και όπως μετρήθηκαν στον σταθμό Εγνατίας – Βενιζέλου για το χρονικόδιάστημα 1990 – 1997.

Στηριζόμενοι σε αυτήν μπορούμε να πούμε ότι αν οι ρυθμοί εκπομπής και απομάκρυνσης του SO₂ στο κέντρο της πόλης παραμείνουν σταθεροί αναμένεται η σταθεροποίηση των τιμών του διοξειδίου του θείου με την πάροδο των ετών. Αυτή η πορεία ήταν και η αναμενόμενη καθώς δεν είναι δυνατόν να μηδενιστούν οι τιμές των ρύπων γεγονός που θα συνέβαινε αν η σχέση συγκέντρωσης – χρόνου ήταν γραμμική. Ο ρυθμός της μείωσης φαίνεται καλύτερα στο σχήμα 3.4 όπου προβλήθηκαν οι μέσοι όροι των μέσων ημερήσιων τιμών για κάθε χρόνο όπως υπολογίστηκαν από την σχέση $y = 65,366 e^{-0,008x}$ και όπως υπολογίστηκαν από τις πραγματικές μετρήσεις του δικτύου μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης του Δήμου Θεσσαλονίκης στον σταθμό Εγνατίας – Βενιζέλου.

Όπως παρατηρείται οι ετήσιοι μέσοι όροι των πραγματικών μέσων ημερήσιων τιμών ακολουθούν σε ικανοποιητικό βαθμό τις αντίστοιχες θεωρητικές τιμές για τα 2 πρώτα χρόνια 1990,1991 ενώ εμφανίζουν μια ανωμαλία το 1992 που πιθανόν να οφείλεται στις χαμηλές τιμές βροχόπτωσης εκείνου του έτους σε σχέση με τα υπόλοιπα (μόλις 336,6mm βροχής ετησίως). Το 1993 η κατάσταση βελτιώνεται αν και έχουμε την ελάχιστη ποσότητα βροχής στο σύνολο των 8 ετών (μόλις 302,5mm ετησίως) πιθανότατα λόγω της εφαρμογής του μέτρου της μείωσης της περιεκτικότητας του πετρελαίου σε θείο που εφαρμόστηκε στην ανανέωση του στόλου των λεωφορείων του Ο.Α.Σ.Θ και γενικότερα των πετρελαιοκίνητων οχημάτων. Στα επόμενα χρόνια η πορεία της συγκέντρωσης του SO₂ είναι καθοδική και μάλιστα κατά τα 3 τελευταία χρόνια 1995, 1996, 1997 προσεγγίζει σε υψηλό βαθμό τις θεωρητικές τιμές γεγονός που οφείλεται κυρίως στην εμφάνιση ισχυρότερων ανέμων (Πετρακάκης, Κελέσης και Ζουμάκης 2000) και μεγαλύτερων βροχοπτώσεων (το 1995 463,6mm ετησίως, το 1996 492mm ετησίως και το 1997 386mm ετησίως).

Σχόλιο: Τα στοιχεία που αφορούν την βροχόπτωση προέρχονται από τις δημοσιευμένες μετεωρολογικές παρατηρήσεις του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

4. ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

Ο δεύτερος ρύπος που επελέγει να μελετηθεί είναι τα αιωρούμενα σωματίδια, τα υλικά δηλαδή που βρίσκονται σε στερεή ή υγρή φάση και μπορούν να αιωρούνται στην ατμόσφαιρα για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Σαν σωματιδιακοί ρύποι, γενικότερα, θεωρούνται οι ρύποι οποιασδήποτε διεσπαρμένης ύλης, στερεάς ή υγρής, της οποίας τα επί μέρους σωματίδια έχουν διάμετρο μεγαλύτερη από $0.002\mu\text{m}$ και μικρότερη από $500\mu\text{m}$. Η ταξινόμηση και η εξέτασή τους γίνεται βάση των φυσικών, χημικών ή βιολογικών τους χαρακτηριστικών. Στα φυσικά χαρακτηριστικά περιλαμβάνονται το μέγεθος, ο τύπος σχηματισμού, οι ιδιότητες κατακρήμνισης και οι οπτικές ιδιότητες. Στα χημικά χαρακτηριστικά περιλαμβάνονται η οργανική ή ανόργανη σύνθεση, ενώ τα βιολογικά χαρακτηριστικά αφορούν την ταξινόμηση των σωματιδιακών ρύπων ως βακτηριδίων, ιών, σπερματιδίων γύρης, κ.λ.π.

Το σημαντικότερο ίσως φυσικό χαρακτηριστικό αυτών, είναι το μέγεθός τους το οποίο μετριέται σε μικρά (μm) ή 10^{-6} μέτρα (m). Με γυμνό οφθαλμό φαίνονται τα σωματίδια που είναι μεγαλύτερα από $50\mu\text{m}$, ενώ τα μικρότερα από $0.005\mu\text{m}$ μπορούν να παρατηρηθούν μόνο μέσω ηλεκτρονικού μικροσκοπίου. Το μέγεθος των σωματιδίων που ενδιαφέρει περισσότερο τις μελέτες ατμοσφαιρικής ρύπανσης κυμαίνεται από 0.01 έως $100\mu\text{m}$.

Μια ακόμη σημαντική φυσική παράμετρος των σωματιδιακών ρύπων είναι ο τύπος σχηματισμού τους. Ανάλογα με αυτόν οι σωματιδιακοί ρύποι ταξινομούνται στις ακόλουθες κατηγορίες: **Σκόνη** (dust), αποτελείται από μικρά, στερεά σωματίδια και προέρχεται άμεσα από την κατεργασία ή την επεξεργασία γαιανθράκων, τσιμέντου, ή σπόρων. Η σκόνη μπορεί να αιωρηθεί για κάποιο χρονικό διάστημα στον αέρα ή σε άλλα αέρια, αλλά δεν διαχέεται. Τα σωματίδια της σκόνης κατακρημνίζονται λόγω της βαρύτητας. Το μέγεθός τους μεταβάλλεται από $1.0\mu\text{m}$ έως άνω του 1.00mm . **Καπνός** (smoke), αποτελείται από λεπτά στερεά σωματίδια δημιουργούμενα κατά την ατελή καύση οργανικών σωματιδίων, όπως γαιανθράκων, ξύλου ή καπνού τσιγάρων. Το μέγεθος των σωματιδίων του καπνού κυμαίνεται από μικρότερο των 0.05 έως $1.0\mu\text{m}$. **Αχνός ή αναθυμίαση** (fume), είναι λεπτά στερεά σωματίδια (οξειδία ψευδαργύρου ή μολύβδου), που σχηματίζονται κατά την συμπύκνωση ατμών στερεών υλικών. Το μέγεθός τους κυμαίνεται από μικρότερο των 0.03 έως μεγαλύτερο των $0.3\mu\text{m}$. Τα συμπυκνώματα θρομβούνται, συσσωματώνονται και, έπειτα, κατακρημνίζονται. **Ιπτάμενη τέφρα** (fly ash), αποτελείται από μη καιόμενα σωματίδια, από την καύση των γαιανθράκων. Ως σκόνη, έχει σωματίδια μεγέθους μεταξύ 1.0 και μικρότερα από $1000\mu\text{m}$, ως καπνός, δημιουργείται από καύση και ως αναθυμίαση, αποτελείται από

ανόργανες μεταλλικές ή ορυκτές ουσίες. **Αχλός** (mist), συνίσταται από υγρά σωματίδια ή σταγονίδια, τα οποία δημιουργούνται κατά την συμπύκνωση υδρατμού ή την διασπορά υγρού. Το μέγεθος των σωματιδίων αχλός είναι συνήθως μικρότερο από 10 μ m. Σε περίπτωση μεγάλης πυκνότητας αχλός, οπότε εμποδίζεται η ορατότητα, η αχλός ονομάζεται ομίχλη (fog). **Ψεκάς** (spray), αποτελείται από υγρά σωματίδια, τα οποία σχηματίζονται κατά τον ψεκασμό υγρών, όπως εντομοκτόνων, παρασιτοκτόνων. Το μέγεθος του σωματιδίου ψεκάδος κυμαίνεται μεταξύ 10 μ m και 1.0mm (Σαχσαμάνογλου 2001).

Τέλος, κυριότερη φυσική διαδικασία αυτοκαθαρισμού της ατμόσφαιρας από τους σωματιδιακούς ρύπους είναι η κατακρήμνιση αυτών. Είναι επομένως προφανές γιατί οι ιδιότητες κατακρήμνισης παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Οι σωματιδιακοί ρύποι με την σειρά τους διακρίνονται σε αιωρούμενους και κατακρημνιζόμενους. Το μέγεθος των αιωρούμενων σωματιδιακών ρύπων είναι μικρότερο από 20 μ m (κυρίως μικρότερο του 1 μ m) περίπου. Παραμένουν σε αιώρηση στην ατμόσφαιρα επί μακρόν χρονικό διάστημα. Τα κατακρημνιζόμενα σωματίδια, ή κονιορτός, είναι μεγαλύτερα, βαρύτερα και κατακρημνίζονται κοντά στην εκπομπή τους. Γενικώς είναι μεγαλύτερα των 10 μ m.

4.2 ΕΙΔΗ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Ειδικότερα, με τον όρο ‘αιωρούμενα σωματίδια’ χαρακτηρίζονται τα σωματίδια εκείνα που βρίσκονται σε ελεύθερη μορφή στον αέρα και έχουν διαστάσεις και ειδικό βάρος κατάλληλα για να παραμένουν αρκετό χρόνο σε αιώρηση. Ανάλογα με τις επιδράσεις που έχουν αυτά στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες: α) **ανάπνιπτα**: είναι σωματίδια με διάμετρο πάνω από 10 μ m (10^{-6} m), μεγάλο μέγεθος και ειδικό βάρος, μικρό χρόνο αιώρησης και επικάθονται γενικά σε κοντινές αποστάσεις από τις πηγές τις οποίες παράγονται. Οι επιπτώσεις της εισπνοής τέτοιων σωματιδίων δεν είναι τόσο μεγάλες καθώς λόγω του μεγέθους των κατακρατούνται από τη μύτη και δεν εισχωρούν στο εσωτερικό αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου, β) **αναπνεύσιμα αιωρούμενα σωματίδια**: δηλαδή σωματίδια με διάμετρο κάτω των 10 μ m, με μικρό μέγεθος και μεγάλο χρόνο αιώρησης στην ατμόσφαιρα. Σε αντίθεση με την προηγούμενη κατηγορία τα σωματίδια αυτά είναι ιδιαίτερα επικίνδυνα για τον άνθρωπο, ιδίως όταν συνδυάζονται με ρύπανση από

διοξειδίο του θείου, γ) ο **καπνός** ο οποίος αποτελεί υποομάδα των αναπνεύσιμων αιωρούμενων σωματιδίων, περιλαμβάνοντας όσα από αυτά έχουν μαύρο χρώμα, μέγεθος μικρότερο από 1 μm και προέρχονται από ατελείς καύσεις.

Το είδος των σωματιδίων που ενδιαφέρουν κυρίως τις μελέτες ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι τα αναπνεύσιμα αιωρούμενα σωματίδια. Κύριες πηγές εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων είναι οι βιομηχανικές δραστηριότητες, η παραγωγή τσιμέντου και γύψου, τα χυτήρια μεταλλεύματος, οι πυρκαγιές, οι αγροτικές δραστηριότητες, τα λατομεία, η κεντρική θέρμανση και η κυκλοφορία των οχημάτων (εξατμίσεις, τριβές ελαστικών και ασφάλτου, φθορές φρένων). Σημαντική επίσης πηγή, σε περιοχές με έλλειψη φυτοκάλυψης και ξηρό κλίμα, είναι το έδαφος και τα φαινόμενα επαναιώρησης κατακαιομένου σωματιδιακού υλικού (Τεχνική έκθεση 1990)

4.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Οι επιδράσεις τους γενικά εξαρτώνται τόσο από το μέγεθός τους (όσο μικρότερα είναι τόσο πιο επικίνδυνα) όσο και από τη χημική τους σύσταση. Γενικότερα, τα μικροσκοπικά αυτά σωματίδια επηρεάζουν την αναπνοή, προκαλούν ασθένειες στο αναπνευστικό και στους πνεύμονες ακόμα και πρόωρο θάνατο. Ομάδα υψηλού κινδύνου αποτελούν ηλικιωμένοι, παιδιά και άτομα που πάσχουν από άσθμα. Οι υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενης σωματιδιακής ύλης δημιουργούν προβλήματα υγείας στον άνθρωπο και ιδίως στο αναπνευστικό του σύστημα. Οι επιπτώσεις επί της υγείας εξαρτώνται από τη συγκέντρωση των σωματιδιακών ρύπων, την ταυτόχρονη παρουσία και άλλων ρύπων αέρος, όπως το διοξείδιο του θείου, και από το χρονικό διάστημα έκθεσης (Πίνακας 4.1).

Τα πιο επικίνδυνα αιωρούμενα σωματίδια είναι αυτά του μολύβδου, που παράγονται από τα βενζινοκίνητα οχήματα, όπου ο μολύβδος χρησιμοποιείται σαν βελτιωτικό της βενζίνης. Τα ευαίσθητα συστήματα του ανθρώπινου σώματος στον μολύβδο είναι το σύστημα σχηματισμού αίματος, το νευρικό σύστημα και το νεφρικό σύστημα. Ο μολύβδος επίσης μπορεί να επηρεάσει και τις αναπαραγωγικές, ενδοκρινικές, υπατιτικές, καρδιαγγειακές, ανοσοποιητικές και γαστροεντερικές λειτουργίες, ή να προκαλέσει οξεία ή χρόνια δηλητηρίαση. Εξίσου βλαβερά είναι τα σωματίδια αμιάντου, που προέρχονται από τα φρένα των αυτοκινήτων, σαν υλικό τριβής και θεωρούνται υπαίτια για ορισμένες μορφές καρκινογένεσης. Είναι σημαντικό

επίσης ότι ο κίνδυνος καρκίνου των πνευμόνων από εισπνοή ινών αμιάντου αυξάνει κατακόρυφα όταν το εκτιθέμενο άτομο είναι καπνιστής (Πίνακας 4.2) Τέλος, τα σωματίδια θεϊκών αλάτων, που αποτελούν προϊόν δευτερογενών χημικών αντιδράσεων και τα μίγματα από μέταλλα που παρουσιάζουν ισχυρή τοξικότητα (Γιαννόπουλος 1994).

Πίνακας 4.1 Οριακές τιμές για το SO₂ σε μg/m³ με τις συνδιασμένες τιμές για τα αιωρούμενα σωματίδια (www.rcm.gr).

Περίοδος αναφοράς	Τιμή ορίου για το διοξείδιο του θείου	Συνδυασμένη τιμή για αιωρούμενα σωματίδια
ΕΤΟΣ	80 (διάμεσος ημερησίων μέσων τιμών από όλο το έτος)	>40 (διάμεσος ημερησίων μέσων τιμών από όλο το έτος)
	120 (διάμεσος ημερησίων μέσων τιμών από όλο το έτος)	≤40 (διάμεσος ημερησίων μέσων τιμών από όλο το έτος)
ΧΕΙΜΩΝΑΣ	130 (διάμεσος ημερησίων μέσων τιμών από όλο το χειμώνα)	>60 (διάμεσος ημερησίων μέσων τιμών από όλο το χειμώνα)
	180 (διάμεσος ημερησίων μέσων τιμών από όλο το χειμώνα)	≤60 (διάμεσος ημερησίων μέσων τιμών από όλο το χειμώνα)
ΕΤΟΣ (αποτελείται από μονάδες 24ωρων περιόδων μετρήσεως)	250 (98% όλων των ημερησίων μέσων τιμών που λήφθηκαν όλο το έτος)	>150 (98% όλων των ημερησίων μέσων τιμών που λήφθηκαν όλο το έτος)
	350 (98% όλων των ημερησίων μέσων τιμών που λήφθηκαν όλο το έτος)	≤150 (98% όλων των ημερησίων μέσων τιμών που λήφθηκαν όλο το έτος)

Πίνακας 4.2 Βαθμός επικινδυνότητας συσχετιζόμενος με το κάπνισμα και την έκθεση σε περιβάλλον ινών αμιάντου (Γιαννόπουλος 1994).

Ομάδες εργαζομένων	Βαθμός Επικινδυνότητας
Μη καπνιστές – μη εκτιθέμενοι σε αμιάντο	1
Μη καπνιστές εκτιθέμενοι σε αμιάντο	5
Καπνιστές μη εκτιθέμενοι σε αμιάντο	10
Καπνιστές εκτιθέμενοι σε αμιάντο	50

Από τις άλλες επιδράσεις των αιωρούμενων σωματιδίων αξίζει να αναφερθεί η μείωση της ορατότητας που προκαλούν ειδικότερα τα μικρότερου μεγέθους σωματίδια και οι κλιματολογικές μεταβολές (περισσότερες ομίχλες, βροχοπτώσεις). Επίσης η φθορά υλικών και μνημείων, στα υλικά, επί των οποίων επικάθεται σωματιδιακή ύλη,

μπορεί να προκληθούν ζημιές, όπως λέρωμα των ρούχων και υφαντών, οξείδωση μετάλλων, διάβρωση επιφανειών κτιρίων, αποχρωματισμός και καταστροφή των χρωματισμένων επιφανειών.

Όσον αφορά τις καταστροφικές επιδράσεις της σωματιδιακής ύλης επί των φυτικών οργανισμών η απόθεση ξηρής σκόνης τσιμέντου επί των φύλλων μπορεί να καταστρέψει ή να εμποδίσει την ανάπτυξη του φυλλώματος των δένδρων και φυτών. Επίσης, η απόθεση σκόνης επί των φύλλων είναι προφανές ότι μειώνει τις λειτουργίες της φωτοσύνθεσης και το αυξανόμενο κλείσιμο των πόρων οδηγεί σε καθυστέρηση της ανάπτυξης των φυτών. Προβλήματα ασθενειών, τέλος, είναι δυνατόν να προκληθούν σε ζώα τα οποία τρέφονται με φυτά καλυμμένα από σωματιδιακούς ρύπους, τέτοιους όπως αλογόνα, αρσενικό ή μόλυβδο.

4.4 ΕΠΙΠΕΔΑ ΤΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΤΟ ΕΜΠΟΡΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Παρατηρώντας τις μέσες ημερήσιες τιμές των αιωρούμενων σωματιδίων από τις μετρήσεις του σταθμού Εγνατίας – Βενιζέλου (Πίνακας 4.3) αντιλαμβανόμαστε ότι η εικόνα δεν είναι ίδια με αυτήν των τιμών του διοξειδίου του θείου. Εδώ οι τιμές της συγκέντρωσης του ρύπου δεν παρουσιάζουν σαφή διαχωρισμό μεταξύ χειμερινών και θερινών μηνών. Περιγράφοντας την κύμανση των μέσων όρων αυτών (Σχήμα 4.1) μπορούμε να πούμε ότι, ναι μεν οι τιμές τους χειμερινούς μήνες (Οκτώβριο, Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο) είναι μεγαλύτερες από αυτές των υπολοίπων μηνών αλλά η διαφορά δεν είναι πολύ μεγάλη και η κύμανση των τιμών δεν είναι τόσο ομαλή όσο ήταν στην περίπτωση του διοξειδίου του θείου.

Το γεγονός αυτό μπορεί να εξηγηθεί λέγοντας ότι κύριες πηγές αιωρούμενων σωματιδίων, είναι οι βιομηχανίες που δεν μεταβάλουν σε σημαντικό βαθμό την λειτουργία τους κατά την διάρκεια του καλοκαιριού, ενώ παράλληλα η έλλειψη βροχών κατά τους θερινούς μήνες εμποδίζει την κατακρήμνιση των αιωρούμενων σωματιδίων, με αποτέλεσμα ακόμη και αν μειωθούν οι ποσότητες εκπομπής, να μην παρατηρείται σημαντική αποσυμφόρηση της ατμόσφαιρας καθώς οι μηχανισμοί απομάκρυνσης δεν είναι επαρκείς.

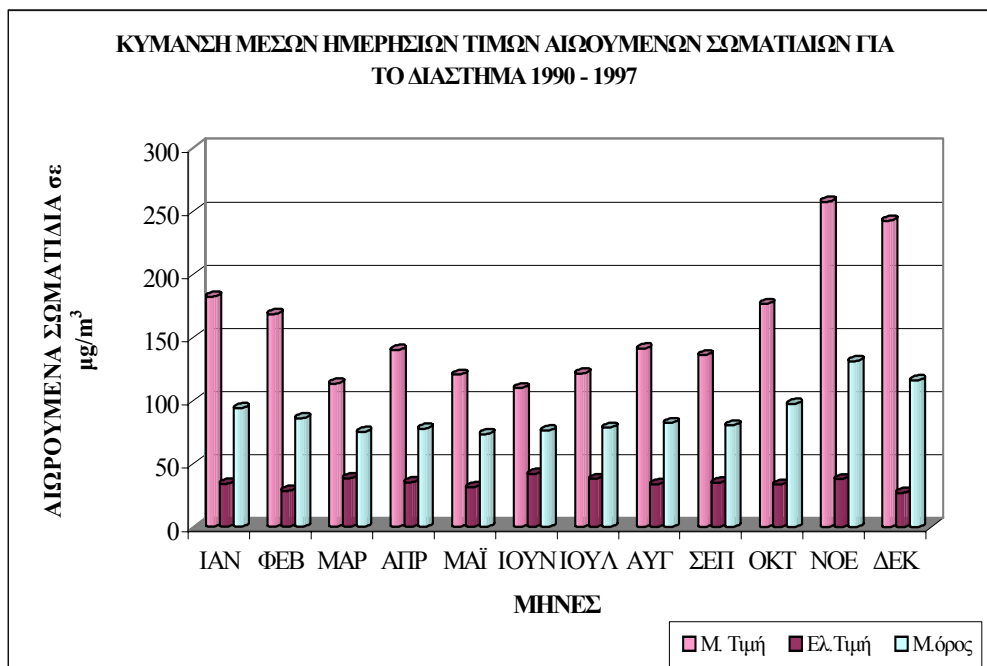
Πίνακας 4.3 Μέσες ημερήσιες τιμές αιωρούμενων σωματιδίων σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$ από τον Σταθμό Εγνατίας – Βενιζέλου για το χρονικό διάστημα 1990-1997.

1990		ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
	Μ.τιμή	187	139	120	174	124	99	106	87	78	93	### ²	###
	Ε.τιμή	38	38	33	39	43	45	36	30	25	50	###	###
	Μ . Ο	105	90	80	82	81	65	67	62	47	70	###	###
1991		ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
	Μ.τιμή	###	###	112	91	82	102	110	265	168	323	371	384
	Ε.τιμή	###	###	53	28	24	54	39	53	53	31	127	49
	Μ . Ο	###	###	82	59	52	76	78	116	109	163	233	171
1992		ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
	Μ.τιμή	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###
	Ε.τιμή	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###
	Μ . Ο	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###
1993		ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
	Μ.τιμή	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###
	Ε.τιμή	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###
	Μ . Ο	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###
1994		ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
	Μ.τιμή	179	143	78	131	121	81	112	130	151	138	174	203
	Ε.τιμή	10	16	59	54	28	34	40	35	52	24	22	24
	Μ . Ο	79	70	69	85	69	67	75	80	99	78	80	90
1995		ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
	Μ.τιμή	154	156	93	152	138	113	110	117	128	194	236	169
	Ε.τιμή	16	30	24	28	24	21	39	25	12	46	4	16
	Μ . Ο	70	88	58	67	69	75	78	77	72	106	114	88
1996		ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
	Μ.τιμή	169	236	165	153	138	155	146	129	141	149	319	240
	Ε.τιμή	28	30	24	28	38	57	46	31	23	20	18	22
	Μ . Ο	88	96	87	97	97	99	94	80	80	81	135	118
1997		ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
	Μ.τιμή	223	###	###	###	###	###	146	121	152	164	189	223
	Ε.τιμή	45	###	###	###	###	###	29	30	46	32	20	26
	Μ . Ο	128	###	###	###	###	###	81	80	77	88	97	115

Σχόλιο: Τα σύμβολα '#' που εμφανίζονται στους πίνακες, δηλώνουν την έλλειψη τιμών. Συνεχόμενες ελλείψεις τιμών οφείλονται σε εργασίες συντήρησης ή βαθμονόμησης, σε διακοπές ρεύματος, σε σημαντικές βλάβες των αναλυτών και των μετεωρολογικών οργάνων και σε έλλειψη αντιπροσωπευτικού δείγματος τιμών.

Συγκρίνοντας τις μέσες ημερήσιες τιμές των αιωρούμενων σωματιδίων με την πάροδο των ετών (αν και η έλλειψη στοιχείων από τα έτη 1992 και 1993 δεν μας το επιτρέπει σε ικανοποιητικό βαθμό) μπορούμε να πούμε ότι δεν υπάρχει σημαντική βελτίωση της κατάστασης όπως συνέβαινε με το SO_2 .

² Τα σύμβολα '#' που εμφανίζονται στους πίνακες, δηλώνουν την έλλειψη τιμών. Συνεχόμενες ελλείψεις τιμών οφείλονται σε εργασίες συντήρησης ή βαθμονόμησης, σε διακοπές ρεύματος, σε σημαντικές βλάβες των αναλυτών και των μετεωρολογικών οργάνων και σε έλλειψη αντιπροσωπευτικού δείγματος τιμών.



Σχήμα 4.1. Διακύμανση των μέσων όρων των ημερήσιων τιμών των αιωρούμενων σωματιδίων για το διάστημα 1990 – 1997

5. ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΡΥΠΑΝΣΗ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω τα επίπεδα ρύπανσης μιας περιοχής δεν εξαρτώνται μόνο από τις ποσότητες εκπομπής αυτών αλλά και από την ικανότητα της φύσης να αντιδράσει και να προκαλέσει τον καθαρισμό της ατμόσφαιρας. Οι κύριες μετεωρολογικές παράμετροι που βοηθούν στον καθαρισμό της ατμόσφαιρας σε μημαντικό βαθμό λόγω της συχνής τους εμφάνισης καθόλη σχεδόν την διάρκεια του έτους είναι η βροχή και ο άνεμος.

5.1 Η ΒΡΟΧΗ ΣΑΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΑΠΟ SO₂ ΚΑΙ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

Η βροχή αποτελεί την πιο κοινή μορφή υετού και αποτελείται από σταγόνες που βρίσκονται σε υγρή κατάσταση. Η βροχή βοηθάει στον καθαρισμό της ατμόσφαιρας καθώς προκαλεί την δέσμευση και την κατακρήμνιση των ατμοσφαιρικών ρύπων. Η ποσότητα του υετού που φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους μετράται σε χιλιοστά (mm) ύψους του υδάτινου στρώματος το οποίο σχηματίζει. Όπως είναι φυσικό όσο πιο μεγάλη η ένταση και η διάρκεια των περιστατικών της βροχής τόσο καλύτερα τα αποτελέσματα αυτής στον καθαρισμό της ατμόσφαιρας.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου γίνεται μια προσπάθεια να καθοριστεί η επίδραση της βροχής στην μείωση της συγκέντρωσης τόσο του SO₂ όσο και των αιωρούμενων σωματιδίων. Για τον σκοπό αυτό επελέγησαν μέσα στο διάστημα των 8 ετών ημέρες βροχής που βρίσκονταν ανάμεσα σε μή βροχερές ημέρες. Ονομάσαμε d την ημέρα που παρατηρήθηκε βροχή και (d-3), (d-2), (d-1), (d+1), (d+2), (d+3) τις 3 προηγούμενες και 3 επόμενες μέρες αντίστοιχα. Επίσης για να είναι οι τιμές αντιπροσωπευτικές τόσο της ποσότητας όσο και της διάρκειας της βροχόπτωσης διαιρέθηκαν τα mm βροχής κάθε περιστατικού με τον χρόνο (σε ώρες) που αυτό διήρκεσε και το σύνολο των περιστατικών χωρίστηκε σε 3 κατηγορίες. Περιστατικά βροχής με ένταση βροχής μικρότερη από 2mm/h (Πίνακας 5.1 α, β), περιστατικά με ένταση 2-5mm/h (Πίνακας 5.2 α, β) και περιστατικά βροχής με ένταση μεγαλύτερη από 5 mm/h (Πίνακας 5.3 α, β).

Αν συγκρίνουμε το πλήθος των στοιχείων είναι εμφανές ότι αφενός έχουμε περισσότερα γεγονότα για το διοξείδιο του θείου λόγω έλλειψης στοιχείων για τα αιωρούμενα σωματίδια και αφετέρου τα περιστατικά με ένταση βροχής < από 2 mm/h είναι διπλάσια από αυτά με ένταση από 2 έως 5 mm/h και > 5 mm/h και για τους 2 ρύπους γεγονός που σημαίνει ότι σημαντικότερη επίδραση στον καθαρισμό της ατμόσφαιρας της πόλης έχουν οι βροχοπτώσεις με ένταση μικρότερη των 2mm/h καθώς αυτές έχουν μεγαλύτερη συχνότητα.

Πίνακας 5.1.α Περιστατικά βροχής με ένταση < 2 mm/h.

Περιστατικά βροχής για τα αιωρούμενα σωματίδια.

1990	18-Ιουν	19-Ιουν	20-Ιουν	21-Ιουν	22-Ιουν	23-Ιουν	24-Ιουν
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	51	60	65	72	99	60	68

1990	5-Ιουλ	6-Ιουλ	7-Ιουλ	8-Ιουλ	9-Ιουλ	10-Ιουλ	11-Ιουλ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	66	51	59	36	38	64	98

1991	2-Μαϊ	3-Μαϊ	4-Μαϊ	5-Μαϊ	6-Μαϊ	7-Μαϊ	8-Μαϊ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	77	75	62	68	82	57	46

1991	7-Μαϊ	8-Μαϊ	9-Μαϊ	10-Μαϊ	11-Μαϊ	12-Μαϊ	13-Μαϊ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	57	46	45	52	35	33	46

1991	25-Αυγ	26-Αυγ	27-Αυγ	28-Αυγ	29-Αυγ	30-Αυγ	31-Αυγ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	78	119	129	57	71	103	62

1991	15-Σεπ	16-Σεπ	17-Σεπ	18-Σεπ	19-Σεπ	20-Σεπ	21-Σεπ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	82	108	96	106	58	64	101

1994	27-Οκτ	28-Οκτ	29-Οκτ	30-Οκτ	31-Οκτ	1-Νοε	2-Νοε
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	116	99	89	93	138	130	131

1994	15-Νοε	16-Νοε	17-Νοε	18-Νοε	19-Νοε	20-Νοε	21-Νοε
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	82	148	108	66	65	31	80

1995	16-Φεβ	17-Φεβ	18-Φεβ	19-Φεβ	20-Φεβ	21-Φεβ	22-Φεβ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	67	73	88	69	30	110	103

1995	7-Αυγ	8-Αυγ	9-Αυγ	10-Αυγ	11-Αυγ	12-Αυγ	13-Αυγ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	101	102	108	91	47	55	51

1995	9-Απρ	10-Απρ	11-Απρ	12-Απρ	13-Απρ	14-Απρ	15-Απρ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	28	32	58	44	53	57	76

1996	25-Απρ	26-Απρ	27-Απρ	28-Απρ	29-Απρ	30-Απρ	1-Μαϊ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	93	117	90	72	110	121	77

1996	24-Σεπ	25-Σεπ	26-Σεπ	27-Σεπ	28-Σεπ	29-Σεπ	30-Σεπ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	85	103	125	56	37	57	69

1997	19-Ιαν	20-Ιαν	21-Ιαν	22-Ιαν	23-Ιαν	24-Ιαν	25-Ιαν
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	154	223	176	85	89	150	175

1997	24-Δεκ	25-Δεκ	26-Δεκ	27-Δεκ	28-Δεκ	29-Δεκ	30-Δεκ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	68	73	91	108	159	85	68

Πίνακας 5.1.β Περιστατικά βροχής με ένταση < 2 mm/h.

Περιστατικά βροχής για το SO₂.

1993	12-Φεβ	13-Φεβ	14-Φεβ	15-Φεβ	16-Φεβ	17-Φεβ	18-Φεβ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	95	125	84	93	106	109	142

1993	27-Ιουν	28-Ιουν	29-Ιουν	30-Ιουν	1-Ιουλ	2-Ιουλ	3-Ιουλ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	8	39	22	36	46	19	36

1993	7-Αυγ	8-Αυγ	9-Αυγ	10-Αυγ	11-Αυγ	12-Αυγ	13-Αυγ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	17	17	27	27	15	17	25

1990	18-Ιουν	19-Ιουν	20-Ιουν	21-Ιουν	22-Ιουν	23-Ιουν	24-Ιουν
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	19	26	42	31	28	21	14

1990	5-Ιουλ	6-Ιουλ	7-Ιουλ	8-Ιουλ	9-Ιουλ	10-Ιουλ	11-Ιουλ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	26	21	4	12	22	11	17

1990	8-Σεπ	9-Σεπ	10-Σεπ	11-Σεπ	12-Σεπ	13-Σεπ	14-Σεπ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	21	16	39	45	21	22	41

1990	30-Σεπ	1-Οκτ	2-Οκτ	3-Οκτ	4-Οκτ	5-Οκτ	6-Οκτ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	63	90	95	32	48	54	32

1990	26-Δεκ	27-Δεκ	28-Δεκ	29-Δεκ	30-Δεκ	31-Δεκ	1-Ιαν
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	52	109	177	62	108	165	170

1991	30-Δεκ	31-Δεκ	1-Ιαν	2-Ιαν	3-Ιαν	4-Ιαν	5-Ιαν
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	108	165	170	95	176	172	173

1991	12-Ιαν	13-Ιαν	14-Ιαν	15-Ιαν	16-Ιαν	17-Ιαν	18-Ιαν
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	160	104	76	43	56	64	74

1991	2-Μαϊ	3-Μαϊ	4-Μαϊ	5-Μαϊ	6-Μαϊ	7-Μαϊ	8-Μαϊ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	47	50	39	30	39	35	29

1991	7-Μαϊ	8-Μαϊ	9-Μαϊ	10-Μαϊ	11-Μαϊ	12-Μαϊ	13-Μαϊ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	35	29	45	43	23	13	31

1991	25-Αυγ	26-Αυγ	27-Αυγ	28-Αυγ	29-Αυγ	30-Αυγ	31-Αυγ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	34	117	80	39	56	91	119

1992	29-Μαϊ	30-Μαϊ	31-Μαϊ	1-Ιουν	2-Ιουν	3-Ιουν	4-Ιουν
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	51	46	29	40	57	63	62

1992	25-Μαρ	26-Μαρ	27-Μαρ	28-Μαρ	29-Μαρ	30-Μαρ	31-Μαρ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	77	119	58	54	47	58	114
1992	21-Απρ	22-Απρ	23-Απρ	24-Απρ	25-Απρ	26-Απρ	27-Απρ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	33	69	80	49	51	41	48
1992	6-Μαϊ	7-Μαϊ	8-Μαϊ	9-Μαϊ	10-Μαϊ	11-Μαϊ	12-Μαϊ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	86	91	75	68	62	63	68
1992	3-Ιουν	4-Ιουν	5-Ιουν	6-Ιουν	7-Ιουν	8-Ιουν	9-Ιουν
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	63	62	52	33	32	58	53
1992	24-Ιουλ	25-Ιουλ	26-Ιουλ	27-Ιουλ	28-Ιουλ	29-Ιουλ	30-Ιουλ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	65	40	24	44	65	29	38
1992	27-Νοε	28-Νοε	29-Νοε	30-Νοε	1-Δεκ	2-Δεκ	3-Δεκ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	66	51	92	33	71	96	126
1994	26-Ιαν	27-Ιαν	28-Ιαν	29-Ιαν	30-Ιαν	31-Ιαν	1-Φεβ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	161	156	115	39	31	105	73
1994	27-Οκτ	28-Οκτ	29-Οκτ	30-Οκτ	31-Οκτ	1-Νοε	2-Νοε
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	46	20	31	26	65	31	40
1994	15-Νοε	16-Νοε	17-Νοε	18-Νοε	19-Νοε	20-Νοε	21-Νοε
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	47	74	49	43	37	23	81
1995	16-Φεβ	17-Φεβ	18-Φεβ	19-Φεβ	20-Φεβ	21-Φεβ	22-Φεβ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	63	62	66	44	42	95	70
1995	7-Αυγ	8-Αυγ	9-Αυγ	10-Αυγ	11-Αυγ	12-Αυγ	13-Αυγ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	21	18	23	19	14	14	11
1996	25-Απρ	26-Απρ	27-Απρ	28-Απρ	29-Απρ	30-Απρ	1-Μαϊ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	21	26	20	12	33	51	23
1996	24-Σεπ	25-Σεπ	26-Σεπ	27-Σεπ	28-Σεπ	29-Σεπ	30-Σεπ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	12	29	36	8	11	27	30
1997	19-Ιαν	20-Ιαν	21-Ιαν	22-Ιαν	23-Ιαν	24-Ιαν	25-Ιαν
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	54	94	98	54	68	86	72
1997	7-Μαρ	8-Μαρ	9-Μαρ	10-Μαρ	11-Μαρ	12-Μαρ	13-Μαρ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	44	22	27	21	36	48	59
1997	24-Δεκ	25-Δεκ	26-Δεκ	27-Δεκ	28-Δεκ	29-Δεκ	30-Δεκ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	34	44	52	46	32	29	44

Πίνακας 5.2.α Περιστατικά βροχής με ένταση 2 - 5 mm/h.

Περιστατικά βροχής για τα αιωρούμενα σωματίδια.

1990	2-Αυγ	3-Αυγ	4-Αυγ	5-Αυγ	6-Αυγ	7-Αυγ	8-Αυγ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	80	66	49	61	57	63	68

1990	6-Αυγ	7-Αυγ	8-Αυγ	9-Αυγ	10-Αυγ	11-Αυγ	12-Αυγ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	57	63	68	51	30	33	35

1991	18-Οκτ	19-Οκτ	20-Οκτ	21-Οκτ	22-Οκτ	23-Οκτ	24-Οκτ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	249	278	179	167	195	132	105

1994	23-Αυγ	24-Αυγ	25-Αυγ	26-Αυγ	27-Αυγ	28-Αυγ	29-Αυγ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	94	80	87	95	39	36	68

1995	3-Σεπ	4-Σεπ	5-Σεπ	6-Σεπ	7-Σεπ	8-Σεπ	9-Σεπ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	61	81	128	114	59	84	59

1997	23-Ιουλ	24-Ιουλ	25-Ιουλ	26-Ιουλ	27-Ιουλ	28-Ιουλ	29-Ιουλ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	58	70	126	56	29	59	87

Πίνακας 5.2.β Περιστατικά βροχής με ένταση 2 - 5 mm/h.

Περιστατικά βροχής για το SO₂.

1990	2-Αυγ	3-Αυγ	4-Αυγ	5-Αυγ	6-Αυγ	7-Αυγ	8-Αυγ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	40	17	10	9	38	41	49

1990	6-Αυγ	7-Αυγ	8-Αυγ	9-Αυγ	10-Αυγ	11-Αυγ	12-Αυγ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	38	41	49	22	15	28	31

1992	21-Αυγ	22-Αυγ	23-Αυγ	24-Αυγ	25-Αυγ	26-Αυγ	27-Αυγ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	84	69	48	40	50	74	58

1994	23-Αυγ	24-Αυγ	25-Αυγ	26-Αυγ	27-Αυγ	28-Αυγ	29-Αυγ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	38	25	27	24	6	15	30

1995	3-Σεπ	4-Σεπ	5-Σεπ	6-Σεπ	7-Σεπ	8-Σεπ	9-Σεπ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	41	37	58	25	19	23	21

1997	23-Ιουλ	24-Ιουλ	25-Ιουλ	26-Ιουλ	27-Ιουλ	28-Ιουλ	29-Ιουλ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	18	23	56	11	6	4	44

Πίνακας 5.3.α Περιστατικά βροχής με ένταση > 5 mm/h.

Περιστατικά βροχής για τα αιωρούμενα σωματίδια.

1990	24-Ιουλ	25-Ιουλ	26-Ιουλ	27-Ιουλ	28-Ιουλ	29-Ιουλ	30-Ιουλ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	87	99	69	62	58	50	62
1994	27-Ιουλ	28-Ιουλ	29-Ιουλ	30-Ιουλ	31-Ιουλ	1-Αυγ	2-Αυγ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	90	79	75	70	53	68	86
1995	19-Οκτ	20-Οκτ	21-Οκτ	22-Οκτ	23-Οκτ	24-Οκτ	25-Οκτ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	146	145	93	57	62	70	57
1995	4-Ιουλ	5-Ιουλ	6-Ιουλ	7-Ιουλ	8-Ιουλ	9-Ιουλ	10-Ιουλ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	88	94	84	60	64	64	51
1996	2-Ιουν	3-Ιουν	4-Ιουν	5-Ιουν	6-Ιουν	7-Ιουν	8-Ιουν
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	68	72	104	144	141	117	101
1997	30-Ιουλ	31-Ιουλ	1-Αυγ	2-Αυγ	3-Αυγ	4-Αυγ	5-Αυγ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	77	89	71	50	57	83	94

Πίνακας 5.3.β Περιστατικά βροχής με ένταση > 5 mm/h.

Περιστατικά βροχής για το SO₂.

1990	24-Ιουλ	25-Ιουλ	26-Ιουλ	27-Ιουλ	28-Ιουλ	29-Ιουλ	30-Ιουλ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	27	21	19	11	4	2	12
1992	30-Μαρ	31-Μαρ	1-Απρ	2-Απρ	3-Απρ	4-Απρ	5-Απρ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	58	114	124	58	103	111	78
1992	10-Σεπ	11-Σεπ	12-Σεπ	13-Σεπ	14-Σεπ	15-Σεπ	16-Σεπ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	39	39	28	22	30	48	23
1994	27-Ιουλ	28-Ιουλ	29-Ιουλ	30-Ιουλ	31-Ιουλ	1-Αυγ	2-Αυγ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	12	14	14	8	7	15	9
1995	19-Οκτ	20-Οκτ	21-Οκτ	22-Οκτ	23-Οκτ	24-Οκτ	25-Οκτ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	19	22	19	8	15	53	43
1996	2-Ιουν	3-Ιουν	4-Ιουν	5-Ιουν	6-Ιουν	7-Ιουν	8-Ιουν
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	5	21	31	26	36	23	10
1997	30-Ιουλ	31-Ιουλ	1-Αυγ	2-Αυγ	3-Αυγ	4-Αυγ	5-Αυγ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	15	27	23	12	16	10	20

Μελετώντας τους μέσους όρους των συγκεντρώσεων τόσο για τα αιωρούμενα σωματίδια (Πίνακας 5.4) όσο και για το διοξείδιου του θείου (Πίνακας 5.5) παρατηρούμε ότι και στις δύο περιπτώσεις οι συγκεντρώσεις των ρύπων την ημέρα της βροχής πέφτουν σημαντικά εμφανίζοντας την ελάχιστη κάθε φορά τιμή τους για να αυξηθούν σιγά σιγά τις επόμενες μέρες. Πιο συγκεκριμένα, για τα αιωρούμενα σωματίδια σημαντικότερη μείωση της συγκέντρωσης την ημέρα της βροχής (ποσοστό 22,6% σε σχέση με την προηγούμενη μέρα) παρατηρείται σε περιστατικά με ένταση βροχόπτωσης μικρότερη από 2mm/h, ενώ στην περίπτωση του SO₂ η επίδραση βροχοπτώσεων με ένταση μεταξύ 2 και 5 mm/h είναι ευεργετικότερη προκαλώντας μια μείωση στην συγκέντρωση του ρύπου της τάξης του 47,2% σε σχέση με τα επίπεδα της προηγούμενης ημέρας.

Πίνακας 5.4 Μέσοι όροι τιμών για τα αιωρούμενα σωματίδια

Για περιστατικά με ένταση βροχής < 2 mm/h							
ΗΜΕΡΑ	d-3	d-2	d-1	d	d+1	d+2	d+3
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΡΥΠΟΥ	80,3	92,3	92,6	71,6	74,1	78,5	83,4

Για περιστατικά με ένταση βροχής 2 – 5 mm/h							
ΗΜΕΡΑ	d-3	d-2	d-1	d	d+1	d+2	d+3
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΡΥΠΟΥ	99,8	106,3	106,1	90,6	68,1	67,8	70,3

Για περιστατικά με ένταση βροχής > 5 mm/h							
ΗΜΕΡΑ	d-3	d-2	d-1	d	d+1	d+2	d+3
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΡΥΠΟΥ	92,6	96,3	82,6	73,8	72,5	75,3	75,2

Πίνακας 5.5 Μέσοι όροι τιμών για το SO₂

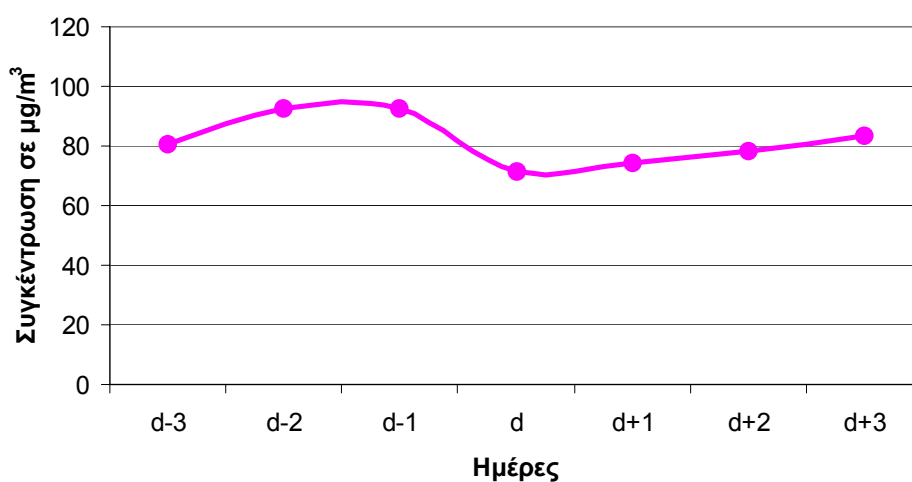
Για περιστατικά με ένταση βροχής < 2 mm/h							
ΗΜΕΡΑ	d-3	d-2	d-1	d	d+1	d+2	d+3
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΡΥΠΟΥ	54,3	64,3	60,9	40,7	49,9	57	63,8

Για περιστατικά με ένταση βροχής 2 – 5 mm/h							
ΗΜΕΡΑ	d-3	d-2	d-1	d	d+1	d+2	d+3
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΡΥΠΟΥ	43,2	35,3	41,3	21,8	22,3	30,8	38,8

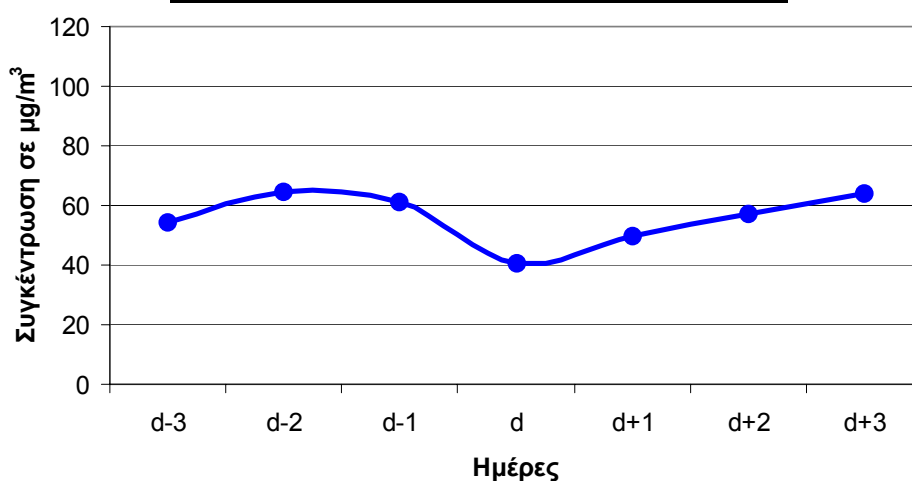
Για περιστατικά με ένταση βροχής > 5 mm/h							
ΗΜΕΡΑ	d-3	d-2	d-1	d	d+1	d+2	d+3
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΡΥΠΟΥ	25,4	36,8	36,8	20,7	30,1	37,4	27,8

Ειδικότερα, όταν η ένταση της βροχής δεν ξεπερνά τα 2 mm/h η συγκέντρωση τόσο των αιωρούμενων σωματιδίων (Σχήμα 5.1) όσο και του διοξειδίου του θείου (Σχήμα 5.2) μειώνονται σημαντικά την ημέρα της βροχής (d) και επανέρχονται στα συνήθη επίπεδα σταδιακά τις επόμενες τρείς μέρες.

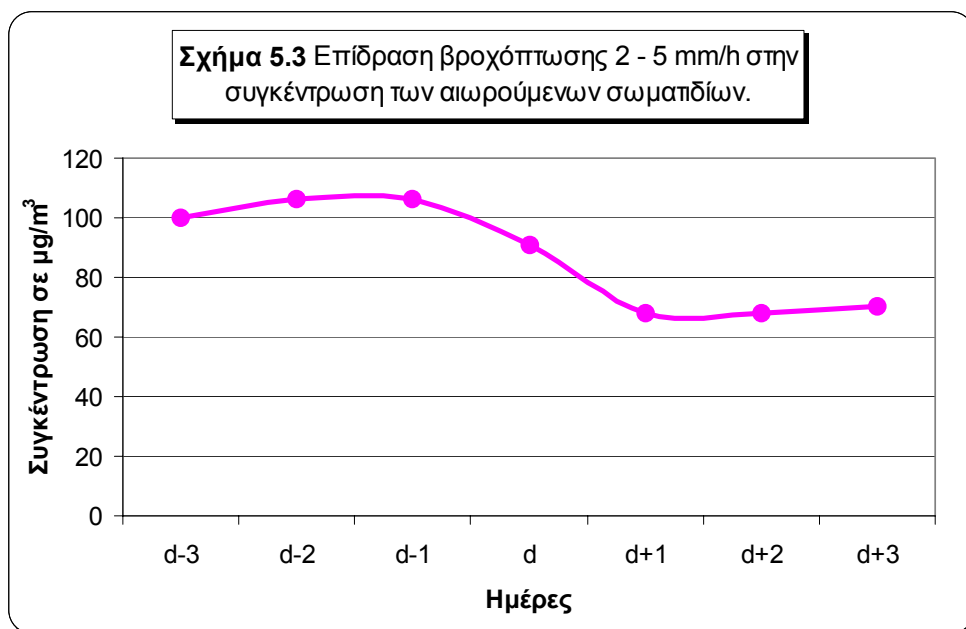
Σχήμα 5.1 Επίδραση βροχόπτωσης < 2mm/h στην συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων.



Σχήμα 5.2 Επίδραση βροχόπτωσης < 2 mm/h στην συγκέντρωση του SO₂.



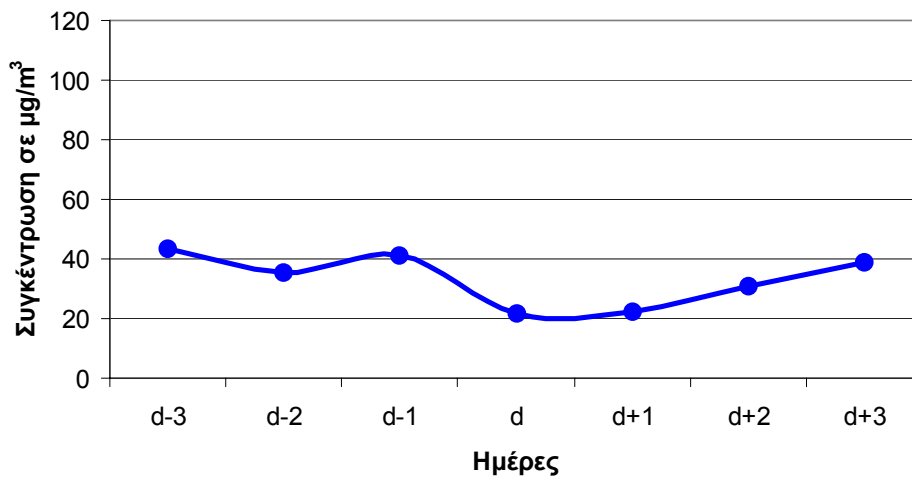
Παρατηρείται μάλιστα ότι η αύξηση του διοξειδίου του θείου τις μέρες μετά την βροχή είναι πιο απότομη από ότι αυτή των αιωρούμενων σωματιδίων, γεγονός που μας επιτρέπει να πούμε ότι βροχοπτώσεις έντασης μικρότερης από 2 mm/h βοηθούν στον καθαρισμό της ατμόσφαιρας της πόλης από SO₂ βραχυπρόθεσμα, ενώ παράλληλα είναι πιο αποτελεσματικές όσον αφορά τον καθαρισμό από τα αιωρούμενα σωματίδια.



Στις περιπτώσεις που η ένταση της βροχής κυμαίνεται μεταξύ 2 και 5 mm/h η εικόνα αλλάζει. Σε αυτές τις περιπτώσεις η διαφορά ανάμεσα στους δύο ρύπους είναι πιο εμφανής. Εύκολα γίνεται αντιληπτό ότι ο καθαρισμός της ατμόσφαιρας από τέτοιου είδους περιστατικά βροχής διαρκεί περισσότερο διάστημα καθώς ακόμη και 3 μέρες μετά την ημέρα βροχής (d +3) τα επίπεδα αιωρούμενων σωματιδίων βρίσκονται σε πολύ χαμηλές τιμές (Σχήμα 5.3). Αντίθετα, στην περίπτωση του διοξειδίου του θείου (Σχήμα 5.4) η μείωση της συγκέντρωσης αυτού που παρατηρείται την μέρα της βροχής (d) εξαλείφεται πλήρως μέσα στο διάστημα των 3 επομένων ημερών (d+1), (d+2), (d+3).

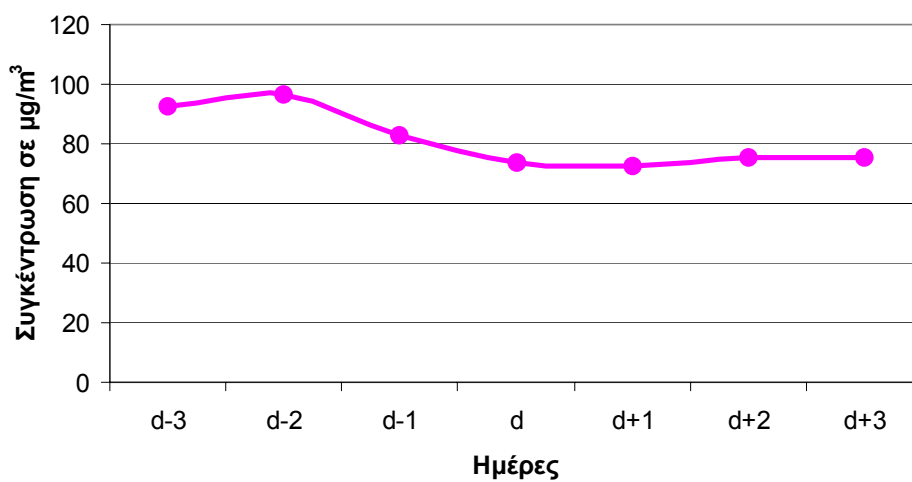
Τέλος, στις περιπτώσεις μεγάλων βροχών των οποίων η ένταση ξεπερνά τα 5mm/h η διαφορά ανάμεσα στους δύο ρύπους μεγαλώνει σημαντικά. Στην περίπτωση των αιωρούμενων σωματιδίων (Σχήμα 5.5) ο καθαρισμός της ατμόσφαιρας διαρκεί πολύ περισσότερο καθώς ακόμη και 3 μέρες μετά (d+3) η τιμή της συγκέντρωσης αυτού είναι σχεδόν στα ίδια επίπεδα με την ημέρα βροχής (d). Όσον αφορά το

Σχήμα 5.4 Επίδραση βροχόπτωσης 2 - 5 mm/h στην συγκέντρωση του SO₂.

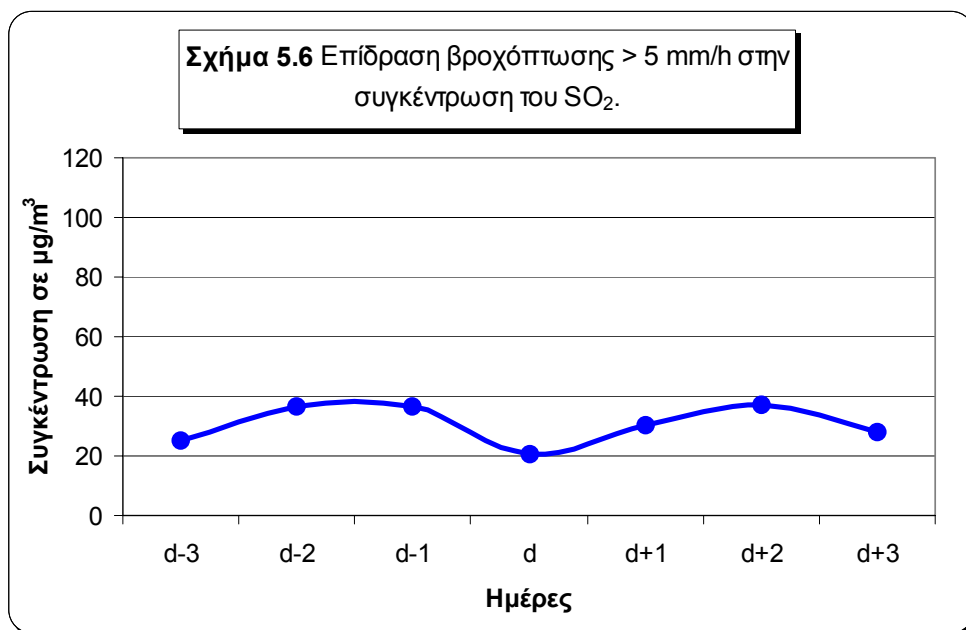


διοξείδιο του θείου η εικόνα είναι ίδια με τις δύο προηγούμενες περιπτώσεις. Η μείωση στην συγκέντρωση του ρύπου δεν διαρκεί πάνω από 2 μέρες καθώς ακόμα και την δεύτερη μέρα μετά την βροχή (d+2) οι τιμές της συγκέντρωσής του έχουν φτάσει στα συνήθη επίπεδα.

Σχήμα 5.5 Επίδραση βροχόπτωσης > 5 mm/h στην συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων.



Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω μπορούμε να πούμε ότι η βροχή σαν μέθοδος καθαρισμού της ατμόσφαιρας είναι περισσότερο αποδοτική για στερεούς ή υγρούς ρύπους καθώς η δέσμευση και κατακρήμνιση αυτών είναι πιο εύκολη λόγω του βάρους τους. Αντίθετα στην περίπτωση αέριων ρύπων όπως το SO_2 τα αποτελέσματα της βροχής προκαλούν μείωση στην συγκέντρωση αυτών η οποία όμως δεν διαρκεί όσο στην περίπτωση των αιωρούμενων σωματιδίων.



5.2 Ο ΑΝΕΜΟΣ ΣΑΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΑΠΟ SO_2 ΚΑΙ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

Με τον όρο άνεμο εννοούμε κάθε ρεύμα ατμοσφαιρικού αέρα που έχει κάποια σχετική κίνηση ως προς το έδαφος. Ο άνεμος προσδιορίζεται από δύο στοιχεία: την ένταση ή ταχύτητά του και τη διεύθυνσή του. Σαν διεύθυνση του ανέμου ορίζεται το σημείο του ορίζοντα από το οποίο αυτός πνέει και σαν ταχύτητα η απόσταση που διανύει σε ορισμένο χρόνο. Εύκολα μπορούμε να αντιληφθούμε ότι ο άνεμος αποτελεί σημαντικό παράγοντα διάχυσης και μεταφοράς των ρύπων ιδιαίτερα σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές όπου έχουμε αυξημένες εκπομπές από τις κεντρικές θερμάνσεις, τη βιομηχανία και τα μέσα μεταφοράς. Σ' αυτό το σημείο, θα ήταν χρήσιμο να γίνει μια

σύντομη αναφορά στους ανέμους που επηρεάζουν συνήθως την πόλη της Θεσσαλονίκης.

A) Ο ΒΑΡΔΑΡΗΣ

Πρόκειται για ένα τοπικό Β, ΒΔ, σφοδρό και ξηρό άνεμο που ξεκινά από το υψίπεδο των Σκοπίων, και ακολουθώντας την κοιλάδα του Αξιού εισέρχεται στην ελληνική περιοχή από το άνοιγμα μεταξύ των βουνών Πάϊκου και Μπέλες. Έχει συχνότητα εμφάνισής περίπου 40 ημέρες τον χρόνο ενώ η επικράτησή του διαρκεί 1-2 μέρες το πολύ και μετά από μία διακοπή είναι δυνατόν να ξαναεμφανιστεί. Προκαλεί αίθριο καιρό με χαρακτηριστική πτώση της θερμοκρασίας και της υγρασίας και άνοδο των τιμών της εξάτμισης και της ηλιοφάνειας, λόγω της διασποράς των αερολυμάτων και της νεφοδιάλυσης που προκαλεί. (Πετρακάκης Μ., Κελέσης Α., Τζουμάκα Π., Κανελλοπούλου Ζ., Τσακνιά Α., Κουτσάρη Ε. Τεχνική Έκθεση-Αποτελέσματα Μετρήσεων Δημοτικού Δικτύου Ελέγχου Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Μετεωρολογικών Παραμέτρων, Τόμος 2^{ος}, Δήμος Θεσσαλονίκης).

B) ΟΙ ΕΤΗΣΙΕΣ

Οι ετησίες είναι σταθεροί άνεμοι, περισσότερο γνωστοί με την ονομασία μελτέμια. Πρόκειται για βορειοανατολικούς- βορειοδυτικούς ανέμους που κάνουν την εμφάνισή τους στην ανατολική λεκάνη της Μεσογείου και ιδιαίτερα στο Αιγαίο πέλαγος προκαλώντας ξηρό και αίθριο καιρό. Τόσο η ένταση όσο και η συχνότητά τους είναι γενικά μεγάλες στα πελάγη, ενώ ελαττώνονται καθώς προχωρούμε προς την στεριά. (Πετρακάκης Μ., Κελέσης Α., Τζουμάκα Π., Κανελλοπούλου Ζ., Τσακνιά Α., Κουτσάρη Ε. Τεχνική Έκθεση-Αποτελέσματα Μετρήσεων Δημοτικού Δικτύου Ελέγχου Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Μετεωρολογικών Παραμέτρων, Τόμος 2^{ος}, Δήμος Θεσσαλονίκης).

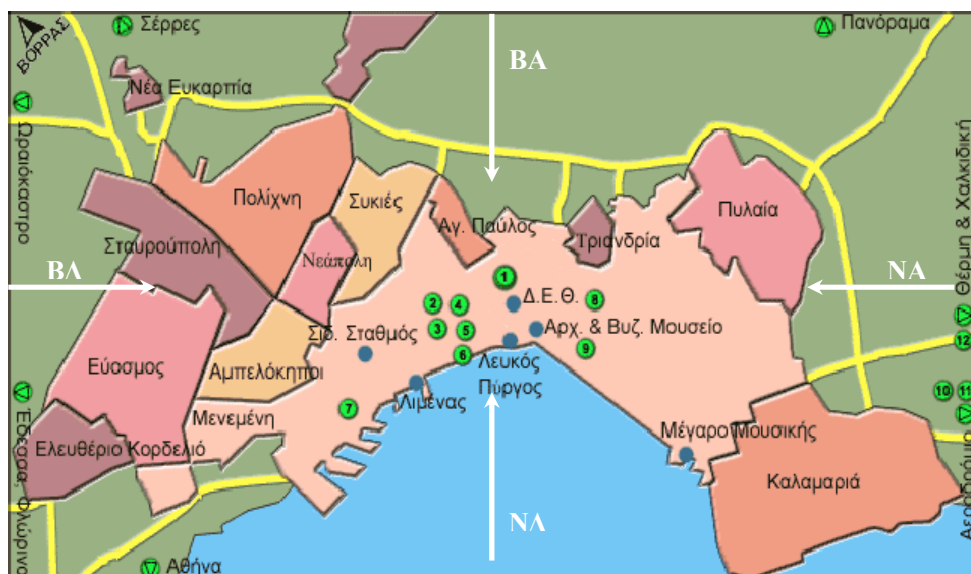
Γ) Ο ΧΟΡΤΙΑΤΗΣ

Ένας ακόμη τοπικός άνεμος που πνέει στην περιοχή της Θεσσαλονίκης από ανατολικές όμως αυτήν την φορά διεθύνσεις είναι ο "Χορτιάτης". Πρόκειται για έναν καταβατικό άνεμο, που μπορεί να φτάσει στο βαθμό θύελλας, όταν συμβαίνει να

επικρατούν βαθιές υφέσεις στην Κεντρική Μεσόγειο. (Πετρακάκης Μ., Κελέσης Α., Τζουμάκα Π., Κανελλοπούλου Ζ., Τσακνιά Α., Κουτσάρη Ε. Τεχνική Έκθεση-Αποτελέσματα Μετρήσεων Δημοτικού Δικτύου Ελέγχου Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Μετεωρολογικών Παραμέτρων, Τόμος 2^{ος}, Δήμος Θεσσαλονίκης).

Δ) Η ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΓΕΙΟΣ ΑΥΡΑ

Τέλος, η θαλάσσια και απόγειος αύρα οι οποίες ανήκουν στην κατηγορία των ημερήσιων ανέμων που δημιουργούνται στην διάρκεια του 24ώρου εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας που παρατηρείται, τόσο κατά την ημέρα, όσο και κατά την νύχτα, ανάμεσα σε ξηρά και θάλασσα. Στην πόλη της Θεσσαλονίκης η θαλάσσια αύρα επικρατεί καθόλη την διάρκεια του έτους, με μέγιστη συχνότητα εμφάνισης κατά τον Ιούλιο και ελάχιστη κατά τον Δεκέμβριο. (Πετρακάκης Μ., Κελέσης Α., Τζουμάκα Π., Κανελλοπούλου Ζ., Τσακνιά Α., Κουτσάρη Ε. Τεχνική Έκθεση-Αποτελέσματα Μετρήσεων Δημοτικού Δικτύου Ελέγχου Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Μετεωρολογικών Παραμέτρων, Τόμος 2^{ος}, Δήμος Θεσσαλονίκης).



Σχήμα 5.7 Χάρτης της πόλης στον οποίο φαινονται οι μελετούμενες διευθύνσεις ΝΔ – ΒΑ και ΝΑ – ΒΔ.

Στην παρούσα εργασία γίνεται μια προσπάθεια να φανεί η επίδραση του ανέμου στον καθαρισμό της ατμόσφαιρας της πόλης της Θεσσαλονίκης με κριτήρια όχι μόνο την διεύθυνση αυτού αλλά και την ταχύτητά του. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από τον μετεωρολογικό σταθμό του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου για το χρονικό διάστημα 1990-1997. Με την βοήθεια του χάρτη (Σχήμα 5.7) επιλέχθηκαν δύο αντιδιαμετρικές διευθύνσεις πνοής των ανέμων και μελετήθηκαν οι μεταβολές στην συγκέντρωση των ρύπων που παρατηρήθηκαν κατά την αλλαγή της διεύθυνσης πνοής.

Ειδικότερα, αναζητήθηκαν μέσα στο χρονικό διάστημα των 8 ετών ημέρες κατά τις οποίες είχαμε μεταβολή της διεύθυνσης πνοής από βορειοανατολικά σε νοτιοδυτικά και από νοτιοανατολικά σε βορειοδυτικά αντίστοιχα και έγινε μια προσπάθεια να φανεί αν και κατά πόσο οι αντίστοιχες τιμές συγκέντρωσης των ρύπων εμφανίζουν τάσεις μείωσης ή αύξησης από μέρα σε μέρα, λόγω της αλλαγής.

5.2.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΝΕΜΩΝ ΒΑ & ΝΔ ΣΥΝΙΣΤΩΣΑΣ ΣΤΟΝ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ

Αρχικά αναζητήθηκαν ζεύγη ημερών στα οποία υπάρχει μεταβολή της διεύθυνσης πνοής του ανέμου από νοτιοδυτικές διευθύνσεις σε βορειοανατολικές. Βρέθηκε λοιπόν ένα σύνολο γεγονότων στα οποία σημειώθηκαν και οι αντίστοιχες τιμές συγκέντρωσης του διοξειδίου του θείου (Πίνακας 5.6) και των αιωρούμενων σωματιδίων (Πίνακας 5.8). Η διαφορά που υπάρχει στο πλήθος των γεγονότων οφείλεται στα ελλιπή στοιχεία που υπάρχουν για τα αιωρούμενα σωματίδια.

Πίνακας 5.6 Περιστατικά μεταβολής του ανέμου από ΝΔ σε ΒΑ διευθύνσεις για το SO₂.

Ημερομηνία	19-Μαΐ-90	20-Μαΐ-90	13-Ιουν-92	14-Ιουν-92
Διεύθυνση-ταχύτητα ανέμου km/h	ΝΔ - 5	ΒΑ - 4	ΝΔ - 2	ΒΑ - 5
Συγκέντρωση ρύπου σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$	37	10	53	19

8-Νοε-92	9-Νοε-92	27-Οκτ-94	28-Οκτ-94
ΝΔ - 1	ΒΑ - 3	ΝΔ - 3,6	ΒΑ - 3,6
77	13	46	20

2-Νοε-96	3-Νοε-96	14-Φεβ-96	15-Φεβ-96
ΝΔ - 3	ΒΑ - 5	ΝΔ - 5	ΒΑ - 6,5
78	31	100	49

13-Ιουν-90	14-Ιουν-90	3-Σεπ-90	4-Σεπ-90
ΝΔ - 5	ΒΑ - 8	ΝΔ - 3	ΒΑ - 10
36	18	42	24

23-Δεκ-97	24-Δεκ-97	11-Σεπ-90	12-Σεπ-90
ΝΔ - 3	ΒΑ - 7	ΝΔ - 3	ΒΑ - 8
78	34	45	21

18-Σεπ-90	19-Σεπ-90	26-Νοε-93	27-Νοε-93
ΝΔ - 7	ΒΑ - 12	ΝΔ - 7,2	ΒΑ - 10,8
76	29	99	61

19-Μαρ-93	20-Μαρ-93	2-Μαρ-90	3-Μαρ-90
ΝΔ - 7,2	ΒΑ - 14,4	ΝΔ - 5	ΒΑ - 11
87	29	85	46

9-Μαρ-90	10-Μαρ-90	27-Φεβ-97	28-Φεβ-97
ΝΔ - 5	ΒΑ - 18	ΝΔ - 5	ΒΑ - 17,5
120	66	41	13

4-Μαρ-97	5-Μαρ-97	28-Ιαν-97	29-Ιαν-97
ΝΔ - 6	ΒΑ - 21	ΝΔ - 6,5	ΒΑ - 25
64	23	64	30

26-Ιαν-96	27-Ιαν-96		
ΝΔ - 2,1	ΒΑ - 29		
116	23		

Πίνακας 5.8 Περιστατικά μεταβολής του ανέμου από ΝΔ σε ΒΑ διευθύνσεις για τα αιωρούμενα σωματίδια.

Ημερομηνία	19-Μαϊ-90	20-Μαϊ-90	27-Οκτ-94	28-Οκτ-94
Διεύθυνση-ταχύτητα ανέμου km/h	ΝΔ - 5	ΒΑ - 4	ΝΔ - 3,6	ΒΑ - 3,6
Συγκέντρωση ρύπου σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$	87	76	116	99

2-Νοε-96	3-Νοε-96	3-Σεπ-90	4-Σεπ-90
ΝΔ - 3	ΒΑ - 5	ΝΔ - 3	ΒΑ - 10
165	44	71	32

11-Σεπ-90	12-Σεπ-90	14-Φεβ-96	15-Φεβ-96
ΝΔ - 3	ΒΑ - 8	ΝΔ - 5	ΒΑ - 6,5
42	28	236	121

10-Απρ-90	11-Απρ-90
NΔ - 13	BA - 9
70	43

23-Δεκ-97	24-Δεκ-97
NΔ - 3	BA - 7
209	68

18-Σεπ-90	19-Σεπ-90
NΔ - 7	BA - 12
63	38

2-Μαρ-90	3-Μαρ-90
NΔ - 5	BA - 11
67	39

9-Μαρ-90	10-Μαρ-90
NΔ - 5	BA - 18
117	108

26-Ιαν-96	27-Ιαν-96
NΔ - 2,1	BA - 29
140	28

Παρατηρώντας τις τιμές για το διοξείδιο του θείου είναι εμφανές, ότι οι τιμές συγκέντρωσης του ρύπου είναι υψηλές όταν στην πόλη πνέουν άνεμοι από νοτιοδυτικές διευθύνσεις, ενώ πέφτουν σημαντικά όταν ο άνεμος αλλάζει διεύθυνση και πνέει από τα βορειοανατολικά.

Αυτό μπορεί να ερμηνευτεί αν ανατρέξουμε στον χάρτη του σχήματος 5.7 καθώς παρατηρούμε ότι όταν πνέουν NΔ άνεμοι οι οποίοι προέρχονται από την θαλάσσια περιοχή παρασύρουν το ρυπογόνο φορτίο πάνω από την πόλη της Θεσσαλονίκης εγκλωβίζοντάς το όμως πάνω από αυτήν καθώς συναντούν τον ορεινό όγκο του Χορτιάτη στο BA τμήμα της πόλης. Αντίθετα οι άνεμοι BA διευθύνσεων μπορούν να συγκεντρώνουν και να απομακρύνουν το φορτίο αυτό χωρίς κανένα εμπόδιο προς τον Θερμαϊκό κόλπο. Αθροίζοντας επομένως τα στοιχεία και διαιρώντας με το πλήθος τους μπορούμε να έχουμε μια συγκεντρωτική εικόνα (Πίνακας 5.7) για την επίδραση ανέμων NΔ και BA διευθύνσεων στα επίπεδα του διοξειδίου του θείου.

Πίνακας 5.7 Συνολική επίδραση στο SO ₂	
NΔ - 4,4	BA - 11,5
70,7	29,4

Από αυτά είναι εμφανές ότι υπάρχει μια μείωση της τάξης των 2,5 περίπου φορές στη συγκέντρωση του διοξειδίου του θείου την ημέρα που πνέουν BA άνεμοι σε σύγκριση με αυτήν που πνέουν NΔ, τιμή που σχεδόν συμπίπτει με την τάξη αύξησης της ταχύτητας ανάμεσα στις 2 μέρες.

Όσον αφορά τα αιωρούμενα σωματίδια βρέθηκαν 12 γεγονότα από τα οποία επίσης φαίνεται μια μείωση στην συγκέντρωση αυτών τις ημέρες που πνέουν BA άνεμοι Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία μπορούν να εξαχθούν συγκεντρωτικές τιμές (Πίνακας 5.9) από τις οποίες προκύπτει ότι μία μείωση της ταχύτητας στο μισό, σε συνδιασμό με αλλαγή της διεύθυνσης αυτής, προκαλεί ελάττωση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων κατά 1,9 φορές. Είναι επομένως εμφανές ότι ο

καθαρισμός της ατμόσφαιρας απο την ύπαρξη ΒΑ ανέμων είναι πιο αποτελεσματικός στην περίπτωση του διοξειδίου του θείου από ότι για τα αιωρούμενα σωματίδια.

Εδώ όμως μπορεί να γεννηθεί το ερώτημα μήπως το γεγονός αυτό οφείλεται όχι τόσο στην αλλαγή της διεύθυνσης του ανέμου όσο στην μεταβολή της ταχύτητας

Πίνακας 5.9 Συνολική επίδραση στα σωματίδια	
NΔ – 4,8	BA – 10,2
115,25	60,3

αυτού καθώς στην περίπτωση του διοξειδίου του θείου είχαμε μια αύξηση στην ταχύτητα κατά μέσο όρο απο 4,4km/h σε 11,5km/h (2,6 φορές) ενώ στην περίπτωση των αιωρούμενων σωματιδίων η άνοδος ήταν από 4,8km/h σε 10,2km/h (2.1 φορές). Για το σκοπό αυτό έγινε ένας δεύτερος διαχωρισμός των δειγμάτων, βάση

της ταχύτητας του ανέμου βορειοανατολικής διεύθυνσης, ο οποίος προκαλεί και τον καθαρισμό της ατμόσφαιρας.

Χωρίστηκαν, έτσι, τα προηγούμενα γεγονότα σε 5 κατηγορίες σύμφωνα με την ταχύτητα του ΒΑ ανέμου α) από 0-5km/h, β) από 5,1-10km/h, γ) από 10,1-15km/h, δ) από 15,1-20km/h, ε) από 20,1km/h και πάνω. Για κάθε μία από αυτές τις κατηγορίες βρέθηκε ο μέσος όρος, αθροίζοντας και διαιρώντας με το πλήθος (Πίνακας 5.10).

Πίνακας 5.10 Συγκεντρωτικά δεδομένα μεταβολής της συγκέντρωσης του διοξειδίου του θείου σε κατηγορίες ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου.

α) Ταχύτητα ανέμου από 0 – 5km/h	NΔ – 2,9km/h	BA – 4,1Km/h
	58,2μg/m ³	18,6μg/m ³
β) Ταχύτητα ανέμου από 5,1 – 10km/h	NΔ – 3,8km/h	BA – 7,9Km/h
	60,2μg/m ³	29,2μg/m ³
γ) Ταχύτητα ανέμου από 10,1 – 15km/h	NΔ – 6,6km/h	BA – 12,1Km/h
	86,8μg/m ³	41,3μg/m ³
δ) Ταχύτητα ανέμου από 15,1 – 20km/h	NΔ – 5km/h	BA – 17,1Km/h
	80,5μg/m ³	39,5μg/m ³
ε) Ταχύτητα ανέμου >από 20km/h	NΔ – 4,9km/h	BA – 25Km/h
	81,3μg/m ³	25,3μg/m ³

Παρατηρείται επομένως ότι ικανοποιητικότερες συνθήκες καθαρισμού έχουμε στις περιπτώσεις που πνέουν άνεμοι με πολύ μικρή ταχύτητα (0 – 5km/h) ή με πολύ

μεγάλη ($> 20,1\text{km/h}$) ενώ στις ενδιάμεσες τιμές η συγκέντρωση του διοξειδίου πέφτει στο μισό ανεξάρτητα από την ένταση του ανέμου. Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία για τα αιωρούμενα σωματίδια (Πίνακας 5.11) φαίνεται ότι ικανοποιητικότερες συνθήκες καθαρισμού αυτήν την φορά έχουμε όταν οι ΒΑ άνεμοι, στους οποίους οφείλεται και ο καθαρισμός της ατμόσφαιρας, έχουν ένταση $> 20\text{km/h}$ ή κυμαίνονται μεταξύ $5,1 - 10\text{km/h}$. Εφόσον λοιπόν δεν υπάρχει κάποια ικανοποιητική συσχέτιση ανάμεσα στην ταχύτητα του ανέμου και την μείωση των συγκεντρώσεων των ρύπων, μπορούμε να πούμε ότι η μείωση αυτή στηρίζεται σε μεγαλύτερο βαθμό στην αλλαγή της διεύθυνσης από ΝΑ σε ΒΔ παρά στην ένταση του ανέμου.

Πίνακας 5.11 Συγκεντρωτικά δεδομένα μεταβολής της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων σε κατηγορίες ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου.

α) Ταχύτητα ανέμου από $0 - 5\text{km/h}$	ΝΔ – $3,9\text{km/h}$	ΒΑ – $4,2\text{km/h}$
	$89,3\mu\text{g/m}^3$	$59,6\mu\text{g/m}^3$
β) Ταχύτητα ανέμου από $5,1 - 10\text{km/h}$	ΝΔ – $5,4\text{km/h}$	ΒΑ – $8,1\text{km/h}$
	$125,6\mu\text{g/m}^3$	$58,4\mu\text{g/m}^3$
γ) Ταχύτητα ανέμου από $10,1 - 15\text{km/h}$	ΝΔ – 6km/h	ΒΑ – $11,5\text{km/h}$
	$65\mu\text{g/m}^3$	$38,5\mu\text{g/m}^3$
δ) Ταχύτητα ανέμου από $15,1 - 20\text{km/h}$	ΝΔ – 5km/h	ΒΑ – 18km/h
	$117\mu\text{g/m}^3$	$108\mu\text{g/m}^3$
ε) Ταχύτητα ανέμου $> 20\text{km/h}$	ΝΔ – $2,1\text{km/h}$	ΒΑ – 29km/h
	$140\mu\text{g/m}^3$	$28\mu\text{g/m}^3$

Τα παραπάνω συμπεράσματα επιβεβαιώνει και η μελέτη των περιστατικών όπου υπήρχε μεταβολή της διεύθυνσης του ανέμου από ΒΑ σε ΝΔ τόσο για το διοξείδιο του θείου (Πίνακας 5.12) όσο και για τα αιωρούμενα σωματίδια (Πίνακας 5.13). Εδώ, όπως είναι αναμενόμενο, έχουμε αύξηση των συγκεντρώσεων των ρύπων καθώς όπως αναφέρθηκε νωρίτερα οι άνεμοι νοτιοδυτικής συνιστώσας αδυνατούν να απομακρύνουν το ρυπογόνο φορτίο εμποδιζόμενοι από την οροσειρά του Χορτιάτη.

Πίνακας 5.12 Περιστατικά μεταβολής του ανέμου από ΒΑ σε ΝΔ διευθύνσεις για το SO₂

Ημερομηνία	16-Ιουλ-92	17-Ιουλ-92	1-Ιαν-96	2-Ιαν-96
Διεύθυνση-ταχύτητα ανέμου km/h	ΒΑ - 5	ΝΔ - 2	ΒΑ - 21	ΝΔ - 3,6
Συγκέντρωση ρύπου σε µg/m ³	11	31	20	66

21-Νοε-97	22-Νοε-97	15-Σεπ-96	16-Σεπ-96
ΒΑ - 5	ΝΔ - 3	ΒΑ - 12	ΝΔ - 2
40	71	5	61

25-Νοε-96	26-Νοε-96	15-Απρ-96	16-Απρ-96
ΒΑ - 30,5	ΝΔ - 4	ΒΑ - 21	ΝΔ - 9,5
13	80	9	38

14-Σεπ-90	15-Σεπ-90
ΒΑ - 9	ΝΔ - 6
41	77

Πίνακας 5.13 Περιστατικά μεταβολής του ανέμου από ΒΑ σε ΝΔ διευθύνσεις για τα αιωρούμενα σωματίδια.

Ημερομηνία	1-Ιαν-96	2-Ιαν-96	15-Σεπ-96	16-Σεπ-96
Διεύθυνση-ταχύτητα ανέμου km/h	ΒΑ - 21	ΝΔ - 3,6	ΒΑ - 12	ΝΔ - 2
Συγκέντρωση ρύπου σε µg/m ³	33	145	23	83

25-Νοε-96	26-Νοε-96	21-Νοε-97	22-Νοε-97
ΒΑ - 30,5	ΝΔ - 4	ΒΑ - 5	ΝΔ - 3
18	102	90	112

15-Απρ-96	16-Απρ-96
ΒΑ - 21	ΝΔ - 9,5
28	66

Αξιοσημείωτο είναι ότι στις περιπτώσεις όπου ο άνεμος μεταβάλλεται από βορειοανατολικός σε νοτιοδυτικός οι συγκεντρωτικές τιμές (Πίνακας 5.14) δείχνουν ότι η επιβάρυνση της ατμόσφαιρας από την μια μέρα στην άλλη είναι μεγαλύτερη από ότι ήταν ο καθαρισμός αυτής στις προηγούμενες περιπτώσεις (Πίνακες 5.7 και 5.9)

Πίνακας 5.14 Συνολική επίδραση μεταβολής του ανέμου από ΒΑ σε ΝΔ			
Διοξείδιο του θείου		Αιωρούμενα σωματίδια	
ΒΑ - 15,7	ΝΔ - 4	ΒΑ - 17,9	ΝΔ - 4,42
16,3	57,8	138,4	101,8

5.2.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΝΕΜΩΝ ΝΑ & ΒΔ ΣΥΝΙΣΤΩΣΑΣ ΣΤΟΝ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ

Προκειμένου να ολοκληρωθεί η μελέτη της επίδρασης του ανέμου στον καθαρισμό της πόλης της Θεσσαλονίκης επιλέχθηκε μια ακόμη διεύθυνση κάθετη στην προηγούμενη. Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία αναζητήθηκαν ζεύγη ημερών στα οποία παρατηρείται μεταβολή της φοράς του ανέμου από νοτιοανατολική σε βορειοδυτική και το αντίστροφο. Πριν προχωρήσουμε στην παράθεση και επεξεργασία των τιμών καλό θα ήταν να τονίσουμε ότι στα βορειοδυτικά της πόλης βρίσκεται η βιομηχανική περιοχή της Σινδου και του Ωραιοκάστρου οπότε είναι πιθανόν άνεμοι που πνέουν από ΒΔ διευθύνσεις να μεταφέρουν ρύπους προς το κέντρο της πόλης.

Αντίθετα, στο νοτιοανατολικό τμήμα της πόλης η βιομηχανική δραστηριότητα είναι πιο ήπια και μόνο κατά τους θερινούς μήνες και ιδιαίτερα τα Σαββατοκύριακα αναμένονται υψηλές τιμές συγκέντρωσης των ρύπων, λόγω της αυξημένης κίνησης στην οδική αρτηρία προς την Χαλκιδική.

Πίνακας 5.15 Περιστατικά μεταβολής του ανέμου από ΝΑ σε ΒΔ διευθύνσεις για το διοξείδιο του θείου.

Ημερομηνία	3-Φεβ-91	4-Φεβ-91	9-Δεκ-92	10-Δεκ-92
Διεύθυνση-ταχύτητα ανέμου km/h	ΝΑ - 1	ΒΔ - 2	ΝΑ - 8	ΒΔ - 2
Συγκέντρωση ρύπου σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$	80	145	55	94

26-Μαϊ-93	27-Μαϊ-93	25-Μαρ-97	26-Μαρ-97
ΝΑ - 10,8	ΒΔ - 7,2	ΝΑ - 5	ΒΔ - 12,5
28	37	33	59

31-Ιουλ-93	1-Αυγ-93	3-Οκτ-93	4-Οκτ-93
ΝΑ - 10,8	ΒΔ - 3,6	ΝΑ - 3,6	ΒΔ - 3,6
28	18	29	32

24-Απρ-94	25-Απρ-94
NA - 3,6	ΒΔ - 7,2
17	19

24-Αυγ-94	25-Αυγ-94
NA - 10,8	ΒΔ - 7,2
25	27

28-Μαρ-95	29-Μαρ-95
NA - 11,9	ΒΔ - 12,6
28	38

15-Ιουλ-95	16-Ιουλ-95
NA - 7,9	ΒΔ - 7,2
30	19

7-Φεβ-97	8-Φεβ-97
NA - 9	ΒΔ - 9
36	66

21-Φεβ-96	22-Φεβ-96
NA - 17	ΒΔ - 6
23	40

10-Μαρ-96	11-Μαρ-96
NA - 8,5	ΒΔ - 5
46	88

18-Οκτ-96	19-Οκτ-96
NA - 4,5	ΒΔ - 4,5
28	44

12-Ιαν-97	13-Ιαν-97
NA - 24	ΒΔ - 5,2
28	48

26-Ιαν-97	27-Ιαν-97
NA - 16	ΒΔ - 6,2
32	56

Πράγματι μελετώντας τις τιμές της συγκέντρωσης του SO₂ όταν ο άνεμος αλλάζει από NA σε ΒΔ (Πίνακας 5.15) αλλά και των αιωρούμενων σωματιδίων (Πίνακας 5.16) είναι εμφανές, ότι έχουμε αύξηση της συγκέντρωσης των ρύπων, καθώς μεταφέρονται από τα ΒΔ της πόλης αέριες μάζες φορτισμένες με ρύπους από την βιομηχανική περιοχή της πόλης.

Πίνακας 5.16 Περιστατικά μεταβολής του ανέμου από NA σε ΒΔ διευθύνσεις για τα αιωρούμενα σωματίδια.

Ημερομηνία	24-Απρ-94	25-Απρ-94
Διεύθυνση-ταχύτητα ανέμου km/h	NA - 3,6	ΒΔ - 7,2
Συγκέντρωση ρύπου σε μg/m ³	54	80

24-Αυγ-94	25-Αυγ-94
NA - 10,8	ΒΔ - 7,2
80	87

15-Ιουλ-95	16-Ιουλ-95
NA - 7,9	ΒΔ - 7,2
99	55

21-Φεβ-96	22-Φεβ-96
NA - 17	ΒΔ - 6
58	99

10-Μαρ-96	26-Νοε-96
NA - 8,5	ΒΔ - 5
28	90

18-Οκτ-96	19-Οκτ-96
NA - 4,5	ΒΔ - 4,5
67	108

12-Ιαν-97	13-Ιαν-97
NA - 24	ΒΔ - 5,2
55	99

Αν προσέξουμε καλύτερα τις τιμές αυτές, θα εντοπίσουμε και ορισμένα περιστατικά όπου εμφανίζεται η αντίθετη πορεία. Έχουμε δηλαδή υψηλές συγκεντρώσεις όταν πνέουν ΝΑ άνεμοι, που πέφτουν όταν ο άνεμος μετατρέπεται σε ΒΔ. Τα περιστατικά αυτά που δίνονται με κόκκινο χρώμα, μπορούν να ερμηνευτούν μιας και πρόκειται για τον μήνα Ιούλιο και πιο συγκεκριμένα για Σαββατοκυριακά. Τόσο η 31^η Ιουλίου του 1993 όσο και η 15^η Ιουλίου του 1995 είναι ημέρες Σάββατο, πράγμα που εξηγεί τις υψηλές τιμές των συγκεντρώσεων των ρύπων, επειδή οι νοτιοανατολικοί άνεμοι μετέφεραν την φορτισμένη από ρύπους ατμόσφαιρα από την έξοδο των Θεσσαλονικέων στο κέντρο της πόλης. Την επομένη, Κυριακή και στις 2 περιπτώσεις, ο άνεμος άλλαξε διεύθυνση και έπνεε από τα βορειοδυτικά. Καθώς όμως βρισκόμαστε στο κέντρο του καλοκαιριού και σε ημέρα αργίας, η βιομηχανική περιοχή της Θεσσαλονίκης υπολειτουργεί με αποτέλεσμα η ατμόσφαιρα στα ΒΔ της πόλης να είναι σχετικά καθαρή και έτσι οι συγκεντρώσεις των ρύπων σε χαμηλά επίπεδα, γεγονός που κάνει την διαφορά να φαίνεται εντονότερη.

Ανεξάρτητα από τα παραπάνω, αν υπολογίσουμε και εδώ τις μέσες τιμές των περιστατικών (Πίνακας 5.17) παρατηρείται ότι η μείωση της συγκέντρωσης των ρύπων τόσο για το διοξείδιο του θείου όσο και για τα αιωρούμενα σωματίδια, είναι πολύ μικρότερη απ'ότι ήταν στην περίπτωση της μεταβολής της διεύθυνσης του ανέμου από ΝΔ σε ΒΑ.

Πίνακας 5.17 Συνολική επίδραση μεταβολής του ανέμου από ΝΑ σε ΒΔ			
Διοξείδιο του θείου		Αιωρούμενα σωματίδια	
ΝΑ - 9,5	ΒΔ - 6,3	ΝΑ - 10,9	ΒΔ - 6
34,1	51,8	63	88,3

Αντίστοιχη είναι η κατάσταση και στην περίπτωση που η διεύθυνση του ανέμου μεταβάλλεται από βορειοδυτική σε νοτιοανατολική, αν και δεν παρατηρείται επαρκές πλήθος περιστατικών για να υπολογιστεί και εδώ ο αντίστοιχος μέσος όρος.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας μπορούν να προκύψουν ορισμένα χρήσιμα συμπεράσματα που δίνουν την συγκεντρωτική εικόνα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην πόλη της Θεσσαλονίκης και ειδικότερα στο εμπορικό κέντρο αυτής.

A) Μελετώντας τους πίνακες 3.1 και 4.3 μπορούμε να πούμε ότι τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μία μείωση της συγκέντρωσης τόσο του διοξειδίου του θείου, όσο και των αιωρούμενων σωματιδίων, που οφείλεται, αφενός στην ευαισθητοποίηση του κοινού και αφετέρου στην βελτίωση της αντιρυπαντικής τεχνολογίας.

B) Είναι επίσης εμφανές ότι η κατάσταση κατά τους θερινούς μήνες είναι σαφώς καλύτερη από αυτήν που επικρατεί τον χειμώνα. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι τον χειμώνα, από την μία λειτουργούν οι κεντρικές θερμάνσεις των οικοδομών, που αποτελούν κύρια πηγή ρύπων και από την άλλη η βιομηχανική δραστηριότητα και η κίνηση στην πόλη είναι έντονες, με αποτέλεσμα την επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με διοξείδιο του θείου και αιωρούμενα σωματίδια. Αντίθετα τους θερινούς μήνες δεν λειτουργούν οι κεντρικές θερμάνσεις, οι περισσότερες βιομηχανικές μονάδες της πόλης υπολειπονται, ενώ παράλληλα το μεγαλύτερο ποσοστό των κατοίκων της πόλης λείπει σε καλοκαιρινές διακοπές.

Γ) Όσον αφορά τον καθαρισμό της ατμόσφαιρας από την βροχή, μπορούμε να πούμε ότι σε γενικές γραμμές αυτός επιτυγχάνεται. Ειδικότερα για το διοξείδιο του θείου, είναι εμφανές ότι ο καθαρισμός που προκαλείται είναι ανεξάρτητος από την ένταση της βροχόπτωσης και σε καμία περίπτωση δεν διαρκεί για διάστημα μεγαλύτερο των 2 ημερών από την μέρα της βροχής. Αντίθετα, όσον αφορά τα αιωρούμενα σωματίδια, παρατηρείται ότι το διάστημα καθαρισμού εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ένταση της βροχόπτωσης, γεγονός που οφείλεται προφανώς στην φυσική κατάσταση των δύο ρύπων. Τα αιωρούμενα σωματίδια δηλαδή, δεσμεύονται από το νερό της βροχής και κατακρημνίζονται μαζί με αυτό για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα όσο μεγαλύτερη είναι και η ένταση της βροχής.

Δ) Ο άνεμος σαν παράγοντας αποφόρτισης της ατμόσφαιρας της πόλης της Θεσσαλονίκης, μπορούμε να πούμε ότι είναι πιο σημαντικός καθώς κάνει την εμφάνιση του σχεδόν καθόλη την διάρκεια του έτους. Δεν είναι όμως όλες οι διευθύνσεις αυτού ευεργετικές για την πόλη. Ευνοϊκότερος για τον καθαρισμό της πόλης, είναι ο άνεμος βορειοανατολικής διεύθυνσης που διασκορπίζει το ρυπογόνο φορτίο στον θερμικό κόλπο. Ευνοϊκός, αν και σε πολύ μικρότερο βαθμό είναι ο άνεμος νοτιοανατολικής συνιστώσας ιδίως τους χειμερινούς μήνες, ενώ άνεμοι με

διευθύνσεις νοτιοδυτικές και βοριοδυτικές επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα της πόλης, οι πρώτοι γιατί εγκλωβίζουν πάνω από αυτήν ρυπογόνα φορτία λόγω του φυσικού αναγλύφου και οι δεύτεροι γιατί μεταφέρουν στην πόλη ατμοσφαιρικούς ρύπους από την βιομηχανική ζώνη αυτής, που βρίσκεται στο βορειοδυτικό της τμήμα.

Μπορούμε επομένως να πούμε, ότι η βελτίωση της ατμοσφαιρικής κατάστασης στην πόλη της Θεσσαλονίκης στηρίζεται, τόσο στις ευνοϊκές κλιματολογικές συνθήκες, όσο και στην ευαισθητοποίηση των πολιτών και τον αυστηρό έλεγχο της πολιτείας σε βιομηχανικές μονάδες, αλλά και στα μέσα μαζικής μεταφοράς ώστε να μειωθούν οι εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων στο ελάχιστο δυνατόν. Επίσης, σημαντική βοήθεια θα αποτελούσε ο ορθός πολεοδομικός σχεδιασμός στα αναπτυσσόμενα προάστια της πόλης, έτσι ώστε να μην επιτρέπεται η ανοικοδόμηση στις περιοχές στις οποίες είναι ήδη υπαρκτό το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι ένα από τα σημαντικότερα για την πόλη της Θεσσαλονίκης, καθώς από αυτό κινδυνεύει όχι μόνο η ασφάλεια των πολιτών της αλλά και η καταστροφή των πολλών σημαντικών μνημείων που αυτή διαθέτει.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Γιαννόπουλος Π., (1994)** Ατμοσφαιρική ρύπανση, Πάτρα, (σελ 1-85).
- Ζερεφός Χ. και Ζουμάκης Ν., (1984).** Η ατμοσφαιρική ρύπανση απο το διοξείδιο του θείου στην ετρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης. Υ.Β.Ε., Συμβούλιο Προστασίας Περιβάλλοντος, (σελ 1-21).
- Κελέσης Α., (1989).** Η μελέτη των μεταβολών της συνολικής ποσότητας του διοξειδίου του θείου στην ατμόσφαιρα της Θεσσαλονίκης, Διδακτορική Διατριβή, Θεσσαλονίκη, (σελ 1-201).
- Μιχόπουλος Π., Μπαλούτσος Γ., Οικονόμου Α.,** 'Παρουσία όξινης βροχής στην περιοχή της βορειοανατολικής Όσσας', Πρακτικά 1^{ου} Περιβαλλοντικού συνεδρίου Μακεδονίας, 1 – 4 Μαρτίου 2002 Θεσσαλονίκη, (σελ 84–89).
- Μπλούτσος Α., (1984).** Μέθοδοι Κλιματικής Ανάλυσης, Θεσσαλονίκη, (σελ 171-188).
- Πετρακάκης Μ., Κελέσης Α., Ζουμάκης Α. (2000).**, 'Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι στο εμπορικό κέντρο της Θεσσαλονίκης κατά την περίοδο 1989-1997', Πρακτικά 1^{ου} Πανελληνίου συνεδρίου Μετεωρολογίας – Κλιματολογίας – Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Θεσσαλονίκη, (σελ 147-154).
- Πετρακάκης Μ., Κελέσης Α., Τζουμάκα Π., Κανελλοπούλου Ζ., Τσακνιά Α., Κουτσάρη Ε. Και Τζουρέλης Γ., (1990-1997).** Τεχνικές Εκθέσεις-Αποτελέσματα Μετρήσεων Δημοτικού Δικτύου Ελέγχου Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Μετεωρολογικών Παραμέτρων, Τόμοι 2^{ος}-9^{ος} ,Δήμος Θεσσαλονίκης.
- Σαχσαμάνογλου Χ., (2001).** Ρύπανση της ατμόσφαιρας, Θεσσαλονίκη, (σελ 1-52).
- Σαχσαμάνογλου Χ.Σ.- Μακρογιάννης Τ.Ι.- Παπαδόπουλος Χ. (1992).** 'Η επιβάρυνση της ατμόσφαιρας στην Θεσσαλονίκη με αερολύματα', Ημερίδα: Θεσσαλονίκη-Ατμοσφαιρική ρύπανση 2/4/1992 Θεσσαλονίκη.
- Σαχσαμάνογλου Χ. - Αποστολίδης Σ.,** 'Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στη Θεσσαλονίκη ως συνάρτηση των καιρικών καταστάσεων', Πρακτικά 1^{ου} Περιβαλλοντικού συνεδρίου Μακεδονίας, 1 – 4 Μαρτίου 2002 Θεσσαλονίκη, (σελ 94–97).
- C. Samara, Th. Kouimtzis, R. Tsitouridou, G. Kanias, V. Simeonov, (2003).** 'Chemical mass balance source apportionment of PM₁₀ in an industrialized urban area of Northern Greece', Atmospheric Environment 37, (σελ 41-54).

Steven J. Smith, Hugh Pitcher, T.M.L Wigley (2001). 'Global and regional anthropogenic sulfur dioxide emissions', *Global and Planetary Change* 29, (σελ 99-109).

Observations meteorologiques de Thessaloniki. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, τόμ. 59 – 66, Θεσσαλονίκη.

To Internet.