



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ, ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ:

«Μελέτη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στη Θεσσαλονίκη από τις καύσεις σε τζάκια»



ΑΛΙΚΗ ΠΑΤΡΟΥΓΚΑ

ΑΕΜ:489

Επιβλέπων καθηγητής : ΠΡΟΔΡΟΜΟΣ ΖΑΝΗΣ

Θεσσαλονίκη, Φεβρουάριος 2016



Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών Μετεωρολογίας, Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος, του τμήματος Γεωλογίας, του τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας.

Θα ήθελα λοιπόν να ευχαριστήσω όλους εκείνους που βοήθησαν στην πραγματοποίησή της. Αρχικά θέλω να ευχαριστήσω τον υπεύθυνο καθηγητή μου, κ. Πρόδρομο Ζάνη για τις σημαντικές γνώσεις που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια των σπουδών μου, για την ευκαιρία που μου έδωσε να συνεργαστώ μαζί του και να ασχοληθώ με τη σωματιδιακή ρύπανση που προκαλείται από τη χρήση καυσόξυλων στην περιοχή της Θεσσαλονίκης. Η βοήθειά του ήταν πολύτιμη όχι μόνο για την πρόθυμη παροχή γνώσεων αλλά και για την ηθική συμπαράσταση και το φιλικό κλίμα συνεργασίας.

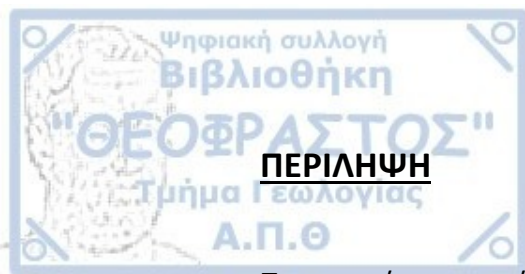
Ευχαριστώ θερμά τα μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής, τον κ. Χαράλαμπο Φείδα και την κα. Ελένη Κατράγκου, για τις συμβουλές τους, τις πολύτιμες υποδείξεις τους και τις διορθώσεις τους πάνω στο κείμενο.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τις συμφοιτήτριες και φίλες μου Έλενα Γερολυμάτου, Ιωάννα Γκότοβου και Χριστίνα Πατσίκα για τα ενθαρρυντικά τους λόγια και την ψυχολογική υποστήριξη, καθ' όλη τη διάρκεια της προσπάθειας αυτής, καθώς και την αγαπημένη μου φίλη Κατερίνα Δένδια, για τις πολύτιμες συμβουλές για τη συγγραφή του κειμένου.

Τέλος θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου προς την οικογένειά μου, για την αμέριστη συμπαράστασή τους σε κάθε τομέα της ζωής μου. Χωρίς αυτούς και την απέραντη αγάπη τους δεν θα είχα φτάσει πουθενά.

Αλίκη Πατρούγκα

Θεσσαλονίκη, Φεβρουάριος 2017



Το αντικείμενο αυτής της διατριβής ειδίκευσης είναι η μελέτη των κυριότερων ρύπων που προκύπτουν από τη χρήση καυσόξυλων στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης. Η διατριβή επικεντρώνεται στην μελέτη των PM10 σωματιδίων και του μονοξειδίου του άνθρακα, καθώς αυτοί είναι οι κυριότεροι ρύποι που προκύπτουν από τη καύση βιομάζας. Η παρούσα εργασία χωρίζεται σε δυο μέρη. Το πρώτο αφορά το θεωρητικό σκέλος και απαρτίζεται από το 1^ο και 2^ο κεφάλαιο, ενώ τα κεφάλαια 3 και 4 περιλαμβάνουν την επεξεργασία των δεδομένων και την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Στο 1^ο κεφάλαιο, παρατίθενται κάποιες βασικές θεωρητικές έννοιες. Αυτές αφορούν τα είδη των ατμοσφαιρικών ρύπων, τις κύριες πηγές παραγωγής τους, τους μηχανισμούς απομάκρυνσής τους και το χρόνο παραμονής τους. Ακόμη, αναφέρονται κάποια γενικά στοιχεία για την ξυλεία, την αξιοποίησή της και την εκπομπή ρύπων από την καύση της. Αναφέρονται στοιχεία για την κατανομή του μεγέθους των αιωρούμενων σωματιδίων, τις μορφές τους, τη χημική τους σύσταση, τις πηγές παραγωγής τους και τους μηχανισμούς απομάκρυνσής τους. Τέλος, παρουσιάζονται κάποια γενικά χαρακτηριστικά των δύο μελετούμενων ρύπων στην παρούσα εργασία, των αιωρούμενων σωματιδίων και του μονοξειδίου του άνθρακα καθώς και οι επιπτώσεις τους στο κλίμα, στο περιβάλλον και στην υγεία του ανθρώπου.

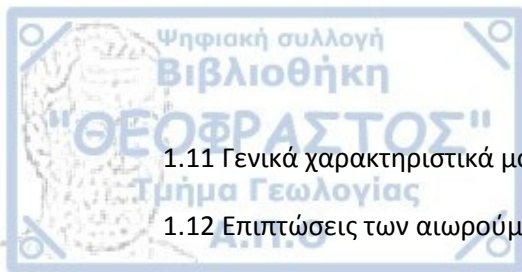
Στο 2^ο κεφάλαιο αναφέρονται τα μορφολογικά, κλιματολογικά και μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής της Θεσσαλονίκης. Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά οι σταθμοί μέτρησης και καταγραφής συγκεντρώσεων PM10 και μονοξειδίου του άνθρακα. Επίσης παρουσιάζεται το θεσμικό πλαίσιο που έχει θεσπιστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση για τη διαχείριση της ποιότητας του αέρα.

Στο 3^ο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η στατιστική μελέτη της μηνιαίας και ωριαίας διακύμανσης της σωματιδιακής ρύπανσης, ενώ μελετούνται και τα τοπικά μέγιστα της μέσης ωριαίας συγκέντρωσης των PM10 και CO ανά σταθμό για την περίοδο μελέτης 2013-2014 και την περίοδο αναφοράς 2001-2012. Έπειτα πραγματοποιείται μελέτη των υπερβάσεων των ορίων σωματιδιακής ρύπανσης που έχουν θεσπιστεί από την Ε.Ε.

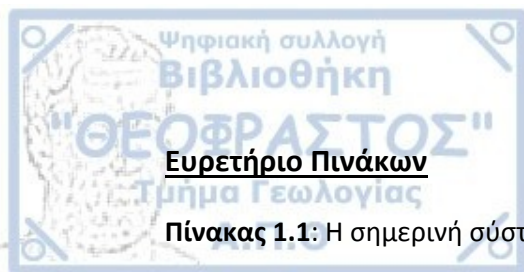
Στο 4^ο κεφάλαιο, παρατίθενται τα κυριότερα συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων και την ανάλυση των αποτελεσμάτων.



Ευχαριστίες.....	1
Περίληψη.....	2
Πίνακας Περιεχομένων.....	3
Ευρετήριο Πινάκων.....	5
Ευρετήριο Σχημάτων.....	6
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	9
1.1 Η έννοια της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.....	9
1.2 Τα είδη των ατμοσφαιρικών ρύπων.....	11
1.3 Πηγές ατμοσφαιρικών ρύπων.....	13
1.4 Χρόνοι παραμονής ρύπων.....	15
1.5 Χρήση ξυλείας-βιομάζας.....	17
1.5.1 Γενικά.....	17
1.5.2 Η ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας.....	18
1.5.3 Άμεση καύση βιομάζας.....	19
1.5.4 Καυσόξυλα.....	20
1.5.5 Εκπομπή ρύπων από την καύση ξυλείας-βιομάζας.....	20
1.6 Μελέτες ατμοσφαιρικής ρύπανσης.....	21
1.7 Αιωρούμενα σωματίδια.....	23
1.8 Μέγεθος αιωρούμενων σωματιδίων.....	24
1.9 Κατάταξη αιωρούμενων σωματιδίων.....	25
1.9.1 Κατάταξη με κριτήριο τον τρόπο σχηματισμού.....	25
1.9.2 Κατάταξη με κριτήριο το μέγεθος.....	26
1.9.3 Κατάταξη με βάση την πηγή προέλευσης.....	28
1.9.4 Κατάταξη με κριτήριο τη διεισδυτικότητα στον ανθρώπινο οργανισμό.....	29
1.10 Μηχανισμοί λειτουργίας των αιωρημάτων.....	30

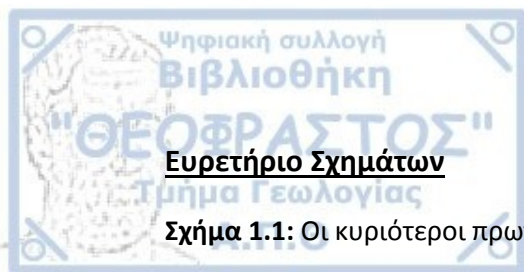


1.11 Γενικά χαρακτηριστικά μονοξειδίου του άνθρακα(CO).....	30
1.12 Επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων και του μονοξειδίου του άνθρακα.....	32
Κεφάλαιο 2-Περιοχή μελέτης/Συλλογή δεδομένων.....	36
2.1 Η μορφολογία της Θεσσαλονίκης.....	36
2.2 Κλιματολογικά και μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής της Θεσσαλονίκης	37
2.3 Νομοθεσία ποιότητας του αέρα.....	40
2.4 Σωματιδιακή ρύπανση στην περιοχή της Θεσσαλονίκης.....	41
2.5 Σταθμοί μέτρησης ρύπων.....	42
2.6 Δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν.....	45
Κεφάλαιο 3-Επεξεργασία των δεδομένων.....	47
3.1 Εισαγωγή.....	47
3.2 Μέση ημερήσια μεταβολή συγκεντρώσεων των PM10 και CO.....	47
3.3 Μέση ωριαία μεταβολή συγκεντρώσεων των PM10 και CO.....	54
3.4 Μέγιστη ωριαία μεταβολή συγκεντρώσεων των PM10 και CO.....	62
3.5 Μελέτη χαρακτηριστικών ημερών με συγκεντρώσεις υψηλότερες από την οριακή τιμή.....	67
Κεφάλαιο 4-Συμπεράσματα.....	82
Βιβλιογραφία.....	84



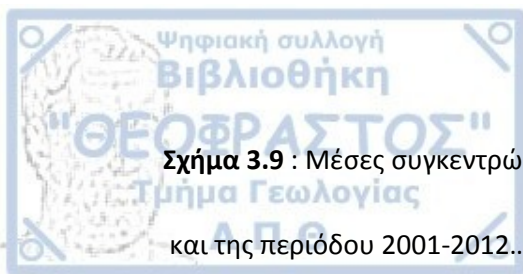
Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1.1: Η σημερινή σύσταση της ατμόσφαιρας.....	10
Πίνακας 1.2: Φυσικές και ανθρωπογενείς πηγές ατμοσφαιρικών ρύπων.....	15
Πίνακας 1.3: Μέσοι χρόνοι παραμονής στην ατμόσφαιρα διαφόρων ενώσεων.....	17
Πίνακας 2.1: Σταθμοί μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων και μονοξειδίου του άνθρακα και χαρακτηρισμός της θέσης τους.....	43
Πίνακας 3.1: Τοπικά μέγιστα της μέσης ωριαίας συγκέντρωσης PM10 και CO ανά σταθμό για τις περιόδους 2001-2012 και 2013-2014.....	61



Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 1.1: Οι κυριότεροι πρωτογενείς ατμοσφαιρικοί ρύποι	12
Σχήμα 1.2: Οι κυριότεροι δευτερογενείς ατμοσφαιρικοί ρύποι	12
Σχήμα 1.3 : Κατηγορίες και μεγέθη των αιωρούμενων σωματιδίων.....	25
Σχήμα 1.4 : Διάφορες μορφές των αιωρούμενων σωματιδίων.....	26
Σχήμα 2.1: Απεικόνιση μηχανισμού δημιουργίας θαλάσσιας αύρας.....	38
Σχήμα 2.2 : Μηχανισμός κυκλοφορίας κατά το σχηματισμό αύρας βουνού.....	39
Σχήμα 2.3 : Δίκτυο μετρητικών σταθμών ρύπων.....	43
Σχήμα 2.4 : Δίκτυο μετρητικών σταθμών αιωρούμενων σωματιδίων και μονοξειδίου του άνθρακα.....	44
Σχήμα 3.1 : Μέσες συγκεντρώσεις PM ₁₀ των σταθμών για τη χρονική περίοδο Δεκέμβριος 2013 και το Δεκέμβριο της περιόδου 2001-2012.....	48
Σχήμα 3.2 : Μέσες συγκεντρώσεις του CO των σταθμών για τη χρονική περίοδο Δεκέμβριος 2013 και το Δεκέμβριο της περιόδου 2001-2012.....	49
Σχήμα 3.3 : Μέσες συγκεντρώσεις των PM ₁₀ για το μήνα Ιανουάριο των χρονικών περιόδων 2014 καθώς και 2001-2012.....	50
Σχήμα 3.4 : Μέσες συγκεντρώσεις των CO για το μήνα Ιανουάριο των χρονικών περιόδων 2014 καθώς και 2001-2012.....	51
Σχήμα 3.5 : Μέσες συγκεντρώσεις των PM ₁₀ για το μήνα Φεβρουάριο των χρονικών περιόδων 2014 καθώς και 2001-2012.....	53
Σχήμα 3.6 : Μέσες συγκεντρώσεις των CO για το μήνα Φεβρουάριο των χρονικών περιόδων 2014 καθώς και 2001-2012.....	53
Σχήμα 3.7 : Μέσες συγκεντρώσεις των PM για το Δεκέμβριο του 2013 καθώς και της περιόδου 2001-2012.....	55
Σχήμα 3.8 : Μέσες συγκεντρώσεις των CO για το Δεκέμβριο του 2013 καθώς και της περιόδου 2001-2012.....	56



Σχήμα 3.9 : Μέσες συγκεντρώσεις των PM10 για τον Ιανουάριο του 2014 καθώς

και της περιόδου 2001-2012.....57

Σχήμα 3.10 : Μέσες συγκεντρώσεις των CO για τον Ιανουάριο του 2014 καθώς

και της περιόδου 2001-2012.....58

Σχήμα 3.11 : Μέσες συγκεντρώσεις των PM10 για τον Φεβρουάριο του 2014

καθώς και της περιόδου 2001-2012.....59

Σχήμα 3.12 : Μέσες συγκεντρώσεις του CO για τον Φεβρουάριο του 2014 καθώς

και της περιόδου 2001-2012.....60

Σχήμα 3.13: Μέγιστες συγκεντρώσεις PM10 για τη Σίνδο για τις δύο περιόδους.....63

Σχήμα 3.14: Μέγιστες συγκεντρώσεις CO για τη Σίνδο για τις δύο περιόδους.....64

Σχήμα 3.15: Μέγιστες συγκεντρώσεις PM10 για Κορδελιό τις δύο περιόδους.....65

Σχήμα 3.16: Μέγιστες συγκεντρώσεις CO για Κορδελιό για τις δύο περιόδους.....66

Σχήμα 3.17: Μέγιστες συγκεντρώσεις PM10 για Πανόραμα για τις δύο περιόδους..67

Σχήμα 3.18 : Συγκεντρώσεις PM10 και CO για το σταθμό της Σίνδου και του

Κορδελιού για την ημέρα 11 Ιανουαρίου 2014.....69

Σχήμα 3.19: Ραδιοβόληση για τη Θεσσαλονίκη για 11 Ιανουαρίου 2014 και

ώρα 12.00 UTC.....69

Σχήμα 3.20: Προγνωστικοί χάρτες γεωδυναμικού ύψους , θερμοκρασίας ,

υγρασίας και ανέμου για 00.00UTC και 12.00UTC.....71

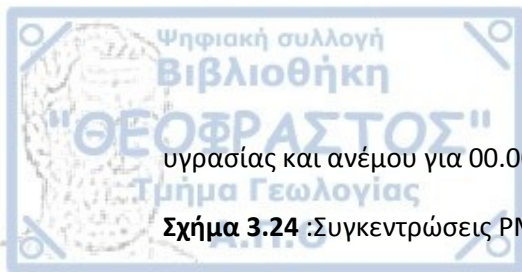
Σχήμα 3.21 : Συγκεντρώσεις PM10 και CO για το σταθμό της Σίνδου και του

Κορδελιού για την ημέρα 12 Ιανουαρίου 2014.....72

Σχήμα 3.22: Ραδιοβόληση για τη Θεσσαλονίκη για 12 Ιανουαρίου 2014 και

ώρα 12.00 UTC.....73

Σχήμα 3.23: Προγνωστικοί χάρτες γεωδυναμικού ύψους , θερμοκρασίας ,



υγρασίας και ανέμου για 00.00UTC και 12.00UTC.....74

Σχήμα 3.24 :Συγκεντρώσεις PM10 και CO για το σταθμό της Σίνδου και του

Κορδελιού για την ημέρα 13 Ιανουαρίου2014.....75

Σχήμα 3.25:Ραδιοβόληση για τη Θεσσαλονίκη για 13 Ιανουαρίου 2014 και

ώρα 12.00 UTC.....76

Σχήμα 3.26:Προγνωστικοί χάρτες γεωδυναμικού ύψους , θερμοκρασίας ,

υγρασίας και ανέμου για 00.00UTC και 12.00UTC.....77

Σχήμα 3.27 :Συγκεντρώσεις PM10 και CO για το σταθμό της Σίνδου και του

Κορδελιού για την ημέρα 14 Ιανουαρίου2014.....78

Σχήμα 3.28:Ραδιοβόληση για τη Θεσσαλονίκη για 14 Ιανουαρίου 2014 και

ώρα 12.00 UTC.....79

Σχήμα 3.29:Προγνωστικοί χάρτες γεωδυναμικού ύψους , θερμοκρασίας ,

υγρασίας και ανέμου για 00.00UTC και 12.00UTC.....80

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή

Το αντικείμενο αυτής της διατριβής ειδίκευσης είναι η μελέτη των κυριότερων ρύπων που προκύπτουν από τη χρήση καυσόξυλων στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης. Το πρώτο κεφάλαιο της διατριβής ξεκινά με την κατανόηση βασικών θεωρητικών εννοιών και συγκεκριμένα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, του ρύπου, των κυριότερων πηγών καθώς και τους χρόνους παραμονής τους. Στη συνέχεια επικεντρώνεται στην μελέτη των δύο κυριότερων ρύπων που προκύπτουν από την καύση βιομάζας, των PM10 σωματιδίων και του μονοξειδίου του άνθρακα. Ακόμη, μελετούνται τα βασικά χαρακτηριστικά τους καθώς και οι επιπτώσεις που έχουν στη ζωή των ανθρώπων αλλά και στο περιβάλλον .

1.1 Η έννοια της ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Ατμόσφαιρα ονομάζεται το αέριο τμήμα που περιβάλλει τη Γη, συγκρατείται λόγω της βαρύτητάς της και την ακολουθεί στο σύνολο των κινήσεών της. Εκτείνεται μέχρι αρκετές εκατοντάδες χιλιόμετρα πάνω από τη γη, αλλά το 99% σχεδόν του ατμοσφαιρικού αέρα βρίσκεται στα πρώτα 40 Km. Η σύσταση και η θερμοκρασία του αέριου αυτού μίγματος δεν είναι σταθερές, αλλά μεταβάλλονται σημαντικά με το ύψος.

Η ηλικία της γήινης ατμόσφαιρας ανέρχεται σε περίπου 4.6 δισεκατομμύρια χρόνια. Η αρχική σύσταση της ατμόσφαιρας διέφερε πολύ από την σημερινή και ήταν τοξική για τα έμβια όντα. Αυτή η αφιλόξενη ατμόσφαιρα υπέστη μεγάλες αλλαγές από την δράση πολλών χημικών, γεωλογικών και βιολογικών μηχανισμών. Σημαντικές διαφοροποιήσεις στη σύσταση έχουν παρουσιασθεί, κυρίως μετά τη βιομηχανική επανάσταση, στις συγκεντρώσεις κάποιων αερίων. Η σημερινή σύσταση της ατμόσφαιρας είναι η εξής:

Πίνακας 1.1: Η σημερινή σύσταση της ατμόσφαιρας

ΑΜΕΤΑΒΛΗΤΑ ΑΕΡΙΑ			ΜΕΤΑΒΛΗΤΑ ΑΕΡΙΑ		
ΑΕΡΙΟ	ΣΥΜΒΟΛΟ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΤ'ΟΓΚΟ	ΑΕΡΙΟ	ΣΥΜΒΟΛΟ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΤ'ΟΓΚΟ
ΜΟΡΙΑΚΟ ΑΖΩΤΟ	N_2	78,08	ΥΔΡΑΤΜΟΙ	H_2O	0,4
ΜΟΡΙΑΚΟ ΟΞΥΓΟΝΟ	O_2	20,95	ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ	CO_2	0,036
ΑΡΓΟ	Ar	0,93	ΜΕΘΑΝΙΟ	CH_4	0,00017
ΝΕΟΝ	Ne	0,0018	ΥΠΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ	N_2O	0,00003
ΗΛΙΟ	He	0,0005	ΟΖΟΝ	O_3	0,000004
ΜΟΡΙΑΚΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟ	H_2	0,00006			

(Μ. Λαζαρίδης 2005, Ατμοσφαιρική ρύπανση με στοιχεία μετεωρολογίας, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη)

Ατμοσφαιρική ρύπανση ονομάζεται η παρουσία ρύπων στην ατμόσφαιρα. Πρόκειται για κάθε είδους ουσιών, θορύβου ή ακτινοβολίας σε τέτοια ποσότητα, συγκέντρωση ή διάρκεια που είναι δυνατόν να εισέλθει στην ατμόσφαιρα είτε εσκεμμένα είτε διαμέσου κάποιας φυσικής διαδικασίας και να έχει αρνητικές συνέπειες στην ανθρώπινη υγεία, στους ζωντανούς οργανισμούς και ακόμη μπορεί να διαταραχθεί η οικολογική ισορροπία σε μεγάλη ή μικρότερη γεωγραφική κλίμακα. (Μελάς, Φυσική του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος, 2004). Είναι σημαντικό να αναφερθεί και ο «επίσημος» ορισμός της ρύπανσης, όπως καταγράφεται στην οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης 96/61 για την διαχείριση της ποιότητας του αέρα: **Ρύπος** χαρακτηρίζεται κάθε ουσία η οποία διοχετεύεται αμέσως ή εμμέσως από τον άνθρωπο στον αέρα του περιβάλλοντος και ενδέχεται να έχει επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία καθώς και στο περιβάλλον στο σύνολό του.

Για να εκφραστούν τα επίπεδα ρύπανσης χρησιμοποιούνται συνήθως δύο μονάδες συγκέντρωσης, είτε $\mu g/m^3$ είτε μέρη ανά εκατομμύριο όγκου ή απλά μέρη ανά εκατομμύριο (ppm). Συγκεκριμένα, ισχύουν τα εξής:

- Για την συγκέντρωση κατά βάρος: Μάζα ρύπου ανά μονάδα όγκου αέρα $\rightarrow \mu g/m^3$
- Για την συγκέντρωση κατά όγκο: Όγκος ρύπου ανά όγκος αέρα $\rightarrow$

ppm: μέρη στο εκατομμύριο - Όγκος ρύπου/10⁶ όγκους αέρα

ppb: μέρη στο δισεκατομμύριο - Όγκος ρύπου/109 όγκους αέρα

$$C^V(ppb)=10^3 C^V(ppm) \quad (\text{Σχέση 1.1})$$

Η σχέση των μονάδων συγκέντρωσης κατά βάρος και κατά όγκο είναι η εξής:

$$C^m = \frac{C^V * P * MB}{R * T} \quad (\text{Σχέση 1.2})$$

όπου C^m = Συγκέντρωση κατά βάρος

C^V = Συγκέντρωση κατά όγκο

P = Πίεση σε atm

MB = Μοριακό βάρος ρύπου

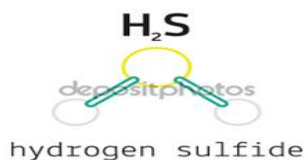
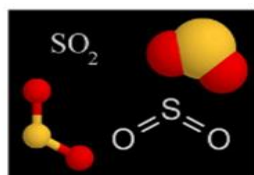
T = Θερμοκρασία σε K

R = Παγκόσμια σταθερά αερίων, $8.206 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

1.2 Τα είδη των ατμοσφαιρικών ρύπων

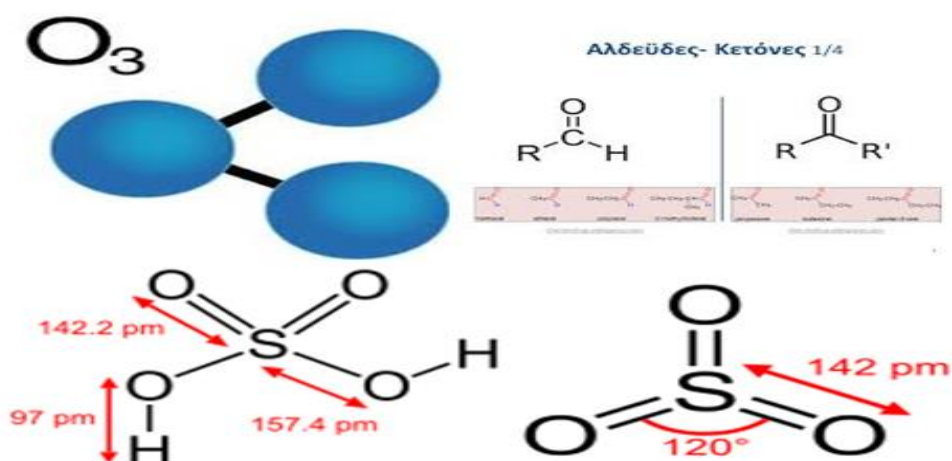
Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι ως προς τον τρόπο παραγωγής τους, διακρίνονται σε πρωτογενείς και δευτερογενείς.

Πρωτογενείς, ονομάζονται οι ρύποι που σχηματίζονται και απελευθερώνονται στο περιβάλλον απευθείας από τις πηγές τους. Τέτοιου είδους ατμοσφαιρικοί ρύποι είναι το διοξείδιο του θείου (SO_2), το υδρόθειο (H_2S), οι υδρογονάνθρακες, το μονοξείδιο του αζώτου (NO), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), ο μόλυβδος (Pb), ο αμίαντος ($\text{Mg}_6(\text{OH})_8\text{Si}_4\text{O}_{10}$), τα αιωρούμενα σωματίδια (PM) και ο καπνός.



Σχήμα 1.1: Οι κυριότεροι πρωτογενείς ατμοσφαιρικοί ρύποι (Πηγή: www.google.gr/search/pic)

Δευτερογενείς, ονομάζονται οι ρύποι που σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα μετά από μια σειρά χημικών αντιδράσεων των πρωτογενών ρύπων. Πολύπλοκες χημικές αντιδράσεις μεταξύ των οξειδίων του αζώτου, του οξυγόνου της ατμόσφαιρας και των υδρογονανθράκων, με την επίδραση του ηλιακού φωτός, της θερμοκρασίας και της υγρασίας έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία δευτερογενών ρύπων όπως το όζον (O_3), διάφορες αλδεΐδες και κετόνες και πολύπλοκα άλλα προϊόντα γνωστά και ως PAN (Νιτρικά Υπεροξυακετύλια), τα περισσότερα από τα οποία είναι τοξικά. Ως δευτερογενείς ρύποι θα μπορούσαν επίσης να θεωρηθούν και τα προϊόντα οξείδωσης των πρωτογενών ρύπων που περιέχουν θείο, όπως το τριοξείδιο του θείου (SO_3), το θειικό οξύ (H_2SO_4) και τα θειικά άλατα.



Σχήμα 1.2: Οι κυριότεροι δευτερογενείς ατμοσφαιρικοί ρύποι (Πηγή: www.google.gr/search/pic)

1.3 Πηγές ατμοσφαιρικών ρύπων

Οι πηγές της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι ποικίλες καθώς κάθε άνθρωπος μπορεί να αποτελέσει πηγή ατμοσφαιρικής ρύπανσης μέσω των καθημερινών του δραστηριοτήτων. Έτσι, οι πηγές των ρύπων ανάλογα με την προέλευσή τους μπορούν να διαχωριστούν σε φυσικές και ανθρωπογενείς.

Οι φυσικές πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι εκείνες που δεν προκαλούνται από ανθρώπινες δραστηριότητες, ενώ οι ανθρωπογενείς πηγές μπορούν να θεωρηθούν το αποτέλεσμα της ανθρώπινης δραστηριότητας (Χαΐνης, 2007).

Μια από τις σημαντικότερες φυσικές πηγές αποτελούν οι ηφαιστειακές εκρήξεις. Οι εκλύσεις μιας έκρηξης περιλαμβάνουν σωματίδια ύλης, καθώς και κάποια αέρια όπως διοξείδιο του θείου, υδρόθειο, μεθάνιο, φθορίδια. Σημαντικό είναι να τονιστεί ότι οι εκρήξεις ηφαιστειών μπορούν να είναι τέτοιου μεγέθους ώστε να έχουν αρνητικές επιπτώσεις για το περιβάλλον σε μεγάλη απόσταση από την ηφαιστειακή πηγή. Ακόμη, μέσω του αέρα νέφη ηφαιστειακής σωματιδιακής ύλης και αέρια μεταφέρονται για πολύ μεγάλα χρονικά διαστήματα.

Μια σημαντική πηγή φυσικών ρύπων είναι τα φυτά και τα δέντρα της Γης. Τα πράσινα φυτά παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην μετατροπή του διοξειδίου του άνθρακα σε οξυγόνο μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης και αποτελούν ίσως την κύρια πηγή εκπομπής υδρογονανθράκων για τον πλανήτη. Πάνω από τις δασικές περιοχές δημιουργείται το γαλάζιο σύννεφο ομίχλης, το οποίο προέρχεται σχεδόν όλο από ατμοσφαιρικές αντιδράσεις, στις οποίες λαμβάνουν μέρος πτητικές οργανικές ενώσεις που παράγονται από τα δέντρα του δάσους.

Άλλες φυσικές πηγές, όπως οι λίμνες με γλυκό ή αλμυρό νερό, έχουν συνήθως τοπικής κλίμακας επιπτώσεις στο περιβάλλον. Τα θειούχα αέρια από τις θερμές πηγές ανήκουν επίσης στην κατηγορία των φυσικών πηγών όπου η μυρωδιά τους είναι ιδιαίτερα έντονη κοντά στην πηγή αλλά εξαφανίζεται μερικά χιλιόμετρα μακρύτερα.

Μια άλλη τεράστια φυσική πηγή ρύπων αποτελούν οι ωκεανοί και οι θάλασσες. Οι ωκεανοί εκλύουν συνεχώς αεροζόλ στην ατμόσφαιρα με την μορφή σωματιδίων άλατος (NaCl), τα οποία είναι διαβρωτικά για τα μέταλλα και τις κατασκευές.

Σε πολλά μέρη του κόσμου εμφανίζονται ισχυροί άνεμοι που συχνά μετακινούν μεγάλες ποσότητες σκόνης και αποτελούν μια συνηθισμένη πηγή ατμοσφαιρικής ρύπανσης με φυσικό τρόπο. Ακόμα και μια σχετικά μικρή καταιγίδα τέτοιας υφής μπορεί να προκαλέσει τον έντονο διασκορπισμό της σκόνης στην ατμόσφαιρα.

Τέλος, σημαντική πηγή ατμοσφαιρικής ρύπανσης αποτελούν οι πυρκαγιές στα δάση και στις μεγάλες εκτάσεις. Τα αποτελέσματα των πυρκαγιών είναι οι μεγάλες ποσότητες ρύπων με τη μορφή καπνού, άκαυστων υδρογονανθράκων, μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακα, οξειδίων του αζώτου και ιπτάμενης τέφρας. Ακόμη, μπορεί να δημιουργηθεί νέφος το οποίο να προκαλέσει μείωση της ορατότητας και του ηλιακού φωτός σε πολύ μεγάλες αποστάσεις από το σημείο της φωτιάς.

Στη σύγχρονη κοινωνία η μεγάλη εξάρτηση του ανθρώπου από τη βιομηχανία για την παραγωγή των αναγκαίων προϊόντων διαβίωσης, έχει ως αποτέλεσμα την κατάταξη της βιομηχανίας σε έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες εκπομπής ανθρωπογενών ρύπων. Ένα μεγάλο ποσοστό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης προέρχεται από την βιομηχανική επεξεργασία πρώτων υλών για παραγωγή εξειδικευμένων προϊόντων και ενέργειας. Κάθε μια από αυτές τις διαδικασίες επεξεργασίας και χημικών μετατροπών έχει ως αποτέλεσμα μια πληθώρα παραπροϊόντων, που προέρχονται από ανεπιθύμητες παράλληλες ή επάλληλες αντιδράσεις, τα περισσότερα εκ των οποίων είναι έμμεσα ή άμεσα ρυπογόνοι παράγοντες για το περιβάλλον.

Οι υπηρεσίες κοινής ωφελείας αποτελούν βασικό παράγοντα στήριξης του σύγχρονου μοντέλου διαβίωσης. Ενδεικτικά μπορεί να αναφερθεί πως μια τυπική μονάδα παραγωγής ενέργειας από γαιάνθρακα, εκλύει περίπου 340,000 kg οξειδίων του θείου και 185,000 kg οξειδίων του αζώτου την ημέρα. Ωστόσο οι περισσότεροι πολίτες υποδεικνύουν τις υπηρεσίες κοινής ωφελείας ως πηγή ατμοσφαιρικής ρύπανσης χωρίς να αναλογίζονται ότι κάποιο ποσοστό ρύπανσης αναλογεί και στον κάθε ένα, λόγω της προσωπικής του εξυπηρέτησης από την υπηρεσία αυτή.

Έτσι, παρά τις μεγάλες βιομηχανίες και τις κεντρικές υπηρεσίες, υπάρχουν όμως και πολλές ατομικές πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης για τις οποίες ο κάθε άνθρωπος είναι υπεύθυνος: όπως τα αυτοκίνητα καθώς και οι οικιακές συσκευές (τζάκια, σόμπες, ψησταριές).

Πίνακας 1.2: Φυσικές και ανθρωπογενείς πηγές ατμοσφαιρικών ρύπων

ΠΗΓΕΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ	
ΦΥΣΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ	ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΠΗΓΕΣ
1)ΟΙ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΕΣ ΕΚΡΗΞΕΙΣ	1)ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΕΣ
2)ΤΑ ΦΥΤΑ ΚΑΙ ΤΑ ΔΕΝΤΡΑ	2)ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
3)ΟΙ ΛΙΜΝΕΣ/ΩΚΕΑΝΟΙ	3)ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ
4)ΑΝΕΜΟΙ	4)ΘΕΡΜΑΝΣΗ
5)ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ	

1.4 Χρόνοι παραμονής ρύπων

Στην ατμοσφαιρική ρύπανση είναι χρήσιμο να είναι γνωστοί οι χαρακτηριστικοί χρόνοι με τους οποίους τα διάφορα χημικά στοιχεία παραμένουν στην ατμόσφαιρα. Για τον λόγο αυτό ορίζονται διάφορες παράμετροι, όπως ο χρόνος παραμονής και ο χρόνος ημιζωής, οι οποίες αποτελούν ένα μέτρο του μέσου χρόνου τον οποίο ένα αντιπροσωπευτικό μόριο μιας συγκεκριμένης ουσίας θα παραμείνει στην ατμόσφαιρα προτού απομακρυνθεί από διάφορες φυσικές ή χημικές διεργασίες. (Μελάς, Φυσική ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος, 2004).Οι συγκεντρώσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων στην ατμόσφαιρα επηρεάζονται από τεσσάρων ειδών διεργασίες:

- **Εκπομπές:** Οι ρύποι εκπέμπονται συνεχώς από μια ποικιλία πηγών ρύπανσης, τόσο ανθρωπογενών όσο και φυσικών.
- **Χημικούς μετασχηματισμούς:** Οι χημικές αντιδράσεις στην ατμόσφαιρα μπορούν να οδηγήσουν τόσο στο σχηματισμό όσο και στην απομάκρυνση ρύπων.
- **Διασπορά:** Οι ρύποι μεταφέρονται μακριά από την πηγή λόγω των ανέμων, ενώ υπεύθυνοι για την κατακόρυφη μεταφορά τους είναι οι τυρβώδεις στρόβιλοι.

- Απόθεση: Οι ρύποι τελικά αποτίθενται στην επιφάνεια της γης, με τη μορφή είτε της ξηρής είτε της υγρής και βαρυτικής εναπόθεσης . Ο ρυθμός διαφυγής τους στο διάστημα θεωρείται αμελητέος.

Ο χρόνος παραμονής ή χρόνος ζωής, τ , του ρύπου X ορίζεται σαν ο μέσος χρόνος κατά τον οποίο ένα μόριο του X παραμένει στο «κουτί». Η έννοια του ατμοσφαιρικού «κουτιού» χρησιμοποιείται για να περιγράψει τις διεργασίες μέσα σε μια επιλεγμένη ατμοσφαιρική περιοχή (όπως π.χ. μια αστική περιοχή) ή και σε ολόκληρη την ατμόσφαιρα. Το «κουτί» σε πολλές περιπτώσεις ονομάζεται δεξαμενή και οι ρύποι θεωρούνται ότι είναι ομοιογενώς κατανεμημένοι μέσα σε αυτό. Έτσι, ο χρόνος αυτός εκφράζεται σαν ο λόγος της μάζας m (kg) του X ως προς τον ρυθμό απομάκρυνσής του (kg s^{-1}):

$$\tau = \frac{m}{F_{\text{out}} + K + A} \quad (\text{Σχέση 1.3})$$

Αν το «κουτί» καλύπτει όλη την ατμόσφαιρα και εξεταστεί η μέση κατάσταση για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα (ακέραιο πολλαπλάσιο του έτους) τότε ο ρυθμός απομάκρυνσης του ρύπου θα πρέπει να ισούται με τον ρυθμό παραγωγής. Αυτό έχει σαν συνέπεια ότι

$$F_{\text{out}} + E = F_{\text{out}} + K \quad (\text{Σχέση 1.4})$$

Έτσι, ο χρόνος παραμονής δίνεται από τη σχέση:

$$\tau = \frac{m}{E + \Pi} \quad (\text{Σχέση 1.5})$$

Ο χρόνος παραμονής των ρύπων στην ατμόσφαιρα εξαρτάται κυρίως από τις φυσικές του ιδιότητες και τη χημική του δραστηριότητα. Για τα σωματίδια μεγάλη σημασία έχει το μέγεθός τους γιατί τα μεγάλα μεγέθους σωματίδια έχουν μεγάλες ταχύτητες βαρυτικής καθίζησης. Σωματίδια τα οποία έχουν μέγεθος μικρότερο από $1 \mu\text{m}$ ή είναι δυσδιάλυτα στο νερό (π.χ. ^{30}Pb , Hg) έχουν χρόνους παραμονής σημαντικά μεγαλύτερους της μίας εβδομάδας.

Πίνακας 1.3: Μέσοι χρόνοι παραμονής στην ατμόσφαιρα διαφόρων ενώσεων

Ουσία	Ονομασία	Χρόνος παραμονής
O ₃	Όζον	0.4-90 ημέρες
NO	Μονοξείδιο του αζώτου	4-5 ημέρες
NO ₂	Διοξείδιο του αζώτου	2-8 ημέρες
NH ₄	Αμμωνία	7-19 ημέρες
H ₂ S	Υδρόθειο	0.08-2 ημέρες
SO ₂	Διοξείδιο του θείου	0.01-7 ημέρες
CO	Μονοξείδιο του άνθρακα	0.9-2.7 έτη
CCl ₄	Χλωροφθοράνθρακες	1 έτος
CH ₄	Μεθάνιο	1.5-2 έτη
Freon	Φρέον	16 έτη
CO ₂	Διοξείδιο του άνθρακα	2-10 τη

(Πηγή: <http://lap.physics.auth.gr/>)

1.5 Χρήση ξυλείας-βιομάζας

1.5.1 Γενικά

Ως βιομάζα ορίζεται η ύλη που έχει βιολογική προέλευση. Σε αυτήν περιλαμβάνεται οποιοδήποτε υλικό προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από τον φυτικό κόσμο. Πιο συγκεκριμένα, ως βιομάζα θεωρούνται τα φυτικά και δασικά υπολείμματα (καυσόξυλα, κλαδοδέματα, άχυρα, πριονίδια, ελαιοπυρήνες, κουκούτσια), τα ζωικά απόβλητα (κοπριά, άχρηστα αλιεύματα), τα φυτά που καλλιεργούνται στις ενεργειακές φυτείες για να χρησιμοποιηθούν ως πηγή ενέργειας, καθώς επίσης και τα αστικά απορρίμματα και τα υπολείμματα της βιομηχανίας τροφίμων. Οι κυριότερες χρήσεις της βιομάζας είναι για:

- ✓ Θέρμανση θερμοκηπίων
- ✓ Θέρμανση κτιρίων με καύση βιομάζας σε ατομικούς/κεντρικούς λέβητες
- ✓ Παραγωγή ενέργειας σε γεωργικές βιομηχανίες
- ✓ Παραγωγή ενέργειας σε βιομηχανίες ξύλου
- ✓ Τηλεθέρμανση που είναι η θέρμανση χώρων, καθώς και η προμήθεια θερμού νερού
- ✓ Παραγωγή ενέργειας σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού και Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμάτων (ΧΥΤΑ)

Η βιομάζα μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο καθώς αποτελεί μια σημαντική, ανεξάντλητη και φιλική προς το περιβάλλον πηγή ενέργειας, η οποία είναι δυνατό να συμβάλλει σημαντικά στην ενεργειακή επάρκεια, αντικαθιστώντας τα συνεχώς εξαντλούμενα αποθέματα ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο, άνθρακας, φυσικό αέριο). Η χρήση της βιομάζας για ενέργεια σήμερα υπολογίζεται στο 14% περίπου της παγκόσμιας πρωτογενούς ενέργειας, με το μεγαλύτερο ποσοστό να χρησιμοποιείται στις αναπτυσσόμενες χώρες όπου η βιομάζα καλύπτει μέχρι το 1/3 των ενεργειακών αναγκών των κατοίκων. Στη χώρα μας, μόλις το 3% περίπου των ενεργειακών αναγκών καλύπτεται με τη χρήση της διαθέσιμης βιομάζας (Πηγή: Κέντρο ανανεώσιμων πηγών και εξοικονόμησης ενέργειας-ΚΑΠΕ)

1.5.2 Η ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας

Η βιομάζα που παράγεται κάθε χρόνο στον πλανήτη υπολογίζεται ότι ανέρχεται σε 172x109 τόνους ξηρού υλικού (Φουντάς & Μπαρτζάνας, 2007), με ενεργειακό περιεχόμενο δεκαπλάσιο της ενέργειας που καταναλώνεται παγκοσμίως στο ίδιο διάστημα. Το τεράστιο αυτό ενεργειακό δυναμικό παραμένει κατά το μεγαλύτερο μέρος του ανεκμετάλλευτο, καθώς, σύμφωνα με πρόσφατες εκτιμήσεις, μόνο το 1/7 της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας καλύπτεται από τη βιομάζα (Πηγή :ΚΑΠΕ) και αφορά κυρίως τις παραδοσιακές χρήσεις της (όπως καυσόξυλα).

Οι δυνατότητες της βιομάζας για το έτος 2050 για την Ευρωπαϊκή Ένωση των 25 υπολογίζεται να είναι περίπου 600.000 kt/έτος (Κομπελίτου & Κοσκινά , 2004). Η ολική εγκατεστημένη ισχύς από βιομάζα ήταν 17 GW το 2005 στην Ευρωπαϊκή Ένωση των 27 (EurObserv'ER, 2008). Στην Ελλάδα, το ξύλο με 39,488 TJ συνεισφορά στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας, αποτελεί την πιο «ισχυρή» μορφή βιομάζας (ΚΑΠΕ). Οι κυριότερες εφαρμογές παραγωγής θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα είναι η θέρμανση θερμοκηπίων και κτηνοτροφικών μονάδων, η ξήρανση γεωργικών προϊόντων, η κάλυψη αναγκών θερμότητας, ψύξης και ηλεκτρισμού σε γεωργικές ή άλλες βιομηχανίες, που βρίσκονται κοντά σε πηγές παραγωγής βιομάζας, η ηλεκτροπαραγωγή στους τόπους παραγωγής της βιομάζας, η κάλυψη αναγκών τηλεθέρμανσης και τηλεψύξης χωριών και πόλεων που βρίσκονται κοντά σε τόπους παραγωγής βιομάζας.

1.5.3 Άμεση καύση Βιομάζας

Η άμεση καύση αποτελεί την κύρια διεργασία για την εκμετάλλευση της βιομάζας. Οι θερμοκρασίες κυμαίνονται γύρω στους 1000-1500°C, ενώ η ανάφλεξη της βιομάζας απαιτεί θερμοκρασίες τουλάχιστον 550°C. Η βιομάζα μπορεί να καεί σε μικρής κλίμακας μοντέρνους λέβητες ατμού για σκοπούς θέρμανσης ή σε μεγαλύτερους λέβητες για την παραγωγή ηλεκτρισμού ή συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας (CHP). Το μεγαλύτερο ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας βασίζεται στο κύκλο Rankine (στρόβιλος ατμού). Η ενέργεια που απελευθερώνεται μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση ή ηλεκτρισμό, για μαγείρεμα, για θέρμανση χώρων και στην βιομηχανία. Η θερμική ενέργεια που αποδίδει η βιομάζα κατά τη καύση της εξαρτάται από τη θερμογόνο δύναμή της που είναι συνάρτηση της περιεκτικότητάς της σε άνθρακα. Δύο πολύ σημαντικές διαδικασίες είναι η Αεριοποίηση και η Πυρόλυση Βιομάζας.

➤ **Αεριοποίηση Βιομάζας:** αποτελεί μία διεργασία μερικής οξείδωσης, κατά την οποία, μία στερεά, αέρια ή υγρή πρώτη ύλη αντιδρά με οξυγόνο ή και ατμό και μετατρέπεται σε αέριο σύνθεσης, το οποίο αποτελείται κυρίως από υδρογόνο, μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα. Ανάλογα με το είδος του αεριοποιητή και των συνθηκών αντίδρασης, είναι δυνατόν να παραχθούν αέρια καύσιμα χαμηλής, μέσης ή υψηλής θερμογόνου δύναμης. Η αεριοποίηση της βιομάζας είναι η πλέον σύγχρονη μέθοδος παραγωγής ενέργειας.

➤ **Πυρόλυση Βιομάζας:** Ως πυρόλυση αναφέρεται η θερμική αποικοδόμηση των ανθρακούχων ενώσεων σε θερμοκρασίες μεταξύ 400-800°C, είτε με πλήρη απουσία οξυγόνου, είτε με μερική παρουσία του, τόση ώστε η αεριοποίηση να μην είναι σημαντική. Η διεργασία είναι πολύ αργή και με μικρό βαθμό απόδοσης. Τα προϊόντα της πυρόλυσης μπορεί να είναι αέρια (πυρολυτικά αέρια), υγρά (πυρολυτικά υγρά) ή στερεά (ξυλάνθρακας), ενώ οι σχετικές αναλογίες κάθε προϊόντος εξαρτώνται από τη μέθοδο της πυρόλυσης και τις παραμέτρους αντίδρασης (θερμοκρασία, χρόνο παραμονής αερίων και ταχύτητα ψύξης τους). Η θερμαντική αξία του αερίου που παράγεται κατά την πυρόλυση της βιομάζας κυμαίνεται στα 1780-2500 Kcal/kg (Βουρδούμπας, 2002).

Τα καυσόξυλα είναι τεμάχια συμπαγούς ξύλου και ποικίλου μήκους ανάλογα με τον τύπο εγκατάστασης θέρμανσης για τον οποίο προορίζονται. Τα καυσόξυλα που προορίζονται για καύση σε σόμπες είναι κατεργασμένα σε μικρότερα τεμάχια, σε αντίθεση με όσα προορίζονται για τζάκια, τα οποία συνήθως διατίθενται σε μεγαλύτερα κομμάτια. Το κύριο πλεονέκτημά τους είναι ότι είναι υλικό διαθέσιμο παντού, ενώ μειονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι απαιτείται χειρωνακτική φόρτωσή τους και υπάρχει δυσκολία αποθήκευσής τους. Η απόδοση καύσης τους δεν ξεπερνά το 75 % ,ενώ η ανακτώμενη ενέργεια από τη χρήση καυσόξυλων είναι της τάξης των 3kW- 70kW. Τα ξύλα κωνοφόρων δέντρων, όπως πεύκο και έλατο, καίγονται γρήγορα και χρησιμοποιούνται ως προσάναμμα. Η δρυς και η ελιά είναι καλό να προτιμούνται για συνεχή καύση γιατί καίγονται αργά και αποδοτικά. Η οξιά είναι επίσης αργή, δίνει εντονότερη φλόγα, ενώ παράγει λιγότερο καπνό σε σχέση με τα κωνοφόρα.

1.5.5 Εκπομπή ρύπων από την καύση ξυλείας-βιομάζας

Η εκπομπή ρύπων από την οικιακή καύση βιομάζας εξαρτάται από ένα σύνολο παραγόντων όπως η συσκευή καύσης (τζάκι με ανοιχτή εστία, σόμπα, ενεργειακό τζάκι), η καύσιμη ύλη (ξύλο, συσσωμάτωμα ξύλου), η καμινάδα (σωστή κατασκευή, συντήρηση). Στο μεγαλύτερο μέρος τους, οι ρύποι που εκπέμπονται από τα τζάκια οφείλονται στις επικρατούσες συνθήκες ατελούς καύσης. Μεταξύ άλλων, περιλαμβάνουν αιωρούμενα σωματίδια (PM), στο μεγαλύτερο μέρος τους με διαμέτρους μικρότερες των 10μm, μονοξείδιο του άνθρακα (CO), οξείδια του θείου (SOx), οξείδια του αζώτου (NOx) και πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC). Κατά κανόνα, στα παραδοσιακά τζάκια οι ποσότητες εκπεμπόμενης άκαυτης ύλης είναι σημαντικά αυξημένες σε σχέση με άλλες διατάξεις καύσης (σόμπες, καυστήρες), λόγω απουσίας ελέγχου της ροής παρεχόμενου αέρα αλλά και οποιασδήποτε δευτερογενούς καύσης.

Μια οικογένεια ιδιαίτερα σημαντικών ρύπων που εκπέμπονται κατά την καύση ξύλου είναι οι λεγόμενοι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs), συμπεριλαμβανομένου και του γνωστού καρκινογόνου

βενζοπυρενίου (BaP). Οι PAH σχηματίζονται κατά την καύση από ελεύθερες ρίζες που δημιουργούνται στην περιοχή της φλόγας, κυρίως σαν αποτέλεσμα της ατελούς καύσης. Οι αναγωγικές συνθήκες στην περιοχή απαγωγής των απαερίων ευνοούν στη συνέχεια τον σχηματισμό μεγαλύτερων αλυσίδων, που με τη σειρά τους μπορούν να σχηματίσουν πολύπλοκους υδρογονάνθρακες, όπως οι PAH.

Οι καύσεις σε οικιακές διατάξεις βιομάζας (τζάκια, σόμπες) παράγουν μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα (CO_2), μεθανίου (CH_4) και υποξειδίου του αζώτου (N_2O). Το μεγαλύτερο μέρος του άνθρακα που περιέχεται στο καύσιμο μετατρέπεται σε CO_2 κατά την καύση, αλλά λόγω των συνθηκών καύσης (χαμηλή θερμοκρασία, περίσσεια αέρα) παρατηρείται εκπομπή μονοξειδίου του άνθρακα σε δυσανάλογα μεγάλο ποσοστό, σε σχέση με τους καυστήρες πετρελαίου. Η εκπομπή CO έχει βέβαια σαν αποτέλεσμα την ελαφρά μείωση του εκπεμπόμενου CO_2 , σε σχέση με άλλα είδη καυσίμων και καύσεων. Θα πρέπει να σημειωθεί, βέβαια, ότι οι εκπομπές CO_2 καθαυτές δεν επιβαρύνουν το συνολικό ατμοσφαιρικό ισοζύγιο αερίων θερμοκηπίου, εφόσον αντισταθμίζονται από δέσμευση ατμοσφαιρικού CO_2 από παράλληλη καλλιέργεια βιομάζας, ανάπτυξη δασών κλπ.

Από τα παραπάνω καθίσταται προφανές, ότι η κύρια βελτίωση στις εκπομπές σωματιδίων και αερίων ρύπων μπορεί να προέλθει μέσα από τη βελτίωση των συνθηκών καύσης. Η ποιότητα και αποδοτικότητα της καύσης σε τζάκια και σόμπες γενικά βελτιώνεται όσο αυξάνει ο ρυθμός καύσης και η ένταση της φλόγας. Ένας τρόπος βελτίωσης των εγκαταστάσεων είναι η προσθήκη μιας διάταξης δευτερεύουσας καύσης, όπου τα προϊόντας της πρωτογενούς καύσης διοχετεύονται και αναμιννύονται με προθερμασμένο αέρα.

1.6 Μελέτες της ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Η οικονομική ύφεση που μαστίζει την Ευρώπη από το 2008 είχε μεγάλη επίπτωση στην ποιότητα του αέρα σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες. Έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές αρκετές μελέτες με τη χρήση in-situ (Cusack et al. 2013; Lyamani et al. 2011) και με δορυφορικές μετρήσεις (Castellanos and Boersma, 2012), αποκαλύπτοντας σημαντική μείωση των ατμοσφαιρικών ρύπων που αποδίδεται στη μείωση της κατανάλωσης καυσίμων, ενώ από την

άλλη πλευρά, η εκτεταμένη χρήση της βιομάζας αντί του πετρελαίου για οικιακή θέρμανση, έχουν οδηγήσει σε σοβαρά επεισόδια νέφος κατά τη διάρκεια του χειμώνα (Ruxbaum et al. 2007, Favez et al. 2009).

Στην Ελλάδα, η οικονομική ύφεση έχει επηρεάσει πολύ τη γενική παραγωγικότητα, προκαλώντας αλλαγές στον τομέα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, κυρίως στις μεγάλες πόλεις. Από το 2011, όταν η οικονομική κρίση στην Ελλάδα επηρέασε την τιμή του πετρελαίου, με αποτέλεσμα μεγάλο μέρος του πληθυσμού της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης σταδιακά να στραφούν στη χρήση της σόμπας ξύλου και τζακιών κατά τους χειμερινούς μήνες, ως κύρια θέρμανση των κατοικιών τους.

Η πιο πρόσφατη έρευνα από την Ελληνική Στατιστική Αρχή διεξήχθη το 2011-12, ανέφερε ότι η κύριες πηγές θέρμανσης στην Ελλάδα είναι: τα ορυκτά καύσιμα (πετρέλαιο, 64%), η βιομάζα (12%), η ηλεκτρική ενέργεια (12%) και το φυσικό αέριο (9%). Επιπλέον, το 32% των ατόμων που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα, μπορούν επίσης να καίνε ξύλα σε τζάκια. Τζάκια υπάρχουν κυρίως στα νέα κτίρια (που κατασκευάστηκαν μετά το 2000). Ο καπνός από την καύση του ξύλου κατά τη διάρκεια της νύχτας σε συνδυασμό με την ειδική τοπογραφία της Αθήνας (που περιβάλλεται από τρία βουνά προς τα βόρεια, δυτικά και βορειοανατολικά που ευνοούν την συσσώρευση των ατμοσφαιρικών ρύπων) και ρηχό ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα κατά τη διάρκεια της νύχτας (Kallos et al. 1993; Kassomenos et al. 1995, Φουρτζίου et al. 2016) προκάλεσε σοβαρά επεισόδια νέφους.

Το CO παράγεται με μερική οξείδωση του υδρογονανθράκων, έχει σημαντικό ρόλο στη χημεία της τροπόσφαιρας και αποτελεί ένα σημαντικότερο αέριο της ατμόσφαιρας (Crutzen and Zimmermann, 1991). Στο αστικό περιβάλλον της Αθήνας οι κύριες πηγές CO είναι τα αυτοκίνητα (Chaloulakou et al. 2003) και πιο πρόσφατα η καύση βιομάζας (Paraskevopoulou et al. 2004). Η απογραφή των εκπομπών για την Ελλάδα και την ευρύτερη περιοχή της Αθήνας που πραγματοποιήθηκε από Fameli και Ασημακόπουλο (2016) έδειξε ότι για τους οικιακές εκπομπές, το 67% του εκπεμπόμενου CO στην Ελλάδα προέρχεται από τζάκια.

Συνολικά, η Αθήνα είναι μια μεγαλούπολη που χαρακτηρίζεται από μεγάλη αφθονία ατμοσφαιρικών ρύπων και συχνά επεισόδια ρύπανσης. Η ατμοσφαιρική ρύπανση της Αθήνας έχει αποτελέσει αντικείμενο πολλών μελετών (Ζιώμας et al. 1998; Καλαμπόκας et al. 1999).

Οι εξατμίσεις των οχημάτων, η βιομηχανία και κεντρική θέρμανση κατά τους χειμερινούς μήνες είναι οι κύριες πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης στη πόλη (Λάλας et al. 1982). Μείωση της ρύπανσης έχει αναφερθεί κατά τη διάρκεια του 1984-1993 λόγω των μέτρων που λαμβάνονται για τη βελτίωση του αέρα της πόλης (Fenger et al. 2013) . Αποτέλεσμα της παγκόσμιας κρίσης ήταν η μείωση της βιομηχανικής δραστηριότητας και της χρήσης του οχήματος από τη μία και από την άλλη πλευρά η αύξηση της καύσης ξύλου για τη θέρμανση των κατοικιών.

Επεισόδια που οφείλονται στην καύση της βιομάζας έχουν επίσης αναφερθεί στη δεύτερη πιο πυκνοκατοικημένη πόλη της Ελλάδας, Θεσσαλονίκη (Saffari et al. 2013). Τέτοια επεισόδια νέφος μπορεί να έχουν σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία του πληθυσμού (Beeson et al. 1998). Η ατμοσφαιρική ρύπανση σε γενικές γραμμές αποτελεί σημαντικό περιβαλλοντικό κίνδυνο και επηρεάζει την υγεία του ανθρώπου (Βουτσά et al. 2015, Δημητρίου et al. 2013; Kampa and Kastanas 2008).

1.7 Αιωρούμενα σωματίδια

Με τον όρο «αιωρούμενη σωματιδιακή ύλη» (particulate matter, PM) ή «αιωρούμενα σωματίδια» περιγράφονται τα στερεά ή υγρά σωματίδια , με μέγεθος μεγαλύτερο από αυτό των απλών μορίων (περίπου $2 \cdot 10^{-4}$ μm σε διάμετρο), αλλά μικρότερο από 500 μm . Τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν διαφορετικά μορφολογικά, χημικά, φυσικά και θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά. Στην ατμόσφαιρα έχουν ανιχνευθεί συγκεντρώσεις αιωρουμένων σωματιδίων από μερικά $\mu\text{g}/\text{m}^3$ έως και αρκετές εκατοντάδες $\mu\text{g}/\text{m}^3$ σε διάφορες επιβαρυμένες ατμοσφαιρικά περιοχές (Seinfeld and Pandis 2006; Wark et al. 1998; Manahan 1994).

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι τα σωματίδια στην ατμόσφαιρα διαφέρουν από τα αέρια σε δύο σημεία. Πρώτον τα σωματίδια αποτελούνται από μια συνάθροιση μορίων και ατόμων που συνδέονται με δεσμούς μεταξύ τους, ενώ τα αέρια αποτελούνται από ξεχωριστά άτομα ή μόρια και είναι διαχωρισμένα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα σωματίδια να έχουν

μέγεθος μεγαλύτερο από τα άτομα και τα μόρια των αερίων. Κατά δεύτερον, σε αντίθεση με τα αέρια τα σωματίδια βρίσκονται σε υγρή ή στερεή φάση.

1.8 Μέγεθος αιωρούμενων σωματιδίων

Το μέγεθος των αιωρούμενων σωματιδίων είναι μια πολύ σημαντική παράμετρος αφού πολλές ιδιότητες εξαρτώνται από αυτό. Το μέγεθος συνήθως περιγράφεται από την αεροδυναμική διάμετρο του σωματιδίου. Με τον όρο αεροδυναμική ή ισοδύναμη διάμετρος εννοείται η διάμετρος του σωματιδίου που αντιστοιχεί σε σφαιρικό σωματίδιο μοναδιαίας πυκνότητας του οποίου η τελική ταχύτητα καθίζησης έχει την ίδια τιμή με τη ταχύτητα που θα έχει ένα πραγματικό σωματίδιο (Allen,1997). Η διάμετρος αυτή κυμαίνεται μεταξύ 0,001 και 10 μm . Με βάση το μέγεθός τους, τα σωματίδια ταξινομούνται στις παρακάτω κατηγορίες:

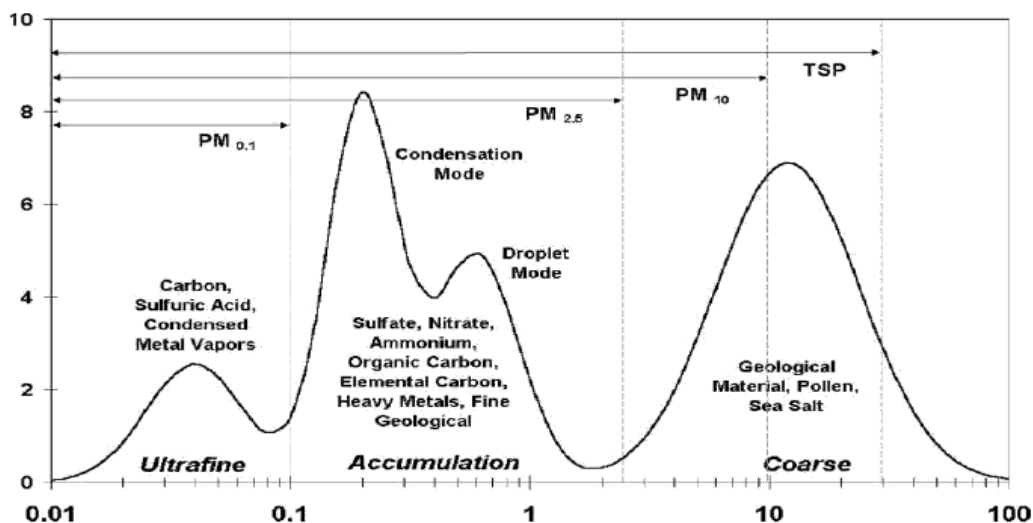
- α) Πυρήνες Aitken με διάμετρο μικρότερη των 0,2 μm
- β) Μεγάλοι πυρήνες με διάμετρο $0,2\mu\text{m} < d < 2\mu\text{m}$
- γ) Γιγάντιοι πυρήνες με διάμετρο $d > 2\mu\text{m}$.

Ωστόσο, υπάρχουν τρεις κύριες κατηγορίες μεγεθών σωματιδίων (Μελάς, Καταγραφή και μελέτη αιωρούμενων σωματιδίων στο Πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης, 2007). Αυτές είναι η εξής:

- **TSP** : Ολικά αιωρούμενα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των 100 μm (και συγκεκριμένα $d=20-50 \mu\text{m}$) (**T**otal **S**uspended **P**articulate **m**atter)
- **PM10** : Αιωρούμενα σωματίδια – γνωστά και ως **PM (Particulate Matter)** με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη από 10 μm (εισπνεύσιμα)
- **PM2.5** : Αιωρούμενα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη από 2,5 μm (αναπνεύσιμα).

Από τις παραπάνω κατηγορίες, τα αιωρούμενα σωματίδια τα οποία αποτελούν πολύ επικίνδυνους αέριους ρύπους είναι τα PM10 καθώς και τα PM2.5. Τα σωματίδια αυτά

προκαλούν ποικίλα προβλήματα στις ευπαθείς ομάδες του πληθυσμού όπως είναι οι ηλικιωμένοι, οι άνθρωποι που πάσχουν από διάφορες ασθένειες και τα παιδιά.



Σχήμα 1.3 : Κατηγορίες και μεγέθη των αιωρούμενων σωματιδίων. Στον κάθετο άξονα απεικονίζεται η σχετική συγκέντρωση μάζας ενώ ο οριζόντιος άξονας είναι η αεροδυναμική διάμετρος σωματιδίου (Central Pollution Control Board, Παπαγεωργίου 2012)

1.9 Κατάταξη αιωρούμενων σωματιδίων

1.9.1 Κατάταξη με κριτήριο τον τρόπο σχηματισμού

Τα αιωρούμενα σωματίδια, ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού τους, εμφανίζονται στην ατμόσφαιρα με τις εξής μορφές (Μπάης, Φυσική της ατμόσφαιρας, μέρος II, ατμοσφαιρική σύσταση, παγκόσμιοι κύκλοι, χρόνοι ζωής και αιωρούμενα σωματίδια, 2005)(Σχήμα 1.4):

- **Σκόνη (dust)** : Αποτελείται από μεγάλα σωματίδια μεγέθους από 1 έως 10 000μm, που προκύπτουν από τη διάβρωση ή τον κατακερματισμό στερεών μαζών.
- **Καπνός(fume)**: Στερεά σωματίδια με μέγεθος από 0,5 έως 1 μm και προκύπτουν από συμπύκνωση ατμών, κυρίως από πτητικές ουσίες ή ως αποτέλεσμα οξειδωτικών αντιδράσεων.
- **Ομίχλη(fog)**: Αποτελείται από σταγονίδια ή υγρά σωματίδια που δημιουργούνται από τη συμπύκνωση ατμών, με τυπικό μέγεθος από 0,1 έως 10μm.

- **Ιπτάμενη τέφρα(fly ash):** Λεπτόκοκκα σωματίδια στερεών καυσίμων που εκπέμπονται από τους καπνοδόχους κατά την καύση του κάρβουνου.
- **Αχλός(haze):** Μικρά σωματίδια ή μείγμα υδροσταγονιδίων, ρύπων και σκόνης, τα οποία μειώνουν την ορατότητα.
- **Αιθάλη(soot):** Πρόκειται για συσσώρευση σωματιδίων άνθρακα που δημιουργούνται από την ατελή καύση ανθρακικών ενώσεων.
- **Σπρέι(spray) :** Πρόκειται για υγρά σωματίδια που μορφοποιούνται από το ράντισμα υγρών, όπως φυτοφάρμακα ή παρασιτοκτόνα με τυπικό μέγεθος από 0,1 έως 10μ.



Αφρικανική σκόνη



Καπνός Καρέας



Ομίχλη στη Φλώρινα

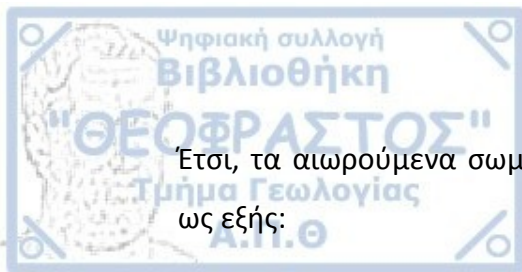


Έκρηξη του Όρους Tambora στην Ινδονησία

Σχήμα 1.4 Διάφορες μορφές των αιωρούμενων σωματιδίων

1.9.2 Κατάταξη με κριτήριο το μέγεθος

Τα σωματίδια έχουν διάφορα σχήματα και έτσι είναι αδύνατη η έκφραση κοινής παραμέτρου μεγέθους, καθώς από αυτή την παράμετρο εξαρτώνται αρκετές ιδιότητες των σωματιδίων όπως ο όγκος, η μάζα ή η ταχύτητα εναπόθεσης. Συνήθως ως κριτήριο κατάταξης χρησιμοποιείται το μέγεθος της αεροδυναμικής διαμέτρου του σωματιδίου.



Έτσι, τα αιωρούμενα σωματίδια ανάλογα με αυτή τη διάμετρο μπορούν να διαχωριστούν ως εξής:

- Στα Λεπτόκοκκα Σωματίδια (Fine)
- Στα Χονδρόκοκκα Σωματίδια (Coarse)

Όσον αφορά τα λεπτόκοκκα σωματίδια πρόκειται για σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μέχρι $2,5\mu\text{m}$ και παράγονται δευτερογενώς από αέριες ενώσεις. Χωρίζονται σε δύο κατηγορίες.

- I. **Υποκατηγορία πυρήνα (nuclei mode / nuclei range)** → Είναι σωματίδια με μέγεθος από $0,01$ έως $0,05\mu\text{m}$ και προέρχονται άμεσα από πηγές καύσης ή είναι συμπυκνώματα προϊόντων καύσης. Η υποκατηγορία αυτή χωρίζεται στις επόμενες δύο ομάδες:
 - *Μεταβατικά σωματίδια πυρήνα (Aitken Nuclei)*. Είναι ομάδα σωματιδίων πυρήνα που παρουσιάζει τοπικό μέγιστο στην κατανομή κατά πλήθος πάνω από τα 15nm .
 - *Υπερλεπτόκοκκα σωματίδια πυρήνα (Ultra-fine Nuclei)*. Πρόκειται για τα υπόλοιπα σωματίδια πυρήνα και παρουσιάζουν τοπικό μέγιστο στην κατανομή κατά πλήθος κάτω από τα 15nm .
- II. **Υποκατηγορία συσσώρευσης (accumulation range)** → Τα σωματίδια αυτά έχουν μέγεθος από $0,05$ έως $2,5\mu\text{m}$ και παράγονται από συσσωματώσεις μικρότερων σωματιδίων και από συμπυκνώσεις επιπρόσθετου υλικού στις συσσωματώσεις αυτές. Τα σωματίδια συσσώρευσης ομαδοποιούνται με τη σειρά τους σε:
 - Σταγονίδια (droplet mode). Πάνω στην επιφάνεια των αιωρουμένων σωματιδίων είναι δυνατόν να λάβουν χώρα αντιδράσεις υγρής φάσης μεταξύ σταγονιδίων μέσα σε νέφη ή ομίχλη με την παρουσία πολύ υψηλής σχετικής υγρασίας.
 - Συμπυκνώματα (condensation mode). Πρόκειται για μικρότερα σωματίδια από τα προηγούμενα και σχηματίζονται από τη συσσωμάτωση μη υγροσκοπικών σωματιδίων πυρήνα.

1.9.3 Κατάταξη με βάση την πηγή προέλευσης των αιωρούμενων σωματιδίων

Τα αιωρούμενα σωματίδια ανάλογα με την πηγή προέλευσης διακρίνονται στις φυσικές και ανθρωπογενείς πηγές.

Οι φυσικές πηγές περιλαμβάνουν:

- 1) Την επιφάνεια των ωκεανών από την οποία μεταφέρονται σταγονίδια νερού με διάφορα άλατα υπό την επίδραση του ανέμου στην επιφάνεια της θάλασσας.
- 2) Την επιφάνεια της γης, από την οποία μεταφέρεται η σκόνη εδάφους υπό την επίδραση των ανέμων. Αυτά τα σωματίδια έχουν διάμετρο η οποία κυμαίνεται από 1 έως 100 μm και παράγονται από φυσική ή χημική αποσάθρωση των πετρωμάτων.
- 3) Τις ηφαιστειακές εκρήξεις που έχουν ως αποτέλεσμα την έκλυση σωματιδίων. Αυτές οι εκλύσεις μπορούν να δημιουργήσουν διαταραχή στο περιβάλλον σε μεγάλη απόσταση από την ηφαιστειακή πηγή και για μεγάλο χρονικό διάστημα.
- 4) Το μηχανισμό της φυσικής μετατροπής ενός αερίου σε σωματίδιο. Σύμφωνα με τον μηχανισμό αυτό οι πρόδρομες ενώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων, είναι αέρια τα οποία οξειδώνονται είτε στην αέρια φάση είτε στην υγρή φάση, σχηματίζονται προϊόντα χαμηλής πτητικότητας, τα οποία είτε συμπυκνώνονται σε προϋπάρχοντα σωματίδια είτε σχηματίζουν νέα σωματίδια τα οποία επαναιωρούνται στην ατμόσφαιρα.
- 5) Η χλωρίδα, αποτελεί πηγή εκπομπής βιογενούς ύλης η οποία αποτελείται από πρωτογενή σωματίδια, όπως τα θραύσματα φυτών, η γύρη και τα μικροβιακά σωματίδια, και δευτερογενή σωματίδια που προέρχονται κυρίως από τη συμπύκνωση οργανικών ενώσεων.
- 6) Οι ανεξέλεγκτες φωτιές στα δάση κατατάσσονται συνήθως στις φυσικές πηγές, παρότι μπορεί να πυροδοτήθηκαν αρχικά από ανθρώπινη αμέλεια και ασυνειδησία. Αυτές οι φωτιές εκλύουν μεγάλες ποσότητες ρύπων με μορφή καπνού και ιπτάμενης τέφρας. Ακόμη, μπορούν να δημιουργήσουν νέφος, την αιθαλομίχλη, που μπορεί να προκαλέσει μείωση της ορατότητας και να έχει επίδραση στο ηλιακό φως σε πολύ μεγάλες αποστάσεις από το σημείο της φωτιάς.

Οι ανθρωπογενείς πηγές περιλαμβάνουν:

- 1) Τις εκπομπές βιομηχανικής σκόνης στην οποία κατατάσσονται κυρίως σωματίδια με σχετικά μεγάλο μέγεθος, περίπου πάνω από 2,5 μm αεροδυναμικής διαμέτρου. Προέρχονται από την ατελή καύση ορυκτών καυσίμων καθώς και από άλλες διεργασίες όπως είναι η καύση λιγνιτών για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η παρασκευή τσιμέντου, η μεταλλουργία και η καύση στερεών αποβλήτων.
- 2) Τις εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων, προϊόντα από τις καύσεις των αυτοκινήτων.
- 3) Την επαναιώρηση της σκόνης του εδάφους, που προκαλείται από τη κίνηση των οχημάτων, τις αγροτικές δραστηριότητες, τις κατασκευές. Αυτή η κατηγορία εκπομπών περιλαμβάνει κυρίως σωματίδια μεγάλου μεγέθους, τα οποία καθιζάνουν σε μικρή απόσταση από την πηγή.

1.9.4 Κατάταξη με κριτήριο τη διεισδυτικότητα στον ανθρώπινο οργανισμό

Η συμπεριφορά των σωματιδίων μέσα στον ανθρώπινο οργανισμό έχει απασχολήσει ευρέως την επιστημονική κοινότητα και είναι ένα θέμα που ακόμα μελετάται. Οι μελέτες που πραγματοποιήθηκαν πάνω σε αυτό το θέμα οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι τα αιωρούμενα σωματίδια χωρίζονται στις εξής υποομάδες:

✓ Εισπνεύσιμα σωματίδια (*inhalable particies*)

Είναι τα αιωρούμενα σωματίδια που εισέρχονται στο ανώτερο σύστημα της αναπνευστικής οδού με τυπική διάμετρο έως 10 μm .

✓ Θωρακικά σωματίδια (*thoracic particies*)

Αποτελούν το κλάσμα των εισπνεύσιμων σωματιδίων που καταφέρουν να διαπερνούν το ανώτερο τμήμα της αναπνευστικής οδού.

✓ Αναπνεύσιμα σωματίδια (*respirable particies*)

Τα σωματίδια αυτά έχουν μέγεθος αεροδυναμικής διαμέτρου 2,5 μm και έχουν πολύ σημαντικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Ονομάζονται έτσι διότι καταφέρνουν να

διεισδύσουν έως τα βάθη των πνευμόνων.(E.C Technical Working Group on Particles 1996; Natural Resources Council 1996; Paterson 1995).

1.10 Μηχανισμοί λειτουργίας των αιωρημάτων

Οι διαδικασίες συνένωσης και αφαίρεσης αιωρημάτων μέσα στην ατμόσφαιρα είναι οι κυριότερες και άρρηκτα συνδεδεμένες μεταξύ τους λειτουργίες των αιωρημάτων και είναι υπεύθυνες για την συγκέντρωση και το εύρος κατανομής τους μέσα σε αυτήν (Karakostas, Cloud_Physics, 2009). Λόγω του μικρού μεγέθους τους εφαρμόζεται ο νόμος του Stokes πάνω σε αυτά.

$$F = - 3 \pi \mu d u \quad (\text{Σχέση 3.1})$$

όπου F :δύναμη αντίστασης

d : διάμετρος

u :ταχύτητα κίνησης στο ρευστό

μ :δυναμικό ιξώδες

Όταν οι δυνάμεις της αντίστασης, της βαρύτητας και της άνωσης αποκτήσουν ίσα μέτρα, η ταχύτητα που έχει το σωματίδιο λέγεται οριακή ταχύτητα και βρίσκεται ως εξής:

$$\frac{4}{3} \pi r^3 (\rho_w - \rho) g = 6 \pi \eta r v_{o\rho} \quad (\text{Σχέση 3.2})$$

$$v_{o\rho} = \frac{2}{9} \frac{\rho_w - \rho}{\eta} r^2 \quad (\text{Σχέση 3.3})$$

όπου ρ :πυκνότητα σωματιδίου

ρ_w :πυκνότητα αέρα

η :συντελεστής ιξώδους του αέρα

r :η ακτίνα του σωματιδίου

1.11 Γενικά χαρακτηριστικά του μονοξειδίου του άνθρακα (CO)

Το μονοξείδιο του άνθρακα (carbon monoxide) είναι ανόργανη διατομική χημική ένωση, που περιέχει άνθρακα και οξυγόνο, με μοριακό τύπο CO. Το χημικά καθαρό μονοξείδιο του άνθρακα σε συνθήκες με θερμοκρασία 25°C και πίεση 1 atm,

είναι άχρωμο, άοσμο και άγευστο αέριο. Είναι τοξικό για τους ανθρώπους και τα ζώα, ακόμα και σε μικρές συγκεντρώσεις (από τα 35 ppm), παρόλο που παράγεται σε μικρές ποσότητες από τον κανονικό ζωικό μεταβολισμό και θεωρείται ότι συμμετέχει σε κάποιες φυσιολογικές βιολογικές λειτουργίες. Στην ατμόσφαιρα, είναι πολύ ευμετάβλητο και βραχύβιο, έχοντας ένα ρόλο στο σχηματισμό του τροποσφαιρικού όζοντος.

Το μόριο του μονοξειδίου του άνθρακα αποτελείται από ένα άτομο άνθρακα και ένα άτομο οξυγόνου, συνδεμένα με ένα (συνολικά) τριπλό δεσμό, που αποτελείται από δύο ομοιοπολικούς δεσμούς και ένα δεσμό συναρμογής. Είναι ο απλούστερος οξάνθρακας (δηλαδή ένωση που αποτελείται μόνο από άνθρακα και οξυγόνο). Ακόμη, η ένωση αυτή είναι ισοηλεκτρονιακή με το ανιόν κυανίου (CN^-), το κατιόν νιτρωζονίου (NO^+) και το διάζωτο (N_2).

Το μονοξείδιο του άνθρακα παράγεται κατά την ατελή καύση οργανικής ύλης όπως η βενζίνη, το ξύλο ή ο καπνός. Κυριότερες πηγές προέλευσης του μονοξειδίου του άνθρακα είναι οι εξατμίσεις αυτοκινήτων, ιδιαίτερα σε κλειστούς χώρους στάθμευσης ή κατά μήκος δρόμων σε περίοδο κυκλοφοριακής αιχμής, και οι εξατμίσεις πάσης φύσεως μηχανών όταν συντελείται ατελής καύση. Τα αυτοκίνητα συνεισφέρουν περίπου 75% στις ανθρωπογενείς πηγές του μονοξειδίου του άνθρακα ενώ η ατελής καύση ορυκτών καυσίμων στη βιομηχανία συνεισφέρει άλλα περίπου 25%.

Το μονοξείδιο του άνθρακα ελευθερώνεται από τις καμινάδες καθώς και από τις θερμάστρες που χρησιμοποιούν το ξύλο ως καύσιμη ύλη. Το μονοξείδιο του άνθρακα δεν είναι αέριο του θερμοκηπίου, οξειδώνεται όμως σε διοξείδιο του άνθρακα. Σε διεθνή κλίμακα, οι μεταφορές αποτελούν το 77% των εκπομπών εξωτερικών χώρων και ακολουθούνται από τις βιομηχανικές διαδικασίες και τις καύσεις ορυκτών καυσίμων για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε πολύ μικρότερα ποσοστά.

Το μονοξείδιο του άνθρακα μειώνει το οξυγόνο που μεταφέρει το αίμα στο σώμα, με αποτέλεσμα προσωρινή ή μόνιμη βλάβη σε διάφορα όργανα καθώς και στα όργανα του αναπνευστικού συστήματος. Η σύνδεση του CO στους πνεύμονες με την αιμοσφαιρίνη στο αίμα δημιουργεί carboxyhemoglobin (COHb), το οποίο μειώνει τη μεταφορά του οξυγόνου. Όλα έχουν ως συνέπεια τα νευρολογικά ελλείμματα, τις αλλαγές στη συμπεριφορά του νευρικού συστήματος, τις καρδιαγγειακές παθήσεις, τις αυξήσεις στις καθημερινές

εισαγωγές στα νοσοκομεία και την αύξηση της θνησιμότητας. (Πηγή:U.S. Department of Labor Occupational Safety and Health Administration,2002).

1.12 Επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων και του μονοξειδίου του άνθρακα

Η αιθαλομίχλη είναι ένα πυκνό νέφος αιωρούμενων σωματιδίων στην κατώτερη ατμόσφαιρα, το οποίο αποτελείται κυρίως από σωματίδια προερχόμενα από καύση άνθρακα. Οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων διατηρούνται στα χαμηλά στρώματα της ατμόσφαιρας κυρίως κατά τις νυχτερινές ώρες. Εμφανίζεται συχνότερα σε συνθήκες θερμοκρασιακής αναστροφής. Σύμφωνα με έρευνα του Ινστιτούτου Ερευνών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων τις κρύες νύχτες με άπνοια φτάνουν σε πολύ υψηλά επίπεδα. Οι υψηλές συγκεντρώσεις παρατηρούνταν από τις 7 το βράδυ μέχρι και τις 3 το πρωί, με τη μέγιστη τιμή να καταγράφεται λίγο πριν από τα μεσάνυχτα.

Η αιθαλομίχλη επανεμφανίστηκε ως αποτέλεσμα της μαζικής στρόφης του πληθυσμού στην καύση ξύλων για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης. Η καύση ξύλων θεωρείται σχεδόν αποκλειστικά υπεύθυνη (άνω του 90%) για τις υψηλές συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων ιδίως κατά τις νυχτερινές ώρες. Το τζάκι αποτελούσε παραδοσιακή εστία θέρμανσης, κατά τους κρύους μήνες του χειμώνα, για πολλούς αιώνες. Εδώ και δεκαετίες η θέρμανση με τζάκια και ξυλόσομπες είχε αντικατασταθεί από την καύση του πετρελαίου αλλά και του φυσικού αερίου που αποτελεί ένα περισσότερο οικολογικό μέσο θέρμανσης. Σήμερα, δεδομένης της οικονομικής κρίσης που αντιμετωπίζει η χώρα, ο παραδοσιακός αυτός τρόπος θέρμανσης επανήλθε ως πιο φθηνός και αποτελεσματικός τρόπος για τα νοικοκυριά.

Σύμφωνα με αρκετές μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί σε πανεπιστήμια της Ευρώπης και της Αμερικής έχουν τεκμηριωθεί οι σημαντικές επιδράσεις των αιωρούμενων ατμοσφαιρικών σωματιδίων (PM) στην υγεία, που εκδηλώνονται κυρίως με αύξηση της νοσηρότητας και θνησιμότητας από αναπνευστικές και καρδιαγγειακές παθήσεις λόγω της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Ειδικότερα, η έκθεση σε αυξημένα επίπεδα PM, ιδιαίτερα σε αυτά με διάμετρο μεταξύ 10 και 2,5 μm (PM₁₀ και PM_{2.5}) έχει συσχετιστεί με μειωμένη λειτουργική ικανότητα των πνευμόνων, αυξημένη συχνότητα αλλεργικών παθήσεων και αύξηση του κινδύνου για εμφάνιση καρκίνου του πνεύμονα. Επίσης, όσον αφορά το καρδιαγγειακό σύστημα έχει συσχετιστεί με εμφάνιση αιθηροσκλήρυνσης, αυξημένη συχνότητα εμφράγματος του μυοκαρδίου και αγγειακών εγκεφαλικών επεισοδίων. Τα αιωρούμενα σωματίδια (PM) με την εισπνοή εισέρχονται στους πνεύμονες όπου αρχικά επάγουν τοπική φλεγμονή και αύξηση του οξειδωτικού στρες. Ακολουθεί συστηματική φλεγμονώδης απάντηση με παραγωγή κυτταροκινών, πρωτεϊνών οξείας φάσης, ενεργοποίηση λευκοκυττάρων και αιμοπεταλίων (Σαχινίδης και Ζεμπεκάκης, 2010).

Η αυξημένη παραγωγή ελεύθερων ριζών οξυγόνου (ROS) οδηγεί σε αύξηση του οξειδωτικού στρες και κατανάλωση των ενδογενών αντιοξειδωτικών μηχανισμών με αποτέλεσμα τη βλάβη του ενδοθηλίου των αγγείων και την οξείδωση των λιποπρωτεϊνών της κυκλοφορίας.

Η καύση ξύλου αποτελεί σημαντική πηγή σωματιδιακής ρύπανσης και από πρόσφατες ανασκοπήσεις προκύπτουν ενδείξεις ότι οι επιδράσεις από την έκθεση αυτή δεν είναι υποδεέστερες από αυτές που προκαλούν τα αιωρούμενα σωματίδια που προέρχονται από τις άλλες πηγές. Η χημική σύσταση των αερίων που παράγονται από την καύση ξύλου είναι: 80% οργανικές ενώσεις (πολυκυκλικοί υδρογονάνθρακες, αρωματικές ενώσεις, μεθάνιο, διοξίνες κλπ.) 10% άνθρακας 10% ανόργανα άλατα.

Η χρήση και η καύση επεξεργασμένου ξύλου, ιδίως βαμμένου ή πλαστικοποιημένου, όπως και η καύση χρωματισμένου χαρτιού, φακέλων, πλαστικών μαζί με τα ξύλα, είναι πολύ επικίνδυνη καθώς απελευθερώνονται τοξικές ουσίες, όπως αρωματικοί πολυκυκλικοί υδρογονάνθρακες (PAH) και πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs) που έχουν συσχετιστεί με μεταλλάξεις και καρκινογένεση. Σε πολλές περιπτώσεις τα υπολείμματα καύσης μπορεί να περιέχουν διάφορα βαρέα μέταλλα όπως κάδμιο ή αρσενικό.

Ιδιαίτερα ευπαθείς ομάδες κατά την έκθεση σε αυτή την μορφή ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι τα παιδιά, οι ηλικιωμένοι, οι άνθρωποι με σοβαρά αναπνευστικά και καρδιαγγειακά προβλήματα, οι έγκυες, οι εργαζόμενοι σε υπαίθριους χώρους (οδηγοί αστικών συγκοινωνιών, εργαζόμενοι σε τεχνικά έργα, τροχονόμοι κ.α.).

Τα αιωρούμενα σωματίδια επηρεάζουν το κλίμα τόσο με άμεσο όσο και με έμμεσο τρόπο. Απορροφούν, σκεδάζουν και ανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία έχοντας άμεση επίδραση στο ενεργειακό ισοζύγιο της ατμόσφαιρας, καθώς και επηρεάζουν με έμμεσο τρόπο τις οπτικές ιδιότητες και την διάρκεια ζωής των νεφών με τελικό αποτέλεσμα την αύξηση ή μείωση της θερμοκρασίας.

Η άμεση επίδραση των σωματιδίων στο κλίμα έγκειται στην αλληλεπίδρασή τους με το φώς. Τα λιγότερο σκούρα σωματίδια μεγάλης συγκέντρωσης ανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία και προκαλούν ψύξη της ατμόσφαιρας σε σχέση με τα σωματίδια μαύρου άνθρακα και αιθάλης, τα οποία απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία και θερμαίνουν την ατμόσφαιρα.

Αντιθέτως, τα έμμεσα αποτελέσματα βασίζονται στη δυνατότητα που έχουν ορισμένα αερολύματα να δρουν ως πυρήνες συμπύκνωσης (cloud condensation nuclei, CCN). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης του πλήθους των σταγονιδίων στο νέφος, καθώς και μείωση της κατανομής του μεγέθους των σταγονιδίων, στοιχεία που καθορίζουν σημαντικά το ρυθμό κατακρήμνισής τους. Σε μια ρυπασμένη ατμόσφαιρα, σχηματίζονται μέσα στο νέφος υδροσταγονίδια μικρότερου μεγέθους και μεγάλης συγκέντρωσης, αφού οι υδρατμοί βρίσκουν πολλούς πυρήνες για να συμπυκνωθούν. Η διαδικασία αυτή αυξάνει την λαμπρότητα του νέφους και παρατείνει τον χρόνο ζωής του. Αυτό οδηγεί σε ψύξη της ατμόσφαιρας λόγω της μεγάλης ανακλαστικότητας.

Μια ακόμη συνέπεια των αεροζόλ στο κλίμα είναι η ελάττωση των βροχοπτώσεων. Η αύξηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας που οφείλεται στην απορρόφηση ακτινοβολίας από τα σωματίδια, έχει ως αποτέλεσμα να εμποδίζει την συμπύκνωση των υδρατμών και κατά επέκταση ελαττώνει τον σχηματισμό νεφών, με μακροπρόθεσμο αποτέλεσμα την ελάττωση των βροχοπτώσεων.

Τέλος, τα αιωρούμενα σωματίδια μειώνουν την ορατότητα μέσα στην ατμόσφαιρα, λόγω της απορρόφησης και σκέδασης του φωτός. Τα μικρότερα σε μέγεθος σωματίδια περιθλούν το ορατό φώς, ενώ τα μεγαλύτερα σε μέγεθος «σκιάζουν» το ορατό φάσμα με τελικό αποτέλεσμα την μειωμένη ορατότητα.

Ο μεγαλύτερος κίνδυνος όμως από την καύση ξύλων σε κλειστούς χώρους και ιδίως άνθρακα, είναι η παραγωγή μονοξειδίου του άνθρακα, (CO). Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) είναι αέριο, άχρωμο, άοσμο και άγευστο κάτι που το καθιστά αόρατο δολοφόνο. Η έκθεση σε 100 ppm (mg) είναι άκρως επικίνδυνη στον άνθρωπο, ενώ ο Π.Ο.Υ. (W.H.O.), ορίζει ως όρια ποιότητας αέρα, τα $7\text{mg}/\text{m}^3$ την μέρα.

Τα συμπτώματα της οξείας δηλητηρίασης από μονοξείδιο, είναι κεφαλαλγία (πονοκέφαλος), ναυτία και ίλιγγος (ζάλη), καταρροή, δύσπνοια, εξάντληση, ταχυκαρδία, πόνος στο στήθος, λιποθυμία, θάνατος από ασφυξία. Το πόσο γρήγορα διαδέχεται το ένα σύμπτωμα το άλλο, όπως και το αν τα συμπτώματα φθάνουν μέχρι ένα δεδομένο επίπεδο ή αν τελικά οδηγούν στον θάνατο, εξαρτάται από τη συγκέντρωση του CO στην ατμόσφαιρα και από τον χρόνο έκθεσης στην ατμόσφαιρα αυτή. Χαρακτηριστικό είναι το ότι επειδή οι περισσότερες δηλητηριάσεις από μονοξείδιο του άνθρακα στα σπίτια συμβαίνουν τον χειμώνα (από τα χρησιμοποιούμενα μέσα θέρμανσης), συχνά τα πρώτα συμπτώματα συγχέονται με τα παρόμοια συμπτώματα που προκαλούν διάφορες ιώσεις.

Για την αντιμετώπιση της δηλητηρίασης από μονοξείδιο του άνθρακα, χορηγείται 100% οξυγόνο ή υπερβαρικό οξυγόνο, δηλαδή οξυγόνο σε υψηλή πίεση και σε διαμορφωμένους θαλάμους πίεσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Περιοχή μελέτης-Συλλογή δεδομένων

2.1 Η μορφολογία της Θεσσαλονίκης

Η Θεσσαλονίκη με γεωγραφική θέση $40^{\circ} 38' \text{N}$, $22^{\circ} 57' \text{E}$, είναι η δεύτερη σε πληθυσμό και έκταση πόλη της Ελλάδας. Αποτελεί έδρα του ομώνυμου δήμου, της Περιφερειακής Ενότητας Θεσσαλονίκης, της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας και της Αποκεντρωμένης Διοίκησης Μακεδονίας - Θράκης. Σύμφωνα με τη τελευταία απογραφή που πραγματοποιήθηκε στη χώρα μας (2011), ο πληθυσμός του πολεοδομικού συγκροτήματος υπολογίζεται στους 790.824 κατοίκους, ενώ ο πληθυσμός όλου του νομού ανέρχεται στους 1.000.511 κατοίκους.

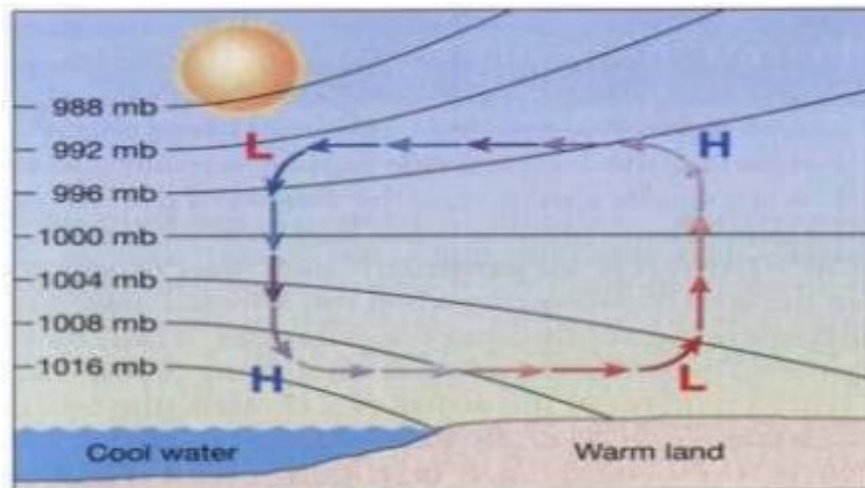
Η Θεσσαλονίκη βρίσκεται στο δυτικό τμήμα της περιφερειακής ενότητας Θεσσαλονίκης, στο μυχό του Θερμαϊκού κόλπου. Είναι κτισμένη αμφιθεατρικά στις πλαγιές του Κέδρινου λόφου και περιβάλλεται στα ανατολικά από το δάσος του Σείχ Σου. Στη Σίνδο υπάρχει η βιομηχανική ζώνη της πόλης και στα νότια βρίσκονται οι περιοχές του αεροδρομίου, της Θέρμης και νοτιοανατολικά η περιοχή του Πανοράματος.

Νοτιοανατολικά της πόλης υψώνεται το όρος Χορτιάτης, ενώ βορειοδυτικά απλώνεται η πεδιάδα της Θεσσαλονίκης, που συμπληρώνει τις ανάγκες της Θεσσαλονίκης σε ύδρευση. Βόρεια της πόλης υψώνεται το όρος Σιβρί που χωρίζεται από τον Χορτιάτη με το πέρασμα του Δερβενίου. Η παρουσία αυτού του ενιαίου ορεινού όγκου, σε συνδυασμό με τη κλειστή, ρηχή και θερμή θάλασσα του Θερμαϊκού κόλπου, οδηγεί στην εμφάνιση υψηλών επιπέδων υγρασίας, κύριο χαρακτηριστικό του μικροκλίματος της πόλης. Η πεδιάδα ευνόησε την οικονομική ανάπτυξη της πόλης και της γύρω περιοχής, καθώς σχηματίστηκε σταδιακά από τις προσχώσεις των ποταμών που διαρρέουν το νομό κι έτσι είναι ιδιαίτερα εύφορη.

Οι τρεις ποταμοί που διαρρέουν την περιοχή της Θεσσαλονίκης είναι ο Αξιός, ο Λουδίας και ο Γαλλικός, εκβάλλουν δυτικά της πόλης ενώ ακόμα νοτιότερα εκβάλλει ο Αλιάκμονας. Το Δέλτα του Αξιού αποτελεί υδροβιότοπο 22.000 στρεμμάτων ιδιαίτερης σημασίας, που προστατεύεται από τη Σύμβαση Ραμσάρ.

► Θαλάσσια αύρα (sea breeze)

Η θαλάσσια αύρα αποτελεί ένα από τα πιο γνωστά παραδείγματα ημερήσιου ανέμου τοπικού συστήματος. Ο μηχανισμός σχηματισμού αυτού του φαινομένου, συνδέεται με το διαφορετικό τρόπο θέρμανσης της ξηράς και της θάλασσας. Λόγω της μικρότερης τιμής της θερμοχωρητικότητας της ξηράς σε σχέση με αυτή της θάλασσας, η ξηρά για τα ίδια ποσά ενέργειας που λαμβάνει από τον ήλιο, μεταβάλλει περισσότερο τη θερμοκρασία της, με αποτέλεσμα να παρατηρούνται υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας πάνω απ' αυτήν. Η θάλασσα από την άλλη, εκτός από την τριπλάσια τιμή θερμοχωρητικότητας που παρουσιάζει συγκριτικά με αυτήν της ξηράς, δε θερμαίνεται το ίδιο ισχυρά από τον ήλιο, επειδή ένα μέρος αυτής της ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνει χρησιμοποιείται για την εξάτμιση των υδρατμών από τις ελεύθερες θαλάσσιες επιφάνειες. Η πίεση πάνω από τη θάλασσα έχει μεγαλύτερη τιμή από αυτή που παρατηρείται πάνω από την ξηρά και έτσι δημιουργείται μια θερμική κυκλοφορία με άνεμο που έχει φορά από τη θάλασσα προς την ξηρά στην επιφάνεια και ένα αντίθετο ρεύμα αέρα υψηλότερα.



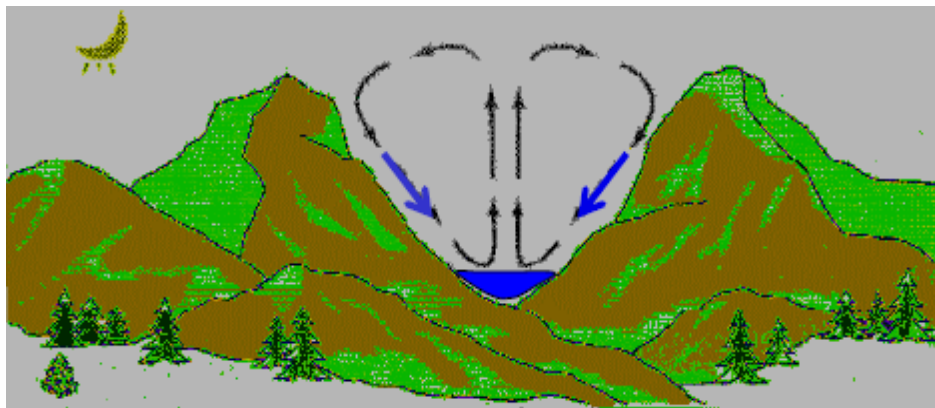
Σχήμα 2.1: Απεικόνιση μηχανισμού δημιουργίας θαλάσσιας αύρας

Η θαλάσσια αύρα δημιουργείται αρχικά κοντά στην ακτή, μπορεί να έχει έκταση μέχρι 30 km και τυπικές ταχύτητες από 2 – 5 m/s. Καθώς, όμως, το ύψος του ήλιου αυξάνει, η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ ξηράς και θάλασσας γίνεται μεγαλύτερη και συνακόλουθα αυξάνει και η διαφορά πίεσης. Επομένως, αυξάνει προοδευτικά και η ένταση της θαλάσσιας αύρας που παίρνει τη μέγιστη τιμή της, τις πρώτες μεσημβρινές ώρες, τότε που παρατηρείται το μέγιστο της θερμοκρασίας. Μετά το μέγιστο της θερμοκρασίας, οι διαφορές

θερμοκρασίας και πίεσης ελαττώνονται με αποτέλεσμα και η ένταση της θαλάσσιας αύρας ελαττώνεται, όπου παύει να υφίσταται τελικά τις πρώτες νυχτερινές ώρες. Είναι ένα τοπικό σύστημα που έχει σημασία σε προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης γιατί τροποποιεί την κατακόρυφη δομή της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας και δυσχεραίνει σημαντικά τον καθαρισμό της ατμόσφαιρας, μέσω των μηχανισμών της διάχυσης και διασποράς (Ζερεφός, 2001).

► Αύρα βουνού (mountain breeze)

Σε αίθριες νύχτες, ο αέρας στις πλαγιές των κοιλάδων ψύχεται περισσότερο από τον αέρα στο κέντρο και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να κατέρχεται. Αντίθετα, ο θερμός αέρας που βρίσκεται στο κέντρο ανέρχεται και έτσι κλείνει ο δακτύλιος κλειστής κυκλοφορίας. Αρχίζει μετά τη δύση του ήλιου και παύει στην ανατολή. Ακόμη, είναι σημαντικό να τονιστεί ότι δημιουργείται νωρίς το πρωί μια λίμνη ψυχρού αέρα με θερμοκρασία έως και 10° C μικρότερη από τις πλαγιές.



Σχήμα 2.2 : Μηχανισμός κυκλοφορίας κατά το σχηματισμό αύρας βουνού

► Βαρδάρης

Ο άνεμος αυτός αρχίζει από το υψίπεδο της περιοχής των Σκοπίων, ακολουθεί την κοιλάδα του Αξιού και εισέρχεται στην Ελληνική περιοχή από το άνοιγμα μεταξύ του Πάϊκου και του Μπέλες. Στην περιοχή της Θεσσαλονίκης φθάνει σαν Β-ΒΔ σφοδρός και ξηρός άνεμος με μέση ταχύτητα 20 knots περίπου. Πολλές φορές η ταχύτητά του φτάνει τους 40-50 knots, που σημαίνει ότι ο άνεμος αυτός μπορεί να είναι θυελλώδης για την περιοχή της

Θεσσαλονίκης. Η ισοβαρική κατάσταση για την επικράτηση του Βαρδάρη είναι αντικυκλώνας με κεντρική περιοχή δυτικά βορειοδυτικά της Βαλκανικής χερσονήσου με ισοβαρείς πάνω στην Βαλκανική που να ακολουθούν την από ΒΒΔ προς ΝΝΑ κατεύθυνση του Αξιού και με μεγάλη βαροβαθμίδα. Η εξασθένηση του Βαρδάρη αρχίζει όταν οι ισοβαρείς παίρνουν διάταξη που να πλησιάζει την κάθετη προς την κατεύθυνση του ποταμού Αξιού. Η συχνότητα εμφάνισής του είναι περίπου 40 μέρες το χρόνο. Η επικράτησή του διαρκεί 1-2 μέρες και, μετά από μια διακοπή, είναι δυνατή η επανάληψή του. Πολύ λίγες φορές πνέει για 3-4 μέρες συνεχόμενα. (Φλόκας, 1997).

2.3 Νομοθεσία ποιότητας αέρα

Το Τμήμα Περιβάλλοντος του Δήμου Θεσσαλονίκης ελέγχει τα αιωρούμενα σωματίδια PM10 στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον της Θεσσαλονίκης από το 1989, πριν από οποιοδήποτε άλλο δημόσιο φορέα και διαθέτει τις μεγαλύτερες χρονοσειρές δεδομένων για το συγκεκριμένο ρύπο. Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των PM10 η μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι η πρότυπη μέθοδος απορρόφηση της β-ακτινοβολίας. Το όριο που χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση των μετρήσεων τα χρόνια που δεν υπήρχε θεσμοθετημένο όριο από την Ε.Ε. και την Ελλάδα, ήταν το όριο της EPA (US – Environmental Protection Agency), που ήταν 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για τις ημερήσιες τιμές.

Η κοινοτική οδηγία 1999/30/ΕΚ, που ισχύει σήμερα, καθορίζει τα όρια ποιότητας του αέρα για τα εισπνεύσιμα σωματίδια (PM10) με προθεσμία εφαρμογής την 1/1/2005. Τα όρια αυτά περιλαμβάνουν μια μέση ημερήσια τιμή 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, που δεν επιτρέπεται να ξεπεραστεί για περισσότερες από 35 ημέρες το χρόνο (9,6% των ημερών του έτους), επιπλέον θεσπίζει όριο στη μέση ετήσια τιμή, που καθορίζεται σε 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Επίσης, προτείνει με ημερομηνία προσαρμογής την 1/1/2010, μείωση των ημερών υπέρβασης του ημερήσιου ορίου των 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ σε 7 ημέρες (1,9%), ενώ μειώνει και τη μέση ετήσια τιμή σε 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Τα αυστηρά αυτά όρια της Ε.Ε. οφείλονται σε μεγάλο βαθμό στα πορίσματα μιας σειράς σοβαρών επιδημιολογικών μελετών, που έγιναν στην Αμερική (Η.Π.Α.) και στην Ευρώπη (Ε.Ε.), με αντικείμενο τις επιπτώσεις των αιωρουμένων σωματιδίων στην υγεία του γενικού

πληθυσμού και οι οποίες τεκμηρίωσαν την ύπαρξη βραχυχρόνιων συνεπειών στην υγεία (αυξημένη αναπνευστική και καρδιαγγειακή νοσηρότητα). Παράλληλα, οι προοπτικές μελέτες που έγιναν παρέχουν ενδείξεις ότι οι μακροχρόνιες επιδράσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στην υγεία είναι σημαντικές με βράχυνση του προσδόκιμου επιβίωσης, καθώς και την πρόκληση πολλών πρόωρων θανάτων και ημερών με περιορισμένη δραστηριότητα ετησίως για τον ενεργό πληθυσμό.

2.4 Σωματιδιακή ρύπανση στη περιοχή της Θεσσαλονίκης

Το σημαντικότερο πρόβλημα για το ατμοσφαιρικό περιβάλλον της Θεσσαλονίκης αποτελούν τα αιωρούμενα σωματίδια. Αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στη βιομηχανική δραστηριότητα που είναι αρκετά αναπτυγμένη στην περιοχή, την κυκλοφορία των οχημάτων και την λειτουργία καυστήρων κεντρικής θέρμανσης. Οι υψηλότερες τιμές σωματιδιακής ρύπανσης στην πόλη παρατηρούνται κατά την διάρκεια της χειμερινής περιόδου. Σε ημερήσια βάση, οι υψηλότερες τιμές παρατηρούνται από τις 7:00 - 11:00 και από τις 19:00 - 23:00, συμπίπτουν δηλαδή αρκετά καλά με τις ώρες της κυκλοφοριακής αιχμής και τις ώρες λειτουργίας της κεντρικής θέρμανσης, κατά τη χειμερινή περίοδο του έτους.

Σύμφωνα με στοιχεία του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος (ΤΕΕ) της Κεντρικής Μακεδονίας για τα τελευταία 20 χρόνια, εμφανίζεται πτωτική τάση στις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων καθώς και του μονοξειδίου του άνθρακα, σε όλους τους σταθμούς του δημοτικού δικτύου. Η μείωση αυτών των συγκεντρώσεων αποδίδεται κυρίως :

- 1) στην τεχνολογική αναβάθμιση των οχημάτων. Σήμερα σχεδόν το 60% των οχημάτων είναι νέας καταλυτικής τεχνολογίας.
- 2) στη θέσπιση τεχνικού ελέγχου για όλα τα οχήματα (ΚΤΕΟ - καλύτερη συντήρηση),
- 3) στη βελτίωση της ποιότητας των καυσίμων (κατάργηση της βενζίνης τύπου «Super»),
- 4) στην εφαρμογή του μέτρου της κάρτας ελέγχου καυσαερίων (ΚΕΚ),
- 5) στη λειτουργία και επέκταση των εγκαταστάσεων αποθείωσης στα διυλιστήρια των Ελληνικών πετρελαίων

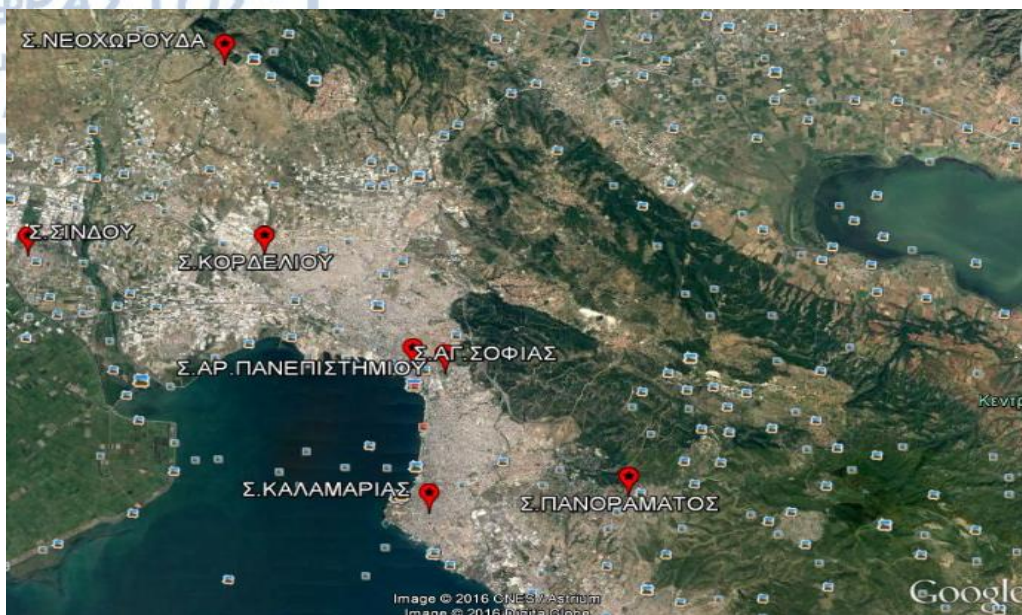
- 6) στην σταδιακή αντικατάσταση των καυστήρων πετρελαίου με καυστήρες φυσικού αερίου
- 7) στη συρρίκνωση της βιομηχανικής δραστηριότητας στην περιοχή.

2.5 Σταθμοί μέτρησης ρύπων

Για την αποτύπωση της παρούσας κατάστασης αναφορικά με τα αιωρούμενα σωματίδια και το μονοξείδιο του άνθρακα στη Θεσσαλονίκη, χρησιμοποιούνται αποκλειστικά οι μετρήσεις του Δικτύου Καταγραφής Αέριας Ρύπανσης της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας. Σημειώνεται ότι στην Ευρύτερη Περιοχή Θεσσαλονίκης λειτουργούν τρία δίκτυα παρακολούθησης ποιότητας αέρα:

- Το δίκτυο που λειτουργεί υπό την ευθύνη και εποπτεία της Διεύθυνσης Περιβάλλοντος & Χωροταξίας της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας, ως μέρος του επίσημου Εθνικού Δικτύου του ΥΠΕΧΩΔΕ.
- Το δίκτυο σταθμών που λειτουργεί υπό την ευθύνη και εποπτεία του Δήμου Θεσσαλονίκης εντός των ορίων του
- Το δίκτυο σταθμών που λειτουργεί ο Δήμος Εχιδώρου, ο οποίος δημοσιοποιεί τα στοιχεία αυτά μόνο μέσω των αντίστοιχων ετήσιων εκθέσεων.

Το 1990 λειτούργησαν για πρώτη φορά σταθμοί μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης, κάτω από την εποπτεία του Υπουργείου Μακεδονίας Θράκης (Υ.ΜΑ.Θ.). Σήμερα η Διεύθυνση Περιβάλλοντος & Χωροταξίας της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας είναι υπεύθυνη για τη λειτουργία του δικτύου ελέγχου ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο Πολεοδομικό Συγκρότημα Θεσσαλονίκης (ΠΣΘ) από το 2001. Κάθε χρόνο εκδίδεται Τεχνική Έκθεση για την Ποιότητα του Αέρα της προηγούμενης χρονιάς. Συνολικά, η Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας καταγράφει αέριους ρύπους σε 7 σταθμούς μέτρησης. Από αυτούς τους σταθμούς 4 διαθέτουν σύστημα μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀. Αυτοί οι σταθμοί είναι της Σίνδου, του Κορδελιού, της Αγ. Σοφίας και του Πανοράματος.



Σχήμα 2.3 : Δίκτυο μετρητικών σταθμών ρύπων

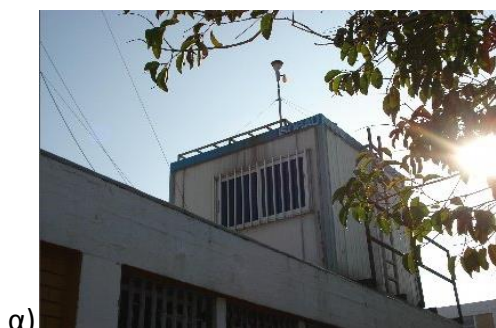
Με δεδομένη τη σημαντικότητα του προβλήματος, οι καταγραφές των συγκεντρώσεων των ολικών (TSP) εισπνεύσιμων (PM₁₀) και αναπνεύσιμων (PM_{2,5}) αιωρούμενων σωματιδίων στην πόλη της Θεσσαλονίκης μπορούν να θεωρηθούν επαρκείς. Στον Πίνακα 2.1 φαίνονται οι σταθμοί μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων της Περιφέρειας και ο χαρακτηρισμός της θέσης τους. (Εκθεση, 2013).

Πίνακας 2.1 : Σταθμοί μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων και μονοξειδίου του άνθρακα της Περιφέρειας και χαρακτηρισμός της θέσης τους.

Σταθμός Περιφέρειας	Γεωγραφικό μήκος	Γεωγραφικό πλάτος	Υψόμετρο	Χαρακτηρισμός σταθμού	CO	NO _x	PM	SO ₂	O ₃
Σίνδος	22°48'46"	40°40'18"	14	Αγροτικός - Βιομηχανικός	X	X	X	X	X
Κορδελιό	22°53'54"	40°40'21"	30	Περιαστικός	X	X	X	X	X
Αγ. Σοφίας	22°56'13"	40°37'14"	27	Αστικός - Βιομηχανικός	X	X	X		X
Πανόραμα	23° 1'54"	40°35'75"	363	Αστικός		X	X		X
Καλαμαριά	22° 57'33"	40°34'44"	60	Κυκλοφορίας-Περιαστικός	X				X
Νεοχωρούδα	22° 52'34"	40°44'23"	229	Υποβάθρου-Περιαστικός		X	X		X

Η μέθοδος μέτρησης των σωματιδίων και στους τέσσερις σταθμούς είναι η μέθοδος με απορρόφηση β – ακτινοβολίας. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή τα αιωρούμενα σωματίδια, που περιλαμβάνονται στον αέρα, διαχωρίζονται με διήθηση, χρησιμοποιώντας μια μεμβράνη, της οποίας η ικανότητα απορρόφησης της ακτινοβολίας β έχει μετρηθεί από πριν. Η διαφορά στη μέτρηση της ικανότητας της μεμβράνης, πριν και μετά τη διήθηση, καθιστά δυνατό τον προσδιορισμό της μάζας των συλλεχθέντων σωματιδίων. Η μάζα των σωματιδίων, που έχουν κατακρατηθεί, συσχετίζεται με τη μέτρηση του όγκου του αέρα που πέρασε από τη μεμβράνη και έτσι επιτυγχάνεται ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των PM10 στο περιβάλλον. (Μουστρής, Τεχνολογία Περιβαλλοντικών Μετρήσεων, 2013).

Όλοι οι αναλυτές που διαθέτουν οι σταθμοί μέτρησης είναι συνεχούς λειτουργίας και καταγράφουν μία τιμή κάθε λεπτό. Με την βοήθεια ενός επεξεργαστή υπολογίζονται οι μέσες ωριαίες τιμές, οι οποίες μέσω modem μεταβιβάζονται στον κεντρικό υπολογιστή της Υπηρεσίας. Μετεωρολογικά δεδομένα (ταχύτητα/διεύθυνση ανέμου, θερμοκρασία και υγρασία) καταγράφονται από όλους τους σταθμούς εκτός του σταθμού της Πλ. Αγίας Σοφίας (Εκθεση, 2014).



α)



β)

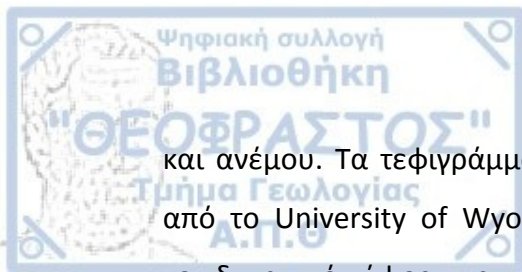


γ)



δ)

Σχήμα 2.6 : Δίκτυο μετρητικών σταθμών αιωρούμενων σωματιδίων και μονοξειδίου του άνθρακα α) Σίνδος, β) Ελευθέριο Κορδελιό, γ) Πλατεία Αγ. Σοφίας δ) Πανόραμα



και ανέμου. Τα τεφιγράμματα τα οποία χρησιμοποιούνται για την πρόγνωση προέρχονται από το University of Wyoming .Τέλος, υπάρχουν και χάρτες ανάλυσης που δείχνουν το γεωδυναμικό ύψος για τις συγκεκριμένες μέρες που μελετούνται. Οι χάρτες αυτοί προέρχονται από το γερμανικό site www.Wetter3.de .Όλοι οι χάρτες και τα τεφιγράμματα βοηθούν στην πρόγνωση του καιρού για τις τέσσερις μέρες του Ιανουαρίου όπου η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων αλλά και του μονοξειδίου του άνθρακα υπερβαίνουν τις οριακές τιμές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

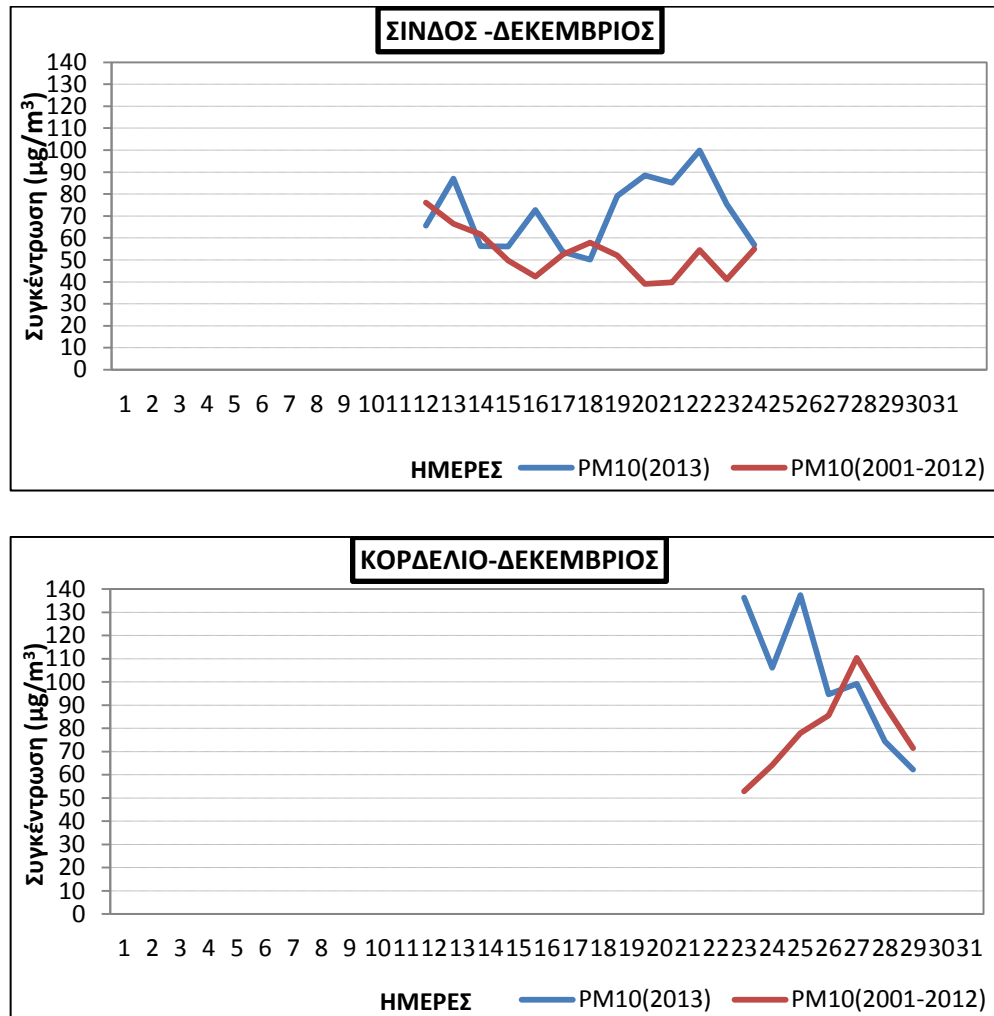
Ο στόχος του κεφαλαίου είναι να προσδιοριστούν συγκεκριμένες ημέρες που σημειώθηκαν υπερβάσεις σε αιωρούμενα σωματίδια και μονοξειδίο του άνθρακα ώστε να εκτιμηθεί η πιθανή συνεισφορά από τις καύσεις βιομάζας σε τζάκια. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε τις ώρες που λειτουργούν η κεντρική θέρμανση και οι ατομικές εστίες θέρμανσης και συγκεκριμένα τις ώρες 17:00-24:00. Αρχικά, η περίοδος μελέτης ήταν οι μήνες Νοέμβριος-Δεκέμβριος-Ιανουάριος-Φεβρουάριος-Μάρτιος του χειμώνα 2013-2014. Ωστόσο, μετά την επεξεργασία των δεδομένων προσδιορίστηκε ότι για τους μήνες Νοέμβριος και Μάρτιος δεν εμφανίζονται κάποια αξιόλογα αποτελέσματα και έτσι δε θα συμπεριληφθούν στα διαγράμματα που θα ακολουθήσουν. Επίσης είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι πραγματοποιήθηκε σύγκριση των παραπάνω δεδομένων με τη περίοδο αναφοράς 2001-2012, μια περίοδο 11ετών όπου δεν είχαμε ιδιαίτερη συνεισφορά από τις καύσεις βιομάζας σε τζάκια.

Το πρώτο βήμα ήταν να προσδιοριστούν κάποιες συγκεκριμένες ημέρες όπου οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων αλλά και του μονοξειδίου του άνθρακα υπερβαίνουν τις οριακές τιμές που ορίζονται από την νομοθεσία. Για αυτές τις ημέρες μελετούνται αναλυτικά και τα μετεωρολογικά στοιχεία που είναι διαθέσιμα όπως η θερμοκρασία, η υγρασία η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου. Στη συνέχεια προσδιορίζεται η μέση μηνιαία και ωριαία μεταβολή των συγκεντρώσεων των σωματιδίων και του μονοξειδίου του άνθρακα για κάθε σταθμό για την περίοδο μελέτης 2013-2104, καθώς και για την περίοδο αναφοράς 2001-2012. Τέλος, γίνεται σύγκριση αυτών των μέσων όρων για τις δύο χρονικές περιόδους και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε διαγράμματα.

3.2 Μέση ημερήσια μεταβολή συγκεντρώσεων PM10 και CO

Για τις συγκεκριμένες ημέρες κατά τις οποίες σημειώθηκαν υπερβάσεις των ορίων σωματιδιακής ρύπανσης, προσδιορίζεται η μεταβολή αυτών των ρύπων για κάθε μήνα ξεχωριστά και για τρεις από τους επτά σταθμούς (αυτοί οι τρεις σταθμοί εμφανίζουν

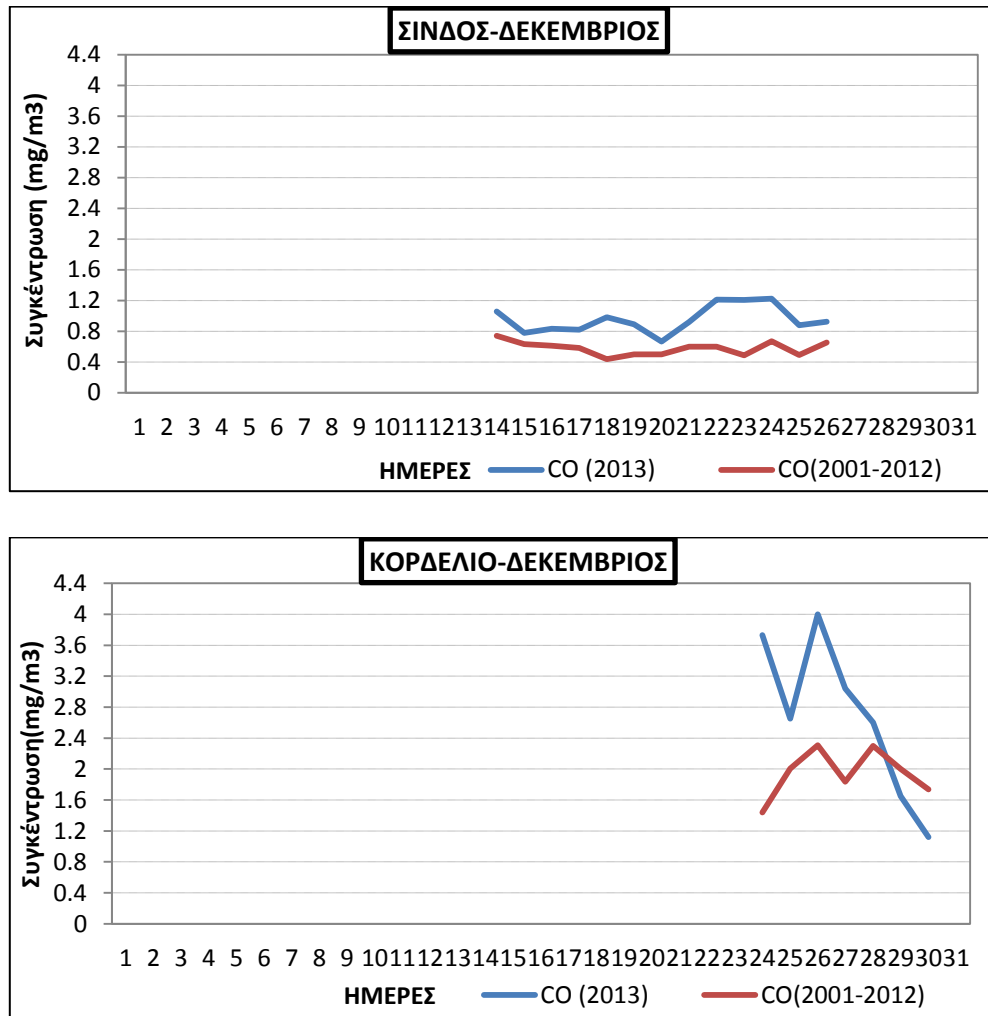
κάποιες μέρες όπου οι συγκεντρώσεις των αιωρημάτων και του CO είναι πάνω από τις οριακές τιμές) . Οι πληροφορίες αναφέρονται αναλυτικά σε δύο χρονικές περιόδους-για κάθε έτος της περιόδου μελέτης 2013-2014 και στην περίοδο αναφοράς 2001-2012.



Σχήμα 3.1 : Μέσες συγκεντρώσεις PM10 των σταθμών για τη χρονική περίοδο Δεκέμβριος 2013 και το Δεκέμβριο της περιόδου 2001-2012.

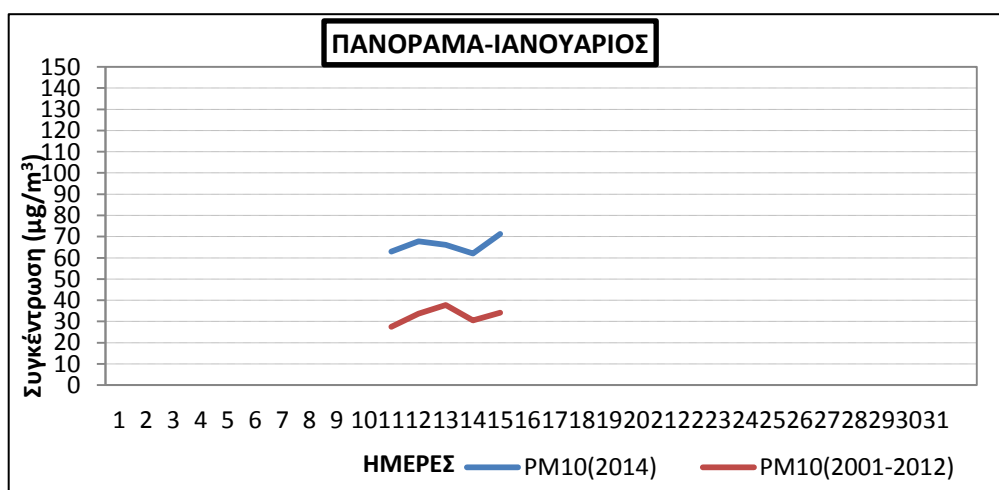
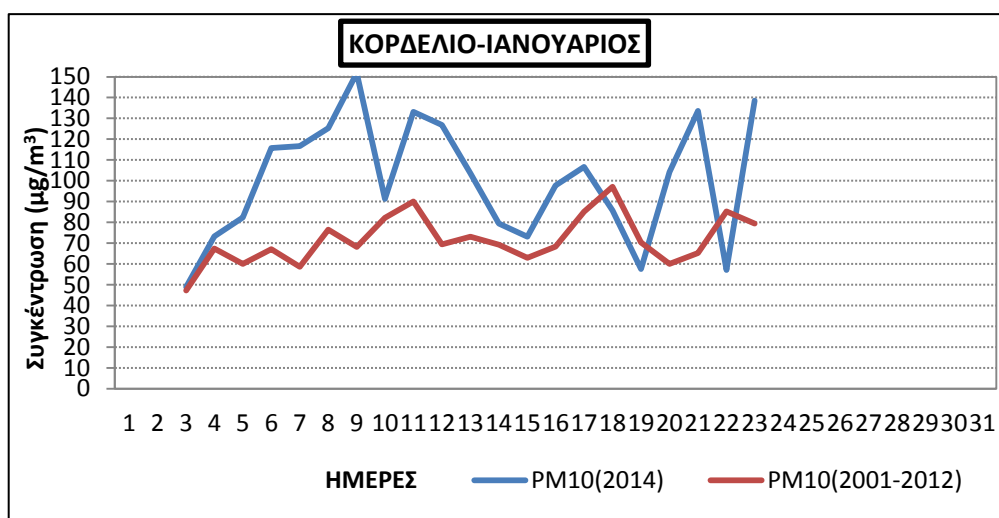
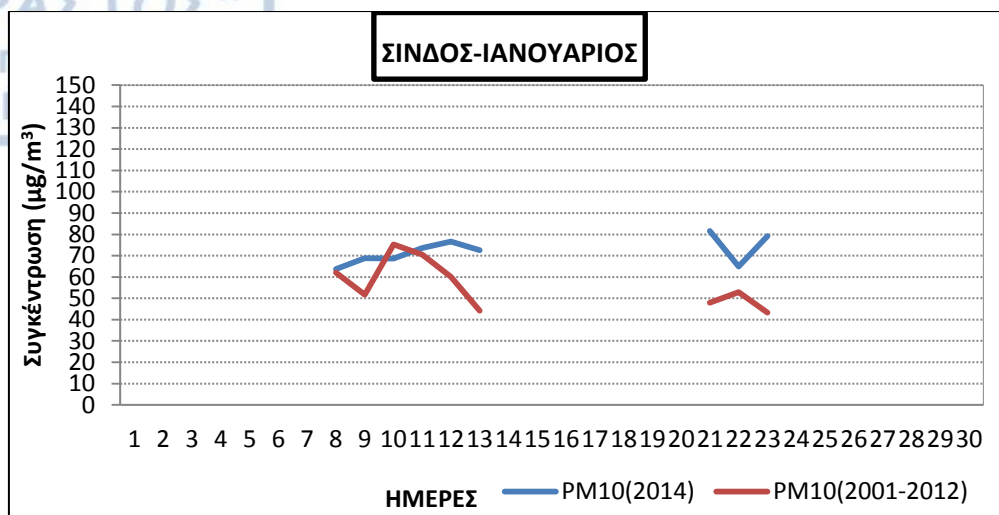
Στο σχήμα 3.1 που αφορά το σταθμό της Σίνδου παρατηρείται ότι οι συγκεντρώσεις για τον Δεκέμβριο του 2013 για όλες τις μέρες κυμαίνονται από 55-100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Συγκεκριμένα, εμφανίζονται δύο μέγιστα το ένα τη 12^η ημέρα με συγκέντρωση 85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και το άλλο μέγιστο τη 23^η ημέρα με συγκέντρωση 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Αντίθετα, για τη χρονική περίοδο 2001-2012 φαίνεται ότι οι τιμές είναι σαφώς μικρότερες και τις περισσότερες μέρες κυμαίνονται από 40-60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Μελετώντας το σταθμό του Κορδελιού ,αυτό που φαίνεται είναι ότι για το Δεκέμβριο του 2013 οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων φτάνουν μέχρι τα 140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ με ένα μέγιστο που εντοπίζεται την 25^η ημέρα.

Ωστόσο, για τη χρονική περίοδο 2001-2012 είναι σημαντικό να τονιστεί ότι από την 24^η έως την 27^η ημέρα οι συγκεντρώσεις είναι χαμηλότερες από την καμπύλη του Δεκεμβρίου του 2013, αλλά για τις επόμενες μέρες του μήνα είναι υψηλότερες.



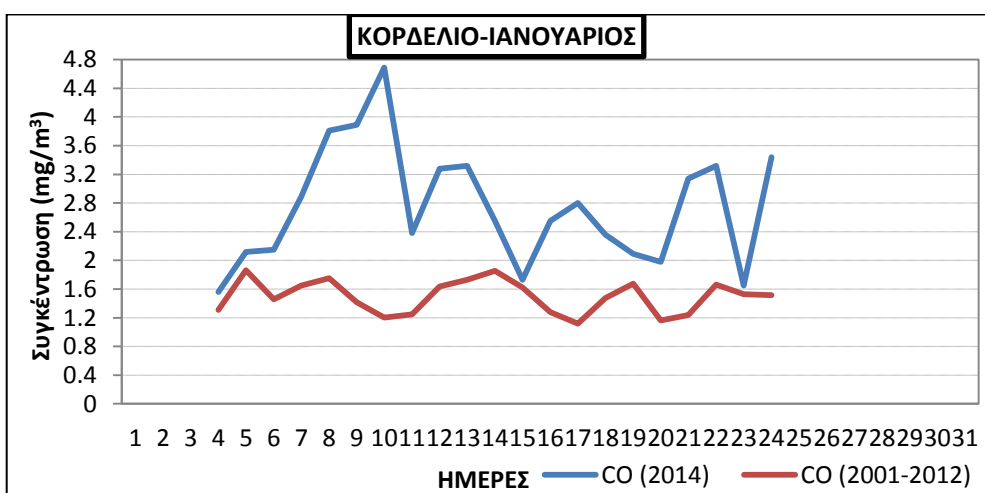
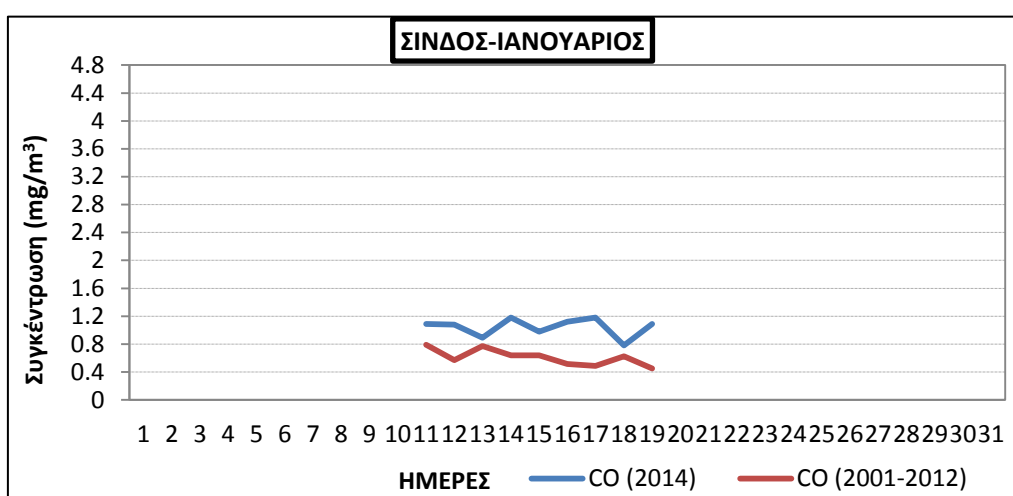
Σχήμα 3.2 : Μέσες συγκεντρώσεις του CO των σταθμών για τη χρονική περίοδο Δεκέμβριος 2013 και το Δεκέμβριο της περιόδου 2001-2012

Στο σχήμα 3.2 που αφορά τη Σίνδο οι συγκεντρώσεις του CO για το Δεκέμβριο του 2013 είναι πολύ υψηλότερες από τις αντίστοιχες για τη χρονική περίοδο 2001-2012. Ακόμη, κατά τις δύο χρονικές περιόδους εμφανίζεται ένα μέγιστο στις 23-24 Δεκεμβρίου. Τέλος, στο σχήμα 3.2 για το Κορδελίο φαίνεται να συμβαίνει το ίδιο, με εξαίρεση τις δύο τελευταίες ημέρες του μήνα όπου οι τιμές του CO για τη χρονική περίοδο 2001- 2012 είναι υψηλότερες από το Δεκέμβριο του 2013.



Σχήμα 3.3 : Μέσες συγκεντρώσεις των PM10 για το μήνα Ιανουάριο των χρονικών περιόδων 2014 καθώς και 2001-2012

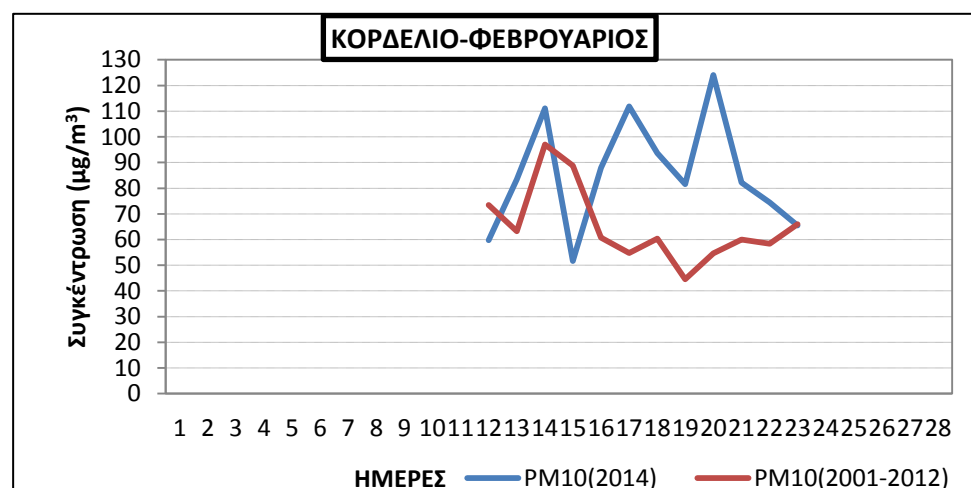
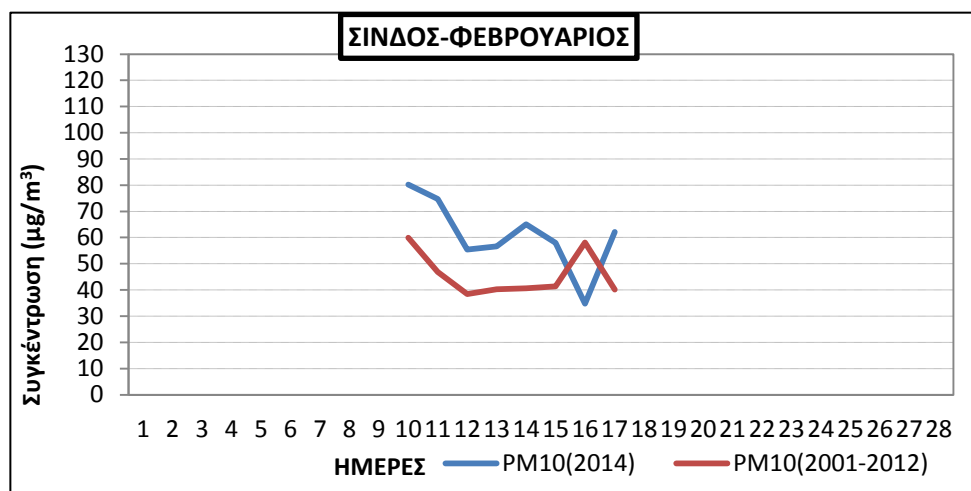
Στο σχήμα 3.3 και στους τρεις σταθμούς παρατηρείται ότι η καμπύλη που αντιστοιχεί στη συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων του Ιανουαρίου του 2014 έχει πολύ υψηλότερες τιμές από την καμπύλη της συγκέντρωσης της χρονικής περιόδου 2001-2012. Στο σταθμό της Σίνδου οι τιμές των αιωρημάτων για το Δεκέμβριο του 2013 κυμαίνονται μεταξύ 60-80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ενώ στο σταθμό του Κορδελιού, που εμφανίζει και τις υψηλότερες τιμές, η συγκέντρωση ξεκινά από 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και φτάνει μέχρι τα 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Τέλος, ο σταθμός του Πανοράματος εμφανίζει τη μεγαλύτερη απόκλιση μεταξύ των δύο καμπυλών, με την καμπύλη της συγκέντρωσης των PM για το Δεκέμβριο του 2013 να παίρνει τιμές μεταξύ 60-70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ενώ η καμπύλη για την άλλη χρονική περίοδο παίρνει τιμές από 30-40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

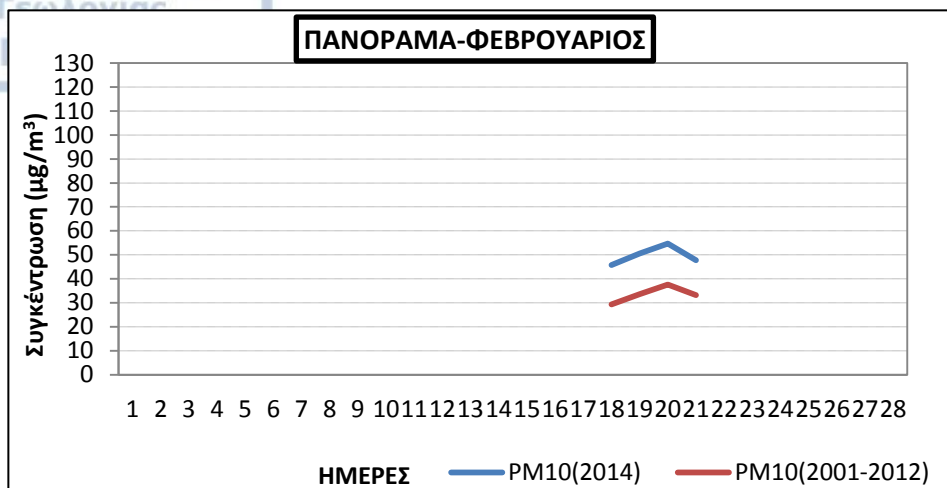


Σχήμα 3.4 : Μέσες συγκεντρώσεις των CO για το μήνα Ιανουάριο των χρονικών περιόδων 2014 καθώς και 2001-2012

Στο σχήμα 3.4 φαίνεται ότι η συγκέντρωση του μονοξειδίου του άνθρακα για τον Ιανουάριο του 2014 έχει υψηλότερες τιμές σε σχέση με την αντίστοιχη καμπύλη για τη

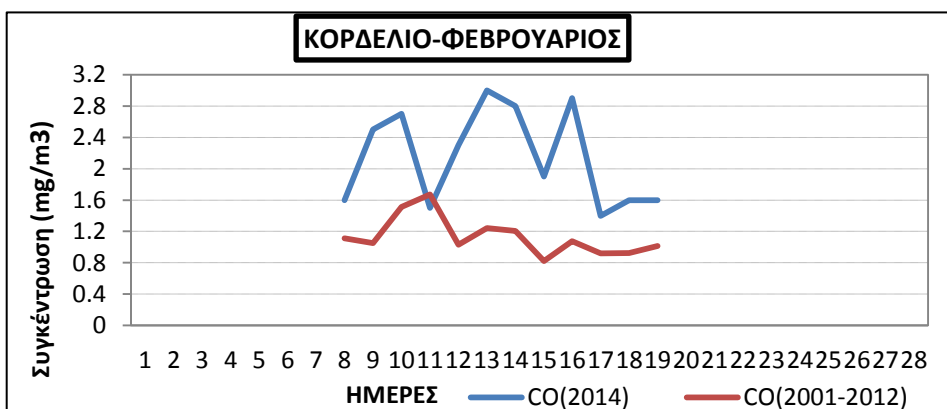
χρονική περίοδο 2001-2012. Συγκεκριμένα, η καμπύλη που αντιστοιχεί στον Ιανουάριο του 2014 στο σταθμό της Σίνδου παίρνει τιμές μέχρι $1,2 \text{ mg/m}^3$, ενώ στο σταθμό του Κορδελιού οι τιμές είναι σαφώς υψηλότερες και προσεγγίζουν τα $4,8 \text{ mg/m}^3$. Η καμπύλη που αντιστοιχεί στον Ιανουάριο της περιόδου 2001-2012 και στους δύο σταθμούς έχει πολύ μικρότερες τιμές. Έτσι, στο σταθμό της Σίνδου οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ $0,5-0,8 \text{ mg/m}^3$, ενώ στο σταθμό του Κορδελιού οι τιμές φτάνουν τα $1,8 \text{ mg/m}^3$.





Σχήμα 3.5 : Μέσες συγκεντρώσεις των PM10 για το μήνα Φεβρουάριο των χρονικών περιόδων 2014 καθώς και 2001-2012

Και στα τρία διαγράμματα του σχήματος 3.5 οι σταθμοί εμφανίζουν υψηλότερες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων για το Φεβρουάριο του 2014. Στο σταθμό της Σίνδο οι συγκεντρώσεις των αιωρημάτων φτάνουν τα $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, στο σταθμό του Κορδελιού τα $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και στο Πανόραμα τα $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Όσον αφορά τη καμπύλη των σωματιδίων για τη χρονική περίοδο 2001-2012 οι τιμές είναι χαμηλότερες. Έτσι, στη Σίνδο η συγκέντρωση φτάνει μέχρι τα $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$, στο Κορδελιό τα $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και στο Πανόραμα τα $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ακόμη, ο σταθμός του Πανοράματος εμφανίζει τη μεγαλύτερη απόκλιση μεταξύ των δύο καμπυλών, με την καμπύλη της συγκέντρωσης των PM10 για το Φεβρουάριο του 2014 να παίρνει τιμές μεταξύ $45-55 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ενώ η καμπύλη για την άλλη χρονική περίοδο παίρνει τιμές από 30 μέχρι $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



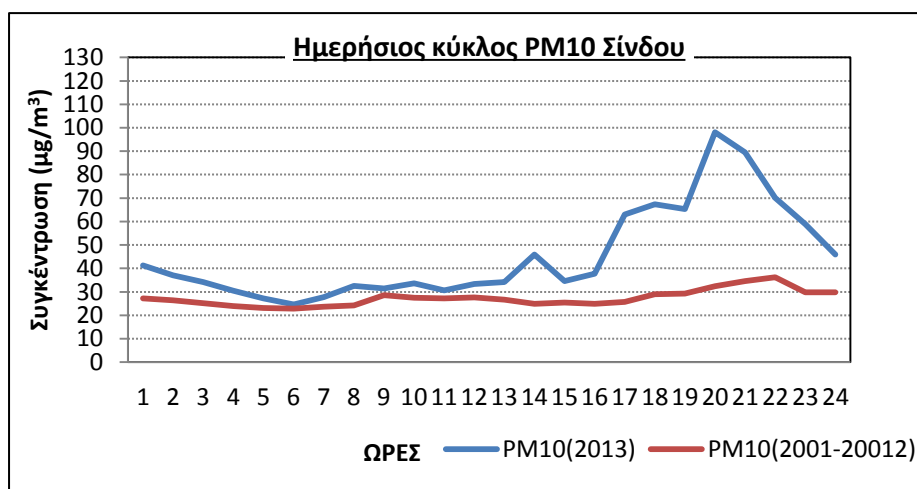
Σχήμα 3.6 : Μέσες συγκεντρώσεις των CO για το μήνα Φεβρουάριο των χρονικών περιόδων 2014 καθώς και 2001-2012

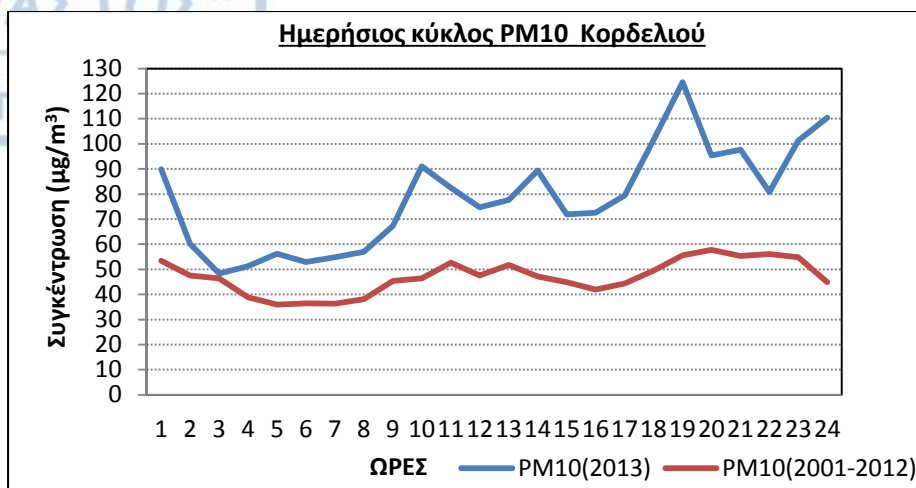
Για τη συγκέντρωση του μονοξειδίου του άνθρακα για το Φεβρουάριο του 2014 υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία από το σταθμό του Κορδελιού. Έτσι, η καμπύλη που αντιστοιχεί στο Φεβρουάριο του 2014 έχει τιμές που προσεγγίζουν τα 3 mg/m^3 , ενώ η άλλη καμπύλη της χρονικής περιόδου 2001-2012 έχει τιμές μέχρι τα $1,6 \text{ mg/m}^3$ δηλαδή πολύ χαμηλότερες τιμές.

3.3 Μέση ωριαία μεταβολή συγκεντρώσεων PM10 και CO

Η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων και του μονοξειδίου του άνθρακα μεταβάλλεται κατά την διάρκεια μίας μέρας. Για την μελέτη αυτού του φαινομένου χρησιμοποιήθηκαν ωριαία δεδομένα σωματιδιακής ρύπανσης από τους σταθμούς της Περιφέρειας. Οι σταθμοί αυτοί καταγράφουν την μέση συγκέντρωση των PM10 κάθε ώρα του 24ώρου. Με τα δεδομένα αυτά υπολογίστηκαν οι μέσες συγκεντρώσεις για κάθε ώρα της ημέρας για κάθε έτος της περιόδου μελέτης 2013-2014 καθώς και για την περίοδο αναφοράς 2001-2012.

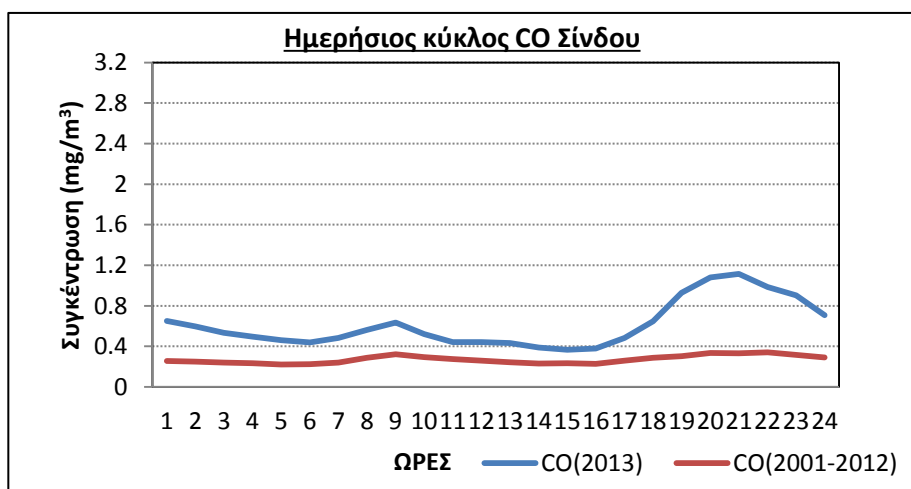
ΜΗΝΑΣ :ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ

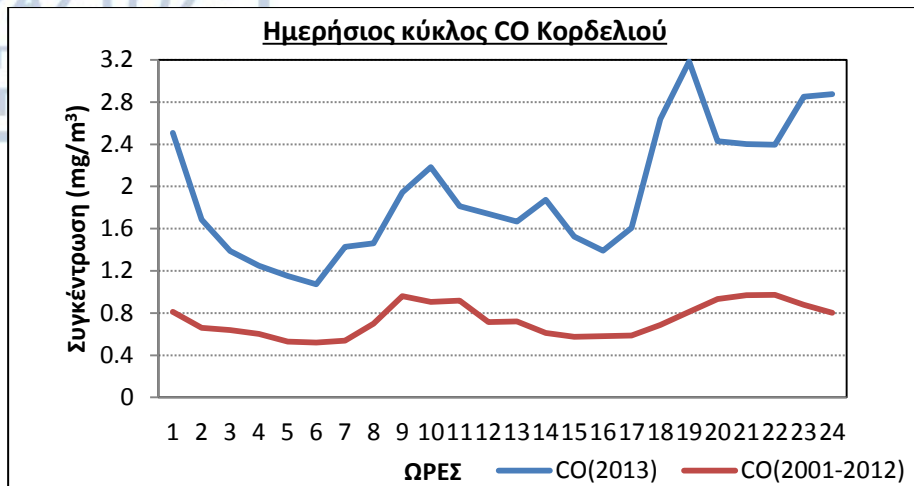




Σχήμα 3.7 : Μέσες συγκεντρώσεις των PM για το Δεκέμβριο του 2013 καθώς και της περιόδου 2001-2012

Στα δύο διαγράμματα του σχήματος 3.7 παρατηρείται ότι οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων για το Δεκέμβριο του 2014 είναι υψηλότερες από τις αντίστοιχες της περιόδου αναφοράς 2001-2012. Συγκεκριμένα, στο σταθμό της Σίνδου οι συγκεντρώσεις φτάνουν μέχρι τα 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ενώ στο σταθμό του Κορδελιού οι τιμές είναι ψιλότερες και φτάνουν τα 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ακόμη, στο σταθμό του Κορδελιού εμφανίζεται μεγάλη απόκλιση μεταξύ των δύο καμπυλών. Η μια καμπύλη αντιπροσωπεύει τιμές της τάξης των 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και η άλλη τα 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Τέλος, και στους δύο σταθμούς εντοπίζεται μέγιστο κατά τις ώρες λειτουργίας των εστιών θέρμανσης και συγκεκριμένα τις ώρες 19:00-22:00.

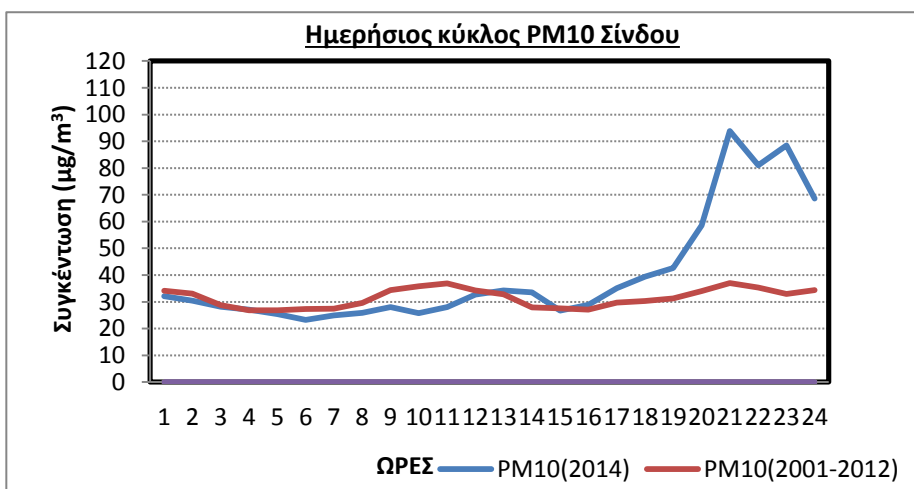


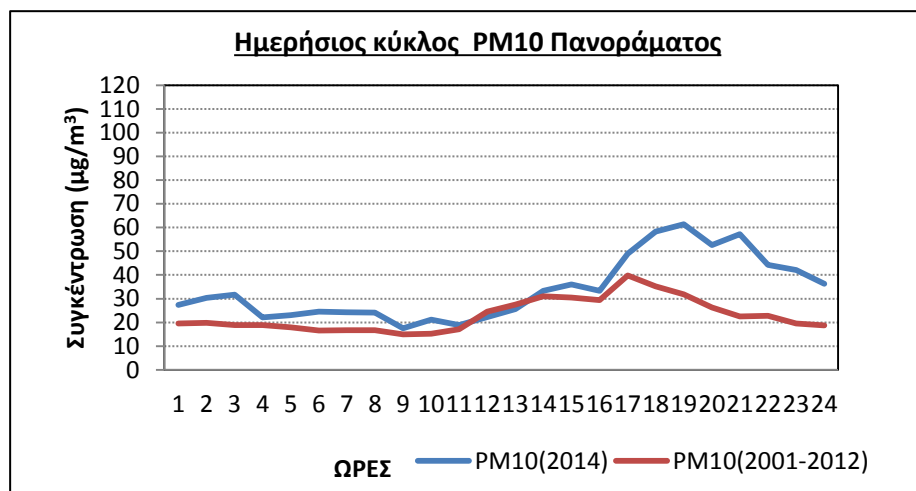
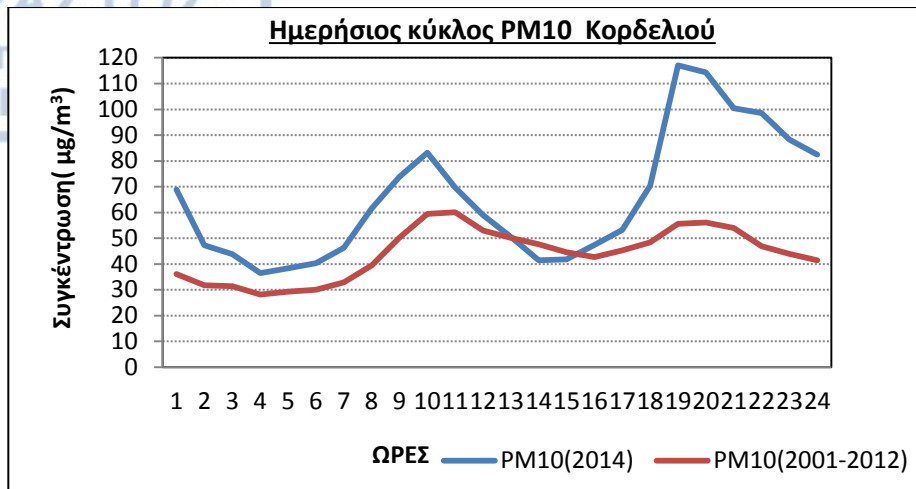


Σχήμα 3.8 : Μέσες συγκεντρώσεις των CO για το Δεκέμβριο του 2013 καθώς και της περιόδου 2001-2012

Από τα παραπάνω διαγράμματα του σχήματος 3.8 μπορεί να προσδιοριστεί ότι η καμπύλη που αντιστοιχεί στη συγκέντρωση του μονοξειδίου του άνθρακα για το Δεκέμβριο του 2013 έχει πολύ υψηλότερες τιμές από αυτές που αντιστοιχούν στη συγκέντρωση της περιόδου 2001-2012. Και στους δύο σταθμούς η απόκλιση μεταξύ των δύο καμπυλών είναι μεγάλη.

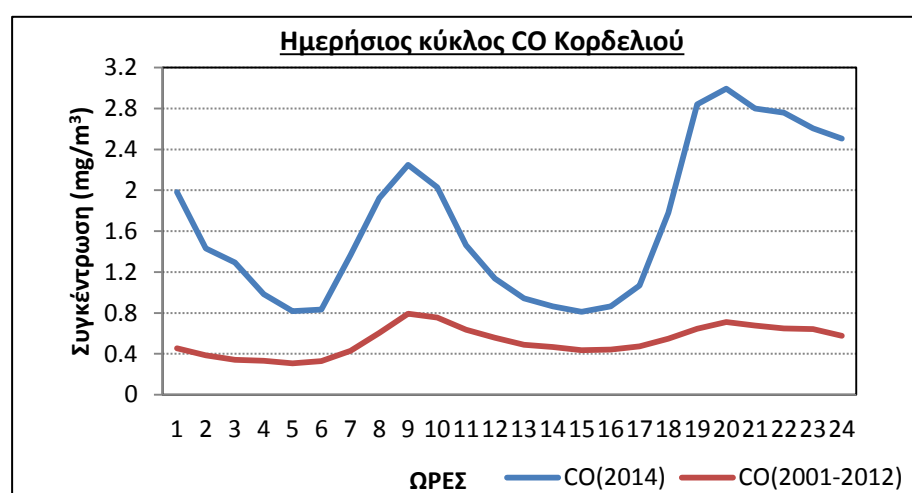
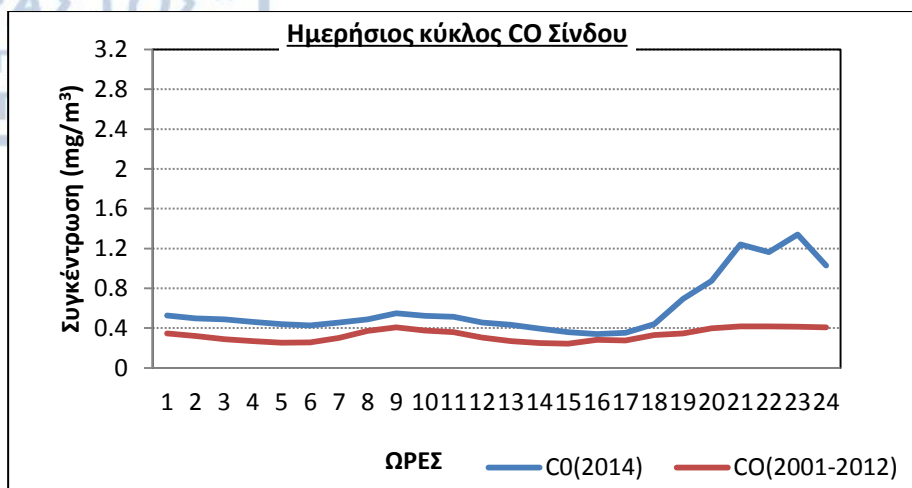
ΜΗΝΑΣ :ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ





Σχήμα 3.9 : Μέσες συγκεντρώσεις των PM10 για τον Ιανουάριο του 2014 καθώς και της περιόδου 2001-2012

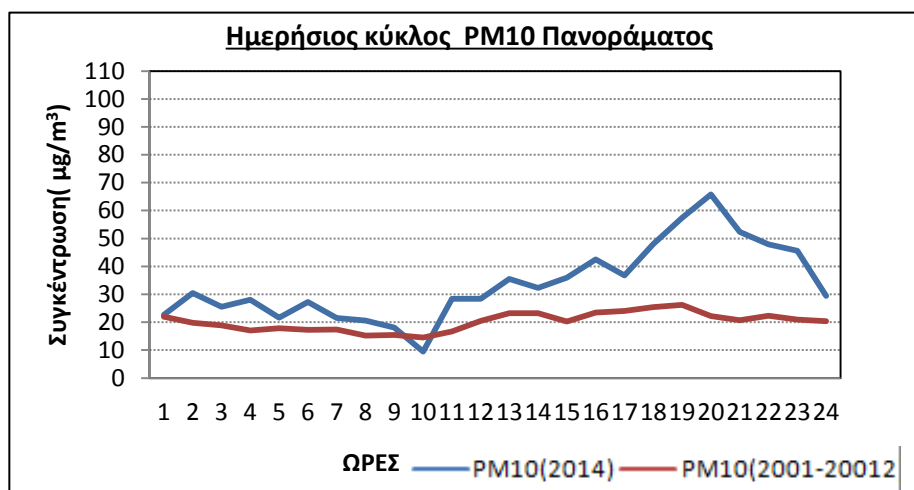
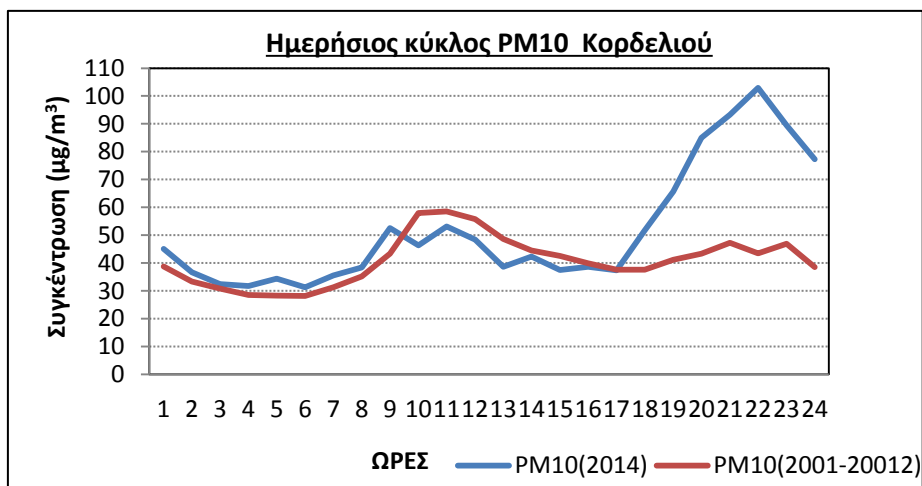
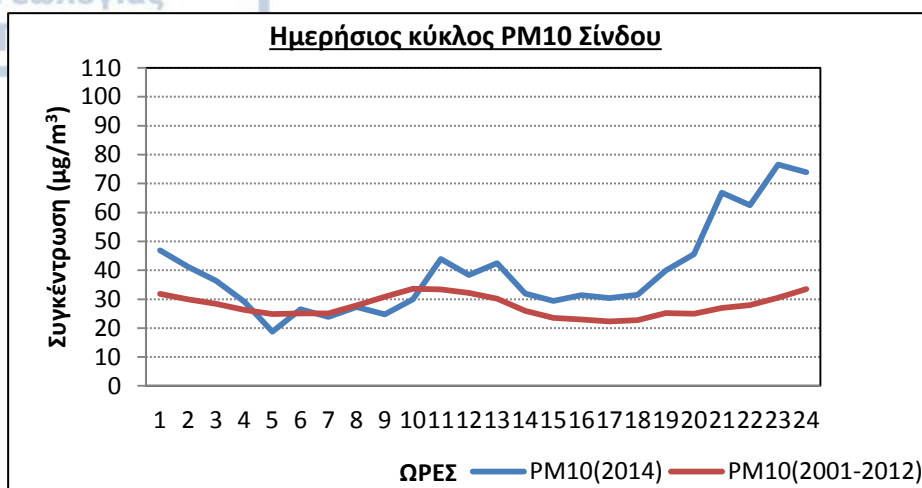
Για το μήνα Ιανουάριο φαίνεται ότι και στους τρεις σταθμούς, τόσο η καμπύλη που αντιστοιχεί στη συγκέντρωση του μονοξειδίου του άνθρακα για το 2014, όσο και η καμπύλη της χρονικής περιόδου 2001-2012 έχουν μικρή απόκλιση μεταξύ τους για τις ώρες από 1:00-16:00. Ωστόσο, για τις ώρες από 17:00-23:00 η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων για το 2014 είναι πολύ υψηλότερη από την αντίστοιχη της περιόδου 2001-2012. Έτσι, στο σταθμό της Σίνδου η τιμές του PM10 φτάνουν μέχρι τα 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, με το μέγιστο να εντοπίζεται στις 22:00, στο σταθμό του Κορδελιού οι τιμές φτάνουν μέχρι τα 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, με το μέγιστο να εντοπίζεται στις 20:00, και στο σταθμό του Πανοράματος η συγκέντρωση φτάνει μέχρι τα 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, με το μέγιστο να εντοπίζεται στις 19:00.



Σχήμα 3.10 : Μέσες συγκεντρώσεις των CO για τον Ιανουάριο του 2014 καθώς και της περιόδου 2001-2012

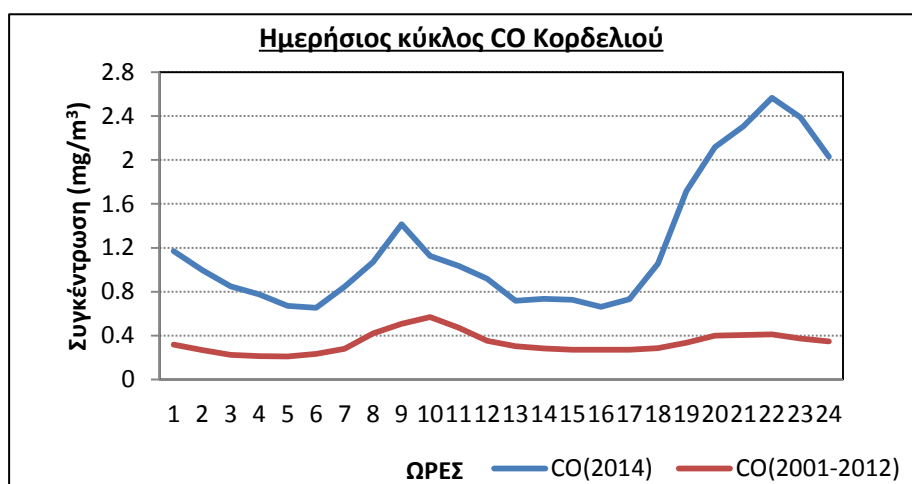
Στο σταθμό της Σίνδου αυτό που μπορεί να προσδιοριστεί είναι ότι μεταξύ των δύο καμπυλών υπάρχει μικρή απόκλιση μέχρι και τις 16:00, ενώ από τις 18:00 και μέχρι τις 24:00 η απόκλιση γίνεται μεγάλη. Συγκεκριμένα, στο σταθμό της Σίνδου η συγκέντρωση του μονοξειδίου του άνθρακα για τον Ιανουάριο του 2014 είναι γύρω στο $1,4 \text{ mg/m}^3$ και το μέγιστο εντοπίζεται στο διάστημα 21:00-23:00, ενώ η συγκέντρωση για την χρονική περίοδο 2001-2012 προσεγγίζει τα $0,4 \text{ mg/m}^3$. Όσον αφορά το σταθμό του Κορδελιού, όλες τις ώρες της ημέρας η καμπύλη που αντιστοιχεί στη συγκέντρωση του 2014 έχει πολύ υψηλότερες τιμές από την άλλη καμπύλη που αφορά το διάστημα αναφοράς 2001-2012. Η συγκέντρωση του CO για τον Ιανουάριο του 2014 προσεγγίζει τα $3,00 \text{ mg/m}^3$.

ΜΗΝΑΣ :ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ



Σχήμα 3.11 : Μέσες συγκεντρώσεις των PM10 για τον Φεβρουάριο του 2014 καθώς και της περιόδου 2001-2012

Για το μήνα Φεβρουάριο φαίνεται ότι στους σταθμούς της Σίνδου και του Κορδελιού του σχήματος 3.11, τόσο η καμπύλη που αντιστοιχεί στη συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων για το 2014, όσο και η καμπύλη της χρονικής περιόδου 2001-2012 είναι με μικρή απόκλιση μεταξύ τους για τις ώρες από 1:00-17:00. Όμως, για τις ώρες από 18:00-24:00 η συγκέντρωση του PM10 για το 2014 είναι πολύ υψηλότερη από την αντίστοιχη της περιόδου 2001-2012. Στο σταθμό της Σίνδου, για όλες τις ώρες της ημέρας, με εξαίρεση τις 10:00 το πρωί, η συγκέντρωση για το 2014 έχει υψηλότερες τιμές από αυτή για το χρονικό διάστημα 2001-2012. Σε αυτό το σταθμό το μέγιστο για το Φεβρουάριο του 2014 εντοπίζεται στο διάστημα 20:00-21:00.



Σχήμα 3.12 : Μέσες συγκεντρώσεις του CO για τον Φεβρουάριο του 2014 καθώς και της περιόδου 2001-2012

Για τη συγκέντρωση του μονοξειδίου του άνθρακα για το Φεβρουάριο του 2014 φαίνεται ότι η καμπύλη που αντιστοιχεί στο Φεβρουάριο του 2014 έχει τιμές που προσεγγίζουν $2,60 \text{ mg/m}^3$ με το μέγιστο να εντοπίζεται κατά το διάστημα 22:00-23:00, ενώ η καμπύλη που αντιστοιχεί στο χρονικό διάστημα 2001-2012 παίρνει τιμές μέχρι τα $0,60 \text{ mg/m}^3$.

Πίνακας 3.1: Τοπικά μέγιστα της μέσης ωριαίας συγκέντρωσης των PM10 και CO ανά σταθμό για την περίοδο μελέτης 2013-2014 και την περίοδο αναφοράς 2001-2012

ΜΗΝΑΣ ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ

ΣΤΑΘΜΟΙ	Περίοδος μελέτης 2013-2014				Περίοδος αναφοράς 2001-2012			
	PM10		CO		PM10		CO	
	Ώρα	μg/m ³	Ώρα	mg/m ³	Ώρα	μg/m ³	Ώρα	mg/m ³
ΣΙΝΔΟΣ	20.00	98.1	21.00	1.1	22.00	36.2	22.00	0.3
ΚΟΡΔΕΛΙΟ	19.00	124.6	19.00	3.19	20.00	57.8	21.00-22.00	0.97

ΜΗΝΑΣ ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ

ΣΤΑΘΜΟΙ	Περίοδος μελέτης 2013-2014				Περίοδος αναφοράς 2001-2012			
	PM10		CO		PM10		CO	
	Ώρα	μg/m ³	Ώρα	mg/m ³	Ώρα	μg/m ³	Ώρα	mg/m ³
ΣΙΝΔΟΣ	21.00	93.8	23.00	1.3	21.00	37.1	22.00	0.4
ΚΟΡΔΕΛΙΟ	19.00	117.0	20.00	3.0	11.00	60.1	9.00	0.8
ΠΑΝΟΡΑΜΑ	19.00	61.4	#	#	16.00	39.7	#	#

ΜΗΝΑΣ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ

ΣΤΑΘΜΟΙ	Περίοδος μελέτης 2013-2014				Περίοδος αναφοράς 2001-2012			
	PM10		CO		PM10		CO	
	Ώρα	μg/m ³	Ώρα	mg/m ³	Ώρα	μg/m ³	Ώρα	mg/m ³
ΣΙΝΔΟΣ	23.00	76.6	#	#	10.00	33.6	#	#
ΚΟΡΔΕΛΙΟ	22.00	103.0	22.00	2.6	11.00	58.6	10.00	0.6
ΠΑΝΟΡΑΜΑ	20.00	65.7	#	#	19.00	26.2	#	#

Στον Πίνακα 3.1 δίνονται συγκεντρωτικά τα τοπικά μέγιστα των μέσων ωριαίων συγκεντρώσεων μαζί με τις ώρες που αυτά παρατηρήθηκαν.

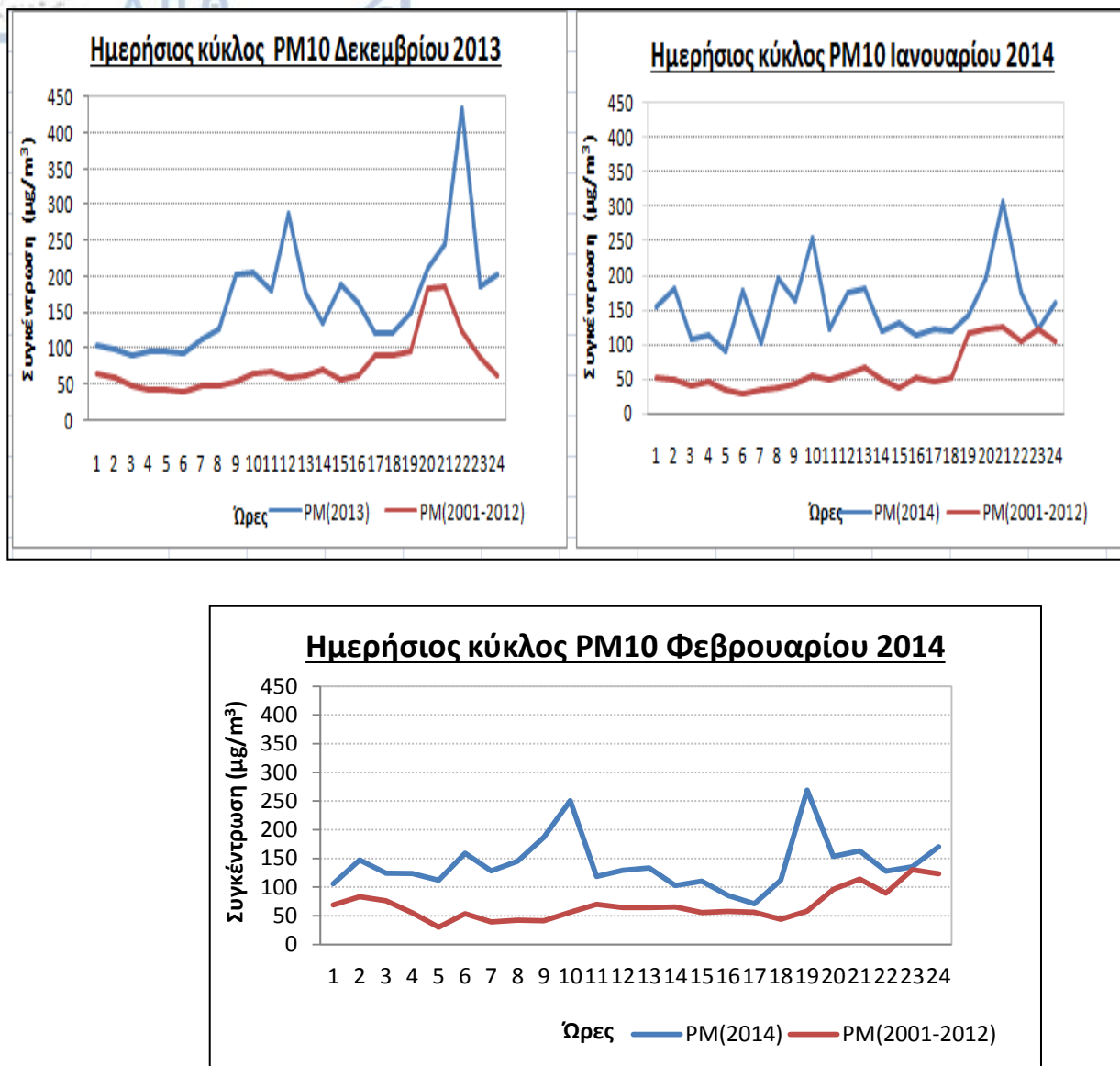
Ο σταθμός του Κορδελιού είναι αυτός που παρουσίασε τις υψηλότερες συγκεντρώσεις PM10 τόσο για την περίοδο μελέτης 2013-2014 όσο και για την περίοδο αναφοράς 2001-2012. Έτσι, οι μέγιστες τιμές που εμφάνισε ήταν $124.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $117 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $103 \mu\text{g}/\text{m}^3$ τους μήνες Δεκέμβριο, Ιανουάριο και Φεβρουάριο της περιόδου 2013-2014 και $57.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $60.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $58.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για την περίοδο αναφοράς. Οι μικρότερες συγκεντρώσεις καταγράφηκαν στο σταθμό του Πανοράματος.

Για τον μήνα Δεκέμβριο και για τις δύο χρονικές περιόδους και στους τρεις σταθμούς οι μέγιστες συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων και του μονοξειδίου του άνθρακα εμφανίζονται τις βραδινές ώρες και συγκεκριμένα τις ώρες 19.00-22.00. Για τον μήνα Ιανουάριο για την χρονική περίοδο 2013-2014 οι μέγιστες συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων αλλά και του μονοξειδίου του άνθρακα και στους τρεις σταθμούς εμφανίζεται κατά τις ώρες 20.00-23.00. Ωστόσο, για τη χρονική περίοδο 2001-2012 αυτό συμβαίνει για τη συγκέντρωση των PM10 και CO μόνο στο σταθμό της Σίνδου. Τέλος, για τον μήνα Φεβρουάριο παρατηρείται ότι τη χρονική περίοδο 2013-2014 και στους τρεις σταθμούς οι μέγιστες συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων και του μονοξειδίου του άνθρακα εμφανίζονται τις ώρες 20.00-23.00. Όμως, τη χρονική περίοδο 2001-2012 οι μέγιστες συγκεντρώσεις των ρύπων εμφανίζονται κατά κύριο λόγο τις πρωινές ώρες.

3.4 Μέγιστη ωριαία μεταβολή συγκεντρώσεων PM10 και CO

Η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων και του μονοξειδίου του άνθρακα μεταβάλλεται κατά την διάρκεια μίας μέρας.. Οι σταθμοί της Περιφέρειας καταγράφουν την μέση συγκέντρωση των PM10 κάθε ώρα του 24ώρου. Με τα δεδομένα αυτά υπολογίστηκαν οι μέγιστες συγκεντρώσεις για κάθε ώρα της ημέρας για κάθε έτος της περιόδου μελέτης 2013-2014 καθώς και για την περίοδο αναφοράς 2001-2012.

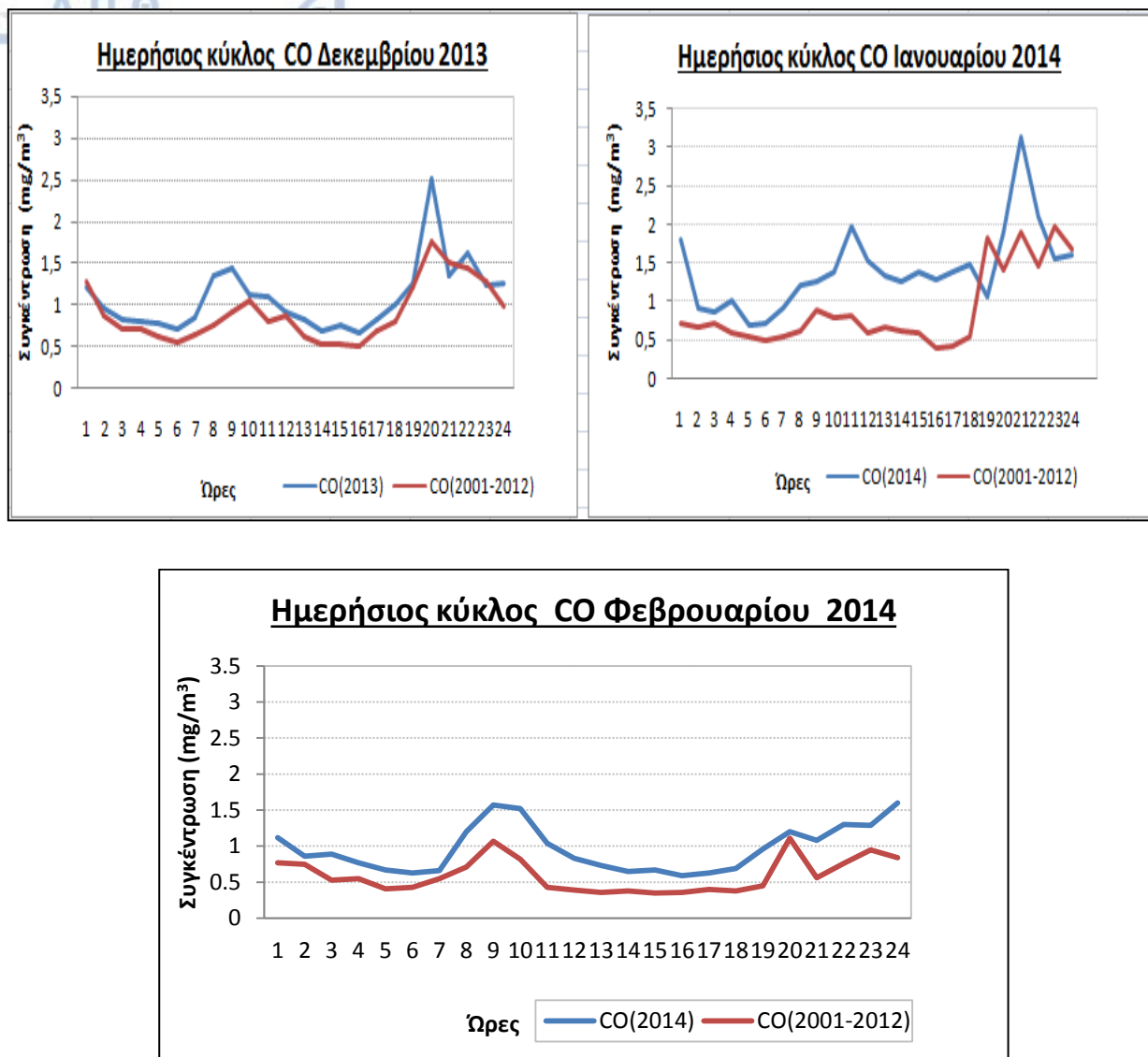
Σταθμός Σίνδου-PM10



Σχήμα 3.13 Μέγιστες συγκεντρώσεις του PM10 για το σταθμό της Σίνδου για τις δύο χρονικές περιόδους

Μελετώντας τα διαγράμματα του σχήματος 3.13 , μπορεί να τονιστεί ότι οι μέγιστες συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων για τους μήνες Δεκέμβριο, Ιανουάριο και Φεβρουάριο για την περίοδο μελέτης είναι υψηλότερες από τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις για την περίοδο 2001-2012. Ακόμη, μπορεί να προσδιοριστεί ότι και στους τρεις μήνες εντοπίζονται μέγιστες τιμές κατά τις πρωινές ώρες, και συγκεκριμένα τις ώρες 9.00-11.00, αλλά και τις βραδινές ώρες, και συγκεκριμένα τις ώρες 19.00-22.00.

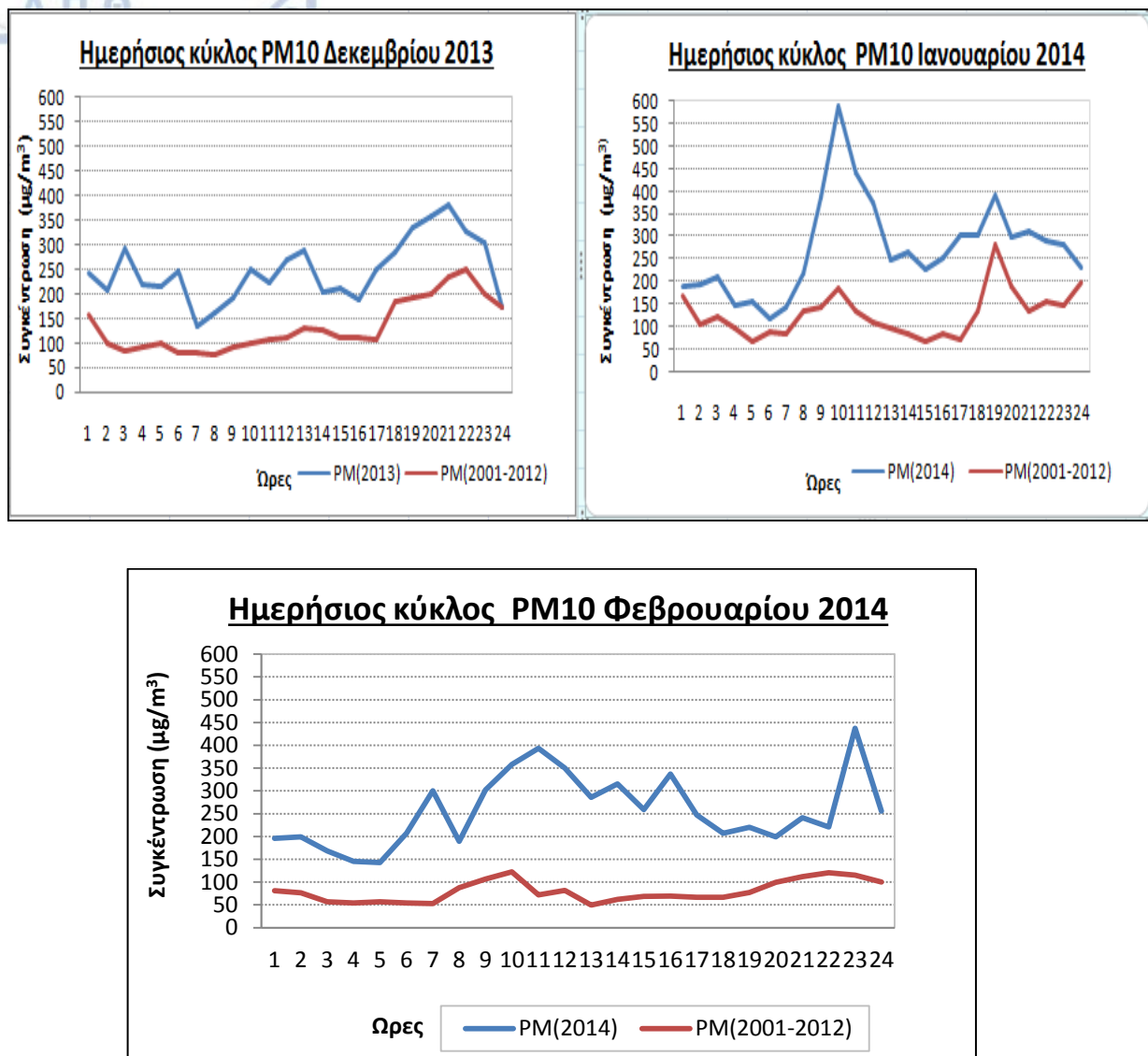
Σταθμός Σίνδου-CO



Σχήμα 3.14 Μέγιστες συγκεντρώσεις του CO για το σταθμό της Σίνδου για τις δύο χρονικές περιόδους

Μελετώντας τον ημερήσιο κύκλο του μονοξειδίου του άνθρακα για το σταθμό της Σίνδου, μπορεί να τονιστεί ότι οι μέγιστες συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων για τους μήνες Δεκέμβριο, Ιανουάριο και Φεβρουάριο για την περίοδο μελέτης είναι υψηλότερες από τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις για την περίοδο 2001-2012. Ακόμη, μπορεί να προσδιοριστεί ότι και στους τρεις μήνες εντοπίζονται μέγιστες τιμές κατά τις πρωινές ώρες, και συγκεκριμένα τις ώρες 9.00-11.00, αλλά και τις βραδινές ώρες, και συγκεκριμένα τις ώρες 19.00-22.00.

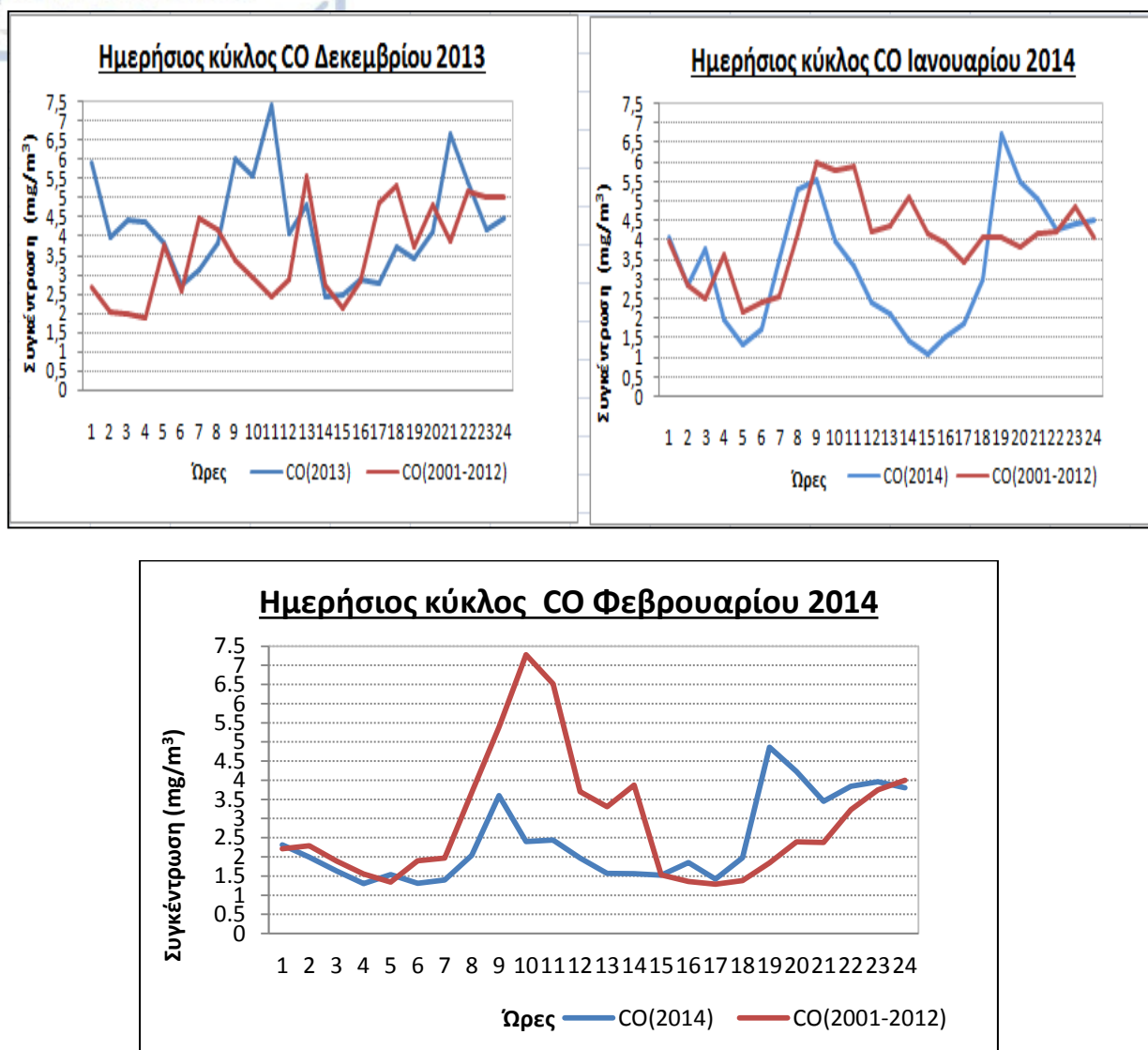
Σταθμός Κορδελιό-PM10



Σχήμα 3.15 Μέγιστες συγκεντρώσεις του PM10 για το σταθμό του Κορδελιού για τις δύο χρονικές περιόδους

Μελετώντας τα διαγράμματα του σχήματος 3.15, μπορεί να τονιστεί ότι οι μέγιστες συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων για την περίοδο μελέτης Δεκέμβριο, Ιανουάριο και Φεβρουάριο είναι υψηλότερες από τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις για την περίοδο αναφοράς 2001-2012. Ακόμη, μπορεί να προσδιοριστεί ότι και στους τρεις μήνες εντοπίζονται μέγιστες τιμές κατά το πρωί, και συγκεκριμένα τις ώρες 9.00-11.00, αλλά και το βράδυ, και συγκεκριμένα τις ώρες 19.00-22.00.

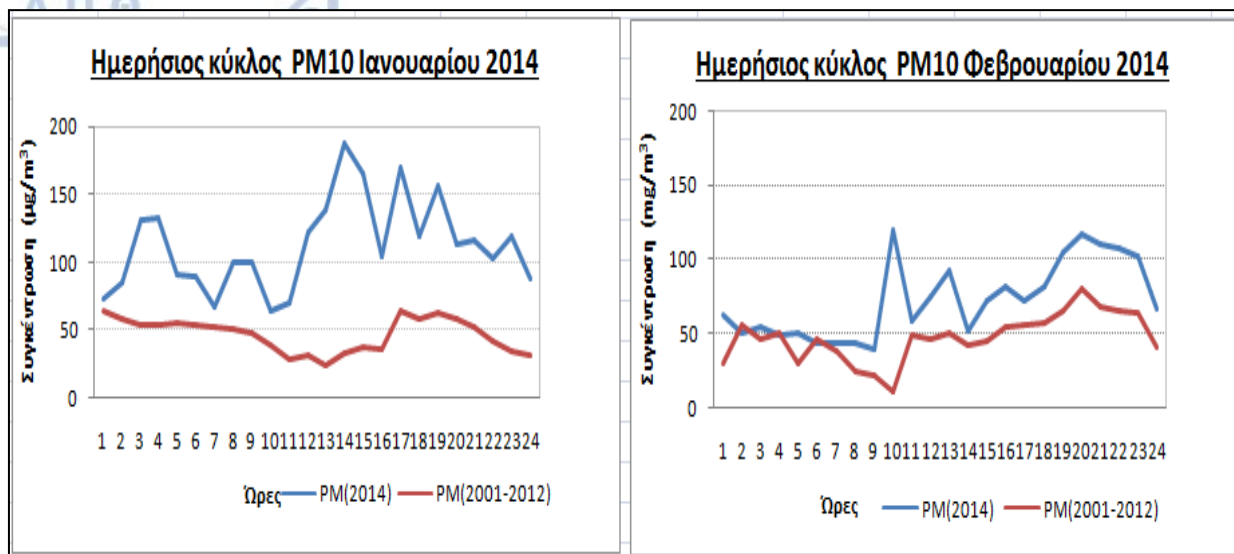
Σταθμός Κορδελιό-CO



Σχήμα 3.16 Μέγιστες συγκεντρώσεις του CO για το σταθμό της Σίνδου για τις δύο χρονικές περιόδους

Παρατηρώντας τον ημερήσιο κύκλο του μονοξειδίου του άνθρακα, μπορεί να προσδιοριστεί ότι οι μέγιστες συγκεντρώσεις για τους τρεις μήνες τόσο για την περίοδο μελέτης όσο και για την περίοδο αναφοράς 2001-2012 κυμαίνονται στις ίδιες τιμές. Ωστόσο, εντοπίζονται μέγιστες τιμές κατά τις πρωινές ώρες κυρίως την περίοδο αναφοράς 2001-2012 και μέγιστες τιμές κατά τις βραδινές ώρες 19.00-23.00 κατά την περίοδο μελέτης.

Σταθμός Πανοράματος -PM10



Σχήμα 3.17 Μέγιστες συγκεντρώσεις του PM10 για το σταθμό της Πανοράματος για τις δύο χρονικές περιόδους

Μελετώντας τον ημερήσιο κύκλο των αιωρούμενων σωματιδίων μπορεί να τονιστεί ότι οι μέγιστες συγκεντρώσεις για τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο για την περίοδο μελέτης είναι υψηλότερες από τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις για την περίοδο 2001-2012. Ακόμη, μπορεί να προσδιοριστεί ότι για τον Φεβρουάριο εντοπίζονται μέγιστες τιμές κατά τις πρωινές ώρες, και συγκεκριμένα τις ώρες 9.00-11.00, αλλά και τις βραδινές ώρες, και συγκεκριμένα τις ώρες 19.00-22.00.

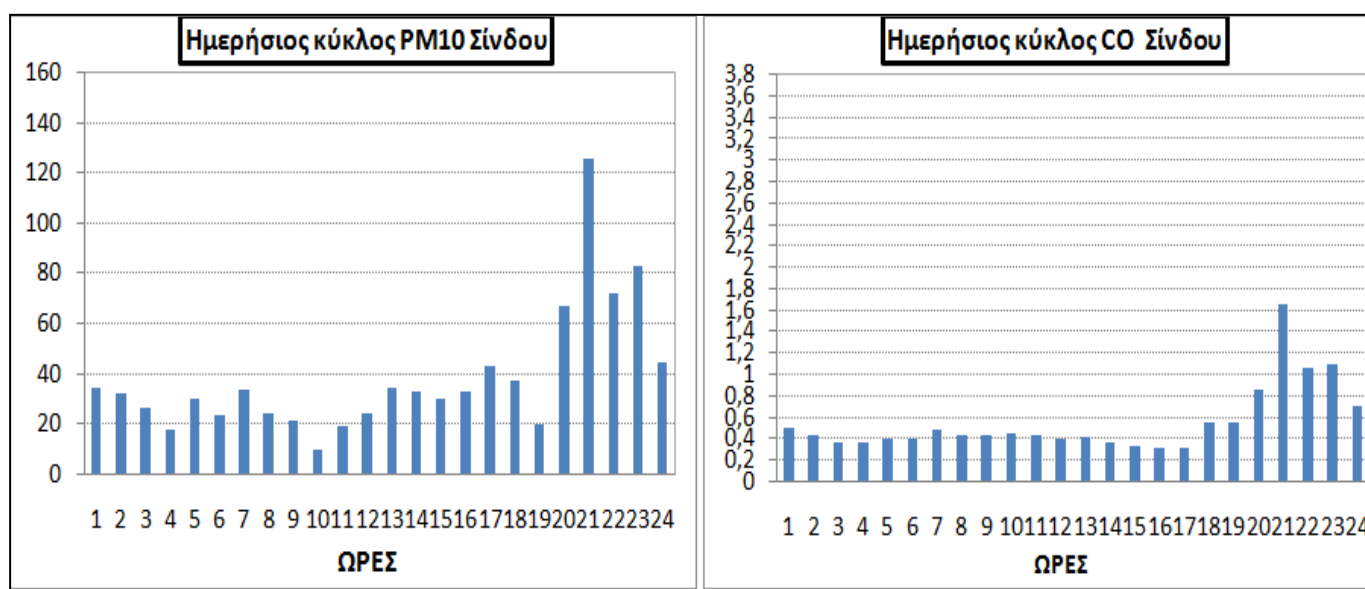
3.5 Μελέτη χαρακτηριστικών ημερών με συγκεντρώσεις υψηλότερες από την οριακή τιμή

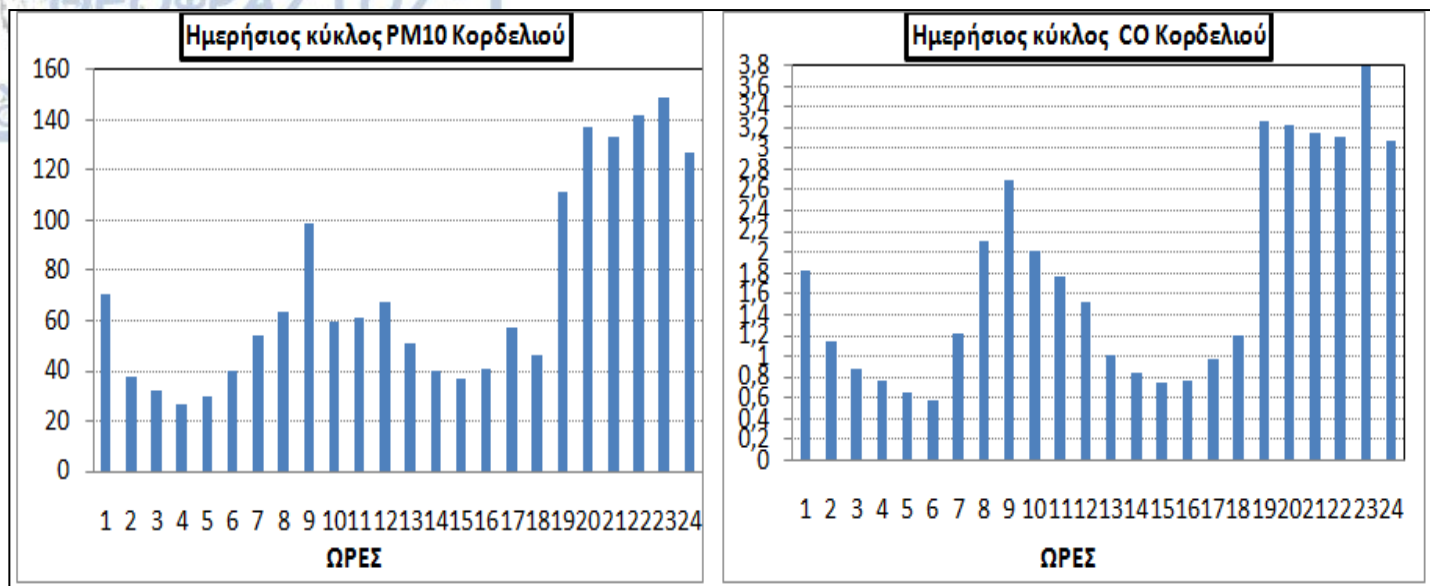
Στην παράγραφο αυτή η μελέτη επικεντρώνεται στις μέρες κατά τις οποίες σημειώθηκαν υπερβάσεις των ορίων σωματιδιακής ρύπανσης. Οι πληροφορίες αναφέρονται αναλυτικά στη χειμερινή περίοδο 2013-2014 που είναι η κοινή περίοδος μελέτης όλων των σταθμών. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η 24ωρη οριακή τιμή για τα αιωρούμενα σωματίδια είναι τα $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και για το μονοξείδιο του άνθρακα τα $10 \text{ mg}/\text{m}^3$ και δεν θα πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 35 φορές το χρόνο, βάση της νομοθεσίας της Ευρωπαϊκής

Ένωσης. Από το 2001 μέχρι το 2004 δόθηκε ένα περιθώριο ανοχής το οποίο αθροίζεται στην οριακή τιμή, δίνοντας έτσι την ενδεικτική οριακή τιμή. Έτσι για κάθε έτος από το 2001 έως το 2004 η ενδεικτική τιμή ήταν 70, 65, 60 και 55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα. Από το 2005 και μετά η 24ωρη οριακή τιμή για τα αιωρήματα είναι τα 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Από τη μελέτη των διαθέσιμων δεδομένων για τη χειμερινή περίοδο του 2013-2014, διαπιστώθηκε ότι κατά τις ημέρες 11, 12, 13 και 14 Ιανουαρίου του 2014 οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων αλλά και του μονοξειδίου του άνθρακα υπερβαίνουν τις οριακές τιμές. Αυτές οι υπερβάσεις των ορίων σωματιδιακής ρύπανσης συμβαίνουν στους δύο από τους επτά σταθμούς μελέτης και συγκεκριμένα στη Σίνδο και στο Κορδελιό. Έτσι, στη συνέχεια, για κάθε μια μέρα ξεχωριστά θα παρουσιαστούν διαγράμματα που αφορούν τις συγκεντρώσεις των αιωρημάτων και του μονοξειδίου του άνθρακα, στοιχεία ανέμου, θερμοκρασίας αέρα και υγρασίας. Ακόμη, θα παρουσιαστούν ραδιοβολήσεις αλλά και χάρτες με τους οποίους θα πραγματοποιηθεί η λεπτομερής μελέτη και ανάλυση.

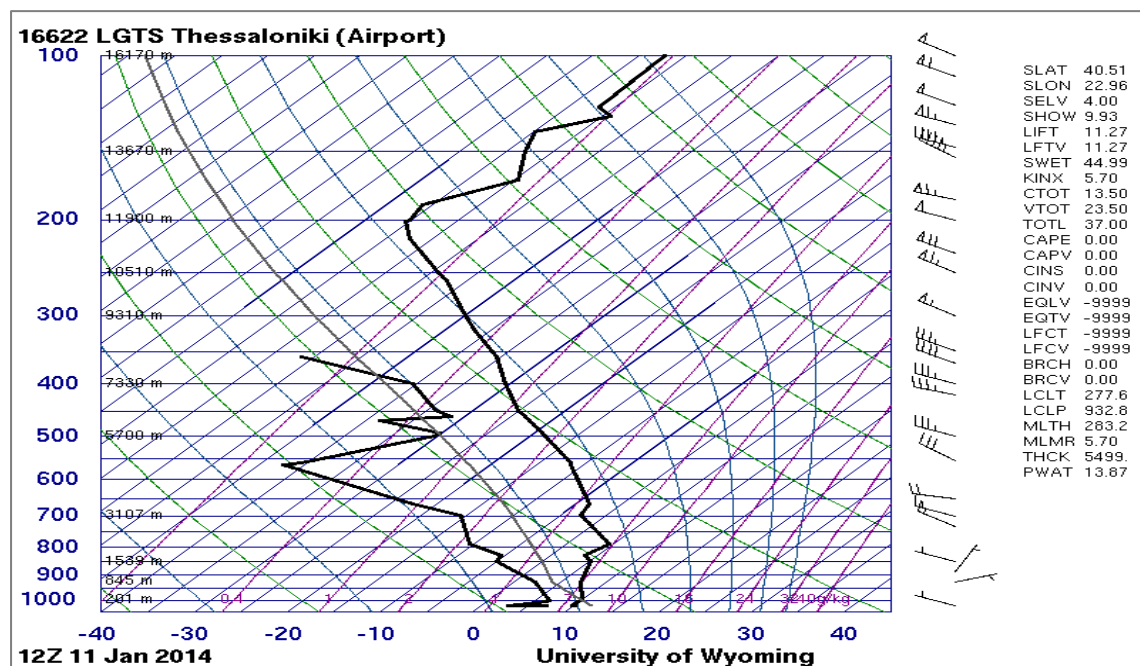
❖ 11 Ιανουαρίου 2014





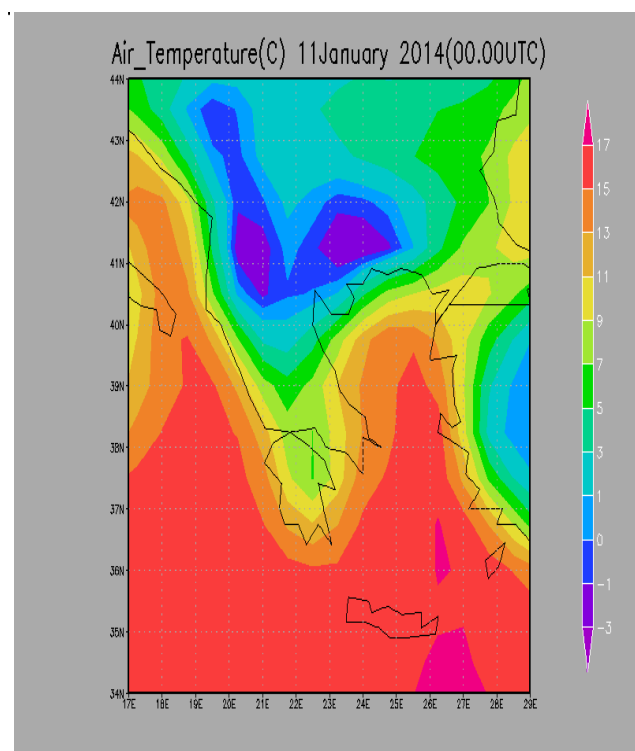
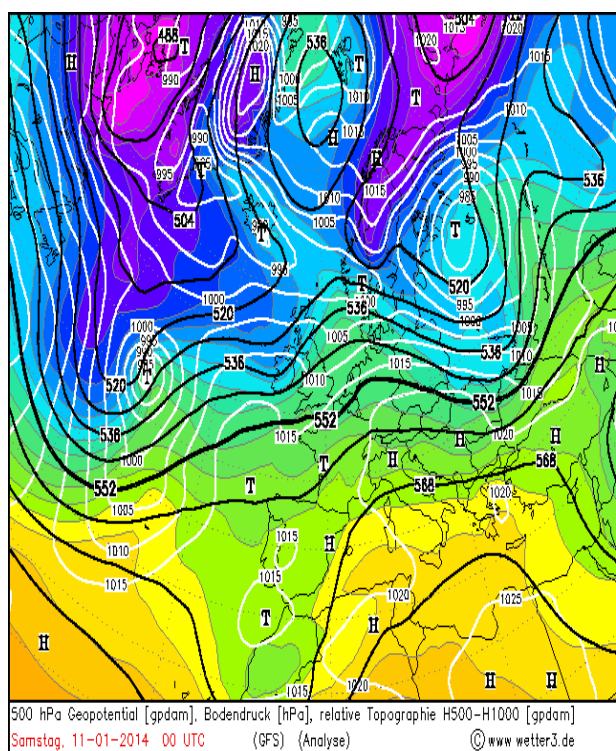
Σχήμα 3.18 :Συγκεντρώσεις (σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$) αιωρούμενων σωματιδίων και μονοξειδίου του άνθρακα για το σταθμό της Σίνδου και του Κορδελιού για την ημέρα 11 Ιανουαρίου 2014

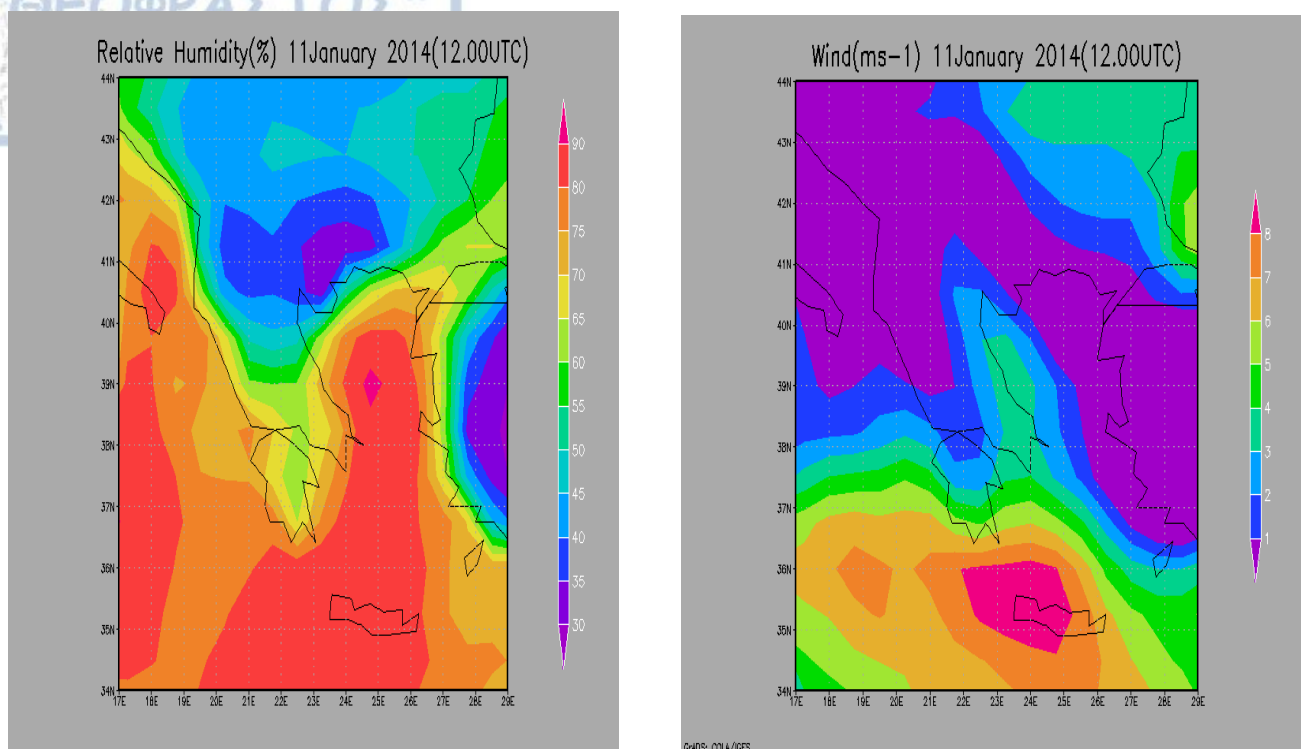
Από τα παραπάνω διαγράμματα μπορεί να προσδιοριστεί ότι η μέγιστη συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων αλλά και του μονοξειδίου του άνθρακα εντοπίζεται κατά τις ώρες 19.00-24.00. Συγκεκριμένα η μέγιστη τιμή των αιωρημάτων αλλά και του μονοξειδίου του άνθρακα σταθμό της Σίνδου εμφανίζεται στις 21.00 και είναι $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $1.7 \text{ mg}/\text{m}^3$, αντίστοιχα και στο σταθμό του Κορδελιού στις 23.00 και είναι $145 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $3.8 \text{ mg}/\text{m}^3$.



Σχήμα 3.19: Ραδιοβόληση για τη Θεσσαλονίκη για 11 Ιανουαρίου 2014 και ώρα 12.00 UTC

Η παραπάνω ραδιοβόληση προέρχεται από το πανεπιστήμιο Wyoming και αφορά την περιοχή του αεροδρομίου Θεσσαλονίκης για 11 Ιανουαρίου 2014 (12.00UTC). Παρατηρώντας μπορεί να διαπιστωθεί ότι στο επίπεδο των 800 mbs(περίπου 2000μ) υπάρχει μια μικρή αναστροφή που πιθανότατα περιορίζει την άνοδο της αέριας μάζας σε αυτό το ύψος. Ο αέρας στην επιφάνεια είναι σχετικά υγρός ενώ ανεβαίνοντας γίνεται ξηρότερος. Ακόμη, η θερμοκρασία του αέρα κοντά στην επιφάνεια του εδάφους είναι γύρω στους 6-7°C. Οι άνεμοι είναι πολύ ασθενείς στην επιφάνεια και μέχρι το επίπεδο των 550mbs. Παρατηρώντας τους δείκτες αστάθειας θα γίνει αναφορά στον δείκτη CAPE, ο οποίος αποτελεί μια θερμοδυναμική παράμετρο που αναφέρεται σε όλη την ατμόσφαιρα και παρέχει ένα μέτρο της μέγιστης δυνατής δυναμικής ενέργειας που μπορεί να αποκτήσει ένα ασταθές αέριο δείγμα κινούμενο κατακόρυφα από το LFC (Level of Free Convection) έως το EL (Equilibrium Level). Ο δείκτης CAPE και σε αυτό το τεφίγραμμα είναι 0 που σημαίνει ότι υπάρχει απόλυτη ευστάθεια.

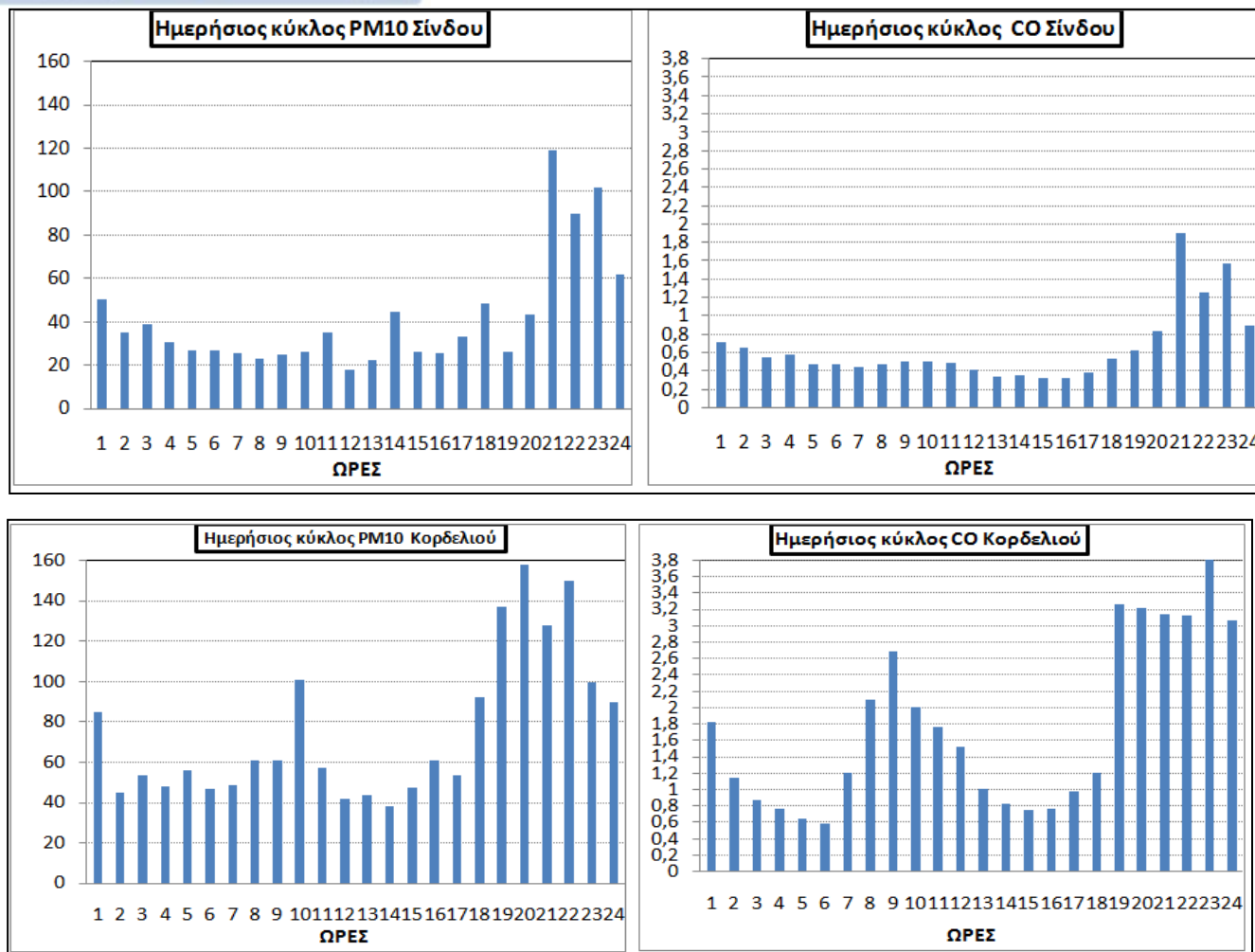




Σχήμα 3.20: Χάρτες ανάλυσης γεωδυναμικού ύψους, θερμοκρασίας, υγρασίας και ανέμου για 00.00UTC και 12.00 UTC

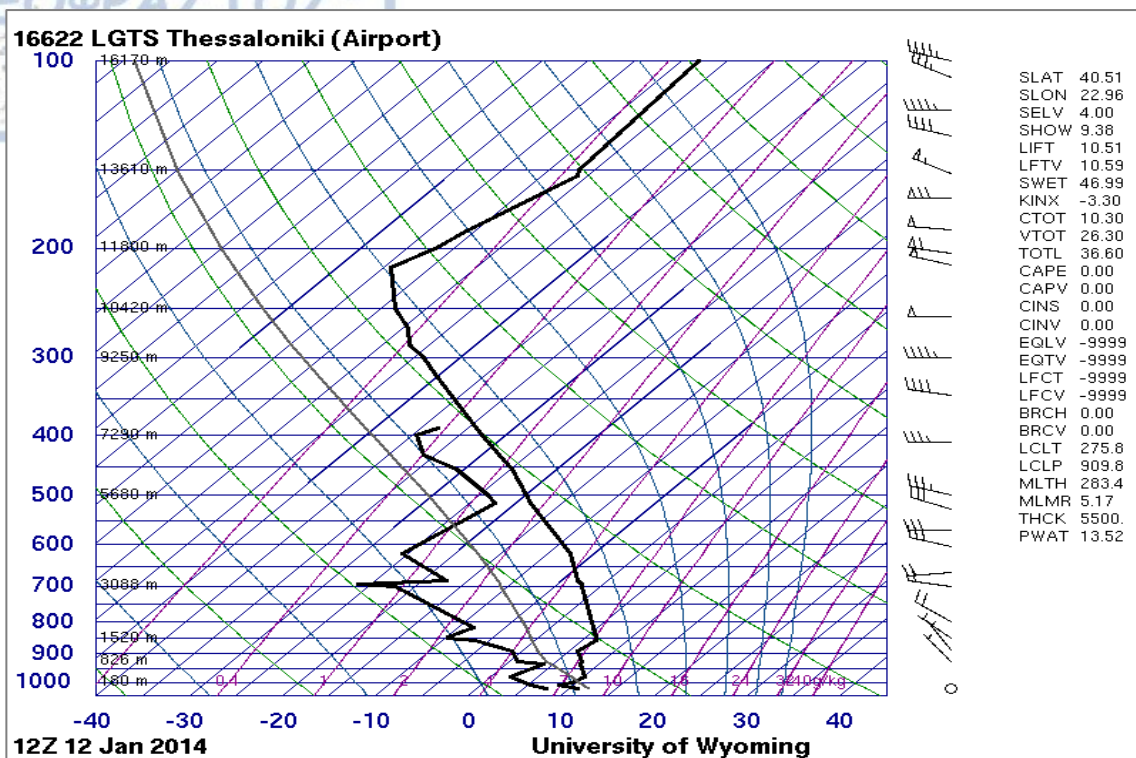
Παρατηρώντας προσεχτικά το πρώτο χάρτη του σχήματος 3.15, που αφορά το γεωδυναμικό ύψος στα 500 hPa για τις 00.00 UTC, μπορεί να προσδιοριστεί ότι υπάρχει ένας εμποδισμός απορροής. Έτσι, παρατηρείται στα βόρεια ένα κέντρο υψηλών πιέσεων και στα νότια κέντρο χαμηλών πιέσεων. Ακόμη, η κανονική δυτική ροή διασπάται σε δύο ισοδύναμα ρεύματα. Ο Καιρός είναι καλός χωρίς φαινόμενα, λόγω του αντικυκλώνα που υπάρχει στη Μεσόγειο. Το γεωδυναμικό ύψος στην περιοχή της Θεσσαλονίκης είναι 558 grdam. Η θερμοκρασία του αέρα κοντά στην επιφάνεια του εδάφους κατά τις βραδινές ώρες (00.00 UTC) είναι 4-5°C. Τέλος, για τις 12.00 UTC, η σχετική υγρασία κυμαίνεται γύρω στο 45-50% και οι άνεμοι κοντά στην επιφάνεια του εδάφους είναι ασθενείς ($1-2 \text{ ms}^{-1}$). Έτσι, από τη μελέτη όλων των διαθέσιμων δεδομένων και χαρτών η Θεσσαλονίκη για την 11^η Ιανουαρίου του 2014 χαρακτηρίζεται από κανονική για την εποχή θερμοκρασία με ελάχιστες που κυμαίνονται από 3-4° C και μέγιστες 15-16° C, υγρασία που προσεγγίζει το 50% και απόλυτα ευσταθή θερμοδυναμική κατάσταση.

❖ 12 Ιανουαρίου 2014



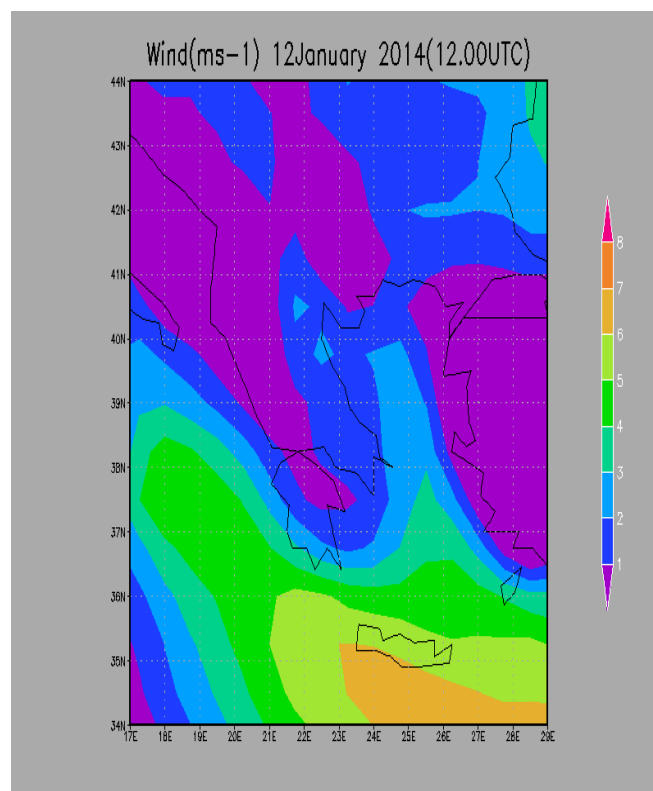
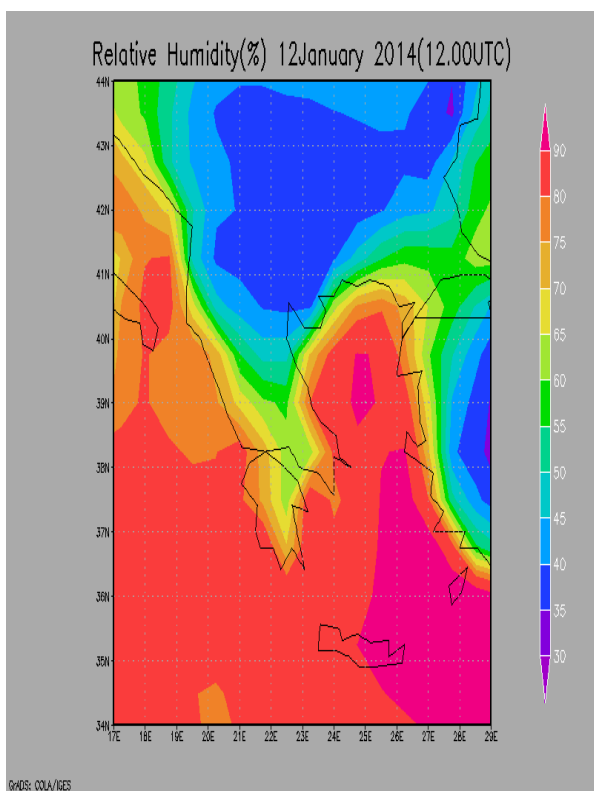
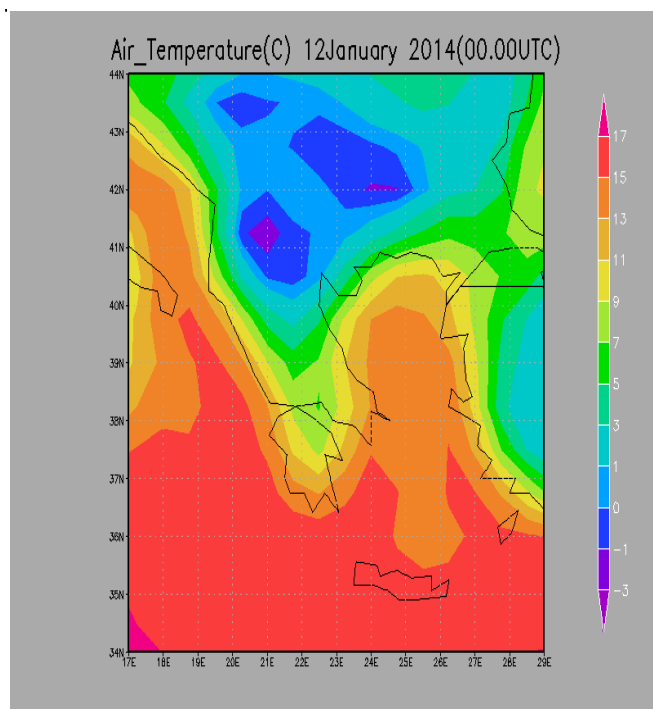
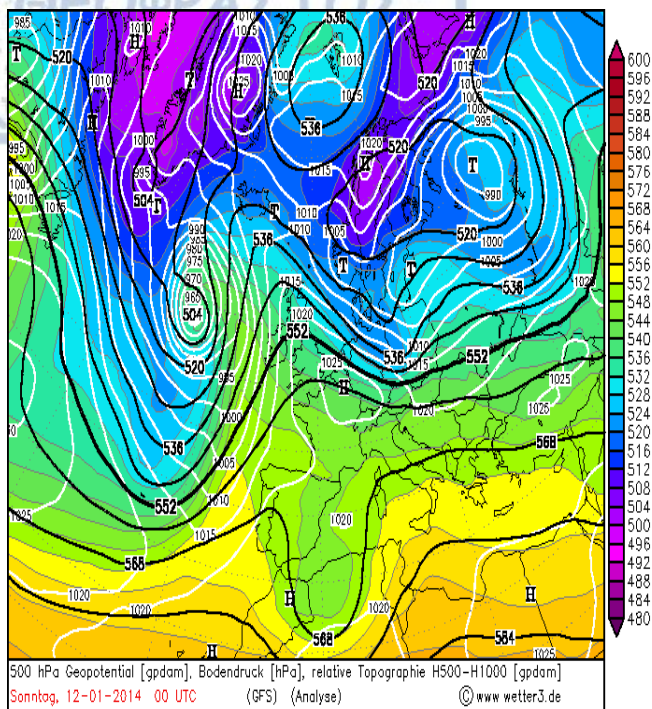
Σχήμα 3.21 :Συγκεντρώσεις (σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$) αιωρούμενων σωματιδίων και μονοξειδίου του άνθρακα για το σταθμό της Σίνδου και του Κορδελιού για την ημέρα 12 Ιανουαρίου 2014

Στο σταθμό της Σίνδου η μέγιστη συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων και του μονοξειδίου του άνθρακα εντοπίζεται κατά τις 21.00 και προσεγγίζει τα $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και τα $1.9 \text{ mg}/\text{m}^3$, αντίστοιχα. Στο σταθμό του Κορδελιού η μέγιστη συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων εμφανίζεται κατά τις 21.00 και είναι $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Όσον αφορά το μονοξείδιο του άνθρακα, παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή του κατά τις 23.00 και είναι $1.9 \text{ mg}/\text{m}^3$.



Σχήμα 3.22: Ραδιοβόληση για τη Θεσσαλονίκη για 12 Ιανουαρίου 2014 και ώρα 12.00 UTC

Η ραδιοβόληση αφορά την περιοχή του αεροδρομίου Θεσσαλονίκης για 12 Ιανουαρίου 2014 (12.00UTC). Παρατηρώντας προσεκτικά μπορεί να διαπιστωθεί ότι σε δύο επίπεδα εντοπίζονται αναστροφές, από την επιφάνεια μέχρι τα 1000mbs και στα 850-900 mbs (1000-1500μ) με αποτέλεσμα να περιορίζεται η άνοδος του αέρα σε αυτά τα ύψη. Ο αέρας στην επιφάνεια είναι πολύ ξηρός μέχρι το μέσο της τροπόσφαιρας. Ακόμη, η θερμοκρασία του αέρα είναι γύρω στους 9-10°C. Οι άνεμοι είναι ασθενείς στην επιφάνεια και μέχρι το επίπεδο των 700mbs. Ο δείκτης που είναι πολύ αντιπροσωπευτικός της θερμοδυναμικής κατάστασης της ατμόσφαιρας είναι το CAPE (Convective Available Potential Energy) και σε αυτό το τεφίγραμμα είναι 0 που σημαίνει ότι υπάρχει απόλυτη ευστάθεια.

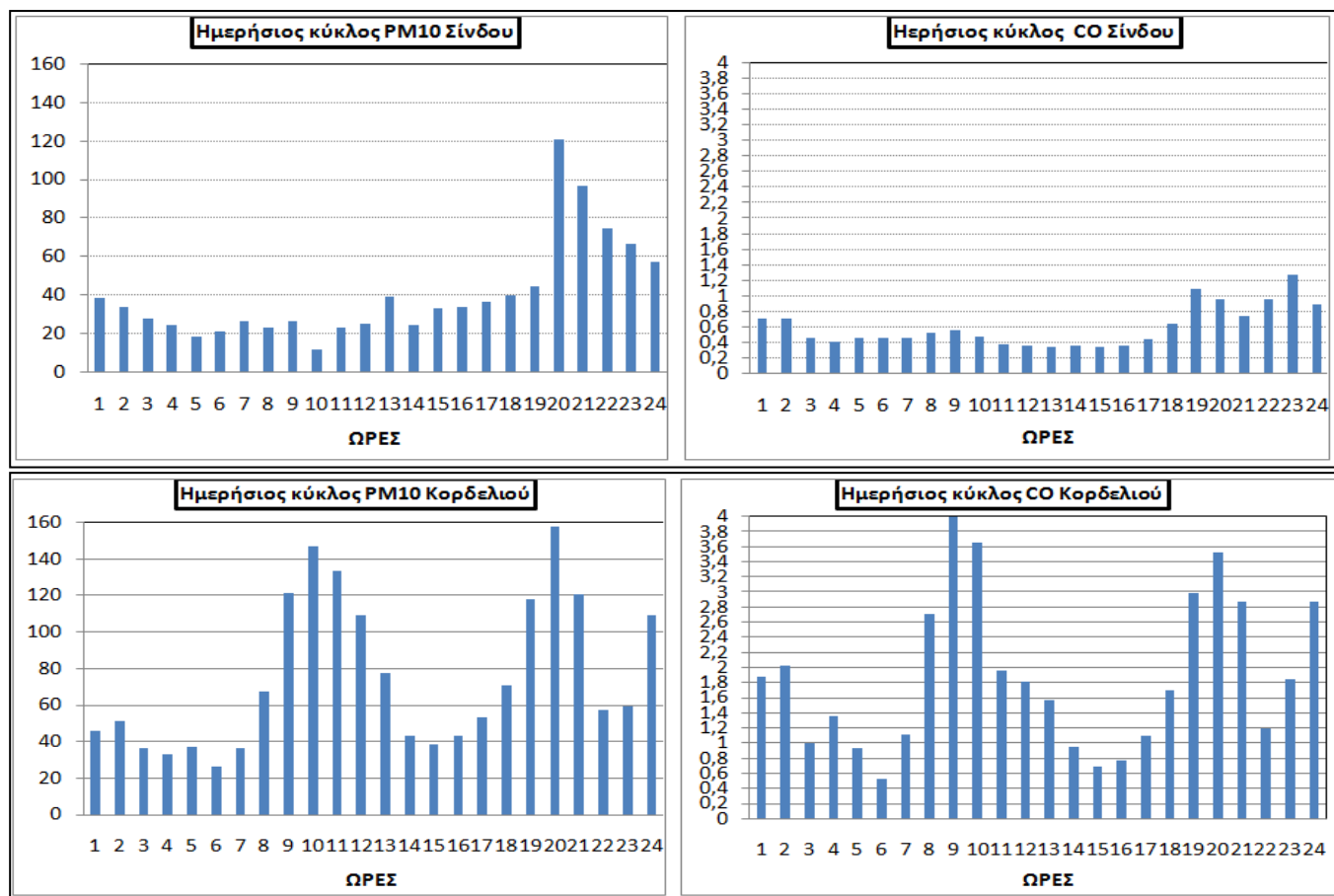


Σχήμα 3.23: Χάρτες ανάλυσης γεωδυναμικού ύψους, θερμοκρασίας, υγρασίας και ανέμου για 00.00UTC και 12.00 UTC

Παρατηρώντας προσεκτικά το χάρτη του σχήματος 3.156, που αφορά το γεωδυναμικό ύψος στα 500 hPa για τις 00.00 UTC, μπορεί να προσδιοριστεί ότι ο εμποδισμός συνεχίζει να

υπάρχει και ο αντικυκλώνας που αναφέρθηκε προηγουμένως, κινείται προς περιοχή της Ελλάδας. Το γεωδυναμικό ύψος στην περιοχή της Θεσσαλονίκης είναι 558 grdam. Η θερμοκρασία του αέρα κοντά στην επιφάνεια του εδάφους κατά τις βραδινές ώρες(00.00 UTC) είναι 7°C. Τέλος, για τις 12.00 UTC, η σχετική υγρασία κυμαίνεται γύρω στο 55% και οι άνεμοι κοντά στην επιφάνεια του εδάφους είναι ασθενείς ($1-2 \text{ ms}^{-1}$). Έτσι, από τη μελέτη όλων των διαθέσιμων δεδομένων και χαρτών η Θεσσαλονίκη για την 12^η Ιανουαρίου του 2014 χαρακτηρίζεται από κανονική για την εποχή θερμοκρασία με ελάχιστες που κυμαίνονται από 7° C και μέγιστες 15-16° C , υγρασία που φτάνει το 50% , άπνοια και απόλυτα ευσταθή θερμοδυναμική κατάσταση.

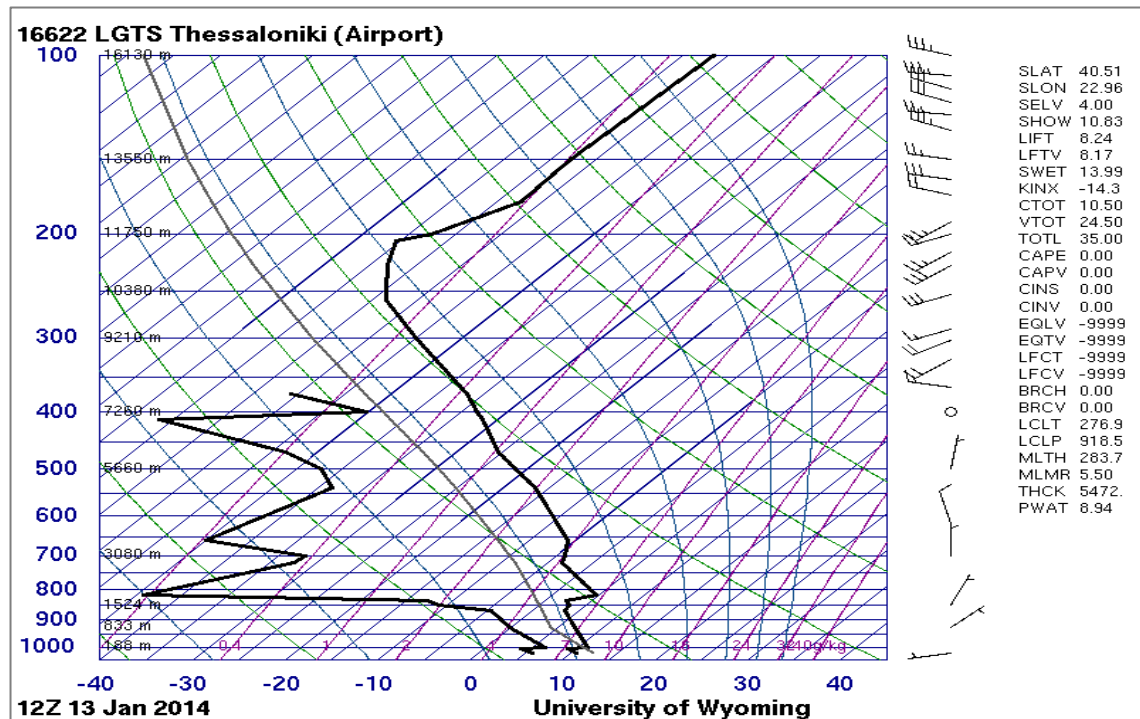
❖ 13 Ιανουαρίου 2014



Σχήμα 3.24 :Συγκεντρώσεις (σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$) αιωρούμενων σωματιδίων και μονοξειδίου του άνθρακα για το σταθμό της Σίνδου και του Κορδελιού για την ημέρα 13 Ιανουαρίου 2014

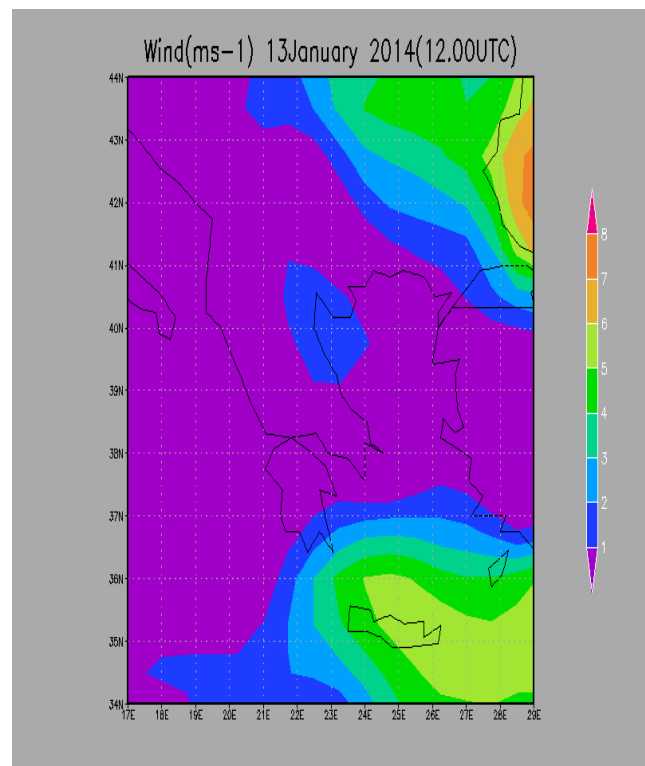
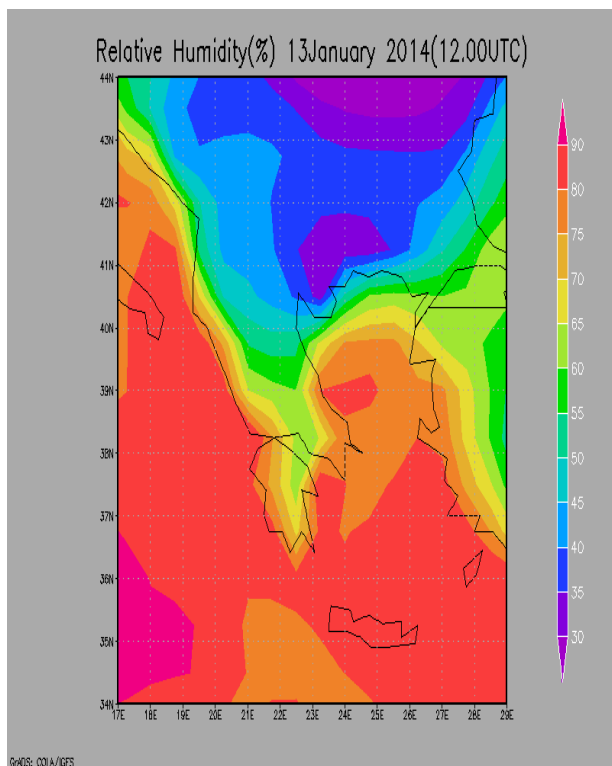
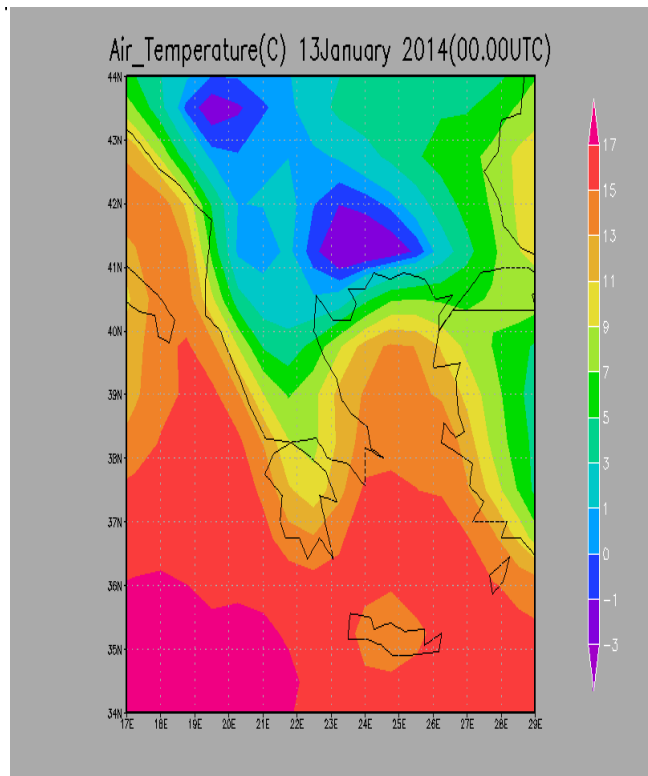
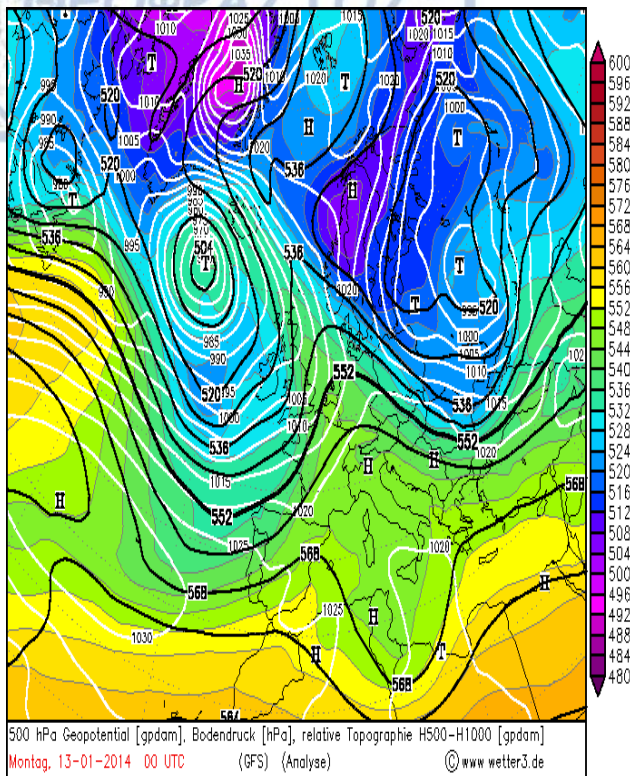
Μπορεί να επισημανθεί ότι στο σταθμό της Σίνδου η μέγιστη συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων εμφανίζεται κατά τις 19.00 και είναι $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ενώ το CO

παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή του κατά τις 23.00 και είναι 1.3 mg/m^3 . Από την άλλη, στο σταθμό του Κορδελιού η μέγιστη συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων και του μονοξειδίου του άνθρακα εντοπίζεται κατά τις 19.00 και προσεγγίζει τα $160 \mu\text{g/m}^3$ και τα 3.5 mg/m^3 , αντίστοιχα.



Σχήμα 3.25 : Ραδιοβόληση για τη Θεσσαλονίκη για 13 Ιανουαρίου 2014 και ώρα 12.00 UTC

Η ραδιοβόληση αφορά την περιοχή της Θεσσαλονίκης για 13 Ιανουαρίου 2014 (12.00UTC). Μελετώντας την παραπάνω ραδιοβόληση μπορεί να διαπιστωθεί ότι σε δύο επίπεδα εντοπίζονται αναστροφές, στα 1000mbs και στα 850 mbs (1500μ) με αποτέλεσμα να περιορίζεται η άνοδος του αέρα σε αυτά τα ύψη. Ο αέρας στην επιφάνεια είναι σχετικά υγρός ενώ ανεβαίνοντας γίνεται ξηρότερος. Ακόμη, η θερμοκρασία του αέρα είναι γύρω στους 9-10°C. Οι άνεμοι είναι ασθενείς σε όλα τα επίπεδα. Τέλος, υπάρχει απόλυτη ευστάθεια γιατί ο δείκτης CAPE είναι μηδέν.

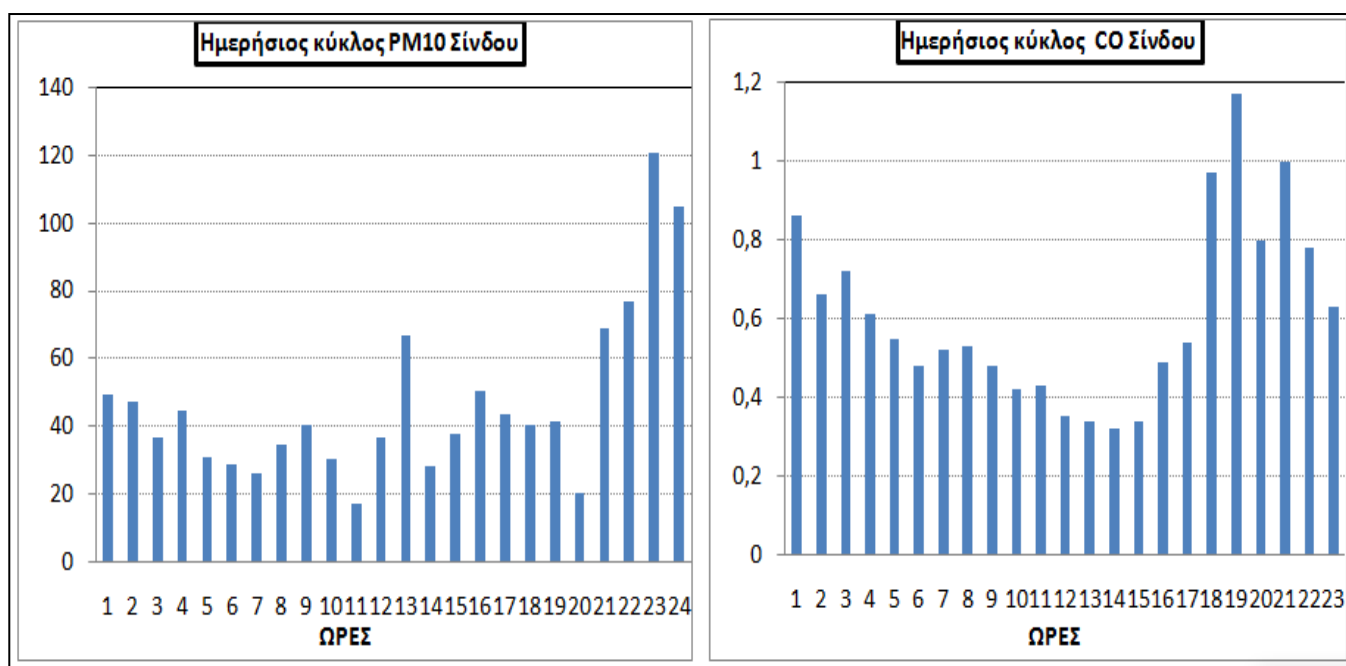


Σχήμα 3.26 : Χάρτες ανάλυσης γεωδυναμικού ύψους, θερμοκρασίας, υγρασίας και ανέμου για 00.00UTC και 12.00 UTC

Από το χάρτη του σχήματος 3.21, που αφορά το γεωδυναμικό ύψος στα 500 hPa για τις 00.00 UTC, μπορεί να προσδιοριστεί ότι ο ίδιος αντικυκλώνας που αναφέρθηκε

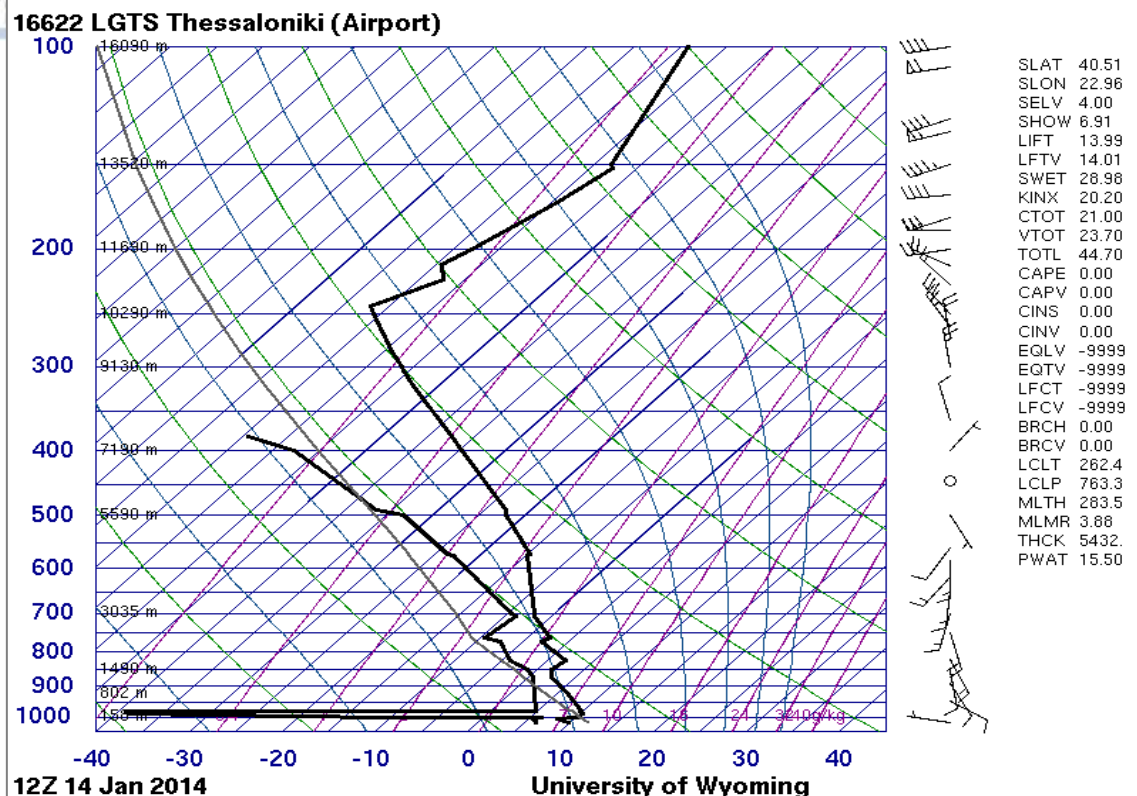
προηγουμένως βρίσκεται στην περιοχή της Βουλγαρίας. Το γεωδυναμικό ύψος στην περιοχή της Θεσσαλονίκης είναι 554 grdam. Η θερμοκρασία του αέρα κοντά στην επιφάνεια του εδάφους κατά τις βραδινές ώρες(00.00 UTC) είναι 5°C. Τέλος, για τις 12.00 UTC, η σχετική υγρασία κυμαίνεται γύρω στο 50% και οι άνεμοι κοντά στην επιφάνεια του εδάφους είναι ασθενείς ($1-2 \text{ ms}^{-1}$). Έτσι, από τη μελέτη όλων των διαθέσιμων δεδομένων και χαρτών η Θεσσαλονίκη για την 13^η Ιανουαρίου του 2014 χαρακτηρίζεται από κανονική για την εποχή θερμοκρασία με ελάχιστες που κυμαίνονται από 5° C και μέγιστες 15° C , υγρασία που φτάνει το 50% , άπνοια και απόλυτα ευσταθή θερμοδυναμική κατάσταση.

❖ 14 Ιανουαρίου 2014



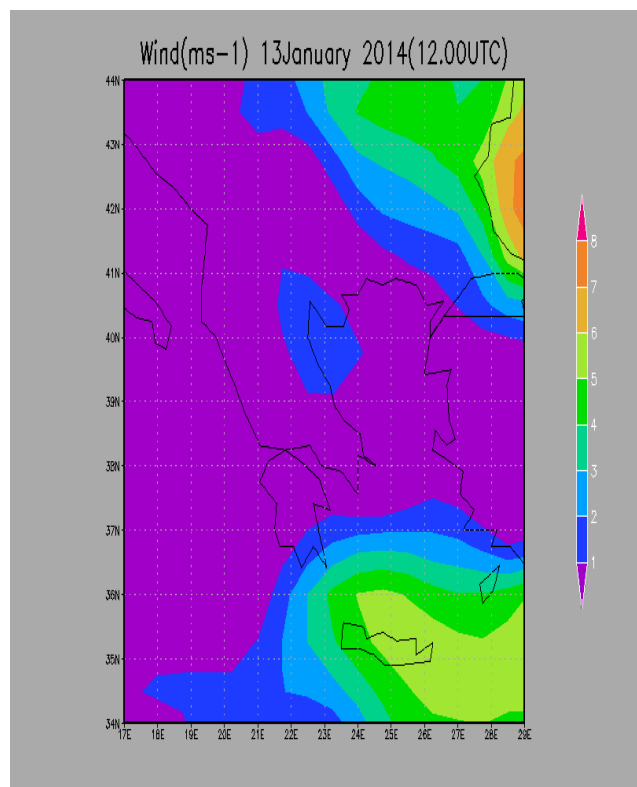
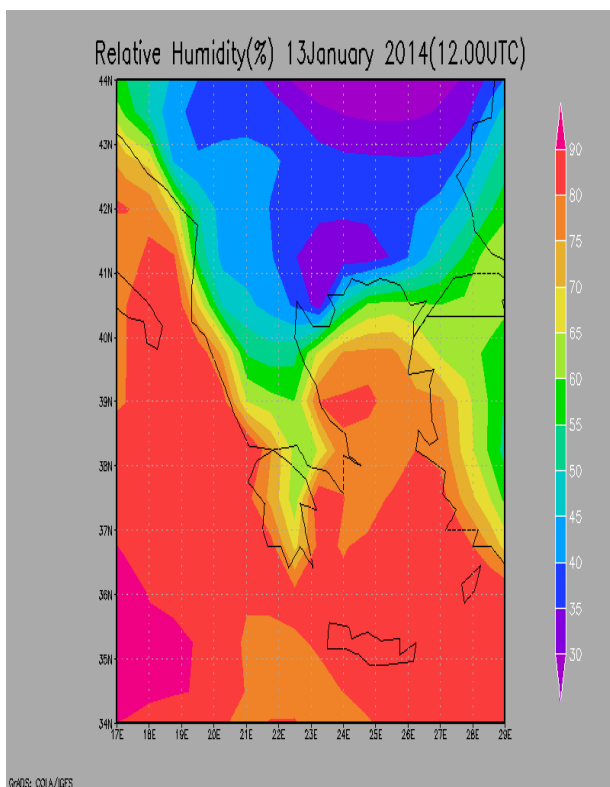
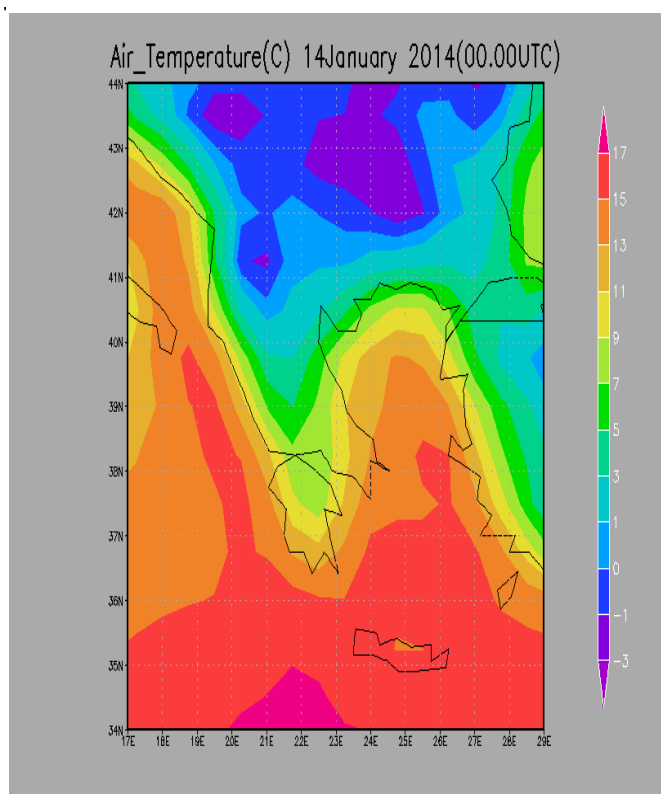
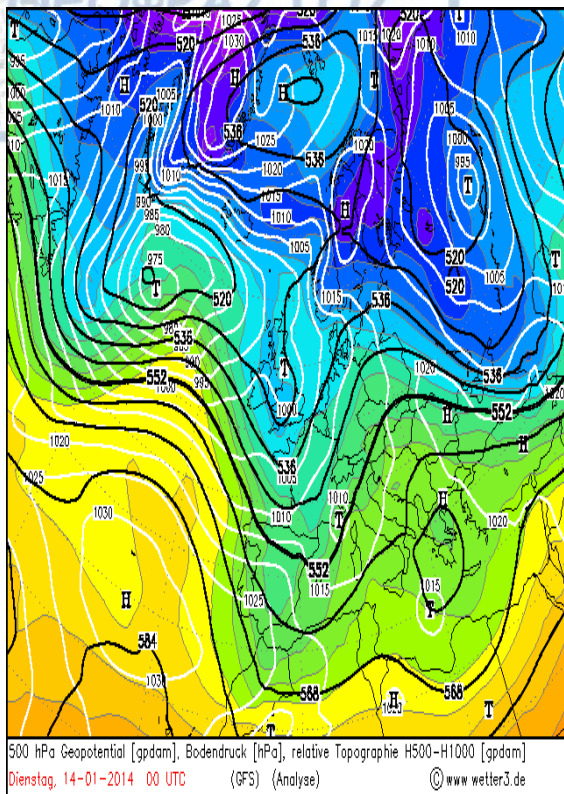
Σχήμα 3.27 :Συγκεντρώσεις (σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$) αιωρούμενων σωματιδίων και μονοξειδίου του άνθρακα για το σταθμό της Σίνδου για την ημέρα 14 Ιανουαρίου 2014

Παρατηρώντας τα δύο διαγράμματα του σχήματος 3.22, μπορεί να προσδιοριστεί ότι ο σταθμός της Σίνδου εμφανίζει τη μέγιστη συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων και του μονοξειδίου του άνθρακα εντοπίζεται κατά τις 20.00 και προσεγγίζει τα $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και τα $3.5 \text{ mg}/\text{m}^3$, αντίστοιχα.

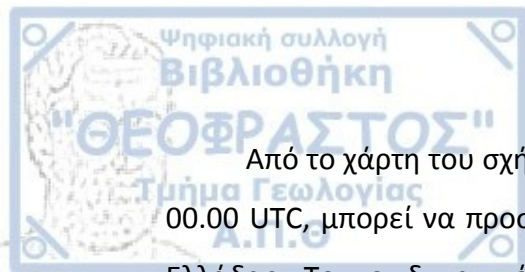


Σχήμα 3.28 : Ραδιοβόληση για τη Θεσσαλονίκη για 14 Ιανουαρίου 2014 και ώρα 12.00 UTC

Μελετώντας τη ραδιοβόληση του σχήματος 3.23 που αφορά την περιοχή για 14 Ιανουαρίου 2014 (12.00UTC) , μπορεί να διαπιστωθεί ότι εντοπίζεται σημαντική αναστροφή στο επίπεδο των 1000mbs, με αποτέλεσμα να περιορίζεται η άνοδος του αέρα σε αυτό το ύψος. Ακόμη, στο επίπεδο των 850 mbs παρατηρείται μια ακόμη αναστροφή. Ο αέρας στην επιφάνεια είναι υγρός, ενώ από το επίπεδο των 700 mbs και πιο πάνω γίνεται ξηρότερος. Ακόμη, η θερμοκρασία του αέρα είναι γύρω στους 10-11°C. Οι άνεμοι είναι ασθενείς. Ο δείκτης CAPE και σε αυτό το τεφίγραμμα είναι 0 που σημαίνει ότι υπάρχει απόλυτη ευστάθεια.



Σχήμα 3.29 : Προγνωστικοί χάρτες γεωδυναμικού ύψους, θερμοκρασίας, υγρασίας και ανέμου για 00.00UTC και 12.00 UTC



Από το χάρτη του σχήματος 3.24, που αφορά το γεωδυναμικό ύψος στα 500 hPa για τις 00.00 UTC, μπορεί να προσδιοριστεί ότι ο ίδιος αντικυκλώνας βρίσκεται στην περιοχή της Ελλάδας. Το γεωδυναμικό ύψος στην περιοχή της Θεσσαλονίκης είναι 554 grdam. Η θερμοκρασία του αέρα κοντά στην επιφάνεια του εδάφους κατά τις βραδινές ώρες (00.00 UTC) είναι 8-9°C. Τέλος, για τις 12.00 UTC, η σχετική υγρασία κυμαίνεται γύρω στο 50% και οι άνεμοι κοντά στην επιφάνεια του εδάφους είναι ασθενείς ($1-2 \text{ ms}^{-1}$). Έτσι, από τη μελέτη όλων των διαθέσιμων δεδομένων και χαρτών η Θεσσαλονίκη για την 14^η Ιανουαρίου του 2014 χαρακτηρίζεται από κανονική για την εποχή θερμοκρασία με ελάχιστες που κυμαίνονται από 8-9° C και μέγιστες 16° C, υγρασία που φτάνει το 50%, άπνοια και απόλυτα ευσταθή θερμοδυναμική κατάσταση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την μελέτη της σωματιδιακής ρύπανσης στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης, προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- 1) Από την επεξεργασία των δεδομένων προσδιορίστηκε ότι τρεις από τους επτά σταθμούς παρουσιάζουν συγκεντρώσεις των μελετούμενων ρύπων που υπερβαίνουν τις οριακές συνθήκες. Οι πιο επιβαρημένοι σταθμοί από αιωρούμενα σωματίδια φαίνεται ότι είναι η Σίνδος, το Ελευθέριο Κορδελιό και το Πανόραμα.
- 2) Από τους μήνες της χειμερινής περιόδου, αυτοί που παρουσιάζουν κάποιες μέρες όπου οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων και του μονοξειδίου του άνθρακα ξεπερνούν τις τιμές που ορίζονται από τη νομοθεσία είναι ο Δεκέμβριος, ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος.
- 3) Για το σταθμό της Σίνδου για το Δεκέμβριο η ημερήσια μεταβολή των αιωρούμενων σωματιδίων και του μονοξειδίου του άνθρακα είναι μεγαλύτερη για την περίοδο μελέτης σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 2001-2012. Για τις δύο χρονικές περιόδους ο σταθμός του Κορδελιού παρουσιάζει υψηλότερες συγκεντρώσεις από τους σταθμούς της Σίνδου και του Πανοράματος.
- 4) Για τις δύο χρονικές περιόδους για τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο ο σταθμός του Κορδελιού εμφανίζει τις υψηλότερες συγκεντρώσεις σε σχέση με τους σταθμούς της Σίνδου και του Πανοράματος . Από την άλλη, ο σταθμός του Πανοράματος παρουσιάζει τη μεγαλύτερη απόκλιση μεταξύ των δύο καμπυλών .
- 5) Ο σταθμός του Κορδελιού είναι αυτός που παρουσίασε τις υψηλότερες συγκεντρώσεις PM₁₀ τόσο για την περίοδο μελέτης 2013-2014 όσο και για την περίοδο αναφοράς 2001-2012.
- 6) Οι μικρότερες συγκεντρώσεις καταγράφηκαν στο σταθμό του Πανοράματος.
- 7) Για τον μήνα Δεκέμβριο και για τις δύο χρονικές περιόδους και στους τρεις σταθμούς οι μέγιστες συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων και του μονοξειδίου του άνθρακα εμφανίζονται τις βραδινές ώρες και συγκεκριμένα τις ώρες 19.00-22.00.
- 8) Για τον μήνα Ιανουάριο για τους σταθμούς της Σίνδου και του Πανοράματος οι μέγιστες συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων και του μονοξειδίου του άνθρακα για τις δύο

χρονικές περιόδους εντοπίζονται τις βραδινές ώρες και συγκεκριμένα τις ώρες 19.00-24.00. Ωστόσο, ο σταθμός του Κορδελιού εμφανίζει δύο φορές μέγιστες συγκεντρώσεις PM₁₀ και CO. Έτσι, εκτός από τις βραδινές ώρες (19.00-24.00) ο σταθμός εμφανίζει υψηλές συγκεντρώσεις και τις πρωινές ώρες.

9) Για τον μήνα Φεβρουάριο παρατηρείται ότι τη χρονική περίοδο 2013-2014 και στους τρεις σταθμούς οι μέγιστες συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων και του μονοξειδίου του άνθρακα εμφανίζονται τις ώρες 20.00-23.00. Όμως, τη χρονική περίοδο 2001-2012 οι μέγιστες συγκεντρώσεις των ρύπων εμφανίζονται κατά κύριο λόγο τις πρωινές ώρες.

10) Στην διάρκεια της ημέρας εμφανίζονται υψηλές συγκεντρώσεις PM₁₀ κατά τις πρωινές (9:00-11:00) στο σταθμό του Κορδελιού και βραδινές (20:00-24:00) ώρες στους σταθμούς της Σίνδου και του Πανοράματος. Οι υψηλές αυτές συγκεντρώσεις σχετίζονται με τις κυκλοφοριακές αιχμές και το χαμηλό ύψος του οριακού στρώματος που παρατηρείται νωρίς το πρωί και αργά το βράδυ. Οι υψηλές αυτές συγκεντρώσεις κατά το βράδυ οφείλονται, ακόμη, στην συνδυαστική δράση τριών παραγόντων. Στην έντονη κυκλοφορία των αυτοκινήτων λόγω της λήξης του ωραρίου των καταστημάτων, στην λειτουργία των κεντρικών θερμάνσεων των κατοικιών και στην εμφάνιση θερμοκρασιακών αναστροφών.

11) Από την επεξεργασία των δεδομένων προσδιορίστηκε ότι τις ημέρες 11, 12, 13 και 14 Ιανουαρίου η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων και του μονοξειδίου του άνθρακα κατά τις ώρες 19.00-24.00 είναι υψηλές φτάνοντας σε μερικές περιπτώσεις τα 160 μg/m³ για το PM₁₀ και 4 μg/m³ για το CO.

12) Για το επεισόδιο με τις ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων και του μονοξειδίου του άνθρακα, μελετώντας και παράλληλα τη συνοπτική κατάσταση, μπορεί να προσδιοριστεί ότι η ύπαρξη του αντικυκλώνα στη κεντρική Ευρώπη, είναι υπεύθυνος για τον καλό καιρό και την απουσία φαινομένων στην περιοχή της Θεσσαλονίκης. Ακόμη, η θερμοκρασία είναι κανονική για την εποχή με ελάχιστες που κυμαίνονται από 3-7° C και μέγιστες 15-17° C, υγρασία που φτάνει και το 50%, άπνοια και απόλυτα ευσταθή θερμοδυναμική κατάσταση.



- Ασααέλ Μ., Μελάς Δ., Καρατζάς Κ., Αχιλλάς Κ., Κακοσίμος Κ. (2008), Καταγραφή και μελέτη αιωρούμενων σωματιδίων στο Πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης.
- Βαλαβανίδης Α., Περδικάρης Σ. , Βλαχογιάννη Θ., Ατμοσφαιρική ρύπανση από την καύση βιομάζας σε τζάκια σε αστικές περιοχές.
- Βέλκου Β., Το φαινόμενο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην Ελλάδα, τα αίτια, οι συνέπειες και οι τρόποι αντιμετώπισης.
- Εκθεση (2013), Η ατμοσφαιρική ρύπανση στο πολεοδομικό συγκρότημα Θεσσαλονίκης, Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας.
- Ελευθεριάδης Ι. (2010), Οδηγός για τη διακίνηση καυσόξυλων , Γενική Γραμματεία Εμπορίου, Διεύθυνση Μετεωρολογίας.
- Ζάνης Π. (2008), Σημειώσεις για τη ρύπανση και χημεία της ατμόσφαιρας, Αριστοτέλειο πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, τμήμα Γεωλογίας, τομέας Μετεωρολογίας, Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος.
- Λαζαρίδης Μ. (2005), Ατμοσφαιρική ρύπανση με στοιχεία μετεωρολογίας, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, Θεσσαλονίκη.
- Μακρογιάννης Τ., Σαχσαμάνογλου Χ. (2004), Μαθήματα γενικής μετεωρολογίας , Εκδόσεις ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΤΕΧΝΕΣ.
- Μαχαίρας Π. , Μπαλαφούτης Χ. (1997), Γενική κλιματολογία με στοιχεία μετεωρολογίας, Εκδόσεις UNIVERSITY STUDIO PRESS, Θεσσαλονίκη.
- Μελάς Δ. (2004). *Φυσική ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος*. Εργαστήριο φυσικής της ατμόσφαιρας, Τμήμα φυσικής Α.Π.Θ.
- Μουστράς Κ.Π. (2013) ,Τεχνολογία Περιβαλλοντικών Μετρήσεων.
- Μπάης Ι. (2005), Φυσική της ατμόσφαιρας, μέρος II, ατμοσφαιρική σύσταση, παγκόσμιοι κύκλοι, χρόνοι ζωής και αιωρούμενα σωματίδια.

▪ Οδηγία 2008/50/εκ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του συμβουλίου της 21ης Μαΐου 2008 για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη.

▪ Πετράκης Μ.(2013), Η αντιμετώπιση των υψηλών συγκεντρώσεων Αιωρούμενων Σωματιδίων στη Θεσσαλονίκη το έτος 2013, βάσει των παλαιών και νέων νομοθετικών ρυθμίσεων.

▪ Πετράκης Μ.Ι. , Κελέσης Α.Ι. , Τζουμάκα Π.Ν. , Τσούγκας Μ.Α. , Τζουρέλης Γ.Α. , Ζουμάκης Ν.Μ, Διαχρονική εξέλιξη των συγκεντρώσεων των εισπνεύσιμων αιωρούμενων σωματιδίων στη Θεσσαλονίκη.

▪ Σαρηγιάννης Δ.Α. (2013), Η δυναμική της αστικής ρύπανσης από αιθανομίχλη και οι επιπτώσεις της στη δημόσια υγεία: Τεχνικοοικονομική αντιμετώπιση του θέματος.

▪ Σιμιτσής Δ., Αθήνα (2013), Μονοξείδιο του άνθρακα «Ο Σιωπηλός Δολοφόνος».

▪ Σύκα Α. (2004), Επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στους ενήλικες και στα παιδιά.

▪ Τσόλα Σ. (2008), Βιομάζα και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ως τρόπος αντιμετώπισης του ενεργειακού προβλήματος.

▪ Χαβούζης Ν. , Πνευματικός Ι. (2014), Δηλητηρίαση από εισπνοή μονοξειδίου του άνθρακα, Άρθρο σε εφημερίδα.

▪ Greenpeace Airlab (1998), Η ατμοσφαιρική ρύπανση σε Αθήνα-Πειραιά-Θεσσαλονίκη.

▪ A. G. Kelessis, N. M. Zoumakis, M. J. Pertakakis, F. K. Vosniakos (2002), Air pollution levels in Thessaloniki, Greece, Journal of Environmental Protection and Ecology.

▪ Air Quality Guidelines Global Update 2005, WHO Press, Switzerland.

▪ Athanasios V., Vlachogianni T. , Loridas S. , Fiotakis C. (2015), Atmospheric Pollution in Urban Areas of Greece and Economic Crisis. Trends in air quality and atmospheric pollution data, research and adverse health effects.

▪ Boubel R.W. , Fox D.L. , Turner D.B. , Stern A.C.(2008), Fundamentals of Air Pollution.

- Flagan R.C. , Seinfeld J.H., Fundamentals of Air Pollution Engineering.
- Jacobson M.Z (2002), Atmospheric pollution, Cambridge University Press, New York.
- Katragkou E. , Kazadzis S. , Amiridis V. , Papaioannou V. , Karathanasis S. , Melas D. (2009), PM₁₀ regional transport pathways in Thessaloniki, Greece, Atmospheric Environment.
- Lazaridis M. , Dzumbova L. , Kopanakis I., Ondracek J., Glytsos T., Aleksandropoulou V. , Voulgarakis A., Katsivela E., Mihalopoulos N., Eleftheriadis K. (2008), PM₁₀ and PM_{2.5} levels in the eastern Mediterranean (Akrotiri research station, Crete, Greece). Water Air and Soil Pollution.
- Manalis N., Grivas G., Protonotarios V., Moutsatsou A., Samara C., Chaloulakou A.(2005), Toxic metal content of particulate matter (PM₁₀), within the Greater Area of Athens. Chemosphere.
- Pateraki S., Maggos Th., Michopoulos J., Flocas H.A., Asimakopoulos D.N., Vasiliakos Ch. (2008), Ions species size distribution in particulate matter associated with VOCs and meteorological conditions over an urban region. Chemosphere.
- Paterson , E.C Technical Working Group on Particles 1996, Natural Resources Council 1996b.
- Perner J.E., Chuang, C.C., Grant K. (2008), Climate Forcing by Carbonaceous and Sulphate Aerosols. Climate Dynamics.
- Pope C.A. (2000), Review: Epidemiological Basis for Particulate Air Pollution Health Standards. Aerosol Science & Technology.
- Samara C. , Voutsas D. , Kouras A., Manoli E. , (2012) , Increased Biomass Burning Due to the Economic Crisis in Greece and Its Adverse Impact on Wintertime Air Quality in Thessaloniki.
- Samara C. (2005), Chemical mass balance source apportionment of TSP in a lignite-burning area of Western Macedonia, Greece. Atmospheric Environment.



- Samara C., Voutsas D. (2005), Size distribution of airborne particulate matter and associated heavy metals in the roadside environment. Chemosphere.
- Siskos P.A., Bakeas E.B., Lioli I., Smirnioudi V.N., Koutrakis P. (2001), Chemical Characterization of PM_{2.5} Aerosols in Athens-Greece. Environmental Technology.
- Terzi E., Anatolaki C., Samara, C., Tsitouridou R. (2008), Mass closure of total suspended particles over the coal burning power production area of western Macedonia, Greece. Journal of Atmospheric Chemistry.

