



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Πρόταση Διδακτορικής Διατριβής

Επίδραση της Κλιματικής Αλλαγής στην Ποιότητα Αέρα στην Ελληνική Επικράτεια

ΚΑΛΟΠΕΤΡΗ ΜΑΡΙΑ

Χημικός, MSc. Περιβαλλοντική Πολιτική και Διαχείριση

Επιβλέπων Καθηγητής

ΠΗΛΙΝΗΣ ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΣ

Καθηγητής Τμήματος Περιβάλλοντος Πανεπιστημίου Αιγαίου



ΜΥΤΙΛΗΝΗ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2011

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί κύριο περιβαλλοντικό ζήτημα. Παρατηρείται ότι η ποιότητα του αέρα ολοένα υποβαθμίζεται, γεγονός που εγείρει αίσθημα ανησυχίας τόσο σε τοπικό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο. Η υπόθεση ότι η κλιματική μεταβολή συσχετίζεται με την αέρια ρύπανση αποτελεί ένα καίριο ζήτημα. Τα φυσικά – βιογενή όπως και τα ανθρωπογενή αεροζόλ θεωρούνται σημαντικές πηγές αιωρούμενων σωματιδίων στην Ατμόσφαιρα, τα οποία έχουν σημαντικές επιπτώσεις στον άνθρωπο και το περιβάλλον. Οι επιδράσεις τους στην υγεία, στην υποβάθμιση της ορατότητας καθώς και στο κλιματικό σύστημα έχουν ερευνηθεί από πολλούς επιστήμονες, σε παγκόσμια κλίμακα.

Η προτεινόμενη έρευνα επιδιώκει να καινοτομήσει με τη βέλτιστη κατανόηση του συσχετισμού αέριας ρύπανσης και κλιματικών αλλαγών στην Ελληνική Επικράτεια και ιδιαίτερα στο Λεκανοπέδιο Αττικής. Ειδικότερα, το αντικείμενο μελέτης της εν λόγω έρευνας αποτελεί η βελτίωση των γνώσεών μας σχετικά με την αλληλεπίδραση των φυσικών – βιογενών με τους ανθρωπογενείς ρύπους κατά τη διασπορά τους. Επίσης θα διερευνηθεί η επίδραση της κλιματικής μεταβολής, τόσο μέσω μεταβολών των ρυθμών των αντιδράσεων και διασποράς, όσο και λόγω των βιογενών και ανθρωπογενών εκπομπών. Η προσομοίωση των χημικών διεργασιών και της διασποράς θα γίνει με το φωτοχημικό μοντέλο PMCAMx – 2008 (Comprehensive Air Quality Model with extensions – σωματιδιακή έκδοση). Με το ίδιο λογισμικό θα γίνει κι η συγκριτική μελέτη της διασποράς των ρύπων για μελλοντικές κλιματικές μεταβολές στην περιοχή της Ελλάδας, όπως αυτές προσδιορίζονται από τις εκθέσεις της IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) [IPCC, 2000; 2007]. Ο έλεγχος του μοντέλου PMCAMx – 2008 θα γίνει με το μοντέλο NERH3 που μπορεί να καταστήσει δυνατή μια πιθανή συνένωσή τους.

Η επιτυχής ολοκλήρωση της διδακτορικής διατριβής επιδιώκει να αποτελέσει μια προσθήκη στο γνωστικό αντικείμενο των ποσοτικοποιήσεων των αέριων ρύπων, ώστε να κατανοηθεί η συμβολή τους στην κλιματική μεταβολή. Απώτερος σκοπός της έρευνας, σε επιστημονικό επίπεδο, είναι η συνεισφορά των αποτελεσμάτων της σε επίπεδο «παραγωγών» πολιτικής και σε θέματα που άπτονται της περιβαλλοντικής πολιτικής και διαχείρισης.

Ευρετήριο Περιεχομένων

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1. Η ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΣΤΟ ΚΛΙΜΑ.....	4
1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	4
1.2. IPCC REPORT.....	4
1.3. ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ.....	5
2. ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ.....	10
2.1. ΓΕΝΙΚΑ.....	10
2.2. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΑ ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΑ (ΑΕΡΟΖΟΛ).....	10
2.2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
2.2.2. ΓΕΝΙΚΑ.....	10
2.2.3. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΩΝ.....	12
2.2.4. ΦΥΣΙΚΑ (ΒΙΟΓΕΝΗ) ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΑ.....	12
2.2.5. ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΗ ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΑ.....	14
2.3. ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΑ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑ - ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ.....	15
2.4. Η ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΣΤΗ ΣΚΕΔΑΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ.....	18
3. ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ PMCAMx – 2008.....	19
3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	19
3.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	20
3.3. ΑΡΧΕΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	22
3.4. ΑΡΧΕΙΑ ΕΙΣΟΔΟΥ – ΕΞΟΔΟΥ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	23
3.5. ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΝΕΡΗ3.....	27
3.5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	27
3.5.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΝΕΡΗ3.....	27
4. ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	28
4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	28
4.2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	28

5. ΣΤΟΧΟΙ ΚΑΙ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΕΣ - ΠΟΡΕΙΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	32
5.1. ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΙ–ΤΕΧΝΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ ΚΑΙ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΕΣ	32
5.2. ΠΟΡΕΙΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	33
ΕΝΑ ΒΛΕΜΜΑ ΜΠΡΟΣΤΑ — ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ ΤΗΣ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ	40
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	43
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	43
ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	43
ΙΣΤΟΤΟΠΟΙ ΣΤΗ ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΗ ΠΥΛΗ.....	52
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	54

Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 1: Σχέση ανάμεσα στην κλιματική αλλαγή τους παράγοντες που την επηρεάζουν, επιπτώσεις στα συστήματα και στην κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη, στην υγεία, μετριασμός και προσαρμογή.	7
Σχήμα 2: Νέφη με χαμηλή συγκέντρωση αερολυμάτων και λίγα μεγάλα σταγονίδια δεν ανακλούν καλά το φως και επιτρέπουν σε περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία να φτάσει στην επιφάνεια (αριστερά). Η υψηλή συγκέντρωση αερολυμάτων σε αυτά τα νέφη παρέχει τους πυρήνες που είναι απαραίτητοι για το σχηματισμό πολλών μικρών υγρών σταγονιδίων νερού (δεξιά).....	17
Σχήμα 3: Σχηματική λειτουργία του μοντέλου PMCAMx – 2008 όπου φαίνονται τα δεδομένα εισόδου – εξόδου και οι διεργασίες του.	24
Σχήμα 4: Συσχετισμοί της εξέλιξης των κοινωνιών με τις κλιματικές αλλαγές.	31
Σχήμα 5: Διάγραμμα βασικής μεθοδολογίας.	31

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1: Παραδείγματα των επιπτώσεων σε ορισμένα συστήματα και τομείς λόγω παγκόσμιας μεταβολής στη θερμοκρασία.	8
Πίνακας 2: Προβλέψεις σχετικά με τις επιπτώσεις της κλιματικής μεταβολής ανά ήπειρο.	9
Πίνακας 3: Πηγές ρύπων για το μοντέλο GEMS.....	26
Πίνακας 4: Χρονοδιάγραμμα αποπεράτωσης διδακτορικής έρευνας.....	37

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ιστορικά, η ρύπανση υπήρξε τοπικό πρόβλημα που επηρέαζε ένα δεδομένο τόπο όπως ένα ποτάμι, μια λίμνη ή ποτάμι ή την Ατμόσφαιρα μιας πόλης. Στη σύγχρονη εποχή, οι επιστήμονες εστιάζονται στη ρύπανση σε παγκόσμια κλίμακα.

Το παγκόσμιο κλιματικό σύστημα είναι μία συνέπεια των αλληλεπιδράσεων των υποστοιχείων του. Οι κύριες διεργασίες που καθορίζουν την κατάσταση του κλιματικού συστήματος είναι η θέρμανση από την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία κι η ψύξη από την εξερχόμενη, μεγάλου μήκους, γήινη ακτινοβολία. Κατά μέσο όρο, η Γη πρέπει να στέλνει στο διάστημα ακτινοβολία ίσης ενέργειας με αυτή που δέχεται από τον Ήλιο. Ο υπολογισμός της εισερχόμενης και εξερχόμενης ακτινοβολίας δίνει το ενεργειακό ισοζύγιο της Γης [Seinfeld and Pandis, 2006]. Κάθε διαδικασία που μπορεί να διαταράξει τη γενική ενεργειακή ισορροπία, μπορεί να προκαλέσει μεταβολή στο κλίμα.

Οι αέριοι και αερολυματικοί ρύποι (aerosols) μεταβάλουν το ενεργειακό ισοζύγιο του πλανήτη και επηρεάζουν το κλίμα, τόσο σε τοπικό, όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο. Επηρεάζουν το σχηματισμό και τις φυσικοχημικές ιδιότητες των νεφών, ενώ είναι σημαντικοί παράγοντες του υδρολογικού κύκλου. Καθώς μεταβάλλεται η γεωγραφική κατανομή των βροχοπτώσεων, η διαθεσιμότητα του νερού, η ποιότητα και η θερμική δομή των υδάτινων μαζών, επηρεάζονται τόσο τα χερσαία όσο και τα θαλάσσια οικοσυστήματα. Οι πιθανές επιπτώσεις στην παραγωγή τροφής και στους συσχετιζόμενους, με το χώρο, οικονομικούς κλάδους, ενδέχεται να επηρεάσουν τη δομή και τη συνοχή της υπάρχουσας κοινωνίας. Για το λόγο αυτό αρκετοί ερευνητές σε όλο τον κόσμο ασχολούνται με τις επιπτώσεις του φαινομένου του θερμοκηπίου στον πλανήτη. Οι γνωστές IPCC αναφορές (reports) περιγράφουν την πρόοδο αυτών των δραστηριοτήτων και τα σημαντικά συμπεράσματα αυτής της τεράστιας ερευνητικής προσπάθειας.

Η κλιματική μεταβολή προβλέπεται ότι θα προκαλέσει πολύπλοκη μεταβολή στην ποιότητα αέρα σε μεγαλουπόλεις, πρωτίστως. Επειδή όμως η αέρια ρύπανση χαρακτηρίζεται ως διασυνοριακή, αναμένεται ότι η μεταβολή της ποιότητας του αέρα στις μεγαλουπόλεις είναι πιθανόν να επηρεάσει ακόμη και τις ευρύτερες περιοχές της περιφέρειας. Η Ελλάδα, που εξέχοντες Έλληνες επιστήμονες επανειλημμένα έχουν προβλέψει ότι θα υποστεί σημαντικές μεταβολές (περίοδοι ξηρασίας, ερημοποίηση,

ανύψωση της στάθμης της θάλασσας σε παράκτιες περιοχές, παθήσεις στο αναπνευστικό σύστημα) λόγω φαινομένου θερμοκηπίου, ήδη αντιμετωπίζει πρόβλημα ποιότητας αέρα στις δύο μεγαλουπόλεις της (Αθήνα, Θεσσαλονίκη).

Η συμμετοχή των αερολυμάτων στην ποιότητα του αέρα είναι καθοριστική και ρυθμίζεται από ορισμένες οδηγίες και κανονισμούς. Η κατευθυντήρια οδηγία του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου για την «Εκτίμηση και διαχείριση της ποιότητας του αέρα», 96/62/EC, θέτει ως μέσο ετήσιο όριο τη συγκέντρωση των $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [Directive 96/62/EC]. Μεταξύ των 13 βασικών αέριων ρύπων που αναφέρονται στην εν λόγω οδηγία, στην κατηγορία I, ανήκουν: διοξείδιο του θείου (SO_2), οξείδια αζώτου (NO_x), λεπτόκοκκα σωματίδια όπως είναι η αιθάλη (συμπεριλαμβανομένων των PM_{10}), αιωρούμενα σωματίδια, μόλυβδος (Pb), όζον (O_3). Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι αέριοι ρύποι: βενζόλιο (C_6H_6), μονοξείδιο του άνθρακα (CO), πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAHs), κάδμιο (Cd), αρσενικό (As), νικέλιο (Ni), υδράργυρος (Hg) [Directive 96/62/EC].

Είναι επιτακτική η ανάγκη, για τον πληθυσμό και για τη χώρα, να έχει μια επιστημονικά τεκμηριωμένη εκτίμηση για το ποιες θα είναι οι διαστάσεις του προβλήματος της κλιματικής μεταβολής και των πιθανών επιπτώσεών της στην ποιότητα αέρα στο μέλλον. Αν δηλαδή το πρόβλημα ενταθεί και κατά πόσο ή αν θα παραμείνει στα σημερινά επίπεδα, ώστε να σχεδιαστούν και να καταρτιστούν πιθανές δράσεις αντιμετώπισης. Θεωρείται πιθανόν, για παράδειγμα, να κριθεί αναγκαία η μεταφορά σημαντικών βιομηχανιών στις μεγαλουπόλεις, η μεταβολή χρήσεων γης ή η μετακίνηση κατοίκων λόγω ανύψωσης στάθμης της θάλασσας, δράσεις άμεσα ή έμμεσα συνυφασμένες με τη ζωή των κατοίκων των περιοχών αυτών. Η προτεινόμενη διδακτορική έρευνα αυτό ακριβώς προσπαθεί να υλοποιήσει, την εκτίμηση του προβλήματος της ποιότητας του αέρα λόγω επερχόμενης κλιματικής μεταβολής.

Η παρούσα έρευνα αποτελεί μια καινοτόμα, ερευνητική προσπάθεια στην προσέγγιση των επιπτώσεων των κλιματικών μεταβολών στη χώρα μας. Στοχεύει στη βελτίωση της κατανόησης του συσχετισμού αέριας ρύπανσης και κλιματικών αλλαγών στην Ελληνική Επικράτεια. Επιδιώκει την κατανόηση των γνώσεων, σε βέλτιστη κλίμακα, σχετικά με την αλληλεπίδραση των φυσικών-βιογενών με τους ανθρωπογενείς ρύπους κατά τη διασπορά τους στο μέλλον. Μέσω της παρούσας έρευνας, για πρώτη φορά, θα γίνει προσπάθεια να ποσοτικοποιηθούν οι αλλαγές της

ποιότητας του αέρα σαν αποτέλεσμα των πολύπλοκων αλλαγών που θα συμβούν στον Ελλαδικό χώρο. Τα αποτελέσματα της μελέτης θα είναι μόνο ένα μέρος της καινοτομίας. Σαν έμμεσο προϊόν της διδακτορικής διατριβής θα είναι και η δημιουργία ενός «πακέτου» λογισμικού που θα είναι ικανό να εφαρμοστεί και για άλλα σενάρια και/ή περιοχές της Ευρωπαϊκής Ηπείρου με σχετική πλέον ευκολία.

Η οικονομική στήριξη της εν λόγω διδακτορικής έρευνας απο το πρόγραμμα ΗΡΑΚΛΕΙΤΟΣ II και τα αποτελέσματα που θα προκύψουν, όπως οι δημοσιεύσεις, οι ανακοινώσεις σε διεθνή συνέδρια και η διδακτορική διατριβή, θα βοηθήσουν ώστε να παραμείνει η ομάδα του επιστημονικού υπευθύνου άξια συναγωνισμού, στα πλαίσια ευγενούς άμιλλας, σε διεθνές επίπεδο και να έχει επιτυχίες σε μελλοντικά Ευρωπαϊκά προγράμματα.

1. Η ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΣΤΟ ΚΛΙΜΑ

1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αλληλεπίδραση ατμόσφαιρας, ωκεανών και εδάφους με εξωτερικούς παράγοντες όπως η ηλιακή ακτινοβολία, η περιστροφή της Γης, οι μεταβολές στην τροχιά του πλανήτη και η αέρια σύνθεση της Ατμόσφαιρας μεταβάλλουν το κλίμα της Γης. Είναι δυνατό, οι παράγοντες να είναι θετικοί και να οδηγούν σε θέρμανση ή αρνητικοί και να οδηγούν σε ψύξη. Αν οι παράγοντες μεταβάλλονται για μακρά χρονικά διαστήματα μπορούν να οδηγήσουν σε μεταβολές στο κλίμα.

Περιβαλλοντικές ανησυχίες, σχετικά με την παγκόσμια μεταβολή του κλίματος, οδήγησαν τους εκπροσώπους από 166 έθνη σε μια παγκόσμια συνάντηση στο Κιότο της Ιαπωνίας, το Δεκέμβρη του 1997. Η ανάγκη μείωσης των εκπομπών CO₂ καθώς και άλλων αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του «θερμοκηπίου» οδήγησε στη σύναψη της ομώνυμης συνθήκης. Η σταθεροποίηση των συγκεντρώσεων του CO₂, με σημαντική μείωση του ρυθμού χρήσης των ορυκτών καυσίμων μεταφέρεται από το Κιότο στη σύγχρονη εποχή και χαρακτηρίζεται ως ένα από τα μείζονα περιβαλλοντικά προβλήματα του 21^{ου} αιώνα.

1.2. IPCC REPORT

«Μεταβάλλεται το κλίμα και ποιά είναι η επίδραση της μεταβολής στην ανθρωπότητα και στα οικοσυστήματα;», «Ποιά θα είναι η διαχείριση του συστήματος μέσω προσαρμογής και μετριασμού;», είναι τα δυο ερωτήματα που καθοδηγούν τις δράσεις της IPCC. Το 1988, ιδρύθηκε το IPCC για να παρέχει ακριβείς και σχετικές πληροφορίες που θα οδηγήσουν σε κατανόηση της κλιματικής μεταβολής που οφείλεται στην ανθρώπινη παρουσία στον πλανήτη. Το IPCC καθιέρωσε τρεις (3) ομάδες εργασίας: Working Group I, II, III. Αντικείμενα έρευνας της κάθε ομάδας αποτελούν: να εκτιμηθούν τα επιστημονικά θέματα (Working Group I), να αξιολογηθεί η επίδραση της παγκόσμιας κλιματικής μεταβολής (Working Group II) και να ανακαλυφθούν τρόποι άμβλυνσης των επιπτώσεων (Working Group III) [Wright, 2005].

Η Synthesis Report της IPCC αποτελεί μια έκθεση εκτιμήσεων των τριών ομάδων εργασίας και παρέχει μια ολοκληρωμένη άποψη της κλιματικής μεταβολής ως τελικό τμήμα της IPCC's Fourth Assessment Report (AR4) [Synthesis Report,

2007]. Οι μεταβολές στη θερμοκρασία, βροχοπτώσεις, ανύψωση στάθμης της θάλασσας, ακραία καιρικά φαινόμενα καθορίζουν και ενισχύουν τις υποθέσεις για την επερχόμενη κλιματική αλλαγή [Synthesis Report, 2007].

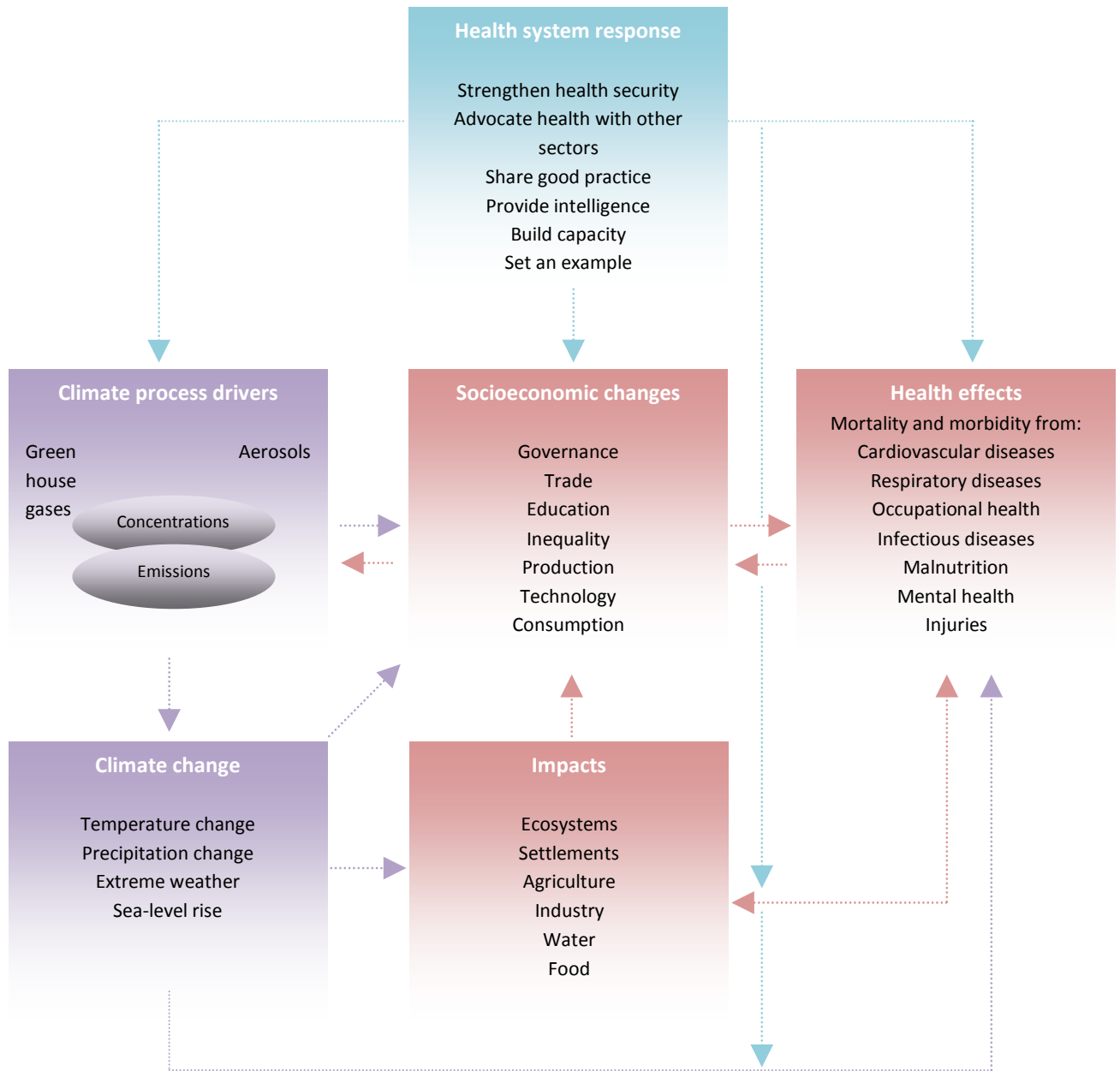
1.3. ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ

Οι πληροφορίες σχετικά με τις μελλοντικές επιπτώσεις της επικείμενης κλιματικής μεταβολής είναι πιο συγκεκριμένες. Ευρείς είναι οι τομείς και τα συστήματα που θα υποστούν μεταβολές. Το νερό, τα οικοσυστήματα, η τροφή, οι ακτές, η υγεία είναι οι τομείς που θα επηρεαστούν από την κλιματική μεταβολή [WHO, 2008]. Οι επιπτώσεις από την κλιματική μεταβολή ποικίλουν λόγω της τάσης προσαρμογής, του ρυθμού μεταβολής της θερμοκρασίας και του κοινωνικο-οικονομικού τρόπου ζωής. Στο Σχήμα 1 απεικονίζονται οι επιπτώσεις της κλιματικής μεταβολής σε τομείς και συστήματα. Ορισμένα παραδείγματα των επιπτώσεων που συνδέονται με την παγκόσμια μεταβολή της θερμοκρασίας (μέση τιμή) συνοψίζονται στον πίνακα 1. Ωστόσο, οι επιπτώσεις ανά ήπειρο διαφέρουν βάσει του πίνακα 2.

Προκειμένου να εκτιμηθούν οι επιπτώσεις των εκπομπών των προερχόμενων από την ανθρώπινη παρουσία, στο σύνολό τους, είναι ουσιαστική η κατανόηση του ατμοσφαιρικού κύκλου στον οποίο λαμβάνουν μέρος τα αέρια, συμπεριλαμβανομένων των φυσικών – βιογενών και ανθρωπογενών πηγών. Το κλίμα, αν και είναι ποικιλόμορφο σε όλα τα γεωγραφικά μήκη και πλατη της Γης, μεταβάλλεται αφενός από φυσικούς παράγοντες και αφετέρου από ανθρωπογενείς. Η κλιματική αλλαγή που συμβαίνει εξαρτάται από μια πληθώρα παραγόντων, που περιλαμβάνουν τις αυξημένες συγκεντρώσεις καθενός από τα αέρια που συμμετέχουν στο «φαινόμενο του θερμοκηπίου», τις ιδιότητες ακτινοβολίας του καθενός, τις αλληλεπιδράσεις με άλλα σημαντικά ατμοσφαιρικά συστατικά και τις αναδράσεις κλίματος [Seinfeld and Pandis, 2006].

Για το ατμοσφαιρικό CO₂ ένα σενάριο που προβλέπει αύξηση της θερμοκρασίας, θα επιφέρει ελαττώσει της γήινης και ωκεάνιας πρόσληψής του, αυξάνοντας το κλάσμα των ανθρωπογενών εκπομπών που παραμένουν στην Ατμόσφαιρα. Η συγκεκριμένη θετική ανάδραση του κύκλου άνθρακα, θα οδηγήσει σε υψηλότερες συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικού CO₂ και μεγαλύτερη κλιματική μεταβολή, για δεδομένες εκπομπές. Η ένταση του προαναφερόμενου φαινομένου ανάδρασης ποικίλλει, αξιοσημείωτα, μεταξύ των μοντέλων [IPCC, 2007].

Απο τα μέσα του αιώνα και μετά, οι περισσότερες απο τις παρατηρούμενες αυξήσεις των μέσων παγκοσμίων θερμοκρασιών είναι πιθανό οτι είναι αποτέλεσμα των αυξημένων συγκεντρώσεων ανθρωπογενών θερμοκηπιακών αερίων [IPCC, 2007]. Είναι και επιστημονικά τεκμηριωμένο, οτι η ευρεία θέρμανση της Ατμόσφαιρας και του ωκεανού, μαζί με την απώλεια μαζών πάγου, δεν προκαλείται μόνο απο γνωστές φυσικές πηγές. Πιο πιθανή θεωρείται η υπόθεση οτι το σύνολο ηλιακής και ηφαιστειακής κατακράτησης θα προκαλούσε ψύξη, όχι όμως θέρμανση. Ενδείξεις θέρμανσης του κλιματικού συστήματος υπάρχουν σε μεταβολές στις επιφανειακές και ατμοσφαιρικές θερμοκρασίες, καθώς και στις θερμοκρασίες μερικά εκατοντάδες μέτρα πάνω απο τους ωκεανούς [IPCC, 2007].



Σχήμα 1: Σχέση ανάμεσα στην κλιματική αλλαγή τους παράγοντες που την επηρεάζουν, επιπτώσεις στα συστήματα και στην κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη, στην υγεία, μετριασμός και προσαρμογή.

Πηγή: WHO, 2008

Πίνακας 1: Παραδείγματα των επιπτώσεων σε ορισμένα συστήματα και τομείς λόγω παγκόσμιας μεταβολής στη θερμοκρασία.

Νερό	<ul style="list-style-type: none"> → Αυξημένη διαθεσιμότητα νερού στις υγρές τροπικές περιοχές και στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη. → Ελαττωμένη διαθεσιμότητα νερού και αυξημένη ξηρασία σε μεσαία και ημιάγονα γεωγραφικά πλάτη. → Εκατοντάδες εκατομμύρια ανθρώπων θα εκτεθούν στην αυξημένη πίεση.
Οικοσυστήματα	<ul style="list-style-type: none"> → Έως και 30% των ειδών απειλούνται με αυξημένο κίνδυνο αφανισμού. Συγκεκριμένες εξαφανίσεις στον πλανήτη (<40%). → Αύξηση των κοραλλιογενών περιοχών που θα υποστούν αποχρωματισμό. Τα περισσότερα κοράλλια θα αποχρωματιστούν. Εκτεταμένη θνησιμότητα κοραλλίων. → Αυξημένο εύρος αλλαγών στα είδη και κίνδυνος ταχείας διάδοσης. → Μεταβολές στο οικοσύστημα λόγω μεσημβρινής ανατρέψιμης κυκλοφορίας.
Τροφή	<ul style="list-style-type: none"> → Σε τοπικό επίπεδο, περίπλοκες αρνητικές επιπτώσεις στους συντηρούμενους, για δική τους χρήση, αγρότες και αλιείς. → Τάση μείωσης παραγωγής δημητριακών σε χαμηλά γεωγραφικά πλάτη, που μελλοντικά θα επηρεάσει την παραγωγή όλων των ειδών δημητριακών. → Τάση αύξησης της παραγωγής σε ορισμένα είδη δημητριακών στα μεσαία και υψηλά γεωγραφικά πλάτη.
Ακτές	<ul style="list-style-type: none"> → Αυξημένες καταστροφές από πλημμύρες και καταιγίδες. → Απώλεια 30% των παράκτιων υδροτόπων, σε παγκόσμια κλίμακα. → Εκατομμύρια ανθρώπων θα βιώνουν παράκτιες πλημμύρες κάθε έτος.
Υγεία	<ul style="list-style-type: none"> → Επιβάρυνση από τον υποσιτισμό, διάρροιες, καρδιο-αναπνευστικές παθήσεις και λοιμώδη νοσήματα, με αυξητικές τάσεις. → Αυξημένη νοσηρότητα και θνησιμότητα από κύματα καύσωνα, πλημμύρες και ξηρασίες. → Μεταβολή διασποράς ξενιστών νόσων (οργανισμοί που μεταδίδουν ασθένεια ή μόλυνση). → Σημαντική επιβάρυνση στο σύστημα υγείας.

Πηγή: IPCC, 2007

Πίνακας 2: Προβλέψεις σχετικά με τις επιπτώσεις της κλιματικής μεταβολής ανά ήπειρο

Αφρική	<ul style="list-style-type: none"> • 75 με 250 εκατομμύρια άνθρωποι θα εκτεθούν στην έλλειψη αποθεμάτων νερού λόγω κλιματικής αλλαγής (έως το 2020) • Η αγροτική παραγωγή, που περιλαμβάνει πρόσβαση σε ασφαλή τροφή, θα είναι εξαιρετικά συμβιβαστική με αποτέλεσμα να οδηγήσει σε υποσιτισμό (έως το 2020). • Η ανύψωση της στάθμης της θάλασσας θα επηρεάσει τις παράκτιες περιοχές (προς το τέλος του 21^{ου} αιώνα). • Προβλέπεται αύξηση 5 έως 8% στην άγονη και ημιάγονη γη στην Αφρική (έως το 2080).
Ασία	<ul style="list-style-type: none"> • Μείωση των αποθεμάτων φρέσκου νερού στην Κεντρική, Νότια και Νοτιοανατολική Ασία στις λεκάνες μεγάλων ποταμών (έως το 2050). • Αύξηση πλημμυρών σε γνωστές περιοχές (μεγάλα δέλτα) απο τη θάλασσα και τα ποτάμια και θα βρεθούν σε κίνδυνο η Νότια, Ανατολική και Νοτιοανατολική Ασία. • Ταχεία αστικοποίηση, βιομηχανοποίηση και οικονομική ανάπτυξη θα ασκήσουν πίεση στους φυσικούς πόρους και το περιβάλλον. • Ενδημική νοσηρότητα και θνησιμότητα λόγω διαρροϊκών νόσων που συνδέονται με πλημμύρες και ξηρασίες, στην Ανατολική, Νότια, και Νοτιοανατολική Ασία.
Αυστραλία και Νέα Ζηλανδία	<ul style="list-style-type: none"> • Απώλεια συγκεκριμένης βιοποικιλότητας σε ορισμένες, οικολογικά, πλούσιες περιοχές (Great Barrier Reef, Queensland Wet Tropics, έως το 2020). • Προβλήματα ασφάλειας του νερού στη Νότια και Ανατολική Αυστραλία και Νέα Ζηλανδία (έως το 2030). • Απόρριψη παραγωγής απο τη γεωργία και δασοκαλλιέργεια λόγω ξηρασίας και πυρκαγιών, σε περιοχές Νότιας και Ανατολικής Αυστραλίας και τμημάτων της Ανατολικής Νέας Ζηλανδίας (έως το 2030). • Επιδείνωση κινδύνου απο την ανύψωση της στάθμης της θάλασσας και αυξήσεις στη σοβαρότητα και συχνότητα καταγίδων και παράκτιων πλημμυρών (έως το 2050).
Ευρώπη	<ul style="list-style-type: none"> • Αυξημένος κίνδυνος για ταχείες πλημμύρες στην ενδοχώρα. Πιο συχνές παράκτιες πλημμύρες και αυξημένη διάβρωση. • Ελάττωση κάλυψης απο χιόνι σε κορυφές ορέων. Εκτεταμένες απώλειες ειδών (έως 60% σε σενάρια υψηλών εκπομπών έως το 2080). • Υψηλές θερμοκρασίες και ξηρασία. • Αύξηση κινδύνου για την υγεία λόγω κυμάτων καύσωνα και καταστροφικών πυρκαγιών
Λατινική Αμερική	<ul style="list-style-type: none"> • Αυξήσεις στη θερμοκρασία και σχετικές ελαττώσεις στο επιφανειακό νερό θα οδηγήσουν σε σταδιακή αντικατάσταση των τροπικών δασών της σαβάνας στον Ανατολικό Αμαζόνιο (έως τα μέσα του αιώνα). • Απώλεια βιοποικιλότητας με αφανισμό ειδών σε πολλές περιοχές της τροπικής Λατινικής Αμερικής. • Ελάττωση βασικών σοδειών και παραγωγής εκτρεφόμενων ζώων με αντίκτυπο στην ασφάλεια της τροφής. Αύξηση καλλιέργειας σόγιας σε εύκρατες ζώνες. Αύξηση του αριθμού των ανθρώπων που θα κινδυνεύουν απο πείνα. • Επίπτωση στη διαθεσιμότητα του νερού από μεταβολές στη βροχόπτωση και εξαφάνιση παγετώνων.

Πηγή: WHO, 2008

2. ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ

2.1. ΓΕΝΙΚΑ

Κάθε μεταβολή που υφίσταται η Ατμόσφαιρα επηρεάζει την ποιότητά της. Η ποιότητα του αέρα εξαρτάται από την ισορροπία που διέπει την ύπαρξη των συστατικών της Ατμόσφαιρας. Η ισορροπία διαταράσσεται όταν μεταβάλλονται κάποιες ή και όλες οι διεργασίες που συμβαίνουν (σχηματισμός, μετασχηματισμός, απομάκρυνση). Η κλιματική μεταβολή αποτελεί έναν κύριο παράγοντα που συμβάλλει στη μεταβολή των διεργασιών της Ατμόσφαιρας, ρυθμίζοντας έτσι την ποιότητα του αέρα.

Στην παρούσα έρευνα το αντικείμενο που μελετάται είναι η συνεισφορά της κλιματικής μεταβολής στην ποιότητα του αέρα. Ειδικότερα, θα ερευνηθεί η αλληλεπίδραση κλιματικής μεταβολής και αερολυμάτων σε Ευρωπαϊκό χώρο και στην Ελληνική Επικράτεια.

2.2. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΑ ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΑ (ΑΕΡΟΖΟΛ)

2.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μελέτη των αερολυμάτων αποτέλεσε ερευνητικό αντικείμενο μόλις τα τελευταία χρόνια [Satheesh and Krishna, 2005]. Με βάση μελέτες που έγιναν, διαπιστώθηκε η συμβολή τους στη διαμόρφωση του περιβάλλοντος και των κλιματικών αλλαγών καθώς και ο ρόλος τους στις διεργασίες σχηματισμού των νεφών και της ομίχλης όπως και στη διαμόρφωση του ενεργειακού ισοζυγίου του πλανήτη [Jinhuan and Liqun, 2000]. Τα αερολύματα χαρακτηρίζονται δύσκολα εξαιτίας της σύνθετης χημικής τους σύνθεσης και του μεγάλου εύρους του μεγέθους των σωματιδίων τους, που μπορεί να είναι από μερικά nm έως αρκετά μm.

2.2.2. ΓΕΝΙΚΑ

Ατμοσφαιρικά αερολύματα, κolloειδούς μεγέθους, (αεροζόλ) είναι όλα τα σταθερά αιωρήματα στερεών ή υγρών σωματιδίων ή και των δυο στον αέρα. Παρόλο που, σύμφωνα με τον ορισμό τους τα ατμοσφαιρικά αερολύματα είναι ο συνδυασμός όλων των συμπυκνωμένων συστατικών που είναι παρόντα στην Ατμόσφαιρα, όπως επίσης και ο αέρας στον οποίο αυτά περιέχονται, σε πολλές περιπτώσεις αναφερόμαστε μόνο στο σωματιδιακό τμήμα τους [Λαζαρίδης, 2005]. Εκπεμπόμενα απ'ευθείας σαν σωματίδια στην Ατμόσφαιρα («πρωτογενή» αερολύματα) ή

δημιουργούμενα στην Ατμόσφαιρα μέσω διαδικασιών μετατροπής μορίων αερίων σε σωματίδια («δευτερογενή» αεροζόλ), τα ατμοσφαιρικά αερολύματα γενικά είναι σωματίδια που το μέγεθος τους κυμαίνεται από 0,01 έως 10 μικρόμετρα (μm) σε διάμετρο [Seinfeld and Pandis, 2006].

Οι ρύποι βρίσκονται στην Ατμόσφαιρα είτε στην αέρια κατάσταση και ονομάζονται «αέριοι» είτε στη στερεή φυσική κατάσταση οπότε αποτελούν τους «σωματιδιακούς» ρύπους. Μορφές «αερίων» ρύπων είναι τα αέρια και ατμοί ενώ των «σωματιδιακών» οι κόνιες, καπνός, ιπτάμενη τέφρα, κάπνα, ομίχλη, αχλύς. Για τα «σωματιδιακής» φύσης και τα σταγονίδια που βρίσκονται σε διασπορά στην Ατμόσφαιρα έχει επικρατήσει ο όρος αιωρούμενα σωματίδια [Κουϊμτζής, Φυτιάνου και Σαμαρά, 1998].

Η δειγματοληψία των αερολυμάτων είναι ακόμα και σήμερα μια πρόκληση εξαιτίας του γεγονότος ότι σημαντικό μέρος τους είναι ημι-πτητικά και μπορούν να αλλάζουν από την αέρια στη σωματιδιακή φάση συναρτήσει της θερμοκρασίας, της σχετικής υγρασίας, των διαδικασιών δειγματοληψίας και χειρισμού των δειγμάτων. Με βάση τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι χρειάζονται αναλυτικά δεδομένα, για το φυσικό και χημικό χαρακτηρισμό των αεροζόλ, για πολλούς λόγους [Dingenen *et al.*, 2004].

Τα ατμοσφαιρικά αερολύματα έχουν επιδράσεις (θετικές ή αρνητικές) στον άνθρωπο και στους υπόλοιπους ζωντανούς οργανισμούς του πλανήτη. Πιο συγκεκριμένα, ο ρόλος τους στη συμπύκνωση των υδρατμών (πυρήνες συμπύκνωσης) και στη δημιουργία νεφών, θεωρείται απαραίτητος. Στις αρνητικές επιπτώσεις συγκαταλέγεται η συμμετοχή των αερολυμάτων σε χημικές αντιδράσεις, όπου ανάλογα με τη χημική τους σύσταση μπορεί να επιφέρουν μεταβολές στους ζωντανούς οργανισμούς. Επηρεάζουν την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της Γης μέσω των διαδικασιών της σκέδασης και της απορρόφησης. Σε μεγάλες συγκεντρώσεις μειώνουν σημαντικά την ορατότητα [Λαζαρίδης, 2005]. Επίσης είναι δυνατό να επιφέρουν φθορές στα μνημεία [Sabbioni, 1995; Moropoulou *et al.*, 1998; 2001; Stefanis *et al.*, 2009].

2.2.3. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΩΝ

Οι αερολυματικοί ρύποι που εκπέμπονται απ'ευθείας στην Ατμόσφαιρα χαρακτηρίζονται «πρωτογενείς», όπως είναι το SO₂, NO, υδρογονάνθρακες, κ.ά. Όταν δεν εκπέμπονται από κάποια πηγή αλλά σχηματίζονται στην Ατμόσφαιρα ως αποτέλεσμα χημικού μετασχηματισμού πρωτογενών ρύπων ή ως προϊόντα διαφόρων αντιδράσεων όπως είναι το O₃, PAN, (NH₄)₂SO₄, τότε οι ρύποι χαρακτηρίζονται ως «δευτερογενείς». Οι «δευτερογενείς» ρύποι είναι δυνατό να σχηματιστούν σε διαφορετικό τόπο και χρόνο από τον αντίστοιχο τόπο και χρόνο εκπομπής των προδρόμων ουσιών από τις οποίες προκύπτουν.

Τα ατμοσφαιρικά αεροζόλ διακρίνονται βάσει της πηγής προέλευσής τους, του μεγέθους, της γεωγραφικής τους θέσης και της χημικής τους σύστασης. Ως «φυσικά» ή «βιογενή» και «ανθρωπογενή» χαρακτηρίζονται τα αεροζόλ που εκπέμπονται από φυσικές και ανθρωπογενείς δραστηριότητες, αντίστοιχα. Ανάλογα με το μέγεθός τους διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες, «λεπτόκοκκα» και «χονδρόκοκκα». Τα αερολύματα χωρίζονται, ανάλογα με τη θέση τους στην Υδρόγειο Σφαίρα, σε «θαλάσσια» (marine), «ηπειρωτικά» (continental), «αστικά» (urban), «βιομηχανικά» (industrial), «πολικά» (artic) και «ερήμου» (desertic). Με βάση τη χημική τους σύσταση, τα αεροζόλ χαρακτηρίζονται ως «θαλάσσιο αλάτι», «θειϊκά», «ανθρακικά» (οργανικός και στοιχειακός άνθρακας), «νιτρικά», «εδαφικής σκόνης».

2.2.4. ΦΥΣΙΚΑ (ΒΙΟΓΕΝΗ) ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΑ

Σύμφωνα με προηγούμενη έρευνα, προβλέπεται ότι οι εκπομπές από φυσικά – βιογενή αερολύματα, επιδρούν στις συγκεντρώσεις αφενός των οργανικών και αφετέρου των ανόργανων αερολυμάτων [Sotiropoulou *et al.*, 2004b]. Τα φυσικά – βιογενή, ατμοσφαιρικά αεροζόλ προέρχονται από φυσικές πηγές όπως είναι η ηφαιστειακή ύλη, οι πυρκαγιές, η σκόνη από το έδαφος, οι κορυφές των κυμάτων της θάλασσας (σωματίδια χλωριούχου νατρίου) και η χλωρίδα της Γης.

Ένα ηφαίστειο που εκρήγνυται εκλύει σωματίδια ύλης. Οι εκτινάξεις μιας έκρηξης μπορούν να είναι τέτοιου μεγέθους που να δημιουργήσουν διαταραχή στο περιβάλλον σε μεγάλη απόσταση από την ηφαιστειακή πηγή. Νέφη ηφαιστειακής σωματιδιακής ύλης μεταφέρονται μέσω του αέρα για πολύ μεγάλα χρονικά διαστήματα [Γεντεκάκης, 2003].

Ανεξέλεγκτες φωτιές στα δάση και σε μεγάλες εκτάσεις κατατάσσονται συνήθως στις φυσικές πηγές, παρότι μπορεί να πυροδοτήθηκαν αρχικά από ανθρώπινη αμέλεια και ασυνειδησία. Τέτοιες φωτιές εκλύουν μεγάλες ποσότητες ρύπων με μορφή καπνού, άκαυστων υδρογονανθράκων και ιπτάμενης τέφρας. Οι εκτεταμένες πυρκαγιές μπορούν να δημιουργήσουν νέφος το οποίο να προκαλέσει μείωση της ορατότητας και επίδραση στο ηλιακό φώς σε πολύ μεγάλες αποστάσεις από το σημείο της φωτιάς.

Δυνατοί άνεμοι που συχνά συμβαίνουν σε πολλά μέρη του κόσμου, οι οποίοι μετακινούν μεγάλες ποσότητες σωματιδιακής ύλης, είναι μια συνηθισμένη πηγή ατμοσφαιρικής ρύπανσης με φυσικό τρόπο. Ακόμα και μια σχετικά μικρή καταιγίδα μπορεί να προκαλέσει το διασκορπισμό σωματιδίων ύλης σε επίπεδα αρκετά υψηλά. Η σωματιδιακή ύλη που μεταφέρεται μέσω ανέμων από τις ερήμους προκαλεί σοβαρά προβλήματα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα για την Ελλάδα είναι ο άνεμος με την επωνυμία Σορόκος που προκαλεί συχνά έντονη μείωση της ορατότητας λόγω της σκόνης που μεταφέρει από την έρημο της Σαχάρας.

Οι ωκεανοί και οι θάλασσες είναι μία τεράστια πηγή φυσικών ρύπων. Ο ωκεανός εκλύει συνεχώς αεροζόλ στην Ατμόσφαιρα με την μορφή σωματιδίων άλατος, τα οποία είναι διαβρωτικά για τα μέταλλα και τις κατασκευές.

Τέλος, μια εκτεταμένη πηγή φυσικών ρύπων είναι τα φυτά και τα δέντρα. Είναι η κύρια πηγή υδρογονανθράκων για τον πλανήτη [Γεντεκάκης, 2003]. Τα πρωτογενή βιογενή αερολύματα αποτελούνται από θραύσματα φυτών, χουμικά υλικά και μικροβιακά σωματίδια. Λίγες πληροφορίες είναι διαθέσιμες που θα επέτρεπαν έναν αξιόπιστο υπολογισμό των κατανομών των πρωτογενών βιογενών σωματιδίων στα ατμοσφαιρικά αεροζόλ. Η παρουσία των χουμικών συστατικών κάνει τα αερολύματα αυτά απορροφητικά, ειδικά στην περιοχή UV-B και υπάρχουν αποδείξεις ότι μπορούν να δράσουν και σαν πυρήνες σταγονιδίων νεφών. Έτσι γίνονται σημαντικά τόσο για την άμεση όσο και για την έμμεση επίδραση στην ακτινοβολία [IPCC, 2001]. Επίσης, ένας ρύπος ο οποίος οφείλεται στην πανίδα, είναι η γύρη η οποία προκαλεί δύσπνοια και αλλεργία στους ανθρώπους [Γεντεκάκης, 2003].

2.2.5. ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΗ ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΑ

Η ρύπανση από φυσικές πηγές δεν είναι από μόνη της σοβαρό πρόβλημα ικανό να απειλήσει την ποιότητα του αέρα με τα επακόλουθά της, εκτός από εξαιρετικές καταστάσεις, όπως είναι οι εκρήξεις ηφαιστείων. Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα ρύπανσης του αέρα τέτοια, που να καταστήσουν την Ατμόσφαιρα της Γης αφιλόξενο περιβάλλον.

Σε παγκόσμια κλίμακα, οι εκπομπές των φυσικών – βιογενών είναι μεγαλύτερες από τις εκείνες που προκαλεί η ανθρώπινη παρουσία και δραστηριότητα. Ωστόσο, οι ανθρωπογενείς εκπομπές ρύπων παρατηρούνται στις αστικές και βιομηχανικές περιοχές και οι συγκεντρώσεις τους τείνουν να αυξάνονται και να υπερβαίνουν τα ανώτατα επιτρεπτά όρια σε ορισμένες περιπτώσεις, τα τελευταία 60 χρόνια.

Οι διεργασίες που προκαλούν ανθρωπογενή ατμοσφαιρική ρύπανση είναι η καύση, εξάτμιση και τριβή των ορυκτών καυσίμων (αργό πετρέλαιο, λιθάνθρακας και φυσικό αέριο). Η θέρμανση, οι μεταφορές, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, οι βιομηχανικές εφαρμογές και αστικές δραστηριότητες θεωρούνται οι κυριότερες ρυπογόνες διεργασίες. Οι εκπομπές που προκαλούνται από τις εν λόγω διεργασίες είναι τα αιωρούμενα σωματίδια, καπνός, υδρογονάνθρακες, πτητικές οργανικές ενώσεις, CO, SO₂, NO_x, H₂S [Κουϊμτζής, Φυτιάνος και Σαμαρά, 1998]. Τα ανθρωπογενή αερολύματα (πρωτίστως θειικά, οργανικός και στοιχειακός άνθρακας, νιτρικά και σκόνη) θεωρούνται παράγοντες που προκαλούν φαινόμενα είτε ψύξης είτε θέρμανσης [IPCC, 2007].

Οι επιπτώσεις των ανθρωπογενών αερολυμάτων είναι πολύπλευρες. Θεωρείται ότι συμβάλλουν στην ανύψωση της στάθμης της θάλασσας, που παρατηρείται τα τελευταία 60 χρόνια. Υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις ότι συμμετέχουν στον υδρολογικό κύκλο, λαμβάνοντας υπόψη τις μεταβολές στις βροχοπτώσεις (επεισόδια ξηρασίας και ισχυρής βροχόπτωσης) [IPCC, 2007].

Το πρότυπο της παρατηρούμενης τροποσφαιρικής θέρμανσης και στρατοσφαιρικής ψύξης, πολύ πιθανό, να προκαλείται από τις επιπτώσεις αύξησης των θερμοκηπιακών αερίων και αραίωσης της στιβάδας του όζοντος. Μόνες οι αυξήσεις στις συγκεντρώσεις των θερμοκηπιακών αερίων θα είχαν προκαλέσει περισσότερη θέρμανση από εκείνη που παρατηρείται, ωστόσο τα ηφαιστεια και τα

ανθρωπογενή αερολύματα αντισταθμίζουν, μερικώς, τη θέρμανση που θα είχε πραγματοποιηθεί, διαφορετικά [IPCC, 2007]. Οι θερμοκρασίες εξαιρετικά θερμών νυκτών, ψυχρών ημερών και νυκτών, ενδεχομένως, να έχουν αυξηθεί λόγω της ανθρωπογενούς κατακράτησης. Το πιθανότερο είναι ότι τα ανθρωπογενή αερολύματα έχουν αυξήσει τον κίνδυνο θερμών κυμάτων. Τα εν λόγω αερολύματα έχουν συνεισφέρει σε μεταβολές στα πρότυπα ανέμου, επηρεάζοντας τις πορείες των υπερτροπικών καταιγίδων και τα θερμοκρασιακά πρότυπα και στα δυο Ημισφαίρια [IPCC, 2007]. Ωστόσο, οι μεταβολές της κυκλοφορίας στο Βόρειο Ημισφαίριο είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες προσομοιώσεις μέσω μοντέλων.

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) θεωρείται το πιο σημαντικό ανθρωπογενές αέριο που ευθύνεται για το φαινόμενο του «θερμοκηπίου». Οι ετήσιες εκπομπές του έχουν αυξηθεί κατά 80%, μεταξύ 1970 και 2004, από 21 σε 38 Gt και εκπροσωπούν το 77% των συνολικών εκπομπών από τα ανθρωπογενή αέρια που ευθύνονται για το φαινόμενο του «θερμοκηπίου», το 2004 [IPCC, 2007].

2.3. ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΑ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑ - ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ενδιαφέρον σχετικά με την αύξηση της εισερχόμενης της υπεριώδους ακτινοβολίας στην επιφάνεια της Γης. Το στρώμα του στρατοσφαιρικού όζοντος συμβάλλει στην απορρόφηση κυρίως των μικρότερων μηκών κύματος της εισερχόμενης ακτινοβολίας. Ωστόσο, πολλές άλλες ατμοσφαιρικές παράμετροι όπως τα σύννεφα, αερολύματα, αέρια επηρεάζουν το ποσοστό που φτάνει στην επιφάνεια της Γης, μέσω των φαινομένων ανάκλασης και απορρόφησης [Papayannis *et al.*, 1998; Colbeck, 1996; Bordewijk *et al.*, 1995].

Οι φυσικές διεργασίες (διάθλαση, απορρόφηση) που είναι υπεύθυνες για τις επιδράσεις των αερολυμάτων στη διάδοση της ηλιακής υπεριώδους ακτινοβολίας (UltraViolet), είναι ίδιες με εκείνες που ελαττώνουν την ορατότητα και εξαρτώνται από την κατανομή μεγέθους, τη χημική σύσταση των αερολυμάτων [Malm and Day, 2000; Ten Brink *et al.*, 1997], το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και την περιβάλλουσα σχετική υγρασία [Reuder and Schwander, 1999].

Η επίδραση των ατμοσφαιρικών αερολυμάτων στη UV ακτινοβολία είναι ένα πολυσχιδές θέμα καθώς η ανακλαστικότητά τους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το μέγεθός τους. Πρόσφατες μελέτες έδειξαν ότι η ανάκλαση της UV ακτινοβολίας

επηρεάζεται περισσότερο απο σωματίδια με διάμετρο 100-560 nm [Kikas *et al.*, 2001]. Απο την έρευνα των Reuder και Schwander (1999) συμπεράναν οτι τα αερολύματα είναι ικανά να προκαλέσουν μεταβολή κατά 20-45% στη συνολική UV ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια του πλανήτη, σε ημερήσια διάταξη, ενώ σε υψηλά επιφορτισμένες απο αερολύματα περιοχές θα μπορούσε να φτάσει περισσότερο απο 50% [Krotkov *et al.*, 1998].

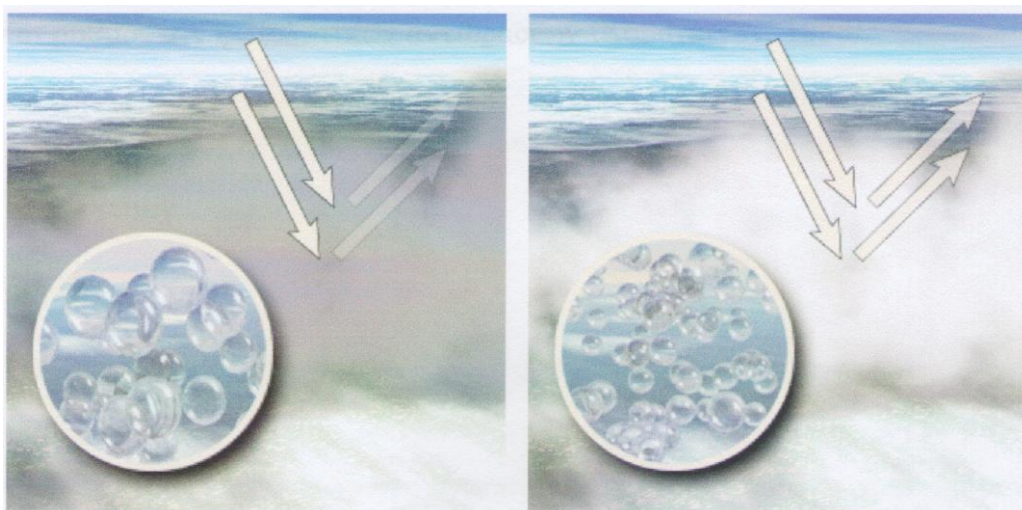
Οι διεργασίες ανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας συνδέονται άμεσα με τη διαμόρφωση του κλίματος. Η ύπαρξη στην τροπόσφαιρα αρκετά αυξημένης ποσότητας αερολυμάτων μπορεί να οδηγήσει στη μείωση της θερμοκρασίας λόγω ανάκλαση ή σε αύξηση στα κατώτερα ατμοσφαιρικά στρώματα, σε ορισμένες περιπτώσεις [Kondrayev, 1996]. Η ποσότητα της ακτινοβολίας που ανακλάται πίσω στο διάστημα απο το στρώμα των αερολυμάτων (scatter albedo) σε σχέση με την ποσότητα της ακτινοβολίας που ανακλάται απο την επιφάνεια της Γης (albedo) είναι ο παράγοντας που ρυθμίζει την αύξηση ή ελάττωση της θερμοκρασίας στο σύστημα Γη-Ατμόσφαιρα [Pueschel, 1996].

Πέρα απο τις άμεσες επιδράσεις των αερολυμάτων στο κλίμα, ασκούν και έμμεσες καθώς αποτελούν πυρήνες συμπύκνωσης νεφών, επηρεάζοντας έτσι το πλήθος και την κατακόρυφη κατανομή τους. Είναι γεγονός οτι αν δεν υπήρχαν τα αερολύματα σε θα υπήρχαν και τα σύννεφα [NASA, 1999]. Τα αερολύματα λειτουργούν ως πυρήνες σχηματισμού των σταγονιδίων των νεφών. Καθώς η συγκέντρωση των σωματιδίων του νέφους αυξάνεται, το νερό του νέφους κατανέμεται στην επιφάνεια περισσότερων σωματιδίων. Τα μικρότερα σωματίδια πέφτουν αργά στην Ατμόσφαιρα και ελαττώνουν την ποσότητα της υδατόπτωσης. Με αυτό τον τρόπο, τα αερολύματα μεταβάλλουν τη συχνότητα εμφάνισης νεφών, την πυκνότητά τους και την ποσότητα των υδατοπτώσεων. Αύξηση των αερολυμάτων στην Ατμόσφαιρα αναμένεται να προκαλέσει ελάττωση των υδατοπτώσεων καθώς δεν αναμένεται μεταβολή στην ποσότητα συμπυκνωμένου νερού στο εσωτερικό των νεφών. Αυτό έχει δυο συνέπειες: τα σύννεφα με μικρότερα σταγονίδια ανακλούν περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία και διαρκούν περισσότερο, καθώς απαιτείται περισσότερος χρόνος για τα μικρά σταγονίδια να ενωθούν και να σχηματίσουν αρκετά μεγάλα σταγονίδια ώστε να πέσουν στο έδαφος, Σχήμα 2 [Sotiropoulou, 2005]. Οι μεταβολές στις βροχοπτώσεις αναμένεται να διαταράξουν τον παγκόσμιο

υδρολογικό κύκλο επηρεάζοντας τους υδάτινους πόρους όχι μόνο τοπικά αλλά και σε παγκόσμια διάταξη.

Τόσο οι άμεσες όσο και οι έμμεσες επιδράσεις αυξάνουν την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που ανακλάται στο διάστημα. Η μετρούμενη εξασθένιση της UV-B ακτινοβολίας υπο νεφελώδεις συνθήκες φτάνει στο 37% της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας [EPA, 1999].

Τα αερολύματα είναι δυνατό να επηρεάσουν τις φωτοχημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν στην Ατμόσφαιρα, καθώς ανάλογα με την ικανότητά τους να απορροφούν ακτινοβολία, είναι δυνατό να αυξηθούν ή να μειωθούν οι ρυθμοί των φωτολυτικών αντιδράσεων [Kondrayev, 1996].



Σχήμα 2: Νέφη με χαμηλή συγκέντρωση αερολυμάτων και λίγα μεγάλα σταγονίδια δεν ανακλούν καλά το φως και επιτρέπουν σε περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία να φτάσει στην επιφάνεια (αριστερά). Η υψηλή συγκέντρωση αερολυμάτων σε αυτά τα νέφη παρέχει τους πυρήνες που είναι απαραίτητοι για το σχηματισμό πολλών μικρών υγρών σταγονιδίων νερού (δεξιά).

Πηγή: Harding and Kahn, 1999

2.4. Η ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΣΤΗ ΣΚΕΔΑΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ

Μέσα απο τη βιβλιογραφική αναζήτηση, αλιεύτηκαν γνώσεις σχετικά με το ρόλο της σχετικής υγρασίας στις χημικές και οπτικές ιδιότητες των αερολυμάτων [Day and Malm, 2001; Fierz-Schmidhauser *et al.*, 2010].

Το φως διαδίδεται ευθύγραμμα επιλέγοντας την ελάχιστη δυνατή πορεία. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αλληλεπιδρά με τη σωματιδιακή ύλη, όταν μια αδιαφανής επιφάνεια βρεθεί στη διεύθυνση διάδοσης του φωτός, τότε ένα μέρος της θα απορροφηθεί και το υπόλοιπο θα επιστρέψει προς τα πίσω, θα υποστεί ανάκλαση. Η ηλιακή ακτινοβολία όταν συναντά κάποιο ατμοσφαιρικό αερόλυμα, υφίσταται σκέδαση. Η σκέδαση του φωτός θεωρείται οτι συνεισφέρει στη διαβάθμιση της ορατότητας [Horvath *et al.*, 1969; Pilinis, 1989a]. Το μέγεθος [Fitzgerald *et al.*, 1982], το σχήμα [Jaggard *et al.*, 1981, Yu *et al.*, 2008], η χημική σύσταση [Covert *et al.*, 1972; Gebhart *et al.*, 1994] του αερολύματος είναι παραγόντες εξάρτησης της σκέδασης του φωτός. Η εν λόγω οπτική ιδιότητα μπορεί να ποσοτικοποιηθεί μέσω του συντελεστή σκέδασης του φωτός [Bryant *et al.*, 2006].

Η περιβάλλουσα σχετική υγρασία του αερολύματος παρουσιάζει ποικίλες μεταβολές με αποτέλεσμα να επηρεάζει το συντελεστή σκέδασης [Malm and Day, 2001]. Όταν το σωματίδιο βρίσκεται σε άνυδρη φάση και η περιβάλλουσα σχετική υγρασία αυξηθεί ώστε να φτάσει το σημείο υγροποίησης (DRH) [Pilinis *et al.*, 1989b], μπορεί να απορροφήσει νερό. Η γνώση του σημείου υγροποίησης σε ένα αερόλυμα είναι σημαντική επειδή γνωστοποιεί το σημείο σχετικής υγρασίας στο οποίο το διαλυμένο σταγονίδιο του άλατος βρίσκεται στη χαμηλότερη ελεύθερη ενέργεια Gibbs απο ότι το στερεό αερόλυμα [Colbeck, 2008]. Μετά την υγροποίηση, η πρόσληψη του νερού είναι καθορισμένη απο τη συμύκνωση και διατήρηση της θερμοδυναμικής ισορροπίας [Colbeck, 2008]. Καθώς η σχετική υγρασία αυξάνεται περαιτέρω, επιτυγχάνεται μια μέγιστη τιμή υπερκορεσμού των υδρατμών όπου τα μόρια του νερού συνεχίζουν να συμυκνώνονται σε σταγονίδια σε μια ασταθή φάση. Σε αυτό το σημείο, το αερόλυμα θεωρείται ενεργοποιημένο και αρχίζει να αναπτύσσεται ραγδαία, σύμφωνα με τη θεωρία Köhler [Köhler, 1936].

Η εστίαση στη συμβολή της σχετικής υγρασίας στο συντελεστή σκέδασης του φωτός, με εργαλείο τη μοντελοποίηση, θα αποτελέσει ένα σημαντικό τμήμα της διδακτορικής έρευνας.

3. ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ PMCAMx – 2008

3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Ατμόσφαιρα είναι ένα δυναμικό φυσικό σύστημα, όπου ένας μεγάλος αριθμός φυσικών και χημικών διεργασιών συμβαίνει ταυτόχρονα. Η μοντελοποίηση προσφέρει μια λύση προσέγγισης στο πολύπλευρο και αρκετά πολύπλοκο μηχανισμό της Ατμόσφαιρας. Τα ατμοσφαιρικά μοντέλα αποτελούν εργαλεία προκειμένου να γίνει ένας ολοκληρωμένος τρόπος μελέτης της δυναμικής της Ατμόσφαιρας και της διασποράς των αέριων ρύπων. Κάθε ατμοσφαιρικό μοντέλο προσομοιώνει τις φυσικές και χημικές διεργασίες που πραγματοποιούνται στην Ατμόσφαιρα καθώς και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διαφόρων διεργασιών. Για την πληρέστερη κατανόηση των χημικών αντιδράσεων και χημικών διεργασιών στην Ατμόσφαιρα και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του μοντέλου, κάθε εφαρμογή του προϋποθέτει τη σύγκριση των αποτελεσμάτων του (δεδομένα εξόδου) με πειραματικές μετρήσεις και εργαστηριακά αποτελέσματα [Λαζαρίδης, 2005]. Κάθε αξιολόγηση μοντέλου, είναι δυνατό, να αποκαλύψει πιθανά κενά στην κατανόηση των ατμοσφαιρικών διεργασιών, οδηγώντας σε περαιτέρω μετρήσεις (εργαστηριακές και πεδίου) και επακόλουθη ανάπτυξη μοντέλου [Seinfeld and Pandis, 2006].

Η κατανόηση της δυναμικής της Ατμόσφαιρας μπορεί να πραγματοποιηθεί με συνδυασμό μετρήσεων και ολοκληρωμένης μοντελοποίησης μέσω ατμοσφαιρικών μοντέλων διασποράς και χημείας. Ατμοσφαιρικά μοντέλα διασποράς και χημείας έχουν χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη αναρίθμητων ατμοσφαιρικών φαινομένων (αστική ρύπανση, βιομηχανικές εκπομπές, τροποσφαιρικό και στρατοσφαιρικό όζον, όξινη βροχή, φυσικο – χημικές μεταβολές σε πλανητικό επίπεδο) για διάφορες χωρικές και χρονικές κλίμακες [Λαζαρίδης, 2005].

Τα πρότυπα για την παγκόσμια θέρμανση και οι μεταβολές τους, προσομοιώνονται μόνο από μοντέλα που περιλαμβάνουν την κατακράτηση από ανθρωπογενή αερόλυματα. Κανένα παγκόσμιο μοντέλο κλίματος που έχει χρησιμοποιήσει μόνο δεδομένα για την κατακράτηση από φυσικά – βιογενή αερόλυματα, δεν έχει παράγει την πραγματική τάση θέρμανσης (μέση τιμή) σε μεμονωμένες ηπείρους (εξαιρείται η Ανταρκτική) από το 1950 και μετά [IPCC, 2007].

Έχουν πραγματοποιηθεί αναρίθμητες έρευνες σχετικές με τη μοντελοποίηση του συστήματος της Ατμόσφαιρας. Η αναζήτηση στη βιβλιογραφία καταδεικνύει αρκετές έρευνες που επιδιώκουν, με εργαλείο τη μοντελοποίηση, να ποσοτικοποιήσουν τις παραμέτρους των αερολυμάτων ώστε να εκτιμηθεί η ανθρωπογενής επίδραση των αερολυμάτων στην κλιματική μεταβολή [Koloutsou – Vakakis *et al.*, 1998] και αρκετά μοντέλα με αντικείμενο έρευνας την ποιότητα αέρα [Caraldo *et al.*, 2000].

3.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Το μοντέλο ποιότητας της Ατμόσφαιρας που θα χρησιμοποιηθεί είναι το (PMCAMx – 2008) που επιτρέπει τη διερεύνηση της διασποράς και του μετασχηματισμού των ρύπων. Το μοντέλο έχει εφαρμοστεί με επιτυχία σε ανάλογες έρευνες [Gaydos *et al.*, 2007; Dawson *et al.*, 2007; 2008; Fountoukis *et al.*, 2010; Karydis *et al.*, 2010].

Το μοντέλο ποιότητας PMCAMx – 2008 είναι ένα φωτοχημικό μοντέλο διασποράς Euler που επιτρέπει την παρατήρηση και τον έλεγχο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από χημικά είδη, τόσο αέριας, όσο και σωματιδιακής φύσης (όζον, PM_{2.5}, PM₁₀, τοξικές ουσίες, κ.τ.λ.), σε πολλές κλίμακες που κυμαίνονται από αστικές έως διηπειρωτικές. Έχει ως κύριο σκοπό να ενσωματώσει όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα, που απαιτούνται από μοντέλο ποιότητας Ατμόσφαιρας, σε ένα ενιαίο σύστημα, που είναι αποδοτικό, εύρηστο και διαθέσιμο στο ευρύ κοινό. Ο κώδικας του μοντέλου έχει μια ιδιαίτερα καλή δομή που διευκολύνει την εισαγωγή νέων ή εναλλακτικών αλγορίθμων και άλλων χαρακτηριστικών γνωρισμάτων. Το μοντέλο PMCAMx – 2008 είναι δηλαδή ένας «ζωντανός οργανισμός» που συνεχώς εξελίσσεται από πολλές ομάδες στην Ευρώπη και τις ΗΠΑ, ανάλογα με τους προς επίτευξη στόχους. Η ερευνητική ομάδα που χρησιμοποιεί το μοντέλο στο Πανεπιστήμιο Αιγαίου έχει μακρόχρονη εμπειρία στην αλλαγή του μοντέλου με σκοπό την δημιουργία “modules” που περιέχουν τις πλέον σύγχρονες γνώσεις για ατμοσφαιρικά φαινόμενα που μας ενδιαφέρουν.

Το PMCAMx – 2008, μαζί με ένα παρόμοιο μοντέλο που ονομάζεται CMAQ αποτελούν τις ναυαρχίδες του αμερικανικού EPA σε θέματα μοντελοποίησης της αέριας ρύπανσης. Η εφαρμογή του μοντέλου δίνει τη χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων των ρύπων σε μία ορισμένη χρονική στιγμή. Στο Σχήμα 3

εμφανίζεται το γενικό διάγραμμα των προσομοιώσεων. Η λειτουργία του μοντέλου PMCAMx – 2008 με διαφορετικά δεδομένα εκπομπών ρύπων θα επιτρέψει την αξιολόγηση του βαθμού συμμετοχής των φυσικών – βιογενών εκπομπών στη συνολική ρύπανση.

Το μοντέλο PMCAMx – 2008 χρησιμοποιεί το ευρύτερο λογισμικό πλαίσιο του CAMx για την προσομοίωση οριζόντιας, κάθετης μεταφοράς, οριζόντιας, κάθετης διασποράς, υγρής, ξηρής απόθεσης και τη χημεία αέριας φάσης [Dawson *et al.*, 2007]. Το μοντέλο PMCAMx – 2008 έχει τη δυνατότητα να προσομοιώνει τις εκπομπές, τη διασπορά, τις χημικές αντιδράσεις, και την απομάκρυνση των ρύπων στην Τροπόσφαιρα για κάθε χημικό είδος σε ένα σύστημα τρισδιάστατου καννάβου. Το μοντέλο PMCAMx – 2008 έχει αναπτυχθεί επί σειρά ετών στην Αμερική, με σκοπό να ενοποιήσει σε μία πλατφόρμα τις τελευταίες εξελίξεις στη μοντελοποίηση της ποιότητας της Ατμόσφαιρας [Morris *et al.*, 2001; 2002; 2003; Tanaka *et al.*, 2003; Yarwood *et al.*, 2004; 2005]. Το PMCAMx – 2008 έχει χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα για την μελέτη της συνεισφοράς μεταφερόμενων ρύπων στη ρύπανση περιοχών και ειδικότερα για τη μελέτη της δημιουργίας και μεταφοράς όζοντος [Dunker *et al.*, 2002; Yarwood *et al.*, 2003], τη προσομοίωση των μεταβολών που υφίστανται τα αερολύματα και της διασποράς αυτών [Tsimpidi *et al.*, 2008], καθώς και για την αξιολόγηση αντιρρυθπαντικών πολιτικών [Morris *et al.*, 2001]. Το Εργαστήριο Ποιότητας Υδάτων και Αέρα του Τμήματος Περιβάλλοντος έχει μεγάλη εμπειρία στη χρήση μοντέλων ποιότητας της Ατμόσφαιρας, ενώ έχει επιτυχώς εγκαταστήσει και χρησιμοποιεί τον κώδικα του μοντέλου PMCAMx – 2008 τα τελευταία χρόνια. Οι ερευνητές του εργαστηρίου έχουν συμβάλει στην αξιολόγηση του μοντέλου [Sotiropoulou *et al.*, 2004a; Polymeneas *et al.*, 2007; 2008].

3.3. ΑΡΧΕΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Το μοντέλο PMCAMx – 2008 είναι το τελικό αποτέλεσμα επιμέρους μοντέλων και προσομοιώσεων. Πιο συγκεκριμένα, το μοντέλο διέπεται από κώδικες που οι αρχές τους στηρίζονται σε εσωτερικά μοντέλα και διεργασίες.

Χημεία αέριας φάσης: Στο μοντέλο PMCAMx – 2008 δίνεται η δυνατότητα επιλογής ανάμεσα σε τρία μοντέλα που προσομοιώνουν τη χημεία των αερίων. Αυτά είναι το Carbon Bond IV (CB4, Gery *et al.*, 1989), το Carbon Bond 05 (CB05, μια ανανεωμένη έκδοση του μοντέλου CB4, Yarwood *et al.*, 2005b) και το SAPRC99 (Statewide Air Pollution Research Center, Carter, 2000). Οι αντιδράσεις της αέριας φάσης υπολογίζονται από το μηχανισμό επίλυσης του Chemical Mechanism Compiler (CMC).

Φωτοχημικές αντιδράσεις: Η τροποσφαιρική υπεριώδης ακτινοβολία (UV) ευθύνεται για τις φωτοχημικές αντιδράσεις στην τροπόσφαιρα. Φωτόνια στο μήκος κύματος της υπεριώδους ακτινοβολίας έχουν τη δυνατότητα να διασπάσουν αρκετά σταθερά μόρια σε άλλα πολύ πιο ενεργά (φωτόλυση).

Οι αντιδράσεις της φωτόλυσης εξαρτώνται από την ηλιακή ακτινοβολία η οποία εισέρχεται στην ατμόσφαιρα, καθώς και από την ακτινοβολία που ανακλάται από την επιφάνεια της Γης. Για τον προσδιορισμό της φωτόλυσης χρησιμοποιείται το μοντέλο TUV [<http://cprm.acd.ucar.edu/Models/TUV>] και πρέπει να είναι γνωστές οι παράμετροι όπως ύψος από το έδαφος, αυξομειώσεις στο σημείο ζενίθ του ηλίου, η υπεριώδης ανάκλαση του εδάφους (albedo) καθώς κι η συγκέντρωση του όζοντος [Environ, 2010].

Χημεία υγρής φάσης: Για τη μοντελοποίηση της χημείας της υγρής φάσης χρησιμοποιείται το μοντέλο ISORROPIA [Nenes *et al.*, 1998].

Σχηματισμός αερολυμάτων

α) Πυρηνοποίηση

Ο ρυθμός πυρηνοποίησης υπολογίζεται προσεγγιστικά καθώς περιορίζεται από την επιλογή των μεγεθών που υπάρχουν. Χρησιμοποιείται το μοντέλο των Naraï *et al.* (2002) για τα τρία είδη NH_3 - H_2SO_4 - H_2O . Η παραμετροποίηση J (T, RH, c, ξ) χρησιμοποιεί το λόγο ανάμιξης του NH_3 (ξ, ppt), τη συγκέντρωση του H_2SO_4 στην

αέρια μορφή (c, cm^{-3}), τη θερμοκρασία ($T, \text{ }^\circ\text{K}$) και τη σχετική υγρασία ($\text{RH}, \%$) στα δεδομένα, παρέχοντας το ρυθμό πυρηνοποίησης ως αποτέλεσμα. Το νερό υποτίθεται ότι είναι σε ισορροπία με την αέρια φάση του, λόγω της σχετικά μεγάλης συγκέντρωσης υδρατμών. Το ποσό του νερού στη σωματιδιακή μορφή υπολογίζεται χρησιμοποιώντας το μοντέλο ISORROPIA [Nenes *et al.*, 1998].

β) Συσσωμάτωση (coagulation)

γ) Σχηματισμός μη οργανικών αερολυμάτων

Το PMCAMx – 2008 επιτρέπει να επιλεγθεί μια από τις τρεις μεθόδους για την επίλυση της συμπύκνωσης/εξάτμισης των μη οργανικών αερολυμάτων. Πρώτη μέθοδος είναι η χονδρική προσέγγιση της ισορροπίας, με την θεώρηση της ύπαρξης ισορροπίας ανάμεσα στην σωματιδιακή και την αέρια φάση. Ο αριθμός των σωματιδίων που μεταβαίνουν ανάμεσα στην αέρια και την σωματιδιακή φάση καθορίζεται από το μοντέλο ISORROPIA (Nenes *et al.*, 1998). Η δεύτερη προσέγγιση είναι η υβριδική, όπου θεωρείται ότι υπάρχει ισορροπία στα μικρού μεγέθους σωματίδια ($<0.625\mu\text{m}$), ενώ επιλύεται αναλυτικά η μεταφορά μάζας των μεγαλύτερων σωματιδίων [Capaldo *et al.*, 2000]. Τέλος, υπάρχει η πλήρης δυναμική προσέγγιση όπου η μεταφορά μάζας προσομοιώνεται αναλυτικά για όλα τα σωματίδια [Piliinis *et al.*, 2000].

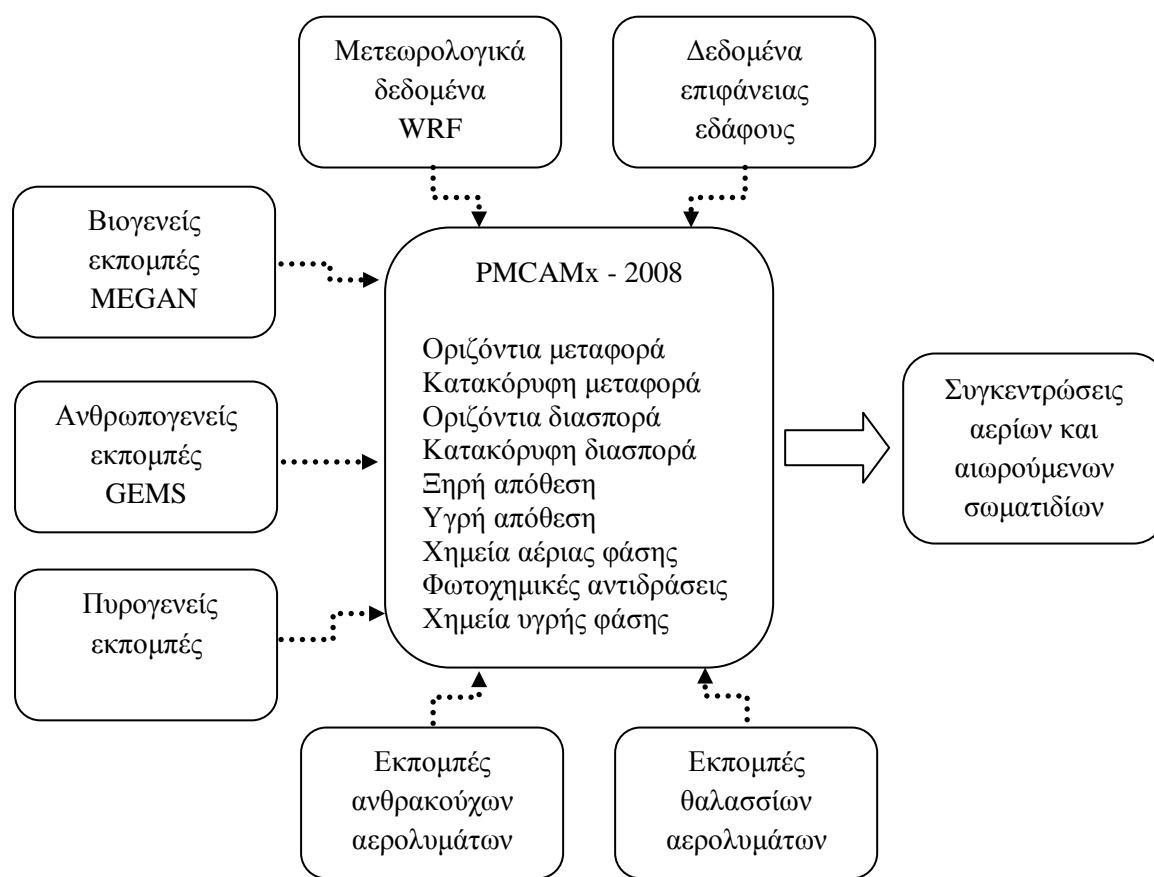
δ) Οργανικά αερολύματα

Η ισορροπία ανάμεσα στην αέρια και την σωματιδιακή φάση βρίσκεται χρησιμοποιώντας το μοντέλο των Strader *et al.* (1999), SOAM-II.

3.4. ΑΡΧΕΙΑ ΕΙΣΟΔΟΥ – ΕΞΟΔΟΥ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Αρχεία εισόδου

Τα δεδομένα εισόδου που προωθούνται στο μοντέλο, όπως απεικονίζονται στο Σχήμα 3, περιγράφουν τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν στην εξεταζόμενη περιοχή, τις εκπομπές αερίων και αερολυμάτων καθώς και τον τύπο της εξεταζόμενης επιφάνειας. Τα δεδομένα των εκπομπών αποτελούν πακέτα εργασίας στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού Προγράμματος για το περιβάλλον EUCAARI. Τα εν λόγω δεδομένα θα προετοιμαστούν και θα οργανωθούν κατάλληλα προτού χρησιμοποιηθούν.



Σχήμα 3: Σχηματική λειτουργία του μοντέλου PMCAMx – 2008 όπου φαίνονται τα δεδομένα εισόδου – εξόδου και οι διεργασίες του.

Δεδομένα του τύπου επιφάνειας της περιοχής μελέτης: Τα δεδομένα περιγράφουν το τύπο της επιφάνειας όπου μελετάται και χωρίζονται σε 11 κατηγορίες ανάλογα με το είδος της επιφάνειας, για να συνδυαστούν με την τιμή του albedo που έχουν για την υπεριώδη ακτινοβολία. Οι τύποι των εδαφών είναι: πόλεις, αγροτικές εκτάσεις, βοσκότοποι, δάση φυλλοβόλων, δάση κωνοφόρων, συνδυασμός δασών από διάφορα είδη δέντρων, περιοχές που καλύπτονται με νερό, άγονα εδάφη, εκτάσεις που είναι μη δασικοί υγρότοποι, συνδυασμός αγροτικών εκτάσεων και τέλος βραχώδεις εκτάσεις με μικρή θαμνώδη βλάστηση.

Μετεωρολογικά δεδομένα: Τα μετεωρολογικά δεδομένα που υπολογίζονται από το μοντέλο WRF (Weather Research and Forecasting) παρέχουν γνώση για την πίεση του αέρα, την ταχύτητά του, θερμοκρασία, ποσότητα υγρασίας που υπάρχει στο περιβάλλον, νεφοκάλυψη και βροχόπτωση. Το προκειμένο μοντέλο αναπτύχθηκε και

χρησιμοποιείται από διάφορους οργανισμούς όπως το NCAR (National Center for Atmospheric Research), NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), το NCEP (National Centers for Environmental Prediction), το FSL (Forecast Systems Laboratory) όπως και ορισμένους άλλους [www.wrf-model.org]. Τα μετεωρολογικά δεδομένα εφαρμόζονται στο μοντέλο με σκοπό την ποσοτικοποίηση της κατάστασης της Ατμόσφαιρας σε κάθε κελί ώστε να υπολογιστεί η μεταφορά των ρύπων και των αερολυμάτων καθώς κι η χημεία τους [Environ, 2010].

Το μοντέλο MEGAN και φυσικές – βιογενείς εκπομπές: Το μοντέλο MEGAN (Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature) [<http://acd.ucar.edu>] χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των εκπομπών αερίων και σωματιδίων στην Ατμόσφαιρα από τα οικοσυστήματα (φυσικές – βιογενείς εκπομπές). Οι μεταβλητές που χρησιμοποιεί το μοντέλο συμπεριλαμβάνουν δεδομένα εδαφοκάλυψης, ατμοσφαιρικά δεδομένα καθώς και δεδομένα χημικής σύστασης της Ατμόσφαιρας. Το παρόν μοντέλο μελετά 134 χημικά είδη που ανήκουν στις κατηγορίες των:

- Ισοπρενίων
- Οξυγονούχων ενώσεων (oxygenated compounds)
- Σεσκιτεπερνίων και
- Οξειδίων του νατρίου

Το πρόγραμμα GEMS κι οι ανθρωπογενείς εκπομπές: Το GEMS (Global and Regional Earth-system Monitoring using Satellite and *in-situ* data) είναι επιδοτούμενο πρόγραμμα από την Ευρωπαϊκή Ένωση και έχει σκοπό να δημιουργήσει βάσεις δεδομένων για τις εκπομπές αερίων και αιωρούμενων σωματιδίων που οφείλονται στην ανθρώπινη δραστηριότητα. Τα εξεταζόμενα αέρια είναι: NO_x, SO₂, NMVOCs (Non Methane Volatile Organic Carbon compounds), NH₃, CH₄ ενώ τα σωματίδια είναι PM_{2.5} και PM₁₀. Οι πηγές που εκπέμπουν τα αέρια και αιωρούμενα σωματίδια στις βάσεις δεδομένων συνοψίζονται στον πίνακα 3.

Οι πηγές έχουν διαχωριστεί σε σημειακές και επιφανειακές. Οι σημειακές αφορούν κυρίως εκπομπές που παράγονται από τη βιομηχανία ενώ οι επιφανειακές είναι πηγές που σχετίζονται με τις οδικές μεταφορές, την οικιστική κάλυψη, τις γεωργικές δραστηριότητες καθώς και τις διαδρομές που χρησιμοποιούν τα πλοία για τις μεταφορές.

Πίνακας 3: Πηγές ρύπων για το μοντέλο GEMS**Κατηγορία πηγής**

Πηγές ηλεκτρικής ενέργειας και άλλες εγκαταστάσεις μετασχηματισμού ενέργειας
Μικρές εγκαταστάσεις καύσης
Βιομηχανική καύση
Εκπομπές απο βιομηχανικές διαδικασίες
Ορυκτά καύσιμα
Διαλύτες και προϊόντα χρήσης
Οδικές μεταφορές
Άλλα είδη μεταφορών (εκτός των οδικών) και κινητά μηχανήματα
Διάθεση αποβλήτων
Γεωργία
Φυσικές πηγές

Δεδομένα εκπομπών απο πυρκαγιές: Τα δεδομένα πυρογενών εκπομπών έχουν παραχωρηθεί απο τον Dr. Michail Sofiev του Finnish Meteorological Institute.

Εκπομπές αερολυμάτων EC/OC (Ανθρακούχων): Για τις εκπομπές EC (elemental carbon) και OC (organic carbon) χρησιμοποιείται το μοντέλο GAINS (<http://www.iiasa.ac.at/>). Το μοντέλο υπολογίζει τις εκπομπές διαφόρων πηγών παραγωγής βάσει λεπτομερούς κατηγοριοποίησής τους. Οι κυριότερες πηγές OC<2.5μm στην Ευρώπη είναι η καύση ξύλου και άνθρακα ενώ οι κυριότερες ποσότητες EC<1μm προέρχονται από τις μεταφορές καθώς και τη χρησιμοποίηση πετρελαίου diesel για θέρμανση.

Οι εκπομπές διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες μεγεθών. Μία κατηγορία για σωματίδια μικρότερα από 2.5μm και μία κατηγορία για σωματίδια μεταξύ 2.5 και 10μm. Σωματίδια μεγαλύτερα από 10μm έχουν απαλειφθεί. Επιπλέον οι εκπομπές σωματιδιακού άνθρακα έχουν διαχωριστεί περαιτέρω σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη με σωματίδια μικρότερα από 1μm και η δεύτερη με σωματίδια από 1μm έως 2.5μm. Τα δεδομένα εκπομπών του μοντέλου παραχωρήθηκαν από τον Dr. Hugo Denier Van der Gon.

Εκπομπές Θαλάσσιων Αερολυμάτων: Για τον προσδιορισμό των εκπομπών των θαλάσσιων αερολυμάτων, χρησιμοποιήθηκε ένας συνδυασμός τριών μοντέλων παραγωγής SSAs. Χρησιμοποιήθηκαν τα μοντέλα των Smith και Harrison [1998] και

των Monahan *et al.* [1986] που αποδίδουν πολύ κοντά στην πραγματικότητα την παραγωγή των θαλάσσιων αερολυμάτων για μεγέθη μεγαλύτερα από 1 μm καθώς και το μοντέλο των Geever *et al.* [2005] για τα σωματίδια που παράγονται στο μέγεθος που ορίζει η κατηγορία συσσώρευσης (0.1-1 μm).

Αρχεία εξόδου

Τα αρχεία εξόδου του μοντέλου αποτελούνται από συγκεντρώσεις αερίων και αιωρούμενων σωματιδίων για επιλεγμένα σενάρια και χρονικές περιόδους. Τα διάφορα σενάρια που εξετάζονται περιλαμβάνουν επιλογές όλων ή μερικών αρχείων εισόδου που συνάδουν με την εκάστοτε περίπτωση.

3.5. ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΝΕΡΗ3

3.1.5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το μοντέλο ΝΕΡΗ3 είναι ένα οπτικό μοντέλο, έχει αναπτυχθεί το 1995 κι έχει εφαρμοστεί, με επιτυχία, σε ανάλογες έρευνες [Capada *et al.*, 2004, Maring *et al.*, 2000, Pilinis and Li, 1998].

3.1.5.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΝΕΡΗ3

Η αρχή λειτουργίας του μοντέλου ΝΕΡΗ3 στηρίζεται στον αλγόριθμο ISORROPIA [Nenes *et al.*, 1998; Nenes *et al.*, 1999], στη θεωρία Mie και υπολογίζει τις οπτικές ιδιότητες τις σχετικές με την απορρόφηση, την σκέδαση και την οπισθοσκέδαση των αερολυμάτων [Pilinis and Li, 1998]. Το μοντέλο παρέχει τα συστατικά των αερολυμάτων που βρίσκονται σε υγρή και στερεή φάση. Τα αερολύματα θεωρούνται ότι είναι ανομοιογενείς στρωματοποιημένες σφαίρες που αποτελούνται από τον πυρήνα με τα αδιάλυτα συστατικά και μια εξωτερική διαλυτή στιβάδα που περιβάλλει τον πυρήνα. Ο πυρήνας αποτελείται από οργανικές ενώσεις και σκόνη και περιβάλλεται από τα υπόλοιπα διαλυτά είδη. Οι οπτικές ιδιότητες του πυρήνα και της εξωτερικής του στιβάδας υπολογίζονται από το μοντέλο ΝΕΡΗ3 ως ο μέσος όγκος του αδιάλυτου πυρήνα και της διαλυτής στιβάδας, αντίστοιχα [Pilinis and Li, 1998].

4. ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ομάδα του επιστημονικού υπευθύνου (ο επιβλέπων καθηγητής της διδακτορικής έρευνας) στο Πανεπιστήμιο Αιγαίου συμμετείχε στο πρόγραμμα EUCAARI, που στόχους έχουν τη μείωση της αβεβαιότητας των προβλέψεων της κλιματικής αλλαγής με επιδίωξη την καλύτερη κατανόηση των διεργασιών σχηματισμού και συμπεριφοράς των αερολυμάτων.

Το σχέδιο EUCAARI επιδίωκε να ερευνήσει το ρόλο των αερολυμάτων στο κλίμα και την ποιότητα του αέρα. Πιο ειδικά, μεταξύ άλλων, αντικείμενα του εν λόγω προγράμματος αποτελούσαν: α) η πρόβλεψη των επιπέδων ρύπανσης πάνω από την Ευρώπη καθώς το κλίμα μεταβάλλεται, β) η επίδραση της αέριας ρύπανσης στη μεταβολή του κλίματος. Πρώτος αντικειμενικός στόχος του προγράμματος ήταν να μειώσει την υπάρχουσα αβεβαιότητα της επίπτωσης των αερολυματικών σωματιδίων στο κλίμα κατά 50% και να ποσοτικοποιήσει τη σχέση μεταξύ των ανθρωπογενών αερολυμάτων και της ποιότητας του αέρα στην περιφέρεια [EUCAARI, 2007]. Δεύτερος αντικειμενικός στόχος του προγράμματος ήταν να ποσοτικοποιήσει τις δευτερεύουσες επιπτώσεις των ευρωπαϊκών οδηγιών για την ποιότητα του αέρα στο παγκόσμιο και περιφερειακό κλίμα και να παρέχει εργαλεία για μελλοντικές ποσοτικοποιήσεις [EUCAARI, 2007]. Πολύτιμα δεδομένα από το πρόγραμμα αυτό θα χρησιμοποιήσουμε στην προτεινόμενη ερευνητική δράση, η οποία θα επικεντρωθεί στην Ελληνική επικράτεια.

4.2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Οι εκπομπές ρύπων από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, αέριες και σωματιδιακές, έχουν ενοχοποιηθεί ως η κύρια αιτία υπερθέρμανσης του πλανήτη. Γενικά, οι εκπεμπόμενοι ρύποι στην Ατμόσφαιρα διαχωρίζονται σε αυτούς που προκαλούνται από την ανθρώπινη δραστηριότητα (ανθρωπογενείς) και στους φυσικούς – βιογενείς. Ως φυσικός – βιογενής θεωρείται κάθε μη ανθρωπογενής ρύπος [NATAIR, 2007]. Καθώς ο πληθυσμός του πλανήτη αυξάνεται, οι μελλοντικές τάσεις των εκπομπών ρύπων στην Ατμόσφαιρα εξαρτώνται από το ρυθμό της πληθυσμιακής αύξησης, από το βαθμό υιοθέτησης νέων τεχνολογιών, από το βαθμό περιβαλλοντικής «καθαρότητας» των νέων αυτών τεχνολογιών κ.τ.λ. Ταυτόχρονα, οι

κλιματικές αλλαγές που θα έχουν συμβεί σε κάποιο χρονικό σημείο στο μέλλον εξαρτώνται από τη συνολική πορεία της κοινωνίας σε ολόκληρο το προηγούμενο διάστημα. Τα σενάρια της IPCC περιγράφουν διαφορετικές οικονομικές – κοινωνικές τροχιές της ανθρωπότητας στο μέλλον και αποτελούν ένα εξαιρετικά χρήσιμο εργαλείο πρόβλεψης των τάσεων. Η πολυπλοκότητα των συσχετισμών ανάμεσα στην εξέλιξη των κοινωνιών, τις εκπομπές ρύπων, την ποιότητα της Ατμόσφαιρας και των κλιματικών αλλαγών γίνεται περισσότερο εμφανής στο Σχήμα 4.

Η καλή γνώση του βαθμού συμμετοχής των φυσικών – βιογενών εκπομπών στη συνολική ατμοσφαιρική ρύπανση είναι σημαντική, καθώς οι φυσικοί – βιογενείς ρύποι αποτελούν το φυσικό υπόβαθρο που κρίνει την επίδραση που έχουν οι ανθρωπίνες δραστηριότητες στην Ατμόσφαιρα. Καθώς οι κλιματικές – μετεωρολογικές συνθήκες επηρεάζουν την εκπομπή φυσικών – βιογενών ρύπων, γίνεται εμφανής η ύπαρξη συσχετισμού ανάμεσα στους δύο τύπους ρύπων. Στην Ατμόσφαιρα της Αττικής, οι μετρήσεις αναφέρουν αυξημένες συγκεντρώσεις τόσο των αέριων ρύπων όσο και των σωματιδίων [Eleftheriadis *et al.*, 1998].

Η διερεύνηση τάσεων διασποράς και μετασχηματισμού των ρύπων στον Ελληνικό χώρο θα εστιασθεί στις δυο μεγαλουπόλεις, Αθήνα και Θεσσαλονίκη. Οι ανθρωπογενείς πηγές εκπομπών των αέριων ρύπων είναι ποικίλες λόγω της έντονης παρουσίας δραστηριοτήτων που εξυπηρετούν πολύπλευρες ανθρώπινες ανάγκες. Επιδιώκεται να μελετηθεί, ολόπλευρα, η συσχέτιση βιογενών – φυσικών αερολυμάτων με τα ανθρωπογενή, με εργαλείο το μοντέλο PMCAMx – 2008. Συχνά, οι συγκεντρώσεις των αέριων ρύπων υπερβαίνουν τα όρια, βάσει κοινοτικών οδηγιών, με αποτέλεσμα να υποβαθμίζεται η ποιότητα του αέρα κι επειδή η Ατμόσφαιρα δεν έχει πραγματικά αλλά νοητά όρια, η αέρια ρύπανση «ταξιδεύει» στην ευρύτερη περιοχή.

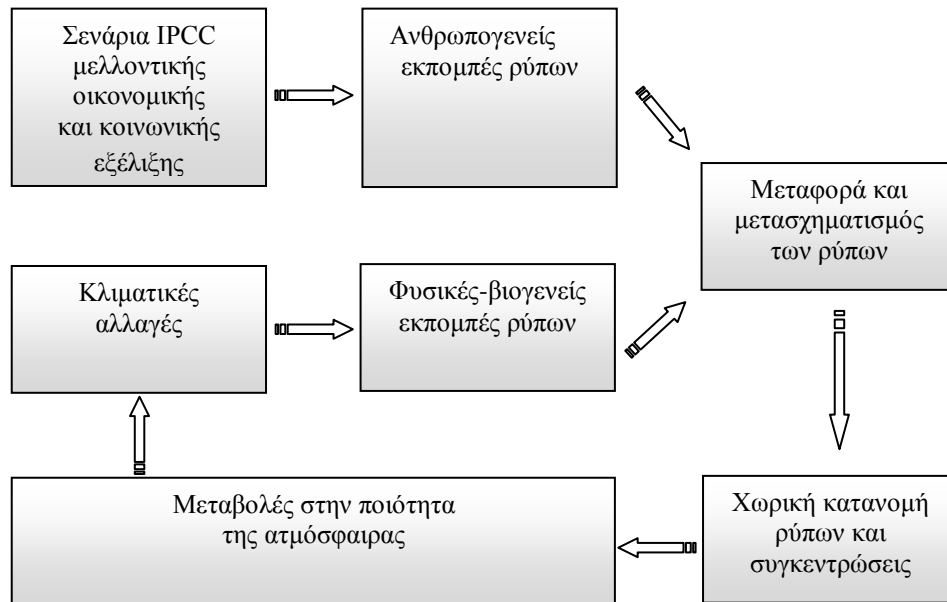
Συγκεκριμένα, για τα σωματίδια, στους σταθμούς μέτρησης της Αριστοτέλους, της Λυκόβρυσης, του Αμαρουσίου και του Πειραιά ο αριθμός ημερών για το 2001 με υπέρβαση του ορίου των $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ενδεικτική οριακή τιμή προστασίας της οποίας δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση περισσότερες από 35 φορές ανά έτος) για τα σωματίδια με διάμετρο έως $10 \mu\text{m}$ ήταν 70, 93, 77 και 68 αντίστοιχα. Για την επίτευξη του ορίου των $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ είναι απαραίτητη η κατανόηση και ποσοτικοποίηση της σχετικής κατανομής των αερολυμάτων στο περιβάλλον κι η

διατύπωση αποτελεσματικών στρατηγικών ελέγχου και μέτρων για τα αερολύματα, ώστε να αποφεύγονται άσκοπες δαπάνες και καθυστερήσεις στην επίτευξη επιδιωκόμενων στόχων.

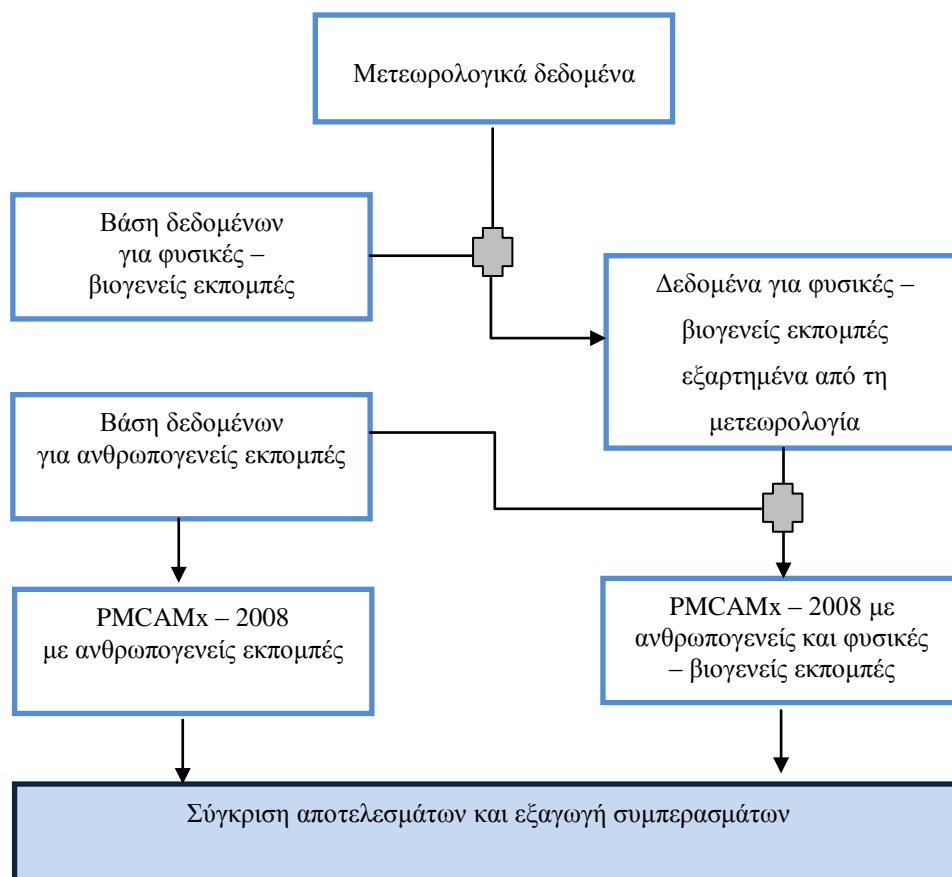
Η πρόβλεψη της αέριας και σωματιδιακής ρύπανσης με χρήση μοντέλων σε συνδυασμό με μετρήσεις συγκεντρώσεων αερίων ρύπων και αεροζόλ είναι ο μόνος πρακτικός τρόπος για την επιτυχή αντιμετώπιση με τη λήψη μέτρων ενός τόσο πολύπλοκου προβλήματος. Η παρούσα ερευνητική πρόταση αποτελεί συνέχεια του ευρωπαϊκού ερευνητικού προγράμματος BOND και του Προγράμματος Πυθαγόρας που σκοπό είχαν να μελετήσουν τη συμβολή των δευτερογενών βιογενών οργανικών αεροζόλ στην ποιότητα αέρα της περιοχής της Μεσογείου [Sotiropoulou *et al.*, 2004a; Sotiropoulou *et al.*, 2004b]. Οι σημαντικότεροι στόχοι που επιδιώκεται να επιτευχθούν με την ολοκλήρωση της μελέτης είναι:

- ⊙ Η περαιτέρω διερεύνηση των τάσεων διασποράς και συγκέντρωσης των ρύπων στον Ελληνικό χώρο.
- ⊙ Η βελτίωση των γνώσεων μας σχετικά με τη συμμετοχή των ρύπων, προερχόμενων από ανθρωπογενείς και φυσικές – βιογενείς εκπομπές, στη συνολική ρύπανση.
- ⊙ Η μελέτη των μελλοντικών επιπέδων ρύπανσης σε Ελληνικές μεγαλουπόλεις λόγω των επικείμενων κλιματικών αλλαγών.

Στο Σχήμα 5 το διάγραμμα ροής παρουσιάζει τα διάφορα στάδια της βασικής μεθοδολογίας που στηρίζει τη διδακτορική έρευνα. Τα μετεωρολογικά δεδομένα μαζί με τις βάσεις δεδομένων για φυσικές – βιογενείς εκπομπές θα δημιουργήσουν τα δεδομένα για φυσικές – βιογενείς εκπομπές εξαρτημένα από τη μετεωρολογία. Η βάση δεδομένων για ανθρωπογενείς εκπομπές θα τροφοδοτήσει τα αρχεία PMCAMx – 2008 για ανθρωπογενείς εκπομπές καθώς και τα αρχεία PMCAMx – 2008 για ανθρωπογενείς και φυσικές-βιογενείς εκπομπές. Τα αρχεία PMCAMx – 2008 για ανθρωπογενείς εκπομπές μαζί με τα αρχεία για ανθρωπογενείς και φυσικές-βιογενείς εκπομπές θα συγκριθούν και θα διεξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την αλληλεπίδραση φυσικών – βιογενών με ανθρωπογενή αερολύματα.



Σχήμα 4: Συσχετισμοί της εξέλιξης των κοινωνιών με τις κλιματικές αλλαγές.



Σχήμα 5: Διάγραμμα βασικής μεθοδολογίας.

5. ΣΤΟΧΟΙ ΚΑΙ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΕΣ - ΠΟΡΕΙΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

5.1. ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΙ –ΤΕΧΝΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ ΚΑΙ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΕΣ

Τα τελευταία χρόνια, οι Περιβαλλοντικές Επιστήμες έχουν εμπλουτιστεί με εκτενείς βιβλιογραφικές αναφορές, πάνω στο ρόλο που διαδραματίζουν τόσο τα φυσικά – βιογενή όσο και τα ανθρωπογενή αερολύματα στην κλιματική μεταβολή. Ωστόσο, το βιβλιογραφικό υπόβαθρο παρουσιάζει ελλείψεις οσων αφορούν στην αλληλεπίδραση των φυσικών-βιογενών με τα ανθρωπογενή αερολύματα κατά τη διασπορά τους. Το κενό αυτό που δημιουργήθηκε, επιδιώκει να καλύψει η παρούσα διδακτορική έρευνα με το πρωτότυπο αντικείμενο που πραγματεύεται.

Στα πλαίσια εκπόνησης της διδακτορική έρευνας επιδιώκονται να πραγματοποιηθούν οι ακόλουθοι σημαντικότεροι στόχοι:

- Διερεύνηση τάσεων διασποράς και μετασχηματισμού των ρύπων στον Ελληνικό χώρο.
- Η πρόοδος του γνωστικού υποβάθρου σχετικά με το βαθμό συμμετοχής των ρύπων που προέρχονται από φυσικές – βιογενείς εκπομπές, στη συνολική αέρια ρύπανση.
- Η ενδελεχής μελέτη των μελλοντικών επιπέδων ρύπανσης σε Ελληνικές μεγαλουπόλεις λόγω των επικείμενων κλιματικών μεταβολών.
- Ποσοτικοποίηση της σχετικής κατανομής των φυσικών – βιογενών και ανθρωπογενών αερολυμάτων στο περιβάλλον του Λεκανοπεδίου Αττικής και ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης με το μοντέλο PMCAMx – 2008.
- Συσχέτιση οπτικών ιδιοτήτων με τη χημική σύσταση του αερολυμάτων και την κατανομή μεγέθους με εφαρμογή του μοντέλου NERH3 χρησιμοποιώντας τις προβλέψεις του PMCAMx – 2008. Μελέτη συμβολής της πραγματικής, περιβάλλουσας σχετικής υγρασίας στη σκέδαση του φωτός (light scattering coefficient) των αερολυμάτων. Σύγκριση μετρήσεων – προβλεπόμενων τιμών.

- Δημιουργία ενός λογισμικού «πακέτου» που να είναι ικανό να εφαρμοστεί και για άλλα σενάρια και/ή περιοχές της Ευρωπαϊκής Ηπείρου, με σχετική πλέον ευκολία.
- Διατύπωση αποτελεσματικών στρατηγικών ελέγχου και μέτρων για τα αερολύματα.

5.2. ΠΟΡΕΙΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η διδακτορική έρευνα ξεκίνησε την 01/05/2009 όπου και ορίστηκαν τα μέλη της τριμελούς επιτροπής. Το θέμα οριστικοποιήθηκε έως το Σεπτέμβριο του ίδιου έτους όπου και διασαφηνίστηκαν οι στόχοι της μελέτης και το θεωρητικό υπόβαθρο στήριξης. Η βιβλιογραφική ανασκόπηση θεμελιώθηκε κατά το Δεκέμβριο του 2009. Κρίθηκε αναγκαία και δεσμευτική προϋπόθεση να γίνει διάκριση της διδακτορικής έρευνας σε πακέτα εργασίας. Κάθε πακέτο εργασίας περιλαμβάνει χωριστές θεματικές ενότητες που έχουν καθορισμένη χρονική διάρκεια και παραδοτέα κείμενα. Η περιγραφή των αντικειμενικών στόχων κάθε πακέτου αναλύεται στα επόμενα.

Η διδακτορική έρευνα χωρίζεται σε τέσσερα πακέτα εργασίας:

1. Ανασκόπηση του βιβλιογραφικού υποβάθρου (Π. Ε. 1).
Αναβάθμιση των μοντέλων PMCAMx-2008 και NERH3 και έλεγχος λειτουργίας τους (Π. Ε. 1).
2. Εφαρμογή του μοντέλου NERH3 στη Μεσόγειο και έλεγχος των προβλέψεων του (Π. Ε. 2).
3. Εφαρμογή του μοντέλου PMCAMx – 2008 (μετά την ένωση του με το NERH3) και έλεγχος της ορθότητας λειτουργίας του (Π. Ε. 3).
Εφαρμογή του μοντέλου PMCAMx – 2008 για τα IPCC σενάρια που θα επιλεγούν (Π. Ε. 3).
4. Συγγραφή - Προβολή διδακτορικής έρευνας - Διάχυση παραγόμενης γνώσης (Π. Ε. 4)

Η αναλυτική περιγραφή της διδακτορικής έρευνας ανά πακέτο εργασίας γίνεται στις ενότητες που ακολουθούν.

1^ο Πακέτο εργασίας (Π. Ε. 1)

Στο εν λόγω πακέτο θα γίνει ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, αναβάθμιση των μοντέλων NERH3 και PMCAMx – 2008 όπως και έλεγχος ορθής λειτουργίας τους. Η χρονική διάρκεια θα είναι 15 μήνες. Το παραδοτέο κείμενο θα περιλαμβάνει την έκθεση αξιοπιστίας και αξιολόγησης των αναβαθμισμένων και βελτιωμένων μορφών των μοντέλων.

Στα πλαίσια του Π.Ε.1 θα γίνει διερεύνηση της βιβλιογραφίας και θα πραγματοποιηθεί επαφή με τις ομάδες των κυρίων Seinfeld από το CALTECH, Kulmala από το Πανεπιστήμιο του Ελσίνκι και Πανδή από το Πανεπιστήμιο της Πάτρας για να αναβαθμιστούν τα “modules” της χημείας και του σχηματισμού των αερολυμάτων. Μόλις οι βελτιώσεις του κώδικα ολοκληρωθούν θα ελεγχθεί η συμπεριφορά του με εφαρμογή δεδομένων τα οποία υπάρχουν στο εργαστήριο από το πρόγραμμα BOND για ένα επεισόδιο στην Αθήνα και ένα στη Μασσαλία [Sotiropoulou thesis, 2005].

2^ο Πακέτο εργασίας (Π. Ε. 2)

Το παρόν πακέτο περιλαμβάνει εφαρμογή του μοντέλου NERH3 στη Μεσόγειο κι έλεγχο των προβλέψεών του. Έχει χρονική διάρκεια 6 μήνες και το παραδοτέο κείμενο είναι η έκθεση με περιγραφή της εφαρμογής του μοντέλου στη Μεσόγειο. Αναμένεται να παρουσιαστούν τα αποτελέσματα γραφικά και επιδιώκεται η στατιστική σύγκριση τόσο με μετρήσεις ρουτίνας σε διάφορους σταθμούς, όσο και με εξειδικευμένες μετρήσεις πεδίου (EUCAARI, Φινοκαλιά κ.λ.π.). Επίσης τα αποτελέσματα θα παρουσιαστούν σε μορφή άρθρου για αξιολόγηση και πιθανή δημοσίευση.

Οι βελτιωτικές ενέργειες έχουν ήδη πραγματοποιηθεί σε ορισμένα modules στο μοντέλο NERH3. Για παράδειγμα έχουν γίνει βελτιώσεις που αφορούν στον υπολογισμό του νερού που απορροφάται από τα δευτερογενή οργανικά αερολύματα [Engelhart, 2010]. Τα οργανικά συστατικά, ακόμη και τα μεγάλα σε ηλικία, απορροφούν μια σχετικά μικρή ποσότητα σωματιδιακού νερού, επηρεάζοντας, κατά ένα μικρό ποσοστό, το νερό που οφείλεται στα ανόργανα άλατα. Αν και η συνεισφορά του προκείμενου νερού από τα οργανικά είναι μικρή, σε σύγκριση με εκείνη που παρατηρείται από τα ανόργανα συστατικά [Engelhart, 2010], φαίνεται ότι

το νερό επηρεάζει το συντελεστή σκέδασης του φωτός του αερολύματος. Η εκθετική εξίσωση που λαμβάνει υπόψη το απορροφημένο νερό από τα δευτερογενή οργανικά αερολύματα, υπολογίστηκε από τα προϊόντα οξείδωσης του τολουολίου [Κοο *et al.*, 2003].

Το μοντέλο ποιότητας Ατμόσφαιρας PMCAMx – 2008, μετά την αναβάθμιση του με σύζευξη με το NERH3, θα εφαρμοσθεί στη Μεσόγειο με περαιτέρω εστίαση στην Ανατολική Μεσόγειο και στις Ελληνικές Μεγαλουπόλεις (Αθήνα, Θεσσαλονίκη). Το PMCAMx – 2008 διαθέτει “nesting capabilities”, οπότε θα χρησιμοποιήσουμε κάνναβο της τάξεως των 36 km x 36 km για την Ευρώπη, 12 km x 12 km για όλο τον Ελλαδικό χώρο και 4 km x 4 km για τις μεγαλουπόλεις. Πρέπει να αναφερθεί ότι μετεωρολογικά δεδομένα για την εφαρμογή του μοντέλου θα είναι διαθέσιμα για όλη την Ευρωπαϊκή Ήπειρο μέσω της έκδοσης του μοντέλου WRF που διαθέτουμε. Η έκδοση αυτή αναπτύχθηκε από το Πανεπιστήμιο της Πάτρας, με την οποία το PMCAMx – 2008 που διατίθεται είναι απολύτως συμβατό. Επίσης πρέπει να αναφερθεί ότι η ομάδα που συμμετέχει στο EUCAARI, διαθέτει τόσο ανθρωπογενείς όσο και βιογενείς εκπομπές για όλη την Ευρώπη, μέσω της συμμετοχής στο εν λόγω Ευρωπαϊκό πρόγραμμα.

3^ο Πακέτο εργασίας (Π. Ε. 3)

Στο 3^ο πακέτο εργασίας θα εφαρμοστεί το μοντέλο PMCAMx – 2008 θα γίνει έλεγχος της ορθής λειτουργίας του και θα εφαρμοστεί για τα IPCC σενάρια που θα επιλεγούν. Συνολικά, θα έχει χρονική διάρκεια 12 μήνες. Τα παραδοτέα του εν λόγω πακέτου είναι η έκθεση αναφοράς με τα αποτελέσματα αξιόπιστης λειτουργίας του μοντέλου PMCAMx – 2008 και τα αποτελέσματα του νέου υβριδικού μοντέλου NERH3 – PMCAMx - 2008 καθώς και η έκθεση με περιγραφή της εφαρμογής του μοντέλου στο μέλλον χρησιμοποιώντας IPCC σενάρια, ανάλυση των αποτελεσμάτων και των προβλέψεων.

Τα δεδομένα εξόδου του μοντέλου NERH3 θα εφαρμοστούν στο PMCAMx – 2008. Αν υπάρχει καλή συσχέτιση στο συντελεστή εξασθένισης, τότε θα δημιουργηθεί ένα νέο υβριδικό μοντέλο NERH3 – PMCAMx - 2008. Το νέο μοντέλο θα εφαρμοστεί στην Ευρωπαϊκή Ήπειρο.

Στο παρόν πακέτο θα γίνει μεταβολή των βάσεων δεδομένων εκπομπών, σύμφωνα με τα σενάρια του IPCC, και επανεκτέλεση του κώδικα PMCAMx – 2008 με τα νέα δεδομένα. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων θα αντιπροσωπεύουν την μεταβολή της κατανομής των συγκεντρώσεων των ρύπων στο μέλλον. Τέλος θα πραγματοποιηθεί η επεξεργασία και η ανάλυση των αποτελεσμάτων. Οι χωρικές κατανομές συγκεντρώσεων των ρύπων με παράλληλη ανάλυση των μετεωρολογικών συνθηκών αναμένεται να καταδείξουν τις μελλοντικά επιβαρυμένες, με ατμοσφαιρικούς ρύπους, πιθανές περιοχές. Ταυτόχρονα τα αποτελέσματα των κατανομών αυτών (ανάλογα με το IPCC σενάριο) που θα προκύψουν από την εφαρμογή του PMCAMx – 2008, θα αποτελούν μία χρήσιμη πηγή αναφοράς και ένα πολύτιμο εργαλείο για τον σχεδιασμό πολιτικών προστασίας της ποιότητας της Ατμόσφαιρας. Τέλος, ο συνδυασμός του λογισμικού εκμετάλλευσης των βάσεων δεδομένων των εκπομπών, των σεναρίων του IPCC, καθώς και του μοντέλου PMCAMx – 2008, αναμένεται να αποτελέσουν μία πλατφόρμα λογισμικού που θα χρησιμοποιηθεί στο μέλλον για περαιτέρω έρευνα. Ταυτόχρονα κάθε καινοτομία στα επιμέρους χαρακτηριστικά της προαναφερθείσας πλατφόρμας (π.χ. μελλοντική πιθανή αναθεώρηση των IPCC σεναρίων) θα ενσωματώνεται εύκολα, συμβάλλοντας στην συνεχή βελτίωση της αξιοπιστίας των προσομοιώσεων. Αξίζει να αναφερθεί ότι το εργαστήριο διαθέτει αρκετή υπολογιστική ικανότητα για να επιτευχθούν οι στόχοι αυτού του πακέτου εργασίας.

4^ο Πακέτο εργασίας (Π. Ε. 4)

Το τελευταίο πακέτο της διδακτορικής έρευνας περιλαμβάνει τη συγγραφή, προβολή της έρευνας καθώς και τη διάχυση της παραγόμενης γνώσης. Η χρονική διάρκεια καθορίζεται στους 6 μήνες. Τα παραδοτέα περιλαμβάνουν τη Διδακτορική Διατριβή και αντίγραφα των δημοσιεύσεων και/ή των ανακοινώσεων σε διεθνή συνέδρια με κριτές. Στο τέταρτο πακέτο εργασίας θα γίνει η συγγραφή της διδακτορικής διατριβής και θα ετοιμασθούν δημοσιεύσεις και/ή ανακοινώσεις που θα αποσταλούν για κρίση.

Πίνακας 4: Χρονοδιάγραμμα αποπεράτωσης διδακτορικής έρευνας

			ΕΤΟΣ												Χρονική διάρκεια					
Τίτλος	Δραστηριότητες	Παραδοτέα	2009			2010			2011			2012			2013			Έναρξη	Λήξη	
Π.Ε. 1																		01/05/2009	31/03/2011	
Ανασκόπηση βιβλιογραφίας	Μελέτη του επιστημονικού γνωστικού υποβάθρου και εντοπισμός ελλείψεων στη βιβλιογραφία.																			
Αναβάθμιση του μοντέλου NERH3 και έλεγχος ορθής λειτουργία του.	Έρευνα για αναβαθμισμένα 'modules' ή δημιουργία και εγκατάστασή τους.	Έκθεση αξιοπιστίας της αναβαθμισμένης και βελτιωμένης μορφής του μοντέλου.																		
Π.Ε. 2																		01/04/2011	31/12/2011	
Εφαρμογή του μοντέλου στη Μεσόγειο και έλεγχος των προβλέψεων του.	Εφαρμογή μοντέλου NERH3 στη Μεσόγειο. Σύγκριση προβλέψεων κώδικα με μετρήσεις πεδίου (σταθμός	Έκθεση αναφοράς των αποτελεσμάτων σύγκρισης προβλέψεων-μετρήσεων.																		

	μετρήσεων Φινοκαλιάς), χρησιμοποιώντας στατιστικές μεθόδους.	Συγγραφή πρώτης δημοσίευσης																						
Τίτλος	Δραστηριότητες	Παραδοτέα	2009				2010				2011				2012				2013				Έναρξη	Λήξη
Π.Ε. 3																					01/01/2012	31/12/2012		
Εφαρμογή του μοντέλου PMCAMx - 2008 και έλεγχος της ορθότητας λειτουργίας του.	Εφαρμογή του μοντέλου PMCAMx - 2008 στα δεδομένα εξόδου του μοντέλου NERH3 (συντελεστής εξασθένισης). Εφαρμογή του νέου υβριδικού μοντέλου NERH3 – PMCAMx-2008 στην Ευρωπαϊκή Ήπειρο.	Έκθεση αναφοράς με τα αποτελέσματα αξιόπιστης λειτουργίας του μοντέλου PMCAMx – 2008 και αποτελέσματα νέου υβριδικού μοντέλου. Πιθανή συμμετοχή στο 12 ^ο συνέδριο Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας (CEST 2011).																						
Εφαρμογή του μοντέλου για τα IPCC σενάρια που	Εφαρμογή του μοντέλου για τα IPCC σενάρια που θα	Έκθεση με περιγραφή της εφαρμογής του μοντέλου στο																						

5.3. ΕΝΑ ΒΛΕΜΜΑ ΜΠΡΟΣΤΑ – ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ ΤΗΣ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Επιστημονικός στόχος της διδακτορικής έρευνας είναι η κατανόηση της αλληλεπίδρασης των φυσικών – βιογενών με τα ανθρωπογενή αερολύματα κατά τη διασπορά τους, με προσομοίωση των φυσικών και χημικών διεργασιών που παρέχει το μοντέλο PMCAMx – 2008. Μετά την επιτυχή ολοκλήρωση των αντικειμενικών στόχων της παρούσας διδακτορικής έρευνας, θα εκτιμηθεί η συνεισφορά της στους «παραγωγούς» της πολιτικής. Υπο τη σκοπιά της ποιότητας του αέρα, οι δυσμενείς επιπτώσεις της σωματιδιακής ύλης στην υγεία αποτελούν τον καθοριστικό άξονα στροφής της πολιτικής με προοπτική τη βελτίωσή του αέρα.

Τα επιστημονικά προβλήματα και τα θέματα πολιτικής που συνδέουν την κλιματική μεταβολή και την ποιότητα του αέρα είναι πολύπλοκα [Monks *et al.*, 2009]. Τα επιστημονικά θέματα παρουσιάζουν προκλήσεις σε όσους φέρουν την ευθύνη για τη λήψη των αποφάσεων και στους πολιτικούς, ειδικότερα. Ασκούνται ορισμένες πολιτικές που βελτιώνουν την ποιότητα αέρα και ταυτόχρονα μειώνουν τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, ενώ άλλες βελτιώνουν το ένα αλλά χειροτερεύουν το άλλο. Οι μετρήσεις απόδοσης της ενέργειας θεωρούνται τα πιο προφανή μέτρα για τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα και της κλιματικής αλλαγής, μαζί. Άλλα μέτρα αποτελούν οι κερδοφόρες, για πολλούς, μη-καύσιμες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας όπως είναι η αιολική, ηλιακή και παλιρροϊκή ενέργεια.

Η πρόκληση που παρουσιάζεται στους πολιτικούς είναι να προσανατολίσουν σε μια κατεύθυνση τις δράσεις τους, μέσα από τις διάφορες πολυπλοκότητες. Ο ρόλος της επιστημονικής κοινότητας είναι να κατανοήσει τα προβλήματα και να ποσοτικοποιήσει τις επιπτώσεις. Ο μαύρος άνθρακας αποτελεί έναν πολύ σημαντικό ρύπο, σε αρκετές περιπτώσεις αέριας ρύπανσης. Στην Ευρώπη, τα τελευταία χρόνια, έχουν πραγματοποιηθεί μετρήσεις που προτείνουν ελάττωση των εκπομπών μαύρου άνθρακα από τα οχήματα που χρησιμοποιούν το diesel ως καύσιμο, που θα μετριάσει τις επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα και στη δημόσια υγεία. Ωστόσο, το πρόβλημα εστιάζεται στην ποσοτικοποίηση των κλιματικών επιπτώσεων του μαύρου άνθρακα.

Κατά τη διαχείριση των δράσεων αντιστάθμισης ποιότητας αέρα – κλιματικής μεταβολής, θεωρείται απίθανο, στον «πραγματικό κόσμο», οι πολιτικοί να μπορέσουν να επιτύχουν απλές, καλύτερες λύσεις που θα επιλαμβάνονται το πρόβλημα της κλιματικής μεταβολής και της ποιότητας του αέρα, μαζί. Οι πολιτικές διαχείρισης που λαμβάνονται σε θέματα ποιότητας του αέρα και κλιματικής μεταβολής, συχνά, προσεγγίζουν τον «πραγματικό κόσμο» με έναν πιο ρεαλιστικό και *ad hoc* τρόπο ο οποίος είναι δυνατό να θεωρείται ιδανικός, υπο τη θεωρητική σκοπιά. Γίνεται σαφές ότι, ακολουθώντας πολιτικές, στρατηγικές ή σχέδια δράσης που προάγουν πολλαπλά οφέλη σε διαφορετικά πεδία, αποκομίζονται τεράστιες ωφέλειες κι οι προσπάθειες θα πρέπει να συνεχίσουν προς αυτή την κατεύθυνση. Παραδείγματα αποτελούν η ανάπτυξη ποικίλων συστημάτων παρακολούθησης με στόχο την ελαχιστοποίηση της εκπομπής ανθρωπογενών αερολυμάτων [Kouimtzis and Samara, 1995 (Kouimtzis and Zouboulis)]. Ωστόσο, οι πολιτικές απορρέουν και εφαρμόζονται απο κυβερνήσεις οι οποίες λαμβάνουν αποφάσεις υπο την επιστημονική, οικονομική, κοινωνική και πολιτική σκοπιά.

Η διαχείριση της ποιότητας του αέρα αναφέρεται σε όλες τις λειτουργίες και ρυθμίσεις που απαιτούνται για τον έλεγχο της ποιότητας της Ατμόσφαιρας. Βασικά στοιχεία μιας ολοκληρωμένης διαχείρισης αποτελούν οι κανονισμοί ελέγχου και η στρατηγική ελέγχου, ο νομικός υπεύθυνος για την εφαρμογή της στρατηγικής ελέγχου, η απογραφή των διαφόρων εκπομπών, ένα δίκτυο ατμοσφαιρικής παρακολούθησης, ένα σύστημα διαχείρισης δεδομένων, επάνδρωση και οικονομική στήριξη του φορέα διαχείρισης, λειτουργίες δειγματοληψίας [Καρβούνης, 1995]. Όλα τα κράτη φροντίζουν για την ποιότητα του αέρα (Συνθήκη Κιότο), μερικά λιγότερο και άλλα περισσότερο, ανάλογα με τα μέσα που διαθέτουν και το μέγεθος του προβλήματός τους.

Το παρόν περίγραμμα της πολιτικής δραστηριοποίησης σχετικά με την κλιματική μεταβολή, περιλαμβάνει σχεδιασμό και καλύτερα εφαρμόσιμες στρατηγικές για την ποιότητα του αέρα και το μετριασμό της κλιματικής μεταβολής. Οι «παραγωγοί» της πολιτικής πρέπει να λάβουν υπόψη ότι υπάρχουν αρκετές εναλλακτικές δυνατότητες για την επίτευξη στόχων σχετικά με την ελάττωση των αερίων θερμοκηπίου. Όπου είναι πιθανό και εφικτό, θα πρέπει να επιλέγεται η εναλλακτική δυνατότητα που ελαχιστοποιεί τις

επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα, στη δημόσια υγεία και στο ευρύτερο περιβάλλον.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Γεντεκάκης Ι., 2003, *Ατμοσφαιρική ρύπανση: Επιπτώσεις, Έλεγχος και Εναλλακτικές τεχνολογίες*, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- Καρβούνης Σ.Κ., 1995, *Διαχείριση του περιβάλλοντος*, Εκδόσεις Σταμούλης Αθήνα – Πειραιάς, σελ. 283 - 284.
- Κουϊμτζής Θ., Φυτιάνος Κ., Σαμαρά – Κωνσταντίνου Κ., 1998, *Χημεία Περιβάλλοντος*, Εκδόσεις University studio press, Θεσσαλονίκη, σελ. 47-49.
- Λαζαρίδης Μ., 2005, *Ατμοσφαιρική ρύπανση με στοιχεία μετεωρολογίας*, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, σελ. 279, 280, 289.

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Baumgardner D and Clarke A., 1998, *Changes in aerosol properties with relative humidity in the remote southern hemisphere marine boundary layer*, Journal of Geophysical Research, 103, No. D13, pp. 16525-16534.
- Bordewijk J., Staper H., Reinen H., Schlamann K., 1995, *Total solar radiation and the influence of clouds and aerosols on the biologically effective UV*, Geophysics Research Letters, 22, pp. 2151-5154.
- Bryant C., Eleftheriadis K., Smolik J., Zdimal V., Mihalopoulos N., Colbeck I., 2006, *Optical properties of aerosols over the eastern Mediterranean*, Atmospheric Environment 40, pp. 6229-6244.
- Cabada J.C., Khlystov A., Wittig A. E., Pilinis C., Pandis S.N., 2004, *Light scattering by fine particles during the Pittsburgh Air Quality Study: Measurements and modeling*, Journal of Geophysical Research, Volume 109: D16S03.
- Capaldo K.P., Pilinis C., Pandis S.N., 2000, *A computationally efficient hybrid approach for dynamic gas/aerosol transfer in air quality models*, Atmospheric Environment 34, pp. 3617-3627.

- Colbeck I., 1996, *Aerosols and global warming*, Environmental Management and Health, 7, pp. 11-15.
- Colbeck I., 2008, *Environmental chemistry of aerosols*, Blackwell Publishing Ltd.; Topping D.: *Thermodynamics of aqueous systems*, pp. 148-162.
- Covert D.S., Charlson R.J., Ahlquist N.C., 1972, *A study of the relationship of chemical composition and humidity to light scattering by aerosols*, Journal of Applied Meteorology, 11, pp. 968-976.
- Day D.E., Malm W., 2001, *Aerosol light scattering measurements as a function of relative humidity: a comparison between measurements made at three different sites*, Atmospheric Environment, 35, pp. 5169-5176.
- Dawson J.P., Adams P.J., Pandis S.N., 2007, *Sensitivity of ozone to summertime climate in the eastern USA: A modeling case study*, Atmospheric Environment, 41, pp. 1494-1511.
- Dawson J.P., Racherla P.N., Lynn B.H., Adams P.J., Pandis S.N., 2008, *Simulating present – day and future air quality as climate changes: Model evaluation*, Atmospheric Environment, 42, pp. 4551-4566.
- Dingenen R., Raes F., Putaud Jean-P., Baltensperger U., Charron A., Facchini M. C., Decesari S., Fuzzi S., Gehrig R., Hansson H. C., Harrison R. M., Hüglin C., Jones A. M., Laj P., Lorbeer G., Maenhaut W., Palmgren F., Querol X., Rodriguez S., Schneider J., Brink H., Tunved P., Tørseth K., Wehner B., Weingartner E., Wiedensohler A., Wahlin P., 2004, *A European aerosol phenomenology- 1: physical characteristics of particulate matter at kerbside, urban, rural and background sites in Europe*, Atmospheric Environment, 38, pp. 2561-2577.
- Dunker M., Yarwood G., Ortman J. P., Wilson G. M., 2002, *Comparison of Source Apportionment and Source Sensitivity of Ozone in a Three-Dimensional Air Quality Model*, Atmos. Environ. Sci. Technol. vol. 36, pp. 2953 – 2964.

- Eleftheriadis K., Balis, D., Ziomas, I.C., Colbeck, I., and Manalis, N., 1998, *Atmospheric aerosol and gaseous species in Athens, Greece*, Atmospheric Environment, 32, pp. 2183-2191.
- Engelhart G.J., 2010, Thesis: *Clouds and Climate: Ability of Atmospheric Particles to Uptake Water* (Chapter 6: Water content of aged aerosol, pp. 142-162).
- Environ, Comprehensive Air Quality Model with Extensions, User's guide, Version 5.20, Environ International Corporation, March 2010.
- EPA (Environmental Protection Agency, US), 1999, *Air quality criteria for particulate matter*, Office of Research and Development, EPA 600/P-99/002a.
- Fierz-Schmidhauser R., Zieger P., Wehrle G., Jefferson A., Ogren J.A., Baltensperger U., Weingartner E., 2010, *Measurement of relative humidity dependent light scattering of aerosols*, Atmospheric Measurement Techniques, 3, pp. 39-50
- Fitzgerald J.W., Hoppel W.A., Vietti M.A., *The size and scattering coefficient of urban aerosol particles at Washington, DC as a function of relative humidity*, Journal of the Atmospheric Sciences, 39, pp. 1838-1852.
- Fountoukis C., Racherla P. N., Polymeneas P., Haralabidis P. E., Pilinis C., and Pandis S.N., 2008, *Evaluation of a three-dimensional chemical transport model (PMCAMx) in the European domain during the EUCAARI May 2008 campaign*, International Aerosol Conference, Helsinki, Finland, August 2010.
- Gaydos T.M, Pinder R., Koo B., Fahey K.M., Yarwood G., Pandis S.N., 2007, *Development and application of a three-dimensional aerosol chemical transport model, PMCAMx*, Atmospheric Environment, 41, pp. 2594-2611.
- Geever M. C., O' Dowd D., van Ekeren S., Flanagan R., Nilsson E. D., de Leeuw G., Rannik U., 2005, *Submicron sea spray fluxes*, Geophysical Research Letter, 32.

- Gery M. W., Whitten G. Z., Killus J. P., Dodge M. C., 1989, *A Photochemical Kinetics Mechanism for Urban and Regional Scale Computer Modelling*, Journal of Geophysical Research, 94, pp. 925-956.
- Harding M. and Kahn R., 1999, *Aerosols nad climate change*, Earth Observatory Library, NASA.
- Horvath H., Noll K.E., 1969, *The relationship between atmospheric light scattering coefficient and visibility*, Atmospheric Environment Pergamon Press 3, pp. 543-552.
- Jaggard D.L., Hill C., Shorthill R.W., Stuart D., Glantz M., Rosswog F., Taggart B., Hammond S., 1981, *Light scattering from particles of regular and irregular shape*, Atmospheric Environment, 15, No. 12, pp. 2511-2519.
- Jinhuan Q. and Liquan Y., 2000, *Variation characteristics of atmospheric aerosol optical depths and visibility in north China during 1980-1994*, Atmospheric Environment, 34, pp. 603-609.
- Karydis V.A., Tsimpidi A.P., Fountoukis C., Nenes A., Zavala M., Lei W., Molina L.T., Pandis S.N., 2010, *Simulating the fine and coarse inorganic particulate matter concentrations in a polluted megacity*, Atmospheric Environment, 44, pp. 608-620.
- Kikas U., renart A., Vaht M., Vesmann U., 2001, *A case study of the impact of boundary layer aerosol size distribution on the surface UV irradiance*, Atmospheric Environment, 35, pp. 5041-5051.
- Köhler H., 1936, *The nucleus in the growth of hygroscopic droplets*, Transactions of the Faraday Society, 32, pp. 1152-1161.
- Koloutsou-Vakakis S., and Rood M.J., Nenes A., Pilinis C., 1998, *Codeing of aerosol properties related to direct climate forcing*, Journal of Geophysical Research, Volume 103: No. D14: pp. 17009-17032.

- Kondratyev K.Y., 1996, *Greenhouse warming versus aerosol cooling in the context of global climate change*, Energy Conversion Management, 37, pp. 763-768.
- Koo B., Ansari A.F., Pandis S.N., 2003, *Integrated approaches to modeling the organic and inorganic atmospheric aerosol components*, Atmospheric Environment, 37, pp. 4757-4768.
- Kouimtzis T. Samara C., 1995, *Airborne Particulate Matter: The Handbook of Environmental Chemistry*, Springer; Kouimtzis T., Zouboulis A.I., 1995, *Particulate Emission Control* pp. 279-335 (as book's content).
- Krotkov N.A., Bhartia B.K., Herman J.R., Fioletov V., Kerr J., 1998, *Satellite estimation of spectral surface UV irradiance in the presence of tropospheric aerosol:1. Cloud-free case*, Journal of Geophysical Research, 103, pp. 8779-8793.
- Malm W.C., Day, D.E., 2000, *Optical properties of aerosol at Grand Canyon National Park*, Atmospheric Environment, 34, pp. 3373-3391.
- Malm W.C., Day D.E., 2001, *Estimates of aerosol species scattering characteristics as a function of relative humidity*, Atmospheric Environment, 35, pp. 2845-2860.
- Maring H., Savoie D.L., Izaguirre M.A., McCormick C., Arimoto R., Prospero J.M., Pilinis C., 2000, *Aerosol physical and optical properties and their relationship to aerosol composition in the free troposphere at Izana, Tenerife, Canary Islands, during July 1995*, Journal of Geophysical Research, Volume 105: pp. 14677.
- Monahan E. C., Spiel D. E., Davidson K. L., 1986, *A model of marine aerosol generation via whitecaps and wave disruption, in oceanic whitecaps and their role in air-sea exchange*, edited by Monahan E. C. and Mac Niocaill G., 167-174, D. Reidel, Norwell, Mass
- Monks P.S., Granier C., Fuzzi S., Stohl A., Williams M.L., Akimoto H., Amanni M., A. Baklanov, U. Baltensperger, I. Bey, N. Blake, R.S. Blake, K. Carslaw, O.R. Cooper, F. Dentener, D. Fowler, E. Fragkou, G.J. Frost

- , S. Generoso, P. Ginoux, V. Grewet, A. Guenther, H.C. Hansson, S. Henne, J. Hjorth, A. Hofzumahaus, H. Huntrieser, I.S.A. Isaksen, M.E. Jenkin, J. Kaiser, M. Kanakidou, Z. Klimont, M. Kulmala, P. Laj, M.G. Lawrence, J.D. Lee, C. Liousse, M. Maione, G. McFiggans, A. Metzger, A. Mieville, N. Moussiopoulos, J.J. Orlando, C.D. O' Dowd, P.I. Palmer, D.D. Parrish, A. Petzold, U. Platt, U. Pöschl, A.S.H. Prévôt, C.E. Reeves, S. Reimann, Y. Rudich, K. Sellegri, R. Steinbrecher, D. Simpson, H. ten Brink, J. Theloke, G.R. van der Werf, R. Vautard, V. Vestreng, Ch. Vlachokostas, R. von Glasow, 2009, *Atmospheric composition change – global and regional air quality*, *Atmospheric Environment*, 43, pp. 5268-5350.
- Moropoulou A., Theoulakis P., Chrysophakis T., 1995, *Correlation between stone and environmental factors in marine atmosphere*, *Atmospheric Environment*, 29, pp. 895-903.
- Moropoulou A., Bisbikou K., Van Grieken R., Torfs K., Zezza F., Macri F., 1998, *Origin and growth of weathering crusts on ancient marbles in industrial atmosphere*, *Atmospheric Environment*, 32:6, pp. 967-982.
- Morris R. E., Yarwood G., Emery C. A., and Wilson G., 2002, *Recent Advances in Photochemical Air Quality Modeling Using the CAMx Model: Current Update and Ozone Modeling of Point Source Impacts*, Presented at the 95th Annual Conference and Exhibition of the A&WMA, Baltimore, MD.
- NATAIR, 2007, *Activity report: Improving and applying methods for the calculation of natural and biogenic emissions and assessment of impacts to the air quality*.
- Napari I., Noppel M., Vehkamäki H., Kulmala M., 2002, *Parameterization of ternary nucleation rates for H₂SO₄-NH₃-H₂O vapors*, *Journal of Geophysical Research*, 107(D19), 4381.
- Nenes A., Pandis S., Pilinis C., 1998, *ISORROPIA: A new thermodynamic equilibrium code for multiphase multicomponent inorganic aerosols*, *Aquatic Geochemistry*, Volume 4: pp. 123-152.

- Nenes A., Pandis S.N., Pilinis C., 1999, *Continued development and testing of a new thermodynamic aerosol module for urban and regional air quality models*, Atmospheric Environment, 33, pp. 1553-1560.
- Papayannis A., Balis D., Bais A., Van der Bergh H., Calpini B., Durieux E., Fiorani L., Jaquet L., Ziomias I Zerefos C.S., 1998, *Role of urban and suburban aerosols on solar UV radiation over Athens, Greece*, Atmospheric Environment, 32, pp. 2193-2201.
- Pilinis C., 1989a, *Numerical simulation of visibility degradation due to particulate matter: model development and evaluation*, Journal of Geophysical research, 94, No. D7, pp. 9937-9946.
- Pilinis C., Seinfeld J.H., Grosjean D., 1989b, *Water content of atmospheric aerosols*, Atmospheric Environment, 23, No.7, pp. 1601-1606.
- Pilinis C. and Li X., 1998, *Particle shape and internal inhomogeneity effects on the optical properties of tropospheric aerosols of relevance to climate forcing*, Journal of Geophysical Research, Volume 103: pp 3789-3800.
- Pilinis C., Capaldo K. P., Nenes A., Pandis S. N., 2000, *MADM – A new multicomponent aerosol dynamics model*, Aerosol Science and Technology, 32, pp. 482-502.
- Polymeneas P., Giannopoulou E. and Pilinis C., 2007, *On the importance of biogenic emissions in air pollution in the greater Athens area: The episode of June 22 – 25, 2003*, Proc. 10th International Conference on Environmental Science and Technology, Kos Island, Greece 5-7 Sep. 2007.
- Polymeneas P. and Pilinis C., 2008, *Athens air quality and importance of biogenic emissions: A case study*, Global Nest Journal, vol. 10(2), pp 151-160.
- Pueschel R.F., 1996, *Stratospheric aerosols: formation, properties, effects*, Journal of Aerosol Science, 27, pp. 383-402.

- Reuder J., Schwander H., 1999, *Aerosol effect on UV radiation in nonurban regions*, Journal of Geophysical Research, 104, pp. 4065-4067.
- Sabbioni C., 1995, Contribution of atmospheric deposition to the formation of damage layers, The Science of the Total Environment, 167, pp. 49-55.
- Satheesh S.K., Krishna K.M., 2005, *Radiative effects of natural aerosols: A review*, Atmospheric Environment, 39, pp 2089-2110.
- Seinfeld J.H., Pandis S.N., 2006, *Atmospheric Chemistry and Physics: From air pollution to climate change*, 2nd edition, John Wiley and sons, Inc., pp 1027, 1050, 1093.
- Smith M. H., Harrison N. M., 1998, *The sea spray generation function*, Journal of Aerosol Science, 29, pp. S189-S190.
- Sotiropoulou R. E. P., Tagari, E. and Pilinis C., 2004a, *Evaluation of the UAM-AERO and CAMx air quality models using the bond study database*, Proc. of the 7th Conference for the Protection and Restoration of the Environment, Mykonos, 2004.
- Sotiropoulou R. E. P., Tagaris E., Pilinis C., Andronopoulos S., Sfetsos A. and Bartzis J. G., 2004b, *The BOND project: Biogenic aerosols and air quality in Athens and Marseille greater area*, Journal of Geophysical Research, 109, D05205, doi:10.1029/2003JD003955.
- Sotiropoulou R. E. P., 2005, *Thesis: Simulation of physicochemical processes of biogenic aerosols: Their impact on air quality and climate change in the Mediterranean area (in Greek)*.
- Stefanis N.A., Theoulakis P., Pilinis C., 2009, *Dry deposition effect of marine aerosol to the building stone of the medieval city of Rhodes, Greece*, Building and Environment, 44, pp. 260-270.
- Strader R., Lurmann F., Pandis S. N., 1999, *Evaluation of secondary organic aerosol formation in winter*, Atmospheric Environment, 33, pp. 4849-4863.

- Tanaka P. L., Allen D. T., McDonald-Buller E. C., Chang S., Kimura Y., Mullins C. B., Yarwood G., and Neece J. D., 2003, *Development of a Chlorine Mechanism for Use in the Carbon Bond IV Chemistry Model*, Journal of Geophysical Research, vol. 108(D4), doi:10.1029/2002JD002432.
- Ten Brink H.M., Krusiz C., Kos G.P.A., Berner A., 1997, *Composition/size of the light-scattering aerosol in the Netherlands*, Atmospheric Environment, 31, pp. 3955-3962.
- Tsimpidi A. P., Karydis V. A., Zavala M., Lei W., Molina L. T., and Pandis S. N., 2008, *Air quality in Mexico City: Insights from the combination of field measurements and Chemical Transport Models*, Geophysical Research Abstracts, vol. 10. EGU2008-A-0301-4.
- Wright R.T., 2005, *Environmental Science: Toward a sustainable future*, 9th edition, Pearson, Prentice Hall, USA, pp. 188-189, 551.
- Yarwood G, Morris R., and Wilson G., 2004, *Particulate Matter Source Apportionment Technology (PSAT) in the CAMx Photochemical Model*, Presented at the NATO International Technical Meeting, Banff, Canada.
- Yarwood. G., Rao S., Yocke M., Whitten G.Z., 2005b, *Updates to the Carbon Bond chemical mechanism: CB05*, Final Report prepared for US EPA, www.camx.com/publ/pdfs/CB05_Final_Report_120805.pdf
- Yu Y., Ezell M.J., Zelenyuk A., Imre D., Alexander L., Ortega J., D'Anna B., Harmon C.W., Johnson S.N., Finlayson-Pitts B.J., 2008, *Photooxidation of α -pinene at high relative humidity in the presence of increasing concentrations of NO_x* , Atmospheric Environment, 42, pp. 5044-5060.

ΙΣΤΟΤΟΠΟΙ ΣΤΗ ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΗ ΠΥΛΗ

Carter W. P. L., 2000, *Programs and Files Implementing the SAPRC-99 Mechanism and its Associates Emissions Processing Procedures for Models-3 and Other Regional Models*, Διαθέσιμο απο:

<http://pah.cert.ucr.edu/~carter/SAPRC99.htm>.

Council Directive 96/62/EC of 27 September 1996, *On ambient air quality assessment and management*. Διαθέσιμο απο:

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/en/consleg/1996/L/01996L0062-20031120-en.pdf>

EUCAARI, 2007, Description of work, Edited by Kulmala M., Asmi A., Lappalainen H., Διαθέσιμο απο: <http://www.atm.helsinki.fi/eucaari>

Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, Διαθέσιμο απο:

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:087:0109:0154:EL:PDF>

IPCC, 2000, *Special Report: Emission Scenarios (Summary for policymakers)*, ISBN: 92-9169-113-5, Διαθέσιμο από:

<http://www.ipcc.ch/ipccreports/index.htm>.

IPCC, 2001, *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Διαθέσιμο απο:

http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/?src=/climate/ipcc_tar/wg1/518.htm

IPCC, 2007, *Climate Change 2007: Synthesis Report*, pg: 2, 26 (σχ. I.1), 36 (σχ. 2), 38, 39, 40-41, 51. Διαθέσιμο απο:

http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_synthesis_report.htm

Morris R. E., Tai E., Hersey C., Fitzer C., Rodenberg M., Lebeis M., Pocalujka L.P., Wolff G.T., 2001, *A methodology for Quantifying ozone transport and assessing the benefits of alternative control strategies*, Presented at the A&WMA Annual Meeting & Exhibition, Orlando, FL (June 2001).

Διαθέσιμο απο:

http://www.camx.com/publ/pdfs/semcog-pap_AWMA_2001.pdf

WHO, 2008: *Protecting health in Europe from climate change*, pg.: 3, 9.

Διαθέσιμο απο:

http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0016/74401/E91865.pdf

Yarwood G., Rao S., Yocke M., and Whitten G. Z., 2005, *Updates to the Carbon Bond Mechanism: CB05*, Report to the U.S. Environmental Protection Agency, (December 2005). Διαθέσιμο από:

http://www.camx.com/publ/pdfs/CB05_Final_Report_120805.pdf

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Το κείμενο που ακολουθεί αποτελεί ένα προχωρημένο *draft* της πρώτης δημοσίευσης, στα πλαίσια της διδακτορικής έρευνας, με αντικείμενο τη συνεισφορά του νερού (μη δεσμευμένη μορφή) στο συντελεστή σκέδασης του φωτός με σύγκριση μετρούμενων με προβλεπόμενων τιμών. Η εν λόγω έρευνα βρίσκεται σε εξέλιξη στο στάδιο διορθώσεων της.

Contribution of water content to the particle's light scattering coefficient: measured against predicted values

Kalopetri M.S.K.,¹ Pilinis C.,¹ Pandis S.N.²

¹Department of Environment, University of the Aegean, University Hill, 81100, Mytilene, Greece

²Department of Chemical Engineering, University of Patras, Greece

²Department of Chemical Engineering, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA 15213, USA

Abstract: Visibility is reduced in polluted atmosphere due to scattering and absorption of light by gases and particulate matter. Whenever electromagnetic radiation at visible spectrum (red, blue, green) interacts with particulate matter it can divert propagation of light. As resulted from similar studies the water uptake has been, barely, investigated. Thus, the contribution of water content to the light scattering coefficient of particles is subject to this current study. In particular, it is attempted to approach the mechanism that ambient relative humidity affects mass of the aerosol. Implement of this method is code NEPH3 that produces predicted values of the optical properties (scattering, extinction, backscattering coefficients). Measured values of light scattering coefficients (14th until 31st May 2008) from Finokalia measurement station (FAME-08) and predicted values are being compared. Equation that calculates the contribution of water absorbed by secondary organic aerosol (soaw) is an improvement factor of code NEPH3. Given that the aerosol contains water even at low relative humidities (~40%), supersaturation is taken into account.

Keywords: relative humidity, light scattering coefficient, supersaturation, NEPH3, FAME-08

1. Introduction

Visibility deterioration is due to light scattering from fine particulate matter. Several authors refer various factors such as chemical composition, ambient relative humidity (RH) and size distribution of the aerosol that might degrade visibility. The occurrence of water in the aerosol phase increases the ability of fine particles to scatter light (Fierz- Schmidhauser *et al.*). Since most aerosol particles are hygroscopic, they take up water according to the ambient relative humidity (RH) (Hänel, 1981) and thus modify their light scattering properties (Thomas *et al.*, 1993). The current study aims to approach the contribution of RH to the optical properties of atmospheric particles. In particular, it is attempted to investigate the scattering coefficient (B_{sp}) as a function of RH, based on Mie theory. Particles of sizes comparable to visible light, the Mie scattering range, are responsible for visibility deterioration in the atmosphere (Seinfeld and Pandis, 1998: Chapter 22, §22.2).

Water vapors present great interest due to solar radiation absorption. Their concentrations are extremely variable spatially and temporally, too. They are presumed to be crucial carrier of our planet's thermal energy and cause the creation of meteorological effects. They are activated gases of greenhouse effect because they absorb the greater part of transmitted earth radiation, playing a substantial role to the thermal energy balance among earth surface and atmosphere. Relative humidity, RH, is equal to the ratio of mass water vapors that are contained in a certain air volume to the mass water vapors that would be contained if this volume were saturated from water vapors, at the same conditions of pressure and temperature. RH is equal to the ratio of water vapor pressure to the equilibrium pressure at the same temperature $RH = 100 \cdot P_{H_2O} / P_{H_2O}^0$. Multiplying with 100 means that RH is expressed to parts per 100. (Lazaridis, 2005, Chapter 1, 2).

Presence of water's vapors is, also, crucial because they absorb solar radiation at infrared spectrum. They absorb, strongly, at wavelength of 5 – 8 μm and $\lambda \geq 19\mu\text{m}$ while the weak absorption vary at 8 - 12 μm (with ozone) and 17 - 19 μm . In addition, atmosphere's temperature is related to the vapor's volume. Atmospheric scattering is due to the interaction of photons with substances of air and the suspended particles in air (Lazaridis, 2005, chapter 1, page 57).

Comprehensive researches in issues of the scattering processes highlight the dependence of the scattering coefficient knowledge in order to calculate the energy balance of the atmosphere (Bullrich *et al.*, 1972). Since ambient aerosol particles experience hygroscopic growth, their optical properties are strongly dependent on RH (Zieger *et al.*, 2010). Water, through absorption, affects the growth of cloud condensation nuclei (CCN) which might provide a negative forcing by cooling earth's climate (Engelhart thesis, 2010). While Pilinis *et al.*, (1995), Boucher and Anderson (1995) examined the sensitivity of climate forcing to different factors they find that RH is the most important factor in determining aerosol radiative forcing.

A similar approach in the Arctic (Zieger *et al.*, 2010) conclude that it is not found clear wavelength dependency of $f(RH)$ at $RH=0.8$, $\lambda=550\text{nm}$. The same research result that the measured RH dependency of $f(RH)$ at RH between 0.75 and 0.95 can be well described by an empirical one-parameter equation.

Further research, during the Finokalia Aerosol Measurement Experiment 2008 (FAME-2008, on the island of Crete, Greece) as part of the EUCAARI, shows that the scattering coefficient of dried aerosol measured by a nephelometer (M903) correlates well with the dry aerosol mass concentration from the Aerosol Mass Spectrometer (AMS) ($R^2=0.71$) (Hildebrandt *et al.*, 2010).

Additional studies for the calibration factors (photometric units per $\mu\text{g}/\text{m}^3$) as a function of the RH show that the factor increases more than five times. At high RHs the intensity of scattered light in relation to the dry aerosol mass is about a factor five higher than at low RHs (Thomas *et al.*, 1993). However, it is recommended within the Global Atmosphere Watch aerosol monitoring network to measure aerosol light scattering coefficients B_{sp} at RHs below 40% in order to be able to compare results from different locations (Fierz- Schmidhauser *et al.*). For this purpose it is developed a humidification system for a nephelometer (TSI code 3563) that allows measurements of B_{sp} at a defined and controlled RH in the range 20-90% (Fierz- Schmidhauser *et al.*). Through measurements of RH scattering enhancement factor the outcome is that the controlled RH nephelometer shows a good agreement with Mie theory calculation for defined laboratory generated particles (Fierz- Schmidhauser *et al.*). Further research (Fierz- Schmidhauser *et al.*, 2010) include measurements of B_{sp} at a defined RH in the range of 20-95% as well as measurements of light scattering enhancement factors $f(RH) = B_{sp,RH}/B_{sp,dry}$ at the high alpine site Jungfrauoch (3580 m.a.s.l., Switzerland).

Previous studies with respect to the humidity have focused on how humidity influences the aerosol light scattering. In November & December of 1993 in the Netherlands the humidity tests of the light scattering indicated the presence of two types of continental aerosol (ten Brink *et al.*, 1996). From the first class with the two deliquescence (of ammonium nitrate and ammonium sulfate) it was concluded that the aerosol light-scattering in the Netherlands, in particular its humidity dependence, is governed by (ammonium) nitrate (high ratios nitrate to sulfate).

In the atmosphere, it is generally accepted that organic compounds in ambient aerosols contribute to water uptake most significantly at low RH, while at high RH the inorganic compounds seem to dominate (Colbeck, 2008, Topping D., Thermodynamics of aqueous systems; chapter 6, pages 148-152). As the absorption of water by organic salts is so important for atmospheric radiation transfer, many investigators have attempted to shed light on this issue over the past several decades. For instance the aerosol light scattering has been measured as a function of RH at three different rural National Parks (Day and Malm, 2001). During all three studies, there was considerable variability in the magnitude of the growth factor for a given RH value. A comparison of chemical composition and aerosol growth factor curves shows that the largest growth curves occur when the fractions of inorganic salts (sulfate, nitrate, chloride, sodium and ammonium ions) were highest. When the fractions of organic carbon and soil were high, the growth factor curves were lower. This suggests that soil compounds and organic carbon compounds generally do not contribute as much as inorganic salts to aerosol water uptake (Day and Malm, 2001).

Previous paper show that the variation of visibility or the aerosol extinction coefficient with relative humidity at constant properties of the dry aerosol is, closely, correlated with mean particle growth (Hänel, 1976). The results of a study show that the scattering coefficient depends more strongly on RH than on the extinction coefficient (Hänel, 1981).

The main optical properties of aerosols, namely scattering and absorption coefficients, define the level of warming and/or cooling of the atmosphere from the aerosols. The aerosol optical properties were investigated at two locations in the Eastern Mediterranean, Finokalia in the Crete Island in Greece and Erdemli in Turkey, in conjunction with aerosol ion composition measurements (Vrekoussis *et al.*, 2005). Ambient scattering coefficients at Finokalia show a slight seasonality with maximum

values during summer while minimum values are encountered during the wet period (winter). The summer maximum B_{sp} is explained by the longer lifetime of aerosols during the dry period as well as the prevalence of winds from the N and NE sectors. At Erdemli there is no clear seasonal pattern for this region. The highest value (observed in April 2000) was associated with an important dust event because the Turkish station is closer to dry desert areas, thus it is affected to a greater extent by dust events (Vrekoussis *et al.*, 2005).

2. Measurement site description

Finokalia ($35^{\circ} 20' N$, $25^{\circ} 40' E$) is a remote coastal station located in the southeast of the Mediterranean Sea on the island of Crete, Greece (figure 1). The Finokalia station is located at the top of a hill at an elevation of 230 m facing the sea (Pikridas *et al.*, 2010). Remarkable is that Finokalia station is the unique station in the Eastern Mediterranean and many of the experiments are accomplished in corporation with several European institutes. Selection of the site was due to the main criteria that among the station there are neither substantial pollution source nor urban area. The nearest urban site, Heraklion, is 50 km far away. Thus it was efficient the study of the air pollutants in great distances (Pikridas *et al.*, 2010).

3. Measurements of total light scattering coefficient

During the European program, EUCAARI, there were conducted measurements of the aerosols' optical properties and their size distribution. A set up of three instruments was placed at the Finokalia Station by contribution of the department of Environment, Aegean University: a three-wavelength nephelometer (TSI, code 3563) for measurements of the total light scattering coefficient of the tropospheric aerosols (450, 550, 700nm), two mono-wavelength portable integrating nephelometers (code M903, dry and wet PM_{10} in 530nm). The first nephelometer measured B_{sp} of the wet aerosol under ambient temperature and RH. The second nephelometer measured B_{sp} at low RH after the aerosol has been dehydrated as enters through a diffusion drier (Pikridas *et al.*, 2010). The ratio $B_{sp,wet}/B_{sp,dry}$ measured by M903 as a function of RH is figured at a diagram (figure 7) ($R^2 = 0.550$). Because of the values excess with respect to light scattering coefficients (temperature and relative humidity, also) averages calculated in regular periods (time in hours) are

an ideal solution. Measurements last from 14th until 31st May 2008. Measured values are used for the comparison with the predicted resulted from code NEPH3.

Measurements of concentration for the particles' substances

An Optical Particle Counter Grimm 1.108 (OPC) along with the Quadrupole Aerosol Mass Spectrometer (Q AMS) determinates the size distribution of the aerosol. The measurements last from 1st May until 4th of August 2008. Total concentration values ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) for each of the particulates (SO_4 , NH_4 , OC, EC, Na, Cl, dust and NO_3) are recorded by the OPC instrument with frequency per six hours. Meteorological data for temperatures and relative humidity measured with frequency per 1 minute are given, too. Current data are used as inputs to the code NEPH3.

4. Method

4.1. Applying code "NEPH3"

A code named NEPH3 is utilized. It is a matter of a code that was developed in the USA by Pilinis in 1995 and has, successfully, many applications in researchers' attempts (Capada *et al.*, 2004, Maring *et al.*, 2000, Pilinis & Li, 1998). It is based on Mie theory and calculates all the optical properties relevant to direct forcing (Pilinis & Li, 1998). Namely, it predicts values for coefficients of total light scattering, extinction and backscattering effects. As inputs to the code are used concentrations of nitrates, sulfates, sodium, chloride, organic carbon, elemental carbon and dust at each size bin of the impactor at the ambient relative humidity. Then the code predicts the size composition distribution of the various species at thermodynamic equilibrium (figure 2) as well as total concentration each of the species (NH_4^+ , NO_3^- , Cl^- , Na^+ , SO_4^{2-} , H_2O , Organic Carbon, Elemental Carbon, Dust) (Pilinis and Li, 1998).

In order to apply the code are needed the calculated % ratios, according to the fraction N_i/N_t (1), where $i = 1$ to 12 are the size bins, N_i = average concentration in each size bin of ion calculated according to the size distribution values, N_t = total concentration as resulting from the summary of the ion's averages at each of the size bin.

Three sets of runs were performed, with respect to files 'filter', 'ams', 'ams+filter' for the wet and dry particles. 'Filter' inputs contain concentrations

according to size distribution of the particle. 'Ams' files contain a data combination as follows: zero values (0.001) within diameter ranges 0.041-0.085 and 0.585-1.06 μm and AMS measurements among the range 0.085-0.585 μm . Measurements by AMS instrument (University of Patra, Greece) in conjunction with Optical Particle Counter (OPC) instrument measurements (from Finokalia station) are added to files 'ams+filter' as follows: zero values (0.001) are placed to size bins 0.041-0.085, measurements by AMS are added within diameter ranges 0.085-0.585 μm and concentrations in each size bin as product between ratios and the total concentration (from Finokalia station) to 0.585-1.06 μm . Instead of zero value 0.000 it is added 0.001 so that code could calculate Cl^- and NO_3^- concentrations.

Furthermore, for the calculations are used temperature (Kelvin degrees), relative humidity (0-1 scale) as well as selection "mode 2" which refers to the aerosol's shape assuming that they behave as stratified spheres. In the stratified spheres it is assumed that dust and organics form an insoluble core, which is surrounded by the rest of the species, in the form of a soluble shell. The optical properties of the core and the shell are calculated by NEPH3 as the volume average of the insoluble and soluble species, respectively (Piliinis and Li, 1998).

Regarding the wet particles, mean light scattering coefficients ($\overline{B_{sp}}$, by TSI and M903) and the outputs of the code NEPH3 at 550 nm (green light) termed as 'filter', 'ams' and 'ams+filter' are added into a diagram in order to search correlation (figures 3). The reasons why was chosen green light follows: it is in the middle of the visible light spectrum and has great intensity in the visible solar spectrum (Maring *et al.*, 2000). Nephelometer M903 measures light scattering coefficient, B_{sp} , for PM_{10} wet particles while nephelometer TSI measurements refer to PM_{10} . Taking into consideration the above, NEPH3 concentration inputs need to refer to 1 μm not 13.06 μm as maximum particle diameter. Thus, diameters ranged from 1.06 to 13.06 μm need to be neglected. Similarly, for dry particles comparison of the light scattering coefficients (M903, 'filter', 'ams', 'ams+filter') is efficient only if it accepted that the maximum particle diameter is 1.06 μm .

4.2. ISORROPIA thermodynamic equilibrium code

An equilibrium calculation is performed by using an extension of the sectional equilibrium code (ISORROPIA) (Nenes *et al.*, 1998). ISORROPIA predicts the

concentrations of all the thermodynamically possible species in the system, as listed below (figure 2), as well as the total aerosol and “unbound H₂O”_(liquid) concentrations, when the total concentration of the gas phase species, the ionic liquid phase species and the solid phase species is known. Calculations via ISORROPIA code has been, successfully, performed in predicting the concentrations of various aerosol species at Long Beach, California (Nenes *et al.*, 1998).

4.3. Code “ISORROPIA” enhancement

Recent researches try to shed light to the ability of water-soluble organic compounds to absorb water and affect the B_{sp} (Choi M.Y. and Chan C.K., 2002). Code ISORROPIA is programmed to calculate organic carbon (OC) without taking to consideration the water absorbed from secondary organic aerosol (SOAW). Generally, the contribution of water from organics is small (3% average increase with the addition of organic water), especially as compared to that from inorganics (Engelhart thesis, 2010, chapter 6, page 158).

However, at the approach of Koo *et al.*, 2003, are used corrections issued from the application of code UNIFAC that calculate the amount of water absorbed by secondary organic aerosol (SOA) species. In that approach researches draw diagrams with respect to absorbed water mass per SOA mass (axis y) as a function of the relative humidity (axis x). Absorption of the secondary organic aerosol water (SOAW) is measured from the oxidation products of toluene and a-pinene predicted by the UNIFAC corrections. Selecting twenty points (20) along the exponential curve for each organic product, toluene and a-pinene, two (2) equations are arising as shown below (equations 2, 3):

$$\text{Toluene: } \frac{[\text{H}_2\text{O}]_{\text{mass}}}{[\text{SOA}]_{\text{mass}}} = 0.0198 * e^{4.078RH} \quad (2)$$

$$\text{A-pinene: } \frac{[\text{H}_2\text{O}]_{\text{mass}}}{[\text{SOA}]_{\text{mass}}} = 0.023 * e^{2.7283RH} \quad (3)$$

where [H₂O], [SOA] are concentrations of water and secondary organic aerosol, respectively, RH is the relative humidity.

Finally, function 2 is selected to calculate B_{sp} as a function of water absorbed by secondary organic aerosol, SOAW. For toluene oxidation products function 2 is selected instead of a-pinene (function 3) because a-pinene has, already, been tested

(Engelhart thesis, 2010, Chapter 6). Figure 7 shows the contribution of SOAW to the total B_{sp} which remain low (red square line).

4.4. Considering Supersaturation

According to figure 7 there is adsorbed water at low humidity that has to be considered by the supersaturation effect. Water can be categorized to 'bound' and 'unbound' state. Bound water, or water of hydration, is water chemically bound to the salt. 'Unbound' water and its concentration are governed by thermodynamic equilibrium. This may occur due to changes in ambient RH or to condensation and evaporation of solutes. Unlike to 'bound' water that its contribution to the total particle mass is negligible (Pilinis *et al.*, 1989), 'unbound' water is an issue that concerns the present work. It is the controlling factor of the existence of subsaturation, saturation and supersaturation state into the soluble shell of the stratified particle. Supersaturation is termed as the unstable state in a solution that contains greater solute's amount than that at the equivalent state. A mechanical disruption or abrasion might cause crystallization (creation crystallization nucleus) of the solute excess amount.

Variation of ambient relative humidity creates an unstable state. The mechanism that explains how RH affect the supersaturation is as follows: An aerosol particle may consist of an aqueous phase at high RH, one or more solid phases at low RH and both aqueous and solid phases at intermediate RH. Particle has the ability to absorb water when the relative humidity exceeds a threshold value that is the deliquescence point (DRH) (Kouimtzis *et al.*, 1995; Pilinis and Pandis, *Physical, Chemical and Optical Properties of atmospheric Aerosols*, pages 99-124). After deliquescence, water uptake is determined by condensation and maintenance of thermodynamic equilibrium. As the RH increases further, a maximum supersaturation of water vapor is attained where water molecules continue to condense on the droplet in an unstable state, unlike the regime determined by lower supersaturations. At this point, the aerosol particle is said to have been 'activated' and it starts growing rapidly. (Colbeck, 2008). As ambient relative humidity increases can cause a crucial increase in the aerosol mass due to water condensation on the aerosol.

Further work is to search if supersaturation contributes to the particles' total light scattering coefficients and how it affects by means of ambient RH. Given the total concentration of NH_4^+ , NO_3^- , Cl^- , as well as relative humidity, it is assumed that

gas and liquid phase are in equilibrium while solid phase is absent (Pilinis *et al.*, 1989). Water may be present within, for example $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NH_4NO_3 and NaCl . The water-soluble components can take up water from the atmosphere at high relative humidity, thereby turning from crystalline solids into liquid droplets (Colbeck, 2008).

5. Results and Discussion

During the code 'runs', were predicted values of total light scattering coefficients ranged from $4.2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^{-1}$ to $232 \cdot 10^{-6} \text{ m}^{-1}$ for wet particles and from $6.4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^{-1}$ to $67.6 \cdot 10^{-6} \text{ m}^{-1}$ for dry particles. The large valuation could be explained due to the diversity of relative humidity ranged from 0.161 to 0.816. Results of code "runs" are particles concentrations values that belong either to the solid or the liquid phase inside the aerosol sample's volume. In particular, code predicts the size distribution of twenty compounds (salts and ions) in a state of equilibrium according to the particles' composition distribution inputs per size bin (Na^+ , SO_4^{2-} , OC, EC, dust, NO_3^- , Cl^- in $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Broadly, changes in particle composition proceed from many factors as is $\overline{\text{RH}}$. When the humidity is high then the liquid phase dominates (in virtue of the hydration). On the contrary, in conditions of low humidity exceed solid phase inorganic particles (salts) due to water lack. In low $\overline{\text{RH}}$ the composition in solid salts increases: $\text{NH}_4\text{NO}_{3(s)}$, $\text{NaHSO}_{4(s)}$, $\text{NH}_4\text{HSO}_{4(s)}$, $(\text{NH}_4)_3\text{H}(\text{SO}_4)_2$, Na_2SO_4 , NaNO_3 , NaCl , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NH_4Cl while liquid phase particles composition decreases (figure 2a). The opposite occur at high $\overline{\text{RH}}$: particles' liquid phase composition increases as solid phase's decreases (figure 2b). Water and dust have the greatest concentrations' levels at the size bin range 4.08 to 8.39 nm.

Results proceeded from the diagrams (figure 2) are being summarized to the following. From figure 2a and within the diameters range 0.04-1.06 μm $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ salt is the dominant as well as the entire carbon compounds, both the organic and elemental forms. The most increased particle concentration is being observed between the diameter range 0.346-0.585 μm and is due to the existence of $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, OC, EC. Concentration decreases following the order $C_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4} < C_{\text{OC}} < C_{\text{EC}}$. Between the ranges 1.06-13.6 μm , beyond organic (OC) and elemental carbon (EC) appear new

particles due to dust appearance. Also NH_4Cl , Na_2SO_4 , NaNO_3 , NH_4NO_3 are present. Remarkable is the absence of salt $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Subsequently, concentration increases at the range 4.08-8.39 μm . Decreasingly, concentration's order is $C_{\text{NH}_4\text{Cl}} < C_{\text{Dust}} < C_{\text{Na}_2\text{SO}_4} < C_{\text{OC}} < C_{\text{NaNO}_3} < C_{\text{NH}_4\text{NO}_3} < C_{\text{EC}}$.

Composition distribution in figure 2b differs from the one in figure 2a. High humidity presence increases concentration levels of the liquid phase particle. Namely, water is presented in every diameter range. The water highest concentration and dust highest levels range at 4.08-8.39 μm . Furthermore, occur the compounds NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , OC, EC, Na^+ to a decreasing row concentration.

For wet particles, according to figure 3 it is predicted that values, namely, 'ams+filter' (green triankles) follow better the two curves of measured values from M903 and TSI nephelometers (blue diamond and red square, respectively). Additionally, this result could be better supported through scatter plot, figure 4d, that provide better correlation coefficient-square $R^2 = 0.793$. The curves of measured values (M903 and TSI) corellate well in the majority of light scattering coefficients (figure 4a, $R^2 = 0.934$). Predicted values of 'ams' and 'filter' files (orange and black line, respectively) present lower corellation coefficient $R^2 = 0.777$ and 0.557 , respectively. In sequence, for dry particles is resulted from figure 5 that predicted values 'ams+filter' (green cross-square) correlate well with measured values from M903. In conjunction with scatter plot, figure 6c, correlation coefficient-square of predicted ('ams+filter') and measured (M903) is $R^2 = 0.782$ much better than 'ams' and 'filter' values presenting lower R^2 (0.743 and 0.354 , respectively).

Figure 7 present the ratio $B_{\text{sp,wet}}/B_{\text{sp,dry}}$ as a function of RH. The ratio is important because it is related with the total scattering coefficients due to the presence of water. It contains the predicted ratios resulted from code NEPH3 'runs', considering function 2 (blue diamond). Ratios measured by nephelometer M903 (red square) are figured at the same diagram. There are a few points where ratio decreases while others where ratio increases abruptly. Ratio calculated from measured values (blue diamond) is almost equal to 1 ($=1$) within the RH range 0.419 to 0.451 while it increases from 0.466 to 0.816. Unity of the ratio means that $B_{\text{sp,wet}}$ is equal to $B_{\text{sp,dry}}$. Afterwards, from 0.591 point to 0.816, ratio increases. Exception to this result is a point at $\text{RH} = 0.737$ where ratio decreases. Ratio increase could be

interpret as $B_{sp,wet}$ value is greater than $B_{sp,dry}$ so that the ratio $B_{sp,wet}/B_{sp,dry}$ is greater than one (>1). SOAW, water absorbed from SOA effect positive light scattering, B_{sp} , while RH ranges from 0.662 to 0.816. For predicted values (blue diamond) ratio is equal to 1 ($=1$) but it increases from the point RH= 0.467 until 0.816. Existence of water in low RHs proceeds from figure 7. This is the main reason why supersaturation inner the insoluble shell of the aerosol needs to be considered.

As long as supersaturation is taken to consideration new values for B_{sp} predicted are resulting. According to figure 8 (green round points) are drawn lines with B_{sp} as a function of RH. Namely, B_{sp} refers to measured (M903), predicted-supersaturation for 'ams+filter' inputs and predicted-equilibrium for 'ams+filter'. Predicted-supersaturation values (green line-round points) seem not to approach predicted-equilibrium values (red line-square points) when RH ranges from 0.50 to 0.59. Instead, supersaturation values are almost doubled compared to equilibrium values issued from the unstable amount of the unbound water. Thus difference of B_{sp} among the predicted values decreases. At the certain point where the two lines converge RH= 0.66 up to the point 0.82 predicted values (green line-round points and blue line-diamond points) are almost identified. This could be interpreted as unbound water remains at a stable state (no transfer from the ambient RH to particle's interior and vice versa). Predicted-supersaturation values' line (green) approach well the one for measured values between the range $0.50 \leq RH \leq 0.59$.

Summary and Conclusions

Through this work it is attempted to approach relative humidity as a function of total light scattering coefficients. It is performed how water distributes depending on the size of the particles at high relative humidity. At high humidity (80%) water presents at every diameter range. Also, both measured and predicted values of B_{sp} for the wet and dry particle are presented. Predicted values, named 'ams+filter', correlate well with measured by M903 nephelometer for dry as well as for wet particles. Water absorbed by secondary organic aerosol, SOAW, is taken to consideration in order to search possible differences of B_{sp} . Moreover, through comparison to measured and predicted-equilibrium values it is attempted to conclude if the aerosol is supersaturated or not. There is evidence which prove the assumption regarding the supersaturation comparing predicted with measured values of B_{sp} .

Further conclusions are summarized to the following. Between the diameters range from 0.04-1.06 μm $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ salt is the dominant as well as the entire carbon compounds, both the organic and elemental forms. The most increased particle concentration is being observed between the diameter range 0.346-0.585 μm and is due to the $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, OC, EC presence. Among the ranges 1.06-13.6 μm , beyond organic (OC) and elemental carbon (EC) appear new particles due to dust appearance. Also NH_4Cl , Na_2SO_4 , NaNO_3 , NH_4NO_3 are present. Water is the main substance of the aerosol at the size bin from 4.08 to 8.39 nm.

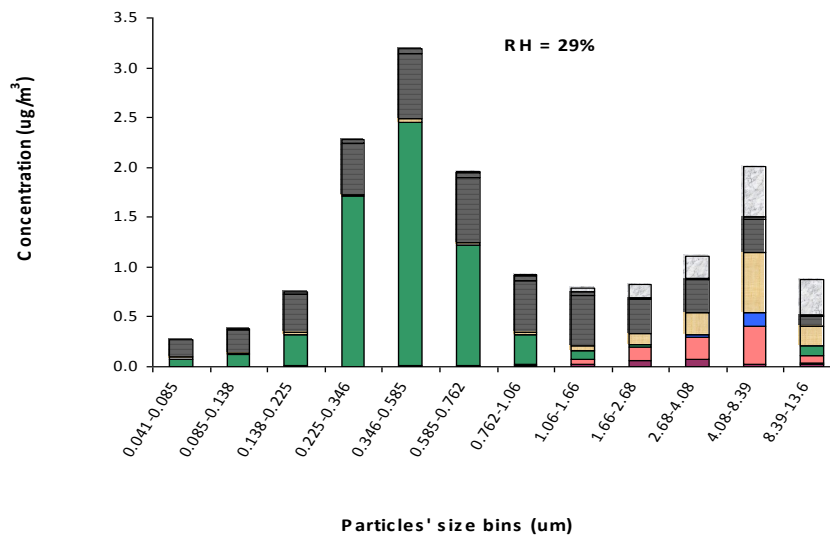
Acknowledgments

This research was supported by FAME – 08 (by EUCAARI) along with the Ph.D. Fellowship Program Heraclitus II. In co-operation with the University of Crete, Department of Chemistry, were given data regarding to standard distributions of the concentrations ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Additionally, University of Patra, Department of Chemical Engineering contributed to this work by sending values with concentrations of size distribution for sulfate, ammonium and organics.

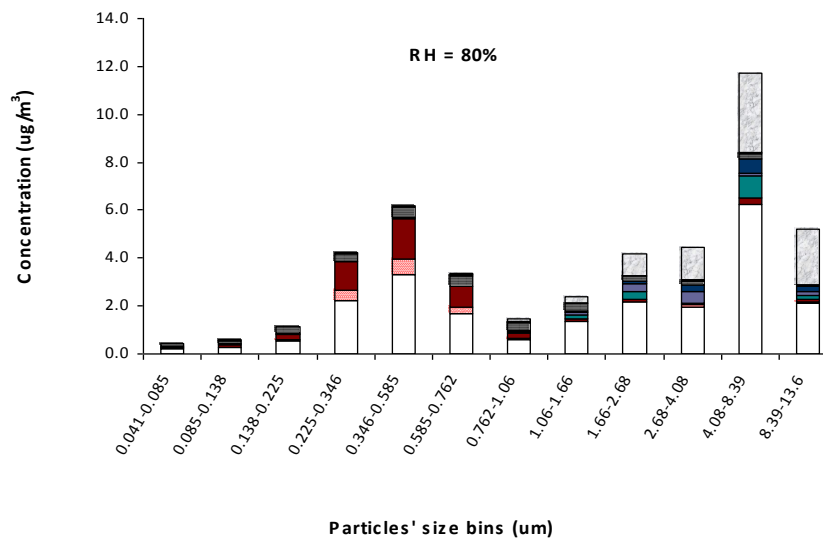


Figure 1. a) Site of Finokalia Station (NASA satellite), b) View of the Station

(a)



(b)



(c)

water	NH_4NO_3	c NaHSO_4 (s)	c NH_4HSO_4 (s)	$(\text{NH}_4)_3\text{H}(\text{SO}_4)_2$	Na_2SO_4	NaNO_3	NaCl	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	NH_4Cl	NH_4^+	H_2SO_4 aq	HSO_4^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	Na^+	Cl^-	OC	EC	others (dust)

Figure 2. Concentration distributions per size bin predicted by the code NEPH3 in low and high ambient relative humidity: (a) RH= 0.29 and (b) RH= 0.80, respectively.

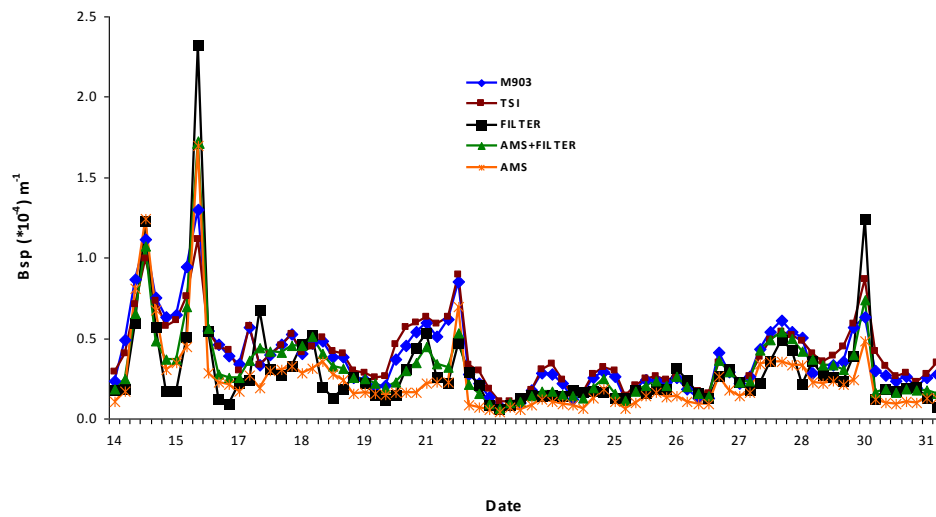


Figure 3. Wet particles: Measured values (through M903, TSI) of total light scattering coefficient, B_{sp} , in comparison with predicted ('filter', 'ams', 'ams+filter') among size bins from 0.041 to 1.06 μm .

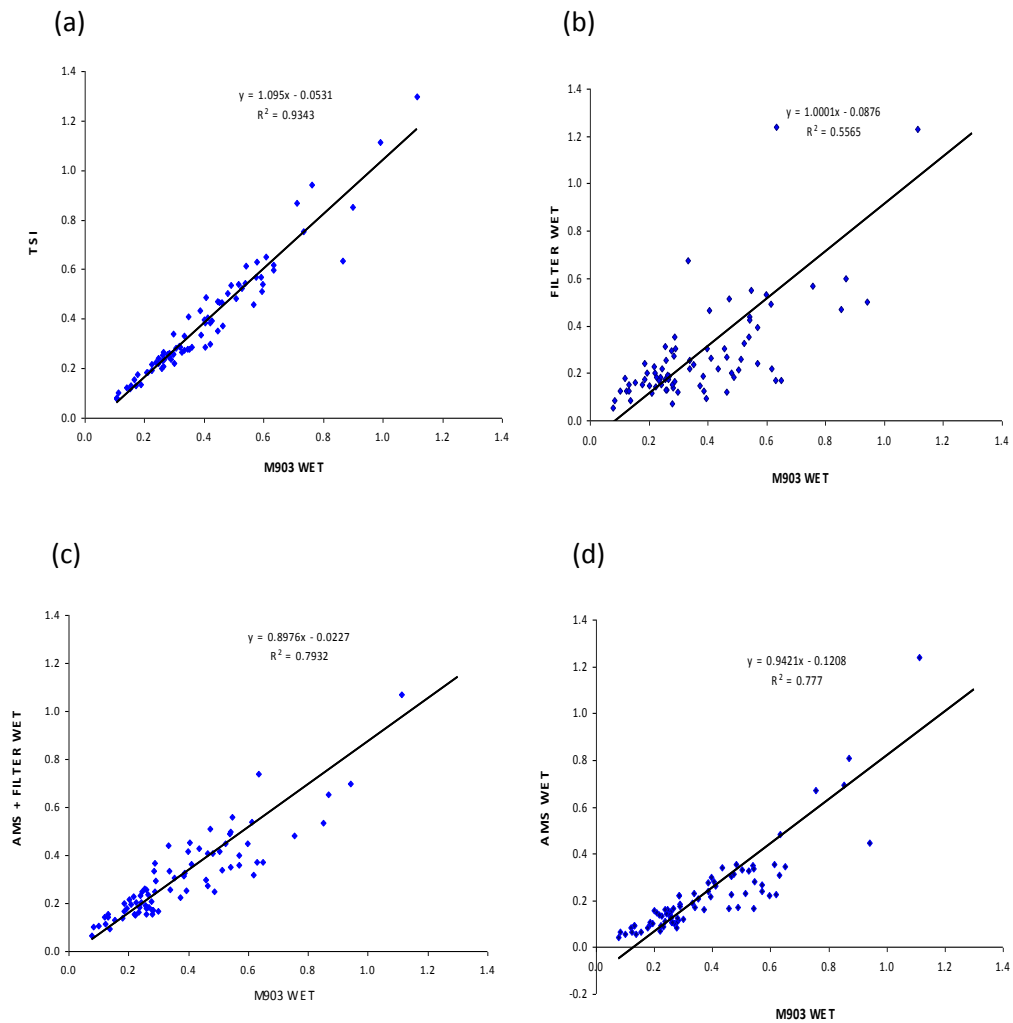


Figure 4. Wet particles: Total light scattering coefficient, B_{sp} , measured by the M903 nephelometer in comparison with B_{sp} : (a) measured by the TSI, (b) 'filter' outputs resulted from the code NEPH3, (c) 'ams', (d) 'ams+filter'.

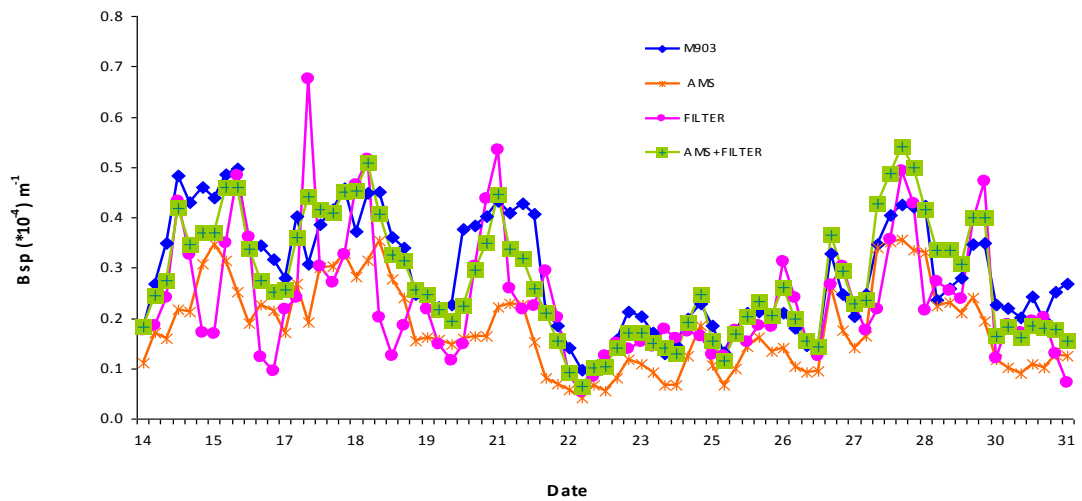


Figure 5. Dry particles: Measured values of total light scattering, B_{sp} , compared to predicted values ('ams', 'filter', 'ams+filter') within size bins' range 0.041-1.06 μm .

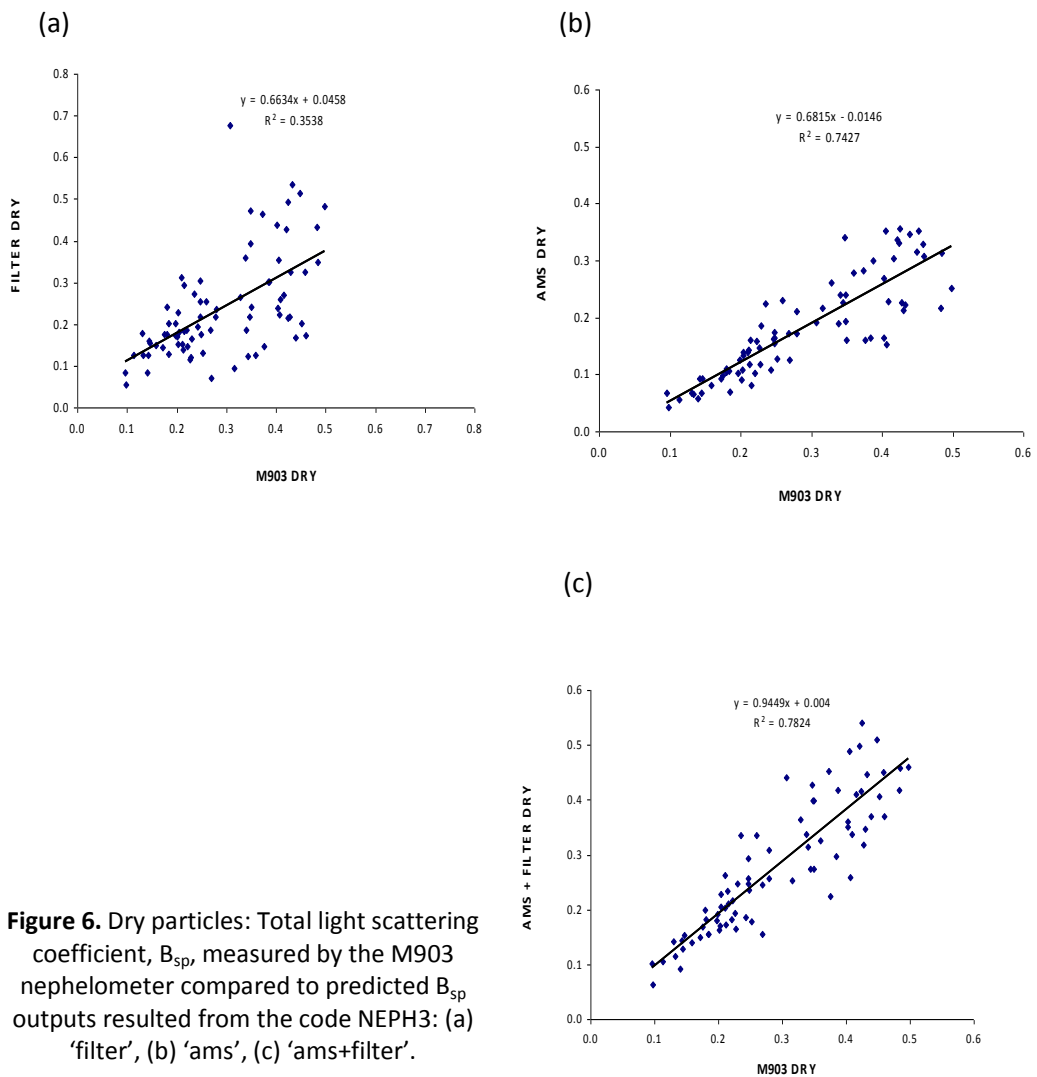


Figure 6. Dry particles: Total light scattering coefficient, B_{sp} , measured by the M903 nephelometer compared to predicted B_{sp} outputs resulted from the code NEPH3: (a) 'filter', (b) 'ams', (c) 'ams+filter'.

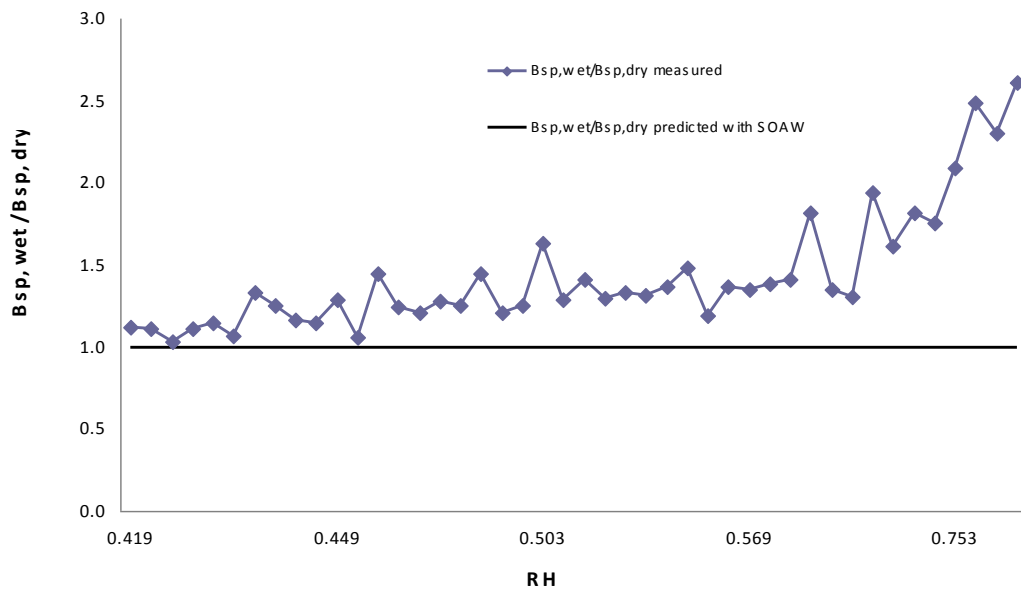


Figure 7. Total light scattering coefficient ratio $B_{sp,wet}/B_{sp,dry}$ as a function of the relative humidity, RH for values measured and predicted with SOAW.

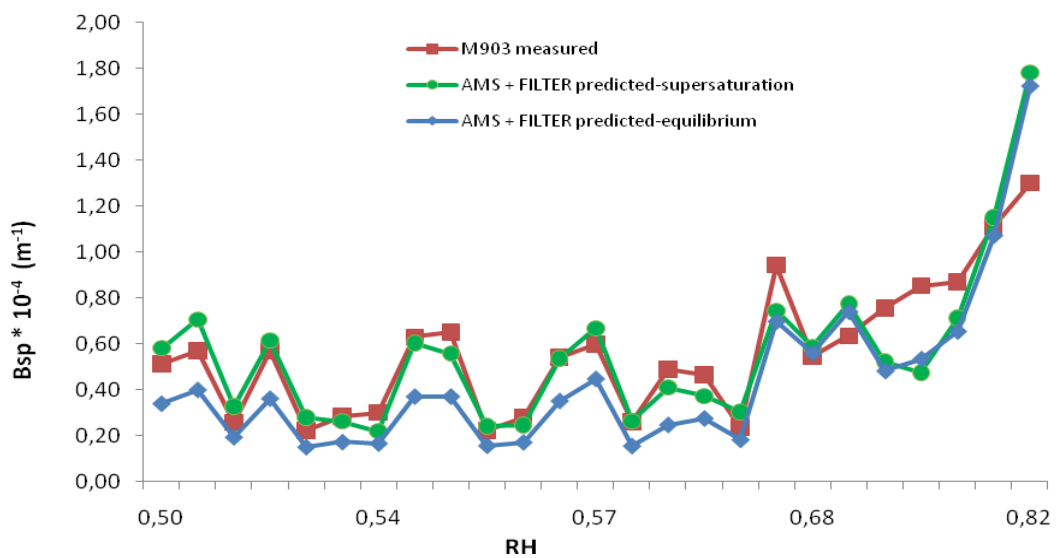


Figure 8. Total light scattering coefficients, B_{sp} , measured by M903 nephelometer, predicted by contribution of supersaturation and predicted via equilibrium as a function of relative humidity, RH.

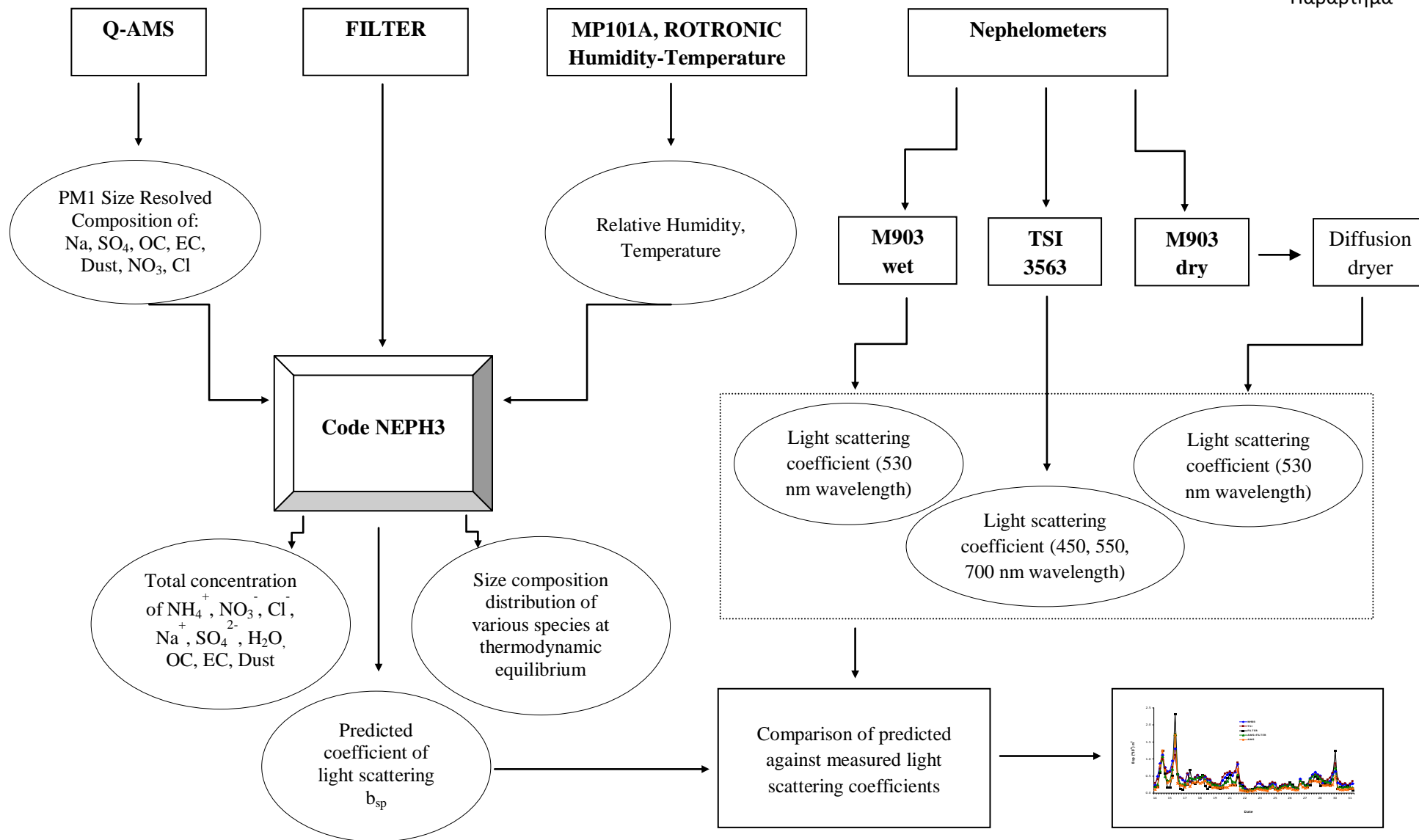


Figure 9: Scheme simulating inputs and outputs of code NEPH3.

References

- Boucher O., Anderson T.L., 1995, *GCM Assessment of the sensitivity of direct climate forcing by anthropogenic sulfate aerosols to aerosol size and chemistry*, Journal of Geophysical Research, Volume 100: pages 26117-26134.
- Bullrich K., Eschelbach G., Fischer K., Hanel G., 1972, *New aspects of scattering & absorbing properties of atmospheric aerosol particles*, Journal of Colloid and Interface Science, Volume 39: Issue 3: pages 546-550.
- Cabada J.C., Khlystov A., Wittig A. E., Pilinis C., Pandis S.N., 2004, *Light scattering by fine particles during the Pittsburgh Air Quality Study: Measurements and modeling*, Journal of Geophysical Research, Volume 109: D16S03.
- Choi M.Y., Chan C.K., 2002, *Continuous measurements of the water activities of aqueous droplets of water-soluble organic compounds*, Journal of Physical Chemistry A, Volume 106, pages 4566-4572.
- Colbeck I., 2008, *Environmental Chemistry of Aerosols*, Blackwell Publishing Ltd, ISBN 978-1-4051-3919-9.
- Day D.E., Malm W.C., 2001, *Aerosol light scattering measurements as a function of relative humidity: a comparison between measurements made at three different sites*, Atmospheric Environment, Volume 35: pages 5169-5176.
- Engelhart G.J., Thesis, 2010, *Clouds and Climate: Ability of Atmospheric Particles to Uptake Water*.
- Fierz-Schmidhauser R., Weingartner E., Zieger P., Wehrle G., Jefferson A., Ogren J.A., Baltensperger U., (..... δεν υπάρχει χρονολογία) *Aerosol Light Scattering at High Relative Humidity*.
- Fierz-Schmidhauser R., Zieger P., Kammermann L., DeCarlo P.F., Baltensperger U., Weingartner E., 2010, *Measured and predicted aerosol scattering enhancement factors at the high alpine site Jungfraujoch*, Atmospheric Chemistry and Physics, Volume 10: pages 2319-2333.
- Hänel G., 1976, *The properties of atmospheric aerosol particles as function of the RH at thermodynamic equilibrium with the surrounding moist air*, Advances in Geophysics, Volume 19: pages 73-188.
- Hänel G., 1981, *Technical note: an attempt to interpret the humidity dependencies of the aerosol extinction and scattering coefficients*, Atmospheric Environment, Volume 15: pages 403-406.
- Hildebrandt L., Engelhart G.J., Mohr C., Kostenidou E., Lanz V.A., Bougiatioti A., DeCarlo P.F., Prévôt A.S.H., Baltensperger, Mihalopoulos N., Donahue N.M., Pandis S.N., 2010, *Aged organic aerosol in the Eastern Mediterranean: the Finokalia aerosol measurement experiment-2008*, Atmospheric Chemistry and Physics Discussions, Volume 10: pages 1847-1900.

- Koloutsou-Vakakis S., and Rood M.J., Nenes A., Pilinis C., 1998, *Codeing of aerosol properties related to direct climate forcing*, Journal of Geophysical Research, Volume 103: No. D14: pages 17009-17032, July 27.
- Koo B., Ansari A.F., Pandis S.N., 2003, *Integrated approaches to modeling the organic and inorganic atmospheric aerosol components*, Atmospheric Environment, 37, pp. 4757-4768.
- Kouimtzis T., Samara C., 1995, *Airborne Particulate Matter: The Handbook of Environmental Chemistry*, Volume 4, Part D, Edited by Hutzinger O., Springer.
- Lazaridis M., 2005, *Atmospheric pollution with evidence of meteorology*, ISBN 960-418-074-6, Tziola Edition, Thessaloniki.
- Maring H., Savoie D.L., Izaguirre M.A., McCormick C., Arimoto R., Prospero J.M., Pilinis C., 2000, *Aerosol physical and optical properties and their relationship to aerosol composition in the free troposphere at Izana, Tenerife, Canary Islands, during July 1995*, Journal of Geophysical Research, Volume 105: page 14677.
- Mishchenko M.I., Geogdzhayev I.V., Cairns B., Carlson B.E., Chowdhary J., Laci A.A., Liu L., Rossow W.B., Travis L.D., 2007, *Past, present and future of global aerosol climatologies derived from satellite observations: A perspective*, Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer, Volume 106: pages 325-347.
- Nenes A., Pandis S., Pilinis C., 1998, *ISORROPIA: A new thermodynamic equilibrium code for multiphase multicomponent inorganic aerosols*, Aquatic Geochemistry, Volume 4: pages 123-152.
- Pikridas M., Bougiatioti A., Hildebrandt L., Engelhart G.J., Kostenidou E., Mohr C., Prevot A.S.H., Kouvarakis G., Zampas P., Burkhardt J.F., Lee B.-H., Psichoudaki M., Mihalopoulos N., Pilinis C., Stohl A., Baltensperger U., Kulmala M., Pandis S.N., 2010, *The Finokalia Aerosol Measurement Experiment -2008 (FAME-08): an overview*, Atmospheric Chemistry and Physics Discussions, Volume 10: pages 6641-6679.
- Pilinis C., Seinfeld J.H., 1987, *Continued development of a general equilibrium code for inorganic multicomponent atmospheric aerosols*, Atmospheric Environment, Volume 21: pages 2453-2466.
- Pilinis C., 1989, *Numerical simulation of visibility degradation due to particulate matter: code development and evaluation*, Journal of Geophysical Research, Volume 94: No. D7: pages 9937-9946, July 20.
- Pilinis C., Seinfeld J.H., Grosjean D., 1989, *Water content of atmospheric aerosols*, Atmospheric Environment, Volume 23, No.7, pages 1601-1606.
- Pilinis C., Pandis S.N., Seinfeld J.H., 1995, *Sensitivity of direct climate forcing by atmospheric aerosols to aerosol size and composition*, Journal of Geophysical Research, Volume 100: pages 18739-18754.

- Pilinis C. and Li X., 1998, *Particle shape and internal inhomogeneity effects on the optical properties of tropospheric aerosols of relevance to climate forcing*, Journal of Geophysical Research, Volume 103: page 3789-3800.
- Seinfeld J.H., Pandis S.N., 1998, *Atmospheric Chemistry and Physics: From air pollution to climate change*, John Wiley and sons, Inc.
- ten Brink H.M., Veefkind J.P., Waijers-Ijpelaan A., van der Hage J.C., 1996, *Aerosol light-scattering in the Netherlands*, Atmospheric Environment, Volume 30: Issue 24: pages 4251-4261.
- Thomas A., Gebhart J., Müller, 1993, *Effect of Relative Humidity on Light Scattering of Atmospheric Aerosols*, Journal of Aerosol Science, Volume 24: suppl. 1: pages 117-118.
- Vrekoussis M., Liakakou E., Koçak M., Kubilay N., Oikonomou K., Sciare J., Mihalopoulos N., 2005, *Seasonal variability of optical properties of aerosols in the Eastern Mediterranean*, Atmospheric Environment, Volume 39: pages 7083-7094.
- White W.H., Roberts P.T., 1977, *On the nature and origins of visibility-reducing aerosols in the Los Angeles air basin*, Atmospheric Environment, Volume 11: pages 803-812.
- Zieger P., Fierz-Schmidhauser R., Gysel M., Ström J., Henne S., Yttri K.E., Baltensperger U., Weingartner E., 2010, *Effects of relative humidity on aerosol light scattering in the Arctic*, Atmospheric Chemistry and Physics Discussions, Volume 10: pages 3659-3698.